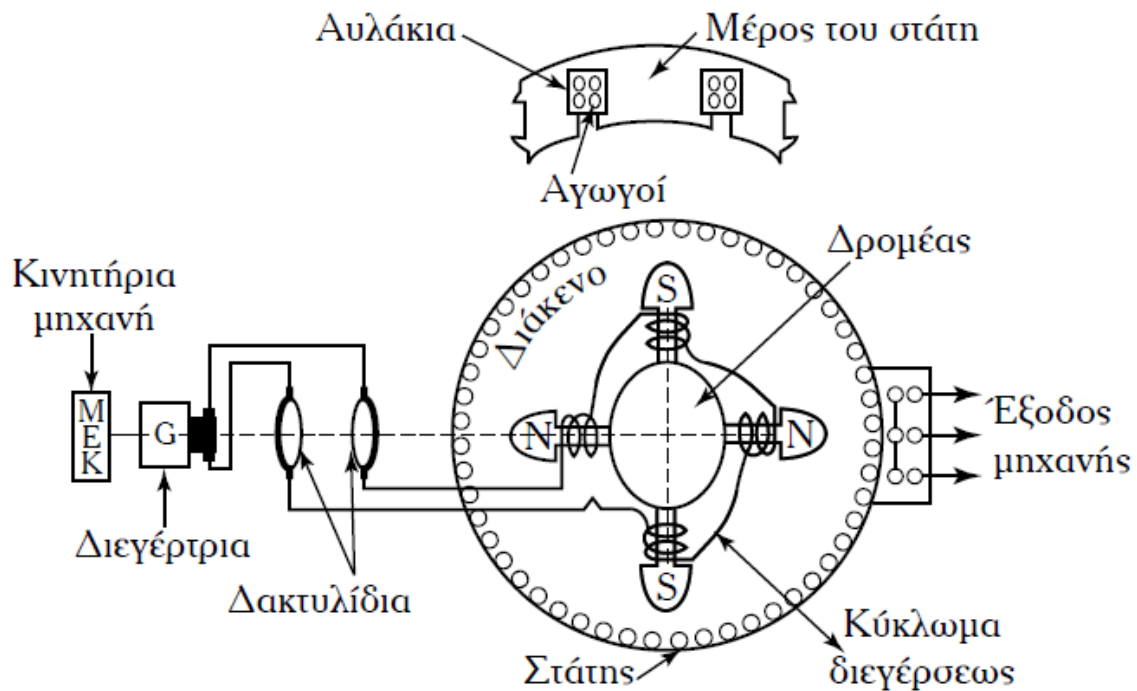


3.9. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (SYNCHROUSMACHINES)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Ηλεκτρομηχανική μετατροπή ενέργειας έχουμε όταν η πεπλεγμένη μαγνητική ροή συνδέεται με μηχανική κίνηση. Τάση σε ένα κύκλωμα δημιουργείται, όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ κυκλώματος και μαγνητικού πεδίου. Όταν η πεπλεγμένη ροή μεταβάλλεται περιοδικά, τότε παράγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ). Στις σύγχρονες γεννήτριες οι πηγές παραγωγής μαγνητικής ροής είναι τα τυλίγματα διεγέρσεως, τα οποία τοποθετούνται στο περιστρεφόμενο μέρος τους που ονομάζεται **δρομέας**. Το σύνολο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, μέσα στα οποία δημιουργούνται εναλλασσόμενες ημιτονοειδείς τάσεις, ονομάζεται **επαγωγικό τύμπανο**. Αυτό τοποθετείται στο ακίνητο μέρος της γεννήτριας που ονομάζεται **στάτης**. Βασική προϋπόθεση για να λειτουργεί μια περιστρεφόμενη μηχανή ως σύγχρονη, είναι τα τυλίγματα διεγέρσεως να διαρρέονται από συνεχές ρεύμα. Στο σχήμα 3.9.1.α, παρουσιάζεται μια τυπική σύγχρονη γεννήτρια. Με τον όρο **σύγχρονη γεννήτρια** εννοούμε, γενικά τη μηχανή της οποίας η ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου είναι ίση με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Η **διεγέρτρια** (σχήμα 3.9.1.α) είναι μια γεννήτρια ΣΡ με παράλληλη διέγερση, η οποία τροφοδοτεί μέσω ενός ζευγαριού χάλκινων δακτυλιδιών, τα τυλίγματα διεγέρσεως με συνεχές ρεύμα. Το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με εκείνη του δρομέα, επάγοντας ένα σύστημα τάσεων και ρευμάτων στο επαγωγικό τύμπανο.



Σχήμα.; 3.9.1.α.: Σχηματική παράσταση σύγχρονης γεννήτριας, με προεξέχοντες μαγνητικούς πόλους.

Από κατασκευαστική άποψη οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες

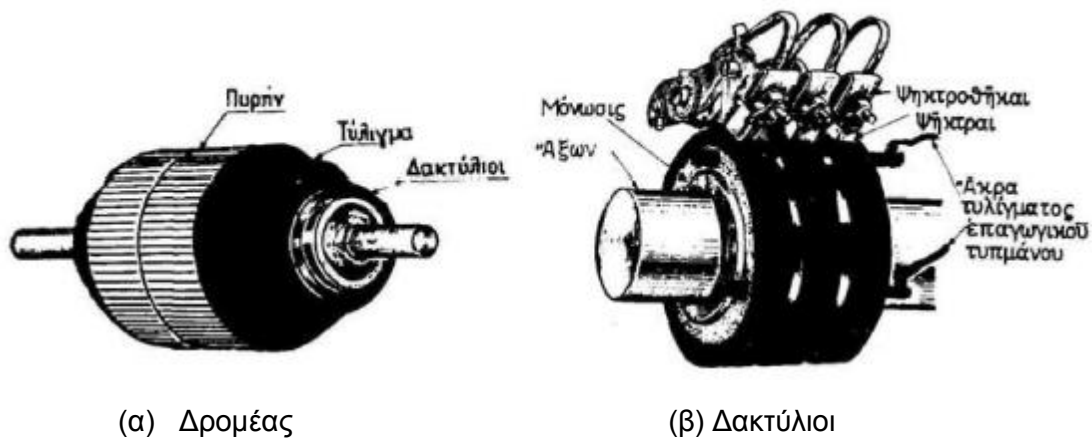
- α) εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους
- β) εναλλακτήρες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους (στροβιλοεναλλακτήρες)
- γ) εναλλακτήρες με προεξέχοντες πόλους
- δ) εναλλακτήρες με μη προεξέχοντες πόλους

α) Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους

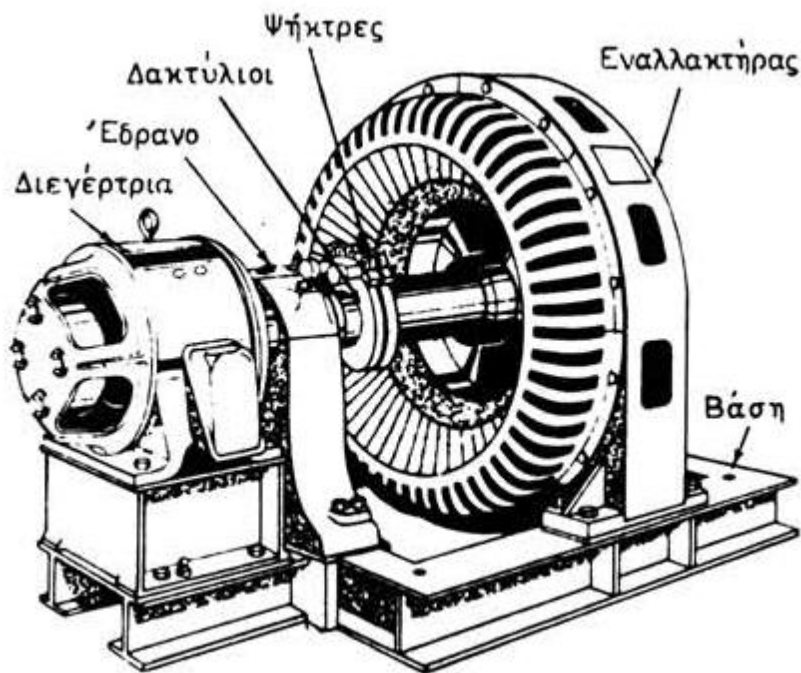
Σ' αυτούς η διέγερση της μηχανής γίνεται από μαγνητικούς πόλους στερεωμένους στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη, όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από

- 1) πηγή συνεχούς ρεύματος
- 2) τροφοδοτικό από γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (διεγέρτρια) και
- 3) ανορθωτική διάταξη.

Ο δρομέας φέρει το επαγωγικό τύμπανο όπως και η μηχανή συνεχούς ρεύματος και το τύλιγμά του τοποθετείται στα αυλάκια του πυρήνα. Αντί συλλέκτη υπάρχουν δακτύλιοι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα σε αριθμό ίσο με των αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα που συνδέονται με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στους δακτυλίους εφάπτονται ψήκτρες σταθερά συνδεδεμένες στο ακίνητο τμήμα της μηχανής που οδηγούν το παραγόμενο ρεύμα έξω από την μηχανή.



Σχήμα.: 3.9.1.β.: Εναλλακτήρας με εξωτερικούς πόλους



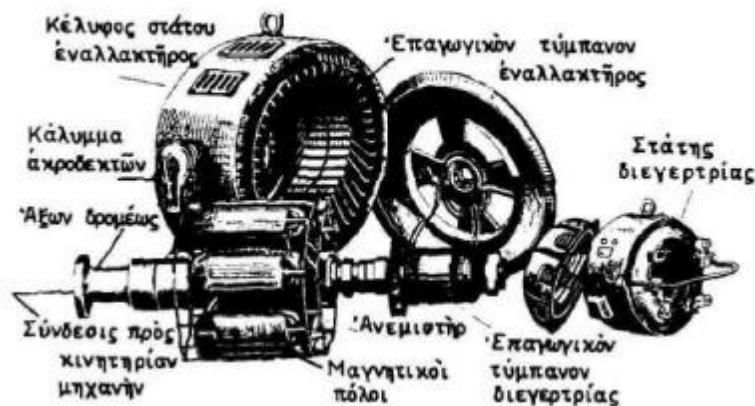
Σχήμα.: 3.9.1.γ.: Σύγχρονη γεννήτρια

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

Για τους παραπάνω λόγους αυτός ο τύπος εναλλακτήρα κατασκευάζεται μόνο για μικρές ισχείς και χαμηλή τάση

Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους

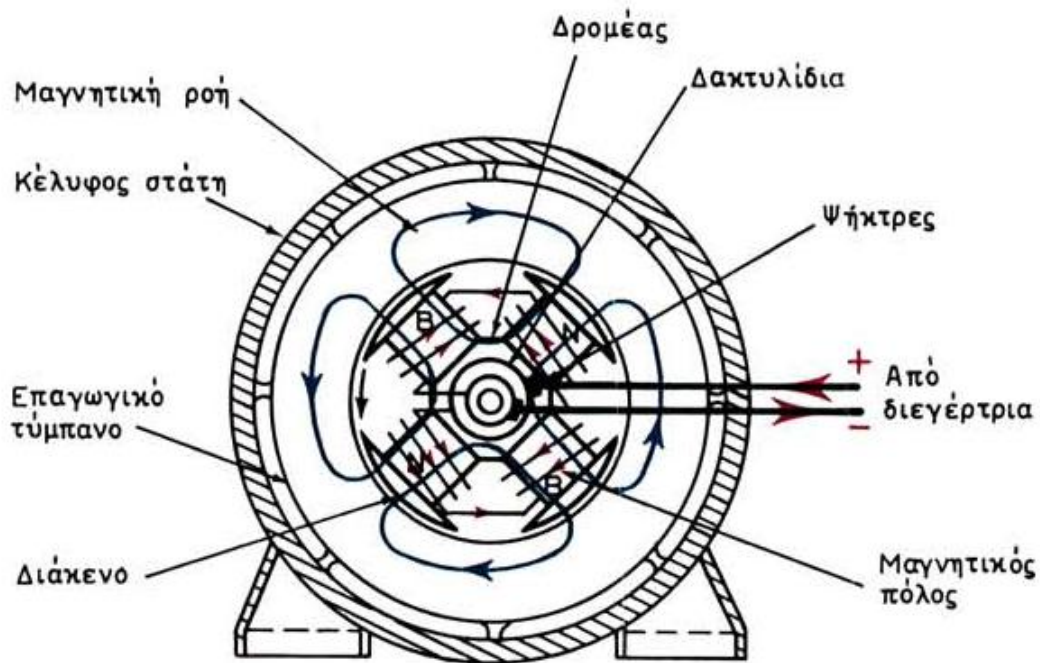
Στους εναλλακτήρες αυτούς το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής, τον στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι τοποθετούνται ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα και για τον λόγο αυτό ονομάζονται και εναλλακτήρες **με** περιστρεφόμενους πόλους. Στο Σχήμα (3.9.1.δ) φαίνεται ένας αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας **με** εσωτερικούς πόλους Η διεγέρτρια μηχανή κινείται από τον άξονα του εναλλακτήρα.



Σχήμα.: 3.9.1.δ.: Αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με περιστρεφόμενους πόλους.

Ο στάτης αποτελείται από εξωτερικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα μέσα στο οποίο τοποθετείται το επαγωγικό τύμπανο που αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από πολλούς δίσκους ελασμάτων με κατάλληλο σχήμα ώστε να σχηματίζουν τα αυλάκια (όταν τοποθετούνται παράλληλα) μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν απευθείας στους ακροδέκτες χωρίς την παρεμβολή ψηκτρών και δακτυλίων.

Ο δρομέας των εναλλακτῆρων με εσωτερικούς πόλους φέρει τους μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Στους τριφασικούς εναλλακτῆρες των σταθμῶν παραγωγῆς οι πυρήνες και τα πέδιλα των πόλων κατασκευάζονται από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το διάκενο, με πάχος μερικὰ mm, επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στον στάτη. Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται στους πυρήνες πριν μπουν τα πέδιλα και συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα, όπως φαίνεται στο (σχῆμα 3.9.1.ε.). Το ίδιο σχῆμα δείχνει και την διαδρομή της μαγνητικῆς ροῆς που δημιουργείται, η οποία κλείνει κύκλωμα μέσω του πυρήνα του επαγωγικῆς τυμπάνου. Δηλαδή δείχνει την **χρήσιμη μαγνητικῆ ροή**. Η **μαγνητικῆ ροή σκεδάσεως** δεν παριστάνεται στο σχῆμα.



