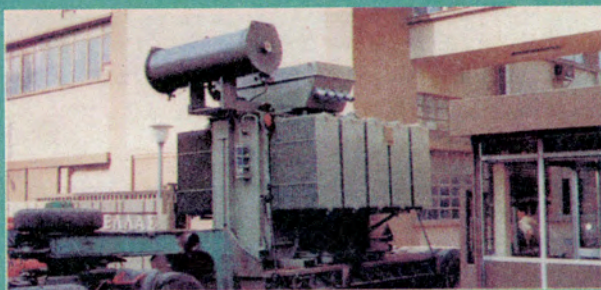


κεφάλαιο I

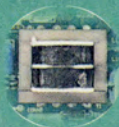
μετασχηματιστές (Μ/Σ)

➡ **Μετασχηματιστές** ονομάζουμε τις ειδικές ηλεκτρικές μηχανές (διατάξεις) που αυξομειώνουν (μεταβάλλουν-μετασχηματίζουν) τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη (τάση-ένταση).

➡ **Σήμερα οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται** σ' όλους σχεδόν τους τομείς της Τεχνολογίας και της παραγωγής, από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και τη βαριά βιομηχανία, μέχρι την Ηλεκτρονική και τις επικοινωνίες.



(α)



(β)

Σχ. 1.1: Από το μετασχηματιστή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλου όγκου και βάρους εκατοντάδων τόνων (α), στο μετασχηματιστή ηλεκτρονικών - τυπωμένων κυκλωμάτων μερικών χιλιοστών (mm) και ελάχιστου βάρους (β).

Ενότητα 1.1.

Χρήσεις και Αρχή λειτουργίας Μετασχηματιστών (Μ/Σ)

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τις τεχνολογικές εφαρμογές στην ανάπτυξη των οποίων βοήθησαν οι Μ/Σ.
2. Να απαριθμείτε τους βασικούς τομείς της παραγωγής στους οποίους υπάρχουν Μ/Σ.
3. Να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Μ/Σ.
4. Να περιγράφετε τα προβλήματα που θα παρουσιαστούν, αν βραχυκυκλωθεί το δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ.

1.1.1. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση

➡ Σημασία των Μ/Σ στη σύγχρονη ζωή

Η ανάγκη **μετασχηματισμού** των ηλεκτρικών μεγεθών φάνηκε από το 1882, με την ανάπτυξη των πρώτων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος τριών αγωγών, σε τάση 220/110V, που λειτουργήσαν ταυτόχρονα στη Ν. Υόρκη και το Λονδίνο.

Με την αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας διαπιστώθηκε ότι, για να συμφέρει οικονομικά η μεταφορά της, έπρεπε να γίνεται σε πολύ υψηλότερη τάση απ' αυτή που χρησιμοποιούσε η κατανάλωση. Στη συνέχεια, βέβαια, έπρεπε να υποβιβάζεται, για να μπορεί να διανεμηθεί ακίνδυνα και να χρησιμοποιηθεί από τους καταναλωτές.

Το πρόβλημα έλυσε η Τεχνική της εποχής εκείνης, μεταβάλλοντας την ηλεκτρική τάση του **συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.)** μ' ένα **ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας**, το οποίο όμως είχε μικρό βαθμό απόδοσης, δηλ. μεγάλες απώλειες ηλ. ισχύος.

➤ Η γεννήτρια δίνει Σ.Ρ. στην επιθυμητή τάση, ενώ ο κινητήρας τροφοδοτείται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Το 1890 γίνονται τα πρώτα πειράματα και στη συνέχεια προωθείται το **εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.)**, το οποίο και επικρατεί τελικά, χάρη κυρίως στο πλεονέκτημά του να **μετασχηματίζεται εύκολα, γρήγορα και οικονομικά**, με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων που ονομάστηκαν **μετασχηματιστές**.

Κύριο χαρακτηριστικό των μετασχηματιστών είναι ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, γι' αυτό λέγονται και **στατοί μετασχηματιστές** (συμβολικά **Μ/Σ**). Με τους Μ/Σ η ανύψωση ή ο υποβιβασμός της τάσης του Ε.Ρ. γίνεται με ελάχιστες απώλειες. Για παράδειγμα, σήμερα κατασκευάζονται μεγάλοι Μ/Σ με βαθμό απόδοσης μέχρι και 99%, δηλ. με απώλεια 1% της ισχύος που μεταβιβάζεται.

Η χρήση τέτοιων Μ/Σ είχε σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία εξέλιξη και εξάπλωση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας Ε.Ρ.

Παράλληλα αναπτύχθηκε και η σχετική τεχνολογία καταναλωτών και συσκευών που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια, με συνεχή βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους. Αυτό γιατί, όπου χρειαζόμαστε διαφορετική τάση ή ένταση ρεύματος, ο Μ/Σ δίνει μια απλή και οικονομική λύση.

Χάρη λοιπόν στους Μ/Σ, το εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται πια στα δίκτυα ηλεκτροδότησης των καταναλωτών όλων των χωρών.

Έτσι αναπτύχθηκαν σταδιακά οι εφαρμογές του εναλλασσόμενου ρεύματος και μαζί μ' αυτές όλοι σχεδόν οι τομείς της Τεχνολογίας και Παραγωγής.

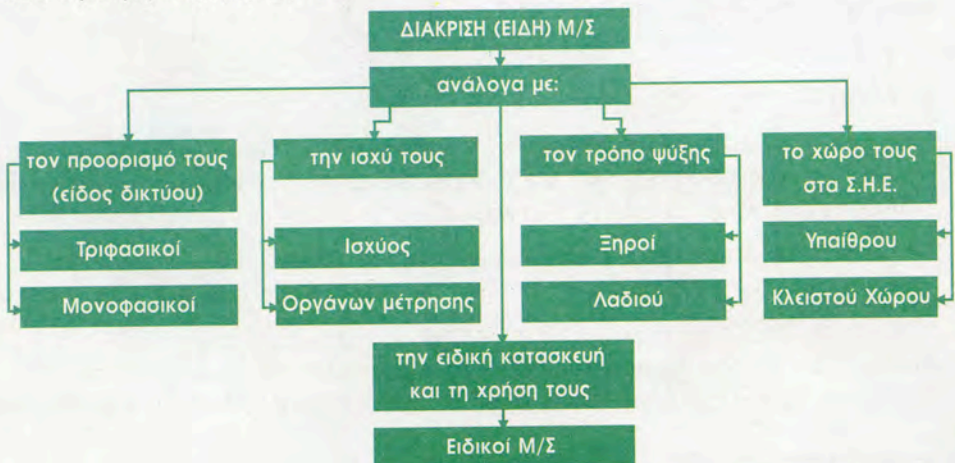
Το συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.) χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές εφαρμογές και σε ιδιαίτερες περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές μετατρέπουμε το Ε.Ρ. του δικτύου σε Σ.Ρ., με τη βοήθεια **ανορθωτών**.

➡ Σημειώνουμε, τέλος, ότι η τεχνολογία και τεχνογνωσία των Μ/Σ βοήθησε και στην κατασκευή **ειδικών μετασχηματιστών Σ.Ρ.**, όπως είναι ο γνωστός σε όλους μας **πολλαπλασιαστής** των αυτοκινήτων.

Ι.Ι.2. Είδη και χρήσεις Μ/Σ

Στην εποχή μας οι Μ/Σ κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη, τύπους και παραλλαγές και χρησιμοποιούνται σ' όλους σχεδόν τους τομείς δραστηριότητας του ανθρώπου. **Από τα συστήματα ηλ. ενέργειας και τη βαριά βιομηχανία** (π.χ. Μ/Σ διανομής), τη **βιοτεχνία** (π.χ. Μ/Σ ηλεκτροσυγκολλήσεων, φόρτισης συσσωρευτών κ.α.), το **γραφείο** (π.χ. Μ/Σ ηλεκτρονικών υπολογιστών), τις **συγκοινωνίες** και **μεταφορές** (π.χ. Μ/Σ ηλ. έλξης), το **σπίτι** (π.χ. Μ/Σ ηλ. κουδουνιού, ηλεκτρονικών συσκευών κ.α.), **μέχρι τις τηλεπικοινωνίες** (π.χ. Μ/Σ τροφοδοτικού κινητού τηλεφώνου).

➤ Στο βιβλίο αυτό θα εξετάσουμε τους Μ/Σ ηλεκτροτεχνικών εφαρμογών, που μπορεί να είναι γενικά **Μ/Σ ανύψωσης ή υποβίβασμού της τάσης** του Ε.Ρ., αναφέροντας πρώτα με τη βοήθεια ενός διαγράμματος τις κυριότερες διακρίσεις τους (Δ.1.1) και στη συνέχεια τις επιμέρους χρήσεις τους.



Δ.1.1.

Οι **τριφασικοί Μ/Σ** χρησιμοποιούνται σε τριφασικά δίκτυα, ενώ οι **μονοφασικοί** σε μονοφασικά δίκτυα (οικιακές συσκευές κ.λπ.).

Οι **Μ/Σ ισχύος** κατασκευάζονται για να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ηλ. ισχύος, ενώ οι **Μ/Σ οργάνων μέτρησης** για πολύ μικρές (με σκοπό να υποβιβάζουν κατά ένα γνωστό λόγο την τάση ή την ένταση του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε).

Οι **Ξηροί Μ/Σ** χρησιμοποιούνται για μικρές σχετικά ισχείς και η ψύξη τους γίνεται κατευθείαν από τον αέρα, ενώ οι **Μ/Σ λαδιού** χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες ισχείς και η ψύξη τους πετυχαίνεται με κατάλληλο ορυκτέλαιο, μέσα στο οποίο βρίσκονται.

Οι **Μ/Σ υπαίθρου** τοποθετούνται στις υπαίθριες εγκαταστάσεις (υπαίθριους υποσταθμούς), ενώ οι **Μ/Σ κλειστού χώρου** μέσα σε κλειστούς χώρους.

🔌 Τέλος, κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται και **ειδικοί Μ/Σ**, όπως π.χ. είναι:

- οι **Μ/Σ 1:1**,
- οι **Μ/Σ ηλεκτρικής έλξης**,
- οι **αυτομετασχηματιστές** και
- οι **Μ/Σ ηλεκτροσυγκολήσεων**.

1.1.3. Λειτουργία μετασχηματιστών

1) Γενικά

Κάθε μετασχηματιστής (Μ/Σ) αποτελείται από:

- **έναν πυρήνα**, που αποτελεί το **μαγνητικό κύκλωμα** και
- **δύο τυλίγματα**, το τύλιγμα **υψηλής τάσης (Υ.Τ.)** και το τύλιγμα **χαμηλής τάσης (Χ.Τ.)**.

Τα δύο τυλίγματα ενός Μ/Σ λέγονται **πρωτεύον** και **δευτερεύον**.

Συγκεκριμένα **πρωτεύον** λέγεται το τύλιγμα που **συνδέεται με την ηλ. πηγή** (δίκτυο ηλεκτροδότησης) και **δευτερεύον** το τύλιγμα που μας **δίνει την μετασχηματισμένη τάση**. Έτσι, π.χ. στην περίπτωση των Μ/Σ υποβιβασμού τάσης, πρωτεύον είναι το τύλιγμα της Υ.Τ. και δευτερεύον το τύλιγμα Χ.Τ.

2) Αρχή λειτουργίας

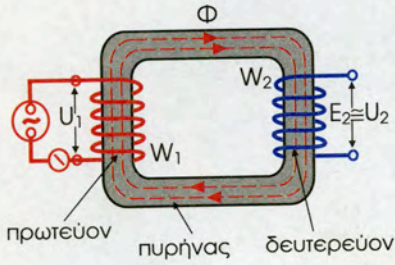
Στο παρακάτω σχήμα 1.2α φαίνεται ένας απλός μονοφασικός (1~) Μ/Σ, ενώ στο σχήμα 1.2β ένας επίσης 1~ Μ/Σ, στον οποίο για λόγους απλότητας θεωρούμε ότι τυλίγματα υπάρχουν μόνο στον ένα **κορμό** του πυρήνα.

➤ Στην πραγματικότητα σε κάθε κορμό του Μ/Σ, όπως θα δούμε στην επόμενη ενότητα, τυλίγματα (Υ.Τ. και Χ.Τ.) τοποθετούνται και στους δυο **κορμούς** (κάθετα μέρη)* του πυρήνα.

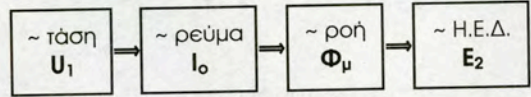
Στον Μ/Σ αυτό (σχ. 1.2β) **πρωτεύον** είναι το τύλιγμα U-V (Υ.Τ.), γιατί αυτό τροφοδοτείται από το δίκτυο, π.χ. απ' τους ζυγούς R και M_p , με εναλλασσόμενη τάση (U,) και

* Στα οριζόντια μέρη του πυρήνα, που λέγονται ζυγώματα δεν τοποθετούνται τυλίγματα.

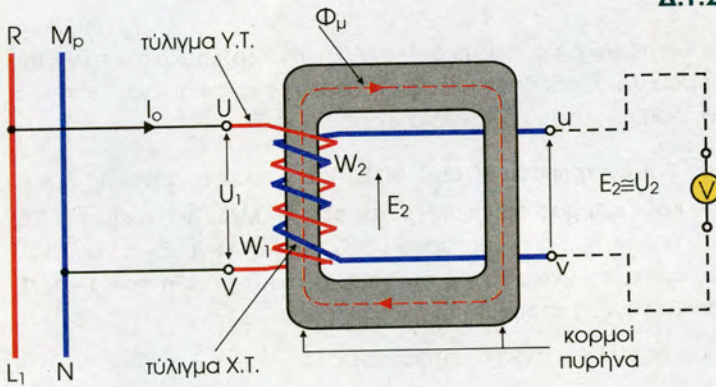
δευτερεύον το τύλιγμα υ-ν (Χ.Τ.), στο οποίο δεν έχει συνδεθεί κατανάλωση (φορτίο), παρά μόνο ένα βολτόμετρο.



(α)



Δ.1.2.



(β)

Σχ. 1.2: Αρχή λειτουργίας $I \sim M/\Sigma$ - Λειτουργία χωρίς φορτίο.

Η **εναλλασσόμενη τάση U_1** προκαλεί στο πρωτεύον μια εναλλασσόμενη ένταση ρεύματος (π.χ. για τη λειτουργία χωρίς φορτίο την I_0).

Η **εναλλασσόμενη ένταση ρεύματος I_0** δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο (Μ.Π.) με **εναλλασσόμενη** (μεταβαλλόμενη) **μαγνητική ροή Φ_μ** .

Η μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή Φ_μ κλείνει κύκλωμα μέσα από τον πυρήνα και διαπερνά ("τέμνει") τις σπείρες του δευτερεύοντος.

Έτσι, σε κάθε σπείρα του δευτερεύοντος αναπτύσσεται μια **ηλεκτρεγερτική δύναμη (Η.Ε.Δ.) από επαγωγή**, που είναι κι αυτή εναλλασσόμενη και μάλιστα της ίδιας συχνότητας μ' αυτή των U, I_0 και Φ_μ που την προκάλεσαν.

Επειδή οι σπείρες του δευτερεύοντος είναι συνδεδεμένες σε σειρά, οι Η.Ε.Δ. που αναπτύσσονται σ' αυτές αθροίζονται. Άρα, από το δευτερεύον τύλιγμα παίρνουμε τελικά μια συνολική **Η.Ε.Δ. (E_2)**, την οποία μπορούμε να μετρήσουμε μ' ένα βολτόμετρο.

Σημειώσεις

1. Ο όρος “**ηλεκτρεγερτική δύναμη (Η.Ε.Δ.)**”, δεν έχει καμιά σχέση με τη μηχανική δύναμη και, σημαίνει ουσιαστικά μια “**εσωτερική ηλεκτρική τάση**”, δηλ. ηλ. τάση που μετράμε με “ανοικτό κύκλωμα”.

2. Η ενεργός τιμή της Η.Ε.Δ. E_2 , δηλ. κατά προσέγγιση της τάσης U_2 , που μας δίνει το δευτερεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ είναι ανάλογη:

- μιας κατασκευαστικής σταθεράς **(4,44)**,
- της συχνότητας του δικτύου ηλεκτροδότησης (**f**), σε Hz,
- του αριθμού των σπειρών του δευτερεύοντος (**W_2**) και
- της **χρήσιμης μαγνητικής ροής (Φ_μ)** του πυρήνα του Μ/Σ, σε V·s.

Επομένως: $E_2 = K \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi_\mu$, $E_2 = 4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi_\mu$

Η αρχή λειτουργίας του Μ/Σ φαίνεται παραστατικά και στο διάγραμμα **Δ.1.2**, πάνω απ’ το σχήμα 1.2β.

Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και ο πραγματικός 1~ Μ/Σ (σχ. 1.6β), αρκεί τα τυλίγματα Υ.Τ. και Χ.Τ. κάθε κορμού να συνδεθούν μεταξύ τους στη σειρά και έτσι, ώστε να δημιουργούν μαγνητική ροή σ’ αυτόν με την ίδια φορά.

➤ Όμοια λειτουργούν και οι **τριφασικοί (3~) Μ/Σ**, που έχουν πυρήνα με τρεις όμοιους κορμούς, αφού **κάθε κορμός συμπεριφέρεται σαν 1~ Μ/Σ** (δες σχήματα 1.8 και 1.9). Για το λόγο αυτό παρακάτω, όπου θα ασχοληθούμε με τη λειτουργία των Μ/Σ, θα εξετάσουμε 1~ Μ/Σ, **αρκεί να γνωρίζουμε ότι τα ηλεκτρικά μεγέθη του 1~ Μ/Σ είναι τα αντίστοιχα φασικά μεγέθη στους 3~ Μ/Σ.**

Σε κάθε Μ/Σ διακρίνουμε δύο λειτουργικές καταστάσεις:

- τη **λειτουργία χωρίς φορτίο** (μεταβατικό στάδιο), στην οποία η τάση του δευτερεύοντος είναι ίση με την Η.Ε.Δ. που αναπτύσσεται σ’ αυτό, δηλ. είναι $U_2 = E_2$ και
- τη **λειτουργία με φορτίο** (κανονική λειτουργία), **στην οποία η τάση U_2 είναι γενικά μικρότερη απ’ την E_2 λόγω της πτώσης τάσης στα τυλίγματα του Μ/Σ.**

3) Λειτουργία Μ/Σ χωρίς φορτίο - Σχέση μεταφοράς

Λέμε ότι ένας Μ/Σ λειτουργεί χωρίς φορτίο (ή στο κενό) όταν το δευτερεύον του δεν τροφοδοτεί κάποια κατανάλωση, δηλ. είναι ανοικτό, όπως π.χ. στον Μ/Σ, του σχήματος 1.2.

Στην περίπτωση αυτή **ο λόγος των τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι ίσος με το λόγο των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος**, δηλ. είναι:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (1.1)$$

Ο λόγος (πηλίκο) των σπειρών του πρωτεύοντος προς τις σπείρες του δευτερεύοντος (W_1/W_2) λέγεται **σχέση μεταφοράς K** του Μ/Σ. Άρα:

$$K = \frac{W_1}{W_2} \quad (1.2)$$

Από την παραπάνω σχέση (1.1) μπορούμε, καθορίζοντας τον αριθμό των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, δηλ. τη σχέση μεταφοράς K , να παίρνουμε από το δευτερεύον τύλιγμα τάση μεγαλύτερη ή μικρότερη απ' αυτή του πρωτεύοντος. Μ' άλλα λόγια μπορούμε ν' ανυψώνουμε ή να υποβιβάζουμε την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Παράδειγμα

Ένας 1~ Μ/Σ έχει στο πρωτεύον τύλιγμα $W_1=5.000$ σπείρες και στο δευτερεύον $W_2=500$ σπείρες. Αν τροφοδοτηθεί με τάση $U_1=200V$, τι τάση θα μας δώσει στο δευτερεύον του (στη λειτουργία χωρίς φορτίο); Τι είδους είναι ο Μ/Σ;

Λύση

$$\text{Είναι: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \Rightarrow U_2 = U_1 \cdot \frac{W_2}{W_1} = 200 \cdot \frac{500}{5.000} = \frac{1.000}{50} \Rightarrow U_2 = 20V$$

ή

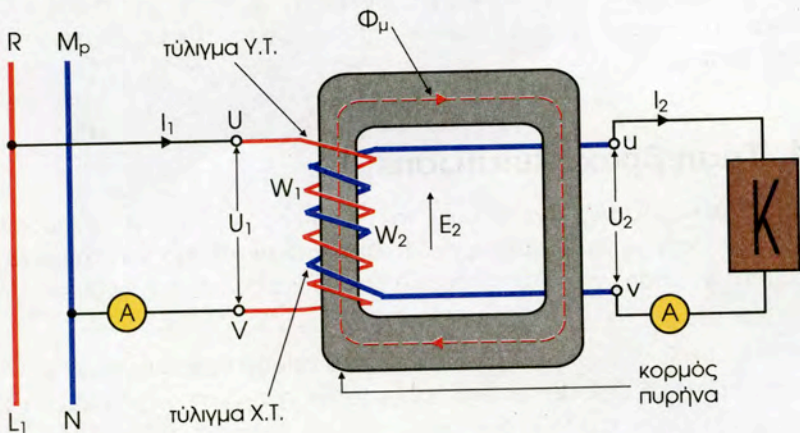
$$\frac{U_1}{U_2} = K \Rightarrow U_2 = \frac{U_1}{K} \Rightarrow U_2 = \frac{200}{5.000/500} = \frac{200}{10} \Rightarrow U_2 = 20V$$

Ο Μ/Σ αυτός είναι **Μ/Σ υποβιβασμού** της **τάσης**, δηλ. το πρωτεύον είναι τύλιγμα Υ.Τ. και το δευτερεύον είναι τύλιγμα Χ.Τ.

4) Λειτουργία Μ/Σ με φορτίο - Σχέση μεταξύ τάσεων και εντάσεων

Λέμε ότι ένας Μ/Σ λειτουργεί **με φορτίο** όταν το δευτερεύον του τροφοδοτεί έναν καταναλωτή K (σχ. 1.3) ή τους ζυγούς ενός δικτύου.

Στη περίπτωση αυτή **την ισχύ που απορροφά ο καταναλωτής από το δευτερεύον τύλιγμα, μαζί με τις απώλειες του Μ/Σ, τη δίνει το δίκτυο που τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα**, το οποίο για το λόγο αυτό απορροφά και μεγαλύτερη ένταση ρεύματος (από I_0 απορροφά τώρα I_1).



Σχ. 1.3: Λειτουργία Μ/Σ με φορτίο.

Αν μετρήσουμε τις εντάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος (σχ. 1.3), θα διαπιστώσουμε ότι προσεγγιστικά ισχύει η σχέση:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} \quad \text{ή} \quad I_2 = K \cdot I_1 \quad (1.3)$$

Επίσης, κατά προσέγγιση ισχύει και στη λειτουργία με φορτίο η σχέση που είδαμε στη λειτουργία χωρίς φορτίο, δηλ. η

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad \text{ή} \quad U_2 = U_1 / K \quad (1.4)$$

Από τις 1.3 και 1.4, εξισώνοντας τα πρώτα μέλη, προκύπτει τελικά:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{ή} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} \quad (1.5)$$

Απ' την τελευταία αυτή σχέση (1.5) συμπεραίνουμε ότι:

α. αν ένας Μ/Σ ανυψώνει την τάση στο δευτερεύον, θα υποβιβάζει με την ίδια περίπου αναλογία την ένταση που κυκλοφορεί σ' αυτό και

β. το τύλιγμα Χ.Τ. και μεγάλης έντασης έχει μικρό αριθμό σπειρών και αγωγό μεγάλης διατομής, ενώ το τύλιγμα Υ.Τ. και χαμηλής έντασης έχει μεγάλο αριθμό σπειρών και αγωγό μικρής διατομής.

Παράδειγμα

Η ένταση του ρεύματος στο πρωτεύον ενός 1~ Μ/Σ είναι 2Α και η τάση του $U_1=220\text{V}$. Πόση είναι η ένταση στο δευτερεύον, αν αυτό δίνει τάση $U_2=44\text{V}$;

Λύση

Γνωρίζουμε ότι: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 2 \cdot \frac{220}{44} = 2 \cdot 5 = 10\text{A}$

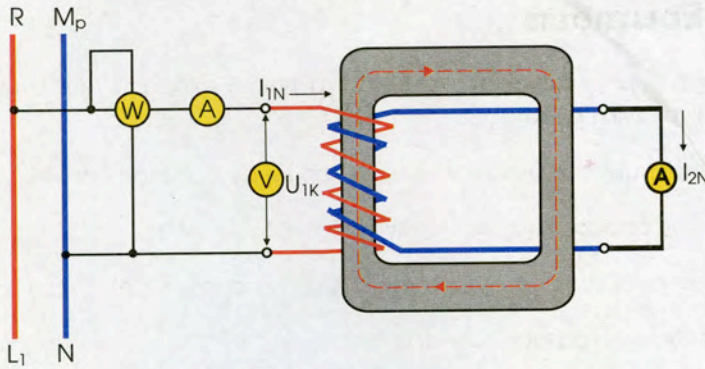
Επομένως, ο Μ/Σ αυτός έχει σχέση μεταφοράς $K=U_1/U_2=5$, δηλ., όταν η τάση στο δευτερεύον του μειώνεται κατά 5 φορές, σε σχέση με την U_1 , η ένταση ρεύματος στο δευτερεύον αυξάνεται κατά 5 φορές, σε σχέση με την ένταση του πρωτεύοντος ($I_2=K \cdot I_1=5 \cdot 2=10\text{A}$).

1.1.4. Τάση βραχυκύκλωσης

Τάση βραχυκύκλωσης Μ/Σ ονομάζουμε την τάση που πρέπει να εφαρμοσθεί στο πρωτεύον του, ώστε, με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον τύλιγμα, να έχουμε τα κανονικά ρεύματα φόρτισης, τόσο στο πρωτεύον όσο και στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ.

Η τάση βραχυκύκλωσης (U_{bp} ή U_{IK}) μετριέται στο πείραμα βραχυκύκλωσης του Μ/Σ (σχ. 1.4) και πρακτικά εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος του Μ/Σ, δηλ. είναι:

$$u_k \% = \frac{U_{IK}}{U_{IN}} \cdot 100 \quad (1.6)$$



Σχ.Ι.4: Πείραμα βραχυκύκλωσης Μ/Σ.

Σημείωση

Αν γνωρίζουμε την $u_k\%$, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανή ένταση ρεύματος ενός βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ, όταν το πρωτεύον του τροφοδοτείται με την κανονική του τάση, απ' τη σχέση:

$$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_k\%} \cdot 100 \quad (1.6')$$

Παράδειγμα

Στο πείραμα βραχυκύκλωσης ενός Μ/Σ 6.000/400V, για να έχουμε τα κανονικά ρεύματα φόρτισης 12/180A, χρειάστηκε να τροφοδοτήσουμε το πρωτεύον του με τάση 240V.

α. Πόση είναι η τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Σ;

β. Σε ποιά τιμή μπορεί να φτάσει η ένταση βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον του, με την κανονική τάση τροφοδότησης στο πρωτεύον;

Λύση

Είναι: $U_{1N}=6.000V$, $U_{1K}=240V$ και $I_{2N}=180A$

Άρα:

$$\alpha. u_k\% = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100 = \frac{240}{6.000} \cdot 100 = \frac{24.000}{6.000} = 4 \quad (\text{ή } u_k=4\%)$$

$$\beta. I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_k\%} \cdot 100 = \frac{180 \cdot 100}{4} = \frac{18.000}{4} \Rightarrow I_{2K} = 4.500A$$

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση βραχυκυκλώματος ενός Μ/Σ αναπτύσσονται πάρα πολύ μεγάλες εντάσεις ρεύματος (της τάξης των χιλιάδων αμπερ), που είναι επικίνδυνες, τόσο για τον ίδιο το Μ/Σ (καταστροφή μονώσεων και τυλιγμάτων) όσο και για το δίκτυο που τον τροφοδοτεί.

Τα βραχυκυκλώματα στους Μ/Σ είναι γενικά επικίνδυνα (και γίνονται περισσότερο επικίνδυνα όσο μικρότερη είναι η τάση βραχυκύκλωσης), εκτός από την περίπτωση των **ηλεκτροσυγκολλήσεων** στην οποία θέλουμε μεγάλες εντάσεις ρεύματος. Στην περίπτωση αυτή ο Μ/Σ λειτουργεί με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον τύλιγμα, δηλ. το ρεύμα εργασίας τους είναι ουσιαστικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

1.1.5. Ερωτήσεις

1. Τι ονομάζουμε μετασχηματιστές (Μ/Σ) και ποια η επίδρασή τους στην οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη;
2. Στην ανάπτυξη ποιών τεχνολογικών εφαρμογών βοήθησαν οι Μ/Σ;
3. Σε ποιούς βασικούς τομείς παραγωγής υπάρχουν Μ/Σ;
4. Πού (και πώς) χρησιμοποιούνται οι Μ/Σ στην παραγωγή ηλ. ενέργειας;
5. Ποια τα κυριότερα είδη των Μ/Σ;
6. Από τι αποτελείται βασικά κάθε Μ/Σ; Τι λέμε πρωτεύον και τι δευτερεύον;
7. Πώς λειτουργεί με λίγα λόγια ένας (1~) Μ/Σ;
8. Πότε λέμε ότι ένας Μ/Σ λειτουργεί χωρίς φορτίο και πότε με φορτίο;
9. Ποια η σχέση μεταξύ των τάσεων, των εντάσεων και των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ενός Μ/Σ και πώς προκύπτει αυτή;
10. Τι ονομάζουμε σχέση μεταφοράς ενός Μ/Σ και τι δείχνει;
11. Τι ονομάζουμε τάση βραχυκύκλωσης και σε τι μας χρησιμεύει;
12. Ποια προβλήματα θα παρουσιαστούν, αν βραχυκυκλωθεί το δευτερεύον ενός Μ/Σ;
13. Σε ποια περίπτωση ένας Μ/Σ λειτουργεί ουσιαστικά με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον του τύλιγμα και γιατί;
14. Στο πείραμα βραχυκύκλωσης ενός Μ/Σ 220/9.900V “φωτεινών επιγραφών”, για να έχουμε τα κανονικά ρεύματα φόρτισης 2,25Α/50mA χρειάστηκε να τροφοδοτήσουμε το πρωτεύον του τύλιγμα με τάση 11V.

Ποια είναι **α.** η σχέση μεταφοράς του Μ/Σ και **β.** η τάση βραχυκύκλωσης; **(ΑΠ. $K=1/45$, $u_k=5\%$)**
15. Το πρωτεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ έχει 300 σπείρες και το δευτερεύον 1.500 σπείρες. Αν η τάση του πρωτεύοντος είναι 12V και διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως 2Α, πόση είναι η τάση και η ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον; **(ΑΠ. $U_2=60V$, $I_2=0.4A$)**

Ποιο πηνίο έχει σύρμα με αγωγό μεγαλύτερης διατομής;

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

16. Σήμερα, στα δίκτυα ηλεκτροδότησης όλων των χωρών χρησιμοποιείται:
α. το συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.).
β. το εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.).
γ. το ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας.
δ. ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) και όλα τα παραπάνω.

17. Ανάλογα με τον προορισμό τους οι Μ/Σ διακρίνονται σε:
- ισχύος και οργάνων μέτρησης.
 - τριφασικούς και μονοφασικούς.
 - αυτομετασχηματιστές και ηλ. έλξης.
 - ξηρούς, λαδιού και συγκολλήσεων.
18. Μ/Σ με 300 σπείρες στο πρωτεύον και 60 στο δευτερεύον, όταν τροφοδοτείται από δίκτυο 220V, δίνει στο δευτερεύον του:
- τάση 44V.
 - τάση 22V.
 - ένταση 20A.
 - ένταση 4A.
19. Στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούμε Μ/Σ ανύψωσης της τάσης, π.χ. από 22kV σε 220kV, με σκοπό να μειώσουμε το ρεύμα δευτερεύοντος (στη γραμμή μεταφοράς) κατά:
- 2 φορές.
 - 5 φορές.
 - 10 φορές.
 - 20 φορές.
20. Ο λόγος (πηλίκο) των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος ενός Μ/Σ λέγεται:
- τάση βραχυκύκλωσης.
 - ρεύμα βραχυκύκλωσης.
 - σχέση μεταφοράς.
 - σχέση μεταξύ U και I.
21. Η ενεργός τιμή της Η.Ε.Δ. (E_2) του δευτερεύοντος ενός μονοφασικού Μ/Σ δίνεται από τη σχέση:
- $E_2 = K \cdot U_2$.
 - $E_2 = K \cdot U_1$.
 - $E_2 = K \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi_m$.
 - $E_2 = K \cdot f \cdot W_2$.
22. Μ/Σ με 2000 σπείρες στο πρωτεύον και 80 σπείρες στο δευτερεύον, όταν τροφοδοτεί καταναλωτή με ρεύμα έντασης 50A, απορροφά από το δίκτυο:
- ρεύμα 1A.
 - ρεύμα 2A.
 - τάση 220V.
 - ισχύ 2000W.

Ενότητα 1.2.

Κατασκευαστικά στοιχεία, Συνδεσμολογίες και Τυποποίηση Μ/Σ

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του Μ/Σ για το ηλεκτρικό και μαγνητικό κύκλωμα.
2. Να αιτιολογείτε τη σημασία της χρήσης νέων υλικών στους Μ/Σ και τη θετική επίδρασή τους στο περιβάλλον.
3. Να αιτιολογείτε τη σχέση βάρους-ισχύος στους Μ/Σ.
4. Να αναφέρετε τις τυπικές τάσεις λειτουργίας των Μ/Σ και τον τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.
5. Να αιτιολογείτε την τυποποίηση των ακροδεκτών για τους μονοφασικούς και τους τριφασικούς Μ/Σ.
6. Να αναφέρετε τις χρήσεις των Μ/Σ 1:1.

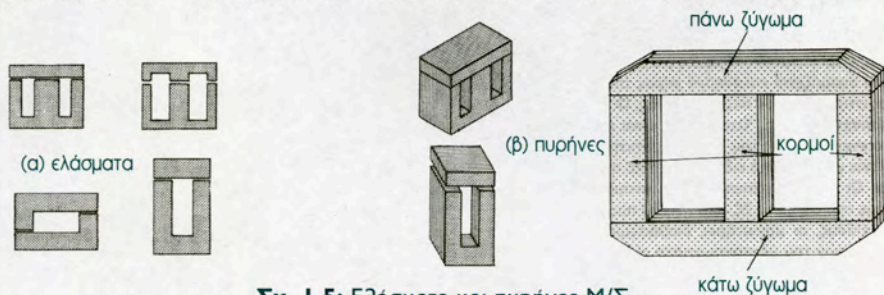
1.2.1. Κατασκευή Μ/Σ

1) Γενικά

Ο πυρήνας του Μ/Σ, κατασκευάζεται από πολλά σιδηρο-μαγνητικά ελάσματα, πάχους 0,3 ως 0,5mm, με επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι, για τον περιορισμό των **δινωρρευμάτων** και των απωλειών του μαγνητικού κυκλώματος.

Τα μαγνητικά ελάσματα κόβονται σε διάφορα σχήματα, π.χ. , , , κ.α. (σχ. 1.5α), τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους και πολλά μαζί, το ένα δίπλα στο άλλο, συγκροτούν τους **πυρήνες** των Μ/Σ (σχ. 1.5β).

Τα κάθετα μέρη του πυρήνα λέγονται **κορμοί** και τα οριζόντια **ζυγώματα**.



Σχ. 1.5: Ελάσματα και πυρήνες Μ/Σ.

Τα **τυλίγματα** κατασκευάζονται από μονωμένους χάλκινους αγωγούς, που τυλίγονται σπειρωτά, σε πολλές στρώσεις, πάνω σε ειδικές φόρμες (καλούπια) και στη συνέχεια **τοποθετούνται στους κορμούς**.

Το **τύλιγμα Υ.Τ.** αποτελείται από **πολλές σπείρες** κυκλικής διατομής, ενώ το **τύλιγμα Χ.Τ.** αποτελείται από **λίγες σπείρες μεγαλύτερης**, τετραγωνικής ή ορθογωνικής **διατομής**. Μεταξύ τους, όπως και από στρώση σε στρώση, παρεμβάλλεται κατάλληλη μόνωση (π.χ. μονωτικό χαρτί, μίκα κ.α.) ανάλογα με τις τάσεις τους.

Τα τελευταία χρόνια για την κατασκευή των μεγάλων, κυρίως, Μ/Σ χρησιμοποιούνται βελτιωμένες πρώτες ύλες, όπως:

- μαγνητική λαμαρίνα, πάχους 0,23mm, για τον πυρήνα,
- φύλλα χαλκού για τα τυλίγματα Χ.Τ.,
- ειδική μόνωση από πρεσπάν και κόλλα, μεταξύ των στρώσεων κ.α.

Έτσι, έχουμε τα παρακάτω **πλεονεκτήματα**:

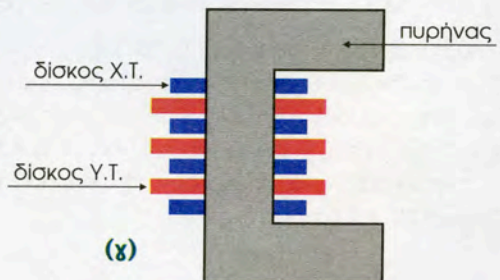
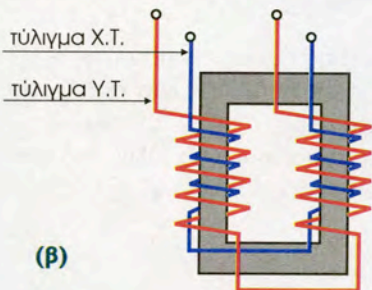
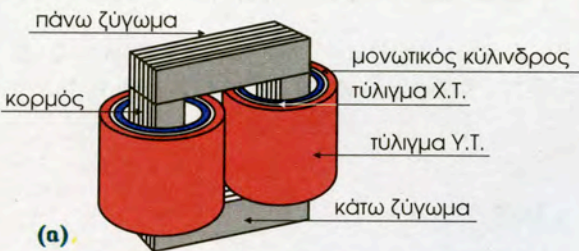
- α. τέλειες συνθήκες μόνωσης και αντοχής σε βραχυκυκλώματα,
- β. καλή θερμική συμπεριφορά και ελάχιστες απώλειες και
- γ. μικρότερο όγκο, άρα και βάρος.

2) Κατασκευή μονοφασικών (1~) Μ/Σ

Οι 1~ Μ/Σ, ανάλογα με τη μορφή του μαγνητικού τους κυκλώματος και την τοποθέτηση των τυλιγμάτων στους κορμούς, διακρίνονται γενικά σε:

Μ/Σ τύπου πυρήνα και Μ/Σ τύπου μανδύα.

➤ Στους Μ/Σ τύπου πυρήνα το μαγνητικό κύκλωμα κατασκευάζεται συνήθως από ελάσματα **π** "πι" και **γ** "γίγτα", που σχηματίζουν την κλειστή διαδρομή **π**, ενώ τα τυλίγματα τοποθετούνται και στους δύο κορμούς (σχ. 1.6α και 1.6β).



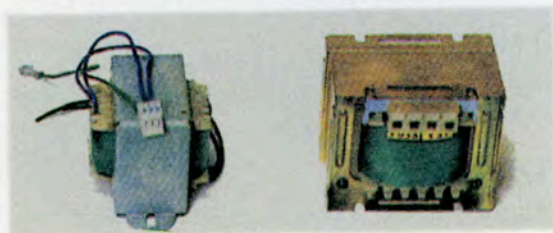
Σχ. 1.6: 1~Μ/Σ τύπου πυρήνα και κατασκευή του.

Σε κάθε κορμό υπάρχει ένα **τυλίγμα Χ.Τ.** και, πάνω απ' αυτό, ένα **τυλίγμα Υ.Τ.**, με τη μορφή κυλίνδρων (**κυλινδρικά ή συγκεντρικά τυλίγματα**), μονωμένων μεταξύ τους και ως προς τον πυρήνα. Τα τυλίγματα Χ.Τ. και Υ.Τ. των δύο κορμών συνδέονται σε σειρά έτσι, ώστε να μείνουν ελεύθερα **δύο άκρα** για τη **Χ.Τ.** και **δύο** για την **Υ.Τ.** (σχ. 1.6β).

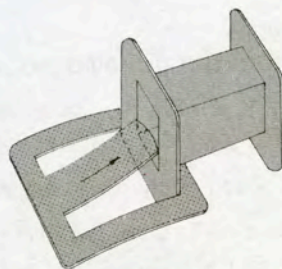
Άλλος τρόπος κατασκευής των τυλιγμάτων είναι σε **δίσκους** (σχ. 1.6γ). Στην περίπτωση αυτή κάθε τυλίγμα αποτελείται από πολλούς δίσκους, που τοποθετούνται εναλλάξ και συνδέονται μεταξύ τους -για κάθε τάση- στη σειρά, ώστε να έχουμε και πάλι τέσσερα ελεύθερα άκρα.

➤ Στους Μ/Σ τύπου **μανδύα** ο **πυρήνας**, δηλ. το μαγνητικό κύκλωμα, **έχει τρεις κορμούς**, από τους οποίους ο **μεσαίος έχει διπλάσια διατομή** απ' τους ακραίους. Σ' αυτόν τοποθετούνται τα τυλίγματα, που μπορεί να είναι κι εδώ διαμορφωμένα σε κυλινδρικούς ή σε δίσκους.

Οι δύο ακραίοι κορμοί χρησιμεύουν μόνο για να κλείνουν το μαγνητικό κύκλωμα, δηλ. περιβάλλουν τα τυλίγματα σαν **μανδύας**.



(α)



(β)

Σχ. 1.7: 1~ Μ/Σ τύπου **μανδύα** και κατασκευή του.

Στους μικρούς 1~ Μ/Σ **μανδύα**, κάθε έλασμα κόβεται σ' ένα κομμάτι σχήματος **Ш**, δηλ. με το μεσαίο κορμό κομμένο, ώστε τα τυλίγματα να τοποθετούνται σ' αυτόν όπως δείχνει το σχήμα 1.7β.

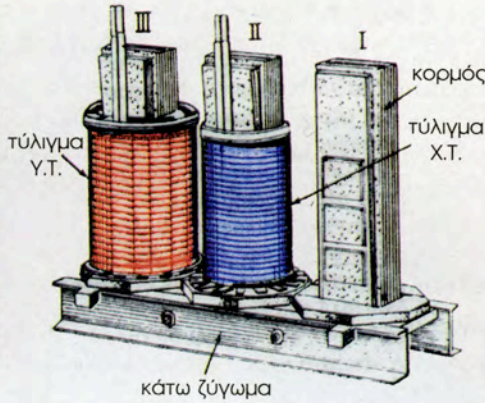
3) Κατασκευή τριφασικών (3~) Μ/Σ

Οι 3~ Μ/Σ κατασκευάζονται κυρίως σαν Μ/Σ τύπου **πυρήνα** και αποτελούνται, όπως και οι 1~ Μ/Σ, από τον πυρήνα και τα τυλίγματα.

Ο **πυρήνας των 3~ Μ/Σ** έχει την ίδια κατασκευή και το ίδιο δέσιμο, μ' αυτόν των 1~ Μ/Σ, με τη διαφορά ότι τα ελάσματα, σχήματος **Ш**, αποτελούνται τώρα από **τρεις όμοιους κορμούς** (σχ. 1.8α). Πριν τοποθετηθεί στη θέση του το πάνω ζύγωμα, τοποθετούνται στους κορμούς τα τυλίγματα. Σε κάθε κορμό **μπαίνουν δύο τυλίγματα, ένα Χ.Τ. και ένα Υ.Τ. και αποτελούν τη μία φάση του 3~ Μ/Σ**, όπως φαίνεται στον κορμό III του Μ/Σ του σχήματος 1.8β.



(α)



(β)



(γ)

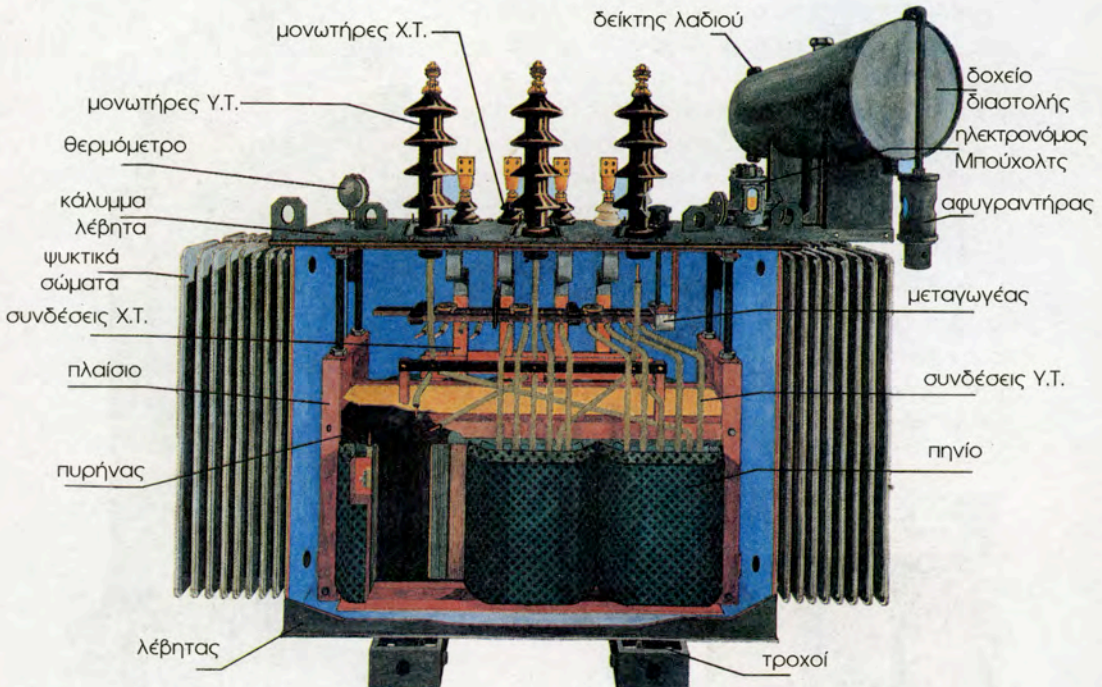
Σχ. 1.8: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες 3~Μ/Σ.

Στο σχήμα 1.8γ φαίνεται έτοιμο, **το ενεργό μέρος**, δηλ. ο πυρήνας και τα τυλίγματα, 3~ Μ/Σ διανομής.

4) Τεχνολογία Μ/Σ

Τα τυλίγματα των Μ/Σ μετά την τοποθέτησή τους στους πυρήνες, βερνικώνονται και στη συνέχεια ξηραίνονται σε ειδικούς φούρνους (στους 100+120°C), ώστε να απομακρύνεται και η ελάχιστη υγρασία που μπορεί να έχουν τα μονωτικά.

Μετασχηματιστής διανομής



Σχ. 1.9: Μ/Σ λαδιού.

Έτσι πετυχαίνουμε καλύτερη **μόνωση**, αλλά και μεγαλύτερη **δυσκαμψία**, που ελαττώνει τις δονήσεις των αγωγών και το μαγνητικό θόρυβο στη λειτουργία του Μ/Σ.

Στους **ξηρούς Μ/Σ**, που κατασκευάζονται για Χ.Τ. και μικρές σχετικά ισχύεις, το **ενεργό μέρος** είναι εκτεθειμένο στον αέρα, ενώ στους **Μ/Σ λαδιού** που λειτουργούν στα δίκτυα Χ.Τ., τοποθετείται μέσα σε **μεταλλικό δοχείο** (λέβητας Μ/Σ) γεμάτο με μονωτικό ορυκτέλαιο, που περιλαμβάνει σωλήνες ψύξης, δοχείο διαστολής κ.α. (σχ. 1.9).

➡ Η προηγμένη τεχνολογία του ξηρού Μ/Σ

Ο ξηρός **μετασχηματιστής** με μόνωση **χυτορητίνης** (Μ/Χ) είναι σήμερα η καταλληλότερη λύση εκεί που η διανομή της ενέργειας επιβάλλει απόλυτη ασφάλεια και φιλικότητα προς το περιβάλλον.

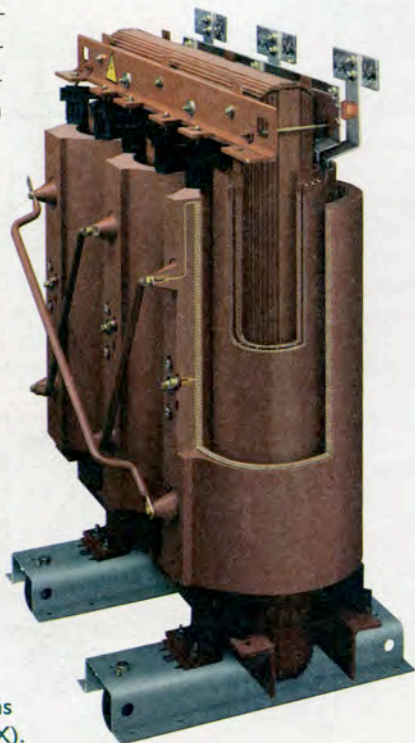
Ο Μ/Χ απέναντι στον συμβατικό Μετασχηματιστή (Μ/Σ) λαδιού παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Η ειδική κατασκευή του, επιτρέπει την εγκατάστασή του και την ακίνδυνη λειτουργία του ακόμα και στα πιο κεντρικά σημεία του δικτύου, προσφέροντας συγχρόνως και την οικονομικότερη λύση σε:

- ξενοδοχειακές μονάδες
- πολυκαταστήματα
- πολυώροφα κτίρια
- κλινικές και νοσοκομεία
- ορυχεία
- αεροδρόμια
- θαλάσσιες εγκαταστάσεις
- υπόγειους σιδηρόδρομους κ.λπ.

Ο μέχρι τώρα συμβατικός ξηρός Μ/Σ δεν ξεπερνούσε ηλεκτρικές απαιτήσεις της σειράς των 10kV, η μόνωση των τυλιγμάτων έφθανε για θερμοκρασίες 60 ως 75°C και η μηχανική αντοχή του στο βραχυκύκλωμα ήταν περιορισμένη.

Οι νέοι Μ/Χ με ιδιαίτερα ικανοποιητικές ηλεκτρικές, μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, υπερéchουν σε σχέση με τους συμβατικούς Μ/Σ, συμβάλλοντας συγχρόνως και στην προστασία του περιβάλλοντος. Σημαντική είναι επίσης και η υπεροχή του Μ/Χ στην εξοικονόμηση χώρου γιατί καλύπτει τα 2/3 περίπου του χώρου που καταλαμβάνει ο αντίστοιχος Μ/Σ λαδιού.

Η απλή κατασκευή του Μ/Χ επιτρέπει την αντικατάσταση των πηνίων επί τόπου. Ένα άλλο επίσης πλεονέκτημα του Μ/Χ είναι ότι δεν χρειάζεται παρακολούθηση κατά τη λειτουργία του. Μόλις τεθεί υπό τάση μπορούμε να τον ξεχάσουμε.

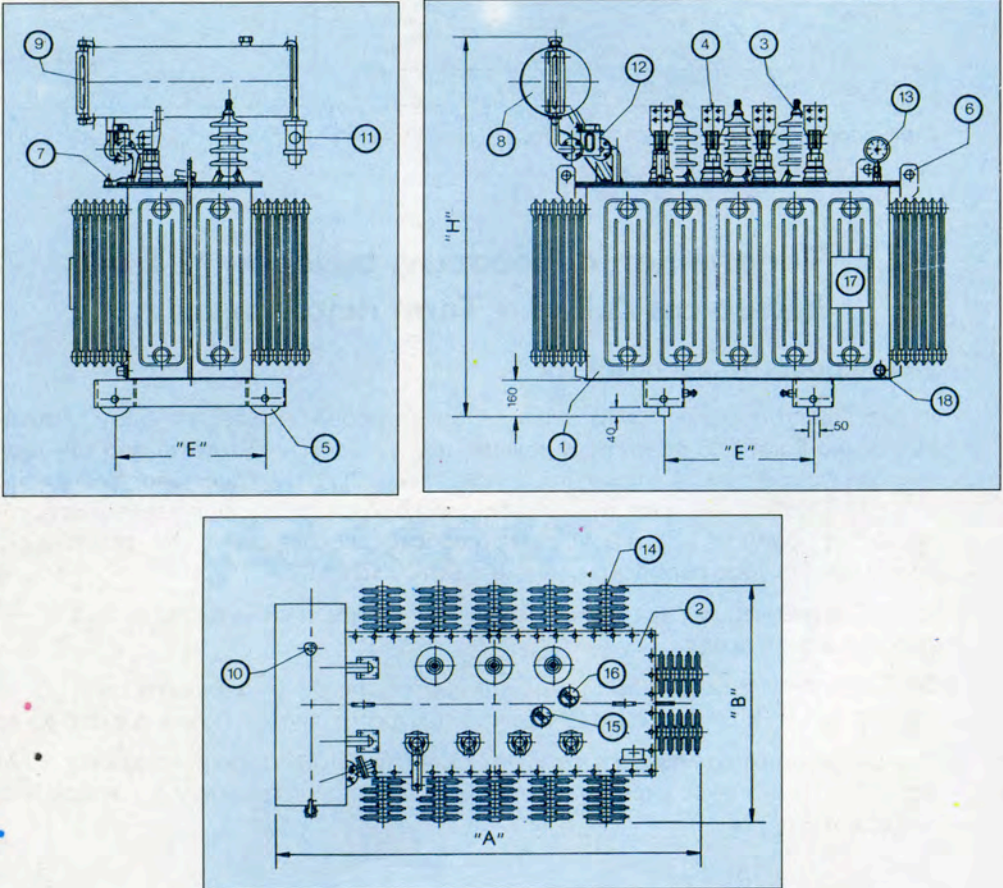


Σχ. 1.10:
Μετασχηματιστής
χυτορητίνης (Μ/Χ).

Σημειώνουμε τέλος, ότι η ισχύς των Μ/Σ εξαρτάται από την τάση λειτουργίας τους, γιατί απ' αυτή εξαρτώνται:

- η μόνωση των τυλιγμάτων και των ακροδεκτών (διαπεραστήρες Υ.Τ. και Χ.Τ.),
- το μέγεθος του λέβητα και ο τρόπος ψύξης του,
- τα όργανα ρύθμισης (μεταγωγείς και μεταλλάκτες για τις λήψεις) και
- τα όργανα ελέγχου και προστασίας (θερμόμετρο, ρελέ, δοχείο διαστολής κ.α.).

Έτσι, στους μεγάλους Μ/Σ διανομής (σχ. 1.9), κάθε αύξηση της ισχύος συνεπάγεται αύξηση των διαστάσεών τους και αντίστοιχη αύξηση του βάρους τους. (δες σχ. 1.11 και πίνακα 1.1).



- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Δοχείο μετασχηματιστή | 10) Πώμα αναπνευστικό ή πληρώσεως |
| 2) Κάλυμμα δοχείου | 11) Αφυγραντήρας |
| 3) Διαπεραστήρας Υ.Τ. | 12) Ρελέ Buchholz |
| 4) Διαπεραστήρας Χ.Τ. | 13) Θερμόμετρο |
| 5) Τροχοί κυλίσεως | 14) Ψυκτικά σώματα |
| 6) Λαβές αναρτήσεως | 15) Μεταλλάκτης τάσεως |
| 7) Σύνδεσμος γειώσεως ουδετέρου | 16) Μεταγωγέας επαφών |
| 8) Δοχείο διαστολής | 17) Ενδεικτική πινακίδα |
| 9) Δείκτης στάθμης λαδιού | 18) Βαλβίδα εκκενώσεως και δειγματοληψίας |

Σχ. 1.11: Γενική διάταξη Μ/Σ διανομής 250+1600kVA, 15-22/0,4kV.

Πίνακας 1.1.

Γενικές Διαστάσεις σε χιλιοστά (mm)					Ολικό Βάρος σε kgf
Ισχύς σε kVA	Μήκος "Α"	Πλάτος "Β"	Ύψος "Η"	Τροχοί "Ε"	
250	1500	920	1300	520	1200
315	1680	1010	1400	670	1350
400	1740	1000	1500		1600
500	1800	1050	1500		1650
630	1860	1000	1650		2200
800	2000	1250	1650		2400
1000	1960	1300	1650	820	2800
1250	2150	1500	1700		3250
1600	2230	1450	1850		3900

Σημείωση: Οι διαστάσεις των Μ/Σ δεν θα υπερβαίνουν τις διαστάσεις του DIN 42520 που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα.

1.2.2. Τυποποίηση συνδέσεων, σύνδεση Μ/Σ στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. - Τάση λειτουργίας

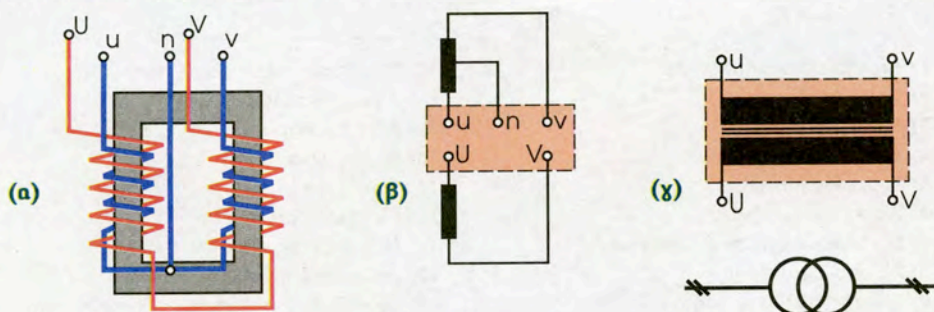
➡ Ακροδέκτες και συνδέσεις

Τα άκρα των τυλιγμάτων των Μ/Σ καταλήγουν σε **ακροδέκτες** που στηρίζονται **συνήθως σε μια βάση** από βακελίτη. Η **μόνωση** των συνδέσεων **εξαρτάται από την τάση** απ' την οποία εξαρτάται κυρίως το μέγεθος του Μ/Σ, αλλά και **ο τύπος του** (ξηρός Μ/Σ ή Μ/Σ λαδιού) ως προς την ψύξη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται **μονωτήρες**. Στους μεγάλους Μ/Σ **οι μονωτήρες διαβάσεις**, που στερεώνονται στο κάλυμμα, **αποτελούν και τους ακροδέκτες** των τυλιγμάτων των Μ/Σ.

Για να ξεχωρίζονται οι ακροδέκτες μεταξύ τους χρησιμοποιούνται συμβολικά γράμματα ή και αριθμοί.

➤ Στους 1~ Μ/Σ οι ακροδέκτες του τυλίγματος της Υ.Τ. σημειώνονται με **U-V ή Α-Β ή H_1-H_2** , ενώ οι ακροδέκτες του τυλίγματος της Χ.Τ. με **u-v ή α-β ή x_1-x_2** .

Αν γίνεται και **μεσαία λήψη**, όπως π.χ. στη Χ.Τ. του Μ/Σ του παρακάτω σχήματος 1.12α και 1.12β, ο αντίστοιχος ακροδέκτης τοποθετείται μεταξύ των άλλων δύο και σημειώνεται με **n ή n_p ή x_0** .



Σχ. 1.12: Σύνδεση τυλιγμάτων και συμβολισμοί 1~ Μ/Σ.

Στα ηλεκτρολογικά σχέδια οι 1~ Μ/Σ συμβολίζονται όπως δείχνει το σχήμα 1.12γ.

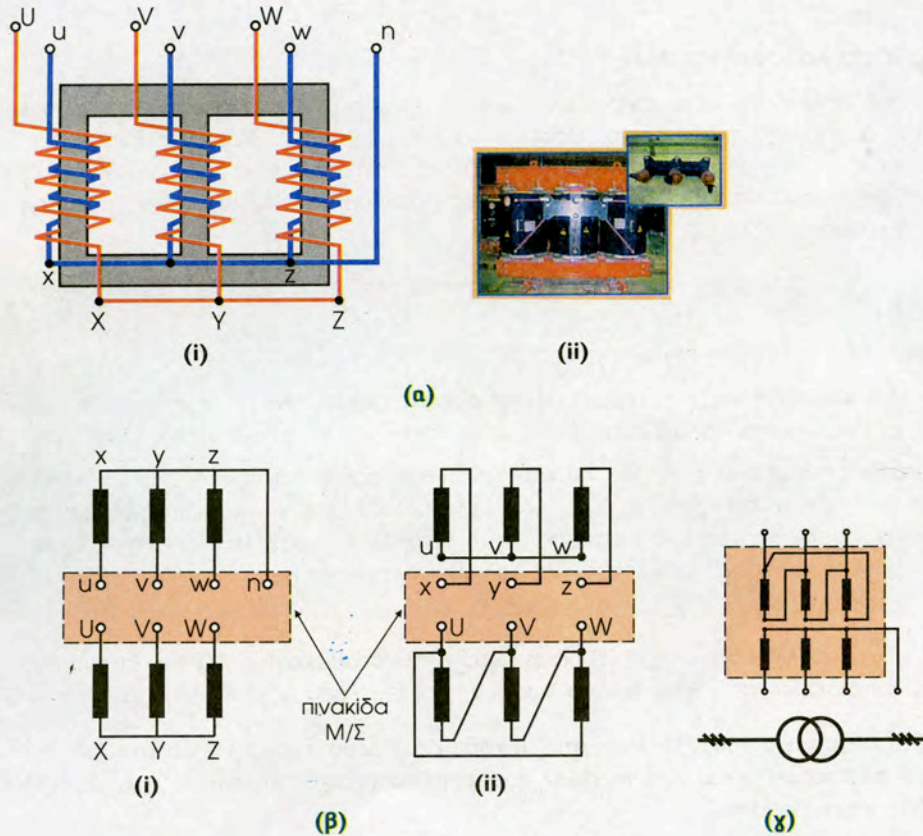
➤ Στους 3~ Μ/Σ, τα **τρία τυλίγματα** (φάσεις) της **Υ.Τ.** και τα **αντίστοιχα της Χ.Τ.**, συνδέονται εσωτερικά μεταξύ τους (σχ. 1.13α), είτε σε **αστέρα**, είτε σε **τρίγωνο**.*

Έτσι, απ' το καθένα 3~ τύλιγμα, μένουν τελικά **ελεύθερα τρία ή τέσσερα άκρα** τα οποία καταλήγουν στο κιβώτιο ακροδεκτών (πινακίδα) του Μ/Σ (σχ. 1.13β) και στους ακροδέκτες:

U, V, W ή **A, B, C** ή **H₁, H₂, H₃**, για τα τυλίγματα της Υ.Τ. και

u, v, w ή **a, b, c** ή **x₁, x₂, x₃**, για τα τυλίγματα της Χ.Τ.

Αν χρειάζεται και ο **ουδέτερος αγωγός**, ο ουδέτερος κόμβος συνδέεται σε ιδιαίτερο ακροδέκτη και συμβολίζεται με το **N** ή **M_p** ή **H₀**, για την Υ.Τ. και με τα μικρά **n** ή **m_p** ή **x₀** ή **x₄**, για τη Χ.Τ.



Σχ. 1.13: Σύνδεση φάσεων στους ακροδέκτες και συμβολισμός 3~ Μ/Σ.

Στον 3~ Μ/Σ του σχήματος 1.13α(i), τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Υ.Τ. συνδέονται σε αστέρα, ενώ τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Χ.Τ. σε αστέρα με ουδέτερο, δηλ. όπως λέμε απλά ο Μ/Σ αυτός είναι **ζεύξης αστέρα-αστέρα** (με ουδέτερο).

* Περισσότερα για τις συνδεσμολογίες αστέρα (Υ) και τριγώνου (Δ), των 3~ τυλιγμάτων και τα χαρακτηριστικά τους, αναφέρουμε στο κεφάλαιο των εναλλακτών.

Εύκολα διαπιστώνουμε ότι, ο Μ/Σ που έχει την πινακίδα του σχήματος 1.13β(ii) έχει **ζεύξη τριγώνου-αστέρα**.

Στο σχήμα 1.13γ, δίπλα από τις πινακίδες των 3~ Μ/Σ, σημειώνονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται γι' αυτούς στα ηλεκτρολογικά σχέδια.

➤ Πάνω στη πινακίδα κάθε 3~ Μ/Σ, ο κατασκευαστής του σημειώνει πάντα τη ζεύξη των τυλιγμάτων του.

Με τα κεφαλαία γράμματα **Y** ή **D** συμβολίζεται η σύνδεση των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος, δηλ. της **Y.T.** για τους Μ/Σ υποβιβασμού (**Y σε αστέρα, D σε τρίγωνο**) και με τα μικρά **y** ή **d** η αντίστοιχη σύνδεση των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος (**X.T.**).

Από το συνδυασμό αστέρα-τριγώνου **στις 3 φάσεις** της Y.T. και της X.T., προκύπτουν διάφορες ζεύξεις που εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες, ανάλογα με τη χρήση του Μ/Σ.



Τάση λειτουργίας Μ/Σ

Στην πράξη, οι τάσεις λειτουργίας των Μ/Σ είναι τυποποιημένες, ανάλογα με το σκοπό και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Έτσι, π.χ. οι Μ/Σ Χαμηλής Τάσης (X.T.) κατασκευάζονται για τάσεις πρωτεύοντος 220V και δευτερεύοντος 6, 12, 24 ή 40V, ενώ οι Μ/Σ διανομής Μέσης Τάσης (M.T.) για τάσεις πρωτεύοντος 15, 20 ή 25kV και τάσεις δευτερεύοντος 380/220V.

Σημείωση

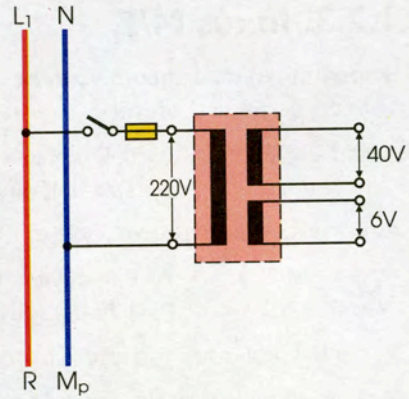
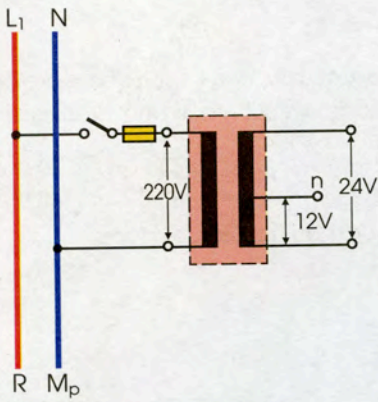
Σύμφωνα με τη νέα διεθνή τυποποίηση (IEC):

1) το **δίκτυο διανομής X.T.** της Δ.Ε.Η. έχει **φασική τάση 230V**, με όρια ανοχής από 207V μέχρι 244V και **πολική τάση 400V**, με όρια ανοχής από 360V μέχρι 424V.

2) οι συμβολισμοί **R, S, T** και **M_p**, για τους αγωγούς φάσης και ουδέτερου, αντικαθίστανται σταδιακά από τους **L₁, L₂, L₃** και **N** αντίστοιχα. Παρακάτω χρησιμοποιούνται ενδεικτικά παλιές και νέες τιμές τάσης για το δίκτυο X.T. της Δ.Ε.Η., ενώ αναφέρονται τόσο οι νέοι όσο και οι παλιότεροι συμβολισμοί των αγωγών.

