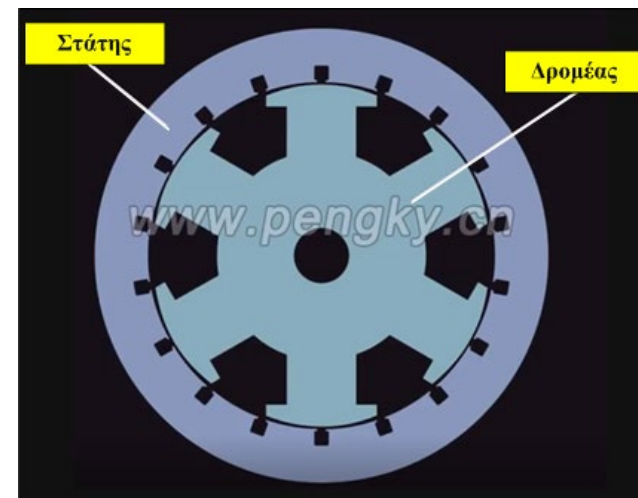
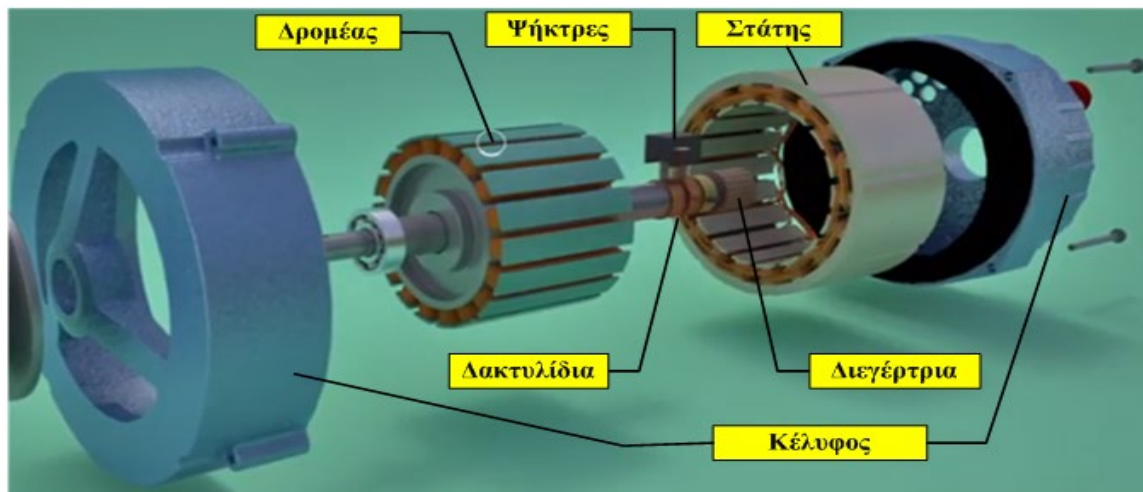




Σύγχρονες Γεννήτριες

Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

Η **σύγχρονη μηχανή** είναι **διπλής τροφοδότησης**, σε αντίθεση με την ασύγχρονη μηχανή η οποία είναι **απλής τροφοδότησης** (καθόσον το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται εξ' αλληλεπαγωγής από το τύλιγμα του στάτη).

