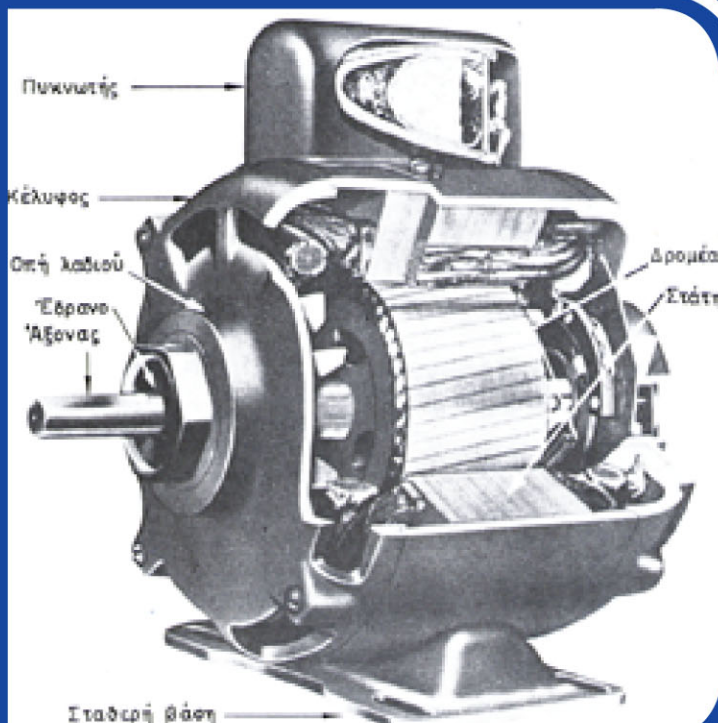


ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Σπυρ. Ν. Βασιλακόπουλου

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ε.Μ.Π.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

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

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

Έτσι το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του κυρία Μαριάνθη Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη.

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

Μέχρι σήμερα εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη και καλύπτουν ανάγκες των Κατώτερων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ) και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η ποιότητα των βιβλίων, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και από άποψη εμφάνισης, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους νέους.

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

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στην ποιότητα των βιβλίων από γλωσσική άποψη, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα άρτια και ομοίμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική διαπαιδαγώγηση των μαθητών.

Έτσι με απόφαση που πάρθηκε ήδη από το 1956 όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλόλογους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα και η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος.

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

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς, Πρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ.

Ιωάννης Τζαβάρας, αντιναύαρχος Α.Σ. (Ε.Α.).

Δημήτριος Βασιλάκης, πλοίαρχος Α.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. έ.Ε.Ν.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος Κων. Μανάφης,

καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρεάκος.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιαν (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπειταίερης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηιωάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, Ιγνατίος Χατζηγεωστροπιδίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβας (1989-1993) Φιλολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Α. Α. (1993-1999) Διευθ. Σχ. Δευτ. Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ



ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ Ν. ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
2006



Α' ΕΚΔΟΣΗ 1979

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό προορίζεται για τη διδασκαλία του μαθήματος των Ηλεκτρικών Μηχανών στη Γ' τάξη των Τεχνικών Λυκείων, της Ειδικότητας των Ηλεκτρολόγων. Το περιεχόμενο του βιβλίου είναι προσαρμοσμένο στη «διδακτέα ύλη» του μαθήματος για τις σχολές αυτές και την ακολουθεί στη διαμόρφωσή του σε κεφάλαια και παραγράφους.

Η κατανομή της ύλης έχει γίνει σε 12 κεφάλαια, από τα οποία το πρώτο είναι εισαγωγικό στα είδη και τα πεδία εφαρμογής των ηλεκτρικών μηχανών. Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις αρχές λειτουργίας και την κατασκευή των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Τα κεφάλαια 3 και 4 περιέχουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τα είδη αντίστοιχα των γεννητριών και των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Στο κεφάλαιο 5 περιλαμβάνονται οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι οποίες ονομάζονται και εναλλακτικές, ενώ στο έκτο κεφάλαιο οι μετασχηματιστές. Στις τρεις πρώτες παραγράφους του εβδόμου κεφαλαίου περιλαμβάνονται μια σύντομη εισαγωγή στην αρχή λειτουργίας των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος και στα σχετικά τυλίγματα. Στη συνέχεια στο ίδιο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι σύγχρονοι κινητήρες. Τα κεφάλαια 8,9 και 10 περιλαμβάνουν τους λοιπούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο ενδέκατο κεφάλαιο περιέχονται οι μετατροπείς και ανορθωτές και τέλος στο δωδέκατο κεφάλαιο δίδονται οδηγίες για τη συντήρηση γενικά των ηλεκτρικών μηχανών.

Στα παραπάνω κεφάλαια, για κάθε είδος ηλεκτρικής μηχανής, δίνεται σύντομη περιγραφή της κατασκευής της και περιγραφή της αρχής λειτουργίας της με τη χρησιμοποίηση, όπου χρειάζεται, απλών μαθηματικών σχέσεων. Επίσης παρέχονται στοιχεία για τη συμπεριφορά κάθε μηχανής κατά τη λειτουργία της, για τις ιδιότητές της και για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει. Στο τέλος κάθε κεφαλαίου δίδονται ακόμα στοιχεία για τις συνηθέστερες βλιντες των ηλεκτρικών μηχανών και την επισκευή τους. Υπολογιστικά στοιχεία για τις ηλεκτρικές μηχανές δεν περιλαμβάνονται στο βιβλίο αυτό.

Στην ανάπτυξη των θεμάτων που αναφέραμε παραπάνω θεωρήσαμε ότι ο μαθητής και γενικότερα ο αναγνώστης του βιβλίου, γνωρίζει από την Ηλεκτροτεχνία τις θεμελιώδεις έννοιες, τα μεγέθη και τις σχέσεις μεταξύ τους, για το συνεχές και το εναλλασσόμενο ρεύμα, για τη διανυσματική παράσταση του εναλλασσόμενου ρεύματος, για τα φαινόμενα του ηλεκτρομαγνητισμού κλπ.

Το σύστημα των μονάδων που χρησιμοποιήθηκε στο βιβλίο αυτό είναι το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Βασικές μονάδες του συστήματος είναι το μέτρο (m) για το μήκος, το χιλιόγραμμα (kg) για τη μάζα, το δευτερόλεπτο (s) για το χρόνο, το

αμπέρ (Α) για την ένταση του ρεύματος κλπ. Αρκετές φορές χρησιμοποιήθηκαν και δεκαδικά πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια των μονάδων του συστήματος.

Το κείμενο εμπλουτίσθηκε με όσο το δυνατό περισσότερα σχήματα. Η χρησιμοποίηση εποπτικών μέσων κατά τη διδασκαλία του μαθήματος θεωρείται πάντως απαραίτητη για να αποκτήσει ο μαθητής σαφή και μόνιμη γνώση για τις ηλεκτρικές μηχανές.

Ο συγγραφέας ενώνει την προσωπική του παράκληση με αυτήν της Επιτροπής Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου προς όσους θα χρησιμοποιήσουν το βιβλίο αυτό για υποδείξεις με σκοπό τη βελτίωσή του σε μελλοντική έκδοση.

Ο Συγγραφέας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Είδη ηλεκτρικών μηχανών.

Για την ικανοποίηση των αναγκών του, ο άνθρωπος χρησιμοποιεί ενέργεια σε διάφορες μορφές. Μια από τις πιο σημαντικές μορφές ενέργειας είναι η **ηλεκτρική ενέργεια**, η οποία, 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.

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές 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 **αεριοστρόβιλοι** και οι **πετρελαιομηχανές** ή **μηχανές εσωτερικής καύσεως**.

Μια από τις πολλές χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας είναι και για την κίνηση διαφόρων μηχανημάτων. 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 διακρίνονται σε **γεννήτριες συνεχούς ρεύματος** και **γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος**. Όμοια οι κινητήρες διακρίνονται σε **κινητήρες συνεχούς ρεύματος**, όταν είναι κατασκευασμένοι για να εργάζονται με συνεχές ρεύμα και **κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος**, όταν είναι κατασκευασμένοι για να εργάζονται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Εκτός 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 ανυψώνουμε ή να υποβιβάζουμε την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι στρεφόμενοι μετατροπείς και τα **ζεύγη κινητήρα-γεννήτριας**, που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και αντίστροφα το συνεχές σε εναλλασσόμενο.

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

1.2 Πεδία εφαρμογής των ηλεκτρικών μηχανών.

Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχεδόν πάντοτε γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Σήμερα, που όπως αναφέρθηκε ήδη, έχουμε ανάγκη από μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, έχει επικρατήσει η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της να γίνονται με εναλλασσόμενο ρεύμα, για τους λόγους που θα εξηγήσουμε στην παράγραφο 6.1 όταν θα μιλήσουμε για τους μετασχηματιστές.

Εκτός από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γεννήτριες χρησιμοποιούνται επίσης σαν εφεδρικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σε νοσοκομεία, εργοστάσια, αεροδρόμια κ.τ.λ. Στις περιπτώσεις αυτές η γεννήτρια και η κινητήρια μηχανή αποτελούν ένα **ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος**, το οποίο τίθεται αυτόματα σε λειτουργία μόλις διακοπεί η τροφοδότηση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Άλλο πεδίο εφαρμογής των γεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα πλοία, τα αεροπλάνα, τα τρένα, τα αυτοκίνητα καθώς και απομονωμένα αγροκτήματα ή σπίτια. Στις περιπτώσεις αυτές οι γεννήτριες μπορεί να είναι εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος.

Ειδικότερα αναφέρουμε ότι η χρησιμοποίηση των γεννητριών συνεχούς ρεύματος συνεχώς περιορίζεται, γιατί και στις περιπτώσεις που έχουμε ανάγκη από συνεχές ρεύμα, όπως για τη φόρτιση συσσωρευτών, για τη βιομηχανία κ.τ.λ., χρησιμοποιούμε συνήθως ανορθωτές, που μετατρέπουν σε συνεχές ρεύμα το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου διανομής της πόλεως. Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται σε μερικούς σταθμούς παραγωγής για την τροφοδότηση της διεγέρσεως των εναλλακτών, όπως θα εξηγήσουμε στα επόμενα, στα αυτοκίνητα για τη φόρτιση των συσσωρευτών, στα σιδηροδρομικά βαγόνια για τη φόρτιση επίσης των συσσωρευτών, σε ορισμένες ηλεκτροσυγκολλήσεις κ.τ.λ. Πάντως και σε αυτές τις χρήσεις η τάση είναι οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος να αντικατασταθούν από γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος απευθείας συζευγμένες με ανορθωτές, όπως άρχισε να γίνεται τα τελευταία χρόνια και στα αυτοκίνητα.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και σε διάφορες επαγγελματικές εφαρμογές, για την κίνηση μηχανημάτων, όπως εργαλειομηχανών, αντλιών, ανεμιστήρων, ελάστρων, γερανών, ανελκυστήρων κλπ. Κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης για την κίνηση όχημάτων (ηλεκτρική έλξη), όπως ηλεκτρικών σιδηροδρόμων, τρόλεϋ, τραμ κ.τ.λ. Ένα άλλο πεδίο εφαρμογής των ηλεκτρικών κινητήρων, όπου μάλιστα χρησιμοποιούνται και κινητήρες πολύ μικρής ισχύος, είναι οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές οικιακής ή επαγγελματικής χρήσεως, όπως ψυγεία, πλυντήρια, σκούπες, μίξερ, ανεμιστήρες, πικ-απ κ.τ.λ.

Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτούνται από το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως, εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, όπου χρησιμοποιούνται κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν ορισμένες ιδιότητες που τους καθιστούν πολύ κατάλληλους για την κίνηση οχημάτων. Επίσης στη βιομηχανία, όπου, χάρη στην ιδιότητα που έχουν να είναι δυνατή η ρύθμιση με μεγάλη ακρίβεια της ταχύτητας περιστροφής τους, κρατούν ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής σε ορισμένες εργασίες. Στις εργασίες αυτές είναι μάλιστα δυνατή με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος η αυτοματοποίηση, ώστε οι εργασίες να εκτελούνται ταχύτερα και ακριβέστερα.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το απαιτούμενο στη βιομηχανία συνεχές ρεύμα το παίρνουμε από το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου με τη βοήθεια ανορθωτών. Για την τροφοδότηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, σήμερα χρησιμοποιούμε σε πολλές περιπτώσεις ανορθωτές με στοιχεία από ημιαγωγούς, που ονομάζονται **θυρίστορ**. Τα θυρίστορ μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και ταυτόχρονα επιτρέπουν την αυτόματη ρύθμιση της εντάσεώς του, ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ταχύτητες περιστροφής των κινητήρων. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει και στις μικρές βιομηχανικές μονάδες να χρησιμοποιούν οικονομικά κινητήρες συνεχούς ρεύματος μεγάλης ακρίβειας. Κινητήρες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται σε ανελκυστήρες, γερανούς, εργαλειομηχανές, μηχανές κλωστοϋφαντουργίας, στη βιομηχανία χαρτιού, την τυπογραφία και (σε μεγάλες ισχύεις) στα έλαστρα των χαλυβουργείων.

Εκτός από τη χρησιμοποίησή τους στην τροφοδότηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, οι ανορθωτές χρησιμοποιούνται και σε ένα μεγάλο πλήθος άλλων εφαρμογών, όπου χρειάζεται το συνεχές ρεύμα. Αναφέρομε τη φόρτιση των συσσωρευτών, την ηλεκτροχημική βιομηχανία (ηλεκτρολύσεις, επιμεταλλώσεις), τις ηλεκτρονικές συσκευές κ.τ.λ. Σε ορισμένες από τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούνται ζεύγη κινητήρα-γεννήτριας ή στρεφόμενοι μετατροπείς.

Τέλος, αναφέρομε ότι και το πεδίο εφαρμογής των μετασχηματιστών είναι πολύ σημαντικό. Μεγάλος αριθμός μετασχηματιστών χρησιμοποιείται στα συστήματα παραγωγής μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ειδικούς **υποσταθμούς** των συστημάτων αυτών γίνεται ανύψωση ή υποβιβασμός της τάσεως με τη βοήθεια των μετασχηματιστών. Μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται επίσης σε ηλεκτροσυγκολήσεις, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις βιομηχανιών, ηλεκτρονικές συσκευές κλπ.

Τα πεδία εφαρμογής των ηλεκτρικών μηχανών που αναφέραμε στην παράγραφο αυτή κάθε άλλο παρά εξαντλούν το θέμα. Ηλεκτρικές μηχανές χρησιμοποιούνται σήμερα σχεδόν σε κάθε δραστηριότητα του ανθρώπου και τα πεδία εφαρμογής τους συνεχώς επεκτείνονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

2.1 Αρχή λειτουργίας των γεννητριών συνεχούς ρεύματος.

2.1.1 Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε κινούμενο αγωγό.

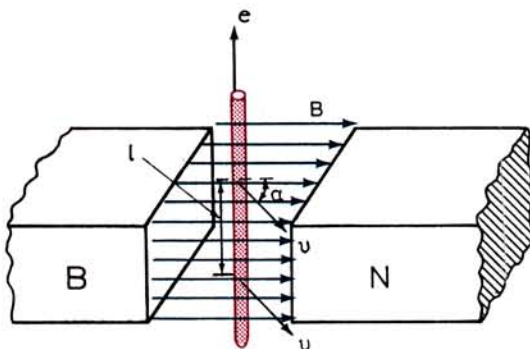
Από την Ηλεκτροτεχνία είναι γνωστό ότι, όταν ένας αγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο έτσι ώστε να κόβει τις μαγνητικές γραμμές, τότε μέσα στον αγωγό δημιουργείται **ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή**. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και **φαινόμενο γεννήτριας**.

Το σχήμα 2.1α παριστάνει έναν αγωγό κινούμενο μέσα στο ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των πόλων Β και Ν ενός μόνιμου μαγνήτη. Ο αγωγός είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές και κινείται προς την κατεύθυνση που δείχνουν τα βέλη u στο σχήμα. Τα βέλη αυτά είναι κάθετα στον αγωγό και σχηματίζουν γωνία α με την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται από επαγωγή σε ένα τέτοιο αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$e = B \cdot l \cdot u \cdot \eta\mu\alpha \quad \text{σε V}$$

όπου: B είναι η μαγνητική επαγωγή του ομοιόμορφου πεδίου σε T (Vs/m²),
 l το μήκος σε m του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και
 u η ταχύτητα του αγωγού σε m/s.

Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι όταν ο αγωγός κινείται παράλληλα



Σχ. 2.1α.

Αγωγός κινούμενος μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

προς τις μαγνητικές γραμμές ($\alpha = 0$ και $\eta\mu\alpha = 0$) δεν δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη στον αγωγό. Όταν ο αγωγός κινείται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές, η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται σε αυτόν παίρνει τη μέγιστη τιμή της ($\alpha = 90^\circ$ και $\eta\mu\alpha = 1$). Αυτός είναι ο λόγος που στις ηλεκτρικές μηχανές η κατασκευή τους γίνεται έτσι, ώστε οι αγωγοί να κινούνται πάντοτε σε διεύθυνση κάθετη προς τις μαγνητικές γραμμές.

Παράδειγμα.

Ένας αγωγός κινείται με ταχύτητα 30 m/s σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που έχει μαγνητική επαγωγή 0,6 T. Το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι 0,4 m. Ποια είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται στον αγωγό;

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

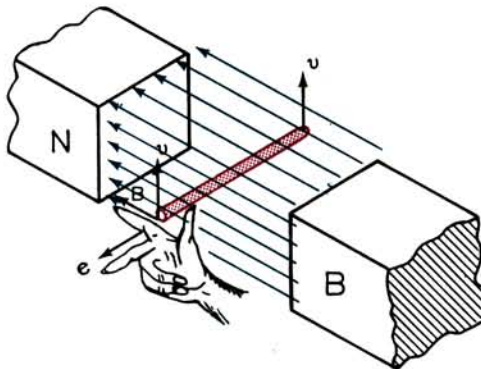
Λύση.

$$\alpha) e = B \cdot l \cdot u \cdot \eta\mu 30^\circ \quad \text{σε V}$$

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

$$\beta) e = B \cdot l \cdot u \cdot \eta\mu 90^\circ \quad \text{σε V}$$

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



Σχ. 2.1β.
Κανόνας δεξιού χεριού.

Η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται από επαγωγή σε αγωγό κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο δίνεται από τον **κανόνα του δεξιού χεριού**, όπως εξηγείται στο σχήμα 2.1β. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, **όταν ο αντίχειρας 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.** Η

πορά 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. Ομοίως η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως αλλάζει όταν αντιστραφεί η κατεύθυνση της κινήσεως του αγωγού.** Αν όμως αλλάξουν και τα δυο, η πολικότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως δεν αλλάζει.

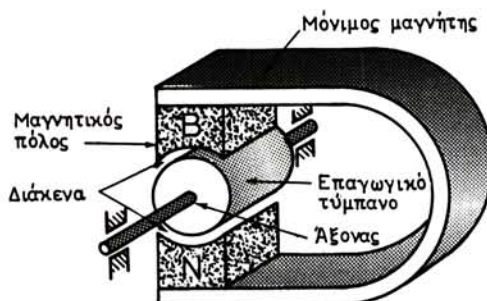
Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τη δημιουργία ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως από επαγωγή μέσα στον αγωγό που κινείται σε μαγνητικό πεδίο ισχύουν και όταν ο αγωγός μένει ακίνητος και κινείται το μαγνητικό πεδίο. Αν ο αγωγός κόβει τις μαγνητικές γραμμές του κινούμενου πεδίου δημιουργείται πάλι σε αυτόν ηλεκτρεγερτική 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.

2.1.2 Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε σπείρα (στοιχειώδης γεννήτρια).

Για να περιγράψουμε την αρχή λειτουργίας των ηλεκτρικών γεννητριών, ας φαντασθούμε μια στοιχειώδη γεννήτρια, που να αποτελείται από ένα μόνιμο πεταλοειδή μαγνήτη (σχ. 2.1γ) και ένα κυλινδρικό τύμπανο από σιδηρομαγνητικό υλικό, που να μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον αξονά του. Το κυλινδρικό αυτό τύμπανο μαζί με τους αγωγούς, που όπως θα δούμε φέρει στην κυλινδρική επιφάνειά του, ονομάζεται **επαγωγικό τύμπανο** και βρίσκεται μεταξύ των πόλων του μόνιμου μαγνήτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1γ. Οι μαγνητικές γραμμές ακολουθούν τη διαδρομή: βόρειος πόλος μαγνήτη-διάκενο (μεταξύ πόλου και τυμπάνου) - επαγωγικό τύμπανο - διάκενο - νότιος πόλος μαγνήτη.

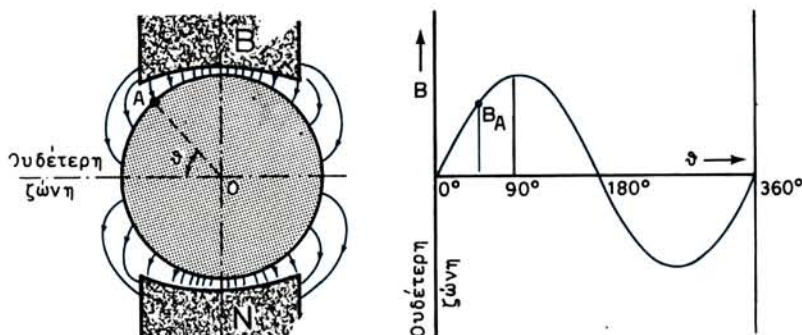
Στο αριστερό μέρος του σχήματος 2.1δ φαίνεται με τη συμβατική σχεδίαση (μπλε γραμμές στο σχήμα) το μαγνητικό πεδίο όπως διαμορφώνεται στα διάκενα της μηχανής. Όπως είναι γνωστό, οι μαγνητικές γραμμές συναντούν κάθετα τους πόλους του μαγνήτη και το τύμπανο από σιδηρομαγνητικό υλικό.

Η μεταβολή από θέση σε θέση της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο εξαρτάται από τη διευόρφωση της μηχανής και κυρίως των μαγνητικών πόλων. Η μαγνητική



Σχ. 2.1γ.

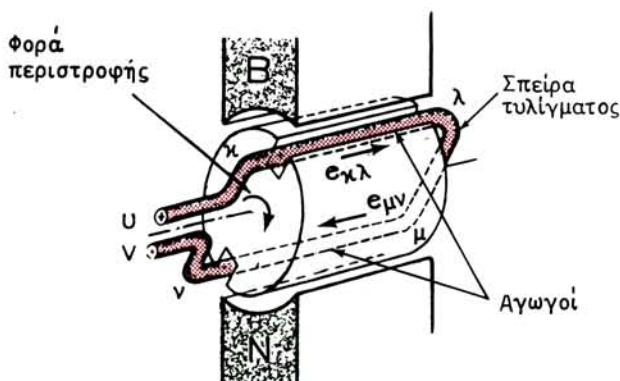
Στοιχειώδης ηλεκτρική μηχανή.



Σχ. 2.1δ.
Μαγνητικό πεδίο στο διάκενο.

επαγωγή είναι μέγιστη στο μέσο των πόλων και μικραίνει όσο πλησιάζουμε στην **ουδέτερη ζώνη**, όπου γίνεται μηδενική. Η καμπύλη στο δεξιό μέρος στο σχήμα 2.1δ παριστάνει πώς μεταβάλλεται η μαγνητική επαγωγή στο διάκενο σε συνάρτηση με τη γωνία θ . Δηλαδή μας δίνει τη μαγνητική επαγωγή στα διάφορα σημεία 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 το τύμπανο και αρνητικές όταν απομακρύνονται από αυτό.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε δυο οδοντώσεις, που υπάρχουν στην κυλινδρική επιφάνεια του επαγωγικού τυμπάνου σε διαμετρικά αντίθετα σημεία, έχουν τοποθετηθεί δυο αγωγοί κ-λ και ν-μ. Οι δυο αγωγοί ενώνονται στο πίσω μέρος του τυμπάνου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1ε ώστε να αποτελούν μια **σπείρα του τυλίγματος** της μηχανής. Όταν το τύμπανο περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα



Σχ. 2.1ε.
Ηλεκτρενερτική δύναμη σε CPM

κάθε ένας από τους αγωγούς της σπείρας αυτής τέμνει τις μαγνητικές γραμμές που υπάρχουν στο διάκενο και μάλιστα κάθετα, αφού όπως είπαμε αυτές διευθύνονται κάθετα προς το τύμπανο. Άρα σε κάθε ένα αγωγό δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, που το μέγεθός της δίνεται από τη σχέση του εδαφίου 2.1.1. Εδώ u είναι η περιφερειακή ταχύτητα των αγωγών και $\eta\mu\alpha = 1$. Αν θ η γωνία που αντιστοιχεί στην ταχύτητα περιστροφής n (σε στρ/s) και r (σε m) του επαγωγικού τυμπάνου, τότε είναι:

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

Επειδή σε διαμετρικά αντίθετα σημεία του τυμπάνου η μαγνητική επαγωγή στο διάκενο έχει την ίδια απόλυτη τιμή (όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1δ) συμπεραίνουμε ότι την ίδια τιμή θα έχουν και οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις των δυο αγωγών:

$$e_{\kappa\lambda} = e_{\mu\nu}$$

Με τη βοήθεια του κανόνα του δεξιού χεριού είναι εύκολο να αποδείξουμε ότι, για τη φορά περιστροφής που σημειώνεται με ένα τόξο στο σχήμα 2.1ε και για τη χρονική στιγμή που δείχνει το σχήμα αυτό, στον αγωγό $\kappa-\lambda$ η ηλεκτρεγερτική δύναμη θα έχει φορά από το κ προς το λ και στον αγωγό $\nu-\mu$ από το μ προς το ν , όπως έχουν σημειωθεί με βέλη στο ίδιο σχήμα. Δηλαδή οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις των δύο αγωγών αθροίζονται. Αυτό γίνεται κάθε χρονική στιγμή, όπου κι αν βρίσκεται το τύμπανο κατά την περιστροφή του. Άρα η ηλεκτρεγερτική δύναμη e της σπείρας κάποια χρονική στιγμή θα δίνεται από τη σχέση:

$$e = e_{\kappa\lambda} + e_{\mu\nu} = 2 \cdot B \cdot l \cdot u \quad \text{σε V}$$

όπου: B είναι η μαγνητική επαγωγή σε T (Vs/m²) στο σημείο του διακένου που βρίσκεται ο ένας αγωγός της σπείρας τη στιγμή αυτή,

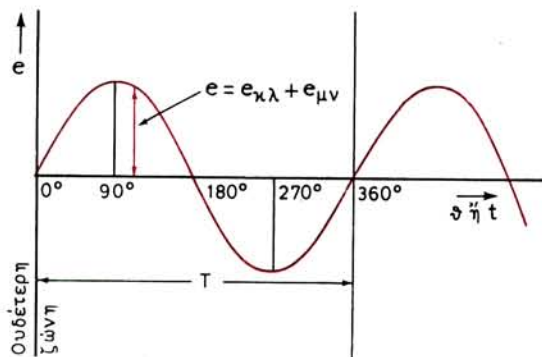
l το μήκος σε m του αγωγού που βρίσκεται μέσα στην οδόντωση του τυμπάνου και

u η σταθερή περιφερειακή ταχύτητα των αγωγών σε m/s.

Από τη σχέση αυτή παρατηρούμε ότι, αφού τα l και u είναι σταθερά, η ηλεκτρεγερτική δύναμη στη σπείρα για τις διάφορες θέσεις από τις οποίες περνούν οι αγωγοί της κατά την περιστροφή του τυμπάνου μεταβάλλεται όπως και η μαγνητική επαγωγή B . Δηλαδή μια καμπύλη σαν αυτή που δίνει τη μεταβολή του B (σχ. 2.1δ) θα μας δίνει και τη μεταβολή της e , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1στ.

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.

Στον οριζόντιο άξονα αντί για τη γωνία θ μπορούμε να βάλομε το χρόνο t που χρειάστηκε η σπείρα (ο αγωγός της σπείρας) για να έλθει από την ουδέτερη ζώνη στην αντίστοιχη θέση. Όταν η σπείρα συμπληρώσει μια στροφή από 360°, η ηλεκτρεγερτική δύναμη θα έχει συμπληρώσει μια 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 μια όμοια μεταβολή, δηλαδή ένα δεύτερο κύκλο, έπειτα ένα τρίτο κ.ο.κ. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που μεταβάλλε-



Σχ. 2.1στ.

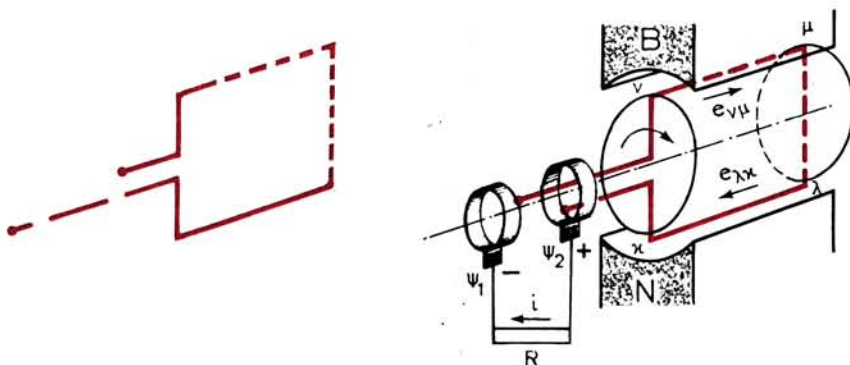
Εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη.

ται σε συνάρτηση με το χρόνο με τον τρόπο αυτό (σχ. 2.1στ) ονομάζεται **εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη**.

2.1.3 Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Για να χρησιμοποιήσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη, η οποία παράγεται μέσα στη σπείρα, συνδέουμε τα δυο άκρα της σε δυο μεταλλικά δακτυλίδια, τα οποία είναι στερεωμένα επάνω στον άξονα του τυμπάνου και περιστρέφονται μαζί του. Τα δακτυλίδια αυτά είναι ηλεκτρικά μονωμένα προς τον άξονα.

Δυο ψήκτρες από άνθρακα ψ_1 και ψ_2 (σχ. 2.1ζ) που είναι όπως θα δούμε στερεωμένες στο ακίνητο μέρος της μηχανής, εφάπτονται στα δακτυλίδια. Οι ψήκτρες συνδέονται μεταξύ τους με την εξωτερική αντίσταση R , που είναι η συσκευή στην οποία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το ρεύμα που θα παραχθεί από την απλή αυτή μηχανή. Η R είναι δηλαδή το **φορτίο** της μηχανής. Για απλούστευση στο σχήμα 2.1ζ δεν έχουν σχεδιασθεί οι οδοντώσεις του τυμπάνου. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε ότι τη χρονική στιγμή που παριστάνει το αριστερό μέρος στο σχήμα 2.1ζ



Σχ. 2.1ζ.

Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

το ρεύμα μέσα στο φορτίο R κατευθύνεται από την 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 θέση, το ρεύμα μέσα στο φορτίο θα κατευθύνεται αντίθετα, δηλαδή από την ψήκτρα ψ_2 προς την ψ_1 .

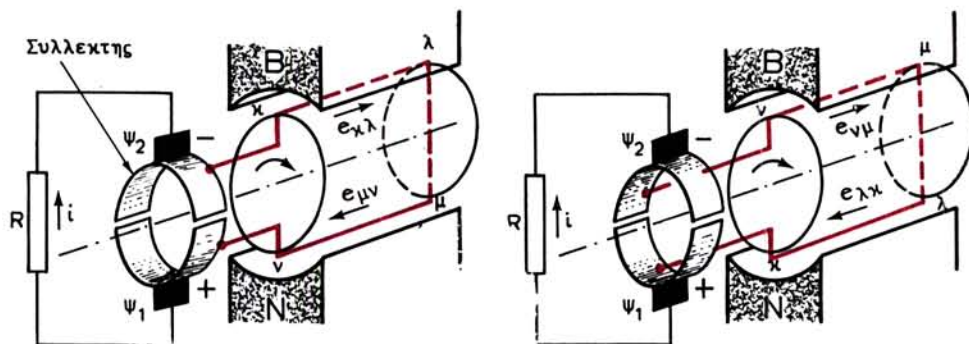
Γενικά η εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη της σπείρας θα δώσει στο φορτίο ένα ρεύμα που θα είναι και αυτό εναλλασσόμενο και μάλιστα ταυτόχρονο και ίδιας μορφής με την καμπύλη του σχήματος 2.1στ, όταν το φορτίο R είναι καθαρή ωμική αντίσταση. Δηλαδή η μηχανή αυτή είναι μια στοιχειώδης γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.

2.1.4 Μετατροπή του παραγόμενου ρεύματος σε συνεχές.

Στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, όταν περιστρέφεται το επαγωγικό τύμπανο, δημιουργείται μέσα στις σπείρες των αγωγών εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, όπως την περιγράψαμε στα προηγούμενα. Στο εξωτερικό φορτίο όμως τη μηχανής παίρνουμε συνεχές ρεύμα και αυτό γίνεται με τη βοήθεια του **συλλέκτη**. Ο συλλέκτης που αντικαθιστά τα δακτυλίδια των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος, στην απλούστερή του μορφή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1η, αποτελείται από ένα δακτυλίδι κομμένο σε δυο μισά (**τομείς του συλλέκτη**), που είναι στερεωμένα στον άξονα του επαγωγικού τυμπάνου, περιστρέφονται μαζί με αυτόν και είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τον άξονα. Τα άκρα της σπείρας των δυο αγωγών τα συνδέουμε μόνιμα με τους τομείς του συλλέκτη.

Οι ψήκτρες ψ_1 και ψ_2 είναι και εδώ στερεωμένες στο ακίνητο μέρος της μηχανής και εφάπτονται στους τομείς του συλλέκτη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1η είναι τοποθετημένες σε δυο σημεία εκ διαμέτρου αντίθετα ως προς τον άξονα.

Όταν η περιστρεφόμενη μαζί με το τύμπανο σπείρα των δυο αγωγών βρίσκεται στη θέση που φαίνεται αριστερά στο σχήμα 2.1η, όπως είδαμε στα προηγούμενα δημιουργούνται στους δυο αγωγούς ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που έχουν τη σημειούμενη με τα βέλη φορά και που αθροίζονται. Το ηλεκτρικό ρεύμα που θα περάσει από το εξωτερικό φορτίο R θα διευθύνεται από την ψήκτρα ψ_1 προς την ψήκτρα ψ_2 . Δηλαδή τη χρονική αυτή στιγμή η ψ_1 είναι θετική και η ψ_2 αρνητική



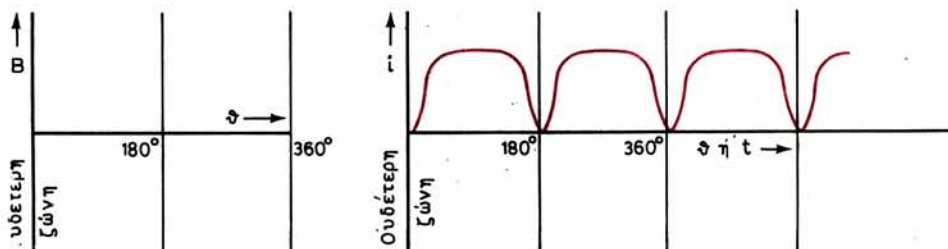
Μετά από ορισμένο χρόνο το περιστρεφόμενο τύμπανο θα βρεθεί στη θέση που φαίνεται δεξιά στο σχήμα 2.1η, δηλαδή θα έχει στραφεί κατά 180° από την προηγούμενη θέση του. Παρατηρούμε ότι και στη θέση αυτή η ψήκτρα ψ_1 εξακολουθεί να είναι θετική και η ψ_2 αρνητική, παρ' όλο ότι μέσα στη σπείρα η ηλεκτρεγερτική δύναμη έχει τώρα αλλάξει φορά σχετικά με τη φορά που είχε προηγουμένως.

Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι η πολικότητα των ψηκτρών δεν αλλάζει και για οποιαδήποτε άλλη θέση του περιστρεφόμενου επαγωγικού τυμπάνου. Συνέπεια αυτού είναι το φορτίο R να το διαρρέει πάντοτε ρεύμα από την ψήκτρα ψ_1 προς την ψ_2 , δηλαδή κατά την ίδια φορά.

Στο αριστερό διάγραμμα στο σχήμα 2.1θ φαίνεται η μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος. Παρατηρούμε ότι σε αυτές τις μηχανές η καμπύλη έχει λίγο διαφορετική μορφή από αυτή του σχήματος 2.1δ, πράγμα που γίνεται από τους κατασκευαστές των μηχανών με κατάλληλη διαμόρφωση των μαγνητικών πόλων. Η μεταβολή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της σπείρας κατά την περιστροφή του επαγωγικού τυμπάνου, όπως είπαμε και στην παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος, παριστάνεται με μια καμπύλη όμοια με την καμπύλη μεταβολής της μαγνητικής επαγωγής.

Στο δεξιό μέρος του σχήματος 2.1θ φαίνεται η μεταβολή της εντάσεως i που διαρρέει το εξωτερικό φορτίο R . Το ρεύμα αυτό που ονομάζεται **ανορθωμένο**, επειδή έχει πάντοτε την ίδια φορά, δεν είναι τελείως συνεχές ρεύμα, γιατί η έντασή του μεταβάλλεται με το χρόνο. Για να μειώσουμε την **κυμάτωσή** του αυτή στις πραγματικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, χρησιμοποιούμε πολλές σπείρες στο τύμπανο και συλλέκτες που έχουν επίσης πολλούς τομείς. Με κατάλληλη σύνδεση των άκρων των σπειρών με τους τομείς του συλλέκτη πετυχαίνουμε να έχουμε στο ξωτερικό φορτίο ρεύμα που είναι σχεδόν τελείως συνεχές.

Αν θέλουμε να αλλάξουμε την πολικότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος θα πρέπει, σύμφωνα και με όσα είπαμε στο έδαφιο 1.1.1, **να αλλάξουμε ή την πολικότητα του μαγνητικού πεδίου ή τη φορά περιστροφής της μηχανής**. Αν τα αλλάξουμε και τα δυο η πολικότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως δεν αλλάζει.



Σχ. 2.1θ.
Ανορθωμένο ρεύμα.

2.2 Αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

2.2.1 Δύναμη ασκούμενη σε ρευματοφόρο αγωγό.

Όπως είναι γνωστό από την Ηλεκτροτεχνία, όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε στον αγωγό αυτόν ασκείται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Αυτό είναι το ονομαζόμενο **φαινόμενο κινητήρα**.

Στο σχήμα 2.2α φαίνεται η δύναμη F που ασκείται σε ένα αγωγό ο οποίος βρίσκεται μέσα στο ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη μαγνητικής επαγωγής B . Ο αγωγός που διαρρέεται από ένταση I σχηματίζει γωνία α με τις μαγνητικές γραμμές.

Το μέτρο της δυνάμεως F που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

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

όπου: B είναι η μαγνητική επαγωγή του πεδίου σε T (Vs/m²),

I είναι η ένταση σε A του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό,

l το μήκος σε m του αγωγού, που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και α η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τις μαγνητικές γραμμές.

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι όταν ο αγωγός είναι παράλληλος με τις μαγνητικές γραμμές δεν ασκείται σε αυτόν δύναμη ($\alpha = 0$, $\eta\mu\alpha = 0$). Αντίθετα, η δύναμη παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν ο αγωγός είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ($\alpha = 90^\circ$, $\eta\mu\alpha = 1$).

Παράδειγμα.

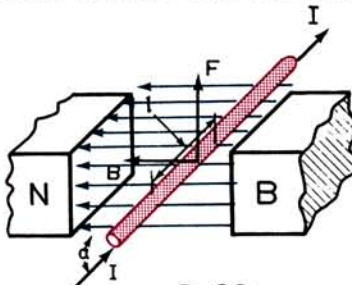
Αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως 40 A είναι τοποθετημένος μέσα σε μαγνητικό πεδίο κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται στον αγωγό αν το μήκος του είναι 0,5 m και η μαγνητική επαγωγή του πεδίου 0,8 T.

Λύση.

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

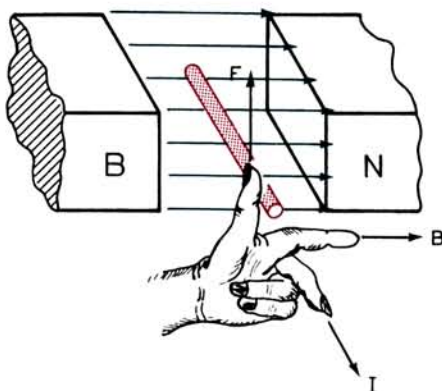
$$F = 0,8 \times 40 \times 0,5 \times 1 = 16 \text{ Ws/m} = 16 \text{ N}$$

Η κατεύθυνση της δυνάμεως F βρίσκεται εύκολα με τον **κανόνα του αριστερού χεριού** (σχ. 2.2β), που λέει ότι: **όταν ο δείκτης του αριστερού χεριού δείχνει την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών (από το βόρειο πόλο προς το νότιο) και ο**



Σχ. 2.2α.

Δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό.



Σχ. 2.2β.

Κανόνας αριστερού χεριού.

μέσος δάκτυλος δείχνει τη φορά ροής του ρεύματος στον αγωγό, τότε ο αντίχειρας προσανατολισμένος κάθετα προς τα δυο άλλα δάκτυλα δείχνει την κατεύθυνση της δύναμης.

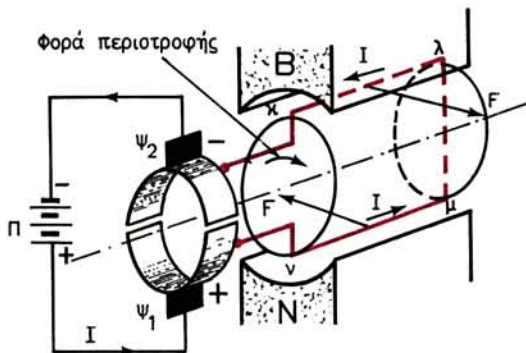
Αν αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό η κατεύθυνση της δύναμης αντιστρέφεται. Η κατεύθυνση αντιστρέφεται επίσης αν αλλάξει η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή η κατεύθυνση της μαγνητικής επαγωγής. Αν αλλάξουν όμως και τα δυο, δηλαδή και η φορά του ρεύματος και η πολικότητα του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

2.2.2 Ροπή ασκούμενη σε ρευματοφόρα σπείρα (στοιχειώδης κινητήρας).

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε μόνο με την αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Την αρχή λειτουργίας των διαφόρων τύπων κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος θα εξετάσουμε στα αντίστοιχα κεφάλαια του βιβλίου αυτού.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι όμοιοι κατασκευαστικά με τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, παίρνομε την απλή μηχανή του σχήματος 2.1η και τη βάζομε να εργασθεί σαν κινητήρας. Δηλαδή την τροφοδοτούμε με ηλεκτρική ενέργεια από μια πηγή συνεχούς ρεύματος Π, για να μας δώσει μηχανική (κινητική) ενέργεια στον άξονά της. Ας δούμε πώς θα συμβεί αυτό.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2γ, μέσω των ψηκτρών και του συλλέκτη η πηγή Π διοχετεύει συνεχές ρεύμα εντάσεως I στη σπείρα των δυο αγωγών κ-λ και ν-μ. Οι αγωγοί όμως βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Σύμφωνα με αυτά που είπαμε στο προηγούμενο εδάφιο θα ασκηθεί σε κάθε ένα αγωγό μια δύναμη F , όπως τη δείχνει το σχήμα, δηλαδή που θα έχει διεύθυνση κατά την εφαπτομένη στο τύμπανο. Οι δυνάμεις αυτές αποτελούν ένα **ζεύγος δυνάμεων** που ασκεί **ροπή** στο επαγωγικό τύμπανο. Αποτέλεσμα της ροπής αυτής είναι να στραφεί το τύμπανο περί τον άξονά του κατά τη φορά που δείχνει το τόξο. Είναι εύκολο να δει κανείς ότι οποιαδήποτε θέση και αν έχει η σπείρα των δυο αγωγών κατά την περι-



Σχ. 2.2γ.

Στοιχειώδης κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

στροφή του τυμπάνου, η φορά της ροπής των δυνάμεων που ασκούνται στους αγωγούς είναι πάντοτε η ίδια.

Η ροπή τ που ασκεί το ζεύγος αυτό των δυνάμεων στο επαγωγικό τύμπανο δεν είναι σταθερή. Το μέτρο της κάθε στιγμή δίνεται από τη σχέση:

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

όπου: F είναι η δύναμη σε N που ασκείται σε κάθε αγωγό της σπείρας τη θεωρούμενη στιγμή και

r η ακτίνα σε m του επαγωγικού τυμπάνου.

Αν λάβομε υπόψη όσα είπαμε στο προηγούμενο εδάφιο για το μέγεθος της F έχουμε:

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

όπου: B είναι η μαγνητική επαγωγή σε Vs/m^2 στο σημείο του διάκενου που βρίσκεται η σπείρα τη θεωρούμενη στιγμή,

I η ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει σε A,

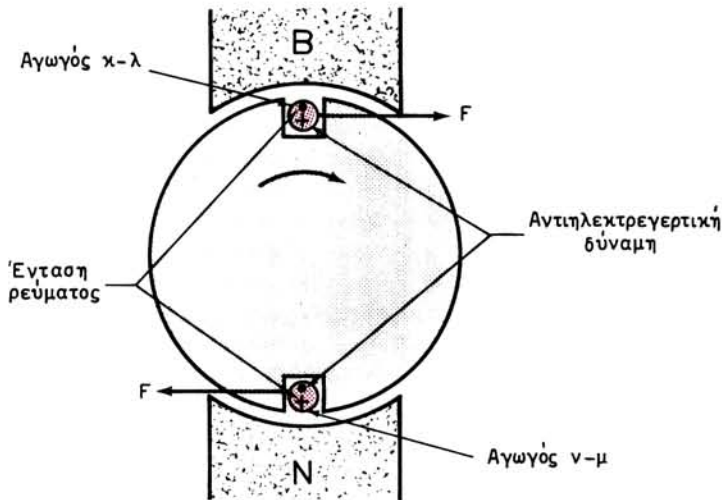
l και r το μήκος και η ακτίνα σε m του επαγωγικού τυμπάνου.

Αυτό που συμβαίνει με τη μια σπείρα στη στοιχειώδη μηχανή του σχήματος 2.2γ συμβαίνει στους πραγματικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος με όλες τις σπείρες, που, όπως είπαμε και στις 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.

Από όσα αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο 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. Αν τα αλλάξουμε και τα δύο, η φορά περιστροφής του κινητήρα δεν αλλάζει.

2.3 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη.

Όπως είδαμε, όταν στους αγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου ενός κινητήρα



Σχ. 2.3.
Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα.

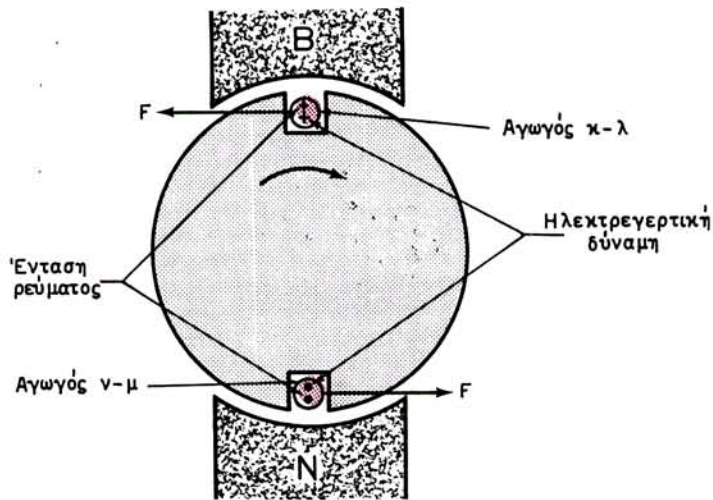
περάσει συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το τύμπανο θα αρχίσει να περιστρέφεται. Ξέρουμε όμως, από όσα αναφέραμε στο εδάφιο 2.1.1, ότι στους κινούμενους μέσα στο μαγνητικό πεδίο αγωγούς δημιουργούνται ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις από επαγωγή. Αυτό συμβαίνει και στους αγωγούς του περιστρεφόμενου επαγωγικού τυμπάνου των κινητήρων.

Στο σχήμα 2.3 φαίνονται, σε τομή κάθετη προς τον άξονα, οι δυο αγωγοί της σπείρας του απλού κινητήρα του σχήματος 2.2γ. Έχει επίσης σημειωθεί με τα γνωστά σύμβολα (+ για κατεύθυνση από εμπρός προς τα πίσω και • για αντίθετη κατεύθυνση), η φορά που έχει η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τους διαρρέει. Για τη σημειούμενη φορά περιστροφής (που δημιουργούν οι δυνάμεις F) έχουμε ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων, των οποίων η φορά τους είναι αυτή που σημειώνεται επίσης στο σχήμα 2.3.

Παρατηρούμε ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στην περιστρεφόμενη σπείρα του κινητήρα έχει φορά αντίθετη από τη φορά που έχει η ένταση του ρεύματος που κυκλοφορεί μέσα σε αυτή. Δηλαδή η τάση της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα πρέπει να υπερνικήσει αυτή την αντίθετη ηλεκτρεγερτική δύναμη για να μπορέσει να κυκλοφορήσει το ρεύμα στους αγωγούς. Αυτός είναι ο λόγος που την ονομάζουμε **αντιηλεκτρεγερτική δύναμη** του κινητήρα.

2.4 Δυνάμεις πεδήσεως στις γεννήτριες.

Στην προηγούμενη παράγραφο διαπιστώσαμε ότι στους ηλεκτρικούς κινητήρες, όταν λειτουργούν, αναπτύσσεται και το φαινόμενο γεννήτριας. Με τη βοήθεια του σχήματος 2.4 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αληθεύει και το αντίστροφο. Δηλαδή ότι και στις γεννήτριες, όταν λειτουργούν τροφοδοτώντας ένα φορτίο, εμφανίζεται το φαινόμενο κινητήρα.



Σχ. 2.4.

Δυνάμεις πεδύσεως σε γεννήτρια.

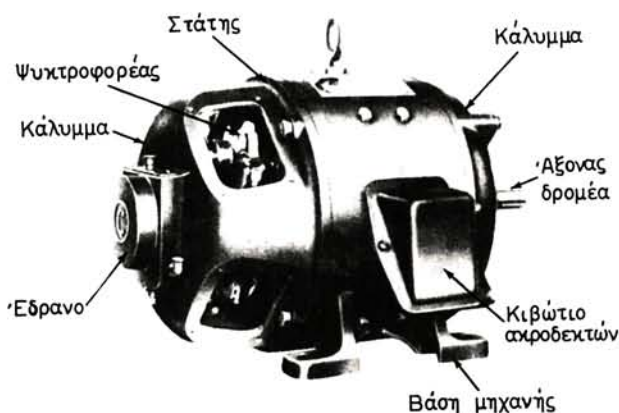
Το σχήμα 2.4 παριστάνει τη στοιχειώδη γεννήτρια του σχ. 2.1η σε τομή κάθετη προς τον άξονα. Στους αγωγούς κ-λ και μ-ν έχει σημειωθεί η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της γεννήτριας τη στιγμή που παριστάνει το σχήμα. Αν στη γεννήτρια είναι συνδεδεμένο ένα εξωτερικό φορτίο, μέσα από τους αγωγούς θα περάσει μία ένταση ρεύματος που θα έχει την ίδια φορά με την ηλεκτρεγερτική δύναμη. Έχομε λοιπόν και εδώ ρευματοφόρους αγωγούς που βρίσκονται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και συνεπώς θα έχομε ανάπτυξη δυνάμεων F , όπως έχουν σημειωθεί στο σχήμα.

Παρατηρούμε ότι οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν μια 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.

2.5 Κατασκευή των μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Όπως αναφέραμε και στο εδάφιο 2.2.2, οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος από την άποψη της κατασκευής τους είναι μηχανές όμοιες με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Έτσι, στα επόμενα περιγράφοντας την κατασκευή δεν θα κάνομε διάκριση αν πρόκειται για γεννήτρια ή κινητήρα.

Κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος (σχ. 2.5α) αποτελείται από το ακίνητο μέρος και το περιστρεφόμενο μέρος που ονομάζεται και **δρομέας**. Το ακίνητο μέρος της μηχανής αποτελείται από το κεντρικό τμήμα, τον **στάτη** και τα δύο **καλύμματα**, που προφυλάγουν το εσωτερικό της μηχανής και στηρίζουν τα **έδρανα**, μέσα στα οποία περιστρέφεται ο άξονας του δρομέα. Στο εξωτερικό μέρος του στάτη είναι στερεωμένο το κιβώτιο των **ακροδεκτών**, με τους οποίους η μηχανή συνδέεται με το δίκτυο που τροφοδοτεί (αν είναι γεννήτρια) ή με το δίκτυο που την τροφοδοτεί με ηλεκτρικό ρεύμα (αν είναι κινητήρας).



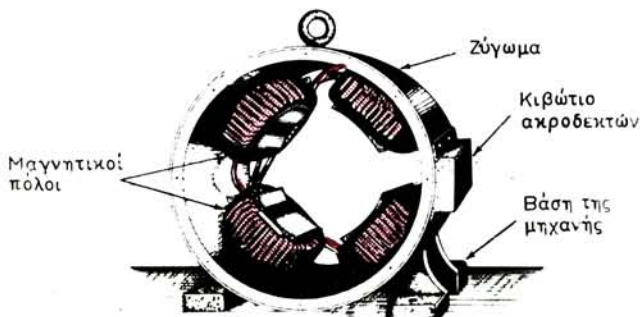
Σχ. 2.5α.

Μηχανή συνεχούς ρεύματος.

Ο στάτης στις μηχανές συνεχούς ρεύματος (σχ. 2.5β) αποτελείται από το **ζύγωμα** και τους **μαγνητικούς πόλους**, που είναι στερεωμένοι στο εσωτερικό του μέρους, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στο κάτω μέρος το ζύγωμα είναι διαμορφωμένο σε **βάση** της μηχανής.

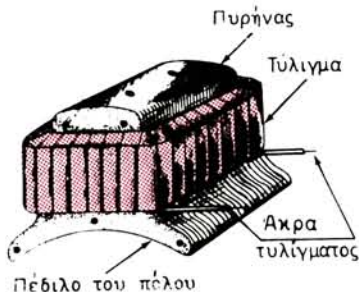
Κάθε μαγνητικός πόλος αποτελείται από τον **πυρήνα** και το **τύλιγμα** (σχ. 2.5γ). Ο πυρήνας, που κατασκευάζεται συνήθως από πολλά λεπτά ειδικά σιδερένια ελάσματα (μαγνητικά ελάσματα), έχει διαμορφωθεί στο ένα του άκρο σε **πέδιλο του πόλου**, όπως φαίνεται στο σχήμα, για την καλύτερη κατανομή του μαγνητικού πεδίου. Το τύλιγμα κάθε πόλου αποτελείται από πολλές σπείρες από μονωμένο χαλκινό σύρμα, που όλες μαζί, για καλύτερη μόνωση προς τον πυρήνα, είναι τυλιγμένες με βαμβακερή ταινία βαπτισμένη σε βερνίκι. Τα άκρα του τυλίγματος μένουν ελεύθερα γιατί, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο μέσα από αυτά διοχετεύεται το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο. Σε πολλές μηχανές συνεχούς ρεύματος σε κάθε πόλο έχουμε δυο τυλίγματα, το ένα ανεξάρτητο από το άλλο. Το ένα ονομάζεται **τύλιγμα σειράς** και το άλλο **παράλληλο τύλιγμα**. Αυτά είναι τα λεγόμενα **σύνθετα** τυλίγματα.

Ανάλογα με τον αριθμό των πόλων που έχει μια μηχανή, ονομάζεται **διπολική**,



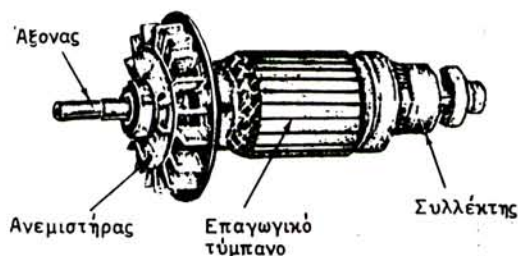
Σχ. 2.5β.

Στάτης.



Σχ. 2.5γ.

Μαγνητικός πόλος.



Σχ. 2.5δ.
Δρομέας.



Σχ. 2.5ε.
Πυρήνας από επαγωγικό τύμπανο.

τετραπολική, εξαπολική κ.τ.λ. Οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν πάντα άρτιο αριθμό μαγνητικών πόλων.

Ο δρομέας μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από το **επαγωγικό τύμπανο** και το **συλλέκτη** που είναι στερεωμένα επάνω στον **άξονα** (σχ. 2.5δ). Επάνω στον άξονα είναι στερεωμένος και ο **ανεμιστήρας**, που χρησιμεύει για να σπρώχνει τον αέρα που ψύχει τη μηχανή.

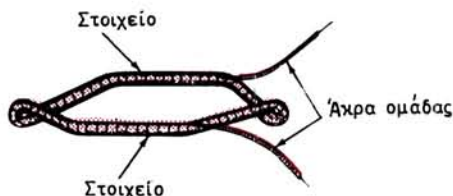
Το επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τον **πυρήνα** και το **τύλιγμα**. Ο πυρήνας (σχ. 2.5ε) κατασκευάζεται από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα κομμένα όπως δείχνει το σχήμα 2.5στ. Οι **οδοντώσεις**, που έχουν τα ελάσματα στην περιφέρειά τους, σχηματίζουν τα **αυλάκια** του πυρήνα μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα.

Το τύλιγμα αποτελείται από ένα ορισμένο αριθμό **ομάδων** (σχ. 2.5ζ). Κάθε ομάδα κατασκευάζεται από πολλές σπείρες μονωμένου χάλκινου σύρματος, οι οποίες αφού τυλιχθούν με βαμβακερή ταινία, διαμορφώνονται όπως δείχνει το σχήμα. Τα δυο **άκρα** του σύρματος από το οποίο έχει κατασκευασθεί η ομάδα μένουν ελεύθερα για να συνδεθούν σε δυο τομείς του συλλέκτη (σχ. 2.5η). Κάθε ένα από τα δυο **στοιχεία** που έχει η ομάδα τοποθετείται σε διαφορετικό αυλάκι του πυρήνα και κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε κάθε αυλάκι να υπάρχουν δυο στοιχεία από δυο διαφορετικές ομάδες, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5η. Έτσι, έχουμε ένα **τύλιγμα σε δυο στρώσεις**.

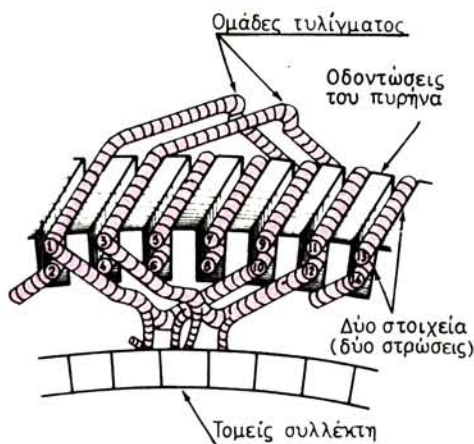
Ο συλλέκτης είναι κατασκευασμένος από πολλά χάλκινα ελάσματα, τους **τομείς του συλλέκτη**, διαμορφωμένα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5θ, το οποίο δείχνει ένα συλλέκτη σε τομή. Οι τομείς στερεώνονται ανάμεσα σε δυο σιδερένια δακτυλίδια, όπως δείχνει το σχήμα, ώστε να σχηματίζουν την κυλινδρική επιφάνεια του συλλέκτη. Κάθε τομέας μονώνεται με μίκα από τους διπλανούς του και από το σώμα



Σχ. 2.5στ.
Έλασμα πυρήνα.

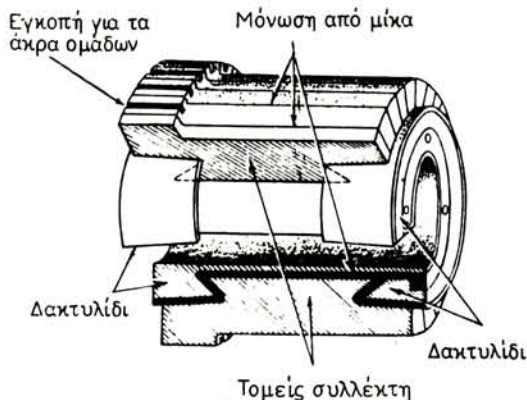


Σχ. 2.5ζ.
Ομάδα τυλίγματος.



Σχ. 2.5η.

Τοποθέτηση των ομάδων στις οδοντώσεις.



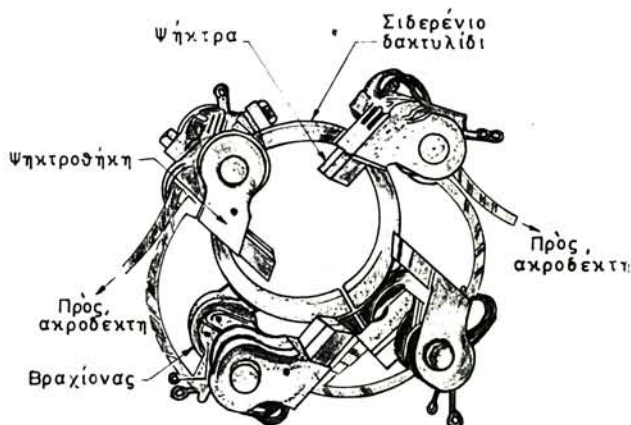
Σχ. 2.5θ.

Συλλέκτης.

της μηχανής. Στις εγκοπές που φέρουν οι τομείς συγκολλούνται τα άκρα των ομάδων από το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

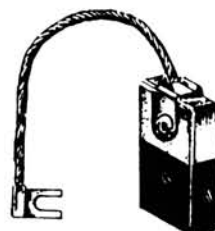
Ένα άλλο εξάρτημα των μηχανών συνεχούς ρεύματος, που στερεώνεται στο ακίνητο μέρος τους προς την πλευρά του συλλέκτη, είναι ο **ψηκτροφορέας** (σχ. 2.5ι). Ο ψηκτροφορέας αποτελείται από ένα σιδερένιο δακτυλίδι με βραχίονες, που είναι στερεωμένοι σε αυτό κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ηλεκτρικά μονωμένοι από το δακτυλίδι.

Στους βραχίονες στερεώνονται οι **ψηκτροθήκες**, μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι **ψήκτρες**. Οι ψήκτρες χρησιμεύουν για να παίρνουν το ηλεκτρικό ρεύμα από το συλλέκτη και να το διοχετεύουν μέσω αγωγών στους ακροδέκτες της μηχανής ή αντίστροφα από τους ακροδέκτες να το διοχετεύουν στους τομείς του συλλέκτη.



Σχ. 2.5ι.

Ψηκτροφορέας.



Σχ. 2.5ια.

Ψήκτρα.

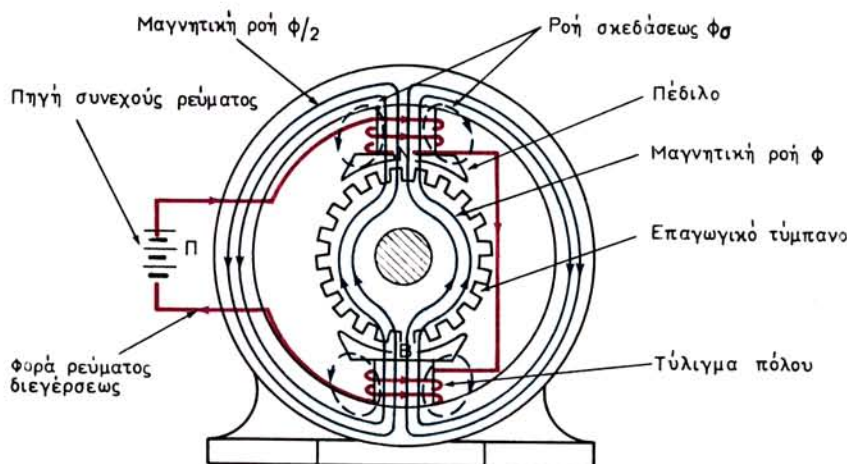
Γι' αυτό το λόγο οι ψήκτρες πιέζονται επάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη με μικρά ελατήρια, σαν αυτά που φαίνονται στο σχήμα. Τα ελατήρια στις μεγαλύτερες μηχανές είναι ρυθμιζόμενα, ώστε η πίεση που ασκεί η ψήκτρα επάνω στο συλλέκτη να μην είναι πολύ μεγάλη, γιατί τότε θα φθαρεί γρήγορα η ψήκτρα, αλλά ούτε και πολύ μικρή, γιατί τότε δεν θα έχουμε καλή επαφή μεταξύ συλλέκτη και ψήκτρας.

Οι ψήκτρες (σχ. 2.5ια) είναι κατασκευασμένες από σκληρό άνθρακα ή από γραφίτη (φυσικό άνθρακα) ή από μίγμα άνθρακα και χαλκού (μεταλλικές ψήκτρες). Στο ένα άκρο της ψήκτρας στερεώνεται ένα ευλύγιστο χάλκινο σύρμα, όπως φαίνεται στο σχήμα, που χρησιμεύει για να οδηγεί το ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό που τη συνδέει όπως είπαμε με ένα από τους ακροδέκτες της μηχανής.

2.6 Διέγερση των μηχανών συνεχούς ρεύματος.

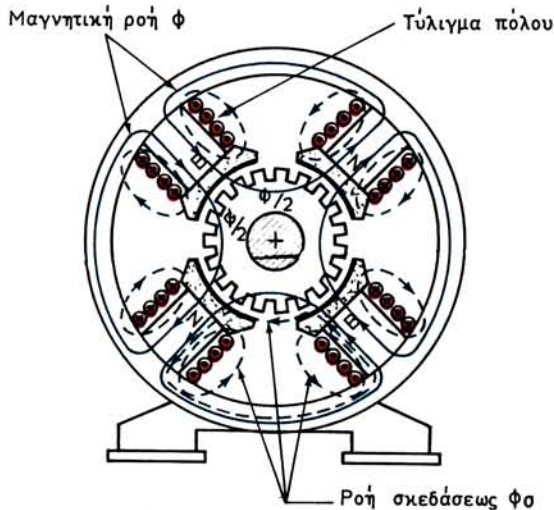
Μόνο στις πολύ μικρές μηχανές συνεχούς ρεύματος, το μαγνητικό πεδίο, μέσα στο οποίο περιστρέφεται το επαγωγικό τύμπανο, δημιουργείται από μόνιμο μαγνήτη σαν αυτόν του σχήματος 2.1γ. Σε όλες τις άλλες μηχανές συνεχούς ρεύματος, το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τους μαγνητικούς πόλους (σχ. 2.5β και σχ. 2.5γ), τα τυλίγματα των οποίων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα, δηλαδή από ηλεκτρομαγνήτες.

Στο σχήμα 2.6α παριστάνεται μια διπολική μηχανή της οποίας τα δυο τυλίγματα των πόλων έχουν συνδεθεί σε σειρά και τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από την πηγή Π. Δημιουργείται έτσι, ένα μαγνητικό πεδίο του οποίου οι μαγνητικές γραμμές ακολουθούν τη διαδρομή που φαίνεται στο σχήμα (μπλε γραμμές). Με το γνωστό από την Ηλεκτροτεχνία **κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία** προσδιορίζουμε την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών. Στην περίπτωση της μηχανής του σχήματος ο κάτω πόλος θα είναι βόρειος και ο επάνω νότιος. Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος που δίνει η πηγή, η πολικότητα των μαγνητικών πόλων αλλάζει.



Σχ. 2.6α.

Διέγερση διπολικής μηχανής.



Σχ. 2.6β.

Διέγερση τετραπολικής μηχανής.

Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου από το ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται **διέγερση** της μηχανής. Το σύνολο των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων ονομάζεται **τύλιγμα διεγέρσεως** και το ηλεκτρικό ρεύμα που περνά μέσα από αυτό το λέμε **ρεύμα διεγέρσεως** της μηχανής.

Από όλη τη μαγνητική ροή που διαρρέει ένα μαγνητικό πόλο, **χρήσιμη** είναι η ροή εκείνη Φ που περνά το διάκενο, το επαγωγικό τύμπανο, το άλλο διάκενο, τον άλλο πόλο και τελικά επιστρέφει μέσα από το ζύγωμα. Η ροή αυτή είναι που δημιουργεί την ηλεκτρεγερτική δύναμη στις γεννήτριες ή τις δυνάμεις στους κινητήρες. Ένα μικρό μέρος της μαγνητικής ροής κάθε πόλου, που ονομάζεται **ροή σκεδάσεως**, Φ_{σ} , δεν ακολουθεί την παραπάνω διαδρομή αλλά ευκολότερους δρόμους όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6α.

Το σχήμα 2.6β δείχνει τη διέγερση μιας τετραπολικής μηχανής συνεχούς ρεύματος. Στο σχήμα αυτό τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων παριστάνονται σε τομή. Όπως παρατηρούμε, το ρεύμα διεγέρσεως μέσα στα τυλίγματα έχει τέτοια φορά ώστε οι πόλοι που δημιουργούνται να είναι διαδοχικά: βόρειος, νότιος, βόρειος νότιος. Αυτό ισχύει και για μηχανές με περισσότερους από τέσσερις πόλους. Η μαγνητική ροή που βγαίνει από ένα πόλο διαμοιράζεται έτσι, στους δύο ετερώνυμους γειτονικούς της.

2.7 Τυλίγματα μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Η στοιχειώδης γεννήτρια του εδαφίου 2.1.4 με τη μια σπείρα από δυο αγωγούς στο επαγωγικό τύμπανο, παράγει πολύ μικρή ηλεκτρεγερτική δύναμη. Επίσης το ρεύμα που είναι δυνατό να μας δώσει έχει σημαντική κυμάτωση. Στις πραγματικές μηχανές συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου αποτελείται από πολλές ομάδες (σχ. 2.5ζ), που κάθε μια έχει πολλές σπείρες. Οι ομάδες αυτές

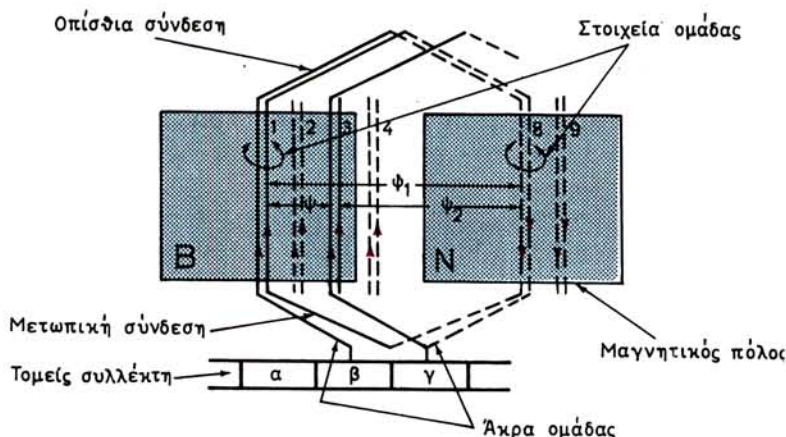
είναι ομοιόμορφα διανεμημένες σε όλη την κυλινδρική επιφάνεια του επαγωγικού τυμπάνου και τα στοιχεία τους είναι τοποθετημένα στα αυλάκια των οδοντώσεων του (σχ. 2.5η). Έτσι, έχουμε γεννήτριες που δίνουν σημαντική ηλεκτρεγερτική δύναμη και ρεύμα σχεδόν χωρίς κυμάτωση και κινητήρες που αναπτύσσουν σημαντική και σταθερή ροπή περιστροφής.

Ανάλογα με τον τρόπο που τα άκρα των ομάδων συνδέονται στους τομείς του συλλέκτη, τα τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος τα διακρίνουμε σε **βροχο-τυλίγματα** και **κυματοτυλίγματα**.

α) Βροχοτυλίγματα.

Στα βροχοτυλίγματα τα άκρα κάθε ομάδας συνδέονται σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7α, που δείχνει μια ομάδα (1-8) αποτελούμενη από δυο σπείρες, δηλαδή ανήκει σε ένα τυλίγμα που έχει δυο αγωγούς σε κάθε στοιχείο. Μερικά από τα στοιχεία αυτού του τυλίγματος φαίνονται επίσης στο σχήμα, αριθμημένα 1, 2, 3, 4...8, 9... και ομοιόμορφα διανεμημένα επάνω στο **ανάπτυγμα σε επίπεδη επιφάνεια** της κυλινδρικής επιφάνειας του επαγωγικού τυμπάνου. Στο ανάπτυγμα αυτό έχουν σημειωθεί και οι θέσεις που έχουν κάποια χρονική στιγμή δυο διαδοχικοί (ένας βόρειος και ένας νότιος) μαγνητικοί πόλοι της μηχανής. Επίσης στο σχήμα έχει σημειωθεί και το ανάπτυγμα του συλλέκτη.

Οι ομάδες διαμορφώνονται έτσι, ώστε η απόσταση μεταξύ των δύο στοιχείων τους να είναι ίση περίπου με την απόσταση των αξόνων δύο γειτονικών πόλων, που ονομάζεται μάλιστα **πολικό βήμα**. Η απόσταση αυτή μεταξύ των δύο στοιχείων της ομάδας μετριέται σε αριθμό στοιχείων και λέγεται **πρώτο μερικό βήμα** ψ_1 του τυλίγματος. Στο παράδειγμα αυτό είναι $\psi_1 = 8 - 1 = 7$ στοιχεία. Το ψ_1 είναι περίπου ίσο με το πολικό βήμα (που μετριέται επίσης σε αριθμό στοιχείων). Έτσι, όταν το πρώτο στοιχείο μιας ομάδας βρίσκεται κάτω από τον άξονα ενός βόρειου πόλου, όπως στο σχήμα 2.7α το στοιχείο 1, το δεύτερο στοιχείο της, δηλαδή το στοιχείο 8, θα βρίσκεται περίπου κάτω από τον άξονα του γειτονικού νότιου πό-



Σχ. 2.7α.
Ομάδα από βροχοτύλιγμα.

λου. Με τη διάταξη αυτή οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούνται από επαγωγή στους αγωγούς των δυο στοιχείων κάθε ομάδας προστίθενται, όπως φαίνεται και στο σχήμα, στο οποίο τα κόκκινα βέλη δείχνουν τη φορά των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων.

Το τμήμα κάθε ομάδας που συνδέει τα δυο στοιχεία της μεταξύ τους προς την πλευρά του συλλέκτη ονομάζεται **μετωπική σύνδεση**, ενώ εκείνο που είναι στην αντίθετη πλευρά **οπίσθια σύνδεση**.

Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 2.5 τα τυλίγματα συνεχούς ρεύματος τοποθετούνται συνήθως **σε δυο στρώσεις** στα αυλάκια των οδοντώσεων. Από τα δυο στοιχεία της ομάδας του σχήματος 2.7α, το στοιχείο 1 θα είναι στην επάνω στρώση (βλέπε και σχήμα 2.5η) και το στοιχείο 8 στην κάτω στρώση. Τα στοιχεία που βρίσκονται στην κάτω στρώση τα παριστάνουμε στο σχέδιο με διακοπτόμενη γραμμή.

Όπως είπαμε, στα βροχοτυλίγματα τα άκρα κάθε ομάδας συνδέονται σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη. Στο σχήμα 2.7α, 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

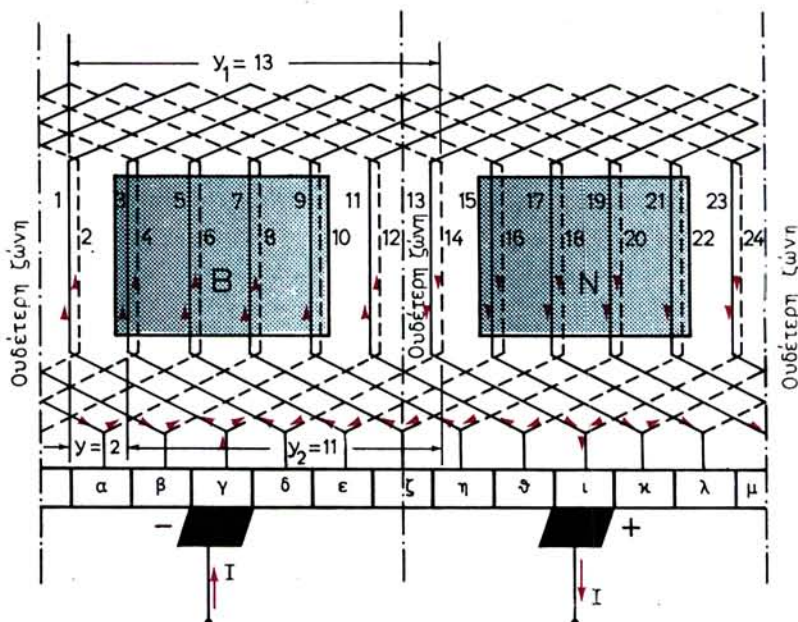
Τό ψ_2 μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το ψ_1 ποτέ όμως ίσο με αυτό. Το ψ μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός αριθμός. Τα ψ_1 και ψ_2 είναι πάντα περιττοι αριθμοί και το ψ άρτιος. Στα απλά βροχοτυλίγματα είναι παντοτε $\psi = 2$.

Ο αριθμός των τομεων του συλλεκτη είναι ίσος προς τον αριθμό των ομάδων του τυλίγματος. Ο αριθμός των τομεων του συλλεκτη που μεσολαβουν μεταξύ του τομεα στον οποίο είναι συνδεδεμένη η αρχη μιας ομάδας και του τομεα στον οποίο είναι συνδεδεμένο το τέλος της ονομάζεται **βήμα του συλλεκτη** ψ_σ . Στα απλά βροχοτυλίγματα που εξετάζουμε εδώ είναι $\psi_\sigma = 1$.

Σαν παράδειγμα απλού βροχοτυλίγματος δίνουμε στο σχήμα 2.7β το τύλιγμα διπολικής μηχανής με 12 οδοντώσεις και 24 στοιχεία. Κάθε στοιχείο έχει ένα αγωγό, δηλαδή οι ομάδες αποτελούνται από μια σπείρα μόνο. Στο τυλίγμα αυτό είναι:

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

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



Σχ. 2.7β.

Βροχοτύλιγμα διπολικής μηχανής.

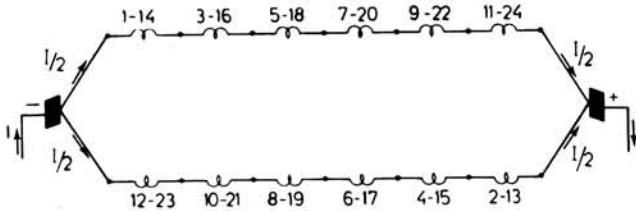
όπου: s είναι ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος και
 p ο αριθμός των ζευγών των πόλων.

Στο παραπάνω σχήμα έχουν σχεδιασθεί το ένα κοντά στο άλλο, ανά δύο τα στοιχεία που μπαίνουν στο ίδιο αυλάκι του τυμπάνου, όπως το 1 με το 2, το 3 με το 4 κλπ.

Στο σχήμα 2.7β έχουν τοποθετηθεί και οι ψήκτρες, που στην περίπτωση αυτή είναι δύο, δηλαδή όσος και ο αριθμός των πόλων. Αυτός είναι γενικός κανόνας **στα βροχοτύλιγματα, ο αριθμός των ψηκτρών είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων.**

Οι ψήκτρες 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 αγωγούς. Η άλλη είναι αρνητική.

Στην πραγματικότητα το τύλιγμα και ο συλλέκτης περιστρέφονται, ενώ οι πόλοι και οι ψήκτρες μένουν ακίνητοι. Κατά την περιστροφή του δρομέα κάθε ψήκτρα βραχυκυκλώνει διαδοχικά ομάδες του τυλίγματος. Η ομάδα που βραχυκυκλώνεται κάποια στιγμή είναι εκείνη που τα άκρα της καταλήγουν σε δυο γειτονικούς τομείς του συλλέκτη στους οποίους εφάπτεται η ψήκτρα. Όταν, όπως αναφέραμε, οι ψήκτρες είναι τοποθετημένες στους άξονες των πόλων είναι πολύ εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι βραχυκυκλώνουν ομάδες που τα στοιχεία τους βρίσκονται πολύ κοντά στις ουδέτερες ζώνες, όπου οι αναπτυσσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις είναι μηδενικές ή πολύ μικρές. Αυτός είναι ο λόγος που πολλές φορές λέμε ότι οι



Σχ. 2.7γ.

Παράλληλοι κλάδοι βροχοτυλίσματος.

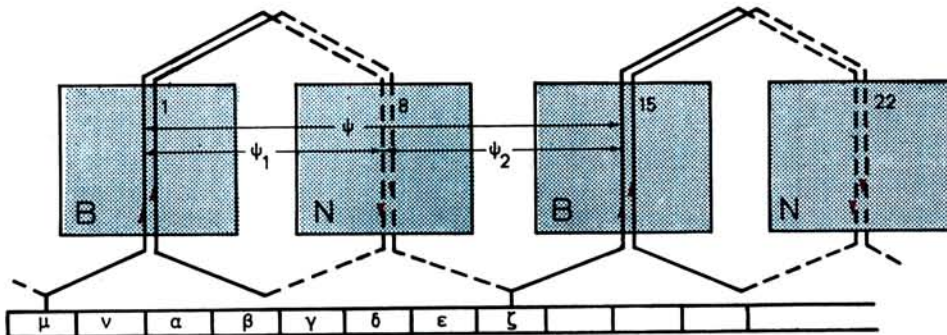
ψήκτρες είναι στην ουδέτερη ζώνη ενώ στην πραγματικότητα βρίσκονται τοποθετημένες στους άξονες των πόλων.

Αν σχεδιάσουμε τις ομάδες του τυλίσματος του σχήματος 2.7β, όπως είναι συνδεδεμένες σε σειρά μεταξύ των ψηκτρών, θα δούμε ότι όλο το τύλιγμα της μηχανής αποτελείται από δυο **παράλληλους κλάδους**, όπως φαίνεται στο σχ. 2.7γ. **Στα απλά βροχοτυλίγματα ο αριθμός των παραλλήλων κλάδων είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων της μηχανής.** Παράδειγμα: Μια οκταπολική μηχανή με βροχοτύλιγμα θα έχει οκτώ παράλληλους κλάδους.

β) Κυματοτυλίγματα.

Στα τυλίγματα αυτά, τα άκρα των ομάδων δεν συνδέονται σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη (όπως στα βροχοτυλίγματα) αλλά σε τομείς που απέχουν πολύ μεταξύ τους. Το σχήμα 2.4δ δίνει ένα παράδειγμα ομάδων που ανήκουν σε κυματοτύλιγμα. Τα άκρα της ομάδας 1-8 συνδέονται στους τομείς μ και ζ που απέχουν μεταξύ τους επτά τομείς του συλλέκτη. Στον τομέα ζ συνδέεται και η αρχή της επόμενης ομάδας 15-22, όπως και στα βροχοτυλίγματα.

Στα κυματοτυλίγματα το βήμα του τυλίσματος ψ είναι ίσο με το άθροισμα των μερικών βημάτων ψ_1 και ψ_2 :



Σχ. 2.7δ.

Ομάδες από κυματοτύλιγμα.

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

και δίνεται από τον τύπο:

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

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

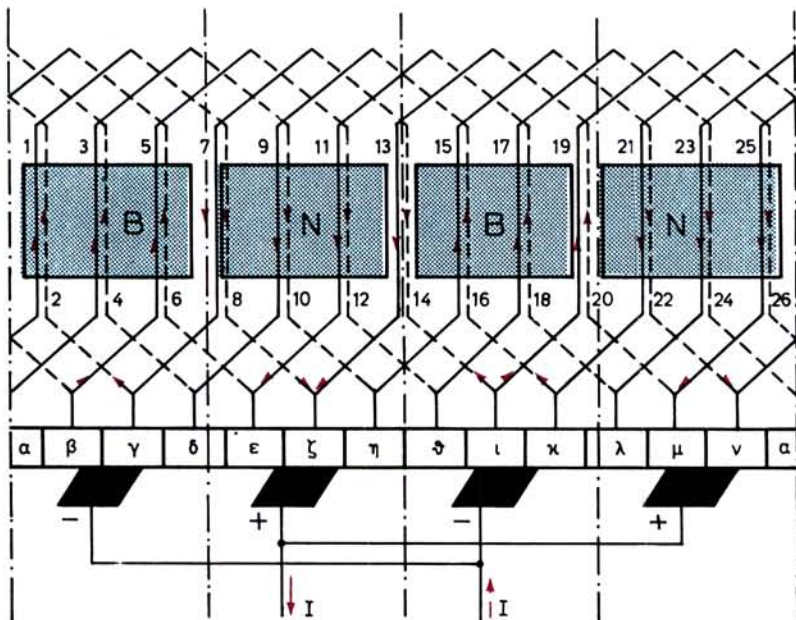
Στα κυματοτυλίγματα τα μερικά βήματα μπορεί να είναι και ίσα μεταξύ τους, πράγμα που αποκλείεται στα βροχοτυλίγματα. Τα ψ_1 και ψ_2 είναι και εδώ περιττοί αριθμοί, ενώ το ψ είναι πάντοτε άρτιος. Για το βήμα του συλλέκτη είναι πάντοτε $\psi_\sigma = \psi/2$.

Στο σχήμα 2.7ε είναι σχεδιασμένο ένα απλό κυματοτύλιγμα τετραπολικής μηχανής με 13 οδοντώσεις στο τύμπανο. Το τύλιγμα έχει 26 στοιχεία, με ένα αγωγό σε κάθε στοιχείο. Στο τύλιγμα αυτό έχουμε:

$$\text{πολικό βήμα} = \frac{s}{2 \cdot p} = \frac{26}{2 \times 2} = 6 \left[\frac{1}{2} \text{ στοιχεία} \right]$$

$$\text{βήμα τυλίγματος } \psi = \frac{s \pm 2}{p} = \frac{26 \pm 2}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ στοιχεία}$$

$$\text{μερικά βήματα } \psi_1 = 7, \psi_2 = 5 \text{ στοιχεία}$$



Σχ. 2.7ε.

Κυματοτύλιγμα τετραπολικής μηχανής.

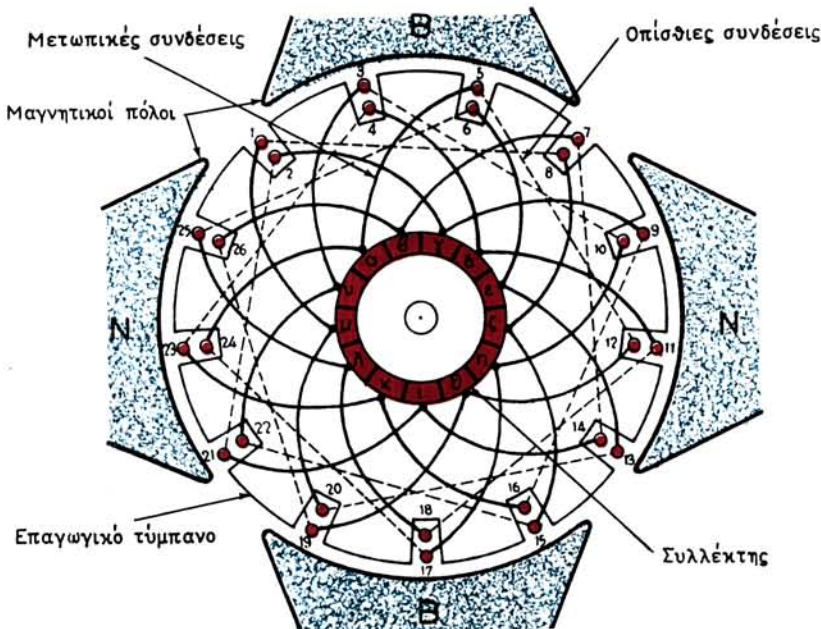
$$\text{βήμα συλλέκτη } \psi_{\sigma} = \frac{\psi}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ τομείς συλλέκτη}$$

Σε μια μηχανή με το κυματοτύλιγμα του σχήματος 2.7ε θα αρκούσαν για τη λειτουργία της δυο ψήκτρες που εφάπτονται στους τομείς ζ και ι του συλλέκτη. Αυτό ισχύει για κάθε μηχανή με κυματοτύλιγμα, γιατί **τα τυλίγματα αυτά έχουν πάντα δύο παράλληλους κλάδους**, ανεξάρτητα από τον αριθμό των πόλων που έχει η μηχανή. Συνήθως όμως τοποθετούνται και στις 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.

Το σχήμα 2.7στ δίνει ένα άλλο τρόπο σχεδιάσεως των τυλιγμάτων — με την **κυλινδρική τους μορφή** — και παριστάνει με τον τρόπο αυτό κυματοτύλιγμα με $\psi_1 = 7$, $\psi_2 = 7$ και $s = 26$ στοιχεία.

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

Δεν θα επεκταθούμε περισσότερο στο βιβλίο αυτό στα τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Αναφέρομε μονάχα, πως εκτός από τα απλά βροχοτυλίγματα και κυματοτυλίγματα που περιγράψαμε υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραλλαγών αυτών των τυλιγμάτων, που είναι ενδεχόμενο να τα συναντήσει κανείς στην πράξη.



Σχ. 2.7στ.
Κυματοτύλιγμα τετραπολικής μηχανής.

2.8 Ανακεφαλαίωση.

α) Όταν ένας αγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε να κόβει τις μαγνητικές γραμμές, δημιουργείται σ' αυτόν ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, που το μέγεθός της δίνεται από τη σχέση:

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

β) Η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Η φορά αλλάζει αν αλλάξει η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου ή αν αντιστραφεί η κατεύθυνση κινήσεως του αγωγού. Όταν αλλάξουν και τα δυο, η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως δεν αλλάζει.

γ) Η λειτουργία των γεννητριών στηρίζεται στην ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων μέσα στις σπείρες του τυλίγματος του επαγωγικού τους τυμπάνου, όταν αυτό περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι της μηχανής.

δ) Σε κάθε μια από τις σπείρες αυτές, δημιουργείται κατά την περιστροφή ηλεκτρεγερτική δύναμη, που το μέγεθός της κάθε στιγμή δίνεται από τη σχέση:

$$e = 2 \cdot B \cdot l \cdot u \quad \text{σε } V$$

ε) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται μέσα στη σπείρα είναι εναλλασσόμενη. Ένας κύκλος της συμπληρώνεται όταν το τύμπανο στραφεί (σε διπολική μηχανή) κατά 360° . Ο χρόνος που χρειάζεται για να συμπληρωθεί ένας κύκλος ονομάζεται περίοδος.

στ) Η εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργεί εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, όταν συνδέσουμε ένα εξωτερικό φορτίο μεταξύ των ψεκτρών της μηχανής που εφάπτονται στα δακτυλίδια. Είναι η περίπτωση γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος.

ζ) Στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, αντί δακτυλιδιών έχουμε συλλέκτη. Με τη βοήθειά του, η εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη των σπειρών δημιουργεί στο εξωτερικό φορτίο ανορθωμένο ηλεκτρικό ρεύμα (κυματόρευμα).

η) Για να αλλάξουμε την πολικότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος, θα πρέπει να αλλάξουμε ή την πολικότητα των μαγνητικών πόλων ή τη φορά περιστροφής της μηχανής.

θ) Όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε ασκείται σ' αυτόν από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον μετακινήσει. Το μέγεθος της δυνάμεως δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \eta_{\mu\alpha} \quad \text{σε } N$$

ι) Η κατεύθυνση της δυνάμεως δίνεται από τον κανόνα του αριστερού χεριού. Η κατεύθυνση αναστρέφεται αν αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό ή η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου. Όταν αλλάξουν και τα δυο, η κατεύθυνση της δυνάμεως μένει η ίδια.

ια) Η λειτουργία των κινητήρων συνεχούς ρεύματος στηρίζεται στην ανάπτυξη δυνάμεων στους αγωγούς του επαγωγικού τους τυμπάνου, όταν αυτοί διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι της μηχανής.

ιβ) Σε κάθε σπείρα του τυλίγματος οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή, που το μέγεθος της κάθε στιγμή δίνεται από τη σχέση:

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

ιγ) 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 τη φορά του ρεύματος μέσα στους αγωγούς.

ιδ) Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη των κινητήρων, που δημιουργείται κατά λειτουργία τους, οφείλεται στην κίνηση των αγωγών του τυλίγματος του επαγωγικού τους τυμπάνου μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων και έχει φορά αντίθετη από τη φορά της εντάσεως του ρεύματος που κυκλοφορεί μέσα σ' αυτούς.

ιε) Κατά τη λειτουργία των γεννητριών με φορτίο, αναπτύσσονται στους αγωγούς του τυμπάνου δυνάμεις, που οφείλονται στο ότι οι αγωγοί αυτοί διαρρέονται από ρεύμα και βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων. Οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή αντίθετη από τη φορά περιστροφής της γεννήτριας.

ιστ) Οι γεννήτριες και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι μηχανές όμοιες μεταξύ τους από την άποψη της κατασκευής. Τα κύρια μέρη τους είναι: α) ο στάτης, που έχει τους μαγνητικούς πόλους και το ζύγωμα, β) ο δρομέας με το επαγωγικό τύμπανο και το συλλέκτη και γ) ο ψηκτροφορέας που στηρίζεται στο ακίνητο μέρος της μηχανής.

ιζ) Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου στις μηχανές συνεχούς ρεύματος γίνεται από το ηλεκτρικό ρεύμα, που διαρρέει τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων και ονομάζεται **διέγερση της μηχανής**. Η μαγνητική ροή που διαρρέει τους πόλους διακρίνεται σε χρήσιμη Φ και σε ροή σκεδάσεως Φ_{σ} .

ιη) Η σύνδεση των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων στις ηλεκτρικές μηχανές γίνεται έτσι, ώστε οι πόλοι που δημιουργούνται να είναι διαδοχικά βόρειος, νότιος, βόρειος κλπ.

ιθ) Ανάλογα με τον τρόπο που τα άκρα των ομάδων του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου συνδέονται με τους τομείς του συλλέκτη, τα τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε βροχοτυλίγματα και κυματοτυλίγματα,

κ) Στα βροχοτυλίγματα, τα άκρα κάθε ομάδας συνδέονται σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη. Στα τυλίγματα αυτά είναι:

$$\psi = \psi_1 - \psi_2 \quad \text{και} \quad \text{πολικό βήμα} = \frac{s}{2 \cdot p}$$

κα) Στα κυματοτυλίγματα, τα άκρα κάθε ομάδας συνδέονται σε απομακρυσμένους τομείς του συλλέκτη. Σ' αυτά είναι:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad \text{και} \quad \psi = \frac{s \pm 2}{p}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

3.1 Λειτουργία γεννήτριας χωρίς φορτίο.

Στο εδάφιο 2.1.2 είδαμε ποια σχέση δίνει το μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως μιας σπείρας του επαγωγικού τυμπάνου για τη στοιχειώδη γεννήτρια που εξετάσαμε εκεί. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη E μιας πραγματικής γεννήτριας συνεχούς ρεύματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση, της οποίας παραλείπομε την απόδειξη:

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

όπου: Φ είναι η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου σε Vs,
 n η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα σε στρ/s,
 p ο αριθμός των ζευγών μαγνητικών πόλων της μηχανής,
 s ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος,
 w ο αριθμός των αγωγών σε κάθε στοιχείο και
 a ο αριθμός των ζευγών παραλλήλων κλάδων του τυλίγματος.

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να τη γράψουμε και ως εξής:

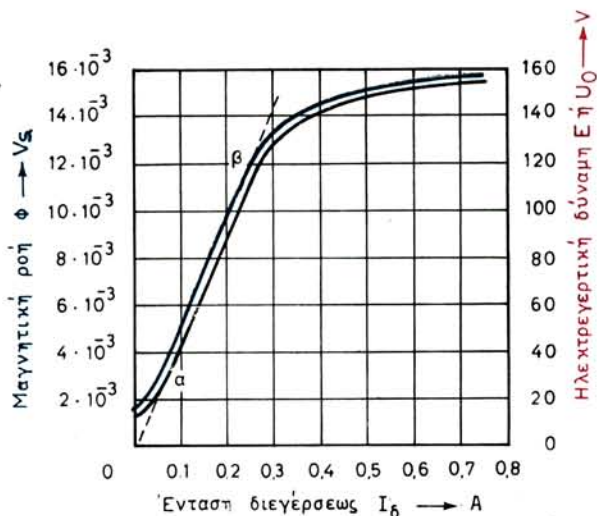
$$E = K \cdot \Phi \cdot n \quad \text{σε } V$$

όπου $K = p \cdot s \cdot w / a$ είναι ένα σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή,
 Φ είναι η μαγνητική ροή κάθε πόλου σε Vs και
 n η ταχύτητα περιστροφής σε στρ/s.

Η σχέση αυτή μας λέει ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας γεννήτριας είναι ανάλογη με τη μαγνητική ροή κάθε πόλου και με τον αριθμό στροφών ανά δευτερόλεπτο της μηχανής.

Σε μια ηλεκτρική μηχανή η μαγνητική ροή των πόλων παράγεται από τα **αμπερε-λίγματα διεγέρσεως**. Επειδή τα ελίγματα διεγέρσεως είναι σταθερά, συμπεραίνουμε ότι η μαγνητική ροή Φ εξαρτάται από την ένταση διεγέρσεως I_d . Η εξάρτηση αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.1α και δίνεται από μια καμπύλη που ονομάζεται **μαγνητική χαρακτηριστική**.

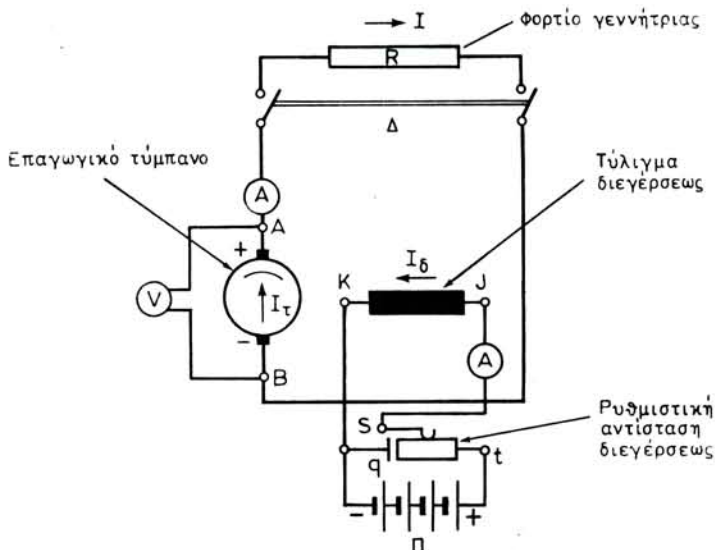
Όταν η ένταση διεγέρσεως είναι μηδενική, η μαγνητική ροή δεν μηδενίζεται. Αυτό οφείλεται στον **παραμένοντα μαγνητισμό** της μηχανής. Από το σημείο α μέχρι το σημείο β η καμπύλη είναι ευθεία. Από το σημείο β αρχίζει ο **κορεσμός του μαγνητικού κυκλώματος**. Είναι το γόνατο της καμπύλης και γύρω από αυτό εργάζονται οι μηχανές. Η ίδια καμπύλη του σχήματος 3.1α με την κλίμακα που είναι δεξιά παριστάνει και τη μεταβολή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της γεννήτριας, αφού όπως είπαμε τα μεγέθη Φ και E είναι ανάλογα, όταν η ταχύτητα περιστροφής είναι σταθερή.



Σχ. 3.1α.

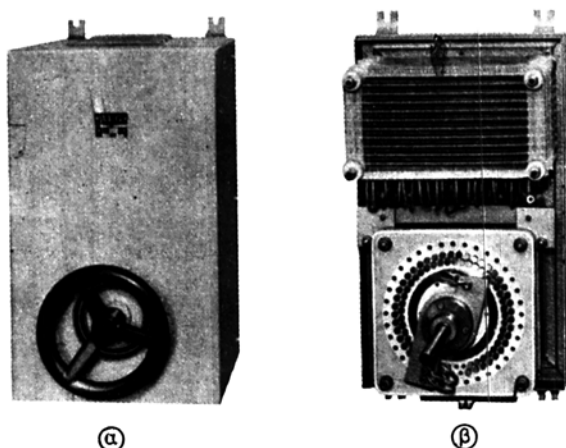
Μαγνητική και στατική χαρακτηριστική.

Την καμπύλη μεταβολής της E όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως I_d , που ονομάζεται και **στατική χαρακτηριστική** της γεννήτριας, μπορούμε να τη χαράξουμε μετρώντας την τάση χωρίς φορτίο U_0 της γεννήτριας για τις διάφορες τιμές της εντάσεως διεγέρσεως I_d (σχ. 3.1β). Η τάση χωρίς φορτίο της γεννήτριας (τάση εν κενώ), δηλαδή η τάση που μετράμε μεταξύ των ψηκτρών της A και B με ένα βολτόμετρο V , όταν η γεννήτρια δεν τροφοδοτεί φορτίο (ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός) είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική της δύναμη E .



Σχ. 3.1β.

Λειτουργία γεννήτριας.



Σχ. 3.1γ.

Ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως: α) Με κάλυμμα και χειροστρόφαλο. β) Χωρίς κάλυμμα

Η μεταβολή της I_g μπορεί να γίνει με τη **ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως** όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1β. Η ρυθμιστική αυτή αντίσταση, που είναι συνήθως στροφαλοφόρος (σχ. 3.1γ) έχει εκτός από τους δυο κύριους ακροδέκτες s και t και ένα τρίτο τον q που συνδέεται μέσω του αγωγού με το άκρο K του τυλίγματος διεγέρσεως. Έτσι, όταν θέλουμε να διακόψουμε το ρεύμα διεγέρσεως μεταφέρουμε την κινητή επαφή s στο q . Με αυτό τον τρόπο βραχυκυκλώνουμε τα άκρα του τυλίγματος διεγέρσεως και αποφεύγουμε τη δημιουργία σπινθήρων στις επαφές της ρυθμιστικής αντιστάσεως, τη στιγμή που διακόπτεται το ρεύμα διεγέρσεως.

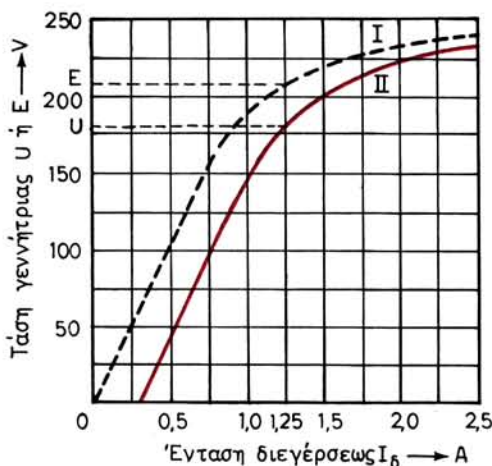
3.2 Λειτουργία γεννήτριας με φορτίο.

Αν στη γεννήτρια του σχήματος 3.1β κλείσουμε το διακόπτη Δ , τότε το φορτίο R θα συνδεθεί στους ακροδέκτες A και B του επαγωγικού της τυμπάνου. Τώρα η γεννήτρια **εργάζεται με φορτίο**. Η **ένταση φορτίσεως** I , που διαρρέει την R , περνά και μέσα από τους αγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου της γεννήτριας ($I=I_r$). Αν υποθέσουμε ότι είχαμε μετρήσει την τάση εν κενώ $U_0=E$ της γεννήτριας μεταξύ των ακροδεκτών A και B προτού συνδέσουμε το φορτίο R , θα δούμε ότι τώρα η τάση U που δείχνει το βολτόμετρο είναι μικρότερη από την E για την ίδια έκταση διεγέρσεως. Η διαφορά μάλιστα $E-U$ είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση φορτίσεως I . Δυο είναι οι λόγοι στους οποίους οφείλεται η διαφορά.

Ο πρώτος είναι ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη E_ϕ της γεννήτριας, όταν εργάζεται με φορτίο, για λόγους που θα εξηγήσουμε στο επόμενο εδάφιο 3.2.1, είναι μικρότερη από την E για την ίδια ένταση διεγέρσεως και την ίδια ταχύτητα περιστροφής.

$$E_\phi < E$$

Ο δεύτερος είναι ότι η τάση U είναι μικρότερη και από την E_ϕ , για την ίδια ένταση διεγέρσεως (και τον ίδιο αριθμό στροφών), κατά την **εσωτερική πτώση τάσεως** που δημιουργεί η ένταση I_r μέσα στους αγωγούς του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου:



Σχ. 3.2α.

Στατική χαρακτηριστική (I) και εξωτερική χαρακτηριστική (II).

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

όπου R_T η ωμική αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου σε Ω και I_T η ένταση σε A του επαγωγικού τυμπάνου, που εδώ είναι ίση με την ένταση φορτίσεως της μηχανής.

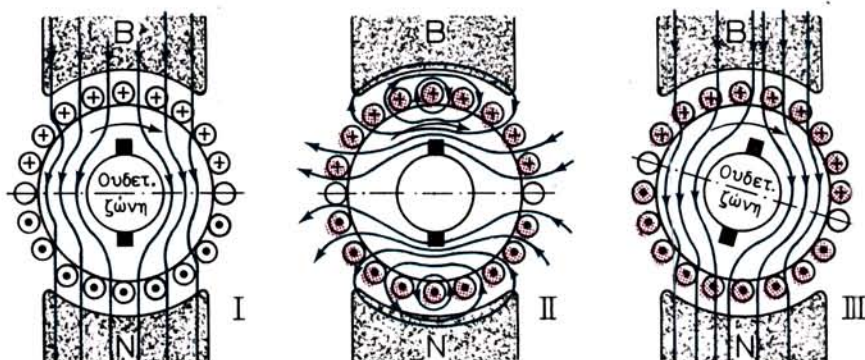
Η καμπύλη II του σχήματος 3.2α δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση της γεννήτριας, όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως I_{δ} με σταθερή την ένταση φορτίσεως και την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται **εξωτερική χαρακτηριστική** της γεννήτριας. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η στατική χαρακτηριστική της ίδιας γεννήτριας (καμπύλη I) που δείχνει, όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, τη μεταβολή της τάσεως εν κενώ E . Για μια ορισμένη ένταση διεγέρσεως, η διαφορά της U από την E δείχνει πόσο ελαττώνεται η τάση της γεννήτριας κατά τη φόρτιση, με την ένταση φορτίου, για την οποία έχει χαραχθεί η καμπύλη II. Π.χ. για ένταση διεγέρσεως $I_{\delta}=1,25$ A έχουμε από τις καμπύλες του σχήματος:

$$E=210 \text{ V} \quad \text{και} \quad U=180 \text{ V} \quad \text{ή} \quad E-U=210-180=30 \text{ V}$$

3.2.1 Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου και τρόποι αντιμετώπισής της.

Όπως αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου 3.2, η ένταση φορτίσεως I που περνά μέσα από το φορτίο, περνά και μέσα από τους αγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου. Είναι γνωστό όμως από την Ηλεκτροτεχνία ότι όταν αγωγοί διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργούν γύρω τους μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι αγωγοί του επαγωγικού τυμπάνου έχει σαν αποτέλεσμα να παραμορφώνει το κύριο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Αυτή είναι η ονομαζόμενη **αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου**.

Στο σχήμα 3.2β (I) είναι σχεδιασμένο το κύριο μαγνητικό πεδίο (με μπλε γραμ-



Σχ. 3.2β.

Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου γεννήτριας.

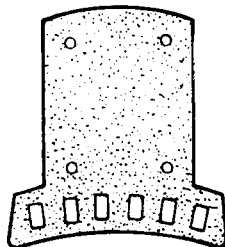
μές) και οι αγωγοί του επαγωγικού τυμπάνου με τις ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούνται σε αυτούς από επαγωγή. Το σχήμα 3.2β (II) δείχνει τους αγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου, όταν η μηχανή εργάζεται με φορτίο, να διαρρέονται από εντάσεις της ίδιας φοράς με τις ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις. Δημιουργούν τότε ένα δικό τους μαγνητικό πεδίο, όπως είναι σχεδιασμένο (επίσης με μπλε γραμμές) στο σχήμα.

Τέλος στο σχήμα 3.2β (III) φαίνεται η παραμόρφωση που παθαίνει το κύριο μαγνητικό πεδίο από την αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου. Συνέπεια αυτού είναι να μετατοπισθεί η ουδέτερη ζώνη, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Οι ψήκτρες για να πληρούν τον προορισμό τους πρέπει να μετατοπισθούν σε μια θέση κάθετη προς τη νέα ουδέτερη ζώνη. Αν δεν γίνει αυτό θα έχομε κατά τη λειτουργία της μηχανής σπινθηρισμούς ανάμεσα στο συλλέκτη και τις ψήκτρες. Η μετάθεση αυτή πρέπει να είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο της μηχανής, αφού το μέγεθος της παραμορφώσεως του κύριου μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του επαγωγικού τυμπάνου. Παρατηρούμε ακόμα από το σχήμα 3.2β (III), ότι **στις γεννήτριες η μετάθεση των ψηκτρών πρέπει να γίνεται κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου της μηχανής**. Στην πράξη τις ψήκτρες τις μεταθέτομε στρέφοντας τον ψηκτροφορέα κατά μια σταθερή γωνία, ώστε να μην έχομε σπινθηρισμούς στο **κανονικό φορτίο** της μηχανής.

Μια άλλη συνέπεια που έχει η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου και η μετάθεση των ψηκτρών είναι ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της μηχανής υπό φορτίο E_{ϕ} είναι μικρότερη από την ηλεκτρεγερτική δύναμη E που έχει όταν εργάζεται χωρίς φορτίο με την ίδια ένταση διεγέρσεως, όπως αναφέραμε και στην αρχή της παραγράφου 3.2.

Οι κατασκευαστές των μηχανών συνεχούς ρεύματος, εκτός από τη μετάθεση των ψηκτρών, που εφαρμόζεται σε μικρές σχετικά μηχανές, 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, η τοποθέτηση τυλιγμάτων αντισταθμίσεως και η τοποθέτηση βοηθητικών μαγνητικών πόλων.

Τα **τυλίγματα αντισταθμίσεως** αποτελούνται από αγωγούς, οι οποίοι τοποθε-



Σχ. 3.2γ.

Πόλος με λούκια για τύλιγμα αντισταθμίσεως.

τούνται μέσα σε λούκια, που υπάρχουν στα πέδιλα των μαγνητικών πόλων, παράλληλα προς τον άξονα της μηχανής (σχ. 3.2γ).

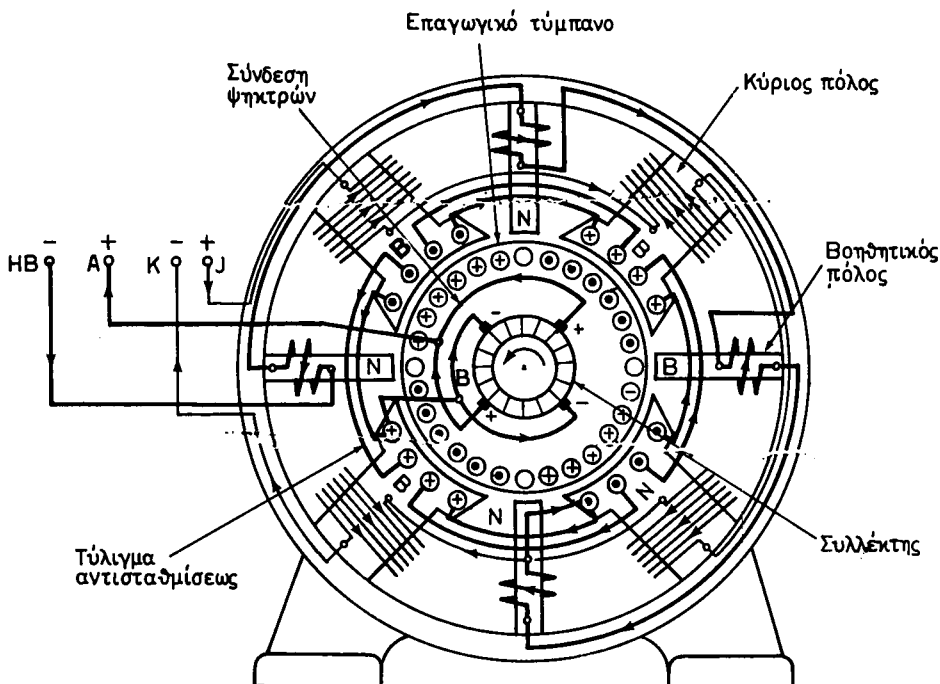
Οι αγωγοί του τυλίγματος αντισταθμίσεως συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους και προς το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου της γεννήτριας, ώστε να διέρχεται από αυτούς όλο το ρεύμα φορτίσεως της μηχανής. Η σύνδεση γίνεται έτσι, ώστε κάθε αγωγός του τυλίγματος αντισταθμίσεως να διαρρέεται κάθε στιγμή από ρεύμα με ίση, αλλά αντίθετη ένταση προς αυτή που διαρρέει το γειτονικό του αγωγό του δρομέα (σχ. 3.2δ). Έτσι, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το τύλιγμα αντισταθμίσεως εξουδετερώνει το μαγνητικό πεδίο του τυμπάνου.

Τα τυλίγματα αντισταθμίσεως αυξάνουν το κόστος κατασκευής των μηχανών και γι' αυτό χρησιμοποιούνται μόνο σε μεγάλες μηχανές.

Πολύ αποτελεσματικό μέτρο για την αντιμετώπιση της αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου (χωρίς να κάνουμε μετάθεση των ψηκτρών) αλλά και των σπινθηρισμών στο συλλέκτη που οφείλονται σε άλλες αιτίες, αποτελεί η τοποθέτηση **βοηθητικών μαγνητικών πόλων.**

Κάθε βοηθητικός πόλος αποτελείται από πυρήνα και τύλιγμα (σχ. 3.2δ). Οι πυρήνες των βοηθητικών πόλων είναι μικρότεροι από τους πυρήνες των κυρίων πόλων και τα τυλίγματά τους αποτελούνται από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος, γιατί συνδέονται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου και διέρχεται μέσα από αυτά όλο το ρεύμα φορτίσεως της μηχανής.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2δ οι βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται μεταξύ των κυρίων, δηλαδή στις ουδέτερες ζώνες. Τα τυλίγματα των βοηθητικών πόλων συνδέονται **στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος** έτσι, ώστε **κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου μετά από κάθε βόρειο κύριο πόλο να έρχεται ένας νότιος βοηθητικός και μετά από κάθε νότιο κύριο πόλο να έρχεται ένας βόρειος βοηθητικός.**



Σχ. 3.26.