Σχήμα.: 3.9.1.ε.: Διέγερση εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους

Για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή για την διέγερση της μηχανής τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από την διεγέρτρια. Γι αυτό χρησιμοποιούνται ψήκτρες και δυο δακτυλίδια, που είναι στερεωμένα επάνω στον άξονα του δρομέα. Το ρεύμα διεγέρσεως έχει ένταση και τάση πολύ μικρότερες από το κύριο ρεύμα του εναλλακτήρα και συνεπώς η κατασκευή των δακτυλιδιών αυτών δεν παρουσιάζει δυσκολίες.

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

Με την τοποθέτηση όμως των μαγνητικών πόλων επάνω στο δρομέα δημιουργείται καταπόνηση σε αυτούς από τις φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία. Για το λόγο αυτό οι εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους δεν είναι κατάλληλοι για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Τους χρησιμοποιούμε όταν η κινητήρια μηχανή είναι σχετικά βραδύστροφη, όπως είναι οι μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και οι υδροστρόβιλοι των υδροηλεκτρικών σταθμών.

Στροβιλοεναλλακτήρες.

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

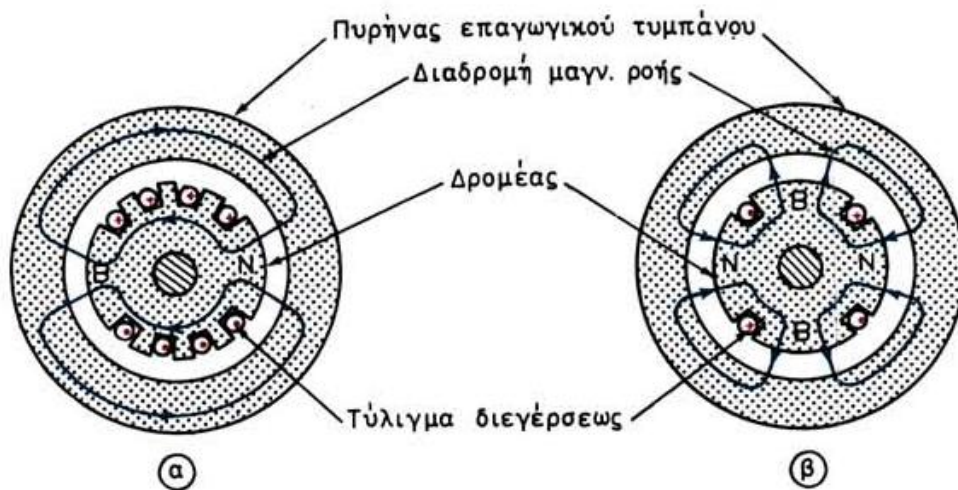
Ο στάτης των στροβιλοεναλλακτών δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τον στάτη των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Η διαφορετική μορφή που έχει το κέλυφός τους οφείλεται στις ανάγκες ψύξεως της μηχανής, που θα εξετάσουμε στην επόμενη παράγραφο.

Ο δρομέας των στροβιλοεναλλακτών διαφέρει ουσιαστικά στην κατασκευή του από το δρομέα των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Ο δρομέας των στροβιλοεναλλακτών δεν φέρει ορατούς πόλους, αλλά αποτελείται από ένα συμπαγές κυλινδρικό τύμπανο από χυτοχάλυβα κοινό με τον άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα (3.9.1.στ.).

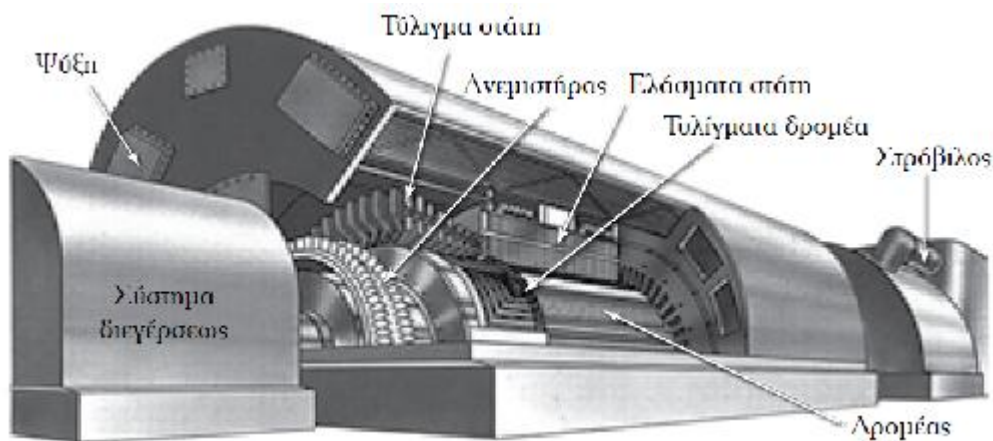


Σχήμα.: 3.9.1.στ.: Δρομέας στροβιλοεναλλακτήρα.

Κατά μήκος της κυλινδρικής επιφάνειας υπάρχουν αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα διεγέρσεως, το οποίο στερεώνεται με μεγάλη επιμέλεια. Οι σπείρες αυτού του τυλίγματος συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια. Αυτό γίνεται και εδώ με τη βοήθεια δύο δακτυλιδιών στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.9.1.ζ.) , δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως με δυο πόλους, το οποίο περιστρέφεται μαζί με το δρομέα. Σπάνια κατασκευάζονται και τετραπολικό στροβιλοεναλλακτήρες, οπότε το τύλιγμα διεγέρσεως είναι διαμορφωμένο έτσι, ώστε να σχηματίζεται μαγνητικό πεδίο με τέσσερις πόλους (σχήμα 3.9.1.ζ.β).



Σχήμα.: 3.9.1.ζ.: Μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως στροβιλόεναλλακτήρων

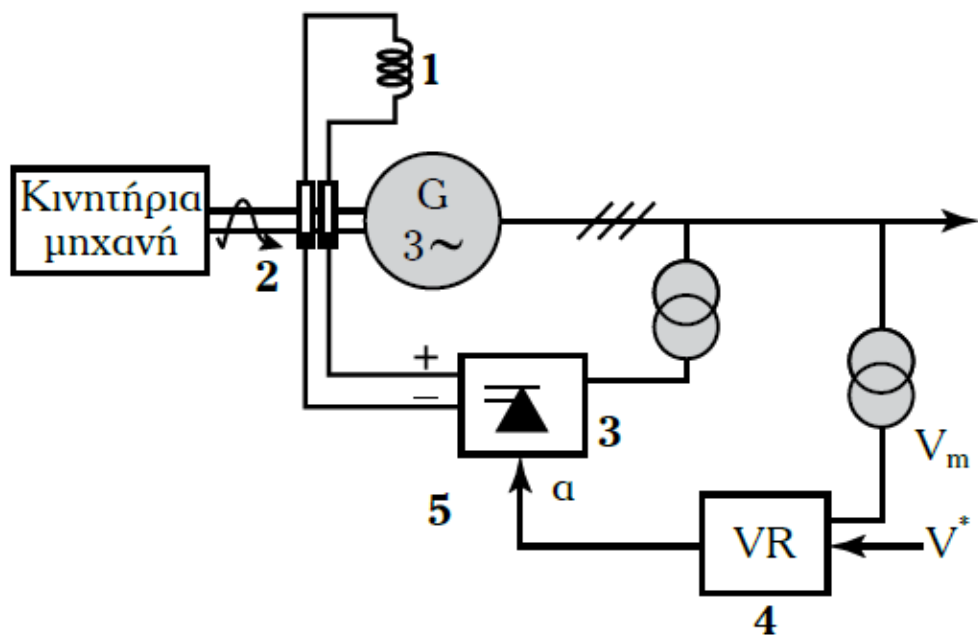


Σχήμα.: 3.9.1.η.: Στροβιλογεννήτρια.

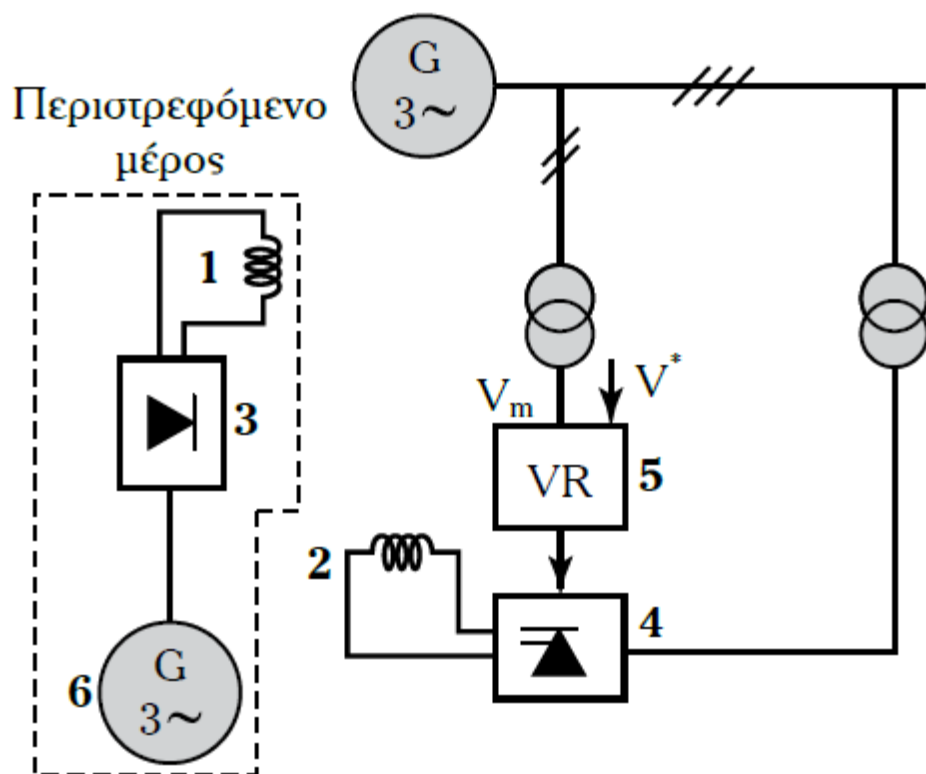
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.

Τα κυκλώματα διεγέρσεως του δρομέα τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από:

- 1) Τη διεγέρτρια (σχήμα 3.9.1.α).
- 2) Το στατό σύστημα διεγέρσεως (σχήμα.: 3.9.2.α).
- 3) Το περιστρεφόμενο σύστημα διεγέρσεως άνευ ψηκτρών (brushless) (σχήμα.:3.9.2.β.).



Σχήμα.: 3.9.2.α.: Στατό σύστημα διεγέρσεως



Σχήμα.: 3.9.2.β.: Σύστημα διεγέρσεως άνευ ψηκτρών (brushless)

Στατό σύστημα διεγέρσεως

Το ρεύμα διεγέρσεως παράγεται τροφοδοτώντας τα τυλίγματα διεγέρσεως της γεννήτριας με ένα σύστημα συνεχούς τάσεως, την οποία παίρνουμε από μία ανορθωτική διάταξη . Το συνεχές ρεύμα στην έξοδο της γέφυρας διέρχεται ένα ζευγάρι ψηκτρών-δακτυλιδιών και στη συνέχεια κυκλοφορεί στο κύκλωμα διεγέρσεως της γεννήτριας (σχήμα.: 3.9.2.α).Το στατό σύστημα διεγέρσεως (σχήμα.: 3.9.2.α) περιλαμβάνει:

- Το κύκλωμα διεγέρσεως της γεννήτριας (1).
- Το σύστημα ψηκτρών-δακτυλιδιών (2).
- Την γέφυρα θυρίστορ (3).
- Τον ρυθμιστή τάσεως (4) και
- την γωνία ρυθμίσεως των θυρίστορ (5).

Με τον όρο στατό σύστημα διεγέρσεως εννοούμε ότι το ρεύμα διεγέρσεως παράγεται από κυκλωματικά στοιχεία και διατάξεις, οι οποίες δεν είναι περιστρεφόμενες. Ο ρυθμιστής τάσεως (VR) συγκρίνει την πραγματική παραγόμενη τάση της γεννήτριας και τη συγκρίνει με μία τάση αναφοράς V^* . Το σφάλμα που προκύπτει απ' την παραπάνω σύγκριση προσδιορίζει την γωνία εναύσεως α , των θυρίστορ για να παραχθεί η κατάλληλη τάση διεγέρσεως.

Ένα μειονέκτημα του στατού συστήματος διεγέρσεως είναι η παρουσία των ψηκτρών και των δακτυλιδιών που περιορίζουν την ποσότητα ρεύματος και αυξάνουν το κόστος συντηρήσεως. Στην περίπτωση βραχυκυκλώματος στους ακροδέκτες της γεννήτριας, η διέγερση μηδενίζεται. Προκειμένου να εξασφαλιστεί κατάλληλη διέγερση, στη σύγχρονη γεννήτρια, στη διάρκεια του βραχυκυκλώματος επιλέγεται μία κατάλληλη διάταξη, η οποία τροφοδοτεί τη γέφυρα των θυρίστορ έτσι, ώστε να παράγεται το ονομαστικό ρεύμα διεγέρσεως ακόμα και όταν η παραγόμενη τάση της γεννήτριας είναι μειωμένη (50% της ονομαστικής τάσεως).

Σύστημα διεγέρσεως άνευ ψηκτρών (brushless).

Τα μειονεκτήματα της παρουσίας των ψηκτρών και δακτυλιδιών, μέσω των οποίων το ρεύμα διεγέρσεως τροφοδοτεί το κύκλωμα διεγέρσεως της γεννήτριας εξαλείφονται όταν χρησιμοποιείται το περιτρεφόμενο σύστημα διεγέρσεως (σχήμα: 3.9.2.β). Ένα περιστρεφόμενο σύστημα διεγέρσεως περιλαμβάνει:

- Το κύριο τύλιγμα διεγέρσεως (1).
- Το βοηθητικό τύλιγμα διεγέρσεως (2).
- Το σύστημα περιστρεφόμενων διόδων (3).
- Την γέφυρα θυρίστορ (4).
- Τον ρυθμιστή τάσεως (5).
- Την βοηθητική γεννήτρια (6).

Ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογα με το επιθυμητό ρεύμα διεγέρσεως στέλνεται στο βοηθητικό τύλιγμα διεγέρσεως της βοηθητικής γεννήτριας, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα τριφασικό σύστημα τάσεων αναλόγων του ρεύματος διεγέρσεως. Το σύστημα των τριφασικών τάσεων ανορθώνεται από ένα σύστημα διόδων, και η παραγόμενη συνεχής τάση τροφοδοτείτα κυκλώματα διεγέρσεως της σύγχρονης γεννήτριας.

3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΟΥΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ – ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ.

Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής είναι η βασική αρχή λειτουργίας των συγχρόνων γεννητριών. Όταν υπάρχει σχετική κίνηση ενός αγωγού και μαγνητικού πεδίου, τότε επάγεται στον αγωγό μια ΗΕΔ. Η ίδια αρχή λειτουργίας ισχύει για τις γεννήτριες ΣΡ. Η διαφορά μεταξύ της σύγχρονης γεννήτριας και της γεννήτριας ΣΡ είναι ότι ο αγωγός τοποθετείται στο ακίνητο μέρος της μηχανής, ενώ το μαγνητικό πεδίο είναι περιστρεφόμενο. Στο σχήμα 3.9.3.α.α, θεωρούμε την σχετική κίνηση ενός αγωγού ως προς το μαγνητικό πεδίο, το οποίο προέρχεται από ένα ζευγάρι μαγνητικών πόλων. Ο αγωγός, αρχικά, τοποθετείται στη θέση 1. Αυτήν τη χρονική στιγμή η ταχύτητα v είναι παράλληλη στις μαγνητικές δυναμικές γραμμές, και ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής ισούται με μηδέν:

$$\frac{d\Phi}{dt} = 0.$$

Στη θέση 2 η ταχύτητα v είναι κάθετη στις μαγνητικές δυναμικές γραμμές, οπότε επάγεται τάση στον αγωγό. Στη θέση 3 η ταχύτητα v είναι παράλληλη στις μαγνητικές δυναμικές γραμμές και ισχύει:

$$\frac{d\Phi}{dt} = 0.$$

Στη θέση 4 η ταχύτητα v είναι κάθετη στις μαγνητικές δυναμικές γραμμές και επάγεται τάση στον αγωγό. Όταν ο αγωγός περιστρέφεται κατά 360 ηλεκτρικές μοίρες, η ΗΕΔ (σχήμα.: 3.9..3.α.β) μεταβάλλεται με εναλλασσόμενο ημιτονοειδή νόμο.

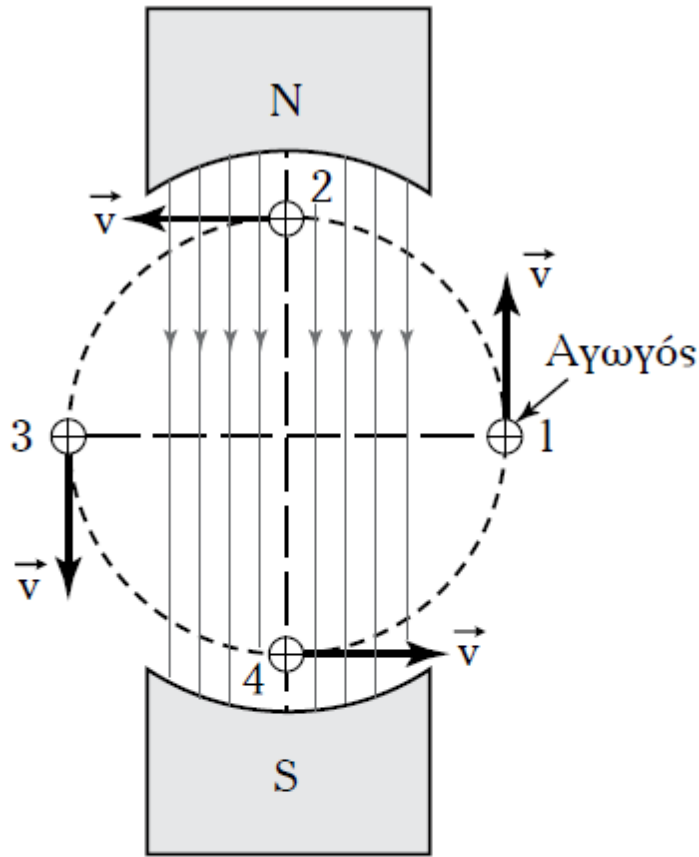
Όταν σε ένα διπολικό εναλλακτήρα το επαγωγικό τύμπανο κάνει μία πλήρη περιστροφή (360° γεωμετρικές μοίρες), η ηλεκτρεγερτική δύναμη στους αγωγούς συμπληρώνει ένα πλήρη κύκλο, διαγράφει δηλαδή το διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δύναμης γωνία 360 ηλεκτρικών μοιρών.

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

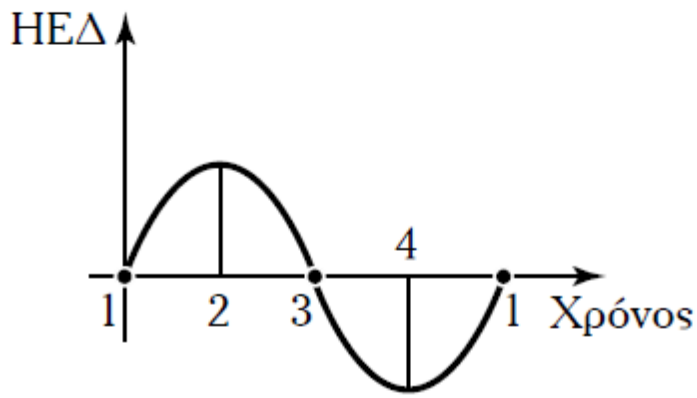
$$\theta_{\eta\lambda} = p \cdot \theta \quad \text{σε ηλεκτρικές μοίρες}$$

Άρα μεταξύ των γεωμετρικών και ηλεκτρικών γωνιών υπάρχει η σχέση:

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



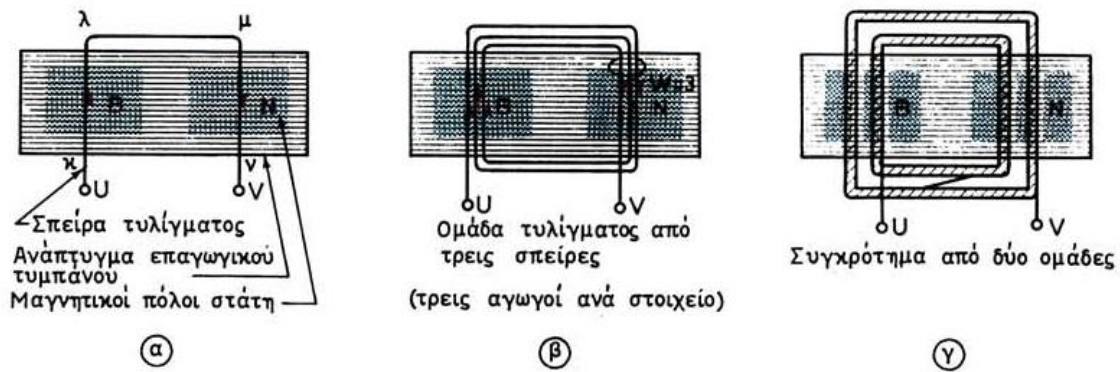
(α)



(β)

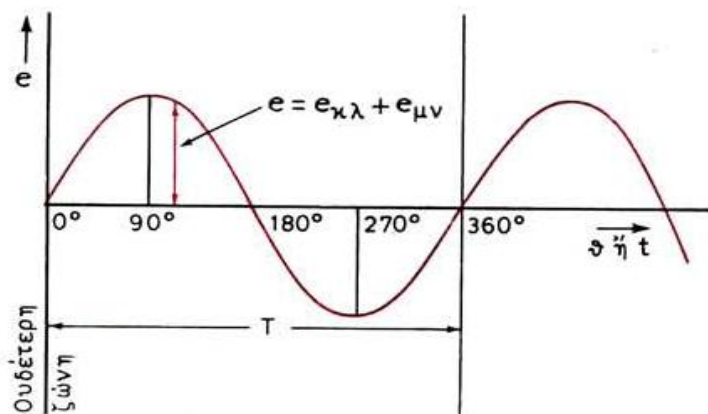
Σχήμα.: 3.9.3.α α. Στοιχειώδης γεννήτρια, β. εναλλασσόμενη τάση

Στο σχήμα (3.9.3.β.α.) παριστάνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τύμπανου μίας απλής μηχανής με την σπείρα των δύο αγωγών κ-λ και μ-ν. Στο ίδιο σχήμα έχουν σημειωθεί και η θέση που έχουν κάποια στιγμή σε σχέση με το επαγωγικό τύμπανο οι πόλοι της μηχανής



Σχήμα.: 3.9.3.β.: Ομάδες τυλίγματος

Όπως εξηγήσαμε μέσα στην σπείρα αναπτύσσεται εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, της οποίας την γραφική παράσταση δίνει το σχήμα (3.9.3.γ.).



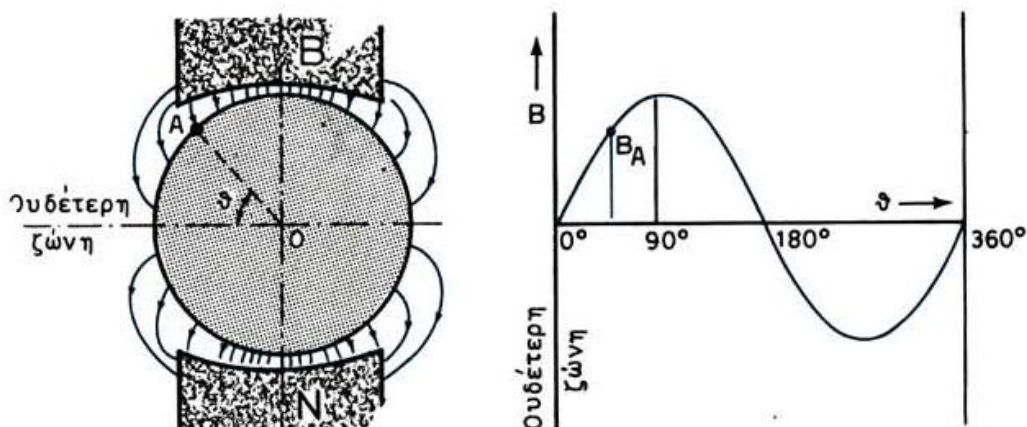
Σχήμα.: 3.9.3.γ.: Εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη

Αν μέσα στα δυο αυλάκια του τυμπάνου τοποθετήσουμε μια **ομάδα τυλίγματος** που αποτελείται από w σπείρες, δηλαδή με w αγωγούς σε κάθε στοιχείο, όπως δείχνει το σχήμα 3.9.3.β. βέβαια εύκολο να αντιληφθούμε ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της ομάδας είναι πάλι εναλλασσόμενη της ίδιας συχνότητας, η στιγμιαία όμως τιμή της θα είναι w φορές μεγαλύτερη από τη στιγμιαία τιμή της μιας σπείρας. Η ίδια σχέση υπάρχει και μεταξύ των **ενδεικνυμένων τιμών** των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων της σπείρας και της ομάδας. Από τα δύο άκρα U και V της ομάδας μπορούμε να τροφοδοτήσουμε φορτίο με εναλλασσόμενο ρεύμα, που θα έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος (3.9.3.γ.)

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη, την οποία είναι δυνατό να λάβουμε από μία ομάδα τυλίγματος, δεν επαρκεί για τις ανάγκες της πράξης, γιατί ο αριθμός των αγωγών που μπορούμε να τοποθετήσουμε στο αυλάκι μιας οδοντώσεως είναι περιορισμένος. Γι' αυτό το λόγο στα πραγματικά τυλίγματα των εναλλακτών συνδέουμε σε σειρά περισσότερες από μια ομάδες τοποθετημένες σε γειτονικές οδοντώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9.3.β. Στο σχήμα αυτό σε ένα διπλό πολικό βήμα υπάρχουν δυο ομάδες του τυλίγματος. Το σύνολο των ομάδων που συνδέονται σε σειρά σε ένα διπλό πολικό βήμα το ονομάζουμε **συγκρότημα ομάδων**. Αποδεικνύεται ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη του συγκροτήματος ομάδων είναι και αυτή εναλλασσόμενη. **Η ενδεικνυμένη τιμή είναι λίγο μικρότερη από το άθροισμα των ενδεικνυμένων τιμών των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των ομάδων, από τις οποίες αποτελείται.**

Στους εναλλακτές με εσωτερικούς πόλους η μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο ακολουθεί πάλι την καμπύλη του σχήματος 3.9.3.δ όταν ο δρομέας δεν περιστρέφεται. Κατά τη λειτουργία όμως του εναλλακτήρα, ενώ οι αγωγοί του επαγωγικού τυμπάνου είναι ακίνητοι, περιστρέφονται οι μαγνητικοί πόλοι και μαζί με αυτούς το μαγνητικό πεδίο. Οι αγωγοί τέμνουν τότε τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ή ακριβέστερα οι μαγνητικές γραμμές τέμνουν τους αγωγούς. Κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία, δημιουργείται και πάλι σε κάθε αγωγό του τυλίγματος ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, της οποίας η στιγμιαία τιμή εξαρτάται από την αντίστοιχη τιμή της μαγνητικής επαγωγής. Άρα η ηλεκτρεγερτική δύναμη κάθε αγωγού θα μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο σύμφωνα με την καμπύλη του σχήματος 3.9.3.γ. Δηλαδή θα είναι ημιτονοειδής εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη. Όμοια θα είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη και όλου του εναλλακτήρα.

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



Σχήμα.:3.9.3.δ.: Μαγνητικό πεδίο στο διάκενο

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

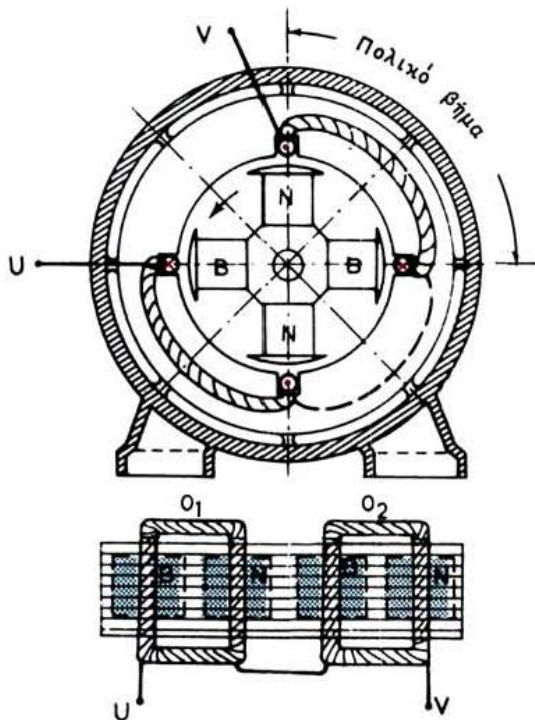
όπου: f είναι η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος σε Hz και p ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων.

4. ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ.

Ο απλός εναλλακτήρας είναι ένας διπολικός εναλλακτήρας, που έχει ένα μόνο τύλιγμα στο επαγωγικό του τύμπανο. Τα άκρα U και V του τυλίγματος (σχήμα 3.9.3.β.) συνδέονται με τους ακροδέκτες του εναλλακτήρα. Όταν ο εναλλακτήρας είναι με εξωτερικούς πόλους, η σύνδεση αυτή γίνεται μεσω δακτυλιδιών.

Στους ακροδέκτες του εναλλακτήρα είναι δυνατό να συνδέσουμε **μονοφασικό φορτίο** και να το τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο εναλλακτήρας αυτός ονομάζεται **μονοφασικός εναλλακτήρας** και το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου **μονοφασικό τύλιγμα**.

Μονοφασικοί εναλλακτήρες είναι δυνατό να κατασκευασθούν και με περισσότερους από δύο πόλους. Στην περίπτωση αυτή σε κάθε διπλό πολικό βήμα έχουμε ένα συγκρότημα ομάδων όπως αυτό του σχήματος 3.9.3.β Τα συγκροτήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους συνήθως σε σειρά, ώστε να σχηματίζεται ένα μονοφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται στους δύο ακροδέκτες της μηχανής.



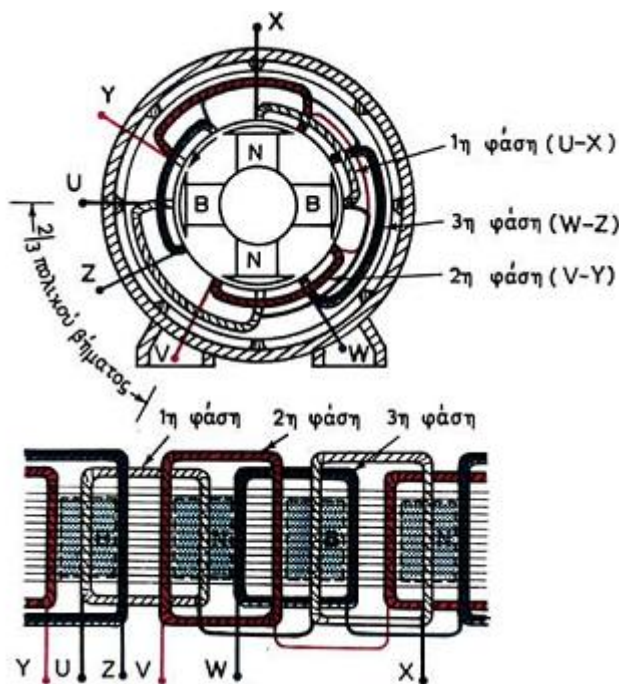
Σχήμα.: 3.9.4.α.: Τετραπολικός μονοφασικός εναλλακτήρας

Το σχήμα (3.9.4.α.) παριστάνει, στην απλούστερη του μορφή, ένα **τετραπολικό μονοφασικό εναλλακτήρα** με εσωτερικούς πόλους. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνεται το τύλιγμα στο ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Για απλότητα του σχεδίου, ο εναλλακτήρας αυτός παριστάνεται με τέσσερα αυλάκια στο επαγωγικό τυμπάνο, δηλαδή με ένα αυλάκι σε κάθε πολικό βήμα. Συνεπώς έχουμε μία ομάδα σε κάθε διπλό πολικό βήμα αντί για ένα συγκρότημα ομάδων, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα. Οι ομάδες (O_1 και O_2 στο σχήμα) συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Τα ελεύθερα άκρα τους U και V συνδέονται στους δύο ακροδέκτες του εναλλακτήρα.

5. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ.

Οι τριφασικοί εναλλακτήρες έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις **τρεις φάσεις** του εναλλακτήρα. Το σχήμα 3.9.5.α στο επάνω μέρος δείχνει ένα απλό τριφασικό εναλλακτήρα, ο οποίος έχει σε κάθε διπλό πολικό βήμα μία ομάδα τυλίγματος από την κάθε φάση. Στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος φαίνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

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



Σχήμα.: 3.9.5.α.: Τετραπολικός τριφασικός εναλλακτήρας.

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

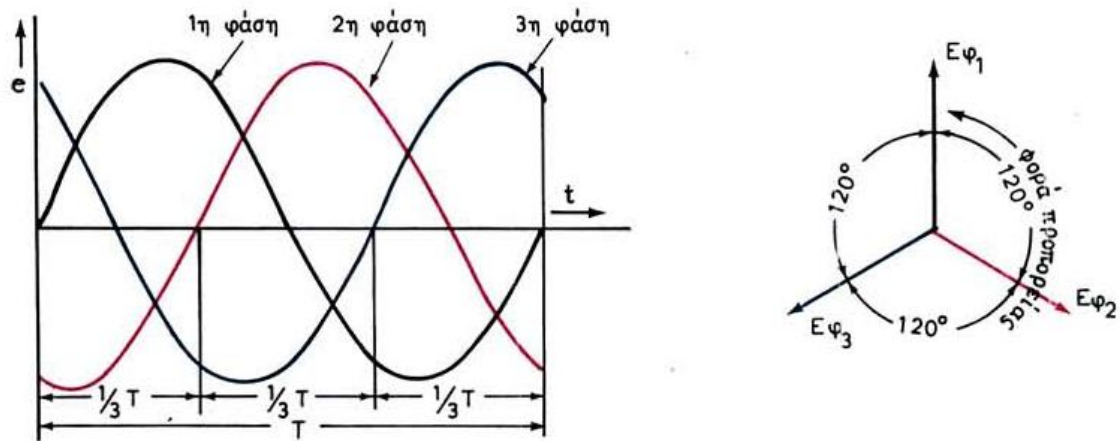
Το τυλίγμα κάθε φάσεως απέχει από τις άλλες απόσταση ίση με $\frac{2}{3}$ του πολικού βήματος ή κατά γεωμετρική γωνία $\theta = 60^\circ$ (σε τετραπολικό εναλλακτήρα). Άρα οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τρία τυλίγματα έχουν μεταξύ τους **φασική απόκλιση**:

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

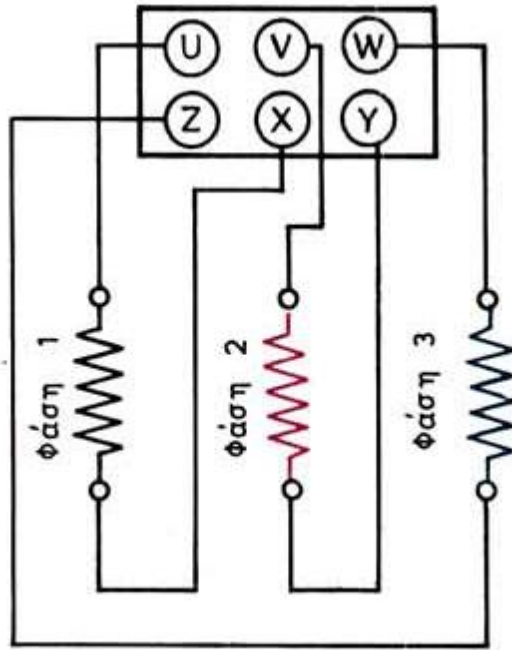
Όταν ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται κατά τη φορά, που δείχνει το τόξο στο σχήμα 3.9.5.α τότε η ηλεκτρεγερτική δύναμη της φάσεως 1 προπορεύεται της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της φάσεως 2 και αυτή της φάσεως 3. Το σχήμα 3.9.5.β παριστάνει, κατά τα γνωστά, με καμπύλες και με διανύσματα τις ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις των τριών φάσεων τριφασικού εναλλακτήρα, σε αντιστοιχία και με το σχήμα 3.9.5.α

Τα έξι ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων του τριφασικού εναλλακτήρα συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9.5.γ. Στην περίπτωση αυτή οι τρεις φάσεις είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους και αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο μεταξύ δύο ακροδεκτών, που ανήκουν σε διαφορετικές φάσεις, δεν θα δείξει τάση. Είναι η περίπτωση του **ανεξάρτητου τριφασικού συστήματος**.

98



Σχήμα.: 3.9.5.β.: Ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού εναλλακτήρα.

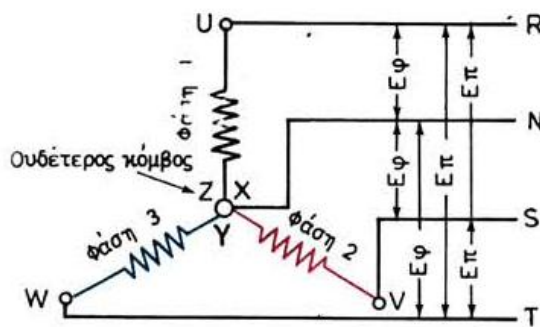
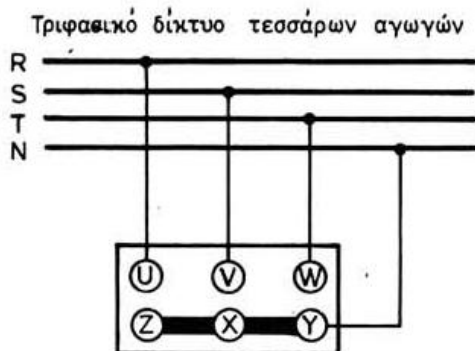


Σχήμα.: 3.9.5.γ.: Σύνδεση των τυλιγμάτων των τριών φάσεων με τους ακροδέκτες.

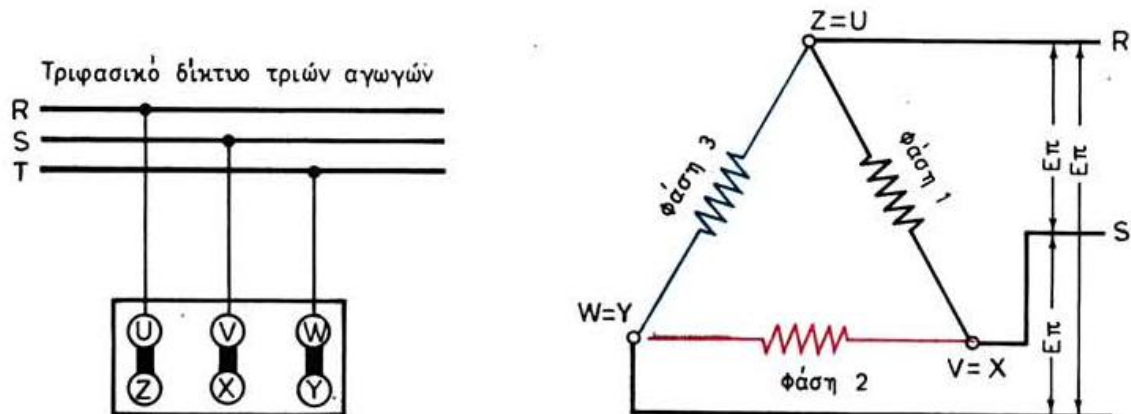
Στην πράξη τα τυλιγμάτα των τριών φάσεων των τριφασικών εναλλακτήρων δεν τα αφήνουμε ανεξάρτητα, αλλά τα συνδέουμε μεταξύ τους με ορειχάλκινα ή χάλ-

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

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



Σχήμα.: 3.9.5.δ.: Σύνδεση σε αστέρα



Σχήμα.: 3.9.5.ε.: Σύνδεση σε τρίγωνο

Στη σύνδεση σε αστέρα, συνδέομε μεταξύ τους τους ακροδέκτες Z, X, Y, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.9.5.δ οι οποίοι έτσι αποτελούν τον **ουδέτερο κόμβο της μηχανής**. Στους τρεις άλλους ακροδέκτες U, V, W, συνδέεται το τριφασικό δίκτυο. Όταν το τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο ουδέτερος αγωγός του δικτύου συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του ακροδέκτη μιας φάσεως (U, V, W) και του ουδέτερου κόμβου έχουμε τη φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα E_{ϕ} . Μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων έχουμε την **πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη** E_{π} , η οποία, στη σύνδεση σε αστέρα είναι:

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

Στη σύνδεση σε τρίγωνο τοποθετούμε τρία λαμάκια μεταξύ των ακροδεκτών,

όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.9.5.ε Στην περίπτωση αυτή η φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα είναι ίση με την πολική:

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

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

6. ΤΙΜΗ ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑ

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

$$E_{\phi} = K \cdot p \cdot n_s \cdot \omega_0 \cdot \Phi \quad \text{σε V}$$

όπου: p είναι ο αριθμός των ζευγών μαγνητικών πόλων,

n_s η ταχύτητα περιστροφής σε στρ/s,

ω_0 ο αριθμός των συνδεδεμένων σε σειρά αγωγών του τυλίγματος κάθε φάσεως,

Φ η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου σε Vs

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

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

$$E_{\phi} = K \cdot f \cdot \omega_0 \cdot \Phi \quad \text{σε V}$$

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

Παράδειγμα.

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

Λύση.