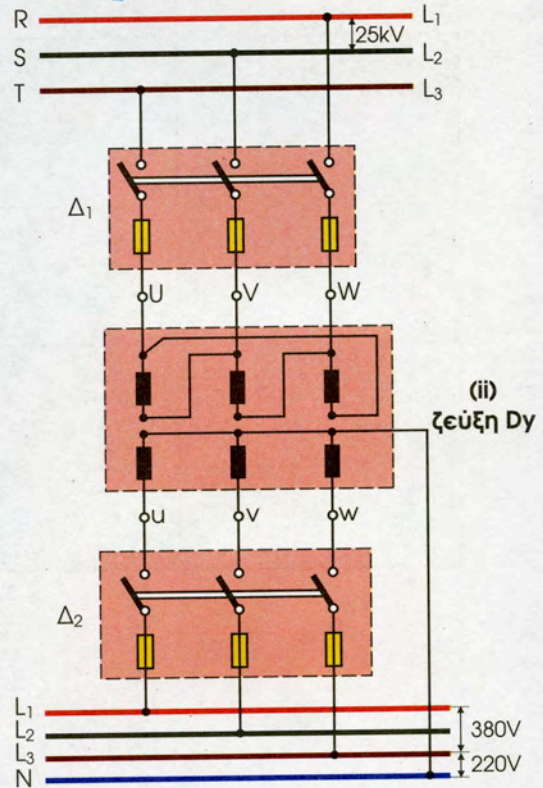
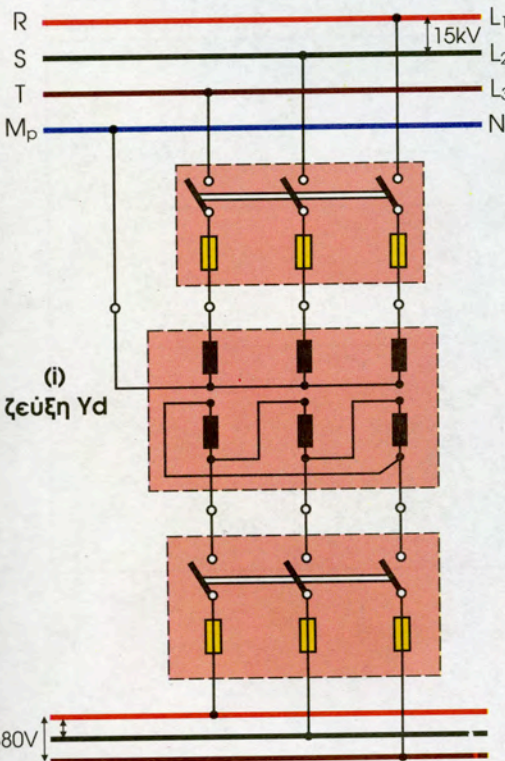
Στη διπλανή σελίδα στο σχήμα 1.14 φαίνονται οι **συνδεσμολογίες Μ/Σ** στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. και οι τάσεις που μπορούν να δώσουν στο δευτερεύον τους τύλιγμα.

➤ Στη λειτουργία του Μ/Σ με φορτίο, η τάση δευτερεύοντος (**U₂**) εξαρτάται από το ρεύμα φόρτισης (**I₂**) και από το είδος του φορτίου (ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό) που εξυπηρετεί ο Μ/Σ.



(α)

1 ~ Μ/Σ



(β)

3 ~ Μ/Σ

Σχ. Ι.14: Σύνδεση Μ/Σ με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

1.2.3. Ισχύς Μ/Σ

Η πραγματική ισχύς που δίνει ένας Μ/Σ στο δευτερεύον του, όταν τροφοδοτεί κατα-
νάλωση με τάση U_2 , ένταση I_2 και συντελεστή ισχύος $\cos\varphi_2$, δίνεται από τις σχέσεις:

- για 1~ Μ/Σ: $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$ (1.7)

- για 3~ Μ/Σ: $P_2 = 1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$ (1.8)

Αντίστοιχα, η πραγματική ισχύς που ο Μ/Σ απορροφά από το δίκτυο, είναι:

- για 1~ Μ/Σ: $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$ (1.9)

- για 3~ Μ/Σ: $P_1 = 1,73 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$ (1.10)

(όπου $U_1 \cdot I_1$ και $\cos\varphi_1$, τα στοιχεία του πρωτεύοντος).

Η φαινόμενη και η άεργη ισχύς τόσο στο πρωτεύον όσο και στο δευτερεύον τύλιγμα των Μ/Σ, υπολογίζονται από τις σχέσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2.

Σχέσεις υπολογισμού ισχύος 1~ και 3~ Μ/Σ.

	Για 1~ Μ/Σ	Για 3~ Μ/Σ	Για 1~ και 3~ Μ/Σ
Φαινόμενη ισχύς (VA)	$P_s = U \cdot I$	$P_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$P_s = \sqrt{P^2 + P_b^2}$ $P_s = \frac{P}{\cos\varphi}$
Πραγματική ισχύς (W)	$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$	$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$	$P = \sqrt{P_s^2 - P_b^2}$ $P = P_s \cdot \cos\varphi$
Άεργη ισχύς (VAR)	$P_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\varphi$	$P_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\varphi$	$P_b = \sqrt{P_s^2 - P^2}$ $P_b = P_s \cdot \eta\mu\varphi$

1.2.4. Μετασχηματιστές (Μ/Σ) 1:1

Είναι Μ/Σ με **σχέση μεταφοράς 1:1**, δηλ. με τάση πρωτεύοντος τυλίγματος ίση μ' αυτή του δευτερεύοντος, **στον οποίο** (για λόγους προστασίας) **το δευτερεύον δεν έχει καμία σύνδεση ως προς τη γη**, με σκοπό την απομόνωση (ηλεκτρικό διαχωρισμό) του δευτερεύοντος από το πρωτεύον κύκλωμα. Για το λόγο αυτό λέγεται και **Μ/Σ απομόνωσης ή προστασίας**.

Οι Μ/Σ 1:1 χρησιμοποιούνται στις **εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις**, σαν μέθοδος προστασίας από έμμεση επαφή και σε **ρευματοδότες** (πρίζες) που τοποθετούνται σε υγρούς χώρους, όπως π.χ. ο **ρευματοδότης ξυριστικής μηχανής**.

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάζονται και ρευματοδότες με Μ/Σ 1:1 για πλυντήρια ρούχων.

1.2.5. Εφαρμογές Μ/Σ στα οχήματα, Μ/Σ ηλεκτρικής έλξης

1) Γενικά

Η πρόοδος στην τεχνολογία που συνδέεται με την ηλεκτρική ενέργεια (Η.Ε.), όπως αναφέραμε, οδήγησε στην αποκλειστική χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος στα δίκτυα διανομής Η.Ε. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου, για ορισμένες χρήσεις, είναι απαραίτητο να έχουμε **Η.Ε. με τη μορφή συνεχούς ρεύματος**, όπως π.χ. στην **κίνηση οχημάτων** (ηλεκτρική έλξη) και στη **φόρτιση των συσσωρευτών**.

Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να μετασχηματίσουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.), στην κατάλληλη κάθε φορά τιμή και, στη συνέχεια, να το μετατρέψουμε σε συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.).

Για το μετασχηματισμό των ηλ. μεγεθών του Ε.Ρ. χρησιμοποιούμε Μ/Σ, ενώ για τη μετατροπή του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. **ανορθωτές**.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είμαστε αναγκασμένοι να μετασχηματίσουμε και το Σ.Ρ., όπως π.χ. στο ηλεκτρικό σύστημα του αυτοκινήτου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε έναν **ειδικό μετασχηματιστή Σ.Ρ.**, το γνωστό μας **πολλαπλασιαστή**, που μοιάζει κατασκευαστικά με τον 1~ Μ/Σ, γι' αυτό και εξετάζεται εδώ μαζί με τους Μ/Σ.

2) Μ/Σ ηλεκτρικής έλξης

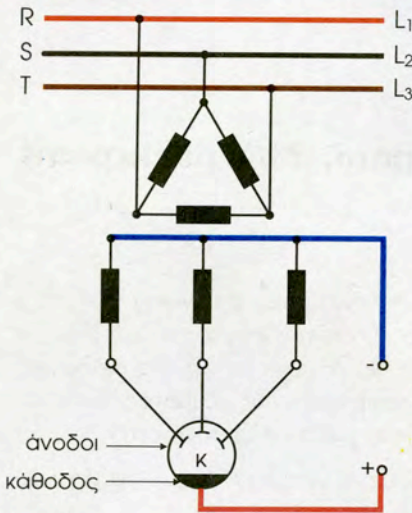
Είναι Μ/Σ που χρησιμοποιούνται για την **ηλ. έλξη**, δηλ. για την κίνηση οχημάτων με ηλεκτρικό ρεύμα.

Η χρησιμοποίηση του ηλ. ρεύματος γα την κίνηση οχημάτων, σε σχέση με τα παλιά συστήματα, παρουσιάζει πάρα πολλά **πλεονεκτήματα**. Μερικά απ' αυτά είναι: η **καθαριότητα**, η **απαλλαγή από τα καυσαέρια** και οι **πολύ μεγάλες επιταχύνσεις** κατά την εκκίνηση, που μειώνουν το χρόνο μεταξύ δύο σταθμεύσεων.

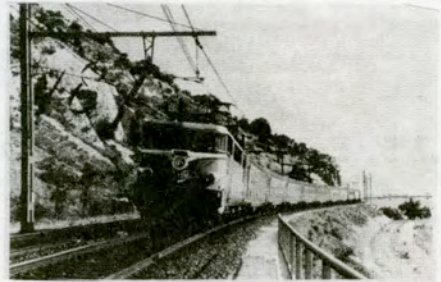
Η μεγάλη εξέλιξη των ηλεκτροκινούμενων οχημάτων είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού συστημάτων, για τη τροφοδοσία τους. Σήμερα χρησιμοποιείται γενικά η **μεταφορά με Ε.Ρ. (15-22kV)** και η **διανομή (χρήση) με Σ.Ρ. τάσης 600V**.

➤ Στα Ηλεκτροκίνητα Λεωφορεία Περιοχής Αθηνών - Πειραιώς (ΗΛΠΑΠ), η τροφοδότηση γίνεται με εναέρια γραμμή μέσω επαφών ολίσθησης (άνθρακες κεραιών τρόλλεϊ). Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από τη Δ.Ε.Η. μέσω υποσταθμών (Υ/Σ), στους οποίους βασικά υπάρχουν οι Μ/Σ ηλ. έλξης, ώστε η τάση (600V Σ.Ρ.) να διατηρείται σταθερή.

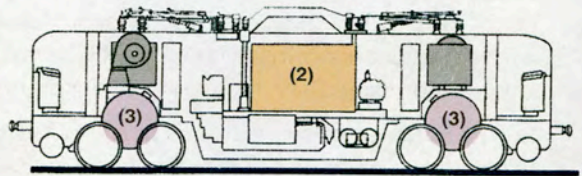
Οι Μ/Σ ηλ. έλξης είναι γενικά Μ/Σ υποβιβασμού τάσης (15-22kV/600V), ζεύξης Τριγώνου-Αστέρα (Δ-Υ) (σχ. 1.15α), οι οποίοι συνοδεύονται πάντα από ανορθωτές υδραργύρου, για τη μετατροπή του Ε.Ρ. (τάσης 600V) σε Σ.Ρ. 600V.



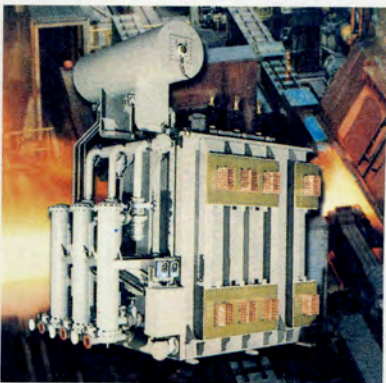
(α)
3~ Μ/Σ ηλ. έλξης



(1)



(β)
κίνηση ηλεκτράμαξας



(γ)

Μ/Σ ηλ. έλξης σύγχρονου ηλ. σιδηροδρόμου



Σχ. 1.15: Συνδεσμολογία και χρήσεις Μ/Σ ηλ. έλξης.

➤ Με τον ίδιο τρόπο τροφοδοτείται γενικά και το δίκτυο έλξης των ηλ. σιδηροδρόμων τόσο μέσα στις πόλεις (**μετρό**), όσο και έξω απ' αυτές ή ακόμη και για τη σύνδεση μεταξύ δύο πόλεων. Η βασική διαφορά είναι ότι η γραμμή τροφοδοσίας είναι επίγεια και ο Μ/Σ έλξης μεγαλύτερης ισχύος. Στους **Η.Σ.Α.Π.**, σε κάθε Υ/Σ τοποθετείται Μ/Σ έλξης 22kV/600V, ζεύξης **Δ-Υ**, ισχύος 2000kVA, μαζί με τον αντίστοιχο ανορθωτή υδραργύρου.

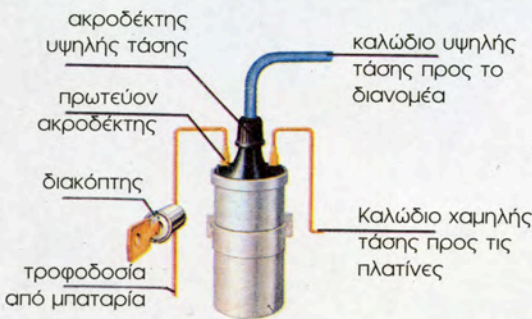
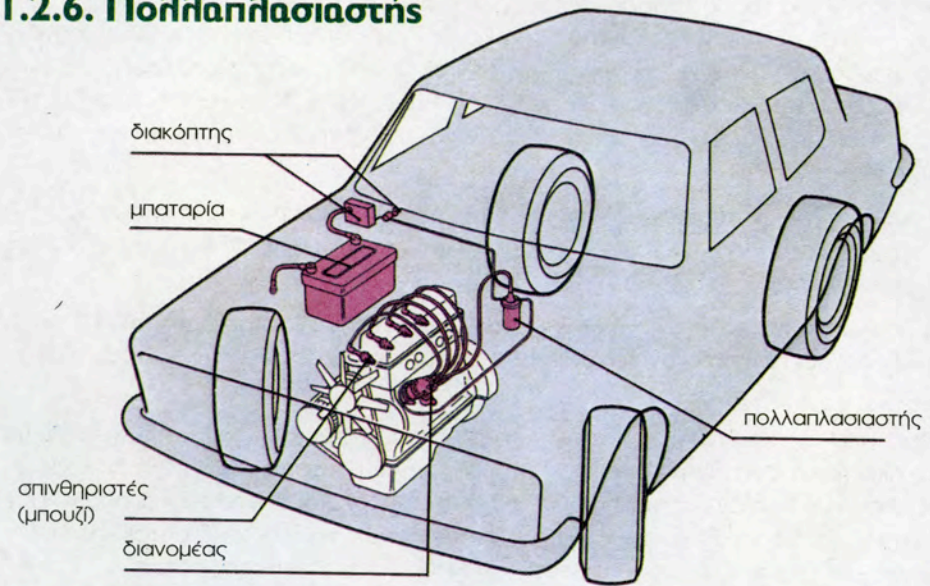
Στους ηλεκτροκίνητους σιδηροδρόμους το ηλ. ρεύμα διαβιβάζεται μέσω του τροχού επαφής (1) στον Μ/Σ (2) και από εκεί στους **κινητήρες έλξης** (3) για την κίνηση των τροχών του συρμού (σχ. 1.15β).

Τα τελευταία χρόνια, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο των εναλλακτήρων, **οι Μ/Σ έλξης τροφοδοτούνται από έναν εναλλακτήρα** που βρίσκεται μέσα στην ηλεκτράμαξα (σχ. 1.15γ).

Σήμερα, εκτός από τα ηλεκτροκίνητα οχήματα μαζικής μεταφοράς, κατασκευάζονται και **ηλεκτρικά αυτοκίνητα** ΙΧ., που λειτουργούν με μπαταρίες των 12 ή 24V, για τη φόρτιση των οποίων χρησιμοποιούμε **φορτιστές**, οι οποίοι αποτελούνται βασικά από ένα Μ/Σ υποβιβασμού και τους ανορθωτές. Ασφαλώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αξιολογών επιδόσεων έχουν συσσωρευτές (μπαταρίες) μεγαλύτερης τάσης.

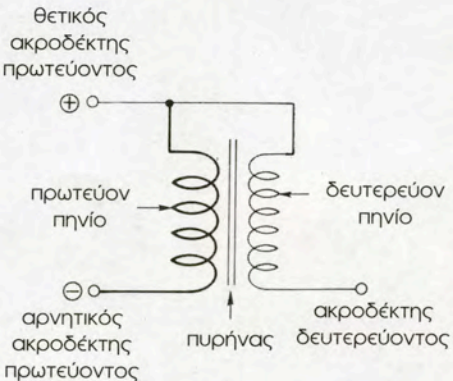
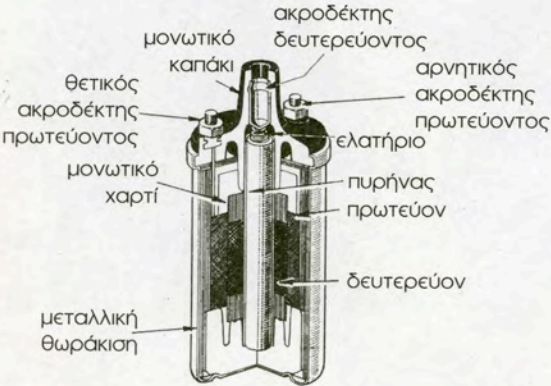
🔌 Περισσότερα για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αναφέρουμε στο τελευταίο κεφάλαιο (**ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**).

1.2.6. Πολλαπλασιαστής



Πολλαπλασιαστής
Ο πολλαπλασιαστής μετατρέπει το ρεύμα της μπαταρίας από χαμηλή τάση σε υψηλή τάση. (20.000-30.000Volts), η οποία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία του σπινθήρα στα μπουζί.

(α)



(β)

Σχ. 1.16: Σύστημα ανάφλεξης αυτοκινήτου (α) και πολλαπλασιαστής (β).

Ο **πολλαπλασιαστής** αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία του κυκλώματος - συστήματος ανάφλεξης του αυτοκινήτου (σχ. 1.16α).

Όπως και ο συνηθισμένος 1~ Μ/Σ, **αποτελείται από:**

- τον **πυρήνα** (από λεπτά σιδηροελάσματα) και
- τα **τυλίγματα** (πρωτεύον και δευτερεύον).

Το **πρωτεύον τυλίγμα** του πολλαπλασιαστή (Χ.Τ.) έχει μερικές **εκατοντάδες σπείρες**, ενώ το **δευτερεύον** του (Υ.Τ.) **χιλιάδες** (15.000-30.000) **σπείρες** με αγωγό μικρής διατομής.

Τα πηνία περιβάλλουν το σιδηροπυρήνα και είναι καλά μονωμένα, τόσο προς αυτόν, όσο και μεταξύ τους. Το ενεργό μέρος του πολλαπλασιαστή τοποθετείται μέσα σε **στεγανό δοχείο**, που συνήθως έχει κυλινδρική μορφή, πάνω στο οποίο σημειώνονται οι ακροδέκτες του (σχ. 1.16β).

Η λειτουργία του πολλαπλασιαστή είναι ίδια μ' αυτή των Μ/Σ, με τη διαφορά ότι, η **μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή Φ δεν προκαλείται από το Ε.Ρ., αλλά από το απότομο άνοιγμα και κλείσιμο του πρωτεύοντος κυκλώματος (Χ.Τ.)**. Αυτό γίνεται μέσω του **διακόπτη Χ.Τ.**, που είναι ένα **σύστημα επαφών** από τουγκστένιο, που παλιότερα κατασκευάζονταν από κράμα πλατίνας, γι' αυτό ακόμη και σήμερα λέγονται **πλατίνες**.

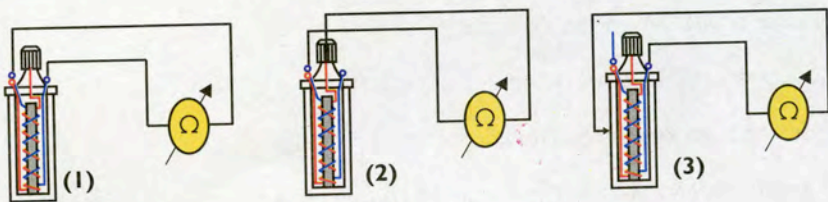
➡ Έλεγχοι πολλαπλασιαστή

Σε κάθε πολλαπλασιαστή πρέπει να γίνονται τακτικά:

- **οπτικός έλεγχος και καθάρισμα** και
- **μετρήσεις για τον έλεγχο της τιμής των αντιστάσεων των τυλιγμάτων αλλά και για πιθανό βραχυκύκλωμα.**

● Η τιμή της αντίστασης του πρωτεύοντος κυμαίνεται από 1 μέχρι 1,4Ω (σχ. 1.16γ(1)), ενώ του δευτερεύοντος από 4000 ως 6000Ω περίπου (σχ. 1.16γ(2)).

● Ο **έλεγχος για πιθανό βραχυκύκλωμα** γίνεται και πάλι μ' ένα ωμόμετρο. Στην περίπτωση αυτή (σχ. 1.16γ(3)) η αντίσταση πρέπει να είναι άπειρη.



Σχ. 1.16γ: Έλεγχοι πολλαπλασιαστή.

Αν τελικά ο πολλαπλασιαστής παρουσιάζει βλάβη, πρέπει να τον αντικαταστήσουμε.

1.2.7. Ερωτήσεις

1. Ποια σημασία έχει η χρήση νέων υλικών στη κατασκευή των Μ/Σ;
2. Από τι αποτελείται ένας Μ/Σ; Από τι υλικά κατασκευάζεται;
3. Πώς κατασκευάζεται το τύλιγμα Χ.Τ. και πώς το τύλιγμα Υ.Τ.;
4. Πού τοποθετούνται τα τυλίγματα στους 1~ Μ/Σ τύπου πυρήνα;
5. Πώς κατασκευάζεται ο πυρήνας των 1~ Μ/Σ τύπου μανδύα;
6. Πώς κατασκευάζεται ο πυρήνας 3~ Μ/Σ και πού τοποθετούνται τα τυλίγματα;
7. Πώς συμβολίζονται οι ακροδέκτες των τυλιγμάτων των 1~ Μ/Σ;
8. Ποιες οι τυπικές τάσεις λειτουργίας του δευτερεύοντος 1~ Μ/Σ, που συνδέονται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. (220V); ... (π.χ. 40V για τους Μ/Σ φωτιστικών κήπων)...
9. Πώς συνδέονται στην πράξη τα τυλίγματα (3 φάσεις) Υ.Τ. και Χ.Τ., των 3~ Μ/Σ;
10. Πώς συμβολίζονται οι ακροδέκτες (των ελεύθερων άκρων των φάσεων) στους 3~ Μ/Σ, υποβιβασμού τάσης;
11. Σε 3~ Μ/Σ **Dy** σημειώνεται η ένδειξη 15kV/380-220V.
Τι σημαίνει αυτό;
12. Γιατί με την αύξηση της ισχύος αυξάνει και το βάρος ενός Μ/Σ;
13. Πώς υπολογίζεται η πραγματική ισχύς που απορροφά το πρωτεύον τύλιγμα
 - α. μονοφασικού και
 - β. τριφασικού Μ/Σ;
14. Πώς υπολογίζεται η πραγματική ισχύς που δίνει ένας
 - α. μονοφασικός και
 - β. τριφασικός Μ/Σ;
15. Τι είναι ο Μ/Σ 1:1 και που χρησιμοποιείται;
16. Τι ονομάζουμε Μ/Σ ηλ. έλξης; Τι είδους Μ/Σ είναι;
17. Ποιοι Μ/Σ χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλ. έλξη;
18. Τι είναι ο πολλαπλασιαστής; Είναι Μ/Σ; (ναι ή όχι και γιατί;)

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

19. Ο πυρήνας και τα τυλίγματα ενός Μ/Σ αποτελούν:
 - α. το ενεργό μέρος του Μ/Σ.
 - β. το πρωτεύον τύλιγμα.
 - γ. το δευτερεύον τύλιγμα.
 - δ. ολόκληρο το σύστημα.

20. Δευτερεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ λέμε το τύλιγμα απ' το οποίο παίρνουμε:
 α. τη χαμηλή τάση (Χ.Τ.). γ. τη μετασχηματισμένη τάση.
 β. την υψηλή τάση (Υ.Τ.). δ. την τάση του δικτύου ηλεκτροδότησης.
21. Τα τυλίγματα (Χ.Τ. και Υ.Τ.) τοποθετούνται πάντοτε:
 α. στα ζυγώματα του πυρήνα. γ. σε ειδικά καλούπια.
 β. στους κορμούς του πυρήνα. δ. σε πολλές στρώσεις.
22. Το τύλιγμα Υ.Τ. των Μ/Σ τοποθετείται πάνω από το τύλιγμα Χ.Τ. και αποτελείται από αγωγούς με:
 α. λίγες σπείρες μεγάλης σχετικά διατομής.
 β. πολλές σπείρες μικρής σχετικά διατομής.
 γ. λίγες σπείρες μικρής διατομής.
 δ. πολλές σπείρες μεγάλης διατομής.
23. Ο ακροδέκτης 1~ Μ/Σ που αναφέρεται σε μεσαία λήψη παριστάνεται με:
 α. το σύμβολο n . γ. το σύμβολο x_p .
 β. το σύμβολο n_p . δ. όλους τους παραπάνω τρόπους.
24. Τα τυλίγματα (Χ.Τ. και Υ.Τ.) των 3~ Μ/Σ συνδέονται εσωτερικά μεταξύ τους σε αστέρα ή σε τρίγωνο και τα ελεύθερα άκρα τους καταλήγουν:
 α. στα φορτία του Μ/Σ. γ. στην πινακίδα του Μ/Σ.
 β. στο δοχείο του Μ/Σ. δ. στους καταναλωτές.
25. Ο 3~ Μ/Σ υποβιβασμού, στον οποίο οι 3 φάσεις της Χ.Τ. συνδέονται σε τρίγωνο και οι αντίστοιχες της Υ.Τ. σε αστέρα, λέμε ότι έχει ζεύξη:
 α. Υd. γ. Υz.
 β. Dy. δ. Dz.
26. Ηλεκτρική έλξη ονομάζουμε γενικά την κίνηση οχημάτων με:
 α. Μ/Σ έλξης. γ. ηλεκτρικό ρεύμα.
 β. πολλαπλασιαστή. δ. διπλό διαφορικό.
27. Ο πολλαπλασιαστής λειτουργεί γενικά σαν ένας μονοφασικός (1~) Μ/Σ:
 α. υποβιβασμού τάσης. γ. ανύψωσης ρεύματος.
 β. ανύψωσης τάσης. δ. ηλεκτρικής έλξης.
28. Οι Μ/Σ ηλεκτρικής έλξης συνοδεύονται πάντα από έναν ειδικό:
 α. ανορθωτή υδραργύρου. γ. μηχανισμό επαφών.
 β. μηχανισμό διαφορικού. δ. μηχανισμό κεραίας.

Ενότητα 1.3.

Αυτομετασχηματιστές, Μ/Σ οργάνων

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

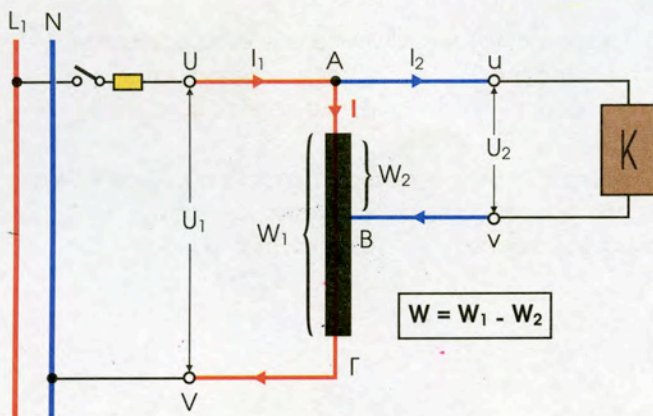
1. Να αναφέρετε τις διαφορές Μ/Σ - αυτομετασχηματιστών.
2. Να διατυπώνετε τις σχέσεις ισχύος Μ/Σ - αυτομετασχηματιστών.
3. Να περιγράφετε τον τρόπο σύνδεσης των αυτομετασχηματιστών.
4. Να εντοπίζετε το εύρος ρύθμισης της τάσης των αυτομετασχηματιστών.
5. Να αναφέρετε πότε χρησιμοποιούνται Μ/Σ Οργάνων για τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.
6. Να αναγνωρίζετε τους Μ/Σ οργάνων στους ηλεκτρικούς πίνακες.

1.3.1. Αυτομετασχηματιστές (ΑΜ/Σ)

ΑΜ/Σ ονομάζονται οι Μ/Σ που έχουν ένα μόνο τύλιγμα, π.χ. το πρωτεύον, ένα μέρος απ' το οποίο αποτελεί το δευτερεύον.

Οι ΑΜ/Σ, όπως και οι γνωστοί Μ/Σ με δύο τυλίγματα, μπορεί να είναι Μ/Σ ανύψωσης ή Μ/Σ υποβιβασμού της τάσης.

Στους μονοφασικούς ΑΜ/Σ υποβιβασμού οι ακροδέκτες u και v της Χ.Τ. είναι συνδεδεμένοι με το ένα άκρο A (U) του τυλίγματος και με μια λήψη του B , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.17α. Άρα στους ΑΜ/Σ ένα τμήμα του τυλίγματος -εδώ το ΑΒ- ανήκει και στο πρωτεύον και στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ, δηλ. είναι κοινό.



Σχ. 1.17α: 1 ~ ΑΜ/Σ υποβιβασμού.

Η **βασική διαφορά** ανάμεσα στο μονοφασικό Μ/Σ, με δύο τυλίγματα, και στον αντίστοιχο ΑΜ/Σ είναι ότι στον ΑΜ/Σ δεν υπάρχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος. Κατά τ' άλλα οι σχέσεις που είδαμε στους μονοφασικούς Μ/Σ ισχύουν και για τους μονοφασικούς ΑΜ/Σ, δηλ. ισχύουν, κατά προσέγγιση, οι σχέσεις:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2} = K \quad \text{ή} \quad U_2 = \frac{U_1}{K} \quad \text{και} \quad \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1} = K \quad \text{ή} \quad I_2 = K \cdot I_1$$

όπου: U_1, I_1 και W_1 είναι τα γνωστά μεγέθη του πρωτεύοντος του Μ/Σ
και U_2, I_2 και W_2 τα αντίστοιχα του δευτερεύοντος.

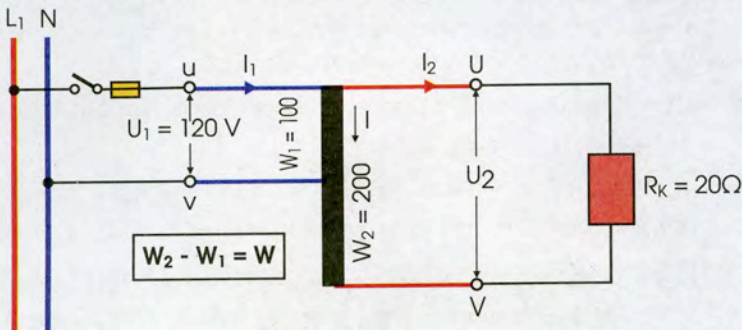
Το κοινό τμήμα του τυλίγματος (ΑΒ) διαρρέεται από ένταση ρεύματος I , ίση με τη διαφορά των δύο εντάσεων I_1 και I_2 , δηλ. είναι:

$$I = I_1 - I_2 \quad (1.11)$$

Παράδειγμα

Σ' ένα 1~ ΑΜ/Σ, που τροφοδοτείται με τάση $U_1=120\text{V}$, οι σπείρες που ανήκουν στο πρωτεύον είναι $W_1=100$, ενώ όλο το τύλιγμα έχει $W_2=200$ σπείρες. Αν στο δευτερεύον του Μ/Σ είναι συνδεδεμένος ένας καταναλωτής με ωμική αντίσταση $R=20\Omega$, να υπολογισθούν:

- η ένταση που απορροφά ο ΑΜ/Σ απ' το δίκτυο (I_1) και
- η ένταση στο κοινό τμήμα του τυλίγματός του (I).



Σχ. 1.17β: 1~ ΑΜ/Σ ανύψωσης τάσης.

Λύση

Στον ΑΜ/Σ αυτό (σχ. 1.17β) δευτερεύον είναι το τύλιγμα Υ.Τ., δηλ. είναι Μ/Σ ανύψωσης της τάσης.

Από τις σχέσεις που δώσαμε παραπάνω έχουμε:

$$K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2} \quad \text{άρα} \quad U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{120}{\frac{1}{2}} = 240\text{V}$$

$$\text{Για } U_2=240\text{V και } R_k=20\Omega, \text{ είναι: } I_2 = \frac{U_2}{R_k} = \frac{240\text{V}}{20\Omega} = 12\text{A}$$

$$\text{Επομένως: } I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{12}{\frac{1}{2}} = 24\text{A} \quad \text{και άρα: } I = I_1 - I_2 = 24 - 12 = 12\text{A}$$

Απ' το παράδειγμα διαπιστώνουμε ότι **από το κοινό τμήμα του τυλίγματος του ΑΜ/Σ περνά μειωμένη ένταση ρεύματος**. Για το λόγο αυτό κατασκευάζεται με αγωγό μικρότερης διατομής.

Άρα οι ΑΜ/Σ, σε σχέση με τους γνωστούς Μ/Σ, **έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής**, λόγω του ενός τυλίγματος, αλλά και του μικρότερου βάρους των αγωγών και επομένως και **λιγότερες απώλειες**, δηλ. **πολύ καλύτερο βαθμό απόδοσης** (που πλησιάζει το 100%).

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του ΑΜ/Σ είναι ότι **αποδίδει πολύ μεγαλύτερη φαινόμενη ισχύ** (φαινόμενη ισχύς εξόδου), απ' αυτή του αντίστοιχου κανονικού Μ/Σ, για την ίδια φαινόμενη ισχύ πρωτεύοντος.

Αποδεικνύεται ότι:

- ο ΑΜ/Σ υποβιβασμού μπορεί να μας δώσει φαινόμενη ισχύ:

$$P_{S_2} = \frac{W_1}{W} \cdot P_{S_2'} \quad (1.12)$$

- ο ΑΜ/Σ ανύψωσης αποδίδει φαινόμενη ισχύ εξόδου ίση με:

$$P_{S_2} = \frac{W_2}{W} \cdot P_{S_2'} \quad (1.13)$$

όπου $P_{S_2'}$ είναι η φαινόμενη ισχύς εξόδου που θα μας έδινε ένας συμβατικός Μ/Σ με δύο ξεχωριστά τυλίγματα και τον ίδιο αριθμό σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος (W_1 και W_2) και W η διαφορά σπειρών των τυλιγμάτων.

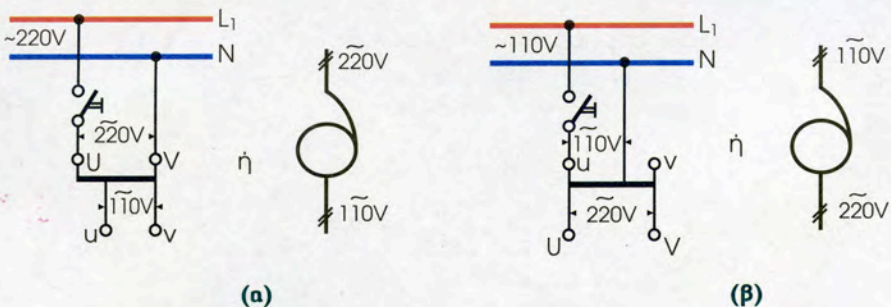
Έτσι, π.χ. ο ΑΜ/Σ του σχήματος 1.17β μπορεί να αποδώσει φαινόμενη ισχύ:

$$P_{S_2} = \frac{W_2}{W} \cdot P_{S_2'} = \frac{200}{(200-100)} \cdot P_{S_2'} = \frac{200}{100} \cdot P_{S_2'} = 2 \cdot P_{S_2'}$$

δηλ. 2 φορές μεγαλύτερη απ' αυτή ενός κανονικού Μ/Σ με τις ίδιες σπείρες.

Το βασικό μειονέκτημα των ΑΜ/Σ είναι ότι δεν υπάρχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ της Χ.Τ. και της Υ.Τ. Οι **ΑΜ/Σ χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις** και κατασκευάζονται για σχέσεις μεταφοράς που πλησιάζουν τη μονάδα (π.χ. 1/2).

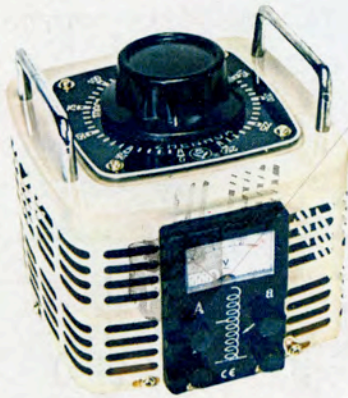
Στο παρακάτω σχήμα 1.18 φαίνονται τα σύμβολα (σε πολυγραμμική και μονογραμμική σχεδίαση) 1~ΑΜ/Σ υποβιβασμού και ανύψωσης τάσης.



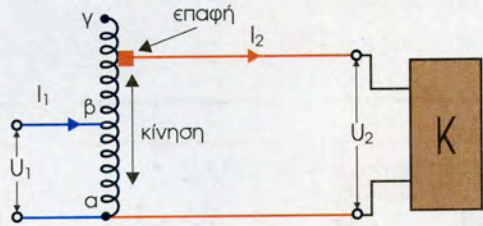
Σχ. 1.18: Συμβολισμοί 1~ ΑΜ/Σ υποβιβασμού (α) και ανύψωσης τάσης (β).

Στην πράξη κατασκευάζονται **ΑΜ/Σ με δυνατότητα μεταβολής της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος σε πολύ μεγάλα όρια** (π.χ. από 0 ως 250V), που λέγονται Μ/Σ ρύθμισης ή «**ρυθμιζόμενοι ΑΜ/Σ**». Σ' αυτούς η μεταβολή της τάσης γίνεται με τη μετακίνηση μιας επαφής πάνω στο τύλιγμα (σχ. 1.19β).

Η επαφή αυτή είναι περίπου όπως και η **ψήκτρα** μιας ηλεκτρικής μηχανής και κατασκευάζεται από άνθρακα.



(α)



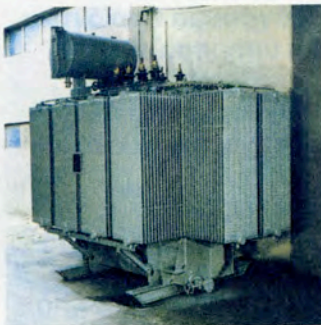
(β)

Σχ. 1.19: Πραγματική μορφή (α) και συνδεσμολογία (β) ρυθμιζόμενου ΑΜ/Σ.

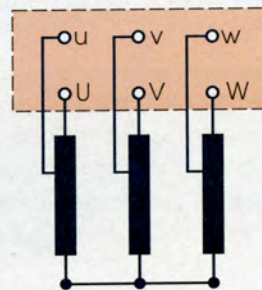
Όταν η επαφή βρίσκεται στο **σημείο α**, η τάση U_2 είναι **ίση με το μηδέν**. Καθώς όμως μετατοπίζεται προς τα πάνω, η U_2 αυξάνει σταδιακά. Όταν η **επαφή βρίσκεται μεταξύ του β και γ**, ο Μ/Σ λειτουργεί σαν **Μ/Σ ανύψωσης** της τάσης, ενώ όταν βρίσκεται **μεταξύ του β και α**, λειτουργεί σαν **Μ/Σ υποβιβασμού**.

Στο σχήμα 1.20 φαίνεται η πραγματική μορφή και ο συμβολισμός τριφασικού ΑΜ/Σ, στον οποίο υπάρχει μόνο ένα τύλιγμα ανά φάση.

Οι τριφασικοί ΑΜ/Σ χρησιμοποιούνται στη διανομή Η.Ε. (σχ. 1.20α), αλλά και για Χ.Τ., όπως π.χ. στην **εκκίνηση 3~ κινητήρων**.



(α) ΑΜ/Σ 10.000kVA, 15/20kV



(β) συμβολισμός 3~ ΑΜ/Σ

Σχ. 1.20: Τριφασικός (3~) ΑΜ/Σ διανομής (α) και συμβολισμός 3~ ΑΜ/Σ (β).

1.3.2. Μ/Σ οργάνων μέτρησης

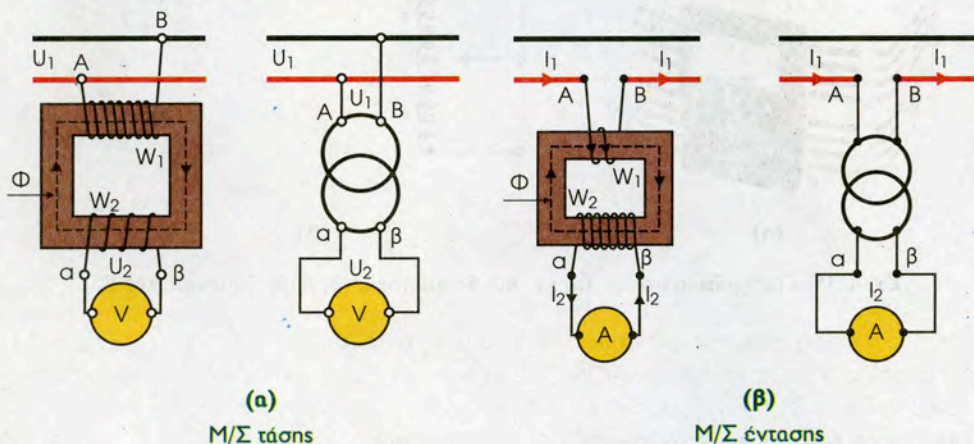
1) Γενικά

Μ/Σ οργάνων μέτρησης (ή Μ/Σ μετρήσεων) ονομάζουμε τους Μ/Σ που χρησιμεύουν για τη μέτρηση μεγάλων τάσεων ή εντάσεων ρεύματος, όπως π.χ. συμβαίνει στα δίκτυα υψηλής τάσης (Υ.Τ.) ή στα δίκτυα χαμηλής τάσης (Χ.Τ.), αλλά μεγάλης έντασης.

Για το σκοπό αυτό **παρεμβάλλονται μεταξύ των αγωγών των δικτύων και του οργάνου μέτρησης** (σχ. 1.21) και **υποβιβάζουν**, κατά τη σχέση μεταφοράς, **την τάση ή την ένταση** που θέλουμε να μετρήσουμε.

Ανάλογα με τον προορισμό τους, οι Μ/Σ οργάνων (σχ.1.21) διακρίνονται σε:

- Μ/Σ τάσης και
- Μ/Σ έντασης.



Σχ. 1.21: Διαγράμματα αρχής λειτουργίας και σύμβολα Μ/Σ οργάνων.

Έτσι π.χ., μ' ένα Μ/Σ τάσης που έχει σχέση μεταφοράς $K=W_1/W_2=100$ και ένα βολτόμετρο με κλίμακα τάσεων (U_2) μέχρι 300V, μπορούμε να μετρήσουμε τάσεις (U_1) μέχρι και 30.000V ($U_1=K \cdot U_2=100 \cdot 300=30.000V$).

Όμοια μ' έναν Μ/Σ έντασης που έχει σχέση μεταφοράς $K=50$ και ένα αμπερόμετρο με κλίμακα εντάσεων (I_2) μέχρι 10A μπορούμε να μετρήσουμε εντάσεις ρεύματος (I_1) μέχρι και 500A.

Οι Μ/Σ οργάνων μέτρησης είναι όμοιοι κατασκευαστικά με τους γνωστούς Μ/Σ ισχύος, δηλ. αποτελούνται κι αυτοί από τον πυρήνα και τα τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον). Η διαφορά τους, εκτός από τον ειδικό σκοπό τους, είναι ότι αυτοί κατασκευάζονται για πολύ μικρότερες ισχείς (μερικές δεκάδες VA), όπως επίσης και το ότι, για λόγους προστασίας, το ένα άκρο του δευτερεύοντος τυλίγματος γειώνεται.

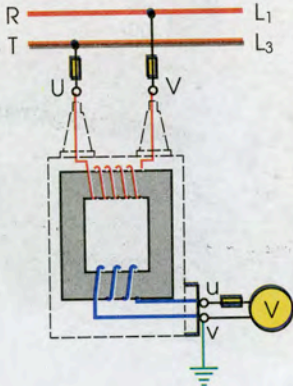
Με τους Μ/Σ μετρήσεων πετυχαίνουμε ταυτόχρονα:

- την αύξηση της περιοχής μετρήσεως των οργάνων,
- την ηλεκτρική απομόνωσή τους απ' τα κυκλώματα Υ.Τ. και
- την εγκατάστασή τους σε θέσεις προσιτές και ακίνδυνες για το χειριστή τους.

2) Μ/Σ τάσης

Σ' αυτούς το πρωτεύον τύλιγμα συνδέεται στους ζυγούς της Υ.Τ. που θέλουμε να μετρήσουμε και το δευτερεύον με το βολτόμετρο, ενώ ο ένας ακροδέκτης της Χ.Τ. για λόγους προστασίας γειώνεται (σχ. 1.22).

Οι Μ/Σ τάσης εργάζονται με πολύ μικρό φορτίο (σχεδόν στο κενό), γιατί δίνουν μόνο το αδύνατο ρεύμα, που χρειάζεται το βολτόμετρο, οπότε σε περίπτωση βραχυκυκλώματος υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους από το μεγάλο ρεύμα που θα αναπτυχθεί. Για το λόγο αυτό στο δευτερεύον τοποθετούμε πάντοτε μια ασφάλεια. Ασφάλειες τοποθετούνται επίσης και στη σύνδεση του πρωτεύοντος με την Υ.Τ.



(α)



(β)

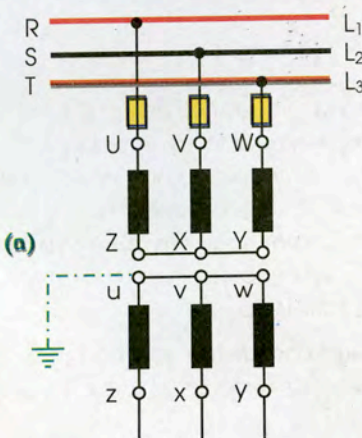
Σχ. 1.22: Συνδεσμολογία (α) και πραγματική μορφή Μ/Σ τάσης (β).

Η κλίμακα του βολτόμετρου, που συνδέεται με Μ/Σ τάσης, μπορεί να είναι βαθμολογημένη:

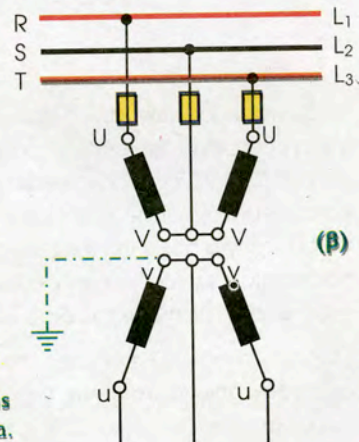
- είτε σαν Υ.Τ., οπότε η τάση διαβάζεται κατευθείαν,
- είτε σαν Χ.Τ., οπότε για να βρούμε τη μετρούμενη τάση πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την ένδειξη επί τη σχέση μεταφοράς. Δηλαδή είναι:

$$U_1 = K \cdot U_2 \quad (1.14)$$

➤ Για τη μέτρηση Υ.Τ. στα τριφασικά συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις 1~ Μ/Σ τάσης ή ένας 3~ με ζεύξη αστέρα (σχ. 1.23α), ενώ σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και η ζεύξη V δύο 1~ Μ/Σ τάσης (σχ. 1.23β).



(α)



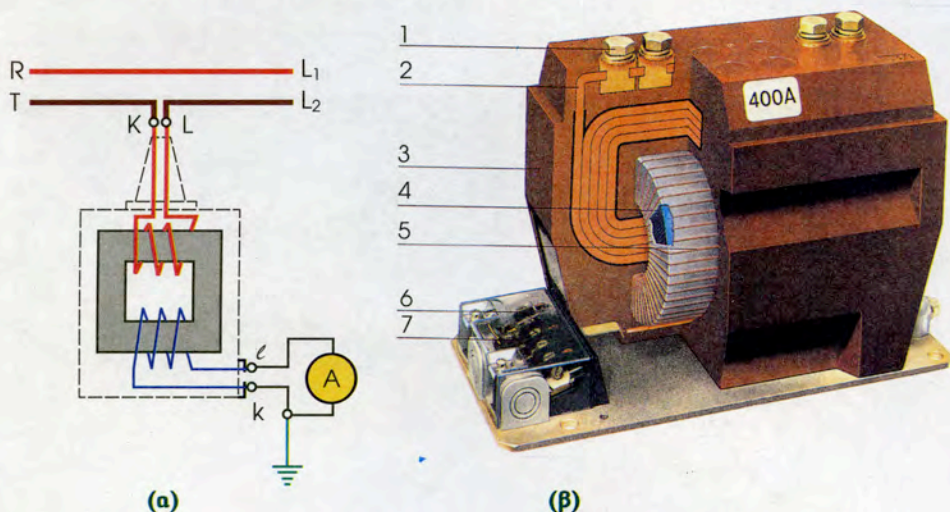
(β)

Σχ. 1.23:
Ζεύξεις Μ/Σ τάσης
για 3~ συστήματα.

3) Μ/Σ έντασης

Η συνδεσμολογία και η πραγματική μορφή Μ/Σ έντασης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.24.

Το πρωτεύον τύλιγμα, που αποτελείται από πολύ λίγες σπείρες και αγωγό μεγάλης διατομής, συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα, στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση, ενώ το δευτερεύον συνδέεται σε σειρά με το αμπερόμετρο.



Σχ. 1.24: Συνδεσμολογία (α) και πραγματική μορφή Μ/Σ έντασης (β).

Στους Μ/Σ έντασης χρησιμοποιείται η γνωστή μας σχέση:

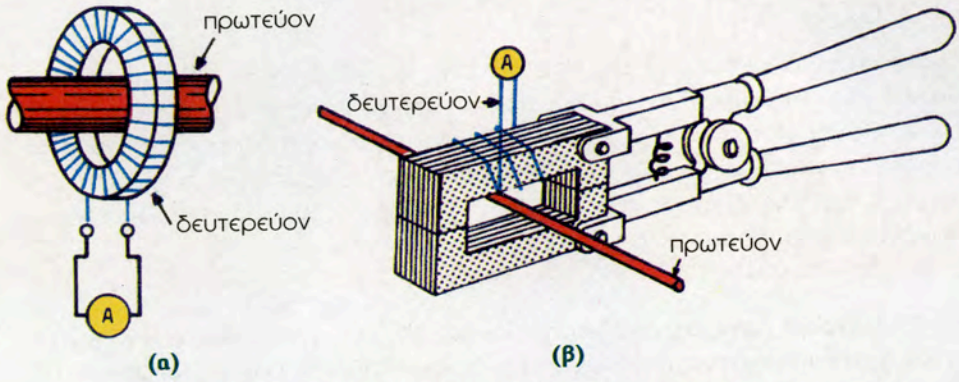
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

Έτσι, για να βρούμε το μεγάλο ρεύμα μιας κατανάλωσης (ή δικτύου) πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την ένδειξη του αμπερομέτρου επί τον αντίστροφο λόγο της σχέσης μεταφοράς του Μ/Σ, δηλ. επί $1/K$, γιατί:

$$I_1 = \frac{1}{K} \cdot I_2 \quad \text{ή} \quad I_1 = \frac{I_2}{K} \quad (1.15)$$

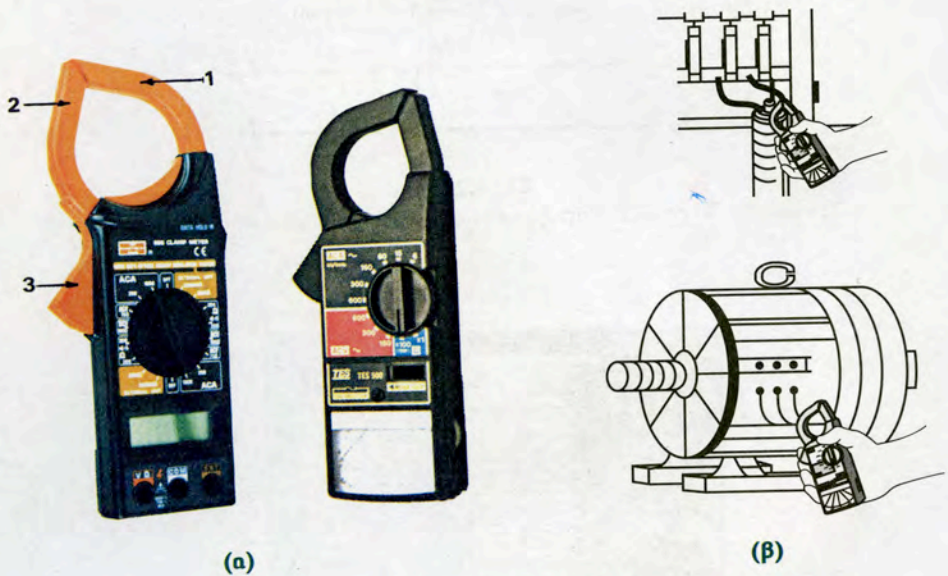
Το δευτερεύον των Μ/Σ έντασης κατασκευάζεται για ονομαστικό ρεύμα 0-5Α, ενώ η σχέση μεταφοράς και το ρεύμα πρωτεύοντος εξαρτώνται από τη μετρούμενη ένταση (I_1). Οι Μ/Σ έντασης, ανάλογα με την ένταση του ρεύματος που προορίζονται, κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές και τύπους. Έτσι, π.χ. **οι Μ/Σ που χρησιμοποιούνται για πολύ μεγάλες εντάσεις, έχουν στο πρωτεύον τους ένα μόνο αγωγό**, από τον οποίο περνά όλο το ρεύμα που θέλουμε να μετρήσουμε, ενώ το δευτερεύον τους έχει μορφή δακτυλιδιού και πολλές σπείρες (σχ. 1.25α).

Σε άλλο τύπο Μ/Σ έντασης, **το μαγνητικό κύκλωμα αποτελείται από δύο μισά, που ανοίγουν όπως η τανάλια**, για να περάσει ο αγωγός, στον οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση (σχ. 1.25β).



Σχ. 1.25: Μ/Σ έντασης για μεγάλες εντάσεις ρεύματος.

Εξέλιξη του Μ/Σ έντασης "τύπου τανάλιας" αποτελεί ένας ειδικός συνδυασμός Μ/Σ έντασης και αμπερόμετρου· η γνωστή μας **αμπερομετρική πένσα** (σχ. 1.26α), που είναι ένα φορητό όργανο πολύ εύχρηστο για τη μέτρηση εντάσεων χωρίς διακοπή του κυκλώματος (σχ. 1.26β).



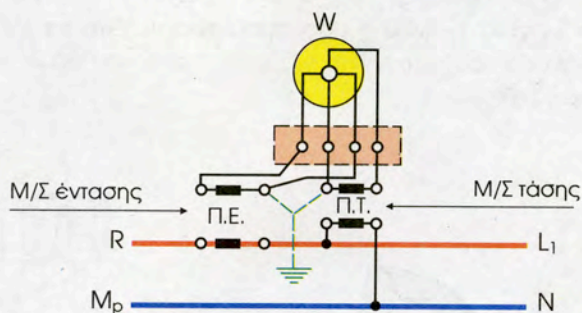
Σχ. 1.26: Αμπερομετρική πένσα (α) και χρήσεις της (β).

Ο **πυρήνας** της αμπερομετρικής πένσας (ή αμπεροτσιμπίδας) **αποτελείται από δύο μέρη** (τσιμπίδες), απ' τα οποία το δεύτερο (2) μπορεί να κινηθεί σε σχέση με το πρώτο (1). Όταν πιέζουμε το στέλεχος (3), το μέρος (2) απομακρύνεται από το (1), οπότε μπορούμε να περάσουμε τον αγωγό στο εσωτερικό του πυρήνα της. **Το ρεύμα του αγωγού που αποτελεί το πρωτεύον του Μ/Σ, διαβάζεται κατευθείαν** από το αμπερόμετρο που συνδέεται στο δευτερεύον του.

ΠΡΟΣΟΧΗ!

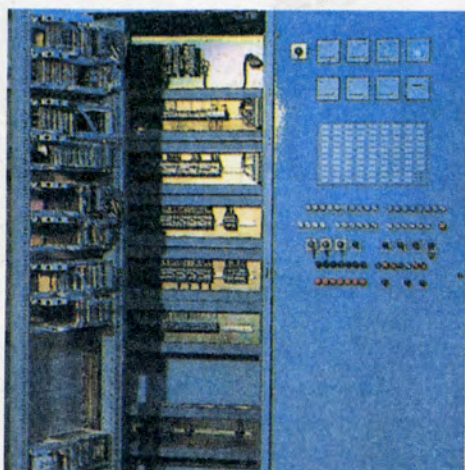
Όποιος κι αν είναι ο τύπος του Μ/Σ έντασης, όταν τροφοδοτείται το πρωτεύον τύλιγμά του, **το δευτερεύον του δεν πρέπει ποτέ να μένει ανοικτό**, δηλ. χωρίς το αμπερόμετρο, γιατί η διακοπή του δευτερεύοντος προκαλεί πολύ μεγάλη τάση και άρα υπάρχει κίνδυνος και για τον Μ/Σ και γι' αυτόν που χειρίζεται το όργανο. (Αν θέλουμε, από Μ/Σ έντασης που λειτουργεί, να αφαιρέσουμε το αμπερόμετρο, θα πρέπει πρώτα να βραχυκυκλώσουμε το δευτερεύον του).

🔧 Σημειώνουμε τέλος, ότι στο δευτερεύον των Μ/Σ οργάνων, εκτός από το βολτόμετρο ή το αμπερόμετρο, μπορούν να συνδεθούν και άλλα όργανα, όπως π.χ. ένα βαττόμετρο (σχ. 1.27α). Στις εγκαταστάσεις μεγάλων ρευμάτων και Υ.Τ., οι Μ/Σ αυτοί τοποθετούνται στους ηλεκτρικούς πίνακες (σχ. 1.27β).



Σχ. 1.27α

Σύνδεση Π.Τ. και Π.Ε. βαττομέτρου σε κύκλωμα με αντίστοιχους Μ/Σ.



Σχ. 1.27β

Πίνακας αυτοματισμού με Μ/Σ οργάνων για τον Υ.Η.Σ. "ΣΤΡΑΤΟΣ" της Δ.Ε.Η.

1.3.3. Ερωτήσεις

1. Τι ονομάζουμε ΑΜ/Σ; (Σχεδιάστε έναν 1~ ΑΜ/Σ υποβιβασμού τάσης).
2. Ποιές διαφορές έχει ένας ΑΜ/Σ από έναν Μ/Σ;
3. Για ποιες σχέσεις μεταφοράς κατασκευάζονται οι ΑΜ/Σ;
4. Πώς συνδέονται οι ΑΜ/Σ και ποια η τάση λειτουργίας τους;
5. Πώς προσδιορίζεται το εύρος ρύθμισης της τάσης ΑΜ/Σ;
6. Για τις ίδιες διαστάσεις, ποιος Μ/Σ έχει μεγαλύτερη ισχύ· ο ΑΜ/Σ ή ο απλός Μ/Σ και γιατί;
7. Τι ονομάζουμε Μ/Σ μετρήσεων και ποιος ο σκοπός τους;
8. Ποιά η διαφορά των Μ/Σ μετρήσεων απ' τους Μ/Σ ισχύος;
9. Πότε χρησιμοποιούνται Μ/Σ για τη μέτρηση ηλ. μεγεθών και τι πετυχαίνουμε μ' αυτούς;
10. Πώς συνδέεται ένας Μ/Σ τάσης;
11. Πώς συνδέεται ένας Μ/Σ έντασης;
Γιατί το δευτερεύον του δεν πρέπει να μένει ποτέ ανοικτό;
12. Ποιά άλλα όργανα μπορούν να συνδεθούν στο δευτερεύον των Μ/Σ μετρήσεων;
13. Στο σχήμα 1.24α, το αμπερόμετρο δείχνει ένταση ρεύματος 4,2Α. Αν ο Μ/Σ έχει σχέση μεταφοράς $K=1/50$, πόση ένταση ρεύματος περνά απ' το δίκτυο, δηλ. το πρωτεύον του Μ/Σ;
(ΑΠ. $I_1=20\text{A}$)
14. Στο σχήμα 1.22α ο Μ/Σ έχει σχέση μεταφοράς $K=96$ και το βολτόμετρο δείχνει 69V. Τι τάση επικρατεί στους ζυγούς R-T;
(ΑΠ. $U_1=6624\text{V}$)

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

15. Οι 3~ ΑΜ/Σ λειτουργούν όπως και οι αντίστοιχοι Μ/Σ και έχουν συνολικά:
 - α. ένα τυλίγμα.
 - β. δύο τυλίγματα.
 - γ. τρία τυλίγματα.
 - δ. έξι τυλίγματα.
16. Στον Μ/Σ τάσης το πρωτεύον τυλίγμα συνδέεται με:
 - α. το βολτόμετρο.
 - β. το δίκτυο Χ.Τ.
 - γ. το δίκτυο Υ.Τ.
 - δ. τη γη.

17. Ο Μ/Σ έντασης (ρεύματος) πρέπει να διατηρείται συνεχώς:
- σε λειτουργία.
 - βραχυκυκλωμένος.
 - στο κύκλωμα.
 - εκτός κυκλώματος.
18. Οι αυτοΜ/Σ σε σχέση με τους κλασσικούς Μ/Σ, ίδιας ισχύος έχουν:
- λιγότερες απώλειες.
 - μικρότερο κόστος κατασκευής.
 - μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.
 - όλα τα παραπάνω.
19. Με έναν Μ/Σ τάσης, που έχει $K=60$ και ένα βαλτόμετρο, με κλίμακα μέχρι 250V, μπορούμε να μετρήσουμε τάσεις έως:
- 10.000V.
 - 15.000V.
 - 20.000V.
 - 25.000V.
20. Οι αυτοΜ/Σ με δυνατότητα μεταβολής της τάσης του δευτερεύοντος σε πολύ μεγάλα όρια, ονομάζονται:
- Μ/Σ οργάνων μέτρησης.
 - τριφασικοί αυτοΜ/Σ.
 - ρυθμιζόμενοι αυτοΜ/Σ.
 - αυτοΜ/Σ υποβιβασμού.

 Αντιστοιχείστε τους αριθμούς του σχήματος 1.24β με τα παρακάτω τμήματα του Μ/Σ έντασης:

- Α) πυρήνας Μ/Σ.
- Β) πρωτεύον τύλιγμα.
- Γ) δευτερεύον τύλιγμα.
- Δ) εξωτερικό περίβλημα.
- Ε) ακροδέκτες δευτερεύοντες.
- ... ΣΤ) βίδες για σύνδεση δευτερεύοντος.
- Ζ) διπλοί ακροδέκτες για σύνδεση με καλώδιο.

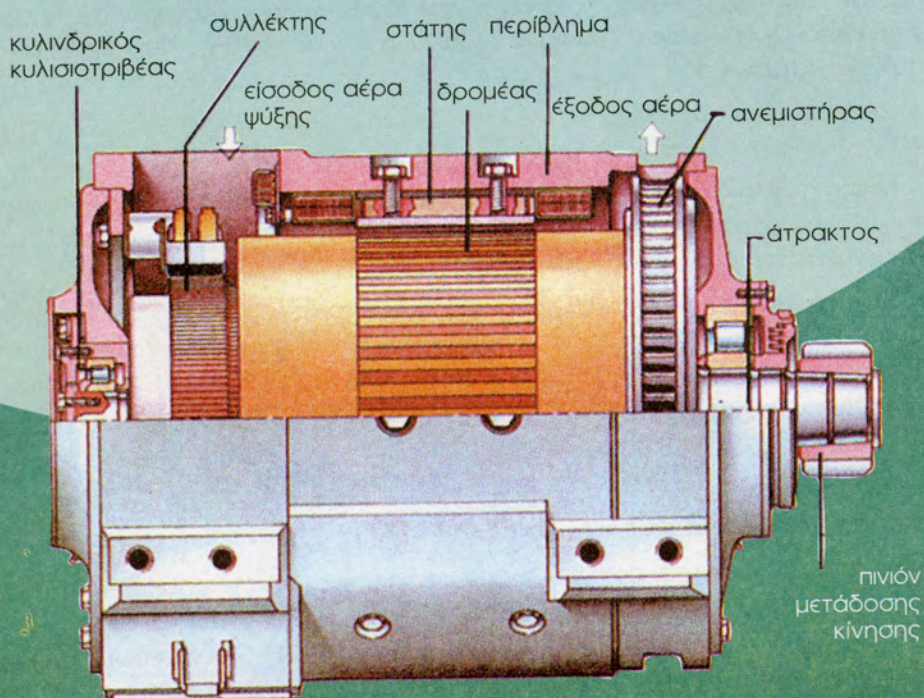
κεφάλαιο 2

ηλεκτρικές μηχανές

Συνεχούς Ρεύματος (Σ.Ρ.)

➡ Είναι ευρύτατα γνωστό, ότι το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει μια χώρα, χαρακτηρίζει και το επίπεδο της τεχνικής ανάπτυξής της.

Ο ηλεκτρισμός διαδόθηκε χάρη στην κατασκευή φθηνών και αποδοτικών ηλεκτρικών μηχανών. Σήμερα κάθε βιομηχανική εγκατάσταση χρησιμοποιεί ηλεκτρικές μηχανές. Η γνώση της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών αυτών των μηχανών κυρίως κρίνεται απαραίτητη για την ορθή αντιμετώπιση των προβλημάτων που αφορούν στην επιλογή, εγκατάσταση, στη χρησιμοποίηση και στη συντήρησή τους.



αυτόψυκτος ηλεκτροκινητήρας έλξης συνεχούς ρεύματος για αυτοκινητάμαξες

Ενότητα 2.1.

Σύντομη ιστορική ανασκόπηση, χρήσεις μηχανών Σ.Ρ., αρχή λειτουργίας

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τα στάδια εξέλιξης των Ηλεκτρικών Μηχανών Σ.Ρ.
2. Να αναφέρετε τα πεδία εφαρμογής των Γεννητριών και των Κινητήρων Σ.Ρ. στις σημερινές συνθήκες παραγωγής.
3. Να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Γεννητριών Σ.Ρ.
4. Να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Κινητήρων Σ.Ρ.

2.1.1. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση και χρήσεις των μηχανών Σ.Ρ.

Η ανακάλυψη του νόμου της επαγωγής από τον **Faraday**, ο οποίος βασίστηκε στα πειράματα του **Oersted** και **Ampere** το 1820, βοήθησε το Γάλλο **Hippolyte Pixii** το 1832 να κατασκευάσει την πρώτη μηχανή Συνεχούς Ρεύματος (Σ.Ρ.) ως γεννήτρια.

Ο ίδιος κατασκεύασε την ίδια χρονολογία και μια απλή γεννήτρια (Ε.Ρ.) Α.Σ., η οποία όμως δεν έγινε γνωστή.

Η πρώτη ηλεκτρική μηχανή του **Pixii** είχε συλλέκτη δύο τομέων για την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης που παραγόταν στους αγωγούς. Η κυμάτωση της ανορθωμένης τάσης ήταν πολύ μεγάλη.