Εσωτερική συνδεσμολογία γεννήτριας με τύλιγμα αντισταθμίσεως και βοηθητικούς πόλους.

3.3 Είδη γεννητριών συνεχούς ρεύματος.

Στη μηχανή του σχήματος 3.1β είχαμε δεχθεί ότι η διέγερσή της τροφοδοτείται από μια ξένη πηγή Π. Στην πραγματικότητα αυτο συμβαίνει σπάνια, γιατί το τύλιγμα διεγέρσεως είναι δυνατό να τροφοδοτηθεί και από την ίδια τη γεννήτρια και μάλιστα με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διεγέρσεως, τις γεννήτριες τις διακρίνουμε σε τέσσερα είδη:

- α) Γεννήτριες με ξένη διέγερση.
- β) Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση.
- γ) Γεννήτριες με διέγερση σειράς.
- δ) Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση.

Εκτός από τις γεννήτριες με ξένη διέγερση, όλες οι άλλες ονομάζονται και **αυτοδιεγερδόμενες** γεννήτριες, για το λόγο ότι αυτές δίνουν το ρεύμα που χρειάζεται η διέγερσή τους.

3.3.1 Γεννήτριες με ξένη διέγερση.

Η συνδεσμολογία μιας γεννήτριας με ξένη διέγερση φαίνεται στο σχήμα 3.1β. Στο σχήμα αυτό το τύλιγμα διεγέρσεως παριστάνεται με το K-J.

Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος διεγέρσεως σε μια γεννήτρια με ξένη διέ-

γερση, η πολικότητα της μηχανής αλλάζει. Δηλαδή οι θετικές ψήκτρες γίνονται αρνητικές και οι αρνητικές γίνονται θετικές. Το ίδιο αποτέλεσμα έχει και η αλλαγή της φοράς περιστροφής του επαγωγικού τυμπάνου της μηχανής. Η πολικότητά της πάλι αλλάζει. Αν αλλάξουμε όμως και τη φορά του ρεύματος διεγέρσεως και τη φορά περιστροφής, η πολικότητα της μηχανής δεν αλλάζει. Όλα αυτά επαληθεύονται εύκολα με τη βοήθεια και όσων αναφέραμε στο εδάφιο 2.1.4.

Η σχέση που δίνει την τάση U της γεννήτριας με ξένη διέγερση, όταν εργάζεται με φορτίο έντασεως I , η οποία στην περίπτωση αυτή ισούται με την ένταση I_T που περνά από το επαγωγικό της τύμπανο είναι (παράγρ. 3.2):

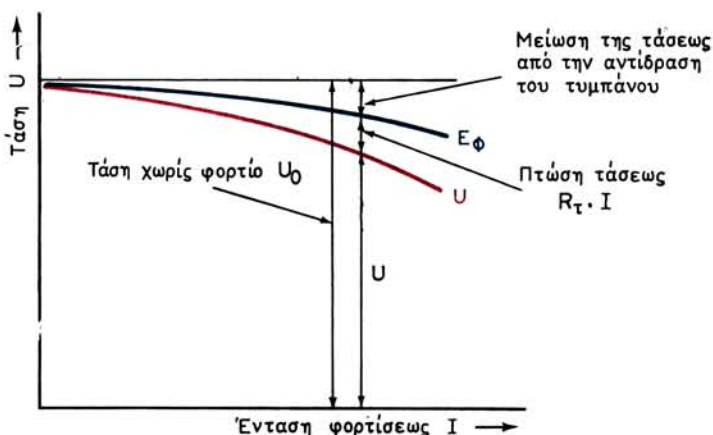
$$U = E_\phi - R_T \cdot I$$

Όπως παρατηρούμε η U εξαρτάται από την I αφού τόσο η ηλεκτρεγερτική δύναμη 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 .

Στο διάγραμμα του σχήματος 3.3α έχει σχεδιασθεί η **χαρακτηριστική φορτίου** μιας γεννήτριας με ξένη διέγερση. Είναι η καμπύλη (κόκκινη) που μας δείχνει πως μεταβάλλεται η τάση της μηχανής U όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως της I , ενώ η ένταση διεγέρσεως I_δ και ο αριθμός στροφών ανά δευτερόλεπτο της μηχανής μένουν σταθερά. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη (μπλε) μεταβολής της E_ϕ με την ένταση φορτίσεως I . Όπως βλέπουμε και από τη χαρακτηριστική φορτίου, όταν μεγαλώνει η ένταση φορτίσεως, η τάση της μηχανής πέφτει.

Αν U_0 είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται χωρίς φορτίο και U_N η τάση της όταν εργάζεται με το πλήρες φορτίο της, δηλαδή όταν δίνει την ισχύ για την οποία είναι κατασκευασμένη, την επί τοις εκατό διαφορά:

$$e = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \quad \text{ή} \quad \theta\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N}$$



Σχ. 3.3α.

Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας με ξένη διέγερση.

την ονομάζομε **διακύμανση τάσεως** της γεννήτριας. Στις γεννήτριες ξένης διεγέρσεως η διακύμανση τάσεως είναι $5 \div 10\%$, όταν λειτουργούν με την κανονική τους ένταση διεγέρσεως και τις κανονικές τους στροφές.

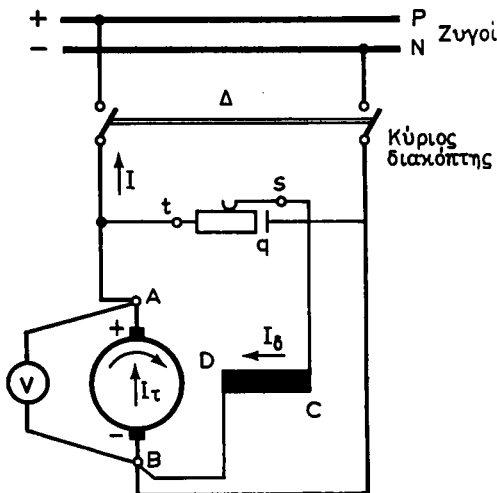
Αν θέλομε να διατηρούμε σταθερή την τάση της γεννήτριας όταν αυξάνεται το φορτίο, θα πρέπει να αυξάνομε την ένταση διεγέρσεως.

Οι γεννήτριες με ξένη διέγερση χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση της διεγέρσεως των πολύ μεγάλων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος και σε ορισμένες περιπτώσεις για ηλεκτροσυγκολλήσεις.

3.3.2 Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση.

Το σχήμα 3.3β δείχνει τη συνδεσμολογία μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση. Όπως παρατηρούμε εδώ, το τύλιγμα διεγέρσεως D-C είναι συνδεδεμένο παράλληλα προς το επαγωγικό τύμπανο A-B της μηχανής. Η σύνδεση γίνεται μέσω μιας ρυθμιστικής αντιστάσεως που χρησιμεύει για τη ρύθμιση της εντάσεως διεγέρσεως. Το φορτίο της μηχανής έχει αντικατασταθεί από τους ζυγούς P και N, που βρίσκονται στον **πίνακα ελέγχου** της γεννήτριας και από τους οποίους τροφοδοτείται η **κατανάλωση**. Στον πίνακα ελέγχου βρίσκεται και η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως που αναφέραμε παραπάνω.

Η **αυτοδιέγερση** των γεννητριών αυτών πραγματοποιείται με τη βοήθεια του μαγνητισμού που παραμένει στους μαγνητικούς πόλους και όταν δεν περνά ρεύμα μέσα από το τύλιγμα διεγέρσεως. Χωρίς να κάνομε αναλυτική ανάπτυξη του φαινομένου, αναφέρομε μόνο ότι ο μαγνητισμός που παραμένει δημιουργεί ένα αδύνατο μαγνητικό πεδίο μέσα στη μηχανή, που είναι όμως αρκετό, όταν θέσομε σε περιστροφή το επαγωγικό τύμπανο, να δημιουργήσει μεταξύ των ακροδεκτών A και B μία μικρή τάση. Η τάση αυτή δημιουργεί ένα αδύνατο ρεύμα μέσα στο τύλιγμα διεγέρσεως C - D (ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός και συνεπώς το φορτίο ακόμα



Σχ. 3.3β.

Γεννήτρια με παράλληλη διέγερση.

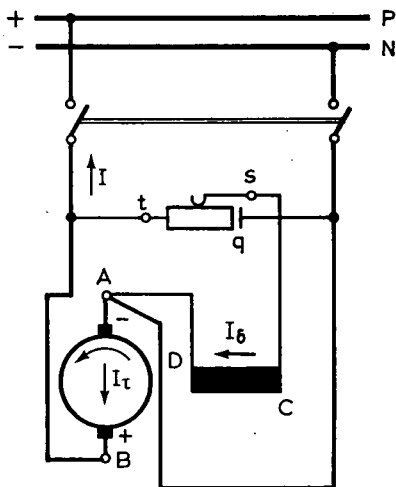
δεν έχει συνδεθεί), το οποίο ενισχύει το μαγνητικό πεδίο. Αυτό έχει σαν συνέπεια να δημιουργηθεί τώρα μια μεγαλύτερη τάση μεταξύ A και B, η οποία δημιουργεί ένα ισχυρότερο ρεύμα μέσα στο τύλιγμα διεγέρσεως κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό αυτοδιεγείρεται η γεννήτρια. Την τάση στην οποία θέλουμε να φθάσει την κανονίζουμε με τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για να μπορέσει να αυτοδιεγερθεί μια γεννήτρια πρέπει η φορά περιστροφής του τυμπάνου της να είναι τέτοια, ώστε το αδύνατο ρεύμα, που δημιουργεί στο τύλιγμα διεγέρσεως η τάση που παράγεται από τον παραμένοντα μαγνητισμό, να έχει διεύθυνση που να ενισχύει το μαγνητικό πεδίο. Διαφορετικά η μηχανή χάνει τον παραμένοντα μαγνητισμό της και δεν αυτοδιεγείρεται. Το εργοστάσιο κατασκευής κάθε γεννήτριας έχει δώσει μια ορισμένη πολικότητα στον παραμένοντα μαγνητισμό της. Άρα, η φορά περιστροφής μιας έτοιμης γεννήτριας είναι καθορισμένη από την πολικότητα αυτή.

Αν σε μια έτοιμη γεννήτρια με παράλληλη διέγερση θελήσουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής, που, όπως είπαμε, έχει καθορισθεί από τον κατασκευαστή της, πρέπει να αλλάξουμε και τη σύνδεση των άκρων του τυλίγματος διεγέρσεως με τους ακροδέκτες του τυμπάνου. Η αλλαγή αυτή στη σύνδεση του τυλίγματος διεγέρσεως πρέπει να γίνει έτσι, ώστε το ρεύμα διεγέρσεως να εξακολουθήσει να έχει την ίδια διεύθυνση που είχε πριν αλλάξει η φορά περιστροφής. Έτσι, η μηχανή δεν θα χάσει τον παραμένοντα μαγνητισμό της και θα μπορεί να αυτοδιεγείρεται. Όταν όμως αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του τυμπάνου μιας γεννήτριας και κρατήσουμε την ίδια διεύθυνση στο ρεύμα διεγέρσεως, όπως ξέρομε (εδάφιο 2.1.4) η πολικότητα της μηχανής θα αλλάξει.

Το σχήμα 3.3γ δείχνει τη συνδεσμολογία που πρέπει να κάνουμε στη γεννήτρια του σχήματος 3.3β όταν θελήσουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής της.

Η σύνδεση του φορτίου σε μια γεννήτρια με παράλληλη διέγερση πρέπει να γίνεται αφού η γεννήτρια αποκτήσει πρώτα την κανονική της τάση, διαφορετικά εμποδίζεται η αυτοδιέγερση της μηχανής. Όταν η γεννήτρια εργάζεται με φορτίο, ό-



Σχ. 3.3γ.

Αλλαγή φοράς περιστροφής σε γεννήτρια με παράλληλη διέγερση.

πως και στις γεννήτριες με ξένη διέγερση (παράγρ. 3.2), για την τάση U της μηχανής έχουμε:

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

όπου: E_{ϕ} η ηλεκτρεγερτική δύναμη σε V της μηχανής υπό φορτίο,

R_T η ωμική αντίσταση σε Ω του τυλίγματος του τυμπάνου και

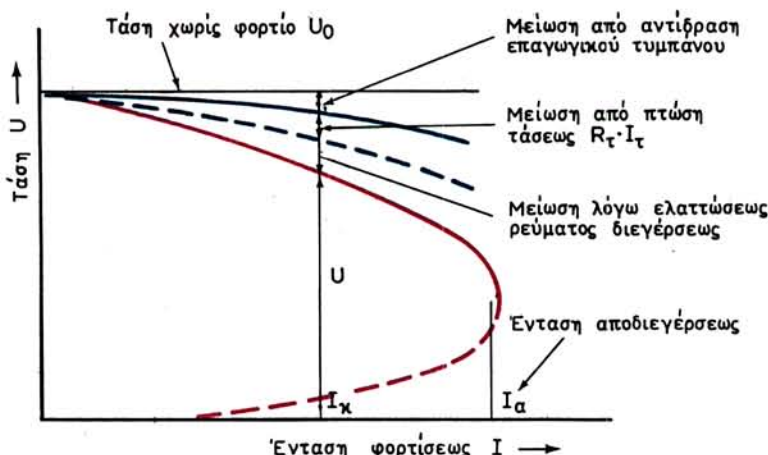
I_T η ένταση σε A που περνά μέσα από το τύμπανο.

Εδώ η ένταση του τυμπάνου είναι ίση με το άθροισμα της εντάσεως του φορτίου I και της εντάσεως διεγερσέως I_g :

$$I_T = I + I_g$$

Στο διάγραμμα του σχήματος 3.36 φαίνεται (κόκκινη καμπύλη) πώς μεταβάλλεται η τάση U μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως της μηχανής, χωρίς να μεταβάλλεται η θέση του στροφάλου στη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως και οι στροφές της μηχανής. Όπως παρατηρούμε, η μείωση της τάσεως με το φορτίο είναι εδώ μεγαλύτερη από ό,τι στις γεννήτριες με ξένη διέγερση (σχ. 3.3α), γιατί εκτός από την αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου και την πτώση τάσεως στο τύλιγμά του, έχουμε και μια τρίτη αιτία για τη μείωση της τάσεως. Εδώ το τύλιγμα διεγέρσεως τροφοδοτείται από την τάση της γεννήτριας. Όταν λοιπόν η τάση αυτή μειώνεται από τις δυο προηγούμενες αιτίες, όσο αυξάνει το φορτίο θα μειώνεται και η τάση που επιβάλλεται στο τύλιγμα διεγέρσεως. Δηλαδή όσο αυξάνει το φορτίο έχουμε μείωση του ρεύματος διεγέρσεως με συνέπεια πρόσθετη μείωση της τάσεως.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η διακύμανση της τάσεως στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση, για σταθερές στροφές ανά δευτερόλεπτο και σταθερή αντίσταση διεγέρσεως είναι μεγαλύτερη από ό,τι στις γεννήτριες με ξένη διέγερση. Μπορούμε όμως και εδώ να ελαττώσουμε τη διακύμανση αυτή ή και να τη μηδενίσουμε, αν μεταβάλλουμε κατάλληλα τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως.



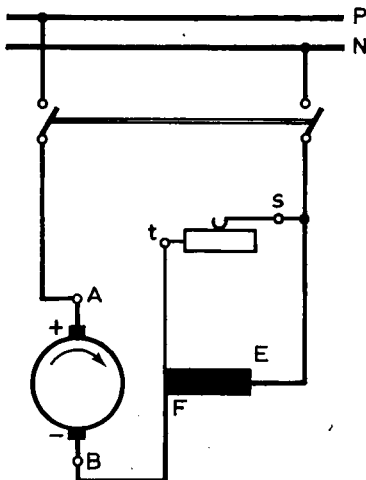
Σχ. 3.36.

Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

Όταν η ένταση φορτίσεως της γεννήτριας αυξηθεί πολύ πάνω από την κανονική της τιμή I_k και φθάσει μια ορισμένη για κάθε μηχανή τιμή I_a , η γεννήτρια θα αποδιεγερθεί και η τάση της θα μηδενισθεί (σχ. 3.3δ).

3.3.3 Γεννήτριες με διέγερση σειράς.

Στις γεννήτριες αυτές το τύλιγμα διεγέρσεως E-F συνδέεται σε σειρά με το φορτίο της μηχανής και τροφοδοτείται από την ίδια τη γεννήτρια (σχ. 3.3ε).



Σχ. 3.3ε.

Γεννήτρια με διέγερση σειράς.

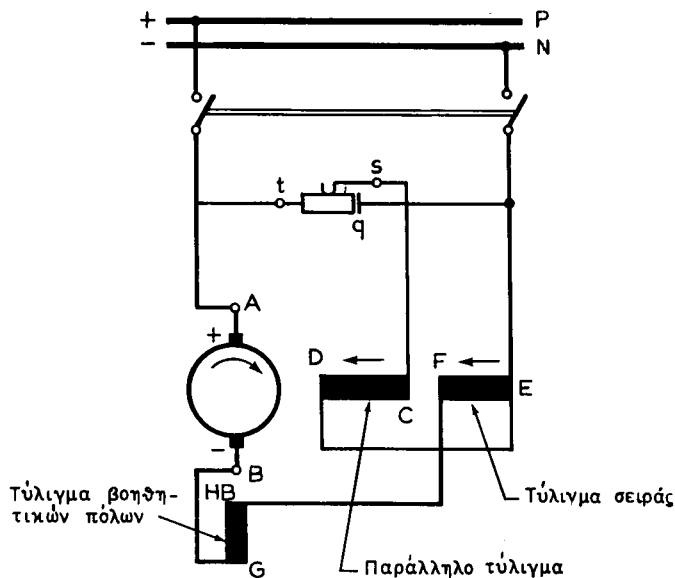
Η αυτοδιέγερσή τους γίνεται όπως και στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση. Η μόνη διαφορά είναι ότι εδώ το φορτίο πρέπει να είναι συνδεδεμένο στη γεννήτρια από την αρχή, ώστε να μπορεί να περάσει ρεύμα μέσα από το τύλιγμα διεγέρσεως και να αυτοδιεγερθεί η μηχανή. Η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως, που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

Γεννήτριες με διέγερση σειράς πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται.

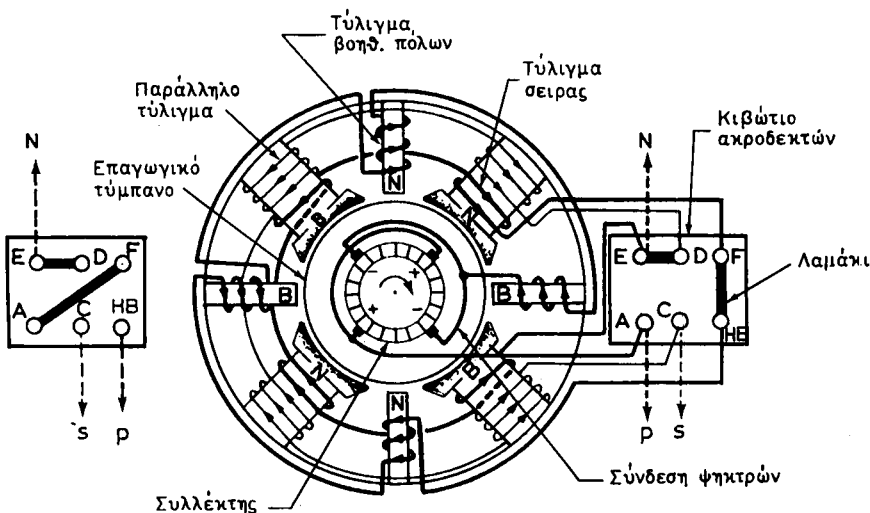
3.3.4 Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση.

Στις γεννήτριες αυτές το τύλιγμα κάθε κύριου πόλου αποτελείται από δυο μέρη, το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 2.5. Τα τυλίγματα αυτά συνδέονται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3στ, 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 τύλιγμα.



Σχ. 3.3στ.

Γεννήτρια με σύνθετη διέγερση και βοηθητικούς πόλους.



Σχ. 3.3ζ.

Τετραπολική γεννήτρια με σύνθετη διέγερση και βοηθητικούς πόλους.

Η γεννήτρια του σχήματος 3.3στ έχει και βοηθητικούς πόλους. Το τύλιγμά τους G - HB συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο της μηχανής και γι' αυτό όπως και το τύλιγμα σειράς των κυρίων πόλων, αποτελείται από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος, αφού μέσα από αυτό περνά όλο το ρεύμα του φορτίου της γεννήτριας.

Στο σχήμα 3.3ζ φαίνεται η εσωτερική συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μιας τε-

τραπολικής γεννήτριας με σύνθετη διέγερση και βοηθητικούς πόλους. Παρατηρούμε ότι η σύνδεση των άκρων των τυλιγμάτων με τους ακροδέκτες της μηχανής, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος, γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το ρεύμα μέσα στο τύλιγμα σειράς να ενισχύει το μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί το 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 στην παράγραφο 3.2.

Όταν τα άκρα των τυλιγμάτων, που καταλήγουν στους ακροδέκτες της μηχανής, χρειάζεται να συνδεθούν μεταξύ τους, αυτό γίνεται με λαμάκια από χαλκό ή ορείχαλκο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3ζ. Στο ίδιο σχήμα έχουν σημειωθεί με διακοπτόμενες γραμμές και οι αγωγοί που αναχωρούν από το κιβώτιο ακροδεκτών και συνδέουν τη μηχανή με τον πίνακα ελέγχου. Τα γράμματα που χρησιμοποιούνται είναι σε απόλυτη αντιστοιχία με τα γράμματα του σχήματος 3.3στ, ώστε να μπορεί κανείς να παρακολουθήσει παράλληλα και την εξωτερική συνδεσμολογία της γεννήτριας.

Το σχήμα 3.3ζ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλες τροποποιήσεις για να έχει κανείς την εσωτερική συνδεσμολογία μιας 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 αγωγός που συνδέει τις αρνητικές ψήκτρες στο σχήμα, θα πάει απευθείας στον ακροδέκτη ΗΒ.

Όσα αναφέραμε στα προηγούμενα για την αλλαγή της φοράς περιστροφής και τον 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 σε αυτά. Έτσι, η γεννήτρια δεν θα χάσει τον παραμένοντα μαγνητισμό της. Για να γίνει αυτό αρκεί να αλλάξουμε στο κιβώτιο ακροδεκτών της μηχανής τη θέση που έχουν τα λαμάκια, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.3ζ. Πρέπει επίσης να κάνουμε την αλλαγή που φαίνεται εκεί στους αγωγούς που συνδέουν τη γεννήτρια με τον πίνακα ελέγχου.

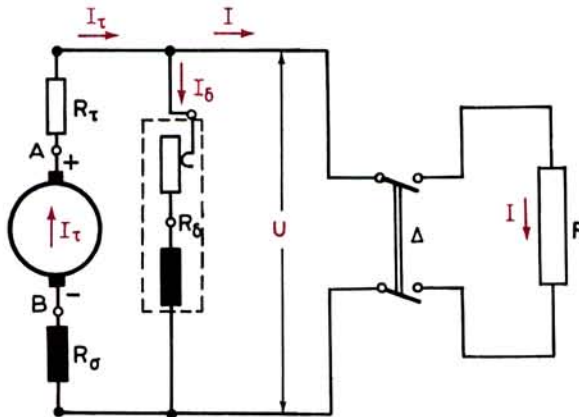
Για να υπολογίσουμε τη σχέση που δίνει την τάση U της μηχανής, όταν εργάζεται με φορτίο I , σχεδιάζουμε το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με σύνθετη διέγερση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3η. Σε αυτό R_σ είναι η ωμική αντίσταση του τυλίγματος σειράς και R_δ η ωμική αντίσταση του παράλληλου τυλίγματος μαζί με τη ρυθμιστική αντίσταση. Τα R_T και I_T είναι η ωμική αντίσταση και η ένταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου. Έχουμε:

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

$$I_T = I + I_\delta$$

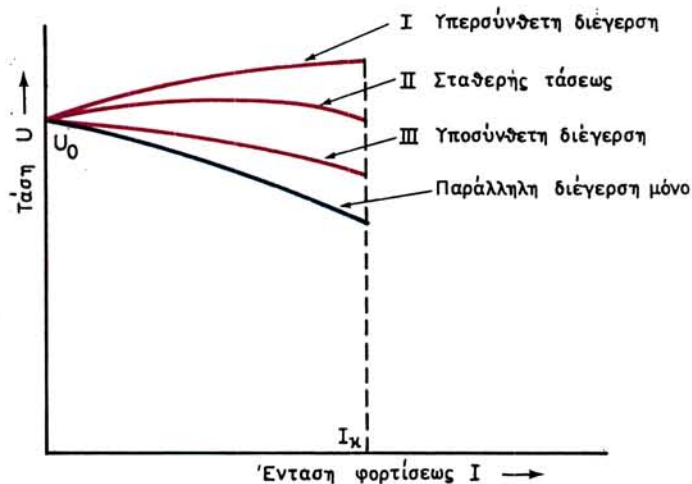
όπου: E_ϕ είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της μηχανής με φορτίο I_T .

Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα, σε μια γεννήτρια με σύνθετη διέγερση το τύλιγμα σειράς είναι δυνατό να συνδεθεί έτσι, ώστε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί να ενισχύει το μαγνητικό πεδίο του παράλληλου τυλίγματος. Οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται με **αθροιστική σύνθετη διέγερση**. Είναι δυνατόν όμως το τύλιγμα σειράς να συνδεθεί και αντίθετα, ώστε να εξασθενεί το μαγνητικό πεδίο του παράλληλου τυλίγματος. Οι γεννήτριες τότε ονομάζονται με **διαφορική σύνθε-**



Σχ. 3.3η.

Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας με σύνθετη διέγερση.



Σχ. 3.3θ.

Χαρακτηριστικές φορτίου γεννητριών με αθροιστική σύνθετη διέγερση.

τη διέγερση. Η συμπεριφορά των δύο αυτών ειδών γεννητριών με σύνθετη διέγερση είναι τελείως διαφορετική.

Στις γεννήτριες με αθροιστική σύνθετη διέγερση, η τάση, όταν η μηχανή λειτουργεί με φορτίο, είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερη από την τάση, που θα είχε η ίδια γεννήτρια αν εργαζόταν μόνο με παράλληλη διέγερση, με τις ίδιες στροφές ανά δευτερόλεπτο και την ίδια θέση του στροφάλου της ρυθμιστικής αντιστάσεως διέγερσεως. Το πόσο μεγαλύτερη είναι εξαρτάται από το τύλιγμα σειράς. Μπορεί η τάση της γεννήτριας στο κανονικό φορτίο να είναι μεγαλύτερη και από την τάση χωρίς φορτίο. Στις περιπτώσεις αυτές έχουμε μια χαρακτηριστική φορτίου σαν την καμπύλη I στο διάγραμμα του σχήματος 3.3θ. Η γεννήτρια λέγεται τότε με **υπερ-**

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

Αν η γεννήτρια G_2 παραλληλίζεται για πρώτη φορά, πρέπει να ελέγξουμε την πολικότητά 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 διεγέρσεώς της, μέχρις ότου το αμπερόμετρό 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 μια γεννήτρια που εργάζεται παράλληλα με άλλες σε κοινούς ζυγούς, κάνουμε τους ακόλουθους χειρισμούς: Ελαττώνουμε σιγά-σιγά το φορτίο της γεννήτριας, μειώνοντας την ένταση διεγέρσεως. Όταν το αμπερόμετρο (Α) δείξει μηδέν ένταση φορτίου, ανοίγουμε το διακόπτη της γεννήτριας. Στη συνέχεια, αφού σταματήσουμε την κινητήρια μηχανή της, ρυθμίζουμε την τάση των υπόλοιπων γεννητριών που εξακολουθούν να λειτουργούν, ώστε να έχουμε την κανονική τάση τροφοδοτήσεως.

3.5 Ισχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως γεννητριών.

α) Ισχύς.

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

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

όπου: U είναι η τάση της γεννήτριας σε V και
 I η ένταση του ρεύματος που δίνει σε A .

Στην 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 και ταχύτητα** (που τις αναφέρει επίσης η πινακίδα), χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη η μηχανή από υπερφόρτιση. Στην 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.

β) Απώλειες.

Για να δώσει ηλεκτρική ενέργεια μια γεννήτρια, σύμφωνα με όσα αναφέραμε και στην παράγραφο 1.1, πρέπει να πάρει μηχανική ενέργεια από την κινητήρια μηχανή. Η μετατροπή αυτή της ενέργειας από μηχανική σε ηλεκτρική, 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 ανύψωση της θερμοκρασίας της μηχανής. Η θερμοκρασία παύει να αυξάνεται και σταθεροποιείται σε μια ορισμένη τιμή, όταν η θερμότητα από τις απώλειες εξισώνεται με τη 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:

- **απώλειες σταθερές**, δηλαδή ανεξάρτητες του φορτίου της γεννήτριας και
- **απώλειες μεταβλητές**, δηλαδή μεταβαλλόμενες με το φορτίο.

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

Οι μηχανικές απώλειες είναι οι απώλειες τριβής του δρομέα στα έδρανα, των ψηκτρών με το συλλέκτη, του αέρα με τον περιστρεφόμενο δρομέα και το μηχανικό έργο που απορροφά ο ανεμιστήρας της μηχανής.

Οι απώλειες υστερήσεως οφείλονται στις διαδοχικές μεταβολές της μαγνητικής πυρηνά του επαγωγικού τυμπάνου, καθώς αυτό περιστρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι. Οι απώλειες δινορρευμάτων οφείλονται στα ρεύματα που κυκλοφορούν στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου, πάλι λόγω της περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Οι απώλειες από δινορρεύματα θα ήταν πολύ μεγαλύτερες αν ο πυρήνας του επαγωγικού τυμπάνου δεν κατασκευαζόταν από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 2.5.

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

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

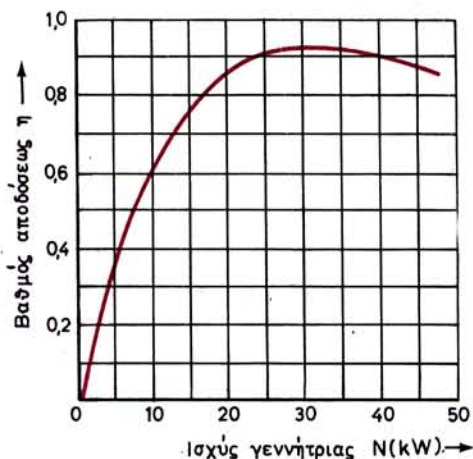
όπως προκύπτουν και με τη βοήθεια του σχήματος 3.3η. Από τις απώλειες αυτές μόνο εκείνες που οφείλονται στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως ($R_\delta \cdot I_\delta^2$) μπορούν να θεωρηθούν σταθερές, δηλαδή ανεξάρτητες του φορτίου της μηχανής (εφόσον βέβαια δεν μεταβάλουμε τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως). Οι άλλες εξαρτώνται από το φορτίο της μηχανής και μάλιστα αυξάνονται με το τετράγωνο της εντάσεως όταν αυξάνεται το φορτίο της μηχανής.

γ) Βαθμός αποδόσεως.

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

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

Ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται από το φορτίο της γεννήτριας, δηλαδή δεν είναι σταθερός αριθμός για μια μηχανή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5. Συνήθως



Σχ. 3.5.

Καμπύλη βαθμού αποδόσεως γεννήτριας.

οι γεννήτριες έχουν το μέγιστο βαθμό αποδόσεώς τους στην ονομαστική τους ισχύ ή λίγο πριν από αυτήν.

3.6 Βλάβες και επισκευή γεννητριών συνεχούς ρεύματος.

Όπως θα εξηγήσουμε στο τελευταίο κεφάλαιο του βιβλίου, για να διατηρούνται οι μηχανές σε καλή κατάσταση λειτουργίας, χρειάζεται να τις **συντηρούμε σωστά**. Όσο όμως καλή και αν είναι η συντήρηση, δεν είναι δυνατό να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο να εμφανισθούν βλάβες κατά τη λειτουργία τους. Παρακάτω, αναφέρουμε τις πιο συνηθισμένες βλάβες που παρουσιάζονται στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Η κατάταξη έχει γίνει με βάση το **σύμπτωμα** που παρουσιάζει η μηχανή που έχει βλάβη. Αντίστοιχα, με την πιθανή αιτία της βλάβης, δίνεται και η επισκευή που πρέπει να γίνει στη μηχανή. Για τις επισκευές των ηλεκτρικών μηχανών δίνονται πρόσθετα στοιχεία στο κεφάλαιο 12, που αναφέρεται στη συντήρησή τους.

1. Η γεννήτρια δεν δίνει τάση.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Εξασθένηση του παραμέλλοντα μαγνητισμού	α) Να περάσουμε συνεχές ρεύμα από τα τυλίγματα των πόλων
β) Διακοπή στο κύκλωμα του τυλίγματος των πόλων	β) Να βρεθεί και να επισκευασθεί η βλάβη
γ) Διακοπή στη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως	γ) Όμοια όπως παραπάνω

δ) Κακή επαφή των αγωγών με τους ακροδέτες	δ) Να σφιχθούν οι βίδες
ε) Η μαγνητική ροή των πόλων είναι αντίθετη από τον παραμένοντα μαγνητισμό	ε) Στο κιβώτιο ακροδεκτών της μηχανής να γίνει αντιστροφή της τροφοδοσίας των πόλων
στ) Αντίστροφη φορά του ρεύματος σε ένα πόλο	στ) Η βλάβη αυτή εμφανίζεται μετά την επισκευή του τυλίγματος ενός πόλου. Να γίνει η σωστή σύνδεση
ζ) Κακή επαφή των ψηκτρών	ζ) Ρύθμιση της τάσεως των ελατηρίων και αντικατάσταση των ψηκτρών, αν είναι φθαρμένες
η) Ακάθαρτος συλλέκτης	η) Να καθαριστεί ο συλλέκτης

2. Η τάση της γεννήτριας δεν είναι κανονική.

α) Υπερφόρτιση ή όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη	α) Ελάττωση του φορτίου ή διόρθωση της μεταθέσεως των ψηκτρών
β) Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου (δυστομείς του συλλέκτη μαυρίζουν από σπινθηρισμούς)	β) Αποκατάσταση της διακοπής ή μερική νέα περιέλιξη
γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ δυο ομάδων του επαγωγικού τυμπάνου (ισχυροί σπινθηρισμοί στο συλλέκτη)	γ) Μερική ή ολική νέα περιέλιξη του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου

3. Σπινθηρισμοί στο συλλέκτη.

α) Διακοπή ή βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου	α) Βλέπε παραπάνω 2 . β και 2 . γ
β) Φθαρμένος συλλέκτης	β) Να επισκευασθεί ο συλλέκτης
γ) Υπερφόρτιση ή όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη	γ) Βλέπε παραπάνω 2α
δ) Ψήκτρες πολύ σκληρές ή πολύ μαλακές	δ) Να τοποθετηθούν ψήκτρες όπως προβλέπονται από τον κατασκευαστή.

3.7 Ανακεφαλαίωση.

α) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας γεννήτριας είναι ανάλογη με τη μαγνητική ροή των πόλων και με την τραχύτητα περιστροφής:

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

β) Μαγνητική χαρακτηριστική είναι η καμπύλη που δίνει τη μεταβολή της μαγνητικής ροής των πόλων της γεννήτριας, όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως. Όμοια, η στατική χαρακτηριστική δίνει τη μεταβολή της ηλεκτρεγερτικής δύναμης της μηχανής, όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως με σταθερή την ταχύτητα περιστροφής.

γ) Η τάση υπό φορτίο μιας γεννήτριας είναι μικρότερη από την τάση χωρίς φορτίο (που είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη), για δυο λόγους: Πρώτο επειδή η ηλεκτρεγερτική δύναμη υπό φορτίο είναι μικρότερη από την ηλεκτρεγερτική δύναμη χωρίς φορτίο και δεύτερο γιατί υπό φορτίο δημιουργείται εσωτερική πτώση τάσεως στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου:

$$E_{\phi} < E \quad \text{και} \quad U = E_{\phi} - R_T \cdot I_T$$

δ) Τη μεταβολή της τάσεως της γεννήτριας όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως, με σταθερή την ένταση φορτίσεως και τις στροφές ανά δευτερόλεπτο της μηχανής, τη δίνει η εξωτερική χαρακτηριστική.

ε) Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου ονομάζουμε την επίδραση του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου, όταν η μηχανή λειτουργεί υπό φορτίο επάνω στο μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως. Η επίδραση αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο η ένταση φορτίσεως είναι πιο μεγάλη.

ε) Αποτελέσματα της αντιδράσεως του τυμπάνου είναι ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας υπό φορτίο είναι μικρότερη από ό,τι χωρίς φορτίο και η δημιουργία σπινθηρισμών στο συλλέκτη, λόγω της μεταθέσεως της ουδέτερης ζώνης των μαγνητικών πόλων.

στ) Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισεως της αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου είναι:

- Μετάθεση των ψηκτρών κατά τη φορά περιστροφής της μηχανής.
- Τοποθέτηση στα πέδιλα των μαγνητικών πόλων τυλίγματος αντισταθμίσεως, που συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.
- Τοποθέτηση βοηθητικών μαγνητικών πόλων μεταξύ των κυρίων πόλων, έτσι ώστε κατά τη φορά περιστροφής της γεννήτριας μετά από κάθε βόρειο κύριο πόλο να έρχεται νότιος βοηθητικός κ.τ.λ. Οι βοηθητικοί πόλοι αποτελούν την καλύτερη λύση, γιατί βελτιώνουν γενικότερα τη λειτουργία της μηχανής. Τα τυλίγματά τους συνδέονται σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

ζ) Στις γεννήτριες ξένης διεγέρσεως, το τύλιγμα διεγέρσεως τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή συνεχούς ρεύματος. Αλλαγή της φοράς του ρεύματος διεγέρσεως ή της φοράς περιστροφής, έχει ως συνέπεια την αλλαγή της πολικότητας της γεννήτριας. Η διακύμανση τάσεως:

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

στις γεννήτριες αυτές κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10% για την κανονική ένταση διεγέρσεως και την κανονική ταχύτητα περιστροφής.

η) Οι γεννήτριες με παράλληλη διέγερση έχουν το τύλιγμα διεγέρσεως συνδεδεσμένο παράλληλα με το επαγωγικό τύμπανο. Οι μηχανές αυτές αυτοδιεγείρονται χάρη στον παραμένοντα μαγνητισμό των πόλων. Προσοχή πρέπει να δίνεται στη φορά περιστροφής μιας τέτοιας γεννήτριας, η οποία έχει καθορισθεί από τον κατασκευαστή της. Αν περιστραφεί αντίθετα από αυτή χωρίς προηγουμένως να έχει αλλάξει η συνδεσμολογία του τυλίγματος διεγέρσεως, θα χάσει τον παραμένοντα μαγνητισμό της και δεν θα αυτοδιεγείρεται. Η σύνδεση του φορτίου στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση πρέπει να γίνεται αφού η γεννήτρια αποκτήσει πρώτα την κανονική της τάση. Η διακύμανση τάσεως στις γεννήτριες αυτές, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής και σταθερή αντίσταση διεγέρσεως, είναι μεγαλύτερη από ό,τι στις γεννήτριες με ξένη διέγερση.

θ) Οι γεννήτριες με διέγερση σειράς έχουν το τύλιγμα διεγέρσεως συνδεδεσμένο σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο. Οι γεννήτριες αυτές, που πολύ σπάνια κατασκευάζονται, για να αυτοδιεγερθούν, πρέπει το φορτίο να είναι συνδεδεμένο από την αρχή, ώστε να μπορεί να περάσει ρεύμα μέσα από το τύλιγμα διεγέρσεως.

ι) Στις γεννήτριες με σύνθετη διέγερση, το τύλιγμα κάθε πόλου αποτελείται από δυο μέρη: το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς. Το πρώτο συνδεσμολογείται όπως στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση και το δεύτερο όπως στις γεννήτριες με διέγερση σειράς. Και για τις γεννήτριες αυτές υπάρχει ο φόβος να χάσουν τον παραμένοντα μαγνητισμό τους, αν περιστραφούν με φορά αντίθετη από αυτή που έχει ορίσει ο κατασκευαστής τους, χωρίς προηγουμένως να έχουμε αλλάξει κατάλληλα τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων διεγέρσεως.

ια) Η σύνθετη διέγερση μιας γεννήτριας λέγεται αθροιστική, όταν το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος σειράς ενισχύει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το παράλληλο τύλιγμα. Όταν το εξασθενεί, λέγεται διαφορική σύνθετη διέγερση. Ανάλογα με το βαθμό ενισχύσεως, η αθροιστική σύνθετη διέγερση διακρίνεται σε:

– Υπερσύνθετη, όταν η τάση της γεννήτριας στο κανονικό φορτίο είναι μεγαλύτερη από την τάση χωρίς φορτίο.

– Σταθερής τάσεως, όταν η τάση μένει περίπου σταθερή όταν μεταβάλλεται το φορτίο.

– Υποσύνθετη, όταν η τάση πέφτει σημαντικά με το φορτίο (λιγότερο πάντως από ό,τι αν είχε μόνο παράλληλη διέγερση).

ιβ) Όταν δυο ή περισσότερες γεννήτριες τροφοδοτούν τους ίδιους ζυγούς, λέμε ότι οι γεννήτριες λειτουργούν παράλληλα. Για να συνδέσουμε μια γεννήτρια σε ζυγούς που τροφοδοτούνται από άλλες γεννήτριες, πρέπει πρώτα να την παραλληλίσουμε. Για το σκοπό αυτό πρέπει η γεννήτρια: α) να έχει την κανονική ταχύτητα περιστροφής, β) να έχει τάση χωρίς φορτίο ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την τάση των ζυγών, γ) να έχει την ίδια πολικότητα με τους ζυγούς. Μετά τον παραλληλισμό, κλείνουμε το διακόπτη φορτίου της γεννήτριας και την φορτίζουμε αυξάνοντας την ένταση διεγέρσεώς της.

ιγ) Η ισχύς που δίνει μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

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

Η ισχύς που απορροφά η γεννήτρια από την κινητήρια μηχανή είναι μεγαλύτερη. Η διαφορά αποτελεί την ισχύ των απωλειών, οι οποίες εμφανίζονται με μορφή θερμότητας που διαχέεται στο περιβάλλον.

Οι απώλειες διακρίνονται σε σταθερές, που είναι οι μηχανικές και μαγνητικές απώλειες, και σε μεταβλητές, που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες.

Ο λόγος της ισχύος που δίνει μια γεννήτρια προς την ισχύ που απορροφά από την κινητήρια μηχανή, ονομάζεται **βαθμός αποδόσεως της γεννήτριας**:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{εισ}}}$$

Το η είναι πάντοτε μικρότερο από τη μονάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

4.1 Εκκίνηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

4.1.1 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα.

Στην παράγραφο 2.3 εξηγήσαμε πώς αναπτύσσεται αντιηλεκτρεγερτική δύναμη στην περιστρεφόμενη σπείρα του επαγωγικού τυμπάνου του απλού κινητήρα που εξετάσαμε εκεί. Όπως είπαμε, η τάση της πηγής πρέπει να υπερνικήσει αυτή την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη, για να μπορέσει να κυκλοφορήσει το ρεύμα μέσα στη σπείρα.

Στους πραγματικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος, που το επαγωγικό τους τύμπανο έχει πολλές σπείρες συνδεδεμένες σε σειρά, οι αντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις όλων αυτών των σπειρών προστίθενται και αποτελούν την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη E_a του κινητήρα. Το μέγεθός της υπολογίζεται από τη σχέση που δίνει, όπως και στις γεννήτριες (παράγρ. 3.1) την ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

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

Αν U είναι η τάση της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα, η διαφορά: $U - E_a$ είναι η τάση που προκαλεί την ένταση I_T μέσα από το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Δηλαδή η διαφορά αυτή είναι ίση με την πτώση τάσεως που προκαλείται από την ωμική αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου:

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

όπου R_T είναι η ωμική αντίσταση σε Ω του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου και των ψηκτρών.

Η σχέση αυτή γράφεται και ως εξής:

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

που μας δίνει την ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία οι αγωγοί τέμνουν τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου, δηλαδή από την ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα. Όταν ο κινητήρας εργάζεται με το κανονικό του φορτίο, η E_a κυμαίνεται μεταξύ του 80 και 95% της U , ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα.

Παράδειγμα.

Πόση είναι η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη E_a σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος που λειτουργεί με τάση 220 V και του οποίου το τύλιγμα του τυμπάνου στο κανονικό φορτίο απορροφά ένταση 60A; Η αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου και των ψηκτρών είναι 0,25 Ω.

Λύση.

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

4.1.2 Ένταση εκκινήσεως - Εκκινητές.

Με τη βοήθεια των σχέσεων του προηγούμενου εδαφίου, μπορούμε να καταλάβουμε τι γίνεται στην εκκίνηση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, δηλαδή τη στιγμή, που κλείνουμε το διακόπτη τροφοδοτήσεως και συνδέουμε την πηγή με τους ακροδέκτες του κινητήρα. Τη στιγμή αυτή το τύμπανο είναι ακόμα ακίνητο, άρα δεν υπάρχει αντιηλεκτρεγερτική δύναμη E_a . Η παραπάνω σχέση, για $E_a = 0$ γίνεται:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T}$$

όπου: $I_{εκ}$ είναι η **ένταση εκκινήσεως**, δηλαδή η ένταση που απορροφά το τύμπανο του κινητήρα τη στιγμή που τον βάζουμε σε κίνηση.

Παρατηρούμε ότι η ένταση εκκινήσεως είναι πολύ μεγάλη σχετικά με την ένταση κανονικής λειτουργίας.

Παράδειγμα.

Στον κινητήρα του προηγούμενου παραδείγματος να υπολογισθεί η ένταση εκκινήσεως $I_{εκ}$.

Λύση.

$$\begin{aligned} I_{εκ} &= \frac{U}{R_T} \\ I_{εκ} &= \frac{220}{0,25} = 880 \text{ A} \end{aligned}$$

Δηλαδή ο κινητήρας αυτός θα απορροφήσει στην εκκίνηση ένταση $14,7 \left(= \frac{880}{60} \right)$ φορές μεγαλύτερη από την ένταση κανονικού φορτίου.

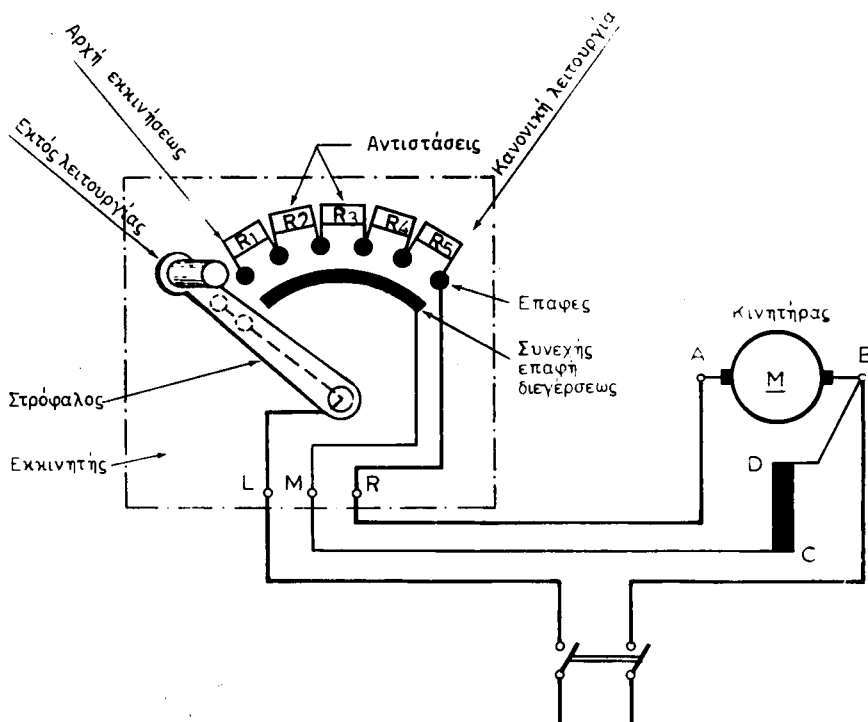
Τόσο μεγάλες εντάσεις κατά την εκκίνηση του κινητήρα, θα προκαλούσαν ανωμαλίες στον ίδιο τον κινητήρα και στο δίκτυο που τον τροφοδοτεί. Για να τις αποφύγουμε, συνδέουμε κατά το διάστημα της εκκινήσεως μια πρόσθετη αντίσταση, σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, ώστε να περιορίζεται η ένταση εκ-

κινήσεως (εκτός αν πρόκειται για πολύ μικρούς κινητήρες). Η αντίσταση αυτή, που είναι μεταβλητή και μάλιστα συνήθως στροφαλοφόρος, ονομάζεται **εκκινητής**.

Η αντίσταση του εκκινητή αφαιρείται σιγά - σιγά, καθώς ο κινητήρας αποκτά στροφές και δημιουργείται αντιηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύλιγμα του τυμπάνου του. Η αφαίρεση αυτή γίνεται με περιστροφή του στροφάλου του εκκινητή, οπότε αφαιρούνται διαδοχικά τα τμήματα των αντιστάσεων που συνδέονται με τις αντίστοιχες επαφές, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1α.

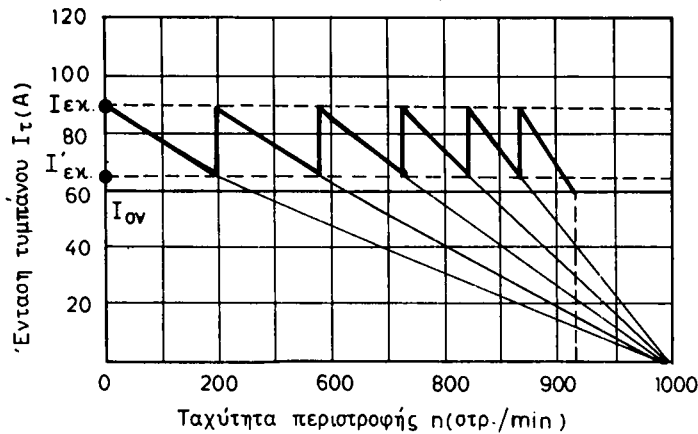
Τα τμήματα των αντιστάσεων του εκκινητή είναι έτσι υπολογισμένα, ώστε η ένταση που απορροφά ο κινητήρας στη διάρκεια της εκκινήσεως να κυμαίνεται μεταξύ μιας μέγιστης τιμής, που είναι η $I_{εκ}$ και μιας ελάχιστης τιμής $I'_{εκ}$, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.1β, όπου οι ταχύτητες, στις οποίες η ένταση από $I'_{εκ}$ γίνεται απότομα $I_{εκ}$, αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές που γίνεται μετάβαση του στροφάλου από τη μια επαφή του εκκινητή στην επόμενη. Στη συνέχεια όμως, με την αύξηση της ταχύτητας, η ένταση πέφτει πάλι προοδευτικά στην $I'_{εκ}$. Όταν αφαιρεθούν όλα τα τμήματα των αντιστάσεων του εκκινητή, ο κινητήρας θα έχει την κανονική του ταχύτητα n_k και θα απορροφά την κανονική ένταση $I_{ον}$, που θα εξαρτάται πια μόνο από το φορτίο του.

Η αφαίρεση των αντιστάσεων του εκκινητή δεν πρέπει να γίνεται ούτε πολύ γρήγορα, δηλαδή πριν ο κινητήρας φθάσει την ταχύτητα που αντιστοιχεί σε κάθε επαφή, ούτε πολύ αργά, όταν η ταχύτητα του κινητήρα δεν αυξάνεται άλλο. Στην



Σχ. 4.1α.

Συνδεσμολογία απλού εκκινητή.



Σχ. 4.1β.

πρώτη περίπτωση θα έχουμε αύξηση της εντάσεως πάνω από το $I_{εκ}$. Στη δεύτερη αυξάνεται αδικαιολόγητα ο **χρόνος εκκινήσεως**.

Οι εντάσεις $I_{εκ}$ και $I'_{εκ}$ καθορίζονται έτσι, ώστε ο κινητήρας στην εκκίνηση να αναπτύσσει τη ροπή που χρειάζεται για να κινήσει το φορτίο του και να επιταχυνθεί. Αν $R_{εκ}$ είναι η ολική αντίσταση του εκκινήτη, τότε η ένταση εκκινήσεως θα είναι τώρα:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T + R_{εκ}}$$

Από όπου προκύπτει:

$$R_{εκ} = \frac{U}{I_{εκ}} - R_T$$

Από τη σχέση αυτή προσδιορίζουμε την ολική αντίσταση του εκκινήτη. Για κινητήρες μέχρι 100 kW, λαμβάνουμε συνήθως $I_{εκ} = 1,5 \cdot I_{ον}$ και $I'_{εκ} = 1,1 \cdot I_{ον}$, όταν ο κινητήρας πρόκειται να ξεκινά με το κανονικό του φορτίο. Ο αριθμός των επαφών του εκκινήτη εξαρτάται από την ισχύ και την τάση λειτουργίας του κινητήρα.

Παράδειγμα.

Σε κινητήρα τάσεως 220 V και εντάσεως 60 A, που έχει αντίσταση επαγωγικού τυμπάνου 0,5Ω, ποια πρέπει να είναι η ολική αντίσταση του εκκινήτη, για να περιορισθεί το ρεύμα εκκινήσεως στο 1,5 του κανονικού ρεύματος του κινητήρα.

Λύση.

Είναι:
$$R_{εκ} = \frac{U}{I_{εκ}} - R_T \text{ και } I_{εκ} = 1,5 \cdot I_{ον}$$

$$\text{Άρα} \quad R_{\text{εκ}} = \frac{220}{1,5 \times 60} - 0,5 = 2,44 - 0,5 = 1,94 \, \Omega$$

Ο υπολογισμός δείχνει ότι η αντίσταση αυτή, διανεμημένη σε πέντε τμήματα (σχήματα 4.1α και 4.1β), πρέπει να χωρισθεί ως εξής:

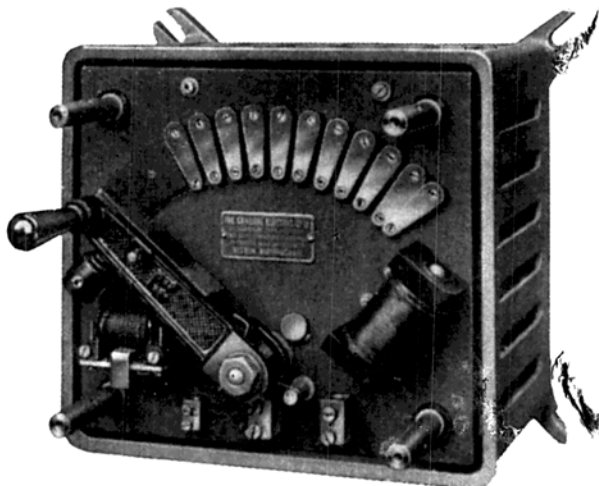
$$R_1 = 0,66 \, \Omega, R_2 = 0,48 \, \Omega, R_3 = 0,33 \, \Omega, R_4 = 0,26 \, \Omega, R_5 = 0,19 \, \Omega$$

Όπως παρατηρούμε, η ολική $R_{\text{εκ}}$ δεν χωρίζεται σε ίσα τμήματα. Αναφέρουμε μόνο ότι το κάθε τμήμα προκύπτει από το προηγούμενο (εκτός βέβαια από την R_1) με πολλαπλασιασμό επί το λόγο $I'_{\text{εκ}}/I_{\text{εκ}}$, ο οποίος στο παράδειγμα έχει ληφθεί ίσος με 0,733.

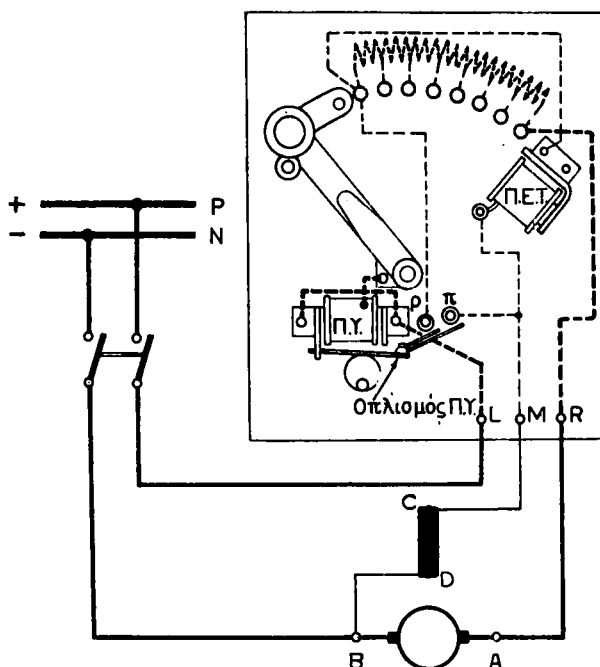
Υπάρχουν δυο τύποι χειροκίνητων εκκινητών: οι **εκκινητές επίπεδου τύπου** και οι **εκκινητές τύπου τυμπάνου**. Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται συνήθως σε κινητήρες με παράλληλη ή με σύνθετη διέγερση (παράγρ. 4.5), ενώ οι δεύτεροι, που έχουν καλύτερη μηχανική αντοχή και παρέχουν τη δυνατότητα πραγματοποίησεως πολύπλοκων συνδυασμών, χρησιμοποιούνται συνήθως σε κινητήρες σειράς. Στις περιπτώσεις αυτές λειτουργούν και ως ρυθμιστές στροφών ή και αναστροφείς της φοράς περιστροφής. Τους εκκινητές τύπου τυμπάνου θα τους περιγράψουμε στην παράγραφο 4.6, όπου θα μιλήσουμε για τις μεθόδους ρυθμίσεως της ταχύτητας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Οι εκκινητές επίπεδου τύπου (σχ. 4.1γ) κατασκευάζονται συνήθως για να λειτουργούν τοποθετημένοι επάνω σε κατακόρυφο πίνακα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, στο εμπρός μέρος του εκκινητή είναι τοποθετημένες οι επαφές, στις οποίες είναι συνδεδεμένα τα τμήματα των αντιστάσεων, που βρίσκονται στο πίσω μέρος του εκκινητή.

Η εσωτερική και εξωτερική συνδεσμολογία ενός εκκινητή επίπεδου τύπου, στην περίπτωση κινητήρα με παράλληλη διέγερση, φαίνεται στο σχήμα 4.1δ. Όπως παρατηρούμε, το άκρο C του τυλίγματος διεγέρσεως δεν συνδέεται στον



Σχ. 4.1γ.
Εκκινητής επίπεδου τύπου.



Σχ. 4.16.

Συνδεσμολογία εκκινητή επίπεδου τύπου για κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

ακροδέκτη A του τυμπάνου, αλλά στην πρώτη επαφή του εκκινητή μέσω του τρίτου ακροδέκτη M. Αυτό γίνεται, γιατί το τύλιγμα διεγέρσεως κατά την εκκίνηση πρέπει να βρεθεί στην πλήρη τάση του δικτύου, ώστε να έχουμε ισχυρό μαγνητικό πεδίο και συνεπώς μεγάλη ροπή, όπως θα εξηγήσουμε στην επόμενη παράγραφο.

Ο εκκινητής του σχήματος 4.16 είναι εφοδιασμένος με ένα **πηνίο ελλείψεως τάσεως** (Π.Ε.Τ.) και ένα **πηνίο υπερεντάσεως** (Π.Υ.). Το πηνίο ελλείψεως τάσεως συγκρατεί τον στρόφαλο του εκκινητή στη θέση κανονικής λειτουργίας. Εάν για οποιονδήποτε λόγο διακοπεί η τάση τροφοδοτήσεως, το πηνίο αφήνει ελεύθερο το στρόφαλο, ο οποίος επανέρχεται με τη βοήθεια ενός ελατηρίου στη θέση «εκτός λειτουργίας» (σχ. 4.1α). Το ίδιο συμβαίνει και όταν, θέλοντας να σταματήσουμε τον κινητήρα, ανοίξουμε το διακόπτη. Έτσι δεν υπάρχει φόβος, όταν ξαναέλθει η τάση του δικτύου ή όταν κλείσουμε το διακόπτη, να βρεθεί ο εκκινητής με το στρόφαλο στη θέση κανονικής λειτουργίας και να ξεκινήσει ο κινητήρας χωρίς εκκινητή.

Το πηνίο υπερεντάσεως προορισμό έχει να διακόπτει την τροφοδότηση του κινητήρα, δηλαδή να τον θέτει εκτός λειτουργίας κάθε φορά που για οποιοδήποτε λόγο θα περάσει μια ένταση μέσα από αυτόν σημαντικά μεγαλύτερη από την κανονική του ένταση. Για το σκοπό αυτό, το πηνίο υπερεντάσεως έχει ένα οπλισμό, η θέση του οποίου, σχετικά με τον πυρήνα του πηνίου, μπορεί να ρυθμισθεί. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να ρυθμίσουμε την ένταση του ρεύματος στην οποία θέλουμε να λειτουργεί το πηνίο. Το τύλιγμα του πηνίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1δ, συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Όταν η ένταση του ρεύματος αυτού υπερβεί ένα ορισμένο όριο, το πηνίο υπερεντάσεως έλκει τον

οπλισμό του, ο οποίος βραχυκυκλώνει τις δυο επαφές ρ και π. Έτσι βραχυκυκλώνεται το πηνίο ελλείψεως τάσεως, το οποίο αφήνει ελεύθερο το στρόφαλο του εκκινητή και, όπως εξηγήσαμε, ο κινητήρας σταματά.

4.2 Ροπή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Στο εδάφιο 2.2.2 είδαμε ποια σχέση δίνει το μέγεθος της ροπής, που ασκεί μια σπείρα στο επαγωγικό τύμπανο του απλού κινητήρα που εξετάσαμε. Η ροπή T που ασκείται σε ένα πραγματικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση, της οποίας παραλείπομε την απόδειξη:

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

όπου: p είναι ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής,
 s ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος,
 w ο αριθμός των αγωγών κάθε στοιχείου,
 a ο αριθμός των ζευγών των παραλλήλων κλάδων,
 Φ η μαγνητική ροή σε Vs κάθε μαγνητικού πόλου και
 I_T η 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: $K_1 = \frac{p \cdot s \cdot w}{2\pi \cdot a}$ είναι σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή.

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

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 2.4, εμφανίζεται στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, όταν εργάζονται με φορτίο.

4.3 Λειτουργία 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_g , με συνέπεια η μαγνητική ροή Φ κάθε πόλου του κινητήρα να είναι σταθερή. Ξέρομε 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 σε 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 εντάσεως 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:

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

Δηλαδή με την μικρή ελάττωση της ταχύτητας έχουμε αύξηση της κινητήριας ροπής T .

Η ελάττωση της ταχύτητας 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 θα κινεί το μηχανικό του φορτίο.

Κάθε μεταβολή του μηχανικού φορτίου θα συνεπάγεται, σύμφωνα με τους παραπάνω συλλογισμούς, αντίστοιχη αυτόματη μεταβολή στην ένταση I_T και συνεπώς και στην ισχύ που ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο. Αν το μηχανικό φορτίο του κινητήρα αυξηθεί πάρα πολύ, δηλαδή αν ξεπεράσει την ικανότητα του κινητήρα, τότε η ταχύτητά του θα πέσει πολύ, ίσως και να σταματήσει τελείως ο κινητήρας. Η ένταση που ο κινητήρας θα απορροφήσει τότε από το δίκτυο θα είναι πολύ μεγάλη και ο κινητήρας θα διατρέξει τον κίνδυνο να καταστραφεί από υπερθέρμανση, αν δεν λειτουργήσει η προστασία από υπερεντάσεις που προβλέπεται για κάθε κινητήρα.

Παράδειγμα.

Κινητήρας με παράλληλη διέγερση λειτουργεί με τάση 500 V και έχει ταχύτητα περιστροφής 1800 στρ/μίν όταν το τύλιγμα του τυμπάνου του, που έχει αντίσταση 1 Ω, απορροφά ένταση 50 A. 1) Ποια είναι η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα; 2) Ποια θα είναι η νέα αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα και η ταχύτητα περιστροφής του, αν ελαττωθεί η απαιτούμενη από το κινούμενο μηχανήμα ροπή στο $1/2$;

Λύση.

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

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

2) Από τη σχέση:

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

συμπεραίνομε ότι (αφού τα K_1 και Φ είναι σταθερά) για $1/2$ ροπής ο κινητήρας θα απορροφά το $1/2$ της εντάσεως που απορροφούσε προηγούμενα:

$$I_{T_2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ A}$$

$$\text{Άρα: } E_{a_2} = U - R_T \cdot I_{T_2}$$

$$E_{a_2} = 500 - 1 \times 25 = 500 - 25 = 475 \text{ V}$$

Για να βρούμε τη νέα ταχύτητα του κινητήρα χρησιμοποιούμε τις σχέσεις:

$$E_{a_1} = K \cdot \Phi \cdot n_1$$

$$E_{a_2} = K \cdot \Phi \cdot n_2$$

Από τις οποίες προκύπτει:

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{E_{a_2}}{E_{a_1}}$$

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

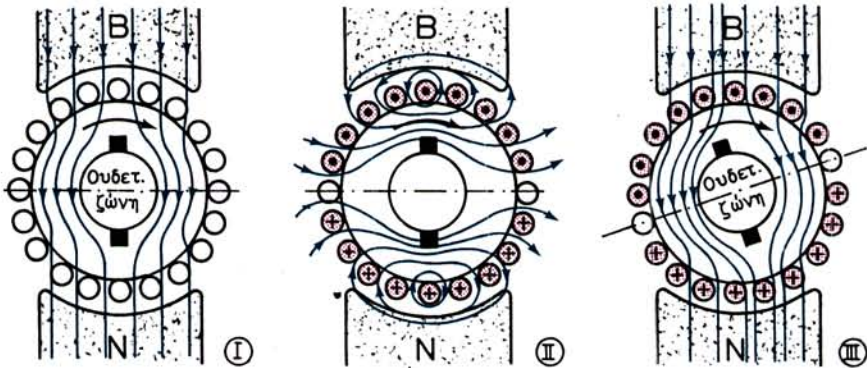
4.3.1 Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου.

Όπως στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος έτσι και στους κινητήρες, το ρεύμα που κυκλοφορεί μέσα στους αγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου, δημιουργεί ένα δικό του μαγνητικό πεδίο [σχ. 4.3(II)]. Το μαγνητικό αυτό πεδίο παραμορφώνει το μαγνητικό πεδίο των κυρίων πόλων της μηχανής [σχ. 4.3 (I)], μέσα στο οποίο περιστρέφεται, όπως ξέρομε, το επαγωγικό τύμπανο. Η παραμόρφωση αυτή, που ονομάζεται και εδώ **αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου**, έχει πάλι σαν αποτέλεσμα να μετατοπίζεται η ουδέτερη ζώνη και να δημιουργούνται συνεπώς σπινθηρισμοί στο συλλέκτη, όπως είδαμε ότι συμβαίνει και στις γεννήτριες (εδάφιο 3.2.1).

Η μόνη διαφορά είναι ότι στους κινητήρες η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται αντίθετα από τη φορά περιστροφής του τυμπάνου, όπως δείχνει και το σχήμα 4.3(III). Η μετατόπιση είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος που απορροφά ο κινητήρας.

Όταν ο κινητήρας εργάζεται χωρίς φορτίο, η ένταση που απορροφά είναι, όπως εξηγήσαμε, πολύ μικρή σχετικά με την ένταση που απορροφά όταν εργάζεται με το κανονικό του φορτίο. Γι' αυτό το λόγο, είναι δυνατό στη λειτουργία χωρίς φορτίο του κινητήρα να μην εμφανίζονται σπινθηρισμοί στο συλλέκτη. Για να έχουμε λειτουργία του κινητήρα με φορτίο χωρίς σπινθηρισμούς, μεταθέτομε λίγο τις ψήκτρες, αντίθετα όμως από τη φορά περιστροφής του κινητήρα, όπως δείχνει το σχήμα 4.3 (III).

Ένας άλλος τρόπος για να αποφύγομε τους σπινθηρισμούς στο συλλέκτη, χωρίς να μεταθέσομε τις ψήκτρες, είναι να χρησιμοποιήσομε βοηθητικούς πόλους σαν αυτούς των γεννητριών. Σήμερα οι περισσότεροι κινητήρες συνεχούς ρεύματος κατασκευάζονται με βοηθητικούς πόλους. Τα τυλίγματα των βοηθητικών πό-



Σχ. 4.3.

Αντίδραση επαγωγικού τυμπάνου κινητήρα.

λυν συνδέονται και εδώ σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, αλλά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε την ακόλουθη διαδοχή κυρίων και βοηθητικών πόλων: **κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου του κινητήρα, ύστερα από βόρειο κύριο πόλο να είναι βόρειος βοηθητικός και ύστερα από νότιο κύριο πόλο να είναι νότιος βοηθητικός.**

4.4 Ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων.

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

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

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

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 ακροδέκτες 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 εντάσεως διεγέρσεως προκαλεί μείωση της ταχύτητας του κινητήρα**. Μεγάλη μείωση της εντάσεως διεγέρσεως έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση των στροφών του κινητήρα, οπότε 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 επαγωγικό τύμπανο, 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 αύξησης 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 .

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

4.5 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:

- α) Κινητήρες με ξένη διέγερση.
- β) Κινητήρες με παράλληλη διέγερση.
- γ) Κινητήρες με διέγερση σειράς.
- δ) Κινητήρες με σύνθετη διέγερση.

4.5.1 Κινητήρες με ξένη 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.

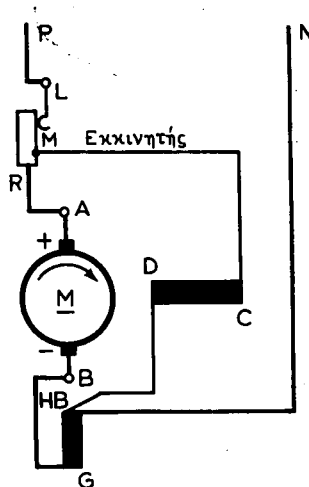
Αναφέρουμε μόνο ότι ανάμεσα στις ειδικές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται κινητήρες με ξένη διέγερση είναι κυρίως εκείνες κατά τις οποίες γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα σε μεγάλα όρια. Όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο, αυτό μπορεί να γίνει με μεταβολή σε μεγάλα επίσης όρια της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η διέγερση του κινητήρα πρέπει να τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή συνεχούς ρεύματος. Τα σχήματα 4.6γ και 4.6δ δίνουν τη συνδεσμολογία δυο τέτοιων εφαρμογών των κινητήρων με ξένη διέγερση.

4.5.2 Κινητήρες με-παράλληλη διέγερση.

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

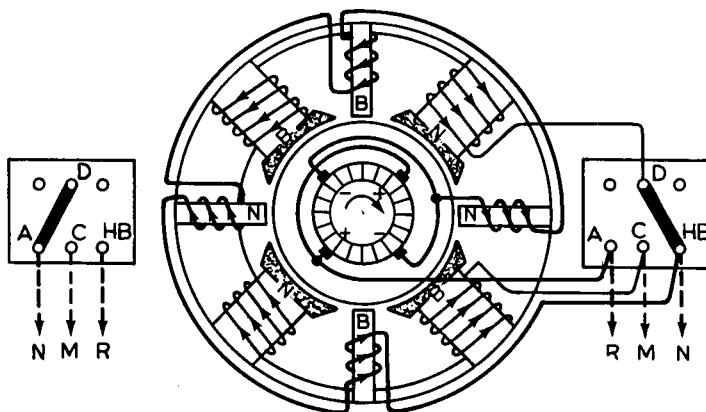
Το σχήμα 4.5α στο αριστερό μέρος δείχνει τη συνδεσμολογία ενός κινητήρα με παράλληλη διέγερση (C-D) και βοηθητικούς πόλους (G-HB). Στο σχήμα τα P και N παριστάνουν το θετικό και αρνητικό πόλο της πηγής από την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας.

Σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο συνδέεται και ο εκκινητής που χρησιμεύει, όπως είπαμε (παρ. 4.1), για την εκκίνηση του κινητήρα. Το άκρο του τυλίγματος διεγέρσεως συνδέεται με τον τρίτο ακροδέκτη M που φέρει ο εκκινητής.



Σχ. 4.5α.

Κινητήρας με παράλληλη διέγερση και εκκινητή.

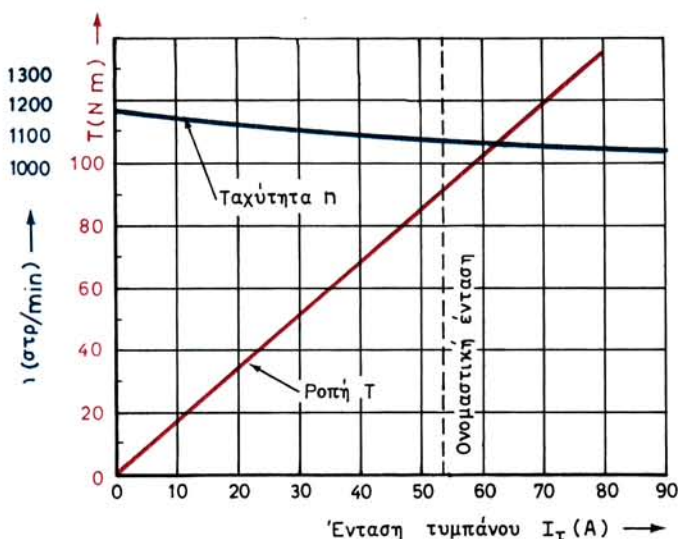


Σχ. 4.5β.

Τετραπολικός κινητήρας με παράλληλη διέγερση και βοηθητικούς πόλους.

Η εσωτερική συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μεταξύ τους και με τους ακροδέκτες σε ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση φαίνεται στο σχήμα 4.5β. Η συνδεσμολογία είναι ακριβώς η ίδια με αυτή μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής σε ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση εδάφιο 2.2.2, συνήθως αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος μέσα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, φροντίζοντας να κρατήσουμε την ίδια πολικότητα στους κύριους μαγνητικούς πόλους. Η πολικότητα των βοηθητικών πόλων πρέπει να αλλάξει, για να ισχύουν όσα αναφέραμε στο εδάφιο 4.3.1 για τη διαδοχή κυρίων και βοηθητικών πόλων. Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται αν κάνουμε τη συνδεσμολογία στο κιβώτιο των ακροδεκτών, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 4.5β, με τις αντίστοιχες εξωτερικές συνδέσεις.



Σχ. 4.5γ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

Το διάγραμμα του σχήματος 4.5γ δείχνει τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας 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).

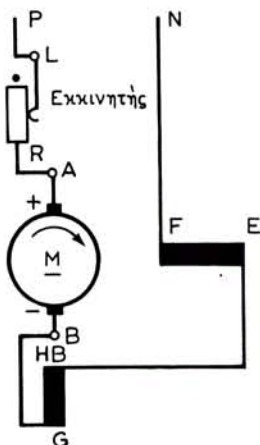
Όπως παρατηρούμε η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα πολύ λίγο μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως. Η μεταβολή των στροφών από το μηδενικό στο πλήρες φορτίο κυμαίνεται στους κινητήρες αυτούς από 5 ως 15%. Ακόμα και για σημαντικές υπερφορτίσεις οι στροφές του κινητήρα λίγο μειώνονται.

Στο ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε επίσης, ότι η ροπή T μεταβάλλεται περίπου ανάλογα με την ένταση φορτίσεως. Αυτό είναι σύμφωνο με τη σχέση που δώσαμε στην παράγραφο 4.2 για τη ροπή του κινητήρα (με ένταση διεγέρσεως σταθερή).

4.5.3 Κινητήρες με διέγερση σειράς.

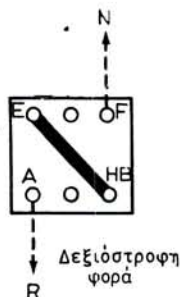
Στο σχήμα 4.5δ φαίνεται η συνδεσμολογία ενός κινητήρα με διέγερση σειράς. Το τύλιγμα διεγέρσεως E-F είναι εδώ συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων G-HB και το επαγωγικό τύμπανο της μηχανής. Επίσης σε σειρά με αυτά είναι συνδεδεμένος και ο εκκινητής L-R.

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 μια αλλαγή της συνδεσμολογίας στους ακροδέκτες, όπως δείχνει το σχήμα 4.5ε. Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής χρειάζεται να γίνεται τακτικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, χρησιμοποιούμε, όπως και για τους



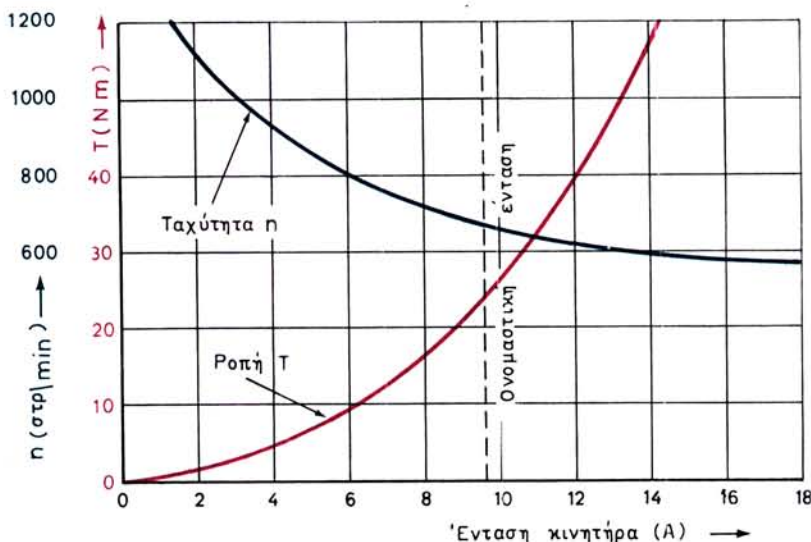
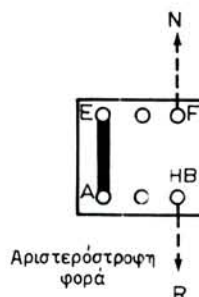
Σχ. 4.5δ.

Κινητήρας με διέγερση σειράς.



Σχ. 4.5ε.

Αλλαγή φοράς περιστροφής σε κινητήρα με διέγερση σειράς.



Σχ. 4.5στ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα με διέγερση σειράς.

κινητήρες με παράλληλη διέγερση, είτε ένα **εκκινητή-αναστροφέα** είτε ένα **ρυθμιστή στροφών-αναστροφέα**, που θα τους περιγράψουμε στα επόμενα.

Στο διάγραμμα του σχήματος 4.5στ 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 που περνά μέσα από το τύμπανο (I_T) είναι η ίδια με την ένταση διεγέρσεως (αν δεν

υπάρχει ρυθμιστική αντίσταση παράλληλα προς το τύλιγμα διεγέρσεως) και με την ένταση δικτύου I .

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα, η ροπή του κινητήρα αυξάνεται πάρα πολύ όταν αυξάνεται η I , σχεδόν αυξάνεται με το τετράγωνο της I . Αυτό εξηγείται και από τη σχέση που δώσαμε στη παράγραφο 4.2:

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

Εδώ η Φ , για τα σημεία λειτουργίας κάτω του κόρου, είναι ανάλογη με την I , άρα:

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

Στο διάγραμμα επίσης παρατηρούμε, ότι στους κινητήρες με διέγερση σειράς, η ταχύτητα περιστροφής αλλάζει πολύ όταν αλλάζει η ένταση που απορροφά ο κινητήρας, δηλαδή όταν αλλάζει το φορτίο του κινητήρα. Η εξήγηση και αυτής της ιδιότητας είναι εύκολη αν σκεφθούμε πάλι ότι η ένταση I είναι και ένταση διεγέρσεως στους κινητήρες αυτούς. Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στη παράγραφο 4.4, μεταβολή της εντάσεως διεγέρσεως έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μεταβολή των στροφών του κινητήρα.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο κινητήρας με διέγερση σειράς, όταν έχει να κινηθεί σημαντικό φορτίο, όχι μόνο ελαττώνει την ταχύτητά του αλλά και αναπτύσσει μεγάλη ροπή ικανή να κινηθεί το εξωτερικό φορτίο που είναι συνδεδεμένο στον άξονά του. Αντίθετα, όταν ο κινητήρας έχει να κινηθεί μικρό φορτίο, απορροφά από το δίκτυο μικρή ένταση και αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα με μικρή σχετικά ροπή.

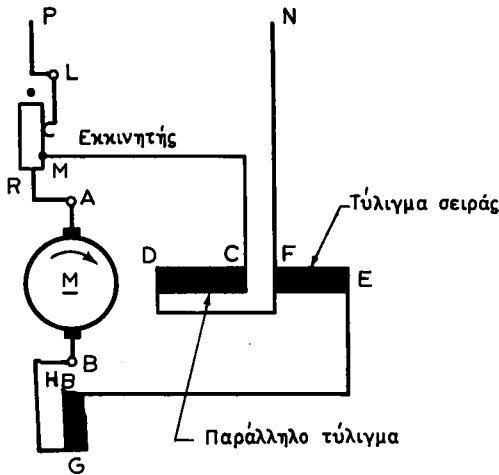
Η συμπεριφορά αυτή του κινητήρα με διέγερση σειράς τον κάνει κατάλληλο για την ανύψωση βαρών (π.χ. στους γερανούς) και για την ηλεκτρική κίνηση οχημάτων (π.χ. τρόλεϊ, ηλεκτρικά τραίνα κλπ.).

Ο κινητήρας με διέγερση σειράς όταν δεν έχει φορτίο συνδεδεμένο στον άξονά του, απορροφά από το δίκτυο πολύ μικρή ένταση. Η ταχύτητά του αυξάνεται πάρα πολύ και υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί ο κινητήρας. Για το λόγο αυτό οι κινητήρες με διέγερση σειράς συνδέονται πάντοτε με το φορτίο που κινούν με μηχανικό σύνδεσμο (κόπλερ) ή με οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια) και ποτέ με ιμάντες, που είναι δυνατό να κοπούν και να μείνει ο κινητήρας χωρίς φορτίο.

4.5.4 Κινητήρες με σύνθετη διέγερση.

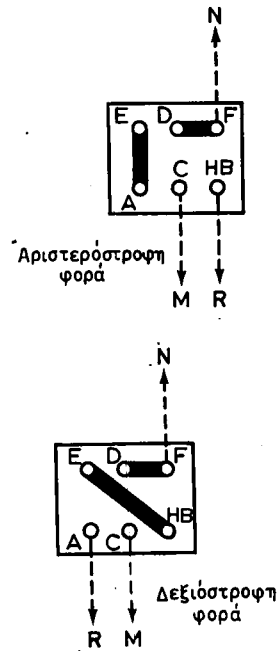
Όπως στις γεννήτριες, έτσι και στους κινητήρες με σύνθετη διέγερση, κάθε κύριος μαγνητικός πόλος έχει δύο τυλίγματα, το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς. Επίσης, όπως και στις γεννήτριες έχουμε κινητήρες με αθροιστική σύνθετη διέγερση και κινητήρες με διαφορική σύνθετη διέγερση, αντίστοιχα με το αν το τύλιγμα σειράς ενισχύει ή εξασθενίζει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το παράλληλο τύλιγμα.

Η συνδεσμολογία ενός κινητήρα με αθροιστική σύνθετη διέγερση και βοηθητικούς πόλους, φαίνεται στο σχήμα 4.5ζ. Η εκκίνηση γίνεται και εδώ, όπως στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, με τη βοήθεια ενός εκκινήτη που συνδέεται, όπως δείχνει και το σχήμα, σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο.



Σχ. 4.5ζ.

Κινητήρας με σύνθετη διέγερση και βοηθητικούς πόλους.

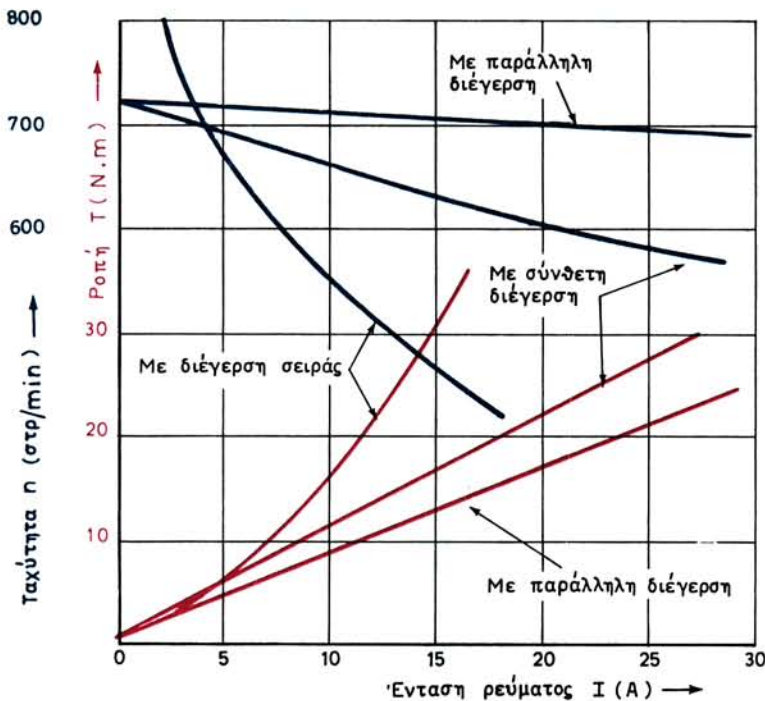


Σχ. 4.5η.

Αλλαγή φοράς περιστροφής σε κινητήρα με σύνθετη διέγερση.

Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής σε ένα κινητήρα με σύνθετη διέγερση, πρέπει να αλλάξουμε την διεύθυνση του ρεύματος μέσα στο επαγωγικό τύλιγμα και στους βοηθητικούς πόλους. Η διεύθυνση όμως του ρεύματος διέγερσης, τόσο μέσα στο παράλληλο τύλιγμα όσο και μέσα στο τύλιγμα σειράς, πρέπει να μένει η ίδια. Αυτά μπορούν να γίνουν και εδώ με μια αλλαγή της συνδεσμολογίας στους ακροδέκτες, όπως δείχνει το σχήμα 4.5η. Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής πρέπει να γίνεται τακτικά κατά τη λειτουργία του κινητήρα χρησιμοποιούμε, όπως και στους άλλους κινητήρες, είτε ένα εκκινητή-αναστροφέα είτε ένα ρυθμιστή στρωφών-αναστροφέα.

Στο διάγραμμα του σχήματος 4.5θ φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες του κινητήρα με αθροιστική σύνθετη διέγερση. Στο ίδιο διάγραμμα, για λόγους συγκρίσεως, είναι σχεδιασμένες οι χαρακτηριστικές καμπύλες ενός κινητήρα με παράλληλη διέγερση και ενός κινητήρα με διέγερση σειράς του ίδιου μεγέθους με τον κινητήρα με σύνθετη διέγερση. Όπως παρατηρούμε, οι χαρακτηριστικές του τελευταίου αυτού κινητήρα είναι ένα είδος μέσης τιμής των χαρακτηριστικών των δύο άλλων κινητήρων. Επί πλέον, ο κινητήρας με σύνθετη διέγερση στη λειτουργία του χωρίς φορτίο συμπεριφέρεται σαν κινητήρας με παράλληλη διέγερση. Δεν υπάρχει λοιπόν φόβος στον κινητήρα αυτό, όταν μένει χωρίς φορτίο, να αυξηθεί πάρα πολύ η ταχύτητα περιστροφής, όπως συμβαίνει στους κινητήρες με διέγερση σειράς.



Σχ. 4.5θ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρων ίσου μεγέθους.

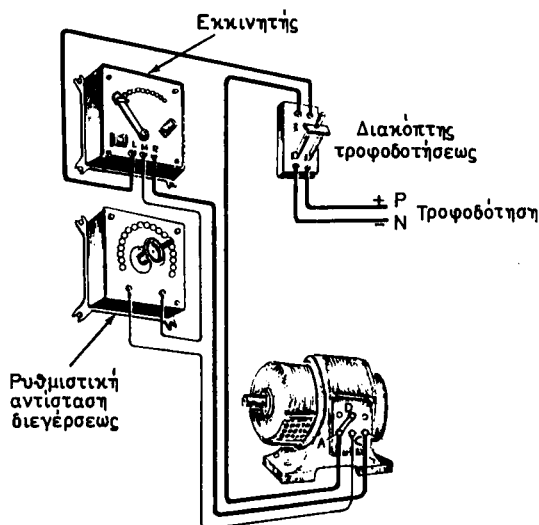
4.6 Μέθοδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Όπως είδαμε πιο πάνω (παράγραφος 4.4), οι δυο παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα που λειτουργεί είναι η τάση U που εφαρμόζεται στα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού 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 με:

- Ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως.
- Ρυθμιστική αντίσταση στο επαγωγικό τύμπανο.
- Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου.

α) Ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως.

Η μέθοδος αυτή, που στηρίζεται στη μεταβολή της εντάσεως διεγέρσεως για τη ρύθμιση της ταχύτητας, εφαρμόζεται στους κινητήρες με παράλληλη διεγέρση και στους κινητήρες με σύνθετη διεγέρση. Μια ρυθμιστική αντίσταση συνδέεται σε σειρά (στον αγωγό C-M' του σχήματος 4.5α) με το παράλληλο τύλιγμα και μεταβάλλει την ένταση διεγέρσεως που περνά μέσα από αυτό, όπως φαίνεται στο σχή-



Σχ. 4.6α.

Ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως σε κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

μα 4.6α. Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως μπορεί να είναι μια ανεξάρτητη ρυθμιστική αντίσταση (σχ. 3.1γ) ή να είναι συνδυασμένη με τον εκκινητή. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να μεταβάλλουμε την ταχύτητα ενός κινητήρα με παράλληλη διέγερση από την ονομαστική της τιμή μέχρι τέσσερις φορές την τιμή αυτή, εφόσον βέβαια το αντέχει η μηχανική κατασκευή του κινητήρα.

Στους κινητήρες με σύνθετη διέγερση, για μια ορισμένη θέση του στροφάλου της ρυθμιστικής αντιστάσεως, η ταχύτητα μεταβάλλεται σημαντικά όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Αντίθετα στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, η μεταβολή της ταχύτητας με το φορτίο είναι πολύ μικρότερη.

Στους κινητήρες σειράς, η μέθοδος αυτή της μεταβολής της εντάσεως διεγέρσεως για τη ρύθμιση των στροφών του κινητήρα, εφαρμόζεται μερικές φορές, αλλά τροποποιημένη. Δηλαδή, μια ρυθμιστική αντίσταση συνδέεται παράλληλα με το τύλιγμα διεγέρσεως, ώστε ένα μέρος του ρεύματος του τυμπάνου να περνά μέσα από αυτή τη ρυθμιστική αντίσταση. Έτσι μπορούμε, μεταβάλλοντας τη ρυθμιστική αντίσταση, να μεταβάλλουμε την ένταση διεγέρσεως.

β) Ρυθμιστική αντίσταση στο επαγωγικό τύμπανο.

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μεταβολή της τάσεως, που εφαρμόζεται στο τύμπανο του κινητήρα για τη ρύθμιση των στροφών του. Αν σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο συνδέσουμε μια ρυθμιστική αντίσταση, που ονομάζεται **ρυθμιστής στροφών**, όπως ακριβώς συνδέεται ο εκκινητής (σχήματα 4.5α, 4.5δ και 4.5ζ),

τότε με την πτώση τάσεως που δημιουργείται μέσα στην αντίσταση αυτή μπορούμε να επιτύχομε ρύθμιση της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου.

Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως στους κινητήρες σειράς. Στους κινητήρες με παράλληλη ή με σύνθετη διέγερση χρησιμοποιείται η μέθοδος, όταν θέλομε να έχουμε μεταβολή της ταχύτητας σε πολύ χαμηλά όρια. Στις περιπτώσεις αυτές η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί, γιατί με αυτή δεν μπορούμε να επιτύχομε ταχύτητες κάτω από ένα ορισμένο όριο. Το όριο αυτό είναι η ταχύτητα που έχει ο κινητήρας, όταν όλη η ρυθμιστική αντίσταση είναι εκτός κυκλώματος, οπότε μέσα από το τύλιγμα διεγέρσεως περνά το μεγαλύτερο δυνατό ρεύμα.

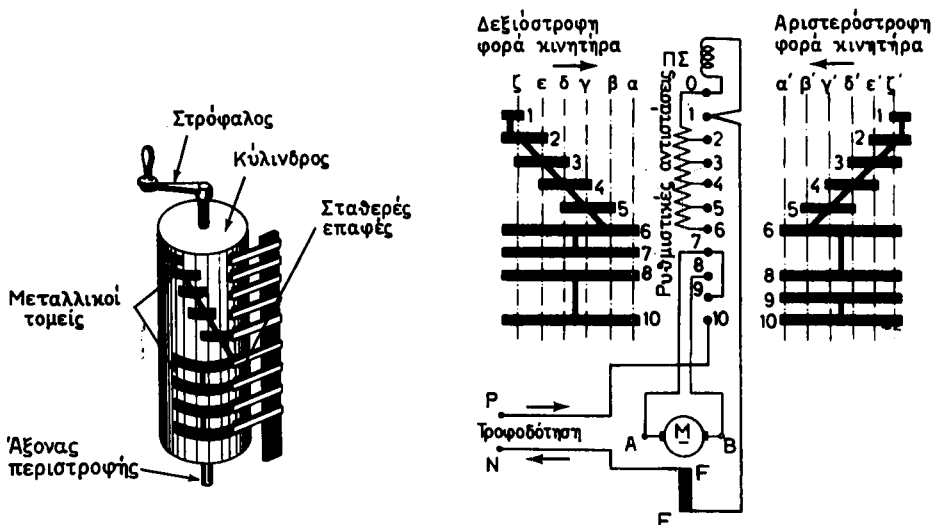
Η μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας με το ρυθμιστή στροφών, που είναι συνδεδεμένος, όπως αναφέραμε, σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, είναι δαπανηρή από την άποψη ότι έχουμε σημαντική απώλεια ενέργειας ($R \cdot I_T^2$), που εμφανίζεται σαν θερμότητα μέσα στο ρυθμιστή στροφών. Αντίθετα, η ρύθμιση της ταχύτητας με τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως, όπου βέβαια μπορεί να εφαρμοσθεί, παρουσιάζει πολύ μικρότερες απώλειες, αφού η ένταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως είναι πολύ μικρή, συγκρινόμενη με την ένταση του επαγωγικού τυμπάνου.

Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται **ρυθμιστής στροφών, αυτός ο ίδιος είναι τότε και εκκινητής του κινητήρα** (παράγρ. 4.1). Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ ενός ρυθμιστή στροφών και ενός εκκινητή είναι, ότι ο ρυθμιστής στροφών χρησιμοποιείται συνεχώς κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, ενώ ο εκκινητής χρησιμοποιείται μόνο στην εκκίνηση. Γι' αυτό το λόγο, οι αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών πρέπει να είναι έτσι υπολογισμένες, ώστε να αντέχουν στη σημαντική θερμότητα που παράγεται, όπως είπαμε, από τις απώλειες $R \cdot I_T^2$, χωρίς να υπάρχει φόβος να καταστραφούν.

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 να περιστραφεί με ένα χειροστρόφαλο. Στην κυλινδρική επιφάνεια του τυμπάνου είναι στερεωμένοι μεταλλικοί τομείς μονωμένοι προς αυτό και συνδεδεμένοι μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 4.6β. Στους μεταλλικούς τομείς εφάπτονται κατά την περιστροφή του κυλίνδρου αντίστοιχες σταθερές επαφές, που είναι στερεωμένες στο ακίνητο μέρος του ρυθμιστή στροφών.

Στις σταθερές επαφές συνδέονται τα άκρα των τυλιγμάτων του κινητήρα, οι αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών και οι αγωγοί για την τροφοδότηση του κινητήρα. Ανάλογα με τη θέση που δίνουμε στον κύλινδρο στρέφοντάς τον, παρεμβάλλουμε σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα διαφορετικό κάθε φορά αριθμό αντιστάσεων. Έτσι, μεταβάλλουμε την τάση που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο και συνεπώς και την ταχύτητα του κινητήρα.

Ο ρυθμιστής στροφών του σχήματος 4.6β είναι ταυτόχρονα και αναστροφέας, 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 αντιστοίχων σταθερών επαφών 1-10, οι ρυθμιστικές αντιστάσεις που συνδέονται με αυτές και η λοιπή συνδεσμολογία για την τροφοδότηση του κινητήρα. Ο κινητήρας παριστάνεται με το επαγωγικό του τύμπανο A-B και το τύλιγμα σειράς E-F.



Σχ. 4.6β.

Ρυθμιστής στροφών-αναστροφάς για κινητήρα με διέγερση σειράς.

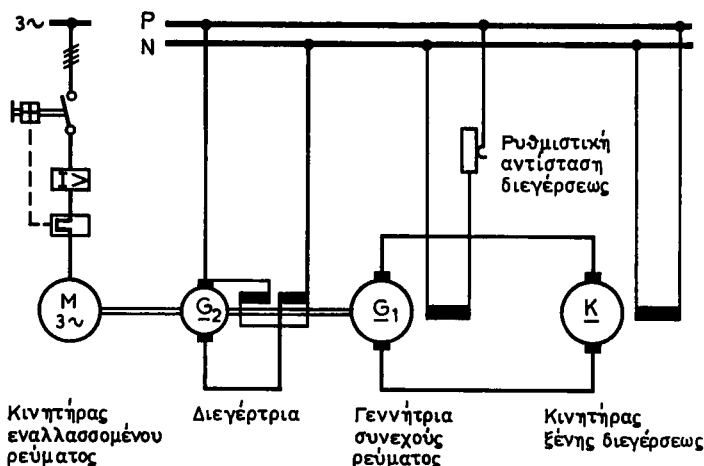
Οι μεταλλικοί τομείς, που είναι στο αριστερό μέρος του αναπτύγματος, χρησιμεύουν για τη ρύθμιση των στροφών στη δεξιόστροφη φορά κινήσεως του κινητήρα. Οι τομείς που είναι στο δεξιό μέρος χρησιμεύουν για τη ρύθμιση των στροφών στην αριστερόστροφη φορά κινήσεως του κινητήρα.

Η εξήγηση της λειτουργίας αυτού του **ρυθμιστή στροφών-αναστροφάς** είναι εύκολη, αν κανείς παρακολουθήσει τη συνδεσμολογία των σταθερών επαφών που πραγματοποιείται από τους μεταλλικούς τομείς σε κάθε θέση που παίρνει το τύμπανο στην περιστροφή του. Κάθε μία από τις θέσεις αυτές του τυμπάνου σημειώνεται στο σχέδιο με μια από τις διακοπόμενες γραμμές α, β, γ, ... Το ΠΣ είναι πηνίο, που χρησιμεύει για να σβήνει τους σπινθήρες που δημιουργούνται μεταξύ σταθερών επαφών και μεταλλικών τομέων.

γ) Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου.

Η μέθοδος αυτή ρυθμίσεως της ταχύτητας των κινητήρων βασίζεται πάλι στη μεταβολή της τάσεως που επιβάλλεται στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, πραγματοποιείται όμως όχι με την πτώση τάσεως μέσα στο ρυθμιστή στροφών, αλλά με τη μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται για κάθε κινητήρα μια ιδιαίτερη πηγή συνεχούς ρεύματος, που μπορεί να είναι και μια ιδιαίτερη γεννήτρια, η οποία να τροφοδοτεί το επαγωγικό του τύμπανο με ρυθμιζόμενη κατάλληλα τάση. Η ένταση διεγέρσεως του κινητήρα διατηρείται σταθερή, τροφοδοτούμενη από μια άλλη πηγή (κινητήρας ξένης διεγέρσεως).

Η μέθοδος αυτή δίνει μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα σε μεγάλα όρια. Έχει επίσης το πλεονέκτημα, με την προοδευτική αύξηση της τάσεως της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα, ότι ξεκινώντας από το μηδέν πετυχαίνουμε άριστες συνθήκες εκκινήσεως του κινητήρα. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιείται



Σχ. 4.6γ.

Συνδεσμολογία συστήματος Ward-Leonard.

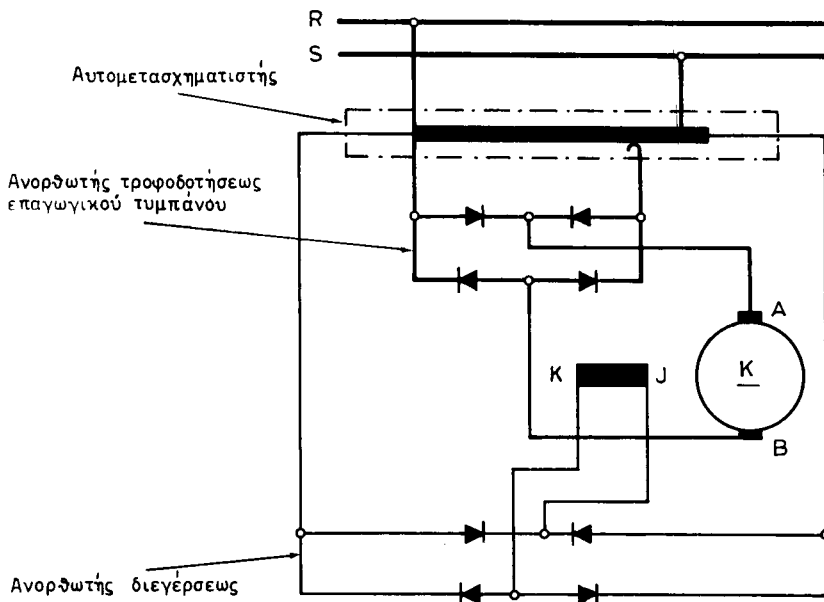
το σύστημα αυτό μεταξύ άλλων και στους σύγχρονους ανελκυστήρες μεγάλης ταχύτητας λειτουργίας, που θέλομε όμως να έχουν πολύ ομαλή εκκίνηση και ομαλό σταμάτημα.

Μια περίπτωση εφαρμογής αυτής της μεθόδου για τη ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα είναι **το σύστημα Ward-Leonard**. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 4.6γ, που δείχνει τη συνδεσμολογία, το σύστημα αυτό αποτελείται από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος G_1 , που τροφοδοτεί απευθείας το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα ξένης διεγέρσεως K , που θέλομε να έχομε ρύθμιση των στροφών. Η γεννήτρια κινείται με περίπου σταθερή ταχύτητα από ένα κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος M . Στον ίδιο άξονα, κινούμενη από τον κινητήρα αυτόν, είναι μια άλλη μικρότερη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος G_2 (η διεγέρτρια) που τροφοδοτεί τόσο τη διεγερση της κύριας γεννήτριας G_1 όσο και του κινητήρα K με συνεχές ρεύμα σταθερής τάσεως. Η ρύθμιση της τάσεως, που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος, γίνεται με τη ρυθμιστική αντίσταση, που υπάρχει στο κύλινδρο διεγέρσεως της γεννήτριας.

Μια άλλη περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου μεταβολής της τάσεως που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα για τη ρύθμιση των στροφών, είναι και αυτή που φαίνεται στο σχήμα 4.6δ. Εδώ το συνεχές ρεύμα, για την τροφοδότηση του επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα, παράγεται από ένα ανορθωτή με ανορθωτικά στοιχεία από ημιαγωγούς. Η μεταβολή της τάσεως, του συνεχούς ρεύματος, που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα, γίνεται με το μεταβλητό αυτομετασχηματιστή που τροφοδοτεί τον ανορθωτή (γι' αυτούς θα επανέλθομε σε επόμενα κεφάλαια). Η διεγερση $K-J$ του κινητήρα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα σταθερής τάσεως από ένα άλλο ανορθωτή.

Με το παραπάνω σύστημα πετυχαίνομε ρυθμίσεις της ταχύτητας σε όρια μεγαλύτερα και από 1 προς 5. Η διακύμανση των στροφών κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο και με πλήρες φορτίο φθάνει το 10%.

Σημειώνομε τέλος ότι με τη χρησιμοποίηση των ανορθωτικών στοιχείων από ημιαγωγούς που ονομάζονται θυρίστορ, πετυχαίνομε αυτόματο έλεγχο της τάσεως



Σχ. 4.66.

Σύστημα με αυτομετασχηματιστή και ανορθωτές.

του συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτεί το επαγωγικό τύμπανο και συνεπώς και των στροφών του κινητήρα. Με την τεχνολογία αυτή (παράγρ. 11.7, σχ. 11.7Θ), 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 ενδιάμεση τιμή της κλίμακας αυτής, ανεξάρτητης από τις διακυμάνσεις των φορτίων, της τάσεως του ρεύματος του δικτύου και των μεταβολών στην ένταση διεγέρσεως.

4.7 Ισχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

α) Ισχύς.

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:

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

Όταν μιλάμε για ισχύ κινητήρα εννοούμε πάντοτε την ισχύ που δίνει στον άξονά του. Η ισχύς αυτή N δίνεται από τη σχέση:

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

όπου: T_a είναι η ροπή σε Nm που αναπτύσσει ο κινητήρας στον άξονά του και n είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σε στρ/min.

Η ροπή T_a είναι μικρότερη από την κινητήρια ροπή T (παράγρ. 4.2), κατά τη ροπή που απορροφούν οι απώλειες του κινητήρα.

Στην πινακίδα κάθε κινητήρα είναι γραμμένα συνήθως τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία του:

Η **ονομαστική ισχύς**, που δίνεται σε kW ή HP ($1 \text{ HP} = 0,736 \text{ kW}$) και είναι η μεγαλύτερη ισχύς, που μπορεί να δίνει στον αξονά του ο κινητήρας συνεχώς εργαζόμενος με την ονομαστική του τάση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη από υπερθέρμανση. Φόρτιση του κινητήρα με ισχύ λίγο μεγαλύτερη από την ονομαστική του είναι δυνατή για μικρά χρονικά διαστήματα.

Η **ονομαστική τάση** που είναι η τάση για την οποία ο κινητήρας έχει κατασκευασθεί να λειτουργεί, δηλαδή είναι η τάση που πρέπει να έχει το δίκτυο που θα τον τροφοδοτήσει.

Η **ονομαστική ένταση** που είναι η ένταση που απορροφά ο κινητήρας, όταν έχει συνδεθεί σε δίκτυο με τάση ίση με την ονομαστική του και δίνει στον άξονα την ονομαστική του ισχύ.

Τέλος η **ονομαστική ταχύτητα** του κινητήρα είναι η ταχύτητα περιστροφής με την οποία εργάζεται, όταν δίνει στον αξονά του την ονομαστική ισχύ και τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση.

β) Απώλειες.

Η ισχύς N που ο κινητήρας δίνει στον αξονά του με μορφή μηχανικής ενέργειας είναι πάντοτε μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ N_1 που απορροφά από το δίκτυο. Η διαφορά:

$$N_1 - N = N_{\text{απ}}$$

καταναλώθηκε σε **απώλειες** μέσα στη μηχανή. Οι απώλειες αυτές είναι της ίδιας μορφής με τις απώλειες που αναφέραμε στην παράγραφο 3.5 για τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

γ) Βαθμός αποδόσεως.

Ο λόγος της ισχύος N , που μας δίνει ο κινητήρας στον αξονά του, προς την ισχύ N_1 , που παίρνει από το δίκτυο, ονομάζεται βαθμός αποδόσεως:

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

Το η είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα. Η μεταβολή του βαθμού αποδόσεως με το φορτίο παριστάνεται από μια καμπύλη όμοιας μορφής με αυτή του σχήματος 3.5.

4.8 Βλάβες και επισκευή κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Παρακάτω αναφέρονται οι πιο συνηθισμένες βλάβες που παρουσιάζονται στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Όπως και για τις γεννήτριες, η κατάταξη έχει γίνει με βάση το σύμπτωμα που παρουσιάζει η μηχανή που έχει τη βλάβη.

1. Ο κινητήρας δεν ξεκινά.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Δεν υπάρχει τάση στους ακροδέκτες του	α) Να εξακριβωθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο
β) Τήξη ασφάλειας	β) Να αντικατασταθεί
γ) Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου	γ) Αποκατάσταση της διακοπής ή μερική νέα περιέλιξη
δ) Διακοπή ή κακή επαφή στους τροφοδοτικούς αγωγούς ή στις βοηθητικές συσκευές (εκκινητή κλπ)	δ) Αποκατάσταση της διακοπής, σφίξιμο των επαφών

2. Ο κινητήρας ξεκινά με δυσκολία.

α) Κακή επαφή σε ακροδέκτες του κινητήρα ή των βοηθητικών συσκευών	α) Να σφιχθούν οι ακροδέκτες
β) Όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη	β) Να αναζητηθεί η καλύτερη θέση για τη λειτουργία με το κανονικό φορτίο
γ) Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου (δύο τομείς του συλλέκτη μαυρίζουν από σπινθηρισμούς)	γ) Αποκατάσταση της διακοπής ή μερική νέα περιέλιξη
δ) Ιμάντας πολύ τανυσμένος	δ) Να χαλαρωθεί ο ιμάντας
ε) Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή στην εκκίνηση	ε) Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο μηχανήμα ή αυτό παρουσιάζει ανωμαλία
στ) Βραχυκύκλωμα του τύλιγματος με το σώμα του κινητήρα	στ) Να επισκευαστεί το τύλιγμα

3. Ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την κανονική.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως είναι πολύ υψηλή	α) Να γίνει μέτρηση της τάσεως τροφοδοτήσεως
β) Διακοπή στο τύλιγμα των πόλων ή βραχυκυκλωμένες σπείρες (για κινητήρες με παράλληλη διέγερση)	β) Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει νέο τύλιγμα διέγερσεως
γ) Όχι σωστή συνδεσμολογία της διέγερσεως	γ) Να γίνει σύμφωνα με το σχέδιο του κατασκευαστή

4. Σπινθηρισμοί στο συλλέκτη του κινητήρα.

α) Διακοπή ή βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου	α) Αποκατάσταση της διακοπής ή νέα περιέλιξη (μερική ή ολική)
β) Φθαρμένος συλλέκτης	β) Να επισκευασθεί ο συλλέκτης
γ) Υπερφόρτιση ή όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη	γ) Ελάττωση του φορτίου ή διόρθωση της μεταθέσεως των ψηκτρών
δ) Ψήκτρες πολύ σκληρές ή πολύ μαλακές	δ) Να τοποθετηθούν ψήκτρες όπως προβλέπονται από τον κατασκευαστή

5. Οι ασφάλειες τήκονται (λειώνουν).

α) Ο κινητήρας υπερφορτίζεται	α) Να γίνει επαλήθευση με μέτρηση της εντάσεως που απορροφάται
β) Βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα τροφοδοτήσεως του κινητήρα	β) Να ελεγχθούν οι γραμμές και οι βοηθητικές συσκευές του κινητήρα
γ) Διακοπή στο κύκλωμα διέγερσεως	γ) Να αποκατασταθεί η διακοπή

6. Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Υπερφόρτιση	α) Να ελαττωθεί το φορτίο ή να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας
β) Η τάση του δικτύου είναι πολύ ψηλή ή πολύ χαμηλή	β) Να ελεγχθεί αν η τάση του δικτύου είναι μέσα στα όρια $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσεως
γ) Βραχυκυκλωμένες σπείρες στο τύλιγμα του τυμπάνου	γ) Να γίνει νέα μερική ή ολική περιέλιξη
δ) Κακός αερισμός	δ) Να καθαρισθούν οι δίοδοι κυκλοφορίας του αέρα ψύξεως
ε) Ο ανεμιστήρας δεν περιστρέφεται κατά τη σωστή φορά	ε) Να αλλαγεί η φορά περιστροφής
στ) Ο δρομέας εφάπτεται (βρίσκει) στο σάτη	στ) Να αλλαγούν τα έδρανα

7. Ο κινητήρας λειτουργεί με θόρυβο.

α) Βλαμμένα ρουλεμάν	α) Να αντικατασταθούν με καινούργια
β) Ο μηχανικός σύνδεσμος της μηχανής (κόπλερ) δεν είναι ευθυγραμμισμένος	β) Να ευθυγραμμισθεί ο σύνδεσμος
γ) Κακή ζυγοστάθμιση του δίσκου του κόπλερ	γ) Να ζυγοσταθμισθεί μαζί με το δρομέα της μηχανής

4.9 Ανακεφαλαίωση.

α) Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

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

Στην κανονική λειτουργία, η E_a είναι λίγο μικρότερη από την τάση τροφοδοτήσεως U (τα 80 έως 95%).

β) Η ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο κατά τη λειτουργία του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

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

γ) Τη στιγμή της εκκινήσεως η E_a είναι ίση με μηδέν. Τότε έχουμε:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T}$$

δ) Για να ελαττώσουμε τις πολύ μεγάλες εντάσεις εκκινήσεως των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, συνδέουμε σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου μια μεταβλητή αντίσταση, που ονομάζεται **εκκινητής**. Η ένταση εκκινήσεως γίνεται τότε:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T + R_{εκ}}$$

ε) Η κινητήρια ροπή που ασκείται στο επαγωγικό τύμπανο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

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

στ) 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.

Αν το φορτίο του κινητήρα αυξηθεί πάρα πολύ και ξεπεράσει την ικανότητά του, τότε η ταχύτητα περιστροφής θα ελαττωθεί πολύ και ίσως ο κινητήρας σταματήσει. Ο κινητήρας θα διατρέξει κίνδυνο καταστροφής αν δεν υπάρχουν συσκευές προστασίας από υπερεντάσεις.

ζ) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, όταν ο κινητήρας εργάζεται με φορτίο, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο επιδρά επάνω στο μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως και το παραμορφώνει. Αυτή είναι η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου. Επακόλουθο είναι η μετατόπιση της ουδέτερης ζώνης των πόλων (αντίθετα από τη φορά περιστροφής του τυμπάνου) και μάλιστα τόσο περισσότερο όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του κινητήρα. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία σπινθηρισμών στο συλλέκτη.