Η συχνότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως θα είναι:

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

Ο αριθμός των αυλακιών σε κάθε φάση είναι:

$$z_0 = \frac{z}{3} = \frac{36}{3} = 12 \text{ αυλάκια}$$

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

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

Συνεπώς η ηλεκτρεγερτική δύναμη του εναλλακτήρα θα είναι:

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

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

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

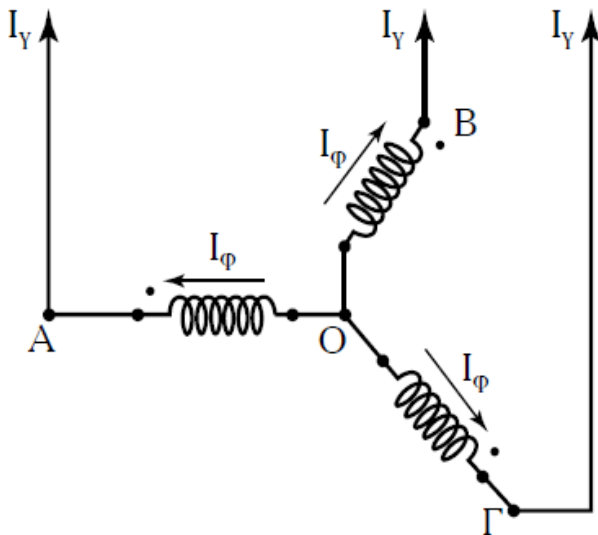
Στα επόμενα, όταν θα αναφέρομε την **ηλεκτρεγερτική δύναμη εναλλακτήρα E**, θα εννοούμε την πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη. Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας των τριών φάσεων του εναλλακτήρα, η E είναι ίση με την E_ϕ (σύνδεση σε τρίγωνο) ή με $1,73 \cdot E_\phi$ (σύνδεση σε αστέρα).

Τρόποι συνδεσμολογίας των φάσεων μιας γεννήτριας πλοίου.

Η σύνδεση των φάσεων μιας γεννήτριας πλοίου γίνεται σε αστέρα ή τρίγωνο.

1) Σύνδεση φάσεων σε αστέρα.

Οι τρεις φάσεις της γεννήτριας τοποθετούνται έτσι, ώστε οι μαγνητικοί τους άξονες να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120° (σχήμα: 3.9.6.α) και έναν συμμετρικό αστέρα. Το σημείο O ονομάζεται *ουδέτερος κόμβος* της συνδεσμολογίας. Γενικά, σε μία τριφασική συνδεσμολογία διακρίνουμε φασικά και πολικά μεγέθη τάσεων και ρευμάτων.



Σχήμα.: 3.9.6.α. Συνδεσμολογία φάσεων σε αστέρα

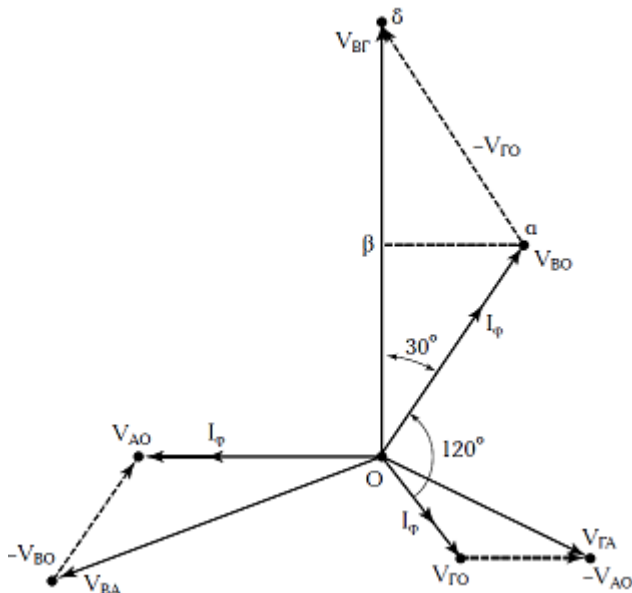
Φασικό ρεύμα, I_ϕ , ονομάζομε το ρεύμα το οποίο ρέει σε κάθε φάση.

Πολικό ρεύμα ή **ρεύμα γραμμής**, I_Y , ονομάζομε το ρεύμα το οποίο ρέει στους αγωγούς μεταφοράς. Στη συνδεσμολογία σε αστέρα το ρεύμα γραμμής ισούται με το ρεύμα φάσεως: $I_Y = I_\phi$

Στη συνδεσμολογία σε αστέρα διακρίνομε δύο τύπους τάσεων:

Την πολική τάση (V_{π}), η οποία εμφανίζεται στους ακροδέκτες των φάσεων και

Την φασική τάση (V_{ϕ}), η οποία εμφανίζεται μεταξύ ενός ακροδέκτη φάσεως και του ουδέτερου κόμβου. Η σχέση της πολικής και φασικής τάσεως προκύπτει από το διανυσματικό διάγραμμα τάσεων- ρευμάτων, της συνδεσμολογίας αστέρα (σχήμα 3.9.6.β).



Σχήμα.: 3.9.6.β.: Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων συνδεσμολογίας αστέρα

Έστω ότι αβ είναι η κάθετος στο διάνυσμα V_{BG} οπότε διαμορφώνονται τα εξής δύο ίσα ορθογώνια τρίγωνα $O\beta\alpha$ και $\beta\alpha\delta$.

Η πολική τάση V_{BG} έχει μέτρο:

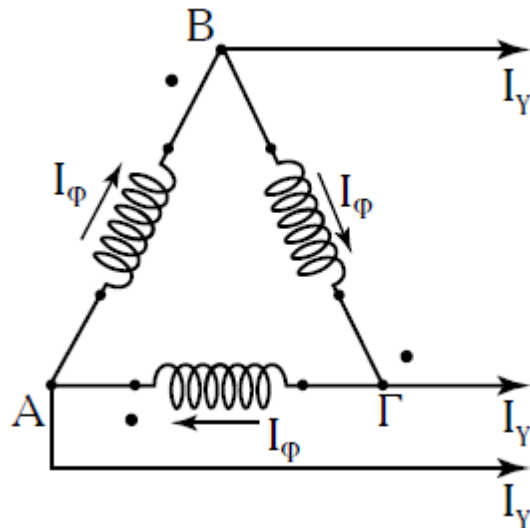
$$V_{BG} = O\delta = O\beta + \beta\delta = 2 (O\alpha) \text{ συν}30^\circ = \sqrt{3} (O\alpha) = \sqrt{3} V_{\beta O}.$$

$$\text{Οπότε } V_{\text{πολική}} = \sqrt{3} V_{\text{φασική}}$$

2) Σύνδεση φάσεων σε τρίγωνο.

Στο σχήμα (3.9.6.γ.), δίδεται η συνδεσμολογία φάσεων σε τρίγωνο. Σε αυτήν τη συνδεσμολογία η πολική τάση είναι ίση με τη φασική:

$$V_{\text{πολική}} = V_{\text{φασική}}$$



Σχήμα.: 3.9.6.γ.: Συνδεσμολογία φάσεων σε τρίγωνο

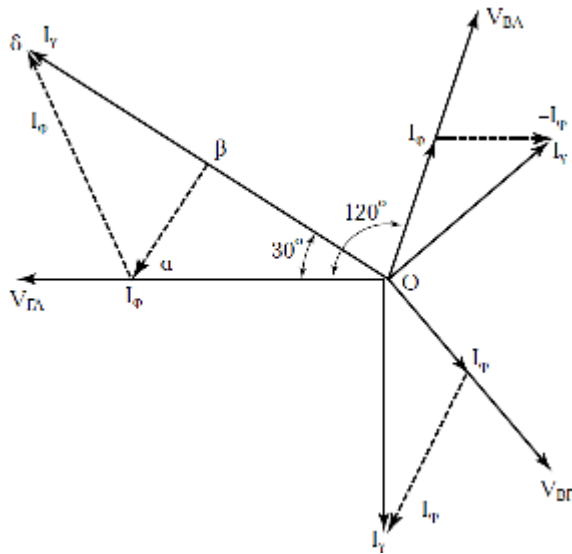
Στη συνδεσμολογία σε τρίγωνο υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ρευμάτων: το φασικό ρεύμα (I_φ) και το ρεύμα γραμμής (I_Y).

Η σχέση μεταξύ φασικού και ρεύματος γραμμής προκύπτει από την ακόλουθη διανυσματική κατα-

σκευή τάσεων-ρευμάτων, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα (3.9.6.δ)

$$\text{Είναι: } I_Y = O\delta = O\beta + \beta\delta = 2(O\alpha) \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_\varphi.$$

$$\text{Οπότε ισχύει: } I_Y = \sqrt{3} I_\varphi.$$



Σχήμα.: 3.9.6.δ.: Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων συνδεσμολογίας τριγώνου

7. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ

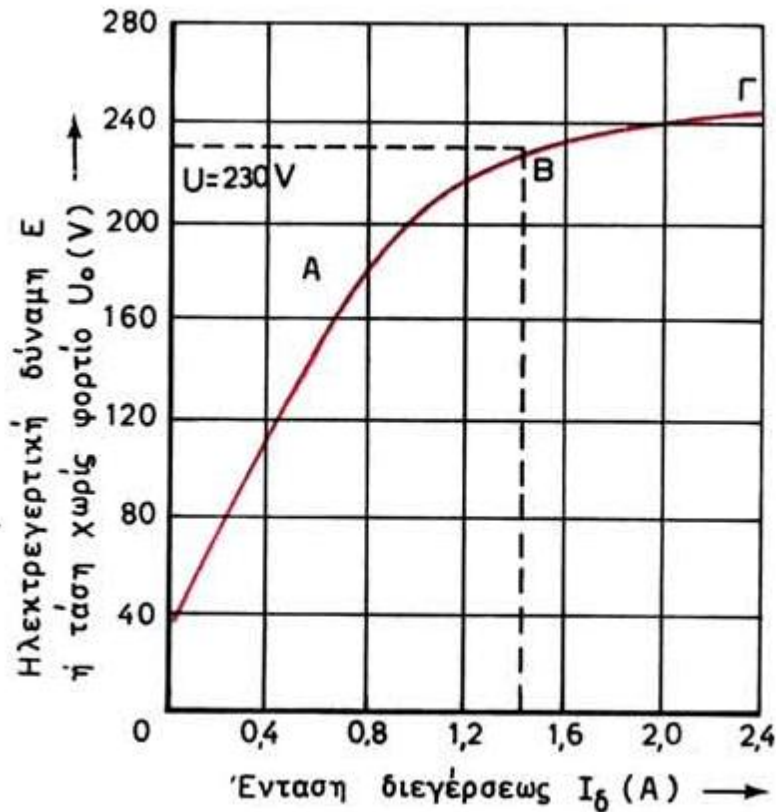
Η καμπύλη, η οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται η ενδεικνυμένη τιμή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως E ενός εναλλακτήρα (που, όπως γνωρίζομε, είναι ίση με την τάση χωρίς φορτίο U_0), όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως του I_δ , ενώ η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή και ίση προς τη σύγχρονη ταχύτητα,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

Το σχήμα (3.9.7.α.) δείχνει την στατική χαρακτηριστική ενός εναλλακτήρα. Όπως και

στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, η καμπύλη αποτελείται από το σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα OA , στο οποίο η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι περίπου ανάλογη προς το ρεύμα διεγέρσεως, το γόνατο AB της καμπύλης και το επίσης σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα BF . Στο τελευταίο αυτό τμήμα επέρχεται ο κορεσμός του μαγνητικού κυκλώματος της μηχανής και η ηλεκτρεγερτική της δύναμη αυξάνεται πολύ λίγο, έστω και αν η ένταση διεγέρσεως αυξηθεί σημαντικά. Οι εναλλα-

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

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



Σχήμα.: 3.9.7.α.: Στατική χαρακτηριστική εναλλακτήρα

8. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

Χαρακτηριστική φορτίου – Διακύμανση τάσης

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

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

Για συνδεσμολογία του εναλλακτήρα σε αστέρα :

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

Για συνδεσμολογία του εναλλακτήρα σε τρίγωνο :

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

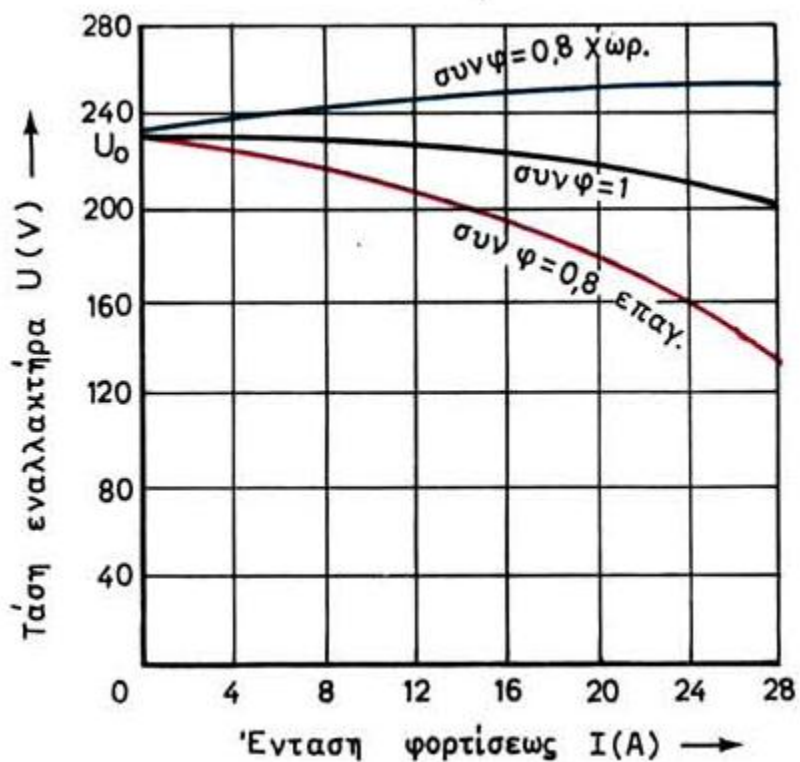
Χαρακτηριστική φορτίου του εναλλακτήρα είναι η καμπύλη, που δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση του (η ενδεικνυμένη τιμή της), όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως (η ενδεικνυμένη τιμή της), ενώ ο συντελεστής ισχύος του φορτίου και η ένταση διεγέρσεως παραμένουν σταθερά και ο εναλλακτήρας περιστρέφεται με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

Το σχήμα 3.9.8.α δίνει τρεις χαρακτηριστικές φορτίου ενός εναλλακτήρα, δηλαδή για τρεις συντελεστές ισχύος του φορτίου: για **ωμική φόρτιση** (συνφ = 1), για **επαγωγική φόρτιση** με συνφ = 0,8 και για **χωρητική φόρτιση** του εναλλακτήρα με συνφ = 0,8. Όπως παρατηρούμε από τις καμπύλες του σχήματος στην περίπτωση της ωμικής φορτίσεως η τάση του εναλλακτήρα πέφτει, όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως. Η πτώση αυτή της τάσεως είναι σημαντικά μεγαλύτερη όταν η φόρτιση είναι επαγωγική. Αντίθετα, όταν η φόρτιση είναι χωρητική έχουμε αύξηση της τάσεως του εναλλακτήρα όταν αυξάνεται η ένταση φορτίσεως.