Η πρώτη μηχανή Σ.Ρ. με περιέλιξη τυμπάνου που τοποθετήθηκε μέσα στα λούκια του δρομέα και με συλλέκτη αρχικά δύο τομέων έγινε από τον **Werner Von Siemens** το 1856. Η κατασκευή αυτή έγινε αφορμή για την εξέλιξη των ηλεκτρικών μηχανών.

Το 1860 ο **Pacinotti** κατασκεύασε τη μηχανή με τον επαγωγικό δακτύλιο και συλλέκτη με πολλούς τομείς.

Το 1870 ο **Gramme** κατασκεύασε μηχανή που είχε το πλεονέκτημα της μικρής κυμάτωσης της ανορθωμένης τάσης της.

Η μηχανή αυτή εγκαταλείφθηκε σύντομα λόγω των μεγάλων τεχνικοοικονομικών μειονεκτημάτων της δακτυλιοειδούς της περιέλιξης.

Ο τύπος της μηχανής Σ.Ρ. που επικράτησε τελικά ήταν αυτός του **F.V. Hefner - Alteneck** (1872) που είχε περιέλιξη τυμπάνου και συλλέκτη με πολλούς τομείς.

Σήμερα, είναι γνωστό, ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται Ε.Ρ.

Παρ' όλα αυτά όμως οι μηχανές Σ.Ρ. κατέχουν ένα σημαντικό μέρος στην ηλεκτρική κίνηση πολύ μικρών, μικρών, μεσαίων και μεγάλων ισχύων (μέχρι 8MW).

Πολλά εργοστάσια χρησιμοποιούν γεννήτριες Σ.Ρ. για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος για τη λειτουργία κινητήρων Σ.Ρ.

Ηλεκτροκινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές κινήσεις με έλεγχο της περιστροφικής ταχύτητας, όπως μεταφορικές εγκαταστάσεις, εργαλειομηχανές, τροχιοδρομικά οχήματα κ.λπ.

➤ Συγκριτικά με τους κινητήρες Ε.Ρ., οι κινητήρες Σ.Ρ. παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά ανωτερότητας που τους κάνουν αναντικατάστατους σε κινήσεις υψηλών απαιτήσεων όπως π.χ. στα έλαστρα.

Η τροφοδότηση με **ηλεκτρονικά ισχύος** τελειοποίησε πολλές από τις εφαρμογές αυτές. Οι μικροί κινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται γενικά σε όλες τις εφαρμογές όπου διατίθεται συνεχής ή ημιανορθωμένη τάση, όπως σε αυτοματισμούς αεροπλάνων, συστήματα ψύξης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μικρούς διεγέρτες, σερβομηχανισμούς, παιχνίδια, μαγνητόφωνα, μονάδες μαγνητικών ταινιών, εκτυπωτές υπολογιστών, μηχανές συγχρονισμών, φωτοτυπικά μηχανήματα κ.λπ.

2.1.2. Αρχή λειτουργίας των Γεννητριών Σ.Ρ.

Για τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών απαιτούνται τρία είδη υλικών:

- α) ηλεκτρικοί αγωγοί**, για τη δίοδο του ρεύματος (κατά κανόνα χάλκινοι, σπανιότερα από αλουμίνιο, ορείχαλκο ή μπρούντζο).
- β) μονωτικά υλικά**, για την παρεμπόδιση διαρροής του ηλεκτρικού ρεύματος από τους αγωγούς (ελαστικό, συνθετικά υλικά, χαρτί εμποτισμένο σε μονωτικό βερνίκι).
- γ) σιδήρος**, (σιδηροελάσματα) για την οδήγηση του μαγνητικού πεδίου.

Με άλλα λόγια για να λειτουργήσει μια γεννήτρια πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω βασικές συνθήκες:

1. Να υπάρχει **ομογενές μαγνητικό πεδίο, μαγνητικής επαγωγής (B)**.
2. Να υπάρχει **αγωγός** (ή πλαίσιο) εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή, να υπάρχει τύλιγμα στη μηχανή.
3. Να υπάρχει **σχετική κίνηση του αγωγού** (ή πλαισίου) ως προς το μαγνητικό πεδίο ή του πεδίου ως προς τον αγωγό.

Αποτέλεσμα των παραπάνω συνθηκών είναι η ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) στα άκρα αυτού του αγωγού (ή πλαισίου).

Αυτή η ΗΕΔ προέρχεται από επαγωγή και είναι ανάλογη:

- της μαγνητικής επαγωγής (B) του ομογενούς μαγνητικού πεδίου,

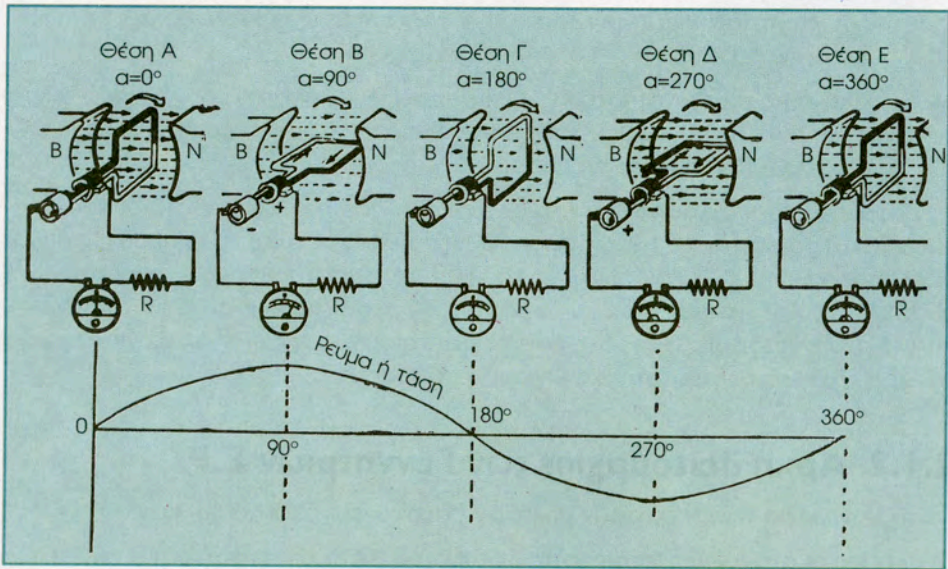
(σε Tesla ή $1T = 1 \frac{V \cdot s}{m^2}$),

- του μήκους (l) του τμήματος του αγωγού το οποίο βρίσκεται υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου (ενεργό μήκος σε m),
- της ταχύτητας ($u=2\pi \cdot r \cdot n$, όπου n : στρ/s) της μεταβολής της κίνησης του αγωγού (σε m/s),
- του ημίτονου της γωνίας (α), η οποία σχηματίζεται μεταξύ των κατευθύνσεων της κίνησης και του μαγνητικού πεδίου.

Η σχέση που δίνει την ΗΕΔ είναι:

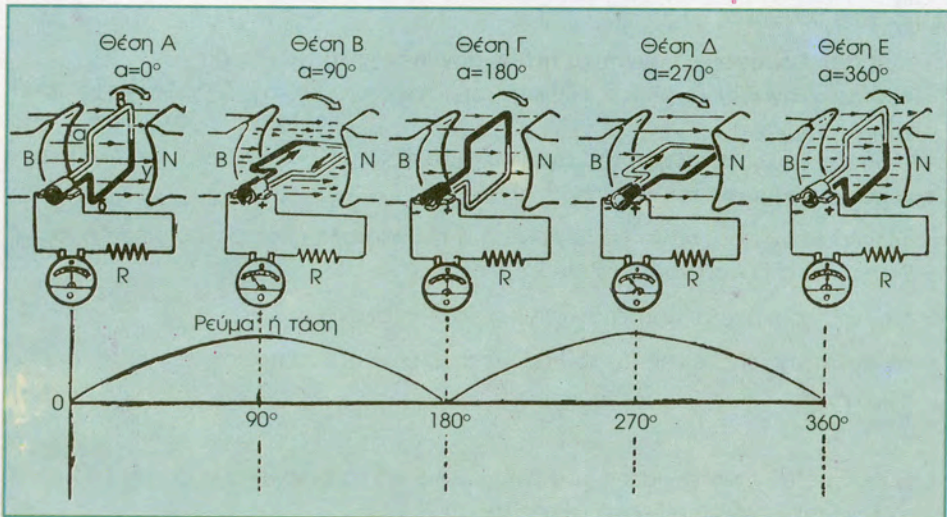
$$E = B \cdot \ell \cdot v \cdot \eta \text{ (σε V)} \quad (2.1)$$

Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η πορεία και τα στάδια της αναπτυσσόμενης από το πλαίσιο ΗΕΔ, καθώς αυτό στρέφεται σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η εναλλασσόμενη μορφή του παραγόμενου ρεύματος.



Σχ. 2.2: Πορεία της ανάπτυξης εναλλασσόμενης Η.Ε.Δ. σε πλαίσιο στρεφόμενου μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.

Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η πορεία και τα στάδια της ανόρθωσης, δηλαδή, της μετατροπής του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. η οποία εκτελείται από **το συλλέκτη**.



Σχ.2.3: Ανορθωτική δράση του συλλέκτη.

2.1.3. Αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται σ' αυτόν από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον κινήσει προς ορισμένη κατεύθυνση.

Η δύναμη αυτή είναι η συνισταμένη των δυνάμεων Laplace, στις οποίες υπόκεινται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία κινούνται μέσα στον αγωγό.

Το μέγεθος της δύναμης αυτής είναι ανάλογο προς:

- α. τη μαγνητική επαγωγή (B) του πεδίου (σε T).
- β. την ένταση του ρεύματος (I), που διαρρέει τον αγωγό (σε A).
- γ. το μήκος του αγωγού (l), ο οποίος βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο (ενεργό μήκος σε m).
- δ. τη γωνία (α), την οποία σχηματίζουν οι διευθύνσεις του αγωγού και του πεδίου.

Το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \eta \mu \alpha \quad (\text{σε N}) \quad (2.2)$$

2.1.4. Παραδείγματα

1. Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται σε αγωγό κινούμενο εντός ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου με ταχύτητα 20m/s είναι 10V. Να βρεθούν: **α)** Η ΗΕΔ, εάν η μαγνητική επαγωγή του πεδίου αυξηθεί κατά 20% και **β)** η ΗΕΔ, εάν η ταχύτητα του αγωγού μειωθεί κατά 10%.

Λύση

Το μέγεθος της ΗΕΔ, η οποία αναπτύσσεται σε αγωγό κινούμενο εντός ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου, δίνεται από τη σχέση $E = B \cdot \ell \cdot u \cdot \eta \mu \alpha$ (σε V).

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται, ότι η ΗΕΔ είναι ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής B του πεδίου, της ταχύτητας κίνησης του αγωγού u, καθώς και του μήκους του αγωγού ℓ .

Έτσι για την αύξηση της B κατά 20% θα έχουμε και αύξηση της ΗΕΔ κατά 20%.

Για μείωση της ταχύτητας u κατά 10% θα έχουμε και μείωση της ΗΕΔ κατά 10%.

Επομένως:

$$\alpha) \frac{E_1}{E_2} = \frac{B_1}{B_2} \quad \text{ή} \quad \frac{10}{E_2} = \frac{B_1}{1,20B_1}, \quad E_2 B_1 = 10 \cdot 1,20 B_1, \quad E_2 = 12V$$

$$\beta) \frac{E_1}{E_2} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{ή} \quad \frac{10}{E_2} = \frac{u_1}{0,90 \cdot u_1}, \quad E_2 \cdot u_1 = 10 \cdot 0,90 \cdot u_1, \quad E_2 = 9V$$

2. Με ποια ταχύτητα πρέπει να κινείται αγωγός μήκους $\ell = 0,5\text{m}$, μέσα σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που έχει μαγνητική επαγωγή $B = 0,8\text{T}$, αν η γωνία που κόβει τις μαγνητικές γραμμές είναι 60° και η παραγόμενη ΗΕΔ από επαγωγή στον αγωγό είναι $E = 9,4\text{V}$.

Λύση

Από τη σχέση της ΗΕΔ από επαγωγή

$$\mathbf{E=B \cdot \ell \cdot u \cdot \eta\mu\alpha}$$
 βρίσκουμε:
$$u = \frac{E}{B \cdot \ell \cdot \eta\mu\alpha} = \frac{9,4}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,866} = \frac{9,4}{0,3464} = 27,1\text{m/s}$$

3. Αγωγός μήκους 15cm κινείται με ταχύτητα 4m/s κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου επαγωγής 0,8Τ. Ο αγωγός αποτελεί τμήμα κλειστού κυκλώματος, του οποίου η ωμική αντίσταση είναι 0,6Ω. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται επί του αγωγού και αντιτίθεται στην κίνησή του.

Λύση

Η αναπτυσσόμενη εντός του αγωγού ΗΕΔ είναι: $\mathbf{E=B \cdot \ell \cdot u \cdot \eta\mu\alpha}$

Εδώ είναι $\alpha=90^\circ$ ή $\eta\mu\alpha=1$ και $\ell=0,15\text{m}$

Άρα: $E=0,8 \cdot 0,15 \cdot 4 \cdot 1=0,48\text{V}$

Συνεπώς η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0,48}{0,6} = 0,8\text{A}$$

Η ασκούμενη δύναμη επί του αγωγού θα υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\mathbf{F=B \cdot \ell \cdot I \cdot \eta\mu\alpha}$$

$$F=0,8 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot \eta\mu 90^\circ=0,096\text{N}$$

2.1.5. Ερωτήσεις

1. Να αναφέρετε πού χρησιμοποιούνται οι γεννήτριες και πού οι κινητήρες Σ.Ρ.;
2. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των γεννητριών Σ.Ρ.;
3. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.;
4. Με ποιο τρόπο γίνεται η ανόρθωση του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ.;
5. Να σχεδιαστεί η πορεία της ανάπτυξης εναλλασσόμενης ΗΕΔ σε πλαίσιο που στρέφεται μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.
6. Να σχεδιαστεί η πορεία και τα στάδια της ανόρθωσης του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. που εκτελείται από το συλλέκτη.
7. Πότε στα άκρα αγωγού κινούμενου μέσα σε μαγνητικό πεδίο δεν αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή;
8. Πώς μειώνουμε τις κυματώσεις του ρεύματος που παράγεται στις ηλεκτρικές γεννήτριες;
9. Με ποια ταχύτητα πρέπει να κινείται αγωγός μήκους $l=0,8\text{m}$ μέσα σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που έχει μαγνητική επαγωγή $B=0,9\text{T}$, αν η γωνία που κόβει τις μαγνητικές γραμμές είναι 60° και η παραγόμενη ΗΕΔ από επαγωγή στον αγωγό είναι $E=6,23\text{V}$.
(ΑΠ. 10m/sec)
10. Η δύναμη που ασκείται σε αγωγό μήκους $l=0,4\text{m}$ κατά την κίνησή του υπό γωνία 45° μέσα σε μαγνητικό πεδίο $B=0,9\text{T}$ είναι 12N . Ζητείται η ένταση του ρεύματος, που θα διαρρέεται ο αγωγός.
(ΑΠ. $47,2\text{A}$)

➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

11. Η ΗΕΔ μιας στοιχειώδους γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:
 - α. $E=B \cdot l \cdot \omega \cdot \sin \alpha$.
 - β. $E=B \cdot l \cdot \omega \cdot \eta \cdot \mu \alpha$.
 - γ. $E=B \cdot l \cdot \eta \cdot \mu \alpha$.
12. Το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:
 - α. $F=B \cdot \omega \cdot l \cdot \eta \cdot \mu \alpha$.
 - β. $F=B \cdot l \cdot \eta \cdot \mu \alpha$.
 - γ. $F=B \cdot l \cdot \omega \cdot \eta \cdot \mu \alpha$.

Ενότητα 2.2.

Κατασκευαστικά στοιχεία Μηχανών Σ.Ρ. Είδη προστασίας, Τυποποίηση ακροδεκτών

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε τα βασικά εξαρτήματα των ηλεκτρικών μηχανών Σ.Ρ.
2. Να αναγνωρίζετε την τυποποίηση των ακροδεκτών στις μηχανές Σ.Ρ.
3. Να ερμηνεύετε την τυποποίηση που υπάρχει για την προστασία των ηλεκτρικών μηχανών και τη σημασία κάθε γράμματος και αριθμού.

2.2.1. Κατασκευαστικά στοιχεία Μηχανών Σ.Ρ.

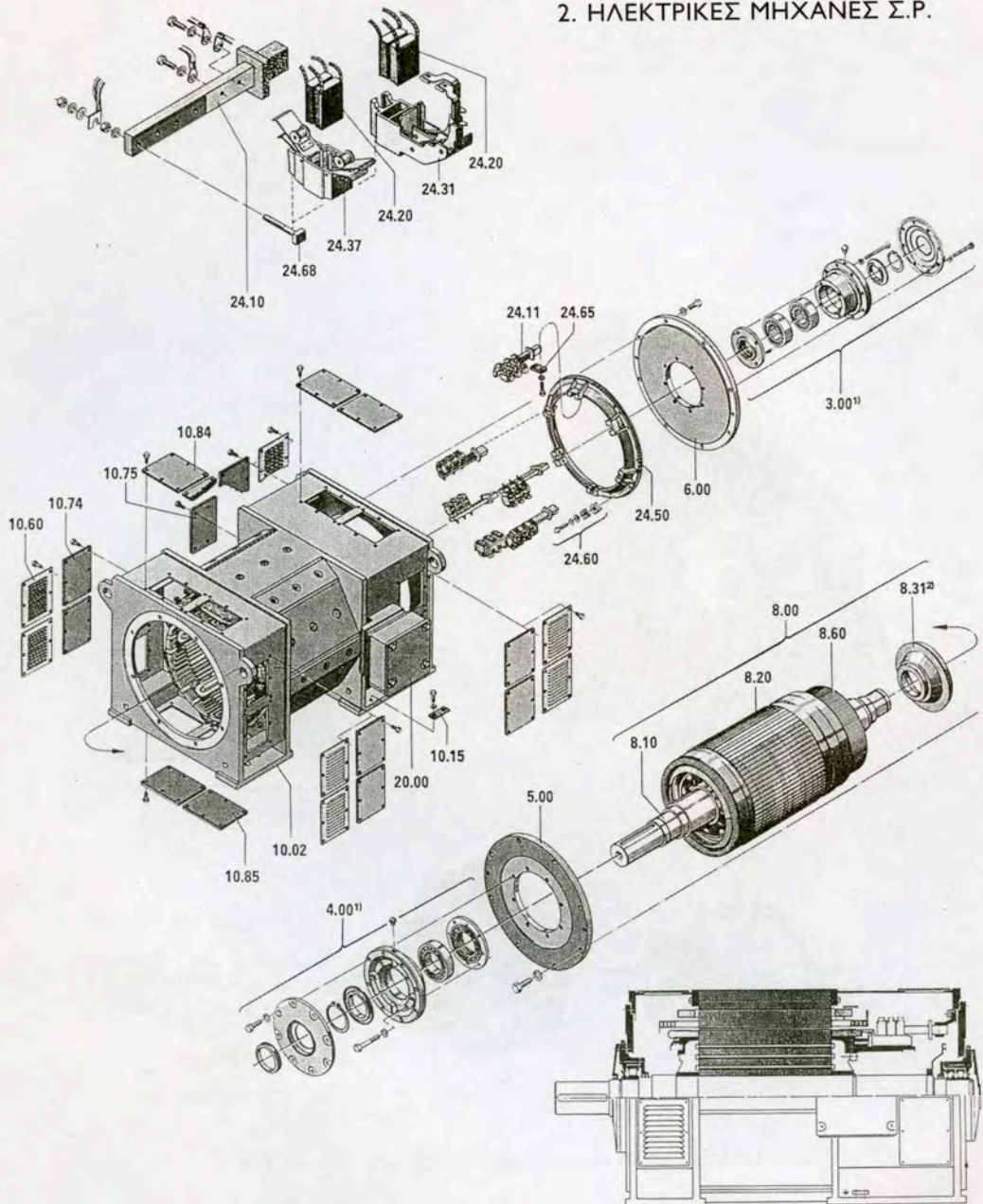
Κάθε μηχανή Σ.Ρ. αποτελείται από το ακίνητο μέρος, το οποίο ονομάζεται **στάτης** και από το κινητό μέρος, το οποίο ονομάζεται **δρομέας**.

➤ Ο **στάτης** είναι το συγκρότημα των ακίνητων τμημάτων της μηχανής και έχει ως κύριο προορισμό του να δημιουργεί καθορισμένη μαγνητική ροή.

Ο στάτης αποτελείται από:

- το ζύγωμα
- τους μαγνητικούς πόλους
- τα πέδιλα των πόλων
- τα τυλίγματα των πόλων
- τα καλύμματα (καπάκια)
- τους ψηκτροφορείς
- τα σιδερένια δακτυλίδια
- τους βραχίονες
- τις ψηκτροθήκες
- τις ψήκτρες
- τα ελατήρια πίεσης των ψηκτρών

Στο σχήμα 2.4 φαίνεται παραστατικά αποσυναρμολογημένη μηχανή Σ.Ρ.



Σχ. 2.4: Αποσυναρμολογημένη μηχανή Σ.Ρ.

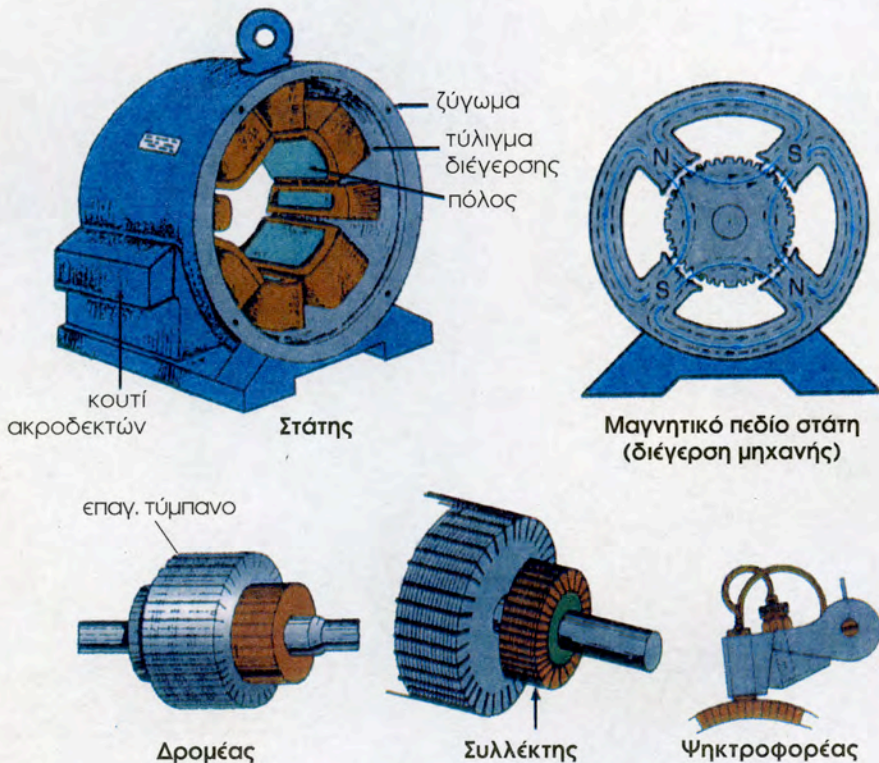
3.00 σταθερό έδρανο 4.00 κινούμενο έδρανο 5.00 ακραίο προστατευτικό κάλυμμα 6.00 ακραίο προστατευτικό κάλυμμα 8.00 σύνολο δρομέα 8.10 άξονας 8.20 πυρήνας δρομέα με την περιέλιξη του 8.31 δακτύλιος σταθεροποίησης του άξονα 8.60 συλλέκτης 10.02 πλαίσιο στάτη με τους κύριους πόλους και τους πόλους αντιστάθμισης 10.15 ιμάντας σύσφιξης γείωσης 10.60 έλασμα ρύθμισης αέρα 10.74 -10.75 πλευρικό κάλυμμα με τσιμούχα 10.84 -10.85 επάνω κάλυμμα με τσιμούχα

20.0 κιβώτιο ακροδεκτών 24.10 βραχίονας ψηκτροφορέα 24.11 βραχίονας με τον ψηκτροφορέα και τις ψηκτρες άνθρακα 24.20 ψηκτρες άνθρακα 24.31 ψηκτροθήκη 24.37 διαδοχικά ελατήρια πίεσης ψηκτροφορέα 24.50 δακτύλιος ψηκτρας 24.60 ατομικώς ενεργούντες γάτζοι σύσφιξης για το δακτύλιο της ψηκτρας 24.65 ιμάντας σύσφιξης για το βραχίονα του ψηκτροφορέα 24.68 βίδες στερέωσης ψηκτροφορέα

➤ Ο **δρομέας** είναι το συγκρότημα των κινητών τμημάτων της μηχανής, και αποτελείται από:

- τον άξονα,
- τον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου,
- το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου,
- το συλλέκτη,
- τον ανεμιστήρα,
- την πλήμνη.

Στο σχήμα 2.5 φαίνονται τα βασικά μέρη των μηχανών Σ.Ρ. (γεννήτριας ή κινητήρα).



Σχ.2.5: Βασικά μέρη (δομή) ηλεκτρικών μηχανών Σ.Ρ.

2.2.2. Τα μέρη μιας μηχανής Σ.Ρ.

Α. Στάτης. Ο στάτης αποτελείται από:

1. Το **ζύγωμα** που αποτελεί τον κορμό της μηχανής και κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα ή ελατό σίδηρο. Μέσα από το ζύγωμα κλείνει το μαγνητικό κύκλωμα.
2. Τους **μαγνητικούς πόλους** που στερεώνονται στο ζύγωμα και κατασκευάζονται από ελατό σίδηρο, εφ' όσον ανήκουν σε δυναμογεννήτρια, δηλαδή, σε γεννήτρια που έχει τύλιγμα στους πόλους. Στις μαγνητογεννήτριες, δηλαδή στις γεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες, οι πόλοι κατασκευάζονται από χάλυβα. Προορισμός των πόλων

είναι να εξασφαλίσουν τη μαγνητική ροή που γεννιέται από τα τυλίγματα, τα οποία περιβάλλουν τους πόλους.

Το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτούνται οι πόλοι καλείται ρεύμα διέγερσης.

Κάθε πόλος αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμά του που μεταξύ τους παρεμβάλλεται μόνωση. Ο πυρήνας συγκροτείται συνήθως από μονωμένα ειδικά ελάσματα σιδήρου, πάχους περίπου 1,5mm.

3. Τα πέδιλα των πόλων είναι το πλατύτερο μέρος του πόλου και βρίσκονται πλησιέστερα στο επαγωγικό τύμπανο.

Αποτελούν συνήθως ξεχωριστή κατασκευή και βιδώνονται στερεότατα κάτω από τους πόλους. Σκοπός του πέδου είναι να διαχέει τη ροή σε ένα μεγαλύτερο μέρος της περιφέρειας του δρομέα, από όσο καλύπτει ο κορμός του πυρήνα και να υποβαστάζει το τύλιγμα του πόλου.

Κατασκευάζονται από μονωμένα φύλλα σιδήρου, για την αποφυγή θερμάνσεων και απωλειών από τα ρεύματα Foucault (Φουκώ), τα οποία εμφανίζονται εδώ εξ αιτίας των διαταραχών του μαγνητικού πεδίου κατά τη λειτουργία της μηχανής. Υπενθυμίζουμε ότι τα ρεύματα Foucault (Φουκώ) ή δινορρεύματα είναι επαγωγικά ρεύματα τα οποία εμφανίζονται μέσα στη μάζα του υλικού σε μορφή κλειστών τροχιών (δινών) και προξενούν απώλειες.

4. Το τύλιγμα του πόλου αποτελείται από πολλές σπείρες χάλκινου μονωμένου σύρματος, οι οποίες, αφού λάβουν με τη βοήθεια καλουπιού τη μορφή του πυρήνα, τυλίγονται με βαμβακερή ταινία και βαφτίζονται σε μονωτικό βερνίκι.

Τα άκρα του τυλίγματος μένουν ελεύθερα για την ηλεκτρική του σύνδεση. Το σύνολο των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων ονομάζεται **τύλιγμα διέγερσης** της μηχανής.

Σε πολλές μηχανές Σ.Ρ. έχουμε δύο τυλίγματα σε κάθε πόλο, το καθένα ανεξάρτητο από το άλλο. Το ένα τύλιγμα, που αποτελείται από πολλές σπείρες με λεπτό σύρμα, ονομάζεται παράλληλο τύλιγμα, ενώ το άλλο που αποτελείται από λίγες σπείρες και χονδρό σύρμα, ονομάζεται τύλιγμα σειράς.

5. Τα καλύμματα (καπάκια) στερεώνονται με κοχλίες στο ζύγωμα και χρησιμεύουν για να στηρίζουν τον άξονα του δρομέα και τον ψηκτροφορέα και να προφυλάσσουν το εσωτερικό της μηχανής. Τα καλύμματα φέρουν ενσωματωμένο και από ένα έδρανο μέσω του οποίου στρέφεται ο άξονας του δρομέα.

6. Τον ψηκτροφορέα που είναι το σύστημα στο οποίο στερεώνονται οι ψηκτροθήκες. Ο ψηκτροφορέας στερεώνεται στο κάλυμμα της μηχανής το οποίο βρίσκεται από την πλευρά του συλλέκτη.

Η στερέωση γίνεται κατά τρόπο ώστε να είναι δυνατή η μετάθεση της θέσης επαφής των ψηκτρών πάνω στο συλλέκτη.

Ο ψηκτροφορέας αποτελείται από ένα **σιδερένιο δακτύλιο**, τους **βραχίονες** των ψηκτροθικών και τις **ψηκτροθήκες**.

Στο σιδερένιο δακτύλιο στερεώνονται οι βραχίονες υποστήριξης των ψηκτροθικών. Οι βραχίονες είναι δυο, τέσσερις ή περισσότεροι και είναι ηλεκτρικά μονωμένοι ως προς το σιδερένιο δακτύλιο. Στους βραχίονες στηρίζονται οι ψηκτροθήκες, δηλαδή μεταλλικές θήκες, μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι ψήκτρες.

7. Τις ψήκτρες που είναι συνήθως τεμάχια από σκληρό άνθρακα ή γραφίτη ή από ένα μίγμα άνθρακα και χαλκού. Τοποθετούνται μέσα στις ψηκτροθήκες και πιέζονται από **ελατήριο**, ώστε να επιτυγχάνεται καλή επαφή με την επιφάνεια του συλλέκτη. Τα ελατήρια αυτά ρυθμίζονται έτσι, ώστε η πίεση που ασκεί η ψήκτρα στο συλλέκτη να μην είναι ούτε πολύ μεγάλη, ούτε πολύ μικρή. Αν η πίεση είναι μικρή, θα έχουμε κακή επαφή ψηκτρών και συλλέκτη, σπινθηρισμούς και κάψιμο του συλλέκτη. Αντίθετα, αν η πίεση είναι πολύ μεγάλη, θα έχουμε μεγάλη φθορά των ψηκτρών και υπερθέρμανση του συλλέκτη.

Β. Δρομέας. Ο δρομέας αποτελείται από:

1. Τον άξονα, που φέρει το επαγωγικό τύμπανο, το συλλέκτη και τον ανεμιστήρα και στρέφεται πάντοτε μαζί με αυτά.

2. Τον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου, ο οποίος παρέχει μια οδό μικρής μαγνητικής αντίστασης για τη διόδο των μαγνητικών γραμμών των πόλων και φέρει σε αυτό, το τύλιγμα του τυμπάνου. Κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα, τα οποία κάμπτονται σε ειδικές πρέσες. Τα μαγνητικά ελάσματα είναι μονωμένα μεταξύ τους, για να μειωθούν οι απώλειες λόγω διανορθωμάτων.

3. Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, το οποίο κατασκευάζεται από μονωμένο χάλκινο αγωγό κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής. Ο αγωγός κυκλικής διατομής χρησιμοποιείται κυρίως στις μηχανές μικρής ισχύος ή στις μηχανές υψηλής τάσης. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις προτιμάται ο αγωγός ορθογωνικής διατομής, διότι με αυτόν κατασκευάζονται σπείρες μεγαλύτερης αντοχής και γίνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση του χώρου των οδοντώσεων.

4. Το συλλέκτη που κατασκευάζεται από πολλά χάλκινα ελάσματα τα οποία ονομάζονται τομείς του συλλέκτη, στους οποίους συγκολλούνται τα άκρα των ομάδων του τυλίγματος.

Για να αποφευχθεί βραχυκύκλωση των τομέων του συλλέκτη, τοποθετούνται μονώσεις μεταξύ τους και προς τις πλευρές των τεμαχίων συγκράτησης. Η μεταξύ τους μόνωση γίνεται με μίκα και φίμπερ.

Ο σκοπός του συλλέκτη είναι να παίρνει ή να μεταβιβάζει το ρεύμα (περίπτωση κινητήρα ή γεννήτριας).

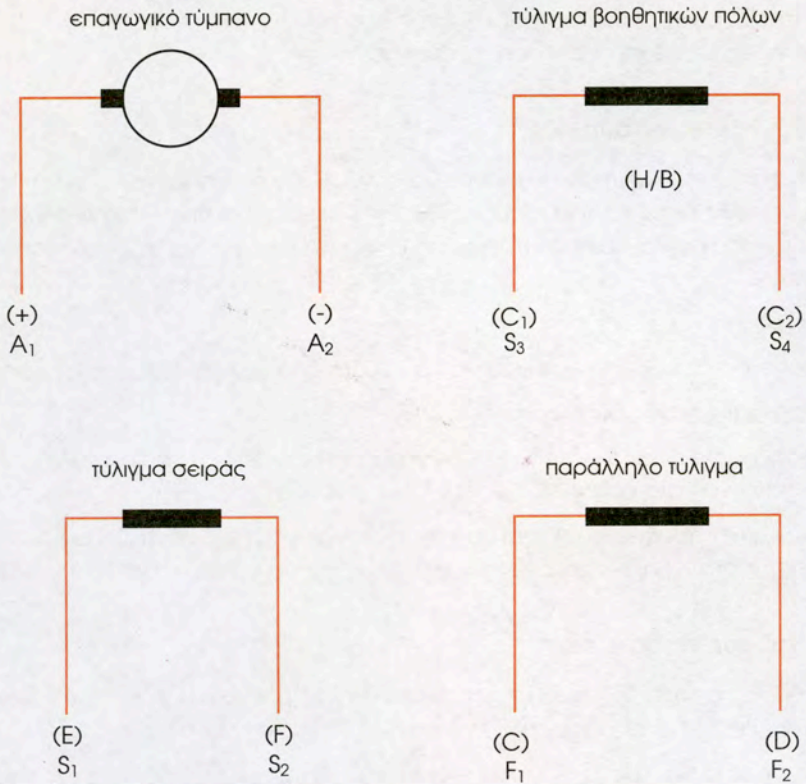
5. Τον ανεμιστήρα που στερεώνεται στον άξονα και δημιουργεί κατά την περιστροφή του ρεύμα αέρα, που εισέρχεται στη μηχανή από το άνοιγμα του ενός καλύμματος και εξέρχεται από το άνοιγμα του άλλου καλύμματος.

6. Την πλήμνη, ειδική κατασκευή, που χρησιμοποιείται στις μηχανές μεγάλης σχετικής ισχύος, για να μειώσουμε το βάρος των μαγνητικών ελασμάτων, που στοιχίζουν ακριβώς, αλλά και για να διευκολύνουμε την ψύξη του πυρήνα.

2.2.3. Τυποποίηση ακροδεκτών γεννητριών και κινητήρων Σ.Ρ.

Η τυποποίηση των ακροδεκτών τόσο των γεννητριών όσο και των κινητήρων είναι ακριβώς η ίδια. Σκοπός της τυποποίησης είναι να αναγνωρίζονται εύκολα οι ακροδέ-

κτες της μηχανής που καταλήγουν εξωτερικά στο κουτί της (κιβώτιο ακροδεκτών). Στο σχήμα 2.6 απεικονίζεται η παλαιά τυποποίηση των ακροδεκτών σε παρένθεση, ενώ εκτός παρένθεσης η νέα.



Σχ. 2.6: Αναγνώριση ακροδεκτών μηχανών Σ.Π.

Όπως παρατηρούμε και στο σχήμα 2.6, οι ακροδέκτες του επαγωγίσιμου μέσω των ψηκτρών συμβολίζονται με τα γράμματα A_1 και A_2 και οι βοηθητικοί πόλοι συμβολίζονται με τα γράμματα C_1 και C_2 ή S_3 και S_4 αντί του H/B που ίσχυε παλαιότερα.

Οι ακροδέκτες του τυλίγματος σειράς συμβολίζονται με S_1 και S_2 αντί των E και F . Τέλος το παράλληλο τύλιγμα συμβολίζεται με F_1 και F_2 αντί C και D .

2.2.4. Είδη προστασίας κινητήρων

Όταν πρόκειται να κατασκευάσουμε έναν κινητήρα, θα πρέπει για λόγους ασφάλειας να γνωρίζουμε και τις συνθήκες στις οποίες θα εργαστεί.

Πρέπει απαραίτητως, κάθε φορά, να καθορίζουμε το είδος του περιβλήματός του, τον τρόπο στήριξής του, αλλά και τον τρόπο ψύξης των τυλιγμάτων του. Από το τελευταίο εξαρτάται η διαμόρφωση του περιβλήματος, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση στο εσωτερικό του ξένων σωμάτων, σκόνης, νερού κλπ.

Έτσι, ανάλογα με το περίβλημα, διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους κινητήρων:

- κινητήρες με κοινό (ανοικτό) περίβλημα.
- κινητήρες με κλειστό περίβλημα.
- κινητήρες με τμήμα του περιβλήματος κλειστό.
- κινητήρες με ειδική μορφή περιβλήματος.

➡ Συνθήκες λειτουργίας

Οι τυποποιημένοι κινητήρες μπορούν να εργασθούν στις παρακάτω συνθήκες σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς IEC 34-1. Βέβαια, κατόπιν ειδικής παραγγελίας, είναι δυνατή η κατασκευή κινητήρων που να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές συνθήκες.

Υψόμετρο

Το υψόμετρο δεν πρέπει να ξεπερνά τα **1000m** από την επιφάνεια της θάλασσας.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος και, συγκεκριμένα, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου πρέπει να είναι έως **40°C**.

Εάν ένας κινητήρας προορίζεται να εργασθεί σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m, πρέπει αντίστοιχα η θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι μικρότερη των 40°C.

➡ Βαθμός προστασίας

Ο βαθμός προστασίας των περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών προδιαγράφεται από τους IEC 34-5, οι οποίοι μας ορίζουν:

1. **Την προστασία του ανθρώπου** έναντι επαφής με μέρη υπό τάση ή κινούμενα μέρη, εκτός από το άκρο του άξονα.
2. **Την προστασία της μηχανής** έναντι εισχώρησης ξένων στερεών σωμάτων.
3. **Την προστασία της μηχανής** έναντι εισχώρησης νερού.
4. **Τον κωδικοποιημένο χαρακτηρισμό** των διάφορων βαθμών προστασίας.
5. **Τις δοκιμές για την πιστοποίηση** του βαθμού προστασίας.

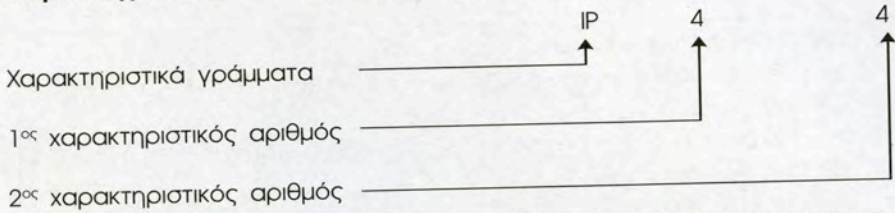
Οι προδιαγραφές αυτές δεν ορίζουν βαθμούς προστασίας έναντι μηχανικών βλαβών της μηχανής, ή έναντι συνθηκών υγρασίας (που έχει προέλθει π.χ. από συμπύκνωση), ή έναντι οξειδωτικών ατμών, ή μούχλας, ή ζωυφίων. Επίσης οι προδιαγραφές αυτές δεν αναφέρονται σε προστασία για χρήση της μηχανής σε εκρηκτική ατμόσφαιρα.

Εξωτερικά περιφράγματα, τα οποία τοποθετούνται για την προστασία των ανθρώπων, δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στο βαθμό προστασίας.

➡ Συμβολισμός

Ο κωδικός που χαρακτηρίζει το βαθμό προστασίας αποτελείται από τα γράμματα IP συνοδευόμενα από δυο χαρακτηριστικούς αριθμούς. **Ο πρώτος χαρακτηριστικός αριθμός συμβολίζει την προστασία των ανθρώπων και την προστασία της μηχανής έναντι εισχώρησης ξένων στερεών σωμάτων. Ο δεύτερος χαρακτηριστικός αριθμός συμβολίζει την προστασία της μηχανής έναντι εισχώρησης νερού.**

Παράδειγμα κωδικού χαρακτηρισμού



☞ Στον παρακάτω πίνακα επεξηγούνται οι δυο αυτοί χαρακτηριστικοί αριθμοί.

1ος χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 50mm
2	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 12mm
3	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 2,5mm
4	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 1mm
5	Προστασία έναντι σκόνης

2ος χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι κατακόρυφης πτώσης νερού σε σταγόνες
2	Προστασία έναντι κατακόρυφης πτώσης νερού σε σταγόνες με το κινητήριο σε οποιαδήποτε γωνιακή απόκλιση έως 15°
3	Προστασία έναντι ψεκασμού νερού υπό γωνία έως 60° από την κατακόρυφο
4	Προστασία έναντι ψεκασμού νερού από όλες τις κατευθύνσεις
5	Προστασία έναντι εκτόξευσης νερού από όλες τις κατευθύνσεις
6	Προστασία έναντι πτώσης θαλάσσιων κυμάτων ή ισχυρά εκτοξευόμενων ποσοτήτων νερού
7	Προστασία έναντι βύθισης - εμβάπτισης της μηχανής μέσα σε νερό υπό ορισμένη πίεση και χρόνο
8	Προστασία της μηχανής έναντι μόνιμης εμβάπτισης μέσα σε νερό υπό συνθήκες που προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή. Εννοείται ότι η μηχανή είναι ερμητικά στεγανή. Πάντως σε ορισμένες περιπτώσεις το νερό μπορεί να εισέλθει, αλλά κατά τρόπο ώστε να μην προκαλέσει την καταστροφή της μηχανής.

Οι πιο συνηθισμένοι βαθμοί προστασίας των ηλεκτροκινητήρων είναι οι εξής:

- | |
|--|
| 1) IP 23: Ο κινητήρας είναι εσωτερικά αεριζόμενος.
Έχει προστασία έναντι επαφών με τα δάχτυλα και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου μεγαλύτερης από 12mm.
Έχει προστασία έναντι ραντισμού νερού υπό γωνία μικρότερη ή ίση των 60° από την κατακόρυφο. |
| 2) IP 44: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος.
Έχει προστασία έναντι επαφών με εργαλεία, σύρματα και παρόμοια αντικείμενα καθώς και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου μεγαλύτερης από 1mm.
Έχει προστασία έναντι ψεκασμού νερού προς όλες τις κατευθύνσεις. |
| 3) IP 54: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος.
Έχει πλήρη προστασία έναντι επαφών και προστασία έναντι σκόνης.
Έναντι νερού έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 44. |
| 4) IP 55: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος.
Έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 54 έναντι επαφών και ξένων σωμάτων.
Έχει προστασία έναντι εκτόξευσης νερού από όλες τις κατευθύνσεις. |

Όταν μας ενδιαφέρει να ορίσουμε το βαθμό προστασίας μόνο όσον αφορά στην προστασία έναντι νερού ή μόνο έναντι επαφών, ένας χαρακτηριστικός αριθμός αρκεί. Ο παραλείπόμενος αριθμός πρέπει να συμπληρωθεί με το γράμμα X, π.χ. IPX5 ή IP2X.

➡ Συμπληρωματικά γράμματα

Πρόσθετες πληροφορίες περί της προστασίας, εκτός από τα παραπάνω, υποδηλώνονται με συμπληρωματικό γράμμα που ακολουθεί το 2° χαρακτηριστικό αριθμό.

Σε ειδικές εφαρμογές, (όπως σε μηχανές με ψύξη ανοικτού κυκλώματος εγκατεστημένες σε καταστρώματα πλοίων με θυρίδες εισόδου και εξόδου αέρα κλειστές σε περίοδο στάσης) οι χαρακτηριστικοί αριθμοί μπορεί να ακολουθούνται από ένα γράμμα το οποίο προσδιορίζει, εάν η προστασία έναντι βλαβερών αποτελεσμάτων από εισροή νερού είναι επαρκής ή έχει δοκιμαστεί. Με το γράμμα S υποδηλώνεται ότι η δοκιμή έγινε σε στάση (μηχανή εκτός λειτουργίας), ενώ με το γράμμα M υποδηλώνεται ότι η δοκιμή έγινε σε λειτουργία. Στις περιπτώσεις αυτές ο βαθμός προστασίας αναγράφεται IP55S και IP20M αντίστοιχα.

Η απουσία γραμμάτων S και M υποδηλώνει ότι ο αναφερόμενος βαθμός προστασίας καλύπτει όλες τις ομαλές συνθήκες λειτουργίας.

Για αερόψυκτες μηχανές ανοικτού τύπου κατάλληλες για ειδικές κλιματολογικές συνθήκες και εφοδιασμένες με πρόσθετα μέτρα προστασίας θα πρέπει να αναγράφεται το γράμμα W.

➡ Οπές διαφυγής συμπεκνωμάτων

Σε εξωτερικά αεριζόμενους κινητήρες, πολλές φορές στο κάτω μέρος του κελύφους, υπάρχουν δυο οπές για τη διαφυγή των συμπεκνωμάτων των υδρατμών. Ανάλογα με το σχεδιασμό του κινητήρα οι οπές αυτές προβλέπεται να είναι μόνιμα ανοιχτές ή να είναι ανοιχτές μόνο κατά τη λειτουργία και να κλείνουν όταν ο κινητήρας είναι σε στάση.

➡ Εξωτερικοί ανεμιστήρες

Οι ανεμιστήρες, που βρίσκονται εκτός του κελύφους του ηλεκτροκινητήρα, πρέπει να προστατεύονται έναντι επαφών, μέσω προφυλακτήρα με πλέγμα (σίτα). Οι οπές του πλέγματος πρέπει να μην είναι διαπερατές από σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης των 50mm για βαθμό προστασίας του κινητήρα IP1X. Για μεγαλύτερο βαθμό προστασίας (IP2X έως IP5X) το πλέγμα δεν πρέπει να είναι διαπερατό από δάκτυλο.

2.2.5. Ερωτήσεις

1. Ποιος είναι ο προορισμός του στάτη μιας μηχανής Σ.Ρ.;
2. Ποιος είναι ο προορισμός του δρομέα;
3. Από ποια μέρη αποτελείται ο στάτης;
4. Από ποια μέρη αποτελείται ο δρομέας;
5. Ποιος είναι ο προορισμός του κάθε μέρους του στάτη;
6. Ποιος είναι ο προορισμός του κάθε μέρους του δρομέα;
7. Γιατί ο πυρήνας των μαγνητικών πόλων και ο πυρήνας του δρομέα δεν είναι ολόσωμοι, αλλά κατασκευάζονται από πολλά μεμονωμένα μαγνητικά ελάσματα;
8. Τι ονομάζουμε διέγερση και τι τύλιγμα διέγερσης;
9. Πώς διακρίνονται οι κινητήρες με βάση τη μορφή του προβλήματός τους;
10. Ποιος είναι ο σκοπός της τυποποίησης των ακροδεκτών των μηχανών Σ.Ρ. και με ποια γράμματα συμβολίζονται;
11. Πώς ορίζονται οι βαθμοί προστασίας των περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών;

➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

12. Τα πέδιλα του πόλου βρίσκονται πλησιέστερα:
 - α. στις ψήκτρες.
 - β. στο τύλιγμα του πόλου.
 - γ. στο επαγωγικό τύμπανο.
13. Σκοπός του συλλέκτη στον κινητήρα είναι:
 - α. να παίρνει το ρεύμα.
 - β. να μεταβιβάζει το ρεύμα.
 - γ. να περιορίζει τις απώλειες.
14. Κατά την τυποποίηση των ακροδεκτών στις γεννήτριες και τους κινητήρες με τα γράμματα Α και Β συμβολίζουμε:
 - α. το τύλιγμα σειράς.
 - β. το παράλληλο τύλιγμα.
 - γ. τους βοηθητικούς πόλους.
 - δ. κανένα από τα παραπάνω.

Ενότητα 2.3.

Διάκριση και χρήσεις των γεννητριών Σ.Ρ. ως προς τα κατασκευαστικά τους στοιχεία

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να αναριθμείτε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του τυλίγματος του στάτη και του δρομέα.
2. Να περιγράφετε τους τρόπους σύνδεσης τυλίγματος τυμπάνου και διέγερσης.
3. Να γνωρίζετε τα είδη και τις χρήσεις των γεννητριών Σ.Ρ.
4. Να αναριθμείτε τα βασικά χαρακτηριστικά των γεννητριών Σ.Ρ. (ισχύς, απώλειες, βαθμός απόδοσης).

2.3.1. Τύλιγμα επαγωγικού τυμπάνου

Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου των ηλεκτρικών μηχανών είναι το σπουδαιότερο μέρος αυτών, διότι μέσα σε αυτό αναπτύσσονται ΗΕΔ (γεννήτριες) ή ζεύγη δυνάμεων (κινητήρες).

Για να παράγονται σημαντικές τάσεις και εντάσεις και για να μειώσουμε την κυμάτωση του ρεύματος, που παράγει η στοιχειώδης γεννήτρια Σ.Ρ., χρησιμοποιούμε στην πράξη πολλές αντί μιας σπείρας κατάλληλα συνδεδεμένες. Αντίστοιχα στους κινητήρες έχουμε αύξηση των δυνάμεων.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο σύνδεσης των σπειρών, οι πλευρικοί αγωγοί κάθε σπείρας απέχουν μεταξύ τους, όσο περίπου και οι άξονες δυο γειτονικών πόλων, για να προστίθενται οι ΗΕΔ που αναπτύσσονται σε αυτές.

Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται οι σπείρες διακρίνουμε δυο μεγάλες κατηγορίες τυλιγμάτων: τα βροχοτυλίγματα και τα κυματοτυλίγματα.

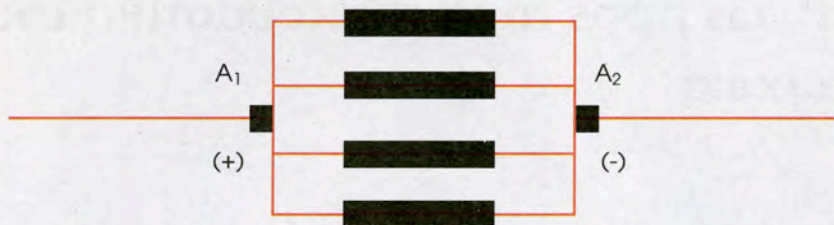
➤ Τα **βροχοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές χαμηλής τάσης και υψηλής έντασης ρεύματος. Η διατομή των αγωγών αυτών, λόγω της υψηλής έντασης που διαρρέονται είναι μεγάλη.

Τύμπανα αυτού του είδους χρησιμοποιούνται στις μίζες των αυτοκινήτων.

Στα απλά βροχοτυλίγματα συνήθως δημιουργούνται τόσοι παράλληλοι κλάδοι όσοι είναι οι πόλοι της μηχανής. Έτσι και τα ζεύγη των ψηκτρών είναι όσα και τα ζεύγη των πόλων.

Τα τυλίγματα τοποθετούνται συνήθως σε δυο στρώσεις μέσα στα διάκενα των οδοντώσεων.

Οι περιελίξεις αυτών των επαγωγικών τυμπάνων συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα (σχ. 2.7).



Σχ. 2.7: Παράλληλη σύνδεση περιελίξης σε βροχοειδές τύλιγμα.

➤ Τα **κυματοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές υψηλής τάσης και χαμηλής έντασης ρεύματος.

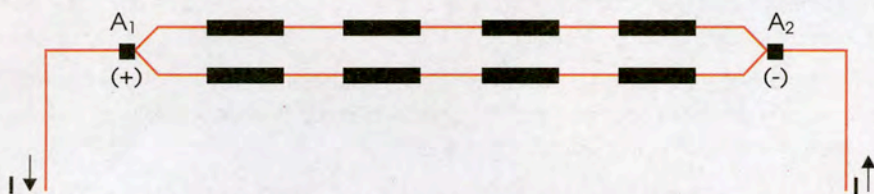
Στα απλά κυματοτυλίγματα δημιουργούνται πάντοτε δυο παράλληλοι κλάδοι τυλίγματος ανεξάρτητα από τους πόλους της μηχανής.

Σε κάθε κυματοτύλιγμα χρειάζονται μόνο δύο ψήκτρες, μια αρνητική και μια θετική.

Αν χρησιμοποιήσουμε όμως μόνο δύο ψήκτρες αντί π.χ. τεσσάρων, από κάθε ψήκτρα θα περνάει διπλάσιο ρεύμα και επομένως θα πρέπει να έχει διπλάσια διατομή. Για να αποφύγουμε το πρόβλημα αυτό, είναι ανάγκη να χρησιμοποιούμε τόσες ψήκτρες, όσοι και οι πόλοι της μηχανής.

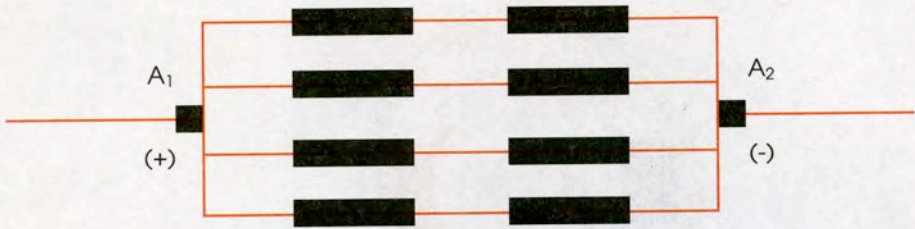
Δύο ψήκτρες χρησιμοποιούνται μόνο, όταν είναι δυσχερής η προσέγγισή τους σε όλη την περιφέρεια του συλλέκτη.

Στα κυματοτυλίγματα, οι περιελίξεις τους συνδέονται σε σειρά (σχ. 2.8). Από τις ιδιότητες των κυκλωμάτων σε σειρά είναι γνωστό, ότι οι τάσεις τους προστίθενται αλλά η ικανότητα παροχής ρεύματος παραμένει η ίδια. Τυλίγματα αυτού του είδους συναντάμε στις μικρές χειροκίνητες γεννήτριες, τα γνωστά μας MEGGER (Μέγγερ).



Σχ. 2.8: Σύνδεση περιελίξης σε σειρά σε κυματοειδές τύλιγμα.

➤ Τα **μικτά τυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές μεσαίας τάσης και μεσαίας έντασης ρεύματος. Είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα τυλίγματα σε μεγάλες μηχανές Σ.Ρ. και οι περιελίξεις τους συνδέονται σε σειρά και παράλληλα (σχ. 2.9).



Σχ. 2.9: Σύνδεση μικτής περιέλιξης.

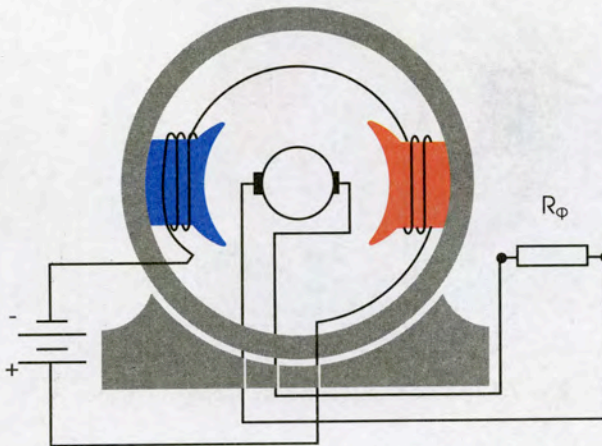
2.3.2. Τύλιγμα διέγερσης

Το μαγνητικό πεδίο της γεννήτριας, μέσα στο οποίο θα κινηθούν οι αγωγοί του τυμπάνου, δημιουργείται από την τροφοδότηση του τυλίγματος των πόλων με συνεχές ρεύμα.

Το ρεύμα το οποίο διαρρέει το πηνίο κάθε πόλου, καλείται ρεύμα **διέγερσης**. Γενικά, η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου μιας δυναμομηχανής από ηλεκτρικό ρεύμα, ονομάζεται **διέγερση**. Τα τυλίγματα των πόλων ονομάζονται **τυλίγματα της διέγερσης** της μηχανής.

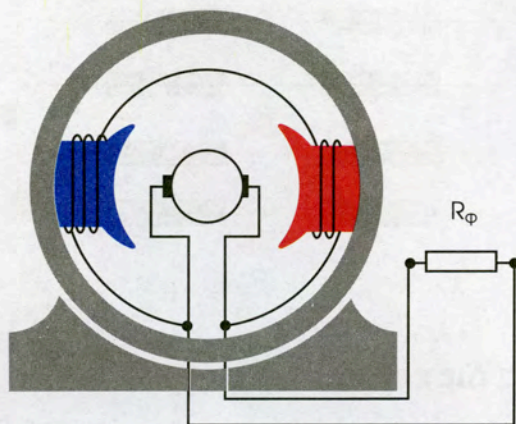
Το ρεύμα διέγερσης στους πόλους είναι δυνατόν να παρέχεται με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

1. Από μια συστοιχία ή άλλη μικρή γεννήτρια Σ.Π. (διεγέρτρια). Στην περίπτωση αυτή η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια ανεξάρτητης (ή ξένης) διέγερσης (σχ. 2.10).



Σχ. 2.10: Διπολική μηχανή ανεξάρτητης διέγερσης.

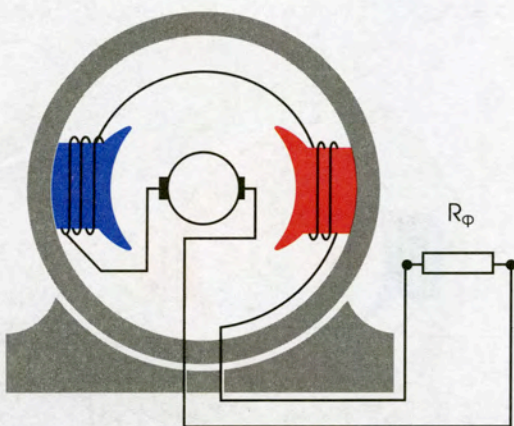
2. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής οπότε τα πηνία των πόλων, είναι συνδεδεμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να τροφοδοτούνται παράλληλα με το κύκλωμα του τυμπάνου και το εξωτερικό κύκλωμα. Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια **παράλληλης διέγερσης** (σχ. 2.11).



Σχ. 2.11: Διπολική μηχανή παράλληλης διέρχσης.

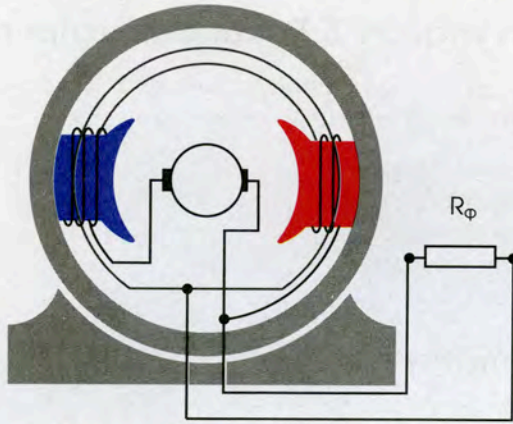
3. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής οπότε τα πηνία των πόλων τροφοδοτούνται σε σειρά με το κύκλωμα του τυμπάνου και με το εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο R_ϕ). Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια **με διέγερση σειράς** (σχ. 2.12).

Γεννήτριες διέγερσης σειράς χρησιμοποιούνται σπάνια γιατί η παραγόμενη τάση μεταβάλλεται με τη μεταβολή του φορτίου.



Σχ. 2.12: Διπολική μηχανή με διέγερση σειράς.

4. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής όταν τα πηνία των πόλων αποτελούνται από δυο τυλίγματα, από τα οποία το ένα συνδέεται σε σειρά προς το τύλιγμα του τυμπάνου και το φορτίο, ενώ το άλλο παράλληλα προς αυτά. Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως **γεννήτρια σύνθετης διέγερσης** (σχ. 2.13).



Σχ. 2.13: Διπολική μηχανή συνδεσης διέξεσης.

Διευκρινίζεται ότι, το τύλιγμα σειράς αποτελείται από πηνίο μικρού αριθμού σπειρών και σύρματος μεγάλης διατομής που παρουσιάζει μικρή ωμική αντίσταση, κατάλληλο ώστε να περνάει ολόκληρο το ρεύμα της μηχανής χωρίς δυσκολία. Το παράλληλο τύλιγμα αποτελείται από πηνίο μεγάλου αριθμού σπειρών και σύρματος μικρής διατομής, που παρουσιάζει πολύ υψηλότερη ωμική αντίσταση από το τύλιγμα σειράς, κατάλληλο ώστε να περνάει ακίνδυνα τα ρεύμα διέγερσης.

Τέλος αναφέρουμε ότι, ορισμένες γεννήτριες Σ.Ρ. δεν έχουν για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου ηλεκτρομαγνήτες, αλλά μόνιμους μαγνήτες. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται **μαγνητογεννήτριες** (μανιατό ή δυναμό) και χρησιμοποιούνται για μικρές ισχύεις μέχρι ενός ίππου (HP) ή και λιγότερο.

2.3.3. Βοηθητικοί πόλοι

Είναι μικροί μαγνητικοί πόλοι, οι οποίοι τοποθετούνται στις ουδέτερες ζώνες της γεννήτριας.

Οι πόλοι αυτοί αποτελούνται από πυρήνα και τύλιγμα, όπως και οι κύριοι πόλοι της γεννήτριας. Τα τυλίγματά τους συνδέονται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου, και για το λόγο αυτό, αποτελούνται από λίγες σπείρες χοντρού μονωμένου σύρματος. Τα τυλίγματά τους στις γεννήτριες συνδέονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου, μετά από κάθε βόρειο κύριο πόλο να υπάρχει ένας νότιος βοηθητικός πόλος και μετά από κάθε νότιο κύριο πόλο να ακολουθεί ένας βόρειος βοηθητικός. Στους κινητήρες ισχύει ότι, μετά από βόρειο κύριο μαγνητικό πόλο πρέπει να υπάρχει βόρειος βοηθητικός κ.ο.κ.

Ο σκοπός που τοποθετούμε βοηθητικούς πόλους στις ηλεκτρικές μηχανές είναι η δημιουργία ενός άλλου μαγνητικού πεδίου αντιστάθμισης, ώστε να αποφεύγονται οι σπινθηρισμοί μεταξύ των ψηκτρών και των τομέων του συλλέκτη.

Οι βοηθητικοί πόλοι χρησιμοποιούνται στις περισσότερες μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος.

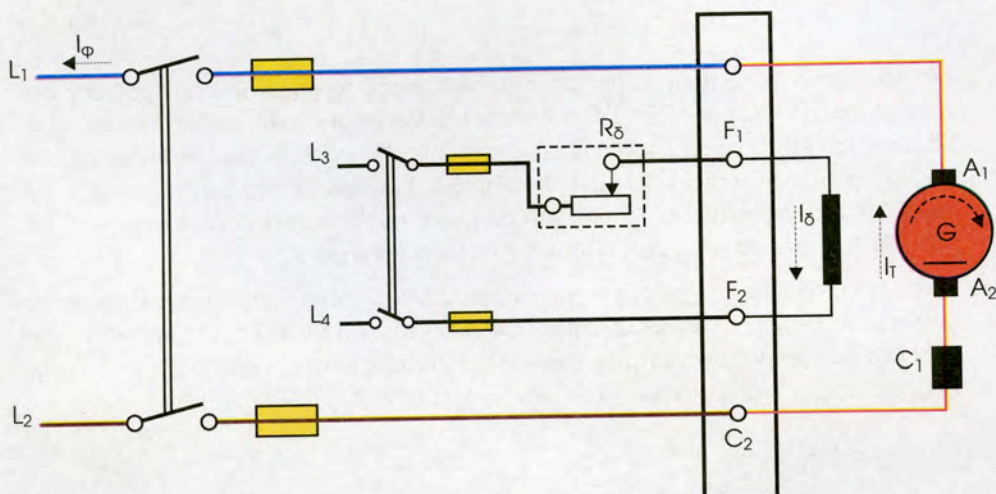
2.3.4. Είδη γεννητριών Σ.Ρ. και χαρακτηριστικά τους

Τις γεννήτριες Σ.Ρ., ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσής τους, τις διακρίνουμε σε τέσσερις κατηγορίες:

- α. γεννήτριες ξένης διέγερσης
- β. γεννήτριες παράλληλης διέγερσης
- γ. γεννήτριες διέγερσης σειράς
- δ. γεννήτριες σύνθετης διέγερσης.

➡ Γεννήτριες ξένης διέγερσης

Στις γεννήτριες αυτές το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται από μια ξένη πηγή (σχ. 2.14).



Σχ. 2.14: Γεννήτρια ξένης διέγερσης.

Χρησιμοποιούνται εκεί όπου απαιτείται τάση εξόδου ικανή να μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια, με τη βοήθεια της μεταβολής του ρεύματος διέγερσης. Χρησιμοποιούνται επίσης για την τροφοδότηση της διέγερσης των πολύ μεγάλων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος και σε ορισμένες περιπτώσεις, για ηλεκτροσυγκολλήσεις.

Στις γεννήτριες ξένης διέγερσης, η **διακύμανση τάσης** είναι 5-10 %, όταν λειτουργούν με την κανονική τους ένταση διέγερσης και τις κανονικές τους στροφές. Διευκρινίζεται ότι η διακύμανση τάσης δίνεται από τη σχέση:

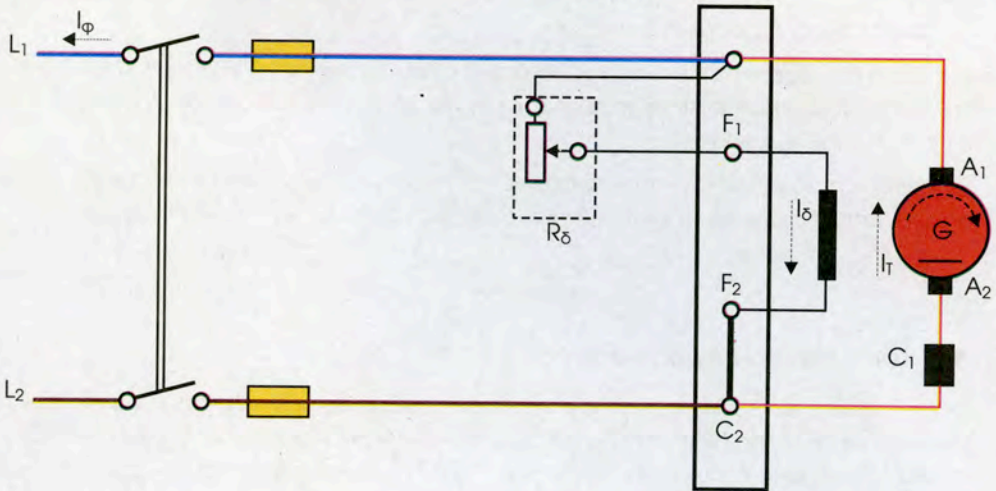
$$\varepsilon\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

όπου U_0 : είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται χωρίς φορτίο και

U_N : είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται με το πλήρες φορτίο της, δηλαδή όταν δίνει την ισχύ για την οποία είναι κατασκευασμένη.