η) Για την αντιμετώπιση της αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου, λαμβά-

νονται τα ίδια μέτρα όπως και στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, με τις εξής διαφορές: Η μετάθεση των ψηκτρών γίνεται αντίθετα από τη φορά περιστροφής του κινητήρα. Επίσης, στην περίπτωση τοποθέτησεως βοηθητικών πόλων, θα πρέπει η πολικότητά τους να είναι τέτοια, ώστε κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου, ύστερα από βόρειο κύριο πόλο να βρίσκεται βόρειος βοηθητικός κ.τ.λ.

Θ) Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων συνεχούς ρεύματος γίνεται σχετικά εύκολα με απλά μέσα και με μεγάλη ακρίβεια. Για να ρυθμίσουμε την ταχύτητα, πρέπει να επιδράσουμε ή στην ένταση διεγέρσεως ή στην τάση που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο.

ι) Οι κινητήρες ξένης διεγέρσεως χρησιμοποιούνται σε ειδικές χρήσεις και κυρίως όταν θέλουμε να ρυθμίσουμε την ταχύτητα του κινητήρα σε μεγάλα όρια με μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως.

ια) Στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, η εσωτερική συνδεσμολογία γίνεται όπως στις αντίστοιχες γεννήτριες. Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες αυτούς γίνεται με αλλαγή της φοράς του ρεύματος στα τυλίγματα του επαγωγικού τυμπάνου και των βοηθητικών πόλων, ενώ φροντίζουμε να διατηρηθεί η ίδια πολικότητα στους κύριους μαγνητικούς πόλους.

Στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, η ταχύτητα περιστροφής πολύ λίγο μεταβάλλεται με τη μεταβολή του φορτίου. Η ροπή μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση φορτίσεως.

ιβ) Στους κινητήρες με διέγερση σειράς, το τύλιγμα διεγέρσεως, το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου και το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων είναι συνδεσμολογημένα σε σειρά μεταξύ τους και με τον εκκινητή. Για την αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες αυτούς, αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος στο επαγωγικό τύμπανο και στους βοηθητικούς πόλους, χωρίς να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στη διέγερση.

Στους κινητήρες με διέγερση σειράς, η ταχύτητα περιστροφής ελαττώνεται σημαντικά με την αύξηση του φορτίου και ταυτόχρονα αυξάνεται επίσης σημαντικά η ροπή. Αυτή η ιδιότητα καθιστά τους κινητήρες αυτούς κατάλληλους για την ηλεκτρική κίνηση οχημάτων. Ένας κινητήρας με διέγερση σειράς δεν πρέπει να υπάρχει περίπτωση να λειτουργήσει χωρίς καθόλου φορτίο στον άξονά του, γιατί υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί από υπερβολική ταχύτητα.

ιγ) Οι κινητήρες με σύνθετη διέγερση έχουν τυλίγματα διεγέρσεως παράλληλα και σειράς. Όπως και στις αντίστοιχες γεννήτριες, το παράλληλο τύλιγμα μπορεί να ενισχύει το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος σειράς (αρθροιστική σύνθετη διέγερση) ή να το εξασθενεί (διαφορική σύνθετη διέγερση).

Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής στους κινητήρες αυτούς, αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος στο τύμπανο και τους βοηθητικούς πόλους, ενώ διατηρούμε την ίδια φορά και στα δυο τυλίγματα διεγέρσεως.

Ο κινητήρας με σύνθετη διέγερση έχει χαρακτηριστικές λειτουργίες που είναι ενδιαμέσες μεταξύ των χαρακτηριστικών λειτουργίας των κινητήρων με παράλληλη διέγερση και των κινητήρων με διέγερση σειράς.

ιδ) Για τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, χρησιμοποιούνται οι εξής μέθοδοι:

- Με ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως.
- Με ρυθμιστική αντίσταση στο επαγωγικό τύμπανο.

– Με μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου.

ιε) Η πρώτη μέθοδος εφαρμόζεται στους κινητήρες με παράλληλη ή με σύνθετη διέγερση και στηρίζεται στη μεταβολή της ταχύτητας όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως

ιστ) Η δεύτερη μέθοδος για τη ρύθμιση της ταχύτητας στηρίζεται στη μεταβολή της τάσεως που εφαρμόζεται στο τύμπανο του κινητήρα με την παρεμβολή του ρυθμιστή στροφών. Εφαρμόζεται κυρίως στους κινητήρες σειράς. Στους λοιπούς κινητήρες εφαρμόζεται όταν θέλουμε να έχουμε μεταβολή της ταχύτητας σε πολύ χαμηλά όρια. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι έχουμε σημαντική απώλεια ενέργειας, η οποία εμφανίζεται ως θερμότητα στο ρυθμιστή στροφών.

ιζ) Για την εφαρμογή της τρίτης μεθόδου, χρειάζεται για κάθε κινητήρα μια ιδιαίτερη πηγή, που να τροφοδοτεί το επαγωγικό του τύμπανο με ρυθμιζόμενη τάση. Η ένταση διεγέρσεως του κινητήρα τροφοδοτείται από άλλη πηγή και διατηρείται σταθερή. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε κινητήρες με ξένη διέγερση και επιτρέπει τη λεπτομερή ρύθμιση της ταχύτητας σε μεγάλα όρια. Δίνει επίσης τη δυνατότητα πολύ ομαλού ξεκινήματος με την προοδευτική αύξηση της τάσεως.

ιη) Η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

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

Ισχύς ενός κινητήρα είναι αυτή που δίνει στον άξονά του. Η ισχύς αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από αυτή που απορροφά από το δίκτυο κατά την ισχύ των απωλειών:

$$N = N_1 - N_{\text{απ}}$$

Οι **απώλειες** είναι της ίδιας μορφής με τις απώλειες των γεννητριών συνεχούς ρεύματος.

Βαθμός αποδόσεως ενός κινητήρα είναι ο λόγος της ισχύος που αποδίδει προς αυτή που απορροφά από το δίκτυο και είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα:

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

Χαρακτηριστικά μεγέθη του κινητήρα που αναγράφονται στην πινακίδα του είναι η ονομαστική τάση και ένταση, η ονομαστική ισχύς και η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

5.1 Είδη και χρήση γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις **σύγχρονες** και τις **ασύγχρονες**.

Στις σύγχρονες μηχανές υπάρχει ορισμένη σταθερή σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα περιστροφής και τη συχνότητα του ρεύματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο των σύγχρονων μηχανών είναι ότι έχουν διέγερση που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα από ένα δίκτυο ή από μια μηχανή συνεχούς ρεύματος, τη **διεγέρτρια**.

Στις ασύγχρονες μηχανές η ταχύτητα για μια ορισμένη συχνότητα του ρεύματος εξαρτάται από το φορτίο της μηχανής. Συνεπώς δεν υπάρχει ορισμένη σταθερή σχέση μεταξύ συχνότητας ρεύματος και ταχύτητας περιστροφής.

Τόσο οι σύγχρονες όσο και οι ασύγχρονες μηχανές είναι αναστρέψιμες. Μπορούν δηλαδή να λειτουργήσουν είτε ως γεννήτριες, είτε ως κινητήρες, όπως είχαμε αναφέρει ότι συμβαίνει και με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Στην πράξη, οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως ως **γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος**, οπότε ονομάζονται και **εναλλακτήρες**. Τέτοιες μηχανές χρησιμοποιούνται, όπως είδαμε και στην παράγραφο 1.2, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εναλλακτήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε εφεδρικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη για εργοστάσια, νοσοκομεία κλπ. Σε ειδικές περιπτώσεις, σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται και ως κινητήρες, όπως θα δούμε στα επόμενα, οπότε ονομάζονται **σύγχρονοι κινητήρες**.

Οι ασύγχρονες μηχανές πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και γι' αυτό δεν θα μας απασχολήσουν στο βιβλίο αυτό. Αντίθετα, οι ασύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια.

Από την άποψη της διατάξεως των μαγνητικών πόλων που δημιουργούν τη διέγερση, οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε:

- α) **Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους.**
- β) **Εναλλακτήρες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους.**
- γ) **Στροβιλοεναλλακτήρες**, που αποτελούν ειδική περίπτωση εναλλακτήρων με εσωτερικούς πόλους.

Οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους χρησιμοποιούνται για μικρές ισχείς και χαμηλές τάσεις, όπως σε μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Οι εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες ισχείς, αλλά για μικρές ταχύτητες περιστροφής, όπως είναι η περίπτωση των εναλλακτήρων των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής.

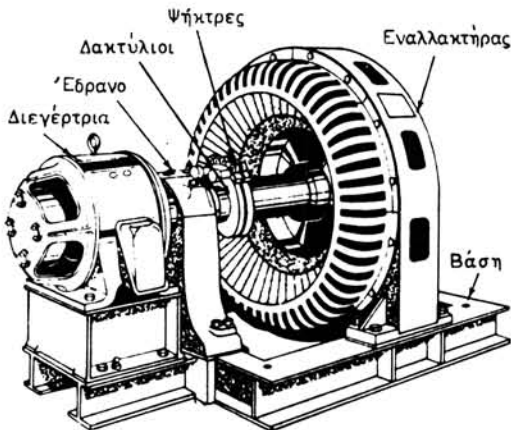
Τέλος, οι στροβιλοεναλλακτήρες χρησιμοποιούνται για πολύ μεγάλες ισχύεις (π.χ. 300.000 kW) και μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (π.χ. 3000 στρ/μίν). Τέτοιοι εναλλακτήρες χρησιμοποιούνται σε όλους τους μεγάλους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

5.2 Κατασκευή συγχρόνων γεννητριών ή εναλλακτών.

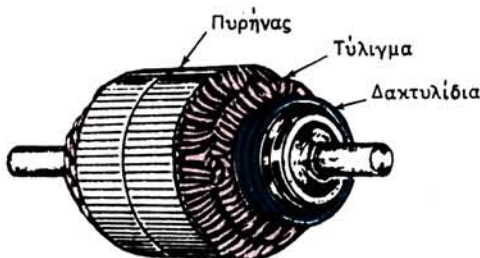
5.2.1 Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους.

Στους εναλλακτήρες αυτούς η διέγερση της μηχανής, δηλαδή η δημιουργία του μαγνητικού της πεδίου, γίνεται από μαγνητικούς πόλους, που είναι στερεωμένοι στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη, όπως δηλαδή γίνεται και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, η οποία συνήθως είναι συνδεδεμένη απευθείας στον άξονα του εναλλακτήρα, από τον οποίο παίρνει κίνηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2α. Η γεννήτρια αυτή ονομάζεται **διεγέρτρια του εναλλακτήρα**.

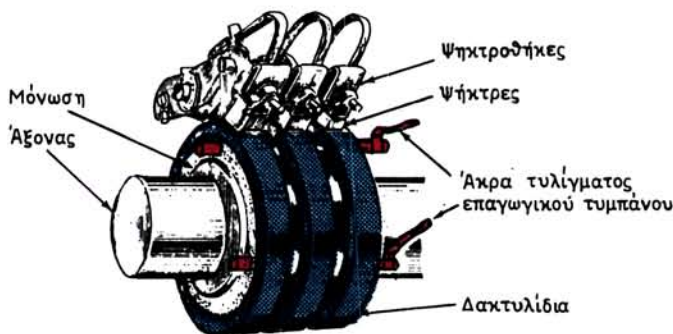
Ο δρομέας των εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους φέρει το επαγωγικό τύμπανο, όπως ο δρομέας των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Στα αυλάκια που σχηματίζουν οι οδοντώσεις του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι τοποθετημένο το τύλιγμα (σχ. 5.2β).



Σχ. 5.2α.
Σύγχρονη γεννήτρια.



Σχ. 5.2β.
Δρομέας εναλλακτήρα.



Σχ. 5.2γ.
Δακτυλίδια εναλλακτήρα.

Συλλέκτης δεν υπάρχει. Αντί για συλλέκτη, στους εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους έχουμε **δακτυλίδια** κατασκευασμένα από ορείχαλκο. Τα δακτυλίδια αυτά είναι στερεωμένα στον άξονα του δρομέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2γ, και είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τον άξονα. Ο αριθμός των δακτυλιδιών είναι 2, 3 ή 4, ανάλογα με τον **αριθμό των φάσεων** του εναλλακτήρα.

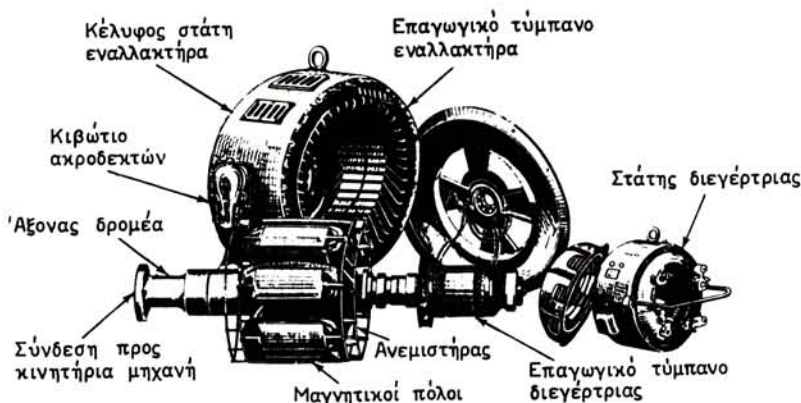
Τα δακτυλίδια συνδέονται με τα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου. Το εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο παράγεται (εδάφιο 2.1.3) από την ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται μέσα στο τύλιγμα, οδηγείται από τα δακτυλίδια στις ψήκτρες, που εφάπτονται σε αυτά (σχ. 5.2γ) και από τις ψήκτρες στους ακροδέκτες του εναλλακτήρα. Στους ακροδέκτες αυτούς συνδέουμε το φορτίο, το οποίο θέλουμε να τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Σημαντικό μειονέκτημα που έχουν οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους, είναι ότι όλο το ρεύμα του φορτίου διέρχεται από τα δακτυλίδια και τις ψήκτρες. Άλλο μειονέκτημα είναι ότι ο χώρος που διατίθεται για οδοντώσεις στο τύμπανο είναι περιορισμένος. Επίσης ότι οι μονώσεις του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου καταπονούνται κατά τη λειτουργία της μηχανής από τις μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται, όταν ο εναλλακτήρας είναι πολύστροφος.

5.2.2 Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους.

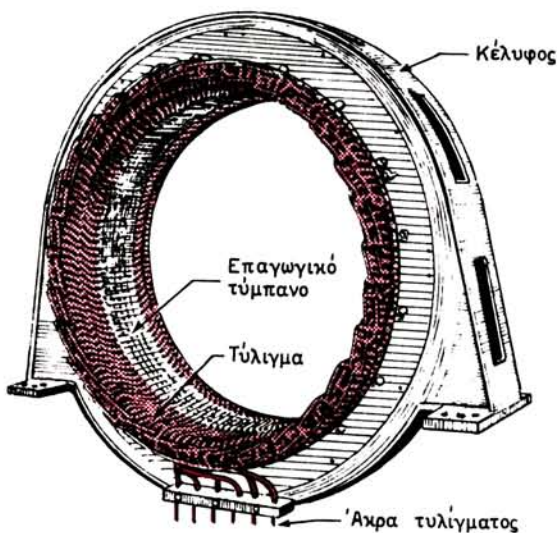
Στους εναλλακτήρες αυτούς το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής, δηλαδή στο στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι είναι τοποθετημένοι ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα και γι' αυτό ονομάζονται και **εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους**. Το σχήμα 5.2δ παριστάνει εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους αποσυναρμολογημένο, ώστε να φαίνονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται. Η διεγέρτρια και στους εναλλακτήρες αυτούς είναι συνδεδεμένη συνήθως απευθείας στον άξονα του εναλλακτήρα, από τον οποίο και παίρνει κίνηση. Στα επόμενα θα εξετάσουμε λεπτομερέστερα την κατασκευή των διαφόρων μερών της μηχανής.

Το σχήμα 5.2ε δείχνει το στάτη ενός άλλου εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ο στάτης αποτελείται από ένα εξωτερικό κέλυφος, κατασκευασμένο συνήθως από χαλύβδινα ελάσματα, μέσα στο οποίο το-



Σχ. 5.26.

Εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους.

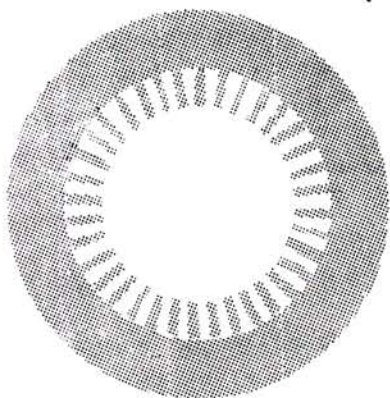


Σχ. 5.2ε.

Στάτης από μεγάλο εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους.

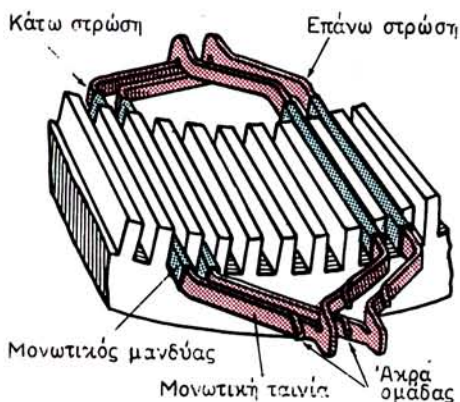
ποθετείται και στερεώνεται το επαγωγικό τύμπανο.

Το επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας του τυμπάνου κατασκευάζεται, όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, από πολλούς δίσκους, που έχουν όμως τη μορφή του σχήματος 5.2στ. 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 οδοντώσεις παράλληλες προς τον άξονα της μηχανής, μέσα στα αυλάκια των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα.



Σχ. 5.2στ.

Έλασμα πυρήνα επαγωγικού τυμπάνου.



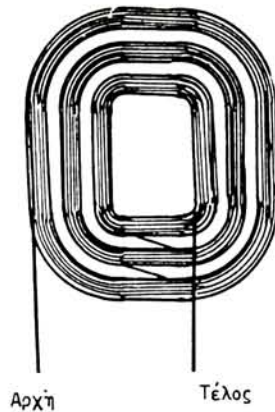
Σχ. 5.2ζ.

Τύλιγμα σε δυο στρώσεις με διαμορφωμένες ομάδες.

Τα τυλίγματα του επαγωγικού τυμπάνου στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος (με εσωτερικούς ή εξωτερικούς πόλους) κατασκευάζονται σε δυο βασικούς τύπους.

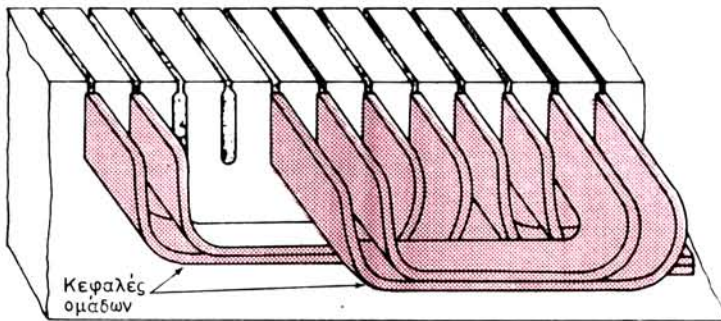
Ο ένας είναι **το τύλιγμα σε δυο στρώσεις**, όπως στις μηχανές συνεχούς ρεύματος (βλ. παράγραφο 2.5). Κατασκευάζεται με διαμορφωμένες ομάδες (σχ. 5.2ζ), τα άκρα των οποίων συνδέονται μεταξύ τους, ώστε τελικά να μένουν ελεύθερα τα άκρα του τυλίγματος, τα οποία οδηγούνται στους ακροδέκτες της μηχανής (σχ. 5.2ε).

Ο άλλος τρόπος κατασκευής των τυλιγμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος είναι **το τύλιγμα σε μια στρώση**, οπότε σε κάθε αυλάκι των οδοντώσεων του τυμπάνου υπάρχει από ένα μόνο στοιχείο του τυλίγματος. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα αποτελείται από συγκροτήματα ομάδων (σχ. 5.2η), που κατασκευάζονται από σπείρες σύρματος κυκλικής διατομής. Με κατάλληλη διαμόρφωση των κεφαλών των ομάδων, τα συγκροτήματα τοποθετούνται στα αυλάκια των οδοντώσεων, ό-



Σχ. 5.2η.

Συγκρότημα ομάδων τυλίγματος σε μια στρώση.



Σχ. 5.2θ.

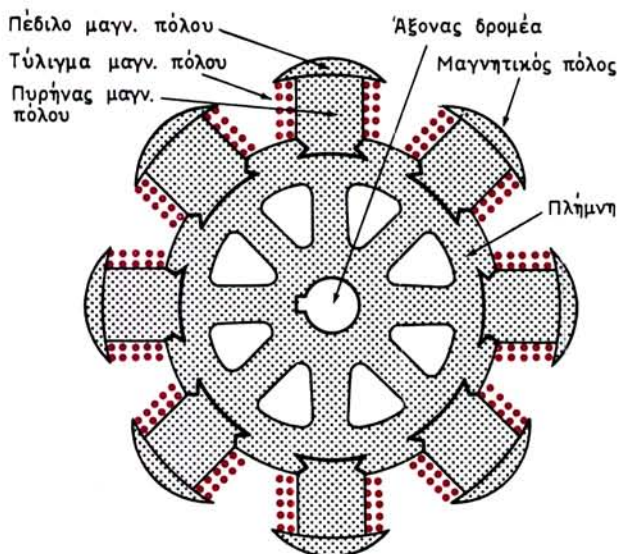
Διαμόρφωση κεφαλών σε τύλιγμα μίας στρώσεως.

πως φαίνεται στο σχήμα 5.2θ. Τα άκρα των συγκροτημάτων συνδέονται μεταξύ τους και μένουν ελεύθερα τα άκρα του τυλίγματος.

Ο δρομέας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους φέρει, όπως αναφέρθηκε, μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Το σχήμα 5.2ι δείχνει τον τρόπο στερεώσεως των μαγνητικών πόλων στον άξονα του δρομέα με τη βοήθεια ειδικής **πλήμνης**.

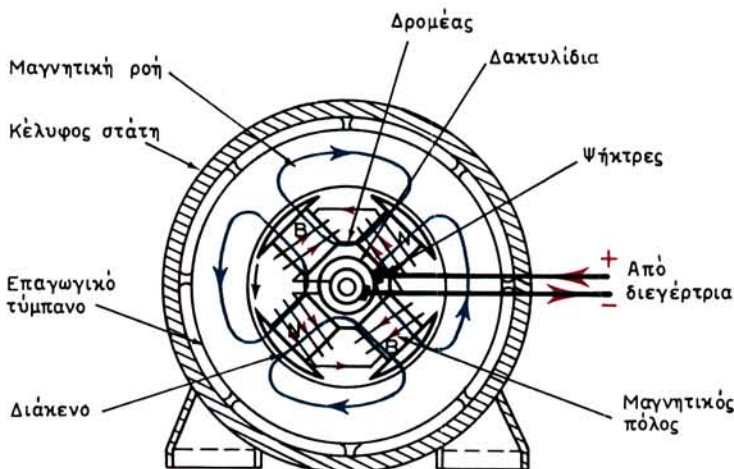
Στους τριφασικούς εναλλακτές, όπως είναι όλοι οι εναλλακτές των σταθμών παραγωγής, οι πυρήνες των πόλων και τα πέδιλά τους είναι κατασκευασμένα από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το **διάκενο** πάχους μερικών mm, που υπάρχει μεταξύ των πεδίων των μαγνητικών πόλων και του επαγωγικού τυμπάνου, επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στο στάτη (σχ. 5.2ια).

Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται επάνω στους πυρήνες πριν από την τοποθέτηση των πεδίων και συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως σε σειρά, με τρόπο, ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2ια. Το ίδιο σχήμα δείχνει και τη διαδρομή της μαγνητι-



Σχ. 5.2i.

Μαγνητικοί πόλοι οκταπολικού εναλλακτήρα.



Σχ. 5.2ia.

Διέγερση εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους.

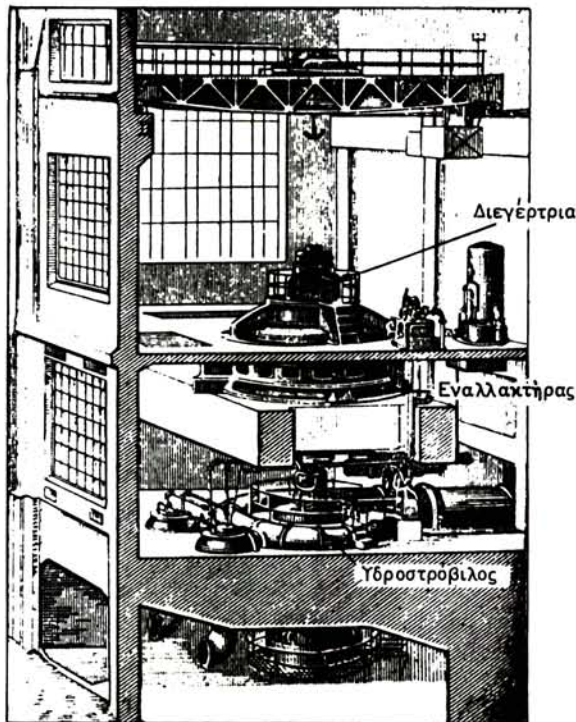
κής ροής που δημιουργείται, η οποία κλείνει κύκλωμα μέσω του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου. Δηλαδή δείχνει τη **χρήσιμη μαγνητική ροή**. Η **μαγνητική ροή σκεδάσεως** δεν παριστάνεται στο σχήμα (παράγρ. 2.6).

Για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή για τη διέγερση της μηχανής, τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται ψήκτρες και δυο δακτυλίδια, που είναι στερεωμένα επάνω

στον άξονα του δρομέα. Το ρεύμα διεγέρσεως έχει ένταση και τάση πολύ μικρότερες από το κύριο ρεύμα του εναλλακτήρα και συνεπώς η κατασκευή των δακτυλιδιών αυτών δεν παρουσιάζει δυσκολίες.

Στους εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους, με την τοποθέτηση του επαγωγικού τυμπάνου στο στάτη και όχι στο δρομέα, διατίθεται πολύ περισσότερος χώρος για τις οδοντώσεις του πυρήνα. Έτσι γίνεται εύκολα η μόνωση των αγωγών του τυλίγματος και όταν ακόμα ο εναλλακτήρας πρόκειται να παράγει ρεύμα υψηλής τάσεως (π.χ. 15000 V).

Με την τοποθέτηση όμως των μαγνητικών πόλων επάνω στο δρομέα δημιουργείται καταπόνηση σε αυτούς από τις φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία. Για το λόγο αυτό οι εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους δεν είναι κατάλληλοι για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Τους χρησιμοποιούμε όταν η κινητήρια μηχανή είναι σχετικά βραδύστροφη, όπως είναι οι μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και οι υδροστρόβιλοι των υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην περίπτωση μάλιστα των υδροηλεκτρικών σταθμών ο εναλλακτήρας συχνά κατασκευάζεται με τον άξονά του κατακόρυφο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2ιβ. Από άποψη διαστάσεων χαρακτηριστικό των εναλλακτών αυτών, είναι ότι έχουν μεγάλη διάμετρο (π.χ. 7 m) και μικρό σχετικά μήκος κατά τον άξονα.



Σχ. 5.2ιβ.
Εναλλακτήρας με υδροστρόβιλο.

5.2.3 Στροβιλοεναλλακτήρες.

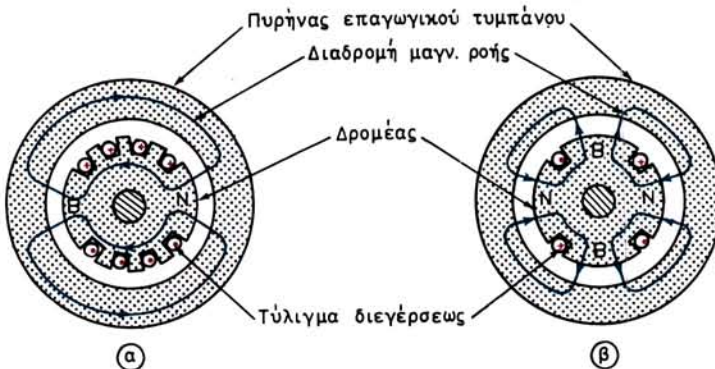
Οι στροβιλοεναλλακτήρες ανήκουν στην κατηγορία των εναλλακτών με περιστρεφόμενους πόλους, και κατασκευάζονται για να λειτουργούν με κινητήριες μηχανές που έχουν μεγάλη ταχύτητα περιστροφής (π.χ. 3000 στρ/μιν), όπως είναι οι ατμοστρόβιλοι. Από άποψη διαστάσεων χαρακτηριστικό αυτών των εναλλακτών είναι ότι έχουν μικρή σχετικά διάμετρο δρομέα (π.χ. 1 m) αλλά μεγάλο μήκος κατά τον άξονα (π.χ. 5 m).

Ο στάτης των στροβιλοεναλλακτών δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τον στάτη των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Η διαφορετική μορφή που έχει το κέλυφός τους οφείλεται στις ανάγκες ψύξεως της μηχανής, που θα εξετάσουμε στην επόμενη παράγραφο.

Ο δρομέας των στροβιλοεναλλακτών διαφέρει ουσιαστικά στην κατασκευή του από το δρομέα των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Ο δρομέας των στροβιλοεναλλακτών δεν φέρει **ορατούς πόλους**, όπως στο σχήμα 5.2ι, αλλά αποτελείται από ένα συμπαγές κυλινδρικό τύμπανο από χυτοχάλυβα κοινό με τον άξονα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2ιγ.



Σχ. 5.2ιγ.
Δρομέας στροβιλοεναλλακτήρα.



Σχ. 5.2ιδ.
Μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως στροβιλοεναλλακτών.

Κατά μήκος της κυλινδρικής επιφάνειας υπάρχουν αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα διεγέρσεως, το οποίο στερεώνεται με μεγάλη επιμέλεια. Οι σπείρες αυτού του τυλίγματος συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια. Αυτό γίνεται και εδώ με τη βοήθεια δύο

δακτυλιδιών στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2ιδ (α), δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως με δυο πόλους, το οποίο περιστρέφεται μαζί με το δρομέα. Σπάνια κατασκευάζονται και τετραπολικόι στροβιλοεναλλακτήρες, οπότε το τύλιγμα διεγέρσεως είναι διαμορφωμένο έτσι, ώστε να σχηματίζεται μαγνητικό πεδίο με τέσσερεις πόλους [σχ. 5.2ιδ(β)].

5.3 Ψύξη των εναλλακτών.

Κατά τη λειτουργία τους οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως και κάθε άλλη ηλεκτρική μηχανή, θερμαίνονται από τη θερμότητα που παράγεται από τις απώλειες. Η θέρμανση αυτή εκδηλώνεται με ανύψωση της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών της μηχανής.

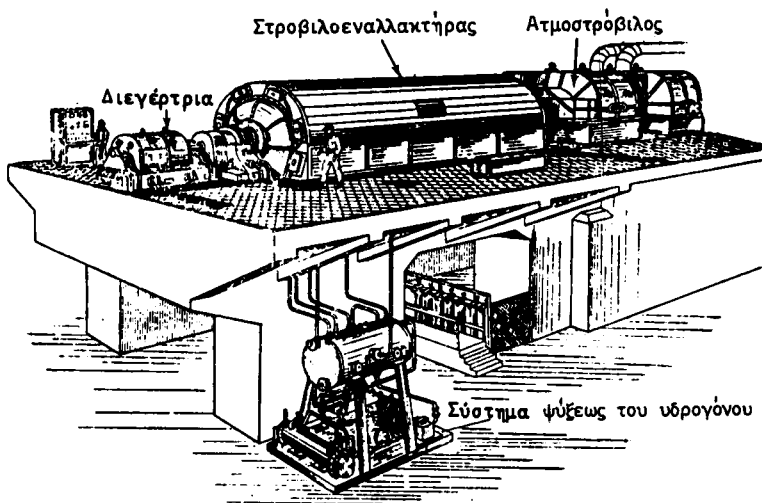
Η θερμοκρασία μιας μηχανής που λειτουργεί παύει να αυξάνεται και σταθεροποιείται σε ορισμένη τιμή, όταν η θερμότητα που αποβάλλει στον περιβάλλοντα χώρο γίνει ίση με τη θερμότητα που παράγουν οι απώλειες. Η αποβολή της θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο καλείται **ψύξη της μηχανής**.

Κατά την κατασκευή κάθε ηλεκτρικής μηχανής λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα, ώστε η ψύξη της να γίνεται κανονικά. Έτσι, κατά τη λειτουργία της με το ονομαστικό της φορτίο η μηχανή φθάνει σε μια **προκαθορισμένη μέγιστη θερμοκρασία**, στην οποία δεν διατρέχουν κίνδυνο καταστροφής οι μονώσεις της. Η προκαθορισμένη αυτή θερμοκρασία εξαρτάται από το είδος των μονωτικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή της μηχανής. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι οι κίνδυνοι που διατρέχουν οι μονώσεις μιας ηλεκτρικής μηχανής από υπερθέρμανση είναι: είτε να υποστούν άμεση καταστροφή (καύση) λόγω πολύ υψηλής θερμοκρασίας, είτε να ελαττωθεί η διάρκεια της ζωής τους και συνεπώς και η διάρκεια ζωής της μηχανής, από παρατεταμένη θέρμανση σε θερμοκρασία όχι πολύ μεγάλη, αλλά όμως μεγαλύτερη από εκείνη που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής της.

Όπως αναφέραμε, η ψύξη των μηχανών γίνεται με μετάδοση στον περιβάλλοντα χώρο, δηλαδή στον περιβάλλοντα αέρα, της θερμότητας των απωλειών. Οι κατασκευαστές των εναλλακτών για να εξασφαλίσουν τη μετάδοση αυτή αφήνουν: α) διάκενο μεταξύ κελύφους του στάτη και πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου (σχ. 5.2ια), β) ορισμένα διάκενα αερισμού μεταξύ των μαγνητικών ελασμάτων από τα οποία κατασκευάζεται ο πυρήνας του επαγωγικού τυμπάνου και γ) κανάλια κυκλοφορίας του αέρα κατά μήκος των δρομέων των στροβιλοεναλλακτών.

Ο αέρας, τον οποίο στροβιλίζει ο περιστρεφόμενος δρομέας της μηχανής, εξασφαλίζει την ψύξη των εναλλακτών με μεγάλη διάμετρο, όπως είναι οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς ή με ορατούς εσωτερικούς πόλους. Η προσθήκη μάλιστα ενός ανεμιστήρα στο δρομέα (σχ. 5.2δ) διευκολύνει την ψύξη ακόμα περισσότερο.

Στους στροβιλοεναλλακτήρες όμως, όπου οι επιφάνειες μεταδόσεως της θερμότητας είναι περιορισμένες, λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα, τα οποία δίνουν ιδιαίτερη μορφή στο κέλυφος των μηχανών αυτών (σχ. 5.3). Περικλείουν δηλαδή τη μηχανή σε αεροστεγές κέλυφος, το οποίο αποτελεί μέρος κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας του αέρα που ψύχει τη μηχανή. Η κυκλοφορία του αέρα μέσα στο κλειστό κύκλωμα γίνεται με τη βοήθεια ανεμιστήρων. Ο αέρας διερχόμενος από



Σχ. 5.3.

Στροβιλοεναλλακτήρας μεγάλης ισχύος.

τον εναλλακτήρα παραλαμβάνει τη θερμότητα των απωλειών και θερμαίνεται. Από εκεί οδηγείται στο *ψυγείο*, όπου ψύχεται με τη βοήθεια συνήθως νερού και έπειτα οδηγείται πάλι στον εναλλακτήρα για να επαναλάβει τον κύκλο.

Μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος με κλειστό κύκλωμα για τον αέρα ψύξεως είναι, ότι ο αέρας που κυκλοφορεί είναι φιλτραρισμένος και απαλλαγμένος από μόρια σκόνης. Έτσι τα τυλίγματα της μηχανής είναι πάντοτε καθαρά.

Το σύστημα αυτό στους μεγάλους στροβιλοεναλλακτήρες (επάνω από 30 000 kVA) έχει καλύτερη απόδοση, αν αντί ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στο κλειστό κύκλωμα υπάρχει υδρογόνο. Το υδρογόνο έχει καλύτερες θερμικές ιδιότητες από τον αέρα. Ένα κυβικό μέτρο υδρογόνου που διέρχεται από τον εναλλακτήρα 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 τον ολικό βαθμό αποδόσεως του εναλλακτήρα.

Η χρησιμοποίηση υδρογόνου σαν ψυκτικού αερίου απαιτεί να είναι απόλυτα στεγανό το κλειστό σύστημα κυκλοφορίας, όχι μόνο για να μην έχουμε διαφυγές υδρογόνου, αλλά κυρίως για να αποφεύγεται η είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτό και ο κίνδυνος εκρήξεως, 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.

5.4 Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

5.4.1 Αρχή λειτουργίας των εναλλακτών.

Στα εδάφια 2.1.2 και 2.1.3 εξηγήσαμε την αρχή λειτουργίας των γεννητριών

εναλλασσόμενου ρεύματος. Όπως αναφέραμε, από τη μορφή που έχει το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο (σχ. 2.1δ) εξαρτάται η μορφή της καμπύλης που παριστάνει τη μεταβολή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, που δημιουργείται από επαγωγή μέσα στους αγωγούς (σχ. 2.1στ). Οι κατασκευαστές των εναλλακτήρων προσπαθούν, ώστε η καμπύλη αυτή να πλησιάζει τη γνωστή **ημιτονοειδή καμπύλη**.

Όταν ο εναλλακτήρας έχει περισσότερους από δυο μαγνητικούς πόλους, τότε η καμπύλη του δεξιού μέρους του σχήματος 2.1δ παριστάνει πώς μεταβάλλεται η μαγνητική επαγωγή στο διάκενο δυο ετερώνυμων διαδοχικών πόλων, π.χ. ένα βόρειο πόλο και τον επόμενο νότιο πόλο. Συνεπώς για να παραστήσουμε τη μεταβολή του B σε όλη τη περιφέρεια του επαγωγικού τυμπάνου θα πρέπει να επαναλάβουμε την καμπύλη p φορές, δηλαδή όσος είναι ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής.

Όταν σε ένα διπολικό εναλλακτήρα (σχ. 2.1ε) το επαγωγικό τύμπανο κάνει μια πλήρη στροφή (360 γεωμετρικές μοίρες), η ηλεκτρεγερτική δύναμη στους αγωγούς συμπληρώνει ένα πλήρη κύκλο (σχ. 2.1στ). Δηλαδή το γνωστό από την Ηλεκτροτεχνία παραστατικό διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως διαγράφει γωνία 360 ηλεκτρικών μοιρών.

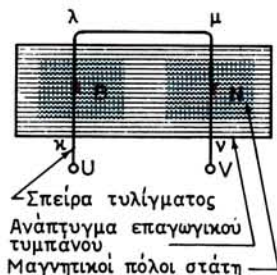
Αν ο εναλλακτήρας έχει p ζεύγη μαγνητικών πόλων, τότε σε μια πλήρη στροφή του επαγωγικού τυμπάνου η ηλεκτρεγερτική δύναμη στους αγωγούς θα εκτελεί p κύκλους. Δηλαδή ένας πλήρης κύκλος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως (360 ηλεκτρικές μοίρες) συμπληρώνεται με στροφή του επαγωγικού τυμπάνου κατά $360/p$ γεωμετρικές μοίρες. Συνεπώς, όταν το επαγωγικό τύμπανο διαγράφει γεωμετρική γωνία θ , το παραστατικό διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως διαγράφει ηλεκτρική γωνία:

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

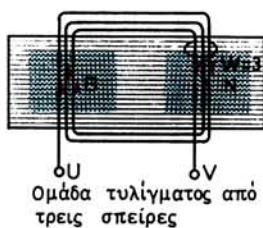
Άρα μεταξύ των γεωμετρικών και ηλεκτρικών γωνιών υπάρχει η σχέση:

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

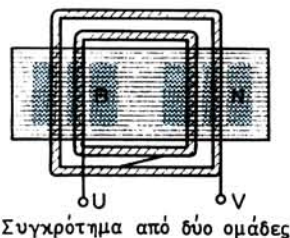
Στο σχήμα 5.4(α) παριστάνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου της απλής μηχανής του σχήματος 2.1ε με τη σπείρα των δυο αγωγών κ-λ και μ-ν. Στο ίδιο σχήμα έχουν σημειωθεί και η θέση που έχουν κάποια στιγμή σε σχέση με το επαγωγικό τύμπανο οι πόλοι της μηχανής.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 5.4.

Ομάδες τυλίγματος.

Όπως εξηγήσαμε μέσα στη σπείρα αναπτύσσεται εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, της οποίας τη γραφική παράσταση δίνει το σχήμα 2.1στ.

Αν μέσα στα δυο αυλάκια του τυμπάνου (σχ. 2.1ε) τοποθετήσουμε μια **ομάδα τυλίγματος** που αποτελείται από w σπείρες, δηλαδή με w αγωγούς σε κάθε στοιχείο, όπως δείχνει το σχήμα 5.4 (β), είναι εύκολο να αντιληφθούμε ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της ομάδας είναι πάλι εναλλασσόμενη της ίδιας συχνότητας, η στιγμιαία όμως τιμή της θα είναι w φορές μεγαλύτερη από τη στιγμιαία τιμή της μιας σπείρας. Η ίδια σχέση υπάρχει και μεταξύ των **ενδεικνυμένων τιμών** των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων της σπείρας και της ομάδας. Από τα δύο άκρα U και V της ομάδας μπορούμε να τροφοδοτήσουμε φορτίο με εναλλασσόμενο ρεύμα, που θα έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος 2.1στ.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη, την οποία είναι δυνατό να λάβουμε από μία ομάδα τυλίγματος, δεν επαρκεί για τις ανάγκες της πράξης, γιατί ο αριθμός των αγωγών που μπορούμε να τοποθετήσουμε στο αυλάκι μιας οδοντώσεως είναι περιορισμένος. Γι' αυτό το λόγο στα πραγματικά τυλίγματα των εναλλακτών συνδέουμε σε σειρά περισσότερες από μια ομάδες τοποθετημένες σε γειτονικές οδοντώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4(γ). Στο σχήμα αυτό σε ένα διπλό πολικό βήμα υπάρχουν δυο ομάδες του τυλίγματος. Το σύνολο των ομάδων που συνδέονται σε σειρά σε ένα διπλό πολικό βήμα το ονομάζουμε **συγκρότημα ομάδων**. Αποδεικνύεται ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη του συγκροτήματος ομάδων είναι και αυτή εναλλασσόμενη. **Η ενδεικνυμένη τιμή είναι λίγο μικρότερη από το άθροισμα των ενδεικνυμένων τιμών των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των ομάδων, από τις οποίες αποτελείται.**

Στους εναλλακτές με εσωτερικούς πόλους η μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο ακολουθεί πάλι την καμπύλη του σχήματος 2.1δ, όταν ο δρομέας δεν περιστρέφεται. Κατά τη λειτουργία όμως του εναλλακτήρα, ενώ οι αγωγοί του επαγωγικού τυμπάνου είναι ακίνητοι, περιστρέφονται οι μαγνητικοί πόλοι και μαζί με αυτούς το μαγνητικό πεδίο. Οι αγωγοί τέμνουν τότε τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ή ακριβέστερα οι μαγνητικές γραμμές τέμνουν τους αγωγούς. Κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία, δημιουργείται και πάλι σε κάθε αγωγό του τυλίγματος ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, της οποίας η στιγμιαία τιμή εξαρτάται από την αντίστοιχη τιμή της μαγνητικής επαγωγής. Άρα η ηλεκτρεγερτική δύναμη κάθε αγωγού θα μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο σύμφωνα με την καμπύλη του σχήματος 2.1στ. Δηλαδή θα είναι ημιτονοειδής εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη. Όμοια θα είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη και όλου του εναλλακτήρα.

Αν θέλουμε να προσδιορίσουμε τη φορά, που έχει σε κάποια χρονική στιγμή ή ηλεκτρεγερτική δύναμη μέσα σε ένα αγωγό, εφαρμόζουμε τον κανόνα του δεξιού χεριού (εδάφιο 2.1.1). Πρέπει όμως για φορά κινήσεως του αγωγού να λάβουμε την αντίθετη της φοράς κινήσεως του μαγνητικού πεδίου.

5.4.2 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής.

Όπως εξηγήσαμε στο προηγούμενο εδάφιο, η ηλεκτρεγερτική δύναμη εναλλακτήρα, ο οποίος έχει p ζεύγη μαγνητικών πόλων, εκτελεί p πλήρεις κύκλους σε κάθε στροφή του δρομέα.

Αν ο δρομέας περιστρέφεται με ταχύτητα n_s στρ/s, ο αριθμός των κύκλων στο δευτερόλεπτο, δηλαδή η 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 εναλλακτήρα στο δευτερόλεπτο.

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

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

Π.χ. αν εξαπολικός εναλλακτήρας ($p = 3$) περιστρέφεται με ταχύτητα $n_s = 1000$ στρ/min, θα δίνει ρεύμα συχνότητας:

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

Από τον τύπο, που δίνει τη συχνότητα, προκύπτει η ταχύτητα περιστροφής την οποία πρέπει να έχει ο εναλλακτήρας για να παράγει ρεύμα ορισμένης συχνότητας. Η ταχύτητα αυτή, που ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα, είναι:

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

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

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

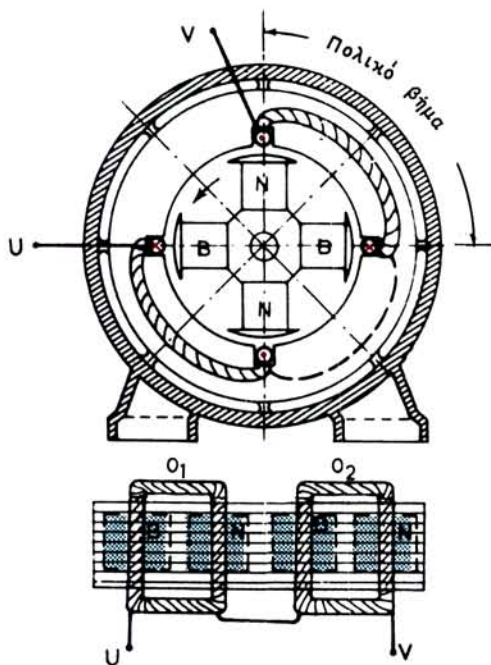
Στην Ελλάδα, καθώς και σε όλη την Ευρώπη, έχει καθιερωθεί στα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος η συχνότητα να είναι $f = 50\text{Hz}$. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, ο οποίος δίνει τις σύγχρονες ταχύτητες των εναλλακτών για τον αντίστοιχο αριθμό των ζευγών μαγνητικών πόλων, ώστε να παράγουν ρεύμα συχνότητας 50 Hz:

Για $p = 1$	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.

5.5 Μονοφασικοί εναλλακτήρες.

Ο απλός εναλλακτήρας, τον οποίο περιγράψαμε στα εδάφια 2.1.2, 2.1.3 και 5.4.1, είναι ένας διπολικός εναλλακτήρας, που έχει ένα μόνο τύλιγμα στο επαγωγικό του τύμπανο. Τα άκρα U και V του τυλίγματος (σχ. 5.4) συνδέονται με τους ακροδέκτες του εναλλακτήρα. Όταν ο εναλλακτήρας είναι με εξωτερικούς πόλους, η σύνδεση αυτή γίνεται, όπως αναφέραμε και στο εδάφιο 5.2.1, μέσω δακτυλιδιών. Στους ακροδέκτες του εναλλακτήρα είναι δυνατό να συνδέσουμε **μονοφασικό φορτίο** και να το τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα (σχ. 2.1ζ). Ο εναλλακτήρας αυτός ονομάζεται **μονοφασικός εναλλακτήρας** και το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου **μονοφασικό τύλιγμα**.

Μονοφασικοί εναλλακτήρες είναι δυνατό να κατασκευασθούν και με περισσότερους από δύο πόλους. Στην περίπτωση αυτή σε κάθε διπλό πολικό βήμα έχουμε ένα συγκροτήμα ομάδων, όπως αυτό του σχήματος 5.4 (γ). Τα συγκροτήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους συνήθως σε σειρά, ώστε να σχηματίζεται ένα μονοφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται στους δύο ακροδέκτες της μηχανής.



Σχ. 5.5.

Τετραπολικός μονοφασικός εναλλακτήρας.

Το σχήμα 5.5 παριστάνει, στην απλούστερή του μορφή, ένα **τετραπολικό μονοφασικό εναλλακτήρα** με εσωτερικούς πόλους. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνεται το τύλιγμα στο ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Για απλότητα του σχεδίου, ο εναλλακτήρας αυτός παριστάνεται με τέσσερα αυλάκια στο επαγωγικό τύμ-

πανο, δηλαδή με ένα αυλάκι σε κάθε πολικό βήμα. Συνεπώς έχομε 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 ακροδέκτες του εναλλακτήρα.

5.6 Τριφασικοί εναλλακτήρες.

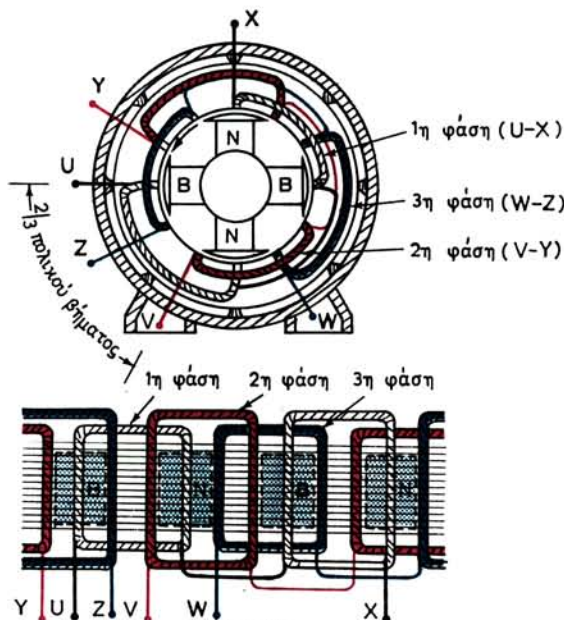
Οι τριφασικοί εναλλακτήρες έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις **τρεις φάσεις** του εναλλακτήρα. Το σχήμα 5.6α στο επάνω μέρος δείχνει ένα απλό τριφασικό εναλλακτήρα, ο οποίος έχει σε κάθε διπλό πολικό βήμα μία ομάδα τυλίγματος από την κάθε φάση. Στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος φαίνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

Στα **τριφασικά τυλίγματα** έχομε έξι ελεύθερα άκρα. Τρεις **αρχές** τις U, V, W, και τρία **πέρατα**, τα X, Y, Z. Το τύλιγμα U-X αποτελεί την **πρώτη φάση**, το V-Y τη **δεύτερη φάση** και το W-Z την **τρίτη φάση**.

Στους τριφασικούς εναλλακτήρες, οι εναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται στις τρεις φάσεις, έχουν το ίδιο μέγεθος (τις ίδιες ενδεικνυμένες τιμές) και την ίδια συχνότητα. Οι ηλεκτρεγερτικές αυτές δυνάμεις ονομάζονται **φασικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις** του εναλλακτήρα.

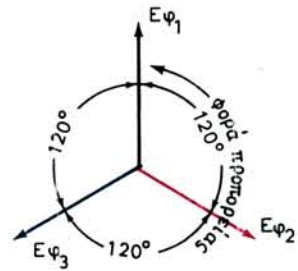
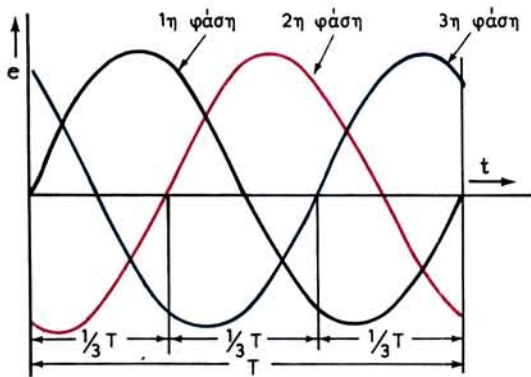
Το τύλιγμα κάθε φάσεως απέχει από τις άλλες απόσταση ίση με $\frac{2}{3}$ του πολικού βήματος ή κατά γεωμετρική γωνία $\theta = 60^\circ$ (σε τετραπολικό εναλλακτήρα). Άρα οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τρία τυλίγματα έχουν μεταξύ τους **φασική απόκλιση**:

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



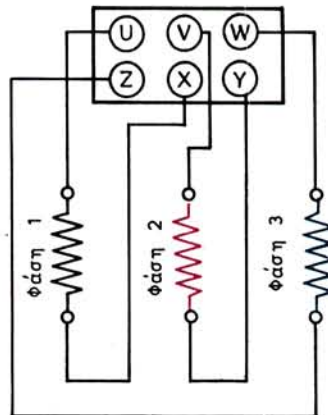
Σχ. 5.6α.

Τετραπολικός τριφασικός εναλλακτήρας.



Σχ. 5.6β.

Ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού εναλλακτήρα.



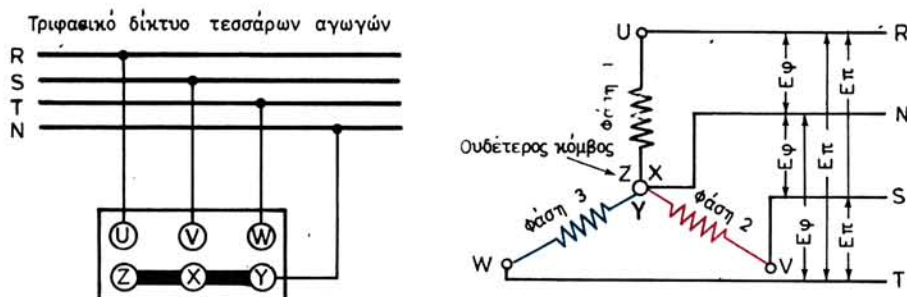
Σχ. 5.6γ.

Σύνδεση των τυλιγμάτων των τριών φάσεων με τους ακροδέκτες.

Όταν ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται κατά τη φορά, που δείχνει το τόξο στο σχήμα 5.6α, τότε η ηλεκτρεγερτική δύναμη της φάσεως 1 προπορεύεται της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της φάσεως 2 και αυτή της φάσεως 3. Το σχήμα 5.6β παριστάνει, κατά τα γνωστά, με καμπύλες και με διανύσματα τις ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις των τριών φάσεων τριφασικού εναλλακτήρα, σε αντιστοιχία και με το σχήμα 5.6α.

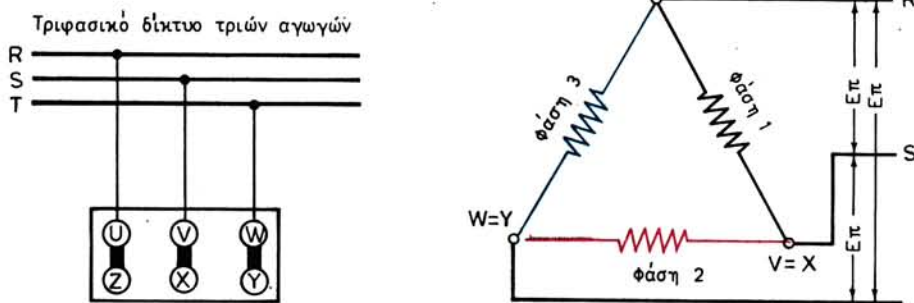
Τα έξι ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων του τριφασικού εναλλακτήρα συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6γ. Στην περίπτωση αυτή οι τρεις φάσεις είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους και αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο μεταξύ δύο ακροδεκτών, που ανήκουν σε διαφορετικές φάσεις, δεν θα δείξει τάση. Είναι η περίπτωση του **ανεξάρτητου τριφασικού συστήματος**.

Στην πράξη τα τυλίγματα των τριών φάσεων των τριφασικών εναλλακτών δεν τα αφήνουμε ανεξάρτητα, αλλά τα συνδέουμε μεταξύ τους με ορειχάλκινα ή χαλ-



Σχ. 5.6δ.

Σύνδεση σε αστέρα.



Σχ. 5.6ε.

Σύνδεση σε τρίγωνο.

κινα λαμάκια που τοποθετούμε στους ακροδέκτες της μηχανής. Πραγματοποιούμε έτσι αυτό που ονομάζουμε **αλληλένδετο τριφασικό σύστημα**, το οποίο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα για τα δίκτυα που τροφοδοτούνται από τέτοιους τριφασικούς εναλλακτήρες.

Υπάρχουν δύο τρόποι να συνδεθούν μεταξύ τους οι φάσεις τριφασικού εναλλακτήρα: η **σύνδεση σε αστέρα** και η **σύνδεση σε τρίγωνο**.

Στη σύνδεση σε αστέρα, συνδέουμε μεταξύ τους τους ακροδέκτες Z, X, Y, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 5.6δ, οι οποίοι έτσι αποτελούν τον **ουδέτερο κόμβο της μηχανής**. Στους τρεις άλλους ακροδέκτες U, V, W, συνδέεται το τριφασικό δίκτυο. Όταν το τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο ουδέτερος αγωγός του δικτύου συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του ακροδέκτη μιας φάσεως (U, V, W) και του ουδέτερου κόμβου έχουμε τη φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα E_ϕ . Μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων έχουμε την **πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη** E_π , η οποία, όπως είναι γνωστό από την Ηλεκτροτεχνία, στη σύνδεση σε αστέρα είναι:

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

Στη σύνδεση σε τρίγωνο τοποθετούμε τρία λαμάκια μεταξύ των ακροδεκτών,

όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 5.6ε. Στην περίπτωση αυτή η φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα είναι ίση με την πολική:

$$E_{\phi} = E_{\pi}$$

Στη σύνδεση σε τρίγωνο μόνο τριφασικό δίκτυο τριών αγωγών είναι δυνατό να τροφοδοτηθεί από τον τριφασικό εναλλακτήρα. Εναλλακτήρες μονοφασικοί σπάνια χρησιμοποιούνται. Σήμερα στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται μόνο τριφασικοί εναλλακτήρες.

5.7 Τιμή ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα.

Η ενδεικνυμένη τιμή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, που δημιουργείται μέσα στο τυλίγμα κάθε φάσεως ενός εναλλακτήρα, δηλαδή η φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη, δίνεται από τη σχέση:

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

όπου: p είναι ο αριθμός των ζευγών μαγνητικών πόλων,

n_s η ταχύτητα περιστροφής σε στρ/s,

w_o ο αριθμός των συνδεμένων σε σειρά αγωγών του τυλίγματος κάθε φάσεως,

Φ η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου σε Vs

και K συντελεστής που εξαρτάται από τα γεωμετρικά στοιχεία του τυλίγματος και από το πραγματικό σχήμα της καμπύλης μεταβολής της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο. Το K στους τριφασικούς εναλλακτήρες κυμαίνεται μεταξύ 1,9 και 3,4. Συνήθως το παίρνουμε γύρω στο 2,22.

Αν στην παραπάνω σχέση θέσουμε $f = p \cdot n_s$ έχουμε:

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

όπου: f είναι η συχνότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως σε Hz.

Παράδειγμα.

Να υπολογισθεί η πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη εξαπολικού τριφασικού εναλλακτήρα που περιστρέφεται με ταχύτητα 1000 στρ/μίν και του οποίου το επαγωγικό τύμπανο έχει 36 αυλάκια με 5 αγωγούς στο κάθε αυλάκι. Τα τυλίγματα του εναλλακτήρα είναι συνδεσμολογημένα σε αστέρα, η δε χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου είναι 0,019 Vs (να ληφθεί $K = 2,23$).

Λύση.

Η συχνότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως θα είναι:

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

Ο αριθμός των αυλακίων σε κάθε φάση είναι:

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

Άρα ο αριθμός των αγωγών που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά σε κάθε φάση θα είναι:

$$w_0 = 5 \times 12 = 60 \text{ αγωγοί}$$

Συνεπώς η ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα θα είναι:

$$E_\phi = 2,23 \times 50 \times 60 \times 0,019 = 127 \text{ V}$$

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

$$E_\pi = \sqrt{3} \cdot E_\phi = 1,73 \times 127 = 220 \text{ V}$$

Στα επόμενα, όταν θα αναφέρομε την **ηλεκτρεγερτική δύναμη εναλλακτήρα** E , θα εννοούμε την πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη. Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας των τριών φάσεων του εναλλακτήρα, η E είναι ίση με την E_ϕ (σύνδεση σε τρίγωνο) ή με $1,73 \cdot E_\phi$ (σύνδεση σε αστέρα).

5.8 Μέθοδοι για ρύθμιση της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα.

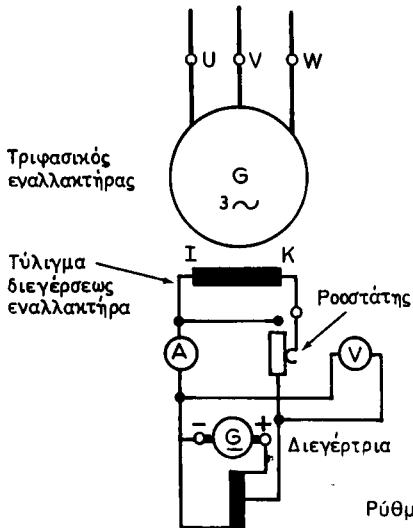
Από τη σχέση που δίνει τη φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη (παράγρ. 5.7) συμπεραίνουμε, ότι, για να μεταβάλομε την ηλεκτρεγερτική δύναμη ενός εναλλακτήρα, που λειτουργεί, θα πρέπει να μεταβάλομε ή την ταχύτητα περιστροφής n_s ή τη μαγνητική ροή Φ . Οι υπόλοιποι παράγοντες αναφέρονται στα κατασκευαστικά στοιχεία του εναλλακτήρα και δεν είναι δυνατό να μεταβληθούν.

Στην πράξη όμως, ούτε την ταχύτητα περιστροφής μπορούμε να μεταβάλλομε, γιατί, όπως είδαμε στο εδάφιο 5.4.2, η ταχύτητα καθορίζεται από τη συχνότητα του ρεύματος που θέλομε να παράγει ο εναλλακτήρας. Συνεπώς θα πρέπει να μεταβάλλομε τη μαγνητική ροή Φ , η οποία όπως γνωρίζομε, εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος διεγέρσεως. Άρα θα πρέπει να μεταβάλλομε την ένταση διεγέρσεως, δηλαδή την ένταση που δίνει η διεγέρτρια στο τύλιγμα των μαγνητικών πόλων του εναλλακτήρα.

Η διεγέρτρια είναι μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με παράλληλη ή με σύνθετη διέγερση. Για να ρυθμίσομε την ένταση που δίνει στο τύλιγμα των μαγνητικών πόλων του εναλλακτήρα, μπορούμε να παρεμβάλομε μια ρυθμιστική αντίσταση (ροοστάτη) σε σειρά στο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8α. Η μέθοδος αυτή είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί μόνο σε εναλλακτήρες μικρού μεγέθους. Προτιμάται όταν από την ίδια διεγέρτρια τροφοδοτούνται οι διεγέρσεις πολλών μικρών εναλλακτήρων, οπότε καθένας έχει το δικό του ροοστάτη. Στην περίπτωση αυτή η κοινή διεγέρτρια έχει ιδιαίτερη κινητήρια μηχανή.

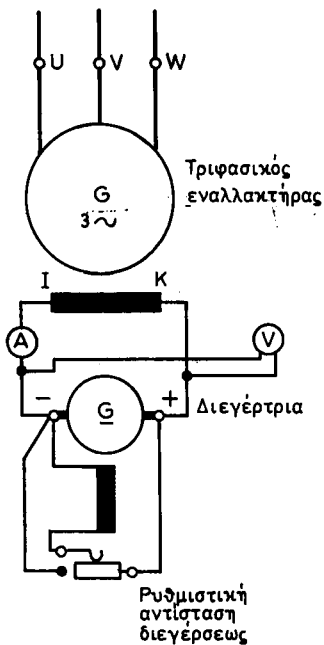
Στους μεγάλους εναλλακτήρες η ένταση διεγέρσεως φθάνει σε υψηλές τιμές (π.χ. 300 A), οπότε η ρύθμιση της διεγέρσεως με την παρεμβολή του ροοστάτη παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα. Στις περιπτώσεις αυτές κάθε εναλλακτήρας έχει τη δική του διεγέρτρια και η ρύθμιση της εντάσεως του ρεύματος διεγέρσεως γίνεται με τη ρύθμιση της τάσεως της διεγέρτριας. Αυτό γίνεται, όπως είναι γνωστό από τις μηχανές συνεχούς ρεύματος, με ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8β.

Το σχήμα 5.8γ δείχνει ένα άλλο σύστημα ρυθμίσεως της διεγέρσεως εναλλακτήρα. Σε αυτό, το κύριο τύλιγμα διεγέρσεως της διεγέρτριας τροφοδοτείται από άλλη μηχανή συνεχούς ρεύματος, τη διεγέρτρια-πιλότο, που παίρνει και αυτή κίνηση από τον άξονα του εναλλακτήρα. Η ρύθμιση της τάσεως του εναλλακτήρα



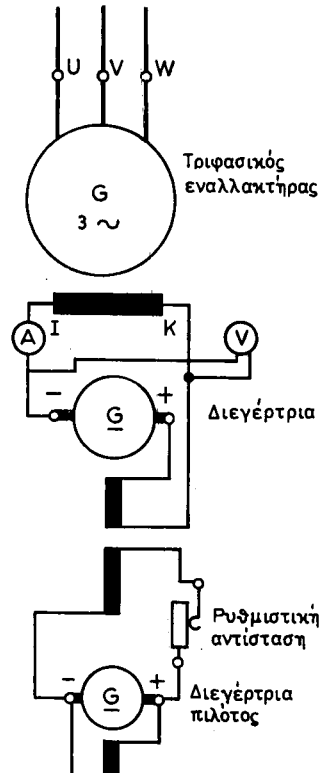
Σχ. 5.8α.

Ρύθμιση με ροοστάτη της διεγέρσεως εναλλακτήρα.



Σχ. 5.8β.

Ρύθμιση διεγέρσεως εναλλακτήρα με μεταβολή της τάσεως της διεγέρτριας.



Σχ. 5.8γ.

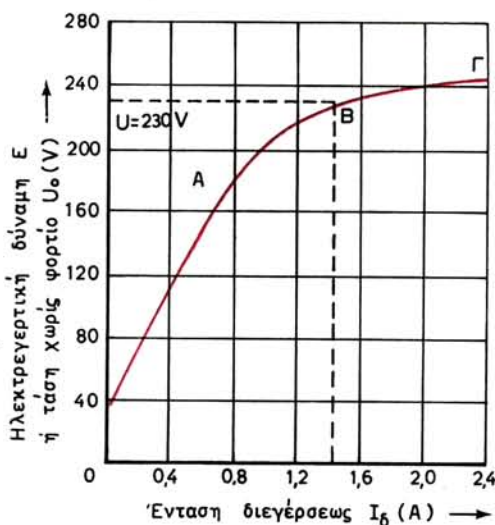
Ρύθμιση διεγέρσεως εναλλακτήρα με διεγέρτρια-πιλότο.

γίνεται με μεταβολή της ρυθμιστικής αντιστάσεως. Το σύστημα αυτό είναι εξαιρετικά ευσταθές από άποψη σταθερότητας τάσεως.

Οι διεγέρτριες με το συλλέκτη και τις ψήκτρες που έχουν, αποτελούν συχνά πηγή ανωμαλιών στη λειτουργία των εναλλακτήρων. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές των μεγάλων εναλλακτήρων χρησιμοποιούν για διεγέρτρια μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, της οποίας το ρεύμα μετατρέπουν σε συνεχές με ανορθωτές. Μία διεγέρτρια-πιλότος τροφοδοτεί στις περιπτώσεις αυτές τη διέγερση της διεγέρτριας εναλλασσόμενου ρεύματος.

5.9 Λειτουργία εναλλακτήρα χωρίς φορτίο.

Η καμπύλη, η οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται η ενδεικνυμένη τιμή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως E ενός εναλλακτήρα (που, όπως γνωρίζουμε, είναι ίση με την τάση χωρίς φορτίο U_0), όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως του I_δ , ενώ η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή και ίση προς τη σύγχρονη ταχύτητα, ονομάζεται **χαρακτηριστική χωρίς φορτίο** ή **στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα**.



Σχ. 5.9.

Στατική χαρακτηριστική εναλλακτήρα.

Το σχήμα 5.9 δείχνει τη στατική χαρακτηριστική ενός εναλλακτήρα. Όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, (παράγρ. 3.1), η καμπύλη αποτελείται από το σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα ΟΑ, στο οποίο η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι περίπου ανάλογη προς το ρεύμα διεγέρσεως, το γόνατο ΑΒ της καμπύλης και το επίσης σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα ΒΓ. Στο τελευταίο αυτό τμήμα επέρχεται ο κορεσμός του μαγνητικού κυκλώματος της μηχανής και η ηλεκτρεγερτική της δύναμη αυξάνεται πολύ λίγο, έστω και αν η ένταση διεγέρσεως αυξηθεί σημαντικά. Οι εναλλα-

κτήρες συνήθως εργάζονται στην αρχή του τμήματος κορεσμού, δηλαδή αμέσως μετά το γόνατο της καμπύλης.

Για τους ίδιους λόγους που εξηγήσαμε στις μηχανές συνεχούς ρεύματος η καμπύλη του σχήματος 5.9 με άλλη κλίμακα παριστάνει και τη μεταβολή του Φ , όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως. Η καμπύλη τότε ονομάζεται **μαγνητική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα**.

5.10 Λειτουργία εναλλακτών με φορτίο.

5.10.1 Χαρακτηριστική φορτίου – Διακύμανση τάσεως.

Όταν ένας εναλλακτήρας εργάζεται χωρίς φορτίο με τον κανονικό αριθμό στροφών, η τάση U_0 , που επικρατεί μεταξύ των ακροδεκτών, όπως αναφέραμε, είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική του δύναμη E και εξαρτάται μόνο από την τιμή που έχει η ένταση διεγέρσεως. Αν φορτώσουμε τον εναλλακτήρα διατηρώντας σταθερή την τιμή της εντάσεως διεγέρσεως και την ταχύτητα περιστροφής, η τάση του εναλλακτήρα μεταβάλλεται. Ενώ όμως στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος η μεταβολή της τάσεως εξαρτάται μόνο από την ένταση φορτίσεως, στους εναλλακτήρες εξαρτάται βέβαια και από την ένταση φορτίσεως αλλά και από το συντελεστή ισχύος (συνφ) του φορτίου.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε, ότι, όταν θα λέμε τάση του εναλλακτήρα U , θα εννοούμε την πολική του τάση, δηλαδή την τάση μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων. Επίσης, όταν θα λέμε ένταση φορτίσεως I του εναλλακτήρα, θα εννοούμε την ένταση γραμμής. Στους τριφασικούς εναλλακτήρες, παραδεχόμαστε συμμετρική φόρτιση ($I_R = I_S = I_T = I$). Κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία, η φασική τάση U_ϕ (η τάση στα άκρα μιας φάσεως) και η φασική ένταση I_ϕ (η ένταση που περνά μέσα από το τύλιγμα μιας φάσεως) υπολογίζονται από τις σχέσεις:

Για συνδεσμολογία του εναλλακτήρα σε αστέρα (σχ. 5.6δ):

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

Για συνδεσμολογία του εναλλακτήρα σε τρίγωνο (σχ. 5.6ε):

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

Χαρακτηριστική φορτίου του εναλλακτήρα είναι η καμπύλη, που δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση του (η ενδεικνυμένη τιμή της), όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως (η ενδεικνυμένη τιμή της), ενώ ο συντελεστής ισχύος του φορτίου και η ένταση διεγέρσεως παραμένουν σταθερά και ο εναλλακτήρας περιστρέφεται με την κανονική του ταχύτητα.

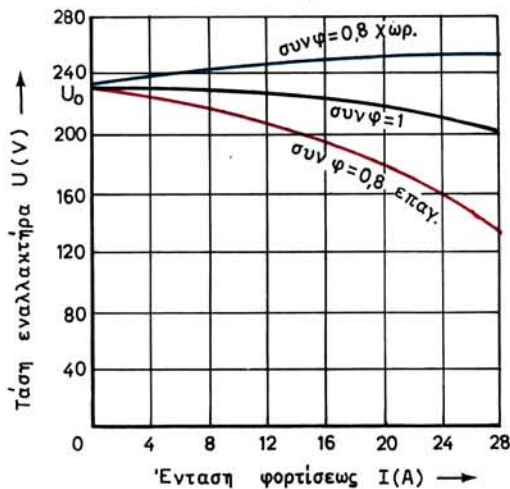
Το σχήμα 5.10α δίνει τρεις χαρακτηριστικές φορτίου ενός εναλλακτήρα, δηλαδή για τρεις συντελεστές ισχύος του φορτίου: για **ωμική φόρτιση** (συνφ = 1), για **επαγωγική φόρτιση** με συνφ = 0,8 και για **χωρητική φόρτιση** του εναλλακτήρα με συνφ = 0,8. Όπως παρατηρούμε από τις καμπύλες του σχήματος στην περίπτωση της ωμικής φορτίσεως η τάση του εναλλακτήρα πέφτει, όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως. Η πτώση αυτή της τάσεως είναι σημαντικά μεγαλύτερη όταν η φόρτι-

ση είναι επαγωγική. Αντίθετα, όταν η φόρτιση είναι χωρητική έχουμε αύξηση της τάσεως του εναλλακτήρα όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως.

Είναι φανερό, ότι για $I = 0$ όλες οι χαρακτηριστικές φορτίου ενός εναλλακτήρα για την ίδια ένταση διεγέρσεως και τον κανονικό αριθμό στροφών, διέρχονται από το ίδιο σημείο U_0 (σχ. 5.10α), δηλαδή από το σημείο που παριστάνει την τάση χωρίς φορτίο, γιατί τότε το συνφ του καταναλωτή δεν έχει καμιά επίδραση.

Αν U_0 είναι η τάση του εναλλακτήρα χωρίς φορτίο και U_N η τάση του με το κανονικό φορτίο (για σταθερή ένταση διεγέρσεως και ορισμένο συντελεστή ισχύος του φορτίου), τότε η **διακύμανση τάσεως** του εναλλακτήρα δίνεται από τη γνωστή και από τις μηχανές συνεχούς ρεύματος σχέση:

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



Σχ. 5.10α.

Χαρακτηριστικές φορτίου εναλλακτήρα.

Παράδειγμα.

Ένας εναλλακτήρας έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες του σχήματος 5.10α. Αν η κανονική έντάσή του είναι $I = 24$ A, ποιά είναι η διακύμανση τάσεως για τους τρεις συντελεστές ισχύος του φορτίου;

Λύση.

$$\text{Για } \cos \varphi = 0,8 \text{ επαγ. } \epsilon_1\% = \frac{230 - 160}{160} \times 100\% = 44\%$$

$$\text{Για } \cos \varphi = 1 \quad \epsilon_2\% = \frac{230 - 210}{210} \times 100\% = 9,5\%$$

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

Η μεταβολή της τάσεως στους εναλλακτήρες, όταν μεταβάλλεται το φορτίο, οφείλεται στους παρακάτω λόγους, που τους αναφέρουμε μόνο χωρίς να τους εξηγήσουμε:

α) Στην **ωμική πτώση τάσεως** μέσα στους αγωγούς του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου, όπως στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

β) Στην **αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου**, του οποίου το μαγνητικό πεδίο παραμορφώνει το μαγνητικό πεδίο των πόλων της μηχανής.

γ) Σε **φαινόμενα αυτεπαγωγής**, που οφείλονται στο γεγονός ότι το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα.

5.10.2 Ρύθμιση της τάσεως του εναλλακτήρα.

Αν θέλουμε με τη μεταβολή του φορτίου να διατηρούμε σταθερή την τάση του εναλλακτήρα, θα πρέπει να ρυθμίζουμε κατάλληλα την ένταση διεγέρσεώς του, δηλαδή να ρυθμίζουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην παράγραφο 5.8.

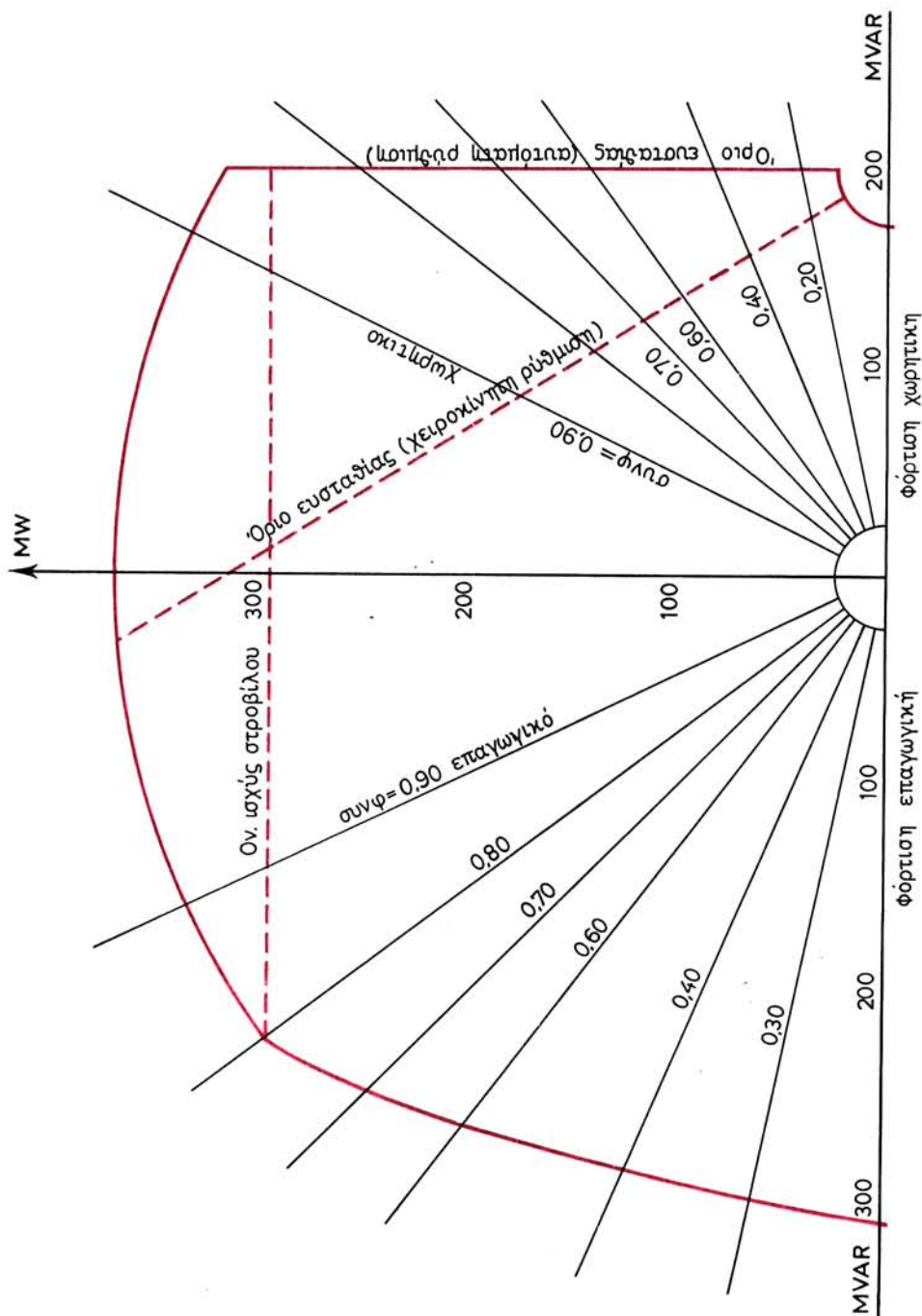
Η ρύθμιση αυτή της εντάσεως διεγέρσεως μπορεί να γίνει είτε με το χέρι, οπότε μεταβάλλουμε τη θέση του στροφάλου του ροοστάτη (σχ. 5.8α) ή της ρυθμιστικής αντιστάσεως (σχ. 5.8β και σχ. 5.8γ), είτε αυτόματα, όταν ο εναλλακτήρας είναι εφοδιασμένος με **αυτόματο ρυθμιστή τάσεως**.

Όταν ο εναλλακτήρας τροφοδοτεί επαγωγικό φορτίο με ορισμένο συντελεστή ισχύος, πρέπει, όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως, να αυξάνουμε και την ένταση διεγέρσεως για να διατηρεί ο εναλλακτήρας την ονομαστική του τάση. Λέμε τότε ότι ο εναλλακτήρας **υπερδιεγείρεται**. Αντίθετα, όταν τροφοδοτεί χωρητικό καταναλωτή, θα πρέπει να ελαττώνουμε την ένταση διεγέρσεως, δηλαδή να **υποδιεγείρουμε** τον εναλλακτήρα.

Σε περίπτωση επαγωγικής φορτίσεως του εναλλακτήρα με μικρό συντελεστή ισχύος (π.χ. $\cos \phi = 0,5$), οπότε η αντίδραση του επαγωγικού του τυμπάνου είναι μεγάλη, είναι πιθανό τα περιθώρια που έχει η διέγερση του εναλλακτήρα να μην επαρκούν για να καλυφθεί η μεταβολή της τάσεως στο κανονικό φορτίο. Στην περίπτωση αυτή είμαστε υποχρεωμένοι, για να διατηρήσουμε την ονομαστική τάση του εναλλακτήρα, να τον φορτίσουμε με ένταση κάτω από την κανονική. Δηλαδή στις περιπτώσεις μικρού $\cos \phi$ ο εναλλακτήρας δεν μπορεί να αποδώσει την κανονική ισχύ για την οποία έχει υπολογισθεί.

Στο σχήμα 5.10β η μπλε καμπύλη δίνει τη μεταβολή της μέγιστης ισχύος, μέχρι την οποία μπορεί να φορτισθεί ένας ορισμένος μεγάλος εναλλακτήρας (για τα διάφορα $\cos \phi$ του φορτίου) και να δίνει την ονομαστική του τάση. Όπως παρατηρούμε στον κατακόρυφο άξονα, όπου διαβάζουμε την ισχύ, για $\cos \phi$ μεγαλύτερο του 0,8 ο εναλλακτήρας μπορεί να αποδώσει ισχύ μεγαλύτερη από την ονομαστική του (300 MW), αλλά τότε περιοριστικός παράγοντας είναι η ονομαστική ισχύς του ατμοστροβίλου που τον κινεί. Για χωρητική φόρτιση, περιοριστικός παράγοντας είναι η **ευστάθεια λειτουργίας** του εναλλακτήρα.

Είναι φανερό από όσα αναφέραμε στο εδάφιο 5.10.1, ότι η τάση του εναλλακτήρα μεταβάλλεται όχι μόνο όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως με σταθερό συντελεστή ισχύος αλλά και όταν μεταβάλλεται ο συντελεστής ισχύος του φορτίου, ενώ η έντασή του παραμένει σταθερή. Και στην περίπτωση αυτή, αν θέλουμε



Σχ. 5.10β.

Μεταβολή της ισχύος εναλλακτήρα για διάφορα συνφ και τάση σταθερή.

να διατηρούμε την τάση του εναλλακτήρα ίση με την ονομαστική του τάση, θα πρέπει να ρυθμίζουμε κατάλληλα την ένταση διεγέρσεως. Στην πράξη έχουμε συνήθως ταυτόχρονη μεταβολή και της εντάσεως φορτίσεως και του συντελεστή ισχύος.

5.11 Θέση σε λειτουργία εναλλακτήρα.

5.11.1 Προκαταρκτικές εργασίες και μέτρα ασφάλειας.

Πριν θέσουμε σε λειτουργία ένα εναλλακτήρα, που πρόκειται να τροφοδοτήσει μόνος του ένα φορτίο, π.χ. ένα δίκτυο, πρέπει να κάνουμε μερικές προκαταρκτικές εργασίες και να πάρουμε τα απαιτούμενα μέτρα ασφάλειας για τις εγκαταστάσεις και τους ανθρώπους.

Στις προκαταρκτικές εργασίες περιλαμβάνεται ο καθαρισμός του χώρου και των μηχανημάτων, η απομάκρυνση περιττών αντικειμένων, ο έλεγχος των λιπάνσεων κ.τ.λ. Ελέγχουμε επίσης ότι ο κύριος διακόπτης Δ του εναλλακτήρα (σχ. 5.11) και οι διακόπτες Δ_{ϕ} των γραμμών του φορτίου είναι ανοικτοί. Ακόμα, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι ο στρόφαλος της ρυθμιστικής αντιστάσεως είναι στη θέση διακοπής του κυκλώματος διεγέρσεως της διεγέρτριας.

Στην κινητήρια μηχανή του εναλλακτήρα κάνουμε επίσης τις προκαταρκτικές εργασίες που επιβάλλονται ανάλογα με το είδος της μηχανής. Π.χ. σε ένα ατμοστρόβιλο είναι πιθανό να χρειασθεί να γίνει προθέρμανση των σωληνώσεων και του στροβίλου, να αυξηθεί η πίεση του λαδιού στα έδρανα για καλύτερη λίπανση στο ξεκίνημα κ.τ.λ.

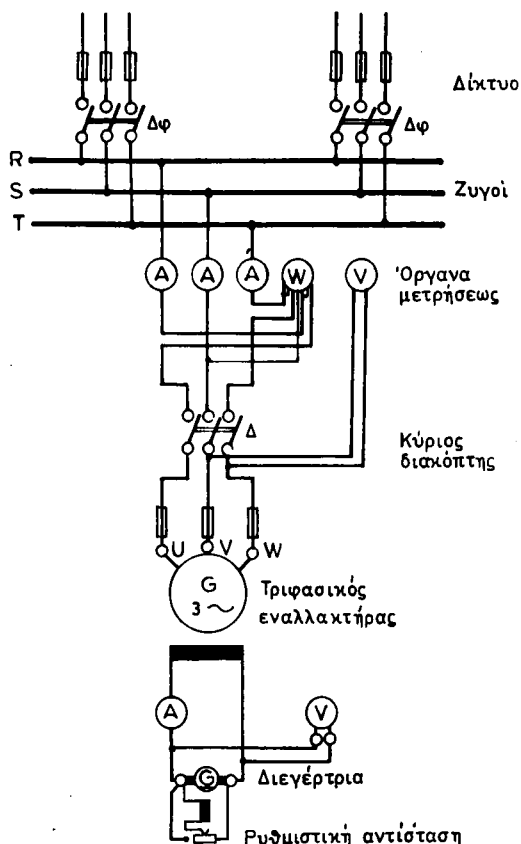
Στα μέτρα ασφάλειας περιλαμβάνεται και η διαπίστωση ότι άνθρωποι άσχετοι δεν βρίσκονται στο χώρο όπου θα λειτουργήσει ο εναλλακτήρας ή στο χώρο με τους πίνακες. Επίσης, ότι έχουν ειδοποιηθεί οι αρμόδιοι ότι το δίκτυο σύντομα θα τεθεί υπό τάση, με τη θέση σε λειτουργία του εναλλακτήρα, και ότι συνεπώς υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

5.11.2 Εκκίνηση και παραγωγή ονομαστικής τάσεως.

Αφού γίνουν τα παραπάνω, θέτουμε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή του εναλλακτήρα και ρυθμίζουμε την ταχύτητά της, ώστε να γίνει ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα του εναλλακτήρα (εδάφιο 5.4.2). Όπως διαπιστώνουμε από το βολτόμετρο V , ο εναλλακτήρας δεν δίνει τάση, γιατί δεν τροφοδοτείται ακόμα το τύλιγμα διεγέρσεώς του. Στρέφουμε σιγά το στρόφαλο της ρυθμιστικής αντιστάσεως (σχ. 5.11), ώστε η διεγέρτρια να αρχίσει να παράγει τάση και να τροφοδοτεί το τύλιγμα διεγέρσεως του εναλλακτήρα. Παρακολουθούμε το βολτόμετρο του εναλλακτήρα και ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεώς του, ώστε η τάση του χωρίς φορτίο να γίνει ίση με την ονομαστική τάση του εναλλακτήρα.

5.11.3 Σύνδεση με καταναλωτές – Διόρθωση 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 βαττόμετρο W , ο εναλλακτήρας αρχίζει να φορτίζεται. Όσο αυξάνεται το φορτίο, πρέπει να ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεως, ώστε να διατηρούμε την τάση του εναλλακτήρα σταθερή και ίση με την ονομαστική του τάση. Όπως αναφέραμε και στο εδάφιο



Σχ. 5.11.

Συνδεσμολογία τριφασικού εναλλακτήρα χαμηλής τάσεως.

5.10.2, η ρύθμιση αυτή γίνεται ή χειροκίνητα ή αυτόματα, όταν ο εναλλακτήρας είναι εφοδιασμένος με αυτόματο ρυθμιστή τάσεως.

Σημειώνουμε επίσης ότι μεταβολή της τάσεως του εναλλακτήρα μπορεί να προκληθεί και από μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής. Η ταχύτητα επηρεάζει διπλά την τάση: γιατί επηρεάζει την ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα (παραγρ. 5.7) και επίσης γιατί επηρεάζει την τάση της διεγέρτριας, άρα και την ένταση διεγέρσεως, αφού η διεγέρτρια είναι μια μηχανή συνεχούς ρεύματος στον ίδιο άξονα. Η μεταβολή της τάσεως που οφείλεται σε μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής δεν πρέπει να διορθώνεται με ρύθμιση της διεγέρσεως, αλλά με επαναφορά της ταχύτητας στο σύγχρονο αριθμό στροφών, αφού επιδράσουμε στο ρυθμιστή στροφών της κινητήριας μηχανής. Αλλιώς, αν ο εναλλακτήρας δεν λειτουργεί με τη σύγχρονη ταχύτητα, έστω και αν η τάση του είναι ίση με την ονομαστική, θα παράγει ρεύμα με συχνότητα διαφορετική από την ονομαστική, πράγμα που είναι ενοχλητικό για ορισμένους καταναλωτές.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας θα πρέπει να παρακολουθούμε με τα αμπερόμετρα την ένταση φορτίσεως του εναλλακτήρα. Σε καμιά από τις τρεις φάσεις του

η ένταση δεν πρέπει να ξεπεράσει την ονομαστική ένταση του εναλλακτήρα, την οποία αναγράφει η πινακίδα του. Τέλος με κατάλληλη κατανομή του φορτίου πρέπει να φροντίζουμε, ώστε η φόρτιση του εναλλακτήρα να είναι κατά το δυνατό συμμετρική, δηλαδή οι εντάσεις των τριών φάσεων να είναι κατά το δυνατό ίσες μεταξύ τους.

5.11.4 Σταμάτημα εναλλακτήρα.

Για να σταματήσουμε ένα εναλλακτήρα που λειτουργεί πρέπει πρώτα να τον εκφορτίσουμε. Ανοίγουμε δηλαδή ένα-ένα τους διακόπτες φορτίου Δ_{ϕ} , ενώ διατηρούμε με τη διέγερση την τάση του εναλλακτήρα σταθερή. Έπειτα, αφού ανοίξουμε και το διακόπτη Δ , μηδενίζουμε την τάση του εναλλακτήρα επιδρώντας στη διέγερσή του και σταματάμε στη συνέχεια την κινητήρια μηχανή.

5.12 Παράλληλη λειτουργία εναλλακτών.

5.12.1 Λόγοι που την επιβάλλουν.

Όπως συμβαίνει και με τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, για να τροφοδοτήσουμε ένα φορτίο (π.χ. ένα δίκτυο), δεν αρκεί πάντοτε η ισχύς ενός εναλλακτήρα. Χρησιμοποιούμε τότε δύο ή περισσότερους εναλλακτές, οι οποίοι, όπως λέμε, **λειτουργούν παράλληλα**.

Για να συνδέσουμε έναν εναλλακτήρα σε δίκτυο, που τροφοδοτεί άλλος εναλλακτήρας, για να εργασθεί παράλληλα με αυτόν, πρέπει πρώτα να τον **συγχρονίσουμε** με τον εναλλακτήρα που λειτουργεί ή (πράγμα που είναι το ίδιο) με το δίκτυο. Ο **συγχρονισμός** στους εναλλακτές δεν είναι τόσο απλός, όσο ο παραλληλισμός στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Εδώ πρέπει να πετύχουμε ισότητα των στιγμιαίων τιμών των τάσεων των δύο εναλλακτών και η ισότητα αυτή πρέπει να διατηρηθεί και μετά το κλείσιμο του διακόπτη παραλληλισμού.

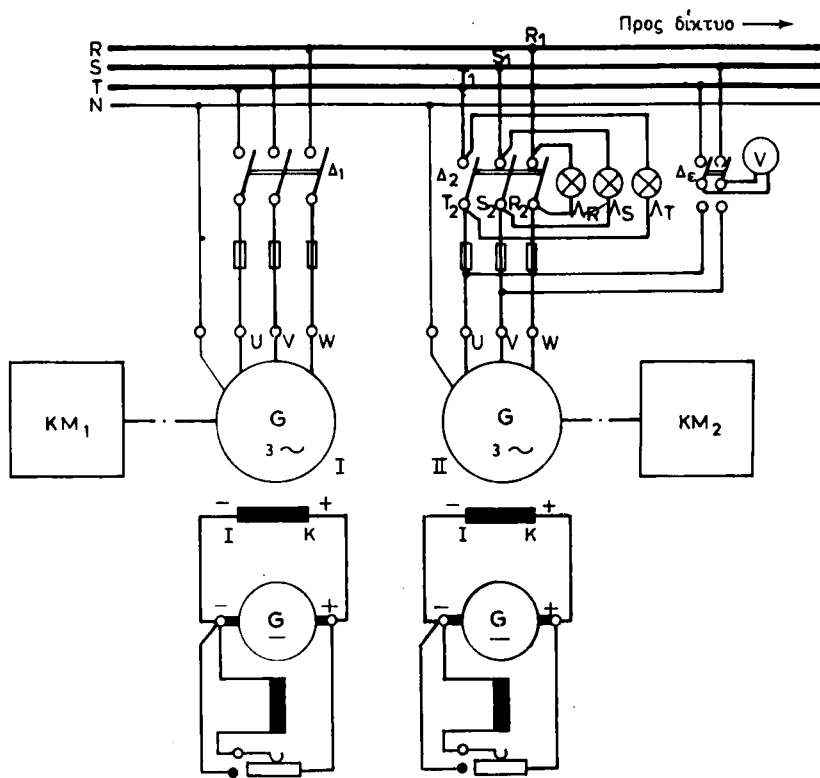
5.12.2 Συνθήκες παραλληλισμού.

Για να έχουμε συγχρονισμό ενός εναλλακτήρα με άλλο που λειτουργεί πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- α) **Οι τάσεις (ενδεικνυμένες τιμές) των δυο εναλλακτών να είναι ίσες.**
- β) **Οι συχνότητες στους δυο εναλλακτές να είναι ίσες.**
- γ) **Η διαδοχή των φάσεων των δυο εναλλακτών να είναι η ίδια.**
- δ) **Οι τάσεις των αντιστοίχων φάσεων των δυο εναλλακτών να μην έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση.**

Για να εξηγήσουμε το πώς ελέγχουμε αν πληρούνται οι συνθήκες αυτές στο συγχρονισμό θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα 5.12α που παριστάνει μια απλή διάταξη δυο τριφασικών εναλλακτών, I και II, οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα και να τροφοδοτήσουν τους ζυγούς.

Έστω ότι λειτουργεί ο εναλλακτήρας I (ο διακόπτης Δ_1 είναι κλειστός) και θέλουμε να συγχρονίσουμε με αυτόν τον εναλλακτήρα II. Βάζουμε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή KM_2 του εναλλακτήρα II και με τη βοήθεια του ρυθμιστή στροφών της, ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής, ώστε να γίνει ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα. Τότε η συχνότητα του εναλλακτήρα II θα είναι (περίπου) ίση με τη συχνότητα του εναλλακτήρα I (β' συνθήκη συγχρονισμού).



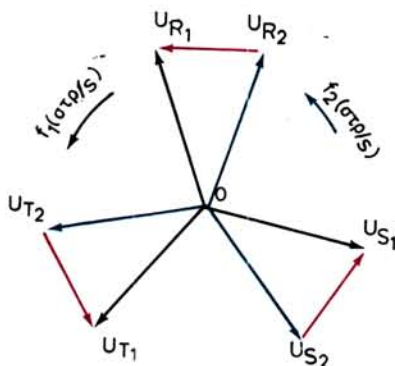
Σχ. 5.12α.

Συγχρονισμός τριφασικών εναλλακτήρων.

Έπειτα ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεως του εναλλακτήρα II, ώστε η τάση του να γίνει ίση με την τάση των ζυγών, δηλαδή με την τάση του εναλλακτήρα I (α' συνθήκη συγχρονισμού). Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του βολτόμετρου V και του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ_ϵ .

Για να ελέγξουμε τις άλλες συνθήκες συγχρονισμού χρησιμοποιούμε τους λαμπτήρες Λ_R , Λ_S και Λ_T , που ονομάζονται **λαμπτήρες συγχρονισμού** και συνδέονται όπως δείχνει το σχήμα 5.12α.

Ας δεχθούμε ότι οι τρεις φάσεις των τυλιγμάτων των δυο εναλλακτήρων είναι συνδεσμολογημένες σε αστέρα και ότι οι ουδέτεροι κόμβοι τους συνδέονται μεταξύ τους με το ζυγό του ουδέτερου N. Οι φασικές τάσεις U_{R_1} , U_{S_1} και U_{T_1} του εναλλακτήρα I (συνεπώς και των ζυγών) παριστάνονται, κατά τα γνωστά, στο σχήμα 5.12β με τα τρία διανύσματα (μαύρα), που περιστρέφονται με ταχύτητα f_1 (στρ/s), ίση με τη συχνότητα του ρεύματος του εναλλακτήρα I. Όμοια οι φασικές τάσεις U_{R_2} , U_{S_2} και U_{T_2} του εναλλακτήρα II παριστάνονται με τρία αντίστοιχα διανύσματα (μπλε), που περιστρέφονται όμως με ταχύτητα (στρ/s), ίση με τη συχνότητα f_2 του εναλλακτήρα II. Το f_2 είναι διάφορο του f_1 , γιατί όση προσοχή και αν καταβάλλουμε στη ρύθμιση των στροφών της κινητήριας μηχανής του εναλλακτήρα II, ο αριθμός στροφών της δεν θα είναι ποτέ απόλυτα ίσος με τη σύγχρονη ταχύτητα.



Σχ. 5.12β.

Η στιγμιαία τιμή της τάσεως στα άκρα ενός λαμπτήρα, π.χ. τον Λ_R θα είναι:

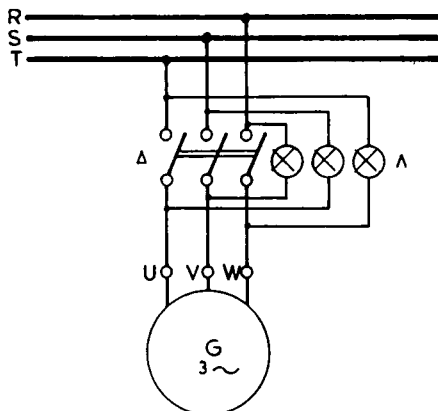
$$U_R = U_{R_1} - U_{R_2}$$

Άρα στο διάγραμμα του σχήματος 5.12β, η τάση στα άκρα του λαμπτήρα Λ_R θα παριστάνεται με το κόκκινο διάνυσμα $U_{R_2} U_{R_1}$. Το διάνυσμα αυτό μεταβάλλεται σε μέγεθος, όταν τα δυο συστήματα των διανυσμάτων των τάσεων δεν περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα, όταν δηλαδή η απόλυτη ισότητα των συχνοτήτων f_1 και f_2 δεν έχει επιτευχθεί. Όμοια οι τάσεις στα άκρα των δυο άλλων λαμπτήρων Λ_S και Λ_T θα παριστάνονται αντίστοιχα με τα διανύσματα $U_{S_2} U_{S_1}$ και $U_{T_2} U_{T_1}$ στο σχήμα 5.12β.

Καθώς τα δυο συστήματα διανυσμάτων περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες (π.χ. αν του εναλλακτήρα II περιστρέφεται ταχύτερα), θα έρχονται στιγμές (με συχνότητα $f_2 - f_1$), στις οποίες τα κόκκινα διανύσματα $U_{R_2} U_{R_1}$ κ.τ.λ. θα μηδενίζονται. Τότε όλοι οι λαμπτήρες θα είναι σβηστοί. Με την ίδια συχνότητα όμως θα υπάρχουν και στιγμές στις οποίες το διάνυσμα U_{R_1} θα είναι ακριβώς αντίθετο από το U_{R_2} . Τότε στο λαμπτήρα Λ_R θα εφαρμόζεται τάση $U_{R_2} U_{R_1}$, που θα είναι διπλάσια από τη φασική τάση του ενός εναλλακτήρα (οι λαμπτήρες πρέπει να έχουν εκλεγεί ώστε να αντέχουν στην τάση αυτή). Άρα ο λαμπτήρας αυτός, καθώς και οι υπόλοιποι, θα ανάβουν με τη μεγαλύτερή τους ένταση.

Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι οι τρεις λαμπτήρες συγχρονισμού θα αναβοσβήνουν ταυτόχρονα με συχνότητα ίση με $f_2 - f_1$, δηλαδή με τη διαφορά των συχνοτήτων των δύο εναλλακτών. Για να πετύχουμε να είναι το αναβόσβημα αυτό αρκετά αργό (περίπου ένα αναβόσβημα κάθε δύο δευτερόλεπτα) δεν έχουμε παρά να επιδράσουμε στο ρυθμιστή στροφών της κινητήριας μηχανής του εναλλακτήρα II (ή του εναλλακτήρα I κατά την αντίστροφη έννοια). Τότε, σε μία στιγμή που οι λαμπτήρες είναι σβηστοί, κλείνουμε το διακόπτη Δ_2 του εναλλακτήρα II. Από τη στιγμή αυτή οι δυο εναλλακτές εργάζονται παράλληλα με απόλυτα την ίδια συχνότητα.

Από όσα εκθέσαμε παραπάνω προκύπτει ότι τη στιγμή του συγχρονισμού πληρούνται όλες οι συνθήκες, που αναφέραμε στην αρχή του εδαφίου. Έχουμε να παρατηρήσουμε μόνο ότι, αν δεν πληρούται η τρίτη συνθήκη (της ίδιας διαδοχής των φάσεων), οι τρεις λαμπτήρες δεν αναβοσβήνουν ταυτόχρονα. Τότε πρέπει, αφού σταματήσουμε τον εναλλακτήρα II, να αλλάξουμε μεταξύ τους τη σύνδεση δυο αγω-



Σχ. 5.12γ.

Φωτεινή σύνδεση λαμπτήρων συγχρονισμού.

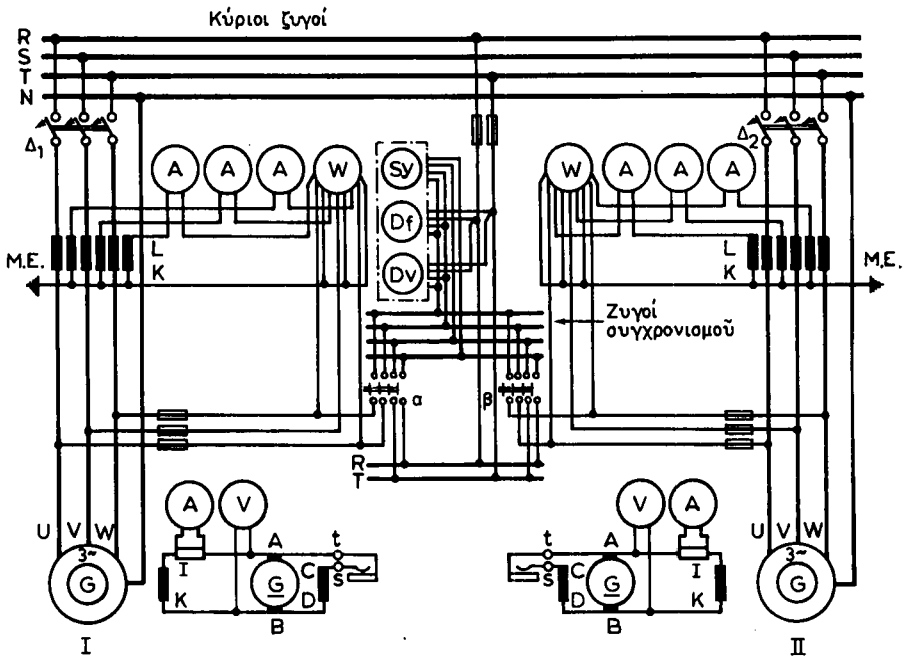
γών φάσεων του εναλλακτήρα με τους ζυγούς. Είναι αυτονόητο ότι η συνθήκη αυτή είναι αρκετό να ελέγχεται μια μόνο φορά, όταν εγκαθίσταται ο εναλλακτήρας. Ο έλεγχος αυτός είναι δυνατό να γίνει και με ειδικό όργανο, που ονομάζεται **δείκτης διαδοχής φάσεων**. Στους επόμενους συγχρονισμούς μετά τον πρώτο αρκεί η σύνδεση λαμπτήρων σε δυο φάσεις ή ακόμη και σε μια μόνο φάση, ανάλογα με τη συνδεσμολογία που εφαρμόζεται.

Η σύνδεση των λαμπτήρων συγχρονισμού, όταν γίνεται όπως δείχνει το σχήμα 5.12α, ονομάζεται **σκοτεινή σύνδεση**, γιατί με τη σύνδεση αυτή τη στιγμή του συγχρονισμού οι λαμπτήρες είναι σβηστοί. Σε ορισμένες περιπτώσεις προτιμούμε τη **φωτεινή σύνδεση** (σχ. 5.12γ), με την οποία πετυχαίνουμε στη στιγμή του συγχρονισμού οι λαμπτήρες να φωτίζουν με τη μεγαλύτερή τους ένταση.

5.12.3 Περιγραφή εγκαταστάσεως παραλληλισμού.

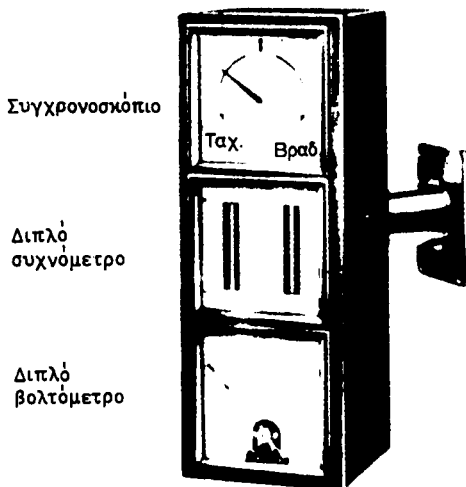
Όπως είδαμε στο εδάφιο 5.12.2 για το συγχρονισμό δυο εναλλακτήρων αρκούν ένα βολτόμετρο και οι λαμπτήρες συγχρονισμού (σχ. 5.12α). Στις πραγματικές εγκαταστάσεις για να διευκολυνθούν οι χειρισμοί χρησιμοποιούνται ορισμένα όργανα, με τα οποία εξασφαλίζουμε με ταχύτερο τρόπο τις συνθήκες συγχρονισμού. Σήμερα μάλιστα στις μεγάλες μονάδες τοποθετούνται **συστήματα αυτόματου συγχρονισμού**.

Το σχήμα 5.12δ παριστάνει τη συνδεσμολογία μιας εγκαταστάσεως μέσου μεγέθους για τη παράλληλη λειτουργία δύο εναλλακτήρων χαμηλής τάσεως. Τα **όργανα συγχρονισμού** αποτελούνται εδώ από το διπλό **βολτόμετρο** DV, το **διπλό συχνόμετρο** Df και το **συγχρονοσκόπιο** Sy. Αυτά συνδέονται με τους κύριους ζυγούς και με τους **ζυγούς συγχρονισμού** με τη βοήθεια τετραπλού βύσματος. Το βύσμα αυτό τοποθετείται στη θέση α, όταν πρόκειται να συγχρονισθεί με τους ζυγούς ο εναλλακτήρας Ι, και στη θέση β, όταν πρόκειται να συγχρονισθεί ο ΙΙ. Τα υπόλοιπα όργανα είναι αμπερόμετρα Α και βαττόμετρα W συνδεδεμένα μέσω μετασχηματιστών εντάσεως Μ.Ε. για τη μέτρηση της εντάσεως και ισχύος των εναλλακτήρων και αμπερόμετρα Α και βολτόμετρα V συνεχούς ρεύματος για τη μέτρηση της εντάσεως και τάσεως των διεγέρσεων. Βέβαια είναι δυνατό να υπάρχουν και άλλα



Σχ. 5.126.

Παράλληλη ζεύξη εναλλακτήρων χαμηλής τάσεως.



Σχ. 5.12ε.

Όργανα συγχρονισμού.

όργανα, όπως μετρητές ενέργειας, μετρητές άεργης ισχύος και ενέργειας κλπ.

Τα όργανα συγχρονισμού συνήθως είναι τοποθετημένα σε ιδιαίτερη κατασκευή, ώστε να εξέχουν από τους πίνακες ελέγχου των γεννητριών (σχ. 5.12ε). Το διπλό βολτόμετρο και το διπλό συχνόμετρο δείχνουν ταυτόχρονα την τάση και τη συχνότητα των ζυγών και του εναλλακτήρα που πρόκειται να παραλληλισθεί.

Το συγχρονοσκόπιο, που συνδέεται όπως φαίνεται στο σχήμα 5.12δ, συγκρίνει τις συχνότητες των κύριων ζυγών και της γεννήτριας που πρόκειται να συγχρονισθεί. Όταν οι συχνότητες δεν είναι ίσες, ο δείκτης του οργάνου περιστρέφεται κατά την μία ή την άλλη φορά. Η φορά περιστροφής του δείκτη φανερώνει αν ο εναλλακτήρας που πρόκειται να συγχρονισθεί πρέπει να κινηθεί **ταχύτερα** ή **βραδύτερα** για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός. Τη στιγμή του συγχρονισμού ο δείκτης του οργάνου παραμένει ακίνητος στην κατακόρυφη θέση. Τότε είμαστε βέβαιοι ότι και οι τάσεις δεν έχουν φασική απόκλιση και μπορούμε να κλείσουμε το διακόπτη Δ του εναλλακτήρα. Συνήθως μέσα στο συγχρονοσκόπιο υπάρχει και ένας λαμπτήρας συγχρονισμού σε φωτεινή σύνδεση. Έτσι, τη στιγμή του συγχρονισμού ο λαμπτήρας ανάβει με τη μεγαλύτερη ισχύ του και φωτίζει τον πίνακα του οργάνου.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις αντί για συγχρονοσκόπιο υπάρχει **βολτόμετρο φασικής αποκλίσεως**. Το βολτόμετρο αυτό, το οποίο συνδέεται παράλληλα με ένα λαμπτήρα συγχρονισμού, δείχνει την τάση μεταξύ μιας φάσεως του εναλλακτήρα και της αντίστοιχης φάσεως των ζυγών (δηλαδή την τάση $U_{R_2} - U_{R_1}$ του σχήματος 5.12β). Τη στιγμή του συγχρονισμού, όταν ο λαμπτήρας είναι σβηστός, το βολτόμετρο φασικής αποκλίσεως δείχνει τάση μηδενική.

Όταν ο εναλλακτήρας είναι υψηλής τάσεως (π.χ. 15.000 V) τότε τόσο τα όργανα συγχρονισμού όσο και τα υπόλοιπα όργανα της εγκαταστάσεως συνδέονται μέσω κατάλληλων **μετασχηματιστών τάσεως και εντάσεως**.

5.12.4 Παράλληλισμός εναλλακτήρων.

Ας υποθέσουμε ότι από τους δυο εναλλακτήρες του σχήματος 5.12δ λειτουργεί ο Ι και τροφοδοτεί τους ζυγούς και ότι θέλουμε να παραλληλίσουμε σ' αυτόν τον ΙΙ, για να παραλάβει ένα μέρος του φορτίου. Ενεργούμε ως εξής:

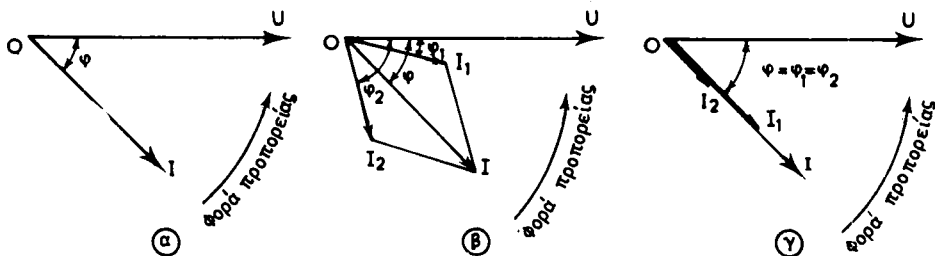
Τοποθετούμε το τετραπολικό βίσμα στη θέση β και ξεκινάμε τον εναλλακτήρα ΙΙ, ενεργώντας όπως έχουμε εξηγήσει στα εδάφια 5.11.1 και 5.11.2. Τη συχνότητα και την τάση του εναλλακτήρα ΙΙ τις ρυθμίζουμε παρακολουθώντας το διπλό συχνόμετρο και το διπλό βολτόμετρο του πίνακα συγχρονισμού, ώστε να γίνουν ίσες με τη συχνότητα και την τάση των ζυγών, δηλαδή του εναλλακτήρα Ι.

Στη συνέχεια παρακολουθώντας το συγχρονοσκόπιο, επηρεάζουμε το ρυθμιστή στροφών της κινητήριας μηχανής του εναλλακτήρα ΙΙ, ώστε να επιτύχουμε ακινησία του δείκτη. Σύμφωνα με όσα αναφέραμε και στο προηγούμενο εδάφιο, έχουμε τότε συγχρονισμό, οπότε κλείνουμε το διακόπτη Δ₂ και ο εναλλακτήρας ΙΙ είναι πια παραλληλισμένος με τους ζυγούς, χωρίς όμως να δίνει ακόμα ισχύ στο δίκτυο. Συνεπώς η κινητήρια μηχανή του ΙΙ δίνει μόνο την ισχύ που χρειάζεται για τις απώλειες.

5.12.5 Κατανομή του φορτίου.