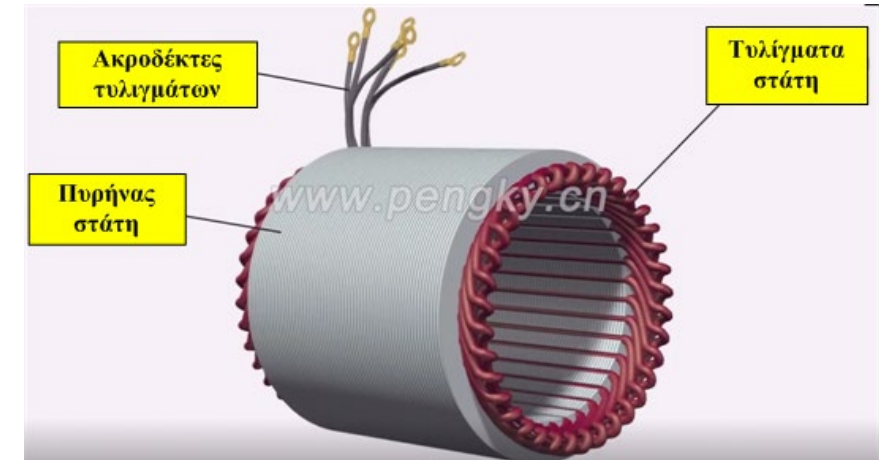
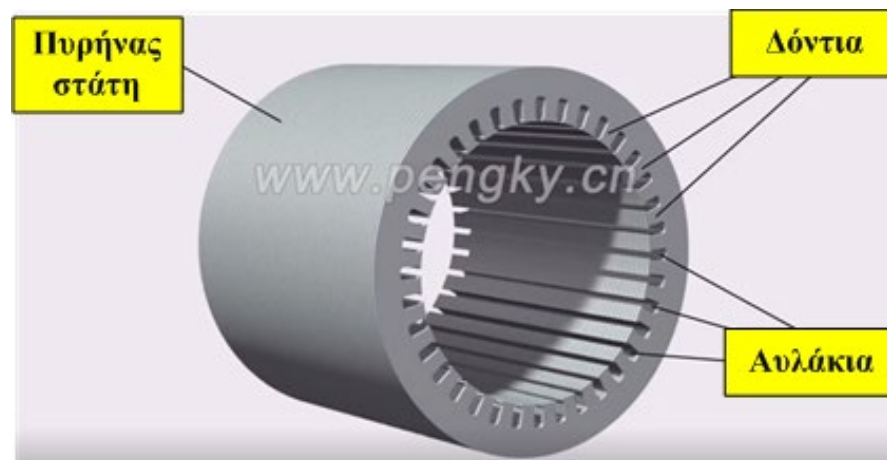


- Το **τύλιγμα τυμπάνου** είναι απόλυτα όμοιο με εκείνο των μηχανών επαγωγής, βρίσκεται συνήθως στον **στάτη** και είναι **τριφασικό διανεμημένο τύλιγμα**.
- Το **τύλιγμα του δρομέα** γνωστό και ως **τύλιγμα διέγερσης** ή **τύλιγμα πεδίου**, είναι τύλιγμα **συνεχούς ρεύματος** και αναλόγως του αριθμού των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο ή συγκεντρωμένο. Σε σπάνιες περιπτώσεις, είναι δυνατόν το τύλιγμα τυμπάνου να βρίσκεται στον δρομέα και το τύλιγμα διέγερσης στον στάτη.

Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές



Στάτης σύγχρονης μηχανής



Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

Κατηγορίες σύγχρονων μηχανών (Ανάλογα με τον αριθμό των πόλων)

- **Μηχανές κυλινδρικού δρομέα** (Πολύστροφες μηχανές)
 - ✓ Συνήθως είναι διπολικές ή τετραπολικές
 - ✓ Εμφανίζουν **καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά**
 - ✓ Είναι **μεγαλύτερου ενεργού μήκους** και **μικρότερης διαμέτρου**
- **Μηχανές έκτυπων πόλων** (Αργόστροφες μηχανές)
 - ✓ Είναι **μικρότερου ενεργού μήκους** και **μεγαλύτερης διαμέτρου** (για τον περιορισμό των φυγοκεντρικών δυνάμεων αλλά και τη μείωση της ροπής αδράνειας των στρεφόμενων μαζών). Πρακτικά οι σύγχρονες μηχανές άνω των τεσσάρων πόλων κατασκευάζονται με έκτυπους πόλους.