➡ Γεννήτριες παράλληλης διέγερσης

Οι γεννήτριες παράλληλης διέγερσης ή γεννήτριες διακλάδωσης (σχ. 2.15) είναι αυτοδιεγείρομενες μηχανές.



Σχ. 2.15: Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης.

Για την αυτοδιέγερση χρησιμοποιούν τη μαγνητική ροή του παραμένουτος στους πυρήνες των πόλων μαγνητισμού. Ως τιμή της μαγνητικής ροής του παραμένουτος μαγνητισμού λαμβάνεται συνήθως το 2-8% της τιμής της μαγνητικής ροής που απαιτείται για την κανονική λειτουργία.

Το τυλίγμα διέγερσης που αποτελείται από μεγάλο αριθμό σπειρών, συνδέεται παράλληλα προς το εξωτερικό φορτίο και προς το επαγωγικό τύμπανο, γι' αυτό οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται γεννήτριες παράλληλης διέγερσης.

Κατά τη συνδεσμολογία της μηχανής, ιδιαίτερη προσοχή δίδεται στο κύκλωμα διέγερσης.

Είναι απαραίτητο κατά την τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης, να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο των πόλων και όχι να εξασθενεί, διότι η μηχανή θα πάψει να αυτοδιεγείρεται.

➤ Επομένως, τα πηνία των πόλων (πηνία διέγερσης) πρέπει να εξασφαλίζουν μαγνητικό πεδίο όμοιας πολικότητας προς εκείνο του παραμένουτος στον πυρήνα μαγνητισμού. Λόγω του μαγνητισμού αυτού παράγεται στη γεννήτρια μια αρχική τάση εξόδου. Η τάση αυτή χρησιμοποιείται για τη διέλευση του ρεύματος μέσα από τα τυλίγματα του πεδίου. Το ρεύμα αυτό, αυξάνει την ένταση του μαγνητικού πεδίου και στη συνέχεια αυξάνει και την παρεχόμενη τάση εξόδου. Η αύξηση αυτής της τάσης φτάνει μια μέγιστη τιμή που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής, τις σπείρες του επαγωγίσιμου και τις σπείρες των μαγνητικών πόλων. Στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση επιτρέπεται η ανάπτυξη της πλήρους τάσης εξόδου, πριν συνδέσουμε σ' αυτές το φορτίο.

Στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, η διακύμανση της τάσης είναι μικρή, αλλά οπωσδήποτε μεγαλύτερη από αυτή των γεννητριών ξένης διέγερσης.

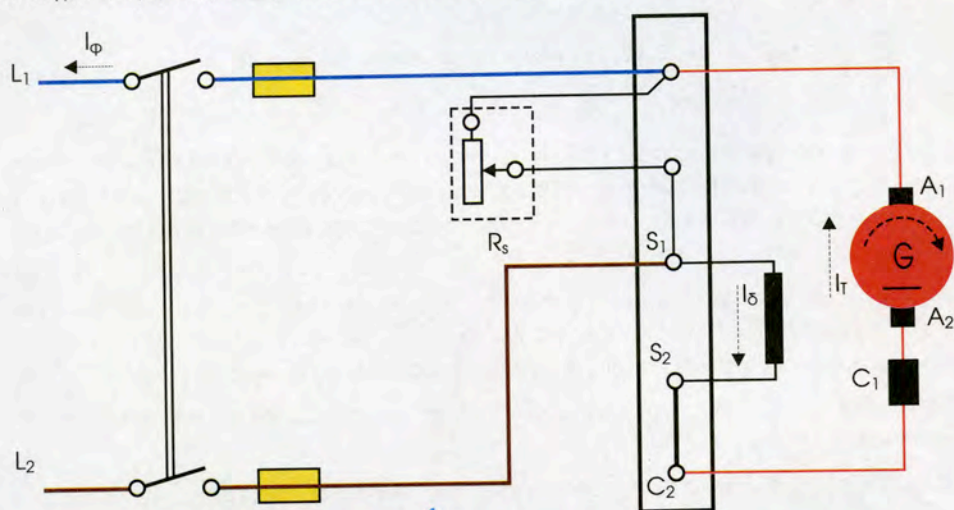
Αυτό συμβαίνει, διότι με τη φόρτιση της μηχανής ελαττώνεται η ένταση διέγερσης στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, ενώ στις γεννήτριες ξένης διέγερσης η ένταση διέγερσης παραμένει σταθερή.

Φυσικά μπορούμε να ελαττώσουμε τη διακύμανση τάσης πολύ ή ακόμη και να τη μηδενίσουμε σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν μεταβάλλουμε κατάλληλα τη ρυθμιστική αντίσταση διέγερσης.

Εάν η γεννήτρια εξακολουθήσει να φορτίζεται πέραν του κανονικού της φορτίου, θα παρουσιάσει σημαντικά μεγαλύτερη και συνεχώς αυξανόμενη πτώση τάσης.

➡ Γεννήτριες διέγερσης σειράς

Οι γεννήτριες διέγερσης σειράς είναι αυτοδιεγερόμενες μηχανές, όπως και οι γεννήτριες παράλληλης διέγερσης. Ονομάζονται γεννήτριες διέγερσης σειράς διότι το τύλιγμα διέγερσής τους συνδέεται σε σειρά με το φορτίο της μηχανής (σχ. 2.16).



Σχ. 2.16: Γεννήτρια διέγερσης σειράς.

Η αυτοδιέγερσή τους επιτυγχάνεται, όπως και στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, με τη διαφορά ότι, στις γεννήτριες διέγερσης σειράς το φορτίο πρέπει να είναι συνδεδεμένο μόνιμα στη μηχανή, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα της κυκλοφορίας του ρεύματος διέγερσης στο τύλιγμα των πόλων. Είναι αυτονόητο ότι το ρεύμα φόρτισης είναι και ρεύμα διέγερσης, οπότε το τύλιγμα της διέγερσης θα πρέπει να κατασκευάζεται από σύρμα μεγάλης διατομής και μικρού αριθμού σπειρών.

Όταν μεταβάλλεται το φορτίο, μεταβάλλεται η πτώση τάσης στα άκρα του τυλίγματος διέγερσης. Αυτή η πτώση τάσης έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της πολικής τάσης.

Συμπέρασμα

Οι γεννήτριες σειράς δεν παρουσιάζουν σταθερότητα τάσης, σε αντίθεση με τις γεννήτριες ξένης και παράλληλης διέγερσης.

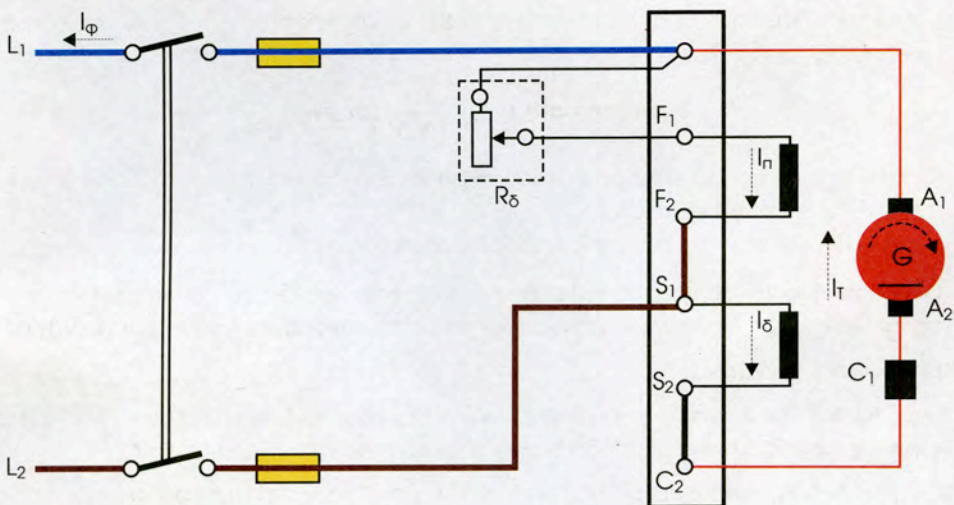
Έτσι οι γεννήτριες σειράς δε χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση δικτύων με μεταβλητό φορτίο (φωτισμός, κίνηση) και έχουν μόνο περιορισμένες και ειδικές εφαρμογές. Η σπουδαιότερη εφαρμογή είναι η χρησιμοποίησή τους σε δίκτυα μεγάλου μήκους, όπως τα δίκτυα έλξης, όπου η αύξηση του φορτίου εμφανίζει μεγάλες πτώσεις τάσης στις γραμμές μεταφοράς.

Η γεννήτρια σειράς τοποθετείται κατά μήκος της γραμμής έτσι ώστε, όταν αυξάνει το φορτίο, αυξάνει η παραγόμενη από αυτήν τάση, η οποία αντισταθμίζει τις πτώσεις τάσης στις γραμμές.

Μια άλλη εφαρμογή των γεννητριών αυτών είναι στις ηλεκτροσυγκολλήσεις (όπου το ρεύμα πρέπει να είναι σταθερό, παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις τάσης, οι οποίες προκαλούνται από το ηλεκτρικό τόξο), για να έχουμε την ίδια ανάπτυξη θερμότητας RI^2 και επομένως καλές συγκολλήσεις.

➡ Γεννήτριες σύνθετης διέγερσης

Ονομάζονται γεννήτριες σύνθετης διέγερσης, διότι το τύλιγμα διέγερσης αποτελείται από τύλιγμα σειράς και από παράλληλο τύλιγμα (σχ. 2.17).



Σχ. 2.17: Γεννήτρια (αθροιστικής) σύνθετης διέγερσης.

Το τύλιγμα σειράς είναι δυνατό να συνδεθεί κατά δυο τρόπους:

1^{ος} Τρόπος: Το τύλιγμα σειράς συνδέεται έτσι ώστε να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα. Με αυτή τη σύνδεση, οι γεννήτριες παρουσιάζουν μικρή μεταβολή της τάσης, όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Χαρακτηρίζονται ως γεννήτριες με **υπερσύνθετη** ή με **αθροιστική σύνθετη διέγερση**.

Λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας, οι γεννήτριες αυτές είναι κατάλληλες για την τροφοδότηση δικτύων μεταβαλλόμενου φορτίου, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες πτώσεις τάσης (δίκτυα μεγάλου μήκους), όπως είναι τα δίκτυα κίνησης, έλξης κ.λπ. Το πλεονέκτημα των γεννητριών αυτών είναι ότι προσφέρουν μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

2^{ος} Τρόπος: Το τύλιγμα σειράς συνδέεται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να εξασθενεί το μαγνητικό πεδίο, (αλλαγή σύνδεσης του S_1 - S_2) που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα. Αυτή η σύνδεση καλείται σύνδεση σε αντίζευξη. Οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται γεννήτριες με **διαφορική σύνθετη διέγερση**. Με αυτή τη σύνδεση οι γεννήτριες παρουσιάζουν μεγάλη πτώση τάσης και μικρό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Λόγω αυτής της ιδιότητας, οι γεννήτριες αυτές χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση συσκευών στις οποίες το βραχυκύκλωμα είναι σύνηθες, όπως π.χ. στις συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης - βολταϊκού τόξου κ.λπ.

Βασικά χαρακτηριστικά ονομαστικά μεγέθη

α) Ονομαστική τάση και ισχύς των γεννητριών Σ.Ρ.

Ονομαστική τάση (σε V ή kV) ονομάζεται η τάση για την οποία έχει κατασκευασθεί να λειτουργεί η γεννήτρια.

Η ισχύς που λαμβάνεται από μια γεννήτρια Σ.Ρ. ισούται προς το γινόμενο της τάσης U επί την ένταση I.

$$P=U \cdot I \text{ (σε watt)} \text{ ή } P = \frac{U \cdot I}{1000} \text{ (σε kW)} \quad (2.4)$$

Όπου **U**: η τάση που επικρατεί στους ακροδέκτες της γεννήτριας κατά τη στιγμή των μετρήσεων (σε V)

I: η ένταση του παραγόμενου ρεύματος (σε A).

Ονομαστική ισχύς γεννήτριας καλείται η μεγαλύτερη τιμή ισχύος που μπορεί να προσφέρει συνεχώς η γεννήτρια, όταν εργάζεται με την **ονομαστική τάση και ταχύτητα**.

β) Απώλειες γεννήτριας

Είναι το συνολικό ποσό της κινητικής ενέργειας, το οποίο δε μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά σε θερμότητα και θερμαίνει τα μέρη της μηχανής.

Οι απώλειες των γεννητριών Σ.Ρ., 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 υστέρησης και σε απώλειες δινορρευμάτων.

α. Μηχανικές απώλειες είναι οι απώλειες τριβής του άξονα του δρομέα στα έδρανα του στάτη, των ψηκτρών με το συλλέκτη, του αέρα με τον περιστρεφόμενο δρομέα και του μηχανικού έργου που απορροφάται από τον ανεμιστήρα της γεννήτριας.

Οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες προς την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της γεννήτριας και, επειδή κατά κανόνα οι στροφές είναι σταθερές, είναι και οι μηχανικές απώλειες σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου της γεννήτριας.

β. Μαγνητικές απώλειες.

1. Απώλειες υστέρησης: είναι ανάλογες προς τις στροφές της γεννήτριας και προς τη ροή των μαγνητικών πόλων της. Επομένως για σταθερές στροφές και για σταθερή ένταση διέγερσης είναι ίδιες άσχετα του αν έχουν ή όχι φορτίο.

Οι απώλειες υστέρησης οφείλονται στις διαδοχικές μεταβολές της μαγνήτισης του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου, όταν αυτό περιστρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι.

2. Απώλειες δινορρευμάτων: οφείλονται στα ρεύματα που κυκλοφορούν στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου λόγω της περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Οι απώλειες δινορρευμάτων είναι απώλειες θερμότητας και είναι ανάλογες του τετραγώνου της έντασης αυτών.

Επομένως, εφόσον η ένταση που κυκλοφορεί στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι ανάλογη προς την τάση η οποία τα προκαλεί και η τάση είναι ανάλογη προς τη ροή και τις στροφές, οι απώλειες είναι ανάλογες προς το τετράγωνο των στροφών και της ροής. Άρα, για σταθερές στροφές και για σταθερή ένταση διέγερσης οι απώλειες είναι σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου.

➤ **Μεταβλητές απώλειες** είναι οι ηλεκτρικές απώλειες και οφείλονται στη θερμότητα που παράγεται στα διάφορα κυκλώματα της γεννήτριας, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, γι' αυτό και ονομάζονται **ηλεκτρικές απώλειες**.

Το μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ενέργειας που παραλαμβάνει μια γεννήτρια από κάποια κινητήρια μηχανή, με σκοπό να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική, μετατρέπεται πράγματι σε ηλεκτρική, ενώ ένα μικρό μέρος της χάνεται, επειδή εμφανίζονται απώλειες στο σύστημα.

Η τιμή της ισχύος εισόδου $P_{\text{εστ}}$, που παίρνει η γεννήτρια, είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την τιμή της ισχύος P που δίνει. Η διαφορά αυτών είναι η ισχύς των απωλειών $P_{\text{αν}}$.

$$P_{\text{αν}} = P_{\text{εστ}} - P \quad (2.5)$$

Οι ηλεκτρικές απώλειες της μηχανής είναι ίσες προς το άθροισμα των γινομένων $R I^2$ των επιμέρους κυκλωμάτων της, δηλαδή:

$$\text{Ηλεκτρικές απώλειες} = R_f \cdot I_f^2 + R_o \cdot I_o^2 + R_g \cdot I_g^2 \quad (2.6)$$

όπου R_f : η αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου της γεννήτριας, στην οποία περιλαμβάνονται η αντίσταση των ψηκτρών και η αντίσταση του τυλίγματος των βοηθητικών πόλων

R_o : η ωμική αντίσταση του τυλίγματος σειράς

R_g : η ωμική αντίσταση του παράλληλου τυλίγματος μαζί με τη ρυθμιστική αντίσταση.

Από τις απώλειες αυτές, μόνο εκείνες που οφείλονται στο παράλληλο τύλιγμα διέγερσης ($R_g \cdot I_g^2$) παραμένουν σταθερές κατά τις διακυμάνσεις του φορτίου της γεννήτριας. (εφόσον βέβαια δε μεταβάλλεται η ρυθμιστική αντίσταση διέγερσης), αφού η ένταση μέσα από αυτό παραμένει πρακτικά σταθερή.

γ) Βαθμός απόδοσης (η)

Βαθμός απόδοσης μιας γεννήτριας καλείται ο λόγος της ισχύος, την οποία αποδίδει η γεννήτρια, προς την απαιτούμενη κινητική ισχύ που προσδίδεται στον άξονά της από την κινητήρια μηχανή.

Ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα και δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}} = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}} < 1 \quad (2.7)$$

Ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο τους.

Αποδεικνύεται ότι γίνεται μέγιστος, όταν οι **σταθερές απώλειες** εξισωθούν προς τις **μεταβλητές απώλειες** της γεννήτριας.

Οι περισσότερες γεννήτριες έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης, όταν αποδίδουν ισχύ λίγο μικρότερη της ονομαστικής τους ή ίση με αυτήν.

 Αναφέρουμε εδώ ότι η Η.Ε.Δ. πραγματικής γεννήτριας Σ.Ρ. δίνεται από τη σχέση:

$$E = K \cdot \Phi \cdot n \quad (\text{σε } V) \quad (2.8)$$

όπου Φ : η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου, σε $V \cdot s$

n : η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, σε στρ/s και

$K = \frac{p \cdot s \cdot w}{a}$ ένα σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή, που προκύπτει από:

- τον αριθμό των ζευγών των μαγνητικών πόλων (p) της μηχανής,
- τον αριθμό των στοιχείων (s) του τυλίγματος,
- τον αριθμό των αγωγών (w) σε κάθε στοιχείο και
- τον αριθμό των ζευγών των παράλληλων κλάδων (a) του τυλίγματος.

2.3.5. Παραδείγματα

1. Σε μια γεννήτρια Σ.Ρ. η διακύμανση της τάσης της είναι $\epsilon=6,9\%$. Αν η τάση εν κενώ είναι $U_o=230V$, να βρεθεί η τιμή της τάσης της υπό πλήρες φορτίο.

Λύση

Η σχέση που δίνει τη διακύμανση της τάσης είναι: $\epsilon\% = \frac{U_o - U_N}{U_N} \cdot 100\%$

$$\begin{aligned} \text{και απ' αυτή βρίσκουμε: } 6,9U_N &= (U_o - U_N)100 \\ 6,9U_N &= U_o \cdot 100 - U_N \cdot 100 \\ 106,9U_N &= U_o \cdot 100 \\ U_N &= \frac{23.000}{106,9} = 215V \end{aligned}$$

2. Ζητείται να βρεθεί ο βαθμός απόδοσης γεννήτριας Σ.Ρ. η οποία αποδίδει ισχύ 10kW.

Η γεννήτρια παίρνει κίνηση από κινητήρα ο οποίος της προσδίδει κινητική ισχύ με 12kW.

Πόσες είναι οι συνολικές απώλειες της γεννήτριας;

Λύση

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}}$$

όπου P : είναι η ισχύς που αποδίδει η γεννήτρια

$P_{\text{εισ}}$: είναι η απαιτούμενη κινητική ισχύς.

$$\text{Άρα: } \eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}} = \frac{10}{12} = 0,83 \quad \text{ή} \quad 83\%$$

$$P_{\text{αν}} = P_{\text{εισ}} - P \quad \text{Δηλαδή: } P_{\text{αν}} = (12-10)=2kW$$

3. Ζητείται ο βαθμός απόδοσης μιας γεννήτριας Σ.Ρ. η οποία αποδίδει ισχύ 6HP (1HP=0,736kW) με σταθερές απώλειες 500W και μεταβλητές απώλειες 300W.

Λύση

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}} = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}}$$

$$\text{όπου } P = 6 \text{ HP} \cdot 0,736 = 4,416kW = 4.416W$$

$$P_{\text{αν}} = P_{\text{σταθ}} + P_{\text{μεταβλ.}} = 500 + 300 = 800W$$

$$\eta = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}} = \frac{4416}{4416 + 800} = \frac{4416}{5216} = 0,84 \quad \text{ή} \quad 84\%$$

2.3.6. Ερωτήσεις

1. Ποιος είναι ο σκοπός του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου;
2. Πόσο απέχουν οι πλευρικοί αγωγοί κάθε σπείρας στο επαγωγικό τύμπανο;
3. Ποιος είναι ο λόγος που χρησιμοποιούμε περισσότερες από μια σπείρες στις γεννήτριες Σ.Ρ.;
4. Που χρησιμοποιούνται τα βροχοτυλίγματα και που τα κυματοτυλίγματα;
5. Ποιος είναι ο αριθμός των ψηκτρών στα βροχοτυλίγματα και ποιος στα κυματοτυλίγματα;
6. Πού χρησιμοποιούνται τα μικτά τυλίγματα;
7. Γιατί μια γεννήτρια Σ.Ρ. ονομάζεται:
 - α) ξένης διέγερσης;
 - β) παράλληλης διέγερσης;
 - γ) διέγερσης σειράς;
 - δ) σύνθετης διέγερσης;
8. Πότε μια γεννήτρια ονομάζεται:
 - α) αθροιστικής σύνθετης διέγερσης;
 - β) διαφορικής σύνθετης διέγερσης;
9. Τι είναι οι βοηθητικοί πόλοι και ποιος ο σκοπός τοποθέτησής τους;
10. Ποια είναι η διαδοχή των βοηθητικών πόλων στις γεννήτριες μετά από τους κύριους πόλους;
11. Τι είναι ο παραμένων μαγνητισμός και σε τι χρησιμεύει;
12. Ποιες γεννήτριες ονομάζονται αυτοδιεγείρομενες;
13. Τι ονομάζεται ονομαστική ισχύς γεννήτριας Σ.Ρ.;
14. Σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται οι απώλειες των γεννητριών Σ.Ρ.;
Που οφείλονται οι απώλειες υστέρησης και δινορρευματών;
15. Τι ονομάζεται βαθμός απόδοσης γεννήτριας Σ.Ρ.;
16. Ποια ένταση ρεύματος μπορεί να δώσει μια γεννήτρια Σ.Ρ., ονομαστικής ισχύος 3kW και τάσης 120V;
17. Ποιες είναι οι συνολικές απώλειες της γεννήτριας της προηγούμενης ερώτησης, αν ο βαθμός απόδοσής της είναι $\eta=0,8$;

➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

18. Τα βροχοτυλίγματα χρησιμοποιούνται σε μηχανές:
- χαμηλής έντασης και υψηλής τάσης.
 - υψηλής έντασης και χαμηλής τάσης.
 - μεγάλου βαθμού απόδοσης.
19. Ρεύμα διέγερσης είναι το ρεύμα που διαρρέει:
- το πηνίο κάθε πόλου.
 - το επαγωγικό τύμπανο.
 - τους βοηθητικούς πόλους.
20. Οι μηχανικές απώλειες στις γεννήτριες είναι:
- μεταβλητές.
 - σταθερές.
 - σύνθετες.
21. Ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών Σ.Ρ. είναι πάντα:
- σταθερός και δεν μεταβάλλεται με το φορτίο τους.
 - μεταβλητός και μεταβάλλεται με το φορτίο τους.
 - ανεξάρτητος από το φορτίο τους.
22. Γεννήτρια Σ.Ρ. 220V, 10kW με διακύμανση τάσης 5% παράγει Η.Ε.Δ. (τάση χωρίς φορτίο):
- 211V.
 - 231V.
 - 240V.
 - 250V.
23. Γεννήτρια Σ.Ρ. που τροφοδοτεί εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο) $R_{\phi}=10\Omega$, με ρεύμα έντασης $I=10A$, έχει ισχύ:
- 1kW.
 - 2kW.
 - 5kW.
 - 10kW.

Ενότητα 2.5.

Ηλεκτρικοί κινητήρες Σ.Ρ.

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας μηχανής Σ.Ρ., όταν λειτουργεί σαν κινητήρας.
2. Να διατυπώνετε τις βασικές εξισώσεις ροπής, ρεύματος, στροφών του κινητήρα Σ.Ρ.
3. Να αναφέρετε πού και γιατί χρησιμοποιείται κάθε τύπος κινητήρα Σ.Ρ. στην παραγωγή και στα οχήματα.
4. Να γνωρίζετε τους τρόπους αλλαγής φοράς περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.
5. Να ερμηνεύετε τις συνθήκες λειτουργίας των κινητήρων από τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες.

2.5.1. Γενικά

Οι μηχανές Σ.Ρ. που λειτουργούν ως κινητήρες, ονομάζονται κινητήρες Σ.Ρ. Η ίδια ηλεκτρική μηχανή είναι δυνατόν να λειτουργεί τόσο ως γεννήτρια, όσο και ως κινητήρας, γεγονός που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη φορά ροής της ισχύος.

Στις βιομηχανικές χώρες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες καταναλώνουν περίπου το 65% της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας. Το 8% αυτής της κατανάλωσης οφείλεται σε κινητήρες Σ.Ρ., που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ελεγχόμενης λειτουργίας. Το υπόλοιπο, μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, καταναλώνεται από κινητήρες Ε.Ρ., που λειτουργούν συνήθως με μη ελεγχόμενες ταχύτητες περιστροφής. Τα συστήματα Σ.Ρ. είναι ακόμη αναντικατάστατα στα επιβατικά αυτοκίνητα, στα φορτηγά και στα αεροπλάνα. Όταν ένα όχημα διαθέτει κάποιο σύστημα ισχύος που τροφοδοτείται με Σ.Ρ., προφανώς χρησιμοποιεί κινητήρες Σ.Ρ. Οι κινητήρες αυτοί εμφανίζονται επίσης πολύ συχνά σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγάλες μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής. Σε τέτοιες εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας οι κινητήρες Σ.Ρ. είναι πραγματικά αξεπέραστοι. Ακόμη και όταν δεν είναι διαθέσιμη μια πηγή Σ.Ρ., συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί ανορθωτές ή κυκλώματα μετατροπής σταθερής συνεχούς τάσης, σε συνεχή τάση μεταβλητής τιμής.

2.5.2. Αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.3, υπενθυμίζεται ότι, το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot l \cdot i \text{ (σε Ν)}$$

(2.8)

2.5.3. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κινητήρων Σ.Ρ.

1. Λειτουργία σε κενό (χωρίς φορτίο)

Ένας κινητήρας λειτουργεί σε κενό, όταν στον άξονά του δεν συνδέεται κανένα φορτίο. Στην περίπτωση αυτή, η συνισταμένη των δυνάμεων, που ασκούνται στους αγωγούς του επαγωγίσιμου, έχει να υπερνικήσει μόνο την αντίσταση των τριβών του κινητήρα. Επομένως, η ένταση I_t που απορροφά ο κινητήρας από την πηγή κατά τη λειτουργία του σε κενό είναι πολύ μικρή, σε σύγκριση με την ένταση που απορροφά ο κινητήρας, όταν εργάζεται με φορτίο.

2. Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) & ρεύμα κανονικής λειτουργίας

Όταν το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα τροφοδοτηθεί με ρεύμα, αρχίζει και στρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων. Όμως, καθώς αυτό στρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο, γεννιέται στους αγωγούς του Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ). Αυτή η ΗΕΔ είναι επαγωγικό δημιούργημα και σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz (Λέντς) αντιτίθεται προς την τάση της πηγής δηλαδή αποτελεί μια ΑΗΕΔ. Για να διατηρηθεί το ρεύμα στο επαγωγίσιμο και να συνεχισθεί η κίνηση πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα, δηλαδή η τάση της πηγής U , να έχει την ικανότητα να υπερνικήσει αυτή την ΑΗΕΔ, καθώς και την πτώση τάσης που οφείλεται στις ωμικές αντιστάσεις των αγωγών, των επαφών και των ψηκτρών.

Η σχέση που επαληθεύει τα παραπάνω είναι: $U = E_a + I_t R_t$ (2.9)

Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα κανονικής λειτουργίας του κινητήρα είναι:

$$I_t = \frac{U - E_a}{R_t} \quad (2.9')$$

όπου U : τάση της πηγής (σε V), E_a : αναπτυσσόμενη ΑΗΕΔ (σε V),

I_t : ένταση του ρεύματος του επαγωγίσιμου (σε A),

R_t : σύνολο των αντιστάσεων του επαγωγίσιμου (σε Ω).

Στους πραγματικούς κινητήρες Σ.Ρ. που το επαγωγικό τους τύμπανο έχει πολλές σπείρες συνδεδεμένες σε σειρά, οι ΑΗΕΔ όλων των σπειρών προστίθενται και αποτελούν την ΑΗΕΔ E_a του κινητήρα. Το μέγεθός της υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n \quad (σε V) \quad (2.10)$$

όπου k : σταθερό μέγεθος που έχει εξηγηθεί στις γεννήτριες

Φ : μαγνητική ροή (σε Vs) κάθε μαγνητικού πόλου

n : ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (σε στρ/sec).

3. Εκκίνηση των κινητήρων Σ.Ρ.

Κατά τη στιγμή της εκκίνησης, ο δρομέας δεν περιστρέφεται και επομένως δεν αναπτύσσεται ΑΗΕΔ E_a μέσα στους αγωγούς. Έτσι το μόνο εμπόδιο στην αύξηση του ρεύματος είναι η αντίσταση του τυλίγματος η οποία όμως είναι πολύ μικρή, συνήθως μικρότερη του 1 Ω. Το ρεύμα, κατά τη στιγμή της εκκίνησης, είναι μέγιστο, αφού ισχύει η σχέση:

$$I_e = \frac{U - 0}{R_t} = \frac{U}{R_t} \quad (2.11)$$

Το ρεύμα αυτό είναι ικανό να προκαλέσει βλάβη, όχι μόνο στην εγκατάσταση αλλά και στον κινητήρα.

Για να αποφύγουμε το πρόβλημα αυτό τοποθετούμε σε σειρά προς το επαγωγικό τυλίγμα μια μεταβλητή αντίσταση (ροοστάτης) R_e (ή εκκινητής). Ο ρόλος του εκκινητή είναι να μειώνει προσωρινά την εφαρμοσμένη τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα. Το ρεύμα εκκίνησης δεν λαμβάνει επικίνδυνες εντάσεις και η εκκίνηση γίνεται ομαλά και με διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα του κινητήρα. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνει, τόσο η αντίσταση του εκκινητή μειώνεται, μέχρις να τεθεί εκτός κυκλώματος, όταν πλέον ο κινητήρας θα έχει φτάσει στην κανονική ταχύτητα περιστροφής.

Κατά το στάδιο της εκκίνησης ισχύει η σχέση:

$$I_e = \frac{U}{R_T + R_e} \quad (2.12)$$

Είναι προφανές ότι ο εκκινητής R_e έχει τη μέγιστη τιμή.

4. Ροπή στρέψης των κινητήρων

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας των κινητήρων, οι αναπτυσσόμενες στους αγωγούς δυνάμεις σχηματίζουν ζεύγος δυνάμεων, το οποίο ασκεί ροπή στρέψης, με αποτέλεσμα το πλαίσιο να στραφεί. Ειδικότερα, ροπή δύναμης (F) ως προς άξονα καλείται το γινόμενο της δύναμης επί την απόστασή αυτής από τον άξονα (βραχιών), δίνεται δε από τη σχέση:

$$T = F \cdot r \quad (2.13)$$

όπου T : ροπή (σε Nm)

r : απόσταση δύναμης από τον άξονα (σε m)

F : δύναμη (σε N).

Η ροπή (T) που ασκείται σε ένα πραγματικό κινητήρα Σ.Ρ. δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.14)$$

όπου P : αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής

S : αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος

W : αριθμός των αγωγών του στοιχείου

a : αριθμός των ζευγών των παράλληλων κλάδων

Φ : μαγνητική ροή (σε Vs) κάθε μαγνητικού πόλου και

I_T : ένταση (σε A) του ρεύματος του τυμπάνου.

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να τη γράψουμε και ως εξής:

$$T = k_1 \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.15)$$

όπου $k_1 = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot a}$ είναι σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή.

5. Λειτουργία κινητήρων με φορτίο

Όταν στον άξονα του κινητήρα είναι συνδεδεμένο μηχανήμα ή συσκευή, τότε λέμε ότι ο κινητήρας εργάζεται με φορτίο. Σε αυτήν την περίπτωση 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 ο κινητήρας και όταν το φορτίο μικραίνει, μικραίνει και η ηλεκτρική ισχύς.

Αυτό είναι εύκολο να φανεί από τους παρακάτω συλλογισμούς. Η ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T} \quad (2.16)$$

Όταν ο κινητήρας φορτιστεί, δηλαδή όταν αρχίσει να παρέχει μηχανική ισχύ σε κάποιο μηχανήμα, η ταχύτητα περιστροφής του θα ελαττωθεί λίγο. Με την ελάττωση της ταχύτητας θα ελαττωθεί και η ΑΗΕΔ του κινητήρα, όπως φαίνεται από τη σχέση:

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n \quad (2.17)$$

Ελάττωση όμως της E_a σημαίνει αύξηση της έντασης (I_T) όπως προκύπτει από τη σχέση (2.16).

Όταν αυξηθεί η ένταση, η ροπή (T) του κινητήρα αυξάνεται αφού:

$$T = k_1 \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.18)$$

Δηλαδή με τη μικρή ελάττωση της ταχύτητας (n), 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.

Κάθε μεταβολή του μηχανικού φορτίου θα συνεπάγεται, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, αντίστοιχη αυτόματη μεταβολή της έντασης (I_T) και συνεπώς και στην ισχύ που ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο.

6. Ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής

Σημαντικό πλεονέκτημα των κινητήρων Σ.Ρ. σε σύγκριση με τους κινητήρες Ε.Ρ. είναι το γεγονός της εύκολης ρύθμισης των στροφών.

Ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) στους κινητήρες Σ.Ρ. μπορεί να μεταβάλλεται με δυο βασικούς τρόπους:

- Ο **πρώτος τρόπος** είναι να διατηρήσουμε σταθερή την τάση (U) που εφαρμόζουμε στο επαγωγικό τύμπανο και να μεταβάλλουμε, με τη βοήθεια ενός ροοστάτη, το ρεύμα διέγερσης. Όταν το ρεύμα διέγερσης ελαττώνεται, τότε ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα αυξάνεται, ενώ όταν το ρεύμα διέγερσης αυξηθεί, τότε ο αριθμός στροφών ελαττώνεται.

- Ο **δεύτερος τρόπος** είναι να διατηρήσουμε την ένταση διέγερσης σταθερή και να μεταβάλλουμε την τάση (U) του επαγωγικού τυμπάνου.

Όταν η τάση (U) του τυμπάνου αυξάνεται, τότε αυξάνεται και ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) του επαγωγικού τυμπάνου, δηλαδή μεγαλώνει η ταχύτητα περιστροφής.

Τα παραπάνω δικαιολογούνται εύκολα από τις γνωστές σχέσεις:

$$E_o = U - I_T \cdot R_T \text{ και } E_o = \kappa \cdot \Phi \cdot \eta$$

Από τις δυο αυτές σχέσεις προκύπτει για την ταχύτητα περιστροφής (n) του κινητήρα η σχέση:

$$n = \frac{U - I_T R_T}{\kappa \cdot \Phi} \quad (2.19)$$

Σημειώνουμε ότι, αν (U) και (Φ) είναι σταθερά μεγέθη 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).

Διευκρινίζεται ότι η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων Σ.Π. γίνεται σήμερα μέσω ανορθωτικών γεφυρών με θυρίστρο.

7. Μηχανική ισχύς

Είναι ήδη γνωστό, ότι ο κινητήρας, με τη βοήθεια της τάσης εφαρμογής (τάση πηγής), η οποία υπερνικά την ΑΗΕΔ και προσφέρει ενέργεια, ώστε να συνεχιστεί η κίνηση του επαγωγίμου, επιτυγχάνει τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανικό έργο.

Το μηχανικό αυτό έργο, καταναλώνεται στον άξονα του κινητήρα για την υπερνίκηση του φορτίου.

Η ισχύς (P_i) που απορροφά ο κινητήρας με μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή που τον τροφοδοτεί με Σ.Π. δίνεται από τη σχέση:

$$P_i = U \cdot I \text{ (σε W)} \quad (2.20)$$

Η ισχύς (P) που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{T_a \cdot n}{9,55} \text{ (σε W)} \quad (2.21)$$

όπου T_a : είναι η ροπή (σε Nm) που αναπτύσσει ο κινητήρας στον άξονά του και

n : είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (σε σtp/min).

Ονομαστική ισχύς, που δίνεται σε kW ή HP (1HP=0,736kW), είναι η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να δίνει στον άξονά του ο κινητήρας συνεχώς εργαζόμενος με την ονομαστική του τάση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη από υπερθέρμανση.

8. Απώλειες

Η ισχύς (P) που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του με μορφή μηχανικής ενέργειας είναι πάντοτε μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ (P_i) που απορροφά από το δίκτυο.

Η διαφορά $P_i - P = P_{\sigma\eta}$ καταναλώνεται σε απώλειες μέσα στη μηχανή. Οι απώλειες αυτές είναι ίδιες με αυτές που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.3.4.5 στις γεννήτριες Σ.Π.

9. Βαθμός απόδοσης

Ως βαθμός απόδοσης του κινητήρα Σ.Ρ. λαμβάνεται ο λόγος της μηχανικής ισχύος στον άξονά του (ισχύς εξόδου) προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφάται (ισχύς εισόδου) από το δίκτυο:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}} < 1 \quad (2.22)$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα και κυμαίνεται από 75% για τους μικρότερους κινητήρες έως 90% για τους μεγαλύτερους.

Διευκρινίζεται ότι, ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων αναφέρεται πάντοτε σε πλήρη φόρτιση.

2.5.4. Είδη κινητήρων Σ.Ρ.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσης των κινητήρων Σ.Ρ., αυτοί διακρίνονται σε:

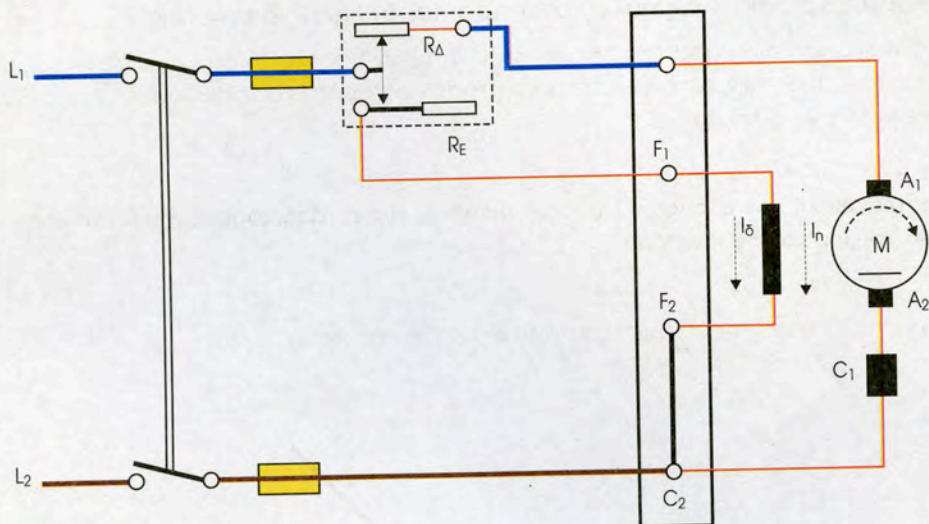
- α) κινητήρες με ξένη διέγερση,
- β) κινητήρες με παράλληλη διέγερση,
- γ) κινητήρες με διέγερση σειράς,
- δ) κινητήρες με σύνθετη διέγερση.

Οι τελευταίοι, όπως και οι γεννήτριες Σ.Ρ., διακρίνονται σε κινητήρες με **αθροιστική σύνθετη διέγερση** και σε κινητήρες με **διαφορική σύνθετη διέγερση**.

2.5.4.1. Κινητήρες παράλληλης διέγερσης

Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του οπλισμού του, ενώ το αντίστοιχο κύκλωμα ενός κινητήρα ξένης διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή Σ.Ρ. Αν θεωρηθεί πως η τάση τροφοδοσίας ενός κινητήρα παραμένει σταθερή δεν υπάρχει καμία πρακτική διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους κινητήρων. Έτσι η ανάλυση ενός κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης περιλαμβάνει και την ανάλυση κινητήρα ξένης διέγερσης.

Στο σχήμα 2.22 φαίνεται η συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διέγερσης.



Σχ. 2.22: Κινητήρας παράλληλης διέγερσης.

Σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, συνδέεται ο ροοστάτης εκκίνησης R_E που χρησιμεύει για την εκκίνηση. Ο εκκινητής, όπως παρατηρούμε, συνδυάζεται με το ροοστάτη διέγερσης R_Δ και έτσι έχουμε κοινή συσκευή αντιστάσεων (R_E και R_Δ).

Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι το τύλιγμα διέγερσης είναι παράλληλα συνδεδεμένο προς το επαγωγικό τύμπανο. Επομένως, το ρεύμα διέγερσης προκαλείται από τη σταθερή τάση εφαρμογής της μηχανής (U). Αυτό σημαίνει ότι η διέγερση δρα ανεξάρτητα από το φορτίο. Το γεγονός αυτό αποτελεί πλεονέκτημα για την περίπτωση που ο κινητήρας καλείται να κινήσει μηχανήματα μεταβλητού φορτίου ή να διατηρεί σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως είναι οι αντλίες, τα μηχανουργικά και υφαστουργικά μηχανήματα κ.λπ.

- Αλλαγή φοράς περιστροφής

Εάν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής στους κινητήρες αυτούς, μπορούμε να το πετύχουμε με δυο τρόπους:

α) με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης, δηλαδή αλλάζοντας την πολικότητα των μαγνητικών πόλων, χωρίς να μεταβληθεί η φορά του ρεύματος του τυμπάνου.

β) με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου, χωρίς να μεταβληθεί η πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Συνήθως προτιμούμε το δεύτερο τρόπο. Είναι προφανές, ότι για να ισχύει η διαδοχή κύριων και βοηθητικών πόλων, είναι απαραίτητο να αλλάξει και η πολικότητα των βοηθητικών πόλων του κινητήρα.

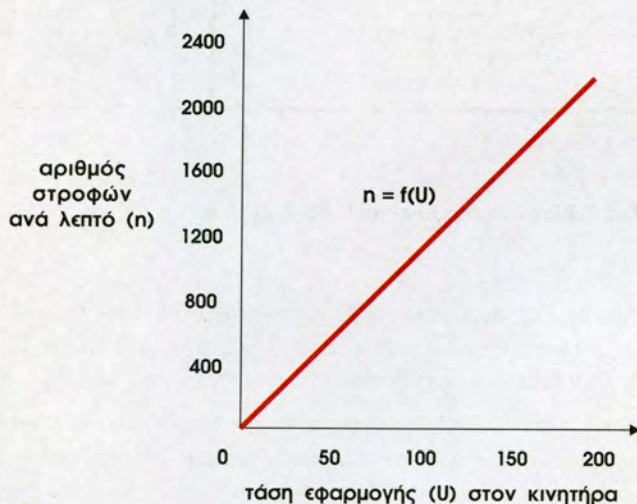
Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα παράλληλης διέγερσης

Η απεικόνιση των χαρακτηριστικών των κινητήρων παρέχει τη δυνατότητα της μελέτης των συνθηκών λειτουργίας τους κατά την μεταβολή του αριθμού των στροφών, σε σχέση με άλλα στοιχεία.

α. Μεταβολή των στροφών (n), όταν μεταβάλλεται η τάση εφαρμογής (U) με σταθερό το φορτίο του κινητήρα.

Συνάρτηση $n=f(U)$

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.23.



Σχ. 2.23: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) ως προς την μεταβολή της τάσης εφαρμογής (U) στον κινητήρα για ρεύμα φορτίου (I_T) σταθερό.

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(U)$

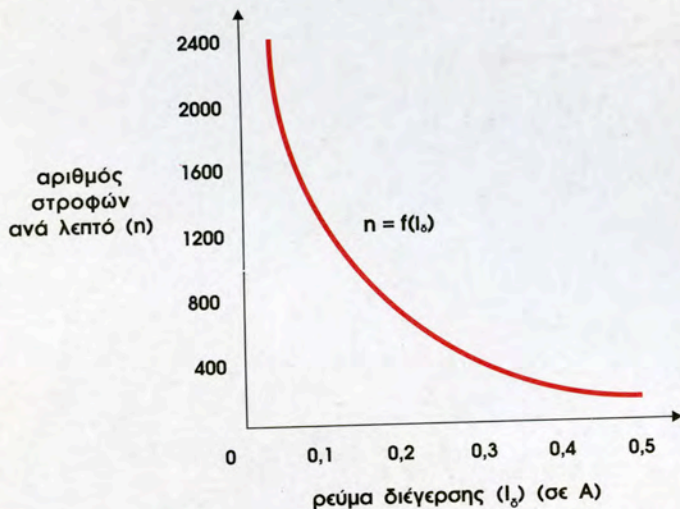
1. Όταν η τάση (U) αυξάνεται, αυξάνεται και ο αριθμός στροφών/λεπτό (n) του κινητήρα.
2. Οι αμοιβαίες αυξήσεις είναι γραμμικές, πράγμα που σημαίνει ομαλή λειτουργία κατά την εκκίνηση.
3. Από τη σχέση (2.19) $n = \frac{U - I_T R_T}{k \cdot \Phi}$ είναι δυνατόν να δικαιολογηθεί η μορφή της

χαρακτηριστικής. Το ποσοστό $I_T R_T$ είναι όπως εξηγήσαμε και προηγούμενα ένα μικρό ποσοστό της εφαρμοζόμενης τάσης, επειδή το ρεύμα φόρτισης I_T παραμένει σταθερό. Σταθερή παραμένει επίσης και η τιμή της αντίστασης του επαγωγίσιμου R_T . Έπεται ότι ο αριθμός στροφών/λεπτό (n) του κινητήρα μεταβάλλεται σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση (U) και εξαρτάται μόνο από αυτή.

β. Μεταβολή του αριθμού των στροφών (n), όταν μεταβάλλεται το ρεύμα διέγερσης (I_d), με σταθερά (U) και (I_T).

Συνάρτηση $n=f(I_d)$

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής, φαίνεται στο σχήμα 2.24 από όπου παρατηρούμε ότι οι στροφές του κινητήρα είναι δυνατόν να μεταβάλλονται σε μεγάλα όρια.



Σχ. 2.24: Καμπύλη της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα παράλληλης διέγερσης σε συνάρτηση με την μεταβολή του ρεύματος διέγερσης (I_d) με σταθερό το ρεύμα φόρτισης (I_T) και την εφαρμοζόμενη στον κινητήρα τάση (U).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(I_d)$

1. Όταν το ρεύμα διέγερσης (I_d) αυξάνεται, ο αριθμός των στροφών (n) του κινητήρα ελαττώνεται (δηλαδή, όταν το $I_d \rightarrow \infty$ το $n \rightarrow 0$).
2. Όσο το ρεύμα διέγερσης (I_d) ελαττώνεται, οι στροφές ανά λεπτό του κινητήρα (n) αυξάνονται (δηλαδή, όταν το $I_d \rightarrow 0$ το $n \rightarrow \infty$). Αυτό σημαίνει, ότι ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης δεν πρέπει ποτέ κατά τη λειτουργία του, να μείνει χωρίς διέγερση.
3. Από τη σχέση $n = \frac{U - I_T R_T}{\kappa \cdot \Phi}$ παρατηρούμε ότι, όταν η μαγνητική ροή Φ που

μεταβάλλεται ανάλογα με το ρεύμα διέγερσης (I_d) αυξάνεται, τότε το κλάσμα ελαττώνεται και επομένως ελαττώνεται και ο αριθμός στροφών (n) του κινητήρα.

Η ρύθμιση των στροφών με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

● Πλεονεκτήματα:

- ρύθμιση των στροφών χωρίς απώλειες (μικρό I_d διαρρέει την R_d)
- μικρή διακύμανση των στροφών.

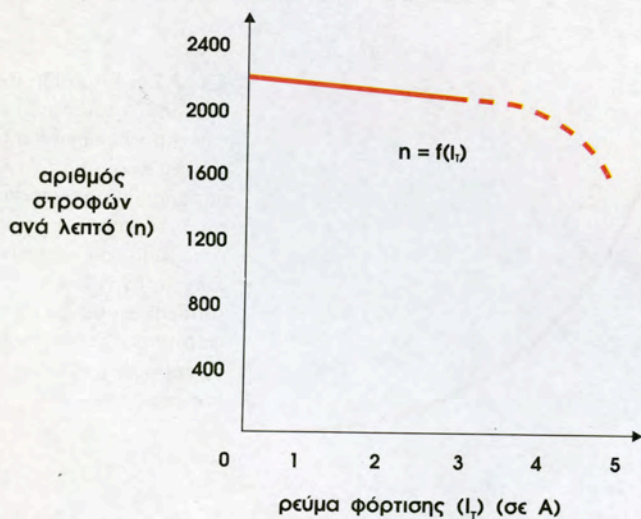
● Μειονεκτήματα:

- σπινθηρισμοί στο συλλέκτη, όταν ελαττωθεί η ένταση διέγερσης
- μεγάλη εξασθένηση της ροής στρέψης όταν εξασθενήσει πολύ το πεδίο διέγερσης.

γ. Μεταβολή του αριθμού των στροφών/λεπτό (n) όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φόρτισης (I_T) και διατηρούνται σταθερά (U) και (I_g).

Συνάρτηση $n=f(I_T)$

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής, φαίνεται στο σχήμα 2.25.



Σχ. 2.25: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα παράλληλης διέγερσης σε συνάρτηση με το ρεύμα φόρτισης (I_T) με σταθερό το ρεύμα διέγερσης (I_g) και την εφαρμοζόμενη στον κινητήρα τάση (U).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής $n=f(I_T)$

1. Για την περιοχή της κανονικής λειτουργίας, όταν αυξάνεται το ρεύμα φόρτισης I_T , ο αριθμός στροφών (n) ελαττώνεται ελαφρά.

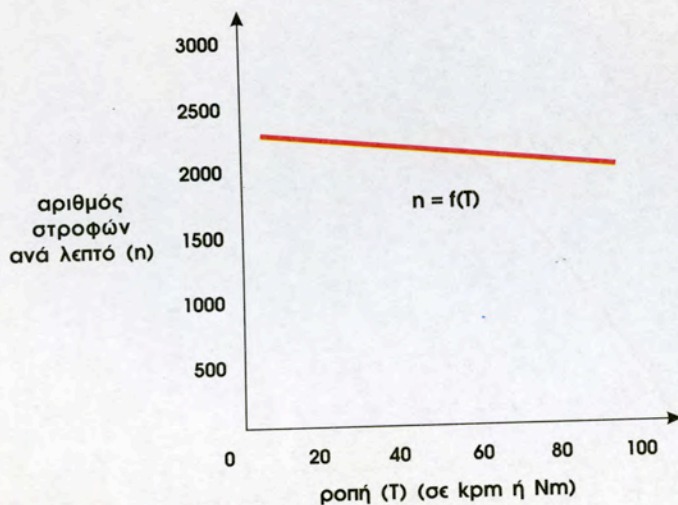
Επομένως ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης είναι κατάλληλος για να κινεί μηχανήματα, τα οποία απαιτούν ελάχιστη μεταβολή του αριθμού στροφών, όταν κατά τη λειτουργία μεταβάλλεται το φορτίο.

2. Όταν αυξάνεται το ρεύμα φόρτισης, οι στροφές υφίστανται μικρή ελάττωση, οφειλόμενη στην αύξηση της πτώσης τάσης του τυμπάνου $I_T \cdot R_T$ (μείωση της $AHEΔ$, E_g).

δ. Μεταβολή του αριθμού των στροφών/λεπτό (n), όταν μεταβάλλεται η ροπή (T).

Συνάρτηση $n=f(T)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής, φαίνεται στο σχήμα 2.26.



Σχ. 2.26: Χαρακτηριστική της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα παράλληλης διέγερσης σε συνάρτηση με την μεταβολή της ροπής στρέψης (T) για σταθερή τάση εφαρμογής (U) και ρεύμα διέγερσης (I_d).

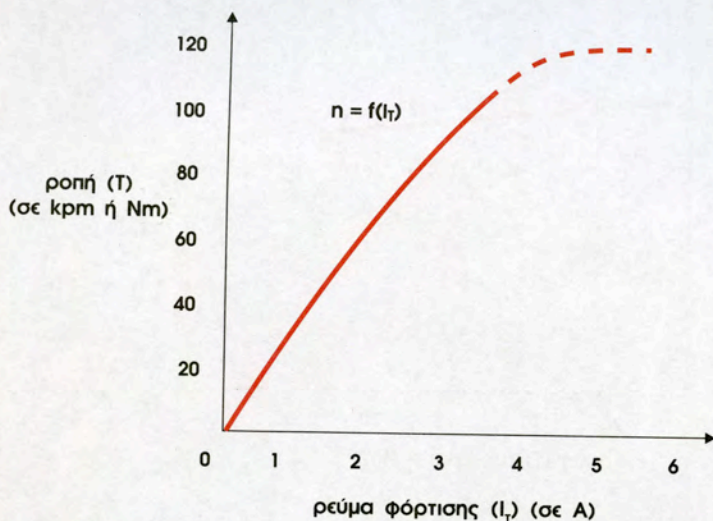
Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(T)$

Η χαρακτηριστική είναι ευθεία που τείνει να γίνει παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα. Επομένως ο αριθμός των στροφών δεν επηρεάζεται αισθητά από την τιμή της ροπής στρέψης.

ε. Μεταβολή της ροπής στρέψης (T), όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φόρτισης (I_T) με (U) και (n) σταθερά.

Συνάρτηση $T=f(I_T)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.27.



Σχ. 2.27: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής της ροπής στρέψης (T) σε συνάρτηση με την μεταβολή του ρεύματος φόρτισης (I_T) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U) και τον αριθμό των στροφών ανά λεπτό (n).

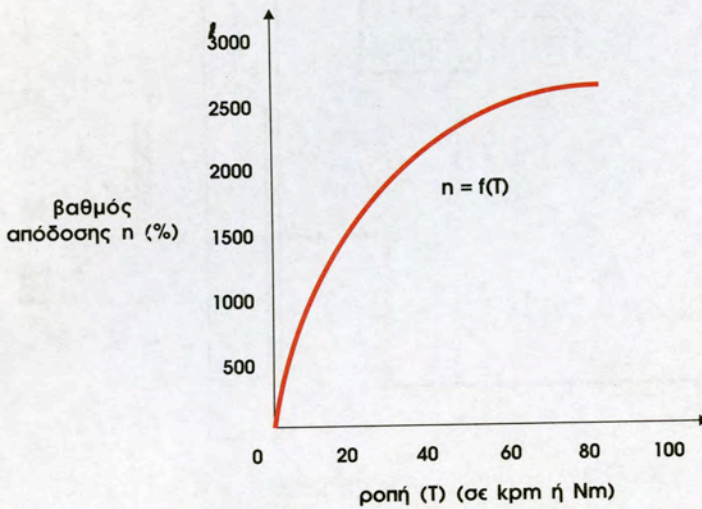
Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $T=f(I_T)$

1. Η ροπή στρέψης (T) αυξάνει περίπου ανάλογα προς το ρεύμα του τυμπάνου (I_T) σύμφωνα προς τη σχέση (2.15) $T=k_1 \cdot \Phi \cdot I_T$.
2. Σε μεγάλες τιμές ρεύματος φόρτισης (I_T), η ροπή στρέψης αυξάνει λιγότερο (διακεκομμένη γραμμή).

στ. Μεταβολή του βαθμού απόδοσης (η), όταν μεταβάλλεται η ροπή στρέψης (T) με (U) και (n) σταθερά.

Συνάρτηση $\eta=f(T)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.28.



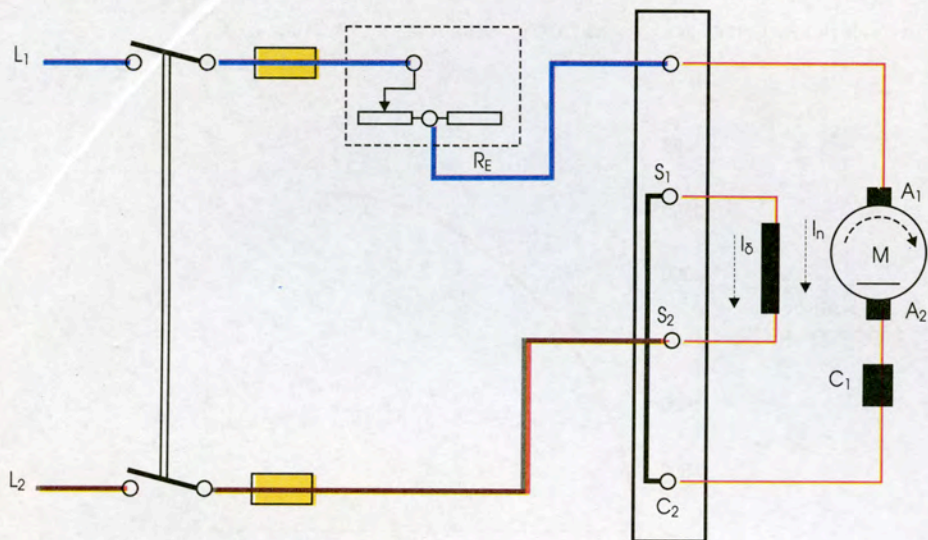
Σχ. 2.28: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής του βαθμού απόδοσης (η) σε συνάρτηση με την μεταβολή της ροπής στρέψης (T) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U) και τον αριθμό των στροφών ανά δευτερό (n).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $\eta=f(T)$

1. Όταν αυξάνεται η ροπή (T), αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης (η) της μηχανής.
2. Όσο και αν αυξηθεί η ροπή, ο βαθμός απόδοσης δεν είναι δυνατόν να φτάσει το 100%, αφού $\eta < 1$ πάντοτε.

2.5.4.2. Κινητήρες διέγερσης σειράς

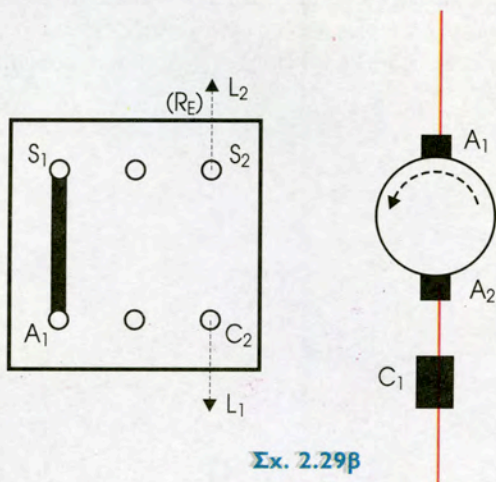
Στο σχήμα 2.29α φαίνεται η συνδεσμολογία κινητήρα διέγερσης σειράς.



Σχ. 2.29α: Κινητήρας διέγερσης σειράς.

- Αλλαγή φοράς περιστροφής

Εάν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στο επαγωγικό τύμπανο και στο τύλιγμα των βοηθητικών πόλων, χωρίς να μεταβληθεί η φορά του ρεύματος στο τύλιγμα διέγερσης. Η αλλαγή αυτή γίνεται με την αλλαγή της συνδεσμολογίας των ακροδεκτών στην πινακίδα του κινητήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.29β.



Σχ. 2.29β

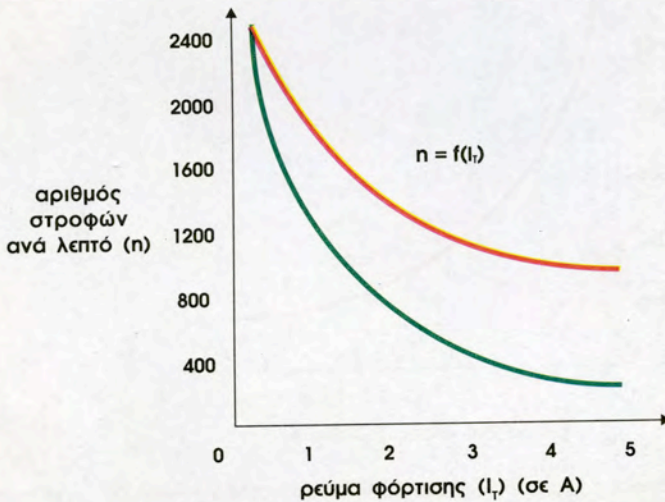
☞ Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής χρειάζεται να γίνεται τακτικά, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, χρησιμοποιούμε, είτε ένα εκκινητή-αναστροφέα είτε ένα ρυθμιστή στροφών-αναστροφέα.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα διέγερσης σειράς

α. Μεταβολή του αριθμού των στροφών/λεπτό (n), όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φόρτισης (I_f), με σταθερή την τάση (U) που εφαρμόζεται στο τύμπανο.

Συνάρτηση $n=f(I_f)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.30.



Σχ. 2.30: Χαρακτηριστικές της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) σε συνάρτηση με την μεταβολή του ρεύματος φόρτισης (I_f) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(I_f)$

1. Όταν το ρεύμα φόρτισης αυξάνει, οι στροφές ελαττώνονται (δηλαδή για $I_f \rightarrow \infty$ το $n \rightarrow 0$).
2. Όταν το ρεύμα φόρτισης ελαττώνεται, οι στροφές αυξάνονται (δηλαδή για $I_f \rightarrow 0$ το $n \rightarrow \infty$).

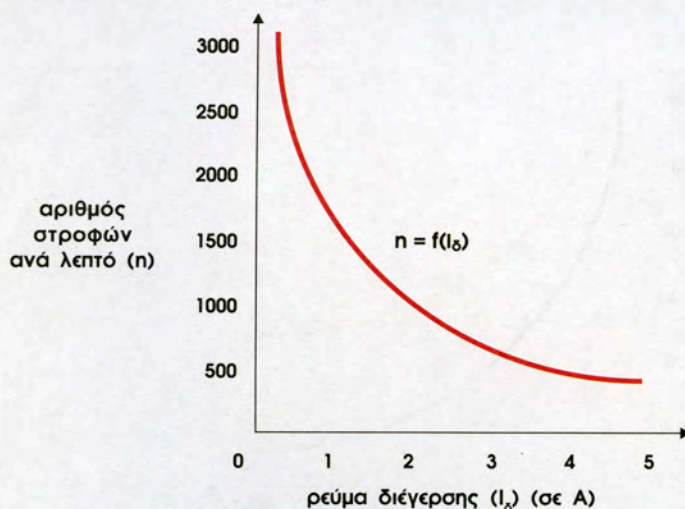
Βεβαίως, αν υποθέσουμε ότι το ρεύμα φόρτισης φτάσει στο μηδέν (λειτουργία σε κενό), οι στροφές στην πράξη δε φτάνουν στο άπειρο, λόγω του παραμένουτος μαγνητισμού στους πόλους της μηχανής. Πάντως για ρεύμα φόρτισης 0 ο κινητήρας υπερταχύνεται μέχρι καταστροφής.

3. Για μεγαλύτερη τάση εφαρμογής (U), η πτώση των στροφών είναι ομαλότερη και απαιτείται μεγάλο ρεύμα φόρτισης για να ελαττωθούν οι στροφές κατά πολύ.

β. Μεταβολή του αριθμού στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα, όταν μεταβάλλεται το ρεύμα διέγερσης (I_g) με (U) και (I_T) σταθερά.

Συνάρτηση $n=f(I_g)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.31.



Σχ. 2.31: Χαρακτηριστική της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) σε συνάρτηση με την μεταβολή του ρεύματος διέγερσης (I_g) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(I_g)$

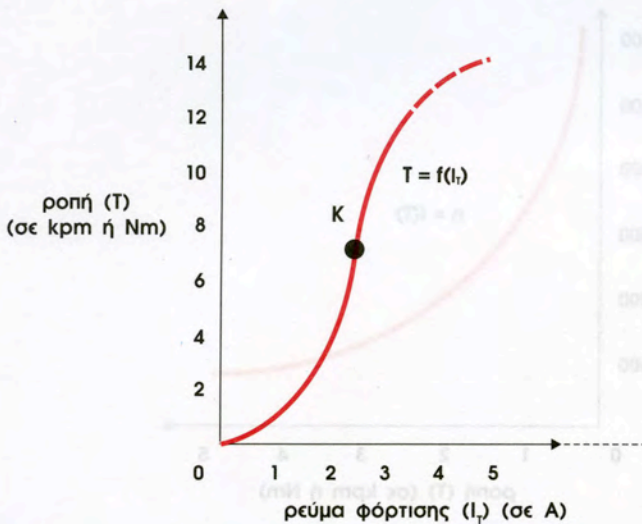
1. Όταν ελαττώνεται το ρεύμα διέγερσης, ο αριθμός των στροφών/λεπτό (n) αυξάνει. Επομένως στην πράξη, με τη χρησιμοποίηση του ροοστάτη διέγερσης ως αντίστασης παραλληλισμού του τυλίγματος διέγερσης σειράς S_1 - S_2 , είναι δυνατόν να επιτευχθεί μεταβολή των στροφών με σταθερό φορτίο.
2. Όταν η αντίσταση διέγερσης τείνει να βραχυκυκλωθεί, τότε μέσα από το τύλιγμα σειράς S_1 - S_2 περνάει ελάχιστο ρεύμα και ο αριθμός στροφών/λεπτό (n) αυξάνει επικίνδυνα.

3. Από τη σχέση $n = \frac{U - I_T R_T}{k \cdot \Phi}$ παρατηρούμε ότι, όταν η $\Phi \rightarrow 0$ δηλαδή όταν το $I_g \rightarrow 0$ τότε $n \rightarrow \infty$ και ο κινητήρας καταστρέφεται. Όταν $\Phi \rightarrow \infty$ δηλαδή $I_g \rightarrow \infty$ τότε $n \rightarrow 0$.

γ. Μεταβολή της ροπής στρέψης (T), όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φόρτισης (I_f) με τάση τυμπάνου (U) σταθερή.

Συνάρτηση $T=f(I_f)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.32.



Σχ. 2.32: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής της ροπής στρέψης (T) σε συνάρτηση με την μεταβολή του ρεύματος φόρτισης (I_f) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U).

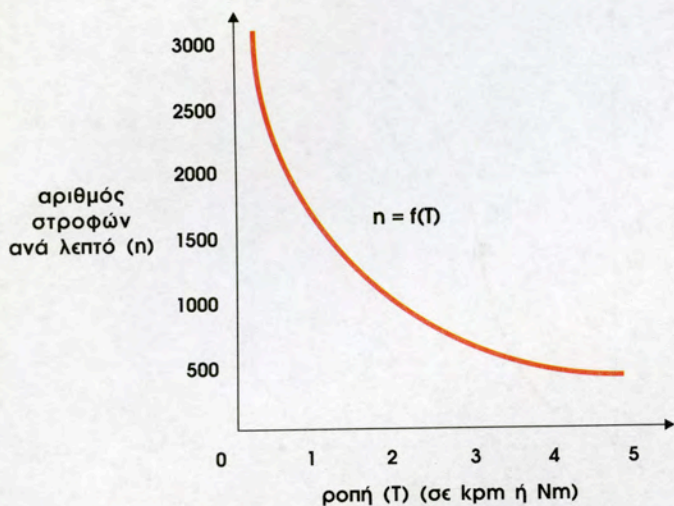
Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $T=f(I_f)$

1. Η ροπή στους κινητήρες σειράς αυξάνει σε συνάρτηση με το ρεύμα φόρτισης.
2. Η καμπύλη από τη μηδενική τιμή και μέχρι του σημείου Κ (σημείο κορεσμού του πυρήνα των πόλων) ακολουθεί μεταβολή του τετραγώνου της έντασης φόρτισης (που είναι και ένταση διέγερσης).
3. Μετά το σημείο Κ, λόγω του μαγνητικού κορεσμού στους πυρήνες των πόλων, δεν αυξάνει η Φ .