Για να μεταφέρομε ένα μέρος της **πραγματικής ισχύος** από τον εναλλακτήρα Ι στον εναλλακτήρα ΙΙ, θα πρέπει να επιδράσουμε στο ρυθμιστή στροφών της κινητήριας μηχανής του κατά την έννοια της αυξήσεως των στροφών. Δηλαδή θα πρέπει να δώσουμε περισσότερο πετρέλαιο (αν είναι μηχανή εσωτερικής καύσεως) ή περισσότερο ατμό (αν είναι ατμοστρόβιλος) κλπ., στην κινητήρια μηχανή. Με τη βοήθεια των βατομέτρων, (σχ. 5.12δ), βεβαιωνόμαστε ότι μέρος του φορτίου το ανέλαβε ο εναλλακτήρας ΙΙ και ότι ελαττώθηκε αντίστοιχα το φορτίο του Ι.

Όταν ένας εναλλακτήρας τροφοδοτεί μόνος του ένα φορτίο, τότε ο συντελε-



Σχ. 5.12στ.

στής ισχύος του φορτίου καθορίζει τη φασική απόκλιση ϕ της τάσεως U και του ρεύματος I , που δίνει ο εναλλακτήρας [σχ. 5.12στ(α)]. Η ένταση διεγέρσεως του εναλλακτήρα στην περίπτωση αυτή ρυθμίζει μόνο το μέγεθος της τάσεως U .

Όταν όμως περισσότεροι εναλλακτήρες (π.χ. δύο) λειτουργούν παράλληλα, έχουν μεν όλοι την ίδια στιγμή την ίδια τάση, είναι δυνατόν όμως να δίνουν εντάσεις που να παρουσιάζουν διαφορετικές φασικές αποκλίσεις προς την κοινή τάση. Π.χ. αν το φορτίο ζητά για τάση U ένταση I με φασική απόκλιση ϕ , είναι δυνατόν ο ένας εναλλακτήρας να δίνει ένταση I_1 με φασική απόκλιση ϕ_1 και ο άλλος να δίνει ένταση I_2 με φασική απόκλιση ϕ_2 . Στην περίπτωση όμως αυτή θα πρέπει η I_2 να είναι τέτοια, ώστε το γεωμετρικό άθροισμά της με την I_1 να δίνει την ένταση I του φορτίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.12στ(β).

Το άθροισμα των I_1 και I_2 γίνεται ελάχιστο, όταν τα διανύσματα των I_1 και I_2 συμπίπτουν με το διάνυσμα της I , όπως φαίνεται στο (γ) του σχήματος 5.12στ, δηλαδή όταν οι δυο εναλλακτήρες εργάζονται με την ίδια φασική απόκλιση ϕ . Αυτό πρέπει να το επιδιώκουμε στην παράλληλη λειτουργία των εναλλακτῆρων. Τότε ο πρώτος εναλλακτήρας θα δίνει πραγματική ισχύ $U \cdot I_1 \cdot \cos \phi$, ενώ ο δεύτερος θα δίνει $U \cdot I_2 \cdot \cos \phi$. Η κατανομή της πραγματικής ισχύος στους δυο εναλλακτῆρες ρυθμίζεται, όπως αναφέραμε, με τους ρυθμιστές στροφών των κινητηρίων μηχανών τους, ενώ η κοινή τάση U ρυθμίζεται για κάθε εναλλακτῆρα με τη διέγερσή του. Για να πετύχουμε συνεπώς φόρτιση των εναλλακτῆρων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.12στ(γ), θα πρέπει να επιδράσουμε ταυτόχρονα στους ρυθμιστές στροφών και στις διεγέρσεις τους. Στη φόρτιση αυτή των εναλλακτῆρων έχουμε:

$$I_1 + I_2 = I$$

Τη συνθήκη αυτή την ελέγχουμε εύκολα με τη βοήθεια των αμπερομέτρων των εναλλακτῆρων και του φορτίου. Συνήθως μάλιστα στους σταθμούς παραγωγής εγκαθίστανται όμοιοι εναλλακτῆρες, οπότε είναι και $I_1 = I_2$.

Αν η ζήτηση φορτίου είναι σταθερή και επιδράσουμε μόνο στις διεγέρσεις των εναλλακτῆρων, θα μεταβάλομε τις εντάσεις τους και τις φασικές τους αποκλίσεις, χωρίς να μεταβάλομε την πραγματική ισχύ που δίνει καθένας από αυτούς. Η διέγερση μόνη ρυθμίζει την **δερχή ισχύ**, με την οποία φορτίζονται οι εναλλακτῆρες.

Για να διακόψομε τη λειτουργία ενός εναλλακτῆρα, που εργάζεται παράλληλα με άλλους, πρέπει πρώτα να τον έκφορτίσομε κάνοντας ακριβώς κατά την αντίστροφη σειρά τους χειρισμούς που κάναμε κατά τη φόρτισή του. Όταν το φορτίο του μηδενισθεί, όταν δηλαδή το μεταβιβάσομε στους άλλους εναλλακτῆρες, ανοί-

γομε το διακόπτη Δ του εναλλακτήρα και έτσι τον αποσυνδέουμε από τους ζυγούς. Κατόπιν μηδενίζουμε την τάση του και σταματάμε την κινητήρια μηχανή του.

5.13 Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτήρων.

Στην πινακίδα του κατασκευαστή που φέρει κάθε εναλλακτήρας αναγράφονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά στοιχεία του:

Η **ονομαστική τάση** σε V ή kV. Είναι η τάση για την οποία έχει κατασκευασθεί να λειτουργεί ο εναλλακτήρας και δίνεται πάντοτε ως πολική τάση, π.χ. 380 V, 15.000 V, κλπ.

Η **ονομαστική ισχύς** σε kVA ή MVA, που χαρακτηρίζει το μέγεθος του εναλλακτήρα και είναι η φαινόμενη ισχύς που μπορεί να δίνει συνεχώς, όταν εργάζεται με την ονομαστική του τάση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των μονώσεων του από υπερθέρμανση. Η **ονομαστική ένταση**, δηλαδή η αντίστοιχη προς την ονομαστική ισχύ ένταση φορτίσεως του εναλλακτήρα.

Ο **αριθμός των φάσεων** του εναλλακτήρα.

Η **συχνότητα του ρεύματος** σε Hz.

Το **ονομαστικό συνφ**, δηλαδή ο συντελεστής ισχύος για τον οποίο έχει υπολογισθεί η ισχύς της κινητήριας μηχανής. Ταυτόχρονα είναι και ο μικρότερος συντελεστής ισχύος για επαγωγικό φορτίο με τον οποίο, όταν εργάζεται ο εναλλακτήρας είναι βέβαιο ότι αποδίδει την ονομαστική ισχύ του (εδάφιο 5.10.2).

Η **σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής** σε στρ/min.

Η **επιτρεπόμενη ένταση και τάση διεγέρσεως** για να μην έχουμε υπερθέρμανση στο τύλιγμα διεγέρσεως.

Παράδειγμα πινακίδας ενός μικρού εναλλακτήρα αποτελεί το σχήμα 5.13.

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. 5.13.

Πινακίδα εναλλακτήρα.

Αν στην πινακίδα του εναλλακτήρα αναγράφεται λειτουργία διακοπόμενη, τότε ο εναλλακτήρας δεν μπορεί να φορτίζεται συνεχώς με την ονομαστική του ένταση. Στις περιπτώσεις αυτές η φόρτιση πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για να μην υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του από υπερθέρ-

μανση. Όταν δεν αναγράφεται το είδος λειτουργίας επάνω στην πινακίδα, τότε η λειτουργία πρέπει να θεωρείται συνεχής.

5.14 Ισχύς, απώλειες και βαθμός αποδόσεως εναλλακτήρα.

α) Ισχύς.

Με τη βοήθεια των οργάνων, που έχει κάθε εγκατάσταση εναλλακτήρα (σχ. 5.11 και σχ. 5.12δ), μπορούμε να μετρήσουμε κατά τη λειτουργία του την (πολική) τάση U , την ένταση γραμμής I και την **πραγματική ισχύ N** , που δίνει στο δίκτυο. Από τα μεγέθη αυτά είναι δυνατό να υπολογίσουμε τη **φαινόμενη ισχύ N_s** και την **άεργη ισχύ N_b** , που δίνει ο εναλλακτήρας, καθώς και το συντελεστή ισχύος συνφ. Οι σχέσεις για τον υπολογισμό είναι γνωστές από την Ηλεκτροτεχνία και τις ανακεφαλαιώνουμε στον Πίνακα 5.14.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.14.1
Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος.

	Μονοφασικός εναλλακτήρας	Τριφασικός εναλλακτήρας	Γιά μονοφασικό και τριφασικό εναλλακτήρα
Φαινόμενη ισχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\text{συνφ}}$
Πραγματική ισχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \text{συνφ}$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ}$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \text{συνφ}$
Άεργη ισχύς (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 ισχύος	$\text{συνφ} = \frac{N}{U \cdot I}$	$\text{συνφ} = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\text{συνφ} = \frac{N}{N_s}$

β) Απώλειες.

Οι απώλειες των εναλλακτών που λειτουργούν με σταθερή τάση και σταθερή συχνότητα, δηλαδή με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως και των γεννητριών συνεχούς ρεύματος (παράγρ. 3.5) διακρίνονται σε:

- **Απώλειες σταθερές**, δηλαδή ανεξάρτητες από το φορτίο του εναλλακτήρα και
- **απώλειες μεταβλητές**, δηλαδή μεταβαλλόμενες με το 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 δινορρευσμάτων. Στις σταθερές απώλειες προστίθενται επίσης και οι ηλεκτρικές απώλειες διεγέρσεως, οι οποίες είναι ίσες με το γινόμενο της εντάσεως 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 εναλλακτήρα. Αν R είναι η ωμική

αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου και I η ένταση φορτίσεως (γραμμής) τριφασικού εναλλακτήρα, τότε είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι το N_2 για ζεύξη του εναλλακτήρα:

– σε αστέρα είναι: $N_2 = 3 \cdot R \cdot I^2$

– σε τρίγωνο είναι: $N_2 = R \cdot I^2$

Οι ολικές απώλειες $N_{\text{απ}}$ του εναλλακτήρα είναι:

$$N_{\text{απ}} = N_1 + N_2$$

γ) Βαθμός αποδόσεως.

Ο βαθμός αποδόσεως του εναλλακτήρα είναι, κατά τα γνωστά, ο λόγος της πραγματικής ισχύος, την οποία αποδίδει, προς την ισχύ, την οποία παίρνει από την κινητήρια μηχανή:

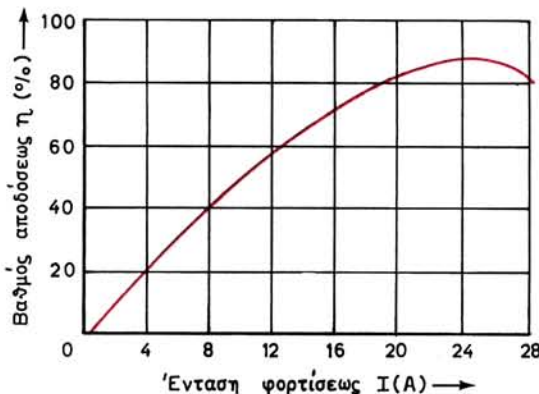
$$\eta = \frac{N}{N_{\text{εισ}}} = \frac{N}{N + N_{\text{απ}}}$$

Είναι αυτονόητο ότι στη σχέση αυτή, όπου **το η προκύπτει πάντοτε αριθμός μικρότερος του 1**, όλες οι τιμές των ισχύων πρέπει να παίρνονται με την ίδια μονάδα (βατ ή κιλοβάτ).

Ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται από το φορτίο του εναλλακτήρα. Η καμπύλη του σχήματος 5.14 δείχνει πώς μεταβάλλεται ο βαθμός αποδόσεως ενός εναλλακτήρα, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεώς του με σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο εναλλακτήρας έχει το μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως, όταν η ένταση φορτίσεως είναι περίπου ίση με την ονομαστική του ένταση και ο συντελεστής ισχύος του φορτίου ίσος με το ονομαστικό συνφ. Αυτός ο βαθμός αποδόσεως στους μεγάλους εναλλακτήρες φθάνει το 0,95, ενώ στους μικρότερους είναι περίπου 0,85.

Παράδειγμα.

Να υπολογισθεί ο βαθμός αποδόσεως στο ονομαστικό φορτίο του εναλλακτήρα, ο οποίος έχει την πινακίδα του σχήματος 5.13 και του οποίου δίνεται το άθροισμα των μηχανικών και μαγνητικών απωλειών του ίσο με 320 W. Ο εναλλακτήρας έχει σύνδεση τυλιγμάτων σε αστέρα με ωμική αντίσταση κάθε φάσεως ίση με 1 Ω.



Σχ. 5.14.

Καμπύλη του βαθμού αποδόσεως εναλλακτήρα.

Λύση.

Ο βαθμός αποδόσεως θα υπολογισθεί από τη σχέση:

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

Για το ονομαστικό φορτίο έχουμε:

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

Οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος διεγέρσεως είναι:

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

Άρα οι σταθερές απώλειες θα είναι:

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

Οι μεταβλητές απώλειες για σύνδεση σε αστέρα υπολογίζονται από τη σχέση:

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

Οι ολικές απώλειες θα είναι:

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

και ο βαθμός αποδόσεως:

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

5.15 Βλάβες και επισκευή γεννητριών E.P.

Στους σταθμούς παραγωγής, όπου συνήθως είναι εγκαταστημένες μεγάλες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, υπάρχει ένα πλήθος *ενδεικτικών οργάνων* που επισημαίνουν αμέσως το είδος της βλάβης και το στοιχείο της εγκαταστάσεως στο οποίο έχει παρουσιασθεί.

Οι συνηθέστερες βλάβες που παρουσιάζονται στις μικρές σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται ανωμαλία στην τάση της μηχανής. Πολλές φορές η ανωμαλία οφείλεται στη διεγέρτρια, που ως μηχανή συνεχούς ρεύματος που είναι, παρουσιάζει μεγαλύτερη ευπάθεια στις βλάβες.

1. Ανωμαλίες στην τάση της γεννήτριας E.P.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Η διεγέρτρια δεν δίνει τάση ή η τάση της δεν είναι κανονική	α) Βλ. παράγραφο 3.6 για βλάβες γεννητριών σ.ρ.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
β) Διακοπή στους αγωγούς που τροφοδοτούν τη διέγερση του εναλλακτήρα ή χαλαρή επαφή	β) Να βρεθεί και να αποκατασταθεί η διακοπή. Να σφιχθούν οι επαφές
γ) Διακοπή στο τύλιγμα του στάτη	γ) Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει μερική αντικατάσταση του τυλίγματος
δ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ των αγωγών φάσεως ή μεταξύ των δακτυλιδιών	δ) Να βρεθεί το βραχυκύκλωμα και να επισκευασθεί η βλάβη
ε) Δεν είναι συμμετρική η φόρτιση	ε) Να γίνει η φόρτιση περίπου συμμετρική
στ) Ο ρυθμιστής στροφών δεν εργάζεται καλά	στ) Να επισκευασθεί ή να αντικατασταθεί ο ρυθμιστής στροφών της κινητήριας μηχανής.

2. Σπινθηρισμοί στα δακτυλίδια

α) Δακτυλίδια ανώμαλα ή ακάθαρτα	α) Να καθαρισθούν και, αν χρειάζεται, να επισκευασθούν (βλ. παράγραφο 12.2)
β) Μη κυκλικά δακτυλίδια	β) Να τορνισθούν και να λειανθούν
γ) Οι ψήκτρες δεν πιέζουν κανονικά τα δακτυλίδια	γ) Να ρυθμισθεί η πίεση των ψηκτρών (βλ. παράγραφο 12.2)

5.16 Ανακεφαλαίωση.

α) Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες. Οι σύγχρονες έχουν ορισμένη σταθερή σχέση μεταξύ της συχνότητας του ρεύματος και της ταχύτητας περιστροφής. Επίσης, έχουν διέγερση που τροφοδο-

τείται με συνεχές ρεύμα. Οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, οπότε ονομάζονται και εναλλακτήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ως σύγχρονοι κινητήρες. Οι ασύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται μόνο ως κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

β) Από την άποψη της κατασκευής, οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε:

– Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους, στους οποίους οι μαγνητικοί πόλοι είναι στερεωμένοι στο στάτη και το επαγωγικό τύμπανο είναι στο δρομέα. Κατασκευάζονται για μικρές ισχύεις και χαμηλή τάση.

– Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους, στους οποίους οι μαγνητικοί πόλοι είναι στερεωμένοι στο δρομέα και περιστρέφονται, ενώ το επαγωγικό τύμπανο είναι στο στάτη. Κατασκευάζονται για μεγάλες ισχύεις και μικρές ταχύτητες περιστροφής.

– Στροβιλοεναλλακτήρες, στους οποίους το επαγωγικό τύμπανο είναι επίσης στο στάτη, ο δρομέας όμως των εναλλακτάρων αυτών δεν φέρει ορατούς πόλους. Το τύλιγμα διεγέρσεως που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο είναι τοποθετημένο μέσα σε αυλάκια του δρομέα. Κατασκευάζονται για πολύ μεγάλες ισχύεις, για υψηλές τάσεις και για μεγάλες ταχύτητες. Ως κινητήριες μηχανές έχουν ατμοστροβίλους.

γ) Η αποβολή της θερμότητας, που παράγεται από τις απώλειες, στον περιβάλλοντα χώρο, λέγεται ψύξη της μηχανής. Με την ψύξη, η μηχανή φθάνει σε μια προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή της μέγιστη θερμοκρασία κατά τη λειτουργία, στην οποία δεν διατρέχουν κίνδυνο καταστροφής οι μονώσεις της.

δ) Σε ένα εναλλακτήρα με p ζεύγη πόλων, η σχέση που συνδέει τη γεωμετρική γωνία περιστροφής του δρομέα με την αντίστοιχη ηλεκτρική γωνία του διανύσματος που παριστάνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι:

$$\Theta = \frac{\Theta_{\eta\lambda}}{p} \quad \text{σε γεωμετρικές μοίρες}$$

ε) Η ενδεικνυμένη τιμή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως ενός συγκροτήματος ομάδων του τυλίγματος εναλλακτήρα είναι μικρότερη από το άθροισμα των ενδεικνυμένων τιμών των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των ομάδων από τις οποίες αποτελείται.

στ) Η ταχύτητα περιστροφής, που πρέπει να έχει εναλλακτήρας για να παράγει ρεύμα ορισμένης συχνότητας, ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα και δίνεται από τη σχέση:

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

ζ) Ο μονοφασικός εναλλακτήρας φέρει στο επαγωγικό του τύμπανο τύλιγμα, το οποίο, σε κάθε διπλό πολικό βήμα, έχει ένα συγκρότημα ομάδων. Τα συγκροτήματα συνδέονται σε σειρά και αποτελούν το μονοφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται στους ακροδέκτες της γεννήτριας.

η) Ένας τριφασικός εναλλακτήρας φέρει στο επαγωγικό του τύμπανο τρία μονοφασικά τυλίγματα, τις τρεις φάσεις, τα οποία έχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με $2/3$ του πολικού βήματος ή κατά γεωμετρική γωνία ίση με:

$$\Theta = \frac{120}{p} \quad \text{γεωμετρικές μοίρες}$$

Οι φασικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση 120 ηλεκτρικών μοιρών ή $1/3$ της περιόδου T .

θ) Τα έξι ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων τριφασικού εναλλακτήρα συνδέονται στους έξι ακροδέκτες του. Στα αλληλένδετα τριφασικά συστήματα, οι τρεις φάσεις συνδέονται μεταξύ τους σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Αυτό γίνεται με λαμάκια που τοποθετούνται μεταξύ των ακροδεκτών. Στη σύνδεση σε αστέρα είναι:

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

και στη σύνδεση σε τρίγωνο:

$$E_{\pi} = E_{\phi}$$

ι) Η ενδεικνυμένη τιμή της φασικής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\phi} = K \cdot f \cdot w_{\phi} \cdot \Phi \quad \text{σε V}$$

ια) Για τη ρύθμιση της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα, μεταβάλλουμε την ένταση του ρεύματος διεγέρσεως. Αυτό γίνεται είτε με παρεμβολή ρυθμιστικής αντιστάσεως στο κύκλωμα διεγέρσεως (μέθοδος που εφαρμόζεται σε μικρούς εναλλακτήρες), είτε με ρύθμιση της τάσεως της διεγέρσεως.

ιβ) Στατική χαρακτηριστική είναι η καμπύλη που δίνει τη μεταβολή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως ή τάσεως χωρίς φορτίο του εναλλακτήρα, όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως.

ιγ) Όταν ο εναλλακτήρας εργάζεται με φορτίο, η τάση του εξαρτάται από την ένταση φορτίσεως και από το συνφ του φορτίου. Η καμπύλη που δίνει τη μεταβολή της τάσεως όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως, ενώ ο συντελεστής ισχύος και η ένταση διεγέρσεως μένουν σταθερά, λέγεται χαρακτηριστική φορτίου.

ιδ) Μεταξύ φασικής τάσεως και εντάσεως και πολικής τάσεως και εντάσεως γραμμής σε τριφασικό εναλλακτήρα με συμμετρική φόρτιση ισχύουν οι σχέσεις:

Για συνδεσμολογία του εναλλακτήρα σε αστέρα:

$$U = 1,73 \cdot U_{\phi} \quad \text{και} \quad I = I_{\phi}$$

Για συνδεσμολογία σε τρίγωνο:

$$U = U_{\phi} \quad \text{και} \quad I = 1,73 \cdot I_{\phi}$$

ιε) Αν θέλουμε με τη μεταβολή του φορτίου (της εντάσεως ή του συνφ ή και των δυο) να διατηρούμε σταθερή την τάση του εναλλακτήρα, θα πρέπει να ρυθμίζουμε κατάλληλα την ένταση διεγέρσεώς του.

ιστ) Όταν πρόκειται να ξεκινήσουμε ένα εναλλακτήρα για να τροφοδοτήσει μόνος του ένα φορτίο, κάνουμε πρώτα ορισμένες προκαταρκτικές εργασίες και παίρνουμε μέτρα ασφαλείας. Έπειτα, διαδοχικά ξεκινάμε την κινητήρια μηχανή, ρυθμίζουμε την ταχύτητά της να γίνει ίση με την ονομαστική ταχύτητα του εναλλακτήρα, ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεως ώστε η τάση του εναλλακτήρα να γίνει ίση με την ονομαστική τάση, κλείνουμε τον κύριο διακόπτη και τέλος τους διακόπτες φορτίου. Με τη μεταβολή του φορτίου του εναλλακτήρα ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεως, ώστε η τάση του να μένει σταθερή.

ιζ) Όταν ένας εναλλακτήρας δεν επαρκεί για την τροφοδότηση ενός φορτίου, χρησιμοποιούμε δυο ή περισσότερους εναλλακτήρες, που λειτουργούν παράλληλα. Οι συνθήκες παραλληλισμού ενός εναλλακτήρα είναι:

- Οι τάσεις τους να είναι ίσες.
- Οι συχνότητές τους να είναι ίσες.
- Η διαδοχή των φάσεων, να είναι η ίδια.
- Οι τάσεις των αντίστοιχων φάσεων των δυο εναλλακτών να μην έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση.

Οι δυο πρώτες συνθήκες ελέγχονται με ένα διπλό βολτόμετρο και ένα διπλό συχνόμετρο που υπάρχουν στα όργανα συγχρονισμού. Οι άλλες δυο συνθήκες ελέγχονται ή με τρεις λαμπτήρες συγχρονισμού (σε σκοτεινή ή φωτεινή σύνδεση) ή με το συγχρονοσκόπιο, ο δείκτης του οποίου τη στιγμή του συγχρονισμού πρέπει να είναι ακίνητος.

Η κατανομή της πραγματικής ισχύος του φορτίου μεταξύ εναλλακτών γίνεται με επίδραση στους ρυθμιστές στροφών των κινητήριων μηχανών. Επίδραση στις εντάσεις διεγέρσεως ρυθμίζει την άεργη ισχύ με την οποία φορτίζονται οι εναλλακτήρες.

ιη) Η πραγματική ισχύς που δίνει ένας εναλλακτήρας δίνεται από τη σχέση:

- | | |
|------------------|--|
| - για μονοφασικό | $N = U \cdot I \cdot \cos \phi$ |
| - για τριφασικό | $N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$ |

ιθ) Οι σταθερές απώλειες στους εναλλακτήρες είναι: οι μηχανικές απώλειες, οι μαγνητικές απώλειες (υστερήσεως και δινορρευσμάτων) και οι ηλεκτρικές απώλειες διεγέρσεως ($U_\delta \cdot I_\delta$).

Οι μεταβλητές απώλειες είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου που δίνονται από τις σχέσεις:

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| - για ζεύξη σε αστέρα | $N_2 = 3 \cdot R \cdot I^2$ |
| - για ζεύξη σε τρίγωνο | $N_2 = R_0 \cdot I^2$ |

κ) Βαθμός αποδόσεως του εναλλακτήρα είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος που αποδίδει, προς την ισχύ που παίρνει από την κινητήρια μηχανή:

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

Το η είναι πάντοτε μικρότερο από τη μονάδα και μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται το φορτίο του εναλλακτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

6.1 Χρήση και είδη μετασχηματιστών.

Παρουσιάζεται συχνά η περίπτωση να έχουμε ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος με τάση διαφορετική από την τάση του δικτύου, από το οποίο γίνεται η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια. Π.χ. ενώ έχουμε ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος με τάση 110 V, το δίκτυο ηλεκτροδότησεως έχει τάση 220 V.

Στο συνεχές ρεύμα η περίπτωση αυτή είναι δυνατό να αντιμετωπισθεί με μία αντίσταση στην οποία δημιουργούμε την πώση τάσεως που απαιτείται. Τότε όμως έχουμε σημαντική απώλεια ενέργειας, από τη θερμότητα που δημιουργείται στην αντίσταση. Σε σοβαρές περιπτώσεις αναγκάζομαστε να χρησιμοποιήσουμε ένα **ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας**, οπότε η γεννήτρια μας δίνει συνεχές ρεύμα με την επιθυμητή τάση, ενώ ο κινητήρας τροφοδοτείται από το δίκτυο ηλεκτροδότησεως. Και στις δύο περιπτώσεις ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος είναι χαμηλός ή το πολύ μέτριος.

Η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, για να είναι οικονομικά συμφέρουσα, πρέπει να γίνεται με υψηλή τάση. Στη συνέχεια όμως πρέπει αυτή η υψηλή τάση του ηλεκτρικού ρεύματος να υποβιβάζεται, για να είναι δυνατή η διανομή του στους καταναλωτές και με λογικές προφυλάξεις η ακίνδυνη χρησιμοποίησή του από αυτούς. Το σοβαρό αυτό πρόβλημα δεν έχει λυθεί ακόμα για το συνεχές ρεύμα με τρόπο που να συμφέρει οικονομικά.

Αντίθετα για το εναλλασσόμενο ρεύμα υπάρχουν κατάλληλα μηχανήματα, τα οποία μάλιστα δεν έχουν κινούμενα μέρη και τα οποία μας επιτρέπουν να ανυψώνουμε ή να υποβιβάζουμε την τάση του ρεύματος. Στα μηχανήματα αυτά, που ονομάζονται **στατοί μετασχηματιστές** ή απλά **μετασχηματιστές**, η μεταβολή της τάσεως του ρεύματος γίνεται με πολύ μικρές απώλειες της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταβιβάζεται. Κατασκευάζονται σήμερα μεγάλοι μετασχηματιστές με βαθμό αποδόσεως πάνω από 98%, δηλαδή με απώλεια κάτω από 2% της ισχύος που μεταβιβάζεται.

Έτσι έγινε δυνατή η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής στην πιο κατάλληλη τάση (π.χ. 15.000 V ή 20.000 V). Στη συνέχεια με τη χρησιμοποίηση **μετασχηματιστών ανυψώσεως** η τάση του ρεύματος μετατρέπεται σε υψηλή (π.χ. 150.000 V) ή υπερυψηλή (π.χ. 380.000 V). Με την τάση αυτή γίνεται με οικονομικό τρόπο η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας στους τόπους καταναλώσεως, οι οποίοι βρίσκονται συνήθως σε

μεγάλες αποστάσεις από τους σταθμούς παραγωγής. Εκεί με τη χρησιμοποίηση **μετασχηματιστών υποβιβασμού** η τάση του ρεύματος μετατρέπεται στη μέση τάση των δικτύων διανομής (π.χ. 20 000 V, 15 000 V). Τέλος από τα δίκτυα αυτά, με τη μεσολάβηση πάλι μετασχηματιστών υποβιβασμού, τροφοδοτούνται τα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσεως (π.χ. 380/220 V), με τα οποία η ηλεκτρική ενέργεια φθάνει μέχρι τους μικρότερους καταναλωτές.

Αν ένας καταναλωτής έχει ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας με διαφορετική τάση (π.χ. 110 V) από την τάση του δικτύου διανομής, η χρησιμοποίηση ενός μετασχηματιστή του δίνει μία απλή και οικονομική λύση.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι **η δυνατότητα χρησιμοποίησης μετασχηματιστών με το εναλλασσόμενο ρεύμα έδωσε σε αυτό τα πλεονεκτήματα, τα οποία το καθιέρωσαν σαν το είδος του ρεύματος, το οποίο χρησιμοποιούν πια όλες οι χώρες στα δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως των καταναλωτών**. Το συνεχές ρεύμα χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές χρήσεις. Στις περιπτώσεις αυτές μετατρέπουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως σε συνεχές με τη βοήθεια ανορθωτών, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 1.2.

Ανάλογα με τον προορισμό τους, οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται ως:

α) **Τριφασικοί μετασχηματιστές.**

β) **Μονοφασικοί μετασχηματιστές.**

Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσεως σε τριφασικό σύστημα και οι δεύτεροι για τον ίδιο σκοπό στο μονοφασικό ρεύμα, ή πράγμα που είναι το ίδιο, για τη μετατροπή της τάσεως μιας φάσεως τριφασικού συστήματος.

Μια άλλη διάκριση των μετασχηματιστών είναι σε:

α) **Μετασχηματιστές ισχύος.**

β) **Μετασχηματιστές οργάνων μετρήσεως.**

Οι μετασχηματιστές ισχύος είναι κατασκευασμένοι για να μεταβιβάζουν σημαντικές ισχείς, όταν πραγματοποιούν μετατροπή της τάσεως του ρεύματος. Οι μετασχηματιστές οργάνων είναι μετασχηματιστές πολύ μικρής ισχύος, κατάλληλοι μόνο για να υποβιβάζουν κατά ένα γνωστό λόγο την τάση ή την ένταση του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε. Με τους μετασχηματιστές οργάνων μετρήσεως δεν θα ασχοληθούμε στο βιβλίο αυτό. Όσα αναφέρομε στα επόμενα, αφορούν μόνο τους μετασχηματιστές ισχύος.

Ως προς τον τρόπο ψύξεως των μετασχηματιστών, που έχει προβλεφθεί από την κατασκευή τους, έχουμε τους:

α) **Ξηρούς μετασχηματιστές.**

β) **Μετασχηματιστές λαδιού.**

Η ψύξη των ξηρών μετασχηματιστών γίνεται απ' ευθείας από τον αέρα που τους περιβάλλει, ενώ των μετασχηματιστών λαδιού γίνεται από κατάλληλο ορυκτέλαιο, μέσα στο οποίο βρίσκεται ο μετασχηματιστής.

Μια ακόμα διάκριση, κυρίως για τους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σε:

α) **Μετασχηματιστές υπαίθρου.**

β) **Μετασχηματιστές κλειστού χώρου.**

Ανάλογα δηλαδή με το αν είναι κατασκευασμένοι για να τοποθετούνται σε υπαίθριες εγκαταστάσεις (υπαίθριους υποσταθμούς) ή σε κλειστούς χώρους.

Σημειώνουμε τέλος ότι ένα είδος μετασχηματιστών είναι και οι **αυτομετασχηματιστές**, τους οποίους θα εξετάσουμε επίσης στο κεφάλαιο αυτό.

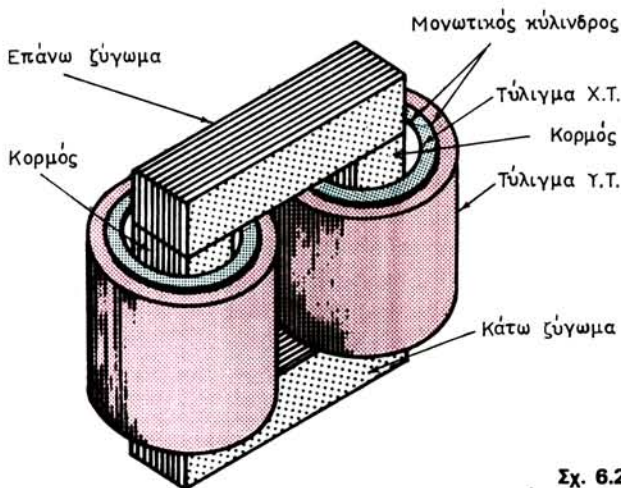
6.2 Κατασκευή μονοφασικών μετασχηματιστών.

Το κύριο μέρος κάθε μετασχηματιστή αποτελείται (σχ. 6.2α) από ένα μαγνητικό κύκλωμα, στο οποίο είναι περιελιγμένα δύο τυλίγματα, το **τύλιγμα υψηλής τάσεως** (Υ.Τ.) και το **τύλιγμα χαμηλής τάσεως** (Χ.Τ.).

Το μαγνητικό κύκλωμα που ονομάζεται και **πυρήνας του μετασχηματιστή**, κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα, όπως αυτά που είδαμε ότι χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου των στρεφομένων ηλεκτρικών μηχανών. Το πάχος των ελασμάτων αυτών είναι 0,35 ως 0,5 mm και φέρουν επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι για περιορισμό των δινορρευσμάτων. Σήμερα κατασκευάζονται μαγνητικά ελάσματα για μετασχηματιστές, τα οποία έχουν εξαιρετικά χαμηλές ολικές απώλειες. Αυτό επέτρεψε την κατασκευή μετασχηματιστών με πολύ καλό βαθμό αποδόσεως.

Το τύλιγμα υψηλής τάσεως των μετασχηματιστών αποτελείται από πολλές σπείρες μονωμένου χάλκινου αγωγού κυκλικής διατομής. Το τύλιγμα χαμηλής τάσεως κατασκευάζεται συνήθως από αγωγό τετραγωνικής ή ορθογωνικής διατομής μονωμένο με ταινία από χαρτί ή βαμβάκι. Αυτό έχει πάντοτε μικρότερο αριθμό σπειρών από το τύλιγμα Υ.Τ. και μεγαλύτερη διατομή αγωγού. Τα δύο τυλίγματα είναι προσεκτικά μονωμένα μεταξύ τους.

Στην περίπτωση μετασχηματιστών υποβιβασμού τάσεως, το τύλιγμα Υ.Τ. συνδέεται με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ από το τύλιγμα Χ.Τ. τροφοδοτείται η κατανάλωση. Σε αυτή την περίπτωση το τύλιγμα Υ.Τ. ονομάζεται **πρωτεύον 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., που συνδέεται με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας, και δευτερεύον το τύλιγμα Υ.Τ.



Σχ. 6.2α.
Μονοφασικός μετασχηματιστής.

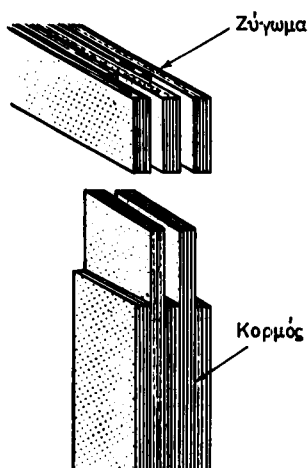
Το σχήμα 6.2α παριστάνει ένα μικρό μονοφασικό μετασχηματιστή. Ο πυρήνας του μετασχηματιστή, κατασκευασμένος όπως αναφέρθηκε από μαγνητικά ελάσματα, αποτελείται από τους δύο **κορμούς**, δηλαδή τα κατακόρυφα μέρη και από τα δύο ζυγώματα, δηλαδή τα οριζόντια μέρη. Το επάνω ζύγωμα αποχωρίζεται από τον υπόλοιπο 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 τις ενώσεις του ζυγώματος με τους κορμούς όχι επίπεδες, όπως στο σχήμα 6.2α, αλλά θηλυκωτές, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2β.

Τα μαγνητικά ελάσματα του πυρήνα στους κορμούς συσφίγγονται μεταξύ τους με καρφιά ή βίδες, που μονώνονται προς τον πυρήνα, όπως δείχνει το σχήμα 6.2γ, για να μη βρίσκουν δρόμο διελεύσεως τα δινορρεύματα. Στους μεγάλους μετασχηματιστές, η σύσφιξη στα ζυγώματα γίνεται με σιδηροελάσματα σχήματος $\square$ και βίδες (σχ. 6.3β).

Σε κάθε κορμό του μετασχηματιστή του σχήματος 6.2α 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 και προς τον κορμό με μονωτικούς κυλίνδρους. Τα τυλίγματα Χ.Τ. των δύο κορμών συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, ώστε τελικά να μένουν ελεύθερα δύο άκρα του τυλίγματος Χ.Τ. του μετασχηματιστή. Κατά τον ίδιο τρόπο έχουμε δύο άκρα του τυλίγματος Υ.Τ. Όλα αυτά τα άκρα συνδέονται στους **ακροδέκτες** του μετασχηματιστή (σχ. 6.2ζ).

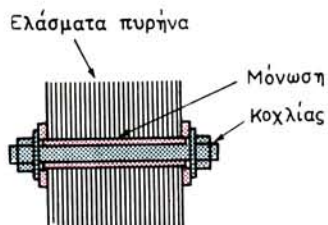
Τα τυλίγματα Υ.Τ. και Χ.Τ. όταν κατασκευάζονται με τον τρόπο που αναφέραμε, δηλαδή το ένα μέσα στο άλλο, ονομάζονται **συγκεντρικά ή κυλινδρικά τυλίγματα**.

Άλλος τρόπος κατασκευής των τυλιγμάτων είναι σε **δίσκους**, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2δ. Κάθε τύλιγμα αποτελείται από πολλά τμήματα διαμορφωμένα σε δίσκους. Οι δίσκοι τοποθετούνται στους κορμούς εναλλάξ, όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα τυλίγματα όλων των δίσκων Χ.Τ. συνδέονται συνήθως σε σειρά, ώστε να έ-

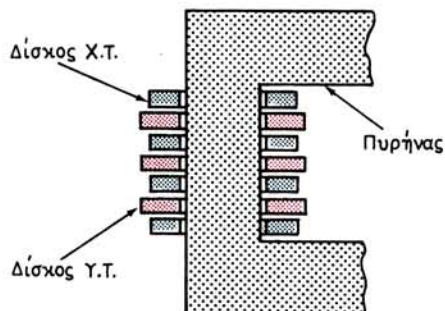
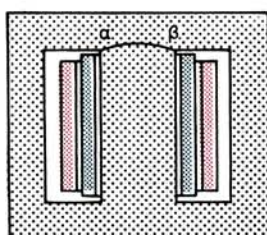


Σχ. 6.2β.

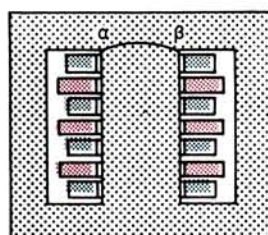
Θηλυκωτή σύνδεση κορμού-ζυγώματος.



Σχ. 6.2γ.

Σχ. 6.2δ.
Τύλιγμα σε δίσκους.

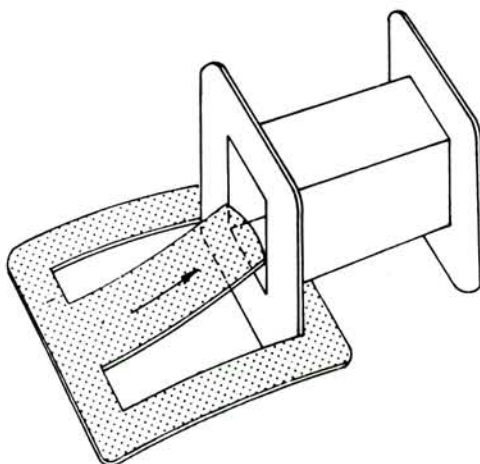
α)



β)

Σχ. 6.2ε.

Μονοφασικοί μετασχηματιστές τύπου μανδύα: α) Με κυλινδρικό τύλιγμα. β) Με τυλίγματα σε δίσκους.



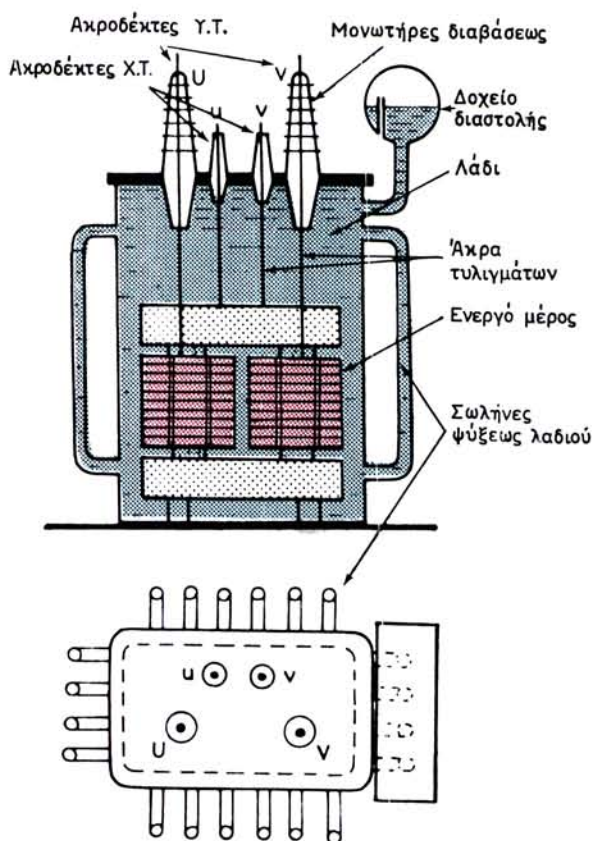
Σχ. 6.2στ.

χομε πάλι δύο άκρα του τυλίγματος Χ.Τ. του μετασχηματιστή. Το ίδιο γίνεται και με τους δίσκους Υ.Τ.

Οι μετασχηματιστές, που έχουν τα τυλίγματα στους δύο κορμούς, όπως στο σχήμα 6.2α, ονομάζονται **μετασχηματιστές τύπου πυρήνα**. Άλλος τύπος μετασχηματιστών είναι οι **μετασχηματιστές τύπου μανδύα**. Σε αυτούς ο πυρήνας έχει τρεις κορμούς, από τους οποίους ο μεσαίος έχει διπλάσια διατομή από τους ακραίους. Στον κορμό αυτό τοποθετούνται τα τυλίγματα, τα οποία μπορεί να είναι διαμορφωμένα σε κυλίνδρους ή δίσκους, όπως δείχνει το σχήμα 6.2ε. Οι ακραίοι κορμοί χρησιμεύουν μόνο για να κλείνει το μαγνητικό κύκλωμα και συνεπώς περιβάλλουν τα τυλίγματα σαν μανδύας.

Στους μικρούς μονοφασικούς μετασχηματιστές τύπου μανδύα κάθε μαγνητικό έλασμα κόβεται σε ένα κομμάτι, που έχει τη μορφή του σχήματος 6.2ε. Στην περίπτωση αυτή ο μεσαίος κορμός είναι κομμένος στο τμήμα αβ, ώστε η τοποθέτηση των τυλιγμάτων σε αυτόν να γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2στ.

Τα τυλίγματα των μετασχηματιστών, μετά την τοποθέτησή τους στους πυρήνες, διαποτίζονται με βερνίκι και στη συνέχεια ξηραίνονται σε ειδικούς κλιβάνους. Με τον τρόπο αυτό όχι μόνο πετυχαίνουμε καλύτερη μόνωση αλλά επίσης τα τυλίγματα



Σχ. 6.2ζ.

Μονοφασικός μετασχηματιστής λαδιού.

αποκτούν και μεγαλύτερη δυσκαμψία, η οποία ελαττώνει τις δονήσεις των αγωγών στη λειτουργία του μετασχηματιστή.

Όταν ο μετασχηματιστής είναι κατασκευασμένος για χαμηλές τάσεις, τότε ο πυρήνας με τα τυλίγματα, που ονομάζεται και **ενεργό μέρος** του μετασχηματιστή, είναι συνήθως εκτεθειμένος στον αέρα του περιβάλλοντος. Οι μετασχηματιστές αυτοί ονομάζονται **ξηροί μετασχηματιστές**. Όταν όμως είναι κατασκευασμένος για δίκτυα υψηλής τάσεως, το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή είναι τοποθετημένο μέσα σε ένα λέβητα που είναι γεμάτος από ειδικό μονωτικό ορυκτέλαιο, τελείως απαλλαγμένο από υγρασία. Οι μετασχηματιστές αυτοί ονομάζονται **μετασχηματιστές λαδιού**. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 6.2ζ, που δείχνει παραστατικά σε τομή μετασχηματιστή αυτού του είδους, οι μονωτήρες διαβάσεως, που αποτελούν και τους ακροδέκτες των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή είναι στερεωμένοι στο κάλυμμα του λέβητα. Το μέρος των μονωτήρων κάτω από το κάλυμμα είναι βυθισμένο μέσα στο λάδι, ενώ το μέρος επάνω από το κάλυμμα είναι κατάλληλα διαμορφωμένο, ώστε να μην προκαλούνται υπερπηδήσεις, από την υψηλή τάση.

Σε ορισμένους μετασχηματιστές, όπως αυτός του σχήματος 6.2ζ, ο λέβητας επικοινωνεί με δοχείο διαστολής, το οποίο είναι ως τα μισά γεμάτο λάδι και επικοινωνεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα, για να είναι δυνατό στο λάδι του μετασχηματιστή να διαστέλλεται ελεύθερα, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του. Ταυτόχρονα το λάδι μέσα στο δοχείο διαστολής έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και δεν παθαίνει αλλοιώσεις από τον ατμοσφαιρικό αέρα, με τον οποίο βρίσκεται σε επαφή.

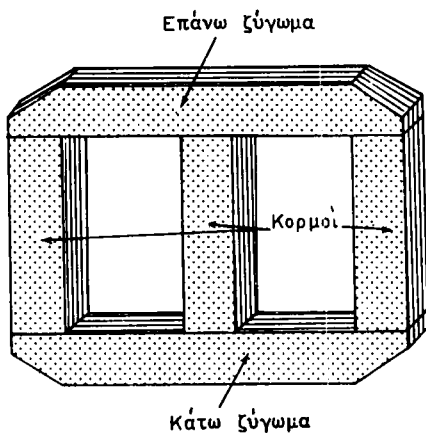
Με το δοχείο διαστολής πετυχαίνουμε να είναι πάντοτε γεμάτος με λάδι ο λέβητας του μετασχηματιστή. Έτσι δεν είναι δυνατό να σχηματισθούν κάτω από το κάλυμμα του λέβητα φυσαλίδες από αέρια λαδιού και αέρα, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν έκρηξη, όταν δημιουργηθεί κάποιος σπινθήρας.

Σε άλλους μετασχηματιστές, οι οποίοι δεν έχουν δοχείο διαστολής, ο λέβητας είναι αεροστεγώς κλεισμένος και στο άνω μέρος του υπάρχει ένα στρώμα από άζωτο, το οποίο επιτρέπει τη διαστολή του λαδιού. Με τη χρησιμοποίηση του αζώτου το ζεστό λάδι του μετασχηματιστή δεν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και διατηρείται σε καλή κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

6.3 Κατασκευή τριφασικών μετασχηματιστών.

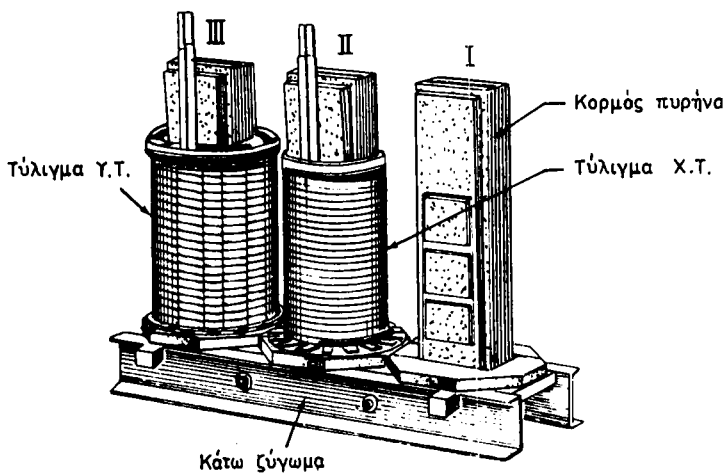
Το κύριο μέρος των τριφασικών μετασχηματιστών αποτελείται, όπως και στους μονοφασικούς, από τον πυρήνα και τα τυλίγματα. Το σχήμα 6.3α δείχνει τη μορφή του πυρήνα ενός τριφασικού μετασχηματιστή. Όπως παρατηρούμε, ο πυρήνας έχει τώρα τρεις ίδιους κορμούς. Πριν τοποθετηθεί στη θέση του το επάνω ζύγωμα τοποθετούνται στους κορμούς τα τυλίγματα Χ.Τ. και Υ.Τ. Σε κάθε κορμό έχουμε ένα τύλιγμα Χ.Τ. και ένα τύλιγμα Υ.Τ. Έτσι έχουμε συνολικά τρία τυλίγματα, τις **τρεις φάσεις της Χ.Τ.** και τις **τρεις φάσεις της Υ.Τ.** Δηλαδή έχουμε έξι άκρα από τα τυλίγματα Χ.Τ. και έξι άκρα από τα τυλίγματα Υ.Τ. Η σύνδεση των άκρων αυτών μεταξύ τους και προς τους ακροδέκτες του μετασχηματιστή θα εξηγηθεί σε άλλη παράγραφο.

Στο σχήμα 6.3β, στον κορμό Ι δεν έχει τοποθετηθεί ακόμη κανένα τύλιγμα. Στον κορμό ΙΙ έχει τοποθετηθεί μόνο το τύλιγμα Χ.Τ. Στον κορμό ΙΙΙ έχουν τοποθετηθεί και τα δύο τυλίγματα. Στην περίπτωση του σχήματος πρόκειται για τυλίγματα συγκεντρικά.



Σχ. 6.3α.

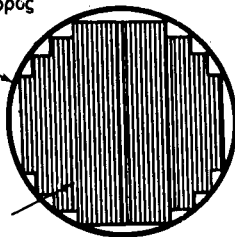
Πυρήνας τριφασικού μετασχηματιστή.



Σχ. 6.3β.

Μονωτικός κύλινδρος
τυλίγματος Χ.Τ.

Διάκενα ψύξεως



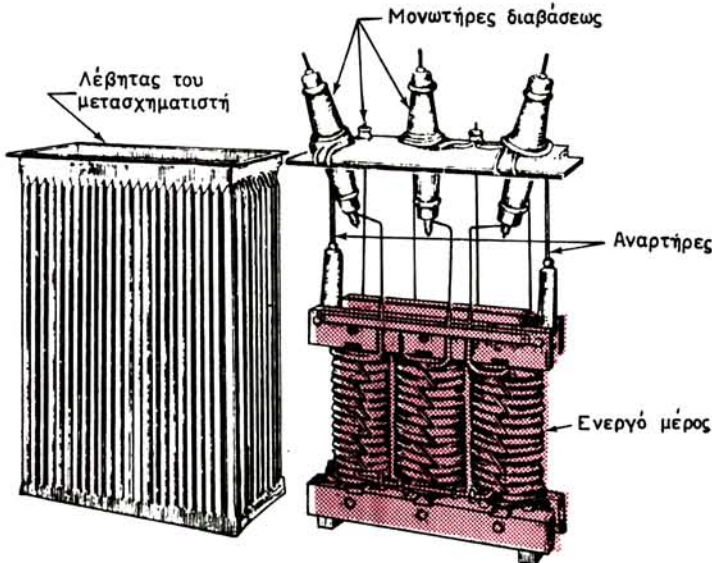
Σχ. 6.3γ.

Διατομή ενός κορμού από πυρήνα μετασχηματιστή.

Όταν ο μετασχηματιστής προορίζεται για δίκτυα υψηλής τάσεως (π.χ. 15.000 V), το τύλιγμα Υ.Τ. κάθε φάσεως δεν κατασκευάζεται σαν ένας μονοκόμματος κύλινδρος, όπως π.χ. στο σχήμα 6.2α, ακόμα και αν πρόκειται για συγκεντρικό τύλιγμα. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα Υ.Τ. κάθε φάσεως κατασκευάζεται από πολλά ανεξάρτητα πηνία (γαλέττες), όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3β, 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 εκμετάλλευση του χώρου, που αφήνει ο εσωτερικός κύλινδρος του τυλίγματος Χ.Τ., στους μεγάλους μετασχηματιστές οι κορμοί δεν έχουν συνήθως τετραγωνική διατομή, όπως στο σχήμα 6.2α αλλά μεταβλητή. Αυτό το πετυχαίνουμε με το κόψιμο των μαγνητικών ελασμάτων με άνισα πλάτη, ώστε να σχηματίζουν διατομή κορμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3γ. Μεταξύ των ελασμάτων αφήνονται μερικά διάκενα ψύξεως για την κυκλοφορία του αέρα ή του λαδιού.

Στους μετασχηματιστές λαδιού το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή είτε στηρίζεται στον πυθμένα του λέβητα, όπως στο μετασχηματιστή του σχήματος 6.2ζ, είτε κρεμιέται από το κάλυμμα του λέβητα με δύο αναρτήρες, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3δ για ένα τριφασικό μετασχηματιστή. Στην περίπτωση αυτή, αν χρειασθεί να αποσυναρμολογήσουμε το μετασχηματιστή, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι με το κάλυμμα θα ανυψώσουμε και το ενεργό μέρος.



Σχ. 6.3δ.
Τριφασικός μετασχηματιστής λαδιού.

6.4 Ψύξη 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 θα 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 ενεργού μέρους του μετασχηματιστή (επιφάνεια ψύξεως), με την οποία έρχονται σε επαφή 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 (το πολύ μέχρι 25 kVA). Όταν η ισχύς του μετασχηματιστή είναι μεγαλύτερη τότε η εξωτερική του επιφάνεια δεν είναι αρκετή για την εξασφάλιση της ψύξεως.

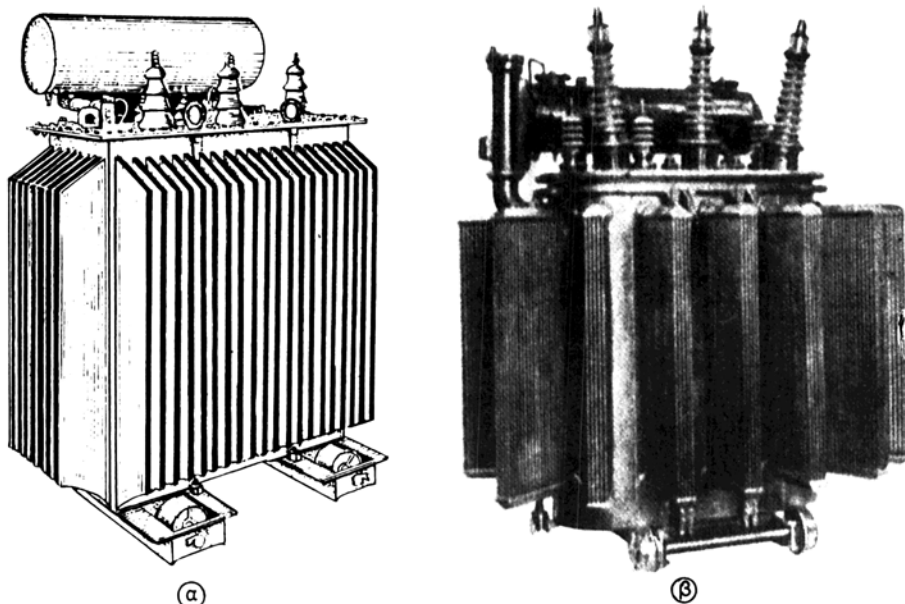
β) Ξηρούς με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα ψύξεως.

Σε αυτούς ένας ανεμιστήρας 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 παίρνουμε μέτρα προστασίας, δηλαδή να σταματά η λειτουργία του μετασχηματιστή, αν για οποιοδήποτε λόγο σταματήσει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας, που κυκλοφορεί τον αέρα ψύξεως.

γ) Λαδιού με φυσική κυκλοφορία του λαδιού.

Στους μετασχηματιστές λαδιού, το λάδι, που βρίσκεται σε επαφή με τα τυλίγματα και τον πυρήνα του μετασχηματιστή, θερμαίνεται από τη θερμότητα των απωλειών, γίνεται αραιότερο και ανεβαίνει. Το λάδι, το οποίο βρίσκεται σε επαφή 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 τη θερμότητα των απωλειών από το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή και τη μεταφέρει στα τοιχώματα του λέβητα, οπότε από εκεί μεταδίδεται στον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα.

Για να αυξηθεί η ταχύτητα μεταδόσεως της θερμότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα, των μετασχηματιστών λαδιού ισχύος μεγαλύτερης από 25 kVA περίπου, οι κατασκευαστές τοποθετούν στα πλευρά του λέβητα σωλήνες (σχ. 6.2ζ), περύγια [σχ. 6.4(α)], ή σώματα ψύξεως παρόμοια με τα σώματα των κεντρικών θερμάνσεων [σχ. 6.4(β)], τα οποία επικοινωνούν με το επάνω και κάτω μέρος των πλευ-



Σχ. 6.4.

Μετασχηματιστές λαδιού: α) με πτερύγια, β) με σώματα ψύξεως.

ρών του λέβητα. Έτσι αυξάνεται σημαντικά η επιφάνεια επαφής του λαδιού με τα τοιχώματα του λέβητα και των τοιχωμάτων με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται συνήθως στους μετασχηματιστές με μέτρια ισχύ (15 ως 1000 kVA).

Για να αυξηθεί ακόμα περισσότερο η ταχύτητα ψύξεως στους μεγάλους μετασχηματιστές (π.χ. με ισχύ 10 000 kVA) χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες, οι οποίοι θέτουν σε κίνηση τον αέρα, που περιβάλλει τις σωληνώσεις ή τα σώματα ψύξεως. Οι ανεμιστήρες αυτοί μπαίνουν σε λειτουργία, όταν το φορτίο του μετασχηματιστή περάσει ένα όριο, π.χ. το μισό του κανονικού φορτίου.

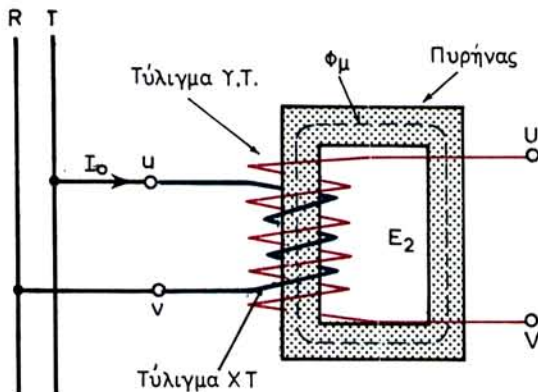
δ) Λαδιού με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού.

Σε αυτή τη μέθοδο ψύξεως, που εφαρμόζεται σε μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος (π.χ. 50 000 kVA), το λάδι οδηγείται με τη βοήθεια αντλίας και σωληνώσεων από το επάνω μέρος του μετασχηματιστή σε ιδιαίτερο ψυγείο που βρίσκεται έξω από αυτόν. Στο ψυγείο το λάδι ψύχεται είτε με τον ατμοσφαιρικό αέρα με τη βοήθεια ανεμιστήρων, είτε με ψυχρό νερό που κυκλοφορεί εξωτερικά των ψυγείων. Αφού δώσει τη θερμότητά του το λάδι επανέρχεται στο κάτω μέρος του μετασχηματιστή.

6.5 Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστών.

6.5.1 Αρχή λειτουργίας μονοφασικών μετασχηματιστών.

Το σχήμα 6.5α παριστάνει ένα μονοφασικό μετασχηματιστή, στον οποίο χάρη



Σχ. 6.5α.

Λειτουργία μονοφασικού μετασχηματιστή χωρίς φορτίο.

απλότητας δεχόμαστε ότι υπάρχουν τυλίγματα μόνο στον ένα κορμό του πυρήνα. Το πρωτεύον τύλιγμα (Χ.Τ. στο σχήμα) τροφοδοτείται από δίκτυο με εναλλασσόμενη τάση που έχει ενδεικνυμένη τιμή U_1 . Το δευτερεύον τύλιγμα (Υ.Τ. στο σχήμα) είναι ανοικτό, δηλαδή δεν έχει συνδεθεί κατανάλωση σε αυτό.

Η εναλλασσόμενη τάση U_1 δημιουργεί στο πρωτεύον τύλιγμα μία εναλλασσόμενη ένταση I_0 . Αποτέλεσμα της έντασεως αυτής είναι, όπως γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία, να αναπτυχθεί μέσα στον πυρήνα του μετασχηματιστή μαγνητική ροή Φ_μ , που κλείνει κύκλωμα όπως φαίνεται στο σχήμα. Μπορούμε να δεχθούμε ότι η μαγνητική αντίσταση του κυκλώματος αυτού είναι σταθερή. Αυτό πλησιάζει πολύ στην πραγματικότητα, όταν η μαγνητική επαγωγή στον πυρήνα δεν είναι μεγάλη. Τότε η μαγνητική ροή που δημιουργείται από την εναλλασσόμενη ένταση I_0 θα είναι και αυτή εναλλασσόμενη, δηλαδή η μεταβολή της με το χρόνο θα παριστάνεται από μία ημιτονοειδή καμπύλη. Η συχνότητα f της εναλλασσόμενης αυτής μαγνητικής ροής θα είναι η ίδια με τη συχνότητα της I_0 , δηλαδή με τη συχνότητα του δικτύου τροφοδοτήσεως.

Μέσα από το δευτερεύον τύλιγμα περνά συνεπώς μία εναλλασσόμενη, δηλαδή μεταβαλλόμενη με το χρόνο μαγνητική ροή. Γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία ότι μέσα σε αυτό θα αναπτυχθεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, που είναι και αυτή εναλλασσόμενη της ίδιας συχνότητας f . Η ενδεικνυμένη τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_\mu \quad \text{σε } V$$

όπου: f είναι η συχνότητα σε Hz,

w_2 ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος τυλίγματος και

Φ_μ η μέγιστη τιμή σε Vs της (ημιτονοειδούς) μαγνητικής ροής.

Μπορούμε να πούμε ότι **το δευτερεύον τύλιγμα λειτουργεί σαν μια μονοφασική γεννήτρια με ηλεκτρεγερτική δύναμη E_2 , από την οποία μπορούμε να τροφοδοτήσουμε μονοφασικό καταναλωτή**, συνδέοντας τα άκρα του στους ακροδέκτες U και V.

Όπως παρατηρούμε, η ηλεκτρεγερτική δύναμη E_2 είναι ανάλογη του αριθμού των σπειρών w_2 του δευτερεύοντος. Άρα είναι δυνατό να γίνει όσο θέλουμε μεγάλη, αρκεί να τοποθετήσουμε τον κατάλληλο αριθμό σπειρών (και οι μονώσεις να αντέχουν στην τάση που θα δημιουργηθεί).

Η μαγνητική ροή Φ_μ υπολογίζεται από τη μέγιστη τιμή B_μ της μαγνητικής επαγωγής, την οποία θέλουμε να έχουμε στον κορμό του πυρήνα και από την πραγματική διατομή (διατομή σιδήρου) του κορμού:

$$\Phi_\mu = s \cdot B_\mu \quad \text{σε Vs}$$

όπου: s είναι η πραγματική διατομή του πυρήνα σε m^2 και

B_μ η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής σε Vs/m^2 .

Στους μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος η διατομή του κορμού του πυρήνα είναι μεγάλη. Συνεπώς και η μαγνητική ροή είναι μεγάλη, δεδομένου ότι το B_μ εκλέγεται συνήθως μέσα σε ορισμένα όρια. Άρα για ορισμένη τάση δευτερεύοντος E_2 , ο μεγάλος μετασχηματιστής θα έχει μικρότερο αριθμό σπειρών w_2 από το μικρό μετασχηματιστή.

Παράδειγμα.

Μετασχηματιστής έχει διατομή κορμού $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Αν η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής είναι $B_\mu = 1 \text{ Vs/m}^2$ και η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που τροφοδοτεί το πρωτεύον είναι $f = 50 \text{ Hz}$ να βρεθεί:

α) Ποια ηλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργείται στο δεύτερευον, όταν αυτό έχει $w_2 = 200$ σπείρες και β) ποιος πρέπει να είναι ο αριθμός των σπειρών w_2 του δευτερεύοντος για να δίνει την ίδια ηλεκτρεγερτική δύναμη, όταν η διατομή του κορμού έχει διαστάσεις $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$.

Λύση.

α) Η διατομή του κορμού είναι:

$$s' = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

Για να βρούμε την πραγματική διατομή του πυρήνα στον κορμό, μετά την αφαίρεση των επιφανειακών μονώσεων των ελασμάτων κλπ. παίρνουμε συνήθως τα $\frac{9}{10}$ της s' . Δηλαδή είναι:

$$s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,01 = 0,009 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα:} \quad \Phi_\mu = s \cdot B_\mu = 0,009 \times 1 = 0,009 \text{ Vs}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_\mu = 4,44 \times 50 \times 200 \times 0,009 = 399 \text{ V}$$

$$\beta) \text{ Τώρα είναι: } s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,15 \times 0,15 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα:} \quad \Phi_\mu = s \cdot B_\mu = 0,02 \times 1 = 0,02 \text{ Vs}$$

$$\text{και} \quad w_2 = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_\mu} = \frac{399}{4,44 \times 50 \times 0,02} \cong 90 \text{ σπείρες}$$

Με όμοιο τρόπο, όπως εξηγήθηκε για το δευτερεύον τύλιγμα, δημιουργείται και

στο πρωτεύον ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή E_1 η οποία όμως δρα εδώ σαν αντιηλεκτρεγερτική δύναμη προς την τάση U_1 . Η ενδεικνυμένη τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_\mu \quad \text{σε V}$$

όπου: w_1 είναι ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος τυλίγματος

Φ_μ η μέγιστη τιμή σε Vs της μαγνητικής ροής και

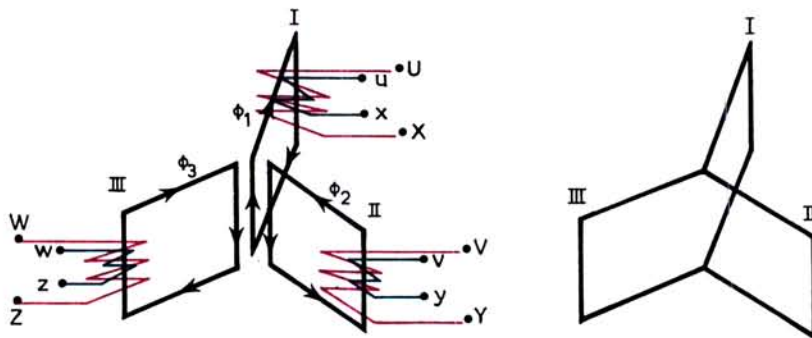
f η συχνότητα του ρεύματος σε Hz.

Η μαγνητική ροή Φ_μ (σχ. 6.5α) είναι η **χρήσιμη μαγνητική ροή του μετασχηματιστή**, γιατί συντελεί στη δημιουργία των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων. Η ένταση I_0 όμως διέρχόμενη από το πρωτεύον τυλίγμα δημιουργεί και **μία πρωτεύουσα ροή σκεδάσεως** $\Phi_{1\sigma}$, η οποία κλείνει κύκλωμα με τον αέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5α. Αν και η ροή αυτή είναι μικρό ποσοστό της χρήσιμης μαγνητικής ροής (κάτω από 0,5%), έχει ιδιαίτερη σημασία στη λειτουργία του μετασχηματιστή, γιατί δημιουργεί αυτεπαγωγική πτώση τάσεως.

6.5.2 Αρχή λειτουργίας τριφασικών μετασχηματιστών.

Τρεις όμοιοι μονοφασικοί μετασχηματιστές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε τριφασικό σύστημα για τη μετατροπή της τάσεως. Η λύση αυτή χρησιμοποιείται για μεγάλες ισχείς και πολύ υψηλές τάσεις. Στις άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι τριφασικοί μετασχηματιστές, που περιγράψαμε στην παράγραφο 6.3. εδάφιο 3.

Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των τριφασικών μετασχηματιστών, ας πάρουμε τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές με τυλίγματα μόνο στον ένα κορμό. Οι μετασχηματιστές έχουν τοποθετηθεί σε διάταξη ακτινωτή έτσι, ώστε οι κορμοί, οι οποίοι δεν έχουν τυλίγματα, να είναι ενωμένοι, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 6.5β. Αν τα πρωτεύοντα τυλίγματα, π.χ. τα τυλίγματα χαμηλής τάσεως $u-x$, $v-y$ και $w-z$ τα ενώσουμε μεταξύ τους σε αστέρα ή σε τρίγωνο και τα συνδέσουμε σε τριφασικό δίκτυο, τότε, όπως γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία, οι εντάσεις, που θα περάσουν από αυτά, θα έχουν κάθε στιγμή άθροισμα μηδέν. Άρα μηδενικό άθροισμα θα έχουν και οι στιγμιαίες τιμές Φ_1 , Φ_2 και Φ_3 των μαγνητικών ροών, που θα δημιουργηθούν στους τρεις πυρήνες από τις εντάσεις αυτές.



Σχ. 6.5β.

Δηλαδή από τους τρεις ενωμένους κορμούς δεν θα περνά μαγνητική ροή. Συνεπώς μπορούμε να αφαιρέσουμε τους κορμούς αυτούς και να έχουμε τριφασικό μετασχηματιστή με πυρήνα, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 6.5β.

Η κατασκευή του πυρήνα όπως τον δείχνει το σχήμα παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, ενώ ταυτόχρονα ένας μετασχηματιστής με τέτοιο πυρήνα θα είχε μεγάλο όγκο. Γι' αυτούς τους λόγους, τους τριφασικούς μετασχηματιστές τους κατασκευάζουν με πυρήνα που έχει τη μορφή του σχήματος 6.3α. Αυτό συνεπάγεται μια μικρή ασυμμετρία στις μαγνητικές ροές, χωρίς όμως ιδιαίτερη σημασία.

Σε κάθε κορμό του πυρήνα του τριφασικού μετασχηματιστή τοποθετείται, όπως εξηγήσαμε, 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. Αρκεί να έχουμε υπόψη μας, ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, η τάση και η ένταση του μονοφασικού μετασχηματιστή είναι τα αντίστοιχα φασικά μεγέθη για τους τριφασικούς μετασχηματιστές. Ανάλογα με τη σύνδεση των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών αυτών, είναι εύκολο τα φασικά μεγέθη να μετατραπούν σε πολικά.

6.6 Λειτουργία των μετασχηματιστών χωρίς φορτίο - Σχέση μεταφοράς.

Όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται χωρίς φορτίο στο δευτερεύον (σχ. 6.5α) η ένταση I_0 είναι μικρό ποσοστό της ονομαστικής του εντάσεως (1 ως 5% για τους μέτριου και μεγάλου μεγέθους μετασχηματιστές, φθάνει μέχρι 10% για τους μικρούς). Άρα, είναι πολύ μικρές τόσο η ωμική πτώση τάσεως ($I_0 \cdot R_1$) στο πρωτεύον τύλιγμα λόγω της ωμικής αντιστάσεως του αγωγού, όσο και η αυτεπαγωγική πτώση τάσεως ($I_0 \cdot X_1$) λόγω της ροής σκεδάσεως. Συνεπώς στη λειτουργία χωρίς φορτίο η τάση U_1 είναι ίση με μεγάλη προσέγγιση προς την ηλεκτρεγερτική δύναμη E_1 που δημιουργείται στο πρωτεύον:

$$U_1 = E_1$$

Στο δευτερεύον τύλιγμα στη λειτουργία χωρίς φορτίο είναι:

$$U_2 = E_2$$

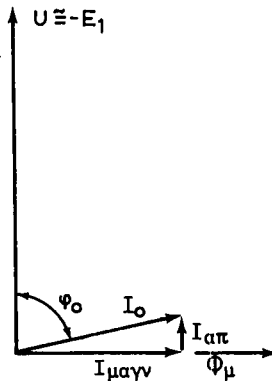
Άρα μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_{\mu}}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{\mu}} = \frac{w_1}{w_2} = K$$

Δηλαδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο του μετασχηματιστή **ο λόγος των τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι ίσος με το λόγο των αριθμών σπειρών των αντιστοιχών τυλιγμάτων. Ο τελευταίος αυτός λόγος w_1/w_2 ονομάζεται σχέση μεταφοράς K του μετασχηματιστή.**

Παράδειγμα.

Ποιος είναι ο αριθμός σπειρών w_1 ενός μετασχηματιστή, ο οποίος έχει $w_2 = 2000$, και ο οποίος στη λειτουργία χωρίς φορτίο όταν τροφοδοτήθηκε με τάση



Σχ. 6.6.

$U_1 = 12 \text{ V}$ έδωσε $U_2 = 120 \text{ V}$; Ποια είναι η σχέση μεταφοράς του μετασχηματιστή;

Λύση.

$$\text{Είναι} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\text{Άρα:} \quad w_1 = w_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 2000 \times \frac{12}{120} = 200 \text{ σπείρες}$$

Η σχέση μεταφοράς είναι:

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{200}{2000} = 0,1 \quad \text{ή} \quad \frac{1}{10}$$

Στη λειτουργία χωρίς φορτίο η ένταση I_0 έχει φασική απόκλιση ϕ_0 προς την τάση U_1 περίπου ίση με 90° . Στην πραγματικότητα, λόγω των μαγνητικών απωλειών του μετασχηματιστή, η ϕ_0 είναι μικρότερη από 90° , όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6. Η I_0 αναλύεται σε μία ένταση $I_{\mu\alpha\gamma\eta\nu}$, η οποία προκαλεί τη μαγνήτιση του πυρήνα και δεν ξοδεύει ισχύ, και σε μία ένταση $I_{\alpha\pi\pi}$, η οποία είναι σε φάση με την τάση U_1 και δίνει την ισχύ για τις μαγνητικές απώλειες στον πυρήνα (από υστέρηση και δινορρέυματα). Η $I_{\alpha\pi\pi}$ είναι περίπου 10% της I_0 , οπότε είναι $\sin\phi_0 \cong 0,1$.

6.7 Λειτουργία μετασχηματιστών με φορτίο.

6.7.1 Φόρτιση μετασχηματιστή.

Όταν συνδέσουμε ένα καταναλωτή K στο δευτερεύον του μετασχηματιστή (σχ. 6.7α), που το πρωτεύον του τροφοδοτείται με σταθερή τάση U_1 , από το δευτερεύον κύλινδρο θα περάσει μια εναλλασσόμενη ένταση με ενδεικνυμένη τιμή I_2 . Ταυτόχρονα η ένταση, την οποία το πρωτεύον απορροφά από το δίκτυο τροφοδοτήσεως, θα αυξηθεί **αυτόματα** από I_0 σε I_1 . Αυτό, που μπορούμε να το διαπιστώσουμε πειραματικά, εξηγείται και θεωρητικά, και οφείλεται στα φαινόμενα της ηλε-

τος πρέπει να είναι η ίδια στους αγωγούς και των δυο τυλίγμάτων, μπορούμε να πούμε, ότι: **Το τύλιγμα χαμηλής τάσεως και μεγάλης εντάσεως έχει μικρό αριθμό σπειρών και αγωγό μεγάλης διατομής. Το τύλιγμα υψηλής τάσεως και χαμηλής εντάσεως έχει μεγάλο αριθμό σπειρών και αγωγό μικρής διατομής.**

Αν θεωρήσουμε αμελητέες τις απώλειες του μετασχηματιστή τότε η ισχύς N_1 , που απορροφά το πρωτεύον από το δίκτυο, είναι ίση περίπου με την ισχύ N_2 , που δίνει το δευτερεύον:

$$N_1 = N_2 \quad \text{ή} \quad U_1 \cdot I_1 \cdot \text{συν}\phi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συν}\phi_2$$

$$\text{Έχουμε όμως} \quad U_2 = \frac{U_1}{K} \quad \text{και} \quad I_2 = K \cdot I_1$$

$$\text{Άρα: } U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1 \quad \text{και συνεπώς:}$$

$$\text{συν}\phi_1 = \text{συν}\phi_2$$

Δηλαδή η φασική απόκλιση ϕ_1 μεταξύ τάσεως και εντάσεως του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή είναι ίση περίπου με τη ϕ_2 που προκύπτει από το συντελεστή ισχύος του καταναλωτή (συν ϕ_2). Περίπου ίση είναι και η φαινόμενη ισχύς του πρωτεύοντος ($N_{s_1} = U_1 \cdot I_1$) με τη 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 $I_2 = 2 \text{ A}$ με τάση $U_2 = 20 \text{ V}$, όταν η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως είναι $U_1 = 220 \text{ V}$. Ποια σύνθετη αντίσταση παρουσιάζει ο μετασχηματιστής αυτός στο δίκτυο τροφοδοτήσεως, αν θεωρηθούν αμελητέες οι απώλειες του;

Η σύνθετη αντίσταση που ζητάμε είναι:

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{K \cdot U_2}{I_2/K} = K^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$$

$$\text{όπου:} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{20} = 11$$

$$\text{Άρα:} \quad Z_1 = 11^2 \times \frac{20}{2} = 1210 \, \Omega$$

Κατά τη λύση του παραπάνω παραδείγματος προέκυψε η πολύ ενδιαφέρουσα σχέση ότι:

$$Z_1 = K^2 \cdot Z_2$$

$$\text{όπου: } Z_2 \text{ είναι η σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή: } Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

Όπως αναφέραμε, οι σχέσεις, που δώσαμε στην παράγραφο αυτή, είναι σχέσεις που ισχύουν με προσέγγιση. Τα πραγματικά μεγέθη διαφέρουν λίγο από εκεί-

να 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. Επειδή όμως έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, στο επόμενο εδάφιο θα εξετάσουμε το φαινόμενο της πτώσεως τάσεως στους μετασχηματιστές.

6.7.3 Χαρακτηριστική φορτίου - Πτώση τάσεως.

Κάθε ένα από τα δυο τυλίγματα ενός μετασχηματιστή έχει ορισμένη ωμική αντίσταση και δημιουργεί ορισμένη ροή σκεδάσεως ($\Phi_{1\sigma}$ και $\Phi_{2\sigma}$ στο σχήμα 6.7α). Αποτέλεσμα αυτών είναι, όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται με φορτίο, να δημιουργείται σε κάθε τύλιγμά του μια ωμική και μια 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 το 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 το κανονικό φορτίο.

Επειδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο, η τάση του δευτερεύοντος είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική του δύναμη, για τη διακύμανση τάσεως έχουμε:

$$\epsilon\% = \frac{E_2 - U_{2N}}{U_{2N}} \cdot 100$$

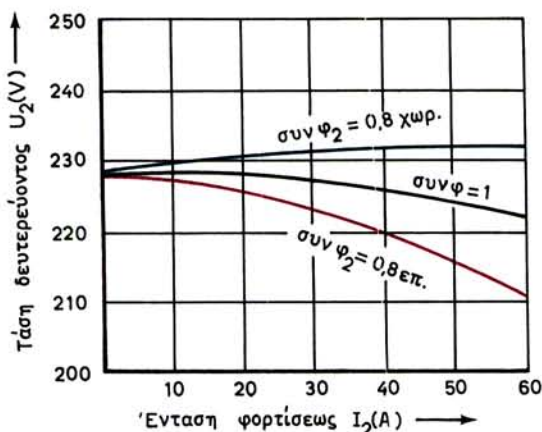
Όσο μικρότερη είναι η διακύμανση τάσεως, τόσο ποιοτικά καλύτερος είναι ο μετασχηματιστής. Στους μετασχηματιστές μέσου και μεγάλου μεγέθους, η διακύμανση τάσεως είναι κάτω του 5%.

Χαρακτηριστική φορτίου ενός μετασχηματιστή ονομάζουμε την καμπύλη, η οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση του δευτερεύοντός του, όταν μεταβάλλεται το φορτίο του, με σταθερή τάση του πρωτεύοντος και σταθερό συντελεστή ισχύος του φορτίου.

Το σχήμα 6.7β δίνει τις χαρακτηριστικές φορτίου ενός μετασχηματιστή για τρεις διαφορετικούς συντελεστές ισχύος του φορτίου, δηλαδή για $\cos\phi_2 = 0,8$ χωρητικό, για $\cos\phi_2 = 1$ και για $\cos\phi_2 = 0,8$ επαγωγικό. Γενικά η τάση με φορτίο είναι χαμηλότερη της τάσεως χωρίς φορτίο. Είναι όμως δυνατό να παρουσιασθεί και μεγαλύτερη τάση, όταν το φορτίο είναι πολύ χωρητικό (π.χ. πυκνωτής).

Παράδειγμα.

Να υπολογισθεί η διακύμανση τάσεως του μετασχηματιστή, ο οποίος έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες του σχήματος 6.7β, αν το κανονικό του φορτίο είναι $I_{2N} = 50$ A.



Σχ. 6.7β.

Χαρακτηριστικές φορτίου μετασχηματιστή.

Λύση.

Για $\cos \phi_2 = 0,8$ επαγ. $\epsilon_1 \% = \frac{228 - 217}{217} \times 100 = 5\%$

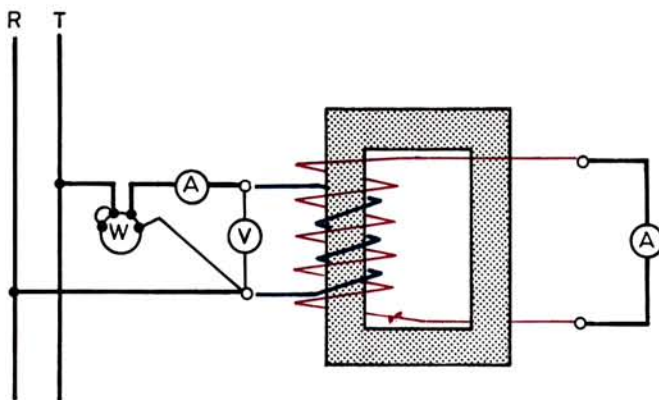
Για $\cos \phi_2 = 1$ $\epsilon_2 \% = \frac{228 - 224}{224} \times 100 = 1,8\%$

Για $\cos \phi_2 = 0,8$ χωρ. $\epsilon_3 \% = \frac{228 - 232}{232} \times 100 = -1,7\%$

Σημειώνουμε ότι στο διάγραμμα του σχήματος 6.7β, επειδή η πτώση τάσεως στους μετασχηματιστές είναι πολύ μικρή (συνήθως δεν υπερβαίνει τό 5%), η βολτομέτρηση του άξονα των τάσεων έχει αρχίσει από τα 200 V. Αυτό πρέπει πάντοτε να το προσέχουμε, για να μην παρασυρόμαστε σε ψεύτικες εντυπώσεις, σχετικά με την ποσοστιαία μεταβολή ενός μεγέθους (π.χ. εδώ της τάσεως U_2).

6.7.4 Τάση βραχυκυκλώσεως.

Εκτελούμε το ακόλουθο πείραμα: Σε ένα μετασχηματιστή βραχυκυκλώνουμε το δευτερεύον τύλιγμα αφού παρεμβάλλουμε ένα αμπερόμετρο στον αγωγό της βραχυκυκλώσεως (σχ. 6.7γ). Έπειτα τροφοδοτούμε το πρωτεύον τύλιγμα με τάση (που έχει συχνότητα ίση με την ονομαστική), την οποία αυξάνουμε σιγά - σιγά αρχίζοντας από πολύ μικρές τιμές. Για κάποια τιμή U_{1K} της τάσεως του πρωτεύοντος, την οποία μετρούμε με βολτόμετρο, η ένταση στο βραχυκυκλωμένο δευτερεύον θα γίνει ίση με την ονομαστική ένταση I_{2N} του μετασχηματιστή. Τότε και η ένταση του πρωτεύοντος θα είναι ίση με την ονομαστική του ένταση I_{1N} . Την τάση αυτή U_{1K} , η οποία ξοδεύεται ολόκληρη για εσωτερική πτώση τάσεως μέσα στο μετασχηματιστή, τον ονομάζουμε **τάση βραχυκυκλώσεως**. Συνήθως την εκφράζουμε σαν

**Σχ. 6.7γ.**

Πείραμα βραχυκυκλώσεως μετασχηματιστή.

ποσοστό επί τοις εκατό της ονομαστικής τάσεως του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή:

$$u_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100$$

Παράδειγμα.

Ποια είναι η τάση βραχυκυκλώσεως ενός μετασχηματιστή 6000/400 V, στον οποίο κατά το πείραμα βραχυκυκλώσεως, για να έχουμε την ονομαστική ένταση στο δευτερεύον, χρειάστηκε να τροφοδοτήσουμε το πρωτεύον με τάση 240 V;

Λύση.

$$u_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100 = \frac{240}{6000} \times 100 = 4\%$$

Όπως θα εξηγήσουμε στην επόμενη παράγραφο, η τάση βραχυκυκλώσεως καθορίζει τη διανομή των φορτίων σε μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα.

Όταν γνωρίζουμε την τάση βραχυκυκλώσεως, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανή ένταση ενός βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, όταν το πρωτεύον τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση, από τη σχέση:

$$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_K \%} \cdot 100$$

Παράδειγμα.

Στο μετασχηματιστή του προηγούμενου παραδείγματος να υπολογισθεί σε ποια τιμή μπορεί να φθάσει η ένταση βραχυκυκλώσεως στο δευτερεύον με την ονομαστική τάση τροφοδοτήσεως στο πρωτεύον, όταν η ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος είναι $I_{2N} = 200 \text{ A}$.

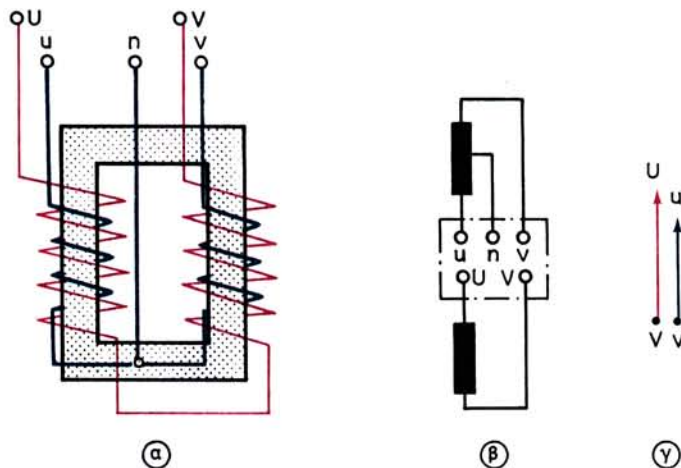
Λύση.

Είναι:

$$I_{2K} = \frac{I_{2N} \cdot 100}{u_K \%} \cdot 100$$

6.8 Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μετασχηματιστών.**6.8.1 Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μονοφασικών μετασχηματιστών.**

Το σχήμα 6.8α(α) παριστάνει πώς είναι συνδεσμολογημένα τα τυλίγματα ενός μονοφασικού μετασχηματιστή, τα οποία δεχόμαστε ότι είναι περιελιγμένα κατά

**Σχ. 6.8α.**

Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μονοφασικού μετασχηματιστή.

την ίδια φορά και, όπως γνωρίζουμε, 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 ακροδέκτες 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 ακροδέκτες του τυλίγματος Χ.Τ. σημειώνονται με τα μικρά γράμματα u και v (ή a και b ή x_1 και x_2). Αν γίνεται και **μεσαία λήψη**, όπως στο σχήμα, ο αντίστοιχος ακροδέκτης τοποθετείται μεταξύ των άλλων δυο και σημειώνεται με τα μικρά γράμματα n (ή n_p ή x_0).

Απέναντι ακριβώς από τον ακροδέκτη U της Υ.Τ. τοποθετείται ο ακροδέκτης u της Χ.Τ., ο οποίος έχει πάντοτε την ίδια πολικότητα με τον U. Δηλαδή τα παραστατικά διανύσματα των τάσεων VU και vu είναι σε φάση [σχ. 6.8α(γ)].

Στους μετασχηματιστές με μεσαία λήψη, μεταξύ του ακροδέκτη της n και ενός από τους δύο άλλους ακροδέκτες u και v επικρατεί το μισό της τάσεως του δευτε-

ρεύοντος. Αν π.χ. η τάση του δευτερεύοντος είναι 220 V, τότε μεταξύ η και υ καθώς και μεταξύ η και ν έχουμε τάση 110 V. Δηλαδή ο μετασχηματιστής δίνει στο δευτερεύον στις περιπτώσεις αυτές δύο τάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (110 και 220 V). Μικροί μετασχηματιστές με μεσαία λήψη χρησιμοποιούνται πολύ στις **ανορθωτικές διατάξεις** των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

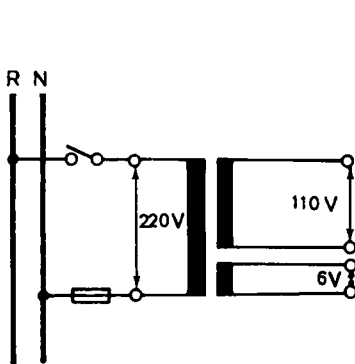
Με τον ίδιο τρόπο, όπως έχουμε τη μεσαία λήψη, είναι δυνατό από το δευτερεύον του μετασχηματιστή να πάρουμε **περισσότερες λήψεις**. Έχουμε τότε ένα μετασχηματιστή ο οποίος μπορεί να δώσει πολλές τάσεις στο δευτερεύον του. Το μέγεθος κάθε μιας από τις τάσεις αυτές εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών του αντίστοιχου σημείου λήψεως.

Σε ορισμένες περιπτώσεις θέλουμε να έχουμε από το δευτερεύον του μετασχηματιστή ένα ορισμένο αριθμό τάσεων **ανεξαρτήτων μεταξύ τους**. Το δευτερεύον του μετασχηματιστή έχει τότε αντίστοιχο αριθμό τυλίγμάτων ανεξαρτήτων επίσης μεταξύ τους. Π.χ. ο μετασχηματιστής του σχήματος 6.8β έχει στο δευτερεύον δύο τυλίγματα, τα οποία δίνουν τάσεις 110 V και 6 V, όταν το πρωτεύον του τροφοδοτείται με τάση 220 V. Ο αριθμός των σπειρών κάθε τυλίγματος καθορίζεται από τις σχέσεις μεταφοράς 220/110 V και 220/6 V.

Όταν θέλουμε ο μετασχηματιστής να είναι κατάλληλος να λειτουργήσει με περισσότερες από μία τάσεις πρωτεύοντος, δηλαδή να μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορα δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως, τότε βγάζουμε λήψεις από το πρωτεύον τύλιγμα. Ο μετασχηματιστής του σχήματος 6.8γ μπορεί να λειτουργήσει με τάσεις πρωτεύοντος 110, 125, 220 και 240 V, αρκεί να τοποθετήσουμε στην κατάλληλη λήψη την ασφάλεια Ασ. Από το δευτερεύον του μετασχηματιστή, το οποίο έχει δύο τυλίγματα, παίρνουμε τάσεις 300 V και 4 V.

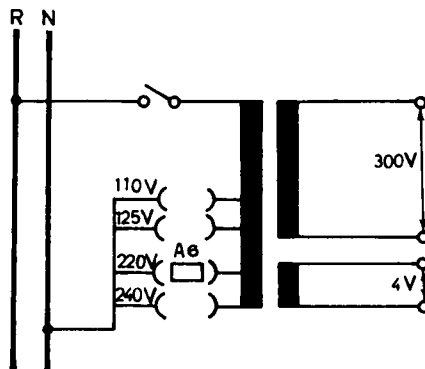
Παράδειγμα.

Ένας μετασχηματιστής ραδιοφώνου, όπως αυτός του σχήματος 6.8γ, τροφοδοτεί από το τύλιγμα των 300 V τις ανόδους των λυχνιών με ένταση 100 mA και από το τύλιγμα των 4 V τα νήματα θερμάνσεως με ένταση 6 A. Να υπολογισθεί η ι-



Σχ. 6.8β.

Μετασχηματιστής με δυο τυλίγματα στο δευτερεύον.



Σχ. 6.8γ.

Μετασχηματιστής για διάφορες τάσεις πρωτεύοντος.

σχύς του μετασχηματιστή και η ένταση πρωτεύοντος για τις διάφορες λήψεις, αν οι απώλειες θεωρηθούν αμελητέες.

Λύση.

Το τύλιγμα των ανόδων έχει φαινόμενη ισχύ:

$$N'_s = U'_2 \cdot I'_2 = 300 \times 0,1 = 30 \text{ VA}$$

Το τύλιγμα θερμάνσεως έχει φαινόμενη ισχύ:

$$N''_s = U''_2 \cdot I''_2 = 4 \times 6 = 24 \text{ VA}$$

Άρα η ισχύς του μετασχηματιστή είναι:

$$N_s = 30 + 24 = 54 \text{ VA}$$

Η ένταση πρωτεύοντος θα υπολογισθεί από τη σχέση:

$$I_1 = \frac{N_s}{U_1}$$

Άρα έχουμε:

$$\text{για τάση } 240 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{240} = 0,22 \text{ A}$$

$$\text{για τάση } 220 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{220} = 0,24 \text{ A}$$

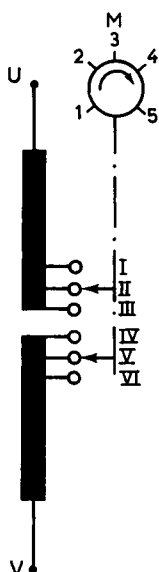
$$\text{για τάση } 125 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{125} = 0,43 \text{ A}$$

$$\text{για τάση } 110 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{110} = 0,49 \text{ A}$$

Η τάση ενός δικτύου διανομής από το οποίο τροφοδοτούνται μετασχηματιστές, δεν είναι η ίδια σε όλη την έκταση του δικτύου, λόγω πτώσεως της τάσεως (η τάση στην αρχή κάθε γραμμής είναι μεγαλύτερη από ό,τι είναι στο τέλος της). Για να μην επιδρά η ανομοιομορφία αυτή στην τάση του δευτερεύοντός τους, οι μετασχηματιστές των δικτύων διανομής κατασκευάζονται με λήψεις στο πρωτεύον, για τάσεις τροφοδοτήσεως που κυμαίνονται μέσα σε ορισμένα όρια, οι οποίες τους επιτρέπουν να δίνουν την ίδια τάση δευτερεύοντος.

Οι μετασχηματιστές διανομής της ΔΕΗ, που είναι ονομαστικής τάσεως πρωτεύοντος 15 000 V, έχουν λήψεις $\pm 5\%$ και $\pm 2,5\%$. Αυτό σημαίνει ότι, όταν η τάση του δικτύου στη θέση που θα τοποθετηθεί ο μετασχηματιστής είναι π.χ. 14 250 V, θα χρησιμοποιηθεί η λήψη $- 5\%$. Αν είναι 15 375 V, θα χρησιμοποιηθεί η λήψη $+ 2,5\%$ κ.ο.κ.

Το σχήμα 6.8δ δείχνει το τύλιγμα Υ.Τ. ενός μετασχηματιστή (της μιας φάσεως, αν ο μετασχηματιστής είναι τριφασικός) και τον τρόπο, με τον οποίο παίρνονται οι λήψεις. Το τύλιγμα είναι διαιρεμένο σε δύο μισά και η συνδεσμολογία των λήψεων γίνεται με μηχανισμό, ο οποίος κινείται από μεταγωγέα Μ, που βρίσκεται στο κάλυμμα του μετασχηματιστή. Για τη θέση του μεταγωγέα, που δείχνει το σχήμα, συνδέονται οι λήψεις II και V. Όπως βλέπομε από τον πίνακα, που είναι στο δεξιό



Διαφορά τάσεως στην 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. 6.8δ.

Λήψεις πρωτεύοντος μετασχηματιστή διανομής.

μέρος του σχήματος 6.8δ, η σύνδεση αυτή δίνει διαφορά τάσεως στο πρωτεύον 0%, δηλαδή είναι η θέση που πρέπει να έχει ο μεταγωγέας όταν η τάση του δικτύου Υ.Τ. είναι 15 000 V.

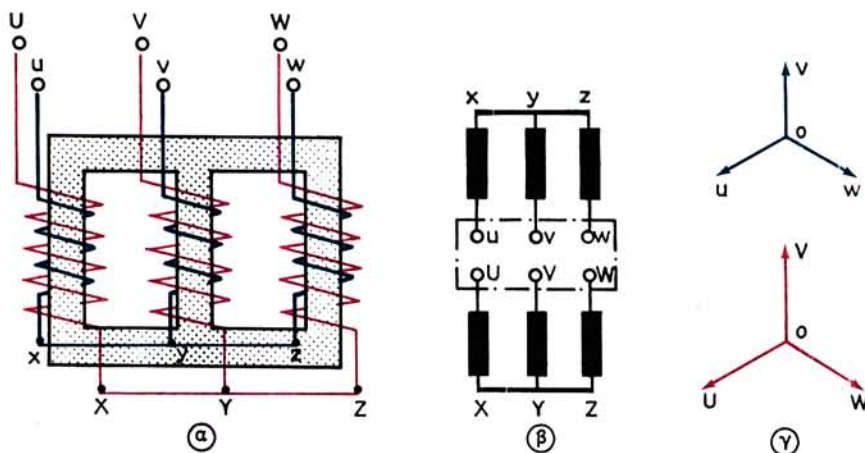
Τέλος σημειώνουμε ότι στην κατασκευή αυτή η αλλαγή των λήψεων πρέπει να γίνεται, όταν ο μετασχηματιστής δεν είναι σε λειτουργία. Υπάρχουν άλλες κατασκευές, που επιτρέπουν την αλλαγή των λήψεων του μετασχηματιστή όταν λειτουργεί ή ακόμη και την αυτόματη αλλαγή των λήψεων, όταν η τάση του δικτύου μεταβάλλεται.

Όσα αναφέραμε στο εδάφιο αυτό για τις λήψεις των μετασχηματιστών και για τα πολλαπλά τυλίγματα, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι εφαρμόζονται και στους τριφασικούς μετασχηματιστές (όπως π.χ. δείχνει το σχήμα 6.11). Για το λόγο αυτό στο επόμενο εδάφιο, που θα εξετάσουμε τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων των τριφασικών μετασχηματιστών, δεν θα τα επαναλάβουμε.

6.8.2 Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων τριφασικών μετασχηματιστών.

Το σχήμα 6.8ε(α) παριστάνει σχηματικά πώς είναι τοποθετημένα τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Υ.Τ. και τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Χ.Τ. στον τριφασικό μετασχηματιστή. Τα τυλίγματα αυτά δεχόμαστε ότι είναι περιελιγμένα κατά την ίδια φορά, όπως γίνεται συνήθως στην πράξη. Στην περίπτωση του σχήματος, τόσο τα τυλίγματα Υ.Τ. όσο και τα τυλίγματα Χ.Τ. είναι συνδεσμολογημένα σε αστέρα. Δηλαδή πρόκειται για μετασχηματιστή **ζεύξης αστέρα-αστέρα**, όπως λέμε.

Τα ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων της Υ.Τ. έχουν συνδεθεί στους τρεις αντίστοιχους ακροδέκτες του καλύμματος του μετασχηματιστή, οι οποίοι είναι χαρακτηρισμένοι με τα κεφαλαία γράμματα U, V, W (ή A, B, C, ή H_1 , H_2 , H_3). Αντίστοιχα



Σχ. 6.8ε.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως αστέρα-αστέρα.

οι τρεις ακροδέκτες της Χ.Τ. είναι χαρακτηρισμένοι με τα 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 τους ουδέτερους κόμβους Υ.Τ. και Χ.Τ. Σε ορισμένους μετασχηματιστές οι ουδέτεροι κόμβοι συνδέονται με ιδιαίτερους ακροδέκτες πάνω στο κάλυμμα, οι οποίοι φέρουν τότε το γράμμα N (ή N_p ή H_0) για την Υ.Τ. και n (ή n_p ή x_0) για την Χ.Τ.

Το σχήμα 6.8ε(β) δίνει τη συμβολική σχεδίαση των τυλιγμάτων μετασχηματιστή ζεύξεως αστέρα-αστέρα. Στο (γ) του ίδιου σχήματος φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα υψηλής και χαμηλής τάσεως. Όπως παρατηρούμε, στη ζεύξη αυτή η φασική απόκλιση μεταξύ των διανυσμάτων των αντιστοίχων φάσεων είναι μηδενική.

Στη συνδεσμολογία του αστέρα (για την υψηλή ή χαμηλή τάση) ισχύουν οι γνωστές σχέσεις:

$$U_{\phi} = \frac{U}{1,73}$$

$$I_{\phi} = I$$

Παράδειγμα.

Ένας τριφασικός μετασχηματιστής κατασκευάσθηκε για να τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 380 V. Στο πλήρες φορτίο του το πρωτεύον τύλιγμα, που είναι συνδεσμολογημένο σε αστέρα, απορροφά από το δίκτυο ένταση 10 A. Για ποια τάση και ποια ένταση κατασκευάσθηκε 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 αγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίσθηκε για ένταση:

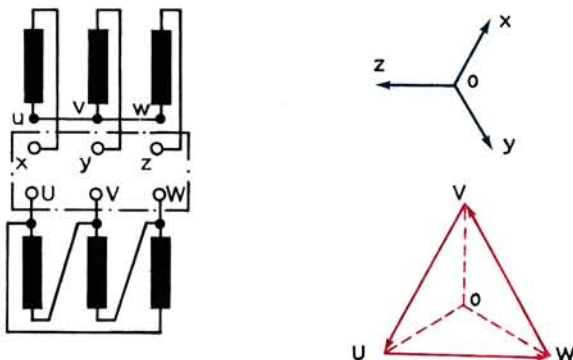
$$I_{1\phi} = I_1 = 10 \text{ A}$$

Στους τριφασικούς μετασχηματιστές τα τυλίγματα Υ.Τ. ή Χ.Τ. ή και τα δύο μπορεί να συνδεσμολογηθούν και σε τρίγωνο. Στο σχήμα 6.8στ παριστάνεται μετασχηματιστής ζεύξεως **τριγώνου-αστέρα**, δηλαδή τριγώνου στην Υ.Τ. και αστέρα 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. 6.8στ.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως τριγώνου-αστέρα.

Παράδειγμα.

Αν ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος έχει το πρωτεύον τύλιγμα συνδεσμολογημένο σε τρίγωνο, για ποια τάση και για ποια ένταση κατασκευάσθηκε κάθε φάση του τυλίγματος αυτού;

Λύση.

Στην 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 αγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίσθηκε για ένταση:

$$I_{1\phi} = \frac{I_1}{1,73} = \frac{10}{1,73} = 5,78 \text{ A}$$

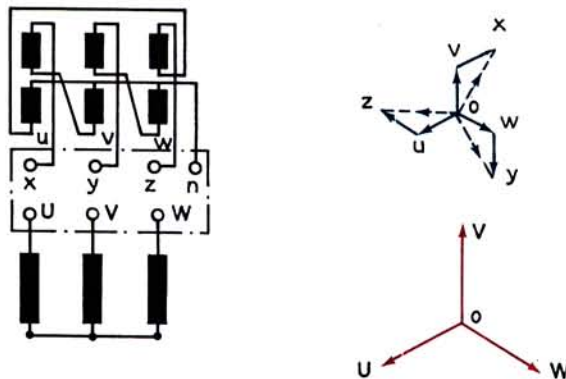
Δηλαδή τώρα κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος θα έχει μεγαλύτερο αριθμό σπειρών με αγωγό μικρότερης διατομής από ό,τι ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος.

Πρέπει να παρατηρήσουμε, ότι ο μετασχηματιστής του σχήματος 6.8στ έχει τον ουδέτερο κόμβο στα επάνω άκρα u, v, w , των τυλιγμάτων Χ.Τ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι τάσεις στα τυλίγματα αυτά να έχουν φασική απόκλιση 180° προς τις τάσεις των αντιστοίχων τυλιγμάτων Υ.Τ., δηλαδή το διανυσματικό διάγραμμα του μετασχηματιστή αυτού είναι όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 6.8στ.

Στα τριφασικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με ουδέτερο, πολλές φορές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές υποβιβασμού, οι οποίοι έχουν το δευτερεύον τους, δηλαδή τη Χ.Τ., συνδεσμολογημένο σε **τεθλασμένο αστέρα** (ζιγκ - ζαγκ). Στη συνδεσμολογία αυτή το τύλιγμα Χ.Τ. κάθε κορμού αποτελείται από δύο τμήματα. Κάθε τμήμα συνδέεται σε σειρά με ένα τμήμα από το τύλιγμα χαμηλής τάσεως άλλου κορμού. Το σχήμα 6.8ζ δείχνει μετασχηματιστή ζεύξεως **αστέρα-τεθλασμένου αστέρα**.

Στο δεξιό μέρος του ίδιου σχήματος φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων. Όπως παρατηρούμε, το διάνυσμα της φασικής τάσεως $U_{2\phi} = ox$ του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή αποτελείται από ένα διάνυσμα on παράλληλο προς την πρωτεύουσα τάση OV και από ένα διάνυσμα vx με φασική απόκλιση 180° προς την πρωτεύουσα τάση OU . Αυτό προκύπτει από τον τρόπο, που είναι συνδεσμολογημένα τα δύο μέρη, από τα οποία αποτελείται το τύλιγμα Χ.Τ. της φάσεως nx (αριστερό μέρος του σχήματος 6.8ζ). Το ίδιο συμβαίνει και με τις υπόλοιπες φάσεις. Άρα κάθε ένα από τα δύο τμήματα του τυλίγματος Χ.Τ., που έχει κάθε κορμός, είναι κατασκευασμένο για τάση:

$$u_{2\phi} = on = vx = \frac{ox}{1,73} = \frac{U_{2\phi}}{1,73}$$



Σχ. 6.8ζ.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως αστέρα-τεθλασμένου αστέρα.

Παράδειγμα.

Για ποια τάση πρέπει να κατασκευασθεί κάθε τμήμα του δευτερεύοντος τυλίγματος ζεύξης τεθλασμένου αστέρα σε ένα μετασχηματιστή, που δίνει πολική τάση 400 V; Πόσο τοις εκατό περισσότερες σπείρες έχει το τύλιγμα αυτό σχετικά με το δευτερευον τύλιγμα ζεύξης σε αστέρα ενός άλλου μετασχηματιστή που δίνει την ίδια πολική τάση;

Λύση.

$$\text{Έχομε:} \quad U_{2\phi} = \frac{U_2}{1,73} = \frac{400}{1,73} = 231 \text{ V}$$

$$\text{Άρα:} \quad \text{ον} = \text{vx} = \frac{U_{2\phi}}{1,73} = \frac{231}{1,73} = 133 \text{ V}$$

Στη ζεύξη τεθλασμένου αστέρα σε κάθε κορμό έχουμε δύο τυλίγματα, κάθε ένα από τα οποία δίνει τάση 133 V, όπως προέκυψε παραπάνω. Άρα ο αριθμός σπειρών και των δύο τυλιγμάτων θα αντιστοιχεί σε τάση $2 \times 133 = 266 \text{ V}$. Ο αριθμός σπειρών κάθε τυλίγματος Χ.Τ. στη συνδεσμολογία αστέρα θα αντιστοιχεί σε τάση 231 V, όταν η πολική τάση είναι 400 V. Συνεπώς η συνδεσμολογία τεθλασμένου αστέρα έχει περισσότερες σπείρες κατά:

$$\frac{266 - 231}{231} \times 100\% = \frac{35}{231} \times 100\% = 15\%$$

Το ότι απαιτούν περισσότερες σπείρες αποτελεί μειονέκτημα των μετασχηματιστών τεθλασμένου αστέρα. Χρησιμοποιούνται όμως, όταν έχουμε μεγάλη ανομοιομορφία στη φόρτιση των τριών φάσεων του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, οπότε περιορίζουν την κακή λειτουργία του μετασχηματιστή που προκαλείται από την ανομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης με τη συνδεσμολογία τεθλασμένου αστέρα, όπως και με τη συνδεσμολογία αστέρα, μπορούμε να έχουμε ουδέτερο κόμβο, που είναι απαραίτητος στα τριφασικά δίκτυα διανομής με τέσσερις αγωγούς.

6.8.3 Κατάταξη των τριφασικών μετασχηματιστών σε ομάδες.

Από όσα αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο συμπεραίνουμε, ότι υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί στη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων των τριφασικών μετασχηματιστών. Ο Πίνακας 6.8.1 δίνει τις συνδεσμολογίες που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Ο συμβολισμός κάθε μετασχηματιστή που αναφέρεται στον πίνακα αυτό είναι ο **διεθνής συμβολισμός**. Τα γράμματα που χρησιμοποιούνται δίνουν αμέσως και το είδος της συνδεσμολογίας. Το πρώτο γράμμα (κεφαλαίο) δίνει τη ζεύξη του τυλίγματος Υ. Τ. και το δεύτερο (μικρό) του τυλίγματος Χ. Τ., ως εξής:

Σε τρίγωνο	= D, d
Σε αστέρα	= Y, y
Σε τεθλασμένο αστέρα	= Z, z

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8.1
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				

Μετά τα δύο γράμματα ακολουθεί ένας αριθμός (0,5,6,11), που είναι ο αριθμός της ομάδας, στην οποία ανήκει ο μετασχηματιστής και έχει την ακόλουθη σημασία: Αν τον αριθμό αυτό τον πολλαπλασιάσουμε επί 30°, μας δίνει τη γωνία κατά την ο-

ποία καθυστερούν τα διανύσματα της Χ.Τ. ως προς τα αντίστοιχα διανύσματα της Υ.Τ. Ο μετασχηματιστής π.χ. του σχήματος 6.8ε έχει συμβολισμό $Y_Y 0$, γιατί η γωνία μεταξύ των αντιστοίχων διανυσμάτων Υ.Τ. και Χ.Τ. είναι μηδενική.

Από την παραπάνω σημασία, που έχει ο χαρακτηριστικός αριθμός της ομάδας, συμπεραίνουμε ότι όλοι οι μετασχηματιστές, που ανήκουν σε μία ομάδα, έχουν τάσεις στο δευτερεύον, οι οποίες είναι σε φάση μεταξύ τους, όταν τα πρωτεύοντά τους τροφοδοτούνται από το ίδιο δίκτυο. Αυτό φαίνεται και από τα διανυσματικά διαγράμματα του Πίνακα 6.8.1, στα οποία δεν έχουν σημειωθεί χάρη απλότητας τα βέλη των διανυσμάτων.

6.9 Παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστών.

Όταν ένας μετασχηματιστής δεν επαρκεί για την τροφοδότηση ενός φορτίου, π.χ. ενός δικτύου, τότε ή πρέπει να τον αντικαταστήσουμε με άλλο μεγαλύτερης ισχύος ή να συνδέσουμε παράλληλα με αυτόν ένα δεύτερο μετασχηματιστή, ο οποίος να πάρει ένα μέρος του φορτίου.

Για να μπορούν δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές να λειτουργήσουν παράλληλα πρέπει να εκπληρώνουν τις ακόλουθες συνθήκες:

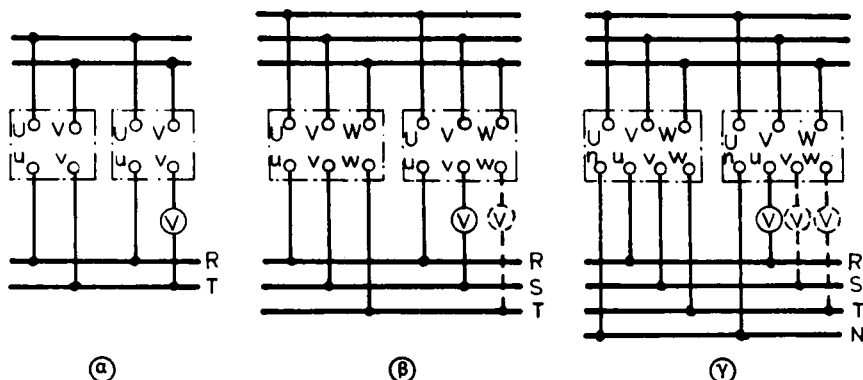
α) **Να είναι κατασκευασμένοι για την ίδια τάση πρωτεύοντος και για την ίδια τάση δευτερεύοντος.**

β) **Να ανήκουν στην ίδια ομάδα συνδεσμολογίας (Πίνακας 6.8.1).**

γ) **Να έχουν ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως.**

δ) **Να γίνει σωστή σύνδεση των αντιστοίχων ακροδεκτών.**

Οι τρεις πρώτες συνθήκες μπορούν εύκολα να εξακριβωθούν από τα στοιχεία, που είναι γραμμένα στις πινακίδες των μετασχηματιστών. Η εξακρίβωση της τέταρτης συνθήκης, αν δεν είμαστε βέβαιοι για την αντιστοιχία των ακροδεκτών, γίνεται με τη βοήθεια ενός βολτόμετρου που να έχει κλίμακα μετρήσεων διπλάσια της τάσεως του δευτερεύοντος των μετασχηματιστών. Το σχήμα 6.9 δείχνει τη χρήση του βολτόμετρου για το σκοπό αυτό στην περίπτωση μονοφασικών μετασχηματιστών (α), τριφασικών μετασχηματιστών χωρίς ουδέτερο (β) και τριφασικών μετασχηματιστών με ουδέτερο (γ).



Σχ. 6.9.

Ορθή σύνδεση ακροδεκτών.

Δηλαδή συνδέουμε τόν ένα ακροδέκτη τής Χ.Τ. του μετασχηματιστή πού πρόκειται νά παραλληλισθεί με τον αντίστοιχο ζυγό Χ.Τ. και έπειτα τοποθετούμε τό βολτόμετρο διαδοχικά μεταξύ τών λοιπών ακροδεκτών καί των αντίστοιχων ζυγών Χ.Τ. Σε καμιά περίπτωση το βολτόμετρο δεν πρέπει να δείξει τάση.