Είναι φανερό, ότι για $I = 0$ όλες οι χαρακτηριστικές φορτίου ενός εναλλακτήρα για την ίδια ένταση διεγέρσεως και τον κανονικό αριθμό στροφών, διέρχονται από το ίδιο σημείο U_0 (σχήμα 3.9.8.α), δηλαδή από το σημείο που παριστάνει την τάση χωρίς φορτίο, γιατί τότε το συνφ του καταναλωτή δεν έχει καμιά επίδραση.

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

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



Σχήμα.: 3.9.8.α.: χαρακτηριστική φορτίου εναλλακτήρα

Παράδειγμα.

Ένας εναλλακτήρας έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες του σχήματος 3.9.8.α. Αν η κανονική έντασή του είναι $I = 24 \text{ A}$, ποιά είναι η διακύμανση τάσεως για τους τρεις συντελεστές ισχύος του φορτίου;

Λύση.

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

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

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

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

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

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

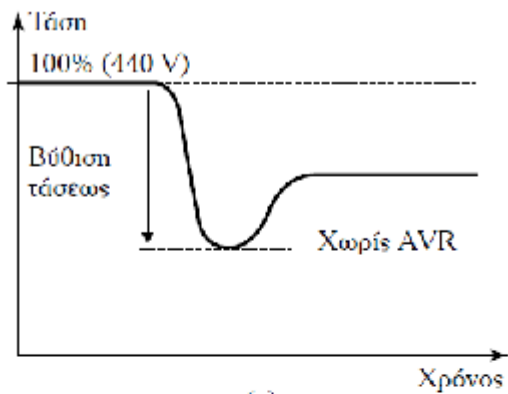
γ) Σε **φαινόμενα αυτεπαγωγής**, που οφείλονται στο γεγονός ότι το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα.

9. ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑ

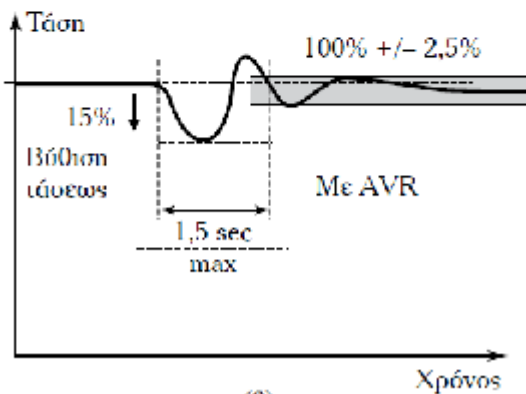
Εάν θέλουμε με την μεταβολή του φορτίου να διατηρούμε σταθερή την τάση του εναλλακτήρα, θα πρέπει να ρυθμίζουμε κατάλληλα την ένταση διεγέρσεως του, δηλαδή να ρυθμίζουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ρύθμιση αυτή έχει σχέση με το σύστημα διέγερσης που έχει ο κάθε εναλλακτήρας π.χ. εάν είναι εφοδιασμένος με αυτόματο ρυθμιστή τάσεως τότε γίνεται αυτόματα.

Όταν εκκινούνται ισχυρά επαγωγικά φορτία, προκαλούνται μεταβολές της τάσεως εξόδου στις σύγχρονες γεννήτριες. Αυτό οφείλεται στην πτώση τάσεως, η οποία δημιουργείται στα κυκλώματα τυμπάνου των γεννητριών, ενώ το φαινόμενο ονομάζεται **βύθιση τάσεως**. Εξάλλου όταν αποσυνδέονται φορτία απ' τον κύριο πίνακα, τότε εμφανίζονται υπερτάσεις στους ζυγούς του πίνακα. Όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω είναι απαραίτητη η ρύθμιση και ο έλεγχος της τάσεως εξόδου των συγχρόνων γεννητριών, ώστε αυτή να διατηρείται σταθερή. Οπότε, είναι αναγκαία η παρουσία του **Αυτόματου Ρυθμιστή Τάσεως** (Automatic Voltage Regulator – AVR).

Στο σχήμα (3.9.9.α.α), δίδεται η μεταβολή της τάσεως εξόδου μιας σύγχρονης γεννήτριας, ονομαστικής τάσεως 440 V, όταν μεταβάλλεται το φορτίο χωρίς την παρουσία του AVR. Ο AVR ελέγχει την τάση των γεννητριών όταν αυτή υπερβαίνει το $\pm 2,5\%$ της ονομαστικής τους τάσεως. Ο AVR περιορίζει μια παροδική βύθιση τάσεως στο 15% (σχήμα.: 3.9.9.α.β), ενώ η ανάκτηση της ονομαστικής τάσεως της μηχανής γίνεται σε 1,5 s.



(α)

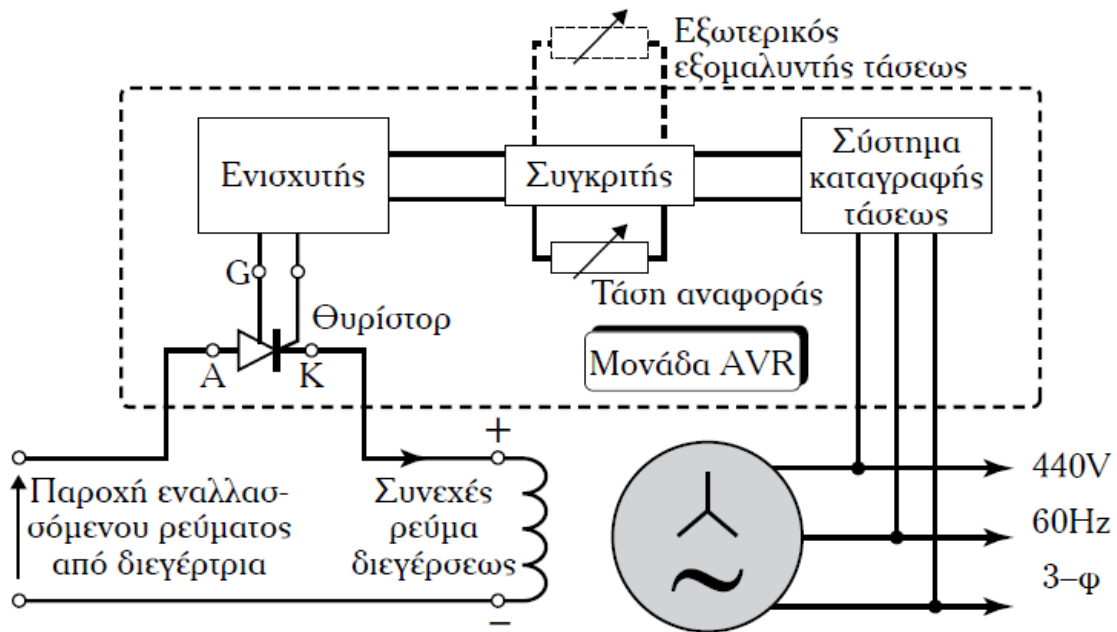


(β)

Σχήμα.: 3.9.9.α. Μεταβολή της τάσεως εξόδου μίας σύγχρονης γεννήτριας

(α) χωρίς AVR και (β) με AVR.

Στο σχήμα(3.9.9.β.) δίδεται το διάγραμμα ενός AVR για μια τριφασική σύγχρονη γεννήτρια 440 V,60 Hz. Το σύστημα καταγραφής τάσεως περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διατάξεις για τον υποβιβασμό, την ανόρθωση και την εξομάλυνση της τάσεως εξόδου της σύγχρονης γεννήτριας. Οπότε, παράγεται ένα σήμα χαμηλής συνεχούς τάσεως ανάλογο της παραγόμενης εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς τάσεως. Το σήμα συνεχούς τάσεως, συγκρίνεται με μια τάση αναφοράς συνεχούς η οποία παράγεται από ένα κύκλωμα που περιλαμβάνει διόδους Zener και ωμικές αντιστάσεις. Ένα σήμα-σφάλμα στην έξοδο του συγκριτή ενισχύεται και ενεργοποιεί την πύλη ενός θυρίστορ. Το θυρίστορ ανορθώνει και ρυθμίζει το ρεύμα διεγέρσεως της σύγχρονης γεννήτριας, με σκοπό να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της μηχανής.



Σχήμα.: 3.9.9.β.: Διάγραμμα ενός αυτόματου ρυθμιστή τάσεως (AVR).

10. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ

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

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

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

Ο **αριθμός των φάσεων** του εναλλακτήρα.

Η **συχνότητα του ρεύματος** σε Hz.

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

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

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

στα τυλίγματα διεγέρσεως.

Παράδειγμα πινακίδας ενός μικρού εναλλακτήρα

ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑΣ			
(Όνομα κατασκευαστή)			
ΤΥΠΟΣ		Ν°	
κ V A	6.6	ΦΑΣΕΙΣ	3
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50 HZ	ΣΤΡ/MIN	1500
ΤΑΣΗ	380 V	ΕΝΤΑΣΗ	10 A
συν φ	0β	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΣΥΝΕΧΗΣ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ 110 V - 3,5 A			

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

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

11. ΙΣΧΥΣ, ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑ

Ισχύς

Με την βοήθεια οργάνων που έχει κάθε εγκατάσταση εναλλακτήρα μπορεί να μετρηθεί κατά την λειτουργία του η πολική τάση U , η ένταση γραμμής I και η πραγματική ισχύς P που αποδίδεται στο δίκτυο. Από τα μεγέθη αυτά μπορεί να υπολογισθεί η φαινόμενη ισχύς S και η άεργος ισχύς Q που παρέχει ο εναλλακτήρας όπως και ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ με τις γνωστές σχέσεις που ακολουθούν στον κάτωθι Πίνακα

Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος.

	Μονοφασικός εναλλακτήρ	Τριφασικός εναλλακτήρ	Διά μονοφασικών και τριφασικών εναλλακτῆρα
Φαινομένη Ισχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N^2 + N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\text{συν}\phi}$
Πραγματική Ισχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \text{συν}\phi$
Αεργός Ισχύς (var)	$N_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = \sqrt{N_s^2 - N^2}$ $N_b = N_s \cdot \eta\mu\phi$
Συντελεστής Ισχύος	$\text{συν}\phi = \frac{N}{U \cdot I}$	$\text{συν}\phi = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\text{συν}\phi = \frac{N}{N_s}$

Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος (P αντί N, S αντί N_s, Q αντί N_b)

Απώλειες και βαθμός απόδοσης εναλλακτῆρα

Οι απώλειες των εναλλακτῆρων που λειτουργούν με σταθερή συχνότητα διακρίνονται στις σταθερές απώλειες **P₁** που είναι οι μηχανικές απώλειες, οι μαγνητικές απώλειες και οι ηλεκτρικές απώλειες διέγερσης ($U_\delta I_\delta$) που δεν εξαρτώνται από το φορτίο και στις μεταβλητές απώλειες **P₂** που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος τυμπάνου. Αν R είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος τυμπάνου και I η ένταση γραμμής τριφασικού εναλλακτῆρα, τότε οι μεταβλητές απώλειες είναι

Για σύνδεση αστέρα $P_2 = 3RI^2$

Για σύνδεση τριγώνου $P_2 = RI^2$

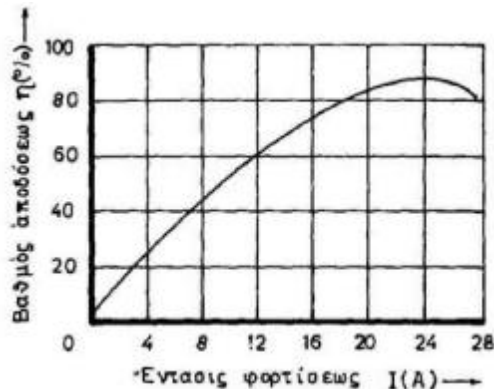
Οι συνολικές απώλειες του εναλλακτῆρα είναι $\Sigma P = P_1 + P_2$ και ο βαθμός απόδοσης είναι

$\eta = \frac{P}{P + \Sigma P}$ με **P** την αποδιδόμενη πραγματική ισχύ στο δίκτυο.

$$\eta = \frac{P}{P + \Sigma P}$$

Είναι προφανές ότι ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος της μονάδας. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο του εναλλακτῆρα. Η καμπύλη του Σχήματος 3.9.10 δείχνει πως εταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός εναλλακτῆρα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φορτίου του

με σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται όταν αποδίδει την ονομαστική ένταση με τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος και μπορεί να φθάσει μέχρι και 95% στους μεγάλους εναλλακτήρες



Σχήμα.: 3.9.10.: Μεταβολή βαθμού απόδοσης εναλλακτήρα

Παράδειγμα

Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό φορτίο τριφασικού εναλλακτήρα με στοιχεία 6,6KVA, 380V, 50 Hz, 1500 ΣΑΛ, 10 A, $\cos\phi=0,8$, συνεχής λειτουργία, μέγιστη διέγερση 110V – 3,5 A και του οποίου δίνεται το άθροισμα των μηχανικών απωλειών του ίσο με 320 W. Ο εναλλακτήρας έχει σύνδεση τυλιγμάτων σε αστέρα με ωμική αντίσταση κάθε φάσεως ίση με 1Ω

Λύση.

Ο βαθμός αποδόσεως θα υπολογισθεί από τη σχέση:

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

Για το ονομαστικό φορτίο έχουμε:

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

Οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλιγματος διεγέρσεως είναι:

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

Άρα οι σταθερές απώλειες θα είναι:

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

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

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

Οι ολικές απώλειες θα είναι:

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

και ο βαθμός αποδόσεως:

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

12. ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι μηχανές όμοιες στην κατασκευή τους με τις σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες. Όταν ένας εναλλακτήρας τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο, δίνει μηχανική ενέργεια στον άξονά του. Γίνεται δηλαδή σύγχρονος κινητήρας.

Η περιγραφή της κατασκευής των εναλλακτών ισχύει και για τους σύγχρονους κινητήρες.

Η αρχή της λειτουργίας των κινητήρων αυτών στηρίζεται στο περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το τυλίγμα του στάτη, όταν ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος με εσωτερικούς πόλους. Όταν έχει εξωτερικούς πόλους, η αρχή λειτουργίας είναι ακριβώς η ίδια, με μονη διαφορά ότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το δημιουργεί τότε το τυλίγμα του δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται με φορά αντίθετη από τη φορά του πεδίου.

Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των κινητήρων αυτών θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα (3.9.11.α) στο οποίο παριστάνεται ένας διπολικός σύγχρονος κινητήρας με απλοποιημένη μορφή. Στο σχήμα δεν έχει σχεδιασθεί το τυλίγμα του στάτη, δεχόμαστε όμως ότι το τυλίγμα αυτό τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και ότι συνεπώς δημιουργεί ένα διπολικό μαγνητικό πεδίο. Για απλότητα το παριστάνουμε στο σχήμα με τους δυο (φανταστικούς) πόλους α και β , οι οποίοι περιστρέφονται, σύμφωνα με όσα αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, με τη σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου κατά τη φορά που δείχνουν τα τόξα στο σχήμα.

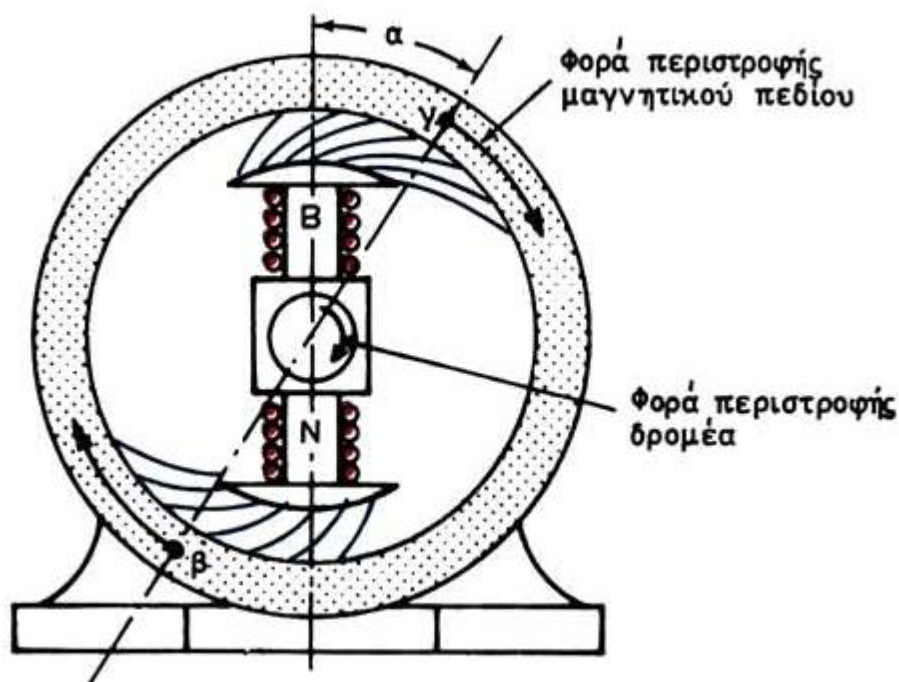
Δεχόμαστε επίσης, ότι ο δρομέας του σύγχρονου κινητήρα περιστρέφεται και αυτός με τη σύγχρονη ταχύτητα κατά την ίδια φορά με το μαγνητικό πεδίο. Τα τυλίγματα του δρομέα τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα και συνεπώς δημιουργούν τους δυο (πραγματικούς) μαγνητικούς πόλους Β και Ν.

Με τις παραπάνω παραδοχές είναι εύκολο να αντιληφθούμε, ότι οι περιστρεφόμενοι πόλοι α και β του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη ασκούν ελκτικές δυνάμεις στους ετερόνυμους πόλους Β και Ν του δρομέα, που περιστρέφονται και αυτοί με την ίδια ταχύτητα.

Οι εφαπτομενικές συνιστώσες (κάθετες προς τον άξονα Β - Ν των πόλων) των δυνάμεων αυτών ασκούν ροπή στο δρομέα, ο οποίος μπορεί έτσι να κινήσει το φορτίο που έχει στον άξονά του.

Αν δεχθούμε ότι είναι αμελητέα η ωμική αντίσταση του τυλίγματος του στάτη, δηλαδή ότι το τυλίγμα αυτό έχει αμελητέες ηλεκτρικές απώλειες, είναι εύκολο να υπολογίσουμε τη ροπή T , την οποία το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ασκεί στο δρομέα. Η πραγματική ισχύς, την οποία ο κινητήρας απορροφά από το τριφασικό δίκτυο, είναι:

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



Σχήμα.: 3.9.11.α.

Η ισχύς αυτή μεταβιβάζεται όλη (αφού αμελήσαμε τις ηλεκτρικές απώλειες) στο δρομέα μέσω των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων ως μηχανική ισχύς, η οποία όπως γνωρίζουμε, είναι ίση με $2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T$.

Άρα:

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

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

όπου: N_1 είναι η πραγματική ισχύς σε W που απορροφά ο κινητήρας,

U η ολική τάση σε V του δικτύου,

I η ένταση γραμμής σε A που απορροφά ο κινητήρας,

$\cos\phi$ ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα και

n_s η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα σε στρ/s.

Απο τη ροπή αυτή μικρό μέρος ξοδεύεται για την υπερνίκηση των μηχανικών και των μαγνητικών απωλειών του δρομέα και το υπόλοιπο κινεί το φορτίο, που είναι στον άξονα του κινητήρα.

Όταν το φορτίο είναι μηδενικό, οι άξονες των πόλων ν , β και B, N σχεδόν συμπίπτουν. Δηλαδή η γωνία α του σχήματος γίνεται πολύ μικρή γιατί οι επαπτομενικές συνιστώσες των ελκτικών δυνάμεων έχουν να υπερνικήσουν μόνο τις μηχανικές και μαγνητικές απώλειες του κινητήρα.

Όταν το φορτίο του κινητήρα αυξηθεί, ο δρομέας καθυστερεί για λίγο, ώστε να αυξηθεί η γωνία α . Η γωνία αυτή δεν πρέπει να υπερβεί το μισό της γωνιακής αποστασεως μεταξύ δυο διαδοχικών πόλων ν και β (τις 90° στην περίπτωση του σχήματος(3.9.11.α), οπότε γίνεται μέγιστη η ροπή του κινητήρα. Αν η γωνία αυτή γίνει μεγαλύτερη, λόγω αυξήσεως του φορτίου πέρα από ένα όριο, η περιστροφή του δρομέα του σύγχρονου κινητήρα δεν είναι πια δυνατή. Ο δρομέας **απαγκιστρώνεται από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και σταματά απότομα.**

Δηλαδή **οι σύγχρονοι κινητήρες δεν είναι δυνατό να λειτουργήσουν παρά μόνο αν περιστρέφονται με ταχύτητα ακριβώς ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα.** Άρα, η ταχύτητα περιστροφής ενός σύγχρονου κινητήρα δίνεται από την ίδια σχέση, που δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου

Το συμπέρασμα αυτό εξηγεί επίσης και το γιατί **οι σύγχρονοι κινητήρες δεν μπορούν να ξεκινήσουν μόνοι τους.** Όταν στην εκκίνηση κλείσουμε το διακόπτη, ο οποίος τροφοδοτεί το τύλιγμα του κινητήρα με εναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργείται αμέσως το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας όμως του κινητήρα δεν είναι δυνατό, λόγω των δυνάμεων της αδράνειας, να αποκτήσει και αυτός αμέσως τη σύγχρονη ταχύτητα. Θα πρέπει δηλαδή ο κινητήρας να λειτουργήσει στην εκκίνηση για ορισμένο χρονικό διάστημα με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη ταχύτητα. Αυτό όμως, όπως είδαμε, είναι αδύνατο για τους σύγχρονους κινητήρες.

Κατά τη λειτουργία **του σύγχρονου κινητήρα η φορά περιστροφής είναι η ίδια με τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου.** Άρα για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου.

Εκκίνηση των σύγχρονων κινητήρων

Για την εκκίνησή τους οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν ανάγκη από ένα εξωτερικό μέσο, π.χ. από ένα μικρό βοηθητικό ασύγχρονο κινητήρα, για να τους θέσουμε προοδευτικά σε κίνηση και να τους φέρομε στη σύγχρονη ταχύτητα. Επειδή ο βοηθητικός αυτός κινητήρας έχει μικρή ισχύ, πρέπει η εκκίνηση να γίνεται χωρίς φορτίο στον άξονα του σύγχρονου κινητήρα.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας φθάσει στη σύγχρονη ταχύτητα, τροφοδοτούμε τη διεγέρσή του με συνεχές ρεύμα. Τώρα ο σύγχρονος κινητήρας συμπεριφέρεται σαν εναλλακτήρας, αφού κινείται ακόμη από το βοηθητικό κινητήρα. Για να τον συνδέσουμε λοιπόν στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, δηλαδή για να τροφοδοτήσουμε το τύλιγμα του στάτη, πρέπει πρώτα να τον συγχρονίσουμε με το δίκτυο, Έτσι οι εγκαταστάσεις των συγχρόνων κινητήρων περιλαμβάνουν και τα απαιτούμενα για το συγχρονισμό όργανα.

Μετά το συγχρονισμό διακόπουμε την τροφοδότηση του βοηθητικού κινητήρα, που χρησιμοποιήσαμε για την εκκίνηση και αν υπάρχει κατάλληλη διάταξη τον αποσυμπλέκουμε από τον άξονα του σύγχρονου κινητήρα. Είναι φανερό ότι ο βοηθητικός κινητήρας, πρέπει να έχει τέτοια ταχύτητα περιστροφής, ώστε να μπορεί να δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα στο σύγχρονο κινητήρα.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμεύει για να κινεί γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, άλλος τρόπος για να τον βάλουμε σε κίνηση είναι να μετατρέπουμε στην εκκίνηση τη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος σε κινητήρια. Αυτό βεβαίως προϋποθέτει ότι διαθέτουμε κατάλληλη πηγή συνεχούς ρεύματος.

Τέλος, άλλος τρόπος είναι να γίνει η εκκίνηση του σύγχρονου κινητήρα σαν ασύγχρονου. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας έχει από την κατασκευή του στα πέδιλα των μαγνητικών πόλων ένα τύλιγμα κλωβού, όπως αυτό που,

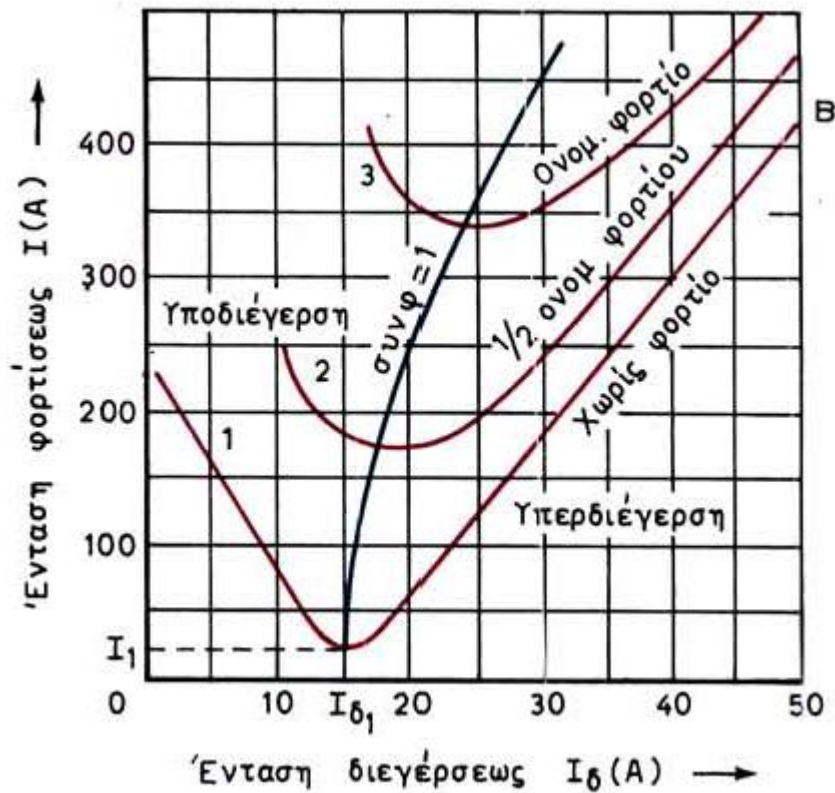
έχουν οι ασύγχρονοι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα. Η εκκίνηση του σύγχρονου κινητήρα γίνεται τώρα με ένα από τους τρόπους, με τους οποίους εκκινούν οι ασύγχρονοι κινητήρες και χωρίς να τροφοδοτείται η διέγερσή του με συνεχές ρεύμα. Με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα περιστροφής του σύγχρονου κινητήρα φθάνει σε μια τιμή 2 ως 5% μικρότερη της σύγχρονης. Τότε κλείνουμε το κύκλωμα, που τροφοδοτεί το τύλιγμα της διεγέρσεως με συνεχές ρεύμα και ο *κινητήρας αυτοσυγχρονίζεται*, οπότε περιστρέφεται πια με το σύγχρονο αριθμό τροφών. Η μέθοδος αυτή της εκκινήσεως των συγχρόνων κινητήρων εφαρμόζεται σήμερα πολύ, γιατί έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται βοηθητικό κινητήρα ούτε πηγή συνεχούς ρεύματος. Επίσης αποφεύγεται με αυτή η διαδικασία του συγχρονισμού και τα όργανα που απαιτούνται για το σκοπό αυτό. Τέλος, με τη μέθοδο αυτή ο κινητήρας μπορεί να ξεκινά με φορτίο, όπως γίνεται και με τους ασύγχρονους κινητήρες.

13. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο στον άξονά του, η ένταση (ένταση φορτίσεως), που απορροφά από το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, εξαρτάται από την ένταση διεγέρσεως I_{δ} με την οποία τροφοδοτείται το τύλιγμα των πόλων του δρομέα.

Η καμπύλη 1 στο σχήμα (3.9.12.α) δείχνει πως μεταβάλλεται η ένταση I , όταν μεταβάλλεται η ένταση διεγέρσεως I_{δ} , στη λειτουργία χωρίς φορτίο του σύγχρονου κινητήρα. Την I_{δ} τη ρυθμίζουμε με ένα από τους τρόπους που αναφέραμε για τη ρύθμιση της διεγέρσεως των εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα, η καμπύλη 1 έχει περίπου σχήμα V. Για μια ορισμένη τιμή I_{δ_1} της εντάσεως διεγέρσεως, η ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη (I_1). *Με τη διέγερση αυτή, που ονομάζεται κανονική διέγερση, ο τύγχρονος κινητήρας φορτίζει το δίκτυο ωμικά. Τότε η τάση του δικτύου και η ένταση I_1 είναι σε φάση, δηλαδή ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα είναι ίσος με 1 (συνφ=1).*



Καμπύλες V ενός σύγχρονου κινητήρα.