δ. Μεταβολή του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n), όταν μεταβάλλεται η ροπή στρέψης (T) με τάση τυμπάνου (U) σταθερή.

Συνάρτηση $n=f(T)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.33.



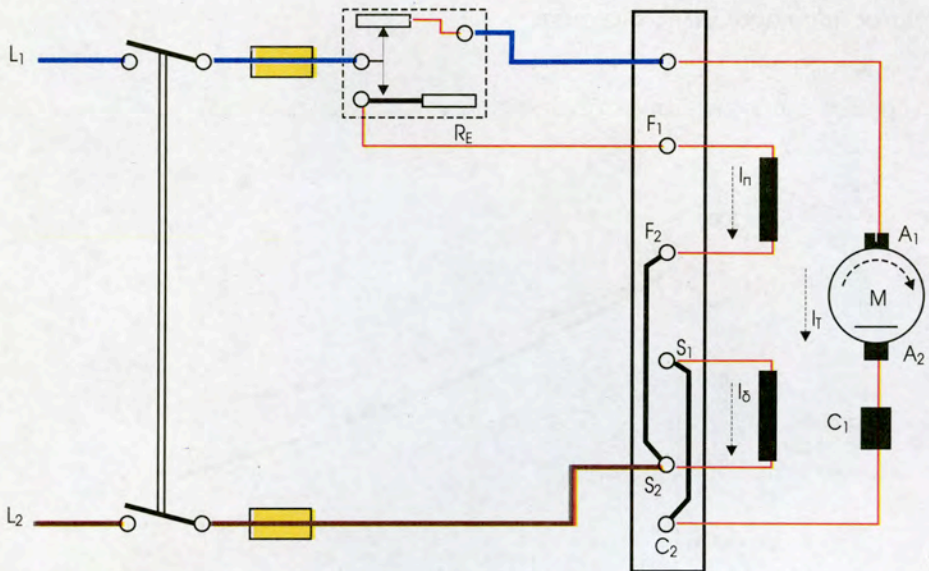
Σχ. 2.33: Χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής του αριθμού στροφών ανά λεπτό (n) σε συνάρτηση με την ροπή στρέψης (T) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U).

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(T)$

Όταν η ροπή αυξάνει, ο αριθμός των στροφών μειώνεται. Αυτό δεν συμβαίνει σε κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης. Έτσι ο κινητήρας σειράς προσφέρει τη δυνατότητα μεγάλης ροπής σε μικρό αριθμό στροφών και είναι ο πλέον κατάλληλος κινητήρας για τις περιπτώσεις έλξης.

2.5.4.3. Κινητήρες σύνθετης διέγερσης

Στο σχήμα 2.34α φαίνεται η συνδεσμολογία κινητήρα (αθροιστικής) σύνθετης διέγερσης.

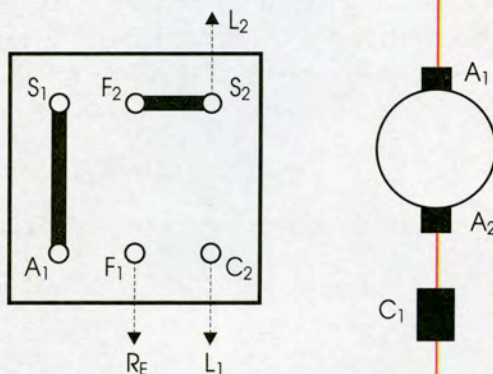


Σχ. 2.34α: Κινητήρας (αθροιστικής) σύνθετης διέγερσης.

- Αλλαγή φοράς περιστροφής

Εάν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, σύνθετης διέγερσης πρέπει να αλλάξουμε τη συνδεσμολογία ώστε να αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει το επαγωγικό τύλιγμα και τους βοηθητικούς πόλους. Όμως η διεύθυνση των ρευμάτων τόσο στο παράλληλο τύλιγμα, όσο και στο τύλιγμα διέγερσης σειράς, πρέπει να είναι η ίδια όπως πρώτα. Δηλαδή είναι προτιμότερο να έχουμε αλλαγή φοράς στο ρεύμα τυμπάνου, παρά αλλαγή στην πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Αυτά μπορούν να γίνουν με αλλαγή της συνδεσμολογίας στους ακροδέκτες, όπως δείχνει το σχήμα 2.34β.



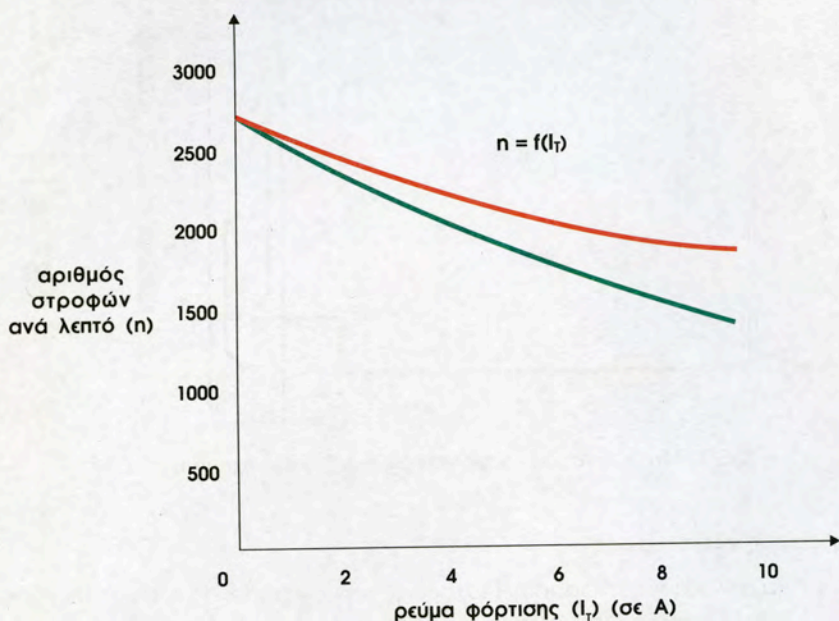
Σχ. 2.34β

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα σύνθετης διέγερσης

α. Μεταβολή του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n), όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φόρτισης (I_T), με σταθερή την τάση εφαρμογής (U) και την αντίσταση του κυκλώματος της παράλληλης διέγερσης.

Συνάρτηση $n=f(I_T)$.

Η μορφή αυτής της χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 2.35.



Σχ. 2.35: Χαρακτηριστικές της μεταβολής του αριθμού των στροφών ανά λεπτό (n) σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης (I_T) με σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση (U).

A = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα σύνθετης διέγερσης

B = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα παράλληλης διέγερσης

Συμπεράσματα και δικαιολόγηση της μορφής της $n=f(I_T)$

1. Ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης, λόγω της παρουσίας του τυλίγματος σειράς, όταν αυξάνεται το φορτίο, δέχεται ισχυρότερη ροή (προστιθέμενη ροή) και γι' αυτό παρουσιάζει λιγότερες στροφές, συγκρινόμενος με έναν κινητήρα παράλληλης διέγερσης.

2. Από τη σχέση $n = \frac{U - I_T R_T}{k \cdot \Phi}$ όπου $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ (παράλληλη και σειράς) παρατηρούμε

ότι, όταν η παρεχόμενη από το τύλιγμα σειράς μαγνητική ροή Φ_2 αυξάνει, τότε οι στροφές ελαττώνονται.

2.5.5. Παραδείγματα

1. Να βρεθεί η ΑΗΕΔ κινητήρα Σ.Ρ. 10HP, 220V του οποίου το τύλιγμα του τυμπάνου με πλήρες φορτίο διαρρέεται από ένταση 40A και έχει αντίσταση 0,25Ω.

Λύση

Έχουμε $U - E_g = R_T \cdot I_T$

$$E_g = U - R_T \cdot I_T = 220 - 0,25 \cdot 40 = 220 - 10 = 210V$$

2. Σε κινητήρα Σ.Ρ. ισχύος 10HP δίνονται $U=220V$, $I_T=40A$ και $R_T=0,25\Omega$. Να υπολογισθούν:

α. Ποια θα ήταν η ένταση εκκίνησης αν δεν χρησιμοποιούσαμε εκκινητή και,

β. Ποια θα έπρεπε να ήταν η ολική αντίσταση του εκκινητή, ώστε η ένταση εκκίνησης να μην υπερβαίνει τα 150% της έντασης πλήρους φορτίου;

Λύση

α. Κατά την εκκίνηση χωρίς εκκινητή έχουμε:

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T} = \frac{220}{0,25} = 880A$$

δηλαδή, ένταση 22 φορές μεγαλύτερη της κανονικής

β. Κατά την εκκίνηση με τον εκκινητή θα γίνει:

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_E}, \quad R_E = \frac{U}{I_{EK}} - R_T$$

Όταν όλη η αντίσταση του εκκινητή είναι εντός του κυκλώματος θα έχουμε

$$I_{EK} = 150\% \cdot 40 = 1,5 \cdot 40 = 60A.$$

$$\text{Άρα } R_E = \frac{220}{60} - 0,25 = 3,66 - 0,25 = 3,41\Omega$$

3. Η ένταση τυμπάνου κινητήρα παράλληλης διέγερσης 220V θα είναι 50A, όταν ο κινητήρας εργάζεται με πλήρες φορτίο, με την ονομαστική του τάση και τις ονομαστικές του στροφές. Η αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα είναι 0,3Ω.

Να βρεθούν:

α) η ΑΗΕΔ με πλήρες φορτίο

β) η ισχύς η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα του σε HP.

Λύση

α. Από τη σχέση $U - E_g = R_T \cdot I_T$ έχουμε:

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

$$E_g = 220 - 0,3 \cdot 50 = 220 - 15 = 205V$$

β. Η τάση του δρομέα θα είναι: $U - R_T \cdot I_T = 220 - 15 = 205V$ οπότε η ισχύς που αναπτύσσεται σ' αυτόν δίνεται από τη σχέση:

$$P = U_T \cdot I_T = 205 \cdot 50 = 10250 \text{ W και επειδή } 1 \text{ HP} = 736 \text{ W, } P = \frac{10250}{736} = 13,9 \text{ HP}$$

4. Κινητήρας παράλληλης διέγερσης 220V, με αντίσταση τυλίγματος τυμπάνου $0,2\Omega$, λειτουργεί με 1500στρ/μίν και ένταση, δια του τυλίγματος του τυμπάνου, 30A. Ο ίδιος κινητήρας για ένα αυξημένο φορτίο έχει ένταση τυλίγματος τυμπάνου 60A. Να βρεθούν:

α) η ΑΗΕΔ του κινητήρα για $I_T = 30 \text{ A}$

β) η ΑΗΕΔ του κινητήρα για $I_T = 60 \text{ A}$

γ) η ισχύς η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα σε HP, για τις δύο περιπτώσεις φορτίου.

Λύση

α. $U - E_a = I_T \cdot R_T$

$$E_{a1} = U - I_T \cdot R_T = 220 - 30 \cdot 0,2 = 220 - 6 = 214 \text{ V}$$

β. $E_{a2} = U - I_T \cdot R_T = 220 - 60 \cdot 0,2 = 220 - 12 = 208 \text{ V}$

γ. $P_1 = E_{a1} \cdot I_T = 214 \cdot 30 = 6420 \text{ W ή } 8,7 \text{ HP}$

$$P_2 = E_{a2} \cdot I_T = 208 \cdot 60 = 12480 \text{ W ή } 16,9 \text{ HP}$$

5. Τετραπολικός κινητήρας διέγερσης σειράς έχει 2 παράλληλους κλάδους, 786 αγωγούς και ροή ανά μαγνητικό πόλο 0,03Vs, όταν απορροφά από το δίκτυο 30A. Να βρεθεί η κινητήρια ροπή του κινητήρα.

Λύση

Η αναπτυσσόμενη ροπή δίνεται από τη σχέση:

$$T = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot I_T \text{ (σε Nm)}$$

$$T = \frac{2 \cdot 786}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \cdot 0,03 \cdot 30 = 225,3 \text{ (σε Nm)}$$

6. Κινητήρας παράλληλης διέγερσης εργάζεται με τάση 220V και έχει ταχύτητα 1000στρ/μίν, όταν το τύλιγμα του τυμπάνου του, το οποίο έχει αντίσταση $0,4\Omega$, διαρρέεται από ένταση 50A.

Να βρεθεί η εκατοστιαία μεταβολή της ΑΗΕΔ και των στρωφών του κινητήρα, όταν το μηχάνημα το κινούμενο από τον κινητήρα απαιτεί το $\frac{1}{2}$ της ροπής, την οποία έδινε προηγουμένως ο κινητήρας.

Λύση

Η ροπή δίνεται από τη σχέση: $T = K \cdot \Phi \cdot I_T$

Δεδομένου ότι η ένταση διέγερσης μένει σταθερή, θα είναι σταθερή και η ροή Φ . Επομένως, όταν αναπτύσσεται η μισή ροπή, το τύλιγμα του κινητήρα θα διαρρέεται

από το $\frac{1}{2}$ της έντασης, δηλαδή, από $\frac{50}{2} = 25 \text{ A}$.

Οι ΑΗΕΔ στις δύο περιπτώσεις θα είναι:

$$E_{a1} = U - R_T \cdot I_{T1} = 220 - 0,4 \cdot 50 = 200V$$

$$E_{a2} = U - R_T \cdot I_{T2} = 220 - 0,4 \cdot 25 = 210V$$

Οι στρόφες θα δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$E_{a1} = K \cdot \Phi \cdot \eta_1 \text{ και } E_{a2} = K \cdot \Phi \cdot \eta_2$$

Διαιρώντας κατά μέλη έχουμε:

$$\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{K \cdot \Phi \cdot \eta_2}{K \cdot \Phi \cdot \eta_1}, \quad \eta_2 = \eta_1 \cdot \frac{E_{a2}}{E_{a1}} = 1000 \cdot \frac{210}{200} = 1050 \text{ στρ/min}$$

Άρα για μεταβολή του ρεύματος τυμπάνου κατά $\frac{50-25}{50} \cdot 100\% = 50\%$ έχουμε

μεταβολή της ΑΗΕΔ κατά $\frac{200-210}{200} \cdot 100\% = 5\%$ και των στροφών κατά

$$\frac{1000-1050}{1000} \cdot 100\% = 5\%.$$

Η μεταβολή αυτή είναι ίση φυσικά προς τη μεταβολή της ΑΗΕΔ, εφ' όσον υπάρχει ευθεία αναλογία μεταξύ τους, όταν η ροή είναι σταθερή. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι μία μικρή μεταβολή των στροφών του κινητήρα προκαλεί ίση ποσοστιαία μεταβολή της ΑΗΕΔ και μια μεγάλη μεταβολή στην ένταση δια του τυλίγματος του τυμπάνου του, προκειμένου να ανταποκριθεί ο κινητήρας στο νέο του φορτίο.

7. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος ισχύος 50kW έχει βαθμό απόδοσης 80% και τάση τροφοδοσίας 250V. Τι αντίσταση πρέπει να έχει ο εκκινητής, ώστε το ρεύμα εκκίνησης να είναι 1,60 παραπάνω από το I_{ov} . Αν η ταχύτητα του κινητήρα είναι 2500στρ/λεπτό, υπολογίστε τη ροπή στην έξοδο και την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη. Δίνεται $R_T = 0,5\Omega$.

Λύση

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}} = \frac{250}{0,5 + R_{EK}}$$

$$I_{EK} = 1,6 \cdot I_{ov} = 250 \cdot 1,6 = 400A$$

$$I_{ov} = \frac{P}{U \cdot \eta} = \frac{50.000}{250 \cdot 0,8} = 250A$$

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}} \Rightarrow 400 = \frac{250}{0,5 + R_{EK}}, \quad R_{EK} = \frac{U}{I_{EK}} - R_T$$

$$R_{EK} = \frac{250}{400} - 0,5 = 0,625 - 0,5 = 0,125 \Omega$$

$$T_a = \frac{P \cdot 9,55}{n} = \frac{50.000 \cdot 9,55}{2500} = 191 Nm$$

$$E_a = U - I_T \cdot R_T = 250 - 250 \cdot 0,5 = 125V$$

2.5.6. Ερωτήσεις

1. Τι σημαίνει λειτουργία κινητήρα σε κενό;
2. Τι είναι η ΑΗΕΔ και πως δημιουργείται;
3. Τι παρατηρούμε κατά την εκκίνηση των κινητήρων Σ.Ρ. ως προς το ρεύμα εκκίνησης και τι μέτρα λαμβάνουμε για τον περιορισμό του;
4. Από ποια σχέση δίνεται η ροπή στρέψης που ασκείται σε έναν κινητήρα Σ.Ρ.;
5. Τι παρατηρούμε στην ηλεκτρική ισχύ που απορροφά ο κινητήρας στη λειτουργία του με φορτίο;
6. Με ποιους τρόπους ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.;
7. Τι ονομάζουμε ονομαστική ισχύ σε κινητήρα Σ.Ρ.;
8. Τι ονομάζουμε βαθμό απόδοσης του κινητήρα και σε ποια ποσοστά κυμαίνεται;
9. Πώς διακρίνονται οι κινητήρες ανάλογα με τη διέγερσή τους;
10. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(U)$ σε κινητήρα παράλληλης διέγερσης και να δικαιολογηθεί η μορφή της.
11. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(I_r)$ σε κινητήρα διέγερσης σειράς και να δικαιολογηθεί η μορφή της.
12. Να σχεδιαστεί κινητήρας με αθροιστική σύνθετη διέγερση.
13. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(I_r)$ σε κινητήρα σύνθετης διέγερσης και να δικαιολογηθεί η μορφή της.
14. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διέγερσης με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.
15. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα διέγερσης σειράς με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.
16. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα σύνθετης διέγερσης με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.

➡ Βάψτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

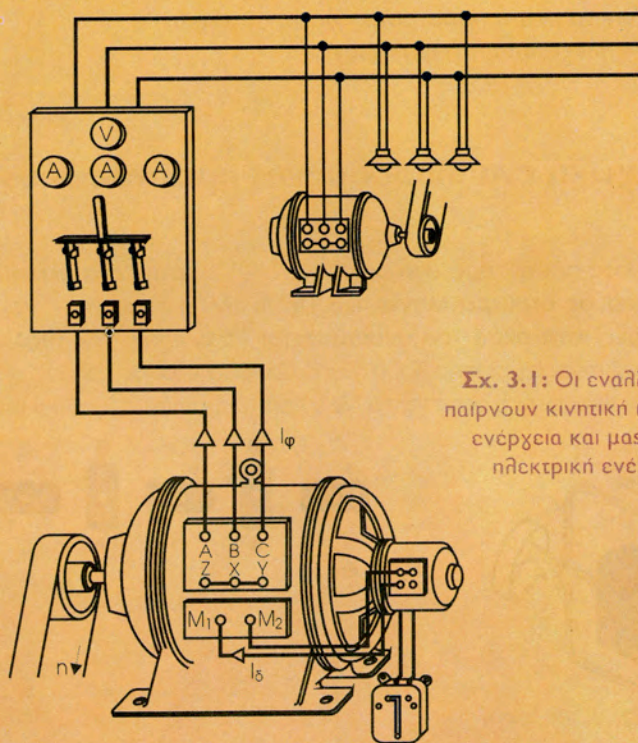
17. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε κενό, τότε η ένταση που απορροφά από την πηγή είναι:
α. πολύ μεγάλη, β. πολύ μικρή, γ. μηδέν.
18. Σε ένα κινητήρα διέγερσης σειράς όταν το ρεύμα φόρτισης αυξάνει, οι στρόφες:
α. αυξάνονται, β. ελαττώνονται, γ. μένουν σταθερές.

κεφάλαιο 3

εναλλακτήρες

➡ **Εναλλακτήρες** ονομάζουμε τις σύγχρονες μηχανές - γεννήτριες Ε.Ρ. που χρησιμοποιούνται:

- στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής,
- σε επιχειρήσεις και εργοστάσια,
- στην ηλ. έλξη και στα αυτοκίνητα,
- σε νοσοκομεία κ.λπ. ιδρύματα, σε απομονωμένα σπίτια και όπου αλλού χρειαζόμαστε ηλεκτρική ενέργεια, με την οποία λειτουργούν σήμερα όλες σχεδόν οι μηχανές και συσκευές (σχ. 3.1).



Σχ. 3.1: Οι εναλλακτήρες παίρνουν κινητική (μηχανική) ενέργεια και μας δίνουν ηλεκτρική ενέργεια.

Ενότητα 3.1.

Εναλλδακτήρας - Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Διδακτικοί στόχοι

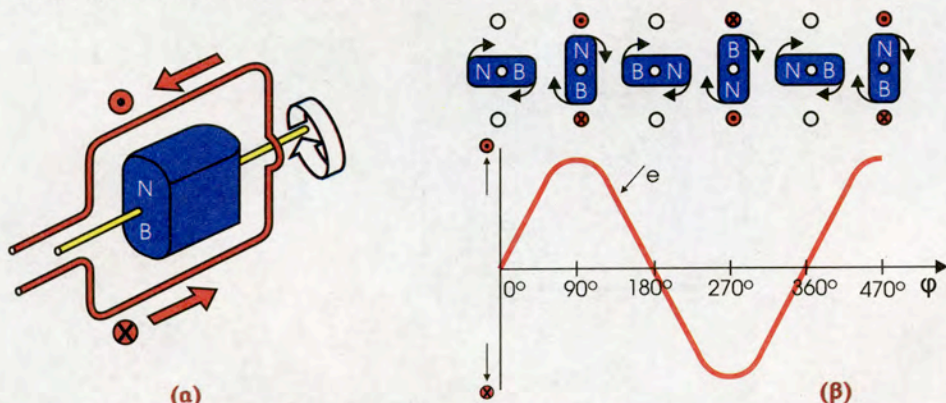
➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε τα χαρακτηριστικά του εναλλασσόμενου ρεύματος.
2. Να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των εναλλακτήρων.
3. Να διατυπώνετε τη σχέση στροφών - ζευγών πόλων και συχνότητας.
4. Να απαριθμείτε τα βασικά εξαρτήματα των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών και τη συνδεσμολογία τους.
5. Να εντοπίζετε τα όρια φόρτισης ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.
6. Να εξασφαλίζετε τα μέτρα προστασίας για την ασφαλή λειτουργία των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

3.1.1. Παραγωγή εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς τάσης

1) Γενικά

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (εν. 2.1.2), όταν ένα πλαίσιο (σπείρα) περιστρέφεται μέσα σε σταθερό Μαγνητικό Πεδίο (Μ.Π.) έτσι, ώστε να τέμνει τις μαγνητικές γραμμές, στα άκρα του αναπτύσσεται (από επαγωγή) **εναλλασσόμενη Η.Ε.Δ.** Ε ή e , ημιτονοειδούς μορφής. Το ίδιο αποτέλεσμα έχουμε και αν, αντί για τους αγωγούς του πλαισίου, περιστρέφεται το Μ.Π., δηλ. οι μαγνητικοί πόλοι (σχ. 3.2).



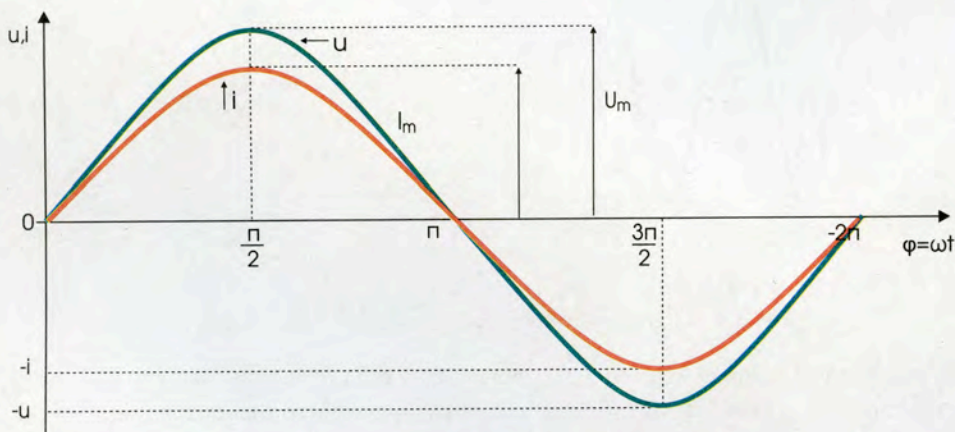
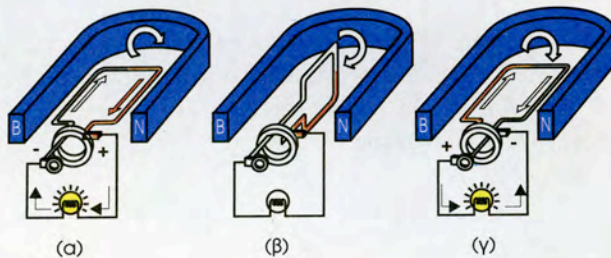
Σχ. 3.2: Ανάπτυξη εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς Η.Ε.Δ. με περιστροφή των πόλων.

2) Παραγωγή εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς τάσης και ρεύματος

Για να χρησιμοποιήσουμε την εναλλασσόμενη Η.Ε.Δ. που αναπτύσσεται στο πλαίσιο, συνδέουμε στα άκρα του -μέσω δακτυλιδιών και ψηκτρών- ένα ηλεκτρικό φορτίο (R), π.χ. ένα λαμπήρα πυρακτώσεως.

Έτσι δημιουργείται ένα **κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα**, οπότε από την **Η.Ε.Δ.** **e** παίρνουμε μια εναλλασσόμενη ημιτονοειδή **ηλεκτρική τάση u** και απ' αυτή ένα **εναλλασσόμενο ρεύμα** (ένταση) **i** της ίδιας μορφής (σχ. 3.3).

 Όπως είναι γνωστό: η **ηλεκτρική τάση** είναι η **αιτία** και το **ρεύμα** το **αποτέλεσμα**.



Σχ. 3.3: Παραγωγή εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς τάσης και ρεύματος, που βρίσκονται σε φάση

Σε μια πλήρη περιστροφή του πλαισίου έχουμε και μια πλήρη εναλλαγή των εναλλασσόμενων μεγεθών (τάσης-έντασης), που λέγεται **κύκλος**.

Οι εναλλαγές (κύκλοι) των **u** και **i** επαναλαμβάνονται, με τον ίδιο τρόπο, σε κάθε πλήρη περιστροφή του πλαισίου, δηλ. όπως λέμε: **τόσο η τάση, όσο και η ένταση του ρεύματος μεταβάλλονται περιοδικά**, σε σχέση με το χρόνο t ή τη γωνία περιστροφής (φ).

3) Χαρακτηριστικά Εναλλασσόμενου Ρεύματος (Ε.Ρ.)

Τα κύρια **χαρακτηριστικά του Ε.Ρ.** ημιτονοειδούς μορφής, είναι:

- η περίοδος και η συχνότητά του,
- η γωνία φάσης και η κυκλική του συχνότητα και
- η στιγμιαία, η μέγιστη και η ενεργός τιμή του.

Περίοδος T, ονομάζουμε το χρόνο στον οποίο συμπληρώνεται ένας κύκλος, δηλ. μια πλήρης μεταβολή του Ε.Ρ. και

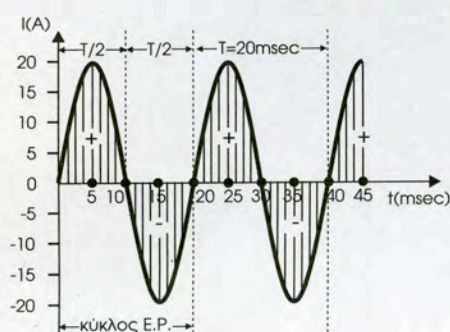
συχνότητα f, τον αριθμό των κύκλων στο δευτερόλεπτο. Εύκολα καταλαβαίνουμε, ότι **περίοδος και συχνότητα είναι αντίστροφα μεγέθη**, δηλ. είναι:

$$T = \frac{1}{f}, \text{ (σε sec)} \text{ ή } f = \frac{1}{T} \quad (3.1)$$

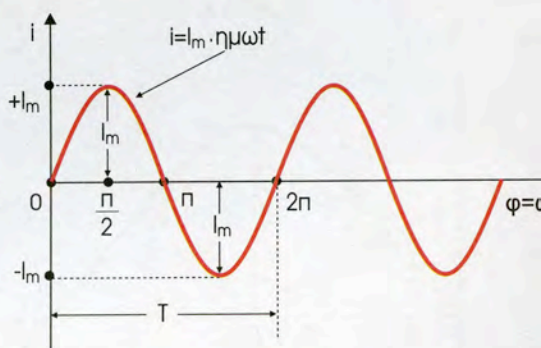
 Η συχνότητα μετρείται σε c/sec=Herz, με σύμβολο **Hz**.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4, το **Ε.Ρ. στη μισή περίοδο (T/2) παίρνει θετικές τιμές (+), ενώ στην άλλη μισή αρνητικές τιμές (-)**.

Το **βιομηχανικό Ε.Ρ.**, δηλ. το Ε.Ρ. που χρησιμοποιείται για φωτισμό και κίνηση, έχει, σχεδόν πάντοτε στην Ευρώπη, συχνότητα **50Hz**. Αυτό σημαίνει, ότι σε κάθε δευτερόλεπτο γίνονται 50 κύκλοι, δηλ. 100 θετικές και αρνητικές εναλλαγές. Έτσι, **κάθε περίοδος του Ε.Ρ. διαρκεί 1/50sec=0,02sec ή 20ms**.



(α)



(β)

Σχ. 3.4: Ε.Ρ. ημιτονοειδούς μορφής και χαρακτηριστικά του.

Γωνία φάσης ή φάση φ, λέμε τη γωνία που δείχνει τη μεταβολή (θέση) του Ε.Ρ. σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (φάση), ενώ **κυκλική συχνότητα ω**, ονομάζουμε τη μεταβολή της φάσης του Ε.Ρ. στη μονάδα του χρόνου, δηλ. είναι:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \text{ ή } \varphi = \omega t \text{ (σε rad ή ακτίνια)} \quad (3.2)$$

Για χρόνο μιας περιόδου T, η φ είναι ίση με 2π (360°), οπότε:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = 2\pi \cdot \frac{1}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot f \text{ (σε rad/sec)} \quad (3.3)$$

Έτσι, π.χ. για f=50Hz η κυκλική συχνότητα είναι: $\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/sec}$.

Στιγμιαία τιμή i, ονομάζουμε την τιμή που παίρνει (έχει) το Ε.Ρ. σε κάποια τυχαία χρονική στιγμή, ενώ **μέγιστη Im**, που λέγεται και **πλάτος**, ονομάζουμε τη μεγαλύτερη (θετική και αρνητική) τιμή του (σχ. 3.4β).

 Η στιγμιαία τιμή του Ε.Ρ. δίνεται κάθε φορά από το γινόμενο της μέγιστης τιμής επί το ημίτονο της γωνίας φάσης, δηλ. είναι ίση με:

$$i = I_m \cdot \eta\mu\varphi \text{ ή } i = I_m \cdot \eta\mu\omega t \quad (3.4)$$

Όπως είδαμε, το **Ε.Ρ. μεταβάλλεται ημιτονικά**, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σταθερό μέτρο (μέγεθος) για τον υπολογισμό ή τη μέτρησή του στη πράξη. Για το λόγο αυτό **ορίζουμε μια τιμή του Ε.Ρ.**, ισοδύναμη μ' αυτή του Σ.Ρ., που λέγεται **ενεργός τιμή** I_{ev} του Ε.Ρ., όπως προέκυψε από τη σύγκριση των δύο ρευμάτων.

Ενεργός τιμή Ε.Ρ. είναι η τιμή του Σ.Ρ. που, αν περνούσε μέσα από έναν ωμικό καταναλωτή για κάποιο χρόνο t , θα έδινε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα, μ' αυτό που δίνει το Ε.Ρ. περνώντας μέσα από τον ίδιο καταναλωτή, στον ίδιο χρόνο t .

 Η ενεργός τιμή του ημιτονικού Ε.Ρ. είναι ίση με:

$$I_{ev} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_m \quad \text{ή} \quad I_{ev} = 0,707 \cdot I_m \quad (3.5)$$

Παρατήρηση:

Τα ίδια χαρακτηριστικά, όπως είναι λογικό, έχει και η εναλλασσόμενη ημιτονοειδής τάση που προκαλεί το Ε.Ρ., δηλ., είναι:

$$u = U_m \cdot \eta\mu\omega t \quad (3.6)$$

$$\text{και } U_{ev} = 0,707 \cdot U_m \quad (3.7)$$

Σημείωση

Τα όργανα στην πράξη μετρούν πάντα τις ενεργές τιμές των εναλλασσόμενων μεγεθών (U_{ev} και I_{ev}) γι' αυτό και από δω και κάτω οι δείκτες (ev) παραλείπονται.

Στη συνέχεια του βιβλίου αυτού, όταν μιλάμε για **“εναλλασσόμενο ρεύμα” Ε.Ρ.**, θα **εννοούμε πάντα το Ε.Ρ. ημιτονοειδούς μορφής** (ημιτονικό), το οποίο παράγεται από ειδικές ηλ. μηχανές που ονομάζονται **γεννήτριες Ε.Ρ.**

4) Είδη γεννητριών Ε.Ρ. - Εναλλακτήρες

Οι γεννήτριες Ε.Ρ. μπορεί να είναι **σύγχρονες** και **ασύγχρονες**.

Οι σύγχρονες γεννήτριες **έχουν διέγερση με Σ.Ρ.**, δηλ. Μ.Π. που δημιουργείται από μαγνητικούς πόλους που τα τυλίγματά τους τροφοδοτούνται με Σ.Ρ. και παράγουν **Ε.Ρ. με συχνότητα που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής** της μηχανής, ενώ οι ασύγχρονες έχουν διέγερση με Ε.Ρ. και συχνότητα ρεύματος ανεξάρτητη απ' την ταχύτητα περιστροφής.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται, σχεδόν πάντοτε, οι σύγχρονες γεννήτριες Ε.Ρ. που λέγονται και **εναλλακτήρες**. Ασύγχρονες γεννήτριες κατασκευάζονται πολύ σπάνια (π.χ. στις ανεμογεννήτριες).

Το Σ.Ρ., που χρειαζόμαστε για τη διέγερση των εναλλακτήρων, το παίρνουμε από μια γεννήτρια Σ.Ρ., που συνήθως είναι συνδεδεμένη στον ίδιο άξονα και λέγεται **διεγέρτρια**.

Ο εναλλακτήρας, για να δώσει Ε.Ρ. και ηλ. ενέργεια πρέπει, εκτός από τη **διέγερση** (Μ.Π.), να πάρει κίνηση από κάποια **κινητήρια μηχανή**, όπως π.χ. είναι μια πετρελαιο-μηχανή, ένας ατμοστρόβιλος, ένας υδροστρόβιλος κ.λπ.

Ανάλογα με τη διάταξη των μαγνητικών πόλων που δημιουργούν τη διέγερση, οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε:

- α) εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους και
- β) εναλλακτήρες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους.

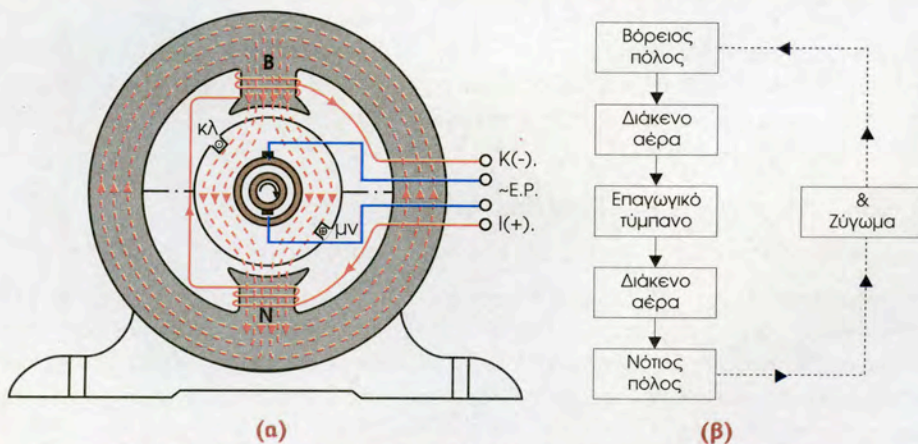
➤ Ειδικός τύπος των εναλλακτών με περιστρεφόμενους πόλους είναι οι **στροβιλοεναλλακτήρες**.

3.1.2. Αρχή λειτουργίας - Συχνότητα, Στροφές και Ζεύξη πόλων

α) Αρχή λειτουργίας εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους

Η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών με εξωτερικούς (ή σταθερούς) πόλους είναι ίδια μ' αυτή των γεννητριών Σ.Ρ., δηλ. **στους αγωγούς του τυλίγματος**, που κινούνται μέσα στο σταθερό Μ.Π., που δημιουργεί η διέγερση της μηχανής, **αναπτύσσονται από επαγωγή εναλλασσόμενες Η.Ε.Δ.** ημιτοννοειδούς μορφής. Η **διαφορά** από τις γεννήτριες Σ.Ρ. είναι ότι **εδώ δεν έχουμε συλλέκτη** στον άξονα, **αλλά δακτυλίδια**, απ' τα οποία παίρνουμε, με τη βοήθεια ψηκτρών, το παραγόμενο (για κλειστό κύκλωμα) Ε.Ρ.

Στο παρακάτω σχήμα 3.5α βλέπουμε σε τομή έναν στοιχειώδη (πολύ απλό) εναλλακτήρα με εξωτερικούς πόλους, στον οποίο **η διέγερση** (δημιουργία Μ.Π.) πετυχαίνεται με δύο μαγνητικούς πόλους, τα τυλίγματα των οποίων τροφοδοτούνται με Σ.Ρ. από τη **διεγέρτρια**.



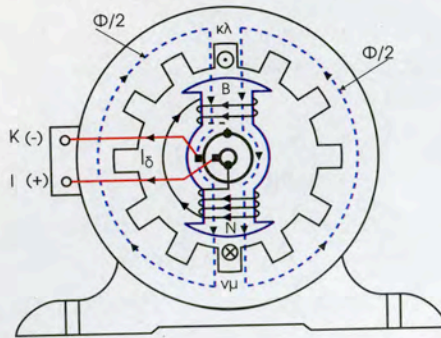
Σχ. 3.5: Στοιχειώδης εναλλακτήρας με εξωτερικούς πόλους (α) και διαδρομή χρήσιμης μαγνητικής ροής (β).

Όπως παρατηρούμε οι μαγνητικές γραμμές, δηλ. η χρήσιμη μαγνητική ροή που δημιουργεί τις Η.Ε.Δ. και τελικά το Ε.Ρ., ακολουθεί την κλειστή διαδρομή που φαίνεται στο σχήμα 3.5β.

β) Αρχή λειτουργίας εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους

Η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους είναι γενικά ίδια μ' αυτή των εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους.

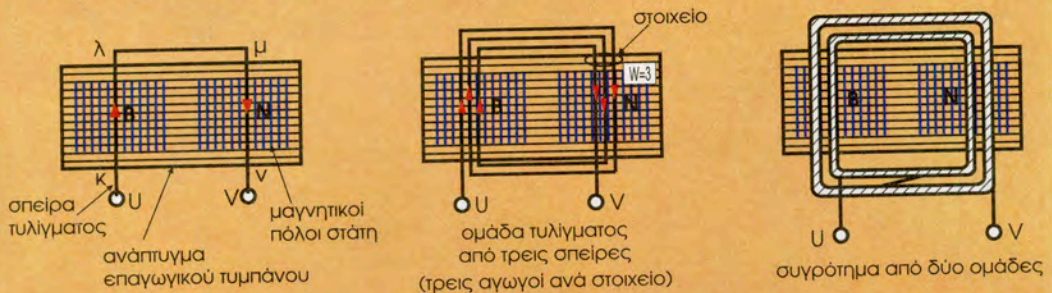
Η διαφορά είναι ότι, κατά τη λειτουργία του εναλλακτήρα αυτού, οι αγωγοί είναι ακίνητοι, δηλαδή βρίσκονται στο σταθερό μέρος της μηχανής και περιστρέφονται οι μαγνητικοί πόλοι και μαζί μ' αυτούς το Μ.Π. Τώρα, οι μαγνητικές γραμμές "τέμνουν" τους αγωγούς (και όχι οι αγωγοί τις μαγνητικές γραμμές), με το ίδιο όμως αποτέλεσμα, δηλ., τη δημιουργία εναλλασσόμενης Η.Ε.Δ. και τάσης ημιτονοειδούς μορφής. Σ' αυτούς τους αγωγούς το Σ.Ρ., για τη διέγερση των πόλων, διοχετεύεται μέσω ψηκτρών και δακτυλιδιών που στερεώνονται στον άξονα του περιστρεφόμενου μέρους (δρομέας), ενώ το **παραγόμενο Ε.Ρ.** λαμβάνεται κατευθείαν από τους **ακροδέκτες** της μηχανής (σχ. 3.6).



Σχ. 3.6: Στοιχειώδης εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους.

Σημείωση

Στην πράξη, για να πάρουμε μεγαλύτερες Η.Ε.Δ. και τάσεις, άρα και ισχυρότερα ρεύματα, τοποθετούμε στο επαγωγικό τύμπανο του εναλλακτήρα, όχι μόνο μία σπείρα, αλλά **ολόκληρο τύλιγμα**, που αποτελείται από πολλές **ομάδες σπειρών** και **συγκροτήματα ομάδων** συνδεδεμένων σε σειρά (σχ. 3.7).



Σχ. 3.7: Σπείρα, ομάδα και συγκρότημα ομάδων τυλίγματος, σε "ανάπτυγμα" επαγωγικού τυμπάνου διπολικού εναλλακτήρα.

Από μια σπείρα παίρνουμε μια μικρή Η.Ε.Δ., από μια ομάδα μεγαλύτερη Η.Ε.Δ. (λίγο μικρότερη από το άθροισμα των Η.Ε.Δ. των σπειρών) και από ένα συγκρότημα ομάδων ακόμη μεγαλύτερη Η.Ε.Δ.

Έτσι, τελικά από το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου παίρνουμε μια **συνολική Η.Ε.Δ.** της ίδιας (ημιτονικής) μορφής και συχνότητας, που έχει ενεργό τιμή λίγο μικρότερη από το άθροισμα των ενεργών τιμών των Η.Ε.Δ. των ομάδων απ' τις οποίες αποτελείται.

γ) Σχέση στροφών, συχνότητας και ζευγών πόλων εναλλακτήρα (σύγχρονη ταχύτητα)

Όπως είπαμε και στην αρχή, **εναλλακτήρες** ονομάζουμε συνοπτικά τις **σύγχρονες γεννήτριες Ε.Ρ.** Λέγονται σύγχρονες, επειδή οι συχνότητες των ηλεκτρικών τάσεων, που παράγονται στα τυλίγματα του στάτη, βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, όταν έχουμε ένα ζεύγος πόλων.

➤ Όταν έχουμε μηχανή με περισσότερα ζεύγη πόλων, τότε η συχνότητα των τάσεων είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα.

Η σχέση της συχνότητας των ηλεκτρικών μεγεθών (Η.Ε.Δ., τάσης και έντασης ρεύματος) με την ταχύτητα περιστροφής του εναλλακτήρα, ανεξάρτητα απ' τον τύπο του, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} \quad (\text{σε Hz}) \quad (3.8)$$

όπου: **p**: ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων και
n_s: ο αριθμός στροφών του εναλλακτήρα στο λεπτό.

Έτσι, ανάλογα με την επιθυμητή συχνότητα των εναλλασσόμενων μεγεθών, ο εναλλακτήρας πρέπει να έχει τον κατάλληλο αριθμό ζευγών πόλων.

Παράδειγμα

Εξαπολικός εναλλακτήρας (p=3) περιστρέφεται με ταχύτητα n_s=1.000στροφ/min. Τι συχνότητας Η.Ε.Δ. και ρεύματος μπορεί να μας δώσει;

Λύση

$$\text{Είναι: } f = \frac{p \cdot n_s}{60}. \text{ Άρα: } f = \frac{3 \cdot 1.000}{60} = \frac{3.000}{60} = 50\text{Hz}.$$

Η **ταχύτητα n_s** που πρέπει να έχει ένας εναλλακτήρας, για να παράγει Η.Ε.Δ. και ρεύμα σταθερής συχνότητας (π.χ. 50Hz, που ισχύει στην Ελλάδα και σ' όλη την Ευρώπη στα δίκτυα Ε.Ρ.), λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα** και δίνεται απ' τη σχέση:

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

Από την τελευταία σχέση, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 3.1, που δίνει τις σύγχρονες ταχύτητες των εναλλακτάρων για τον αντίστοιχο αριθμό των ζευγών των μαγνητικών πόλων (ώστε να παράγουν ρεύμα συχνότητας 50Hz).

Πίνακας 3.1.

Σύγχρονες ταχύτητες εναλ/ρων

Ζεύγη πόλων (p)	Σύγχρονη ταχύτητα (n _s)
p=1	n _s =3.000στρ/min
2	1.500
3	1.000
4	750
5	600
6	500
10	300
...	...

Παράδειγμα

Πόσους πόλους πρέπει να έχει εναλλακτήρας που περιστρέφεται με ταχύτητα 250στρ/min, για να παράγει ρεύμα συχνότητας 50Hz;

Λύση

Έχουμε:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ με } f=50\text{Hz και } n_s=250\text{στρ/min. Επομένως:}$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \Rightarrow p = \frac{60f}{n_s} = \frac{3.000}{250} \Rightarrow p = 12$$

Άρα, ο εναλλακτήρας πρέπει να έχει $(2 \cdot 12)$ 24 πόλους.

3.1.3. Κατασκευαστικά στοιχεία εναλλακτών

1) Γενικά

Οι εναλλακτήρες, όπως και οι γεννήτριες Σ.Ρ., αποτελούνται από:

- το **στάτη**, που είναι το ακίνητο μέρος και
- το **δρομέα**, που είναι το περιστρεφόμενο μέρος της μηχανής.

Για τη δημιουργία του Μ.Π. (**διέγερση**) υπάρχουν **μαγνητικοί πόλοι**, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται τόσο στο στάτη, όσο και στο δρομέα, ανάλογα με τον τύπο του εναλλακτήρα. Επίσης, υπάρχει **επαγωγικό τύμπανο**, στο οποίο τοποθετείται το τύλιγμα απ' το οποίο θα πάρουμε την Η.Ε.Δ. και τάση και τελικά, (αν κλείσουμε κύκλωμα) το Ε.Ρ. Ανάλογα με τη θέση των πόλων, **το επαγωγικό τύμπανο βρίσκεται ή στο δρομέα** (εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους) **ή στο στάτη** (εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους).

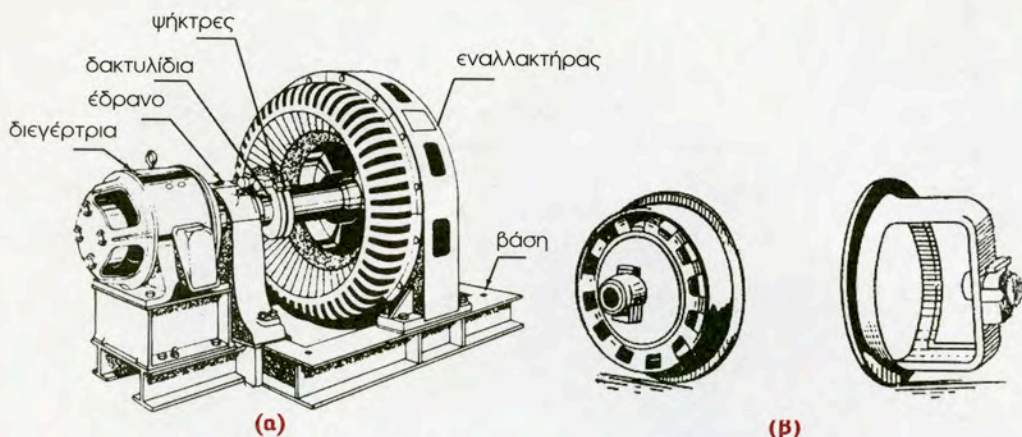
Παρακάτω θα δούμε πως κατασκευάζεται κάθε τύπος εναλλακτήρα με περισσότερες λεπτομέρειες.

2) Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους (σχ. 3.8α)

Σ' αυτούς **ο στάτης**, όπως και στις μηχανές Σ.Ρ., έχει προορισμό, εκτός απ' το να στηρίζει τη μηχανή, να **δημιουργεί** κατάλληλη και **καθορισμένη μαγνητική ροή**.

Για το σκοπό αυτό αποτελείται από:

- α. το **ζυγώμα**, στο οποίο τοποθετούνται οι **μαγνητικοί πόλοι** και το **τύλιγμα διέγερσης**,
- β. τα **καλύμματα** ή **καπάκια** (σχ. 3.8β),
- γ. τον **ψηκτροφορέα** και τις **ψήκτρες** και
- δ. το **κιβώτιο ακροδεκτών** και τη **βάση**.



Σχ.3.8: Εναλλακτήρας με εξωτερικούς πόλους (α) και καθύμματα (β).

Ο προορισμός και ο τρόπος κατασκευής κάθε μέρους του στάτη αναπτύχθηκε αναλυτικά, στις μηχανές Σ.Ρ. (εν. 2.2.2), γι' αυτό και εδώ απλά τα αναφέρουμε.

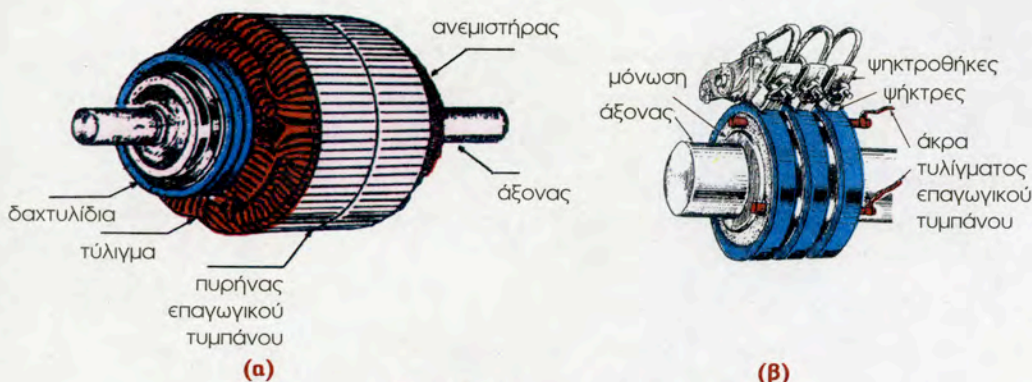
Ο **δρομέας των εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους** έχει σκοπό να δημιουργεί επαγωγική τάση και ρεύμα στο τύλιγμα που τοποθετείται σ' αυτόν και **περιλαμβάνει (σχ. 3.9α):**

α. **Τον άξονα**, που είναι κατασκευασμένος συνήθως από ατσάλι και στηρίζεται στα έδρανα.

β. **Το επαγωγικό τύμπανο**, που κατασκευάζεται από κυκλικά σιδηροελάσματα, τα οποία σχηματίζουν ένα **πυρήνα** με αυλάκια, μέσα στα οποία τοποθετείται το **τύλιγμα που θα μας δώσει (με την περιστροφή του) το Ε.Ρ.**

γ. **Δύο, ή τρία δακτυλίδια**, από ορείχαλκο, μονωμένα μεταξύ τους και ως προς τον άξονα και στερεωμένα σ' αυτόν, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9β, στα οποία συνδέονται τα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τύμπανου, που στις μηχανές Σ.Ρ. συνδέονταν στο συλλέκτη.

δ. **Έναν ανεμιστήρα** (φτερωτή), που στερεώνεται στον άξονα, στην αντίθετη πλευρά των δακτυλιδιών και ψύχει τα τυλίγματα των μικρών εναλλακτών.



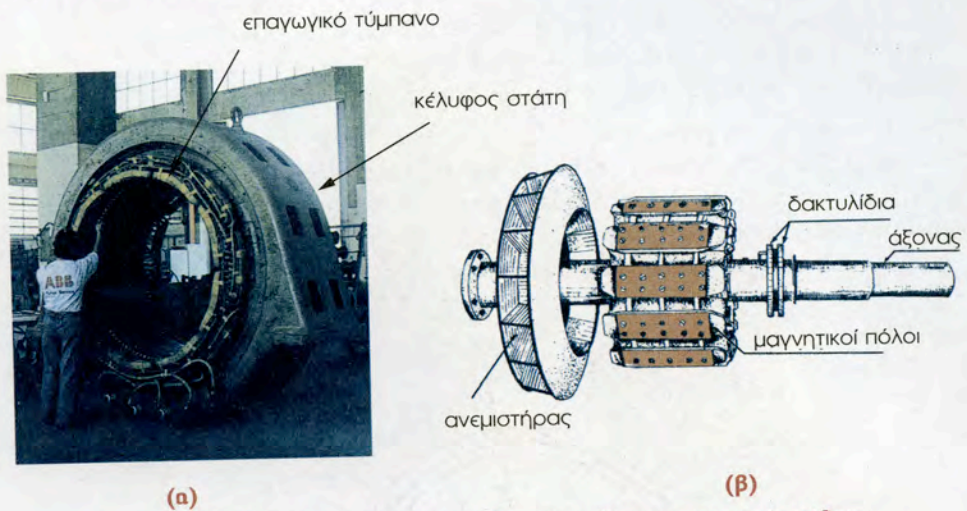
Σχ. 3.9: Δρομέας (α) και γηκτροφορέας, γήκτριες και δακτυλίδια (β) εναλλακτρά με εξωτερικούς πόλους.

❏ Οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους κατασκευάζονται μόνο για μικρές ισχείς και Χ.Τ. κι αυτό γιατί έχουν τα παρακάτω **μειονεκτήματα**:

- όλο το ρεύμα του φορτίου περνά απ' τα δακτυλίδια και τις ψήκτρες, που φθείρονται γρήγορα όσο κατάλληλα και αν κατασκευασθούν,
- πολύ λίγο χώρο επαγωγικού τύμπανου, άρα και περιορισμένου τυλίγματος και
- μεγάλη καταπόνηση των μονώσεων του τυλίγματος του επαγωγικού τύμπανου, λόγω των μεγάλων φυγόκεντρων δυνάμεων που αναπτύσσονται.

3) Εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους (σχ. 3.10)

Σ' αυτούς ο **στάτης περιέχει το επαγωγικό τύμπανο** με το τύλιγμά του και ο **δρομέας τους μαγνητικούς πόλους**, δηλ. τώρα το επαγωγικό τύμπανο είναι ακίνητο και περιστρέφονται οι πόλοι.



Σχ. 3.10: Στάτης (α) και δρομέας εναλλακτήρα (β) με εσωτερικούς πόλους.

Ο στάτης των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους αποτελείται κυρίως από:

- το **ζυγώμα**, με το εξωτερικό του **κέλυφος**,
- το **επαγωγικό τύμπανο**, με τον **πυρήνα** και το **τύλιγμα**,
- το **ψηκτροφορέα** με τις **ψήκτρες**,
- τα **καλύμματα** και το **κιβώτιο ακροδεκτών**.

Ο πυρήνας του επαγωγικού τύμπανου κατασκευάζεται από πολλά κυκλικά σιδηροελάσματα με εγκοπές, που έχουν επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι και όλα μαζί σχηματίζουν παράλληλες οδοντώσεις (αυλάκια), μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα (σχ. 3.10α).

Το **τύλιγμα** αποτελείται από πολλές **ομάδες**, που συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας **συγκροτήματα ομάδων**, τα οποία τοποθετούνται στο πυρήνα του τυμπάνου σε μία ή δύο στρώσεις.

Από το τύλιγμα του εναλλακτήρα μένουν ελεύθερα τα άκρα του, που συνδέονται στους ακροδέκτες (κιβώτιο ακροδεκτών).

Ο **ψηκτροφορέας**, που στερεώνεται στο ζύγωμα, έχει κι εδώ σε κατάλληλες υποδοχές **τις ψήκτρες**, με τις οποίες, τροφοδοτούμε με Σ.Ρ. το **τύλιγμα διέγερσης** των μαγνητικών πόλων.

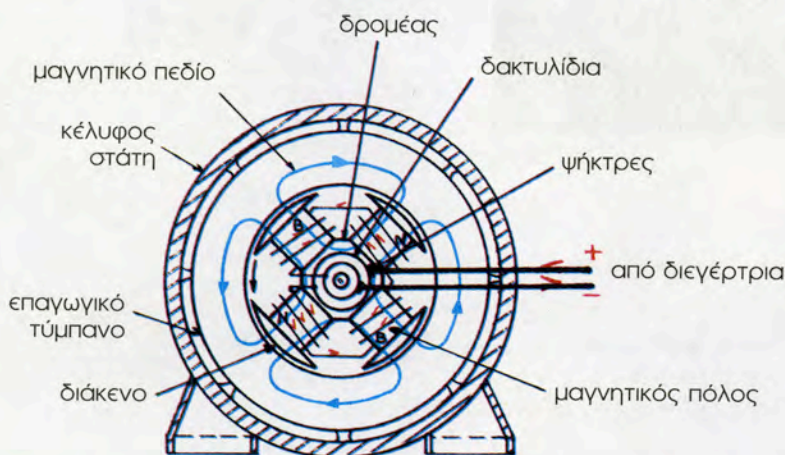
Ο **δρομέας των εναλλακτήρων με εσωτερικούς πόλους**, που έχει σαν βασικό σκοπό να περιστρέφει τους πόλους, ώστε να **δημιουργεί περιστρεφόμενο Μ.Π.**, αποτελείται από:

- α. τον **άξονα**, που στηρίζεται στα έδρανα, ώστε να μπορεί εύκολα να περιστραφεί,
- β. τους **μαγνητικούς πόλους**, με τα **πέδιλα**, τον **πυρήνα** και το **τύλιγμα διέγερσης**,
- γ. τα **δακτυλίδια**, στα οποία καταλήγει το Σ.Ρ. από τη **διεγέρτρια** και
- δ. τον **ανεμιστήρα**, για την ψύξη των τυλιγμάτων (σχ. 3.10β).

Η **διεγέρτρια** και στους εναλλακτήρες αυτούς συνδέεται συνήθως απευθείας στον άξονα του εναλλακτήρα, απ' τον οποίο και παίρνει κίνηση, οπότε παράγει Σ.Ρ. με το οποίο τροφοδοτούμε τα τυλίγματα των πόλων.

Οι μαγνητικοί πόλοι στερεώνονται ακτινικά (σχ. 3.11) στον άξονα και καθένας τους αποτελείται απ' τον **πυρήνα** που καταλήγει στο **πέδιλο** και το **τύλιγμα** που τυλίγεται γύρω απ' αυτόν και τροφοδοτείται με Σ.Ρ. από τη διεγέρτρια.

Τα **τυλίγματα** των πόλων συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως σε σειρά και έτσι, ώστε να σχηματίζονται διαδοχικά **βόρειος** και **νότιος πόλος** και τα δύο **άκρα**, που μένουν ελεύθερα, καταλήγουν στα δύο **δακτυλίδια**. Στο ίδιο σχήμα, φαίνεται ολόκληρο το **κύκλωμα διέγερσης** του εναλλακτήρα (σε τομή), στο οποίο βλέπουμε τη διαδρομή της (περιστρεφόμενης) **χρήσιμης μαγνητικής ροής**.



Σχ. 3.11: Διέγερση τετραπολικού εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους.

☞ Στους εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους κερδίζουμε πολύ περισσότερο χώρο για το τύλιγμα του τύμπανου, με αποτέλεσμα να γίνονται πιο εύκολα και για πολύ μεγαλύτερες τάσεις, οι μονώσεις, αλλά έχουμε καταπόνηση, των πόλων απ' τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στη περιστροφή του δρομέα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για μικρές ταχύτητες, όπως π.χ. έχουμε στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Κύριο **χαρακτηριστικό** των εναλλακτήρων αυτών είναι **ότι έχουν δρομέα με μεγάλη διάμετρο** (π.χ. 7m) και **μικρό μήκος άξονα**.

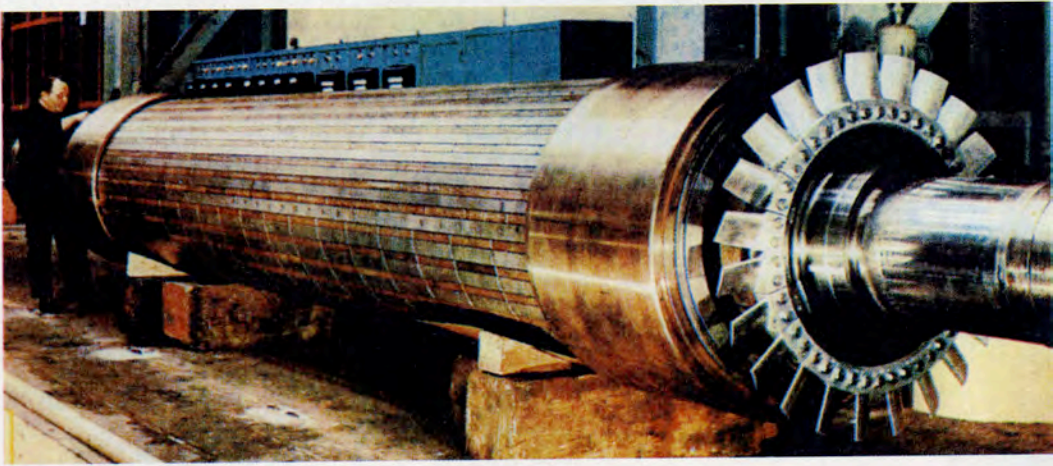
4) Στροβιλοεναλλακτήρες

Οι στροβιλοεναλλακτήρες είναι ειδικοί τύποι εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους, που κατασκευάζονται για να λειτουργούν με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (π.χ. 3.000στρ/min), τις οποίες δίνουν οι ατμοστρόβιλοι και οι αεριοστρόβιλοι των θερμικών σταθμών.

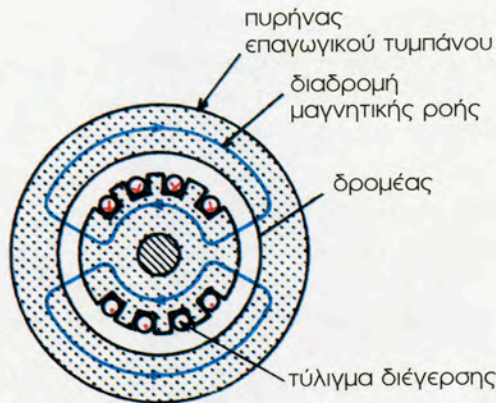
Ο **στάτης** των στροβιλοεναλλακτών είναι σχεδόν **όμοιος** με το στάτη των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους (η μακρόστενη μορφή του σχετίζεται με την διαφορετική κατασκευή του δρομέα και τις ανάγκες ψύξης της μηχανής).

Ο **δρομέας**, όμως, αν και αποτελείται βασικά από τα ίδια τμήματα, **κατασκευάζεται διαφορετικά**, δηλ. δεν έχει **φανερους πόλους** (σχ. 3.12α), **αλλά** αποτελείται από **ένα μακρόστενο κυλινδρικό τύμπανο** που κατά μήκος του **σχηματίζει αυλάκια** μέσα στα οποία τοποθετείται και στερεώνεται καλά το **τύλιγμα διέγερσης**.

Οι στροβιλοεναλλακτήρες κατασκευάζονται συνήθως με ένα ζεύγος πόλων, δηλ. έχουν **διπολική διέγερση** (σχ. 3.12β).



(α)



(β)

Σχ. 3.12: Δρομέας (α) και διέγερση (β) στροβιλοεναλλακτήρα.

Το τύλιγμα διέγερσης, με πολλές σπείρες συνδεδεμένες στη σειρά, τροφοδοτείται κι εδώ από τη **διεγέρτρια**, με τη βοήθεια δύο δακτυλιδιών, που στερεώνονται στον άξονα του δρομέα.

Σημείωση

Τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές των μεγάλων εναλλακτών, αντί για γεννήτρια Σ.Ρ., που παρουσιάζει συχνές ανωμαλίες, χρησιμοποιούν σαν **διεγέρτρια** μια μικρή **γεννήτρια Ε.Ρ.**, δηλ., ένα μικρό **αυτοδιεγειρόμενο εναλλακτήρα**, όπως π.χ. ο εναλλακτήρας του αυτοκινήτου (εν. 3.1.7).



Σχ. 3.13: Συγκρότημα ατμοστροβιλοεναλλακτήρα.

3.1.4. Μονοφασικοί και τριφασικοί εναλλασσόμενοι (Ακροδέκτες και συνδεσμολογίες)

1) Γενικά

Στις προηγούμενες ενότητες είδαμε πώς δημιουργείται εναλλασσόμενη Η.Ε.Δ. σε απλούς εναλλακτήρες (με εξωτερικούς και εσωτερικούς πόλους), που στο επαγωγικό τους τύμπανο είχαν μόνο μια σπείρα.

Όπως αναφέραμε, **στους πραγματικούς εναλλακτήρες το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου αποτελείται από πολλές σπείρες διαμορφωμένες σε ομάδες**, που τα άκρα τους συνδέονται σε σειρά, σχηματίζοντας **συγκροτήματα ομάδων**, δηλ. **τυλίγματα**.

Ανάλογα με τον αριθμό των ανεξάρτητων τυλιγμάτων που τοποθετούνται στο επαγωγικό τύμπανο, οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε:

- **μονοφασικούς**, όταν έχουν ένα μόνο τύλιγμα, με δύο (2) ελεύθερα άκρα (δηλ. 1 φάση),
- **διφασικούς**, όταν έχουν δύο τυλίγματα και τέσσερα (4) ελεύθερα άκρα (δηλ. 2 φάσεις),
- **τριφασικούς**, όταν έχουν τρία τυλίγματα και έξι (6) ελεύθερα άκρα (δηλ. 3 φάσεις) κ.λπ.