Αν εκπληρώνονται όλες οι συνθήκες που αναφέραμε, οι μετασχηματιστές θα λειτουργήσουν παράλληλα με απόλυτα ικανοποιητικό τρόπο και **καθένας θα αναλάβει από το συνολικό φορτίο ένα μέρος ανάλογο προς την ονομαστική του ισχύ.**

Στην πράξη όμως σπάνια συμβαίνει να έχουμε μετασχηματιστές με απόλυτα ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως. Γι' αυτό δεχόμαστε ότι η τρίτη συνθήκη ισχύει όταν οι τάσεις βραχυκυκλώσεως δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 10%. Όταν η διαφορά είναι μεγαλύτερη, ο μετασχηματιστής με τη μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως θα αναλάβει φορτίο μεγαλύτερο από αυτό που του αναλογεί με βάση την ισχύ του. Έτσι υπάρχει ενδεχόμενο ένας μικρός μετασχηματιστής που εργάζεται παράλληλα με ένα μεγάλο να υπερφορτωθεί. Για το λόγο αυτό δεν βάζουμε σε παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστές που έχουν σχέση ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερη από 3 : 1. Θα πρέπει μάλιστα ο μικρότερος μετασχηματιστής να έχει λίγο μεγαλύτερη τάση βραχυκυκλώσεως για να μην δημιουργούνται συνθήκες υπερφορτίσεώς του.

Όταν έχουμε μεγάλες διαφορές στις τάσεις βραχυκυκλώσεως, συνδέουμε σε σειρά με το μετασχηματιστή, που έχει τη μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως, ειδικά **στραγγαλιστικά πηνία**. Το μέγεθος αυτών των πηνίων προσδιορίζεται από τη διαφορά των τάσεων βραχυκυκλώσεως και από την ισχύ.

Παράδειγμα.

Δύο μετασχηματιστές με ονομαστική ισχύ $N_I = 40 \text{ kVA}$ και $N_{II} = 80 \text{ kVA}$ έχουν την ίδια τάση βραχυκυκλώσεως 4%. Αν οι μετασχηματιστές αυτοί εργασθούν παράλληλα για να τροφοδοτήσουν φορτίο $N' = 90 \text{ kVA}$, πόση ισχύ θα δώσει ο καθένας;

Λύση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο καθένας μετασχηματιστής δίνει μέρος της ισχύος ανάλογο με την ονομαστική του ισχύ. Αν ονομάσουμε τα μέρη αυτά N'_I και N'_{II} αντίστοιχα θα έχουμε:

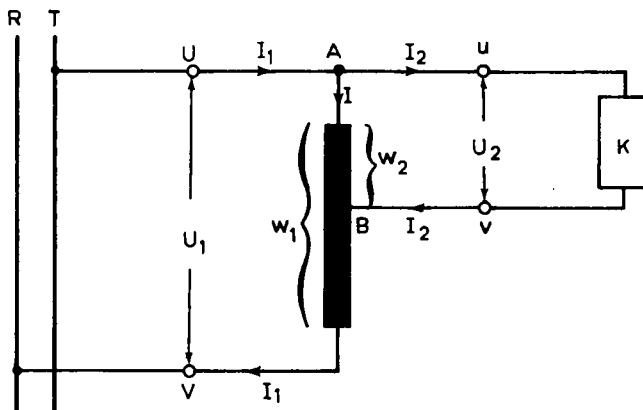
$$\begin{aligned} \frac{N'_I}{N_I} &= \frac{N'_{II}}{N_{II}} \quad \text{και} \quad N'_I + N'_{II} = N' \\ \text{ή} \quad \frac{N'_I}{40} &= \frac{N'_{II}}{80} \quad \text{και} \quad N'_I + N'_{II} = 90 \text{ kVA} \\ \text{ή} \quad N'_{II} &= 2 N'_I \quad \text{και} \quad N'_I + 2 N'_I = 90 \text{ kVA} \\ \text{ή} \quad N'_I &= \frac{90}{3} = 30 \text{ kVA} \quad \text{και} \quad N'_{II} = 2 \times 30 = 60 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι, όταν οι μετασχηματιστές έχουν μεταγωγείς με λήψεις τυλιγμάτων (εδάφιο 6.8.1), θα πρέπει οι μεταγωγείς σε όλους τους μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα να είναι στην ίδια θέση. Διαφορετικά θα

κυκλοφορήσουν ρεύματα μεταξύ των δευτερευόντων τυλιγμάτων των μετασχηματιστών, έστω και αν εκπληρώνονται οι συνθήκες παράλληλης λειτουργίας, που αναφέραμε στη αρχή αυτής της παραγράφου.

6.10 Αυτομετασχηματιστές.

Αυτομετασχηματιστής (μονοφασικός) είναι ο μετασχηματιστής, ο οποίος έχει ένα μόνο τυλίγμα, του οποίου τα άκρα αποτελούν τους ακροδέκτες U και V της υψηλής τάσεως. Οι ακροδέκτες u και v της χαμηλής τάσεως είναι συνδεδεμένοι με το ένα άκρο A του τυλιγματος και με μία ενδιάμεση λήψη B αυτού, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.10α. Άρα το τμήμα AB του τυλιγματος ανήκει και στο πρωτεύον και στο δευτερεύον του μετασχηματιστή.



Σχ. 6.10α.

Συνδεσμολογία μονοφασικού αυτομετασχηματιστή.

Όσα έχουμε αναφέρει για τις σχέσεις τάσεων και εντάσεων για το μονοφασικό μετασχηματιστή με δυο ξεχωριστά τυλίγματα (παράγρ. 6.6 και 6.7), ισχύουν και για το μονοφασικό αυτομετασχηματιστή. 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 τυλιγματος διαρρέεται από ένταση I , που είναι ίση με τη διαφορά των δύο εντάσεων I_1 και I_2 :

$$I = I_1 - I_2$$

Παράδειγμα.

Ένας αυτομετασχηματιστής 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 αυτομετασχηματιστής από το δίκτυο και η ένταση στο κοινό μέρος του τυλίγματός του.

Λύση.

Στον αυτομετασχηματιστή αυτό το δευτερεύον είναι το τύλιγμα Υ.Τ. (σχ. 6.10β). Οι σχέσεις ισχύουν όπως δόθηκαν. Συνεπώς έχουμε:

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2}$$

Άρα:
$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{120}{1/2} = 240 \text{ V}$$

Αφού η ωμική αντίσταση του καταναλωτή είναι $R_K = 20 \Omega$ θα έχουμε:

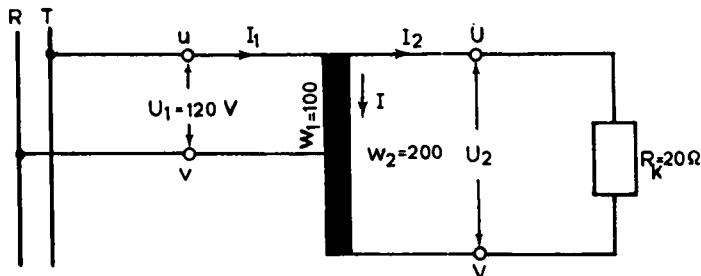
$$I_2 = \frac{U_2}{R_K} = \frac{240}{20} = 12 \text{ A}$$

Συνεπώς η ένταση που απορροφά ο αυτομετασχηματιστής από το δίκτυο τροφοδοτήσεως, είναι:

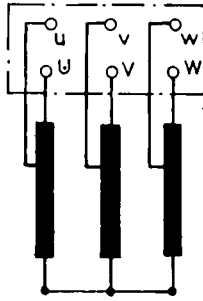
$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{12}{1/2} = 24 \text{ A}$$

και
$$I = I_1 - I_2 = 24 - 12 = 12 \text{ A}$$

Αποτέλεσμα της μειωμένη εντάσεως στο κοινό τμήμα του τυλίγματος των αυτομετασχηματιστών είναι ότι αυτό κατασκευάζεται με αγωγό μικρότερης διατομής. Συνεπώς οι αυτομετασχηματιστές απαιτούν μικρότερο βάρος αγωγών χαλκού από τους μετασχηματιστές με δύο τυλίγματα. Άλλο πλεονέκτημα των αυτομετασχηματιστών είναι ότι έχουν μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες, δηλαδή έχουν καλύτερο βαθμό αποδόσεως. Έχουν όμως και ένα σοβαρό μειονέκτημα. Επειδή υπάρχει το κοινό τμήμα του τυλίγματος, **η πλευρά της χαμηλής τάσεως δεν είναι ηλεκτρικά μονωμένη από την πλευρά της ψηλής τάσεως**. Αυτό δημιουργεί κινδύνους κατά τη χρήση τους. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις και κατασκευάζονται για σχέσεις μεταφοράς που πλησιάζουν τη μονάδα (π.χ. $1/2$).



Σχ. 6.10β.



Σχ. 6.10γ.

Τριφασικός αυτομετασχηματιστής.

Το σχήμα 6.10γ δείχνει τη συνδεσμολογία τριφασικού αυτομετασχηματιστή, ο οποίος, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στους μονοφασικούς αυτομετασχηματιστές, έχει σε κάθε ένα από τους τρεις κορμούς του πυρήνα από ένα μόνο τύλιγμα.

6.11 Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετασχηματιστών.

Στην πινακίδα που έχει κάθε μετασχηματιστής, (το σχ. 6.11 δείχνει μια τέτοια πινακίδα μετασχηματιστή διανομής της ΔΕΗ) εκτός από το όνομα του εργοστασίου 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 πρωτεύον από τριφασικό δίκτυο (πολικής) τάσεως 20.000 V, θα δώσει στο δευτερεύον χωρίς φορτίο τάση φασική μεν 231 V πολική δε 400 V. Σε ορισμένους μετασχηματιστές αντί της τάσεως του δευτερεύοντος χωρίς φορτίο δίνεται η τάση με το ονομαστικό φορτίο.

ε) Η **τάση βραχυκυκλώσεως** του μετασχηματιστή επί τοις εκατό, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο εδάφιο 6.7.4.

στ) Η **ομάδα** στην οποία ανήκει από άποψη **συνδεσμολογίας** (ζεύξεως) των τυλιγμάτων του ο (τριφασικός) μετασχηματιστής, π.χ. Dy1, (εδάφιο 6.8.3).

Η πινακίδα των μετασχηματιστών δεν γράφει συνήθως τις ονομαστικές εντάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, είναι όμως εύκολο να τις υπολογίσουμε από την ονομαστική ισχύ και τις ονομαστικές τάσεις.

(ΟΝΟΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ
DISTRIBUTION TRANSFORMER

Ιδιοκτησία Property of	Δ Ε Η	Τάση βραχυκυκλ. Impedance	4,5 %
Αύξοντας αριθμός Serial number		Αύξηση θερμ. λαδιού Oil temperature rise	55 °C
KVA	150	Ζεύξη Vector relation	DY 1
Τύπος Type		Οδηγίες Instruction card	
Φάσεις Phase	3	Patent No	
Συχνότητα Frequency	50	Ολικού βάρους Total weight	
Ονομ. τάση Rated voltage	20 000 231/400V	Βάρος ανυψώσεως Untanking weight	
Λήψεις Υ.Τ. H.V. Tappings	± 25 % ± 5 %	Βάρος λαδιού Oil weight	
		Έτος κατασκευής YAR of construction	
		Αριθμ. συμβάσεως Contract No	

Θέση διακόπτη Switch position	Συνδεσμολογία Υ.Τ. HV Connection	Λήψεις Taps
1	I - VI	-5 %
2	I - V	-25 %
3	II - V	0 %
4	II - IV	+25 %
5	III - IV	+5 %

130

200

Σχ. 6.11.

Ενδεικτική πινακίδα μετασχηματιστή Δ.Ε.Η.

6.12 Ισχύς, απώλειες και βαθμός αποδόσεως μετασχηματιστών.

α) Ισχύς.

Η πραγματική ισχύς που δίνει ένας μετασχηματιστής στο δευτερεύον του, όταν τροφοδοτεί κατανάλωση με τάση U_2 , ένταση I_2 και συνφ₂, δίνεται από τις σχέσεις:

Για μονοφασικό μετασχηματιστή:

$$N_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συνφ}_2$$

Για τριφασικό μετασχηματιστή:

$$N_2 = 1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συνφ}_2$$

Αντίστοιχα, η πραγματική ισχύς που ο μετασχηματιστής απορροφά από το δίκτυο είναι:

Για μονοφασικό μετασχηματιστή:

$$N_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \text{συνφ}_1$$

Για τριφασικό μετασχηματιστή:

$$N_1 = 1,73 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \text{συνφ}_1$$

όπου U_1 και I_1 είναι η τάση και η ένταση στο πρωτεύον του μετασχηματιστή και συνφ_1 ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος. Για τον υπολογισμό της φαινόμενης και άεργης ισχύος καθώς και του συνφ , τόσο στο πρωτεύον όσο και στο δευτερεύον των μετασχηματιστών, ισχύουν οι ίδιες ακριβώς σχέσεις που δίνονται στον πίνακα 5.14.1 για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

β) Απώλειες.

Οι απώλειες στους μετασχηματιστές είναι δυο ειδών:

α) **Ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού** (N_{η}), είναι αυτές που οφείλονται στο φαινόμενο Τζουλ, το οποίο δημιουργείται από το ρεύμα που κυκλοφορεί στα τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον). Οι απώλειες αυτές προσδιορίζονται με το πείραμα βραχυκυκλώσεως, που περιγράψαμε στο εδάφιο 6.7.4. Όταν η ένταση στο βραχυκυκλωμένο δευτερεύον γίνει ίση με την ονομαστική ένταση, η ένδειξη του βατομέτρου στο πρωτεύον δίνει τις ηλεκτρικές απώλειες για το ονομαστικό φορτίο του μετασχηματιστή. Στο πείραμα βραχυκυκλώσεως, επειδή έχει μικρή τιμή η τάση βραχυκυκλώσεως (συνήθως μέχρι 6 ή 7% της ονομαστικής τάσεως πρωτεύοντος), οι μαγνητικές απώλειες που θα δούμε παρακάτω είναι αμελητέες.

β) **Μαγνητικές απώλειες ή απώλειες σιδήρου** (N_{μ}), είναι αυτές που οφείλονται στην υστέρηση και στα δινορρέυματα του σιδερένιου πυρήνα του μετασχηματιστή. Οι απώλειες αυτές προσδιορίζονται με ένα πείραμα λειτουργίας του μετασχηματιστή χωρίς φορτίο στο δευτερεύον. Στο πρωτεύον, που τροφοδοτείται με την ονομαστική τάση, τοποθετούνται τα όργανα που δείχνει το σχήμα 6.7γ. Η ένδειξη του βατομέτρου δίνει τώρα τις μαγνητικές απώλειες του μετασχηματιστή, γιατί οι ηλεκτρικές απώλειες ($I_0^2 \cdot R_1$) είναι τώρα αμελητέες.

γ) Βαθμός αποδόσεως.

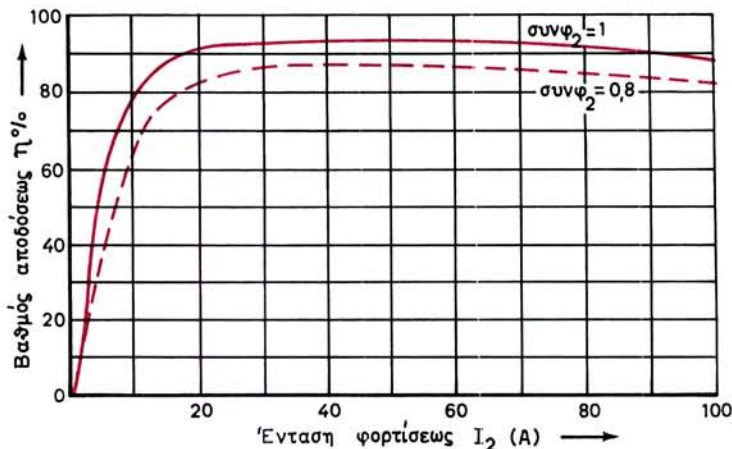
Βαθμός αποδόσεως ενός μετασχηματιστή είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος

που δίνει το δευτερεύον προς την πραγματική ισχύ που απορροφά το πρωτεύον, όταν αυτό τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση.

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

Για 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 6.12 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 ισχύος 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. 6.12.

Καμπύλη βαθμού αποδόσεως μετασχηματιστή.

Τις καμπύλες του σχήματος 6.12 μπορούμε να τις προσδιορίσουμε πειραματικά με μέτρηση (με βαττόμετρα) 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 ή αν τις έχουμε μετρήσει, όπως αναφέραμε παραπάνω, να υπολογίσουμε το βαθμό αποδόσεως από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

6.13 Βλάβες και επισκευές μετασχηματιστών.

Οι μετασχηματιστές δεν έχουν κινούμενα μέρη και έτσι οι φθορές και συνεπώς και οι βλάβες που παρουσιάζουν είναι πολύ λιγότερες από τις γεννήτριες και τους κινητήρες. Εκτός από τα αναφερόμενα παρακάτω για τις βλάβες, συμπληρωματικά στοιχεία για ανωμαλίες που αφορούν ειδικά το λάδι των μετασχηματιστών περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο 12 (Συντήρηση ηλεκτρικών μηχανών). Στο ίδιο κεφάλαιο επεξηγείται και η λειτουργία για το ρελαί προστασίας Μπούχολτς (Bucholtz), καθώς και οι βλάβες των μετασχηματιστών που επισημαίνουν.

Ανάλογα με το σύμπτωμα, με το οποίο εμφανίζονται, οι συνηθέστερες βλάβες των μετασχηματιστών είναι οι ακόλουθες:

1. Ο μετασχηματιστής υπερθερμαίνεται.

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Υπερφόρτιση	α) Να ελαττωθεί το φορτίο ή να τοποθετηθεί μεγαλύτερος μετασχηματιστής
β) Βραχυκύκλωμα στα τυλίγματα	β) Να αντικατασταθούν τα βραχυκυκλωμένα τυλίγματα
γ) Βραχυκύκλωμα στα ελάσματα του πυρήνα	γ) Να σταλεί για επισκευή
δ) Ο χώρος δεν αερίζεται καλά	δ) Να ληφθούν μέτρα για καλύτερο αερισμό του χώρου

2. Ο αυτόματος διακόπτης ανοίγει ή τήκονται οι ασφάλειες.

α) Βραχυκύκλωμα μεταξύ αγωγών φάσεως ή προς γη	α) Να βρεθεί το βραχυκύκλωμα και να επισκευασθεί
β) Διάσπαση της μονώσεως των ακροδεκτών ή βλάβη στη μόνωση του τυλίγματος	β) Να γίνει έλεγχος με Μέγκερ. Να αντικατασταθούν οι βλαμμένοι ακροδέκτες ή να γίνει επισκευή του βλαμμένου τυλίγματος
γ) Σοβαρή υπερφόρτιση	γ) Να ελαττωθεί το φορτίο

6.14 Ανακεφαλαίωση.

α) Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για την ανύψωση ή για τον υποβιβασμό της τάσεως του ρεύματος. Διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Άλλες διακρίσεις των μετασχηματιστών είναι:

- Ανάλογα με την ισχύ που μεταβιβάζουν, σε μετασχηματιστές ισχύος και μετασχηματιστές οργάνων μετρήσεως.
- Ανάλογα με τον τρόπο ψύξεως, σε ξηρούς μετασχηματιστές και μετασχηματιστές λαδιού.
- Ανάλογα με το χώρο που προορίζονται να εγκατασταθούν, σε μετασχηματιστές υπαίθρου και μετασχηματιστές κλειστού χώρου.

β) Το κύριο μέρος κάθε μετασχηματιστή, που ονομάζεται και ενεργό μέρος, είναι το μαγνητικό κύκλωμα (ή πυρήνας) με τα τυλίγματα. Σε κάθε μονοφασικό μετασχηματιστή υπάρχουν δυο τυλίγματα: το τύλιγμα υψηλής τάσεως και το τύλιγμα χαμηλής τάσεως. Το πρώτο αποτελείται από πολλές σπείρες λεπτού σύρματος, ενώ το δεύτερο από λιγότερες σπείρες χονδρότερου σύρματος. Το τύλιγμα που συνδέεται με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται πρωτεύον τύλιγμα και το άλλο δευτερεύον.

γ) Στους τριφασικούς μετασχηματιστές υπάρχουν τρία τυλίγματα υψηλής τάσεως και τρία τυλίγματα χαμηλής τάσεως, που τοποθετούνται στους τρεις κορμούς του πυρήνα.

δ) Κατά τη λειτουργία τους, οι μετασχηματιστές θερμαίνονται από τη θερμότητα των απωλειών. Η μετάδοση της θερμότητας αυτής στον περιβάλλοντα χώρο ονομάζεται ψύξη του μετασχηματιστή. Η θερμοκρασία στην οποία φθάνει ένας μετασχηματιστής δεν πρέπει να είναι επικίνδυνη για τις μονώσεις του. Αυτό εξασφαλίζεται με τη σωστή ψύξη του, που έχει προβλέψει ο κατασκευαστής. Αντίστοιχα, με τον τρόπο που εξασφαλίζεται η ψύξη, διακρίνουμε τους μετασχηματιστές σε ξηρούς με φυσική ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα και σε μετασχηματιστές λαδιού με φυσική ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού.

ε) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δίνει ένας μονοφασικός μετασχηματιστής στο δευτερεύον του δίνεται από τη σχέση:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{\mu} \quad \text{σε V}$$

Όμοια, η (αντι) ηλεκτρεγερτική δύναμη στο πρωτεύον είναι:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_{\mu} \quad \text{σε V}$$

στ) Στους τριφασικούς μετασχηματιστές, κάθε κορμός του πυρήνα με τα δυο τυλίγματά του συμπεριφέρεται σαν ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, στα τυλίγματα του οποίου αναπτύσσονται οι παραπάνω ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις.

ζ) Σχέση μεταφοράς του μετασχηματιστή ονομάζουμε το λόγο:

$$K = \frac{w_1}{w_2}$$

Ο λόγος αυτός είναι ίσος με το λόγο των αντίστοιχων ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων (ή των τάσεων χωρίς φορτίο) του μετασχηματιστή:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = K$$

η) Κατά τη λειτουργία μετασχηματιστή με φορτίο στο δευτερεύον, την ισχύ που απορροφά το φορτίο μαζί με την ισχύ των απωλειών του μετασχηματιστή τις δίνει (αυτόματα) το δίκτυο που τροφοδοτεί το πρωτεύον.

θ) Κατά τη λειτουργία μετασχηματιστή με φορτίο, ισχύουν με αρκετή προσέγγιση οι σχέσεις:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{και} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K$$

Αν ένας μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση στο δευτερεύον, θα υποβιβάζει με την ίδια περίπου σχέση την ένταση που κυκλοφορεί σ' αυτό. Επίσης, κατά προσέγγιση ισχύει η σχέση:

$$\sin \phi_1 = \sin \phi_2$$

ι) Στην πραγματικότητα, όταν ένας μετασχηματιστής λειτουργεί με φορτίο, η τάση στο δευτερεύον δεν είναι ίση με την τάση του χωρίς φορτίο.

Χαρακτηριστική φορτίου ενός μετασχηματιστή ονομάζουμε την καμπύλη, η οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση του δευτερεύοντος, όταν μεταβάλλεται το φορτίο του, με σταθερή τάση πρωτεύοντος και σταθερό συντελεστή ισχύος του φορτίου.

ια) Τάση βραχυκυκλώσεως ενός μετασχηματιστή ονομάζουμε την τάση του πρωτεύοντος, η οποία, όταν το δευτερεύον είναι βραχυκυκλωμένο, δημιουργεί σ' αυτό ένταση ίση με την ονομαστική του. Η τάση βραχυκυκλώσεως εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της ονομαστικής τάσεως του πρωτεύοντος.

ιβ) Σε ένα μονοφασικό μετασχηματιστή, τα τυλίγματα υψηλής και χαμηλής τάσεως είναι τοποθετημένα και στους δυο κορμούς του πυρήνα. Με λήψεις που τοποθετούμε στα τυλίγματα πετυχαίνουμε την κατασκευή μετασχηματιστών που μπορούν να λειτουργήσουν με περισσότερες από μια τάσεις στο πρωτεύον ή στο δευτερεύον. Επίσης, μερικές φορές τοποθετούνται για τον ίδιο σκοπό περισσότερα από ένα τυλίγματα στο δευτερεύον.

ιγ) Στους τριφασικούς μετασχηματιστές, τα τρία τυλίγματα υψηλής τάσεως μπορεί να συνδεσμολογηθούν σε τρίγωνο ή σε αστέρα. Τα τυλίγματα χαμηλής τάσεως, εκτός από τη ζεύξη σε τρίγωνο και σε αστέρα, συνδεσμολογούνται επίσης και σε τεθλασμένο αστέρα (ζιγκ-ζαγκ). Στη συνδεσμολογία σε αστέρα έχουμε:

$$U = 1,73 \cdot U_{\phi} \quad \text{και} \quad I = I_{\phi}$$

και στη συνδεσμολογία σε τρίγωνο:

$$U = U_{\phi} \quad \text{και} \quad I = 1,73 \cdot I_{\phi}$$

ιδ) Σύμφωνα με το διεθνή συμβολισμό, οι τριφασικοί μετασχηματιστές από την άποψη της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων τους, κατατάσσονται σε ομάδες που κάθε μια χαρακτηρίζεται με ένα από τους αριθμούς 0, 5, 6, 11. Η ζεύξη των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή χαρακτηρίζεται με γράμματα ως εξής:

- Σε τρίγωνο D, d
- Σε αστέρα Y, y
- Σε τεθλασμένο αστέρα Z, z

ιε) Οι συνθήκες παραλληλισμού δυο ή περισσότερων μετασχηματιστών είναι:

- Να είναι κατασκευασμένοι για την ίδια τάση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

- Να ανήκουν στην ίδια ομάδα συνδεσμολογίας.
- Να έχουν ίδιες τάσεις βραχυκυκλώσεως.
- Να γίνεται σωστή σύνδεση των αντίστοιχων ακροδεκτών.

Όταν πληρούνται οι συνθήκες αυτές στην παράλληλη λειτουργία τους, οι μετασχηματιστές μοιράζονται μεταξύ τους το συνολικό φορτίο, σε μέρη ανάλογα προς την ονομαστική ισχύ του καθενός.

ιστ) Ο αυτομετασχηματιστής έχει ένα μόνο τυλίγμα, τα άκρα του οποίου αποτελούν τα άκρα του τυλίγματος Υ.Τ. Το τυλίγμα Χ.Τ. ως άκρα του έχει το ένα άκρο του τυλίγματος Υ.Τ. και μια ενδιάμεση λήψη. Οι αυτομετασχηματιστές απαιτούν μικρότερο βάρος αγωγών χαλκού από τους μετασχηματιστές με δυο τυλίγματα, έχουν όμως το μειονέκτημα η πλευρά Χ.Τ. να μην είναι ηλεκτρικά μονωμένη από την πλευρά Υ.Τ.

ιζ) Η ισχύς που δίνει ένας μετασχηματιστής στο δευτερεύον του είναι:

Για μονοφασικό μετασχηματιστή $N_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2$

Για τριφασικό μετασχηματιστή $N_2 = 1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2$

Ανάλογες σχέσεις δίνουν και την ισχύ του πρωτεύοντος.

ιη) Οι απώλειες στους μετασχηματιστές είναι δυο ειδών:

- Ηλεκτρικές απώλειες, οι οποίες οφείλονται στο φαινόμενο Τζουλ, που δημιουργεί το ρεύμα όταν διαρρέει τους αγωγούς των τυλιγμάτων.
- Μαγνητικές απώλειες από υστέρηση και δινορρεύματα του σιδερένιου πυρήνα του μετασχηματιστή.

ιθ) Βαθμός αποδόσεως του μετασχηματιστή είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος του δευτερεύοντος προς την πραγματική ισχύ του πρωτεύοντος, όταν αυτό τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση. Ο βαθμός αποδόσεως, που μεταβάλλεται με την ένταση φορτίσεως και με το συνφ του φορτίου, δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + N_{\text{απ}}} = \frac{N_2}{N_2 + N_{\eta} + N_{\mu}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

7.1 Είδη και τύποι κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα, όπως α αφέραμε και στην παράγραφο 6.1, είναι η μορφή του ρεύματος που χρησιμοποιούν σήμερα όλες σχεδόν οι χώρες στα δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως των καταναλωτών τους. Οι ποικίλες ανάγκες των σύγχρονων κοινωνιών για την κίνηση διαφόρων μηχανημάτων τόσο στη βιομηχανία και βιοτεχνία όσο και στις αγροτικές, εμπορικές και οικιακές εφαρμογές απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικών κινητήρων που να εργάζονται με το εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ποικιλία των απαιτήσεων όλων αυτών των χρήσεων επέβαλε τη δημιουργία από τους κατασκευαστές μιας αντίστοιχης ποικιλίας ειδών και τύπων κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, που κάθε ένας τους είναι κατάλληλος για ορισμένες χρήσεις.

Πρώτα πρώτα από την άποψη του δικτύου τροφοδοτήσεως, για το οποίο είναι κατασκευασμένοι να εργάζονται, τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος τους διακρίνομε σε:

α) Τριφασικούς κινητήρες και

β) Μονοφασικούς κινητήρες.

Είτε τριφασικοί είναι οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος είτε μονοφασικοί, υπάγονται σε μια από τις ακόλουθες τρεις μεγάλες κατηγορίες:

α) Σύγχρονοι κινητήρες.

β) Ασύγχρονοι ή επαγωγικοί κινητήρες.

γ) Κινητήρες με συλλέκτη.

Κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές περιλαμβάνει διάφορα είδη κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια του βιβλίου.

α) Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι όμοιοι στην κατασκευή τους με τις σύγχρονες γεννήτριες, τις οποίες περιγράψαμε στην παράγραφο 5.2. Στους κινητήρες αυτούς η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι απόλυτα σταθερή και ανεξάρτητη από το φορτίο (σύγχρονη ταχύτητα). Κατασκευάζονται συνήθως μόνο ως τριφασικοί. Μικροί σύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες που κατασκευάζονται για ειδικές χρήσεις π.χ. για ηλεκτρικά ρολόγια κ.τ.λ. δεν θα εξετασθούν στο βιβλίο αυτό.

β) Οι ασύγχρονοι ή επαγωγικοί κινητήρες έχουν ταχύτητα που εξαρτάται από το φορτίο και είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη. Είναι κινητήρες γενικής χρήσεως αφού είναι απλοί στην κατασκευή τους και στη λειτουργία τους. Κατασκευάζονται ως μονοφασικοί και ως τριφασικοί και υπάρχουν αρκετά είδη από τον κάθε τύπο.

γ) Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με συλλέκτη είναι γενικά κινητήρες ειδικής χρήσεως. Χρησιμοποιούνται εκεί όπου τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους στη λειτουργία τους καθιστούν απαραίτητους. Κατασκευάζονται ως μονοφασικοί και ως τριφασικοί και υπάρχουν αρκετά είδη από τον κάθε τύπο. Η ταχύτητα περιστροφής τους που εξαρτάται από το φορτίο μπορεί να είναι ίση, μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα. Από την άποψη δηλαδή της ταχύτητας λειτουργίας ανήκουν και αυτοί στη μεγάλη κατηγορία των ασύγχρονων μηχανών. Εξετάζονται όμως πάντοτε ως ιδιαίτερη κατηγορία, λόγω της τελείως διαφορετικής κατασκευής τους.

1.2 Περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία. Σύγχρονη ταχύτητα.

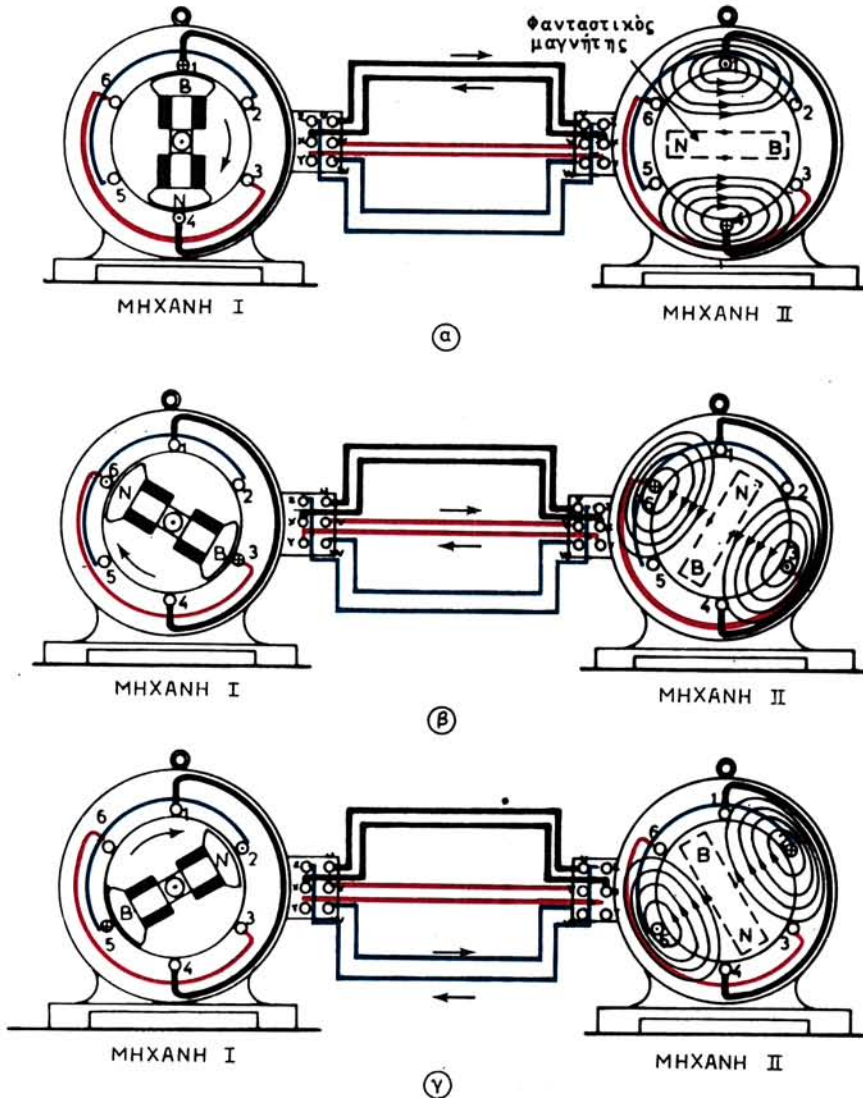
Όταν τροφοδοτήσουμε με ρεύμα το τριφασικό τύλιγμα του στάτη μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 5.6α), θα δημιουργηθεί στο διάκενο της μηχανής ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο θα περιστρέφεται περί τον άξονά της. Το πεδίο αυτό μοιάζει με το μαγνητικό πεδίο, ποζ δημιουργεί ο περιστρεφόμενος δρομέας ενός εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους. Η ουσιαστική διαφορά στην περίπτωση που εξετάζουμε, είναι ότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από το ακίνητο τριφασικό τύλιγμα του στάτη.

Για να εξηγήσουμε πώς δημιουργείται το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, θα χρησιμοποιήσουμε την απλή μηχανή, που δείχνει το σχήμα 7.2 στο δεξιό μέρος (μηχανή II). Η μηχανή αυτή έχει μέσα σε 6 αυλάκια στο στάτη διπολικό τριφασικό τύλιγμα, δηλαδή τύλιγμα διπολικής τριφασικής μηχανής. Κάθε φάση του τυλίγματος αποτελείται από μια ομάδα. Χάρη 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 εναλλακτήρα τελείως όμοιο στην κατασκευή του τυλίγματος [μηχανή I στο σχήμα 7.2]. Για τον ίδιο λόγο δεχόμαστε ότι η ένταση φορτίσεως του εναλλακτήρα είναι σε φάση με την αντίστοιχη ηλεκτρεγερτική δύναμη. Δηλαδή, όταν γίνεται μέγιστη η ηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύλιγμα μιας φάσεως του εναλλακτήρα γίνεται μέγιστη και η ένταση στο τύλιγμα της φάσεως αυτής άρα και στο τύλιγμα της αντίστοιχης φάσεως της μηχανής II.

Τη χρονική στιγμή που παριστάνει το σχήμα 7.2 (α), η ένταση στη φάση 1-4 της μηχανής II είναι μέγιστη. Η φορά της εντάσεως έχει σημειωθεί επάνω στους αντίστοιχους αγωγούς του τυλίγματος. Όπως παρατηρούμε από τους αγωγούς αυτούς 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.

Για λόγους απλότητας επίσης στο σχήμα 7.2 (α) δεν παριστάνονται οι εντάσεις στις άλλες δυο φάσεις (3-6 και 5-2). Όπως είναι γνωστό, τη χρονική στιγμή που η ένταση στη φάση 1-4 γίνεται μέγιστη, οι εντάσεις στις άλλες φάσεις έχουν τιμή το $1/2$ της μέγιστης και αντίθετη κατεύθυνση. Οι εντάσεις αυτές ενισχύουν το μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί η φάση 1-4, αλλά δεν του αλλάζουν κατεύθυνση.

Καθώς περιστρέφεται ο δρομέας του εναλλακτήρα, δηλαδή της μηχανής I, μετά από ορισμένο χρόνο, που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του, θα βρεθεί στη θέση που δείχνει το σχήμα 7.2 (β). Τώρα θα είναι μέγιστη η ένταση στη φάση 3-6 της μηχανής II. Το μαγνητικό πεδίο θα έχει την κατεύθυνση, που δείχνει το



Σχ. 7.2.

Δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

σχήμα 7.2 (β), δηλαδή θα έχει στραφεί σε σχέση με την κατεύθυνση, που είχε τη χρονική στιγμή του σχήματος 7.2(α) κατά γωνία ίση με τη γωνία στροφής του δρομέα του εναλλακτήρα.

Την ίδια παρατήρηση κάνουμε και για την κατεύθυνση, την οποία έχει το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος της μηχανής II τη χρονική στιγμή, που παριστάνει το σχήμα 7.2(γ), σε σχέση με αυτή του σχήματος 7.2(β). Το ίδιο διαπιστώνουμε και αν εξετάσουμε ενδιάμεσες θέσεις από αυτές, που παριστάνουν τα παραπάνω σχήματα. Μπορούμε συνεπώς να διατυπώσουμε το ακόλουθο συμπέρασμα:

Το μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί το τριφασικό τύλιγμα της μηχανής II, στρέφεται περί τον άξονα της μηχανής με την ίδια ταχύτητα, που περιστρέφεται και ο δρομέας της όμοιας σύγχρονης γεννήτριας I, που την τροφοδοτεί.

Το συμπέρασμα παραμένει το ίδιο, αν υποθέσουμε, ότι τα τυλίγματα των φάσεων των μηχανών I και II είναι αλληλένδετα (σε τρίγωνο ή σε αστέρα) και η τροφοδότηση γίνεται με 3 αγωγούς, αντί για 6 όπως στο σχήμα 7.2.

Το παραπάνω συμπέρασμα ισχύει και αν η μηχανή II έχει τύλιγμα για $2.p$ πόλους. Δημιουργείται πάλι περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, όπως είναι το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί στο διάκενο ο περιστρεφόμενος δρομέας εναλλακτήρα με $2.p$ εσωτερικούς πόλους. Π.χ. για τύλιγμα τετραπολικής μηχανής στο στάτη το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί το τύλιγμα, θα έχει τη μορφή που δείχνει το σχήμα 5.21α.

Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου της μηχανής II αλλάζει όταν αντι-μεταθέσουμε τη σύνδεση με τους ακροδέκτες του τυλίγματος σε δυο από τους τρεις τροφοδοτικούς αγωγούς. Αυτό όπως θα δούμε γίνεται όταν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής των σύγχρονων και ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Από όσα αναπτύχθηκαν παραπάνω συμπεραίνουμε ότι μεταξύ της συχνότητας f του ρεύματος, που τροφοδοτεί το τύλιγμα της μηχανής II, του αριθμού ζευγών των πόλων p του τυλίγματος και της ταχύτητας περιστροφής του μαγνητικού πεδίου n_s θα ισχύει η ίδια σχέση, που δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα ενός εναλλακτήρα (εδάφιο 5.4.2):

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

$$n_s = \frac{60.f}{p} \quad \text{σε στρ/min}$$

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 της μηχανής II** που είναι ο κινητήρας. Στην πραγματικότητα δηλαδή δεν έχει σημασία ο αριθμός των πόλων και η ταχύτητα περιστροφής του εναλλακτήρα, που τροφοδοτεί το δίκυτο, αλλά μόνο η συχνότητα του ρεύματος, που παράγει.

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

Ο πίνακας 7.2.1 δίνει τις σύγχρονες ταχύτητες των περιστρεφόμενων μαγνητικών πεδίων σε στρ/min για διάφορες συχνότητες του ρεύματος τροφοδοτήσεως και διάφορους αριθμούς πόλων ($2.p$).

7.3 Τυλίγματα μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ένα τριφασικό τύλιγμα ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο στάτη της μηχανής I (σχ. 7.2) που λειτουργούσε

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1
Σύγχρονες ταχύτητες n_s σε στρ/min

Αριθμός πόλων 2 · 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

σάν γεννήτρια, χρησιμοποιήθηκε και στη μηχανή II, στην οποία δημιουργήθηκε το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στο πεδίο αυτό, όπως θα εξηγήσουμε στα επόμενα, στηρίζεται η λειτουργία των τριφασικών κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα τυλίγματα του στάτη των τριφασικών κινητήρων είναι όμοια με τα τυλίγματα του στάτη των τριφασικών σύγχρονων γεννητριών. Το ίδιο ισχύει και για τα τυλίγματα των μονοφασικών γεννητριών, με τη διαφορά ότι στους κινητήρες τα μονοφασικά τυλίγματα δεν μπορούν να δημιουργήσουν μόνα τους περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία. Συνεπώς, όταν παρακάτω στην παράγραφο αυτή θα μιλάμε για τις αρχές με βάση τις οποίες διαμορφώνονται τα τυλίγματα των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, δεν θα κάνουμε διάκριση αν πρόκειται για γεννήτριες ή κινητήρες. Επίσης αναφέρουμε ότι με τις ίδιες αρχές διαμορφώνονται και τα τυλίγματα του δρομέα, σε όσες μηχανές ο δρομέας φέρει τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος. Σημειώνουμε ακόμα ότι στους ασύγχρονους κινητήρες, στους οποίους όπως θα δούμε δεν υπάρχουν μαγνητικοί πόλοι, δεχόμαστε για το τύλιγμα κάθε κινητήρα έναν αριθμό ζευγών μαγνητικών πόλων p (ανάλογα με την ταχύτητα που θέλουμε να έχει ο κινητήρας). Με βάση τον αριθμό αυτό, όπως και στις σύγχρονες μηχανές, διαμορφώνουμε το τύλιγμα ως διπολικό, τετραπολικό κ.τ.λ. Αυτός ο αριθμός ζευγών

μαγνητικών πόλων μπαίνει στη σχέση που δώσαμε στην προηγούμενη παράγραφο για τον υπολογισμό της σύγχρονης ταχύτητας του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Παρακάτω θα εξετάσουμε πρώτα τα μονοφασικά τυλίγματα. Τα είδη όμως, στα οποία θα κατατάξουμε τα τυλίγματα αυτά, ισχύουν και για τα τριφασικά τυλίγματα, που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

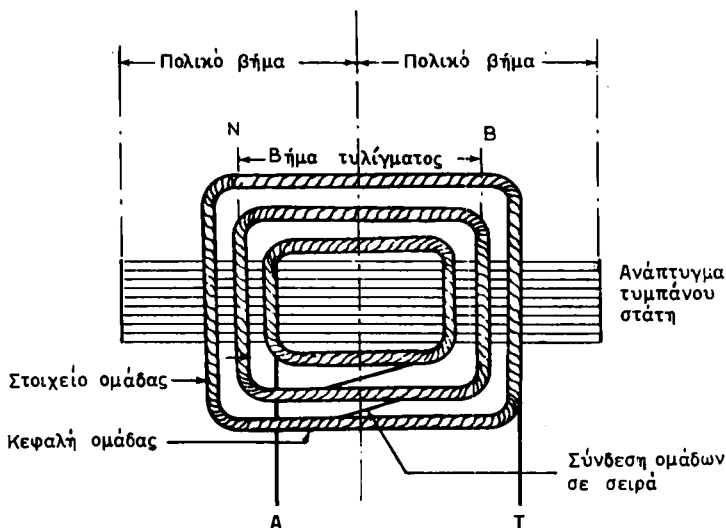
α) Μονοφασικά τυλίγματα.

Στο εδάφιο 5.2.2 είδαμε ότι τα τυλίγματα των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος κατασκευάζονται είτε ως τυλίγματα σε μια στρώση, είτε ως τυλίγματα σε δυο στρώσεις.

Τα **τυλίγματα σε μια στρώση**, όπως αναφέραμε εκεί, αποτελούνται από συγκροτήματα ομάδων, όπως αυτό του σχήματος 7.3α. Οι ομάδες του συγκροτήματος (τρεις στο σχήμα) είναι συνδεδεμένες σε σειρά, ώστε τελικά να μένουν ελεύθερα για σύνδεση τα δυο άκρα του συγκροτήματος Α (αρχή) και Τ (τέλος).

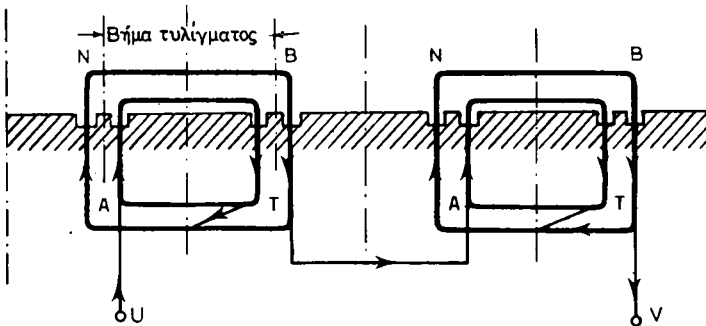
Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 7.3α, οι ομάδες του συγκροτήματος, που η μια περιβάλλει την άλλη, δεν έχουν όλες το ίδιο βήμα. Τα τυλίγματα τα οποία αποτελούνται από παρόμοια συγκροτήματα ομάδων, ονομάζονται ειδικότερα **συγκεντρικά τυλίγματα**. Σε αυτά το βήμα του τυλίγματος είναι ίσο με το βήμα της **μέσης ομάδας** του συγκροτήματος, όπως δείχνει το σχήμα. Επίσης από το ίδιο σχήμα παρατηρούμε ότι **το βήμα του τυλίγματος είναι ίσο με το πολικό βήμα**.

Υπάρχουν δυο τρόποι που κατασκευάζονται τα τυλίγματα σε μια στρώση. Κατά τον ένα τρόπο, σε κάθε διπλό πολικό βήμα έχουμε ένα συγκρότημα ομάδων από το τύλιγμα κάθε φάσεως. Δηλαδή έχουμε p συγκροτήματα ομάδων σε όλο το τύλιγμα (σχ. 7.3β). Τα τυλίγματα αυτά ονομάζονται **μισής περιελίξεως**, γιατί οι κεφαλές των ομάδων καλύπτουν περίπου το μισό της μετωπικής περιφέρειας του τυμπάνου.



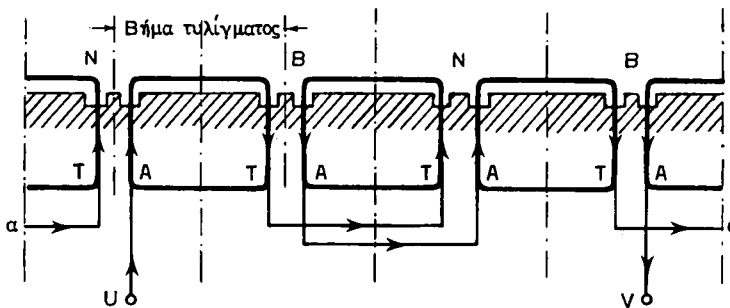
Σχ. 7.3α.

Συγκρότημα ομάδων συγκεντρικού τυλίγματος.



Σχ. 7.3β.

Μονοφασικό τύλιγμα σε μία στρώση, μισής περιελίξεως ($p=2$).



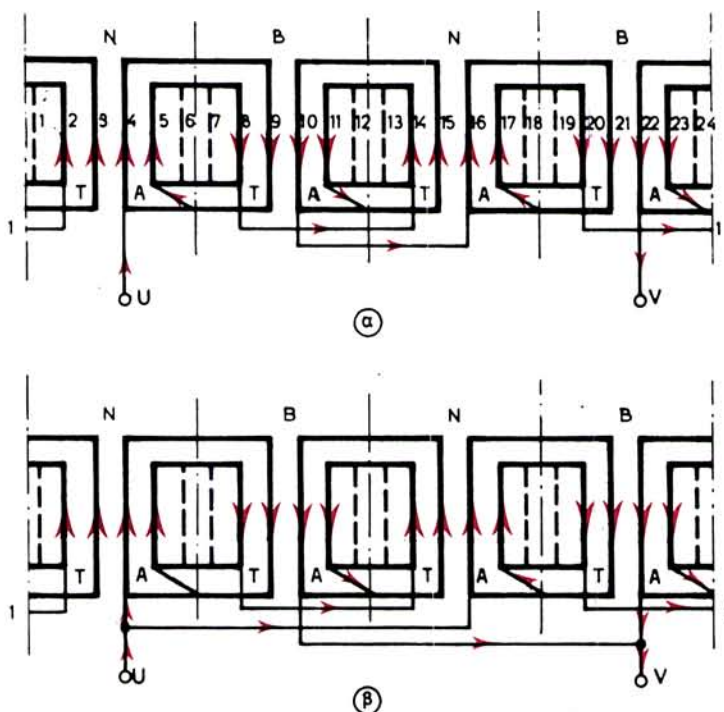
Σχ. 7.3γ.

Μονοφασικό τύλιγμα σε μία στρώση, πλήρους περιελίξεως ($p=2$).

Στο δεύτερο τρόπο κατασκευής των τυλιγμάτων, κάθε συγκρότημα του πρώτου τρόπου έχει διασπασθεί σε δυο συγκροτήματα, καθένα από τα οποία έχει το μισό αριθμό ομάδων, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3γ. Στο παράδειγμα αυτό κάθε συγκρότημα αποτελείται από μια ομάδα, αφού στο τύλιγμα του σχήματος 7.3β τα συγκροτήματα αποτελούνται από δυο ομάδες το καθένα. Στα τυλίγματα αυτά, που ονομάζονται **πλήρους περιελίξεως**, έχουμε $2 \cdot p$ συγκροτήματα σε όλο το τύλιγμα.

Στα τυλίγματα των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος τα βέλη στους αγωγούς (σχ. 7.3β και 7.3γ) δείχνουν τη φορά του ρεύματος σε μια χρονική στιγμή. Η σύνδεση των συγκροτημάτων μεταξύ τους πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι αγωγοί, που βρίσκονται μέσα σε ένα πόλο, να διαρρέονται από ρεύμα της ίδιας φοράς. Για να επιτευχθεί αυτό, όπως παρατηρούμε στο σχήμα 7.3β, στα τυλίγματα μισής περιελίξεως στη σύνδεση σε σειρά των συγκροτημάτων, συνδέουμε το τέλος T του ενός συγκροτήματος με την αρχή A του επομένου. Αντίθετα στα τυλίγματα πλήρους περιελίξεως συνδέουμε το τέλος T του πρώτου συγκροτήματος με το τέλος T του δεύτερου, κατόπιν την αρχή A αυτού με την αρχή A του επόμενου κ.ο.κ., όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3γ.

Το σχήμα 7.3δ δείχνει μονοφασικό τύλιγμα πλήρους περιελίξεως τετραπολικής μηχανής με συγκροτήματα που αποτελούνται το καθένα από δυο ομάδες. Στο επά-



Σχ. 7.36.

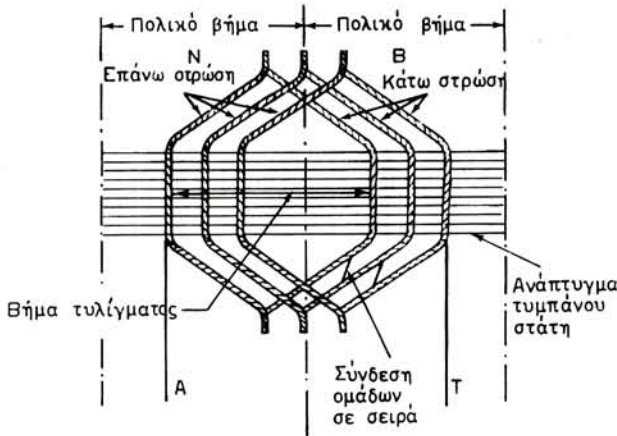
Σε σειρά (α) και μικτή σύνδεση (β) των συγκροτημάτων τυλίγματος.

νω μέρος (α) του σχήματος φαίνεται η σύνδεση των συγκροτημάτων σε σειρά και κάτω (β) η μικτή σύνδεση με δυο παράλληλους κλάδους. Το τύμπανο της μηχανής έχει 24 οδοντώσεις και, όπως παρατηρούμε, το $\frac{1}{3}$ των οδοντώσεων δεν φέρει αγωγούς. Αυτό συμβαίνει συχνά στα τυλίγματα μονοφασικών κινητήρων (χωρίς βοηθητικό τύλιγμα). Είναι εύκολο να εννοήσει κανείς, ότι το τύλιγμα (β) του σχήματος 7.36 είναι κατάλληλο για να λειτουργεί με τάση ίση με το μισό της τάσεως του (α) και ότι απορροφά διπλάσια ένταση.

Όπως είδαμε, τα συγκεντρικά τυλίγματα έχουν συγκροτήματα, των οποίων οι ομάδες είναι άνισες μεταξύ τους. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα για τη βιομηχανική κατασκευή τους με τη βοήθεια αυτόματων περιελκτικών μηχανών. Για το λόγο αυτό επινοήθηκαν και τυλίγματα μιας στρώσεως, που έχουν όλες τις ομάδες όμοιες μεταξύ τους.

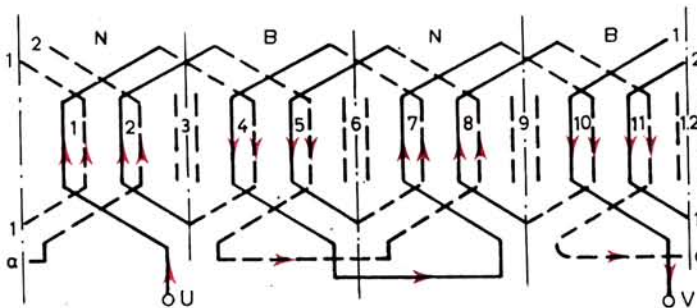
Τα τυλίγματα σε δυο στρώσεις κατασκευάζονται συνήθως ως βροχοτυλίγματα και σπάνια ως κυματοτυλίγματα ή συγκεντρικά. Το σχήμα 7.3ε παριστάνει συγκρότημα ομάδων από βροχοτύλιγμα σε δυο στρώσεις. Το συγκρότημα αυτό αποτελείται από τρεις ομάδες συνδεδεμένες σε σειρά. Οι ομάδες είναι όλες όμοιες μεταξύ τους και το βήμα του τυλίγματος είναι τώρα ίσο με το βήμα μιας ομάδας, που μετριέται σε αριθμό οδοντώσεων (αυλακιών) του τυμπάνου. Στην περίπτωση του σχήματος, το βήμα του τυλίγματος είναι ίσο με το πολικό βήμα.

Με την αρχή Α και το τέλος Τ το συγκρότημα αυτό συνδέεται με τα υπόλοιπα συγκροτήματα του τυλίγματος. Στα τυλίγματα σε δυο στρώσεις οι συνδέσεις μετα-



Σχ. 7.3ε.

Συγκρότημα ομάδων τυλίγματος σε δύο στρώσεις.



Σχ. 7.3στ.

Μονοφασικό τύλιγμα σε δύο στρώσεις.

ξύ των συγκροτημάτων γίνονται: τέλος με τέλος, αρχή με αρχή, δηλαδή, όπως στα τυλίγματα πλήρους περιελίξεως. Ο αριθμός των συγκροτημάτων σε όλο το τύλιγμα είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων $2.p$. Το σχήμα 7.3στ δίνει παράδειγμα μονοφασικού βροχοτυλίγματος σε δυο στρώσεις για τετραπολική μηχανή. Με συνεχή γραμμή παριστάνονται τα στοιχεία των ομάδων, που βρίσκονται στην επάνω στρώση και με διακοπόμενη γραμμή αυτά που βρίσκονται στην κάτω στρώση. Το τύμπανο της μηχανής έχει συνολικά 12 οδοντώσεις (αυλάκια), στις 4 από τις οποίες δεν έχουν τοποθετηθεί στοιχεία.

Στο στάτη των ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων τοποθετείται πολλές φορές ένα δεύτερο μονοφασικό τύλιγμα που ονομάζεται **βοηθητικό τύλιγμα**. Το τύλιγμα αυτό βοηθάει στη δημιουργία του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, κυρίως κατά την εκκίνηση του μονοφασικού κινητήρα, γιατί, όπως θα δούμε, τα μονοφασικά τυλίγματα μόνα τους δεν δημιουργούν περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία.

Το βοηθητικό τύλιγμα, για να εκπληρώνει τον προορισμό του, πρέπει να είναι

μετατοπισμένο επάνω στο τύμπανο, σε σχέση με το κύριο τύλιγμα, κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες ή κατά γεωμετρική γωνία:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} = \frac{90}{p} \text{ γεωμετρικές μοίρες}$$

Οι αγωγοί του βοηθητικού τυλίγματος τοποθετούνται μέσα στα αυλάκια, που δεν καταλαμβάνονται από το κύριο τύλιγμα και μερικές φορές και μέσα σε αυλάκια, στα οποία υπάρχουν και αγωγοί του κύριου τυλίγματος.

Παράδειγμα.

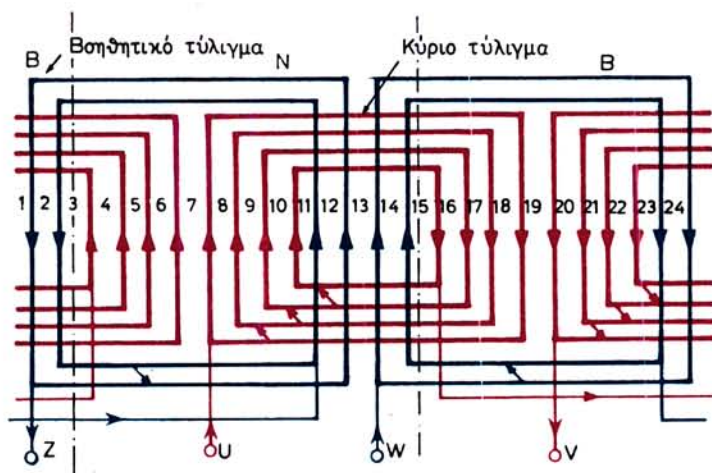
Το σχήμα 7.3ζ δείχνει το κύριο και βοηθητικό τύλιγμα μονοφασικού διπολικού κινητήρα με 24 οδοντώσεις στο στάτη. Κάθε τύλιγμα είναι κατασκευασμένο ως συγκεντρικό πλήρους περιελίξεως. Το κύριο τύλιγμα πιάνει 16 οδοντώσεις και το βοηθητικό τις υπόλοιπες 8. Η αρχή W του βοηθητικού τυλίγματος είναι μετατοπισμένη σχετικά με την αρχή U του κύριου τυλίγματος κατά:

$$\theta = \frac{90}{p} = \frac{90}{1} = 90 \text{ γεωμετρικές μοίρες}$$

που αντιστοιχούν σε αριθμό οδοντώσεων του τυμπάνου:

$$z \cdot \frac{\theta}{360} = 24 \times \frac{90}{360} = 6 \text{ οδοντώσεις}$$

όπου z είναι ο ολικός αριθμός οδοντώσεων του τυμπάνου.



Σχ. 7.3ζ.

Διπολικό τύλιγμα σε μία στρώση μονοφασικού κινητήρα με βοηθητικό τύλιγμα.

β) Τριφασικά τυλίγματα.

Στα τριφασικά τυλίγματα, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 5.6, οι τρεις φάσεις είναι μετατοπισμένες μεταξύ τους κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες. Το σχήμα 5.6α παριστάνει τριφασικό τύλιγμα σε μια στρώση στην απλούστερή του μορφή.

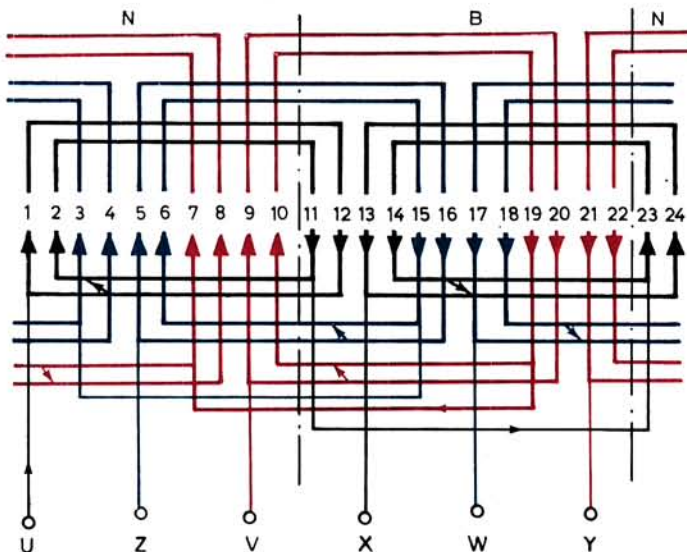
Το σχήμα 7.3η δείχνει ένα άλλο τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα σε μια στρώση. Το τύλιγμα αυτό είναι διπολικό, πλήρους περιελίξεως με 24 οδοντώσεις. Συνελώς η μετατόπιση της αρχής V της δεύτερης φάσεως από την αρχή U της πρώτης φάσεως και της αρχής W της τρίτης φάσεως από την αρχή V της δεύτερης θα είναι:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} = \frac{120}{1} = 120 \text{ γεωμ. μοίρες}$$

$$\text{ή} \quad z \cdot \frac{\theta}{360} = 24 \times \frac{120}{360} = 8 \text{ οδοντώσεις}$$

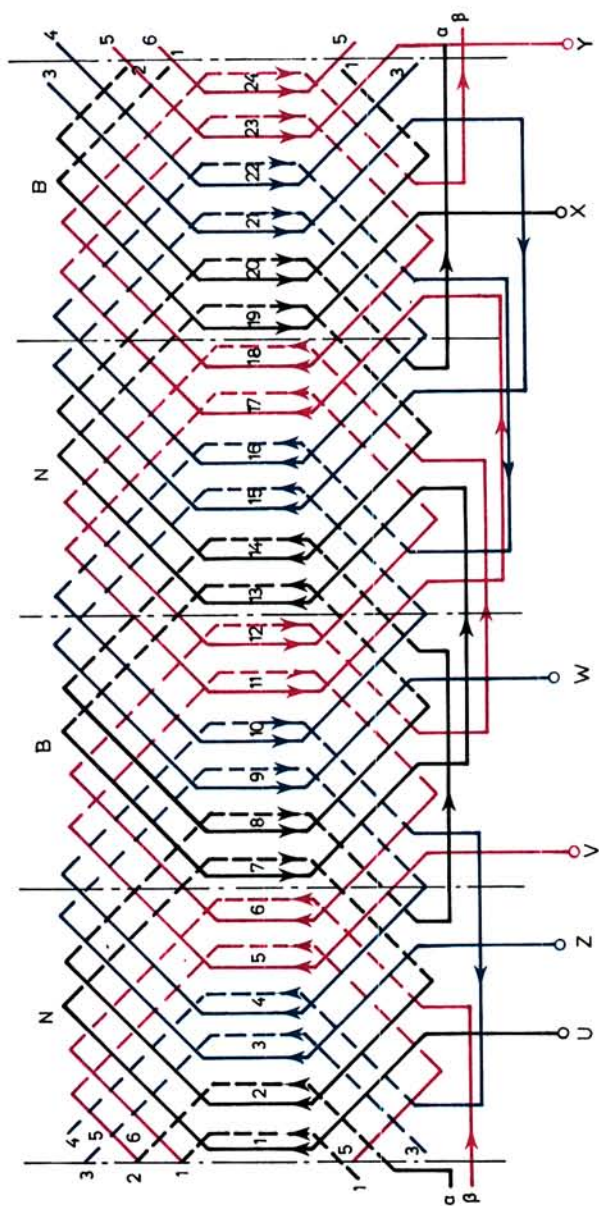
Κάθε φάση αποτελείται από δυο συγκροτήματα (όσος είναι ο αριθμός των πόλων) συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά. Όπως είναι γνωστό τα έξι άκρα U - X, V - Y και W - Z των τριών φάσεων καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες της μηχανής (σχ. 5.6γ). Εκεί με ελάσματα γίνεται η συνδεσμολογία των φάσεων σε αστέρα (σχ. 5.6δ) ή σε τρίγωνο (σχ. 5.6ε), είτε το τύλιγμα ανήκει σε γεννήτρια είτε ανήκει σε κινητήρα.

Στα τριφασικά τυλίγματα σε μια στρώση, ο συνολικός αριθμός των ομάδων είναι ίσος με το μισό του αριθμού των οδοντώσεων του τυμπάνου. Στο παράδειγμα αυτό με 24 οδοντώσεις έχουμε τύλιγμα που αποτελείται από 12 ομάδες.



Σχ. 7.3η.

Τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα σε μία στρώση, διπολικής μηχανής.



Σχ. 7.3θ.

Τριφασικό τύλιγμα σε δύο στρώσεις, τετραπολικής μηχανής.

Παράδειγμα.

Το σχήμα 7.3θ δείχνει τριφασικό τυλίγμα σε δυο στρώσεις τετραπολικής μηχανής με 24 οδοντώσεις. Η μετατόπιση της μιας φάσεως προς την άλλη είναι ίση με 4 οδοντώσεις όπως προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις για $p=2$ και $z=24$. Όπως παρατηρούμε, το τυλίγμα αποτελείται από $2.p=4$ συγκροτήματα ομάδων σε κάθε φάση, καθένα από τα οποία έχει δυο ομάδες. Στα τριφασικά τυλίγματα σε δυο στρώσεις ο αριθμός των ομάδων είναι ίσος με τον αριθμό των οδοντώσεων, δηλαδή εδώ έχουμε 24 ομάδες.

Τόσο στα μονοφασικά όσο και στα τριφασικά τυλίγματα **ο αριθμός των οδοντώσεων z , που αντιστοιχούν σε ένα πολικό βήμα** δίνεται από τη σχέση:

$$z_1 = \frac{z}{2.p}$$

όπου z ο ολικός αριθμός οδοντώσεων του τυμπάνου και

p ο αριθμός ζευγών μαγνητικών πόλων.

Ο αριθμός των οδοντώσεων z_2 που αντιστοιχούν σε κάθε πολικό βήμα και φάση είναι:

$$z_2 = \frac{z_1}{3} \text{ για τα τριφασικά τυλίγματα}$$

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot z_1 \text{ για τα μονοφασικά τυλίγματα (συνήθως)}$$

Π.χ. στο παράδειγμα του σχήματος 7.3θ είναι:

$$z = 24$$

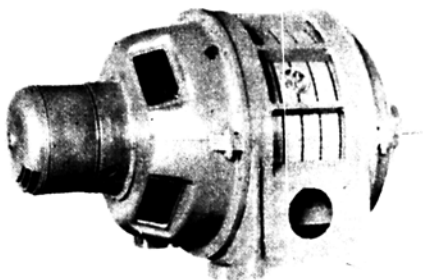
$$z_1 = \frac{z}{2.p} = \frac{24}{2.2} = 6 \text{ οδοντώσεις}$$

$$z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ οδοντώσεις}$$

Στο παράδειγμα αυτό, το βήμα του τυλίγματος έχει εκλεγεί ίσο με το πολικό βήμα, δηλαδή 6 οδοντώσεις (βήμα 1-7).

7.4 Κατασκευή των σύγχρονων κινητήρων.

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι μηχανές όμοιες στην κατασκευή τους με τις σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες. Όταν ένας εναλλακτήρας τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο, δίνει μηχανική ενέργεια στον άξονά του. Γίνεται δηλαδή σύγχρονος κινητήρας. Για την εκκίνηση όμως του σύγχρονου κινητήρα, όπως θα εξηγήσουμε σε επόμενη παράγραφο, πρέπει να ληφθούν ορισμένα μέτρα,



Σχ. 7.4.
Σύγχρονος κινητήρας.

χωρίς τα οποία δεν είναι δυνατό να ξεκινήσει.

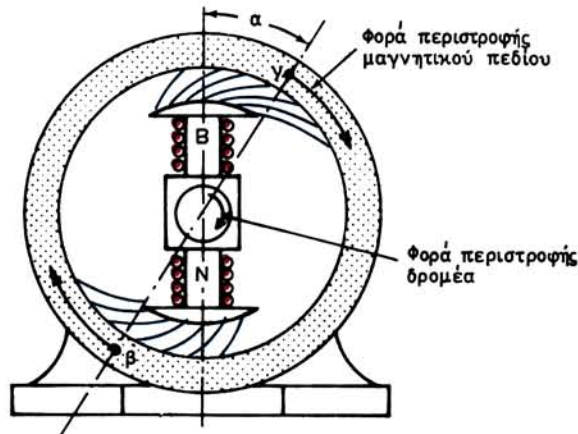
Η περιγραφή της κατασκευής των εναλλακτών (παράγρ. 5.2) ισχύει και για τους σύγχρονους κινητήρες. Το σχήμα 7.4 δείχνει ένα σύγχρονο κινητήρα γενικής χρήσεως. Στο βιβλίο αυτό θα ασχοληθούμε μόνο με τους τριφασικούς σύγχρονους κινητήρες. Όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω, η αρχή της λειτουργίας των κινητήρων αυτών στηρίζεται στο περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το τυλίγμα του στάτη, όταν ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος με εσωτερικούς πόλους. Όταν έχει εξωτερικούς πόλους, η αρχή λειτουργίας είναι ακριβώς η ίδια, με μονη διαφορά ότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το δημιουργεί τότε το τυλίγμα του δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται με φορά αντίθετη από τη φορά του πεδίου.

7.5 Αρχή λειτουργίας των σύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των κινητήρων αυτών θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα 7.5, στο οποίο παριστάνεται ένας διπολικός σύγχρονος κινητήρας με απλοποιημένη μορφή. Στο σχήμα δεν έχει σχεδιασθεί το τυλίγμα του στάτη, δεχόμεστε όμως ότι το τυλίγμα αυτό τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και ότι συνεπώς δημιουργεί ένα διπολικό μαγνητικό πεδίο. Για απλότητα το παριστάνουμε στο σχήμα με τους δυο (φανταστικούς) πόλους α και β , οι οποίοι περιστρέφονται, σύμφωνα με όσα αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, με τη σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου κατά τη φορά που δείχνουν τα τόξα στο σχήμα.

Δεχόμεστε επίσης, ότι ο δρομέας του σύγχρονου κινητήρα περιστρέφεται και αυτός με τη σύγχρονη ταχύτητα κατά την ίδια φορά με το μαγνητικό πεδίο. Τα τυλίγματα του δρομέα τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα και συνεπώς δημιουργούν τους δυο (πραγματικούς) μαγνητικούς πόλους Β και Ν.

Με τις παραπάνω παραδοχές είναι εύκολο να αντιληφθούμε, ότι οι περιστρεφόμενοι πόλοι α και β του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη ασκούν ελκτικές δυνάμεις στους ετερόνυμους πόλους Β και Ν του δρομέα, που περιστρέφονται και αυτοί με την ίδια ταχύτητα. Οι ελκτικές αυτές δυνάμεις έχουν σημειωθεί παραστατικά στο σχήμα 7.5 με γαλάζιες γραμμές. Οι εφαιπομενικές συνιστώσες (κάθετες προς τον άξονα Β - Ν των πόλων) των δυνάμεων αυτών ασκούν ροπή στο δρομέα, ο οποίος μπορεί έτσι να κινήσει το φορτίο που έχει στον άξονά του.



Σχ. 7.5.

Αν δεχθούμε ότι είναι αμελητέα η ωμική αντίσταση του τυλίγματος του στάτη, δηλαδή ότι το τύλιγμα αυτό έχει αμελητέες ηλεκτρικές απώλειες, είναι εύκολο να υπολογίσουμε τη ροπή T , την οποία το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ασκεί στο δρομέα. Η πραγματική ισχύς, την οποία ο κινητήρας απορροφά από το τριφασικό δίκτυο, είναι:

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

Η ισχύς αυτή μεταβιβάζεται όλη (αφού αμελήσαμε τις ηλεκτρικές απώλειες) στο δρομέα μέσω των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων ως μηχανική ισχύς, η οποία όπως γνωρίζουμε, είναι ίση με $2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T$.

Άρα:

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

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

όπου: N_1 είναι η πραγματική ισχύς σε W που απορροφά ο κινητήρας,

U η πολιτική τάση σε V του δικτύου,

I η ένταση γραμμής σε A που απορροφά ο κινητήρας,

$\cos\phi$ ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα και

n_s η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα σε στρ/s.

Απο τη ροπή αυτή μικρό μέρος ξοδεύεται για την υπερνίκηση των μηχανικών και των μαγνητικών απωλειών του δρομέα και το υπόλοιπο κινεί το φορτίο, που είναι στον άξονα του κινητήρα.

Όταν το φορτίο είναι μηδενικό, οι άξονες των πόλων ν , β και B, N σχεδόν συμπίπτουν. Δηλαδή η γωνία α του σχήματος 7.5 γίνεται πολύ μικρή γιατί οι επαπτομενικές συνιστώσες των ηλεκτρικών δυνάμεων έχουν να υπερνικήσουν μόνο τις μηχανικές και μαγνητικές απώλειες του κινητήρα.

Όταν το φορτίο του κινητήρα αυξηθεί, ο δρομέας καθυστερεί για λίγο, ώστε να αυξηθεί η γωνία α . Η γωνία αυτή δεν πρέπει να υπερβεί το μισό της γωνιακής αποστασεως μεταξύ δυο διαδοχικών πόλων ν και β (τις 90° στην περίπτωση του σχήματος 7.5), οπότε γίνεται μέγιστη η ροπή του κινητήρα. Αν η γωνία αυτή γίνει μεγαλύτερη, λόγω αύξησεως του φορτίου πέρα από ένα όριο, η περιστροφή του δρομέα του σύγχρονου κινητήρα δεν είναι πια δυνατή. Ο δρομέας **απαγκιστρώνεται από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και σταματά απότομα**.

Δηλαδή **οι σύγχρονοι κινητήρες δεν είναι δυνατό να λειτουργήσουν παρά μόνο αν περιστρέφονται με ταχύτητα ακριβώς ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα**. Άρα, η ταχύτητα περιστροφής ενός σύγχρονου κινητήρα δίνεται από την ίδια σχέση, που δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (παράγρ. 7.2).

Το συμπέρασμα αυτό εξηγεί επίσης και το γιατί **οι σύγχρονοι κινητήρες δεν μπορούν να ξεκινήσουν μόνοι τους**. Όταν στην εκκίνηση κλείσουμε το διακόπτη, ο οποίος τροφοδοτεί το τύλιγμα του κινητήρα με εναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργείται αμέσως το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας όμως του κινητήρα δεν είναι δυνατό, λόγω των δυνάμεων της αδράνειας, να αποκτήσει και αυτός αμέσως τη συγχρονη ταχύτητα. Θα πρέπει δηλαδή ο κινητήρας να λειτουργήσει στην εκκίνηση για ορισμένο χρονικό διάστημα με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη ταχύτητα. Αυτό όμως, όπως είδαμε, είναι αδύνατο για τους σύγχρονους κινητήρες.

Κατά τη λειτουργία **του σύγχρονου κινητήρα η φορά περιστροφής είναι η ίδια με τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου**. Άρα **για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου**. Στην παράγραφο 7.2 αναφέρομε με ποια μεταβολή στη σύνθεση των τροφοδοτικών αγωγών το πετυχαίνουμε.

7.6 Εκκίνηση των σύγχρονων κινητήρων.

Για την εκκίνησή τους οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν ανάγκη από ένα εξωτερικό μέσο, π.χ. από ένα μικρό βοηθητικό ασύγχρονο κινητήρα, για να τους θέσουμε προοδευτικά σε κίνηση και να τους φέρομε στη σύγχρονη ταχύτητα. Επειδή ο βοηθητικός αυτός κινητήρας έχει μικρή ισχύ, πρέπει η εκκίνηση να γίνεται χωρίς φορτίο στον άξονα του σύγχρονου κινητήρα.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας φθάσει στη σύγχρονη ταχύτητα, τροφοδοτούμε τη διεγέρσή του με συνεχές ρεύμα. Τώρα ο σύγχρονος κινητήρας συμπεριφέρεται σαν εναλλακτήρας, αφού κινείται ακόμη από το βοηθητικό κινητήρα. Για να τον συνδέσουμε λοιπόν στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, δηλαδή για να τροφοδοτήσουμε το τύλιγμα του στάτη, πρέπει πρώτα να τον συγχρονίσουμε με το δίκτυο, όπως ακριβώς κάνουμε με τους εναλλακτήρες (παράγρ. 5.12). Έτσι οι εγκαταστάσεις των συγχρόνων κινητήρων περιλαμβάνουν και τα απαιτούμενα για το συγχρονισμό όργανα.

Μετά το συγχρονισμό διακόπτομε την τροφοδότηση του βοηθητικού κινητήρα, που χρησιμοποιήσαμε για την εκκίνηση και αν υπάρχει κατάλληλη διάταξη τον αποσυνπλέκομε από τον άξονα του σύγχρονου κινητήρα. Είναι φανερό ότι ο βοηθητικός κινητήρας, πρέπει να έχει τέτοια ταχύτητα περιστροφής, ώστε να μπορεί να δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα στο σύγχρονο κινητήρα.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμεύει για να κινεί γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, άλλος τρόπος για να τον βάλουμε σε κίνηση είναι να μετατρέπομε στην εκκίνηση τη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος σε κινητήρια. Αυτό βεβαίως προϋποθέτει ότι διαθέτομε κατάλληλη πηγή συνεχούς ρεύματος.

Τέλος, άλλος τρόπος είναι να γίνει η εκκίνηση του σύγχρονου κινητήρα σαν ασύγχρονου. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας έχει από την κατασκευή του στα πέδιλα των μαγνητικών πόλων ένα τύλιγμα κλωβού, όπως αυτό που, όπως θα δούμε, έχουν οι ασύγχρονοι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα. Η εκκίνηση του σύγχρονου κινητήρα γίνεται τώρα με ένα από τους τρόπους, με τους οποίους εκκινούν οι ασύγχρονοι κινητήρες (θα τους περιγράψομε στο επόμενο κεφάλαιο) και χωρίς να τροφοδοτείται η διέγερσή του με συνεχές ρεύμα. Με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα περιστροφής του σύγχρονου κινητήρα φθάνει σε μία τιμή 2 ως 5% μικρότερη της σύγχρονης. Τότε κλείνομε το κύκλωμα, που τροφοδοτεί το τύλιγμα της διεγέρσεως με συνεχές ρεύμα και ο **κινητήρας αυτοσυγχρονίζεται**, οπότε περιστρέφεται πια με το σύγχρονο αριθμό τροφών. Η μέθοδος αυτή της εκκινήσεως των συγχρόνων κινητήρων εφαρμόζεται σήμερα πολύ, γιατί έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται βοηθητικό κινητήρα ούτε πηγή συνεχούς ρεύματος. Επίσης αποφεύγεται με αυτή η διαδικασία του συγχρονισμού και τα όργανα που απαιτούνται για το σκοπό αυτό. Τέλος, με τη μέθοδο αυτή ο κινητήρας μπορεί να ξεκινά με φορτίο, όπως γίνεται και με τους ασύγχρονους κινητήρες.

7.7 Λειτουργία των σύγχρονων κινητήρων.

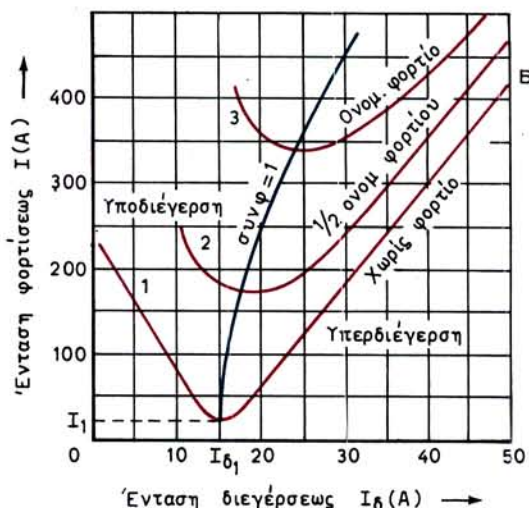
Όταν ο σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο στον άξονά του, η ένταση (ένταση φορτίσεως), που απορροφά από το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, εξαρτάται από την ένταση διεγέρσεως I_{δ} με την οποία τροφοδοτείται το τύλιγμα των πόλων του δρομέα.

Η καμπύλη 1 στο σχήμα 7.7 δείχνει πώς μεταβάλλεται η ένταση I , όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως I_{δ} , στη λειτουργία χωρίς φορτίο του σύγχρονου κινητήρα. Την I_{δ} τη ρυθμίζομε με ένα από τους τρόπους που αναφέραμε στην παράγραφο 5.8 για τη ρύθμιση της διεγέρσεως των εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 7.7, η καμπύλη 1 έχει περίπου σχήμα V. Για μια ορισμένη τιμή I_{δ_1} της εντάσεως διεγέρσεως, η ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη (I_1). **Με τη διέγερση αυτή, που ονομάζεται κανονική διέγερση, ο σύγχρονος κινητήρας φορτίζει το δίκτυο ωμικά. Τότε η τάση του δικτύου και η ένταση I_1 είναι σε φάση, δηλαδή ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα είναι ίσος με 1 (συνφ=1).**

Για κάθε άλλη τιμή της εντάσεως διεγέρσεως, μικρότερη ή μεγαλύτερη της I_{δ_1} , η ένταση φορτίσεως μεγαλώνει. Άρα το συνφ του κινητήρα γίνεται μικρότερο της μονάδας και μάλιστα τόσο μικρότερο, όσο η I είναι μεγαλύτερη. Όταν η ένταση διεγέρσεως γίνει μικρότερη της I_{δ_1} , λέμε ότι ο σύγχρονος κινητήρας **υποδιεγείρεται**, και όταν γίνει μεγαλύτερη, ότι **υπερδιεγείρεται**.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας φορτισθεί και λειτουργεί με σταθερό φορτίο, πάλι η ένταση, που απορροφά από το δίκτυο, εξαρτάται από τη διέγερση, όπως γίνεται και στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Δηλαδή για κάθε φορτίο έχουμε μια καμπύλη σχήματος V. Το σχήμα 7.7 δείχνει τις καμπύλες αυτές για το $1/2$ του ονομαστικού φορτίου και για το πλήρες φορτίο.



Σχ. 7.7.

Καμπύλες V ενός σύγχρονου κινητήρα.

Για κάθε καμπύλη V υπάρχει μια κανονική ένταση διεγέρσεως, για την οποία η ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη και το $\cos\phi$ του κινητήρα ίσο με τη μονάδα. Δηλαδή ο κινητήρας τότε φορτίζει το δίκτυο ωμικά. Τα σημεία, που παριστάνουν τη λειτουργία του κινητήρα με $\cos\phi = 1$ για τα διάφορα φορτία βρίσκονται σε μια καμπύλη (γαλάζια στο σχήμα 7.7). Δεξιά της καμπύλης αυτής ο σύγχρονος κινητήρας βρίσκεται σε υπερδιέγερση και αριστερά σε υποδιέγερση.

Όταν ένας σύγχρονος κινητήρας υποδιεγείρεται, η ένταση που απορροφά από το δίκτυο υστερεί ως προς την τάση του δικτύου, δηλαδή ο κινητήρας φορτίζει το δίκτυο επαγωγικά. Η ένταση αυτή για ορισμένο φορτίο είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο η υποδιέγερση είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα ελαττώνεται και το $\cos\phi$ του κινητήρα.

Όταν ένας σύγχρονος κινητήρας υπερδιεγείρεται, η ένταση που απορροφά προπορεύεται της τάσεως και ο κινητήρας φορτίζει το δίκτυο χωρητικά. Η ένταση αυτή για ορισμένο φορτίο είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η υπερδιέγερση του κινητήρα. Επίσης όσο μεγαλώνει η υπερδιέγερση, τόσο ελαττώνεται το (χωρητικό) $\cos\phi$, με το οποίο ο σύγχρονος κινητήρας φορτίζει το δίκτυο.

7.8 Χρήση των σύγχρονων κινητήρων.

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι ακριβοί κινητήρες σε σύγκριση με τους ασύγχρονους. Έχουν όμως ορισμένες ιδιότητες για τις οποίες προτιμούνται σε ειδικές περιπτώσεις. Οι σύγχρονοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι συνήθως πάνω από 100 kW.

Οι κινητήρες αυτοί προτιμούνται, όταν χρειαζόμαστε απόλυτα σταθερή ταχύτητα περιστροφής, σε συνδυασμό με μεγάλο βαθμό αποδόσεως. Σαν παραδείγματα

εφαρμογών αναφέρομε την κίνηση εναλλακτήρων, που παράγουν ρεύμα συχνότητας διαφορετικής από τη συχνότητα του δικτύου, την κίνηση ελάστρων, την κίνηση ορισμένων μεγάλων φυγοκεντρικών αντλιών, συμπιεστών κλπ.

Άλλο πεδίο εφαρμογής των σύγχρονων κινητήρων είναι η βελτίωση του συντελεστή ισχύος μιας εγκαταστάσεως ή γενικότερα ενός δικτύου. Στις περιπτώσεις αυτές ο σύγχρονος κινητήρας είναι δυνατό να κινεί φορτίο (μηχάνημα) και να βελτιώνει ταυτόχρονα το συντελεστή ισχύος της εγκαταστάσεως, ή να χρησιμοποιείται μόνο για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, χωρίς να κινεί μηχάνημα. Στην τελευταία περίπτωση ονομάζεται **σύγχρονος πυκνωτής** ή **σύγχρονος αντισταθμιστής**. Για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται εκμετάλλευση της ιδιότητας που έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες να φορτίζουν το δίκτυο χωρητικά, όταν υπερδιεγείρονται, όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Παράδειγμα.

Ένα εργοστάσιο απορροφά ισχύ $N_{\epsilon\rho\gamma} = 500 \text{ kW}$ με $\cos\phi = 0,7$. Για την κίνηση ενός νέου μηχανήματος, που χρειάζεται ισχύ $N_{\mu} = 200 \text{ kW}$ θα χρησιμοποιηθεί σύγχρονος κινητήρας με βαθμό αποδόσεως $\eta_k = 0,9$. Ποιο πρέπει να είναι το μέγεθος του σύγχρονου κινητήρα για να μπορεί να βελτιώνει το συντελεστή ισχύος όλης της εγκαταστάσεως σε $\cos\phi_{ολ} = 0,92$;

Λύση.

Η φαινόμενη ισχύς $N_{s_{\epsilon\rho\gamma}}$ του εργοστασίου πριν από την τοποθέτηση του σύγχρονου κινητήρα είναι:

$$N_{s_{\epsilon\rho\gamma}} = \frac{N_{\epsilon\rho\gamma}}{\cos\phi} = \frac{500}{0,7} = 714 \text{ kVA}$$

Όμοια η άεργος ισχύς (επαγωγική) είναι:

$$N_{b_{\epsilon\rho\gamma}} = \sqrt{N_{s_{\epsilon\rho\gamma}}^2 - N_{\epsilon\rho\gamma}^2} = \sqrt{714^2 - 500^2} = 510 \text{ kvar}$$

Για την καλύτερη κατανόηση της λύσεως κάνομε το διανυσματικό διάγραμμα των ισχυών, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.8 (κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία).

Ο σύγχρονος κινητήρας θα απορροφά από το δίκτυο πραγματική ισχύ:

$$N_k = \frac{N_{\mu}}{\eta_k} = \frac{200}{0,9} = 222 \text{ kW}$$

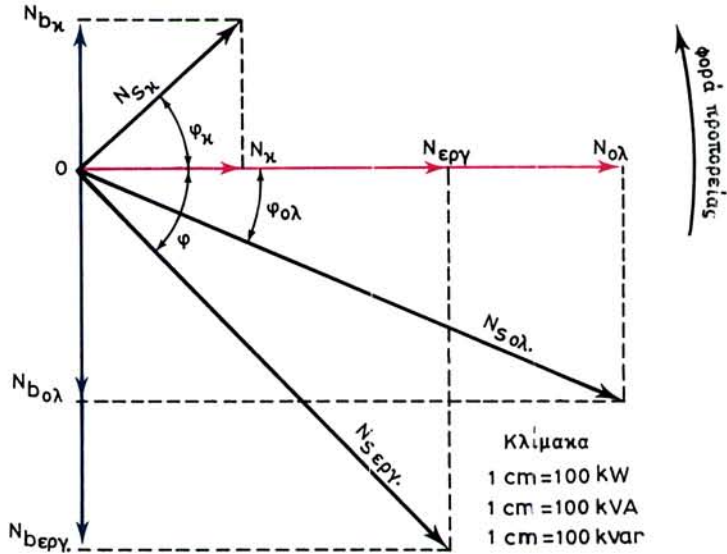
Άρα η ολική πραγματική ισχύς του εργοστασίου μετά από την τοποθέτηση του σύγχρονου κινητήρα θα είναι:

$$N_{ολ} = N_{\epsilon\rho\gamma} + N_k = 500 + 222 = 722 \text{ kW}$$

Επειδή θέλομε η όλη εγκατάσταση να έχει $\cos\phi_{ολ} = 0,92$, θα είναι:

$$N_{s_{ολ}} = \frac{N_{ολ}}{\cos\phi_{ολ}} = \frac{722}{0,92} = 785 \text{ kVA} \quad \text{και}$$

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



Σχ. 7.8.

Στο σχήμα 7.8 κατασκευάζουμε επίσης το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων στην τελική κατάσταση του εργοστασίου. Το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων του σύγχρονου κινητήρα είναι δυνατό να κατασκευασθεί στο ίδιο σχημα, αφού γνωρίζουμε ότι ο κινητήρας πρέπει να φορτίζει το δίκτυο χωρητικά για να βελτιώνει το συνφ. Επίσης γνωρίζουμε το $N_k = 222 \text{ kW}$ και το

$$N_{b_k} = N_{b_{\epsilonργ}} - N_{b_{ολ}} = 510 - 308 = 202 \text{ kvar}$$

Η φαινόμενη ισχύς που πρέπει να έχει ο σύγχρονος κινητήρας προκύπτει από τη σχέση:

$$N_{s_k} = \sqrt{N_k^2 + N_{b_k}^2} = \sqrt{222^2 + 202^2} = 300 \text{ kVA}$$

Για να έχει όλη η εγκατάσταση $\text{συν}\phi_{ολ} = 0,92$, ο σύγχρονος κινητήρας πρέπει να λειτουργεί με:

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

Στη λύση του παραδείγματος το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων χρησιμοποιήθηκε επεξηγηματικά, είναι δυνατόν όμως, κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία, όταν σχεδιαστεί υπό κλίμακα, όπως στο σχήμα 7.8, να δώσει τη ζητούμενη απάντηση, χωρίς να χρειάζεται να γίνουν όλες οι παραπάνω πράξεις.

7.9 Βλάβες και επισκευή σύγχρονων κινητήρων.

Παρακάτω αναφέρονται οι συνηθέστερες βλάβες οι οποίες παρατηρούνται σε σύγχρονους κινητήρες με τύλιγμα κλωβού στο δρομέα για την εκκίνηση, που είναι

και ο συνηθέστερος τύπος τέτοιων κινητήρων. Η κατάταξη των βλαβών γίνεται και εδώ ανάλογα με το παρουσιαζόμενο σύμπτωμα και σε κάθε πιθανή αιτία δίνεται και η απαιτούμενη επισκευή.

1. Ο κινητήρας δεν ξεκινά

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Κακή σύνδεση στους τροφοδοτικούς αγωγούς β) Διακοπή μιας φάσεως του τυλίγματος γ) Βραχυκύκλωμα μιας φάσεως του τυλίγματος δ) Ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση τριβής στην περιστροφή ε) Υπάρχει ρεύμα στη διέγερση του κινητήρα στ) Το φορτίο είναι μεγάλο	α) Να ελεγχθούν οι συνδέσεις, μήπως υπάρχει χαλαρή σύνδεση ή διακοπή β) Να ελεγχθούν και να επισκευασθεί η κορμμένη φάση γ) Να επισκευασθεί η βραχυκυκλωμένη φάση δ) Να ελεγχθούν τα έδρανα, η τάνυση του ιμάντα, η αντίσταση του φορτίου, η ευθυγράμμιση. ε) Να ελεγχθεί αν ο διακόπτης της διεγέρσεως είναι ανοικτός στ) Να ελαττωθεί το φορτίο

2. Ο κινητήρας δεν αναπτύσσει ταχύτητα

α) Μεγάλο φορτίο β) Χαμηλή τάση τροφοδοτήσεως γ) Υπάρχει ρεύμα στη διέγερση του κινητήρα	α) Να ελαττωθεί. Να ελεγχθεί η κινούμενη μηχανή, μήπως έχει βλάβη β) Να αυξηθεί η τάση γ) Να ελεγχθεί αν είναι ανοικτός ο διακόπτης διεγέρσεως
--	--

3. Ο κινητήρας δεν συγχρονίζεται

α) Δεν υπάρχει ρεύμα στη διέγερση β) Βλέπε παραπάνω 2α	α) Να ελεγχθεί μήπως υπάρχει διακοπή στους αγωγούς, στη διεγέρτρια, στο διακόπτη διεγέρσεως, στη ρυθμιστική αντίσταση. Να ελεγχθεί αν η διεγέρτρια δίνει τάση β) Βλέπε 2α
---	--

4. Ο κινητήρας αποσυγχρονίζεται ή ανοίγει ο αυτόματος διακόπτης

α) Χαμηλή τάση της διεγέρτριας β) Διακοπή στο κύκλωμα μαγνητικών πόλων και διεγέρτριας γ) Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα των μαγνητικών πόλων δ) Υπερβολική ροπή του φορτίου ε) Διακοπή στο κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα στ) Χαμηλή τάση τροφοδοτήσεως	α) Να αυξηθεί η διέγερση. Να ελεγχθεί η διεγέρτρια. β) Να βρεθεί η διακοπή και να επισκευασθεί γ) Να επισκευασθεί το τύλιγμα δ) Να ελεγχθεί το κινούμενο μηχανήμα ε) Να αποκατασταθεί η τροφοδότηση στ) Να αυξηθεί η τάση
---	--

5. Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται	
α) Ο κινητήρας υπερφορτίζεται	α) Να ελαττωθεί το φορτίο ή να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας
β) Υπερδιέγερση ή υποδιέγερση μεγαλύτερη της επιτρεπτής	β) Η ένταση διεγέρσεως να περιορισθεί στο μέγεθος που αναφέρει η πινακίδα
γ) Δεν υπάρχει ρεύμα στους μαγνητικούς πόλους διεγέρσεως	γ) Να ελεγχθεί το κύκλωμα και η διεγέρτρια
δ) Ανάποδη πολικότητα σε ένα μαγνητικό πόλο	δ) Να ελεγχθεί η πολικότητα. Να αλλάξει η σύνδεση των άκρων του ανάποδου τυλίγματος
ε) Μη καλή κυκλοφορία του αέρα ψύξεως	ε) Να απομακρυνθούν εμπόδια και να καθαριστεί ο κινητήρας
στ) Βραχυκύκλωμα σε μια ή περισσότερες ομάδες του τυλίγματος	στ) Να επισκευασθούν ή να αντικατασταθούν οι βλαμμένες ομάδες

7.10 Ανακεφαλαίωση.

α) Σχετικά με το ρεύμα που χρειάζονται για τη λειτουργία τους, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε: α) τριφασικούς και β) μονοφασικούς.

β) Από απόψεως χαρακτηριστικών λειτουργίας, αλλά και κατασκευής, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: α) Σύγχρονοι κινητήρες. Σ' αυτούς η ταχύτητα λειτουργίας (σύγχρονη ταχύτητα) είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το φορτίο. β) Ασύγχρονοι ή επαγωγικοί κινητήρες. Η ταχύτητα λειτουργίας σ' αυτούς εξαρτάται από το φορτίο και είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα. γ) Κινητήρες με συλλέκτη, στους οποίους η ταχύτητα μπορεί να είναι μικρότερη, ίση ή μεγαλύτερη από τη σύγχρονη ταχύτητα και εξαρτάται επίσης από το φορτίο. Σε κάθε κατηγορία ανήκουν διάφορα είδη κινητήρων.

γ) Η λειτουργία των τριφασικών κινητήρων βασίζεται στη δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου από το τύλιγμα του στάτη, όταν τροφοδοτείται με αντίστοιχο εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου, που ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα, δίνεται από τη σχέση:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

δ) Η διαμόρφωση των τυλιγμάτων του στάτη των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος βασίζεται στις ίδιες αρχές, είτε πρόκειται για γεννήτρια είτε πρόκειται για κινητήρα. Επίσης, στις ίδιες αρχές βασίζεται και η διαμόρφωση του τυλίγματος του δρομέα, στις περιπτώσεις που ο δρομέας φέρει τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος.

ε) Τα τυλίγματα αυτά κατασκευάζονται σε δυο τύπους: τυλίγματα σε μια στρώση και τυλίγματα σε δυο στρώσεις.

στ) Στους ασύγχρονους μονοφασικούς κινητήρες, εκτός από το κύριο μονοφασικό τύλιγμα, υπάρχει και ένα δεύτερο, το βοηθητικό τύλιγμα, που είναι μετατοπισμένο ως προς το κύριο κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες. Το βοηθητικό τύλιγμα χρησιμεύει στην εκκίνηση του μονοφασικού κινητήρα.

ζ) Ο σύγχρονος κινητήρας είναι μηχανή όμοια στην κατασκευή με τη σύγχρονη γεννήτρια. Οι δυο μηχανές μπορούν να εναλλάσσονται στη λειτουργία. Μια σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει ως σύγχρονος κινητήρας και αντίστροφα.

η) Η λειτουργία των σύγχρονων κινητήρων βασίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη και των μαγνητικών πόλων του δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται επίσης με την ίδια ταχύτητα και την ίδια φορά.

θ) Η ροπή που ασκούν οι δυνάμεις αυτές στο δρομέα, αν αγνοήσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος του στάτη, δίνεται από τις σχέσεις:

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

ι) Οι σύγχρονοι κινητήρες: α) Δεν μπορούν να ξεκινήσουν μόνοι τους, εκτός αν διαθέτουν τύλιγμα κλωβού. β) Κατά τη λειτουργία τους, περιστρέφονται με απόλυτα σταθερή ταχύτητα ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. γ) Όταν το φορτίο στον άξονα του κινητήρα υπερβεί ένα ορισμένο όριο, ο κινητήρας αποσυγχρονίζεται και σταματά απότομα.

ια) Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής σε ένα τριφασικό σύγχρονο κινητήρα, αλλάζουμε τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Αυτό γίνεται αν αντιμετωπίσουμε τη σύνδεση με τους ακροδέκτες σε δυο από τους τρεις αγωγούς που τροφοδοτούν το τύλιγμα του στάτη.

ιβ) Η εκκίνηση των σύγχρονων κινητήρων γίνεται με ένα από τους ακόλουθους τρόπους: α) Με μικρό βοηθητικό κινητήρα. β) Από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος, αν στον άξονα του κινητήρα είναι συνδεδεμένη μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (στην εκκίνηση η γεννήτρια αυτή γίνεται κινητήρας συνεχούς ρεύματος). γ) Με τύλιγμα κλωβού το οποίο φέρει στο δρομέα από κατασκευής ο σύγχρονος κινητήρας.

Στις δυο πρώτες περιπτώσεις, ο σύγχρονος κινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο και χρειάζεται να υπάρχει διάταξη συγχρονισμού στο δίκτυο. Με τον τρίτο τρόπο, που έχει σήμερα γενική εφαρμογή, ο κινητήρας ξεκινά με ένα από τους τρόπους εκκίνησης των ασύγχρονων κινητήρων.

ιγ) Όταν ο σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί είτε χωρίς φορτίο είτε με κάποιο σταθερό φορτίο και μεταβάλλουμε την ένταση διεγέρσεως, θα μεταβληθούν και η ένταση φορτίσεως του κινητήρα και το συνφ. Σε κάθε φορτίο, η ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη για μια ορισμένη ένταση διεγέρσεως, που ονομάζεται κανονική ένταση διεγέρσεως. Για την ένταση αυτή έχουμε και $\cos \phi = 1$. Με ένταση διεγέρσεως μικρότερη από την κανονική (υποδιέγερση του κινητήρα), έχουμε φόρτιση του δικτύου επαγωγική. Με ένταση διεγέρσεως μεγαλύτερη από την κανονική (υπερδιέγερση του κινητήρα), έχουμε φόρτιση του δικτύου χωρητική. Τη μεταβολή

της εντάσεως φορτίσεως, όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως με σταθερό το φορτίο του κινητήρα, μας δίνουν οι καμπύλες V.

ιδ) Οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που απαιτείται απόλυτη σταθερότητα στην ταχύτητα περιστροφής και καλός βαθμός αποδόσεως. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που απαιτείται διόρθωση του συνφ μιας εγκαταστάσεως ή ενός δικτύου. Μπορεί μάλιστα τότε ο σύγχρονος κινητήρας να μη χρησιμοποιείται για την κίνηση κάποιου μηχανήματος, οπότε ονομάζεται σύγχρονος πυκνωτής ή αντισταθμιστής.

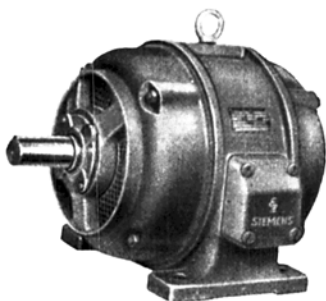
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

8.1 Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

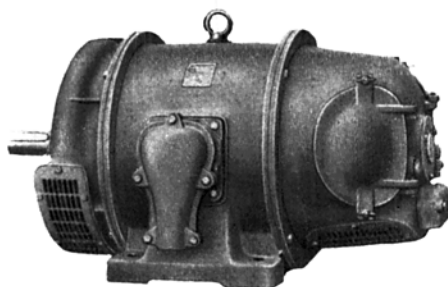
Οι **ασύγχρονοι κινητήρες**, που ονομάζονται και **επαγωγικοί κινητήρες**, διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τους τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες, ενώ με τους μονοφασικούς θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες υποδιαιρούνται σε δυο κύριες κατηγορίες: τους **κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα** (σχ. 8.1α) και τους **κινητήρες με δακτυλίδια** (σχ. 8.1β).



Σχ. 8.1α.

Κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Σχ. 8.1β.

Κινητήρας με δακτυλίδια.

Στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα υπάγονται τα ακόλουθα τρία είδη, που τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους θα εξετάσουμε στα επόμενα:

- α) Οι κινητήρες με (απλό) τύλιγμα κλωβού.
- β) Οι κινητήρες διπλού κλωβού.
- γ) Οι κινητήρες με βαθιά αυλάκια.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες γενικής χρήσεως. Δηλαδή χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση, όπου ειδικές απαιτήσεις δεν επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση άλλου τύπου κινητήρα.

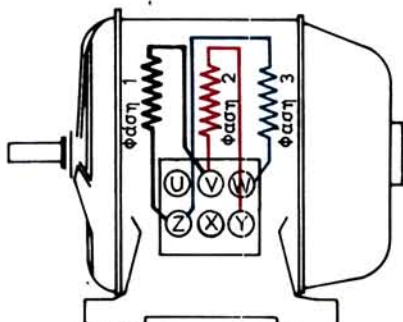
8.2 Κατασκευή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

8.2.1 Κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Η κατασκευή του στάτη των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα όπως και

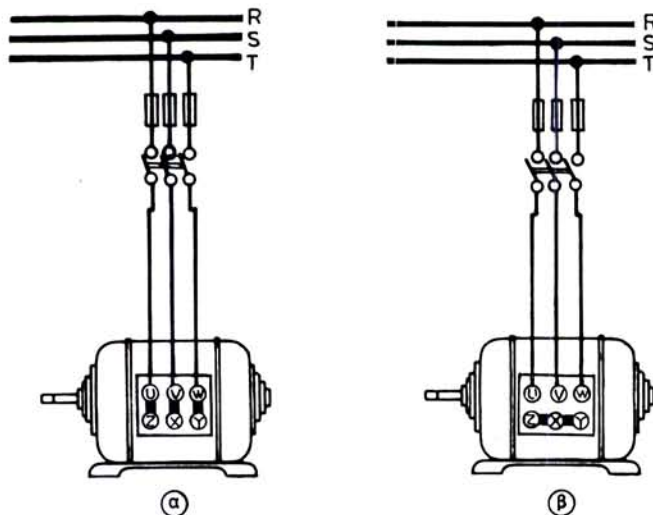
των κινητήρων με δακτυλίδια, είναι όμοια με την κατασκευή του στάτη των σύγχρονων κινητήρων με εσωτερικούς πόλους. Διαφορά είναι δυνατό να υπάρχει στη διαμόρφωση του κελύφους, το οποίο προσαρμόζεται στις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρόκειται να εργασθεί ο ασύγχρονος κινητήρας. Μέσα στο κέλυφος είναι τοποθετημένος ο πυρήνας του τυμπάνου, που κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα. Στα αυλάκια του τυμπάνου τοποθετείται τριφασικό τύλιγμα, όπως αυτά που περιγράψαμε στην παράγραφο 7.3.

Τα έξι άκρα των τριών φάσεων του τυλίγματος καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες του κινητήρα, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 8.2α. Η σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη σε τρίγωνο ή σε αστέρα γίνεται είτε με ορειχάλκινα λαμάκια, τα οποία τοποθετούνται μεταξύ των ακροδεκτών (σχ. 8.2β), είτε με κατάλληλους διακόπτες, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.



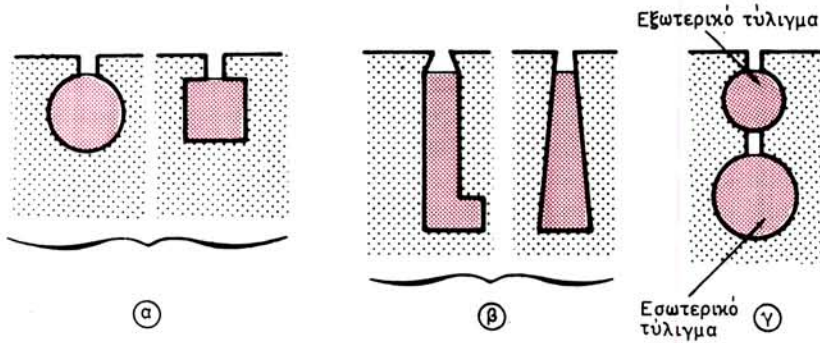
Σχ. 8.2α.

Τύλιγμα στάτη ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.



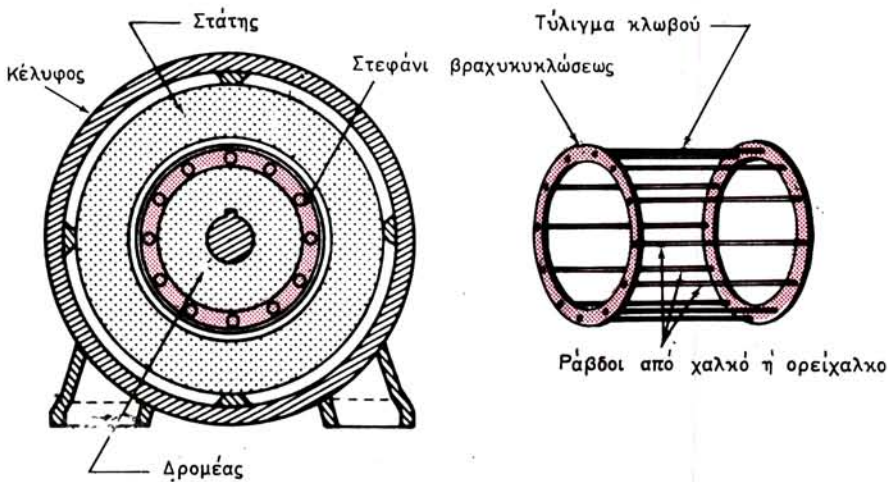
Σχ. 8.2β.

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



Σχ. 8.2γ.

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



Σχ. 8.2δ.

Κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Ο δρομέας των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα φέρει στερεωμένο επάνω στον άξονα τον **πυρήνα** που έχει σχήμα κυλινδρικού τυμπάνου και ο οποίος αποτελείται από πολλά μαγνητικά ελάσματα. Τα ελάσματα αυτά έχουν οδοντώσεις, οι οποίες σχηματίζουν αυλάκια. Η μορφή που έχουν οι οδοντώσεις και συνεπώς και τα αυλάκια έχει επίδραση στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των κινητήρων. Συνήθως τις διακρίνουμε σε τρεις κατηγορίες: τις **απλές**, τις **βαθείς** και τις **διπλές οδοντώσεις**, όπως φαίνονται στο σχήμα 8.2γ.

Μέσα στα αυλάκια του δρομέα τοποθετούνται ράβδοι από χαλκό ή ορείχαλκο χωρίς μόνωση. Οι ράβδοι συγκολλούνται στα δυο άκρα τους σε δυο **στεφάνια βραχυκυκλώσεως**. Έτσι σχηματίζεται το **τύλιγμα κλωβού**, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.2δ.

Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα κλωβού κατασκευάζεται συνήθως από κα-



Σχ. 8.2ε.

Βραχυκυκλωμένος δρομέας με τύλιγμα κλωβού από αλουμίνιο.

θαρό αλουμίνιο, το οποίο χύνεται με πίεση απευθείας μέσα στα αυλάκια. Στις περιπτώσεις αυτές τα στεφάνια βραχυκυκλώσεως σχηματίζουν και τα πτερύγια του ανεμιστήρα, οπότε ο δρομέας παίρνει τη μορφή του σχήματος 8.2ε.

Όταν στον πυρήνα του δρομέα έχουμε διπλές οδοντώσεις, τότε σχηματίζονται δυο τυλίγματα κλωβού, ένα εξωτερικό και ένα εσωτερικό, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους [σχ. 8.2γ(γ)]. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται **κινητήρες διπλού κλωβού**.

Τα τελευταία χρόνια η προτίμηση των κατασκευαστών στρέφεται ολοένα και περισσότερο στους δρομείς που έχουν **τυλίγματα κλωβού με βαθιά αυλάκια**, οι οποίοι ονομάζονται και **δρομείς μετατοπίσεως ρεύματος**. Οι δρομείς αυτοί έχουν περίπου τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των δρομέων διπλού κλωβού, είναι όμως απλούστεροι στην κατασκευή τους.

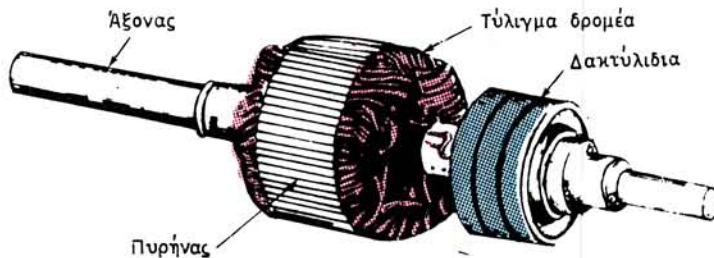
Για την ελάττωση του **μαγνητικού θορύβου** των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων, ο αριθμός των οδοντώσεων του δρομέα πρέπει να είναι διαφορετικός από τον αριθμό των οδοντώσεων του στάτη. Το ίδιο πετυχαίνεται και αν τα αυλάκια του δρομέα δεν είναι απόλυτα παράλληλα με τον άξονα, αλλά έχουν μικρή κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.2ε.

8.2.2 Κινητήρες με δακτυλίδια.

Όπως αναφέραμε στην αρχή του προηγούμενου εδαφίου, ο στάτης των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων με δακτυλίδια είναι όμοιος με το στάτη των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η κατασκευή όμως του δρομέα είναι διαφορετική. Ο πυρήνας του δρομέα των κινητήρων με δακτυλίδια αποτελείται επίσης από πολλά μαγνητικά ελάσματα, που φέρουν ημίκλειστες οδοντώσεις (σχ. 8.2στ). Μέσα στα αυλάκια, που σχηματίζουν οι οδοντώσεις, τοποθετείται διφασικό ή τριφασικό τύλιγμα, όπως αυτά που τοποθετούνται στο στάτη των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο αριθμός των πόλων του τυλίγματος αυτού είναι υποχρεωτικά ο ίδιος με τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη. Ο αριθμός των φάσεων είναι δυνατό να είναι διαφορετικός, π.χ. σε τριφασικό στάτη είναι δυνατό να υπάρχει διφασικό τύλιγμα στο δρομέα. Συνήθως και το τύλιγμα του δρομέα είναι τριφασικό και μάλιστα συνδεδεσμένο σε αστέρα (σχ. 8.2ζ).

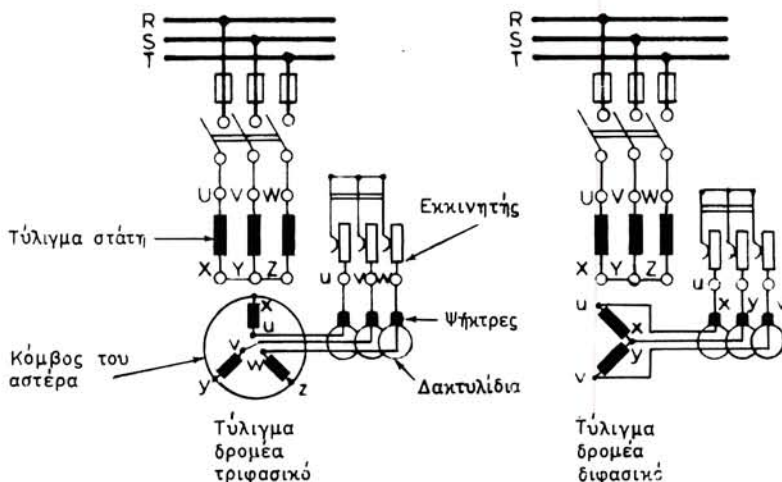
Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8.2στ, στον άξονα του δρομέα είναι στερεωμένα και τρία δακτυλίδια. Στα δακτυλίδια αυτά, τα οποία είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τον άξονα, συνδέονται τα τρία ελεύθερα άκρα του τυλίγματος του δρομέα.