Σχήμα.: 3.9.12.α.:

Για κάθε άλλη τιμή της έντασεως διεγέρσεως, μικρότερη ή μεγαλύτερη της I_{δ_1} , η ένταση φορτίσεως μεγαλώνει. Άρα το $\cos\phi$ του κινητήρα γίνεται μικρότερο της μονάδας και μάλιστα τόσο μικρότερο, όσο η I είναι μεγαλύτερη. Όταν η ένταση διεγέρσεως γίνει μικρότερη της I_{δ_1} , λέμε ότι ο σύγχρονος κινητήρας **υποδιεγείρεται**, και όταν γίνει μεγαλύτερη, ότι **υπερδιεγείρεται**.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας φορτισθεί και λειτουργεί με σταθερό φορτίο, πάλι η ένταση, που απορροφά από το δίκτυο, εξαρτάται από τη διέγερση, όπως γίνεται και στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Δηλαδή για κάθε φορτίο έχουμε μια καμπύλη σχήματος V. Το σχήμα δείχνει τις καμπύλες αυτές για το $1/2$ του ονομαστικού φορτίου και για το πλήρες φορτίο.

Για κάθε καμπύλη V υπάρχει μια κανονική ένταση διεγέρσεως, για την οποία η ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη και το συνφ του κινητήρα ίσο με τη μονάδα. Δηλαδή ο κινητήρας τότε φορτίζει το δίκτυο ωμικά. Τα σημεία, που παριστάνουν τη λειτουργία του κινητήρα με $\text{synf} = 1$ για τα διάφορα φορτία βρίσκονται σε μια καμπύλη $\text{synf} = 1$. Δεξιά της καμπύλης αυτής ο σύγχρονος κινητήρας βρίσκεται σε υπερδιέγερση και αριστερά σε υποδιέγερση.

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

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

Χρήση των σύγχρονων κινητήρων

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι ακριβοί κινητήρες σε σύγκριση με τους ασύγχρονους. Έχουν όμως ορισμένες ιδιότητες για τις οποίες προτιμούνται σε ειδικές περιπτώσεις. Οι σύγχρονοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι συνήθως πάνω από 100 kW.

Οι κινητήρες αυτοί προτιμούνται, όταν χρειαζόμαστε απόλυτα σταθερή ταχύτητα περιστροφής, σε συνδυασμό με μεγάλο βαθμό αποδόσεως. Σαν παραδείγματα εφαρμογών αναφέρομε την κίνηση εναλλακτών, που παράγουν ρεύμα συχνότητας διαφορετικής από τη συχνότητα του δικτύου, την κίνηση ελαστών, την κίνηση ορισμένων μεγάλων φυγοκεντρικών αντλιών, συμπιεστών κλπ.

Άλλο πεδίο εφαρμογής των συγχρόνων κινητήρων είναι η βελτίωση του συντελεστή ισχύος μιας εγκαταστάσεως ή γενικότερα ενός δικτύου. Στις περιπτώσεις αυτές ο σύγχρονος κινητήρας είναι δυνατό να κινεί φορτίο (μηχάνημα) και να βελτιώνει ταυτόχρονα το συντελεστή ισχύος της εγκαταστάσεως, ή να χρησιμοποιείται μόνο για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, χωρίς να κινεί μηχάνημα. Στην τελευταία περίπτωση ονομάζεται **σύγχρονος πυκνωτής** ή **σύγχρονος αντισταθμιστής**. Για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται εκμετάλλευση της ιδιότητας που έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες να φορτίζουν το δίκτυο χωρητικά, όταν υπερδιεγείρονται, όπως εξηγήσαμε [ανωτέρω](#).

Παράδειγμα.

Ένα εργοστάσιο απορροφά ισχύ $N_{\text{εργ}} = 500 \text{ kW}$ με $\text{synf} = 0,7$. Για την κίνηση ενός νέου μηχανήματος, που χρειάζεται ισχύ $N_{\mu} = 200 \text{ kW}$ θα χρησιμοποιηθεί σύγχρονος κινητήρας με βαθμό αποδόσεως $\eta_{\kappa} = 0,9$. Ποιο πρέπει να είναι το μέγεθος του σύγχρονου κινητήρα για να μπορεί να βελτιώνει το συντελεστή ισχύος όλης της εγκαταστάσεως σε $\text{synf}_{\text{ολ}} = 0,92$;

Λύση.

Η φαινόμενη ισχύς $N_{s_{εργ}}$ του εργοστασίου πριν από την τοποθέτηση του σύγχρονου κινητήρα είναι:

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

Όμοια η άεργος ισχύς (επαγωγική) είναι:

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

Για την καλύτερη κατανόηση της λύσεως κάνομε το διανυσματικό διάγραμμα των ισχυων, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.9.12.β)

Ο σύγχρονος κινητήρας θα απορροφά από το δίκτυο πραγματική ισχύ:

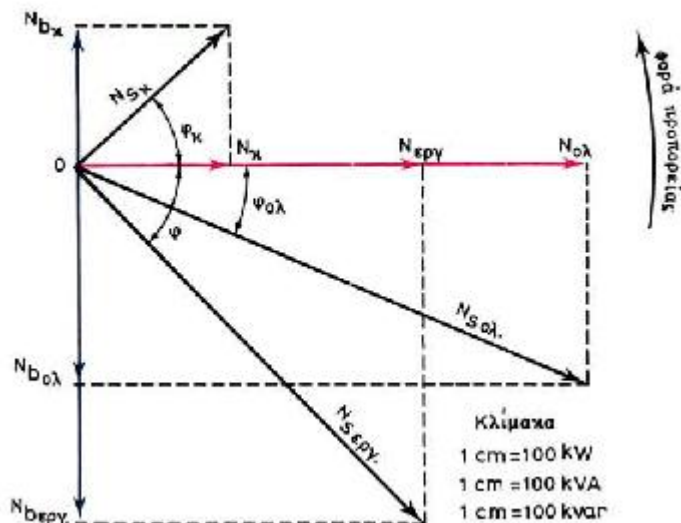
$$N_{κ} = \frac{N_{μ}}{\eta_{κ}} = \frac{200}{0,9} = 222 \text{ kW}$$

Άρα η ολική πραγματική ισχύς του εργοστασίου μετά από την τοποθέτηση του σύγχρονου κινητήρα θα είναι:

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

Επειδή θέλομε η όλη εγκατάσταση να έχει $\text{συν}\phi_{ολ} = 0,92$, θα είναι:

$$N_{s_{ολ}} = \frac{N_{ολ}}{\text{συν}\phi_{ολ}} = \frac{722}{0,92} = 785 \text{ kVA} \quad \text{και}$$
$$N_{b_{ολ}} = \sqrt{N_{s_{ολ}}^2 - N_{ολ}^2} = \sqrt{785^2 - 722^2} = 308 \text{ kvar}$$



Σχήμα.: 3.9.12.β.

Στο σχήμα (3.9.12.β) κατασκευάζουμε επίσης το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων στην τελική κατάσταση του εργοστασίου. Το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων του σύγχρονου κινητήρα είναι δυνατό να κατασκευασθεί στο ίδιο σχημα, αφού γνωρίζουμε ότι ο κινητήρας πρέπει να φορτίζει το δίκτυο χωρητικά για να βελτιώνει το συνφ. Επίσης γνωρίζουμε το $N_k = 222 \text{ kW}$ και το

$$N_{b_k} = N_{b_{\epsilon\rho\gamma}} - N_{b_{o\lambda}} = 510 - 308 = 202 \text{ kvar}$$

Η φαινόμενη ισχύς που πρέπει να έχει ο σύγχρονος κινητήρας προκύπτει από τη σχέση:

$$N_{s_k} = \sqrt{N_k^2 + N_{b_k}^2} = \sqrt{222^2 + 202^2} = 300 \text{ kVA}$$

Για να έχει όλη η εγκατάσταση $\text{syn}\phi_{o\lambda} = 0,92$, ο σύγχρονος κινητήρας πρέπει να λειτουργεί με:

$$\text{syn}\phi_k = \frac{N_k}{N_{s_k}} = \frac{222}{300} = 0,74$$

Στη λύση του παραδείγματος το διανυσματικό διάγραμμα των ισχύων χρησιμοποιήθηκε επεξηγηματικά, είναι δυνατόν όμως, κατά τα γνωστά από την Ηλεκτροτεχνία, όταν σχεδιασθεί υπό κλίμακα, όπως στο σχήμα (3.9.12.β) να δώσει την ζητούμενη απάντηση, χωρίς να χρειάζεται να γίνουν όλες οι παραπάνω πράξεις.

14. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1.

Ποια η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους;

2.

Πώς συνδέονται μεταξύ τους η συχνότητα της παραγόμενης Η.Ε.Δ., τα ζεύγη πόλων και η ταχύτητα περιστροφής εναλλακτήρα;

3.

Από τι αποτελείται ο στάτης των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους; Πού καταλήγουν τα άκρα των τυλιγμάτων Ε.Ρ.;

4.

Ποιος εναλλακτής λέγεται μονοφασικός και ποιος τριφασικός; Πόσα άκρα έχει το τύλιγμα Ε.Ρ. σε κάθε περίπτωση; Πού συνδέονται και πώς συμβολίζονται;

5.

Πώς συνδέονται μεταξύ τους οι τρεις (3) φάσεις εναλλακτήρα; Ποια συνδεσμολογία χρησιμοποιείται περισσότερο στην πράξη και γιατί;

6.

Πότε λέμε ότι ένας εναλλακτήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο και πότε με φορτίο;

7.

Πώς ρυθμίζεται η τάση εξόδου εναλλακτήρα; Πού επεμβαίνουμε;

8

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.

9.

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.

10.

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.

11.

Το βασικό πλεονέκτημα της σύνδεσης των τυλιγμάτων ενός εναλλακτήρα, σε αστέρα, είναι ότι έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε:

α. δίκτυο τριών αγωγών.

γ. μεγάλους καταναλωτές.

β. 3~ καταναλωτές.

δ. 1~ και 3~ καταναλωτές.

12

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.

13

. Η Η.Ε.Δ. μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων, ανεξάρτητα από τη σύνδεση (σε Υ ή Δ) των τυλιγμάτων των 3~ εναλλακτήρα, ονομάζεται:

- α. συμμετρική.
- β. ενεργός.
- γ. διπολική.
- δ. πολική.
- ε. φασική.

14.

. Για να πάρουμε μεγάλη Η.Ε.Δ. από έναν εναλλακτήρα τοποθετούμε στο επαγωγικό τύμπανο:

- α. πολλές σπείρες.
- β. πολλές ομάδες.
- γ. συγκροτήματα ομάδων.
- δ. όλα τα παραπάνω σε σειρά.

15.

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

16.

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

17.

Να υπολογισθεί η πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη οκταπολικού τριφασικού εναλλακτήρα που περιστρέφεται με ταχύτητα 900 στρ/min και του οποίου το επαγωγικό τύμπανο έχει 39 αυλάκια με 6 αγωγούς στο κάθε αυλάκι. Τα τυλίγματα του εναλλακτήρα είναι συνδεσμολογημένα σε αστέρα, η δε χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου είναι 0,0243 Vs (να ληφθεί $K=2,23$)

18.

Ένας εναλλακτήρας έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες του σχήματος 3.9.8.α. Αν η κανονική έντασή του είναι $I = 16A$, ποιά είναι η διακύμανση τάσεως για τους τρεις συντελεστές ισχύος του φορτίου

19.

Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό φορτίο τριφασικού εναλλακτήρα με στοιχεία 8 KVA, 440 V, 60 Hz, 1800 ΣΑΛ, 10 A, $\cos\phi=0,8$, συνεχής λειτουργία, μέγιστη διέγερση 110V – 3,5 A και του οποίου δίνεται το άθροισμα των μηχανικών απωλειών του ίσο με 380 W. Ο εναλλακτήρας έχει σύνδεση τυλιγμάτων σε αστέρα με ωμική αντίσταση κάθε φάσεως ίση με 1,5 Ω

20.

Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό φορτίο τριφασικού εναλλακτήρα με στοιχεία 8 KVA, 440 V, 60 Hz, 1800 ΣΑΛ, 10 A, $\cos\phi=0,8$, συνεχής λειτουργία, μέγιστη διέγερση 110V – 3,5 A και του οποίου δίνεται το άθροισμα των μηχανικών απωλειών του ίσο με 380 W. Ο εναλλακτήρας έχει σύνδεση τυλιγμάτων σε τρίγωνο με ωμική αντίσταση κάθε φάσεως ίση με 1,5 Ω

21.

Να υπολογισθεί η πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη τετραπολικού τριφασικού εναλλακτήρα που περιστρέφεται με ταχύτητα 1800 στρ/μιν και του οποίου το επαγωγικό τύμπανο έχει 30 αυλάκια με 5 αγωγούς στο κάθε αυλάκι. Τα τυλίγματα του εναλλακτήρα είναι συνδεσμολογημένα σε αστέρα, η δε χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου είναι 0,02 Vs (να ληφθεί $K=2,23$)

22.

Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό φορτίο τριφασικού εναλλακτήρα με στοιχεία 7 KVA, 400 V, 50 Hz, 1500 ΣΑΛ, 10 A, $\cos\phi=0,8$, συνεχής λειτουργία, μέγιστη διέγερση 110V – 3,5 A και του οποίου δίνεται το άθροισμα των μηχανικών απωλειών του ίσο με 350 W. Ο εναλλακτήρας έχει σύνδεση τυλιγμάτων σε τρίγωνο με ωμική αντίσταση κάθε φάσεως ίση με 1 Ω

23.

Ένα εργοστάσιο απορροφά ισχύ $N_{εργ} = 450\text{KW}$ με $\cos\phi=0,75$. Για την κίνηση ενός μηχανήματος, που χρειάζεται ισχύ $N_{μ} = 200\text{KW}$ θα χρησιμοποιηθεί σύγχρονος κινητήρας με βαθμό απόδοσης $\eta_K = 0,9$. Ποιό πρέπει να είναι το μέγεθος του σύγχρονου κινητήρα για να μπορεί να βελτιώνει το συντελεστή ισχύος όλης της εγκαταστάσεως σε $\cos\phi_{ολ} = 0,91$