Τα ελεύθερα άκρα των τυλιγμάτων του επαγωγικού τύμπανου καταλήγουν:

- **σε δακτυλίδια** (εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους) και από κει στο κιβώτιο ακροδεκτών ή

3.1.8. Ερωτήσεις

1. Με ποιους τρόπους μπορούμε να πάρουμε Η.Ε.Δ. από επαγωγή, ημιτονοειδούς μορφής; Τι προκαλεί αυτή αν κλείσουμε το ηλ. κύκλωμα;
2. Τι ονομάζουμε εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.);
Ποιο Ε.Ρ. χρησιμοποιείται στη πράξη; (Σχεδιάστε τη μορφή του).
3. Ποια τα βασικά χαρακτηριστικά του Ε.Ρ. (ημιτονοειδούς μορφής);
4. Τι ονομάζουμε περίοδο και τι συχνότητα Ε.Ρ.; Ποιές οι μονάδες τους;
5. Ποια τιμή των εναλλασσόμενων μεγεθών χρησιμοποιούμε στη πράξη;
Πώς υπολογίζεται αυτή;
6. Τι ονομάζουμε εναλλακτήρα; Πώς διακρίνονται οι εναλλακτήρες και ποια τα χαρακτηριστικά τους;
7. Ποια η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους;
8. Πώς συνδέονται μεταξύ τους η συχνότητα της παραγόμενης Η.Ε.Δ., τα ζεύγη πόλων και η ταχύτητα περιστροφής εναλλακτήρα;
9. Από τι αποτελείται ο στάτης των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους;
Πού καταλήγουν τα άκρα των τυλιγμάτων Ε.Ρ.;
10. Ποιος εναλλακτήρας λέγεται μονοφασικός και ποιος τριφασικός; Πόσα άκρα έχει το τύλιγμα Ε.Ρ. σε κάθε περίπτωση; Πού συνδέονται και πώς συμβολίζονται;
11. Πώς συνδέονται μεταξύ τους οι τρεις (3) φάσεις εναλλακτήρα;
Ποια συνδεσμολογία χρησιμοποιείται περισσότερο στην πράξη και γιατί;
12. Πότε λέμε ότι ένας εναλλακτήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο και πότε με φορτίο;
13. Πώς ρυθμίζεται η τάση εξόδου εναλλακτήρα; Πού επεμβαίνουμε;
14. Τι ονομάζουμε Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (Η/Ζ); Πού χρησιμοποιείται;
Ποιο το κύριο χαρακτηριστικό των Η/Ζ;
15. Ποια τα βασικά μέρη (εξαρτήματα) των Η/Ζ;
16. Τι περιλαμβάνει συνήθως η ηλεκτρογεννήτρια (εναλλακτήρας) ενός Η/Ζ;
17. Ποια τα επιτρεπόμενα όρια φόρτισης ενός Η/Ζ;
18. Πώς συμβολίζονται οι ακροδέκτες Η/Ζ;
Από ποιες βασικές ηλ. γραμμές αποτελείται η συνδεσμολογία των Η/Ζ;
19. Ποια μέτρα προστασίας λαμβάνονται για την ασφαλή λειτουργία των Η/Ζ;
Τι περιλαμβάνει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και προστασίας;
20. Ποιες οι κυριότερες εφαρμογές των εναλλακτών στα οχήματα;
Τι λέμε εναλλακτήρες έλξης;

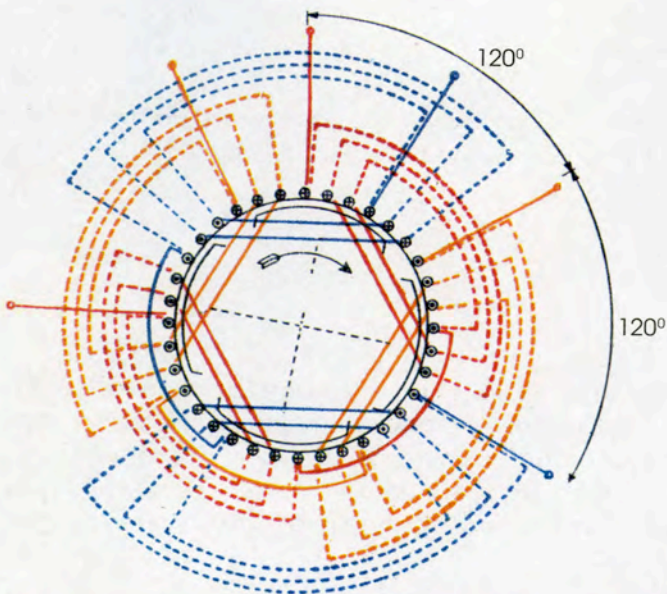
21. Από τι αποτελείται βασικά η μηχανή έλξης των ηλ. σιδηροδρόμων;
22. Ποιο το είδος του εναλλακτήρα αυτοκινήτου και ποιος ο σκοπός του;
Πώς μετατρέπουμε το παραγόμενο απ' αυτόν Ε.Ρ. σε Σ.Ρ.;

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

23. Για να εμφανιστεί σ' έναν αγωγό μια Η.Ε.Δ. και τάση, ο αγωγός πρέπει να κινείται μέσα σε Μ.Π. έτσι, ώστε να:
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| α. παράγει Ε.Ρ. | γ. τέμνει τις μαγνητικές γραμμές. |
| β. εναλλάσσεται η φορά του. | δ. ακουμπάει στους πόλους. |
24. Η τάση και το (επαγωγικό) ρεύμα που παίρνουμε από μια σπείρα, που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα μέσα σε ομογενές Μ.Π., είναι μεγέθη:
- | | |
|-------------------|-------------------------------|
| α. συνεχή. | γ. εναλλασσόμενα τετραγωνικά. |
| β. μεταβαλλόμενα. | δ. εναλλασσόμενα ημιτονικά. |
25. Ο αριθμός των στροφών της σπείρας στο δευτερόλεπτο, είναι ίσος με:
- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| α. τη περίοδο T , του Ε.Ρ. | γ. τη συχνότητα f , του Ε.Ρ. |
| β. τη στιγμιαία τιμή του Ε.Ρ. | δ. όλα τα παραπάνω. |
26. Η τιμή που έχει το Ε.Ρ. σε κάποια τυχαία χρονική στιγμή, ονομάζεται:
- | | |
|---------------|-------------------|
| α. ενεργός. | γ. φάση. |
| β. στιγμιαία. | δ. διαφορά φάσης. |
27. Ένα (ημιτονικό) Ε.Ρ. έχει συχνότητα 1 Hz, όταν η περιόδός του διαρκεί:
- | | |
|----------|-----------|
| α. 1 ms. | γ. 1 sec. |
| β. 2 ms. | δ. 2 sec. |
28. Η φορά του ρεύματος 10 A, 50 Hz αναστρέφεται σε κάθε δευτερόλεπτο:
- | | |
|---------------|--------------|
| α. 50 φορές. | γ. 5 φορές. |
| β. 100 φορές. | δ. 10 φορές. |
29. Για να πάρουμε μεγάλη Η.Ε.Δ. από έναν εναλλακτήρα τοποθετούμε στο επαγωγικό τύμπανο:
- | | |
|--------------------|------------------------------|
| α. πολλές σπείρες. | γ. συγκροτήματα ομάδων. |
| β. πολλές ομάδες. | δ. όλα τα παραπάνω σε σειρά. |
30. Στους εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους το επαγωγικό τύμπανο, με τον πυρήνα και το τύλιγμα απ' το οποίο παράγεται η εναλλασσόμενη Η.Ε.Δ. και τάση είναι τοποθετημένο:
- | | |
|--------------------|----------------|
| α. στη διεγέρτρια. | γ. στο στάτη. |
| β. στον άξονα. | δ. στο δρομέα. |

31. Ο εναλλακτήρας που έχει ένα μόνο τύλιγμα, στο επαγωγικό του τύμπανο, με δύο ελεύθερα άκρα, π.χ. τα U και V, ονομάζεται:
- α. απλός.
 - β. σύγχρονος.
 - γ. ασύγχρονος.
 - δ. μονοφασικός.
 - ε. διφασικός.
32. Από τους ακροδέκτες 1~ εναλλακτήρα μπορούμε να τροφοδοτήσουμε:
- α. μικρό φορτίο Σ.Ρ.
 - β. μονοφασικό φορτίο.
 - γ. διφασικό φορτίο.
 - δ. τριφασικό φορτίο.
 - ε. οποιοδήποτε φορτίο.
33. Οι 3~ εναλλακτήρες έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα που ονομάζονται:
- α. ομάδες τυλίγματος.
 - β. σύνολα ομάδων.
 - γ. αλληλένδετα.
 - δ. φάσεις.
34. Το βασικό πλεονέκτημα της σύνδεσης των τυλιγμάτων ενός εναλλακτήρα, σε αστέρα, είναι ότι έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε:
- α. δίκτυο τριών αγωγών.
 - β. 3~ καταναλωτές.
 - γ. μεγάλους καταναλωτές.
 - δ. 1~ και 3~ καταναλωτές.
35. Από έναν 3~ εναλλακτήρα μπορούμε να τροφοδοτήσουμε δίκτυο Ε.Ρ., τριών ή τεσσάρων αγωγών, συνδέοντας κατάλληλα τα άκρα των φάσεων με:
- α. δύο λαμάκια.
 - β. τρία λαμάκια.
 - γ. δύο ή τρία λαμάκια.
 - δ. τρία όμοια δακτυλίδια.
36. Η Η.Ε.Δ. μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων, ανεξάρτητα απ' τη σύνδεση (σε Υ ή Δ) των τυλιγμάτων των 3~ εναλλακτήρα, ονομάζεται:
- α. συμμετρική.
 - β. ενεργός.
 - γ. διπολική.
 - δ. πολική.
 - ε. φασική.
37. Κάθε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) αποτελείται βασικά από:
- α. μια κινητήρια μηχανή (πετρελαιοκινητήρα) και την ηλεκτρογεννήτρια.
 - β. τον πίνακα ελέγχου και αυτοματισμού και την ειδική του βάση.
 - γ. τους συσσωρευτές, το ψυγείο της μηχανής και το σύστημα καυσαερίων.
 - δ. όλα τα παραπάνω βασικά εξαρτήματα, κατάλληλα τοποθετημένα.

38. Οι ακροδέκτες της ηλεκτρογεννήτριας H/Z συμβολίζονται γενικά, όπως οι αντίστοιχοι ακροδέκτες των:
- | | |
|---------------------|-------------------|
| α. γεννητριών Σ.Ρ. | γ. εναλλακτήρων. |
| β. μετασχηματιστών. | δ. κινητήρων Ε.Ρ. |
39. Η επιτρεπόμενη υπερφόρτιση ενός H/Z δεν πρέπει γενικά να είναι μεγαλύτερη από 10% για μία ώρα στο:
- | | |
|----------|-----------|
| α. 4ωρο. | γ. 8ωρο. |
| β. 6ωρο. | δ. 12ωρο. |
40. Η ασφαλής λειτουργία των H/Z εξασφαλίζεται με ειδικό σύστημα που περιλαμβάνει συνήθως:
- α. σύστημα αυτόματης εκκίνησης και επιτηρητή τάσης δικτύου.
 - β. χρονοδιακόπτη εκκίνησης και επιστροφής τάσης.
 - γ. χρονοδιακόπτη κρατήματος της μηχανής σε λειτουργία.
 - δ. επιτηρητή τάσης γεννήτριας και οπτικές ενδείξεις.
 - ε. όλα τα παραπάνω βασικά μέρη, κατάλληλα συνδεδεμένα.
41. Τετραπολικός 1~ εναλλακτήρας ηλ. έλξης, για να παράγει τάση και ρεύμα συχνότητας 16 2/3Hz, πρέπει να περιστρέφεται με n_s :
- | | |
|------------------|----------------|
| α. 3.000σπρ/min. | γ. 750σπρ/min. |
| β. 1.500σπρ/min. | δ. 480σπρ/min. |
42. Ο εναλλακτήρας αυτοκινήτου αντικατέστησε:
- | | |
|----------------------|----------------------------|
| α. τον Μ/Σ έλξης. | γ. τον κινητήρα Σ.Ρ. |
| β. τη γεννήτρια Σ.Ρ. | δ. την ανορθωτική διάταξη. |



Σχ. 3.34: Τύλιγμα επαγωγικού τυμπάνου τετραπολικού 3~εναλλακτώρα με εσωτερικούς πόλους

3.2. Ανακεφαλαίωση

♦ Εναλλακτικές ονομάζουμε τις **σύγχρονες γεννήτριες Ε.Ρ.**, που παράγουν στη πράξη Η.Ε.Δ., τάση και ρεύμα ημιτονοειδούς μορφής.

♦ Ημιτονοειδής Η.Ε.Δ. αναπτύσσεται από επαγωγή σε κάθε αγωγό του τυλίγματος, όταν αυτό τέμνεται από μεταβαλλόμενη (ημιτονικά) μαγνητική ροή, που δημιουργείται από τη διέγερση της μηχανής.

♦ Τα κυριότερα **χαρακτηριστικά του Ε.Ρ.**, που παράγουν οι εναλλακτικές, είναι η **περίοδος, η συχνότητα, η φάση, η κυκλική του συχνότητα, η στιγμιαία και η ενεργός τιμή του.**

♦ Στην πράξη χρησιμοποιούμε πάντα την ενεργό τιμή τάσης και ρεύματος, που προκύπτει από τη μέγιστη τιμή του ημιτονοειδούς μεγέθους επί ένα σταθερό συντελεστή $1/\sqrt{2}=0,707$, δηλ. είναι:

$$U_{\text{εν}}=0,707 \cdot U_{\text{m}} \text{ και } I_{\text{εν}}=0,707 \cdot I_{\text{m}}$$

♦ Οι σύγχρονες γεννήτριες Ε.Ρ ή εναλλακτικές διακρίνονται σε **εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους** και σε **εναλλακτικές με εσωτερικούς πόλους**. Ξεχωριστή περίπτωση εναλλακτικών με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους είναι οι **στροβιλοεναλλακτικές**.

♦ Κύρια **χαρακτηριστικά** όλων των **εναλλακτικών** είναι ότι η **διέγερσή τους τροφοδοτείται με Σ.Ρ.** και ότι η **συχνότητα του ρεύματος** που παράγουν **είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής** της μηχανής.

♦ Η αρχή λειτουργίας των εναλλακτικών είναι ίδια μ' αυτή των γεννητριών Σ.Ρ., ανεξάρτητα από το αν περιστρέφονται οι αγωγοί του τυλίγματος και οι μαγνητικοί πόλοι είναι σταθεροί ή περιστρέφονται οι πόλοι και το τύλιγμα είναι στο σταθερό μέρος (όπως συμβαίνει στους εναλλακτικές με εσωτερικούς πόλους).

♦ Μεταξύ της συχνότητας **f**, του αριθμού στροφών στο λεπτό (**n_s**) και του αριθμού ζευγών των μαγνητικών πόλων **p** του εναλλακτήρα, ισχύει πάντα η σχέση:

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

♦ **Σύγχρονη ταχύτητα (n_s)** εναλλακτήρα ονομάζουμε την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα του, με την οποία μας δίνει τάση και ρεύμα ορισμένης συχνότητας.

♦ Η κατασκευή των εναλλακτικών εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής, την ισχύ και την τάση τους. Στους εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους, που είναι κατάλληλοι για μικρές ισχείς και χαμηλές τάσεις, οι μαγνητικοί πόλοι είναι τοποθετημένοι στο στάτη της μηχανής, όπως στις μηχανές Σ.Ρ. Στους εναλλακτικές με εσωτερι-

κούς πόλους, που είναι κατάλληλοι για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής και μεγαλύτερες τάσεις, το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο στάτη, ενώ οι μαγνητικοί πόλοι στο δρομέα. Οι στροβιλοεναλλακτήρες, που κατασκευάζονται για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής και υψηλές τάσεις, έχουν δρομέα με πολύ μεγάλο μήκος, ως προς τη διάμετρο, μέσα στις οδοντώσεις του οποίου τοποθετείται ένα (διπολικό ή τετραπολικό) τύλιγμα διέγερσης.

♦ Ο εναλλακτήρας που έχει στο επαγωγικό του τύμπανο μονοφασικό τύλιγμα λέγεται **μονοφασικός** και μπορεί να τροφοδοτήσει μονοφασικά φορτία, ενώ αυτός που έχει τρία όμοια μονοφασικά τυλίγματα, που δίνουν τρεις Η.Ε.Δ. με φασική απόκλιση 120° , λέγεται **τριφασικός**. Τα τυλίγματα (φάσεις) των 3~ εναλλακτών συνδέονται σε **αστέρα** ή σε **τρίγωνο**.

♦ Η **ρύθμιση** της **τάσης** εξόδου στους εναλλακτήρες γίνεται με μεταβολή της έντασης διέγερσης, μέσω ρυθμιστικής αντίστασης (χειροκίνητα ή αυτόματα).

♦ Σε περιπτώσεις που δεν επιτρέπεται καμιά διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας, ή όπου δεν μπορεί να μας εξυπηρετήσει το δίκτυο ηλεκτροδότησης, χρησιμοποιούμε ένα ζεύγος **κινητήριας μηχανής** και **ηλεκτρογεννήτριας** που λέγεται **ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ)**. Για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία των Η/Ζ, όπως και για τον τρόπο φόρτισής τους, πρέπει να ακολουθούμε πάντοτε τις οδηγίες που ορίζουν οι κατασκευαστές.

♦ Οι εναλλακτήρες χρησιμοποιούνται σήμερα και στην καθημερινή μας ζωή, ακόμη και όταν χρειαζόμαστε Σ.Ρ., όπως π.χ. στο **αυτοκίνητο** (όπου παράγουμε Ε.Ρ. και στη συνέχεια το μετατρέπουμε σε Σ.Ρ.).

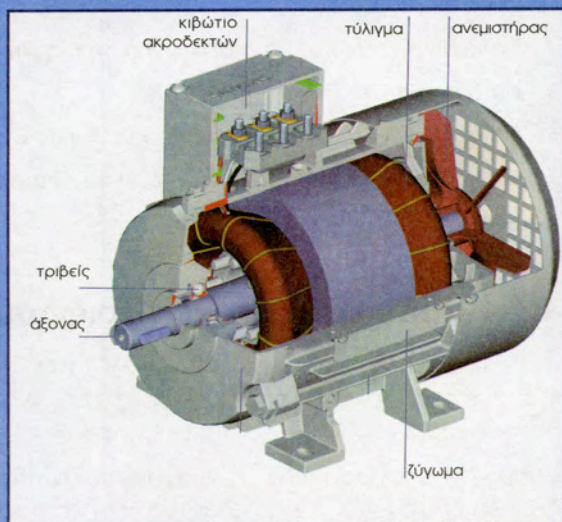
κεφάλαιο 4

ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες (Α.Τ.Κ.)

➡ Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια του τριφασικού δικτύου σε μηχανική.

Το τύλιγμα του οπλισμού του στάτη του κινητήρα, τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που επιδρά στο δρομέα και παράγει ροπή περιστροφής.

Οι κινητήρες αυτοί έχουν απεριόριστες εφαρμογές σ' όλους τους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας.



Σχ. 4.1.: Ασύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας.

Ενότητα 4.1.

Γενικές γνώσεις για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες (Α.Τ.Κ)

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε τα χαρακτηριστικά του τριφασικού ρεύματος.
2. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε τις σχέσεις μεταξύ πολικών και φασικών μεγεθών.
3. Να απαριθμείτε τις απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.
4. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Α.Τ.Κ.
5. Να απαριθμείτε τα είδη των Α.Τ.Κ.
6. Να περιγράφετε τις χαρακτηριστικές Ροπής-Στροφών.
7. Να απαριθμείτε τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται οι Α.Τ.Κ.

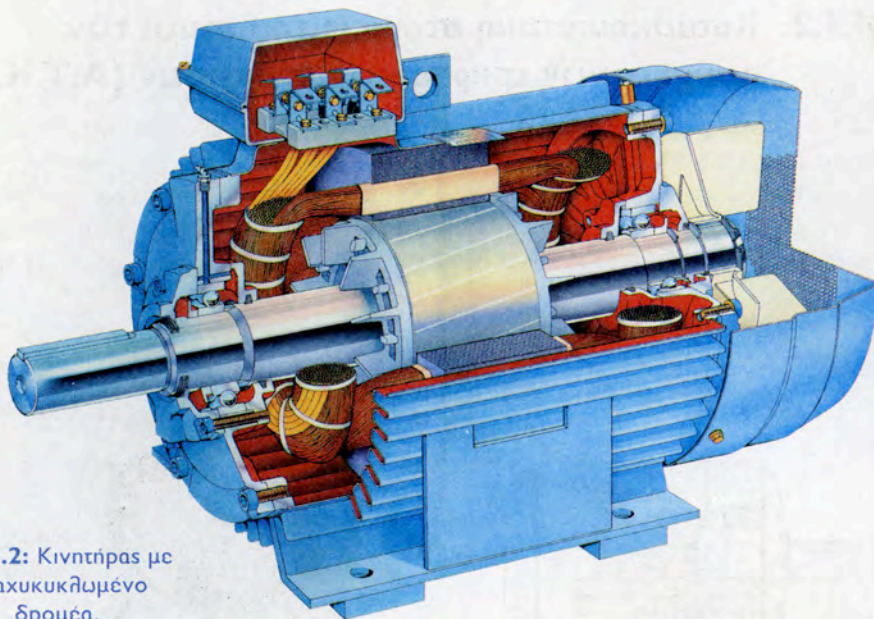
4.1.1. Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Οι ασύγχρονοι κινητήρες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους, του χαμηλού κόστους, της ελάχιστης συντήρησης και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος, είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες στη βιομηχανία.

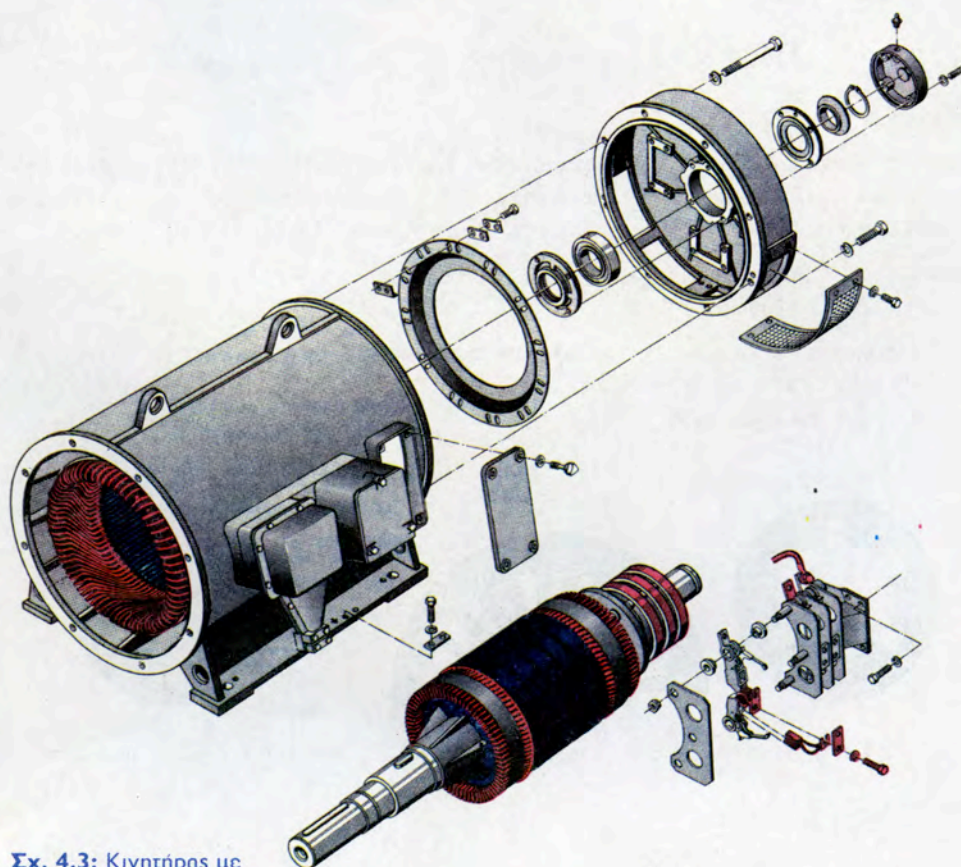
Ονομάζονται διαφορετικά και **επαγωγικοί κινητήρες**, γιατί το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δημιουργείται από επαγωγή αντί να παρέχεται με ηλεκτρική σύνδεση από κάποια πηγή.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε **μονοφασικούς** και **τριφασικούς**. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε τους τριφασικούς κινητήρες. Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες ανάλογα με τη κατασκευή του δρομέα **διακρίνονται** σε δύο τύπους:

- α) κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα,
- β) κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.



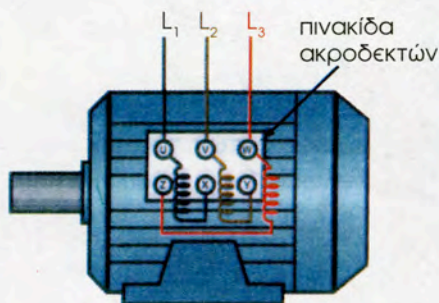
Σχ. 4.2: Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα.



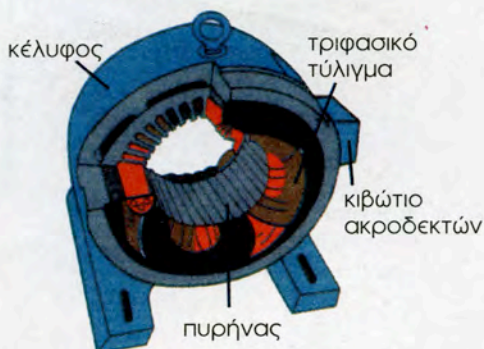
Σχ. 4.3: Κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.

4.1.2. Κατασκευαστικά στοιχεία του στάτη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων (Α.Τ.Κ.)

Το ακίνητο μέρος ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, ο **στάτης**, αποτελεί το μόνο στοιχείο που συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο (σχ. 4.4). Η κατασκευή του (σχ. 4.5) είναι όμοια με την κατασκευή των 3 εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Διαφορά υπάρχει κυρίως στη διαμόρφωση του κελύφους, το οποίο προσαρμόζεται στις συνθήκες, κάτω από τις οποίες πρόκειται να εργασθεί ο ασύγχρονος κινητήρας.



Σχ. 4.4: Α.Τ.Κ.

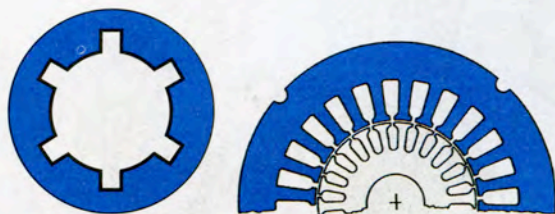


Σχ. 4.5: Στάτης Α.Τ.Κ.

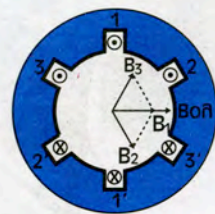
Μέσα στο κέλυφος είναι τοποθετημένος ο **πυρήνας** του τυμπάνου, που κατασκευάζεται από **πολλά μαγνητικά ελάσματα**, συνήθως πυριτιούχου χάλυβα, που κόβονται σε ειδικές πρέσες και έχουν τη μορφή του σχήματος 4.6.

Τα ελάσματα αυτά είναι περασμένα με ειδικό βερνίκι, συγκρατούνται με κοχλίες και αποτελούν το **ζύγωμα** της μηχανής.

Στα **αυλάκια** (οδοντώσεις) που σχηματίζονται τοποθετούνται οι τρεις φάσεις του τυλίγματος, ώστε να δημιουργείται στο εσωτερικό ένα μαγνητικό πεδίο $B_{0\alpha}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7.



Σχ. 4.6: Μαγνητικά ελάσματα στάτη.



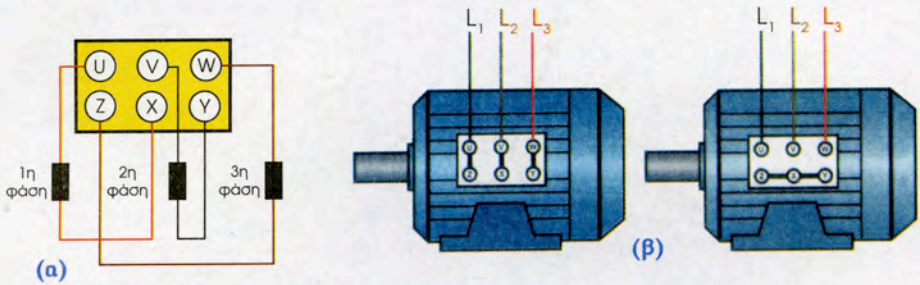
Σχ. 4.7: Μαγνητικό πεδίο στάτη.

4.1.3. Χρησιμότητα του στάτη των Α.Τ.Κ.

Ο στάτης χρειάζεται για να δημιουργεί τη διέγερση της μηχανής, που στην περίπτωση των Α.Τ.Κ. είναι ένα **στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο**.

Στις οδοντώσεις του πυρήνα τοποθετείται τριφασικό τυλίγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες του κινητήρα (σχ. 4.8.α).

Οι τρεις φάσεις του τυλίγματος του στάτη συνδέονται σε **αστέρα** ή **τρίγωνο** (σχ.4.8.β).



Σχ.48 (α) Άκρα τριφασικής μηχανής και (β) τυλίγμα στάτη Α.Τ.Κ.

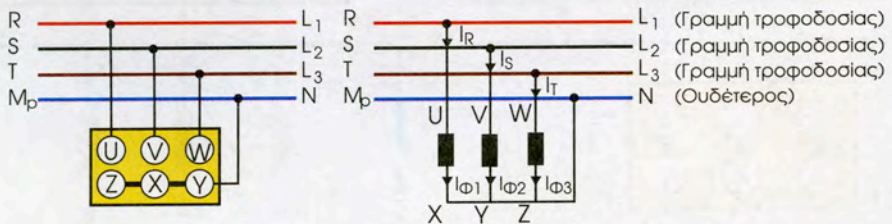
Τα άκρα U,V,W χρησιμοποιούνται για να συνδέονται στο τριφασικό δίκτυο τροφοδοσίας R,S,T,Μρ (παλιός συμβολισμός), L_1, L_2, L_3, N (νέος συμβολισμός) και να παίρνουν ισχύ, ενώ τα X,Y,Z για να δημιουργούν αλληλένδετο τριφασικό σύστημα.

4.1.4. Ποδικά - φασικά μεγέθη

Υπάρχουν δύο τρόποι για να συνδεθούν οι τρεις φάσεις:

➤ σύνδεση σε αστέρα (Y)

Ενώνοντας με χάλκινα λαμάκια τους ακροδέκτες X,Y,Z της μηχανής, συνδέουμε τα τυλίγματα σε αστέρα Y, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9.

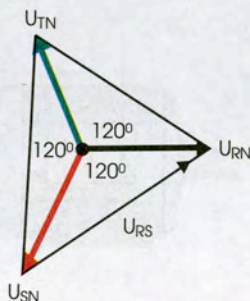


Σχ. 4.9: Συνδεσμολογία αστέρα.

Η τάση στα άκρα μιάς φάσης λέγεται **φασική τάση** και η τάση μεταξύ δύο γραμμών τροφοδοσίας, **πολική τάση**.

Στη συνδεσμολογία αστέρα παίρνοντας τυχαία μία φάση, την 1^η φάση, παρατηρούμε ότι η φασική τάση είναι η τάση $U_{UX}=U_{RN'}$. Από την τριγωνομετρική ανάλυση του σχήματος 4.10 προκύπτει ότι $U_{RS}=\sqrt{3} U_{RN'}$.

Δηλαδή: **Υπολική** = $\sqrt{3}$ · **Φασική** και σε συντομία: $U_n = \sqrt{3} U_\phi$ (4.1.)



Σχ. 4.10: Πολικά - φασικά μεγέθη.

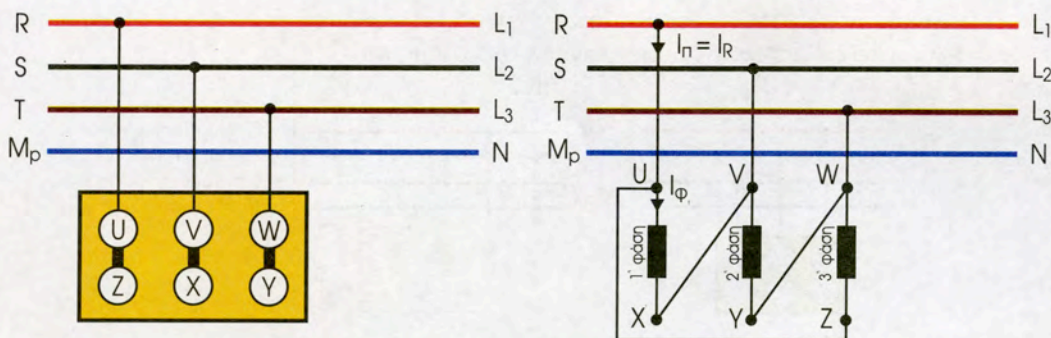
Το ρεύμα που παρέχεται στη 1^η φάση από το δίκτυο είναι I_R .

Παρατηρώντας το σχήμα 4.9 προκύπτει: $I_R=I_{\Phi 1}$

Γενικεύοντας μπορούμε να γράψουμε: $I_{\text{φασικό}} = I_{\text{πολικό}}$ και σε συντομία: $I_\phi=I_n$ (4.2)

➤ **Σύνδεση σε τρίγωνο (Δ)**

Ενώνοντας στη συνέχεια τους ακροδέκτες U με Z, V με X και W με Y συνδέουμε, τα τυλίγματα σε τρίγωνο (Δ) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11.



Σχ. 4.11: Συνδεσμολογία τριγώνου.

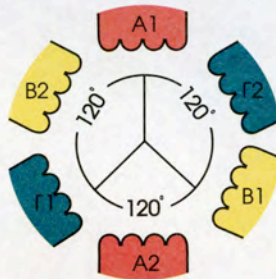
Στη συνδεσμολογία τριγώνου η φασική τάση $U_{UX}=U_{RS'}$, δηλαδή $U_{\text{φασική}} = U_{\text{υπολική}}$ σε συντομία: $U_\phi=U_n$ (4.3.)

Από την τριγωνομετρική ανάλυση των ρευμάτων προκύπτει: $I_{\text{πολικό}} = \sqrt{3} I_{\text{φασικό}}$ σε συντομία: $I_n = \sqrt{3} I_{\phi}$ (4.4.)

Ανεξάρτητα από τη συνδεσμολογία η πραγματική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο είναι: $P = \sqrt{3} U_n \cdot I_n \cdot \cos\phi$ (σε W) (4.5.)

4.1.5. Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο

Ο στάτης κάθε ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα (Α,Β,Γ) που σχηματίζουν γωνίες 120° μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12. Όταν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στο στάτη, έχουμε ροή ρεύματος μέσα από τα πηνία. Η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος.



Σχ. 4.12: Τριφασικό τύλιγμα στάτη.

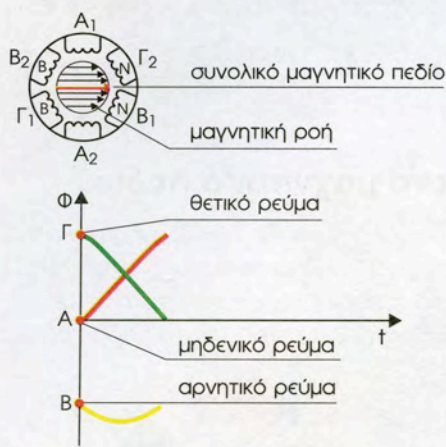
Αν υποθέσουμε ότι θετική φορά ρεύματος δημιουργεί στα πηνία A_1, B_1, Γ_1 Βόρειο μαγνητικό πόλο (Β) και στα A_2, B_2, Γ_2 Νότιο μαγνητικό πόλο (Ν), καταλήγουμε στον πίνακα:

Πίνακας 4.1.
Δημιουργία μαγνητικών πόλων

Πηνίο	Φορά Ρεύματος	
A_1	Θετική (+)	Αρνητική (-)
	Βόρειος (Β)	Νότιος (Ν)
A_2	Νότιος (Ν)	Βόρειος (Β)
B_1	Βόρειος (Β)	Νότιος (Ν)
B_2	Νότιος (Ν)	Βόρειος (Β)
Γ_1	Βόρειος (Β)	Νότιος (Ν)
Γ_2	Νότιος (Ν)	Βόρειος (Β)

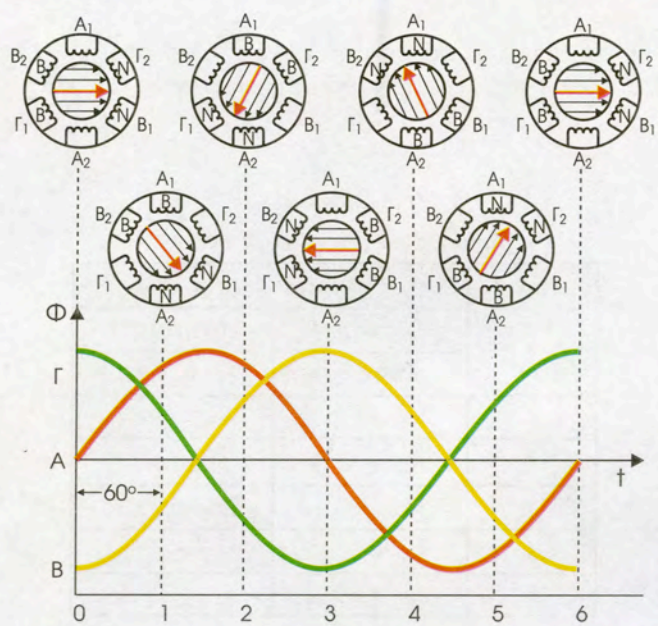
Τα τρία τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα. Για να γίνει κατανοητή η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου επιλέγουμε τη χρονική στιγμή μηδέν

($t=0$). Το ρεύμα στο πηνίο A είναι μηδέν, στο B είναι αρνητικό και στο Γ θετικό. Με βάση τον προηγούμενο πίνακα τα B_1 και Γ_2 είναι Νότιοι πόλοι και τα B_2 και Γ_1 Βόρειοι πόλοι. Η δημιουργούμενη συνολική μαγνητική ροή φαίνεται στο σχήμα 4.13.



Σχ. 4.13: Δημιουργία μαγνητικής ροής.

Αν με τον ίδιο τρόπο εξετάσουμε το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο για τριφασικό σύστημα παροχής και για χρόνους που αντιστοιχούν σε γωνίες 60° , όταν το ρεύμα συμπληρώσει φάση 360° , το μαγνητικό πεδίο έχει περιστραφεί αντίστοιχα κατά 360° .



Σχ. 4.14: Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

4.1.6. Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος μέσα από το συλλέκτη τροφοδοτείται με ρεύμα ο δρομέας που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο δημιουργούμενο από το τύλιγμα διέγερσης. Αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία **μαγνητικής δύναμης (Laplace)** που περιστρέφει το δρομέα.

Στους ασύγχρονους κινητήρες, ο δρομέας είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητος από το στάτη και δεν τροφοδοτείται με ρεύμα από το δίκτυο. Στα τρία τυλίγματα του στάτη δίνουμε τριφασικό ρεύμα και δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που τέμνει τις σπείρες του δρομέα. Στο δρομέα αναπτύσσονται επαγωγικά ρεύματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μαγνητικής δύναμης (Laplace) που περιστρέφει το δρομέα (σχ. 4.15).



Σχ. 4.15: Μαγνητικές δυνάμεις.

Η ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα n_s του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Αν υποθέσουμε ότι $n=n_s$, τότε δεν θα προλαβαίνει το μαγνητικό πεδίο να κόψει τους αγωγούς του δρομέα, δεν θα έχουμε επαγωγή και φυσικά θα μηδενισθεί η μαγνητική δύναμη και θα σταματήσει ο κινητήρας. Όπως είναι γνωστό:

$$F=B_s I_s \ell \quad (4.6.)$$

όπου: F : μαγνητική δύναμη (Laplace) σε (N)

B_s : μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (Vs/m²)

I_s : ρεύμα δρομέα από επαγωγή σε (A)

ℓ : μήκος αγωγού δρομέα σε (m)

4.1.7. Ολίσθηση

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με ταχύτητα που εξαρτάται από τη συχνότητα (f) του ρεύματος τροφοδοσίας και τα ζεύγη πόλων (p) του τυλίγματος του στάτη.

Η ταχύτητα αυτή λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα n_s** .

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (4.7)$$

n_s : σύγχρονη ταχύτητα σε στρ/min (Σ.Α.Λ)

f : συχνότητα τροφοδοσίας σε Hz (1/sec)

p : ζεύγη μαγνητικών πόλων

Ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα n που εξαρτάται από το φορτίο του άξονα. Ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της σύγχρονης ταχύτητας n_s και της ταχύτητας του κινητήρα n , προς τη σύγχρονη ταχύτητα, ονομάζεται **ολίσθηση s** :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (4.8.)$$

Η ολίσθηση ενός κινητήρα δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται με το φορτίο και αυξάνεται με αυτό.

Παράδειγμα

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με εξαπολικό τύλιγμα τροφοδοτείται από δίκτυο συχνότητας 50Hz και περιστρέφεται με ταχύτητα 955στρ/min. Πόση είναι η ολίσθησή του;

Λύση

$$\text{Η σύγχρονη ταχύτητα είναι: } n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ στρ/min}$$

$$\text{Άρα η ολίσθηση θα είναι: } s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 955}{1000} = 0,045 \text{ ή } 4,5\%$$

4.1.8. Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του κινητήρα είναι η ροπή (**T**) που μπορεί να αναπτύξει στον άξονά του για να περιστρέψει το φορτίο.

Μέσα από σχέσεις της Μηχανικής καταλήγουμε στην έκφραση της ροπής:

$$T = \frac{9,55 \cdot P}{n} \quad (4.9.)$$

όπου: **T**: ροπή (σε Nm)

P: αποδιδόμενη ισχύς (σε W)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

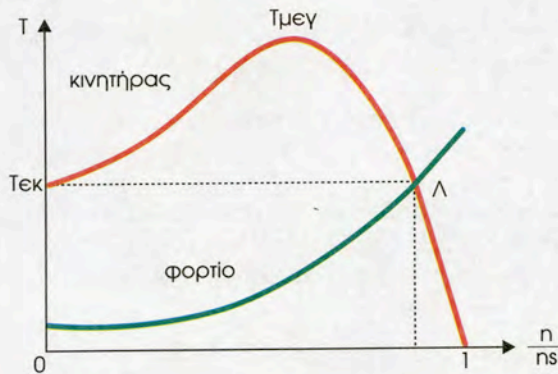
Στο σχήμα 4.16 φαίνεται η τυπική καμπύλη ροπής-στροφών ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα. Η καμπύλη αυτή είναι σημαντική για τη λειτουργία των κινητήρων. Κατά την εκκίνηση, όταν οι στροφές είναι πρακτικά μηδέν, η ροπή του κινητήρα έχει τιμή $T_{εκ}$ και λέγεται **ροπή εκκίνησης**. Καθώς αυξάνονται οι στροφές, αυξάνεται και η ροπή μέχρι την τιμή $T_{μεγ}$ που λέγεται **μέγιστη ροπή** ή **ροπή ανατροπής**.

Στη συνέχεια η ροπή μειώνεται απότομα και μηδενίζεται, όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει τη σύγχρονη ταχύτητα.

Στο σχήμα 4.16 φαίνεται και η καμπύλη ροπής-στροφών του φορτίου. Σε κάθε ταχύτητα η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου λέγεται **ροπή επιτάχυνσης**.

Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ροπή εκκίνησης του φορτίου. Η ροπή του κινητήρα πρέπει να παραμένει μεγαλύτερη από τη ροπή του φορτίου όλο το διάστημα που ο κινητήρας επιταχύνεται μέχρι να φθάσει στη ταχύτητα λειτουργίας του. Η ταχύτητα λειτουργίας και η ροπή λειτουργίας καθορίζονται από το **σημείο λειτουργίας Λ** που είναι η τομή των δύο καμπυλών του σχήματος 4.16.

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν τη μέγιστη ροπή ($T_{μεγ}$) είναι **ασταθής λειτουργία** και μετά τη μέγιστη ροπή είναι **ευσταθής λειτουργία**. Ο κινητήρας εργάζεται στην ευσταθή περιοχή για να μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου. Στην περιοχή αυτή, αν για κάποιο λόγο αυξηθεί το φορτίο, θα μειωθεί η ταχύτητα και κατόπιν θα αυξηθεί η ροπή ώστε να μπορέσει ο κινητήρας να περιστρέψει το φορτίο.



Σχ. 4.16: Καμπύλη ροπής - ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

Παράδειγμα

Να υπολογισθεί η ισχύς που πρέπει να έχει στον άξονά του ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας, όταν κινεί φορτίο με μέγιστη ροπή στέψης 370 N.m και ταχύτητα 40 στρ/μν.

Λύση

$$\text{Από τη σχέση } T = \frac{9,55 \cdot P}{n} \text{ έχουμε: } P = \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{370 \cdot 40}{9,55} = 1549,73 \text{ W}$$

4.1.9. Ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα είδη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων (Α.Τ.Κ.);
2. Πώς είναι διαμορφωμένος ο στάτης των Α.Τ.Κ.;
3. Πώς γίνεται η σύνδεση των ακροδεκτών του τυλίγματος του στάτη σε αστέρα και τρίγωνο; Δώστε για κάθε σύνδεση τη σχέση φασικών-πολιτικών τάσεων και ενστάσεων.
4. Ποιος τύπος μας δίνει την ολίσθηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα; Είναι δυνατόν η ολίσθηση να πάρει τιμή μηδέν και μονάδα;
5. Ποιος τύπος μας δίνει τη ροπή ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
6. Τι ονομάζουμε ροπή ανατροπής και τι ροπή επιτάχυνσης κινητήρα;
7. Από τι εξαρτάται η ροπή ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
8. Σχεδιάστε τη χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα και σημειώστε τα βασικά μεγέθη.
9. Εξηγήστε τον τρόπο δημιουργίας στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.
10. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας των Α.Τ.Κ.
11. Πότε, έχουμε ασταθή λειτουργία του κινητήρα;
12. Ποιο είναι το μέρος της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας για το οποίο η λειτουργία του κινητήρα είναι ευσταθής;
13. Πώς προσαρμόζεται ο κινητήρας στην αύξηση του φορτίου του, αν λειτουργεί στο τμήμα ευσταθούς λειτουργίας της χαρακτηριστικής ροπής ταχύτητας;
14. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με δύο πόλους έχει συχνότητα τροφοδοσίας 50Hz. Όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο η ολίσθησή του είναι 0,7% ενώ κατά την λειτουργία του με κανονικό φορτίο η ταχύτητά του είναι 2800σπρ/min.
Να βρεθούν:
α) η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.
β) η ταχύτητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο.
γ) η ολίσθηση κατά την κανονική λειτουργία του.
(ΑΠ. α) 3000σπρ/min, β) 2979σπρ/min, γ) 6,67%)
15. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας απορροφά ισχύ $N=8.000W$ και έχει βαθμό απόδοσης 0,9. Περιστρέφεται με ταχύτητα 1500σπρ/min. Να βρεθεί η ροπή που αναπτύσσει στον άξονά του.
(ΑΠ. 45,84N.m)

16. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας συνδέεται με δίκτυο συχνότητας $f=50\text{Hz}$. Η ολίσθηση στην πλήρη φόρτιση είναι 5% και έχει περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τεσσάρων πόλων.

Να βρεθούν:

- α) η ασύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.
β) η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

(ΑΠ. α) 1800σπ/μιν, β) 1710σπ/μιν)

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

17. Ο νέος συμβολισμός των αγωγών τριφασικού δικτύου είναι:

- α. L_1, L_2, L_3, N .
β. R, S, T, Mp .
γ. U, V, W .

18. Στην συνδεσμολογία αστέρα Α.Τ.Κ. ισχύει:

- α. $V_n = V_\phi$.
β. $I_\phi = I_n$.
γ. $P = 3 \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos\phi$.

19. Σε κάθε κινητήρα η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου λέγεται:

- α. ροπή εκκίνησης.
β. ροπή επιτάχυνσης.
γ. ροπή ανατροπής.

20. Για να έχει ευσταθή λειτουργία ο κινητήρας πρέπει να εργάζεται:

- α. στη μέγιστη ροπή του.
β. στη ροπή εκκίνησης που είναι αρκετά μεγάλη.
γ. στο τμήμα της καμπύλης μετά την μέγιστη ροπή.

21. Το ηηλίκo της διαφοράς $n_s - n$, προς n_s ονομάζεται:

- α. ασύγχρονη ταχύτητα.
β. ευστάθεια.
γ. ολίσθηση.

22. Ένας Α.Τ.Κ. για να αποδώσει ωφέλιμη ισχύ 4kW και ροπή 40Nm, πρέπει να περιστρέφεται με ταχύτητα:

- α. $n=955$ σπ/μιν.
β. $n=830$ σπ/μιν.
γ. $n=560$ σπ/μιν.

Ενότητα 4.2.

Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες με Βραχυκυκλωμένο Δρομέα (Κ.Β.Δ.)

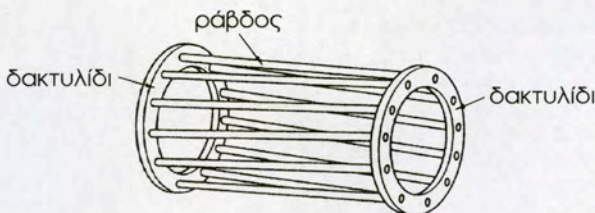
Διδακτικοί στόχοι

► Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τα μέρη από τα οποία αποτελούνται οι Κ.Β.Δ.
2. Να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών και τη συνδεσμολογία τους.
3. Να αιτιολογείτε την τάση λειτουργίας των Κ.Β.Δ.
4. Να περιγράφετε τους τρόπους εκκίνησης και να σχεδιάζετε τη συνδεσμολογία.
5. Να περιγράφετε τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη βύθιση τάσης.
6. Να περιγράφετε τους τρόπους ρύθμισης στροφών των Κ.Β.Δ. με αντιστάσεις και χρήση ηλεκτρονικών ισχύος.
7. Να αναφέρετε τους τρόπους πέδησης Κ.Β.Δ.

4.2.1. Κατασκευαστικά στοιχεία

Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από μεταλλικές ράβδους από χαλκό ή ορείχαλκο, τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται από δύο δακτυλίδια βραχυκύκλωσης (σχ. 4.17).



Σχ. 4.17: Τύλιγμα κλωβού δρομέα.

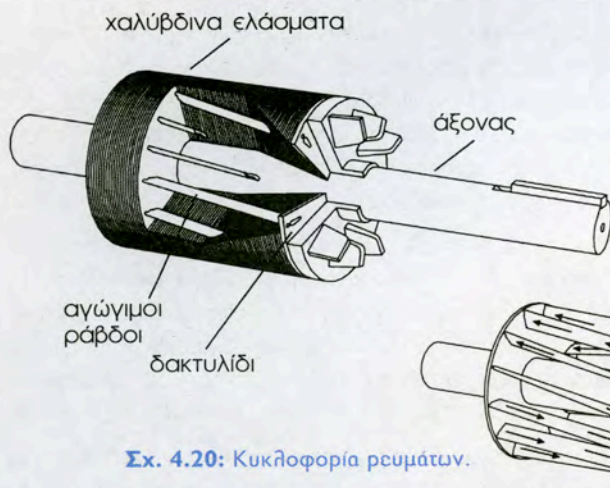
Η σύνδεση γίνεται με συγκόλληση ή χύτευση. Ο δρομέας δεν συνδέεται ηλεκτρικά με άλλο τμήμα του κινητήρα και το ρεύμα που κυκλοφορεί σ' αυτόν είναι από επαγωγή λόγω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Αν τα αυλάκια στο τύμπανο του δρομέα είναι απλά, το τύλιγμα λέγεται **απλού κλωβού**, αν φέρει διπλά αυλάκια το τύλιγμα λέγεται **διπλού κλωβού** και αν τα αυλάκια είναι βαθιά, το τύλιγμα λέγεται με **βαθεία αυλάκια** (σχ. 4.18).



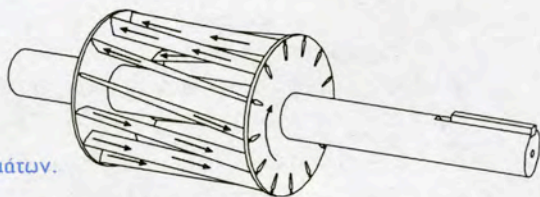
Σχ. 4.18: Διάφοροι τύποι τυλιγμάτων.

Οι κινητήρες με τύλιγμα απλού κλωβού είναι γενικά απλής κατασκευής, έχουν μικρό κόστος και καλό βαθμό απόδοσης. Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα απλού κλωβού κατασκευάζεται από καθαρό αλουμίνιο που χύνεται μέσα στα αυλάκια. Το μειονέκτημα των κινητήρων απλού κλωβού είναι το **μεγάλο ρεύμα εκκίνησης με αντίστοιχα μικρή ροπή εκκίνησης**. Λόγω των δυσμενών συνθηκών εκκίνησης, οι κινητήρες απλού κλωβού είναι κινητήρες μικρής ισχύος. Τα παραπάνω μειονεκτήματα μειώνονται, όταν οι κινητήρες έχουν τύλιγμα διπλού κλωβού ή τύλιγμα με βαθειά αυλάκια.



Σχ. 4.19: Κατασκευή τυλιγματος κλωβού με παρεμβολή χαλύβδινων ελασμάτων.

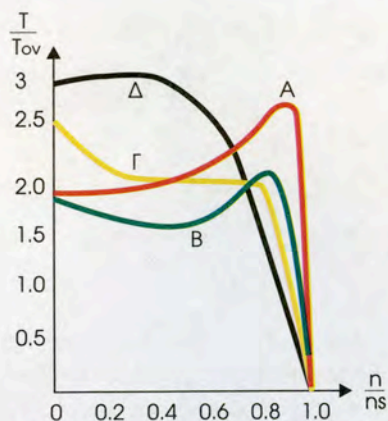
Σχ. 4.20: Κυκλοφορία ρευμάτων.



➡ Κατασκευαστικές κλάσεις κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα

Οι κατασκευαστές προσπαθούν να μεταβάλλουν την αντίσταση και την αντίδραση των τυλιγμάτων του δρομέα μεταβάλλοντας το μέγεθος, τη μορφή και το βάθος των αυλακίων του, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.18, 4.19, 4.20. Έτσι επιτυγχάνουν **μεγάλη ροπή εκκίνησης και μικρό ρεύμα εκκίνησης** του κινητήρα. Αυτά είναι απαραίτητα για την ομαλή εκκίνησή του και την ανεπιθύμητη πτώση τάσης του δικτύου, που προκαλεί ταλαντώσεις στη λειτουργία διπλανών συσκευών.

Έχει γίνει διαχωρισμός των κινητήρων με βραχυκλωμένο δρομέα σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά την εκκίνηση και κατά την κανονική λειτουργία (σχ. 4.21).



Σχ. 4.21: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για Α,Β,Γ,Δ κλάση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

➤ **Κλάση Α:** Κανονική ροπή εκκίνησης και κανονικό ρεύμα εκκίνησης. Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού και διακρίνονται για την καλή επίδοση λειτουργίας σε βάρος της εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή είναι μεγαλύτερη του $2,5 \cdot T_{ov}$ και σε ταχύτητα πάνω από $0,8 \cdot n_s$ που σημαίνει ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι μεγάλο ίσο με $5+8 \cdot I_{ov}$. Χρησιμοποιούνται για κίνηση μηχανημάτων σταθερής ταχύτητας χωρίς μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως εργαλειομηχανές, αντλίες, ανεμιστήρες.

➤ **Κλάση Β:** Κανονική ροπή εκκίνησης ίδια με την κλάση Α, μικρή ολίσθηση και ρεύμα εκκίνησης το 75% της κλάσης Α. Το ρεύμα εκκίνησης μειώθηκε με σχεδιασμό τυλίγματος υψηλής αντίδρασης σκέδασης ενώ η ροπή εκκίνησης είναι ίδια με την κλάση Α με κατασκευή όμως διπλού κλωβού ή κλωβού με βαθειά αυλάκια. Οι εφαρμογές τους είναι ίδιες με την κλάση Α και έχουν αντικαταστασθεί στη σύγχρονη τεχνολογία τους κινητήρες κλάσης Α, λόγω του χαμηλότερου ρεύματος εκκίνησης.

➤ **Κλάση Γ:** Έχουν τύλιγμα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την Α και τη Β κλάση. Αναπτύσσουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης, χρειάζονται μικρότερο ρεύμα εκκίνησης, έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη ολίσθηση από τις δύο προηγούμενες κλάσεις. Έχουν μεγαλύτερο κόστος και χρησιμοποιούνται σε φορτία που χρειάζονται μεγάλη ροπή εκκίνησης όπως συμπιεστές, μεταφορικές ταινίες, ισχύος 10PS μέχρι 300PS.

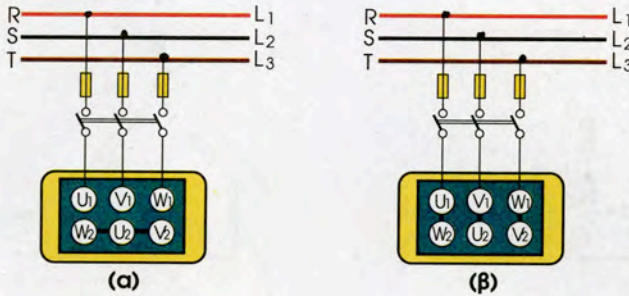
➤ **Κλάση Δ:** Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού με ράβδους από ορείχαλκο, μικρότερης διατομής για να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση. Αναπτύσσουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή ξεπερνά την τριπλάσια της ονομαστικής και επιτυγχάνεται σε χαμηλές ταχύτητες με ολίσθηση 0,5 έως 0,11 με χαμηλό βαθμό απόδοσης.

Χρησιμοποιούνται για κίνηση διακοπτόμενων φορτίων που χρειάζονται μεγάλη επιτάχυνση και για κρουστικά φορτία όπως πρέσες, διατρητικά μηχανήματα, ψαλίδια και μηχανήματα με σφόνδυλο.

4.2.2. Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες

Στην παράγραφο 4.1.4. είχαμε αναφερθεί στα τρία τυλίγματα του στάτη του κινητήρα, U-X, V-Y, W-Z και είχαμε περιγράψει πώς συνδεσμοποιούνται σε αστέρα (Y) και σε τρίγωνο (Δ).

Σύμφωνα με τη σύγχρονη τυποποίηση τα τρία τυλίγματα έχουν ακροδέκτες U_1 - U_2 , V_1 - V_2 και W_1 - W_2 (σχ. 4.22).

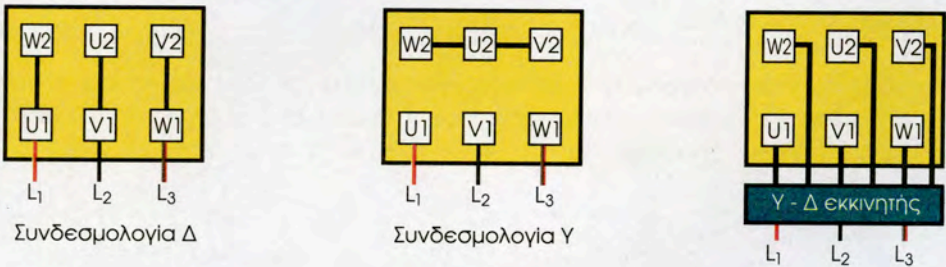


Σχ. 4.22: Σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη (α) σε αστέρα (Y) και (β) σε τρίγωνο (Δ).

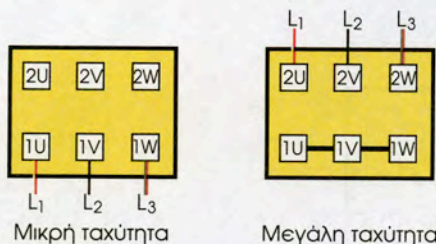
Τα συνηθέστερα κιβώτια ακροδεκτών είναι:

- α. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα μίας ταχύτητας (σχ. 4.23)
- β. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων (σχ. 4.24)
- γ. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα τριών ταχυτήτων
- δ. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα πολλαπλών ταχυτήτων.

Στο κιβώτιο ακροδεκτών υπάρχει συνήθως ακροδέκτης γείωσης με ένδειξη PE, αν και οι κινητήρες, τις περισσότερες φορές, έχουν γείωση ιδιαίτερη, απ'ευθείας στο κέλυφος της μηχανής.



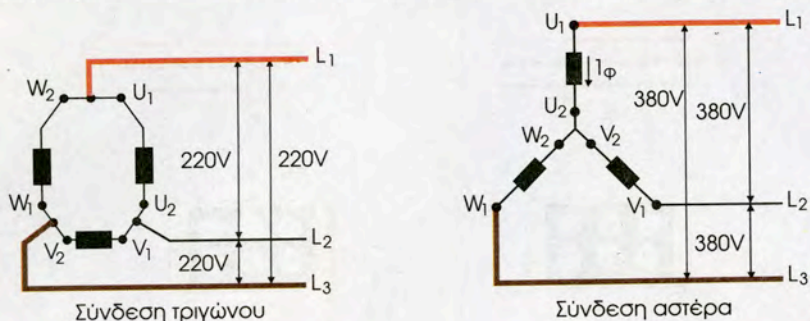
Σχ. 4.23: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας μίας ταχύτητας.



Σχ. 4.24: Συνδέσεις κιβωτίου ακροδεκτών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων.

4.2.3. Τάση λειτουργίας

Τα πηνία των τριών φάσεων του κινητήρα ανάλογα με τη διατομή τους μπορούν να εργασθούν σε μία καθορισμένη από τον κατασκευαστή τάση. Αυτή υποχρεωτικά αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής. Για παράδειγμα, αν η ένδειξη είναι **220VΔ/380VΥ**, ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί με πολική τάση δικτύου **220V** σε σύνδεση τριγώνου και **380V** σε σύνδεση αστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.25.



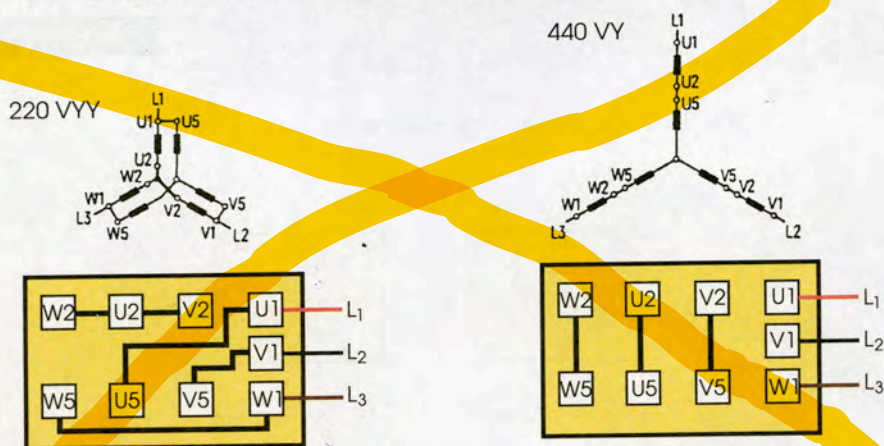
Σχ. 4.25: Τάσεις λειτουργίας σε Υ και Δ, με ένδειξη πινακίδας 220V Δ/380V Υ.

Άλλες συνηθισμένες ενδείξεις είναι: **380VΔ, 380VΔ/660VΥ**.

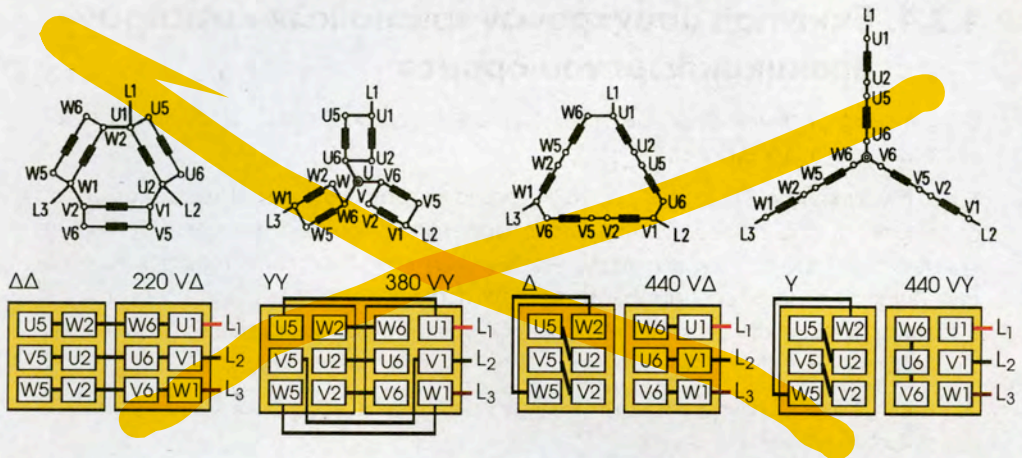
Η χαμηλή τάση του δικτύου της ΔΕΗ είναι 220/380V, που σημαίνει, ότι μπορούμε να έχουμε πολική τάση στη μηχανή **380V**. Στο σχήμα 4.25, **μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο η σύνδεση αστέρα**.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς IEC, η επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης τροφοδοσίας είναι $\pm 5\%$ της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσης από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα. Επίσης η νέα τυποποίηση της χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. είναι 230/400V.

Κατασκευάζονται ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες που μπορούν να λειτουργήσουν σε δύο τάσεις τροφοδοσίας. Αυτοί έχουν δύο τυλίγματα ανά φάση σε κιβώτιο εννιά και δώδεκα άκρων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.26 και 4.27.



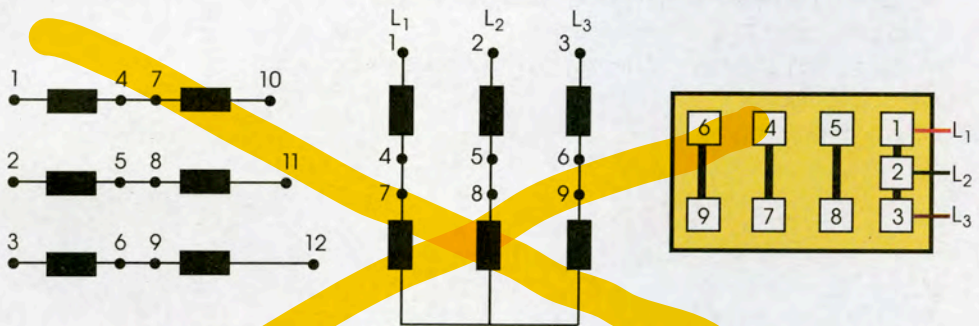
Σχ. 4.26: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλαπλών τάσεων, 9 άκρων (SIEMENS).



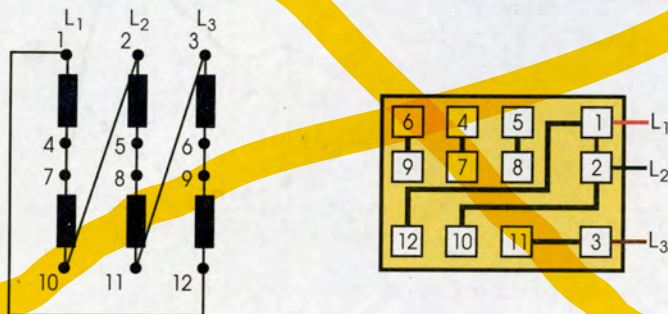
Σχ. 4.27: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλαπλών τάσεων 12 άκρων (SIEMENS).

Παρατηρούμε ότι, για μικρές τάσεις τα τυλίγματα συνδέονται παράλληλα και για μεγάλες σε σειρά, τόσο στον **αστέρα** όσο και στο **τρίγωνο**.

Άλλη τυποποίηση ακροδεκτών κινητήρων πολλαπλών τάσεων είναι με αριθμούς. Τα άκρα κάθε πηνίου διαφέρουν κατά τον αριθμό τρία (3), όπως φαίνεται στα σχήματα 4.28 και 4.29.



Σχ. 4.28: Συνδεσμολογία αστέρα μεγάλης τάσης εννιά ακροδεκτών.



Σχ. 4.29: Συνδεσμολογία τριγώνου μεγάλης τάσης δώδεκα ακροδεκτών.
(Λείπουν οι ακροδέκτες 10,11,12)

4.2.4. Εκκίνηση ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο με έναν απλό εξοπλισμό.