Επάνω στα δακτυλίδια εφάπτονται αντίστοιχες ψήκτρες, των οποίων οι ψηκτροθήκες είναι στερεωμένες στο στάτη της μηχανής (σχ. 8.2η). Μέσω των δακτυλι-



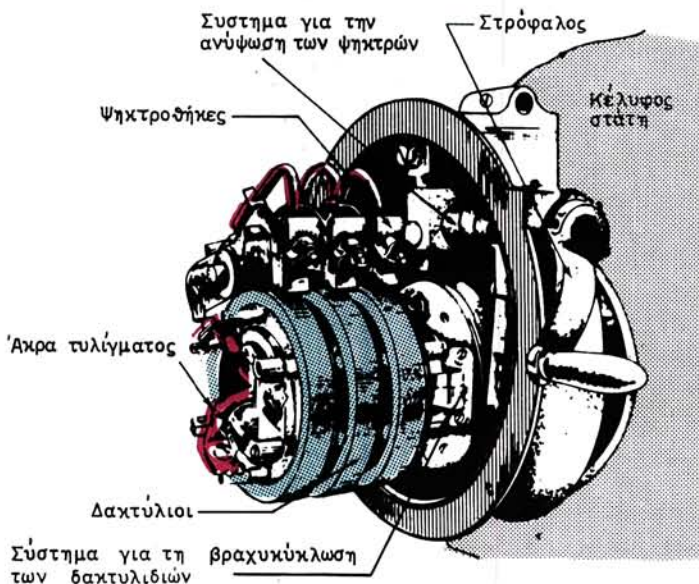
Σχ. 8.2στ.

Δρομέας κινητήρα με δακτυλίδια.



Σχ. 8.2ζ.

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



Σχ. 8.2η.

Σύστημα ανυψώσεως ψηκτρών κινητήρα με δακτυλίδια.

διών και των ψηκτρών αυτών, κάθε φάση του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται σε σειρά με την αντίστοιχη αντίσταση ενός τριφασικού εκκινητή (σχ. 8.2ζ).

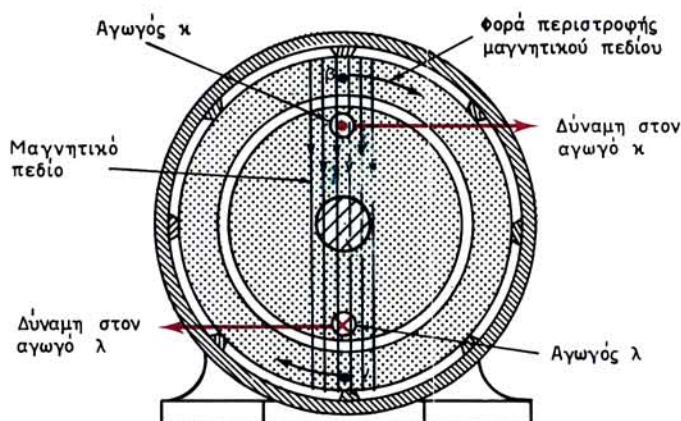
Πολλοί κινητήρες με δακτυλίδια έχουν ένα σύστημα για την ανύψωση των ψηκτρών, όπως δείχνει το σχήμα 8.2η. Με το σύστημα αυτό, μετά την εκκίνηση του κινητήρα, οπότε οι τρεις αντιστάσεις του εκκινητή πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένες, ανυψώνουμε τις ψηκτρες, ώστε να μην εφάπτονται στα δακτυλίδια. Ταυτόχρονα, με τον ίδιο μηχανισμό βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους τα τρία δακτυλίδια. Έτσι αποφεύγεται η φθορά των ψηκτρών κατά τη λειτουργία του κινητήρα και βελτιώνεται ο βαθμός αποδόσεώς του με την ελάττωση των τριβών.

8.3 Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Η λειτουργία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο της δημιουργίας ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων από επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος του στάτη. 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 8.3. Το τύλιγμα κλωβού του δρομέα αυτού του κινητήρα έχει δυο 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 δυο πόλους β και ν , σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε στην παράγραφο 7.2.

Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου τέμνουν τους αγωγούς κ και λ του δρομέα που είναι ακόμα ακίνητος. Όπως γνωρίζουμε (εδάφιο 2.1.1), 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 8.3. Οι ηλεκτρεγερτικές αυτές δυνάμεις δημιουρ-



Σχ. 8.3.

γουν 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 (εδάφιο 2.2.1). 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 8.3, οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή, η οποία βάζει σε κίνηση το δρομέα κατά τη φορά που περιστρέφεται το μαγνητικό πεδίο.

Τα ρεύματα που δημιουργούνται από επαγωγή μέσα στους αγωγούς του δρομέα είναι εναλλασσόμενα. Η φορά όμως της ροπής των δυνάμεων που αναπτύσσονται από αυτά είναι πάντοτε η ίδια. Αυτό είναι εύκολο να το διαπιστώσει κανείς, αν εξετάσει μια χρονική στιγμή επόμενη από αυτή που δείχνει το σχήμα 8.3, κατά την οποία απέναντι από τον αγωγό κ θα βρίσκεται ο νότιος πόλος του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και απέναντι από τον αγωγό λ ο βόρειος.

Στο παράδειγμα του σχήματος 8.3 ο δρομέας για λόγους απλότητας έχει τύλιγμα κλωβού με δυο αγωγούς. Τα πραγματικά τυλίγματα κλωβού έχουν πολύ περισσότερους από δυο αγωγούς. **Σε κάθε αγωγό αναπτύσσονται δυνάμεις, οι οποίες ασκούν ροπή στο δρομέα κατά την ίδια φορά, δηλαδή τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου.** Το ίδιο συμβαίνει και αν το τύλιγμα του στάτη έχει περισσότερους από δυο πόλους.

Οι αγωγοί κ και λ του σχήματος 8.3 μπορεί να είναι αγωγοί και από το τύλιγμα του δρομέα ενός κινητήρα με δακτυλίδια. Στην περίπτωση αυτή οι αγωγοί κλείνουν κύκλωμα όχι πια με τα στεφάνια βραχυκυκλώσεως, αλλά με τις αντιστάσεις του εκκινητή (σχ. 8.2ζ). Συνεπώς όλα τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν και για τους κινητήρες με δακτυλίδια των οποίων η αρχή της λειτουργίας είναι όμοια με την αρχή λειτουργίας των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Οι δυνάμεις, που το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ασκεί στο δρομέα, έχουν σαν αποτέλεσμα να ξεκινήσει ο ασύγχρονος κινητήρας και στη συνέχεια να επιταχυνθεί, μέχρι να φθάσει σε μια ταχύτητα n . **Η ταχύτητα αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα n_s του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.** Γι αυτό οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται **ασύγχρονοι 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 έτερναν αγωγούς 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 υπερ-νικηθούν οι μηχανικές απώλειες του δρομέα.

8.4 Διολίσθηση.

Στη λειτουργία του κινητήρα η διαφορά $n_s - n$ εξαρτάται από το φορτίο που έχει στον άξονά του και αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου. Πάντως για το κανονικό φορτίο η διαφορά αυτή είναι μικρή. Ονομάζουμε **διολίσθηση** ή **ολίσθηση 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 εκκινήσεως 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 (5%), όπως προκύπτει και από τα στοιχεία του Πίνακα 8.4.1. Η διολίσθηση στο κανονικό φορτίο έχει μεγάλη σημασία στους ασύγχρονους κινητήρες και χαρακτηρίζει την ποιότητά τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.1.

Μέσες ταχύτητες ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων στο πλήρες φορτίο (στρ/min)

Αριθμός ζευγών πόλων	1	2	3	4	5	6
Συγχρονη ταχύτητα	3000	1500	1000	750	600	500
Ταχύτητα ασύγχρονου κινητήρα	2850	1425	950	710	570	474

Παράδειγμα.

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

Λύση.

Η σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου είναι:

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

Άρα η διολίσθηση θα είναι:

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

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 ασύγχρονοι 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.

8.5 Τάση και ένταση του δρομέα.

Για να εξηγήσουμε τι συμβαίνει κατά τη λειτουργία στο δρομέα των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα 8.5, το οποίο παριστάνει τη

τυλίγματος του δρομέα είναι ο ίδιος με τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη.

Αν κλείσουμε το διακόπτη Δ_2 , ρεύμα θα περάσει από το τύλιγμα του δρομέα και από τις αντιστάσεις του εκκινητή και συνεπώς ο κινητήρας θα ξεκινήσει. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα του δρομέα, τόσο ελαττώνεται η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στο τύλιγμά του. Αυτό οφείλεται στο ότι ελαττώνεται με την αύξηση των στροφών η ταχύτητα, με την οποία οι μαγνητικές γραμμές του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου τέμνουν τους αγωγούς του δρομέα.

Στη λειτουργία του κινητήρα με ένα ορισμένο φορτίο, όταν ο δρομέας περιστρέφεται με διολίσθηση s , η ηλεκτρεγερτική δύναμη του τυλίγματος του δρομέα (πολική τάση) δίνεται από τη σχέση:

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

Όμοια η συχνότητα του ρεύματος του δρομέα είναι τότε:

$$f_2 = s \cdot f$$

Τέλος η αυτεπαγωγική αντίσταση (λόγω σκεδάσεως) κάθε φάσεως του δρομέα θα είναι:

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

όπου: X_2 η ίδια αντίσταση για συχνότητα f , δηλαδή με το δρομέα σε στάση.

Είναι εύκολο να υπολογίσουμε τώρα την ένταση του ρεύματος στο τύλιγμα κάθε φάσεως του δρομέα. Για σύνδεση του τυλίγματος του δρομέα σε αστέρα, η φασική τάση (ηλεκτρεγερτική δύναμή) του θα είναι:

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

$$\text{Άρα } I_2 = \frac{U_{2s}}{1,73 \cdot Z_s} = \frac{U_{2s}}{1,73 \cdot \sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{s \cdot U_2}{1,73 \cdot \sqrt{R_2^2 + (s \cdot X_2)^2}}$$

$$\text{και } I_2 = \frac{U_2}{1,73 \cdot \sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}}$$

όπου: R_2 είναι η συνολική ωμική 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 ωμική αντίσταση κάθε φάσεως μόνο του τυλίγματος του δρομέα.

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

Για ορισμένη τιμή της R_2 η ένταση I_2 γίνεται μέγιστη τη στιγμή της εκκινήσεως, οπότε είναι $s = 1$. Στους κινητήρες με δακτυλίδια το μέγεθος της I_2 στην εκκίνηση είναι δυνατό να το ρυθμίσουμε με παρεμβολή κατάλληλων αντιστάσεων του εκκινητή. Στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα όμως, όπου δεν υπάρχει εκκινητής

συνδεδεμένος στο δρομέα και η R_2 είναι συνήθως μικρή, η I_2 στην εκκίνηση φθάνει σε μεγάλες τιμές (μερικές εκατοντάδες αμπέρ). Ακόμη μεγαλύτερες τιμές παίρνει η ένταση μέσα στα στεφάνια βραχυκυκλώσεως.

Τόσο στους κινητήρες με τύλιγμα κλωβού, όσο και στους κινητήρες με δακτυλίδια 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 ($s \cong 0$). Στο κανονικό (ονομαστικό) 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 δακτυλίδια είναι γραμμένη στην πινακίδα του κατασκευαστή. Όταν το φορτίο αυξηθεί η ελαττωθεί σε σχέση με το κανονικό, αυξάνεται επίσης ή ελαττώνεται αντίστοιχα και η I_2 . Αν είναι γνωστά τα R_2 (χωρίς αντιστάσεις εκκινητή) και X_2 καθώς και η διολίσθηση στο κανονικό φορτίο, τότε η ένταση του δρομέα υπολογίζεται από τον τύπο που δώσαμε παραπάνω, αλλιώς είναι δυνατό να υπολογισθεί κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$I_2 \cong \frac{650 \cdot N}{U_2} \text{ σε A}$$

όπου: N είναι η ονομαστική ισχύς σε kW που δίνει ο κινητήρας και

U_2 η τάση σε V του δρομέα μεταξύ των δακτυλιδιών (με τις ψήκτρες ανυψωμένες).

Με την ένταση αυτή I_2 , που συνήθως είναι μεγαλύτερη από την ένταση που απορροφά ο στάτης από το δίκτυο, πρέπει να υπολογίζονται οι αγωγοί, οι οποίοι συνδέουν τις ψήκτρες με τον εκκινητή.

Παράδειγμα.

Ένας εξαπολικός τριφασικός κινητήρας με δακτυλίδια ισχύος 5 kW, έχει τάση του δρομέα 140 V και τροφοδοτείται από δίκτυο με συχνότητα 50 Hz. Αν το τύλιγμα του δρομέα είναι συνδεσμοποιημένο σε αστέρα, ποια είναι η τάση που αναπτύσσεται σε κάθε φάση του, όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ονομαστικό του φορτίο με ταχύτητα 950 στρ/min; Ποια είναι τότε η ένταση και η συχνότητα του ρεύματος του δρομέα;

Λύση.

Για $p = 3$ και $f = 50$ Hz, είναι $n_s = 1000$ στρ/min.

Άρα η διολίσθηση στο ονομαστικό φορτίο θα είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

Η τάση κάθε φάσεως (ηλεκτρεγερτική δύναμη) του δρομέα θα 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 θα είναι:

$$f_2 = s \cdot f = 0,05 \times 50 = 2,5 \text{ Hz}$$

Τέλος η ένταση του ρεύματος του δρομέα θα είναι:

$$I_2 \simeq \frac{650 \cdot N}{U_2} = \frac{650 \times 5}{140} = 23 \text{ A}$$

8.6 Ροπή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

α) Σχέση ροπής και αποδιδόμενης ισχύος.

Όπως είναι γνωστό, η ροπή T , την οποία ένας οποιοσδήποτε κινητήρας (συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος) αναπτύσσει στον άξονά του, δίνεται από τη σχέση:

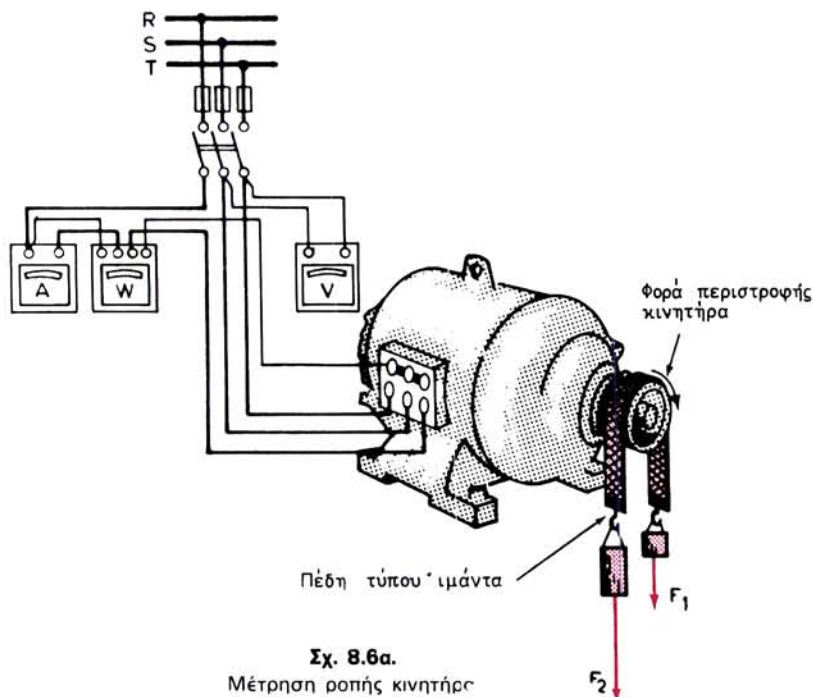
$$T = F \cdot r \quad \text{σε Nm}$$

όπου: F είναι η περιφερειακή δύναμη σε N και

r η απόσταση της δυνάμεως από τον άξονα σε m.

Π.χ. αν ο κινητήρας κινεί ένα μηχανήμα, μέσω τροχαλίας και ιμάντα, τότε F είναι η δύναμη που μεταβιβάζει ο ιμάντας και r είναι η ακτίνα της τροχαλίας.

Για να μετρήσουμε τη ροπή που μπορεί να αναπτύξει ένας κινητήρας στον άξονά του, χρησιμοποιούμε μια πέδη. Πέδες υπάρχουν πολλών ειδών (μηχανικές, ηλεκτρομαγνητικές κτλ). Ο κινητήρας του σχήματος 8.6α φέρει επάνω στην τροχαλία



του αξονά του μια **πέδη τύπου ιμάντα**. Στην πέδη αυτή η περιφερειακή δύναμη F μεταβιβάζεται με την τριβή στον ιμάντα. Έτσι, όταν ο κινητήρας περιστρέφεται, ο ιμάντας ισορροπεί με δυο διαφορετικά βάρη F_1 και F_2 . Τότε είναι:

$$F = F_2 - F_1$$

Η ακτίνα της τροχαλίας είναι η απόσταση της περιφερειακής δυνάμεως από τον άξονα. Άρα με τη διάταξη αυτή της πέδης είναι δυνατό να μετρήσουμε τη ροπή, την οποία ο κινητήρας αναπτύσσει στον άξονά του.

Αν ο κινητήρας περιστρέφεται με n στρ/s, τότε **η μηχανική ισχύς N που αποδίδει στον άξονά του** είναι:

$$N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T \quad \text{σε } W$$

Αν λύσουμε ως προς T έχουμε:

$$T = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad \text{σε } Nm$$

όπου: N είναι η ισχύς σε W που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του και n η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σε στρ/s.

Όταν η ισχύς που δίνει ο κινητήρας είναι η ονομαστική του ισχύς (με την ονομαστική ταχύτητα και τάση), τότε η ροπή που προκύπτει από την παραπάνω σχέση, ονομάζεται **ονομαστική ροπή του κινητήρα** (T_{ov}).

Η μέτρηση της μηχανικής ισχύος N με τη βοήθεια μιας πέδης μας δίνει ένα τρόπο προσδιορισμού του βαθμού αποδόσεως ενός κινητήρα, αρκεί ταυτόχρονα να μετρήσουμε και την ισχύ N_1 που απορροφά από το δίκτυο. Αυτό γίνεται με ένα βατόμετρο, όπως δείχνει, το σχήμα 8.6α. Είναι τότε ο βαθμός αποδόσεως:

$$\eta = \frac{N}{N_1}$$

β) Μεταβολή της ροπής και της εντάσεως του στάτη.

Στο διάγραμμα του σχήματος 8.6β φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ροπή T ενός ορισμένου τριφασικού κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του. Σε αυτό το διάγραμμα η ταχύτητα την οποία έχει κάθε στιγμή ο κινητήρας, εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις % της σύγχρονης ταχύτητας n_s . Η ροπή εκφράζεται με το λόγο της προς την ονομαστική ροπή του κινητήρα (T/T_{ov}). Στο σχήμα φαίνεται επίσης με τον ίδιο τρόπο και η αντίστοιχη μεταβολή της εντάσεως I , την οποία ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο που τον τροφοδοτεί.

Όπως παρατηρούμε από την καμπύλη της εντάσεως στο σχήμα 8.6β, την πρώτη στιγμή της εκκινήσεως ($n=0$) ο κινητήρας απορροφά ένταση $I_{εκ}$, η οποία είναι 5,5 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική του ένταση ($I_{εκ}/I_{ov}=5,5$). Σε ορισμένους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα έχουμε $I_{εκ}/I_{ov}=6$ ως 8. Το ίδιο περίπου συμβαίνει και στους κινητήρες με δακτυλίδια αν οι αντιστάσεις του εκκινήτη είναι βραχυκυκλωμένες. Επειδή τα τυλίγματα του δρομέα έχουν μικρή αντί-

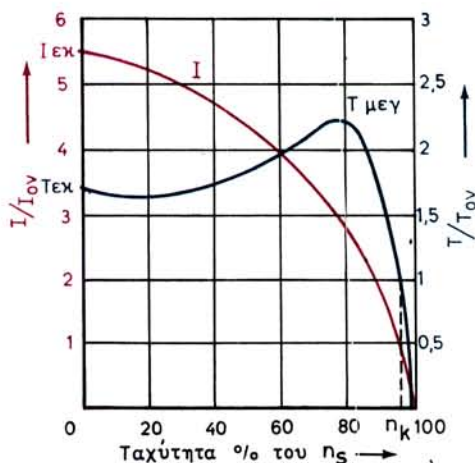
σταση αναπτύσσονται σε αυτά τη στιγμή της εκκινήσεως μεγάλες εντάσεις, όπως είδαμε στην παράγραφο 8.5. Αποτέλεσμα είναι ότι έχουμε σημαντικές εντάσεις εκκινήσεως και στο στάτη των κινητήρων αυτών.

Για τον περιορισμό των σημαντικών αυτών εντάσεων εκκινήσεως, οι οποίες αποτελούν μειονέκτημα των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα, παίρνουμε διάφορα μέτρα, τα οποία θα εξετάσουμε στην παράγραφο 8.9 και με τα οποία περιορίζουμε τη τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα κατά τη διάρκεια της εκκινήσεως. Στους κινητήρες με δακτυλίδια η παρεμβολή των αντιστάσεων του εκκινήτη στο τύλιγμα του δρομέα προκαλεί την ελάττωση του $I_{εκ}$ στο επιθυμητό μέγεθος, π.χ. είναι δυνατό να γίνει $I_{εκ}/I_{ov}=1$.

Από το ίδιο σχήμα 8.6β παρατηρούμε επίσης ότι η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα αυτού είναι 1,7 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή ($T_{εκ}/T_{ov}=1,7$). Όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, ελαττώνεται η ένταση, που απορροφά από το δίκτυο, η ροπή του όμως αυξάνεται μέχρι μιας τιμής $T_{μεγ}$. Η ροπή αυτή είναι η μεγαλύτερη ροπή που είναι δυνατόν να αναπτύξει ο κινητήρας και δημιουργείται πάντοτε σε αριθμό στροφών μικρότερο από τον κανονικό του αριθμό στροφών n_k . Στον αριθμό στροφών n_k ο κινητήρας αναπτύσσει την ονομαστική ροπή ($T/T_{ov}=1$), η οποία είναι σημαντικά μικρότερη από την $T_{μεγ}$ και απορροφά την ονομαστική του ένταση ($I/I_{ov}=1$).

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης μετά την $T_{μεγ}$ είναι ευσταθής λειτουργία. Δηλαδή, αν ο κινητήρας εργάζεται σε ένα σημείο του τμήματος αυτού της καμπύλης και για οποιοδήποτε λόγο αυξηθεί το φορτίο του, η ταχύτητα του κινητήρα θα ελαττωθεί. Τότε όμως θα αυξηθεί η ροπή που αναπτύσσει και έτσι θα μπορέσει να αντιμετωπίσει την αύξηση του φορτίου. Αντίστοιχα θα αυξηθεί και η ένταση που απορροφά από το δίκτυο. **Ο κινητήρας με τον τρόπο αυτό προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου.**

Όταν το φορτίο αυξηθεί πέρα από την τιμή της $T_{μεγ}$, τότε ο κινητήρας απότομα



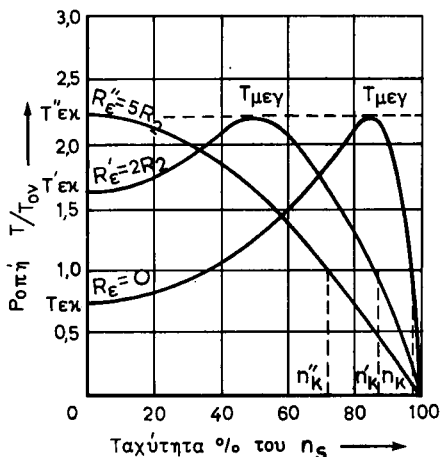
Σχ. 8.6β.

Μεταβολή της εντάσεως και της ροπής σε κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα.

σταματά. Για το λόγο αυτό η ροπή $T_{\mu\epsilon\gamma}$ ονομάζεται και **ροπή ανατροπής**. Λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης προ της $T_{\mu\epsilon\gamma}$ δεν είναι δυνατή, παρά μόνο σαν μεταβατική κατάσταση στην εκκίνηση. Στο τμήμα αυτό **η λειτουργία είναι ασταθής, με συνέπεια να είναι αδύνατη η συνεχής λειτουργία σε αυτό**.

Η μορφή που έχει η καμπύλη της μεταβολής της ροπής ενός ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια, εξαρτάται από την ολική αντίσταση του τυλίγματος κάθε φάσεως του δρομέα R_2 και τη συνδεδεμένη σε σειρά με αυτό εξωτερική αντίσταση R_ϵ . Όπως προκύπτει και από το σχήμα 8.6γ, όσο αυξάνουμε την αντίσταση αυτή ($R_2 + R_\epsilon$), συμβαίνουν τα εξής: α) μεγαλώνει (μέχρι ενός ορίου) η $T_{\epsilon\kappa}$, β) η μέγιστη ροπή $T_{\mu\epsilon\gamma}$, της οποίας το μέγεθος δεν εξαρτάται από την ολική αντίσταση του δρομέα, μετατοπίζεται σε μικρότερο αριθμό στροφών και γ) η διολίσθηση του κινητήρα για το κανονικό φορτίο αυξάνεται, δηλαδή μειώνεται η ταχύτητα n_k .

Όσα αναφέραμε στην παράγραφο αυτή για τη μεταβολή της ροπής και της εντάσεως υποθέτουν ότι η τάση του δικτύου που τροφοδοτεί τον κινητήρα παραμένει σταθερή. Αναφέρουμε μόνο, χωρίς να το εξηγήσουμε περισσότερο, ότι όταν η τάση του δικτύου μεταβάλλεται, η ροπή του κινητήρα μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της τάσεως. Αυτό ισχύει βέβαια και για τη ροπή εκκινήσεως.



Σχ. 8.6γ.

Μεταβολή της ροπής σε κινητήρα 100 kW με δακτυλίδια για διάφορες τιμές της εξωτερικής αντιστάσεως.

8.7 Ισχύς ασύγχρονου κινητήρα.

Η ισχύς N_1 που απορροφά από το δίκτυο ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας, όπως είναι γνωστό δίνεται από τη σχέση:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \quad \text{σε W}$$

Το N_1 μπορεί να μετρηθεί με βατόμετρο και τα U και I με βολτόμετρο και αμπερόμετρο συνδεσμοποιημένα όπως φαίνεται στο σχήμα 8.6α.

Όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 7.5, αν αγνοήσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του στάτη του κινητήρα, η ισχύς N_1 μέσω των ηλεκτρομαγνητικών δυ-

νάμεων μεταφέρεται στο δρομέα. Ο δρομέας χρησιμοποιεί την ισχύ αυτή για να κινήσει το φορτίο (με ισχύ N), που έχει στον άξονά του και για να αντιμετωπίσει τις ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα ($N_{n,\delta}$), οι οποίες οφείλονται στο φαινόμενο τζουλ. Οι απώλειες σιδήρου και τριβών του δρομέα δεχόμαστε ότι είναι αμελητέες, δηλαδή δεχόμαστε ότι με σημαντική προσέγγιση είναι:

$$N_1 = N + N_{n,\delta}$$

Στην παράγραφο 7.5 είχαμε εξηγήσει επίσης ότι είναι:

$$N_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T$$

όπου: T είναι η ροπή που ασκεί στο δρομέα το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Με αρκετή προσέγγιση (αν αμελήσουμε τις απώλειες) μπορούμε να πούμε ότι η T είναι και η ροπή, με την οποία ο κινητήρας κινεί το φορτίο του και για την οποία όπως είδαμε (παράγρ. 8.6) 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. 8.4):

$$n_s - n = s \cdot n_s$$

Συνειπώς:

$$N_{n,\delta} = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot n_s \cdot s = N_1 \cdot s$$

Δηλαδή οι ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα είναι ανάλογες προς τη διολίσθηση και την ισχύ N_1 που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα όπως είναι γνωστό δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N}{N_1}$$

Με τις απλουστευτικές παραδοχές που κάναμε στα προηγούμενα έχουμε με 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 στην κανονική του λειτουργία είναι τόσο καλύτερος, όσο μικρότερη είναι η διολίσθησή του. Όπως θα δούμε, στους ασύγχρονους κινητήρες με δακτυλίδια είναι δυνατό να ελαττώσουμε την ταχύτητα περιστροφής τους με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή στροφών, ο οποίος συνδέεται όπως ο εκκινητής. Πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας, ότι στην περίπτωση αυτή ελαττώνουμε το βαθμό αποδόσεως του κινητήρα, γιατί η διολίσθησή του αυξάνεται.

Παράδειγμα.

Η ονομαστική ισχύς ενός διπολικού τριφασικού κινητήρα είναι 8 kW και η ταχύ-

τητα περιστροφής 2880 στρ/min. Να υπολογισθεί με προσέγγιση ο βαθμός αποδόσεώς του. Πόσος γίνεται ο βαθμός αποδόσεως αν ο κανονικός αριθμός στροφών του κινητήρα είναι $n = 2700$ στρ/min; (Να ληφθεί $f=50\text{Hz}$).

Λύση.

Γιά $n = 2880$ στρ/min είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2880}{3000} = \frac{120}{3000} = 0,04$$

Άρα ο βαθμός αποδόσεως θα είναι:

$$\eta = 1 - s = 1 - 0,04 = 0,96$$

Για $n = 2700$ στρ/min είναι:

$$s = \frac{3000 - 2700}{3000} = \frac{300}{3000} = 0,1$$

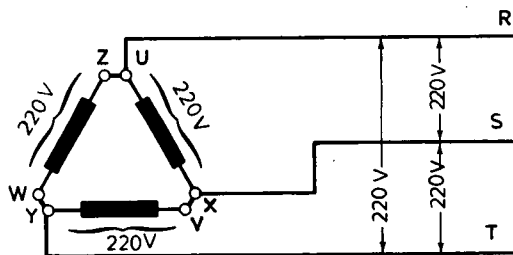
Ο βαθμός αποδόσεως είναι τώρα:

$$\eta = 1 - 0,1 = 0,9$$

8.8 Τάση λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

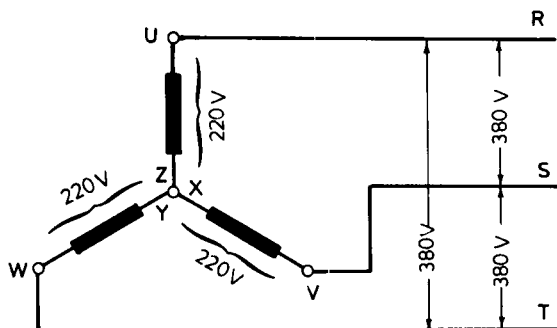
Τα τυλίγματα των τριών φάσεων του στάτη κάθε τριφασικού κινητήρα είναι υπολογισμένα από τον κατασκευαστή να εργάζονται με μία ορισμένη (φασική) τάση π.χ. 220 V. Η τάση του δικτύου, στο οποίο μπορεί ένας τέτοιος κινητήρας να λειτουργήσει κανονικά, εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεσμολογημένες μεταξύ τους οι τρεις φάσεις του στάτη (σχ. 8.2β).

α) **Σύνδεση σε τρίγωνο.** Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8.8α που παριστάνει τη σύνδεση των φάσεων σε τρίγωνο, για να έχουμε τάση 220 V στο τύλιγμα κάθε φάσεως, πρέπει η τάση του δικτύου (πολική τάση) που τροφοδοτεί τον κινητήρα να είναι 220 V.



Σχ. 8.8α.

Σύνδεση σε τρίγωνο



Σχ. 8.8β.

Σύνδεση σε αστέρα.

β) **Σύνδεση σε αστέρα.** Αν στον ίδιο κινητήρα συνδεσμολογήσουμε τις φάσεις του τυλίγματος του στάτη σε αστέρα (σχ. 8.8β), για να επικρατεί πάλι τάση 220 V στο τύλιγμα κάθε φάσεως, όση δηλαδή έχει προβλέψει ο κατασκευαστής, θα πρέπει η τάση του δικτύου (πολική) να είναι 1,73 φορές μεγαλύτερη, δηλαδή 380 V (παράγρ. 5.6).

Στην πινακίδα ενός τέτοιου κινητήρα, η τάση είναι σημειωμένη ως εξής:

$$220/380 \text{ V ή}$$

$$220/380 \text{ V } \Delta/Y \text{ ή}$$

$$220 \text{ V } \Delta$$

Όλα αυτά σημαίνουν ότι ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί κανονικά με τάση δικτύου 220 V με σύνδεση σε τρίγωνο (Δ) ή με τάση δικτύου 380 V με σύνδεση σε αστέρα (Y).

Για ένα κινητήρα όπου το τύλιγμα κάθε φάσεως είναι κατασκευασμένο για να εργάζεται με τάση 380 V μπορούμε αντίστοιχα να συναντήσουμε τις ακόλουθες αναγραφές της τάσεως του κινητήρα στην πινακίδα του:

$$380/660 \text{ V ή}$$

$$380/660 \text{ V } \Delta/Y \text{ ή}$$

$$380 \text{ V } \Delta$$

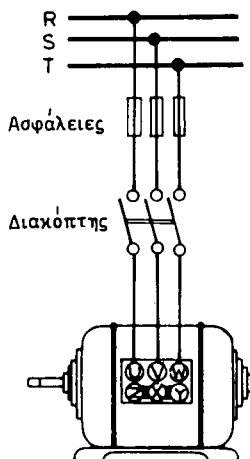
Σημείωση: είναι $1,73 \times 380 \approx 660$.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στα δίκτυα χαμηλής τάσεως της ΔΕΗ, που έχουν τάση (πολική) 380 V, ο πρώτος από τους κινητήρες μπορεί να λειτουργήσει κανονικά σε σύνδεση αστέρα, ενώ ο δεύτερος μόνο σε σύνδεση τρίγωνο.

8.9 Εκκίνηση τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.

α) Απευθείας εκκίνηση.

Η απευθείας εκκίνηση, δηλαδή με τη χρήση μόνο ενός απλού τριπολικού διακόπτη (σχ. 8.9α), είναι η απλούστερη μέθοδος για να βάλομε σε λειτουργία ένα τρι-



Σχ. 8.9α.

Απευθείας εκκίνηση.

φασικό κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις στη βιομηχανία.

Ο λόγος για τον οποίο δεν έχει γενική εφαρμογή στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα είναι ότι, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 8.6(β), οι κινητήρες αυτοί έχουν μεγάλες εντάσεις εκκινήσεως. Οι εντάσεις αυτές προκαλούν στιγμιαίες πτώσεις τάσεως στα δίκτυα που τροφοδοτούν τους 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 βυθίσεως τάσεως δεν εξαρτάται μόνο από το $I_{εκ}$ αλλά και από την ικανότητα του δικτύου ηλεκτροδότησης.

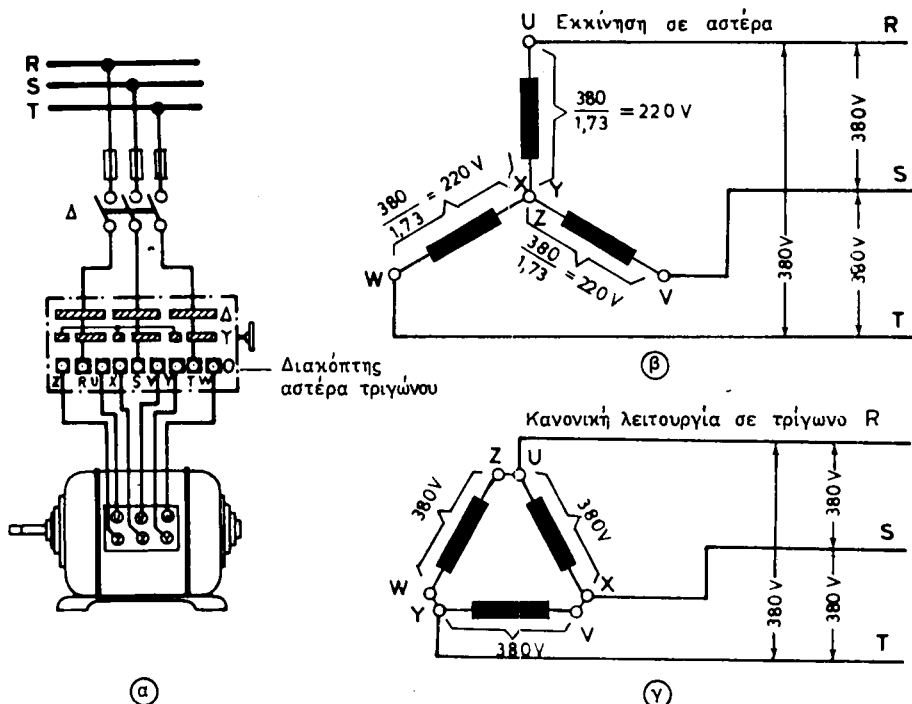
Για τους παραπάνω λόγους πρέπει πριν από την εγκατάσταση ενός κινητήρα να προηγείται συνεννόηση με την επιχείρηση, η οποία παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια (με τη ΔΕΗ στη χώρα μας), αν είναι επιτρεπτή η απευθείας εκκίνηση του κινητήρα ή απαιτείται η τοποθέτηση διατάξεως, με την οποία, όπως θα εξηγήσουμε αμέσως παρακάτω μπορούμε να ελαττώσουμε το $I_{εκ}$ 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.

Εκτός από την απευθείας εκκίνηση, οι υπόλοιποι τρόποι εκκινήσεως των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα στηρίζονται, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 8.6(β), στην τροφοδότηση του κινητήρα με μειωμένη τάση κατά την εκκίνηση.

β) Εκκίνηση με διακόπη αστέρα-τριγώνου.

Η εκκίνηση στην περίπτωση αυτή γίνεται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου διακόπτη [σχ. 8.9β(α)], που ονομάζεται **διακόπτης αστέρα-τριγώνου**. Το τύλιγμα του στάτη, το οποίο πρέπει να είναι κατασκευασμένο για να εργάζεται κανονικά με



Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου.

σύνδεση σε τρίγωνο, στην εκκίνηση συνδεσμοποιείται από το διακόπτη σε αστέρα.

Όταν ο δείκτης του στρόφαλου του διακόπτη βρίσκεται στη θέση Ο, δεν γίνεται τροφοδότηση του κινητήρα από το δίκτυο, ακόμα κι αν ο διακόπτης Δ είναι κλειστός. Ο κινητήρας είναι ακίνητος. Όταν περιστρέψουμε το στρόφαλο, ώστε ο δείκτης του να αντιστοιχεί στο σύμβολο Υ, οι αντίστοιχοι μεταλλικοί τομείς του διακόπτη συνδεσμοποιούν τις τρεις φάσεις του τυλίγματος του στάτη σε αστέρα, όπως δείχνει το σχήμα 8.9β(β) και ταυτόχρονα το τύλιγμα τίθεται υπό τάση και συνεπώς ο κινητήρας ξεκινά.

Αφού ξεκινήσει ο κινητήρας και οι στροφές του φθάσουν σε κάποιο όριο ώστε να μην αυξάνονται περισσότερο, στρέφουμε το στρόφαλο του διακόπτη αστέρα - τριγώνου στη θέση Δ. Οι φάσεις του τυλίγματος του στάτη συνδεσμοποιούνται τώρα από τους τομείς του διακόπτη σε τρίγωνο, όπως δείχνει το σχήμα 8.9β(γ). Με τη συνδεσμοποιία αυτή κάθε φάση του τυλίγματος τίθεται υπό την πολική τάση του δικτύου, για την οποία και έχει κατασκευασθεί. Συνεπώς ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί με το κανονικό του φορτίο.

Αν η εκκίνηση του κινητήρα γινόταν χωρίς διακόπτη αστέρα-τριγώνου, αλλά με απευθείας ζεύξη των τριών φάσεων του σε τρίγωνο, η ένταση, που θα διέρρεε (στην εκκίνηση) το τύλιγμα κάθε φάσεως, θα δινόταν από τη σχέση:

$$I_{\phi} = \frac{U}{Z}$$

όπου: U είναι η πολική τάση του δικτύου σε V και Z είναι η σύνθετη αντίσταση σε Ω κάθε φάσεως του κινητήρα «εν στάσει».

Συνεπώς η ένταση γραμμής (στο δίκτυο) θα ήταν:

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{Z}$$

Τώρα που η εκκίνηση του κινητήρα γίνεται με σύνδεση των φάσεων σε αστέρα, σε κάθε φάση επικρατεί μειωμένη τάση:

$$U_{\Phi} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Άρα η ένταση κάθε φάσεως, η οποία είναι τώρα και ένταση γραμμής, θα είναι:

$$I_Y = \frac{U_{\Phi}}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Συνεπώς είναι:

$$I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$$

Δηλαδή **η ένταση, την οποία ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο στην εκκίνηση με ζεύξη σε αστέρα, είναι τρεις φορές μικρότερη από την ένταση που απορροφά με απευθείας ζεύξη σε τρίγωνο**. Κατά το ίδιο ποσοστό μειώνεται και η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα (βλέπε και καμπύλες στο σχήμα 8.9γ), δεδομένου ότι αυτή είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσεως.

Για τη χρησιμοποίηση του διακόπτη αστέρα-τριγώνου πρέπει, όπως αναφέραμε, ο κινητήρας να είναι κατασκευασμένος για να εργάζεται κανονικά με ζεύξη των φάσεων του τυλίγματος του στάτη σε τρίγωνο, διαφορετικά η χρησιμοποίηση διακόπτη αυτού του είδους δεν είναι δυνατή.

Παράδειγμα.

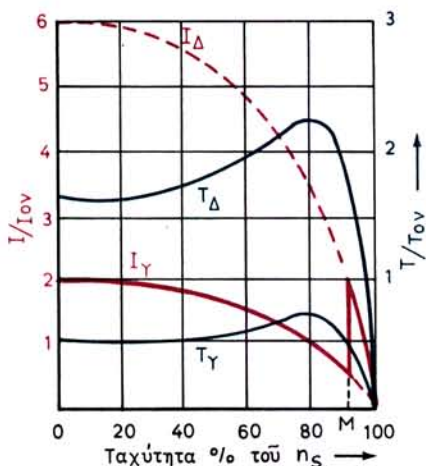
Σε τριφασικό δίκτυο τάσεως 220/380V (δίκτυα Χ.Τ. της ΔΕΗ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί διακόπτης αστέρα-τριγώνου: α) Σε κινητήρα τάσεως 380 V Δ ; β) Σε κινητήρα τάσεως 220/380 V;

Λύση.

α) Ο κινητήρας τάσεως 380 V Δ είναι κατασκευασμένος για να εργάζεται κανονικά με σύνδεση των τυλιγμάτων του σε τρίγωνο, όταν η πολική τάση του δικτύου είναι 380 V (δίκτυα Χ.Τ. της ΔΕΗ). Άρα σύμφωνα με όσα αναφέραμε, στον κινητήρα αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το διακόπτη αστέρα - τριγώνου για να ξεκινά με ελαττωμένη τάση, δηλαδή με ελαττωμένη ένταση εκκινήσεως.

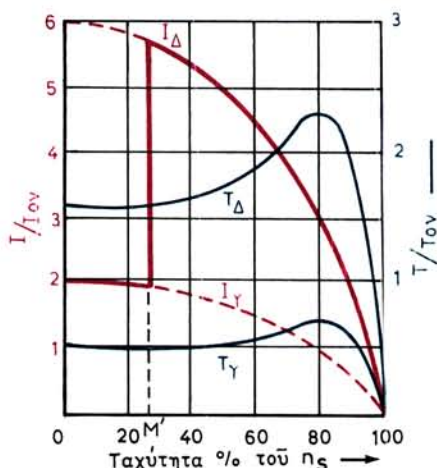
β) Σε κινητήρα τάσεως 220/380 V, δεν είναι δυνατό, σύμφωνα με όσα αναφέραμε, να χρησιμοποιήσουμε διακόπτη αστέρα-τριγώνου σε δίκτυο πολικής τάσεως 380 V.

Κατά το χειρισμό του διακόπτη αστέρα-τριγώνου πρέπει να δίνεται μεγάλη



Σχ. 8.9γ.

Ορθή στιγμή μεταβολής της ζεύξεως
από αστέρα σε τρίγωνο.



Σχ. 8.9δ.

Πρώρη μεταβολή της ζεύξεως
από αστέρα σε τρίγωνο.

προσοχή στην εκλογή της χρονικής στιγμής, στην οποία θα στρέψουμε το στρόφαλο, ώστε να μεταβούμε από τη ζεύξη του αστέρα στη ζεύξη του τριγώνου. Όπως αναφέραμε, αυτή πρέπει να είναι η στιγμή, κατά την οποία ο κινητήρας με ζεύξη σε αστέρα μόλις έχει παύσει να αυξάνει τις στροφές του. Αν η μετάβαση γίνει πολύ νωρίτερα, η χρησιμοποίηση του διακόπτη αστέρα-τριγώνου παύει σχεδόν να έχει οποιαδήποτε σημασία, όπως εξηγούν τα δυο σχήματα 8.9γ και 8.9δ.

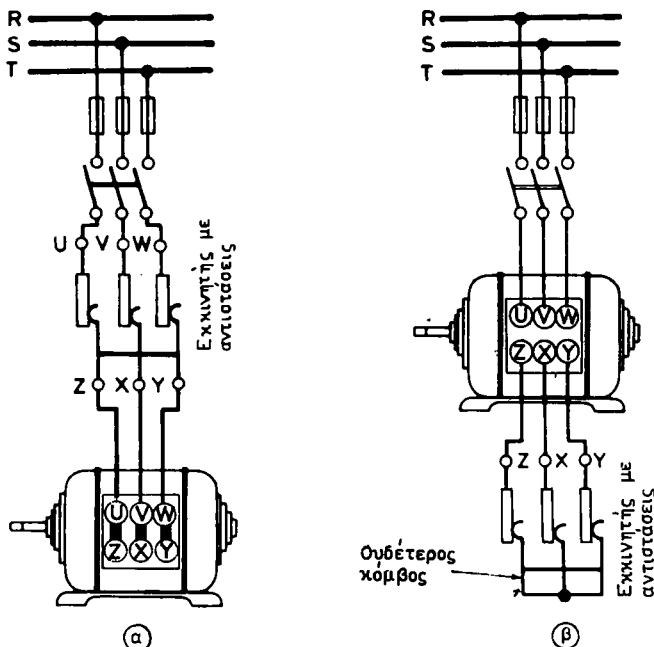
Στα σχήματα αυτά οι καμπύλες με δείκτη Δ αναφέρονται σε λειτουργία του κινητήρα με ζεύξη των φάσεων του σε τρίγωνο και οι καμπύλες με δείκτη Υ με ζεύξη των φάσεων του ίδιου κινητήρα σε αστέρα. Και στις δυο περιπτώσεις η τάση του δικτύου παραμένει η ίδια, δηλαδή η κανονική τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα.

Στο σχήμα 8.9γ παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή Μ της μεταβολής από αστέρα σε τρίγωνο, η ένταση αυξάνεται απότομα, αλλά δεν υπερβαίνει την αρχική τιμή του $I_{\epsilon\kappa}$ (περίπου διπλάσια του I_{ov}). Στην περίπτωση του σχήματος 8.9δ η μεταβολή της ζεύξεως από αστέρα 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 αστέρα-τριγώνου δεν είχε εχεδόν καμιά επίδραση, αφού και χωρίς αυτόν θα ήταν $I_{\epsilon\kappa}/I_{ov} = 6$, όπως προκύπτει από τη σχετική καμπύλη του σχήματος 8.9δ.

γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.

Στη μέθοδο αυτή της εκκινήσεως χρησιμοποιούμε εκκινητή που αποτελείται από τρεις αντιστάσεις, τις οποίες παρεμβάλλουμε στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα, όπως δείχνει το σχήμα 8.9ε (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



Σχ. 8.9ε.

Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.

αντιστάσεις, ώστε στην κανονική λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντιστάσεις του εκκινητή να είναι εκτός κυκλώματος.

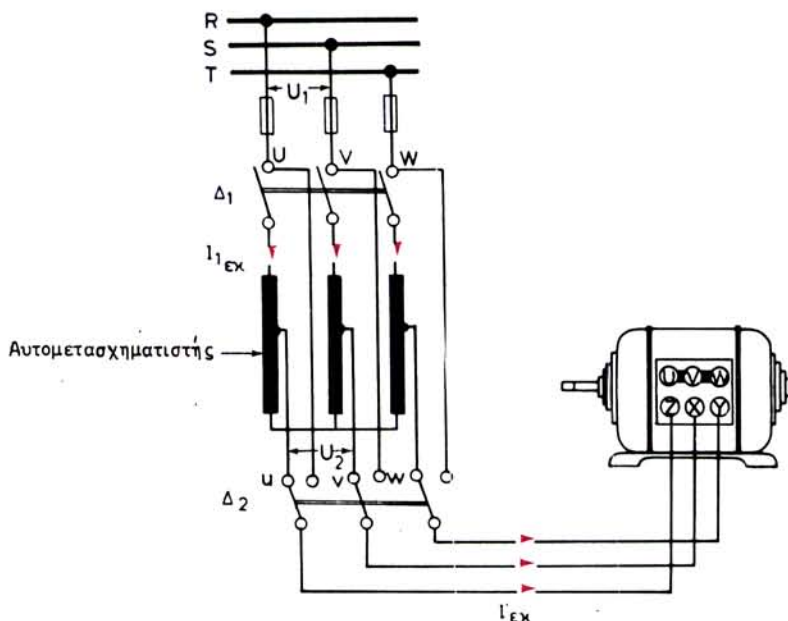
Αν ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος να λειτουργεί κανονικά με ζεύξη των φάσεων του σε αστέρα, τότε η τοποθέτηση του εκκινητή γίνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.9ε (β). Στην περίπτωση αυτή ο ουδέτερος κόμβος των τριών φάσεων του κινητήρα γίνεται στον εκκινητή.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

Για την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα χρησιμοποιούμε συνήθως τριφασικούς αυτομετασχηματιστές (παράγρ. 6.10) που συνδεσμοποιούνται, όπως δείχνει το σχήμα 8.9στ. Στην εκκίνηση συνδέουμε τον κινητήρα με τη βοήθεια του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ_2 με τις λήψεις u, v, w του αυτομετασχηματιστή. Στη συνέχεια κλείνουμε το διακόπτη Δ_1 , 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 Δ_2 προς τα δεξιά, ώστε ο κινητήρας να βρεθεί στην πλήρη τάση του δικτύου για την κανονική του λειτουργία. Τέλος ανοίγουμε το διακόπτη Δ_1 για να μην είναι υπό τάση ο αυτομετασχηματιστής.

Αν με τη χρήση του αυτομετασχηματιστή η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα είναι π.χ. το $\frac{1}{2}$ της τάσεως του δικτύου, τότε και το ρεύμα $I_{εκ}$, που απορροφά ο



Σχ. 8.9στ.

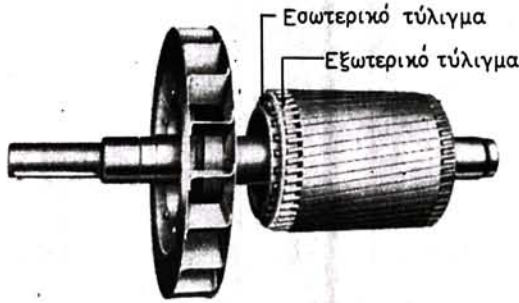
Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

κινητήρας στην εκκίνηση, ελαττώνεται στο $\frac{1}{2}$ του ρεύματος I'_{EK} , που θα απορροφούσε στην απευθείας εκκίνηση. Το πρωτεύον όμως ρεύμα I_{1EK} (σχ. 8.9στ) που ο αυτομετασχηματιστής απορροφά από το δίκτυο, ελαττώνεται στο $\frac{1}{4}$. Δηλαδή το ρεύμα αυτό έναντι του I'_{EK} ελαττώνεται με το τετράγωνο της **σχέσεως μεταφοράς** του αυτομετασχηματιστή. Όμοια ελαττώνεται και η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα.

8.10 Κινητήρες διπλού κλωβού.

Ο κινητήρας με τύλιγμα κλωβού είναι πολύ απλός στην κατασκευή του, έχει μικρό κόστος και καλό βαθμό αποδόσεως. Έχει όμως το μειονέκτημα ότι το ρεύμα της απευθείας εκκινήσεως, είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το ονομαστικό του ρεύμα. Αυτό επιβάλλει, εκτός από την περίπτωση των μικρών κινητήρων, τη χρησιμοποίηση των μέσων εκκινήσεως, που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αποτέλεσμα όνως της χρησιμοποίησης των μέσων αυτών τα οποία όπως είδαμε ελαττώνουν στην εκκίνηση την τάση που εφαρμόζεται, είναι να ελαττώνεται και η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα. Συνεπώς οι κινητήρες αυτοί μπορούν να ξεκινούν ή χωρίς φορτίο ή με πολύ ελαττωμένο φορτίο.

Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα που έχουν διπλό τύλιγμα κλωβού (παράγρ. 8.2, σχ. 8.2γ). Το εξωτερικό τύλιγμα (σχ. 8.10α) έχει ράβδους μικρής διατομής και έχει συνεπώς μεγάλη ωμική αντίσταση. Επίσης, επειδή το τύλιγμα αυτό βρίσκεται κοντά στην περιφέρεια, η αυτεπαγωγική του αντίσταση λόγω σκεδάσεως είναι μικρή. Το εσωτερικό



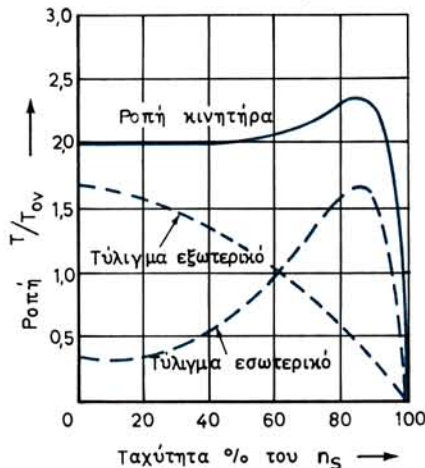
Σχ. 8.10α.

Δρομέας κινητήρα διπλού κλωβού.

κό τύλιγμα κλωβού αποτελείται από λιγότερες ράβδους μεγάλης διατομής από χαλκό. Έχει συνεπώς μικρή ωμική και μεγάλη αυτεπαγωγική αντίσταση.

Με τη βοήθεια των σχέσεων, που δώσαμε στην παράγραφο 8.5, είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς, ότι στην εκκίνηση, οπότε η συχνότητα του ρεύματος στο δρομέα είναι μεγάλη, ρεύμα κυκλοφορεί κυρίως στο εξωτερικό τύλιγμα κλωβού, του οποίου η αυτεπαγωγική αντίσταση είναι μικρή. Στην κανονική λειτουργία, η συχνότητα του ρεύματος στα τυλίγματα κλωβού του κινητήρα είναι μικρή. Οι αυτεπαγωγικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων αυτών είναι τότε αμελητέες μπροστά στις ωμικές τους αντιστάσεις. Συνεπώς ρεύμα κυκλοφορεί τότε κυρίως στο εσωτερικό τύλιγμα κλωβού, του οποίου η ωμική αντίσταση είναι πιο μικρή.

Η ροπή του κινητήρα είναι κάθε στιγμή το άθροισμα των ροπών, που αναπτύσσονται στα δυο τυλίγματα κλωβού, όπως δείχνει η σχετική καμπύλη στο σχήμα 8.10β. Δίνοντας τις κατάλληλες διαστάσεις στα δυο τυλίγματα, είναι δυνατό να διαμορφώσουμε την καμπύλη αυτή, ώστε ο κινητήρας να προσαρμόζεται άριστα στο μηχάνημα που πρόκειται να κινήσει. Στους κινητήρες αυτούς, που χρησιμο-



Σχ. 8.10β.

Ροπή κινητήρα με διπλό κλωβό και απ' ευθείας εκκίνηση.

ποιούνται για μεγάλες ισχύεις, το ρεύμα της απευθείας εκκίνησης είναι 2 ως 3,5 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα, και ο βαθμός αποδόσεως στην κανονική λειτουργία είναι ικανοποιητικός.

8.11 Κινητήρες με βαθιά αυλάκια.

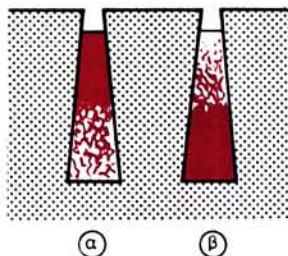
Ο κινητήρας διπλού κλωβού εκτοπίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις από τον κινητήρα με βαθιά αυλάκια (παράγρ. 8.2, σχ. 8.2γ), ο οποίος είναι πιο απλός στην κατασκευή και έχει περίπου τα χαρακτηριστικά του πρώτου.

Η αυτεπαγωγή των ράβδων μεταβάλλεται, όπως και στο διπλό κλωβό, με το βάθος της οδοντώσεως. Στην εκκίνηση, η σύνθετη αντίσταση είναι μεγαλύτερη για τα μέρη των ράβδων που βρίσκονται στο βάθος. Συνεπώς τα ρεύματα που δημιουργούνται από επαγωγή κυκλοφορούν κυρίως στο μέρος των ράβδων του τυλίγματος που είναι προς την περιφέρεια [(σχ. 8.11α (α))]. Έτσι αναπτύσσεται ικανοποιητική ροπή εκκίνησης, με σχετικά μικρά ρεύμα εκκίνησης (σχ. 8.11β).

Στην κανονική λειτουργία, όταν η ταχύτητα αυξηθεί, ελαττώνεται η συχνότητα του ρεύματος που δημιουργείται από επαγωγή στο τύλιγμα του δρομέα. Η σύνθετη αντίσταση είναι τώρα μικρότερη στο μέρος των ράβδων, που βρίσκονται προς το εσωτερικό του δρομέα. Άρα ρεύμα θα κυκλοφορεί κυρίως στο μέρος αυτό των ράβδων [(σχ. 8.11α (β))]. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται καλός βαθμός αποδόσεως στην κανονική λειτουργία του κινητήρα.

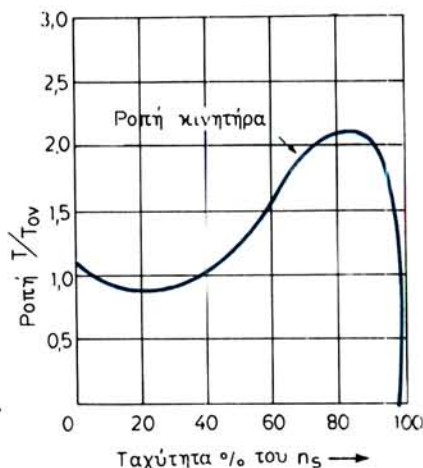
Παρατηρούμε δηλαδή ότι στους κινητήρες αυτούς γίνεται **μετατόπιση** του ρεύματος μέσα στις ράβδους του τυλίγματος κλωβού. Αυτός είναι ο λόγος που, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 8.2, οι δρομείς αυτοί ονομάζονται **δρομείς μετατόπισης ρεύματος**.

Οι κινητήρες με βαθιά αυλάκια χρησιμοποιούνται σήμερα σε σημαντική έκταση και μάλιστα με απευθείας εκκίνηση για ισχύ μέχρι μερικές εκατοντάδες κιλοβάττ.



Σχ. 8.11α.

Διανομή του ρεύματος σε κινητήρες με βαθιά αυλάκια.



Σχ. 8.11β.

Ροπή κινητήρα με βαθιά αυλάκια και απ' ευθείας εκκίνηση.

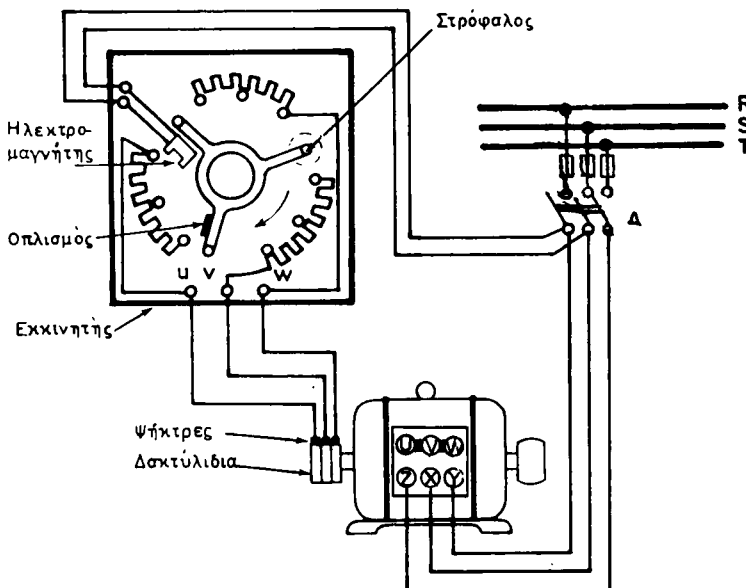
8.12 Εκκίνηση κινητήρων με δακτυλίδια.

Στους κινητήρες με δακτυλίδια για να ελαττώσουμε την ένταση εκκινήσεως που απορροφούν από το δίκτυο, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 8.6, συνδέουμε ένα τριφασικό εκκινητή σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα με τη βοήθεια των δακτυλιδιών και των ψηκτρών που εφάπτονται σε αυτά (σχ. 8.12α).

Ο εκκινητής του σχήματος 8.12α παριστάνεται στη θέση ηρεμίας. Για την εκκίνηση του κινητήρα, αφού κλείσουμε το διακόπτη Δ, στρέφουμε το στρόφαλο του εκκινητή ώστε οι τρεις βραχίονές του να έλθουν στις πρώτες επαφές. Ολόκληρες οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι τότε συνδεδεμένες σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Μετά την εκκίνηση του κινητήρα στρέφουμε σιγά-σιγά το στρόφαλο στις δεύτερες επαφές κλπ. μέχρι τις τελευταίες, οπότε όλες οι αντιστάσεις του εκκινητή θα είναι εκτός κυκλώματος. Τώρα ο στρόφαλος του εκκινητή βραχυκυκλώνει τα τρία δακτυλίδια.

Αν ο κινητήρας έχει σύστημα ανυψώσεως των ψηκτρών, όπως αυτό του σχήματος 8.2η, τότε, αφού βραχυκυκλώσουμε με αυτό τα δακτυλίδια (παράγρ. 8.2), αφήνουμε το στρόφαλο του εκκινητή, ο οποίος με ένα ελατήριο επαναφοράς που έχει επανέρχεται στη θέση ηρεμίας, ενώ ο κινητήρας εργάζεται κανονικά.

Αν ο κινητήρας δεν έχει σύστημα ανυψώσεως των ψηκτρών, ο στρόφαλος του εκκινητή κρατιέται στην τελευταία επαφή με τη βοήθεια ενός **ηλεκτρομαγνήτη** που έχει και του οπλισμού του (σχ. 8.12α). Αν για οποιοδήποτε λόγο ελαττωθεί η τάση του δικτύου, ο ηλεκτρομαγνήτης ελευθερώνει τον οπλισμό του και το ελατήριο επαναφέρει το στρόφαλο στη θέση ηρεμίας. Το ίδιο συμβαίνει και αν ανοίξουμε το διακόπτη Δ. Έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος να ξεκινήσει ο κινητήρας με τις αντιστάσεις του εκκινητή βραχυκυκλωμένες.



Σχ. 8.12α.

Συνδεσμολογία τριφασικού εκκινητή αντιστάσεων με ασύγχρονο κινητήρα με δακτυλίδια.

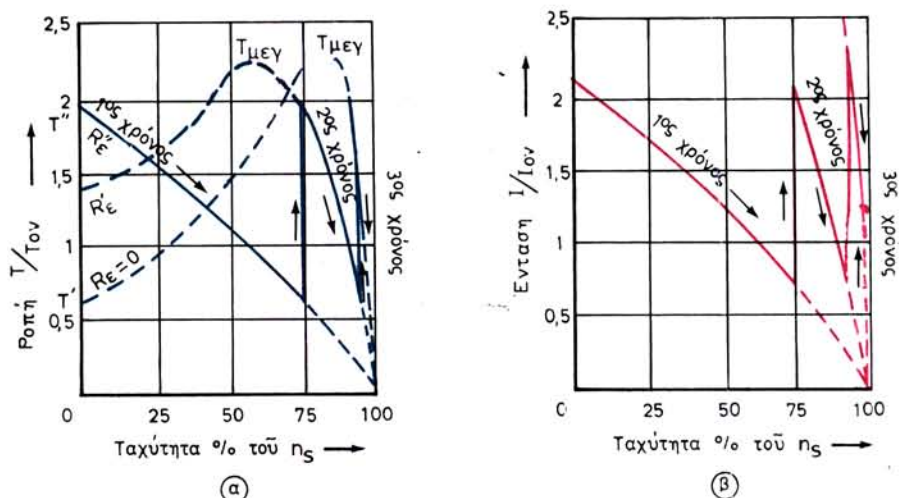
Ο εκκινητής του σχήματος 8.12α έχει τρεις επαφές για κάθε αντίσταση, δηλαδή η εκκίνηση γίνεται σε τρεις χρόνους. Σε κάθε επαφή του στροφάλου, δηλαδή σε κάθε χρόνο, είναι συνδεδεμένη διαφορετική αντίσταση σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Όπως είδαμε όμως στην παράγραφο 8.6, για κάθε τιμή της εξωτερικής αντιστάσεως R_e έχουμε και διαφορετική καμπύλη μεταβολής της ροπής, όταν μεταβάλλεται ο αριθμός στροφών του κινητήρα (σχ. 8.6γ). Άρα στη διάρκεια της εκκινήσεως η ροπή του κινητήρα θα μεταβάλλεται, όπως δείχνει το σχήμα 8.12β(α). Κατά τον τελευταίο χρόνο, όταν όλη η αντίσταση του εκκινητή θα είναι εκτός ξυκλώματος, οπότε έχουμε την κανονική λειτουργία του κινητήρα, η ροπή θα μεταβάλλεται στην καμπύλη $R_e = 0$ των σχημάτων 8.6γ και 8.12β(α).

Στο σχήμα 8.12β(β) παριστάνεται η αντίστοιχη μεταβολή της εντάσεως, που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο, σε όλη τη διάρκεια της εκκινήσεως μέχρι και την κανονική λειτουργία (3ος χρόνος).

Παρατηρούμε ότι στη διάρκεια της εκκινήσεως η ροπή του κινητήρα κυμαίνεται μεταξύ δυο ορίων T' και T'' (σχ. 8.12β(α)). Τα όρια αυτά ρυθμίζονται με κατάλληλη εκλογή των αντιστάσεων και του αριθμού των χρόνων του εκκινητή. Πάντως πρέπει να σημειώσουμε ότι όσο το άνω όριο T'' είναι μεγαλύτερο και πλησιάζει το $T_{μεγ}$, τόσο και η ένταση εκκινήσεως θα είναι μεγαλύτερη. Μόνο σε περιπτώσεις, που χρειάζεται να έχουμε πολύ μεγάλη ροπή εκκινήσεως, η ολική αντίσταση του εκκινητή εκλέγεται έτσι ώστε το T'' να είναι ίσο με το $T_{μεγ}$. Για κινητήρα π.χ. για τον οποίο ισχύουν οι καμπύλες του σχήματος 8.6γ, θα πρέπει να ληφθεί ολική αντίσταση του εκκινητή $R''_e = 5 R_2$.

Η ένταση εκκινήσεως είναι δυνατό να γίνει όσο θέλουμε μικρή με κατάλληλη εκλογή της ολικής αντιστάσεως του εκκινητή. Στην περίπτωση αυτή όμως ελαττώνεται και η ροπή εκκινήσεως T'' .

Παρά το γεγονός ότι με τη χρήση του εκκινητή στους κινητήρες με δακτυλίδια βελτιώνονται σημαντικά οι συνθήκες εκκινήσεως, με αύξηση της ροπής και μείωση



Σχ. 8.12β.

Μεταβολή της ροπής και της εντάσεως του στάτη κατά την εκκίνηση κινητήρα με δακτυλίδια.

του ρεύματος, η χρήση των κινητήρων αυτών είναι σχετικά περιορισμένη. Το κόστος τους είναι μεγαλύτερο από τους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και χρειάζονται πιο συχνή συντήρηση επειδή έχουν τα δακτυλίδια, τις ψήκτρες κλπ. Χρησιμοποιούνται για ισχύ μέχρι μερικές χιλιάδες κιλοβάττ.

8.13 Ρύθμιση της ταχύτητας στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες.

Όπως είδαμε στην παράγραφο 8.4, η ταχύτητα περιστροφής ενός ασύγχρονου κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$n = n_s (1 - s) \quad \text{σε στρ/s}$$

όπου: n_s είναι η σύγχρονη ταχύτητα σε στρ/s και s η διολίσθηση του κινητήρα. Είναι όμως:

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

όπου: f είναι η συχνότητα του δικτύου τροφοδοτήσεως σε Hz και p ο αριθμός ζευγών πόλων του τυλίγματος του στάτη.

Άρα:

$$n = \frac{f}{p} (1 - s) \quad \text{σε στρ/s}$$

Από τη σχέση αυτή συμπεραίνουμε ότι για να μεταβάλλουμε την ταχύτητα περιστροφής σε ένα ασύγχρονο κινητήρα, πρέπει να μεταβάλλουμε ένα από τα μεγέθη s , p , f .

α) Ρύθμιση της ταχύτητας με μεταβολή της διολίσθησεως.

Η μέθοδος αυτή είναι δυνατό να εφαρμοσθεί στους κινητήρες με δακτυλίδια. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ένας **ρυθμιστής στροφών**, ο οποίος συνδέεται ακριβώς όπως ο εκκινητής (σχ. 8.12α). Η μόνη διαφορά είναι, ότι οι αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών είναι υπολογισμένες, ώστε να μπορούν να παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα στο κύκλωμα, χωρίς κίνδυνο να καταστραφούν από τη θερμότητα που παράγεται. Οι αντιστάσεις του εκκινητή αντέχουν μόνο στη θερμότητα, η οποία παράγεται στο σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα που διαρκεί η εκκίνηση.

Αν θέλουμε να ελαττώσουμε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, εισάγουμε σε σειρά με το τυλίγμα του δρομέα αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών. Όσο μεγαλύτερες είναι οι αντιστάσεις, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα του κινητήρα για ορισμένο φορτίο. Αυτό εξηγείται εύκολα με τη βοήθεια των καμπυλών του σχήματος 8.6γ. Για φορτίο π.χ. ίσο με το 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 το ίδιο φορτίο ελαττώνεται σε n'_k ή n''_k αν οι αντιστάσεις του ρυθμιστή είναι $R'_e = 2 R_2$ ή $R''_e = 5 R_2$.

Η μέθοδος αυτή ρυθμίσεως των στροφών του ασύγχρονου κινητήρα είναι αν-
τιοικονομική, γιατί ελαττώνεται σημαντικά ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα. Αυ-

τό γίνεται γιατί έχουμε απώλειες ενέργειας με μορφή θερμότητας, που εμφανίζεται στις αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών.

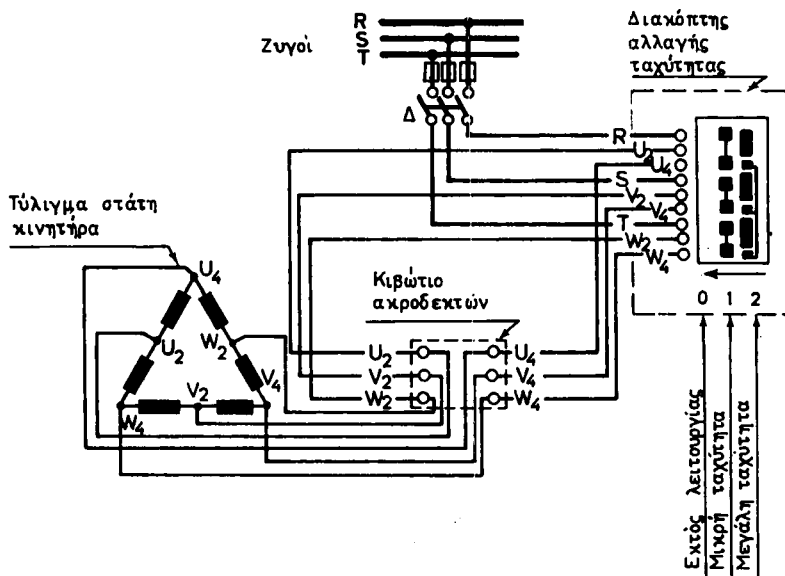
Πρέπει τέλος να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης ρυθμιστή στροφών, μεταβολή του φορτίου του κινητήρα συνεπάγεται και μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του. Επίσης, ότι αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα πέρα από τη σύγχρονη ταχύτητα δεν είναι δυνατή με τη μέθοδο αυτή.

β) Μεταβολή του αριθμού ζευγών πόλων του τυλίγματος.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα και με απευθείας 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 το σχήμα 8.13α.



Σχ. 8.13α.

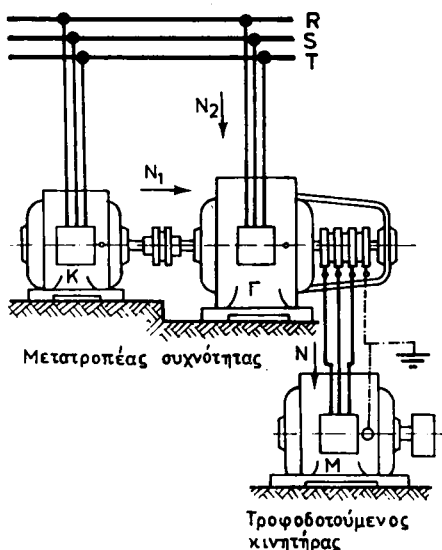
Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής ταχύτητας σε κινητήρα δύο ταχυτήτων.

γ) Αλλαγή της συχνότητας του ρεύματος τροφοδοτήσεως.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως όταν θέλουμε να έχουμε κινητήρες που να περιστρέφονται με ταχύτητες πάνω από 3000 στρ/min.

Όπως είναι γνωστό, με ρεύμα συχνότητας 50 Hz και διπολικό κινητήρα έχουμε σύγχρονη ταχύτητα 3000 στρ/min και πραγματική ταχύτητα του κινητήρα λίγο μι-

κρότερη (κατά τη διολίσθηση). Για την κίνηση όμως ορισμένων μηχανημάτων, όπως π.χ. μηχανημάτων επεξεργασίας ξύλου, μηχανημάτων της υφαντουργικής 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. 8.13β) από ένα κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα K, ο οποίος κινεί το δρομέα ενός κινητήρα με δακτυλίδια Γ, που χρησιμοποιείται σαν γεννήτρια. Τα τυλίγματα του στάτη και των δυο μηχανών τροφοδοτούνται από το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως R, S, T (380 V, 50 Hz).



Σχ. 8.13β.

Μετατροπέας συχνότητας.

Όταν η μηχανή Γ είναι ακίνητη (διολίσθηση $s = 1$), και το τύλιγμα του στάτη της τροφοδοτείται με ρεύμα $f = 50$ Hz, η συχνότητα f_2 της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, που αναπτύσσεται στο δρομέα, θα είναι (παράγρ. 8.5) ίση με τη συχνότητα του δικτύου:

$$f_2 = s \cdot f = f$$

Όταν ο κινητήρας K κινεί το δρομέα του κινητήρα με δακτυλίδια Γ με ταχύτητα n_K (στρ/s) **κατά φορά αντίθετη** από τη φορά περιστροφής του μαγνητικού του πεδίου, η συχνότητα του ρεύματος του δρομέα της μηχανής Γ αυξάνεται σε:

$$f_2 = f + p_\Gamma \cdot n_K$$

όπου: p_Γ είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα με δακτυλίδια Γ.

Είναι όμως κατά προσέγγιση:

$$n_K = \frac{f}{p_K}$$

όπου: p_K είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα Κ.

Άρα:

$$f_2 = f + p_K \cdot \frac{f}{p_K} = f \left(1 + \frac{p_K}{p_K} \right)$$

Αν π.χ. $p_K = 2$, $p_K = 2$ 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 τα δακτυλίδια του μετατροπέα συχνότητας (σχ. 8.13β) θα έχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{sM} = \frac{f_2}{p_M} \quad \text{σε στρ/s}$$

όπου: p_M είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα Μ.

Π.χ. για $p_M = 1$ και $f_2 = 100 \text{ Hz}$ έχουμε:

$$n_{sM} = \frac{f_2}{p_M} = \frac{100}{1} = 100 \text{ στρ/s} \quad \text{ή}$$

$$n_{sM} = \frac{60 \cdot f_2}{p_M} = \frac{60 \times 1000}{1} = 6000 \text{ στρ/min}$$

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 ηλεκτροδοτήσεως. 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.

Στην πράξη, τις περισσότερες φορές ο μετατροπέας συχνότητας δεν κατασκευάζεται από δυο ξεχωριστές μηχανές, όπως στο σχήμα 8.13β. Τόσο ο στάτης του κινητήρα Κ όσο και ο στάτης της γεννήτριας Γ είναι τοποθετημένοι μέσα στο ίδιο κέλυφος. Επίσης, σε ένα κοινό άξονα (σχ. 8.13γ) είναι τοποθετημένοι ο δρομέας του κινητήρα με τύλιγμα κλωβού και ο δρομέας της γεννήτριας με τριφασικό τύλιγμα με τον ανεμιστήρα μεταξύ τους. Τα άκρα του τυλίγματος αυτού οδηγούνται



Σχ. 8.13γ.

Δρομέας μετατροπείας συχνότητας.

μέσα από τον κοίλο άξονα σε σύστημα δακτυλιδιών που είναι έξω από το κέλυφος της μηχανής.

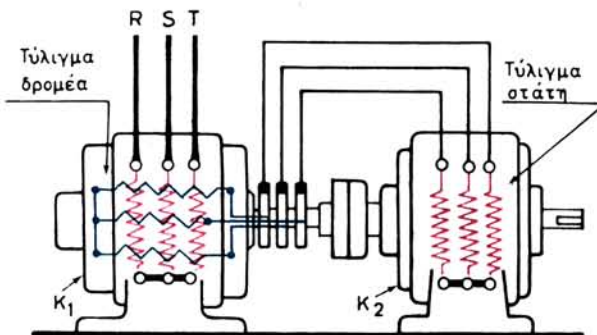
δ) Κλιμακωτή ζεύξη.

Μία άλλη μέθοδος για τη ρύθμιση της ταχύτητας των ασύγχρονων κινητήρων, η οποία είναι συνδυασμός των μεθόδων, που περιγράψαμε προηγούμενα, είναι η ονομαζόμενη **κλιμακωτή ζεύξη** δυο ή περισσοτέρων κινητήρων. Εφαρμογή της μεθόδου αυτής με δυο ασύγχρονους κινητήρες δείχνουν τα σχήματα 8.13δ και 8.13ε. Οι δυο μηχανές έχουν τους άξονές τους συζευγμένους μηχανικά.

Στο σχήμα 8.13δ η μηχανή K_1 είναι κινητήρας με δακτυλίδια, του οποίου το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται από το δίκτυο. Η μηχανή K_2 είναι κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα, του οποίου ο στάτης τροφοδοτείται από τα δακτυλίδια του δρομέα της μηχανής K_1 .

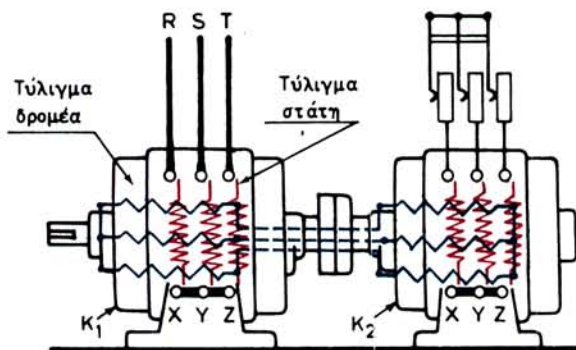
Στο σχήμα 8.13ε και οι δυο μηχανές έχουν δρομέα με τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο δρομέας της μηχανής K_2 τροφοδοτείται από το δρομέα της K_1 με αγωγούς, οι οποίοι διέρχονται μέσα από τον κοίλο άξονα. Έτσι αποφεύγουμε τη χρησιμοποίηση δακτυλιδιών και ψηκτρών. Ο στάτης της μηχανής K_2 συνδέεται με μια ρυθμιστική αντίσταση, η οποία χρησιμεύει για την εκκίνηση.

Αν p_1 και p_2 είναι ο αριθμός ζευγών πόλων των κινητήρων K_1 και K_2 αντίστοιχα



Σχ. 8.13δ.

Κλιμακωτή ζεύξη κινητήρα με δακτυλίδια και κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα.



Σχ. 8.13ε.

Κλιμακωτή ζεύξη δύο ασυγχρόνων κινητήρων με δακτυλίδια.

και αν οι δυο μηχανές είναι συνδεσμολογημένες έτσι, ώστε οι ροπές τους να έχουν την ίδια φορά, τότε η σύγχρονη ταχύτητα της κλιμακωτής ζεύξεως δίνεται από τη σχέση:

$$n_s = \frac{f}{p_1 + p_2} \quad \text{σε στρ/s}$$

Αν οι ροπές των δύο μηχανών έχουν αντίθετες φορές (αρκεί γι' αυτό να αντιμεταθέσουμε δύο από τους τροφοδοτικούς αγωγούς του κινητήρα K_2), τότε η σύγχρονη ταχύτητα της **διαφορικής κλιμακωτής ζεύξεως** είναι:

$$n'_s = \frac{f}{p_1 - p_2} \quad \text{σε στρ/s}$$

Αν τροφοδοτείται μόνο ο κινητήρας K_1 , το συγκρότημα θα έχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{s_1} = \frac{f}{p_1} \quad \text{σε στρ/s}$$

και αν τροφοδοτείται μόνο ο κινητήρας K_2 απευθείας από το δίκτυο, θα έχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{s_2} = \frac{f}{p_2} \quad \text{σε στρ/s}$$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι με την κλιμακωτή ζεύξη και με κατάλληλη διάταξη διακοπών είναι δυνατό να κινήσουμε ένα μηχανήμα με τέσσερις ταχύτητες. Αν $p_1 = p_2$, οι ταχύτητες αυτές περιορίζονται σε δυο.

Στην κλιμακωτή ζεύξη η ενέργεια, η οποία εμφανίζεται σαν απώλεια, όπως είδαμε στο ρυθμιστή στροφών των κινητήρων με δακτυλίδια, χρησιμοποιείται επωφελώς στη δεύτερη μηχανή K_2 .

Παράδειγμα.

Ποιες ταχύτητες είναι δυνατό να πετύχουμε με δύο ασύγχρονους κινητήρες σε

κλιμακωτή ζεύξη, όταν ο αριθμός των ζευγών πόλων των τυλιγμάτων τους είναι $p_1 = 4$, $p_2 = 3$ και η συχνότητα του ρεύματος τροφοτήσεως $f = 50$ Hz.

Λύση.

$$n_s = \frac{f}{p_1 + p_2} = \frac{50}{4+3} = \frac{50}{7} \text{ στρ/s} \quad \text{ή} \quad \frac{3000}{7} = 428 \text{ στρ/min}$$

$$n'_s = \frac{f}{p_1 - p_2} = \frac{50}{4-3} = 50 \text{ στρ/s} \quad \text{ή} \quad 3000 \text{ στρ/min}$$

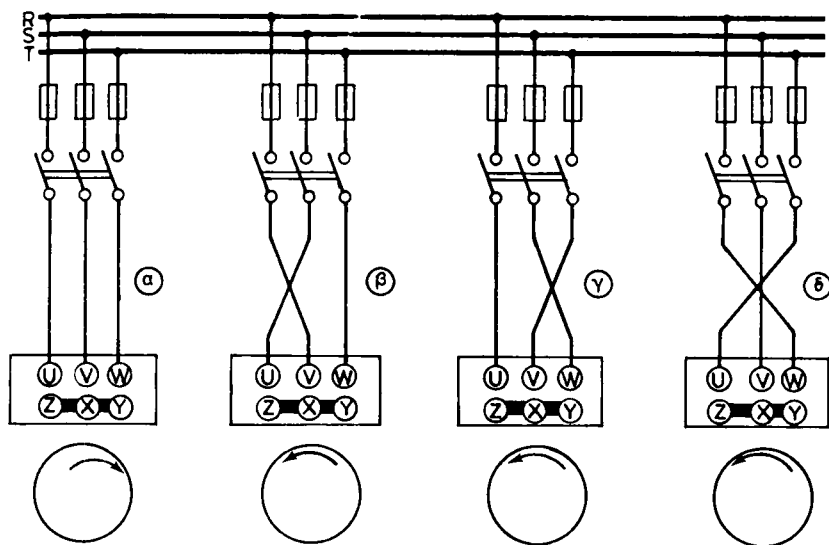
$$n_{s_1} = \frac{f}{p_1} = \frac{50}{4} \text{ στρ/s} \quad \text{ή} \quad \frac{3000}{4} = 750 \text{ στρ/min}$$

$$n_{s_2} = \frac{f}{p_2} = \frac{50}{3} \text{ στρ/s} \quad \text{ή} \quad \frac{3000}{3} = 1000 \text{ στρ/min}$$

8.14 Αλλαγή της φοράς περιστροφής.

Η φορά περιστροφής ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 8.3, είναι η ίδια με τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Αυτό γίνεται (παράγρ. 7.2) με αντιμετάθεση των συνδέσεων με τους ακροδέκτες σε δυο από τους τρεις αγωγούς τροφοδοτήσεως του κινητήρα.

Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής πρέπει να γίνει μια μόνο φορά, τότε η παραπάνω αντιμετάθεση των αγωγών γίνεται στο κιβώτιο των ακροδεκτών του κινητήρα, όπως δείχνει το σχήμα 8.14α. Οποιαδήποτε από τις συνδεσμολογίες β, γ, δ

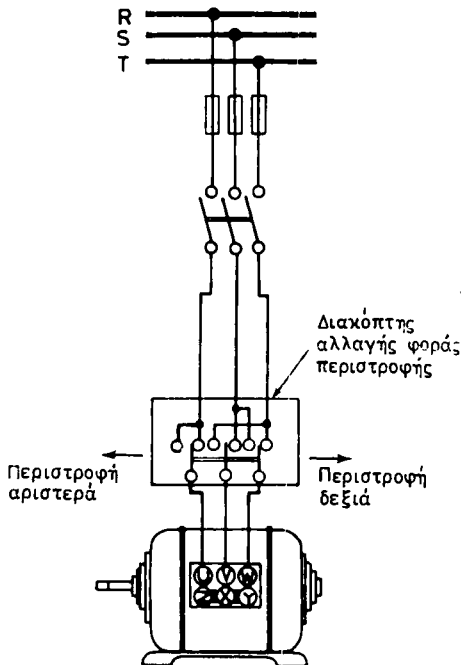


Σχ. 8.14α.

Αλλαγή της φοράς περιστροφής ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

δίνει φορά περιστροφής αντίθετη της α.

Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής πρέπει να γίνεται τακτικά κατά τη λειτουργία του κινητήρα, τότε χρησιμοποιούμε ένα ειδικό **διακόπτη αλλαγής φοράς περιστροφής**, του οποίου τη συνδεσμολογία δείχνει το σχήμα 8.14β.



Σχ. 8.14β.

Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής φοράς περιστροφής.

8.15 Απώλειες, βαθμός αποδόσεως και συντελεστής ισχύος.

α) Απώλειες.

Οι απώλειες ενός κινητήρα κατά τη λειτουργία του 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 $N_{\text{μagn}}$ (από υστέρηση και δινορρεύματα) και οι μηχανικές απώλειες $N_{\text{μηχ}}$ (λόγω τριβών και αερισμού). Οι απώλειες αυτές είναι σταθερές, αν παραδεχθούμε ότι η τάση τροφοδοτήσεως 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 τζουλ και οι αντίστοιχες απώλειες του δρομέα $N_{\eta \cdot \delta}$.

Είναι εύκολο να αποδειχθεί, ότι οποιαδήποτε και αν είναι η συνδεσμολογία (τρίγωνο ή αστέρα) των τριών φάσεων του στάτη, αν μετρήσουμε την ωμική αντίσταση R_1 του τυλίγματος μεταξύ δύο ακροδεκτών και την ένταση γραμμής I που απορρο-

φά στη λειτουργία ο κινητήρας, οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη θα είναι:

$$N_{\eta.\sigma} = \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2$$

Οι ηλεκτρικές απώλειες του δρομέα αποδεικνύεται ότι είναι:

$$N_{\eta.\delta} = s \cdot (N_1 - N_{\eta.\sigma}) = s \cdot \left(N_1 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2 \right)$$

Οι σταθερές απώλειες του κινητήρα είναι δυνατό να προσδιορισθούν με το πείραμα λειτουργίας χωρίς φορτίο, κατά το οποίο μετράμε την ισχύ N_0 που απορροφά ο κινητήρας και την ένταση γραμμής I_0 . Είναι:

$$N_{\mu\alpha\gamma\nu} + N_{\mu\eta\chi} = N_0 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I_0^2$$

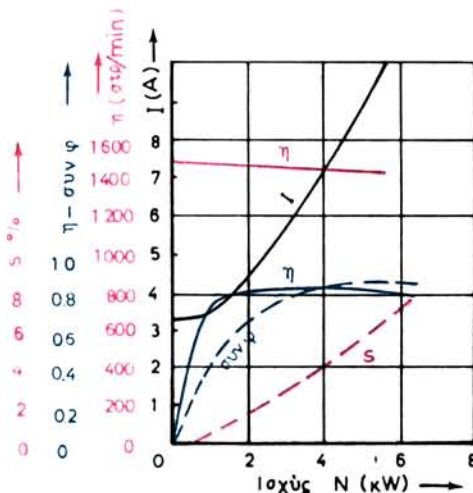
β) Βαθμός αποδόσεως.

Μετά τον προσδιορισμό των απωλειών, ο βαθμός αποδόσεως ενός κινητήρα υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση (παράγρ. 8.7):

$$\eta = \frac{N}{N_1} = \frac{N_1 - N_{\text{απ}}}{N_1} = \frac{N_1 - (N_{\eta.\sigma} + N_{\eta.\delta} + N_{\mu\alpha\gamma\nu} + N_{\mu\eta\chi})}{N_1}$$

Επίσης, ο βαθμός αποδόσεως ενός κινητήρα μπορεί να προσδιορισθεί και με τη μέθοδο που περιγράψαμε στην παράγραφο 8.6(α), με μέτρηση δηλαδή των N_1 και N .

Η μεταβολή του βαθμού αποδόσεως η ενός ασύγχρονου κινητήρα, όταν μεταβάλλεται το φορτίο του, φαίνεται στο σχήμα 8.15α. Όπως παρατηρούμε, σε μια



Σχ. 8.15α.

Καμπύλες λειτουργίας κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα 4 kW, 1500 στρ/μιν.

σημαντική περιοχή μεταβολής της ισχύος του κινητήρα, ο βαθμός αποδόσεως μένει περίπου σταθερός. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε κινητήρες μικρής και μέσης ισχύος και έχει πρακτική σημασία, γιατί δίνει περιθώρια ασφάλειας σε περίπτωση υπερφορτίσεως.

Παράδειγμα.

Ένας ασύγχρονος τριφασικός τετραπολικός κινητήρας τάσεως 220 V Δ, 50 Hz περιστρέφεται με ταχύτητα $n = 1450$ στρ/μιν και απορροφά ένταση ρεύματος γραμμής 15A με συντελεστή ισχύος $\cos\phi=0,82$. Να υπολογισθεί ο βαθμός αποδόσεώς του υπό φορτίο, με βάση τα αποτελέσματα των ακόλουθων μετρήσεων: Ισχύς χωρίς φορτίο $N_0 = 430$ W, αντίστοιχη ένταση $I_0 = 2$ A, αντίσταση του τυλίγματος του στάτη μεταξύ ακροδεκτών $R_1 = 0,8 \Omega$.

Λύση.

Η ισχύς που απορροφά ο κινητήρας κατά τη λειτουργία με 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:

$$N_{\mu\alpha\gamma\eta} + N_{\mu\eta\chi} = N_0 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I_0^2 = 430 - 5 = 425 \text{ W}$$

$$N_{\eta \cdot \sigma} = \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2 = 1,5 \times 0,8 \times 15^2 = 270 \text{ W}$$

$$N_{\eta \cdot \delta} = s \cdot (N_1 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2) = 0,033 (4700 - 270) = 146 \text{ W}$$

$$\text{Συνολικές απώλειες } N_{\alpha\pi} = 841 \text{ W}$$

Τέλος ο βαθμός αποδόσεως θα είναι:

$$\eta = \frac{N_1 - N_{\alpha\pi}}{N_1} = \frac{4700 - 841}{4700} = 0,82 \quad \text{ή} \quad 82\%$$

γ) Συντελεστής ισχύος.

Συντελεστής ισχύος ενός κινητήρα που λειτουργεί με ορισμένο φορτίο είναι ο

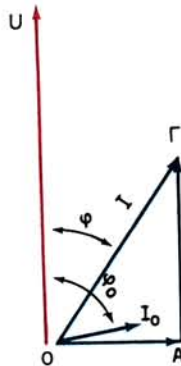
λόγος της πραγματικής ισχύος που απορροφά από το δίκτυο προς τη φαινόμενη ισχύ:

$$\cos\phi = \frac{N_1}{N_{1s}}$$

Για τη μέτρηση του $\cos\phi$ αρκούν τα όργανα του σχήματος 8.6α. Με το βαττόμετρο μετράμε την ισχύ N_1 (είναι το τριπλάσιο της ενδείξεως) και με το βολτόμετρο και αμπερόμετρο τα U και I . Είναι τότε:

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

Όπως παρατηρούμε από τη σχετική καμπύλη (σχ. 8.15α), το $\cos\phi$ μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται το φορτίο του κινητήρα και φθάνει το 0,80 ως 0,90 στο κανονικό φορτίο. Όταν το φορτίο του κινητήρα μικραίνει έχουμε σημαντική μείωση του $\cos\phi$. Στη λειτουργία χωρίς φορτίο το $\cos\phi$ του κινητήρα είναι πολύ μικρό. Η ένταση I_0 (σχ. 8.15β) που απορροφά τότε σχηματίζει με την τάση γωνία ϕ_0 η οποία πλησιάζει τις 90° . **Η I_0 είναι σημαντικό ποσοστό της εντάσεως που απορροφά στο ονομαστικό φορτίο** και φθάνει τα 40% ως 50% αυτής στους μικρούς κινητήρες. Στους μεγαλύτερους κινητήρες είναι γύρω στα 25% ως 30% της ονομαστικής εντάσεως.



Σχ. 8.15β.

Η ένταση I , την οποία ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο, όταν λειτουργεί με φορτίο, αναλύεται σε μια **ενεργό συνιστώσα** ΑΓ και σε μια **άεργη συνιστώσα** ΟΑ (επαγωγική). Η ισχύς, η οποία μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ στον άξονα του κινητήρα, είναι ανάλογη προς το γινόμενο της τάσεως U επί την ενεργό συνιστώσα του ρεύματος ΑΓ.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι, όταν οι ασύγχρονοι κινητήρες εργάζονται με φορτίο πολύ μικρότερο από το κανονικό τους, φορτίζουν το δίκτυο τροφοδοτήσεως επαγωγικά με μικρό $\cos\phi$ και απορροφούν σημαντική άεργη ισχύ. Αυτό είναι αντιοικονομικό για τις εταιρίες παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας και γι αυτό επιβαρύνουν την τιμή του ρεύματος που χορηγείται σε ένα πελάτη **με κακό $\cos\phi$** . Εί-

ναι συνεπώς και για το λόγο αυτό οικονομικό να εκλέγουμε σωστά την ισχύ των κινητήρων που εγκαθιστούμε στα διάφορα μηχανήματα, ώστε να εργάζονται όσο το δυνατό πιο κοντά στο πλήρες φορτίο τους. Πρέπει επίσης να αποφεύγουμε συστηματικά τη λειτουργία κινητήρων χωρίς φορτίο.

8.16 Χαρακτηριστικά στοιχεία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Στην πινακίδα του κατασκευαστή που φέρει κάθε κινητήρας αναγράφονται εκτός από τις συνηθισμένες ενδείξεις (όνομα κατασκευαστή, αριθμός κατασκευής κλπ.) και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα σε kW, που είναι η ισχύς την οποία μπορεί να δίνει συνεχώς ο κινητήρας στον άξονά του, όταν λειτουργεί με την ονομαστική του τάση και τον ονομαστικό αριθμό στροφών χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη η μηχανή από υπερθέρμανση. Μερικές φορές η ονομαστική ισχύς του κινητήρα εκφράζεται σε ίππους (1 HP = 0,736 kW).

Ο αριθμός των φάσεων του κινητήρα.

Η ονομαστική συχνότητα σε Hz, δηλαδή η συχνότητα του ρεύματος με την οποία όταν εργάζεται ο κινητήρας, αποδίδει τα ονομαστικά του μεγέθη.

Η ονομαστική τάση του κινητήρα σε V, δηλαδή η τάση του δικτύου ηλεκτροδο-

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.16.1

Μέσες τιμές χαρακτηριστικών στοιχείων ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Ονομαστική ισχύς		Βαθμός αποδόσεως η	Συντελεστής ισχύος συνφ	Απορροφούμενη ισχύς από το δίκτυο kW	Ονομαστική ένταση σε A 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

τήσεως για κανονική λειτουργία. Επειδή στους τριφασικούς κινητήρες είναι δυνατή η κανονική λειτουργία του τυλίγματος με σύνδεση ή σε τρίγωνο ή σε αστέρα, η ονομαστική τάση δίνεται με δύο αριθμούς, από τους οποίους ο πρώτος δίνει την πολική τάση του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως για κανονική λειτουργία του κινητήρα με σύνδεση σε τρίγωνο και ο δεύτερος σε αστέρα, π.χ. 220/380 V. Για άλλες αναγραφές της ονομαστικής τάσεως βλέπε παράγραφο 8.8.

Η ονομαστική ένταση του κινητήρα, δηλαδή η ένταση γραμμής που απορροφά από το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως με το ονομαστικό του φορτίο.

Ο συντελεστής ισχύος με την ονομαστική ισχύ.

Η ταχύτητα περιστροφής σε στρ/μιν με την ονομαστική ισχύ.

Στους κινητήρες με δακτυλίδια αναφέρονται επίσης **η τάση και η ένταση του δρομέα** (παράγρ. 8.5).

Ο Πίνακας 8.16.1 περιέχει μέσες τιμές των κυριότερων χαρακτηριστικών στοιχείων ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων. Οι τιμές αυτές μας δίνουν την τάξη μεγέθους κάθε στοιχείου. Για ακριβείς υπολογισμούς πρέπει να χρησιμοποιούμε τα πραγματικά στοιχεία, που δίνουν οι κατασκευαστές για τους τύπους κινητήρων που κατασκευάζουν.

8.17 Μεταβολή της τάσεως και της συχνότητας του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως.

α) Μεταβολή της τάσεως με σταθερή συχνότητα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις π.χ. σε δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως με ασθενείς διατομές αγωγών, η τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα μπορεί να γίνει διάφορη από την ονομαστική του τάση. Τότε όλες οι ροπές και ιδιαίτερα η ροπή εκκινήσεως και η μεγίστη ροπή (ροπή ανατροπής) του κινητήρα μεταβάλλονται με το τετράγωνο της τάσεως. Η ένταση εκκινήσεως μεταβάλλεται ανάλογα με την τάση.

Στη λειτουργία του κινητήρα, όταν η τάση του δικτύου αυξάνεται με σταθερή την ανθιστάμενη ροπή του φορτίου, η αποδιδόμενη ισχύς και η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνονται επίσης. Η ένταση ρεύματος που απορροφά μένει περίπου σταθερή, καθώς και η θερμοκρασία του κινητήρα. Όταν αντίθετα η τάση μειώνεται με σταθερή πάλι τη ροπή του φορτίου, η ισχύς και η ταχύτητα του κινητήρα μειώνονται επίσης, ενώ η ένταση ρεύματος και η θερμοκρασία του αυξάνονται.

Ο κινητήρας αναπτύσσει την ονομαστική του ισχύ, όταν οι μεταβολές της τάσεως του δικτύου δεν υπερβαίνουν το $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσεως.

β) Μεταβολή της συχνότητας με σταθερή τάση.

Στην περίπτωση αυτή, αν η ανθιστάμενη ροπή του φορτίου είναι σταθερή, η ταχύτητα και η ισχύς του κινητήρα μεταβάλλονται ανάλογα με τη συχνότητα. Όλα τα άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία υφίστανται την επίδραση της μεταβολής της συχνότητας κατά το ίδιο ποσοστό, αλλά αντίστροφα, με αντίστοιχη μεταβολή της τάσεως.

γ) Μεταβολή της τάσεως και της συχνότητας.

Στην περίπτωση αυτή κινητήρες κατασκευασμένοι για να εργάζονται με συχνό-

τητα 50 Hz μπορούν να εργασθούν και με συχνότητα 40 Hz ή 60 Hz, αλλά με τις τασεις που αναγράφονται στον Πίνακα 8.17.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.17.1.
Μεταβολές της τάσεως και της συχνότητας του κινητήρα

Κινητήρας κατασκευασμένος για 50 Hz και τάση	Μπορεί να εργασθεί με	
	40 Hz και τάση	60 Hz και τάση
220 V	180 V	255 V
380 V	315 V	440 V
500 V	415 V	570 V
Η αντίστοιχη ισχύς του κινητήρα θα είναι: 100%	80%	115%
Η αντίστοιχη ταχύτητα του κινητήρα θα είναι: 100%	80%	120%

8.18 Χρήσεις των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των δυο βασικών τύπων ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων καθορίζουν και τις χρήσεις για τις οποίες είναι κατάλληλος κάθε τύπος. Έτσι έχουμε:

α) Κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Ο κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι ο πιο απλός στην κατασκευή και ο πιο φθηνός τριφασικός κινητήρας. Επίσης, απαιτεί ελάχιστη φροντίδα για συντήρηση, αφού δεν έχει ούτε συλλέκτη ούτε δακτυλίδια και συνεπώς ούτε ψήκτρες και ψηκτροθήκες. Για τους λόγους αυτούς, είναι μια από τις πιο πολύ χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές μηχανές. Χρησιμοποιείται παντού όπου ειδικοί λόγοι, όπως μεγάλη ροπή εκκινήσεως ή ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής κ.τ.λ. δεν επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση άλλου τύπου κινητήρα.

Ο κινητήρας με απλό τύλιγμα κλωβού στο δρομέα χρησιμοποιείται στη μεγάλη ομάδα μηχανημάτων της βιομηχανίας, που αποτελούν οι ανεμιστήρες, αντλίες, συμπιεστές, μεταφορικές ταινίες κ.τ.λ. Η χρησιμοποίησή του βέβαια ενδείκνυται στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μεγάλα φορτία αδράνειας και ο κινητήρας μπορεί να επιταχύνεται γρήγορα στην εκκίνηση.

Αν υπάρχει περιορισμός στο ρεύμα εκκινήσεως, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ασύγχρονος κινητήρας με βαθιά αυλάκια στο δρομέα, ή ακόμα να χρησιμοποιηθεί κινητήρας με απλό τύλιγμα κλωβού που να ξεκινά με μειωμένη τάση, με μια από τις διατάξεις που αναφέραμε στην παράγραφο 8.9. Αν κανένας από τους δυο αυτούς τρόπους δεν δίνει ικανοποιητική ροπή εκκινήσεως, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας με διπλό τύλιγμα κλωβού. Ο κινητήρας αυτός με τη μεγάλη ροπή και το μικρό ρεύμα εκκινήσεως χρησιμοποιείται είτε με διάταξη για ελαττωμένη τάση στην εκκίνηση είτε χωρίς.

β) Κινητήρας με δακτυλίδια.

Ο κινητήρας με δακτυλίδια είναι κατάλληλος για χρησιμοποίηση:

- σε μηχανήματα που έχουν μεγάλες τριβές στην εκκίνηση και συνεπώς χρειάζονται μεγάλη ροπή,
- σε περιπτώσεις όπου πρέπει να επιταχυνθούν βαριά φορτία, τα οποία έχουν σφονδύλους ή μεγάλη αδράνεια,
- όταν πρέπει να υπερνικηθεί η αντίθλιψη που δημιουργούν υγρά και αέρια σε αντλίες και συμπιεστές.

Στις παραπάνω περιπτώσεις δεν είναι κατάλληλος ο κινητήρας διπλού κλωβού, γιατί ο κινητήρας αυτός θα υπερθερμαινόταν κατά το σημαντικό χρόνο που απαιτείται για να επιταχυνθούν τα φορτία αυτά μέχρι να αποκτήσουν την κανονική τους ταχύτητα.

Άλλο πεδίο εφαρμογών του κινητήρα με δακτυλίδια είναι οι περιπτώσεις που θέλομε να έχομε ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής στη λειτουργία. Αυτό δεν είναι δυνατό με τους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, ενώ στους κινητήρες με δακτυλίδια πραγματοποιείται εύκολα με αντιστάσεις στο δρομέα, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 8.13. Αναφέραμε όμως εκεί ότι η μέθοδος αυτή είναι αν-τιοικονομική, γιατί ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα είναι τότε μικρός. Εφαρμογές αυτού έχομε σε γερανούς, ανυψωτές, ανελκυστήρες κ.τ.λ., όπου η λειτουργία δεν είναι συνεχής και ο βαθμός αποδόσεως δεν έχει μεγάλη σημασία.

Όπου χρειάζεται πολύ ομαλή εκκίνηση, χωρίς απότομα ξεκινήματα, χρησιμοποιούνται επίσης κινητήρες με δακτυλίδια. Έτσι ένα βαρύ φορτίο μπορεί να ξεκινά όσο θέλομε σιγά και να επιταχύνεται ομαλά και ομοιόμορφα μέχρι την κανονική του ταχύτητα. Είναι απλώς θέμα εκλογής των κατάλληλων αντιστάσεων και του συστήματος ελέγχου του εκκινήτη.

Τέλος, η χρησιμοποίηση του κινητήρα με δακτυλίδια επιβάλλεται μερικές φορές από την ανάγκη περιορισμού του ρεύματος εκκινήσεως, όταν αυτό το απαιτούν οι κανονισμοί. Π.χ. ένας κινητήρας με δακτυλίδια, για να αναπτύξει ροπή εκκινήσεως 1,5 φορές τη ροπή του κανονικού του φορτίου, με κατάλληλο εκκινήτη απορροφά 1,5 φορές την ονομαστική του ένταση. Ένας κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα, για την ίδια ροπή θα ήθελε περίπου 6 φορές την ονομαστική του ένταση.

8.19 Βλάβες και επισκευή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες και ιδιαίτερα οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, επειδή είναι σχετικά απλοί στην κατασκευή τους, είναι από τις ηλεκτρικές μηχανές που δεν παρουσιάζουν συχνά βλάβες.

Όμως το μεγάλο πεδίο εφαρμογών των κινητήρων αυτών, που συχνά λειτουργούν σε δυσμενείς συνθήκες (περιβάλλοντος, φορτίου, χρόνου λειτουργίας), επιβάλλει λεπτομερή ανάλυση των βλαβών που είναι ενδεχόμενο να παρουσιασθούν.

1. Ο κινητήρας δεν ξεκινά ούτε ακούγεται βόμβος

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Δεν υπάρχει τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα	α) Να ελεγχθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο
β) Γήξη ασφαλειών	β) Να αντικατασταθούν
γ) Διακοπή ή κακή επαφή στους τροφοδοτικούς αγωγούς ή στις βοηθητικές συσκευές (εκκινητή κ.τ.λ.)	γ) Να γίνει αποκατάσταση της διακοπής και σφίξιμο των επαφών

2. Ο κινητήρας δεν ξεκινά, ακούγεται κανονικός βόμβος

α) Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο των ακροδεκτών του κινητήρα	α) Οι φάσεις του στάτη πιθανώς είναι συνδεσμολογημένες σε αστέρα αντί του κανονικού σε τρίγωνο που απαιτεί η τάση τροφοδοτήσεως
β) Διακοπή στο τύλιγμα του δρομέα	β) Σε τύλιγμα κλωβού να επανακολληθεί. Σε τριφασικό τύλιγμα να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει νέο τύλιγμα
γ) Διακοπή στον εκκινητή ή στους αγωγούς συνδεσμολογήσεώς του	γ) Να αποκατασταθεί η βλάβη ή να αντικατασταθεί ο εκκινητής
δ) Φθορά ή κακή επαφή των ψηκτρών	δ) Αντικατάσταση φθαρμένων ψηκτρών, ρύθμιση πιέσεως ελατηρίων
ε) Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή στην εκκίνηση	ε) Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο μηχάνημα ή αυτό έχει ελάττωμα

3. Ο κινητήρας δεν ξεκινά ακούγεται δυνατός βόμβος

α) Μια φάση δεν παίρνει ρεύμα	α) Να αναζητηθεί η βλάβη (έλλειψη τάσεως σε μια φάση του δικτύου, γήξη μιας ασφάλειας, διακοπή ενός αγωγού, κακή επαφή σε ακροδέκτη) και να επισκευασθεί
β) Μια φάση του τυλίγματος του στάτη παρουσιάζει διακοπή	β) Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να αντικατασταθεί η φάση που παρουσιάζει βλάβη
γ) Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στατη	γ) Μερική ή ολική αντικατάσταση του τυλίγματος

4. Ο κινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο και οι στροφές του πέφτουν μόλις τον φορτίσουμε

α) Βλέπε παραπάνω 2.α	α) Βλέπε παραπάνω 2.α
β) Βλέπε παραπάνω 2.β	β) Βλέπε παραπάνω 2.β
γ) Βλέπε παραπάνω 2.γ	γ) Βλέπε παραπάνω 2.γ
δ) Βλέπε παραπάνω 2.δ	δ) Βλέπε παραπάνω 2.δ
ε) Πτώση τάσεως στο δίκτυο	ε) Να επιβεβαιωθεί και να αναζητηθεί η αιτία

5. Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Υπερφόρτιση β) Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο των ακροδεκτών γ) Βραχυκύκλωμα στα τυλίγματα του στατη ή του δρομέα δ) Βλέπε παραπάνω 3.α και 3.β ε) Κακός αερισμός στ) Ο δρομέας εφάπτεται (βρίσκει) στο στατη	α) Να ελεγχθεί το φορτίο ή να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας β) Να γίνει έλεγχος στη συνδεσμολογία και να γίνει η σωστή γ) Μερική ή ολική αντικατάσταση του αντίστοιχου τυλίγματος δ) Βλέπε παραπάνω 3.α και 3.β ε) Να καθαρισθούν οι δίοδοι κυκλοφορίας του αέρα ψύξεως στ) Να αλλαγούν τα έδρανα αν είναι φθαρμένα

6. Ο κινητήρας λειτουργεί με θόρυβο

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Βλαμμένα ρουλεμάν ή έδρανα β) Ο μηχανικός σύνδεσμος του κινητήρα (κοίτλερ) δεν είναι ευθυγραμμισμένος γ) Κακή ζυγοστάθμιση του δίσκου του κοίτλερ	α) Να αντικατασταθούν με καινούργια β) Να ευθυγραμμισθεί ο σύνδεσμος γ) Να ζυγοσταθμισθεί μαζί με το δρομέα της μηχανής

8.20 Ανακεφαλαίωση.

α) Οι ασύγχρονοι ή επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες είναι δύο τύπων: α) Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα και β) Κινητήρες με δακτυλίδια.

β) Κατασκευαστικά, ο στάτης των κινητήρων αυτών είναι όμοιος με το στάτη των σύγχρονων τριφασικών κινητήρων. Έχει δηλαδή τριφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται στους 6 ακροδεκτες του κινητήρα. Ο δρομέας των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα φέρει τύλιγμα κλωβού απλού, διπλού ή με βαθιά αυλάκια. Ο δρομέας των κινητήρων με δακτυλίδια φέρει κανονικό τριφασικό ή διφασικό τύλιγμα του ίδιου αριθμού πόλων με το στάτη, τα τρία ελεύθερα άκρα του οποίου συνδέονται σε τρία δακτυλίδια.

γ) Η λειτουργία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βασίζεται στη δημιουργία από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως από επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα. Οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις δημιουργούν ρεύματα στους αγωγούς, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη δυνάμεων, οι οποίες ασκούν ροπή στο δρομέα. Η ροπή αυτή κινεί το δρομέα και το συνδεδεμένο στον άξονά του φορτίο του κινητήρα.

δ) Η ταχύτητα του δρομέα η ουδέποτε φθάνει τη σύγχρονη ταχύτητα n_s του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, στο κανονικό όμως φορτίο δεν απέχει πολύ

από αυτή. Ονομάζουμε διολίσθηση του κινητήρα το λόγο:

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

ε) Η τάση και η ένταση που αναπτύσσονται στο τύλιγμα του δρομέα κάθε στιγμή της λειτουργίας του κινητήρα, καθώς και η συχνότητά τους, εξαρτώνται από τη διολίσθηση. Τις μέγιστες τιμές τους τις έχουν στην αρχή της εκκινήσεως ($s = 1$) και οι τιμές αυτές ελαττώνονται όσο το s ελαττώνεται καθώς αυξάνει η ταχύτητα του κινητήρα.

στ) Στους κινητήρες με δακτυλίδια ονομάζουμε «τάση του δρομέα» την τάση μεταξύ των δακτυλιδιών με ανυψωμένες τις ψήκτρες (οπότε ο δρομέας δεν περιστρέφεται), ενώ το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται με την κανονική τάση. Όμοια, ονομάζουμε «ένταση του δρομέα» την ένταση στο τύλιγμα του δρομέα κατά τη λειτουργία του κινητήρα με το ονομαστικό του φορτίο και την ονομαστική του ταχύτητα. Τόσο η τάση όσο και η ένταση του δρομέα αναγράφονται στην πινακίδα του κινητήρα.

ζ) Η ροπή που αναπτύσσει στον άξονα του ένας κινητήρας δίνεται από τον τύπο:

$$T = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

Η μέγιστη τιμή της ροπής αυτής εμφανίζεται σε ταχύτητα μικρότερη από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα και το μέγεθος της δεν εξαρτάται από την αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα. Αντίθετα, η ταχύτητα (ή η διολίσθηση), στην οποία έχουμε τη μέγιστη ροπή, εξαρτάται από την αντίσταση του δρομέα.

η) Η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο τροφοδοτήσεως ένας τριφασικός κινητήρας δίνεται από τη σχέση:

$$N_1 = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Ο βαθμός αποδόσεως του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα στην κανονική λειτουργία του είναι τόσο καλύτερος όσο μικρότερη είναι η διολίσθησή του. Κατά προσέγγιση εί αι:

$$\eta = 1 - s$$

θ) Τη στιγμή της εκκινήσεως, ο ασύγχρονος κινητήρας συμπεριφέρεται σαν μετασχηματιστής, του οποίου το δευτερεύον είναι βραχυκυκλωμένο. Γι' αυτό η ένταση εκκινήσεως είναι πολύ μεγάλη. Για την ελάττωση της εντάσεως εκκινήσεως στους κινητήρες με δακτυλίδια, αυξάνουμε την αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα, συνδέοντας σε σειρά με αυτό τις αντιστάσεις του εκκινήτη. Στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, ελαττώνουμε την τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα, με διάφορες συσκευές που παρεμβάλλουμε στην εκκίνηση.

ι) Για την εκκίνηση των τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τρόποι: α) απ' ευθείας εκκίνηση, β) με διακόπτη αστέρα - τριγώνου γ) με εκκινήτη (αντιστάσεις) στο στάτη και δ) με αυτομετασχηματιστή.

ια) Η ελάττωση της τάσεως στην εκκίνηση του κινητήρα βραχυκυκλωμένου

δρομέα ελαττώνει βέβαια την ένταση εκκινήσεως, ελαττώνει όμως σημαντικά και τη ροπή εκκινήσεως (η ροπή του ασύγχρονου κινητήρα είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσεως που εφαρμόζεται σε αυτόν). Οι τριφασικοί κινητήρες με απλό τύλιγμα κλωβού στο στάτη δεν χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις σημαντικής ισχύος όταν απαιτείται μεγάλη ροπή εκκινήσεως.

ιβ) Οι κινητήρες διπλού κλωβού και οι κινητήρες με βαθιά αυλάκια έχουν ροπή εκκινήσεως αρκετά μεγάλη με ένταση εκκινήσεως περιορισμένη. Επίσης έχουν καλό βαθμό αποδόσεως στην κανονική λειτουργία και χρησιμοποιούνται για ισχείς μέχρι μερικές εκατοντάδες kW.

ιγ) Η εκκίνηση των κινητήρων με δακτυλίδια γίνεται με τη βοήθεια εκκινητή, από αντιστάσεις που συνδέονται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Με την παρεμβολή των αντιστάσεων, ελαττώνουμε την ένταση εκκινήσεως και αυξάνουμε τη ροπή εκκινήσεως.

ιδ) Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες γίνεται: α) Με εισαγωγή αντιστάσεων στο τύλιγμα του δρομέα στους κινητήρες με δακτυλίδια β) Με κατασκευή τυλίγματος στο στάτη με μεταβλητό αριθμό ζευγών πόλων. Εφαρμόζεται στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα. γ) Με αλλαγή της συχνότητας του ρεύματος τροφοδοτήσεως, μέθοδος η οποία εφαρμόζεται κυρίως όταν θέλουμε ταχύτητες πάνω από 3.000 στρ/μιν.

ιε) Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες γίνεται με αντιμετάθεση μεταξύ τους σε δύο από τους τρεις τροφοδοτικούς αγωγούς.

ιστ) Οι απώλειες ενός κινητήρα είναι: α) σταθερές, ανεξάρτητες από το φορτίο (μαγνητικές και μηχανικές), και β) μεταβλητές, εξαρτώμενες από το φορτίο (ηλεκτρικές απώλειες του στάτη και του δρομέα).

ιζ) Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N}{N_1} = \frac{(N_{\text{μagn.}} + N_{\text{μηχ.}} + N_{\text{η.δ.}} + N_{\text{η.δ.}})}{N_1}$$

ιη) Ο συντελεστής ισχύος τριφασικού κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$\cos \phi = \frac{N_1}{N_{1s}} = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$$

Το $\cos \phi$ των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων μεταβάλλεται σημαντικά όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Η ισχύς των κινητήρων αυτών πρέπει να εκλέγεται έτσι ώστε να λειτουργούν κοντά στην πλήρη ισχύ τους. Λειτουργία του κινητήρα σε μικρότερα φορτία ή χωρίς φορτίο σημαίνει κακό $\cos \phi$.

ιθ) Ονομαστική ισχύς ενός κινητήρα, η οποία αναγράφεται και στην πινακίδα του, είναι η ισχύς που μπορεί να αποδίδει στον άξονά του ο κινητήρας όταν εργάζεται συνεχώς με την ονομαστική τάση και ταχύτητα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη η μηχανή από υπερθέρμανση.

κ) Άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη που αναγράφονται στην πινακίδα του κινητήρα είναι: η ονομαστική τάση και ένταση, η συχνότητα, ο αριθμός των φάσεων, ο συντελεστής ισχύος και η ταχύτητα περιστροφής.

κα) Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι οι απλούστεροι κινητήρες στην κατασκευή και τη λειτουργία και συντήρηση. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται μικρές ή το πολύ μέτριες ροπές εκκινήσεως και δεν χρειάζεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής.

κβ) Οι κινητήρες με δακτυλίδια είναι δαπανηρότεροι στην κατασκευή τους από τους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα και έχουν ανάγκη από μεγαλύτερη φροντίδα συντηρήσεως, λόγω του τυλίγματος του δρομέα, των δακτυλιδιών, των ψηκτρών και του εκκινήτη. Χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει πολύ μεγάλη ροπή στην εκκίνηση, όταν θέλουμε να έχουμε ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής στη λειτουργία ή όταν το ρεύμα εκκινήσεως πρέπει να είναι τόσο μικρό που δεν επιτρέπει τη χρησιμοποίηση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

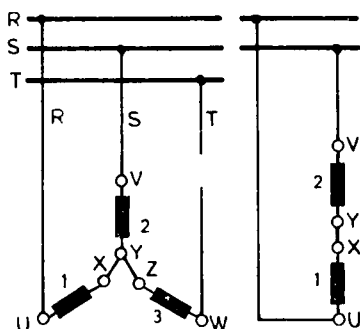
ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

9.1 Γενικά.

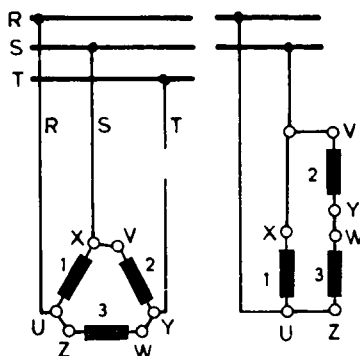
Αν σε ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα, ο οποίος εργάζεται με μικρό φορτίο ή χωρίς φορτίο, διακοπεί ένας από τους τρεις τροφοδοτικούς αγωγούς, παρατηρούμε ότι ο κινητήρας εξακολουθεί να περιστρέφεται. Αν όμως σταματήσουμε τον κινητήρα και θελήσουμε πάλι να τον θέσουμε σε κίνηση, παρατηρούμε ότι δεν είναι δυνατό πια να ξεκινήσει μόνος του. Ο κινητήρας ξεκινά πάλι, αν με το χέρι ή με άλλο μέσο του δώσουμε περιστροφική ώθηση προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Παρατηρούμε επίσης, ότι τώρα ο κινητήρας στη λειτουργία του δεν μπορεί να αποδώσει όλη την ονομαστική του ισχύ, ούτε την αντίστοιχη ροπή.

Στο σχήμα 9.1α, το οποίο παριστάνει τις τρεις φάσεις του στάτη συνδεσμολογημένες σε αστέρα, έχει διακοπεί ο τροφοδοτικός αγωγός Τ. Έρα η φάση 3 είναι εκτός κυκλώματος. Οι άλλες δυο είναι τώρα σε σειρά, σαν μονοφασικό τύλιγμα. Στο σχήμα 9.1β, όπου οι τρεις φάσεις του στάτη είναι συνδεσμολογημένες σε τρίγωνο, μετά τη διακοπή του αγωγού Τ η φάση 3 δεν είναι εκτός κυκλώματος. Εδώ οι φάσεις 2 και 3 είναι σε σειρά και η φάση 1 βρίσκεται συνδεμένη παράλληλα προς αυτές. Τα τυλίγματα των τριών φάσεων αποτελούν πάλι όλα μαζί ένα μονοφασικό τύλιγμα.

Από όσα αναφέραμε στα προηγούμενα, βγαίνει το συμπέρασμα, ότι **ασύγχρονος κινητήρας με μονοφασικό τύλιγμα δεν μπορεί να ξεκινήσει μόνος του**. Αυτό οφείλεται στο ότι **το μονοφασικό τύλιγμα, όταν τροφοδοτείται με μονοφασικό ρεύ-**



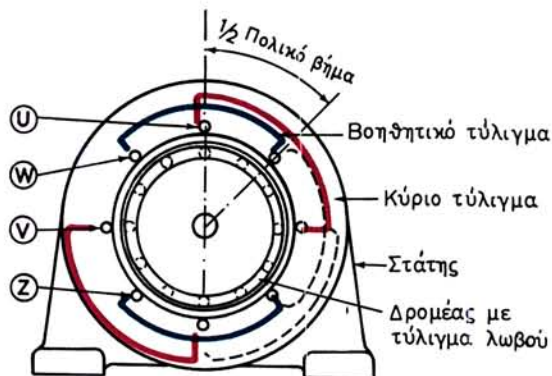
Σχ. 9.1α.



Σχ. 9.1β.

μα, δεν δημιουργεί μόνο του περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο, που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή, είναι εναλλασσόμενο, δηλαδή πάλλεται με σταθερό προσανατολισμό. Όταν όμως με κάποιον άλλο τρόπο θέσουμε σε κίνηση το μονοφασικό κινητήρα, τότε αυτός συνεχίζει να περιστρέφεται. Αυτό οφείλεται στο ότι δημιουργείται τώρα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με την επίδραση και του ρεύματος που κυκλοφορεί μέσα στους αγωγούς του δρομέα ή ακριβέστερα με την επίδραση και του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργεί το ρεύμα αυτό.

Για να μπορούν λοιπόν οι μονοφασικοί κινητήρες να ξεκινούν μόνοι τους, πρέπει με κάποιο τρόπο να δημιουργήσουμε στη διάρκεια της εκκίνησης περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός δεύτερου τυλίγματος, το οποίο τοποθετείται στο στάτη του κινητήρα και ονομάζεται **βοηθητικό τύλιγμα** ή **βοηθητική φάση** για να το διακρίνουμε από το **κύριο τύλιγμα** του κινητήρα. Το βοηθητικό αυτό τύλιγμα είναι μετατοπισμένο κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες ($1/2$ πολικό βήμα) ως προς το κύριο τύλιγμα, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 7.3 (σχ. 7.3ζ) και όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 9.1γ. Τα δυο τυλίγματα συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και τροφοδοτούνται από το ίδιο μονοφασικό δίκτυο.



Σχ. 9.1γ.

Μονοφασικός κινητήρας με βοηθητικό τύλιγμα.

Για τη δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στην εκκίνηση δεν αρκεί το βοηθητικό τύλιγμα να είναι μετατοπισμένο, όπως είπαμε, σχετικά με το κύριο τύλιγμα, αλλά πρέπει και το ρεύμα που το διαρρέει να έχει **φασική απόκλιση**, ως προς το ρεύμα που διαρρέει το κύριο τύλιγμα. Αυτό το πετυχαίνουμε κυρίως με δύο τρόπους και αντίστοιχα έχουμε τους **μονοφασικούς κινητήρες αντιστάσεως** και τους **μονοφασικούς κινητήρες με πυκνωτή**.

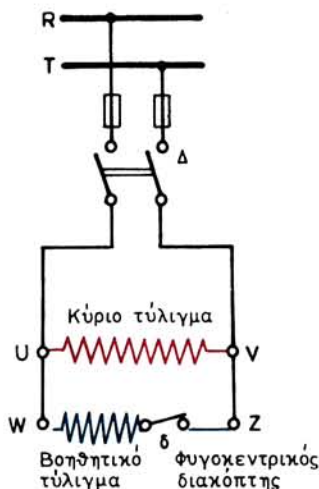
9.2 Μονοφασικοί κινητήρες αντιστάσεως.

Στους κινητήρες αυτούς (σχ. 9.2α), που είναι βασικά μικροί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα απευθείας εκκίνησης, το βοηθητικό τύλιγμα έχει μεγάλη αντίσταση. Αποτελείται δηλαδή από πολλές σπείρες λεπτού σύρματος και είναι συνδεσμολογημένο όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2β. Σε ορισμένους κινητήρες σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα υπάρχει και μια ωμική αντίσταση.



Σχ. 9.2α.

Μονοφασικός κινητήρας αντιστάσεως.



Σχ. 9.2β.

Ο διακόπτης δ που συνδέεται σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα είναι ένας **φυγοκεντρικός διακόπτης** στερεωμένος στον άξονα του δρομέα. Με τη βοήθεια του διακόπτη αυτού το βοηθητικό τύλιγμα τίθεται εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση, όταν δηλαδή ο κινητήρας αποκτήσει περίπου τα 80% της κανονικής ταχύτητας περιστροφής, οπότε εργάζεται πια μόνο με το κύριο τύλιγμα.

Για την αλλαγή της φοράς περιστροφής στο μονοφασικό κινητήρα με βοηθητικό τύλιγμα, πρέπει να αντιμετωπίσουμε τις συνδέσεις των δύο άκρων του βοηθητικού τυλίγματος με το κύριο τύλιγμα.

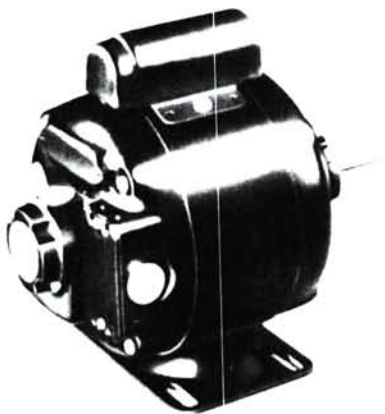
Οι μονοφασικοί κινητήρες αντιστάσεως έχουν μεγάλο πεδίο εφαρμογής ως κινητήρες μικρής ισχύος (μέχρι $1/2$ HP) για την κίνηση ανεμιστήρων, μηχανών γραφείου, συσκευών μουσικής, εργαλείων στιλβώσεως και λειάνσεως κτλ.

9.3 Μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή.

Είναι και αυτοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και έχουν σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα συνδεδεμένο ένα πυκνωτή (σχ. 9.3α). Ο πυκνωτής αυτός συντελεί ώστε το ρεύμα μέσα στο βοηθητικό τύλιγμα να προηγείται της τάσεως (χωρητική φόρτιση), ενώ το ρεύμα στο κύριο τύλιγμα ακολουθεί την τάση (επαγωγική φόρτιση). Έτσι τα δυο ρεύματα παρουσιάζουν μεταξύ τους σημαντική φασική απόκλιση, ώστε να δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες ισχύεις (μέχρι 1,5 kW) από ό,τι οι κινητήρες αντιστάσεως.

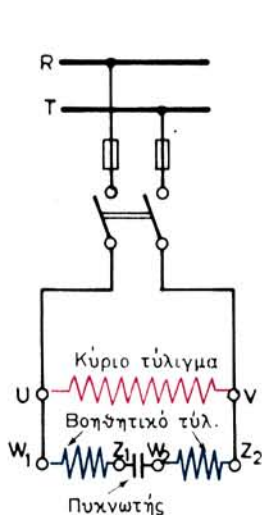
Στους κινητήρες με πυκνωτή η ροπή εκκινήσεως, για ορισμένη τάση τροφοδότησεως, εξαρτάται από τη χωρητικότητα του πυκνωτή. Όταν αυξάνει η χωρητικότητα αυξάνεται και η ροπή εκκινήσεως. Όταν απαιτείται ροπή εκκινήσεως 50% ως 70% της ονομαστικής ροπής, ο πυκνωτής και το βοηθητικό τύλιγμα μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένα και στην κανονική λειτουργία του κινητήρα (σχ. 9.3β). Στις περιπτώσεις αυτές ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα είναι περίπου ίσος με 1.

Όταν απαιτείται μεγάλη ροπή εκκινήσεως, π.χ. 2 ή $2\frac{1}{2}$ φορές μεγαλύτερη από

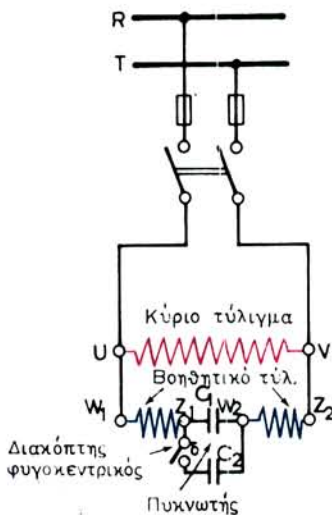


Σχ. 9.3α.

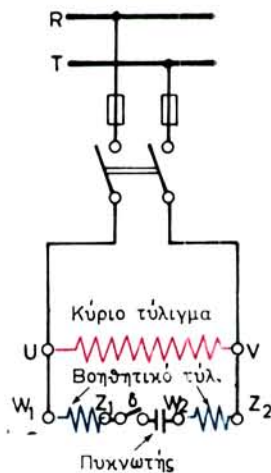
Μονοφασικός κινητήρας με πυκνωτή.



Σχ. 9.3β.



Σχ. 9.3γ.



Σχ. 9.3δ.

την ονομαστική ροπή, χρησιμοποιούνται δυο πυκνωτές (σχ. 9.3γ). Ο 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. Ο άλλος είναι **πυκνωτής εκκινήσεως** (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. 9.3δ).

Ως πυκνωτές εκκινήσεως 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 εκκινήσεως.

Η αλλαγή της φοράς περιστροφής σε κινητήρα με πυκνωτή γίνεται, όπως και στους κινητήρες αντιστάσεως, με αντιμετάθεση των δυο άκρων του βοηθητικού τυλίγματος στη σύνδεσή τους με το κύριο τύλιγμα.

9.4 Μονοφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για πολύ μικρή ισχύ (π.χ. 30 W, σχ. 9.4α) και έχουν στάτη από μαγνητικά ελάσματα που σχηματίζουν πόλους. Οι πόλοι αυτοί διχάζονται σε δυο σκέλη, όπως δείχνει το σχήμα 9.4β. Στο ένα σκέλος έχουν τοποθετηθεί 2 έως 3 βραχυκυκλωμένες σπείρες από χονδρό σύρμα. Το κύριο τύλιγμα του στάτη αποτελείται είτε από ένα κυλινδρικό πηνίο σε κάθε πόλο είτε, στους διπολικούς κινητήρες, από ένα μόνο πηνίο, όπως το δείχνει το σχήμα 9.4β. Ο δρόμος φέρει τύλιγμα κλωβού.

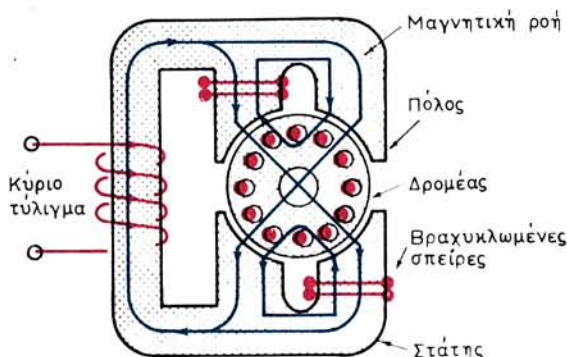
Ένα ποσοστό της μαγνητικής ροής που δημιουργεί το κύριο τύλιγμα, περνά μέσα από τις βραχυκυκλωμένες σπείρες και δημιουργεί από επαγωγή μέσα σε αυτές εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο έχει σημαντική φασική απόκλιση ως προς το ρεύμα του κύριου τυλίγματος. Άρα δημιουργείται από αυτό δεύτερη εναλλασσόμενη μαγνητική ροή, η οποία έχει φασική απόκλιση ως προς τη μαγνητική ροή του κύριου τυλίγματος και είναι μετατοπισμένη ως προς αυτή. Έτσι δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο θέτει σε κίνηση τον κινητήρα.

Οι κινητήρες αυτοί έχουν μικρό βαθμό αποδόσεως και χρησιμοποιούνται σε πολλές μικρές συσκευές, όπου ο βαθμός αποδόσεως δεν έχει σοβαρή σημασία, όπως οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (π.χ. ανεμιστήρες, στεγνωτήρες μαλλιών κτλ.), όταν δεν απαιτούν μεγάλη ροπή εκκινήσεως. Είναι κινητήρες φθηνοί και δεν παρουσιάζουν τακτικά βλάβες.



Σχ. 9.4α.

Κινητήρας με βραχυκυκλωμένες σπείρες.



Σχ. 9.4β.

Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες δεν είναι γενικά τόσο εύκολη όσο στους άλλους μονοφασικούς κινητήρες που εξετάσαμε ήδη προηγουμένως. Σ' αυτούς χρειάζεται να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας και να στραφεί μόνο ο στάτης κατά 180° , ώστε εκεί που ήταν το ένα άκρο του να πάει το άλλο, και να ξανασυναρμολογηθεί.

9.5 Ισχύς μονοφασικού κινητήρα.

Η ισχύς που δίνει στον άξονά του ο μονοφασικός κινητήρας είναι:

$$N = U \cdot I \cdot \eta \cdot \text{συν}\phi \quad \text{σε } W$$

όπου: U είναι η τάση σε V του δικτύου τροφοδοτήσεως,

I η ένταση σε A , που απορροφά ο κινητήρας,

η ο βαθμός αποδόσεως και

$\text{συν}\phi$ ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα.

Όπως και στους τριφασικούς κινητήρες, τα η και $\text{συν}\phi$ εξαρτώνται από το φορτίο του κινητήρα.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν οι ακόλουθες:

$$I = \frac{N}{U \cdot \eta \cdot \text{συν}\phi}$$

$$\text{συν}\phi = \frac{N}{U \cdot I \cdot \eta}$$

$$\eta = \frac{N}{U \cdot I \cdot \text{συν}\phi}$$

9.6 Βλάβες και επισκευή ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων.

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε μικρές ισχείς (μέχρι $1,5 \text{ kW}$) για διάφορες ηλεκτροκίνητες συσκευές και εργαλεία επαγγελματικά, βιομηχανικά ή οικιακά. Για το λόγο αυτό δίνονται παρακάτω αναλυτικά οι συνηθέστερα παρουσιαζόμενες βλάβες. Η κατάταξη γίνεται με βάση τα συμπτώματα που παρουσιάζονται κάθε φορά.

1. Ο κινητήρας δεν ξεκινά

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Δεν υπάρχει τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα	α) Να ελεγχθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο ή διακοπή στους τροφοδοτικούς αγωγούς. Επίσης, να ελεγχθεί η ασφάλεια και ο αυτόματος προστασίας.
β) Διακοπή στο κύριο ή το βοηθητικό τυλίγμα του στάτη	β) Να γίνει επισκευή ή μερική αντικατάσταση του τυλίγματος

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
γ) Βραχυκύκλωμα σε τμήμα του κύριου ή του βοηθητικού τυλίγματος του στάτη δ) Βλάβη στο φυγοκεντρικό διακόπτη εκκινήσεως ε) Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή στην εκκίνηση (ακούγεται βόμβος στον κινητήρα, και απορροφά μεγάλη ένταση) στ) Καταστραμμένος πυκνωτής εκκινήσεως ζ) Σφικτά έδρανα περιστροφής του δρομέα	γ) Να γίνει αντικατάσταση του βλαμμένου τυλίγματος δ) Να επισκευασθεί ή να αντικατασταθεί με άλλον ε) Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο μηχανήμα ή το μηχανήμα έχει βλάβη στ) Να αντικατασταθεί ο πυκνωτής αφού προηγουμένα ελεγχθεί ότι παρουσιάζει διακοπή ή είναι βραχυκυκλωμένος ζ) Αν δεν ελευθερωθούν, με λάδωμα, πρέπει να αντικατασταθούν

2. Ο κινητήρας ξεκινά αλλά δεν σηκώνει το φορτίο του (δεν αποκτά την κανονική του ταχύτητα)

α) Τα ελατήρια του φυγοκεντρικού διακόπτη είναι χαλαρά και ο διακόπτης ανοίγει πρόωρα β) Ράβδοι του τυλίγματος κλωβού του δρομέα έχουν ξεκολλήσει από τα στεφάνια γ) Βλέπε παραπάνω 1.γ δ) Μεγάλο φορτίο	α) Να αντικατασταθούν τα ελατήρια ή ο διακόπτης β) Να κολληθούν οι ράβδοι ή να περτσινωθούν γ) Βλέπε παραπάνω 1.γ δ) Να ελεγχθεί το κινούμενο μηχανήμα, μήπως παρουσιάζει βλάβη. Να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας αν χρειάζεται
---	--

3. Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται στη λειτουργία

α) Βλέπε παραπάνω 1.γ β) Ο φυγοκεντρικός διακόπτης δεν ανοίγει μετά την εκκίνηση γ) Βλέπε παραπάνω 2δ	α) Βλέπε παραπάνω 1.γ β) Να επισκευασθεί ή να αλλάξει ο διακόπτης. Κινδυνεύει να καεί το βοηθητικό τύλιγμα γ) Βλέπε παραπάνω 2δ
---	---

4. Ο κινητήρας παράγει υπερβολικό θόρυβο στη λειτουργία

α) Φθαρμένα έδρανα β) Χαλαρά μέρη γ) Κακή ευθυγράμμιση δ) Φθαρμένος ιμάντας ε) Μη ζυγοσταθμισμένος δρομέας στ) Ο δρομέας εφάπτεται (βρίσκει) στο στάτη	α) Να αντικατασταθούν β) Να ελεγχθούν μήπως υπάρχουν χαλαρές βίδες, τροχαλίες κ.τ.λ. γ) Να ευθυγραμμισθούν τροχαλίες, σύνδεσμοι κ.τ.λ. δ) Να αντικατασταθεί ε) Να ζυγοσταθμισθεί ο δρομέας στ) Να αντικατασταθούν φθαρμένα έδρανα
---	--

5. Ο κινητήρας δημιουργεί ραδιοφωνικά παράσιτα

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Κακή γείωση του κινητήρα	α) Να αναζητηθεί και να επισκευασθεί η κακή γείωση
β) Χαλαρές συνδέσεις ή επαφές	β) Να ελεγχθούν και να σφιχθούν οι συνδέσεις των ακροδεκτών και οι επαφές ασφαλειών και διακοπών

Ειδικά για τους κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη, σημειώνουμε ότι οποιαδήποτε ανωμαλία παρουσιάσει ο κινητήρας στη λειτουργία δεν θα πρέπει να παραλείπομε να ελέγχουμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι βραχυκυκλωμένες σπείρες. Οι σπείρες αυτές μπορεί να είναι κορμμένες ή να έχουν λειώσει ή ακόμα και να λείπουν τελείως. Όταν λειώσουν οι σπείρες, ο χαλκός εισχωρεί μεταξύ των μαγνητικών ελασμάτων του στάτη και τα βραχυκυκλώνει, με συνέπεια να υπερθερμαίνονται.

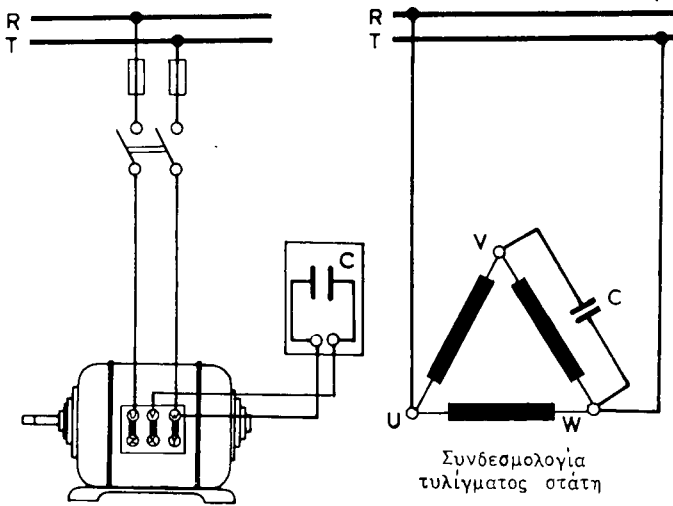
9.7 Λειτουργία τριφασικών κινητήρων ως μονοφασικών.

Μικροί τριφασικοί κινητήρες είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και σαν μονοφασικοί, δηλαδή να λειτουργήσουν τροφοδοτούμενοι από μονοφασικό δίκτυο όταν η τάση του δικτύου είναι ίση με τη φασική ή την πολική τάση του κινητήρα. Για να μπορούν να εκκινούν μόνοι τους πρέπει να τους εφοδιάσουμε με ένα πυκνωτή, ο οποίος στην περίπτωση ζεύξεως του τυλίγματος του στάτη σε τρίγωνο, συνδέεται παράλληλα προς μια φάση, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.7α. Αν η ζεύξη του τυλίγματος του στάτη είναι σε αστέρα, τότε ο πυκνωτής συνδέεται όπως δείχνει το σχήμα 9.7β, δηλαδή σε σειρά με μια φάση. Η φάση αυτή λειτουργεί όπως το βοηθητικό τύλιγμα των μονοφασικών κινητήρων και χρησιμεύει, όπως αναφέραμε, για την εκκίνηση.

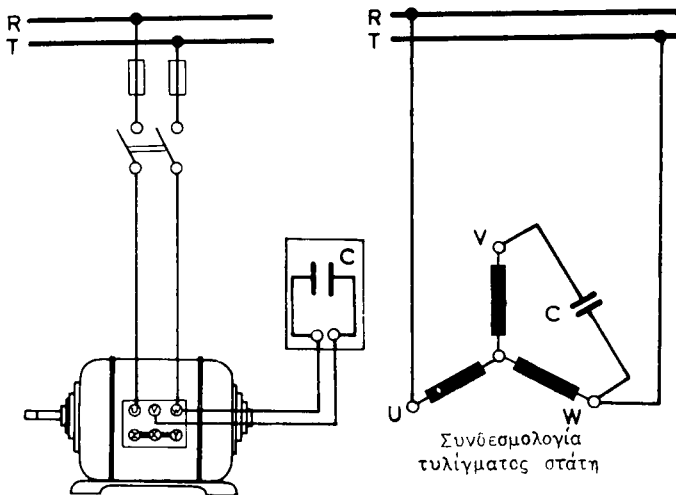
Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες αυτούς γίνεται αν μεταθέσουμε τη σύνδεση του ενός άκρου του πυκνωτή από τον ακροδέκτη W στον ακροδέκτη U (σχ. 9.7α και 9.7β).

Με κατάλληλη εκλογή του πυκνωτή η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα, που χρησιμοποιείται σαν μονοφασικός, μπορεί να φθάσει το 40% ως 50% της ονομαστικής ροπής του τριφασικού κινητήρα. Αυτό πετυχαίνεται με πυκνωτή χωρητικότητας περίπου 70 μF ανά kW ισχύος του κινητήρα και με τάση δικτύου 220 V. Για τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως 380 V η αντίστοιχη χωρητικότητα του πυκνωτή είναι περίπου 20 μF ανά kW.

Η ισχύς του κινητήρα όταν λειτουργεί σαν μονοφασικός είναι περίπου τα 80% της ονομαστικής ισχύος του τριφασικού κινητήρα. Η περίπτωση της χρησιμοποίησης τριφασικών κινητήρων σαν μονοφασικών, παρουσιάζεται συνήθως όταν μια

**Σχ. 9.7α.**

Τριφασικός κινητήρας ζεύξεως τριγώνου που χρησιμοποιείται σαν μονοφασικός.

**Σχ. 9.7β.**

Τριφασικός κινητήρας ζεύξεως αστέρα που χρησιμοποιείται σαν μονοφασικός.

μηχανή είναι εφοδιασμένη με μικρό τριφασικό κινητήρα και δεν υπάρχει διαθέσιμο τριφασικό δίκτυο.

9.8 Ανακεφαλαίωση.

α) Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες, εκτός από το κύριο μονοφασικό τύλιγμα στο στάτη, έχουν και ένα βοηθητικό τύλιγμα, το οποίο χρειάζεται για την εκκίνηση. Στο δρομέα έχουν τύλιγμα κλωβού.

β) Οι κυριότεροι τύποι ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων είναι: α) Οι κινητήρες αντιστάσεως. β) Οι κινητήρες με πυκνωτή και γ) οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

γ) Οι κινητήρες αντιστάσεως έχουν σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα ένα φυγοκεντρικό διακόπτη, ο οποίος το θέτει εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση. Επίσης σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα υπάρχει πολλές φορές μια ωμική αντίσταση. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε μικρές ισχύεις για κίνηση ηλεκτρικών συσκευών και εργαλείων.

δ) Οι μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή έχουν σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα ένα ή δύο πυκνωτές. Το τύλιγμα αυτό με τον πυκνωτή ή τίθεται εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση με τη βοήθεια φυγοκεντρικού διακόπτη ή παραμένει στο κύκλωμα κατά τη λειτουργία, οπότε ο πυκνωτής βελτιώνει το συνφ του κινητήρα, που πλησιάζει τότε το 1. Ο κινητήρας με πυκνωτή έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του πυκνωτή και χρησιμοποιείται για ισχύεις μέχρι 1,5 kW.

ε) Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους μονοφασικούς κινητήρες με βοηθητικό τύλιγμα γίνεται με μετάθεση των άκρων του τυλίγματος αυτού, τα οποία συνδέονται με το κύριο τύλιγμα.

στ) Οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο ετάτη, αντί για βοηθητικό τύλιγμα έχουν αυτές τις βραχυκυκλωμένες σπείρες και με τη βοήθειά τους γίνεται η εκκίνηση του κινητήρα. Έχουν μικρό βαθμό αποδόσεως και χρησιμοποιούνται σε μικρές ισχύεις, όταν δεν χρειάζεται σημαντική ροπή εκκίνησης.

ζ) Μικροί τριφασικοί κινητήρες είναι δυνατό να λειτουργήσουν ως μονοφασικοί με ισχύ μικρότερη από την ονομαστική τους. Για την εκκίνηση, συνδέουμε κατάλληλα πυκνωτή ορισμένου μεγέθους, ανάλογα με την ισχύ του κινητήρα. Στη λύση αυτή καταφεύγουμε όταν έχουμε ένα μηχάνημα που έχει μικρό τριφασικό κινητήρα και δεν υπάρχει δίκτυο τριφασικό για την τροφοδότησή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

10.1 Γενικά.

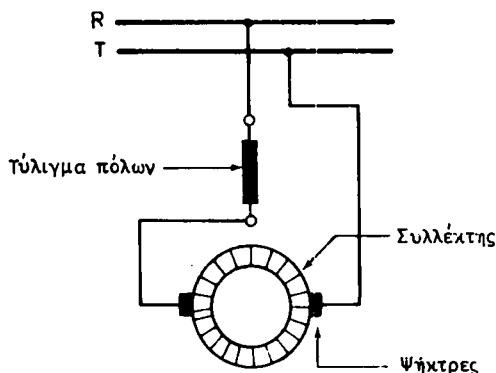
Τόσο οι σύγχρονοι όσο και οι ασύγχρονοι κινητήρες, τους οποίους εξετάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, αν και έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά λειτουργίας, δεν είναι βασικά κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας. Το μειονέκτημα αυτό, το οποίο σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις αποτελεί λόγο αποκλεισμού των κινητήρων αυτών, καλύπτουν οι **κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με συλλέκτη**. Οι κινητήρες αυτοί, εκτός από το ότι επιτρέπουν λεπτομερή ρύθμιση της ταχύτητας περιτροφής σε μεγάλα όρια, έχουν επίσης ικανοποιητική ροπή εκκινήσεως, ψηλό συντελεστή ισχύος και καλό βαθμό αποδόσεως.

Οι κινητήρες με συλλέκτη διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: Στους μονοφασικούς και στους τριφασικούς. Σε κάθε κατηγορία υπάρχουν πολλοί τύποι. Στο βιβλίο αυτό θα εξετάσουμε τους πιο συνηθισμένους. Συγκεκριμένα από τους μονοφασικούς κινητήρες με συλλέκτη θα εξετάσουμε: α) Τους **κινητήρες σειράς**. β) Τους **κινητήρες Γιουνιβέρσαλ**, που είναι μια παραλλαγή των κινητήρων σειράς και γ) τους **κινητήρες αντιδράσεως**. Από τους τριφασικούς κινητήρες με συλλέκτη θα εξετάσουμε: α) Τους **κινητήρες σειράς υψηλής και χαμηλής τάσεως**, β) τους **κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη** και γ) τους **κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα**.

10.2 Μονοφασικοί κινητήρες σειράς.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς (εδάφιο 4.5.3) το ίδιο ρεύμα περνά από το κύλιγμα των μαγνητικών πόλων και από το επαγωγικό τύμπανο με τη βοήθεια των ψηκτρών. Άρα, όταν σε ένα κινητήρα με διέγερση σειράς αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος που τον τροφοδοτεί, η φορά περιστροφής του δεν αλλάζει, γιατί ταυτόχρονα αλλάζει και η φορά του μαγνητικού πεδίου και η φορά του ρεύματος μέσα στους αγωγούς του τυμπάνου (εδάφιο 2.2.2).

Απο τα παραπάνω θα μπορούσε κανείς να συμπεράνει, ότι ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς είναι δυνατό να εργασθεί και όταν τροφοδοτείται με μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (σχ. 10.2α). Αυτό πραγματικά συμβαίνει, με τη παρατήρηση όμως ότι η λειτουργία του κινητήρα είναι κακή. Το εναλλασσόμενο ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας είναι μικρότερο από ό,τι το αντίστοιχο συνεχές ρεύμα με την ίδια τάση, η ροπή που αναπτύσσεται είναι μικρότερη, δημιουργούνται σπινθηρισμοί στο συλλέκτη και ο συντελεστής ισχύος και ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικοί. Επίσης ο κινητήρας



Σχ. 10.2α.

Συνδεσμολογία μονοφασικού κινητήρα σειράς.

Θερμαίνεται πάρα πολύ και ιδιαίτερα στους μαγνητικούς του πόλους.

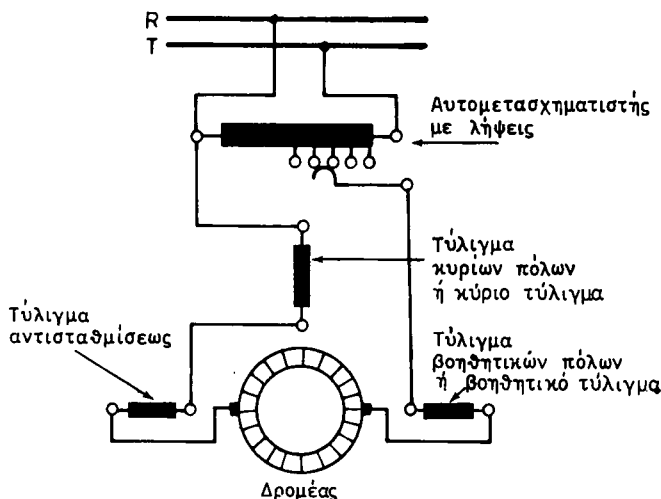
Για την καλή λειτουργία του κινητήρα σειράς στο εναλλασσόμενο ρεύμα, πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες τροποποιήσεις στη γνωστή κατασκευή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος:

α) Αιτία της υπερβολικής θερμάνσεως των μαγνητικών πόλων, όταν τα τυλίγματα τους διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα, είναι τα δινορρέυματα και η υστέρηση από την εναλλασσόμενη μαγνήτισή τους. Για το λόγο αυτό στους μονοφασικούς κινητήρες σειράς οι πυρήνες των μαγνητικών πόλων και το ζύγωμα κατασκευάζονται από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα και ο υπολογισμός τους γίνεται με μικρότερη μαγνητική επαγωγή από ό,τι στο συνεχές ρεύμα.

Στην ελάττωση των απωλειών που αναφέραμε συντελεί και η χρησιμοποίηση μονοφασικού ρεύματος μικρότερης όσο το δυνατό συχνότητας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις στην ηλεκτρική έλξη, όπου κυρίως έχουν εφαρμογή οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς, χρησιμοποιούνται συχνότητες 25 Hz ή $16 \frac{2}{3}$ Hz.

β) Η απορρόφηση μικρότερου ρεύματος και ο μικρός συντελεστής ισχύος που αναφέραμε οφείλονται στα φαινόμενα αυτεπαγωγής, τα οποία εμφανίζονται όταν ο κινητήρας σειράς τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Δεν θα προχωρήσουμε σε λεπτομερή εξέταση των φαινομένων αυτών. Θα σημειώσουμε μόνο ότι οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς κατασκευάζονται με μικρό αριθμό σπειρών στα τυλίγματα των πόλων και μεγάλο αριθμό σπειρών στο επαγωγικό τύμπανο. Επίσης, ότι για τη μείωση της αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου, τοποθετείται στα έδωλα των μαγνητικών πόλων **τύλιγμα αντισταθμίσεως**, όπως αυτό που τοποθετείται και σε ορισμένες μηχανές συνεχούς ρεύματος. Το τύλιγμα αντισταθμίσεως συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο και τα τυλίγματα των πόλων.

γ) Οι σπινθηρισμοί στο συλλέκτη, οι οποίοι εμφανίζονται και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, εδώ παρουσιάζονται με πολύ πιο σοβαρή μορφή και με αποτέλεσμα την υπερβολική θέρμανση του συλλέκτη. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιούνται και στους μονοφασικούς κινητήρες σειράς **βοηθητικοί πόλοι** (εδάφιο 4.3.1) των οποίων τα τυλίγματα συνδέονται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο. Η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων που έχει ο μονοφασικός κινη-



Σχ. 10.2β.

Μονοφασικός κινητήρας σειράς με αυτομετασχηματιστή.

ηρας σειράς φαίνεται στο σχήμα 10.2β.

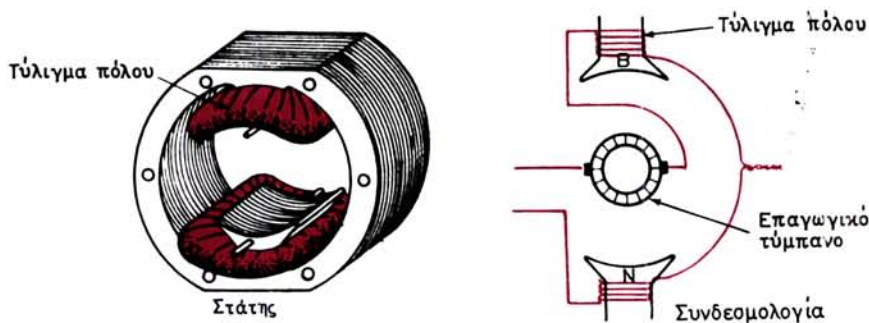
Αναφέρομε τέλος, ότι η κατασκευή με μαγνητικούς πόλους που προεξέχουν, όπως στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, γίνεται μόνο στους μικρούς μονοφασικούς κινητήρες σειράς. Στους μεγαλύτερους, ο στάτης κατασκευάζεται χωρίς προεξέχοντες πόλους, όπως ο στάτης στους ασύγχρονους κινητήρες. Στις περιπτώσεις αυτές, το τύλιγμα των κυρίων πόλων που εδώ ονομάζεται **κύριο τύλιγμα** τοποθετείται μέσα στις οδοντώσεις διαμορφωμένο σαν μονοφασικό τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε απόσταση 90 ηλεκτρικών μοιρών από αυτό τοποθετείται το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων ή **βοηθητικό τύλιγμα** διαμορφωμένο επίσης σαν τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος. Μέσα στις οδοντώσεις του κύριου τυλίγματος τοποθετούνται και οι σπείρες του **τυλίγματος αντισταθμίσεως** (σχ. 10.2β).

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 εκκίνησης, η οποία στη συνέχεια ελαττώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα. Στο μηδενικό φορτίο η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται επικίνδυνα.

Για την εκκίνηση των μονοφασικών κινητήρων σειράς χρησιμοποιούμε είτε ένα εκκινητή με αντιστάσεις που συνδέονται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, είτε συνηθέστερα στους μεγάλους κινητήρες ένα αυτομετασχηματιστή με λήψεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.2β.

Για να ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας χρησιμοποιούμε ένα ρυθμιστή στροφών (που είναι τότε και εκκινητής), όπως γίνεται στις αντίστοιχες μηχανές συνεχούς ρεύματος. Ένας τέτοιος ρυθμιστής στροφών μπορεί να είναι ο αυτομετασχηματιστής με τις λήψεις που αναφέραμε, οπότε είναι κατασκευασμένος έτσι, ώστε να μπορεί να παραμένει συνεχώς στο κύκλωμα (σχ. 10.2β).

Οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτρική έλ-



Σχ. 10.3α.



Σχ. 10.3β.

Κινητήρας γιουनिβέρσαλ αποσυναρμολογημένος.

ξη (σιδηροδρομοί κλπ.), όπως και οι αντίστοιχοι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, και μαλιστα για μεγάλες αποστάσεις. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούμε ρεύμα υψηλής τάσεως (π.χ. 15.000 V), το οποίο υποβιβάζομε στην κατάλληλη για τους κινητήρες τάση με τη βοήθεια μετασχηματιστή με λήψεις.

10.3 Κινητήρες Γιουνιβέρσαλ (Universal).

Οι κινητήρες αυτοί είναι μικροί μονοφασικοί κινητήρες σειράς (ισχύος μέχρι 500 W) με μαγνητικούς πόλους που προεξέχουν, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 10.3α, και κατασκευάζονται για ταχύτητες λειτουργίας 3000 ως 8000 στρ/μίν. Στις ταχύτητες αυτές η λειτουργία του κινητήρα είναι ικανοποιητική και χωρίς τύλιγμα αντισταθμίσεως και βοηθητικούς πόλους.

Ο δρομέας των κινητήρων Γιουνιβέρσαλ (σχ. 10.3β) είναι κατασκευασμένος όπως ο συνηθισμένος δρομέας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με συλλέκτη. Στο δεξιό μέρος του σχήματος 10.3α φαίνεται η συνδεσμολογία κινητήρα αυτού του είδους.

Οι κινητήρες Γιουνιβέρσαλ έχουν ισχυρή ροπή εκκινήσεως. Η ταχύτητα περιστροφής τους εξαρτάται από το φορτίο, όπως σε όλους τους κινητήρες σειράς. Όταν αφαιρέσουμε τελείως το φορτίο, η ταχύτητα αυξάνεται πάρα πολύ και υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του κινητήρα. Για τη ρύθμιση των στροφών χρησιμοποιούνται αντιστάσεις ή αυτομετασχηματιστές.

Οι μικροί κινητήρες Γιουνιβέρσαλ μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 25 ως 60 Hz, όσο και με συνεχές ρεύμα. Στη λειτουργία με συνεχές ρεύμα η ταχύτητα περιστροφής είναι 15% μεγαλύτερη. Στη λειτουργία με εναλλασσόμενο ρεύμα έχουν συντελεστή ισχύος μεταξύ 0,5 και 0,8.

Οι κινητήρες Γιουνιβέρσαλ χρησιμοποιούνται πολύ σε μικρά εργαλεία, π.χ. σε ηλεκτρικά τρυπάνια, σε δισκοπρίονα, σε ανεμιστήρες, καθώς και σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως πλυντήρια, ψυγεία, ραπτομηχανές μηχανές προβολής κτλ.

10.4 Κινητήρες αντιδράσεως

Οι κινητήρες αυτοί έχουν στάτη με μονοφασικό τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος και δρομέα με τύλιγμα συνεχούς ρεύματος, τα άκρα των ομάδων του οποίου συνδέονται στο συλλέκτη. Το τύλιγμα του στάτη συνδέεται στο δίκτυο τροφοδοτήσεως και παράγει εναλλασσόμενο (μη περιστρεφόμενο) μαγνητικό πεδίο. Το τύλιγμα του δρομέα δεν συνδέεται ηλεκτρικά ούτε με το τύλιγμα του στάτη ούτε με το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως.

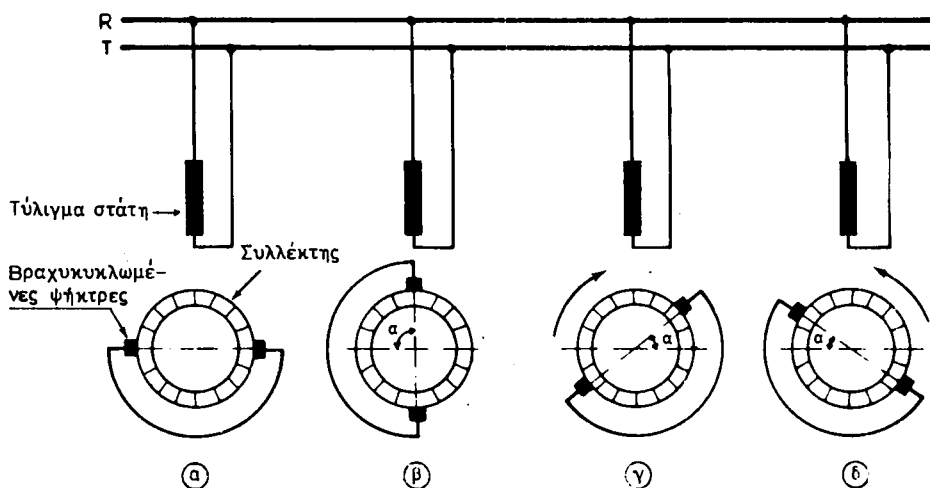
Υπάρχουν αρκετοί τύποι κινητήρων αντιδράσεως. Σε ένα από αυτούς οι ψήκτρες, οι οποίες εφάπτονται στο συλλέκτη, είναι μεταξύ τους βραχυκυκλωμένες ανά δυο και είναι όλες στερεωμένες επάνω σε μηχανισμό, ο οποίος μας επιτρέπει με τη βοήθεια ενός χειροστρόφαλου να τις μεταθέτομε. Δηλαδή μπορούμε να μεταβάλλομε τη θέση τους επάνω στο συλλέκτη, αν στρέψομε το μηχανισμό κατά τη μία ή την άλλη φορά.

Στο σχήμα 10.4α το διπολικό τύλιγμα του στάτη παριστάνεται με ένα πηνίο, του οποίου ο άξονας συμπίπτει με τον άξονα του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από το τύλιγμα. Όταν ο άξονας των δυο βραχυκυκλωμένων μεταξύ τους ψηκτρών συμπίπτει με την ουδέτερη ζώνη, όπως δείχνει το σχήμα στην περίπτωση (α) ή όταν συμπίπτει με τον άξονα του μαγνητικού πεδίου [περίπτωση (β) στο σχήμα], τότε δεν αναπτύσσεται ροπή στο δρομέα και ο κινητήρας δεν ξεκινά.

Όταν ο άξονας των ψηκτρών σχηματίζει με την ουδέτερη ζώνη οια γωνία α μεταξύ 0° και 90° , τότε ο κινητήρας ξεκινά και περιστρέφεται κατά τη μια ή την άλλη φορά [περίπτωση (γ) ή (δ) του σχήματος 10.4α].

Η ταχύτητα και η ροπή αυτού του κινητήρα αντιδράσεως εξαρτάται από τη γωνία μεταθέσεως των ψηκτρών του α. Όσο αυξάνομε (μέχρις ενός ορίου) τη γωνία α με το μηχανισμό που αναφέραμε, τόσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Συνεπώς ο κινητήρας αντιδράσεως έχει εύκολο τρόπο ρυθμίσεως της ταχύτητάς του. Επίσης εύκολη είναι στους κινητήρες αυτούς η αλλαγή της φοράς περιστροφής, η οποία πραγματοποιείται με τον ίδιο μηχανισμό, με περιστροφή του χειροστρόφαλου κατά την αντίθετη φορά.

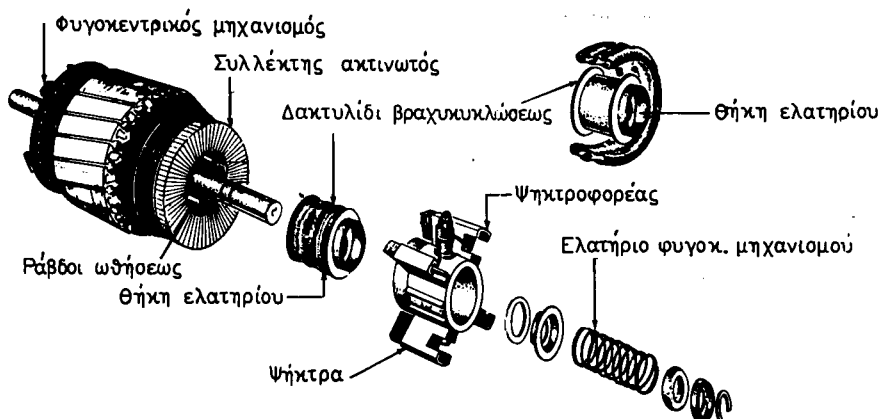
Ο κινητήρας αντιδράσεως, για ορισμένη θέση των ψηκτρών, έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας όπως αυτά του κινητήρα σειράς. Δηλαδή η ταχύτητα μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια, όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Επίσης στη λειτουργία χωρίς φορ-



Σχ. 10.4α.
Κινητήρας αντιδράσεως.

τίο είναι ενδεχόμενο να καταστραφεί ο κινητήρας από υπερβολική ταχύτητα περιστροφής. Στο κανονικό φορτίο είναι δυνατό να πετύχομε ρύθμιση στροφών, με τον τρόπο που αναφέραμε, μεταξύ 60% και 130% του ονομαστικού αριθμού στροφών.

Στους κινητήρες αντιδράσεως χρησιμοποιείται η μέθοδος της απευθείας εκκινήσεως επειδή έχουν μικρή ένταση εκκινήσεως και μάλιστα με σχετικά μεγάλη ροπή. Ο συντελεστής ισχύος στη λειτουργία με το κανονικό φορτίο είναι μικρότερος από τους μονοφασικούς κινητήρες σειράς. Οι κινητήρες αντιδράσεως που περιγράψαμε



Σχ. 10.4β.
Δρομέας κινητήρα αντιδράσεως με σύστημα ανυψώσεως των ψηκτρών.

ήδη χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται λεπτομερής ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής.

Ένα άλλος τύπος κινητήρα αντιδράσεως είναι ο **κινητήρας αντιορασσεως με συστημα ανυψώσεως ψηκτρών**. Ο κινητήρας αυτός δεν φέρει μηχανισμό μεταθέσεως των ψηκτρών, ο άξονας των οποίων σχηματίζει μια ορισμένη σταθερή γωνία με τον άξονα του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Συνήθως έχει τέσσερεις ψηκτρες βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους ανά δυο ή και οι τέσσερεις μαζί.

Στην εκκίνηση, οι βραχυκυκλωμένες ψηκτρες εφάπτονται στο συλλέκτη και ο κινητήρας ξεκινά ως κινητήρας αντιδράσεως. Όταν πλησιάσει τη σύγχρονη ταχύτητα (περίπου στα 80% της), ένας φυγοκεντρικός μηχανισμός που υπάρχει στο δρομέα μετακινεί ένα μεταλλικό δακτυλίδι, το οποίο βραχυκυκλώνει μεταξύ τους τους τομείς του συλλέκτη, που πολλές φορές είναι «ακτινωτός» (σχ. 10.4β), και ταυτόχρονα απομακρύνει τις ψηκτρες. Έτσι οι ψηκτρες δεν φθείρονται στη κανονική λειτουργία και ο κινητήρας εργάζεται ως ασύγχρονος κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα, γιατί, μετά τη βραχυκύκλωση των τομέων του συλλέκτη, το τύλιγμα του δρομέα συμπεριφέρεται ως τύλιγμα κλωβού.

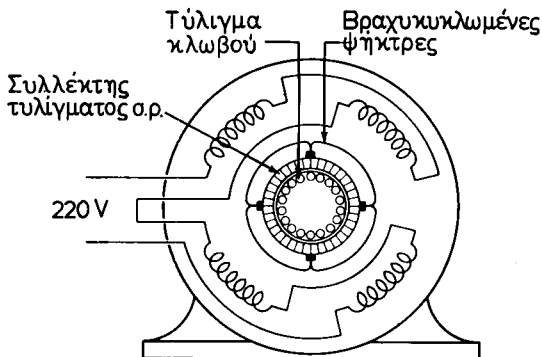
Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη ροπή στην εκκίνηση, σταθερότητα στροφών στην κανονική λειτουργία και μικρή φθορά ψηκτρών και συλλέκτη.

Άλλο επίσης τύπο κινητήρα αντιδράσεως αποτελεί ο **επαγωγικός κινητήρας αντιδράσεως**, ο οποίος, στο δρομέα, εκτός από το τύλιγμα συνεχούς ρεύματος με το συλλέκτη, φέρει και ένα ανεξάρτητο τύλιγμα κλωβού (σχ. 10.4γ). Ο κινητήρας αυτός έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας που είναι συνδυασμός των χαρακτηριστικών των κινητήρων αντιδράσεως και των επαγωγικών (ασύγχρονων) κινητήρων.

Χωρίς φορτίο, ο κινητήρας λειτουργεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη. Στη σύγχρονη ταχύτητα αναπτύσσει τα 80% της κανονικής του ροπής.

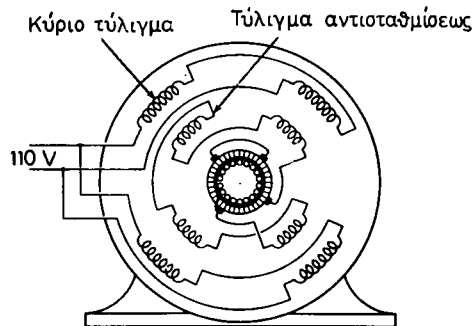
Οι επαγωγικοί κινητήρες αντιδράσεως χρησιμοποιούνται σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, σε αντλίες βενζίνης, αεροσυμπιεστές κτλ.

Μια παραλλαγή του επαγωγικού κινητήρα αντιδράσεως δείχνει το σχήμα 10.4δ. Ο κινητήρας αυτός έχει μέσα στα αμλάκια του στάτη, εκτός από το κύριο τύλιγμα,



Σχ. 10.4α.

Επαγωγικός κινητήρας αντιδράσεως.



Σχ. 10.4β.

Επαγωγικός κινητήρας αντιδράσεως με τύλιγμα αντισταθμίσεως.

και ένα τύλιγμα αντισταθμίσεως που συνδέεται σε σειρά με δυο από τις ψήκτρες, ενώ οι άλλες δυο είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους. Ο κινητήρας αυτός έχει βελτιωμένο συντελεστή ισχύος.

10.5 Βλάβες και επισκευή μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη.

Οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς παρουσιάζουν τις ίδιες βλάβες που παρουσιάζουν και οι κινητήρες σειράς συνεχούς ρεύματος (παράγραφος 4.8). Για τους λοιπούς μονοφασικούς κινητήρες με συλλέκτη, οι οποίοι κατασκευάζονται συνήθως σε μικρές ισχείς και έχουν όπως και οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής, δίνονται παρακάτω αναλυτικά οι παρουσιαζόμενες βλάβες και η απαιτούμενη κάθε φορά επισκευή τους. Σημειώνουμε εδώ ότι στους κινητήρες με συλλέκτη πρέπει, πριν τους αποσυναρμολογήσουμε για οποιαδήποτε επισκευή, να σημειώνουμε την ακριβή θέση των ψηκτρών ως προς το στάτη. Αυτό θα μας προφυλάξει από την εμφάνιση ανωμαλιών κατά τη θέση σε λειτουργία του κινητήρα μετά από τη συναρμολόγηση.

1. Ο κινητήρας δεν ξεκινά

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Δεν υπάρχει τάση στον κινητήρα	α) Να ελεγχθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο ή διακοπή στους τροφοδοτικούς αγωγούς. Να ελεγχθούν οι ασφάλειες και ο αυτόματος
β) Διακοπή στο τύλιγμα του στάτη ή του δρομέα	β) Να διαπιστωθεί αν υπάρχουν χαλαρές συνδέσεις, κομμένα σύρματα ή διακοπές στις συνδέσεις με τους τομείς του συλλέκτη και να επισκευασθούν
γ) Φθαρμένες ψήκτρες ή ακινητοποιημένες μέσα στις ψηκτροθήκες	γ) Να αλλαχθούν οι φθαρμένες ψήκτρες, να καθαριστούν οι ψηκτροθήκες και να ελεγχθούν τα ελατήρια.
δ) Οι ψήκτρες έχουν μετατοπισθεί ως προς το στάτη	δ) Ο ψηκτροφορέας να προσαρμοσθεί σύμφωνα με το σημάδεμα του κατασκευαστή
ε) Μεγαλο φορτίο	ε) Να ελεγχθεί αν ο κινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο. Να ελαττωθεί το φορτίο ή να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος κινητήρας
στ) Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στατη ή στο τύλιγμα του δρομέα	στ) Να επισκευασθεί το βλαμμένο τύλιγμα ή να αντικατασταθεί με καινούργιο

2. Ο κινητήρας θερμαίνεται

Πιθανή αιτία	Απαιτούμενη επισκευή
α) Έδρανα φθαρμένα ή ακάθαρτα ή μη λιπαινόμενα β) Βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη γ) Ο δρομέας «βρίσκει» στο στάτη δ) Υπερβολικό φορτίο ε) Χαμηλή τάση	α) Να αλλαχθούν ή να καθαριστούν και να λιπανθούν β) Να επισκευασθούν ή να αντικατασταθούν γ) Έδρανα πολύ φθαρμένα (να αλλαχθούν) δ) Να ελαττωθεί το φορτίο ή να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας ε) Η τάση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 90% της ονομαστικής

3. Ο κινητήρας εργάζεται με θόρυβο

α) Φθαρμένα έδρανα β) Μη ζυγοσταθμισμένος δρομέας γ) Ανώμαλος συλλέκτης δ) Κακή ευθυγράμμιση κινητήρα με κινούμενο μηχανήμα ή χαλαρή στερέωση της βάσεως του κινητήρα	α) Να αντικατασταθούν β) Να γίνει δυναμική ζυγοστάθμιση του δρομέα γ) Να επισκευασθεί δ) Να διορθωθεί η ευθυγράμμιση και να σφιχθούν οι βίδες στερεώσεως του κινητήρα
--	--

4. Υπερβολική φθορά των ψηκτρών

α) Ακάθαρτος ή ανώμαλος συλλέκτης β) Αδύνατη επαφή ψηκτρών με συλλέκτη Πιθανή αιτία γ) Υπερφόρτιση του κινητήρα δ) Δεν λειτουργεί ο μηχανισμός ανυψώσεως των ψηκτρών (όταν υπάρχει)	α) Να καθαρισθεί με γυαλόχαρτο (όχι σμυριδόπανο) ή να επισκευασθεί β) Να ελεγχθεί το μήκος των ψηκτρών, αν κινούνται ελεύθερα στις ψηκτροθήκες, και η πίεση των ελατηρίων Απαιτούμενη επισκευή γ) Να ελαττωθεί το φορτίο δ) Βλ. παρακάτω, εδάφιο 5
---	--

5. Ο κινητήρας λειτουργεί χωρίς ανύψωση των ψηκτρών (όταν υπάρχει τέτοιος μηχανισμός)

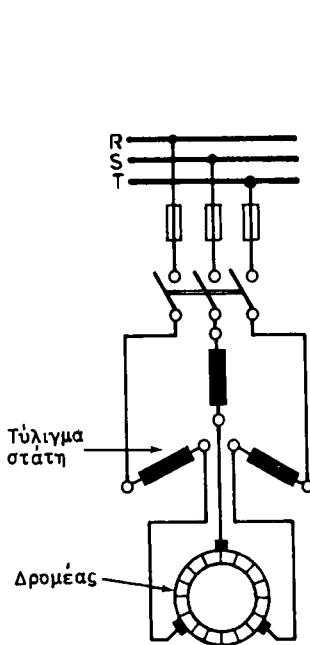
α) Ο φυγοκεντρικός μηχανισμός ή οι ψηκτρες έχουν ακινητοποιηθεί (κολλούν) β) Όχι σωστή ρύθμιση του φυγοκεντρικού μηχανισμού γ) Ο κινητήρας δεν φθάνει την ονομαστική του ταχύτητα	α) Να ελεγχθεί αν ο φυγοκεντρικός μηχανισμός και οι ψηκτρες λειτουργούν ελεύθερα β) Ο φυγοκεντρικός μηχανισμός πρέπει να λειτουργεί περίπου στο 75% της ονομαστικής ταχύτητας γ) Αυτό μπορεί να οφείλεται σε χαμηλή τάση, όχι σωστή θέση του ψηκτροφορέα, υπερβολικό φορτίο, βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στάτη
---	---

10.6 Τριφασικοί κινητήρες σειράς χαμηλής και υψηλής τάσεως.

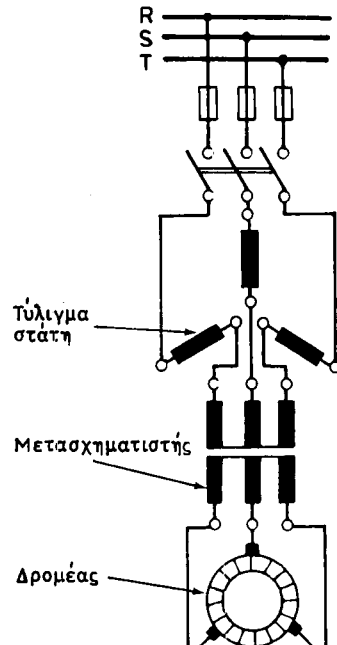
Οι κινητήρες αυτοί, που ανήκουν στην κατηγορία των τριφασικών κινητήρων με συλλέκτη, έχουν στάτη όμοιο ακριβώς με το στάτη ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα. Ο δρομέας τους όμως έχει τύλιγμα συνεχούς ρεύματος με τα άκρα των ομάδων συνδεδεμένα στους τομείς του συλλέκτη. Ο αριθμός των πόλων του τυλίγματος του στάτη είναι ο ίδιος με τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του δρομέα.

Επάνω στο συλλέκτη εφάπτονται τρεις ψήκτρες σε σημεία που ισαπέχουν μεταξύ τους, δηλαδή σε αποστάσεις 120° . Οι ψήκτρες αυτές είναι στερεωμένες σε ένα μηχανισμό που επιτρέπει τη μετάθεσή τους, όπως γίνεται και σε ορισμένους κινητήρες αντιδράσεως.

Τα άκρα του τυλίγματος κάθε φάσεως του στάτη συνδέονται με το δίκτυο και με μια από τις ψήκτρες, όπως δείχνει το σχήμα 10.6α. 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. 10.6α.



Σχ. 10.6β.

Τριφασικός κινητήρας σειράς χαμηλής τάσεως. 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. 7.2) 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 τριφασι-

κό 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 στους αγωγούς του τυλίγματος του δρομέα γίνεται με το συλλέκτη από τις ακίνητες (μη περιστρεφόμενες) ψήκτρες.

Άρα τα περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία του στάτη και του δρομέα έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα και όταν είναι «σε φάση» στο χώρο, δηλαδή το ένα ακριβώς απέναντι στο άλλο, δεν ασκείται καμιά ροπή στο δρομέα. Αν όμως με το μηχανισμό μεταθέσουμε τις ψήκτρες κατά μία ορισμένη γωνία, δημιουργείται αντίστοιχη φασική απόκλιση στο χώρο μεταξύ των δύο μαγνητικών πεδίων, τα οποία με τη μεταξύ τους αντίδραση ασκούν ροπή στο δρομέα με **φορά αντίθετη της μεταθέσεως των ψηκτρών**. Αν η ανθιστάμενη ροπή του φορτίου είναι μικρότερη από τη ροπή αυτή ο κινητήρας θα ξεκινήσει.

Επειδή στη λειτουργία του ο κινητήρας περιστρέφεται με φορά που συμπίπτει με τη φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων, γι' αυτό η μετάθεση των ψηκτρών γίνεται πάντοτε κατά φορά αντίθετη από τη φορά περιστροφής του κινητήρα. Αν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, όπως και στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες, αντιμετωπίζουμε δύο από τους τροφοδοτικούς αγωγούς για να αλλάξει η φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων, και κάνουμε μετάθεση στις ψήκτρες αντίθετη από ότι ήταν προηγούμενα.

Η μέγιστη ροπή του κινητήρα πετυχαίνεται, όταν η μετάθεση των ψηκτρών είναι ίση περίπου με 90° ηλεκτρικές μοίρες. Αυτό είναι και το όριο, μέχρι το οποίο είναι επιτρεπτή η μετάθεση των ψηκτρών.

Για ορισμένη θέση των ψηκτρών, ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς, δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής εξαρτάται από το φορτίο κλπ.

Για ορισμένο φορτίο σταθερής ροπής, η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται, όσο αυξάνεται (μέχρις ενός ορίου) η μετάθεση των ψηκτρών κατά φορά αντίθετη από τη φορά κινήσεως. Η εκκίνηση των κινητήρων αυτών, όταν είναι μικρής ισχύος, γίνεται με τοποθέτηση των ψηκτρών στη θέση της χαμηλής ταχύτητας, για να ελαττώσουμε την ένταση εκκινήσεως, η οποία διαφορετικά είναι σημαντική. Για την εκκίνηση κινητήρων μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούμε αυτομετασχηματιστές.

Όταν η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως του κινητήρα είναι αρκετά υψηλή (πάνω από 380 V), παρεμβάλλουμε ένα μετασχηματιστή, για τον υποβιβασμό της τάσεως, μεταξύ των τυλιγμάτων του στάτη και του δρομέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.6β. Αυτό γίνεται γιατί **είναι τεχνικά πολύ δύσκολο να κατασκευάσουμε συλλέκτες για υψηλές τάσεις**.

Η ρύθμιση της ταχύτητας των τριφασικών κινητήρων σειράς μόνο με τη μετάθεση των ψηκτρών, δηλαδή χωρίς τη χρησιμοποίηση εξωτερικών αντιστάσεων και των απωλειών τις οποίες συνεπάγεται η χρήση τους, έχει ως αποτέλεσμα οι κινητήρες αυτοί να έχουν μεγάλο βαθμό αποδόσεως σε όλη την κλίμακα των ταχυτή-

των τους. Ο συντελεστής ισχύος είναι επίσης υψηλός και πλησιάζει τη μονάδα για ταχύτητες του κινητήρα κοντά ή και πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ισχύεις (εκατοντάδες kW) για κίνηση κεντρόφυγων αντλιών, ανεμιστήρων, συμπιεστών, ανυψωτικών μηχανημάτων κτλ.

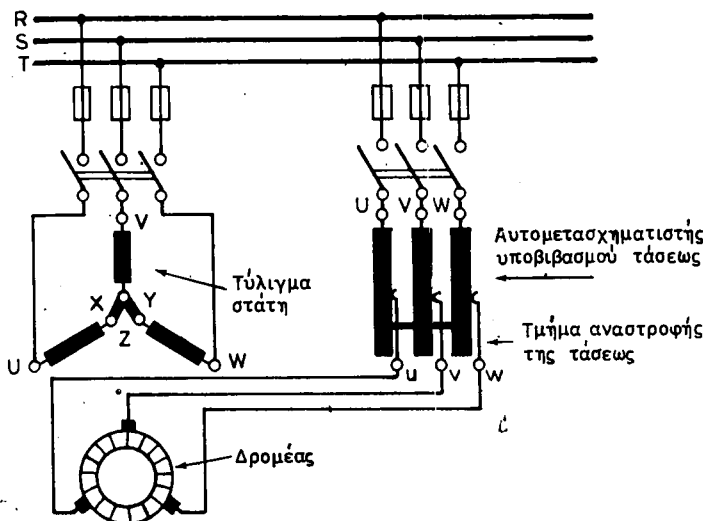
10.7 Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως, με τροφοδότηση από το στάτη.

Οι τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως, που είναι και αυτοί κινητήρες με συλλέκτη, ονομάστηκαν έτσι γιατί έχουν χαρακτηριστικά όπως των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με παράλληλη διέγερση (διακλάδωση). Ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα ρυθμίσεως της ταχύτητας σε μεγάλα όρια.

Στους τριφασικούς κινητήρες, με τροφοδότηση από το στάτη, το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται απευθείας από το δίκτυο. Το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται επίσης από το δίκτυο με την παρεμβολή ενός μετασχηματιστή ή αυτομετασχηματιστή για τον υποβιβασμό της τάσεως, όπως δείχνει το σχήμα 10.7.

Η αρχή της λειτουργίας των κινητήρων αυτών είναι η ίδια με τους τριφασικούς κινητήρες σειράς. Η ροπή δημιουργείται και εδώ από τη μετάθεση στο χώρο μεταξύ των δυο 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. 10.7). 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-



Σχ. 10.7.

Τριφασικός κινητήρας διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη.

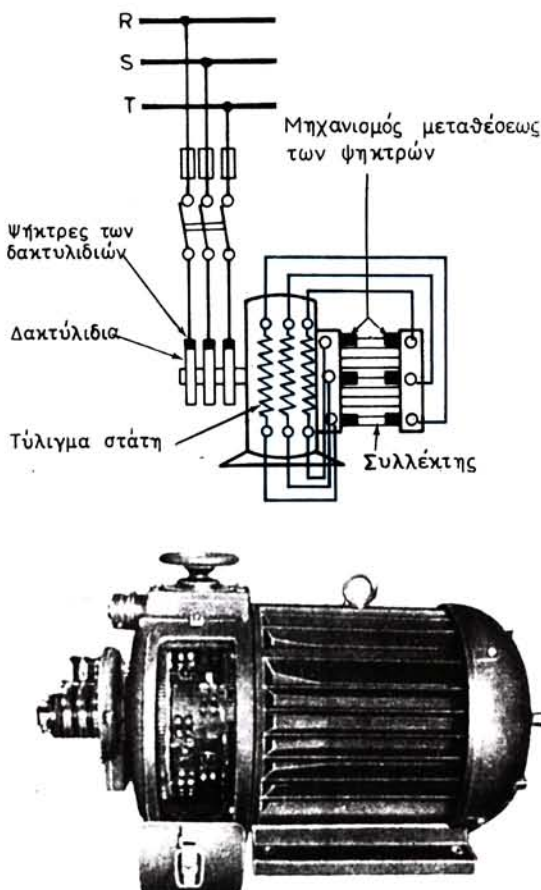
ματιστή αναστρέφεται. Στην πράξη η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται μεταξύ 20% και 130% της ονομαστικής ταχύτητας.

Για ορισμένη τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή η ταχύτητα του κινητήρα είναι πολύ σταθερή και όταν ακόμη η ανθιστάμενη ροπή του φορτίου μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια.

Οι κινητήρες αυτοί, που έχουν σε όλη την κλίμακα των ταχυτήτων τους πολύ καλό βαθμό αποδόσεως και συντελεστή ισχύος, χρησιμοποιούνται σε νηματουργεία, υφαντουργεία, μικρά έλαστρα, χαρτοποιητικές μηχανές κλπ.

10.8 Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα.

Η γενική διάταξη των κινητήρων αυτών, που ονομάζονται και **κινητήρες Schrage**, από το όνομα του εφευρέτη τους, φαίνεται στο σχήμα 10.8α. Όπως παρατη-



Σχ. 10.8α.

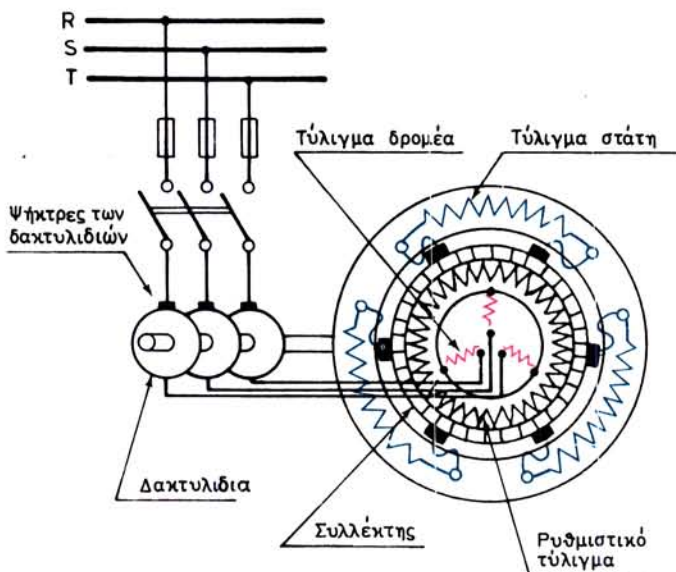
Τριφασικός κινητήρας διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα (κινητήρας Schrage)

ρουμε, αντίθετα από ό,τι συμβαίνει με όλους τους υπόλοιπους κινητήρες, εδώ η τροφοδότηση από το δίκτυο γίνεται στο δρομέα του κινητήρα μέσω τριών δακτυλιδιών. Στα δακτυλίδια αυτά είναι συνδεδεμένα τα τρία άκρα τριφασικού τυλίγματος που είναι τοποθετημένο στις οδοντώσεις του δρομέα. Μέσα στις οδοντώσεις αυτές υπάρχει τοποθετημένο και δεύτερο τύλιγμα, το **ρυθμιστικό τύλιγμα**, το οποίο συνδέεται με τους τομείς του συλλέκτη, όπως το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Το σχήμα 10.8β δίνει το διάγραμμα της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων σε ένα κινητήρα διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα.

Ο στάτης του κινητήρα έχει τριφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται σε δύο σειρές ψηκτρών. Κάθε σειρά αποτελείται από τρεις ισαπέχουσες ψήκτρες (κατά 120°) στερεωμένες σε ένα μηχανισμό μεταθέσεως. Δηλαδή υπάρχουν δύο τέτοιοι μηχανισμοί, οι οποίοι όμως περιστρέφονται ταυτόχρονα σε αντίθετες φορές από ένα κοινό χειροστρόφαλο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να αυξήσουμε ή να ελαττώσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο ψηκτρών, που 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 ψήκτρες των φάσεων του στάτη να είναι η μια απέναντι στην άλλη (σχ.10.8α), 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 το δρομέα) και συνεπώς περιστρέφεται με ταχύτητα λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη.

Αν με το χειροστρόφαλο απομακρύνουμε τις αντίστοιχες ψήκτρες, ώστε μεταξύ των ψηκτρών κάθε φάσεως να παρεμβάλλονται ορισμένες σπείρες του ρυθμιστι-



Σχ. 10.8β.

Τυλίγματα κινητήρα διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα.

κού τυλίγματος, τότε μέσα σε κάθε φάση εισέρχεται μια τάση, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται ακριβώς από τον αριθμό των σπειρών αυτών του ρυθμιστικού τυλίγματος. Αυξάνοντας ή ελαττώνοντας την τάση με το μηχανισμό που περιγράψαμε, αυξάνουμε ή ελαττώνουμε την ταχύτητα του κινητήρα πάνω ή και κάτω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Συνήθως τα ακραία όρια των ταχυτήτων που πετυχαίνονται με τον 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 απευθείας με τοποθέτηση των ψηκτρών στη θέση που έχει τη μικρότερη ταχύτητα. Στη λειτουργία του έχει πολύ καλό συντελεστή ισχύος για ταχύτητες πάνω από τη σύγχρονη, ενώ για ταχύτητες κάτω από τη σύγχρονη ο συντελεστής ισχύος ελαττώνεται. Ο βαθμός αποδόσεως 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 αγωγούς.

Οι κινητήρες Schrage χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται λεπτομερής ρύθμιση της ταχύτητας, όπως σε τυπογραφικές και χαρτοποιητικές μηχανές, εργοστάσια ελαστικού, φυσητήρες λεβήτων, συμπιεστές, γερανούς, σε μεγάλες εργαλειομηχανές κλπ.

10.9 Βλάβες και επισκευή τριφασικών κινητήρων με συλλέκτη.

Οι τριφασικοί κινητήρες με συλλέκτη είναι ειδικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, πολύπλοκοι στην κατασκευή και συνεπώς ακριβοί. Χρησιμοποιούνται σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όταν απαιτείται πολύ λεπτομερής ρύθμιση της ταχύτητας.

Στο στάτη φέρουν τριφασικό τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος και στο δρομέα τύλιγμα συνεχούς με συλλέκτη και σύστημα ψηκτρών που εφάπτονται σ' αυτόν. Συνεπώς, οι βλάβες που παρουσιάζουν οι κινητήρες αυτοί και η απαιτούμενη κάθε φορά επισκευή τους είναι αντίστοιχες με τις βλάβες των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων ως προς το στάτη (βλ. παράγραφο 8.19) και με τις βλάβες των κινητήρων συνεχούς ρεύματος ως προς το δρομέα, το συλλέκτη και τις ψηκτρες (βλ. παράγραφο 4.8).

10.10 Ανακεφαλαίωση.

α) Η ανάγκη να υπάρχουν κινητήρες για το εναλλασσόμενο ρεύμα, που να έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας σε σημαντικά όρια, οδήγησε στην κατασκευή των κινητήρων με συλλέκτη. Οι κινητήρες αυτοί έχουν μεγάλη ροπή στην εκκίνηση, καλό συνφ και επίσης καλό βαθμό αποδόσεως.

β) Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με συλλέκτη υπάρχουν μονοφασικοί και τριφασικοί. Οι μονοφασικοί περιλαμβάνουν α) Τους κινητήρες σειράς. β) Τους κινητήρες Γιουνιβέρσαλ και γ) τους κινητήρες αντιδράσεως. Οι τριφασικοί περιλαμβάνουν α) Τους κινητήρες σειράς χαμηλής και υψηλής τάσεως, β) Τους κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη. γ) Τους κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα ή κινητήρες Schrage.

γ) Στους μονοφασικούς κινητήρες σειράς, τροφοδοτούνται από το δίκτυο τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα, που είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα σε σειρά. Οι

κινητήρες αυτοί έχουν χαρακτηριστικά λειτουργίας όμοια με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς. Άρα είναι κατάλληλοι για εφαρμογές στην ηλεκτρική έλξη. Η ρύθμιση της ταχύτητας γίνεται με ρυθμιστή στροφών, ο οποίος συνήθως είναι αυτομετασχηματιστής με λήψεις.

δ) Οι κινητήρες Γιουνιβέρσαλ είναι μικροί μονοφασικοί κινητήρες σειράς με προεξέχοντες μαγνητικούς πόλους στο στάτη. Λειτουργούν εξ ίσου καλά στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο ρεύμα σε ταχύτητες πάνω από 3000 στρ./min. Χρησιμοποιούνται σε μικρές ηλεκτροκίνητες συσκευές με ισχείς κάτω από 1HP.

ε) Στους κινητήρες αντιδράσεως τροφοδοτείται από το δίκτυο μόνο το τύλιγμα του στάτη. Οι ψήκτρες που εφάπτονται στο συλλέκτη του δρομέα είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους. Σε ένα είδος κινητήρων αντιδράσεως οι ψήκτρες στηρίζονται επάνω σε μηχανισμό ο οποίος επιτρέπει τη μετάθεσή τους. Με τη μετάθεση των ψηκτρών γίνεται η ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα και η αλλαγή φοράς περιστροφής. Για ορισμένη θέση των ψηκτρών ο κινητήρας έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας κινητήρα σειράς.

στ) Ένας άλλος τύπος κινητήρων αντιδράσεως έχει μηχανισμό ανυψώσεως των ψηκτρών μετά την εκκίνηση, ενώ ταυτόχρονα γίνεται βραχυκύκλωση των τομεων του συλλέκτη.

ζ) Ο επαγωγικός κινητήρας αντιδράσεως φέρει και τύλιγμα κλωβού στο δρομέα. Παράλλαξη του κινητήρα αυτού είναι ο επαγωγικός κινητήρας αντιδράσεως με τύλιγμα αντισταθμίσεως στο στάτη.

η) Στους τριφασικούς κινητήρες σειράς έχουμε σύνδεση σε σειρά των τριών φάσεων του στάτη με το τύλιγμα του δρομέα μέσω τριών ψηκτρών και του συλλέκτη. Για τη ρύθμιση της ταχύτητας υπάρχει μηχανισμός μεταθέσεως των ψηκτρών. Με ορισμένη θέση των ψηκτρών ο κινητήρας έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς.

θ) Οι τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη, έχουν τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα παράλληλα συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως. Ένας μετασχηματιστής ή αυτομετασχηματιστής υποβιβασμού της τάσεως με λήψεις παρεμβάλλεται στη σύνδεση του τυλίγματος του δρομέα. Η μεταβολή της ταχύτητας γίνεται με μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του δρομέα. Για ορισμένη τάση του δρομέα, ο κινητήρας έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας κινητήρα διακλαδώσεως.

ι) Οι τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα, έχουν στο δρομέα δυο τυλίγματα: ένα τριφασικό και ένα συνεχούς ρεύματος (ρυθμιστικό). Το τριφασικό συνδέεται με το δίκτυο τροφοδοτήσεως μέσω τριών διακτυλιδιών και ψηκτρών. Το ρυθμιστικό συνδέεται με συλλέκτη. Το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται από το δρομέα μέσω δυο συστημάτων ψηκτρών που εφάπτονται στο συλλέκτη. Η μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα γίνεται σε μεγάλα όρια με μετάθεση των ψηκτρών που τροφοδοτούν το ρυθμιστικό τύλιγμα. Ο κινητήρας για ορισμένη θέση των ψηκτρών, έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας κινητήρα διακλαδώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ — ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ

11.1 Γενικά.

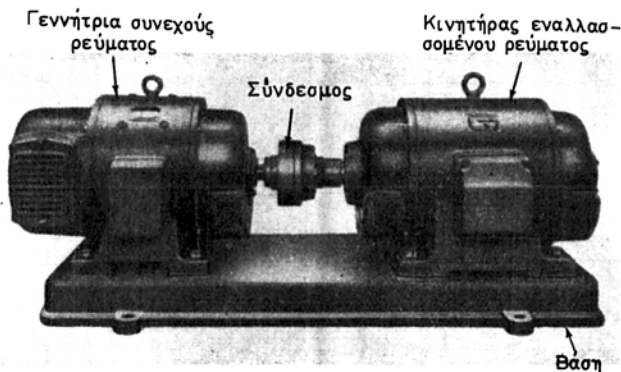
Η πρόοδος στην τεχνολογία που συνδέεται με την ηλεκτρική ενέργεια, όπως αναφέραμε, οδήγησε στην αποκλειστική χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, στις οποίες για ορισμένες χρήσεις είναι απαραίτητο να έχουμε ηλεκτρική ενέργεια με μορφή συνεχούς ρεύματος. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να μετατρέπομε το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές.

Παλιότερα η μετατροπή αυτή γινόταν με τη βοήθεια **ζευγών κινητήρα - γεννήτριας, στρεφόμενων μετατροπέων ή μετατροπέων με μηχανικές επαφές**. Η επινόηση όμως των **ανορθωτών υδραργύρου** και στη συνέχεια **των ξηρών ανορθωτών**, με τη χρησιμοποίηση **των ημιαγωγών από υποξείδιο του χαλκού** ή από **σελήνιο** και των ακόμη νεώτερων από **γερμάνιο** ή **πυρίτιο**, οδήγησε σιγά-σιγά στην εγκατάλειψη, εκτός από πολύ λίγες περιπτώσεις, των ζευγών και των μετατροπέων.

Στα επόμενα θα δώσουμε πολύ σύντομα, την περιγραφή των ζευγών κινητήρα-γεννήτριας και των στρεφόμενων μετατροπέων. Στη συνέχεια θα μας απασχολήσουν οι **ανορθωτές** με ημιαγωγούς, με λυχνίες υδραργύρου και με λυχνίες θερμής καθόδου.

11.2 Ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας.

Το ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας αποτελείται από ένα κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος είναι μηχανικά συνδεδεμένος με μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (σχ. 11.2), την οποία και κινεί. Δηλαδή εδώ η ηλεκτρική ενέργεια του εναλλασ-



Σχ. 11.2.

Ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας.

σομένου ρεύματος μετατρέπεται από τον κινητήρα σε μηχανική, για να μετατραπεί στη συνέχεια από τη γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος.

Αν η ισχύς του συνεχούς ρεύματος που χρειαζόμαστε είναι μικρή, ο κινητήρας είναι συνήθως μια ασύγχρονη μηχανή, η οποία, αν υπάρχουν απότομες μεταβολές του φορτίου συνεχούς ρεύματος, εφοδιάζεται και με σφόνδυλο. Αν η ισχύς είναι μεγάλη, χρησιμοποιούμε συνήθως σύγχρονο κινητήρα, ο οποίος έχει μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως και επιτρέπει τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος όλης της εγκατάστασης, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 7.8.

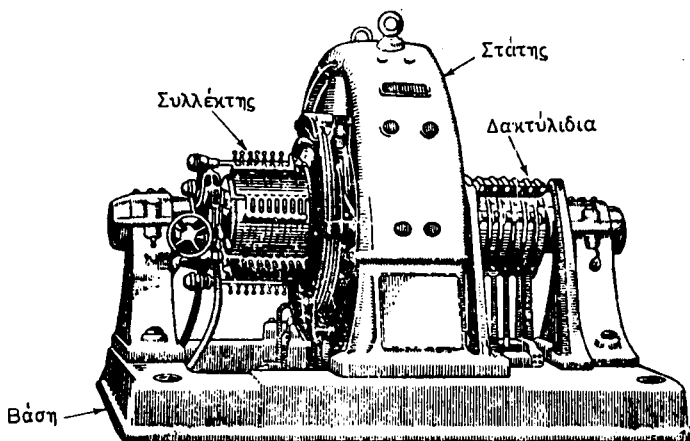
Το κύριο μειονέκτημα του ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας είναι ο χαμηλός ολικός βαθμός αποδόσεώς του, ο οποίος είναι γινόμενο του βαθμού αποδόσεως η_k του κινητήρα επί το βαθμό αποδόσεως η_r της γεννήτριας. Π.χ. αν $\eta_k = \eta_r = 0,90$ είναι:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_r = 0,90 \times 0,90 = 0,81 \quad \text{ή} \quad 81\%$$

11.3 Στρεφόμενος μετατροπέας.

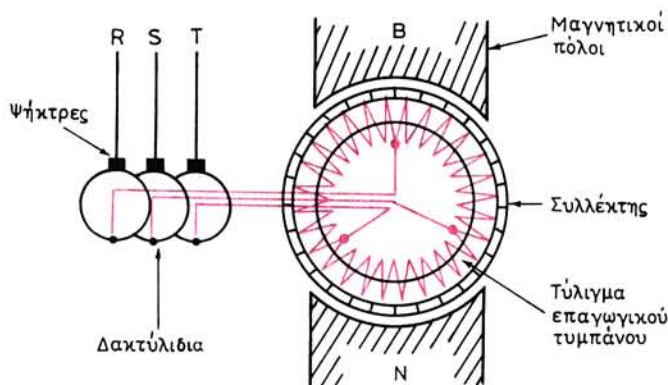
Ο στρεφόμενος μετατροπέας, ο οποίος ονομάζεται και **μεταλλάκτης** (commutator), είναι ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα απευθείας σε συνεχές, δηλαδή χωρίς τη μεσολάβηση της μηχανικής ενέργειας, αλλά και το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Για το λόγο αυτό έχει καλύτερο βαθμό αποδόσεως 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 στον άξονα δακτυλίδια για τη σύνδεση με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 11.3α). Ο αριθμός των δακτυλιδιών εξαρτάται από τον αριθμό των φάσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο πρόκειται να μετατραπεί σε συνεχές. Για μονοφασικό ρεύμα χρειάζονται δυο δακτυλίδια, για τριφασικό τρία και για εξαφασικό έξι. Το σχήμα 11.3β δείχνει διαγραμματικά τη



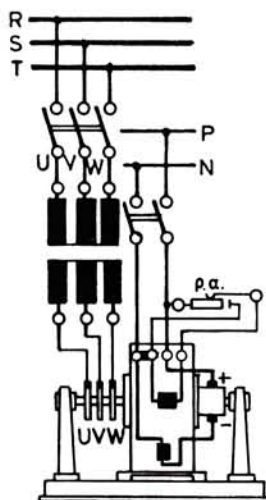
Σχ. 11.3α.

Στρεφόμενος μετατροπέας.



Σχ. 11.3β.

Τύλιγμα τριφασικού στρεφόμενου μετατροπέα.



Σχ. 11.3γ.

Συνδεσμολογία τριφασικού στρεφόμενου μετατροπέα.

σύνδεση των δακτυλιδιών 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 το εναλλασσόμενο ρεύμα από τα δακτυλίδια και δίνει το συνεχές ρεύμα από το συλλέκτη. Ο μετατροπέας λειτουργεί τότε σαν σύγχρονος κινητήρας για την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος και σαν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, για την πλευρά του συνεχούς ρεύματος. Στο σχήμα 11.3γ φαίνεται η συνδεσμολογία ενός τριφασικού στρεφόμενου μετατροπέα. Η εκκίνηση του

στρεφόμενου μετατροπέα στις περιπτώσεις αυτές γίνεται με ένα από τους γνωστούς τρόπους εκκινήσεως των σύγχρονων κινητήρων (παράγρ. 7.6).

Οι στρεφόμενοι μετατροπείς χρησιμοποιούνται επίσης για τη μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Στην περίπτωση αυτή ο μετατροπέας λειτουργεί σαν κινητήρας με παράλληλη διέγερση για την πλευρά του συνεχούς ρεύματος και σαν εναλλακτήρας για την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπώς πρέπει να γίνει συγχρονισμός πριν από τη σύνδεση στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, αν πρόκειται να εργασθεί παράλληλα με άλλες μηχανές.

Σε ένα στρεφόμενο μετατροπέα, μεταξύ των τάσεων συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος υπάρχει μία καθορισμένη σχέση, που πολύ λίγο επηρεάζεται από τη μεταβολή του φορτίου. Η ενδεικνυμένη τιμή της (πολικής) τάσεως του εναλλασσόμενου ρεύματος U_{ϵ} προκύπτει από την τάση U_{ϕ} του συνεχούς ρεύματος με τη βοήθεια των ακόλουθων σχέσεων:

Για μονοφασικό μετατροπέα:

$$U_{\epsilon} = 0,707 \cdot U_{\phi}$$

Για τριφασικό μετατροπέα:

$$U_{\epsilon} = 0,65 \cdot U_{\phi}$$

Για εξαφασικό μετατροπέα με έξι δακτυλίδια η ενδεικνυμένη τιμή της φασικής τάσεως είναι:

$$U_{\phi\epsilon} = 0,73 \cdot U_{\phi}$$

Π.χ. για να δίνει ένας στρεφόμενος τριφασικός μετατροπέας τάση συνεχούς $U_{\phi} = 230 \text{ V}$, πρέπει να τροφοδοτείται με τάση (πολική) από την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος ίση με $U_{\epsilon} = 0,65 \times 230 = 150 \text{ V}$.

Για την τροφοδότηση του στρεφόμενου μετατροπέα με την κατάλληλη τάση εναλλασσόμενου ρεύματος, παρεμβάλλουμε ένα μετασχηματιστή, όπως δείχνει το σχήμα 11.3γ. Ο μετασχηματιστής αυτός κατασκευάζεται με λήψεις στο δευτερεύον, όταν θέλουμε να έχουμε ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς, γιατί η μεταβολή της εντάσεως διεγέρσεως με τη ρυθμιστική αντίσταση δεν προκαλεί μεταβολή της τάσεως του συνεχούς ρεύματος.

Η μεταβολή της εντάσεως διεγέρσεως προκαλεί, όπως είδαμε και στους σύγχρονους κινητήρες (παράγρ. 7.7), μεταβολή στο συντελεστή ισχύος, με τον οποίο ο μετατροπέας φορτίζει το δίκτυο του εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπώς με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να πετύχουμε, ώστε ο στρεφόμενος μετατροπέας να λειτουργεί με $\cos \phi = 1$.

Άλλοι τρόποι για τη ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς, όταν ο μετασχηματιστής δεν έχει λήψεις στο δευτερεύον, είναι να παρεμβάλλουμε **στραγγαλιστικά πηνία** μεταξύ του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή και των δακτυλιδιών (δίνει ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς ρεύματος μέχρι 5%) ή να παρεμβάλλουμε ένα **επαγωγικό ρυθμιστή τάσεως** (παράγρ. 11.10).

Όπως αναφέραμε, οι στρεφόμενοι μετατροπείς πολύ λίγο χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μετατροπή εναλλασσόμενου σε συνεχές ρεύμα. Σημειώνουμε όμως, ότι στρεφόμενοι μετατροπείς μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις για τη μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο σε συστήματα

συνεχούς ρεύματος, στα οποία υπάρχει ανάγκη τροφοδοτήσεως συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος (π.χ. σε αεροπλάνα, σε οχήματα που κινούνται με συνεχές ρεύμα κλπ.).

11.4 Ανορθωτικά στοιχεία - Ηλεκτρική βαλβίδα.

Για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές χρησιμοποιούμε σήμερα σχεδόν αποκλειστικά τους ανορθωτές, που είναι και αυτοί ηλεκτρικές μηχανές χωρίς όμως περιστρεφόμενα μέρη. Στους ανορθωτές βασικό μέρος αποτελούν τα ονομαζόμενα **ανορθωτικά στοιχεία**, τα οποία έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα **να μη παρουσιάζουν την ίδια αντίσταση στη διέλευση του ρεύματος κατά την μια φορά και κατά την αντίθετη**. Δηλαδή παρουσιάζουν ιδιότητες **ηλεκτρικής βαλβίδας**, όπως λέμε.

Το σχήμα 11.4 δίνει τη συμβολική παράσταση ηλεκτρικής βαλβίδας. Κατά τη φορά από την **άνοδο** Α προς την **κάθοδο** Κ, η αντίσταση R_{AK} είναι πολύ μικρή και μπορεί να ληφθεί ίση με το μηδέν. Άρα ρεύμα (i) μπορεί να περάσει κατά τη φορά αυτή, που λαμβάνεται και σαν θετική φορά των εντάσεων και των τάσεων. Κατά την αντίθετη φορά, δηλαδή από την κάθοδο προς την άνοδο, η αντίσταση R_{KA} είναι πολύ μεγάλη και μπορεί να ληφθεί άπειρη. Άρα ρεύμα δεν μπορεί να περάσει από την ηλεκτρική βαλβίδα κατά τη φορά αυτή. Δηλαδή, αν εφαρμοσθεί αρνητική τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων της βαλβίδας, η ένταση θα είναι ίση με μηδέν.

Στην πράξη η αντίσταση R_{KA} ποτέ δεν είναι ίση με μηδέν. Συνεπώς κατά τη διέλευση του ρεύματος από τη βαλβίδα έχουμε κάποια πτώση τάσεως μέσα σ' αυτή



Σχ. 11.4.
Ηλεκτρική βαλβίδα.

η οποία εξαρτάται από το είδος της βαλβίδας. Επίσης η R_{KA} δεν είναι ποτέ άπειρη και σε ορισμένα είδη βαλβίδων υπάρχει πάντοτε στη λειτουργία μία αρνητική ένταση, η οποία βέβαια δεν είναι σημαντική όπως θα δούμε σε άλλη παράγραφο.

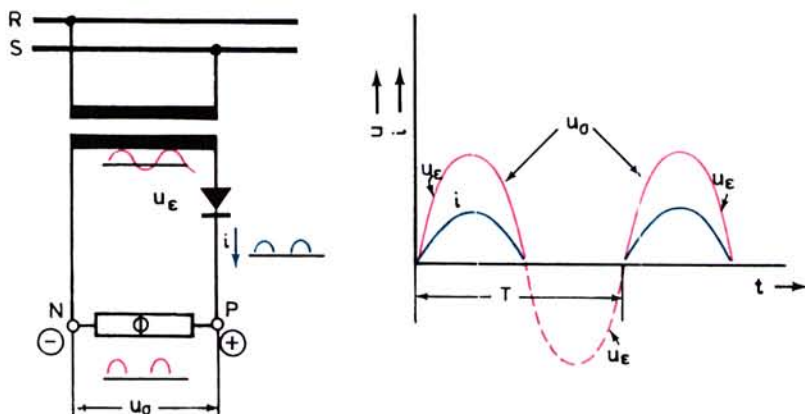
Στα επόμενα θα περιγράψουμε τις ηλεκτρικές βαλβίδες, που χρησιμοποιούνται στους ανορθωτές, αφού πρώτα δώσουμε μία σύντομη περιγραφή των **ανορθωτικών διατάξεων**, δηλαδή των συνδεσμολογιών που χρησιμοποιούνται, ανεξάρτητα από το είδος των ηλεκτρικών βαλβίδων.

11.5 Ανορθωτικές διατάξεις μονοφασικές.

α) Ανόρθωση μισού κύματος.

Η απλούστερη μορφή ανορθωτικού κυκλώματος είναι αυτή που δείχνει το αριστερό μέρος του σχήματος 11.5α. Από το δευτερεύον μονοφασικού μετασχηματιστή τροφοδοτείται με ημιτονοειδή τάση u_e το κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει τον καταναλωτή Φ και σε σειρά μ' αυτόν μία ηλεκτρική βαλβίδα. Το ρεύμα i στις θετικές ημιπεριόδους της τάσεως θα έχει και αυτό ημιτονοειδή μορφή και μάλιστα θα είναι σε φάση με την τάση, αν το φορτίο Φ είναι ωμική αντίσταση. Στη διάρκεια

των αρνητικών ημιπεριόδων της τάσεως δεν θα κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα. Άρα η μορφή που θα έχει το ρεύμα που περνά από το φορτίο είναι αυτή που φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 11.5α. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **ανορθωμένο ρεύμα**.



Σχ. 11.5α.

Μονοφασική ανόρθωση μισού κύματος.

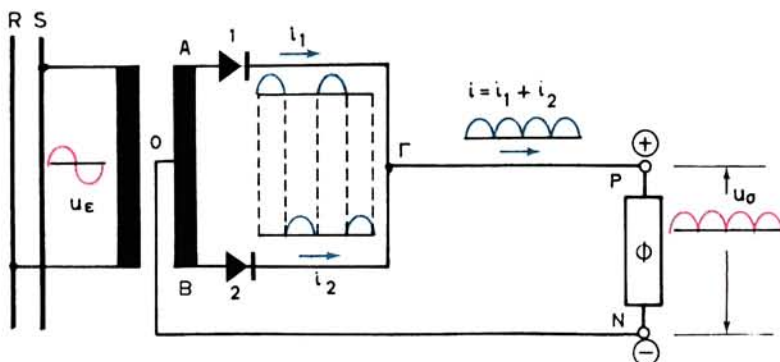
Συνεπώς μόνο από τις θετικές ημιπεριόδους της τάσεως θα αποτελείται και η τάση u_{σ} , που εφαρμόζεται στα άκρα του καταναλωτή Φ , όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος, και που ονομάζεται και αυτή **ανορθωμένη τάση**. Η ηλεκτρική βαλβίδα θεωρείται εδώ για λόγους απλότητας ότι έχει $R_{AK} = 0$ και R_{KA} άπειρη.

Η ανόρθωση που περιγράψαμε ονομάζεται **ανόρθωση μισού κύματος**, γιατί, όπως είδαμε, χρησιμοποιούνται μόνο οι μισές (οι θετικές) ημιπεριόδους του εναλλασσόμενου ρεύματος. Δηλαδή με την ανόρθωση μισού κύματος πετυχαίνουμε, ώστε το ρεύμα, που διέρχεται μέσα από τον καταναλωτή, να έχει πάντοτε την ίδια φορά. Η ανορθωτική αυτή διάταξη χρησιμοποιείται για πολύ μικρές εντάσεις ρεύματος και όταν δεν μας ενδιαφέρει η **κυμάτωση** του ανορθωμένου ρεύματος.

β) Ανόρθωση πλήρους κύματος.

Στο σχήμα 11.5β φαίνεται μια άλλη διάταξη με δυο ηλεκτρικές βαλβίδες, με την οποία πετυχαίνουμε **ανόρθωση πλήρους κύματος**. Εδώ ο μετασχηματιστής έχει στο δευτερεύον του τη μεσαία λήψη O , η οποία αποτελεί τον ένα πόλο τροφοδοτήσεως του καταναλωτή. Ο άλλος πόλος προέρχεται από το σημείο Γ όπου ενώνονται οι δύο κάθοδοι των ηλεκτρικών βαλβίδων.

Με τη διάταξη αυτή πετυχαίνουμε, ώστε στη μία ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή το ρεύμα i_1 να διέρχεται από την ηλεκτρική βαλβίδα 1 μέσω του κυκλώματος $ΟΑΓΡΝΟ$. Στην επόμενη ημιπερίοδο 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 μια καμπύλη, σαν αυτή που φαίνεται στο σχήμα 11.5β. Το ανορθωμένο ρεύμα



Σχ. 11.5β.

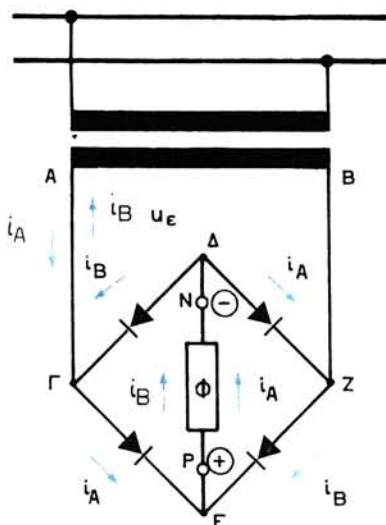
Μονοφασική ανόρθωση πλήρους κύματος.

είναι στην περίπτωση αυτή **κυματορέυμα**. Την ίδια μορφή έχει και η τάση u_O που εφαρμόζεται στον καταναλωτή Φ .

Παρατηρούμε ότι σε κάθε ημιπερίοδο γίνεται χρήση της τάσεως, που παράγει το μισό του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Δηλαδή δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση του μετασχηματιστή και γι' αυτό το λόγο η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται μόνο για μικρές τάσεις.

γ) Διάταξη μονοφασικής γέφυρας.

Άλλη ανορθωτική διάταξη πλήρους ανορθώσεως, η οποία δεν έχει ανάγκη από μεσαία λήψη στο μετασχηματιστή τροφοδοτήσεως και η οποία αξιοποιεί πλήρως το μετασχηματιστή, είναι η ονομαζόμενη **διάταξη γέφυρας** (σχ. 11.5γ). Η διάταξη αυτή έχει τέσσερις ηλεκτρικές βαλβίδες, αντί για δυο που είχε η προηγούμενη διά-



Σχ. 11.5γ.

Ανορθωτική διάταξη μονοφασικής γέφυρας.

ταξη, με συνέπεια να έχουμε αύξηση των απωλειών μέσα στον ανορθωτή. Σε κάθε βαλβίδα εφαρμόζεται το μισό της ολικής τάσεως.

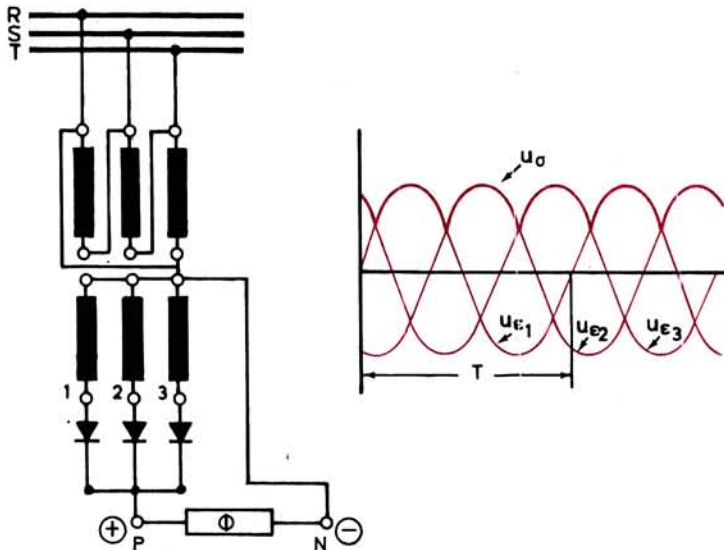
Το ρεύμα στη μια ημιπερίοδο της τάσεως (i_A) ακολουθεί το κύκλωμα ΑΓΕΡΝΔΖΒ και στην άλλη (i_B) το κύκλωμα ΒΖΕΡΝΔΓΑ. Το ρεύμα δηλαδή μέσος από τον καταναλωτή και κατά τις δυο ημιπεριόδους περνά με την ίδια φορά.

Σημειώνουμε εδώ ότι ένας τρόπος για να πετύχομε ρύθμιση της τάσεως του ανορθωμένου ρεύματος σε μια διάταξη ανορθώσεως, είναι να έχει ο μετασχηματιστής τροφοδοτήσεως λήψεις στο δευτερεύον του.

11.6 Ανορθωτικές διατάξεις τριφασικές.

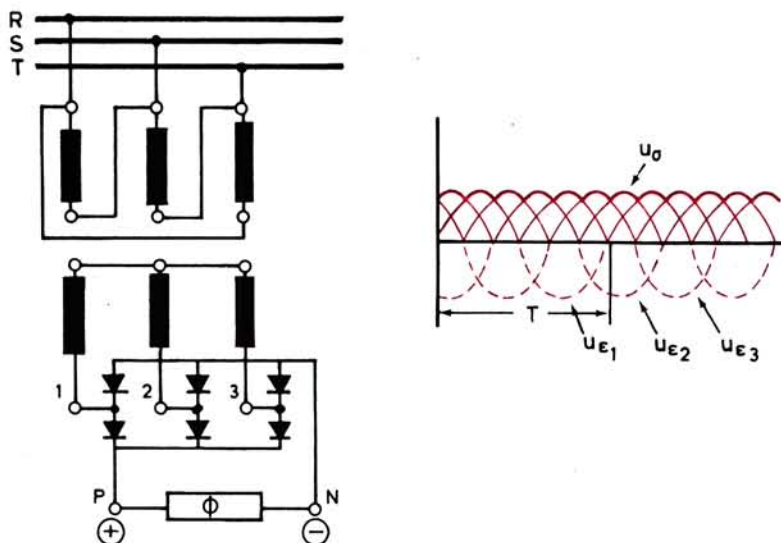
Όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ κάνουμε ανόρθωση τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος με μια διάταξη, όπως αυτή του σχήματος 11.6α. Με τη διάταξη αυτή, σε κάθε στιγμή, ρεύμα διέρχεται μόνο από τη βαλβίδα εκείνη, της οποίας η άνοδος είναι συνδεδεμένη με τη φάση, που έχει τη μεγαλύτερη θετική τάση. Δηλαδή η ανορθωμένη τάση u_σ μεταξύ των άκρων του καταναλωτή θα μεταβάλλεται, όπως δείχνει η καμπύλη στο δεξιό μέρος του σχήματος 11.6α. Παρατηρούμε, ότι η u_σ αποτελείται από τις κορυφές των θετικών ημιπεριόδων των τριων φασικών τάσεων u_{ϵ_1} , u_{ϵ_2} , u_{ϵ_3} του δευτερεζοντος του μετασχηματιστή.

Εκτός από την απλή τριφασική ανόρθωση, υπάρχει και η **διάταξη ανορθώσεως τριφασικής γέφυρας** (σχ. 11.6β). Σ αυτή δεν χρειάζεται ουδέτερος κόμβος του μετασχηματιστή και γι' αυτό το δευτερεύον του μπορεί να είναι συνδεδεσμένο σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Με τη διάταξη της τριφασικής γέφυρας ανορθώνονται και οι δυο ημιπερίοδοι κάθε φάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Δηλαδή είναι αντίστοιχη με την ανόρθωση πλήρους κύματος των μονοφασικών διατάξεων.



Σχ. 11.6α.

Διάταξη απλής τριφασικής ανορθώσεως.



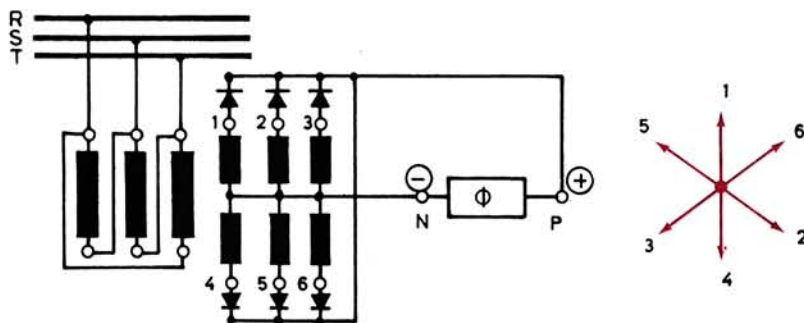
Σχ. 11.6β.

Διάταξη ανορθώσεως τριφασικής γέφυρας.

Έτσι ελαττώνεται σημαντικά η κυμάτωση στην ανορθωμένη τάση, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 11.6β. Το ανορθωμένο ρεύμα είναι τώρα πολύ πιο ομαλό και συνεπώς πλησιάζει στο συνεχές ρεύμα, δηλαδή σε ρεύμα με σταθερή τάση.

Στην περίπτωση της απλής τριφασικής ανορθώσεως, ο αριθμός των κυμάτων σε μια 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.

Μια άλλη διάταξη που δίνει ανορθωμένο ρεύμα της ίδιας ακριβώς μορφής με τη διάταξη τριφασικής γέφυρας είναι η **εξαφασική ανορθωτική διάταξη** (σχ. 11.6γ), η οποία τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Το δευτερεύον του μετασχηματιστή έχει σε κάθε κορμό δυο τυλίγματα. Τα έξι αυτά τυλί-



Σχ. 11.6γ.

Διάταξη εξαφασικής ανορθώσεως.

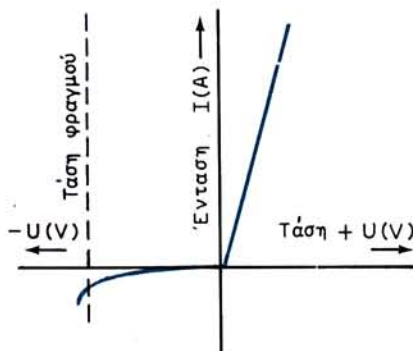
γματο συνδεσμολογούνται μεταξύ τους σε δυο αντίστροφους αστέρες με κοινό κομβό, όπως δείχνει το σχήμα 11.6γ. Έτσι τα διανύσματα των φασικών τάσεων του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση $360 : 6 = 60$ ηλεκτρικές μοίρες, όπως φαίνεται και στο δεξιό μέρος του ίδιου σχήματος.

11.7 Ανορθωτές με ημιαγωγούς.

Στους ανορθωτές αυτούς, οι οποίοι ονομάζονται και **ξηροί ανορθωτές**, χρησιμοποιούνται ανορθωτικά στοιχεία (ηλεκτρικές βαλβίδες) από ημιαγωγούς. Στοιχεία αυτού του είδους είναι τα στοιχεία υποξειδίου του χαλκού, σεληνίου, γερμανίου και πυριτίου. Οι ανορθωτές με στοιχεία υποξειδίου του χαλκού χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο σαν ανορθωτές οργάνων μετρήσεως και δεν θα μας απασχολήσουν στο βιβλίο αυτό. Μέχρι πριν από λίγα χρόνια για τα ισχυρά ρεύματα χρησιμοποιούσαμε κυρίως ανορθωτές σεληνίου. Τώρα όμως, χάρη στις εξαιρετικές τους ιδιότητες, οι ανορθωτές γερμανίου και πυριτίου κερδίζουν συνεχώς έδαφος.