Κατά την **εκκίνηση** όμως απορροφούν **ρεύμα τετραπλάσιο μέχρι οκταπλάσιο** του ονομαστικού, που προκαλεί **στιγμιαία πτώση τάσης** του δικτύου και η οποία έχει επιπτώσεις στους άλλους καταναλωτές. Η πτώση τάσης, που λέγεται και **βύθιση τάσης** δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα σε κινητήρες, ηλεκτρονικά μηχανήματα κ.α. Σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC όπως είδαμε, η τροφοδοσία των κινητήρων μπορεί να έχει διακυμάνση 5%.

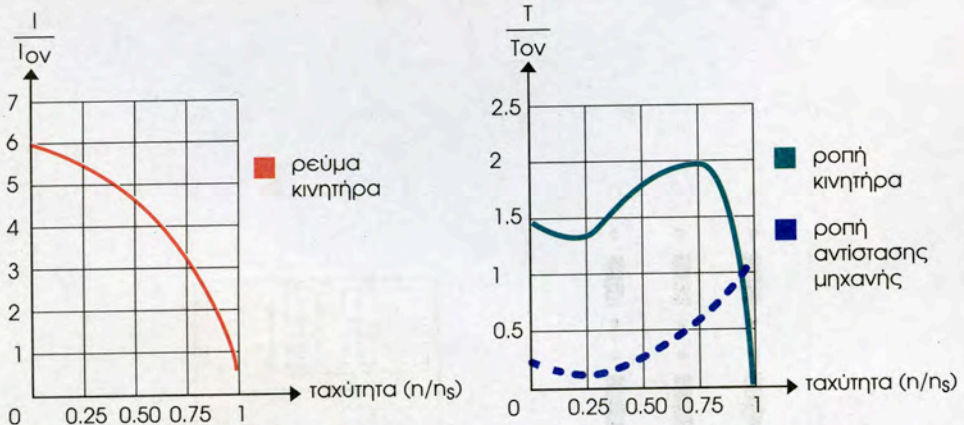
Αρκετές μέθοδοι εκκίνησης αναπτύχθηκαν προκειμένου να επιλύσουν τα προβλήματα της εκκίνησης:

α) Απευθείας εκκίνηση

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο μέσω τριπολικού διακόπτη (σχήμα 4.22). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 1,5PS. Δημιουργεί πτώση τάσης στο δίκτυο, γι'αυτό η ΔΕΗ έχει εκδώσει σχετική οδηγία που προσδιορίζει το μέγιστο ρεύμα εκκίνησης στην περίπτωση αυτή.

➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

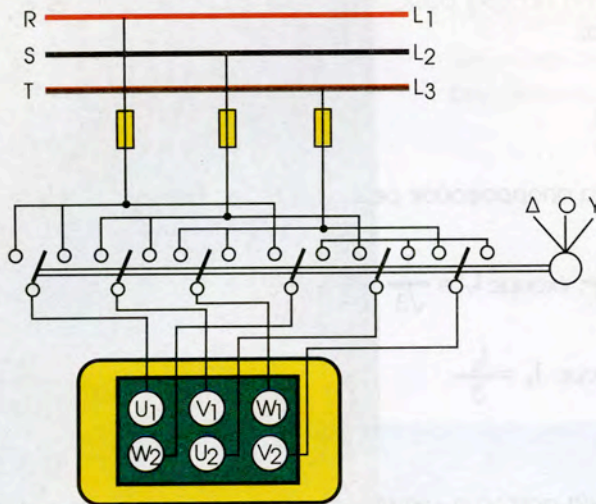
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \approx 6 \cdot I_{ον}$
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \approx 1,5 T_{ον}$
Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.
- Απλός εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



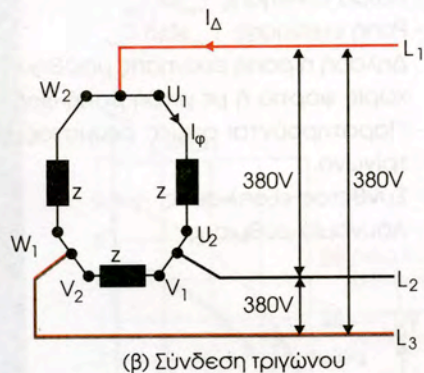
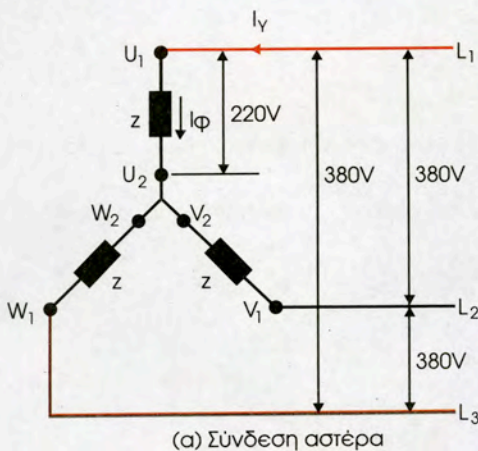
Σχ. 4.30: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με απευθείας εκκίνηση.

β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Υ-Δ

Η εκκίνηση γίνεται με ειδικό χειροκίνητο ή με αυτόματο διακόπτη αστέρα - τριγώνου (Υ-Δ). Στο σχήμα 4.31 φαίνεται ένας χειροκίνητος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.



Σχ. 4.31: Χειροκίνητος διακόπτης Υ-Δ.



Σχ. 4.32: Τάσεις και Ρεύματα σε σύνδεση Υ-Δ.

Κατά την εκκίνηση ο διακόπτης στρέφεται στη θέση Υ και οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες W_2, U_2, V_2 και συνδέουν το στάτη σε αστέρα που τροφοδοτεί κάθε φάση του κινητήρα με φασική τάση δικτύου. Για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_\phi = 220V$.

Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ. Οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες $U_1-W_2, V_1-U_2, W_1-V_2$ συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολική τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_n = U = \sqrt{3} \cdot U_\phi = \sqrt{3} \cdot 220 = 380V$

Αν ο κινητήρας ξεκινούσε απ'ευθείας σε συνδεσμολογία τριγώνου, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του θα ήταν: $I_\phi = U_\phi / Z$ όπου Z , η σύνθετη αντίσταση κάθε φάσης του κινητήρα. Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα: $I_\Delta = \sqrt{3} \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_\phi / Z$.

Σε συνδεσμολογία αστέρα όμως, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του κινητήρα θα είναι:

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z} = \frac{U_\phi}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα $I_Y = I_\phi$ λόγω αστέρα: $I_Y = I_\phi = \frac{U_\phi}{\sqrt{3} \cdot Z}$

$$\text{Επειδή } \frac{U_\phi}{Z} = \frac{I_\Delta}{\sqrt{3}}, \text{ έχουμε: } I_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{I_\Delta}{3}$$

$$\text{Συνεπώς θα έχουμε: } I_Y = \frac{I_\Delta}{3}$$

Συμπέρασμα

Με συνδεσμολογία αστέρα ο κινητήρας μειώνει τρεις φορές το ρεύμα εκκίνησης σε σχέση με τη συνδεσμολογία τριγώνου.

> Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{\text{εκκ}} \approx 2 I_{\text{ov}}$

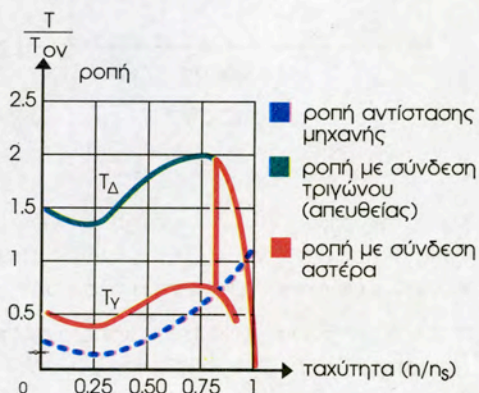
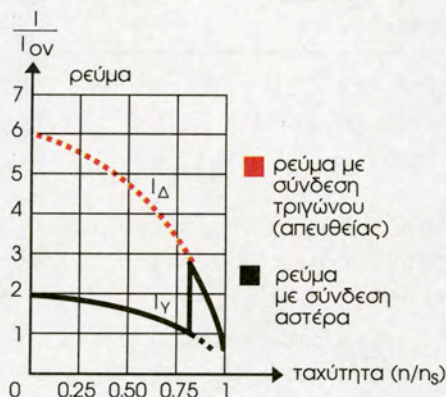
- Ροπή εκκίνησης: $T_{\text{εκκ}} \approx 0,5 T_{\text{ov}}$

Δηλαδή η ροπή εκκίνησης μειώθηκε κατά τρεις φορές και πρέπει η εκκίνηση να γίνει χωρίς φορτίο ή με μικρή ροπή φορτίου.

- Παρατηρούνται αιχμές ρεύματος και ροπής κατά τη μεταλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο.

- Σύνθετος εξοπλισμός.

- Αδυναμία ρύθμισης.



Σχ. 4.33: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με διακόπτη Υ-Δ.

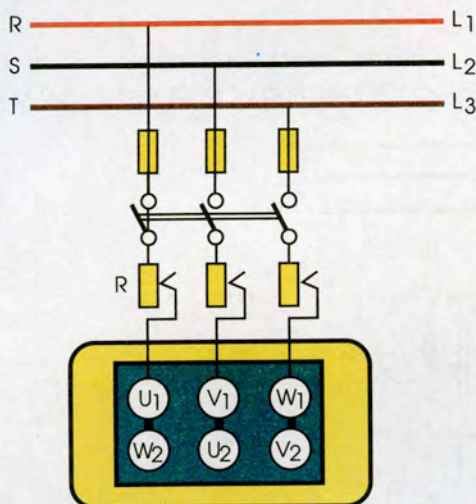
γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Με τη διάταξη του σχήματος 4.34 παρεμβάλλουμε σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη αντιστάσεις R . Έτσι ο κινητήρας εκκινεί με ελαττωμένη τάση και φυσικά ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, ελαττώνουμε την αντίσταση μέχρι ο κινητήρας να αποκτήσει την ονομαστική του ταχύτητα, οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός δικτύου.

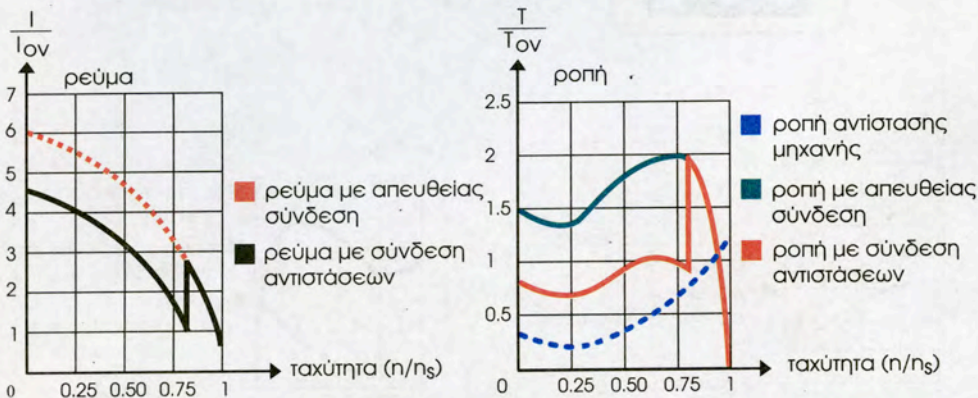
➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \approx 4,5 I_{ον}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \approx 0,75 T_{ον}$ δηλαδή έχουμε μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Θα μπορούσαν οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν από στραγγαλιστικά πηνία που δεν έχουν κατανάλωση ισχύος.



Σχ. 4.34: Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.



Σχ. 4.35: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αντιστάσεις στο στάτη.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

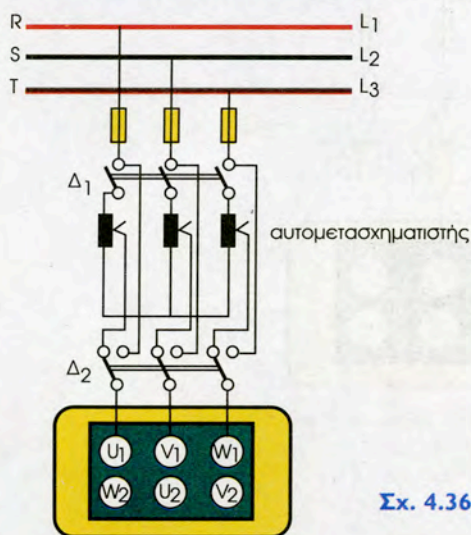
Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη Δ_1 και τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη Δ_2 και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη Δ_1 και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης (σχ. 4.36).

➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

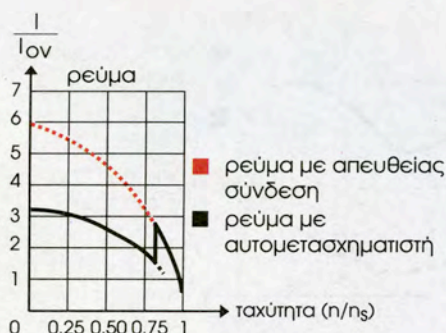
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{\text{εκκ}} \approx 3,5 I_{\text{ov}}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{\text{εκκ}} \approx 0,8 T_{\text{ov}}$.
- Μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Το ρεύμα εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της τάσης τροφοδοσίας και η ροπή εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα.

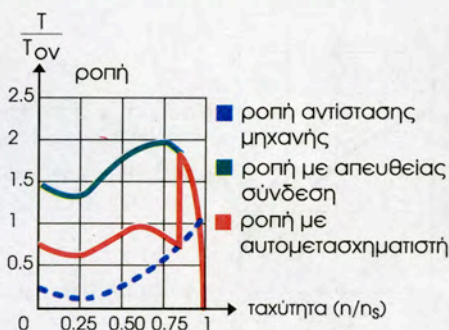
Αν ο κινητήρας ξεκινά με φορτίο στον άξονά του, χρειάζεται έλεγχος της καμπύλης φορτίου και της καμπύλης του κινητήρα με μειωμένο ρεύμα εκκίνησης (σχ. 4.37).



Σχ. 4.36: Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

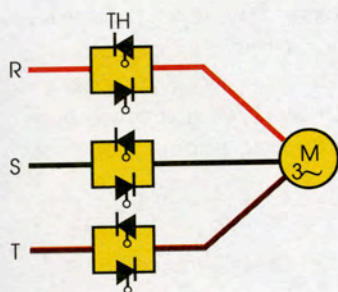


Σχ. 4.37: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αυτομετασχηματιστή.

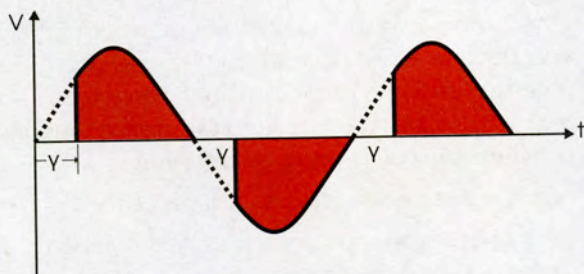


ε) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό εκκινητή

Ο ηλεκτρονικός εκκινητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που επιτρέπει τον έλεγχο της διαδικασίας εκκίνησης του κινητήρα. Ανάλογα με τη ροπή του φορτίου, μπορούμε να προσαρμόσουμε την τάση του κινητήρα και να επιτύχουμε την βέλτιστη εκκίνηση, τόσο από άποψη ροπής, όσο και από άποψη έντασης ρεύματος.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 4.38: Ηλεκτρονικός εκκινητής α) Συνδεσμολογία θυρίστωρ, β) Τάση τροφοδότησης κινητήρα και γ) Λειτουργίες μικροπεξεργαστή.

Η τροφοδοσία του κινητήρα γίνεται με προοδευτική αύξηση της τάσης εκκίνησης, με τη παρεμβολή έξι θυρίστωρ, δύο ανά φάση, τοποθετημένων ανάστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.38α.

Η τάση μεταβάλλεται με τη γωνία έναυσης (γ) των θυρίστωρ μετά από κάθε πέρασμα του εναλλασσόμενου ρεύματος από το μηδέν. Αυτή η τεχνική εγγυάται ευστάθεια και ομαλή περιστροφή του κινητήρα χωρίς μηχανικά κτυπήματα στη φάση της εκκίνησης. Οι ηλεκτρονικοί εκκινητές έχουν δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών λειτουργίας κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα. Συνήθως διατίθενται διάφορα προγράμματα με διαφορετικές καμπύλες ρεύματος-ροπής-στροφών, ώστε να προσαρμόζεται η εκκίνηση στις εκάστοτε παραμέτρους του φορτίου. **Ένας μικροεπεξεργαστής, (σχ. 4.38β) ελέγχει και βελτιστοποιεί διαρκώς τις βασικές παραμέτρους του εκκινητή και του κινητήρα. Αυτές είναι:**

- Οι συνθήκες εκκίνησης και σταματήματος.
- Η υπερθέρμανση του κινητήρα με υπολογισμό της θερμικής του εικόνας και δυνατότητα θερμικής προστασίας.
- Το ρεύμα του κινητήρα συγκρινόμενο με το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα που εξαρτάται από το μέγεθος του εκκινητή, το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα και τη διάρκεια λειτουργίας.
- Η προστασία του κινητήρα και ο εκκινητής.
- Η επιτήρηση του δικτύου παροχής (μείωση τάσης, απουσία φάσης).
- Ο διάλογος και η σηματοδότηση κατάστασης και σφαλμάτων.
- Η ρύθμιση του χρόνου εκκίνησης και παύσης του κινητήρα.

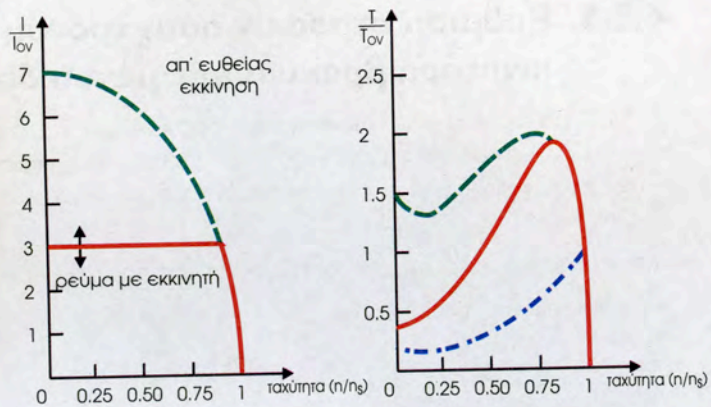
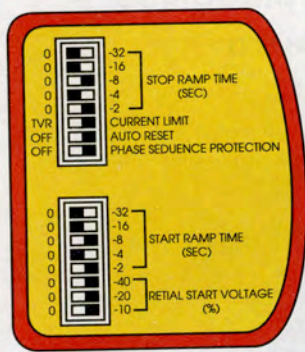
 Οι σύγχρονοι εκκινητές διαθέτουν ειδικό χειριστήριο, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.39, προκειμένου ο προγραμματισμός των παραμέτρων τους να γίνεται εύκολα και γρήγορα.

Με το χειριστήριο επιλέγονται τα ακόλουθα:

- Ο τρόπος εκκίνησης του κινητήρα.
- Ο χρόνος εκκίνησης και παύσης λειτουργίας.
- Η ενεργοποίηση της αυτόματης επανεκκίνησης μετά από σφάλμα.
- Η εφαρμοσμένη αρχική τάση κατά την έναρξη της εκκίνησης.
- Η προστασία έναντι σφάλματος στη διαδοχή των φάσεων (φορά περιστροφής).

Οι κατασκευαστές διαθέτουν πίνακες στους οποίους φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός εκκινητή, βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή του.

4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.).



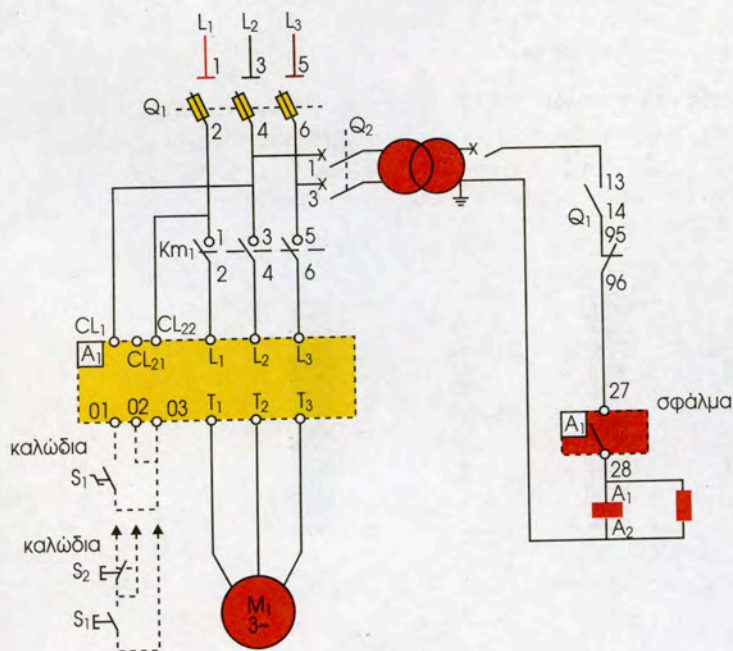
Σχ. 4.39: α) Χειριστήριο ηλεκτρονικού εκκινήτη.
β) Χαρακτηριστική λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με ηλεκτρονικό εκκινήτη.

- ροπή αντίστασης μηχανής
- ροπή με ηλεκτρονικό εκκινήτη
- ροπή με απευθείας σύνδεση

➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \approx 2+5 \cdot I_{ov}$
- ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \approx 0,5+1 \cdot T_{ov}$
- δυνατότητα ρύθμισης των παραπάνω παραμέτρων με τις ράμπες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη



Σύμβολο	Περιγραφή
M1	Κινητήρας
A1	Εκκινήτης
KM1	Ρελέ
Q1	Ασφαλ/κτης
Q2-Q3	Αποζεύκτες
T1	Μετασχηματιστής
S1-S2	Μπουτόν

Σχ. 4.40: Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη (Altistart Telemecanique).

4.2.5. Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα πριν την εμφάνιση των ηλεκτρονικών συστημάτων οδήγησης, εθεωρείτο μηχανή σταθερής ταχύτητας. Η πτώση των στροφών από τη λειτουργία χωρίς φορτίο, στη λειτουργία με φορτίο φθάνει το 5%.

Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα δίνεται από τη σχέση: $n = n_s (1-s)$.

Αντικαθιστώντας τη σύγχρονη ταχύτητα n_s έχουμε:

$$n = \frac{60f}{p} (1-s) \quad (4.10.)$$

όπου f : είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδότησης σε Hz
 p : είναι το πλήθος των ζευγών των μαγνητικών πόλων και
 s : είναι η ολίσθηση

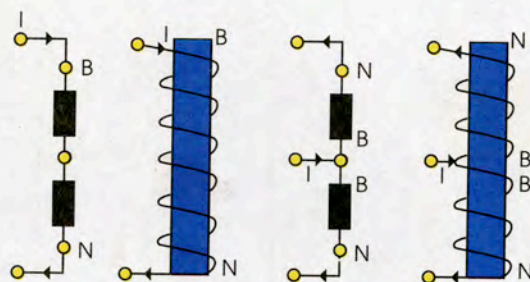
Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι, για να αλλάξει η ταχύτητα πρέπει να αλλάξει η συχνότητα f ή το πλήθος των πόλων p , αφού η ολίσθηση s στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα αλλάζει κυρίως με το φορτίο.

α) Ρύθμιση στροφών με αλλαγή του πλήθους των πόλων

Η ταχύτητα του κινητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογη του πλήθους των ζευγών των μαγνητικών πόλων. Για την αλλαγή του πλήθους των πόλων υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι:

1. Μέθοδος διαδοχικών πόλων.
2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη.
3. Διαμόρφωση πλάτους του πόλου (PAM).

➤ Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων βασίζεται στη δυνατότητα διπλασιασμού κάθε φορά των πόλων με απλές αλλαγές στη συνδεσμολογία των πηνίων διέγερσης. Η βασική ιδέα φαίνεται στο σχήμα 4.41. Με αλλαγή του σημείου τροφοδοσίας των δύο πηνίων, διπλασιάζονται οι πόλοι.



Σχ. 4.41: Διπλασιασμός πόλων με αλλαγή τροφοδότησης.

➤ Η μέθοδος πολλαπλών τυλιγμάτων καλύπτει το μειονέκτημα της προηγούμενης μεθόδου που είναι το ότι έχουμε μόνο δύο ταχύτητες, με λόγο 2:1. Το μειονέκτημα

αυτό ξεπερνιέται με τη **δημιουργία στάτη παλλαπλών τυλιγμάτων**. Η παρεμβολή του ενός ή του άλλου τυλίγματος μας δίνει διαφορετική ταχύτητα. Πρακτικά ο στάτης δεν μπορεί να περιλάβει πολλές περιελίξεις, γιατί αυξάνεται πολύ το κόστος. Συνδυάζοντας τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων και των παλλαπλών τυλιγμάτων συνήθως κατασκευάζεται κινητήρας μέχρι τεσσάρων ταχυτήτων.

➤ Η μέθοδος της διαμόρφωσης πλάτους του πόλου (PAM) είναι ένας τρόπος αλλαγής του πλήθους των πόλων του στάτη με λόγο διαφορετικό από 2 προς 1, που επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη. Το κόστος κατασκευής του στάτη είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου παλλαπλών τυλιγμάτων. Στον πίνακα 4.2 φαίνεται ο λόγος των πόλων και οι αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες και στα σχήματα 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 διάφορες συνδεσμολογίες κινητήρων δύο και τριών ταχυτήτων.

Πίνακας 4.2.

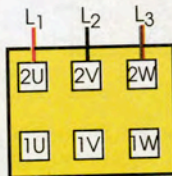
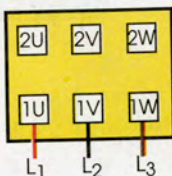
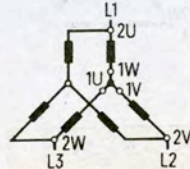
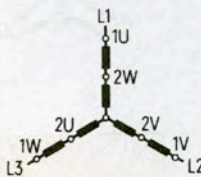
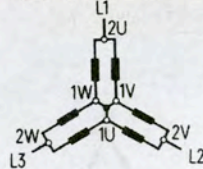
Λόγος ζευγών πόλων με τις αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες

Λόγος ζευγών πόλων	Σύγχρονη ταχύτητα: $n_s = 60f/p$ (στρ/μιν)
	$f = 50\text{Hz}$
1:4	3000/750
2:3	1500/1000
2:5	1500/600
3:4	1000/750
3:5	1000/600
4:5	750/600
4:6	750/500
5:6	600/500

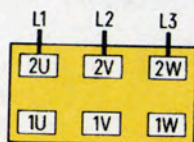
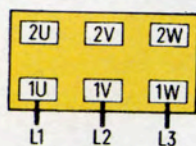
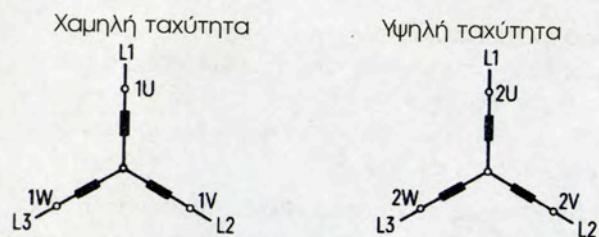
Χαμηλή ταχύτητα



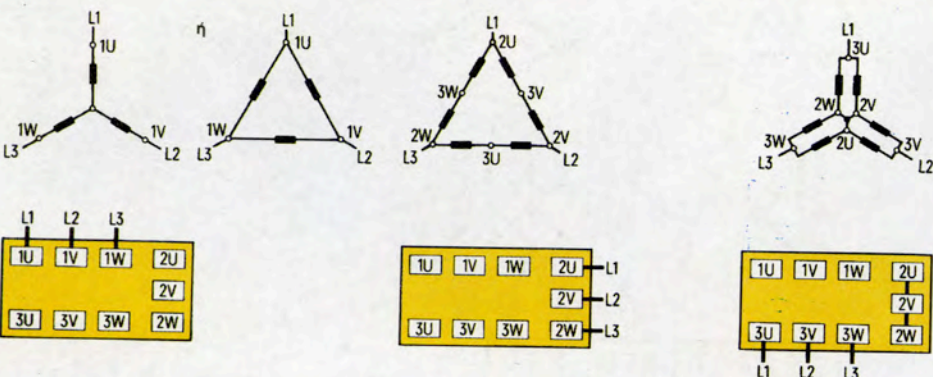
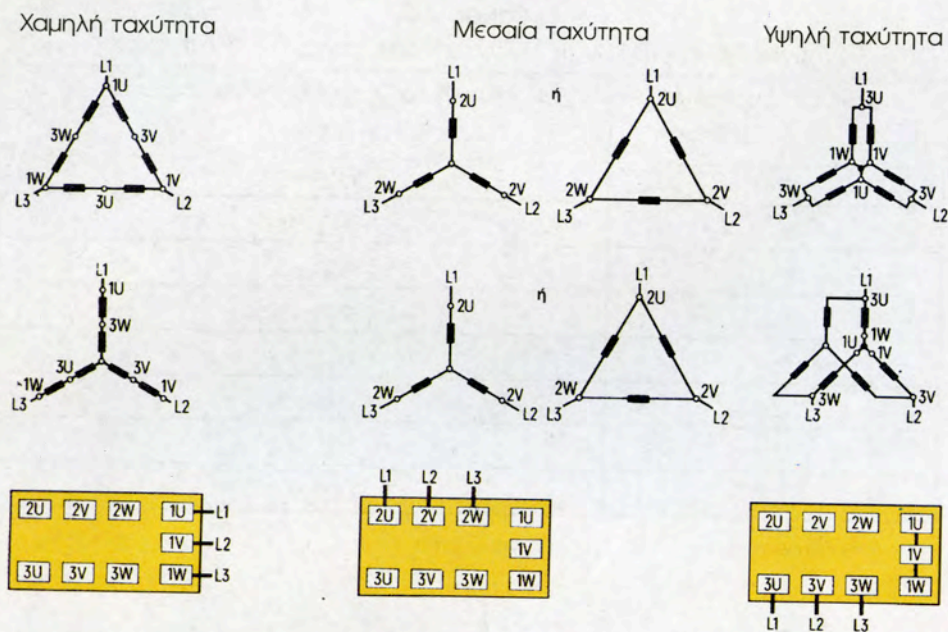
Υψηλή ταχύτητα



Σχ. 4.42: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) ταχυτήτων με ένα τύλιγμα (Σύνδεση Dahlander ή PAM).

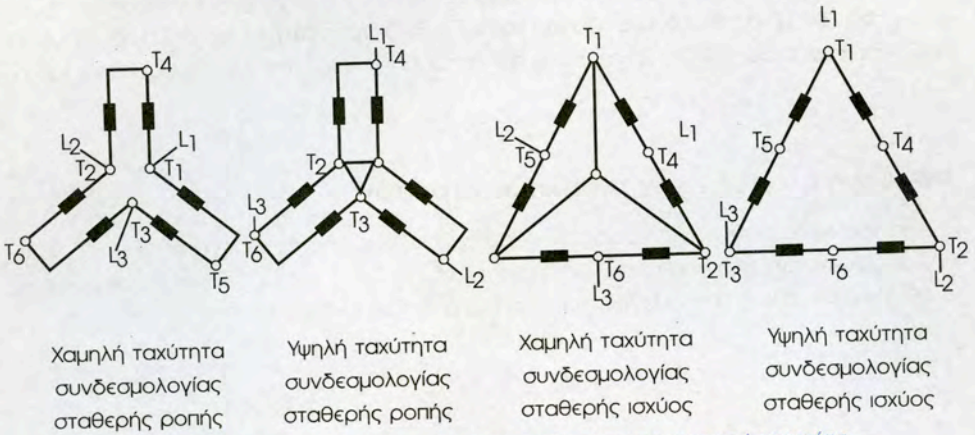


Σχ. 4.43: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) ταχυτήτων με δύο (2) ξεχωριστά τυλίγματα.



Σχ. 4.44: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας τριών (3) ταχυτήτων με δύο (2) ξεχωριστά τυλίγματα, ένα (1) σε Dahlander ή σε σύνδεση PAM. Χρειάζονται εννέα (9) άκρα (SIEMENS M10).

Μπορεί να συναντήσουμε τα ίδια κυκλώματα με άλλες πινακίδες ακροδεκτών:



Σχ. 4.45: Διάφορες συνδεσμολογίες ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας

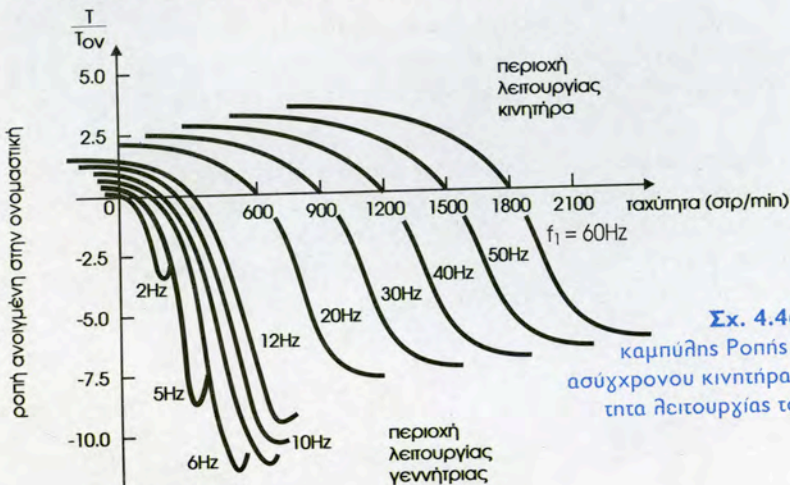
➡ Γενικά

Ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του ασύγχρονου αριθμού στροφών σύμφωνα με τη

$$\text{σχέση: } n_s = \frac{60f}{p}$$

Αυτό με τη σειρά του προκαλεί τη μετατόπιση της καμπύλης ροπής - στροφών του κινητήρα προς τα δεξιά, όσο αυξάνεται η συχνότητα. Το σημείο λειτουργίας του κινητήρα μεταβάλλεται με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.46.

Ταυτόχρονα με τη μεταβολή της συχνότητας μεταβάλλεται και η τάση τροφοδοσίας, ώστε να μην αυξάνεται το ρεύμα, όταν μειώνεται η συχνότητα και να επιτυγχάνεται οικονομική και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Η μέθοδος αυτή λέγεται **βαθμωτού ελέγχου σταθερού λόγου V/f**.



Σχ. 4.46: Μεταβολή της καμπύλης Ροπής - Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται.

Τη δυνατότητα παροχής ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας μας την έδωσε η ταχύ-
 τατη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και ειδικά των ημιαγωγικών διακοπών όπως:
Θυρίστορ (SRC), **διπολικό τρανζίστορ ισχύος (BJT)**, **τρανζίστορ MOSFET**, **τρανζίστορ IGBT** και **θυρίστορ GTO**. Με τα στοιχεία αυτά μπορούμε να ελέγξουμε ισχύ μέχρι 400kW.

➡ Δομή ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών

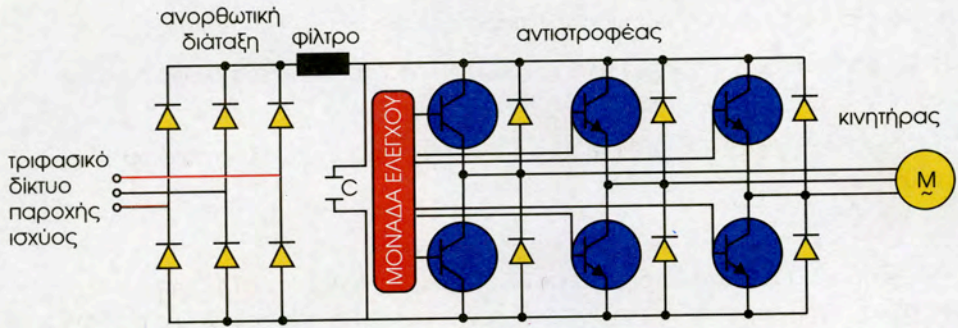
Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών περιλαμβάνει έναν ελεγχόμενο ανορθωτή, ένα φίλτρο, έναν αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας και μία μονάδα ελέγχου.



Σχ. 4.47: Δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών.

Αναλυτικά, όπως φαίνεται στο κύκλωμά του (σχ. 4.47) ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής περιλαμβάνει:

- 1) **Ανορθωτική διάταξη** που αποτελείται από διόδους ή θυρίστορ. Σκοπός της διάταξης είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή με σταθερή ή ρυθμιζόμενη τιμή.
- 2) Η συνεχή τάση που προκύπτει περνά από ένα **φίλτρο** για εξομάλυνση. Το φίλτρο αυτό αποτελείται από συστοιχία πυκνωτών και πηνίων.
- 3) Η τάση που έχει εξομαλυνθεί, τροφοδοτεί **τον αντιστροφέα** που τη μετατρέπει σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και πλάτους. Ο αντιστροφέας αποτελείται από θυρίστορ ή τρανζίστορ. Ο τύπος καθορίζεται από την ισχύ και τη συχνότητα λειτουργίας.
- 4) Η **μονάδα ελέγχου** επικοινωνεί με όλα τα τμήματα, εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος. Περιλαμβάνει ένα μικροεπεξεργαστή στη μνήμη του οποίου μπορούμε να εγγράψουμε διάφορες ρυθμίσεις και έτσι να αναγνωρίζει στιγμιαία τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και να αυτοπροσαρμόζεται, να δίνει επιπλέον ροπή στην εκκίνηση και όταν αυτή ζητηθεί από το φορτίο.



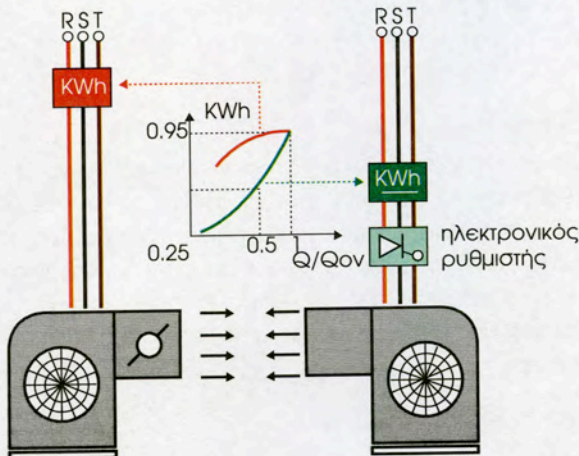
Σχ. 4.48: Κύκλωμα ισχύος ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών με διποδικά τρανζίστορ.



Σχ. 4.49: Ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας.

Πρακτική εφαρμογή ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας

Στο σχήμα 4.50 φαίνεται μία μονάδα εξαερισμού ενός δικτύου αεραγωγών. Να προταθούν **τεχνικές λύσεις** για ρύθμιση της παροχής αέρα.



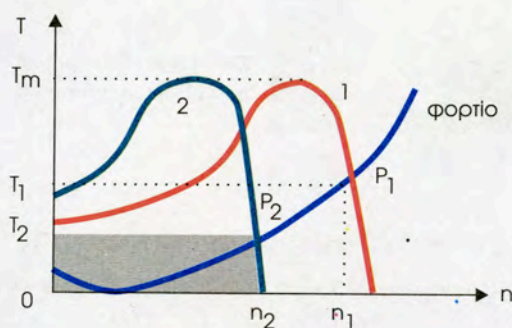
Σχ. 4.50: Μονάδα εξαερισμού.

Για να έχουμε αυτόματη ρύθμιση της παροχής υπάρχουν δύο τεχνικές λύσεις:

- 1) Τροφοδοσία από το δίκτυο ηλεκτρικού κινητήρα που κινεί ένα διάφραγμα (κλαπέ-το) και
- 2) Παρεμβολή μεταξύ του δικτύου και του κινητήρα ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο διάγραμμα του σχήματος 4.50, με άξονες τις μεταβλητές, κατανάλωση ενέργειας (kwh) και λόγο παροχής αέρα ως προς την ονομαστική παροχή Q/Q_{ov} , φαίνονται οι δύο καμπύλες που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικούς τρόπους ρύθμισης της παροχής. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από το διάφραγμα είναι φανερή και εξηγείται από την ενέργεια που καταναλώνεται από τις δημιουργούμενες δίνες. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες, για μείωση της παροχής αέρα στο μισό έχουμε περίπου τέσσερις φορές λιγότερη ενέργεια με την παρεμβολή του ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο σχήμα 4.51 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-ταχύτητας ενός ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα και η χαρακτηριστική καμπύλη της ροπής αντίστασης-ταχύτητας μιας αντλίας.



Σχ. 4.51: Καμπύλες T-n ασύγχρονου κινητήρα
1: χωρίς ηλεκτρονικό ρυθμιστή
2: με ηλεκτρονικό ρυθμιστή

Στο σχήμα 4.51 φαίνεται η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης T-n του κινητήρα σε μικρότερη ταχύτητα προς τα αριστερά που πραγματοποιείται με μεταβολή της τάσης και της συχνότητας τροφοδοσίας του κινητήρα, ώστε ο λόγος V/f να παραμένει σταθερός. Η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται από τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή ταχύτητας. Η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης γίνεται χωρίς να μεταβάλλονται οι επιδόσεις του κινητήρα. Παραμένει σταθερή η μέγιστη ροπή και η ροπή στην περιοχή ευσταθούς λειτουργίας.

☞ Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον κινητήρα σε μία μεγάλη περιοχή ταχυτήτων, από μηδενική ταχύτητα μέχρι μία μέγιστη ταχύτητα, που καθορίζεται από την μηχανική και ηλεκτρική αντοχή του. Στο σχήμα 4.51 φαίνεται, ότι ο ηλεκτρικός κινητήρας ακολουθώντας την καμπύλη 2, μπορεί να περιστρέψει τη φτερωτή του εξαεριστικού με μικρότερη ταχύτητα n_2 , μικρότερη ροπή T_2 και φυσικά μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Μικραίνοντας την ταχύτητα, μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και να κάνουμε σύντομη απόσβεση του κόστους αγοράς του ρυθμιστή.

➡ Πλεονεκτήματα ηλεκτρονικών ρυθμιστών

Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρονικό ρυθμιστή επιτυγχάνουμε εκτός από την πλήρη ρύθμιση των στροφών και τα εξής επίσης σημαντικά:

- Ομαλή εκκίνηση και μάλιστα ρυθμιζόμενη με μικρό ρεύμα εκκίνησης.
- Ομαλή πέδηση.
- Αύξηση της ροπής εκκίνησης.
- Δυνατότητα αυτόματης ή προγραμματιζόμενης ρύθμισης.
- Πλήρη έλεγχο των στροφών.
- Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Δυνατότητα αλλαγής φοράς περιστροφής χωρίς επιπλέον διακόπτες.
- Αυξημένη προστασία του κινητήρα.

Τέλος με τη χρήση των ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών μπορούμε, χρησιμοποιώντας ως πηγή τροφοδοσίας το δίκτυο των 50Hz, να έχουμε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα με ταχύτητα περιστροφής άνω των 3000σπρ/λεπτό.

Η απαρίθμηση αυτών και μόνο των πλεονεκτημάτων, τα οποία μέχρι προ ολίγων ετών εθεωρούντο φαντασία, καταδεικνύει τη μεγάλη υπεροχή της ρύθμισης των στροφών μέσω ηλεκτρονικών ρυθμιστών, έναντι όλων των άλλων παλαιών μεθόδων.

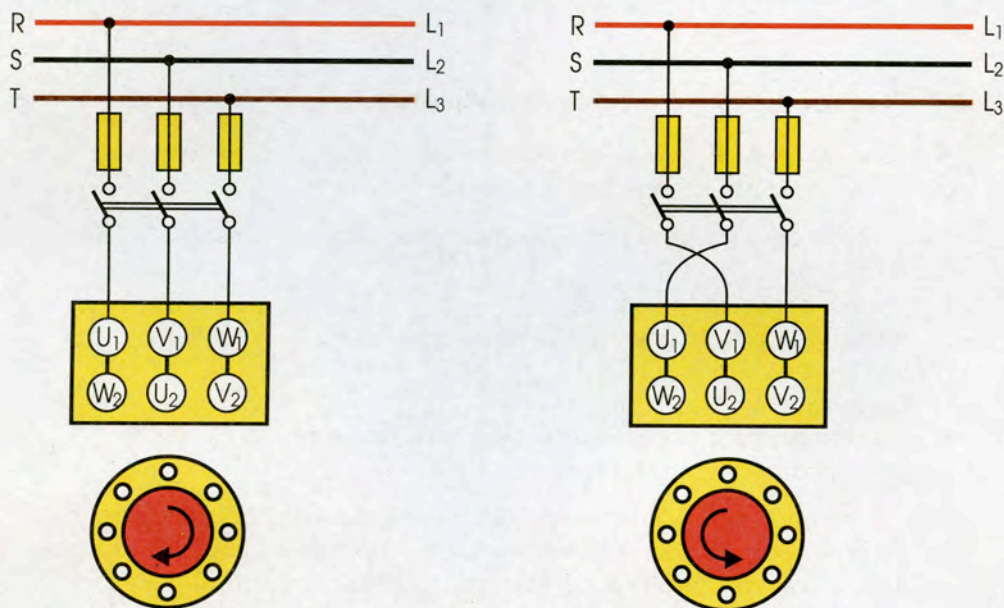
➡ Εφαρμογές ηλεκτρονικών ρυθμιστών

Στη βιομηχανία σήμερα, σε πάρα πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρυθμιστές στροφών, λόγω της σημαντικής βελτίωσης και αύξησης των δυνατοτήτων τους αλλά και λόγω της σημαντικής πτώσης των τιμών τους. Εδώ θα αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες, συχνά εμφανιζόμενες εφαρμογές τους:

- Αντλίες
- Ανεμιστήρες
- Παρασκευή και επεξεργασία χάρτου
- Μεταφορικές ταινίες
- Επεξεργασία ξυλείας
- Επεξεργασία μαρμάρου
- Γερανοί
- Συμπιεστές
- Ανελκυστήρες

4.2.6. Αλλαγή φοράς περιστροφής

Η αλλαγή φοράς περιστροφής του κινητήρα επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Για να γίνει αυτή η αλλαγή **αντιμεταθέτουμε τις συνδέσεις των δύο από τους τρεις αγωγούς που τροφοδοτούν τον κινητήρα** (σχ. 4.52).

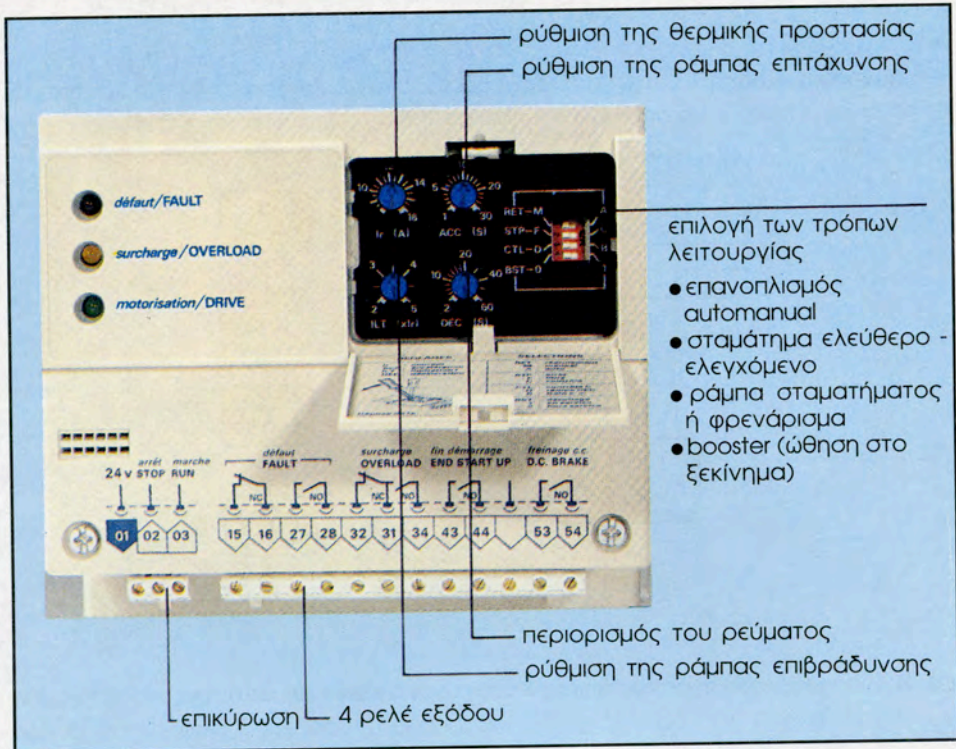


Σχ. 4.52: Αλλαγή φοράς περιστροφής.

4.2.7. Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Η πέδηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους:

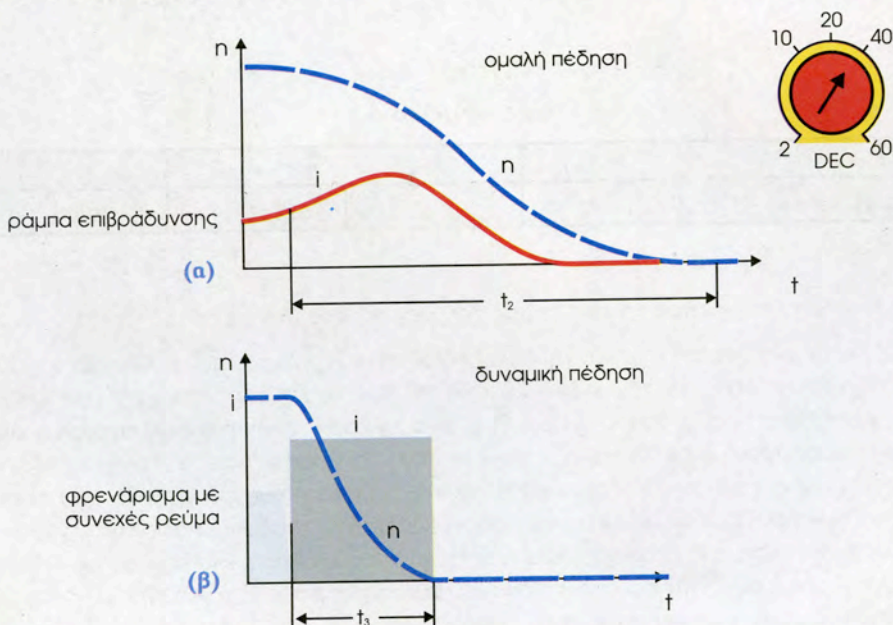
- **Μηχανική πέδηση:** Πραγματοποιείται μέσω ειδικών σιαγόνων που πιέζουν τον άξονα της μηχανής. Παρουσιάζουν συχνές φθορές και απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης.
- **Ελεύθερη πέδηση:** Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.
- **Ομαλή πέδηση:** Διακόπτεται βαθμιαία η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγή απότομης παύσης λειτουργίας της μηχανής (π.χ. σε αντλίες, μεταφορικές ταινίες, γερανούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη **ράμπας επιβράδυνσης** που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές (σχ. 4.53, 4.54).



Σχ. 4.53: Ηλεκτρονικός εκκινητής για την ομαλή πέδηση Α.Τ.Κ.

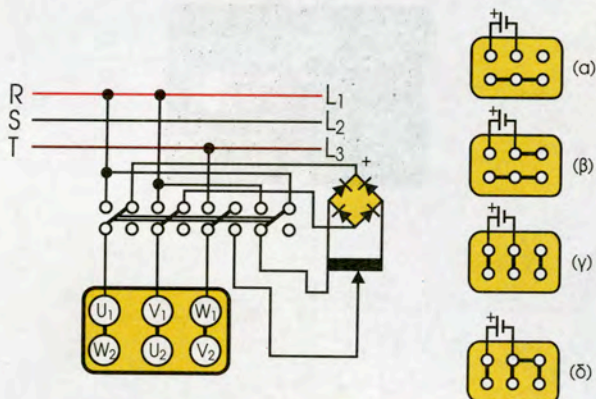
Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

- ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με τον χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του ποτενσιόμετρου του εκκινητή.
- ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών κτυπημάτων.
- προοδευτική μείωση της τάσης.



Σχ. 4.54: Καμπύλη $n-t$, $i-t$ ομαλής πέδησης (α) και δυναμικής πέδησης (β).

➤ **Δυναμική πέδηση:** Ο στάτης αποσυνδέεται από το τριφασικό δίκτυο και τροφοδοτείται με συνεχή τάση από πηγή ή μέσω ανορθωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.55.



Σχ. 4.55: Κυκλώματα δυναμικής πέδησης.

➤ Η δυναμική πέδηση μετατρέπει τον ασύγχρονο κινητήρα σε σύγχρονη γεννήτρια και όλη η ενέργεια της πέδησης απορροφάται από το δρομέα. Ο έλεγχος της ροπής πέδησης επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τη συνεχή τάση. Η μέθοδος αυτή επιλέγεται, όταν έχουμε μηχανές με μεγάλη αδράνεια. Το ρεύμα πέδησης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_n \leq 0,6 K I_A \tag{4.11}$$

- όπου I_n : συνεχές ρεύμα πέδησης σε (A)
 K : συντελεστής κυκλώματος πέδησης, λαμβάνεται από τον πίνακα 4.3 ανάλογα με το κύκλωμα πέδησης του σχήματος 4.55
 I_A : ρεύμα φάσης κινητήρα (A) όταν είναι αναγκαστικά ακινητοποιη μένος

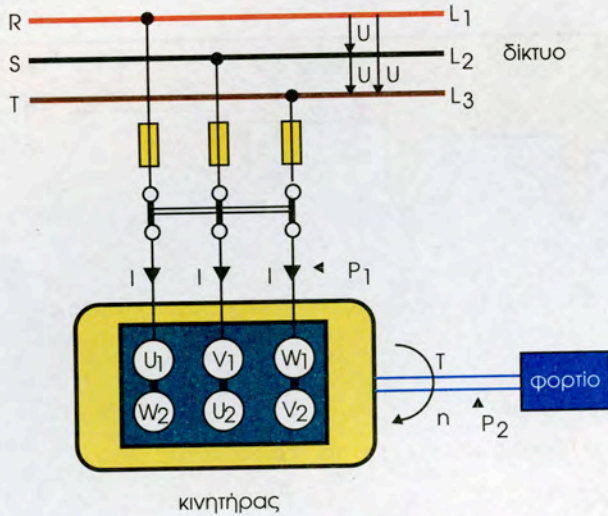
Πίνακας 4.3.
Τιμές συντελεστή K

Κύκλωμα	α	β	γ	δ
Συντελεστής K	1,225	1,41	2,12	2,45

➤ Πέδηση με αντιστροφή της φοράς του μαγνητικού πεδίου

Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αντιστρέφεται με αντιμετάθεση δύο φάσεων τροφοδότησης του στάτη. Ο δρομέας τείνει να περιστραφεί αντίθετα και να ισορροπήσει τη ροπή του φορτίου. Έτσι ο **ασύγχρονος κινητήρας λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνητική πέδη**. Μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη καταπόνηση της μηχανής, από τα υπερβολικά ρεύματα στο στάτη και στο δρομέα. Ελαττώνονται οι τιμές αυτών των ρευμάτων με παρεμβολή αντιστάσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση εφαρμογής της πέδησης είναι η ύπαρξη ενός αισθητηρίου ταχύτητας που θα αποσυνδέσει τον κινητήρα από το δίκτυο μόλις μηδενισθεί η ταχύτητα, γιατί διαφορετικά θα αρχίσει να περιστρέφεται ανάστροφα.

4.2.8. Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα



Σχ. 4.56: Τριφασικός κινητήρας με φορτίο.

Η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο ο κινητήρας είναι ηλεκτρική ισχύς, μπορεί να μετρηθεί με βαττόμετρο και δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (\text{σε W}) \quad (4.12)$$

Η ισχύς που δίνει στον άξονά του και κατ'έπείταση στο συνδεδεμένο φορτίο είναι μηχανική ισχύς και δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{T \cdot n}{9,55} \quad (\text{σε W}) \quad (4.13)$$

T : ροπή (σε N·m)

n : ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

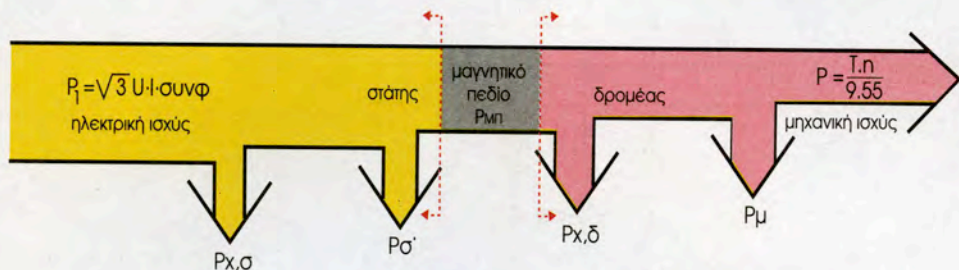
Απώλειες, βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι απώλειες του κινητήρα είναι δύο ειδών:

1. **απώλειες σταθερές** που δεν μεταβάλλονται με το φορτίο και
2. **απώλειες μεταβλητές** που μεταβάλλονται με το φορτίο.

Οι **σταθερές απώλειες** είναι: α) **μαγνητικές απώλειες**, που λέγονται και απώλειες σιδήρου P_o γιατί οφείλονται στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης και των δινορρευσμάτων στο σιδερένιο πυρήνα της μηχανής και β) **μηχανικές απώλειες** P_μ λόγω τριβών στους τριβείς του άξονα και αερισμού της φτερωτής της μηχανής.

Οι **μεταβλητές απώλειες** είναι: α) **ηλεκτρικές απώλειες του στάτη**, που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του στάτη και λέγονται απώλειες χαλκού στάτη $P_{x,\sigma}$ και β) **ηλεκτρικές απώλειες δρομέα** που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του δρομέα και λέγονται απώλειες χαλκού δρομέα $P_{x,\delta}$.



Σχ. 4.57: Κατανομή απωλειών ασύγχρονου κινητήρα.

➤ Υπολογισμός απωλειών

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από τον νόμο του Τζάουλι:

$P_{x,\sigma} = 3I_s^2 R_1$ όπου R_1 : η αντίσταση της μιας φάσης του στάτη

$P_{x,\delta} = 3I_\delta^2 R_\delta$ όπου R_δ : η αντίσταση του δρομέα.

Επειδή τα I_s , R_δ είναι δύσκολο να υπολογισθούν, μπορούμε προσεγγιστικά να υπολογίσουμε τις απώλειες χαλκού του δρομέα από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου:

$P_{x,\delta} = P_{MΠ} - P$ θεωρώντας τις μηχανικές απώλειες αμελητέες, $P_{MΠ}$ είναι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου που μεταφέρει την ισχύ από το στάτη στο δρομέα:

$$P_{MΠ} = \frac{T \cdot n_s}{9.55} \quad \text{άρα} \quad P_{x,\delta} = \frac{T \cdot n_s}{9.55} - \frac{T \cdot n}{9.55} = \frac{T}{9.55} (n_s - n) = \frac{T \cdot n_s}{9.55} \cdot s =$$

$$P_{MΠ} \cdot s = (P_1 - P_{x,\sigma}) \cdot s \Rightarrow P_{x,\delta} = (P_1 - P_{x,\sigma}) \cdot s \quad (4.14)$$

θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες σιδήρου.

➤ Πείραμα με κινητήρα χωρίς φορτίο

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο και μετράμε με βαττόμετρο και αμπερόμετρο την ισχύ P_o και το ρεύμα I_o που απορροφά σε λειτουργία χωρίς κανένα φορτίο. Η ισχύς P_o αντιπροσωπεύει τις απώλειες σιδήρου P_σ , τις μηχανικές απώλειες P_μ και τις απώλειες χαλκού του στάτη. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα είναι αμελητέες.

$$P_o = P_\sigma + P_\mu + P_{x,\sigma} = P_\sigma + P_\mu + 3I_o^2 R_1$$

➤ Πείραμα με ακινητοποιημένο το δρομέα του κινητήρα

Ακινητοποιούμε το δρομέα και τροφοδοτούμε το στάτη με τάση μικρότερη της ονομαστικής, ώστε το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο να είναι ίσο με το ονομαστικό. Η ένδειξη του βαττόμετρου είναι P_α και αντιπροσωπεύει τις απώλειες χαλκού στάτη και δρομέα και τις απώλειες σιδήρου. Προσεγγιστικά μπορούμε να γράψουμε:

$$P_\alpha = P_{x,\sigma} + P_{x,\delta} + P_\sigma$$

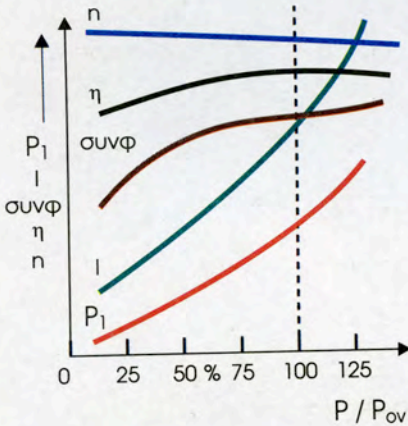
➤ Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος στον άξονά του προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά από το δίκτυο.

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - P_{\text{απ}}}{P_1} = \frac{P}{P + P_{\text{απ}}} \quad (4.15)$$

όπου $P_{\text{απ}} = P_{\text{xο}} + P_{\text{xδ}} + P_{\text{σ}} + P_{\text{μ}}$

Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.58 μεταβάλλεται ελάχιστα για μία μεγάλη περιοχή ισχύος.

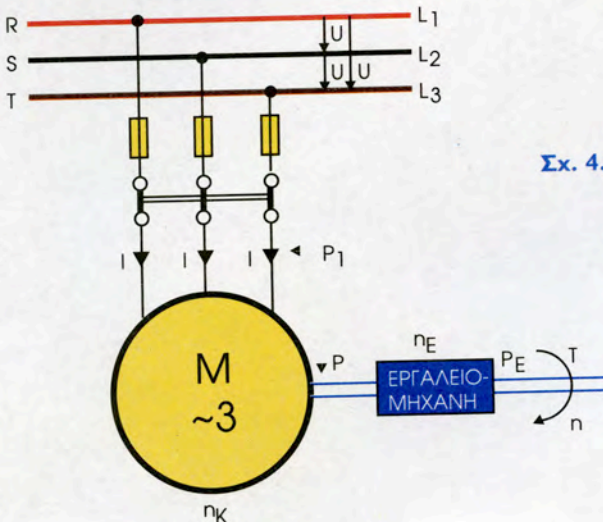


P_1 : δαπανώμενη ηλεκτρική ισχύς (σε W)
 P : ωφέλιμη μηχανική ισχύς στον άξονα (σε W)
 P_{ov} : ονομαστική ωφέλιμη μηχανική ισχύς στον άξονα (σε W)
 η : βαθμός απόδοσης %
 n : ταχύτητα (σε στρ/min)
συνφ: συντελεστής ισχύος
 I : ρεύμα γραμμής κινητήρα (σε A)

Σχ. 4.58: Διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες ασύγχρονου κινητήρα.

Παράδειγμα

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα τροφοδοτείται με πολική τάση 380V, έχει συντελεστή ισχύος 0,8 και βαθμό απόδοσης 0,85. Στρέφει εργαλειομηχανή που ασκεί στην έξοδό της ροπή 450N.m με ταχύτητα 30στρ/min. Ο βαθμός απόδοσης της εργαλειομηχανής είναι 0,7.



Σχ. 4.59: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας.

Να υπολογισθούν:

- α. η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα,
- β. η ένταση του ρεύματος που απορροφά από το δίκτυο,
- γ. οι απώλειες του κινητήρα.

Λύση

α. Η ισχύς στην έξοδο της εργαλειομηχανής θα είναι:

$$P_E = \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{450 \cdot 30}{9,55} = 1.413,6W$$

Με βάση το βαθμό απόδοσης της εργαλειομηχανής και του κινητήρα:

$$P = \frac{P_E}{\eta_E} = \frac{1.413,6}{0,85} = 2019,4W \quad \text{Όμως } \eta = \frac{P}{P_1} \text{ άρα } P_1 = \frac{2019,4}{0,85} = 2375,7W$$

β. Η ηλεκτρική ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \text{ άρα } I = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{2375,7}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 4,5A$$

γ. Οι απώλειες του κινητήρα είναι: $P_{στ} = P_1 - P = 2375,7 - 2019,4 = 356,3W$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Ο βαθμός απόδοσης Α.Τ.Κ. προσδιορίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση $\eta = 1 - S$ όπου: S, η διολίσθηση του Α.Τ.Κ.

4.2.9. Ερωτήσεις

1. Πώς είναι διαμορφωμένος ο πυρήνας του δρομέα κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα;
2. Γιατί είναι πιο διαδεδομένος ο κινητήρας με βαθιά αυλάκια;
3. Κινητήρας έχει ένδειξη 380VΔ. Μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυο 220/380V; Σχήμα και εξήγηση.
4. Ποιοι λόγοι επιβάλλουν την εκκίνηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων μέσω διάταξης εκκίνησης; Ποιοι μέθοδοι εκκίνησης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα υπάρχουν;
5. Πότε μπορεί να εκκινήσει απευθείας (χωρίς μέσο εκκίνησης) ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του;
6. Πώς γίνεται η εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου;
Πώς μεταβάλλεται η ροπή και η ένταση με αυτόν τον τρόπο εκκίνησης;
Τι προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται για να μπορέσει ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα να εκκινήσει με διακόπτη αστέρα τριγώνου;
7. Τι επιπτώσεις έχει η λανθασμένη μετάβαση από τη σύνδεση αστέρα-τριγώνου;
8. Σχεδιάστε κύκλωμα εκκίνησης με αντιστάσεις στο στάτη. Πώς μεταβάλλονται τότε η ένταση και η ροπή του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα;
9. Σχεδιάστε κύκλωμα εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή.
Πόσο μειώνεται η ένταση και η ροπή εκκίνησης;
10. Περιγράψτε το κύκλωμα και τη λειτουργία του ηλεκτρονικού εκκινητή.
11. Αναφέρετε ονομαστικά τις μεθόδους ρύθμισης στροφών Α.Τ.Κ.
12. Περιγράψτε τη ρύθμιση στροφών με τη μέθοδο βαθμωτού ελέγχου σταθερού λόγου V/f .
13. Σχεδιάστε και εξηγήστε το δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών.
14. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών;
15. Πώς γίνεται η αλλαγή της φοράς περιστροφής ενός Α.Τ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα;
16. Αναφέρετε ονομαστικά τους τρόπους πέδησης ενός Α.Τ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα.
17. Ποια η διαφορά της μορφής της ισχύος που απορροφά ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας από την ισχύ που αποδίδει; Γράψε τους τύπους για τον υπολογισμό των δύο μορφών.

18. Ποιες είναι οι σταθερές απώλειες ενός ασύγχρονου κινητήρα;
19. Ποιες απώλειες μεταβάλλονται με την μεταβολή του φορτίου;
Πώς αλλιώς ονομάζονται;
20. Σχεδιάστε και εξηγήστε το διάγραμμα κατανομής απωλειών κινητήρα.
21. Ποιος τύπος μας δίνει τις ηλεκτρικές απώλειες του δρομέα;
22. Πώς υπολογίζουμε τις σταθερές απώλειες;
23. Πώς μεταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με τη μεταβολή του φορτίου;
24. Ποιος τύπος δίνει το βαθμό απόδοσης ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
25. Πώς μεταβάλλεται ο συντελεστής ισχύος με την μεταβολή του φορτίου σε ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα; Τι επιπτώσεις έχει αυτό στην επιλογή ενός τέτοιου κινητήρα;
26. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με ονομαστική ισχύ 6000W περιστρέφεται με την ονομαστική του ταχύτητα 1000στρ/min. Να βρεθεί αν μπορεί να εκκινήσει φορτίο ροπής 150N, αν η ροπή εκκίνησής του είναι: $T_{εκκ} = 1,75T_{ov}$.
27. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) πόλων, τροφοδοτείται με τάση κανονικής συχνότητας $f=50\text{Hz}$. Λόγω υπερφόρτισης του δικτύου η συχνότητα έχει μειωθεί σε $f=49,97\text{Hz}$. Αν η ταχύτητα στον άξονα του κινητήρα πρέπει να είναι $n=2900\text{στρ/min}$ να βρεθούν:
- α) η σύγχρονη ταχύτητα για κανονική συχνότητα.
 - β) η σύγχρονη ταχύτητα με την μείωση της συχνότητας.
 - γ) η ολίσθηση στις παραπάνω περιπτώσεις.
 - δ) τι συμπεράσματα βγαίνουν από την μεταβολή της συχνότητας;
- (ΑΠ. α) 3000στρ/min, β) 2998,2στρ/min, γ) 3,33%, 3,27%)**
28. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας τεσσάρων (4) πόλων τροφοδοτείται με τάση συχνότητας $f=50\text{Hz}$. Η ολίσθηση χωρίς φορτίο είναι $s=0,5\%$ και η ταχύτητα ονομαστικής λειτουργίας (με πλήρες φορτίο) είναι $n=1430\text{στρ/min}$.
Να βρεθούν:
- α) η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.
 - β) η ταχύτητα στην εν κενώ λειτουργία του.
 - γ) η ολίσθηση κατά την κανονική λειτουργία του.
- (ΑΠ. α) 1500στρ/min, β) 1492,5στρ/min, γ) 4,66%)**
29. Τετραπολικός ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας κινεί φορτίο ροπής 70Nm με ταχύτητα 1400στρ/min. Η συχνότητα του δικτύου τροφοδοσίας είναι 50Hz. Όλες οι απώλειες εκτός από τις ηλεκτρικές του δρομέα θεωρούνται αμελητέες.
Να βρεθούν:
- α) η ολίσθηση.
 - β) ο βαθμός απόδοσης προσεγγιστικά.
 - γ) η ισχύς εξόδου.
 - δ) η ισχύς εισόδου προσεγγιστικά.

ε) οι ηλεκτρικές απώλειες δρομέα προσεγγιστικά.

(ΑΠ. α) 6,66%, β) 93,33%, γ) 10.261,78W, ε) 733,22W)

30. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας συνδέεται σε δίκτυο 220/380V. Ο συντελεστής ισχύος είναι 0,9 και ο βαθμός απόδοσής του 0,8. Ο κινητήρας στρέφει τόρνο μηχανουργείου με ροπή 170N και ταχύτητα 30στρ/λεπτό. Ο βαθμός απόδοσης του τόρνου είναι 70%.

Να βρείτε:

α) την ισχύ του κινητήρα.

β) την ένταση του απορροφούμενου ρεύματος.

(ΑΠ. α) 953,57W, 1,29PS, β) 1,61A)

➡ Βάλτε σε κύκλο το χράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

31. Με συνδεσμολογία αστέρα ο ασύγχρονος κινητήρας:
- αυξάνει το ρεύμα εκκίνησης.
 - μειώνει το ρεύμα εκκίνησης τρεις φορές σε σχέση με το τρίγωνο.
 - διατηρεί σταθερή τη ροπή.
32. Ο ηλεκτρονικός εκκινητής ελέγχει τη διαδικασία εκκίνησης του κινητήρα με:
- διάταξη αυτομετασχηματιστή.
 - γέφυρα έξι αντιπαράλληλων θυρίστορ.
 - γέφυρα έξι διόδων.
33. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών αποτελείται από:
- ανορθωτική διάταξη - φίλτρο.
 - ανορθωτική διάταξη - φίλτρο - αντιστροφή - μονάδα ελέγχου.
 - αυτομετασχηματιστή ανορθωτική διάταξη - διόδους.
34. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών:
- μετατοπίζει την καμπύλη T-η προς τα πάνω.
 - μετατοπίζει την καμπύλη προς τα αριστερά.
 - μετατοπίζει την καμπύλη του φορτίου.
35. Η δυναμική πέδηση κινητήρα:
- μετατρέπει τον κινητήρα σε σύγχρονη γεννήτρια.
 - πραγματοποιείται μέσω ειδικών, ισχυρών διαγόνων με ηλεκτρονικό έλεγχο.
 - διακόπτει βαθμιαία την τάση τροφοδοσίας.
36. Ένας Α.Τ.Κ. με ωφέλιμη ισχύ 10kW και συνολικές απώλειες 2kW, έχει βαθμό απόδοσης:
- $\eta=0,80$.
 - $\eta=0,83$.
 - $\eta=0,90$.

4.5. Ανακεφαλαίωση

♦ Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες (Α.Τ.Κ.) ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα διακρίνονται σε δύο τύπους:

- α)** κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα,
- β)** κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα.

♦ Το τριφασικό σύστημα παροχής ισχύος αποτελείται από τρεις φάσεις που έχουν ίδιο μέτρο τάσης αλλά διαφορά τάσης 120° .

♦ Ο στάτης Α.Τ.Κ. αποτελείται από τρία πηνία με έξι ακροδέκτες. Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας τους έχουμε σύνδεση σε αστέρα ή σε τρίγωνο.

♦ Ο μεταφορέας ταχύτητας βρίσκεται στο εσωτερικό του κινητήρα στο πίσω μέρος.

♦ Ο δρομέας του Α.Τ.Κ. με δακτυλίδια έχει τριφασικό τύλιγμα που τα τρία άκρα του καταλήγουν σε τρία δακτυλίδια, τα οποία μέσω ψηκτρών ενώνονται με αντιστάσεις.

♦ Τα τρία πηνία του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα και δημιουργούν περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στο τύλιγμα του δρομέα αναπτύσσονται επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούν μαγνητικές δυνάμεις που τον περιστρέφουν

$$F = B_o \cdot I_o \cdot l$$

♦ Το μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα: $n_s = \frac{60f}{p}$

και ο δρομέας με ταχύτητα n που είναι πάντα μικρότερη της σύγχρονης.

Ολίσθηση είναι το πηλίκο: $s = \frac{n_s - n}{n_s}$

♦ Η ροπή που αναπτύσσει στον άξονά του ο κινητήρας είναι: $T = \frac{9,55 \cdot P}{n}$

♦ Η εκκίνηση Α.Τ.Κ./βραχυκυκλωμένου δρομέα γίνεται με πέντε τρόπους: **α)** απευθείας εκκίνηση, **β)** εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου, **γ)** με αντιστάσεις στο στάτη, **δ)** με αυτομετασχηματιστή και **ε)** με ηλεκτρονικό εκκινητή.

♦ Η ρύθμιση στροφών Α.Τ.Κ./βραχυκλωμένου δρομέα γίνεται: **α)** με αλλαγή του πλήθους των πόλων και **β)** με μεταβολή της συχνότητας.

♦ Οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές στροφών αλλάζουν την τάση λειτουργίας με παράλληλη μεταβολή της συχνότητας ώστε ο λόγος u/f να παραμένει σταθερός. Αποτελούνται από ένα ελεγχόμενο ανορθωτή, ένα φίλτρο εξομάλυνσης, ένα αντιστροφέα και συνήθως από μία μονάδα ελέγχου (μικροεπεξεργαστή). Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή έχουμε πολλά πλεονεκτήματα κατά την εκκίνηση και λειτουργία του Α.Τ.Κ.

♦ Η αλλαγή φοράς περιστροφής Α.Τ.Κ. επιτυγχάνεται με αντιμετάθεση δύο φάσεων.

♦ Η πέδηση Α.Τ.Κ. γίνεται με διάφορους τρόπους: **α)** μηχανική πέδηση, **β)** ελεύθερη πέδηση, **γ)** ομαλή πέδηση.

♦ Η ισχύς που απορροφά ο Α.Τ.Κ. από το δίκτυο είναι: $P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ και η ισχύς

που δίνει στον άξονά του: $P = \frac{T \cdot n}{9,55}$

♦ Οι απώλειες ενός Α.Τ.Κ. είναι: **α) σταθερές:** μαγνητικές ή απώλειες σιδήρου (P_{σ}) και μηχανικές (P_{μ}) και **β) μεταβλητές:** ηλεκτρικές απώλειες στάτη (P_{xo}) και δρομέα (P_{xd}).

Ο βαθμός απόδοσης είναι: $\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - P_{\text{απ}}}{P_1}$

όπου $P_{\text{απ}} = P_{xo} + P_{xd} + P_{\sigma} + P_{\mu}$

♦ Οι Α.Τ.Κ./με δακτυλίδια λόγω εξωτερικής αντίστασης παρουσιάζουν μεγάλη ροπή εκκίνησης με μικρό σχετικά ρεύμα. Η ρύθμιση στροφών αντίστοιχα, γίνεται όπως στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, αλλά με μεγαλύτερα περιθώρια ρύθμισης με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.

♦ Οι κινητήρες κατά την αγορά και τη λειτουργία τους υπόκεινται στους ακόλουθους ελέγχους:

- έλεγχος με την παράδοση
- έλεγχος μεταφοράς και αποθήκευσης
- έλεγχος προστασίας
- έλεγχος θεμελίωσης
- έλεγχος υγρασίας
- έλεγχος μηχανικής ζεύξης
- έλεγχος πριν την έναρξη λειτουργίας
- έλεγχος συνδεσμολογίας-φοράς περιστροφής-εκκίνησης-σταματήματος
- έλεγχος κατά την διάρκεια λειτουργίας

♦ Οι βασικές μετρήσεις και υπολογισμοί που πρέπει να γνωρίζει ο εγκαταστάτης είναι:

- εύρεση ακροδεκτών
- μέτρηση φασικής και πολικής τάσης
- μέτρηση ρεύματος γραμμής
- μέτρηση ισχύος
- υπολογισμός συντελεστή ισχύος
- διόρθωση συντελεστή ισχύος
- έλεγχος αντίστασης μόνωσης, κινητήρα και εγκατάστασης

κεφάλαιο 5

μονοφασικοί κινητήρες

➡ Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες -βραχυκυκλωμένου δρομέα και με συλλέκτη- χρησιμοποιούνται όχι μόνο στον οικιακό τομέα (όπως π.χ. πλυντήρια, μίξερ, ηλ. σκούπες, ανεμιστήρες, κλιματιστικά κ.α.), αλλά και στη βιοτεχνία (αντλίες, δρόπανα, ράμπες συνεργείων), το γραφείο, τα εμπορικά καταστήματα, την Ιατρική (λογιστικές και πολυγραφικές μηχανές, κινηματογραφικά μηχανήματα, ιατρικά όργανα), ακόμα και στα ανυψωτικά μηχανήματα και την ηλεκτρική έλξη.



Σχ. 5.1.: Ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες και εφαρμογές τους.

Ενότητα 5.1.

Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες (Α.Μ.Κ.)

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Α.Μ.Κ.
2. Να απαριθμείτε τα μέρη απ' τα οποία αποτελούνται οι Α.Μ.Κ.
3. Να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών και τη συνδεσμολογία τους.
4. Να αιτιολογείτε την τάση λειτουργίας των Α.Μ.Κ.
5. Να περιγράφετε τους τρόπους ρύθμισης στροφών των Α.Μ.Κ.
6. Να αναφέρετε τους τρόπους πέδησης Α.Μ.Κ.

5.1.1. Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε τους Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες (Α.Τ.Κ.), που είναι ουσιαστικά οι πιο συνηθισμένοι σε μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Όμως τα περισσότερα σπίτια και οι μικρές επιχειρήσεις δεν έχουν τη δυνατότητα χρήσης τριφασικής ισχύος. Σ' αυτές τις περιπτώσεις όλοι οι κινητήρες θα πρέπει να λειτουργούν με τροφοδοσία από μονοφασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, δηλ. να είναι **μονοφασικοί**.

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τους μονοφασικούς κινητήρες, που, στην πράξη, κατασκευάζονται σε πολλές παραλλαγές και τύπους, και διακρίνονται βασικά σε δύο κατηγορίες:

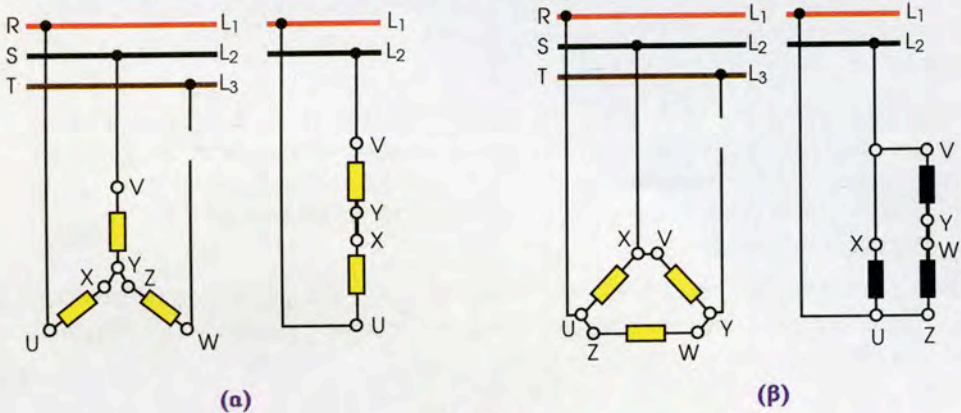
- τους **Ασύγχρονους Μονοφασικούς Κινητήρες** (Α.Μ.Κ.) και
- τους **Μονοφασικούς Κινητήρες (Ε.Ρ.) με συλλέκτη**.

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε τους Α.Μ.Κ., οι οποίοι -σε σχέση με τους Α.Τ.Κ. ίδιας ισχύος και διαστάσεων- έχουν πολλά μειονεκτήματα, όπως π.χ. μικρότερο βαθμό απόδοσης, μεγαλύτερο θόρυβο κ.α. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιούνται πολύ, σε μικρή κυρίως ισχύ. Το **κύριο γνώρισμα** των κινητήρων αυτών είναι ότι, **αν τεθούν σε λειτουργία**, με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου Μαγνητικού Πεδίου (Μ.Π.), τότε θα **συνεχίζουν να περιστρέφονται έστω και αν το τύλιγμά τους** τροφοδοτείται με μονοφασικό ρεύμα, το οποίο **δεν δημιουργεί περιστρεφόμενο Μ.Π.**

Πώς όμως περιστρέφεται ο δρομέας, αφού ένα μόνο τύλιγμα δεν μπορεί να παράγει από μόνο του περιστρεφόμενο Μ.Π. (όπως το τριφασικό τύλιγμα που τροφοδοτείται με Ε.Ρ.); Η απάντηση δίνεται στην παρακάτω παράγραφο.

5.1.2. Αρχή λειτουργίας Α.Μ.Κ. - Στρεφόμενο Μ.Π.

Η αρχή λειτουργίας των Α.Μ.Κ. βασίζεται στη δημιουργία **στρεφόμενου Μ.Π.** από **δύο τυλίγματα**, κατάλληλα μετατοπισμένα μεταξύ τους και διαπιστώθηκε τυχαία, ύστερα από κάποια βλάβη (διακοπή) μιας φάσης κατά τη λειτουργία των Α.Τ.Κ. Πραγματικά, αν σ' έναν Α.Τ.Κ. διακοπεί, όταν είναι, σε λειτουργία, η μια φάση, ο κινητήρας εξακολουθεί να λειτουργεί, φυσικά με μειωμένη ισχύ. **Στην περίπτωση αυτή**, ανεξάρτητα από τη σύνδεση των φάσεων (σχ. 5.2), **ο Α.Τ.Κ. λειτουργεί ουσιαστικά με ένα μονοφασικό τύλιγμα** στο στάτη του. Αν όμως τον σταματήσουμε και θελήσουμε να τον θέσουμε ξανά σε λειτουργία (με τις δύο τους φάσεις σαν μία) θα διαπιστώσουμε ότι δεν ξεκινά. Αυτό οφείλεται στο ότι **με μια ή δύο φάσεις, δεν δημιουργείται στρεφόμενο Μ.Π.**, αλλά απλά εναλλασσόμενο. Ο κινητήρας ξεκινά πάλι, αν με το χέρι μας ή άλλη **ειδική διάταξη**, του δώσουμε μια αρχική ώθηση.

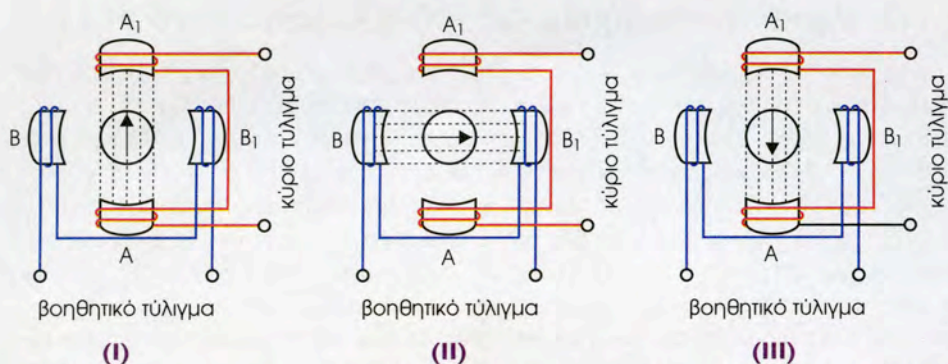


Σχ. 5.2.

Από τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι μπορούμε να έχουμε ασύγχρονο κινητήρα με μονοφασικό τύλιγμα, δηλ. Α.Μ.Κ., αρκεί να δημιουργήσουμε για την εκκίνησή του ένα στρεφόμενο Μ.Π. Αυτό πετυχαίνεται με τη βοήθεια ενός δεύτερου τυλίγματος, το οποίο τοποθετείται στο στάτη του κινητήρα και σε απόσταση μισού πολικού βήματος απ' το κύριο τύλιγμα. Το τύλιγμα αυτό, που λέγεται **βοηθητικό τύλιγμα** (ή βοηθητική φάση), **πρέπει να διαρρέεται από ρεύμα που να έχει μια διαφορετική φάση**, σε σχέση με το ρεύμα που διαρρέει το κύριο τύλιγμα.

➤ Ας δούμε πως δημιουργείται **στρεφόμενο Μ.Π.** απ' τα δύο τυλίγματα που είναι κατάλληλα τοποθετημένα στο στάτη του κινητήρα (σχ. 5.3), όταν το βοηθητικό έχει κατασκευασθεί έτσι, ώστε να παρουσιάζει μεγάλη ωμική αντίσταση. Αν τα ρεύματα που διαρρέουν τα δύο τυλίγματα έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης 90° , τότε:

- Τη χρονική στιγμή, που δείχνει το σχήμα 5.3(I), στο κύριο τύλιγμα η ένταση έχει τη μέγιστη τιμή της, ενώ στο βοηθητικό θα είναι μηδενική. Έτσι το Μ.Π. που δημιουργείται (απ' το κύριο τύλιγμα) έχει κατεύθυνση απ' το Α προς το Α₁.
- Μετά από $1/4$ της περιόδου το ρεύμα στο κύριο τύλιγμα μηδενίζεται, ενώ το ρεύμα στο βοηθητικό τύλιγμα παίρνει τη μέγιστη τιμή του. Τώρα το Μ.Π. που δημιουργείται (απ' το βοηθητικό τύλιγμα), θα κατευθύνεται, όπως δείχνει το σχήμα 5.3(II).
- Μετά από ένα ακόμη τέταρτο της περιόδου το ρεύμα στο κύριο τύλιγμα θα είναι μέγιστο αρνητικό, ενώ στο βοηθητικό τύλιγμα μηδενίζεται. Δηλαδή το Μ.Π. θα κατευθύνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3(III).



Σχ.5.3: Δημιουργία στρεφόμενου Μ.Π. από δύο τυλίγματα (Αρχή λειτουργίας Α.Μ.Κ.).

Αν συνεχίσουμε τη παρακολούθηση αυτή, θα διαπιστώσουμε, ότι σε κάθε πλήρη περίοδο του ρεύματος το Μ.Π. κάνει μια πλήρη περιστροφή, δηλ. είναι ένα **στρεφόμενο Μ.Π.**

Στους περισσότερους Α.Μ.Κ., όπως θα δούμε στη συνέχεια, το βοηθητικό τύλιγμα μετά την εκκίνηση αποσυνδέεται, είτε μ' έναν **φυγοκεντρικό διακόπτη**, σε ορισμένες στροφές, είτε μ' έναν **ηλεκτρονόμο**. Τότε το στρεφόμενο Μ.Π. δημιουργείται πλέον απ' το κύριο τύλιγμα και το ρεύμα που κυκλοφορεί (από επαγωγή) στους αγωγούς του δρομέα του κινητήρα.

🔊 Η ροπή εκκίνησης των Α.Μ.Κ. εξαρτάται από τη διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων των δύο τυλιγμάτων. Όσο πλησιάζει προς τις 90° , τόσο μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης δημιουργείται.

5.1.3. Είδη, γενικά χαρακτηριστικά και χρήσεις Α.Μ.Κ.

Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας της διαφοράς φάσης στο βοηθητικό τύλιγμα, οι Α.Μ.Κ. διακρίνονται βασικά σε:

α. **κινητήρες με αντίσταση,**

β. **κινητήρες με πυκνωτή (ή πυκνωτές) και**

γ. **κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.**

Οι **Α.Μ.Κ. με αντίσταση** έχουν σχετικά μικρή ροπή εκκίνησης και αρκετό θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, αλλά είναι πολύ φθηνοί. Η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα $3/4\text{HP}$ ($1\text{HP}=736\text{W}$) και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλες ροπές εκκίνησης (ή λειτουργούν με θόρυβο), όπως μηχανές γραφείου, ανεμιστήρες, φυσητήρες, φυγοκεντρικές αντλίες, πλυντήρια, ηλεκτροκίνητα εργαλεία, καυστήρες, συμπιεστές κ.α.

Οι **Α.Μ.Κ. με πυκνωτή** κατασκευάζονται για μεγαλύτερες ισχείς (μέχρι $3\text{HP}\approx 2\text{kW}$), είναι όμως πιο ακριβοί απ' τους κινητήρες με αντίσταση και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που είναι απαραίτητη η μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως π.χ. οι αεροσυμπιεστές, οι αντλίες, οι ράμπες συνεργείων αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά ψυγεία, τα κλιματιστικά μηχανήματα και άλλα τμήματα μηχανών και συσκευών που πρέπει να ξεκινούν με φορτίο.

Οι **Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη** έχουν τη μικρότερη ροπή εκκίνησης και το μικρότερο βαθμό απόδοσης απ' όλους τους μονοφασικούς κινητήρες, είναι όμως πολύ φθηνοί και δεν παρουσιάζουν τακτικά βλάβες. Χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές πολύ μικρής ισχύος (π.χ. 30W), όπως ανεμιστήρες, στεγνωτήρες μαλλιών κ.λπ.

5.1.4. Κατασκευή, συνδεσμολογία, τυποποίηση και άλλα χαρακτηριστικά

Α. Κατασκευαστικά στοιχεία

Οι Α.Μ.Κ. έχουν δομέα όμοιο μ' αυτόν των Α.Τ.Κ. που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλ. δομέα με τύλιγμα κλωβού (από αλουμίνιο, για να είναι πιο ελαφρείς και εύχρηστοι), γι' αυτό λέγονται και **Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένο δομέα**. Ο στάτης τους κατασκευάζεται λίγο διαφορετικά και περιλαμβάνει, εκτός από το κύριο και το βοηθητικό τύλιγμα και άλλα εξαρτήματα και στοιχεία, που θα δούμε παρακάτω (για κάθε είδος Α.Μ.Κ. ξεχωριστά).

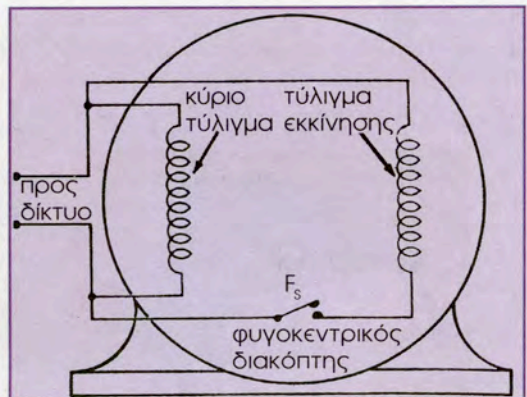
Στους Α.Μ.Κ. με αντίσταση (σχ. 5.4) το βοηθητικό τύλιγμα κατασκευάζεται με αγωγό μικρής διατομής και με πολλές σπείρες έτσι, ώστε να παρουσιάζει αυξημένη ωμική αντίσταση. Σε πολλούς τύπους τέτοιων κινητήρων, σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα συνδέεται και μια ωμική αντίσταση (αντιστάτης R).

Όταν ο κινητήρας προσεγγίζει την ταχύτητα λειτουργίας (πρακτικά όταν αποκτήσει το 80% των κανονικών του στροφών) ο **φυγοκεντρικός διακόπτης F_s** , που είναι στερεωμένος στον άξονα του δομέα, **θέτει εκτός κυκλώματος το βοηθητικό τύλιγμα**.

🔧 Ο φυγοκεντρικός διακόπτης είναι ένα ειδικό εξάρτημα, που η λειτουργία του εξαρτάται απ' τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπτύσσεται κατά τη περιστροφή του δομέα του κινητήρα.



(α)

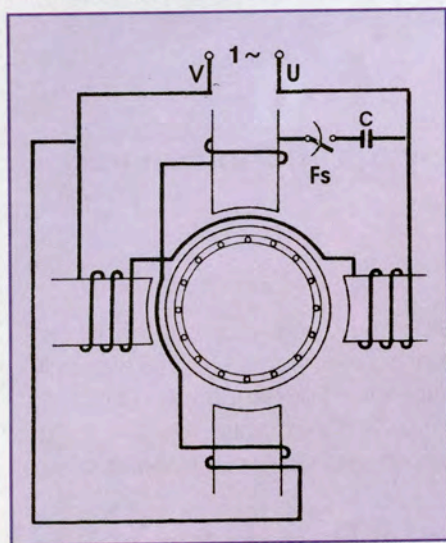


(β)

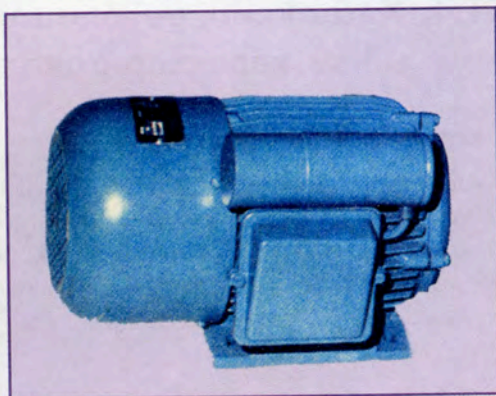
Σχ. 5.4: Πραγματική μορφή (α) και σύνδεση των τυλιγμάτων (β) Α.Μ.Κ. με αντίσταση.

Στους Α.Μ.Κ. με πυκνωτή (σχ. 5.5α) σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα και το φυγοκεντρικό διακόπτη **συνδέεται ένας πυκνωτής**, που συνήθως βρίσκεται στο πάνω μέρος

του κινητήρα (σχ. 5.5β). Σ' αυτούς τα **δύο τυλίγματα** είναι ρυθμισμένα έτσι, ώστε να **παρουσιάζουν διαφορά φάσης ακριβώς 90°**, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης.



(α)

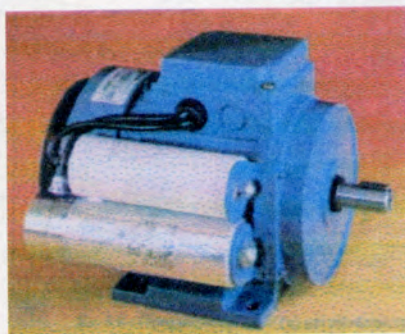


(β)

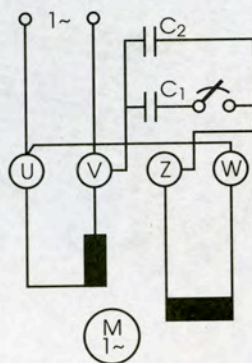
Σχ. 5.5: Α.Μ.Κ. με πυκνωτή εκκίνησης.

Με τη κατάλληλη επιλογή του πυκνωτή, που συνήθως είναι **ξηρός ηλεκτρολυτικός**, αυξάνει τόσο η ροπή εκκίνησης όσο και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα. Αν σε κάποια εφαρμογή απαιτείται η μεγαλύτερη δυνατή ροπή εκκίνησης και καλύτερες συνθήκες λειτουργίας, το βοηθητικό τύλιγμα μπορεί να περιλαμβάνει **δύο πυκνωτές: τον πυκνωτή εκκίνησης (C_1) και τον πυκνωτή λειτουργίας (C_2)**, που συνδέονται παράλληλα (σχ. 5.6β).

✎ Στους κινητήρες πολύ καλής ποιότητας χρησιμοποιούνται πυκνωτές χαρτιού, αν και κοστίζουν περισσότερο, γιατί, αν π.χ. ο πυκνωτής εκκίνησης είναι ηλεκτρολυτικός και δεν ανοίξει ο φυγοκεντρικός διακόπτης, δεν θα αντέξει τη συνεχή λειτουργία και θα καταστραφεί.



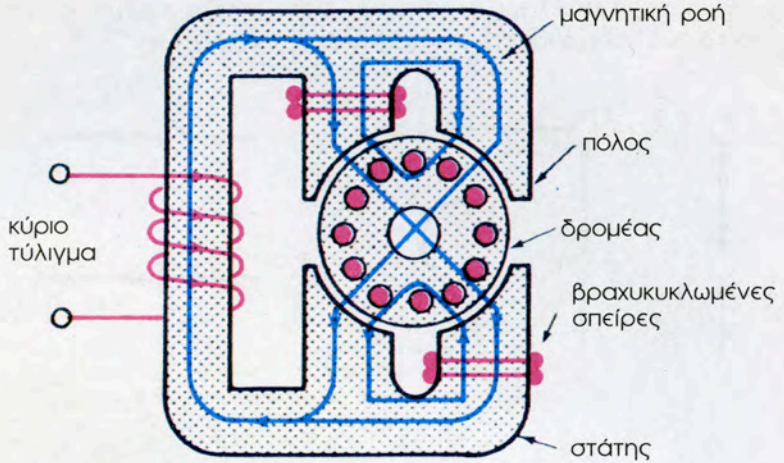
(α)



(β)

Σχ. 5.6: Πραγματική μορφή (α) και σύνδεση τυλιγμάτων (β) σε Α.Μ.Κ. με δύο πυκνωτές.

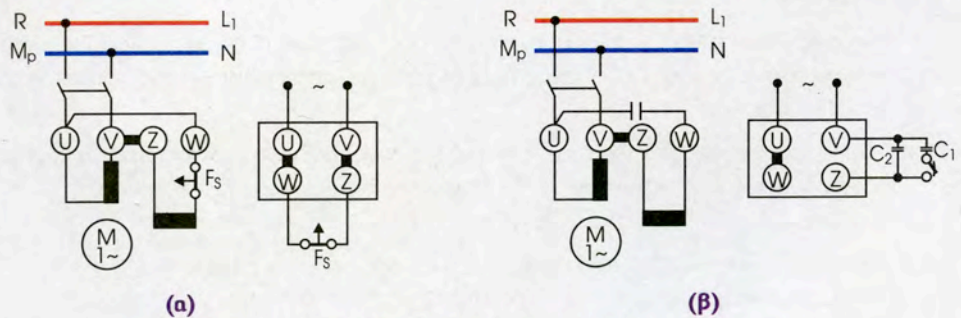
Στους Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη, η εκκίνηση, δηλ. το στρεφόμενο Μ.Π., πετυχαίνεται με τη βοήθεια δύο (2) ή τριών (3) βραχυκυκλωμένων σπειρών που τοποθετούνται εναλλάξ στα απέναντι τμήματα δύο μαγνητικών πόλων που χωρίζονται σε δύο σκέλη (σχ. 5.7). Όπως είπαμε και στην αρχή, οι κινητήρες αυτοί έχουν πολύ κακό βαθμό απόδοσης. Σε μικρές όμως συσκευές, που δεν ενδιαφέρει πολύ η απόδοση, αποτελούν την πιο φθηνή λύση.



Σχ. 5.7: Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Β. Συνδεσμολογίες και τυποποίηση ακροδεκτών

Οι συνδεσμολογίες των κυριότερων Α.Μ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 5.8, ενώ στον πίνακα 5.1, δίνονται οι συμβολισμοί των ακροδεκτών τους.



Σχ. 5.8: Συνδεσμολογίες Α.Μ.Κ.

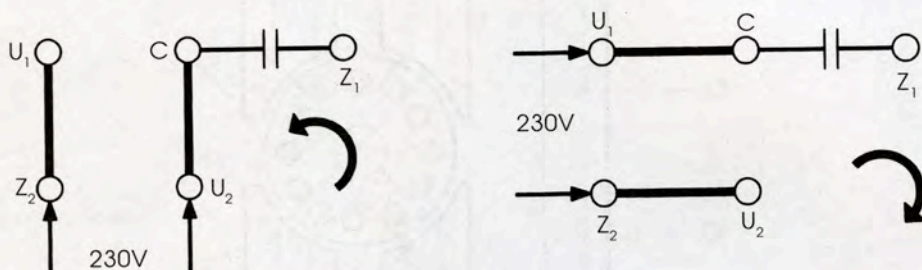
Πίνακας 5.1.

	Γερμανικοί V.D.E.	Αγγλικοί B.S.	Αμερικανοί A.S.S.
Κύριο τύλιγμα:	U-V	U_1-U_2	T_1-T_2
Βοηθητικό τύλιγμα:	W-Z	Z_1-Z_2	T_2-T_4

Γ. Άλλα χαρακτηριστικά

➤ Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους Α.Μ.Κ. γίνεται πολύ εύκολα, με την **αντιμετάθεση των συνδέσεων** των δύο άκρων του βοηθητικού τυλίγματος ως προς το κύριο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.9, για Α.Μ.Κ. με πυκνωτή.

Εξάιρεση αποτελεί ο κινητήρας με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη, στον οποίο, αν θέλουμε συχνή αλλαγή, θα πρέπει να υπάρχουν από κατασκευής δύο βοηθητικά τυλίγματα βραχυκυκλωμένων σπειρών, ώστε βραχυκυκλώνοντας επιλεκτικά το ένα από τα δύο να έχουμε την επιθυμητή φορά περιστροφής.



Σχ. 5.9: Αλλαγή φοράς περιστροφής σε Α.Μ.Κ. με πυκνωτή.

➤ Η ρύθμιση των στροφών των Α.Μ.Κ. μπορεί να γίνει μ' έναν απ' τους τρόπους που γίνεται και στους Α.Τ.Κ., δηλ. με μεταβολή:

- α) της **συχνότητας του δικτύου ηλεκτροδότησης**,
- β) του **αριθμού των πόλων** και
- γ) της **τάσης τροφοδοσίας**.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι με **ρύθμιση της τάσης** εισόδου, που πετυχαίνεται με έναν **αυτομετασχηματιστή**, ή με μια **αντίσταση** σε σειρά, ή με ένα ειδικό **ηλεκτρονικό κύκλωμα**.

➤ Η πέδηση των Α.Μ.Κ. γίνεται μ' έναν απ' τους τρόπους πέδησης των Α.Τ.Κ., όπως π.χ. με ηλεκτρομαγνητική πέδη, αναστρέφοντας τη φορά περιστροφής του στρεφόμενου Μ.Π.

☞ Συμπερασματικά, αναφέρουμε, ότι οι Α.Μ.Κ. ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εκκίνησης και λειτουργίας κάθε τύπου, κατατάσσονται από τον καλύτερο προς το χειρότερο, ως εξής:

1. Κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης και πυκνωτή λειτουργίας
2. Κινητήρες με μόνιμο πυκνωτή (εκκίνησης και λειτουργίας)
3. Κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης
4. Κινητήρες με αντίσταση
5. Κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη

Φυσικά ο καλύτερος κινητήρας είναι και ο πιο ακριβός, ενώ ο χειρότερος είναι ο πιο φθηνός. Έτσι για οποιοδήποτε εφαρμογή επιλέγουμε το φθηνότερο διαθέσιμο κινητήρα που μπορεί να πραγματοποιήσει τη συγκεκριμένη εργασία.

Στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί, φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά Α.Μ.Κ. με πυκνωτή και η τάση λειτουργίας τους, που εξαρτάται βασικά από την τυποποιημένη

τιμή της τάσης του δικτύου για το οποίο προορίζονται.

(Στην πράξη κατασκευάζονται για 100V, 115V, 200V, 220V, 230V και 240V).

Πίνακας 5.2.

Α.Μ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα Χ.Τ. με πυκνωτή λειτουργίας (-Ο), με πυκνωτή εκκίνησης (-S) και με πυκνωτή εκκίνησης και λειτουργίας (-SO).

Διπολικοί										3000 RPM - 50 HZ			
Μ Ε Υ Ε Θ Ο Σ	Τύπος	Ισχύς		Ρεύμα για 220V A	στροφ. min RPM	Βαθμ. αποδ. %	cosφ	Πυκνωτής		Χαρακτηριστικά εκκίνησης			Βά- ρος kg
								Εκκίνησης	Λειτουργ.	I_s/I_N	M_s/M_N	M_{max}/M_N	
		HP	kW					μF/V	μF/V				
56	MK0,08/2-Ο	0,08	0,06	0,65	2850	44	0,95	-	4/500	3,5	0,3	1,65	2,7
56	MK0,12/2-Ο	0,12	0,09	0,81	2850	56	0,90	-	4/500	3,6	0,3	1,65	2,9
63	MK0,16/2-Ο	0,16	0,12	0,99	2800	58	0,95	-	6/500	4,0	0,3	1,8	3,5
63	MK0,25/2-Ο	0,25	0,18	1,37	2850	63	0,95	-	10/500	3,5	0,3	1,8	3,9
71	MK0,34/2-Ο	0,34	0,25	1,86	2850	68	0,90	-	16/500	3,5	0,3	2,0	5,0
71	MK0,50/2-Ο	0,50	0,37	2,56	2860	69	0,95	-	20/500	4,2	0,3	2,0	6,1
71	MK0,25/2-S	0,25	0,18	1,85	2860	55	0,80	50-60/280	-	5,0	2,2	2,2	9
71	MK0,37/2-S	0,37	0,25	2,5	2890	61	0,75	80-100/280	-	6,0	3,0	2,4	11
80	MK0,50/2-S	0,50	0,37	3,7	2880	59	0,76	80-100/280	-	5,0	2,5	2,0	11
80	MK0,75/2-S	0,75	0,55	4,9	2880	64	0,73	80-100/280	-	5,2	2,0	2,2	13
90L	MK1/2-S	1	0,75	6,0	2880	68	0,84	125-156/280	-	5,5	2,6	1,9	14
90L	MK1,5/2-S	1,5	1,1	8,8	2890	67	0,85	125-156/280	-	5,6	2,0	2,0	16
90L	MK2/2-S	2	1,5	11,3	2900	70	0,86	125-156/280	-	6,0	2,0	2,1	16
90L	MK2/2-SO	2	1,5	10	2890	72	0,98	125-156/280	20/450	5,5	1,7	1,8	21
90L	MK3/2-SO	3	2,2	13,5	2880	74	0,98	125-156/280	32/450	5,5	1,7	1,8	22

Τετραπολικοί										1500 RPM - 50 HZ			
Μ Ε Υ Ε Θ Ο Σ	Τύπος	Ισχύς		Ρεύμα για 220V A	στροφ. min RPM	Βαθμ. αποδ. %	cosφ	Πυκνωτής		Χαρακτηριστικά εκκίνησης			Βά- ρος kg
								Εκκίνησης	Λειτουργ.	I_s/I_N	M_s/M_N	M_{max}/M_N	
		HP	kW					μF/V	μF/V				
56	MK0,05/4-Ο	0,05	0,04	0,53	1380	40	0,85	-	2/500	3,0	0,3	1,65	2,5
56	MK0,08/4-Ο	0,08	0,06	0,69	1380	45	0,88	-	2,5/500	3,0	0,3	1,65	2,8
63	MK0,12/4-Ο	0,12	0,09	0,86	1400	54	0,88	-	4/500	3,5	0,3	1,65	3,7
63	MK0,16/4-Ο	0,16	0,12	1,05	1400	58	0,90	-	5/500	3,5	0,3	1,65	4,1
71	MK0,25/4-Ο	0,25	0,18	2,18	1400	58	0,93	-	8/500	3,5	0,3	1,65	5,4
71	MK0,34/4-Ο	0,34	0,25	2,18	1400	58	0,90	-	10/500	3,5	0,3	1,65	6,4
71	MK0,25/4-S	0,25	0,18	2,2	1430	54	0,70	80-100/280	-	6,0	2,5	1,9	11
80	MK0,37/4-S	0,37	0,25	3,0	1420	56	0,71	80-100/280	-	5,2	2,5	1,9	11
80	MK0,50/4-S	0,50	0,37	4,5	1430	57	0,68	80-100/280	-	4,6	2,5	1,9	12
90L	MK0,75/4-S	0,75	0,55	5,7	1440	63	0,71	125-156/280	-	4,0	2,1	2,0	14
90L	MK1/4-S	1	0,75	7,1	1440	64	0,76	125-156/280	-	4,5	2,2	1,9	16
90L	MK1,5/4-SO	1,5	1,1	7,6	1430	71	0,92	125-156/280	20/450	5,2	1,6	1,8	16
90L	MK2/4-SO	2	1,5	9,4	1430	75	0,96	125-156/280	32/450	5,4	1,6	1,8	23

I_s =ρεύμα εκκίνησης

M_s =ροπή εκκίνησης

M_{max} =μέγιστη ροπή

I_N =ρεύμα σε ονομαστικό φορτίο M_N =ροπή σε ονομαστικό φορτίο

5.1.5. Ερωτήσεις

1. Τι θα συμβεί αν κατά τη λειτουργία Α.Τ.Κ. διακοπεί η μια φάση του;
2. Τι ονομάζουμε Α.Μ.Κ.; Ποιά η αρχή λειτουργίας τους;
3. Ποια τα κυριότερα είδη των Α.Μ.Κ.;
Πού χρησιμοποιείται το κάθε είδος;
4. Ποια τα κυριότερα μέρη και εξαρτήματα των Α.Μ.Κ.;
5. Πώς συνδεσμολογούνται οι Α.Μ.Κ.; (να γίνουν και συνδεσμολογίες).
6. Με ποιους τρόπους ρυθμίζονται οι στροφές των Α.Μ.Κ. και πώς γίνεται η πέδησή τους;
7. Ποιες οι τυπικές τάσεις λειτουργίας των Α.Μ.Κ.;
8. Ποιος Α.Μ.Κ. είναι καλύτερος και γιατί;

➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

9. Η αρχή λειτουργίας των Α.Μ.Κ. βασίζεται στο φαινόμενο της δημιουργίας:
α. αντίστασης. γ. στρεφόμενου Μ.Π.
β. χωρητικότητας. δ. φυγόκεντρης δύναμης.
10. Οι Α.Μ.Κ. ανάλογα με τη διάταξη που προκαλεί το στρεφόμενο Μ.Π. διακρίνονται σε:
α. Α.Μ.Κ. με αντίσταση. γ. Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες.
β. Α.Μ.Κ. με πυκνωτή. δ. όλα τα παραπάνω είδη.
11. Το ειδικό εξάρτημα, με το οποίο το βοηθητικό τύλιγμα των Α.Μ.Κ. (με αντίσταση ή πυκνωτή), βγαίνει "εκτός λειτουργίας", ονομάζεται:
α. φυγοκεντρικός ηλεκτρονόμος. γ. πυκνωτής εκκίνησης.
β. φυγοκεντρικός διακόπτης. δ. πυκνωτής λειτουργίας.
12. Οι στροφές των Α.Μ.Κ. μπορούν να ρυθμιστούν γενικά με μεταβολή:
α. της συχνότητας τροφοδοσίας. γ. του αριθμού των πόλων.
β. της τάσης τροφοδοσίας. δ. όλων των παραπάνω μεγεθών.
13. Ο καλύτερος Α.Μ.Κ., δηλ. αυτός με τα καλύτερα χαρακτηριστικά, είναι:
α. ο κινητήρας με αντίσταση.
β. ο κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης.
γ. ο κινητήρας με μόνιμο πυκνωτή.
δ. ο κινητήρας με δύο πυκνωτές (C_1 και C_2).
ε. ο κινητήρας με βραχυκυκλωμένες σπείρες.

Ενότητα 5.2.

Μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη

Διδακτικοί στόχοι

➡ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής, θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των κινητήρων με συλλέκτη.
2. Να απαριθμείτε τα μέρη απ' τα οποία αποτελούνται οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη.
3. Να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών και τη συνδεσμολογία τους.
4. Να αιτιολογείτε και να αντιλαμβάνεστε την τάση λειτουργίας τους.
5. Να περιγράφετε τους τρόπους ρύθμισης των στροφών τους.
6. Να αναφέρετε τους τρόπους πέδησης κινητήρων με συλλέκτη.

5.2.1. Γενικά

Οι κινητήρες που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Α.Τ.Κ.), αλλά και οι κινητήρες της προηγούμενης ενότητας (Α.Μ.Κ.), είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κυρίως στην πράξη. Έχουν, όμως, ένα σημαντικό μειονέκτημα: **δεν επιτρέπουν γενικά λεπτομερή ρύθμιση των στροφών τους** (όπως π.χ. οι κινητήρες Σ.Ρ. με διέγερση σειράς) με αποτέλεσμα να αποκλείονται από τέτοιες ειδικές εφαρμογές. Το κενό αυτό καλύπτουν οι **κινητήρες Ε.Ρ. με συλλέκτη**, που είναι βασικά προέκταση των κινητήρων Σ.Ρ. με διέγερση σειράς.

✎ Τι θα συμβεί, όμως, αν ένας κινητήρας Σ.Ρ. με διέγερση σειράς, τροφοδοτηθεί με μονοφασικό Ε.Ρ.;

Όπως γνωρίζουμε, για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής, σ' ένα κινητήρα Σ.Ρ., αρκεί να αλλάξουμε μόνο τη φορά του ρεύματος στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου ή μόνο την πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Άρα, αν ένας κινητήρας Σ.Ρ. σειράς τροφοδοτηθεί με μονοφασικό Ε.Ρ., η διεύθυνση του ρεύματος σε κάθε ημιπερίοδο θα αλλάζει ταυτόχρονα τόσο στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, όσο και στο τύλιγμα διέγερσης. Έτσι, ο κινητήρας θα περιστρέφεται πάντα κατά την ίδια φορά, δηλ. θα λειτουργεί σχεδόν κανονικά. Λέμε σχεδόν κανονικά, γιατί, στην περίπτωση αυτή, δημιουργούνται κάποια προβλήματα, όπως:

- **υπερθέρμανση των πυρήνων των πόλων** (λόγω των διανορθωμάτων, που αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της συχνότητας και τον όγκο του υλικού),
- **μεγάλοι σπινθηρισμοί στο συλλέκτη** (γιατί οι βραχυκυκλωμένες σπείρες αποτε-

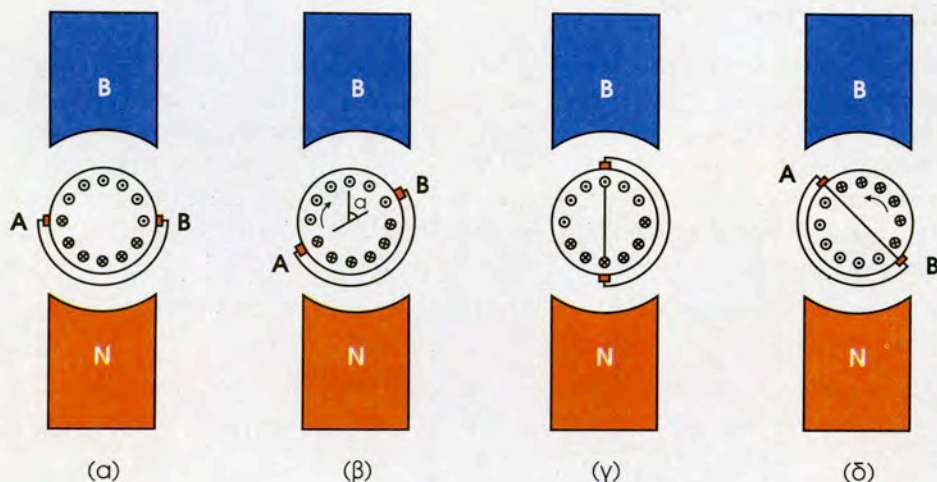
λούν ένα δευτερεύον κύκλωμα, που δημιουργεί επαγωγικά ρεύματα),
- **μείωση του συντελεστή ισχύος** συνφ ($\cos\phi$), μεγαλύτερος **θόρυβος** κ.α.

Για την καλή λειτουργία των κινητήρων Σ.Ρ. με διέγερση σειράς, στο μονοφασικό Ε.Ρ., οι κατασκευαστές έκαναν σταδιακά και τις αναγκαίες τροποποιήσεις, ώστε οι κινητήρες αυτοί να λειτουργούν σήμερα με πάρα πολύ καλά αποτελέσματα.

5.2.2. Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη είναι βασικά ίδια μ' αυτή των κινητήρων Σ.Ρ., δηλ. βασίζεται στις **δυνάμεις Laplace** που αναπτύσσονται από επαγωγή στο δρομέα τους. Αρκεί να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα που αναφέραμε παραπάνω, γιατί αλλιώς ο κινητήρας απορροφά μικρότερο ρεύμα, έχει λιγότερες στροφές και αναπτύσσει μικρότερη ροπή.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών και την αποτελεσματική λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη, εκτός από την καλύτερη κατασκευή των μερών τους (με καταλληλότερα σιδηροελάσματα), χρησιμοποιούνται και επιπλέον εξαρτήματα, όπως π.χ. **μηχανισμός μετάθεσης ψήκτρων**. Στην περίπτωση αυτή ο συλλέκτης είναι ειδικής κατασκευής και οι **ψήκτρες** είναι **βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους**, ώστε να μπορούν να μετακινούνται ταυτόχρονα. Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου κινητήρα, που η ταχύτητά του μπορεί να μεταβληθεί σε πολύ μεγάλα όρια, περιγράφεται με τη βοήθεια του σχήματος 5.10.



Σχ. 5.10: Αρχή λειτουργίας κινητήρα με μηχανισμό μετάθεσης ψήκτρων.

Όταν τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτηθούν με μονοφασικό Ε.Ρ., στα τυλίγματα του δρομέα επάγονται ρεύματα με φορά τέτοια, ώστε απέναντι απ' το βόρειο πόλο του στάτη να δημιουργείται βόρειος πόλος στο δρομέα.

- Στη **θέση α**, όπου οι ψήκτρες βρίσκονται στην ουδέτερη ζώνη, το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου δεν διαρρέεται από ρεύμα, γιατί στους μισούς αγωγούς επάγεται Η.Ε.Δ. αντίθετη απ' ότι στους άλλους μισούς και, λόγω της βραχυκύκλωσης,

αλληλοεξουδετερώνονται. Το μοναδικό Μ.Π. είναι τότε αυτό του στάτη, που από μόνο του δεν μπορεί να μας δώσει κίνηση.

- Μετατοπίζοντας τις ψήκτρες στη **θέση β**, στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου δημιουργείται ένα ρεύμα και ασκείται μια δύναμη μεταξύ του Μ.Π. των πόλων και του δρομέα, τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους **γωνία α**. **Η δύναμη αυτή μένει πάντα με την ίδια φορά**, γιατί σε κάθε εναλλαγή του ρεύματος του στάτη αλλάζει φορά και το επαγωγικό ρεύμα του δρομέα.

- Στη **θέση γ** έχουμε το μέγιστο ρεύμα του επαγωγίμου, αλλά δεν δημιουργείται ροπή στρέψης γιατί τα Μ.Π. του στάτη και του δρομέα είναι αντίθετα. Η θέση αυτή λέγεται **θέση βραχυκύκλωσης**.

Η φορά εκκίνησης του κινητήρα εξαρτάται από τη φορά της αρχικής μετατόπισης των ψηκτρών ως προς τον άξονα των πόλων.

Αντίθετες μετατοπίσεις δίνουν αντίθετες φορές εκκίνησης (θέσεις β και δ).

 Η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων αυτών μπορεί να μεταβληθεί σε πολύ μεγάλα όρια, δηλ. ουσιαστικά από μηδέν στροφές μέχρι τις μέγιστες που παρουσιάζονται κοντά στη θέση βραχυκύκλωσης, όπου έχουμε και τη μέγιστη ροπή στρέψης.

5.2.3. Είδη, γενικά χαρακτηριστικά και χρήσεις

Οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη διακρίνονται βασικά σε:

- α. κινητήρες Σειράς,
- β. κινητήρες Πουνιβέρσαλ (Universal) και
- γ. κινητήρες Αντίδρασης.

Οι **μονοφασικοί κινητήρες σειράς** κατασκευάζονται για μεγάλες σχετικά ισχύεις και τάσεις, έχουν καλή προσαρμογή στις μεταβολές του φορτίου και λειτουργούν συνήθως με μικρότερες συχνότητες. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση ηλεκτρικών οχημάτων και βαρούλκων, στα ανυψωτικά μηχανήματα κ.λπ.

Η **χρήση τους** (στην ηλ. έλξη κυρίως) **με μειωμένη συχνότητα**, όπως π.χ. 16 2/3Hz στην Ευρώπη και 25Hz στην Αμερική, **οφείλεται κυρίως στο γεγονός, ότι στην εκκίνηση ή σε χαμηλές στροφές λειτουργούν με πολύ καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης**.

Οι **κινητήρες Universal**, που είναι παραλλαγή των κινητήρων σειράς, κατασκευάζονται για ισχύεις μέχρι 1/2kW και λειτουργούν το ίδιο καλά τόσο στο Ε.Ρ., όσο και στο Σ.Ρ. (στο οποίο έχουν ταχύτητα κατά 15% μεγαλύτερη). Έχουν πολύ μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (από 3.000 ως 8.000σπρ/min) και δίνουν μεγάλη ροπή, γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου το μικρό βάρος και η μεγάλη ροπή είναι απαραίτητα, όπως π.χ. οι ηλεκτρικές σκούπες, τα ηλεκτρικά τρυπάνια, τα δισκοπρίονα, οι μηχανές προβολείς, οι ραπτομηχανές κ.α. Χρησιμοποιούνται, επίσης στη βιομηχανία και την υφαντουργία.

Οι **κινητήρες αντίδρασης** κατασκευάζονται για ισχύεις από 1/2 μέχρι και 15HP, σε διάφορες παραλλαγές και τύπους (που θα δούμε παρακάτω). Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η μεγάλη δυνατότητα ρύθμισης στροφών. Έχουν όμως και πολλά μειονεκτήματα, όπως μεγάλο θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, συχνή ανάγκη συντήρησης

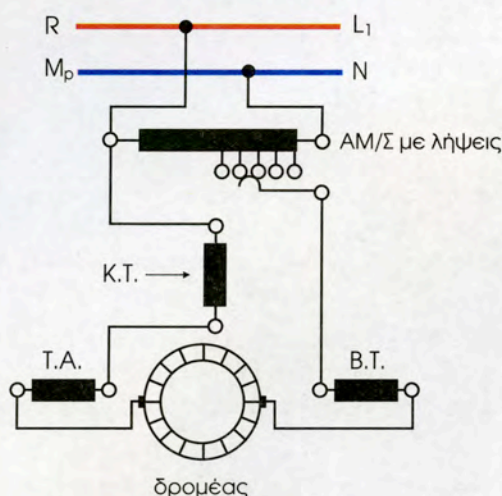
και μεγάλη εξάρτηση των στροφών απ' το φορτίο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε περιορισμένες εφαρμογές, όπως π.χ. τα μηχανικά εργαλεία, οι αεροσυμπιεστές, οι αντλίες βενζίνης και βαθένων φρεάτων και οι εργαλειομηχανές.

5.2.4. Κατασκευή, συνδεσμολογία, τυποποίηση και άλλα χαρακτηριστικά

A. Κατασκευαστικά στοιχεία

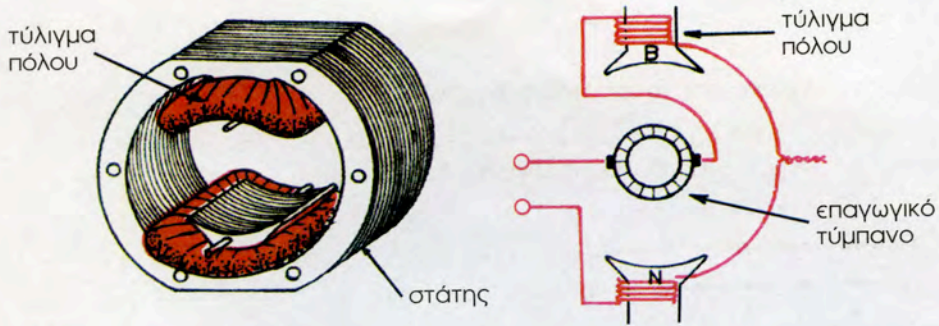
Οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς διαφέρουν κατασκευαστικά από έναν κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς, μόνο ως προς την κατασκευή του στάτη. Σ' αυτούς ο στάτης δεν έχει μαγνητικούς πόλους, όπως οι μηχανές Σ.Ρ., αλλά μονοφασικό τύλιγμα τοποθετημένο στις οδοντώσεις, όπως οι Α.Μ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα. Εκτός από το **κύριο μονοφασικό τύλιγμα** υπάρχουν συνήθως τοποθετημένα στο στάτη και άλλα δύο τυλίγματα: το **βοηθητικό τύλιγμα (Β.Τ.)** και το **τύλιγμα αντιστάθμισης (Τ.Α.)**, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά με το κύριο τύλιγμα και το επαγωγικό τύμπανο του δρομέα και που χρησιμεύουν για την ελάττωση των σπινθηρισμών στις ψήκτρες.

Η ομαλή εκκίνησή τους γίνεται συνήθως μ' έναν αυτομετασχηματιστή (σχ. 5.11).



Σχ. 5.11: Μονοφασικός κινητήρας σειράς με ΑΜ/Σ.

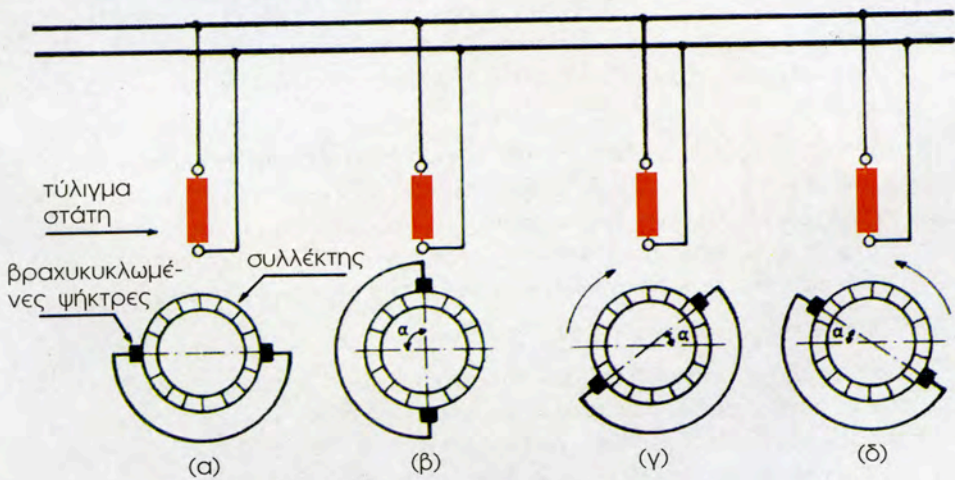
Οι κινητήρες Universal, όπως είπαμε και παραπάνω, είναι μικροί μονοφασικοί κινητήρες σειράς, που κατασκευάζονται με μαγνητικούς πόλους που προεξέχουν, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 5.12.



Σχ. 5.12: Κινητήρας Γιουνιβέρσαλ (Universal).

Ο κινητήρας αντίδρασης αποτελείται από ένα στάτη όμοιο μ' αυτόν των Α.Μ.Κ. και από ένα δρομέα ίδιο μ' αυτόν των κινητήρων Σ.Ρ. με συλλέκτη ειδικής κατασκευής και ψήκτρες βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους (σχ. 5.13).

Οι βραχυκυκλωμένες ψήκτρες είναι στερεωμένες πάνω σε ειδικό μηχανισμό, που μας επιτρέπει με τη βοήθεια ενός χειροστροφάλου να τις μεταθέσουμε, ώστε να έχουμε τη λειτουργία που αναφέραμε στην παράγραφο 5.2.2 δηλ., δεξιόστροφη και αριστερόστροφη με μεταβολή της ταχύτητας, ανάλογα με τη γωνία α (σχ. 5.13γ και δ).



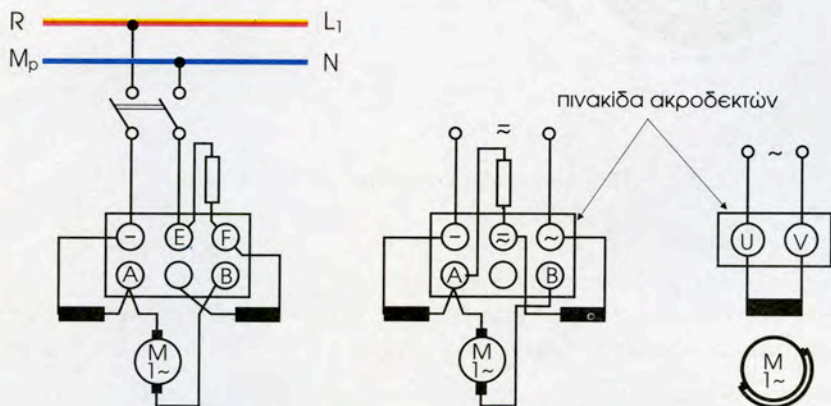
Σχ. 5.13: Κινητήρας αντίδρασης.

Σ' άλλους τύπους κινητήρων αντίδρασης έχουμε και σύστημα ανύψωσης ψηκτρών, ώστε μόλις ο κινητήρας φθάσει στο 80% των στροφών του, ένας φυγοκεντρικός μηχανισμός που υπάρχει στο δρομέα, μετακινεί ένα δακτυλίδι που βραχυκυκλώνει τους τομείς του συλλέκτη και ταυτόχρονα απομακρύνει τις ψήκτρες για να μην φθειρόνται. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάζονται και επαγωγικοί κινητήρες αντί-

δρασης με επιπλέον (ανεξάρτητο) τύλιγμα κλωβού στο δρομέα, ή με τύλιγμα αντι-στάθμισης στο στάτη.

Β. Συνδεσμολογίες και τυποποίηση ακροδεκτών

Στο παρακάτω σχήμα 5.14 φαίνονται οι συνδεσμολογίες των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη και οι συμβολισμοί των ακροδεκτών τους.



Σχ. 5.14: Συνδεσμολογίες Α.Μ.Κ. με συλλέκτη.

Γ. Άλλα χαρακτηριστικά

➤ Στους κινητήρες σειράς η ρύθμιση των στροφών πετυχαίνεται με μεταβολή της τάσης εισόδου (όπως και στους κινητήρες Σ.Ρ. σειράς) που γίνεται, ανάλογα και με τον τρόπο εκκίνησης, μέσω ρυθμιζόμενου Μ/Σ, ρυθμιστικών αντιστάσεων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Ο κινητήρας σειράς έχει τη δυνατότητα ωφέλιμης **ηλεκτρικής πέδησης**, δηλ. λειτουργία της μηχανής σαν γεννήτρια που αποδίδει ηλ. ενέργεια στο δίκτυο. Επειδή όμως το δίκτυο έχει σταθερή συχνότητα και το παραγόμενο ρεύμα είναι συνεχές, αυτό γίνεται πολύ δύσκολα πρακτικά. Έτσι, όταν η μηχανή λειτουργεί σαν γεννήτρια κλείνει κύκλωμα με αντιστάσεις, όπου καταναλώνεται η ενέργεια πέδησης.

(Ωφέλιμη πέδηση γίνεται μόνο με ειδικές διατάξεις).

➤ Στους κινητήρες Universal, όπου απαιτείται σταθερός αριθμός στροφών, χρησιμοποιούνται **φυγοκεντρικοί ρυθμιστές** ή **φυγοκεντρική πέδη**. Έτσι προστατεύεται και ο κινητήρας από έλλειψη φορτίου. (Αν οι κινητήρες σειράς μείνουν χωρίς φορτίο, αποκτούν πολλές στροφές με άμεσο κίνδυνο καταστροφής τους).

➤ Στους κινητήρες αντίδρασης, τόσο η αλλαγή φοράς περιστροφής, όσο και η πέδηση και ρύθμιση των στροφών (από μηδέν μέχρι και τη μέγιστη ταχύτητα) γίνεται εύκολα με τη βοήθεια του χειροστρόφαλου, στο οποίο καταλήγει ο μηχανισμός μετάθεσης των ψηκτρών.

🔧 Οι κινητήρες σειράς κατασκευάζονται για τάσεις μέχρι και 800V, ενώ οι κινητήρες Universal και οι κινητήρες αντίδρασης, για μικρότερες, προσαρμοσμένες στις τυποποιημένες τιμές του δικτύου Χ.Τ.

5.2.5. Ερωτήσεις

1. Τι θα συμβεί, αν συνδέσουμε ένα κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς στο Ε.Ρ.;
2. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη;
3. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των κινητήρων με μηχανισμό μετάθεσης των ψηκτρών;
4. Ποια είναι τα κυριότερα είδη των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη;
5. Πώς συνδέονται οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη στο δίκτυο;
Πώς συμβολίζονται οι ακροδέκτες τους;
6. Με ποιους τρόπους ρυθμίζονται οι στροφές των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη και πώς πετυχαίνεται η πέδησή τους;
Για ποιες τάσεις κατασκευάζονται;

➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

7. Αν ένας κινητήρας Σ.Ρ. σειράς τροφοδοτηθεί με Ε.Ρ., τότε θα:
 - α. υπερθερμαίνονται οι πυρήνες των πόλων του.
 - β. έχουμε μεγάλους σπινθηρισμούς στο συλλέκτη.
 - γ. έχει μειωμένο συντελεστή ισχύος και μεγάλο θόρυβο.
 - δ. παρουσιάζει όλα τα παραπάνω προβλήματα.
 - ε. καταστραφεί, γιατί δεν θα μπορεί να κινηθεί.
8. Οι κινητήρες Ε.Ρ. με συλλέκτη, στους οποίους η αρχή λειτουργίας, η αλλαγή φοράς περιστροφής και η απεριόριστη ρύθμιση των στροφών τους γίνεται μ' ένα μηχανισμό μετάθεσης των ψηκτρών, ονομάζονται:
 - α. κινητήρες αντίδρασης.
 - β. κινητήρες Universal.
 - γ. φυγοκεντρικοί κινητήρες.
 - δ. κινητήρες με αντίσταση.
9. Οι στροφές των μονοφασικών κινητήρων συλλέκτη σειράς, ρυθμίζονται με:
 - α. τον εκκινητή (ρυθμ. αντίσταση).
 - β. τον αυτομετασχηματιστή (αν έχει).
 - γ. ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα.
 - δ. όλους τους πιο πάνω τρόπους.
10. Οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη που κατασκευάζονται στην πράξη είναι:
 - α. κινητήρες σειράς.
 - β. κινητήρες Universal.
 - γ. κινητήρες αντίδρασης.
 - δ. όλων των παραπάνω ειδών.