Το βασικό μέρος των ανορθωτικών στοιχείων είναι ένας δίσκος από ημιαγωγό υλικό, όπως σεληνίο, πυρίτιο ή γερμάνιο. Μεταξύ αυτού και ενός ηλεκτροδίου από μεταλλικό έλασμα παρεμβάλλεται μια λεπτή διαχωριστική στρώση, στην οποία στηρίζεται και η λειτουργία του στοιχείου σαν ηλεκτρικής βαλβίδας. Δηλαδή η στρώση αυτή αφήνει το ρεύμα να περνά προς τη μια μόνο φορά, ενώ το φράζει προς την αντίθετη και γι' αυτό ονομάζεται **στρώση φραγμού**.

Το σχήμα 11.7α δείχνει τη χαρακτηριστική καμπύλη μεταβολής του ρεύματος, όταν μεταβάλλεται η τάση που εφαρμόζεται σε ένα ανορθωτικό στοιχείο από ημιαγωγό. Όπως παρατηρούμε, και όταν η τάση είναι αρνητική, υπάρχει ένα μικρό αρνητικό ρεύμα, το οποίο είναι χωρίς σημασία, εφόσον η αρνητική τάση δεν υπερβαίνει ένα όριο. **Στο όριο αυτό, το οποίο ονομάζουμε τάση φραγμού, γίνεται διάσπαση της στρώσεως φραγμού και το στοιχείο σταματά να συμπεριφέρεται σαν ηλεκτρική βαλβίδα.** Δηλαδή ρεύμα περνά πια και κατά την αρνητική φορά. Συνηθίζεται επίσης σαν τάση φραγμού να ονομάζεται και η ενδεικνυμένη τιμή της τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος, που προκαλεί με τις αρνητικές ημιπεριόδους της τη διάσπαση της ηλεκτρικής βαλβίδας. Είναι αυτονόητο ότι **η επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας μιας βαλβίδας είναι μικρότερη από την τάση φραγμού**.

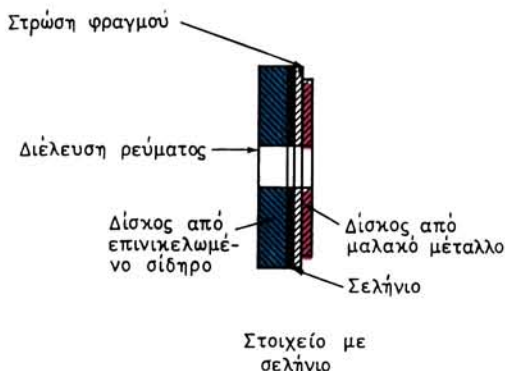


Σχ. 11.7α.

Χαρακτηριστική καμπύλη ανορθωτικών στοιχείων από ημιαγωγούς.

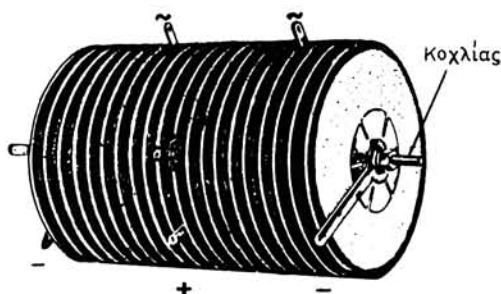
α) Ανορθωτές σεληνίου.

Στο σχήμα 11.7β φαίνεται πώς είναι συγκροτημένο ένα στοιχείο σεληνίου (selenium). Το ρεύμα περνά από το ηλεκτρόδιο επινικελωμένου σιδήρου προς το δίσκο μαλακού μετάλλου. Τα ανορθωτικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την τάση και ένταση του ρεύματος την οποία θέλουμε να μας δώσει ο ανορθωτής και με την ανορθωτική διάταξη που έχουμε διαλέξει (παράγρ. 11.5 και 11.6). Για να γίνουν οι συνδέσεις αυτές, όπως δείχνει το σχήμα 11.7γ, σχηματίζουμε στήλες από ανορθωτικά στοιχεία, τα οποία στερεώνουμε με μια βίδα που περνά από τις τρύπες που υπάρχουν στο κέντρο των στοιχείων.



Σχ. 11.7β.

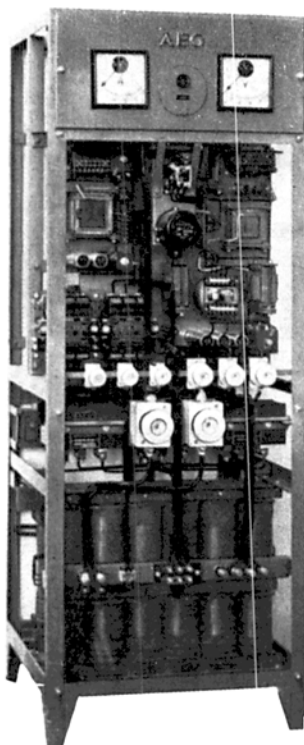
Ανορθωτικό στοιχείο σεληνίου.



Σχ. 11.7γ.

Ανορθωτής σεληνίου με δίσκους ψύξεως και λήψεις για διάταξη γέφυρας.

Όταν ο ανορθωτής είναι για μεγάλες εντάσεις, μεταξύ των στοιχείων παρεμβάλλονται μεγάλοι μεταλλικοί δίσκοι, οι οποίοι χρησιμεύουν για την ψύξη (σχ. 11.7γ). Η επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας (ενδεικνύμενη τιμή) στα στοιχεία σεληνίου είναι 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 ανορθωτή δεν πρέπει να περνά τους 80° C. Ο βαθμός αποδόσεως των ανορθω-



Σχ. 11.76.

Ανορθωτική μονάδα σεληνίου 96V, 120A για φόρτιση συσσωρευτών.

τών σεληνίου είναι 85 ως 90%. Οι ανορθωτές σεληνίου χρησιμοποιούνται είτε για μικρές εντάσεις και μεγάλες τάσεις (μέχρι 100 kV) είτε για χαμηλές τάσεις (μέχρι 250 V) και μεγάλες εντάσεις (σχ. 11.7δ).

β) Ανορθωτές γερμανίου και πυριτίου.

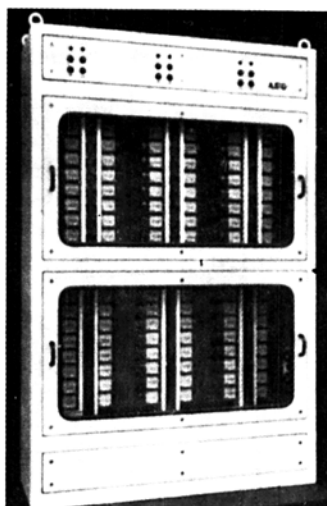
Τα ανορθωτικά στοιχεία γερμανίου και πυριτίου αποτελούνται από ένα λεπτό δίσκο από γερμάνιο (germanium) ή πυρίτιο (silicon) επάνω στον οποίο έχει τοποθετηθεί με τήξη ένα άλλο κατάλληλο υλικό (ίνδιο για το γερμάνιο, αλουμίνιο για το πυρίτιο). Στην ένωση των δύο υλικών σχηματίζεται από τη σύντηξή τους στρώση που αποτελείται και από τα δυο υλικά. Η στρώση αυτή, που είναι εδώ η στρώση φραγμού, έχει ιδιότητες ηλεκτρικής βαλβίδας. Η αντιστάσή της κατά τη μια διεύθυνση είναι 5000 φορές μεγαλύτερη από την αντίθετη. Έτσι σ' αυτά τα ανορθωτικά στοιχεία το αρνητικό ρεύμα είναι πολύ μικρότερο από ό,τι είναι στα στοιχεία σεληνίου.

Η επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας (ενδεικνύμενη τιμή) στα ανορθωτικά στοιχεία γερμανίου είναι 160 V, ενώ στα στοιχεία πυριτίου 380 V περίπου για κάθε στοιχείο. Η επιτρεπόμενη ένταση φορτίσεως στο γερμάνιο και πυρίτιο φθάνει σε 50 ως 150 A/cm², δηλαδή είναι μεγαλύτερη κατά 1000 φορές περίπου από τα στοιχεία σεληνίου. Στους ανορθωτές γερμανίου και πυριτίου για τάσεις πάνω από 100 V ο βαθμός αποδόσεως περνά το 95%.

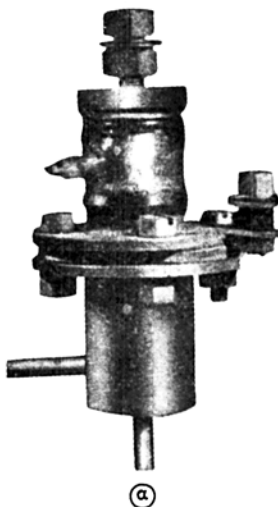
Αυτά τα ανορθωτικά στοιχεία (σχ. 11.7ε) μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε και

**Σχ. 11.7ε.**

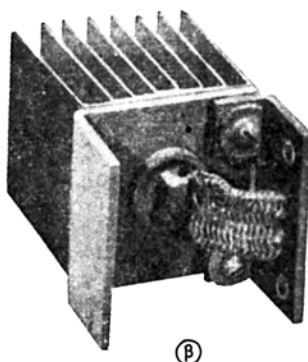
Ανορθωτικό στοιχείο πυριτίου 100Α.

**Σχ. 11.7στ.**

Ανορθωτική μονάδα πυριτίου (ψύξη με νερό).



α



β

Σχ. 11.7ζ.

Ανορθωτικά στοιχεία γερμανίου 150Α. α) Ψύξη με νερό. β) Ψύξη με αέρα.

για μεγάλες ισχύεις. Ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι η μεγάλη ευαισθησία τους στη θερμότητα. Η οριακή θερμοκρασία στα στοιχεία γερμανίου είναι μόνο 65°C ενώ στους ανορθωτές πυριτίου είναι 140°C . Επίσης, λόγω των μικρών διαστάσεων των στοιχείων η θερμοχωρητικότητά τους είναι μικρή, με συνέπεια σε μια υπερφόρτιση η θερμοκρασία τους να ανεβαίνει γρήγορα. Για τους λόγους αυτούς, τα στοιχεία είναι εφοδιασμένα με ψυκτικά σώματα για να ψύχονται με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα ή ψύχονται με κυκλοφορία νερού (σχ. 11.7ζ). Επίσης, οι αντίστοιχοι ανορθωτές είναι εφοδιασμένοι με αυτόματες διατάξεις για τη γρήγορη διακοπή της τροφοδοτήσεως σε περίπτωση ανυψώσεως της θερμοκρασίας.

Οι ανορθωτές με ανορθωτικά στοιχεία γερμανίου και πυριτίου χρησιμοποιούνται για εντάσεις από 1Α και κάτω μέχρι αρκετές χιλιάδες αμπέρ (σχ. 11.7στ).

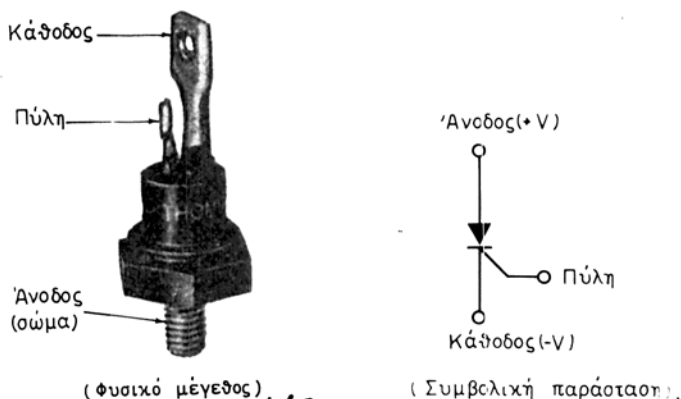
γ) Ανορθωτές με θυρίστορ (thyristor).

Σήμερα χρησιμοποιούνται σε σημαντική έκταση και οι ανορθωτές με **θυρίστορ**. Δηλαδή με **ελεγχόμενα ανορθωτικά στοιχεία πυριτίου**, που έχουν τη δυνατότητα να δίνουν ρυθμιζόμενη τάση του συνεχούς ρεύματος και να επιτρέπουν την εφαρμογή αυτοματισμών. Οι ανορθωτές αυτοί είναι αξιόπιστοι στη λειτουργία τους και έχουν υψηλό βαθμό αποδόσεως σε όλο το εύρος μεταβολής του φορτίου. Για όλους αυτούς τους λόγους έχουν σήμερα σε μεγάλο βαθμό υποκαταστήσει τα ζεύγη κινητήρα - γεννήτριας και τους ανορθωτές υδραργύρου στις μικρές και μέτριες ισχείς.

Το θυρίστορ βασικά είναι ένα ανορθωτικό στοιχείο πυριτίου που έχει όμως περισσότερα στρώματα από ημιαγωγό υλικό, ώστε να σχηματίζονται τρεις στρώσεις φραγμού. Με την κατασκευή αυτή είναι δυνατή η τοποθέτηση στο ανορθωτικό στοιχείο, εκτός από την άνοδο και την κάθοδο και ενός τρίτου ηλεκτροδίου, που το ονομάζουμε **πύλη** (σχ. 11.7η).

Οι τρεις στρώσεις φραγμού που έχει το θυρίστορ δεν επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει ούτε κατά τη μια φορά ούτε κατά την άλλη. Αν όμως η πύλη τροφοδοτηθεί με μια θετική προς την κάθοδο τάση (πόλωση), ο φραγμός αυτός σταματά. Τότε μπορεί να περάσει ρεύμα από την άνοδο προς την κάθοδο.

Με την παρουσία δηλαδή κατάλληλης πολώσεως στην πύλη, το θυρίστορ συμπεριφέρεται σαν κοινή δίοδος. Όταν όμως αρχίσει να περνάει ρεύμα από την άνοδο προς την κάθοδο (κατάσταση αγωγιμότητας), η πύλη χάνει τον έλεγχο και το θυρίστορ παραμένει σε αγωγιμότητα ακόμα και αν η τάση στην πύλη καταργηθεί. Έτσι, ένας βραχύχρονος και μόνο παλμός πύλης απαιτείται για την έναυση ενός ορθά πολωμένου θυρίστορ. Ο μόνος τρόπος για να διακόψει ένα θυρίστορ που είναι σε αγωγιμότητα, είναι ο μηδενισμός του ρεύματος που το διαρρέει. Στα κυ-



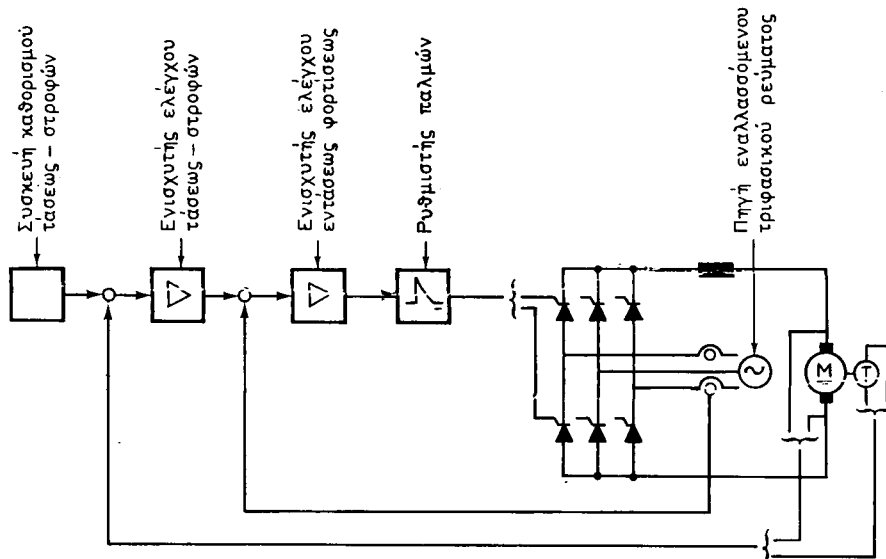
Σχ. 11.7η.
Θυρίστορ (15Α, 400V).

κλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος αυτό συμβαίνει αυτόματα, με την αναστροφή της τάσεως κάθε δεύτερη ημιπερίοδο.

Στην τάση της πύλης μπορούμε να δώσουμε τη μορφή παλμών που να έχουν την ίδια συχνότητα με το εναλλασσόμενο ρεύμα που ανορθώνουμε. Η φασική απόκλιση μεταξύ των παλμών αυτών και του εναλλασσόμενου ρεύματος καθορίζει τη στιγμή μέσα σε κάθε ημιπερίοδο που θα αρχίζει να περνά ρεύμα από το ανορθωτικό στοιχείο. Όταν μεταβάλλουμε αυτή τη φασική απόκλιση μεταβάλλεται η τάση του συνεχούς ρεύματος. Η ίδια μέθοδος για τη ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς εφαρμόζεται και στις λυχνίες υδραργύρου με σχάρες και θα την εξηγήσουμε αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο (11.10). Η πτώση τάσεως μέσα στο ανορθωτικό στοιχείο φθάνει τα 1,5 ως 1,9 V για το κύριο ρεύμα. Δηλαδή είναι πολύ μικρή.

Τα τελευταία χρόνια η εξάπλωση της χρήσεως των θυρίστορ είναι θεαματική. Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 4.6, μια από τις εφαρμογές τους είναι στην τροφοδότηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος και τον αυτόματο έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής. Στο σχήμα 11.7ε δείχνει μια τέτοια διάταξη. Σ' αυτήν η ανόρθωση του εναλλασσόμενου τριφασικού ρεύματος γίνεται με μια τριφασική γέφυρα από θυρίστορ που τροφοδοτεί το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος M.

Για τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα χρησιμοποιείται ένα όργανο μετρήσεως της ταχύτητας T, που είναι μια πολύ μικρή γεννήτρια της οποίας η τάση είναι ακριβώς ανάλογη της ταχύτητας. Οι ενδείξεις του οργάνου αυτού, μαζί με τις ενδείξεις για την τάση του επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα και την ένταση φορτίσεως, μεταβιβάζονται, όπως δείχνει το σχήμα 11.7θ, σε ενισχυτές ελέγχου, οι οποίοι επηρεάζουν το ρυθμιστή παλμών. Αυτός με τη σειρά του ρυθμίζει τη φασική απόκλιση των παλμών που τροφοδοτούν με τάση τις πύλες των θυρίστορ. Απο-



Σχ. 11.7θ.

Αυτόματος έλεγχος της ταχύτητας κινητήρα.

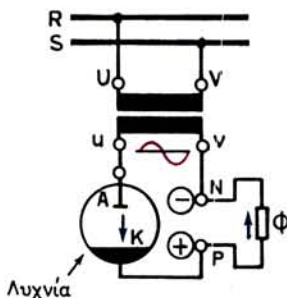
τέλεσμα αυτής της ρυθμίσεως είναι να αυξάνεται ή να ελαττώνεται η τάση συνεχούς ρεύματος που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα Μ. Έτσι διορθώνεται αυτόματα οποιαδήποτε μεταβολή στις στροφές του κινητήρα, η οποία θα προέκυπτε από μεταβολή του φορτίου, της τάσεως του δικτύου ή της εντάσεως διεγέρσεως και ο κινητήρας έχει απόλυτα σταθερή ταχύτητα. Επίσης η διάταξη επιτρέπει να καθορίσουμε και μάλιστα σε πολύ μεγάλα όρια, τον αριθμό στροφών στο λεπτό με τον οποίο θέλουμε να εργάζεται ο κινητήρας.

11.8 Ανορθωτές υδραργύρου. Μονοφασικοί και τριφασικοί.

α) Μονοφασικοί ανορθωτές.

Στους ανορθωτές αυτούς τη λειτουργία της ηλεκτρικής βαλβίδας εκτελεί μια **Λυχνία**. Η λυχνία αποτελείται από ένα κατάλληλα διαμορφωμένο δοχείο από γυαλί ή χάλυβα από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας, ώστε να υπάρχει μέσα σ' αυτή πολύ μικρή πίεση, ίση περίπου με ένα εκατομμυριοστό τη ατμόσφαιρας. Η άνοδος Α (σχ. 11.8α) είναι ένα ηλεκτρόδιο από μέταλλο ή γραφίτη. Η κάθοδος Κ αποτελείται από υδράργυρο, ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος της λυχνίας, η οποία για το λόγο αυτό ονομάζεται και **Λυχνία υδραργύρου**. Η σύνδεση των δύο ηλεκτροδίων Α και Κ με το εξωτερικό κύκλωμα γίνεται με τρόπο αεροστεγή, ώστε να μην ελαττώνεται το κενό μέσα στη λυχνία.

Όταν η κάθοδος είναι ψυχρή δεν περνά ρεύμα από τη λυχνία. Αν όμως με κάποιο μέσο πυρακτώσουμε ένα σημείο της επιφάνειας του υδραργύρου, δηλαδή της καθόδου, τότε αυτή αρχίζει να εκπέμπει ηλεκτρόνια, τα οποία πηγαίνουν προς την άνοδο, όταν το δυναμικό της ως προς την κάθοδο είναι θετικό. Όπως αναφέρουμε παρακάτω, μέσα στη λυχνία δημιουργούνται και ατμοί 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 Ηλεκτροτεχνία, η μεταφορά αυτή ηλεκτρονίων και ιόντων σημαίνει διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο συμβατικά έχει φορά αντίθετη από την κατεύθυνση κινήσεως 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 ημιπεριόδους 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 11.4.



Σχ. 11.8α.

Μονοφασικός ανορθωτής υδραργύρου με ανόρθωση μισού κύματος.

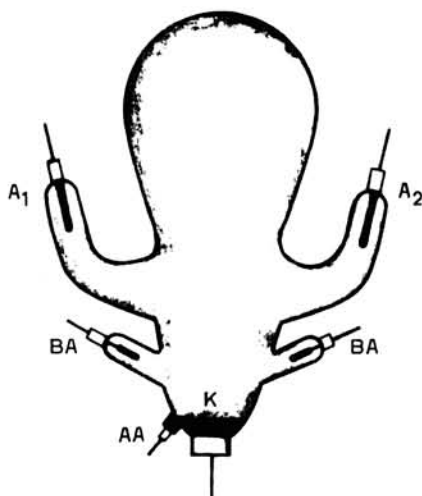
Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω η διάταξη του σχήματος 11.8α είναι αντίστοιχη με τη γνωστή διάταξη μονοφασικής ανορθώσεως μισού κύματος (παράγρ. 11.5). Άρα από το φορτίο Φ περνά ανορθωμένο ρεύμα μορφής, όπως αυτή που δείχνει το σχήμα 11.5α στο δεξιό του μέρος.

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 ψηλής θερμοκρασίας δημιουργούνται ατμοί υδραργύρου μέσα στη λυχνία οι οποίοι, όταν έλθουν σε επαφή με τα τοιχώματά της, ψύχονται και επανέρχονται σαν υδράργυρος στην κάθοδο. Αυτό συνεχώς επαναλαμβάνεται στη διάρκεια της λειτουργίας και συνεπώς δεν υπάρχει κατανάλωση υδραργύρου.

Για να αποφύγουμε τα μειονεκτήματα της ανορθώσεως μισού κύματος, χρησιμοποιούμε και στους μονοφασικούς ανορθωτές υδραργύρου την ανόρθωση πλήρους κύματος, την οποία περιγράψαμε στην παράγραφο 11.5. Η διαφορά σχετικά με τη συνδεσμολογία που δείχνει το σχήμα 11.5β είναι ότι εδώ, αντί να έχουμε δυο βαλβίδες, δηλαδή δυο ξεχωριστές λυχνίες, έχουμε μια λυχνία με δυο ανόδους A_1 και A_2 και με κοινή κάθοδο K , όπως δείχνει το σχήμα 11.8β. Το σχήμα αυτό παριστάνει μια πραγματική λυχνία υδραργύρου από γυαλί με δύο ανόδους. Όπως παρατηρούμε, η λυχνία έχει και δυο **βοηθητικές ανόδους** των οποίων τη χρησιμότητα θα εξηγήσουμε στο επόμενο εδάφιο.

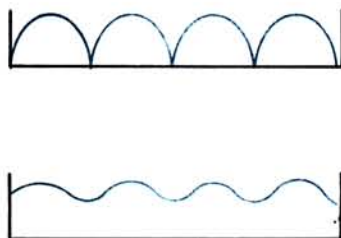
Σημειώνουμε, ότι και στους ανορθωτές υδραργύρου το ρεύμα που περνά από το φορτίο είναι κυματορρέυμα, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 11.5. Η μορφή του φαίνεται στο επάνω μέρος του σχήματος 11.8γ. Για να ελαττώσουμε την κυμάτωση του ρεύματος συνδέουμε στον αγωγό καθόδου σε σειρά προς το φορτίο ένα **στραγγαλιστικό πηνίο**.

Το στραγγαλιστικό πηνίο έχει πυρήνα που αποτελείται από πολλά μαγνητικά ελάσματα, όπως ο πυρήνας των μετασχηματιστών και παρουσιάζει μεγάλη αυτεπα-



Σχ. 11.8β.

Γυάλινη λυχνία υδραργύρου δυο ανόδων.



Σχ.11.8γ.

Επίδραση στραγγαλιστικού πηνίου.

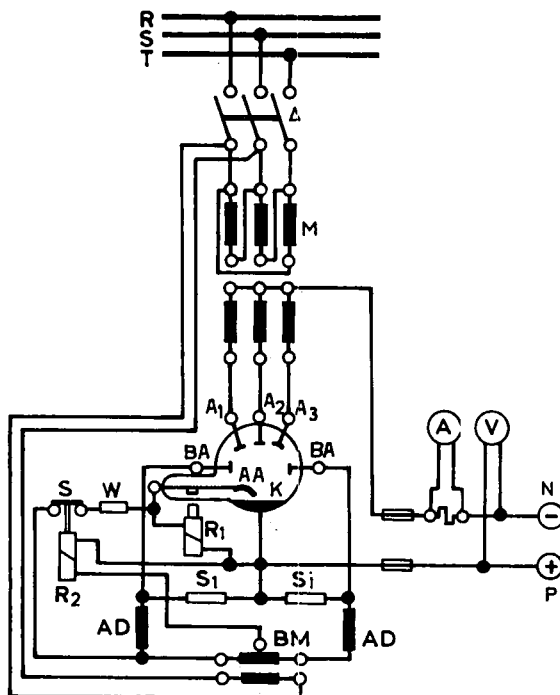
γωγική αντίσταση στη διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Αντίθετα, η αντίσταση που παρουσιάζει στη διέλευση του συνεχούς ρεύματος είναι μικρή.

Το κυματορρέυμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελείται από συνεχές ρεύμα και από σειρά εναλλασσομένων ρευμάτων διαφόρων συχνοτήτων. Με την αντίσταση που παρουσιάζει το στραγγαλιστικό πηνίο στη διέλευση των εναλλασσομένων αυτών ρευμάτων, η κυμάτωση του ρεύματος που διέρχεται από το φορτίο ελαττώνεται, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 11.8γ.

β) Τριφασικοί ανορθωτές υδραργύρου.

Στους τριφασικούς ανορθωτές υδραργύρου χρησιμοποιούμε λυχνία με τρεις ανόδους A_1 , A_2 , A_3 και κοινή κάθοδο, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 11.8δ. Η συνδεσμολογία στα λοιπά στοιχεία της είναι βασικά η ίδια με τη διάταξη της τριφασικής ανορθώσεως του σχήματος 11.6α. Το σχήμα 11.8δ περιλαμβάνει και τα απαραίτητα βοηθητικά κυκλώματα για τη λειτουργία του τριφασικού ανορθωτή υδραργύρου.

Για να βάλομε σε λειτουργία τον ανορθωτή του σχήματος 11.8δ κλείνομε το διακόπτη Δ , οπότε παίρνουν τάση ο κύριος μετασχηματιστής M και ο βοηθητικός μετασχηματιστής BM . Από το δευτερεύον του βοηθητικού μετασχηματιστή τρο-



Σχ. 11.8δ.

Συνδεσμολογία τριφασικού ανορθωτή υδραργύρου.

φοδοτείται μέσω του διακόπτη S και της αντιστάσεως W, το πηνίο R_1 . Το πηνίο αυτό έλκει τον οπλισμό της ανόδου αφής AA, μέχρις ότου η βελόνη, που είναι συνδεδεμένη σ' αυτόν, βυθισθεί στον υδράργυρο της καθόδου K. Τότε όμως το τύλιγμα του πηνίου R_1 βραχυκυκλώνεται μέσω της καθόδου, δεν διαρρέεται από ρεύμα και αφήνει τον οπλισμό, οπότε η βελόνη ανυψώνεται απότομα. Έτσι, λόγω διακοπής του κυκλώματος σχηματίζεται σπινθήρας, ο οποίος προκαλεί το άναμμα των βοηθητικών ανόδων ΒΑ και τη δημιουργία της πυρακτωμένης κηλίδας στην επιφάνεια του υδραργύρου της καθόδου.

Το ανορθωμένο ρεύμα των βοηθητικών ανόδων, που περνά από το κύκλωμα: βοηθητικές ανόδοι – κάθοδος – τύλιγμα πηνίου R_2 – μεσαία λήψη βοηθητικού μετασχηματιστή, προκαλεί την έλξη του οπλισμού του πηνίου R_2 και το άνοιγμα του διακόπτη S. Έτσι σταματά η λειτουργία του κυκλώματος που χρησιμεύει για το άναμμα της λυχνίας. Τα S_i είναι αντιστάσεις που εξαρτώνται από την τάση που χρησιμοποιείται και τα AD στραγγαλιστικά πηνία συνδεδεμένα σε σειρά με τις βοηθητικές ανόδους.

Το ρεύμα, που περνά από τις βοηθητικές ανόδους, συντηρεί την πυρακτωμένη κηλίδα στην κάθοδο, η οποία, όπως εξηγήσαμε, χρησιμεύει για τη λειτουργία των κυρίων ανόδων, όταν συνδεθεί φορτίο στους ακροδέκτες P και N.

Οι ανορθωτές υδραργύρου παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε στιγμιαίες υπερφορτίσεις οι οποίες όμως δεν επιτρέπεται να περάσουν ορισμένα όρια, τόσο στην ένταση του ρεύματος όσο και στη διάρκειά τους. Υπέρβαση των ορίων αυτών προκαλεί υπερθέρμανση της λυχνίας, η οποία χάνει τότε τις ιδιότητες της ηλεκτρικής βαλβίδας. Το ρεύμα δεν πηγαίνει πια τότε μόνο από την άνοδο στην κάθοδο. Είναι δυνατό να έχουμε διέλευση ρεύματος και από μια άνοδο σε άλλη. Στην περίπτωση αυτή οι αντίστοιχες φάσεις του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή βραχυκυκλώνονται.

Η πτώση τάσεως μέσα στην ανορθωτική λυχνία ουσιαστικά είναι ανεξάρτητη από την ένταση ρεύματος που διέρχεται και κυμαίνεται μεταξύ 16 και 26 V. Ο βαθμός αποδόσεως της λυχνίας είναι τόσο καλύτερος, όσο η τάση συνεχούς είναι ψηλότερη. Π.χ. για τάση συνεχούς 115 V και πτώση τάσεως 18 V μέσα στη λυχνία, ο βαθμός αποδόσεως της είναι:

$$\eta = \frac{115}{115 + 18} = 0,86$$

ενώ για τάση συνεχούς 550 V και 20 V πτώση τάσεως, έχουμε βαθμό αποδόσεως:

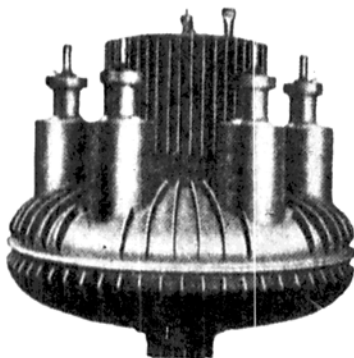
$$\eta = \frac{550}{550 + 20} = 0,96$$

Ο ολικός βαθμός αποδόσεως του ανορθωτή εξαρτάται από τις απώλειες στο μετασχηματιστή, στην ανορθωτική λυχνία και στα βοηθητικά κυκλώματα. Κυμαίνεται από 75% για τάσεις συνεχούς 60 V μέχρις 91% για τάσεις συνεχούς 550 V.

11.9 Ανορθωτές υδραργύρου με μεταλλική λυχνία.

Οι ανορθωτές με γυάλινη λυχνία και με 2 ή 3 ή 6 ανόδους κατασκευάζονται για εντάσεις ρεύματος από 10 ως 500 A και τάσεις μέχρι 1500 V. Για εντάσεις περί-

που μέχρι 10 000 A και τάσεις μέχρι 5000 V οι λυχνίες των ανορθωτών κατασκευάζονται χαλύβδινες και μπορεί να έχουν 12 ή 18 ή και 24 ανόδους. Το σχήμα 11.9 δείχνει την εξωτερική μορφή μιας χαλύβδινης λυχνίας υδραργύρου.



Σχ. 11.9.

Χαλύβδινη λυχνία υδραργύρου αερόψυκτη για 1200A.

Για τις πολύ μεγάλες εντάσεις χρησιμοποιείται νερό για την ψύξη της λυχνίας και αντλία κενού για τη συντήρηση της χαμηλής πίεσης μέσα σ' αυτή. Οι ανορθωτές αυτοί δεν έχουν τόσο καλό βαθμό αποδόσεως όσο οι μικρότεροι σε μέγεθος, στους οποίους η ψύξη της λυχνίας γίνεται με ρεύμα αέρα και δεν χρειάζονται αντλία κενού.

11.10 Ρύθμιση της τάσεως των ανορθωτών υδραργύρου.

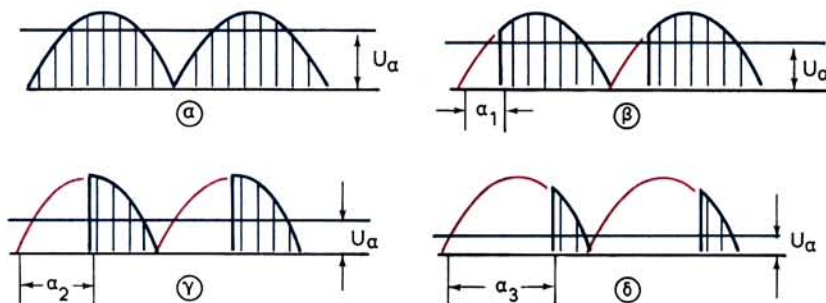
Στους ανορθωτές υδραργύρου η ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς ρεύματος γίνεται ομαλά, δηλαδή χωρίς βαθμίδες και ουσιαστικά χωρίς απώλειες (μέχρι μη-δενισμού της τάσεως). Για να το πετύχουμε αυτό παρεμβάλλουμε **σχάρες ρυθμίσεως** μεταξύ ανόδου και καθόδου. Οι σχάρες αυτές είναι μονωμένα ηλεκτρόδια από μεταλλικό πλέγμα ή από διάτρητο έλασμα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε πρώτα σε ηλεκτρονικές λυχνίες υψηλού κενού, στις οποίες, όταν η σχάρα έχει θετικό δυναμικό σχετικά με την κάθοδο, ασκεί πρόσθετη δύναμη έλξης στα ηλεκτρόνια που φεύγουν από την κάθοδο. Όταν η σχάρα έχει αρνητικό δυναμικό, τότε απωθεί τα ηλεκτρόνια. Στην πρώτη περίπτωση το 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 ανορθωτικές λυχνίες υδραργύρου, μέσα στις οποίες, όπως αναφέραμε, υπάρχουν ατμοί υδραργύρου, το μέγεθος της αρνητικής τάσεως της σχάρας έχει επίδραση στη στιγμή κατά την οποία σε κάθε ημιπερίοδο δημιουργείται το τόξο, με το οποίο γίνεται η μεταφορά του ρεύματος μεταξύ ανόδου και καθόδου. Από τη στιγμή όμως που θα δημιουργηθεί το τόξο, μεταβολή του ρεύματος δεν είναι δυνατή, έστω και αν μεταβληθεί η τιμή της τάσεως της σχάρας. Μεταβάλλοντας όμως τη στιγμή ενάρξεως του τόξου, μεταβάλλουμε και τη μέση τιμή της τάσεως συ-

νεχους ρεύματος του ανορθωτή, δηλαδή ρυθμίζουμε την τάση αυτή.

Τα παραπάνω εξηγούνται καλύτερα με τη βοήθεια των καμπυλών του σχήματος 11.10α στις οποίες τα τμήματα με διαγράμμιση παριστάνουν το μέρος κάθε ημιπεριόδου, κατά το οποίο περνά ρεύμα από τη λυχνία, και την τάση που παράγεται από αυτό. Η ευθεία γραμμή, η 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 ενάρξεως του τόξου σε κάθε ημιπερίοδο μετατοπισμένη κατά α_1 (περίπτωση β), κατά α_2 (περίπτωση γ), κατά α_3 (περίπτωση δ). Αντιστοίχα μειώνεται και η μέση τιμή της τάσεως συνεχούς ρεύματος U_a , όπως δείχνει το σχήμα 11.10α.

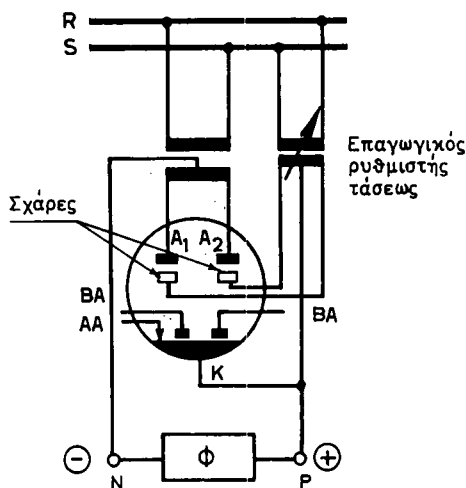


Σχ. 11.10α.

Ρύθμιση της τάσεως συνεχούς U_a με μετάθεση της στιγμής ενάρξεως του τόξου.

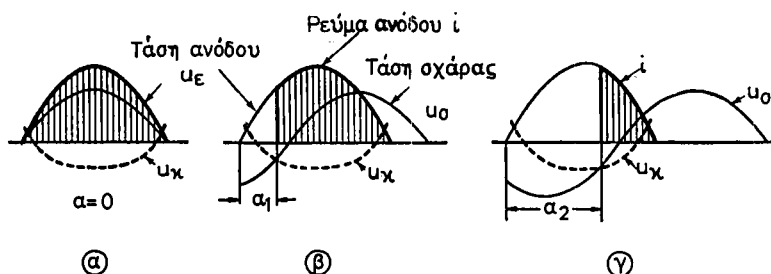
Η ρύθμιση της τάσεως στις σχάρες μπορεί να γίνει είτε με συνεχές ρεύμα, είτε με εναλλασσόμενο της ίδιας συχνότητας με το ανορθούμενο ρεύμα, είτε τέλος και με τα δυο είδη. Στο σχήμα 11.10β παριστάνεται το κύριο μέρος της συνδεσμολογίας ενός μονοφασικού ανορθωτή υδραργύρου με ρύθμιση της τάσεως στις σχάρες με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό πετυχαίνεται με τη βοήθεια ενός **επαγωγικού ρυθμιστή τάσεως**, ο οποίος στην κατασκευή του μοιάζει με ασύγχρονο κινητήρα με τυλιγμά εναλλασσόμενου ρεύματος και στο δρομέα και ο οποίος λειτουργεί όπως ο μετασχηματιστής. Ο δρομέας δεν περιστρέφεται, μπορεί όμως να μετατίθεται κατά τη μια ή την άλλη φορά μέχρι το πολύ ένα πολικό βήμα. Με τη μετάθεση του δρομέα μεταβάλλουμε τη φασική απόκλιση μεταξύ τάσεως πρωτεύοντος (στάτη), δηλαδή της τάσεως των ανόδων και τάσεως δευτερεύοντος (δρομέα), δηλαδή της τάσεως σχαρών.

Σε κάθε στιγμιαία τιμή της τάσεως της ανόδου u_e μέσα σε μια ημιπερίοδο [σχ. 11.10γ(α)] αντιστοιχεί μια ορισμένη τιμή της αρνητικής τάσεως σχάρας, που, όπως ήδη αναφέραμε, γίνεται έναρξη δημιουργίας τόξου. Η τάση αυτή u_k παριστάνεται στο σχήμα με διακοιπόμενη γραμμή. Όταν η τάση σχάρας είναι αρνητικότερη από τις τιμές της u_k , από την άνοδο δεν περνά ρεύμα. Όταν όμως η τάση σχάρας σε κάποια στιγμή γίνει ίση με την u_k , από τη στιγμή εκείνη περνά ρεύμα (ι) από την άνοδο. Μεταβάλλοντας λοιπόν με τη βοήθεια του επαγωγικού ρυθμιστή τάσεως



Σχ. 11.10β.

Ανορθωτής υδραργύρου. Ρύθμιση τάσεως με σχάρες.

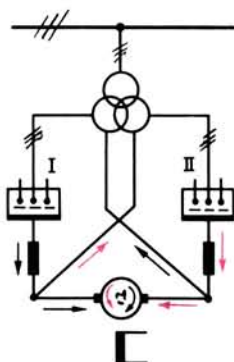


Σχ. 11.10γ.

τη φασική απόκλιση μεταξύ τάσεως ανόδου και τάσεως σχάρας, μεταβάλλομε τη γωνία ρυθμίσεως α του σχήματος 11.10γ. Συνεπώς μεταβάλλομε και το μέγεθος της τάσεως συνεχούς (U_a στο σχήμα 11.10β) του ανορθωτή.

Σαν παράδειγμα εφαρμογής των ανορθωτών υδραργύρου με ρύθμιση της τάσεως, αναφέρουμε τον **αναστρέψιμο ανορθωτή**. Η διάταξη του ανορθωτή αυτού επιτρέπει τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος μέσα από τον καταναλωτή και προς τις δυο κατευθύνσεις. Το σχήμα 11.10δ δείχνει αυτή την ανορθωτική διάταξη που περιλαμβάνει δυο τριφασικούς ανορθωτές υδραργύρου, οι οποίοι τροφοδοτούνται από τα δυο δευτερεύοντα τυλίγματα ενός τριφασικού μετασχηματιστή. Κάθε ανορθωτής είναι συνδεσμολογημένος σε διάταξη απλής τριφασικής γέφυρας (σχ. 11.6α). Καταναλωτής είναι ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος ξένης διεγέρσεως, του οποίου θέλομε να ρυθμίζομε την ταχύτητα με μεταβολή της τάσεως του τυμπάνου.

Όταν λειτουργεί ο ανορθωτής Ι (σχ. 11.10δ), ρεύμα περνά μέσα από τον κινητήρα κατά τη διεύθυνση των μαύρων βελών. Η ρύθμιση της τάσεως γίνεται με



Σχ. 11.106.

Αναστρέψιμος ανορθωτής υδραργύρου.

σχάρες, όπως αναφέραμε στα προηγούμενα. Όταν θέλουμε να αλλάξει φορά περιστροφής ο κινητήρας, η τροφοδότηση γίνεται από τον ανορθωτή II (κόκκινα βέλη), η τάση του οποίου ρυθμίζεται όπως και του I. Η διάταξη που περιγράψαμε αντικαθιστά σήμερα σε πολλές περιπτώσεις τα συστήματα Ward-Leonard που εξετάσαμε στην παράγραφο 4.6. Για μικρές ισχύεις, ο αναστρέψιμος ανορθωτής κατασκευάζεται με ανορθωτικά στοιχεία θυρίστωρ.

11.11 Ανορθωτές θερμής καθόδου.

Η ηλεκτρική βαλβίδα των ανορθωτών αυτών αποτελείται από γυάλινη λυχνία, μέσα στην οποία υπάρχει άνοδος κυλινδρικής συνήθως μορφής από έλασμα ή πλέγμα. Στο κέντρο της ανόδου βρίσκεται η κάθοδος, η οποία θερμαίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα. Η κάθοδος είναι κατασκευασμένη από σύρμα βολφραμίου, επάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί στρώση οξειδίου του βαρίου.

Η λυχνία είναι κενή αέρα (*λυχνίες υψηλού κενού*) ή περιέχει ορισμένο αέριο ή ατμούς υδραργύρου με χαμηλή πίεση (*λυχνίες με αέριο*). Και στα δύο είδη, με τη θέρμανση της καθόδου (περίπου σε 800° C) εκπέμπονται από αυτή ηλεκτρόνια, ενώ από την ψυχρή άνοδο δεν εξέρχεται κανένα ηλεκτρόνιο. Έτσι ηλεκτρικό ρεύμα είναι δυνατό να περνά μόνο κατά τη μία φορά (συμβατικά από την άνοδο προς την κάθοδο). Συνεπώς οι λυχνίες αυτές, που ονομάζονται και δίοδοι λυχνίες, παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ηλεκτρικής βαλβίδας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

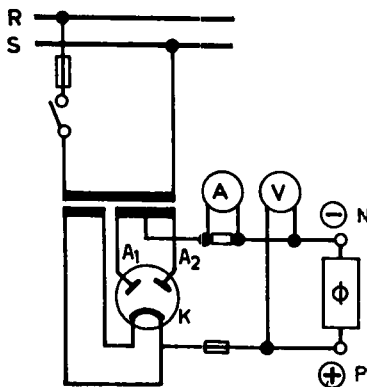
Οι λυχνίες υψηλού κενού, στις οποίες το ρεύμα αποτελείται μόνο από ηλεκτρόνια, που εκπέμπονται από την κάθοδο όπως αναφέραμε, χρησιμοποιούνται για την ανόρθωση ρευμάτων εντάσεως το πολύ μέχρι μερικά μιλλιαμπέρ και για τάσεις 200 ως 300 V. Πεδίο εφαρμογής τους ήσαν κυρίως οι ραδιοφωνικές συσκευές, ό-

που όμως σήμερα έχουν σχεδόν αντικατασταθεί από τους ανορθωτές σεληνίου και πυριτίου, οι οποίοι δεν έχουν ανάγκη από θέρμανση στην κάθοδο.

Στις λυχνίες θερμής καθόδου με αέριο, το ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ καθόδου και ανόδου αποτελείται κατά ένα μέρος μόνο από ηλεκτρόνια. Λόγω των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με τα μόρια του αερίου, που βρίσκεται μέσα στη λυχνία, προκαλείται ιονισμός του αερίου. Συνεπώς στο ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ ανόδου και καθόδου συμμετέχουν και τα ιόντα που δημιουργούνται.

Το σχήμα 11.11 δείχνει τη συνδεσμολογία μικρού ανορθωτή με λυχνία θερμής καθόδου (με δύο ανόδους A_1 , A_2) και ανόρθωση πλήρους κύματος. Όπως παρατηρούμε, η θέρμανση της καθόδου γίνεται με τροφοδότηση από ιδιαίτερο τύλιγμα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή.

Λυχνία θερμής καθόδου με αέριο, όταν φέρει και σχάρα για τη ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς ονομάζεται **θύρατρον**. Λυχνίες αυτού του είδους κατασκευάζονται για εντάσεις ρεύματος μέχρι 1000 A και έχουν διαστάσεις πολύ μικρότερες από τις λυχνίες υδραργύρου της ίδιας ισχύος. Επίσης δεν έχουν ανάγκη ούτε ειδικής διατάξεως για την αφή, ούτε βοηθητικών ανόδων.



Σχ. 11.11.

Ανορθωτής με λυχνία θερμής καθόδου.

11.12 Χρήσεις των ανορθωτών.

Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 11.1, μετά την εμφάνιση του ανορθωτή με ημιαγωγούς, η χρησιμοποίηση των ζευγών κινητήρα-γεννήτριας, των στρεφόμενων μετατροπών και των μετατροπών με μηχανικές επαφές για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Οι ανορθωτές υδραργύρου εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις και κυρίως όπου χρειάζονται τάσεις πάνω από 1500 V. Σε όλες τις λοιπές περιπτώσεις πρέπει να διαλέξει κανείς στην πράξη μεταξύ ανορθωτών σεληνίου, γερμανίου ή πυριτίου. Ειδικότερα:

Στα συστήματα έλξεως, όταν αυτά λειτουργούν με συνεχές ρεύμα, η τάση είναι

συνήθως πάνω από 600 V. Χρησιμοποιούνται τότε ανορθωτές υδραργύρου, χωρίς να αποκλείονται και οι ανορθωτές πυριτίου. Οι τελευταίοι εξασφαλίζουν οπωσδήποτε πολύ καλή λύση στην περίπτωση των ηλεκτρικών τραίνων μέσα στα ορυχεία, όπου οι χρησιμοποιούμενες τάσεις είναι κατώτερες από 600 V και όπου παλαιότερα χρησιμοποιούσαν ανορθωτές σεληνίου.

Για την τροφοδότηση συσκευών και μηχανημάτων με συνεχές ρεύμα όπως π.χ. μαγνητικών τσόκ, μικρών κινητήρων, μηχανών γραφείου κτλ, χρησιμοποιούνται ανορθωτές σεληνίου για μικρές ισχύεις και χαμηλή τάση και πυριτίου για μεγαλύτερες.

Για την τροφοδότηση μεγάλων κινητήρων συνεχούς ρεύματος (π.χ. για έλαστρα, μηχανές χαρτιού, συστήματα μεταφορέων κτλ), χρησιμοποιούνται ανορθωτές υδραργύρου με έλεγχο της τάσεως μέσω σχαρών ρυθμίσεως, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 11.10 (σχ. 11.10δ). Σε σύγκριση με τα ζεύγη Ward-Leonard, οι ανορθωτές αυτοί έχουν μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως και εξασφαλίζουν βέβαιο και γρήγορο έλεγχο της ταχύτητας των κινητήρων. Σε μικρότερες ισχύεις, καθώς και σε μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων κινητήρων συνεχούς ρεύματος με αυτόματες ρυθμίσεις, χρησιμοποιούνται ανορθωτές με θυρίστορ.

Ανορθωτές με θυρίστορ άρχισαν να χρησιμοποιούνται επίσης στις διεγέρσεις των εναλλακτών, όπου αντικαθιστούν την **περιστρεφόμενη διεγέρτρια και το μηχανικό ρυθμιστή τάσεως** του εναλλακτήρα με μια **στατή διεγέρτρια**. Με τη λύση αυτή που μπορεί να εφαρμοσθεί σε μια μεγάλη περιοχή ισχύων, τα διάφορα όργανα δεν έχουν αδράνεια και η ρύθμιση είναι πολύ πιο ευαίσθητη χωρίς χρονικές καθυστερήσεις.

Οι εγκαταστάσεις επιμεταλλώσεων απαιτούν συνεχές ρεύμα τάσεως μέχρι 20 V και εντάσεις που φθάνουν τα 30.000A ανά ανορθωτική μονάδα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά οι ανορθωτές σεληνίου.

Στη φόρτιση των συσσωρευτών, που έχουν ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών (ορυχεία, φωτισμοί ασφαλείας, εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών, εκτέλεση χειρισμών, οχήματα κτλ), χρησιμοποιούνται ανορθωτές σεληνίου (σχ. 11.7δ) για ισχύεις μέχρι 10 kW. Για μεγαλύτερες ισχύεις, χρησιμοποιούνται ανορθωτές γερμανίου ή πυριτίου.

Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές συνεχούς ρεύματος είναι τα διάφορα εργοστάσια ηλεκτρολύσεων. Εδώ, λόγω συνεχούς λειτουργίας με το πλήρες φορτίο, ο βαθμός αποδόσεως του ανορθωτή έχει ιδιαίτερη σημασία. Για τάσεις μέχρι 50 V και εντάσεις μερικών χιλιάδων αμπερ, χρησιμοποιούνται ανορθωτές σεληνίου ή γερμανίου, ενώ, για μεγαλύτερες ισχύεις χρησιμοποιούνται ανορθωτές πυριτίου (σχ. 11.7στ) για ακόμα μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως.

Ανορθωτές σεληνίου, βυθισμένοι σε ορισμένες περιπτώσεις μέσα σε μονωτικό λάδι, χρησιμοποιούνται επίσης και σε ηλεκτροσυγκολήσεις. Αναφέρουμε τέλος τη χρησιμοποίηση ανορθωτών σεληνίου στα ηλεκτροστατικά φίλτρα καθαρισμού αερίων από τη σκόνη, για τάσεις συνεχούς ρεύματος από 10 έως 130 kV.

11.13 Ανακεφαλαίωση.

α) Για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, χρησιμοποιούμε τα ζεύγη κινητήρα-γεννήτριας, τους στρεφόμενους μετατροπείς και τους ανορθωτές.

Οι τελευταίοι διακρίνονται σε ανορθωτές με ημιαγωγούς, σε ανορθωτές με λυχνίες υδραργύρου και σε ανορθωτές με λυχνίες θερμής καθόδου.

β) Το ζεύγος μετατροπής κινητήρα-γεννήτριας αποτελείται από κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, σε απ' ευθείας ζεύξη με γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Ο βαθμός αποδόσεώς του είναι ίσος με το γινόμενο του βαθμού αποδόσεως του κινητήρα επί το βαθμό αποδόσεως της γεννήτριας.

γ) Ο στρεφόμενος μετατροπέας χρησιμεύει για να μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές αλλά και το συνεχές σε εναλλασσόμενο. Μεταξύ τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσεως συνεχούς υπάρχει η σχέση:

$$\text{Για μονοφασικό μετατροπέα: } U_{\epsilon} = 0,70 U_{\theta}$$

$$\text{Για τριφασικό μετατροπέα: } U_{\epsilon} = 0,65 U_{\theta}$$

δ) Οι ηλεκτρικές βαλβίδες ή ανορθωτικά στοιχεία έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα να μη παρουσιάζουν την ίδια αντίσταση στη διέλευση του ρεύματος κατά τη μια φορά και κατά την αντίθετη.

ε) Κατά τη μονοφασική ανόρθωση μισού κύματος, μόνο στις θετικές ημιπερίόδους περνά ρεύμα από τον καταναλωτή. Κατά την ανόρθωση πλήρους κύματος, το δευτερεύον του μετασχηματιστή πρέπει να έχει μεσαία λήψη. Μέσα από τον καταναλωτή περνά κυματόρρευμα. Κυματόρρευμα επίσης, περνά και κατά την ανόρθωση με μονοφασική γέφυρα.

στ) Για το τριφασικό ρεύμα έχουμε τη διάταξη της απλής τριφασικής ανορθώσεως, τη διάταξη ανορθώσεως τριφασικής γέφυρας και τη διάταξη εξασφατικής ανορθώσεως.

ζ) Τάση φραγμού ανορθωτικού στοιχείου από ημιαγωγό ονομάζουμε την τάση στην οποία γίνεται διάσπαση της στρώσεως φραγμού και το στοιχείο σταματά να συμπεριφέρεται ως ηλεκτρική βαλβίδα. Η τάση λειτουργίας ενός τέτοιου στοιχείου πρέπει να είναι πάντοτε μικρότερη από την τάση φραγμού.

Στα ανορθωτικά στοιχεία σεληνίου, η τάση λειτουργίας είναι 20 - 25 V, στα στοιχεία γερμανίου 160V και στα στοιχεία πυριτίου 380V.

η) Τα ελεγχόμενα ανορθωτικά στοιχεία πυριτίου ή θυρίστορ, εκτός από την άνοδο και την κάθοδο, έχουν και ένα τρίτο ηλεκτρόδιο, την πύλη. Ρεύμα περνάει από την άνοδο προς την κάθοδο, όταν η πύλη τροφοδοτείται με μια ορισμένη θετική προς την κάθοδο τάση. Με την ύπαρξη της πύλης, τα θυρίστορ έχουν τη δυνατότητα να δίνουν ρυθμιζόμενη τάση του συνεχούς ρεύματος και να επιτρέπουν την εύκολη εφαρμογή αυτοματισμών.

θ) Στους ανορθωτές υδραργύρου, την ηλεκτρική βαλβίδα αποτελεί μια λυχνία, από την οποία έχει αφαιρεθεί ο αέρας. Μέσα στη λυχνία αυτή υπάρχει η άνοδος από μέταλλο ή γραφίτη και η κάθοδος από υδράργυρο στο κάτω μέρος της λυχνίας. Στους μονοφασικούς ανορθωτές υδραργύρου, η λυχνία έχει δυο ανόδους και μια κάθοδο, ενώ στους τριφασικούς τρεις ανόδους με μια κάθοδο. Επίσης, υπάρχουν οι βοηθητικές άνοδοι και η άνοδος αφής, που χρησιμεύουν για τη δημιουργία και συντήρηση της πυρακτωμένης κηλίδας στην επιφάνεια του υδραργύρου της καθόδου.

ι) Η ρύθμιση της τάσεως συνεχούς ρεύματος στους ανορθωτές υδραργύρου γίνεται με τις σχάρες ρυθμίσεως που παρεμβάλλονται μεταξύ ανόδων και καθόδου.

Το μέγεθος της αρνητικής τάσεως της σχάρας έχει επίδραση στη στιγμή, κατά την οποία σε κάθε ημιπερίοδο δημιουργείται το τόξο μεταξύ ανόδου και καθόδου. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται η μέση τιμή της τάσεως συνεχούς ρεύματος του ανορθωτή.

ια) Στους ανορθωτές θερμής καθόδου, χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο οι λυχνίες με αέριο. Φέρουν και αυτές σχάρες ρυθμίσεως της τάσεως του συνεχούς και ονομάζονται τότε θύρατρον.

ιβ) Οι ανορθωτές υδραργύρου χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου χρειάζονται υψηλές τάσεις και μεγάλες ισχείς, όπως π.χ. στην ηλεκτρική έλξη, σε μεγάλους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, που χρειάζονται ρύθμιση ταχύτητας κτλ.

Οι ανορθωτές σεληνίου χρησιμοποιούνται σε μικρές ισχείς και χαμηλές τάσεις, όπως π.χ. σε μικρούς κινητήρες, μηχανές γραφείου, μικρές μονάδες φορτίσεως συσσωρευτών κτλ. Επίσης, σε εγκαταστάσεις επιμεταλλώσεως, καθώς και σε ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Ανορθωτές πυριτίου και γερμανίου χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ισχείς και όπου ο βαθμός αποδόσεως του ανορθωτή έχει σοβαρή οικονομική σημασία (ηλεκτρολύσεις κτλ.).

Γέλος ανορθωτές με θυρίστορ χρησιμοποιούνται όπου χρειάζονται ρυθμιζόμενες τάσεις συνεχούς ρεύματος σε συνδυασμό με την εφαρμογή αυτοματισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

12.1 Έννοια και σκοπός της συντηρήσεως.

Συντήρηση είναι η εργασία, την οποία κάνουμε για να διατηρούμε τις μηχανές σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Σκοπός δηλαδή της συντηρήσεως είναι να αποφεύγονται κατά το δυνατό βλάβες στις μηχανές, γι' αυτό ονομάζεται και **προληπτική συντήρηση**. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με τακτικές επιθεωρήσεις των μηχανών, με τις οποίες εξακριβώνουμε αν υπάρχει καμία ανωμαλία ή αν χρειάζεται να επισκευασθεί ή να αντικατασταθεί κάποιο φθαρμένο μέρος της μηχανής. Έργο επίσης της συντηρήσεως είναι να εξαλείψει τις ανωμαλίες αυτές και να επισκευάσει ή να αντικαταστήσει τα φθαρμένα μέρη.

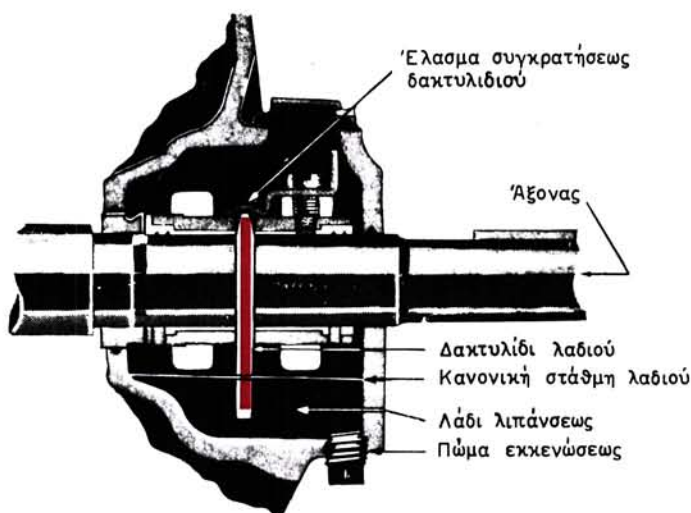
Οι διάφοροι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών έχουν πολλά μέρη (εξαρτήματα) τα ίδια. Γι' αυτά οι εργασίες συντηρήσεως είναι επίσης ίδιες. Π.χ. τυλιγματα, ψήκτρες, δακτυλίδια, συλλέκτες, έδρανα κτλ μπορούμε να τα εξετάσουμε, οσον αφορά τη συντήρηση, ανεξάρτητα από τη συγκεκριμένη μηχανή στην οποία ανήκουν. Αυτό ισχύει τόσο για τις επιθεωρήσεις όσο και για τις εργασίες αποσυρμολογήσεως επισκευής ή ρυθμίσεως και επανασυναρμολογήσεως.

Για τους παραπάνω λόγους στην παράγραφο που ακολουθεί δίνονται ορισμένες οδηγίες συντηρήσεως για τα σπουδαιότερα εξαρτήματα των ηλεκτρικών μηχανών χωρίς να αναφέρεται το συγκεκριμένο είδος μηχανής στο οποίο ανήκουν, με εξαίρεση μόνο τη περίπτωση των μετασχηματιστών. Το ίδιο γίνεται και στη τελευταία παραγραφο αυτού του κεφαλαίου στην οποία δίνονται οδηγίες για την κατάρτιση του προγράμματος συντηρήσεως, δηλαδή για το πότε πρέπει να γίνονται οι επιθεωρήσεις και τι ελέγχεται σ' αυτές.

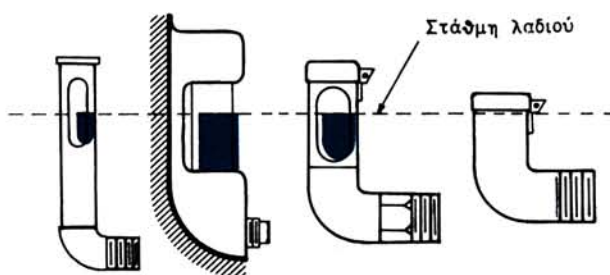
12.2 Οδηγίες συντηρήσεως των εξαρτημάτων μηχανής.

α) Λίπανση ηλεκτρικών μηχανών.

Γα μέρη τα οποία χρειάζονται λίπανση στις ηλεκτρικές μηχανές, είναι κυρίως τα έδρανα, μέσα στα οποία περιστρέφεται ο άξονας της μηχανής. Όταν υπάρχουν έδρανα τριβής (κουσινέτα) με δακτυλίδια λαδιού (σχ. 12.2α), πρέπει τα δακτυλίδια να περιστρέφονται κατά τη λειτουργία της μηχανής και να παρασύρουν το λιπαντικό λαδί. Η περιστροφή αυτή πρέπει να γίνεται με ομαλό τρόπο. Αν τα δακτυλίδια ιπιδουν κατά την περιστροφή τους, είναι δειγμα ότι έχουν χάσει το κυκλικό τους σχημα.



Σχ. 12.2α.
Έδρανο τριβής με δακτυλίδι λαδιού.

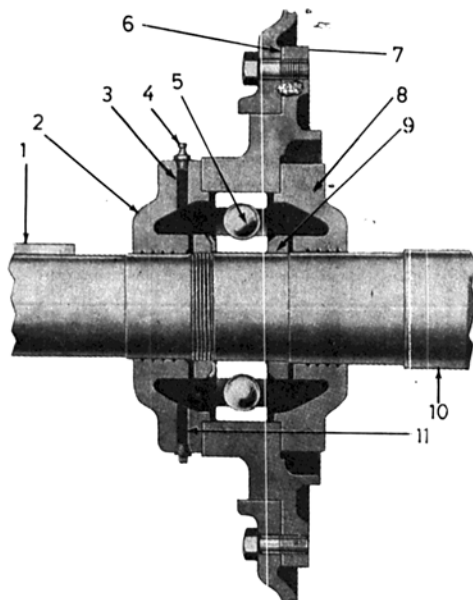


Σχ. 12.2β.
Δείκτες στάθμης λαδιού.

Το λιπαντικό λάδι μέσα στη δεξαμενή του εδράνου πρέπει να φθάνει μέχρι την κινονική του στάθμη (σχ. 12.2α), οπότε περίπου το $\frac{1}{3}$ του δακτυλιδιού βρίσκεται μέσα στο λάδι. Συνήθως τα έδρανα αυτά έχουν ένα δείκτη της στάθμης του λαδιού (σχ. 12.2β).

Το λάδι λιπάνσεως πρέπει να το αλλάζουμε κατά διαστήματα, ανάλογα με τη χρησιμοποίηση της μηχανής, γιατί παθαίνει αλλοιώσεις. Για να ελέγξουμε την κατάσταση, στην οποία βρίσκεται το λιπαντικό λάδι, το συγκρίνουμε με δείγμα λαδιού που δεν έχει χρησιμοποιηθεί. Για να αντικαταστήσουμε το λάδι, αφαιρούμε πρώτα όλο το παλιό και καθαρίζουμε τη δεξαμενή του εδράνου.

Στα έδρανα με ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) χρησιμοποιείται γράσσο ως λιπαντικό. Για την αντικατάσταση του παλιού γράσσου με νέο προβλέπονται συνήθως στα έδρανα δυο οπές (σχ. 12.2γ). Αφού αφαιρέσουμε τα πώματα και των δυο οπών, αφαιρούμε με κατάλληλο διαλυτικό όλο το παλιό γράσσο. Έπειτα κλείνουμε



Σχ. 12.2γ.

Έδρανο ένσφαιρου τριβέα.

1. Σφήνα. 2. Εξωτερικό κάλυμμα. 3. Εισόδου γράσσου. 4. Πώμα. 5. Ρουλεμάν. 6. Σώμα εδράνου. 7. Κέλυφος μηχανής. 8. Εσωτερικό κάλυμμα. 9. Ροδέλα. 10. Άξονας. 11. Εκκένωση οράσσου.

την οπτη εκκενώσεως και γεμίζομε το έδρανο με νέο γράσσο με τη βοήθεια γρασσαδορου. Σε ορισμένες μηχανές η αντικατάσταση του παλιού γράσσου δεν είναι δυνατη χωρίς αποσυναρμολόγηση της μηχανής.

Για το πόσο τακτικά πρέπει να γίνεται η αντικατάσταση του γράσσου, οι κατασκευαστές των μηχανών δίνουν σχετικές οδηγίες. Πάντως η εργασία αυτή πρέπει να γίνεται με σχολαστική καθαριότητα, γιατί αν περάσουν ακαθαρσίες μέσα στον ενσφαιρο τριβέα, είναι ενδεχόμενο να του προκαλέσουν βλάβη.

Εκτός από τα έδρανα, στις ηλεκτρικές μηχανές χρειάζονται λίπανση και ορισμένοι μηχανισμοί μεταδόσεως κινήσεως, όπως είναι οι μειωτήρες στροφών, οι αλυσίδες μεταδόσεως κινήσεως κλπ. Η λίπανση και των μηχανισμών αυτών πρέπει να γίνεται με επιμέλεια και σύμφωνα με το πρόγραμμα.

β) Μηχανικά μέρη.

— Καθάρισμα.

Το καθαρίσμα των διαφόρων μερών της ηλεκτρικής μηχανής είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της καλής συντηρήσεως. Η συχνότητα με την οποία πρέπει να γίνεται εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο όπου λειτουργεί η μηχανή. Με το καθαρίσμα απομακρύνομε όλες τις ύλες (σκόνη, ροκανίδια κλπ), που υπάρχουν επάνω στη μηχανή ή στο εσωτερικό της.

Όταν επικαθήσουν ξένες ύλες είναι δυνατό να προκαλέσουν υπερθέρμανση της μηχανής, γιατί φράζουν τις διόδους κυκλοφορίας του αέρα ψύξεως της μηχανής.

νής. Τα εξωτερικά μέρη των μηχανών τα καθαρίζουμε με ένα κομμάτι ύφασμα, ενώ για τα τυλίγματα χρησιμοποιούμε απορροφητήρα σκόνης ή μικρό φουσητήρα.

— Διάκενα.

Τα διάκενα μεταξύ στάτη και δρομέα, πρέπει να ελέγχονται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα με ειδικά φίλερ. Αν σε ένα σημείο το διάκενο είναι μικρότερο από τα $\frac{3}{4}$ του διάκενου στο εκ διαμέτρου αντίθετο σημείο, θα πρέπει ο δρομέα της μηχανής να κεντραρισθεί. Ένας λόγος που προκαλεί ανομοιομορφία στα διάκενα, είναι και η φθορά των εδράνων. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αντικαταστήσουμε ή να επισκευάσουμε τα φθαρμένα έδρανα.

Η ανομοιομορφία των διακένων έχει μεγάλη σημασία στις ασύγχρονες μηχανές, στις οποίες τα διάκενα είναι μικρά. Οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν συχνά ανωμαλίες, οι οποίες οφείλονται σε ανομοιόμορφα διάκενα.

— Λοιπά μηχανικά μέρη.

Στη συντήρηση πρέπει να ελέγχονται κατά διαστήματα και σύμφωνα με το πρόγραμμα τα μέσα μεταδόσεως της κινήσεως. Πρέπει να ελέγχεται η τάνυση των ιμάντων, η φθορά τους, η ευθυγραμμία των τροχαλίων τους και να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα ανάλογα με τις ανωμαλίες που παρατηρούνται.

Αν υπάρχουν μηχανικοί σύνδεσμοι, πρέπει να ελέγχεται η ευθυγράμμισή τους, η σύσφιξη των κοχλιών και η κατάσταση των ελαστικών δακτυλιδιών.

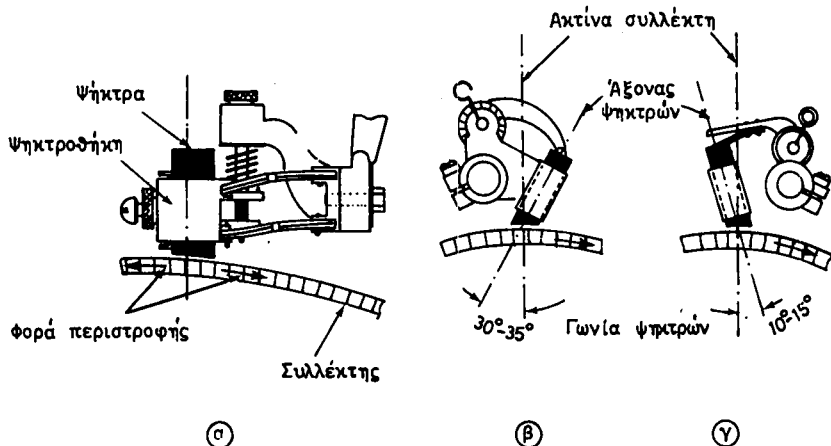
Στις μεταδόσεις κινήσεως με αλυσίδες πρέπει εκτός από τη λίπανσή τους να ελέγχεται και ο βαθμός της φθοράς τους. Ο συντηρητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι η αλυσίδα ή ο ιμάντας πρέπει να επισκευασθεί ή να αντικατασταθεί, πριν φθάσει στο σημείο να σπάσει. Τότε, εκτός από τα άλλα, είναι δυνατό να προκαλέσει και ατύχημα σε πρόσωπα ή βλάβη σε άλλα μηχανήματα. Επίσης ότι οι χαλαροί ιμάντες ή αλυσίδες προκαλούν ανώμαλη μετάδοση της κινήσεως και οι υπερβολικά τανυσμένοι προκαλούν γρήγορη φθορά τόσο των ίδιων, όσο και των εδράνων.

γ) Συντήρηση ψηκτρών και ψηκτροφορέων.

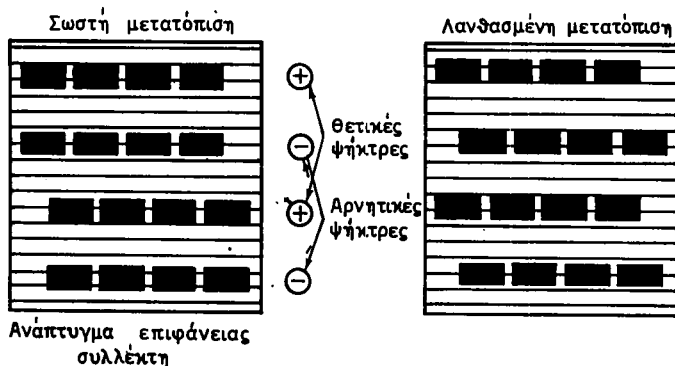
Η καλή λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή συντήρηση των ψηκτρών της. Στις επιθεωρήσεις εξετάζουμε αν οι ψήκτρες κινούνται ελεύθερα μέσα στις ψηκτροθήκες τους, χωρίς όμως να υπάρχει και μεγάλη χάρη μεταξύ αυτών και των ψηκτροθηκών. Ελέγχουμε επίσης την επιφάνεια των ψηκτρών, η οποία εφάπτεται στο συλλέκτη ή το δακτύλιο και η οποία κανονικά πρέπει να είναι λεία.

Σημασία για την καλή λειτουργία της μηχανής έχει και η γωνία, την οποία σχηματίζει ο άξονας των ψηκτρών με την ακτίνα του συλλέκτη. Η γωνία αυτή, που έχει καθορισθεί από τον κατασκευαστή της μηχανής, πρέπει να ελέγχεται, μήπως έχει μεταβληθεί. Το σχήμα 12.2δ δείχνει τις γωνίες ψηκτρών που χρησιμοποιούνται συνήθως. Η περίπτωση α, δηλαδή με μηδενική γωνία, χρησιμοποιείται σε μηχανές που περιστρέφονται και προς τις δυο φορές. Οι περιπτώσεις β και γ χρησιμοποιούνται σε μηχανές που περιστρέφονται προς τη μια μόνο φορά. Πιο συνηθισμένη είναι η περίπτωση γ.

Εκτός από τη γωνία των ψηκτρών στις επιθεωρήσεις πρέπει να ελέγχεται και η μετατόπιση μεταξύ των θετικών και αρνητικών ψηκτρών, ώστε να προκαλείται



Σχ. 12.26.
Γωνίες ψηκτρών.

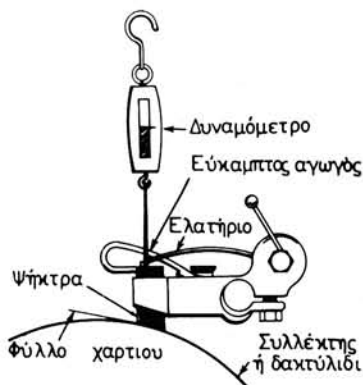


Σχ. 12.2ε.
Σωστή και λανθασμένη μετατόπιση ψηκτρών.

ομοιόμορφη φθορά του συλλέκτη. Το σχήμα 12.2ε 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 δακτυλίδι 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 δακτυλιδιού όσο και των ψηκτρών, ενώ πίεση μικρότερη από την κανονική έχει σαν αποτέλεσμα σπινθηρισμούς και επομένως πάλι φθορά (κάψιμο) του συλλέκτη ή του δακτυλιδιού και των ψηκτρών.

Η μέτρηση της πιέσεως γίνεται, όπως δείχνει το σχήμα 12.2στ, με τη βοήθεια **δυναμόμετρου**. Η ανάγνωση γίνεται τη στιγμή που το δυναμόμετρο μόλις αναση-



Σχ. 12.2στ.

Μέτρηση της πίεσης των ψηκτρών.



Σχ. 12.2ζ.

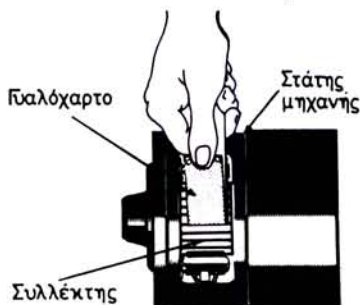
Στρώσιμο νέων ψηκτρών.

κώνει το ελατήριο, ώστε να περνά εύκολα ένα φύλλο χαρτιού μεταξύ ψήκτρας και συλλέκτη. Η πίεση αυτή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 ως 2 N (0,1 ως 0,2 kp) ανά cm^2 για ψήκτρες από γραφίτη, από άνθρακα, ή ελαφρά μεταλλικές ψήκτρες και μεταξύ 2 ως 3,5 N (0,2 ως 0,35 kp) ανά cm^2 για πολύ μεταλλικές ψήκτρες που εφάπτονται σε δακτυλίδια.

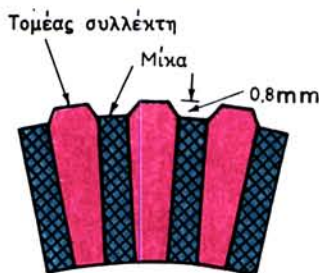
Μια από τις τακτικές φροντίδες της συντηρήσεως είναι η αντικατάσταση των φθαρμένων ψηκτρών. Οι νέες ψήκτρες πρέπει να είναι του ίδιου τύπου, που είχε χρησιμοποιήσει ο κατασκευαστής της μηχανής. Το στρώσιμο της επιφάνειας των νέων ψηκτρών που εφάπτεται στο συλλέκτη, ώστε να αποκτήσει την καμπυλότητά του, γίνεται με λουρίδα από γυαλόχαρτο. Οι ψήκτρες τοποθετούνται στις ψηκτροθήκες τους και το γυαλόχαρτο επάνω στο συλλέκτη, όπως δείχνει το σχήμα 12.2ζ. Με το χέρι κινούμε το δρομέα της μηχανής προς τη μια και την άλλη κατεύθυνση, οπότε η ψήκτρα 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 καθαρίζουμε καλά το συλλέκτη από το καρβουνίδι των ψηκτρών. Τέλος βάζουμε τη μηχανή σε λειτουργία χωρίς φορτίο, ώστε να στρώσουν τελείως οι νέες ψήκτρες.

δ) Συντήρηση συλλέκτη και δακτυλιδιών.

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 τα οποία υπάρχουν στις ψήκτρες. Είναι επίσης συσσωρευση ακαθαρσιών από μόρια άνθρακα των ψηκτρών, από λάδια ή λίπη κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται καθαρίσμα του συλλέκτη, που 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 12.2η, ενώ η μηχανή περιστρέφεται. Έπειτα με ένα κομμάτι ύφασμα ή με πεπιεσμένο αέρα απαλλαγμένο από υγρασία αφαιρούμε τη σκόνη. Τέλος αφήνουμε τη



Σχ. 12.2η.
Καθάρισμα συλλέκτη.



Σχ. 12.2θ.
Τμήμα συλλέκτη.

μηχανή να εργασθεί για ορισμένο διάστημα χωρίς φορτίο για να έχουμε τελείως «γυαλισμένη» την επιφάνεια του συλλέκτη.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι για το καθάρισμα του συλλέκτη δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε σμυριδόπανο, 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 αιτία που τις προκάλεσε.

Μετά το торνίρισμα, με κατάλληλο εργαλείο, π.χ. με λάμα από σιδηροπρίονο, αφαιρούμε τμήμα 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 12.2θ. Τελος «γυαλίζουμε» την επιφάνεια του συλλέκτη με τη διαδικασία που αναφέραμε.

Τα δακτυλίδια των μηχανών παρουσιάζουν πολύ λιγότερες περιπτώσεις ανωμαλιών από τους συλλέκτες. Συνήθως έχουν ανάγκη από καθάρισμα. Σε περιπτώσεις εξαιρετικής φθοράς ή σχηματισμού αυλακιών χρειάζονται торνίρισμα. Κατά τη συντήρηση των δακτυλιδιών πρέπει να ελέγχονται και οι συνδέσεις των αγωγών με τα δακτυλίδια καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η μόνωση των δακτυλιδιών και των αγωγών.

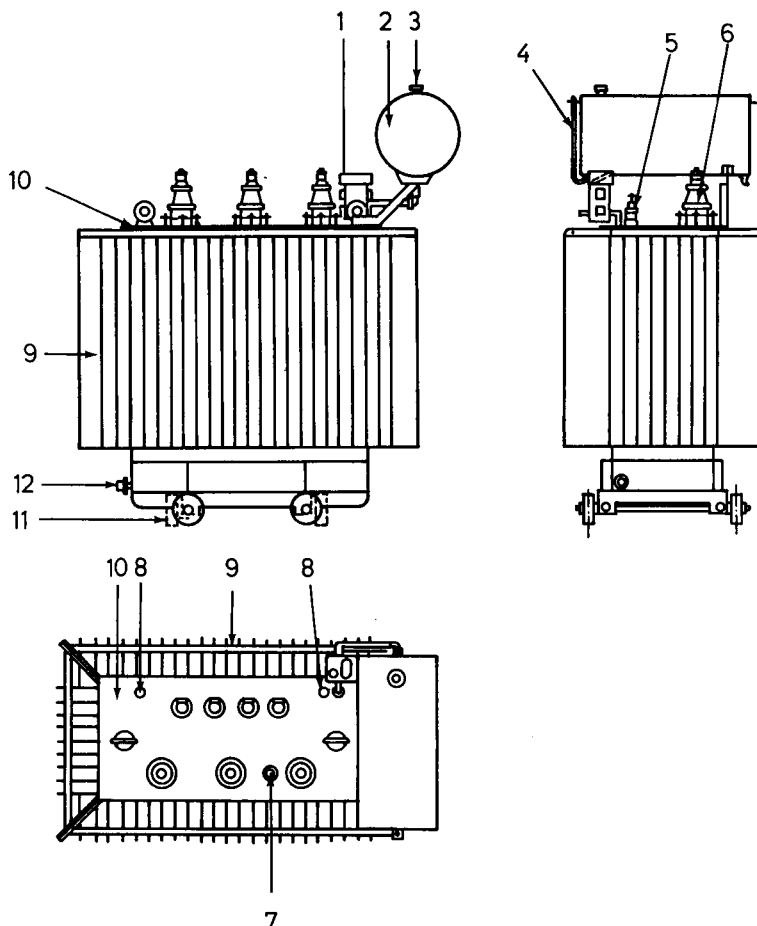
ε) Συντήρηση μετασχηματιστών.

Για την καλή συντήρηση των μετασχηματιστών, πρέπει να εκτελούνται οι ακόλουθες εργασίες:

— Καθάρισμα.

Να γίνεται περιοδικό καθάρισμα των εξωτερικών μερών του μετασχηματιστή και κυρίως του καλύμματος του λέβητα και των μονωτήρων διαβάσεως που βρίσκονται επάνω σ' αυτό (σχ. 12.2ι).

Η εργασία εκτελείται αφού προηγουμένως διακοπεί το ρεύμα, δηλαδή αφού ανοίξουμε τους διακόπτες, τόσο στην πλευρά της υψηλής τάσεως όσο και στην πλευρά της χαμηλής τάσεως.



Σχ. 12.2ι.

Μετασχηματιστής λαδιού (μέχρι περίπου 2.000 kVA).

1. Ρελαί Μπουχόλτς. 2. Δοχείο διαστολής. 3. Στόμιο πληρώσεων. ξ. δείκτης στάθμης λαδιού. 5. Μονωτήρες διαβάσεως Χ.Τ. 6. Μονωτήρες διαβάσεως Υ.Τ. 7. Μηχανισμός αλλαγής λήψεων. 8. Θήκη θερμομέτρου. 9. Λέβητας μετασχηματιστών. 10. Κάλυμμα λέβητα. 11. Τροχός κυλήσεως. 12. Πώμα εκκενώσεως λαδιού.

— Θερμοκρασία λαδιού.

Περιοδική παρακολούθηση και καταγραφή της θερμοκρασίας του λαδιού κατά τις ώρες φορτίσεως του μετασχηματιστή. Αυξημένη θερμοκρασία λειτουργίας συνεπάγεται αύξηση του βαθμού οξειδώσεως του λαδιού. Συνήθως οι μετασχηματιστές έχουν για το σκοπό αυτό ένα θερμόμετρο, προσαρμοσμένο σε ειδική θήκη στο κάλυμμα του λέβητα (σχ. 12.2ι), που δείχνει τη θερμοκρασία του λαδιού. Μερικοί μετασχηματιστές έχουν θερμόμετρο αντιστάσεως, η ένδειξη του οποίου φαίνεται στον πίνακα ελέγχου. Στους μεγάλους μετασχηματιστές, υπάρχουν συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας του λαδιού, των τυλιγμάτων, του νερού ψύξεως κτλ.

— Στάθμη λαδιού.

Περιοδική παρακολούθηση της στάθμης του λαδιού μέσα στο μετασχηματιστή.

Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός δείκτη στάθμης που φέρουν οι μετασχηματιστές και δείχνει τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής (σχ. 12.2ι).

— **Δειγματοληψία λαδιού.**

Στους μεγάλους μετασχηματιστές, κάθε 1 ή 2 χρόνια πρέπει να ελέγχουμε τη μω-
νωτική ικανότητα του λαδιού. Για το σκοπό αυτό παίρνουμε δείγμα του λαδιού, του
οποίου ελέγχουμε:

- Τη οξύτητα με μια δοκιμή προσδιορισμού του βαθμού εξουδετερώσεως. Αν
είναι μεγαλύτερος από 1 mg KOH/g, θα πρέπει το λάδι να αντικατασταθεί με
αμεταχείριστο.
- Την περιεκτικότητα σε νερό.
- Τη διηλεκτρική αντοχή, η οποία εκφράζεται σε kV και είναι τόσο μικρότερη
όσο το λάδι είναι περισσότερο μολυσμένο με υγρασία ή άλλες ουσίες.

Αν διαπιστωθεί η ύπαρξη υγρασίας ή άλλων ουσιών που υπερβαίνουν ορισμένα
όρια, πρέπει το λάδι να καθαρισθεί με τη βοήθεια ειδικών συσκευών, ανάλογα με
την περίπτωση.

— **Ρελαί Μπουχόλτς (Buchholtz).**

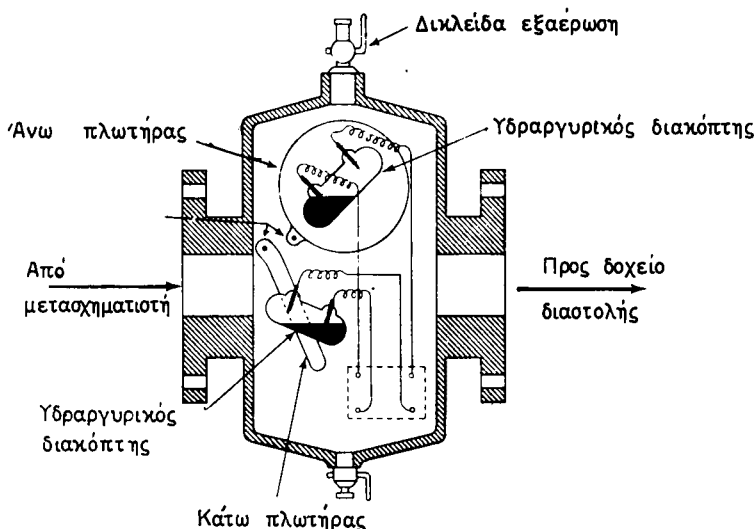
Για την επισήμανση των βλαβών, πολλοί μετασχηματιστές λαδιού είναι εφοδια-
σμένοι με το ειδικό ρελαί προστασίας Μπουχόλτς. Το ρελαί αυτό παρεμβάλλεται
(σχ. 12.2ι) στη σωλήνωση που συνδέει το λέβητα του μετασχηματιστή με το δο-
χείο διαστολής και είναι πάντοτε γεμάτο με λάδι. Όπως φαίνεται στο σχήμα
12.2ια, το ρελαί Μπουχόλτς περιλαμβάνει δυο πλωτήρες (τον άνω και τον κάτω),
που έχουν ο καθένας από ένα **υδραργυρικό διακόπτη**.

Η λειτουργία του ρελαί αυτού στηρίζεται στο γεγονός ότι μια βλάβη στο εσωτε-
ρικό του μετασχηματιστή προκαλεί άλλοτε με αργό ρυθμό και άλλοτε βίαια τη δη-
μιουργία κάποιου αερίου. Π.χ. μια διακοπή αγωγού προκαλεί ένα τοπικό ηλεκτρικό
τόξο, το οποίο εξατμίζει μια μικρή ποσότητα λαδιού. Το ίδιο αποτέλεσμα έχει ένα
σφάλμα προς γη. Βραχυκυκλώματα στις σπείρες των τυλιγμάτων αυξάνουν τοπικά
τη θερμοκρασία τους, με αποτέλεσμα επίσης τοπική εξάτμιση του λαδιού που γει-
τονεύει. Βραχυκυκλώματα στα ελάσματα του σιδερένιου πυρήνα προκαλούν επί-
σης τοπικές υπερθερμάνσεις και δημιουργία αερίων κτλ.

Το ρελαί Μπουχόλτς επισημαίνει τις ακόλουθες βλάβες:

Μια αρχόμενη βλάβη που παράγει αέρια με βραδύ ρυθμό. Φυσαλλίδες των αε-
ρίων συγκεντρώνονται τότε στο επάνω μέρος του ρελαί, με αποτέλεσμα να κατέ-
βει λίγο η στάθμη του λαδιού μέσα σ' αυτό και μαζί της ο άνω πλωτήρας. Ο υδραρ-
γυρικός διακόπτης του κλείνει ένα κύκλωμα συναγερμού, το οποίο επισημαίνει την
ύπαρξη βλάβης στο μετασχηματιστή. Το ίδιο αποτέλεσμα έχει και στους μετασχη-
ματιστές με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού η είσοδος μιας ποσότητας αέ-
ρα στο λάδι από βλάβη στην αντλία.

**Μια γρήγορα εξελισσόμενη βλάβη που παράγει μέσα στο μετασχηματιστή κύ-
ματος αερίου με πίεση.** Τότε ο άνω πλωτήρας δεν προλαβαίνει να λειτουργήσει,
ενώ η ώθηση των αερίων δραστηριοποιεί τον κάτω πλωτήρα. Αποτέλεσμα είναι
να κλείσει ένα κύκλωμα που θέτει το μετασχηματιστή αμέσως εκτός λειτουργίας,
ανοίγοντας τους διακόπτες τόσο στην πλευρά του πρωτεύοντος όσο και στην



Σχ. 12.2ια.
Ρελαί Μπουχόλτς.

πλευρά του δευτερεύοντος. Με τον ίδιο τρόπο προστατεύεται ο μετασχηματιστής με το ρελαί Μπουχόλτς και από μια σημαντική πτώση της στάθμης του λαδιού του.

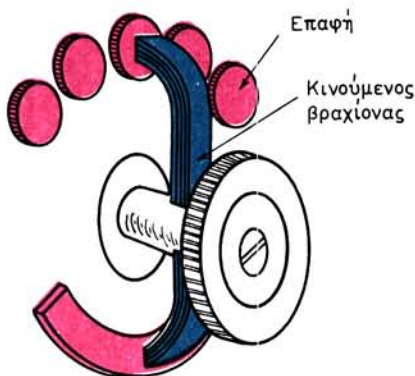
συνήθως, όταν ο κινούμενος βραχίονας (σχ. 12.2ιβ) δεν εφάπτεται καλά και με την κατάλληλη πίεση στις επαφές.

στ) 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 εκκινητές, οι ρυθμιστικές αντιστάσεις 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 οξειδώσεις. 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. 12.2ιβ) 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 οεγάλη 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



Σχ. 12.2ιβ.

το λάδι. Τότε στη λειτουργία προκαλείται φθορά των επαφών από τους σπινθηρισμούς που παράγονται και υπάρχει κίνδυνος εκρήξεως ή αναφλέξεως.

Από τις συχνότερες αιτίες βλαβών των ηλεκτρικών μηχανών είναι και οι κακές συνδέσεις των αγωγών με τους ακροδέκτες των μηχανών ή των βοηθητικών συσκευών καθώς και των αγωγών μεταξύ τους. Κακή ή χαλαρή σύνδεση είναι δυνατό να προκαλέσει διακοπή στο ηλεκτρικό κύκλωμα ή να παρεμβάλλει 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 αγωγών και να συσφίγγονται ή να συγκολλούνται, όσες παρουσιάζουν χαλάρωση ή διακοπή.

ζ) Αποσυναρμολόγηση των ηλεκτρικών μηχανών.

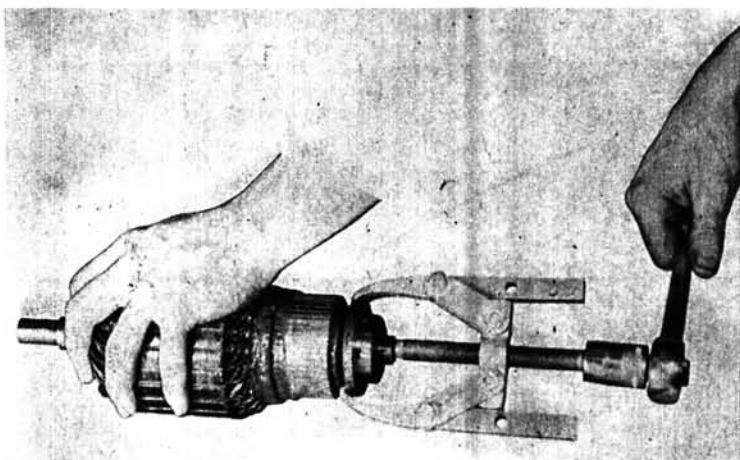
Τόσο κατά την αποσυναρμολόγηση μιας ηλεκτρικής μηχανής για επιθεώρηση του εσωτερικού της και επισκευή ενδεχομένης βλάβης, όσο και κατά τη συναρμολόγησή της, πρέπει να δίνουμε προσοχή στα ακόλουθα, τα οποία όμως κάθε άλλο παρά εξαντλούν το θέμα. Η προσοχή και η πείρα αυτού που ασχολείται με την εργασία θα του είναι πολύτιμοι οδηγοί.

— Αποσυναρμολόγηση.

Κατά την αποσύνδεση των αγωγών από τους ακροδέκτες τους να σηματοδονται τόσο οι αγωγοί, όσο και οι αντίστοιχοι ακροδέκτες με όμοια σημάδια, π.χ. με τον ίδιο αριθμό χαραγών. Αυτό εξοικονομεί χρόνο στη συναρμολόγηση της μηχανής και αποφεύγονται λάθη.

Η αφαίρεση των μηχανικών συνδέσμων, τροχαλιών, οδοντωτών τροχών και ανεμιστήρων πρέπει να γίνεται με κατάλληλο εξολκέα και όχι με σφυροκόπημα που είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει βλάβες, τόσο στα κομμάτια που αφαιρούνται όσο και σε άλλα τμήματα της μηχανής.

Η αφαίρεση των ενσφαιρών τριβέων (ρουλεμάν) γίνεται και αυτή με τη χρήση εξολκέα (σχ. 12.2ιγ). Η πίεση πρέπει να ασκείται παράλληλα προς τον άξονα της μηχανής, δηλαδή κάθετα προς το ρουλεμάν. Σημειώνουμε επίσης, ότι οι ένσφαιροι τριβείς αφαιρούνται από τον άξονα της μηχανής, μόνο εφόσον αυτό είναι τελείως απαραίτητο (π.χ. όταν χρειάζεται να αφαιρέσουμε τον άξονα από το δρομέα) ή όταν



Σχ. 12.2γ.
Εξολκέας για ρουλεμάν.

πρόκειται να τους αντικαταστήσουμε με καινούργιους.

Για την αφαίρεση των ψηκτρών πρέπει πρώτα να τις απαλλάξουμε από την πίεση του ελατηρίου τους, γιατί διαφορετικά είναι ενδεχόμενο να τους προκαλέσουμε βλάβη.

Κάθε κομμάτι της μηχανής που αφαιρείται το καθαρίζουμε καλά και το τοποθετούμε με τάξη επάνω σε καθαρή επιφάνεια.

Με ιδιαίτερη προσοχή μεταχειριζόμαστε τα τυλίγματα που αφαιρούμε καθώς και τους δρομείς που φέρουν περιελίξεις, ώστε να αποφύγουμε τη δημιουργία βλαβών (σπάσιμο) στις μονώσεις τους. Αφού τα καθαρίσουμε τα τοποθετούμε επάνω σε κατάλληλα υποστηρίγματα.

— Συναρμολόγηση.

Για τη συναρμολόγηση μιας μηχανής φροντίζουμε πρώτα να έχουν καθαρισθεί όλα τα μέρη της και προσπαθούμε να τα κρατήσουμε καθαρά κατά τη διάρκεια της συναρμολογήσεως. Επίσης φροντίζουμε να καθαρίσουμε, να λιμάρομε αν χρειάζεται και να γυαλίσαμε τις επιφάνειες των ηλεκτρικών επαφών.

Πριν αρχίσουμε την εργασία της συναρμολογήσεως, ελέγχουμε τη μόνωση των διαφόρων μερών της μηχανής.

Η συναρμολόγηση γίνεται με τοποθέτηση κάθε μέρους στη θέση του, χωρίς να εφαρμόζουμε βία, η οποία είναι δυνατό να προκαλέσει βλάβη στα μέρη που συναρμολογούνται.

Πριν από την τοποθέτηση της μηχανής στη θέση της καθαρίζουμε καλά το χώρο γύρω από αυτή. Αφού τοποθετηθεί η μηχανή, ελέγχουμε την οριζοντίωσή της και την ευθυγράμμιση των αξόνων, αν η ζεύξη της μηχανής γίνεται με μηχανικό σύνδεσμο.

Πριν βάλομε τη μηχανή σε λειτουργία ελέγχουμε:

- Αν έχει τοποθετηθεί το κατάλληλο λιπαντικό στα έδρανα, κιβώτια ταχυτήτων κλπ.
- Αν κατά τη στροφή της μηχανής με το χέρι (αν είναι δυνατή) ακούγεται ασυνήθιστος θόρυβος.
- Αν η αντίσταση μονώσεως των τυλιγμάτων της μηχανής ως προς το σώμα

της είναι ικανοποιητική. Η μέτρηση γίνεται με τη βοήθεια του ειδικού οργάνου που ονομάζεται Μέγκερ (Megger).

Αφού λειτουργήσει η μηχανή για διάστημα λίγων ημερών γίνεται μια ειδική επιθεώρησή της (εκτός προγράμματος συντηρήσεως). Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα μέρη, τα οποία αντικαταστάθηκαν κατά την αποσυναρμολόγηση, για να διαπιστωθεί αν εργάζονται καλά.

Πρόγραμμα Συντηρήσεως

Κάθε πότε γίνεται η επιθεώρηση	Επιθεωρούμενο μέρος	Τι ελέγχουμε κατά την επιθεώρηση
EB M ET	Ψήκτρες	- Τη φθορά αν υπάρχουν σπινθηρισμοί - Την πίεση των ελατηρίων και αν υπάρχουν βλάβες στις ψήκτρες - Την μετατόπιση των θετικών και αρνητικών ψηκτρών, τη γωνία των ψηκτρών, την καλή επαφή με το συλλέκτη
EB	Συλλέκτες	Αν υπάρχει συσσώρευση ακαθαρσιών, ανωμαλίες της επιφάνειας, προεξέχοντες τομείς ή μίκα, εκκεντρότητα, αγωγοί του τυλίγματος αποκολλημένοι από τους τομείς
EB M ET	Τυλίγματα και συνδέσεις	- Αν υπάρχει συσσώρευση σκόνης ή ακαθαρσίας, διαφυγή λιπαντικού προς τα τυλίγματα, υγρασία επάνω ή κοντά σε αυτά - Χαλάρωση της στηρίξεως των τυλιγμάτων ή των συνδέσεων των αγωγών - Αν υπάρχουν θραύσματα στις επιφάνειες των μονώσεων ή άλλες ενδείξεις βλάβης τους. Έλεγχος της αντίστασης μονώσεως
M ET	Δακτυλίδια	- Αν υπάρχει συσσώρευση ακαθαρσίας - Ελέγχεται η εκκεντρότητα και η αντίσταση μονώσεως
EB M	Έδρανα τριβής	- Τη στάθμη λαδιού - Αν υπάρχει φθορά των εδράνων, αν απαιτείται αντικατάσταση του λαδιού, αν υπάρχουν διαφυγές λαδιού
EB M ET	Ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν)	- Τη θερμοκρασία, αν υπάρχουν ασυνήθεις θόρυβοι ή δονήσεις - Αν υπάρχουν διαφυγές γράσσου - Αντικατάσταση γράσσου σε περιπτώσεις βαριάς 24ωρης λειτουργίας - Καθαρισμός και αντικατάσταση γράσσου
EB M ET	Σύστημα αερισμού και ψύξεως	- Αν υπάρχει συσσώρευση υλικού ή σκόνης στις διόδους διελεύσεως του αέρα ψύξεως - Αν υπάρχουν χαλαρωμένα περύγια του ανεμιστήρα - Καθαρισμός του εσωτερικού της μηχανής
ET	Μηχανισμοί σύνδεσμοι	Έλεγχος της ελαστικότητας και αν απαιτείται σύσφιξη των κοχλιών του συνδέσμου ή αντικατάσταση ελαστικών δακτυλιδιών

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Κάθε πότε γίνεται η επιθεώρηση	Επιθεωρούμενο μέρος	Τι ελέγχουμε κατά την επιθεώρηση
EB M	Ιμάντες και αλυσίδες μεταδόσεως κινήσεως	— Αν είναι καλά τανυσμένοι και αν παρουσιάζουν φθορά που απαιτεί επισκευή ή αντικατάσταση — Αν απαιτείται αντικατάσταση του λιπαντικού των αλυσίδων
M	Συστήματα μεταδόσεως κινήσεως με οδοντωτούς τροχούς	— Αν το λιπαντικό πρέπει να αντικατασταθεί και αν παρουσιάζουν φθορές
ET	Διάκενα αέρα μεταξύ δρομέα και στάτη	— Αν παρουσιάζουν ανομοιομορφία που απαιτεί διόρθωση
M	Στήριξη της μηχανής	— Αν υπάρχει χαλάρωση των κοχλιών συσφίξεως κλπ.
M ET	Φορτία	— Αν άλλαξαν οι συνθήκες φορτίσεως της μηχανής — Αν η ισχύς που απορροφά ο κινητήρας χωρίς φορτίο και με φορτίο, μετρούμενη με κατάλληλα όργανα, είναι μέσα στα κανονικά όρια

12.3 Πρόγραμμα συντηρήσεως.

Όπως αναφέραμε ήδη (βλ. παράγραφο 12.1), στην προληπτική συντήρηση των ηλεκτρικών μηχανών περιλαμβάνονται και οι **περιοδικές επιθεωρήσεις** που πρέπει να γίνονται για να εξακριβώνουμε αν υπάρχει κάποια ανωμαλία.

Κάθε πότε πρέπει να γίνονται οι επιθεωρήσεις αυτές και τι πρέπει να ελέγχεται σε κάθε επιθεώρηση καθορίζεται από το **πρόγραμμα συντηρήσεως**. Το πρόγραμμα αυτό εξαρτάται από το είδος των μηχανών, από τις συνθήκες λειτουργίας, από τις συνθήκες του περιβάλλοντος κλπ. Συνεπώς είναι διαφορετικό από εργοστάσιο σε εργοστάσιο και πολλές φορές διαφορετικό για τα διάφορα τμήματα του ίδιου εργοστασίου.

Το πρόγραμμα συντηρήσεως καταstrώνεται σε κάθε περίπτωση από τον υπεύθυνο του εργοστασίου και πρέπει να τηρείται με ευσυνειδησία από αυτούς που έχουν την ευθύνη της εφαρμογής του. Σαν παράδειγμα δίνουμε παρακάτω ένα πρόγραμμα συντηρήσεως, το οποίο καθορίζει κάθε πότε πρέπει να γίνονται οι επιθεωρήσεις (κάθε εβδομάδα = EB, κάθε μήνα = M, κάθε χρόνο = ET), ποιο μέρος, επιθεωρούμε και τι ελέγχουμε κατά την επιθεώρηση.

Οι καθοριζόμενες σ' αυτό χρονικές περίοδοι για την επιθεώρηση είναι δυνατό να μεταβάλλονται, ανάλογα με το βαθμό χρησιμοποίησεως των διαφόρων μηχανών. Μηχανές οι οποίες αργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα θα πρέπει μια φορά το μήνα να τίθενται σε δοκιμαστική λειτουργία και να επιθεωρούνται.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Είδη ηλεκτρικών μηχανών	1
1.2 Πεδία εφαρμογής των ηλεκτρικών μηχανών	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος

2.1 Αρχή λειτουργίας των γεννητριών συνεχούς ρεύματος	4
2.1.1 Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε κινούμενο αγωγό	4
2.1.2 Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε πείρα (στοιχειώδης γεννήτρια)	6
2.1.3 Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος	9
2.1.4 Μετατροπή του παραγόμενου ρεύματος σε συνεχές	10
2.2 Αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος	12
2.2.1 Δύναμη ασκούμενη σε ρευματοφόρο αγωγό	12
2.2.2 Ροπή ασκούμενη σε ρευματοφόρα σπείρα (στοιχειώδης κινητήρας)	13
2.3 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη	14
2.4 Δυνάμεις πεδήσεως στις γεννήτριες	15
2.5 Κατασκευή των μηχανών συνεχούς ρεύματος	16
2.6 Διέγερση των μηχανών συνεχούς ρεύματος	20
2.7 Τυλίγματα μηχανών συνεχούς ρεύματος	21
2.8 Ανακεφαλαίωση	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος

3.1 Λειτουργία γεννήτριας χωρίς φορτίο	30
3.2 Λειτουργία γεννήτριας με φορτίο	32
3.2.1 Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου και τρόποι αντιμετώπισώς της	33
3.3 Είδη γεννητριών συνεχούς ρεύματος	36
3.3.1 Γεννήτριες με ξένη διέγερση	36
3.3.2 Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση	38
3.3.3 Γεννήτριες με διέγερση σειράς	41
3.3.4 Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση	41
3.4 Παράλληλη λειτουργία γεννητριών συνεχούς ρεύματος	45
3.5 Ισχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως γεννητριών	46
3.6 Βλάβες και επισκευή γεννητριών συνεχούς ρεύματος	48
3.7 Ανακεφαλαίωση	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

4.1 Εκκίνηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος	53
4.1.1 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα	53
4.1.2 Ένταση εκκινήσεως — Εκκινήτές	54
4.2 Ροπή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος	59
4.3 Λειτουργία κινητήρων με φορτίο	59
4.3.1 Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου	61
4.4 Ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων	62
4.5 Είδη κινητήρων συνεχούς ρεύματος	63
4.5.1 Κινητήρες με ξένη διέγερση	63
4.5.2 Κινητήρες με παράλληλη διέγερση	63
4.5.3 Κινητήρες με διέγερση σειράς	65
4.5.4 Κινητήρες με σύνθετη διέγερση	67
4.6 Μέθοδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής κινητήρων συνεχούς ρεύματος	69
4.7 Ισχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως κινητήρων συνεχούς ρεύματος	74
4.8 Βλάβες και επισκευή κινητήρων συνεχούς ρεύματος	75
4.9 Ανακεφαλαίωση	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος

5.1 Είδη και χρήση γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	82
5.2 Κατασκευή συγχρόνων γεννητριών ή εναλλακτών	83
5.2.1 Εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους	83
5.2.2 Εναλλακτικές με εσωτερικούς πόλους	84
5.2.3 Στροβιλοεναλλακτικές	90
5.3 Ψύξη των εναλλακτών	91
5.4 Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος	92
5.4.1 Αρχή λειτουργίας των εναλλακτών	92
5.4.2 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής	94
5.5 Μονοφασικοί εναλλακτικές	96
5.6 Τριφασικοί εναλλακτικές	97
5.7 Τιμή ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα	100
5.8 Μέθοδοι για ρύθμιση της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εναλλακτήρα	101
5.9 Λειτουργία εναλλακτήρα χωρίς φορτίο	103
5.10 Λειτουργία εναλλακτών με φορτίο	104
5.10.1 Χαρακτηριστική φορτίου — Διακύμανση τάσεως	104
5.10.2 Ρύθμιση της τάσεως του εναλλακτήρα	106
5.11 Θέση σε λειτουργία εναλλακτήρα	108
5.11.1 Προκαταρκτικές εργασίες και μέτρα ασφάλειας	108
5.11.2 Εκκίνηση και παραγωγή ονομαστικής τάσεως	108
5.11.3 Σύνδεση με καταναλωτές — Διόρθωση τάσεως	108
5.11.4 Σταμάτημα εναλλακτήρα	110
5.12 Παράλληλη λειτουργία εναλλακτών	110
5.12.1 Λόγοι που την επιβάλλουν	110
5.12.2 Συνθήκες παραλληλισμού	110
5.12.3 Περιγραφή εγκαταστάσεως παραλληλισμού	113
5.12.4 Παραλληλισμός εναλλακτών	115
5.12.5 Κατανομή του φορτίου	115
5.13 Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτών	117
5.14 Ισχύς, απώλειες και βαθμός αποδόσεως εναλλακτήρα	118
5.15 Βλάβες και επισκευή γεννητριών Ε.Ρ.	120
5.16 Ανακεφαλαίωση	121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Μετασχηματιστές

6.1	Χρήση και είδη μετασχηματιστών	125
6.2	Κατασκευή μονοφασικών μετασχηματιστών	127
6.3	Κατασκευή τριφασικών μετασχηματιστών	131
6.4	Ψύξη μετασχηματιστών	133
6.5	Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστών	135
6.5.1	Αρχή λειτουργίας μονοφασικών μετασχηματιστών	135
6.5.2	Αρχή λειτουργίας τριφασικών μετασχηματιστών	138
6.6	Λειτουργία των μετασχηματιστών χωρίς φορτίο - Σχέση μεταφοράς	139
6.7	Λειτουργία μετασχηματιστών με φορτίο	140
6.7.1	Φόρτιση μετασχηματιστή	140
6.7.2	Σχέσεις μεταξύ εντάσεων και τάσεων	141
6.7.3	Χαρακτηριστική φορτίου - Πτώση τάσεων	143
6.7.4	Τάση βραχυκυκλώσεως	144
6.8	Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μετασχηματιστών	146
6.8.1	Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μονοφασικών μετασχηματιστών	146
6.8.2	Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων τριφασικών μετασχηματιστών	149
6.8.3	Κατάταξη των τριφασικών μετασχηματιστών σε ομάδες	153
6.9	Παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστών	155
6.10	Αυτομετασχηματιστές	157
6.11	Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετασχηματιστών	159
6.12	Ισχύς, απώλειες και βαθμός αποδόσεως μετασχηματιστών	161
6.13	Βλάβες και επισκευές μετασχηματιστών	163
6.14	Ανακεφαλαίωση	164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος, σύγχρονοι κινητήρες

7.1	Είδη και τύποι κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος	167
7.2	Περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία. Σύγχρονη ταχύτητα	168
7.3	Τυλίγματα μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος	170
7.4	Κατασκευή των σύγχρονων κινητήρων	179
7.5	Αρχή λειτουργίας των σύγχρονων τριφασικών κινητήρων	180
7.6	Εκκίνηση των σύγχρονων κινητήρων	182
7.7	Λειτουργία των σύγχρονων κινητήρων	183
7.8	Χρήση των σύγχρονων κινητήρων	184
7.9	Βλάβες και επισκευή σύγχρονων κινητήρων	186
7.10	Ανακεφαλαίωση	188

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες

8.1	Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	191
8.2	Κατασκευή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	191
8.2.1	Κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα	191
8.2.2	Κινητήρες με δακτυλίδια	194
8.3	Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	196
8.4	Διολίσθηση	197
8.5	Τάση και ένταση του δρομέα	198
8.6	Ροπή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	202
8.7	Ισχύς ασύγχρονου κινητήρα	205

8.8	Τάση λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	207
8.9	Εκκίνηση τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα	208
8.10	Κινητήρες διπλού κλωβού	214
8.11	Κινητήρες με βαθιά αυλάκια	216
8.12	Εκκίνηση κινητήρων με δακτυλίδια	217
8.13	Ρύθμιση της ταχύτητας στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες	219
8.14	Αλλαγή της φοράς περιστροφής	225
8.15	Απώλειες, βαθμός αποδόσεως και συντελεστής ισχύος	226
8.16	Χαρακτηριστικά στοιχεία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	230
8.17	Μεταβολή της τάσεως και της συχνότητας του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως	231
8.18	Χρήσεις των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	232
8.19	Βλάβες και επισκευή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	233
8.20	Ανακεφαλαίωση	235

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες

9.1	Γενικά	239
9.2	Μονοφασικοί κινητήρες αντιστάσεως	240
9.3	Μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή	241
9.4	Μονοφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη	243
9.5	Ισχύς μονοφασικού κινητήρα	244
9.6	Βλάβες και επισκευή ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων	244
9.7	Λειτουργία τριφασικών κινητήρων ως μονοφασικών	246
9.8	Ανακεφαλαίωση	248

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος με συλλέκτη

10.1	Γενικά	249
10.2	Μονοφασικοί κινητήρες σειράς	249
10.3	Κινητήρες Γιουνιβέρσαλ (Universal)	251
10.4	Κινητήρες αντιδράσεως	253
10.5	Βλάβες και επισκευή μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη	256
10.6	Τριφασικοί κινητήρες σειράς χαμηλής και υψηλής τάσεως	258
10.7	Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως, με τροφοδότηση από το στάτη	260
10.8	Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το δρομέα	261
10.9	Βλάβες και επισκευή τριφασικών κινητήρων με συλλέκτη	263
10.10	Ανακεφαλαίωση	263

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

Μετατροπείς – Ανορθωτές

11.1	Γενικά	265
11.2	Ζεύγος κινητήρα - γεννήτριας	265
11.3	Στρεφόμενος μετατροπέας	266
11.4	Ανορθωτικά στοιχεία – Ηλεκτρική βαλβίδα	269
11.5	Ανορθωτικές διατάξεις μονοφασικές	269
11.6	Ανορθωτικές διατάξεις τριφασικές	272
11.7	Ανορθωτές με ημιαγωγούς	274
11.8	Ανορθωτές υδραργύρου. Μονοφασικοί και τριφασικοί	280
11.9	Ανορθωτές υδραργύρου με μεταλλική λυχνία	283
11.10	Ρύθμιση της τάσεως των ανορθωτών υδραργύρου	284
11.11	Ανορθωτές θερμής καθόδου	287

11.12 Χρήσεις των ανορθωτών	288
11.13 Ανακεφαλαίωση	290

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

Συντήρηση ηλεκτρικών μηχανών

12.1 Έννοια και σκοπός της συντηρήσεως	292
12.2 Οδηγίες συντηρήσεως των εξαρτημάτων μηχανής	292
12.3 Πρόγραμμα συντηρήσεως	303

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΤΕΝΙΑΔΟΥ