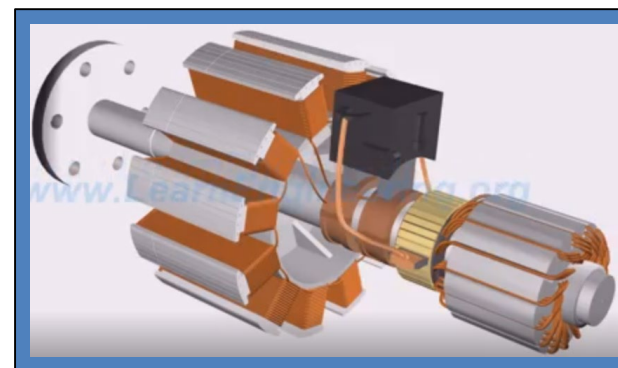
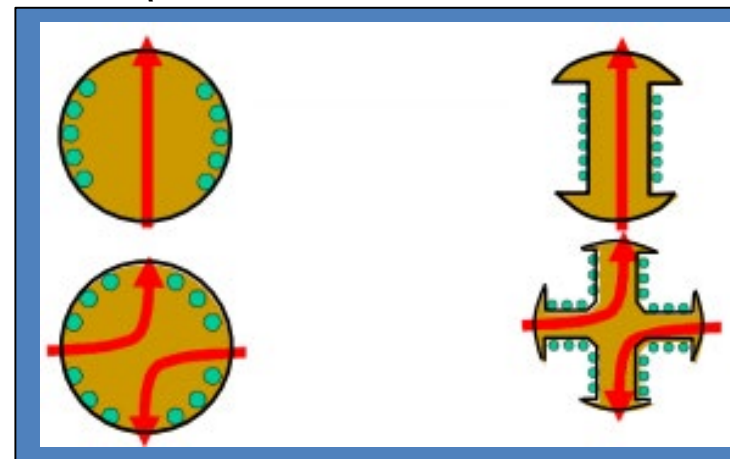
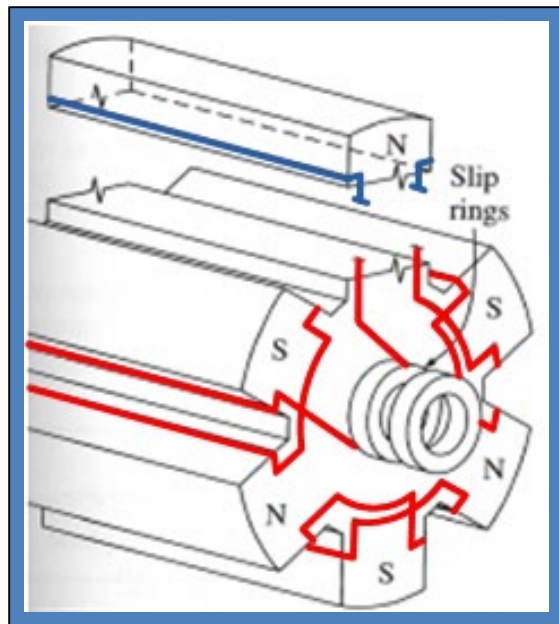
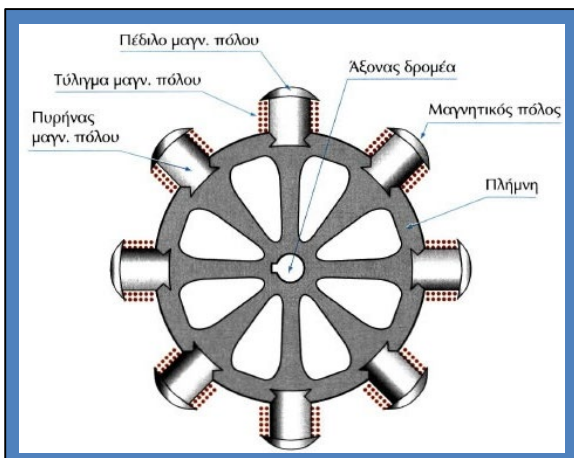
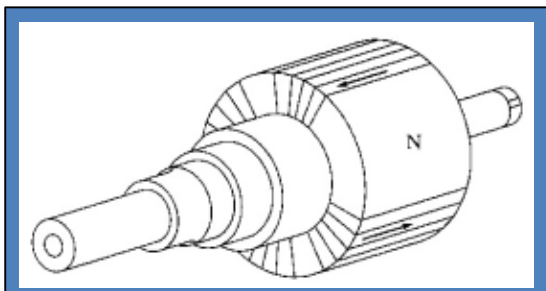
Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας

- Στρέφεται πάντα με **σταθερό αριθμό στροφών** (**σύγχρονο αριθμό στροφών**), ανεξάρτητα από το είδος της λειτουργίας της ως **κινητήρα** ή **γεννήτρια** και τις συνθήκες φόρτισης.
- Η **ολίσθηση** του δρομέα είναι **μηδενική**, δηλαδή το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής και ο δρομέας, στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, **στρέφονται με την ίδια ταχύτητα**.

Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

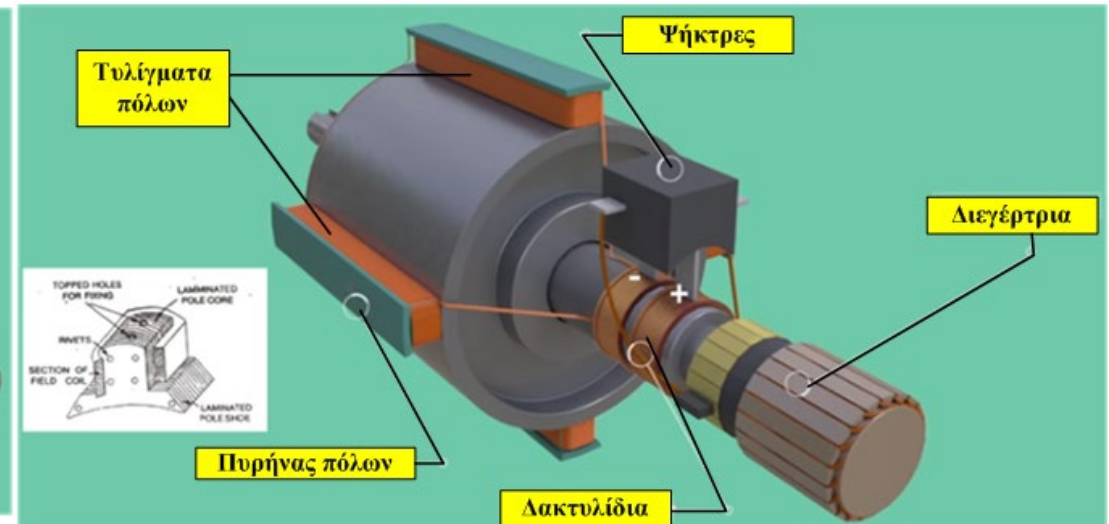
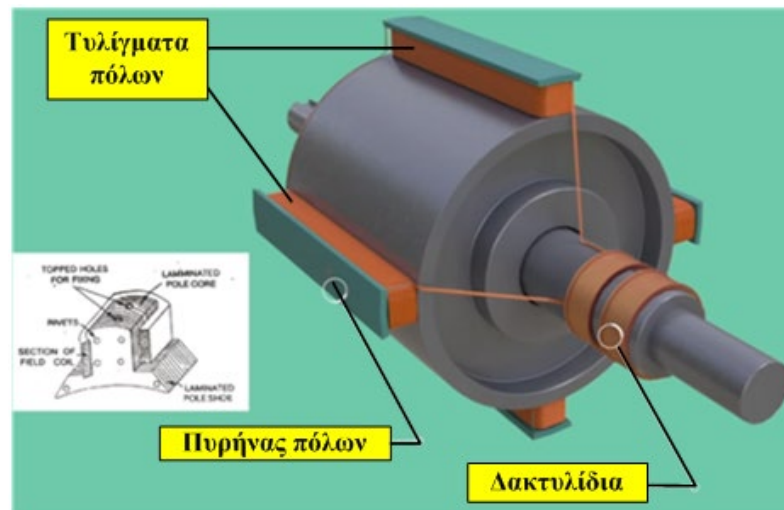
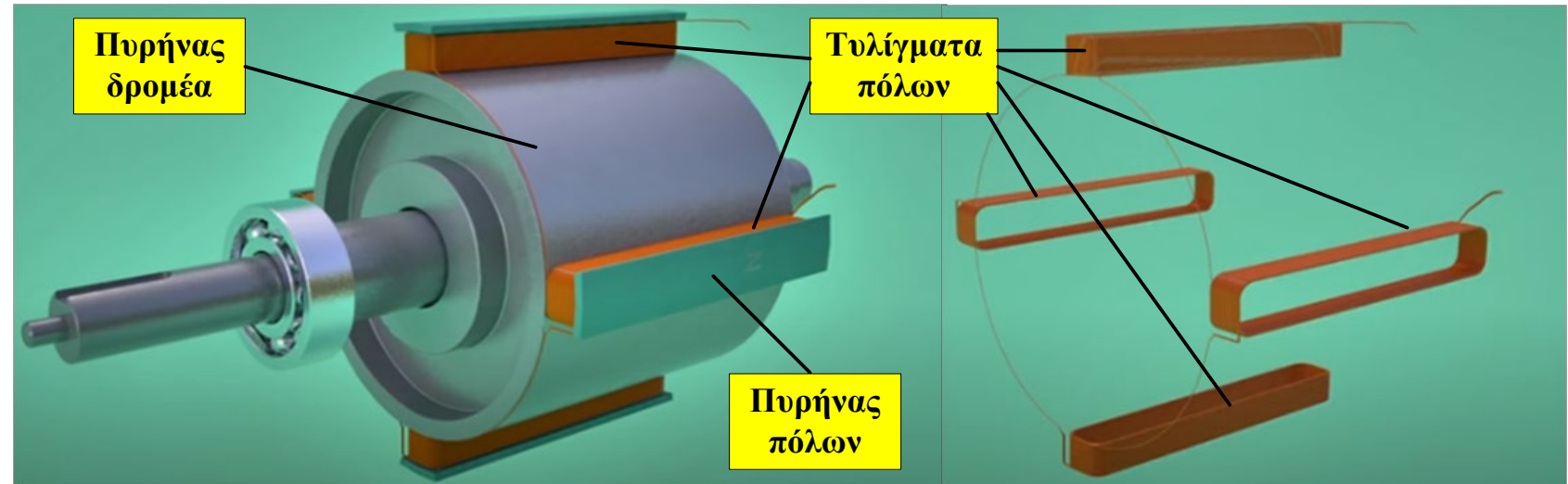
Δρομέας σύγχρονης μηχανής

Το **τύλιγμα του δρομέα** γνωστό και ως **τύλιγμα διέγερσης** ή **τύλιγμα πεδίου**, είναι τύλιγμα **συνεχούς ρεύματος** και αναλόγως του αριθμού των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο ή συγκεντρωμένο. Σε σπάνιες περιπτώσεις είναι δυνατόν το τύλιγμα τυμπάνου να βρίσκεται στον δρομέα και το τύλιγμα διέγερσης στον στάτη.

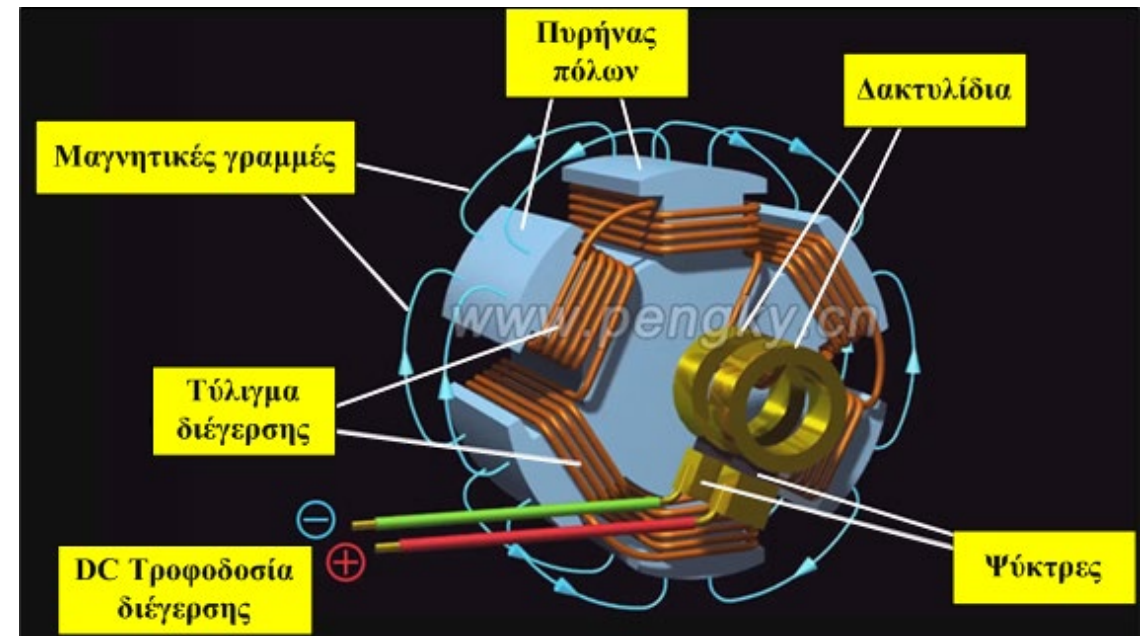
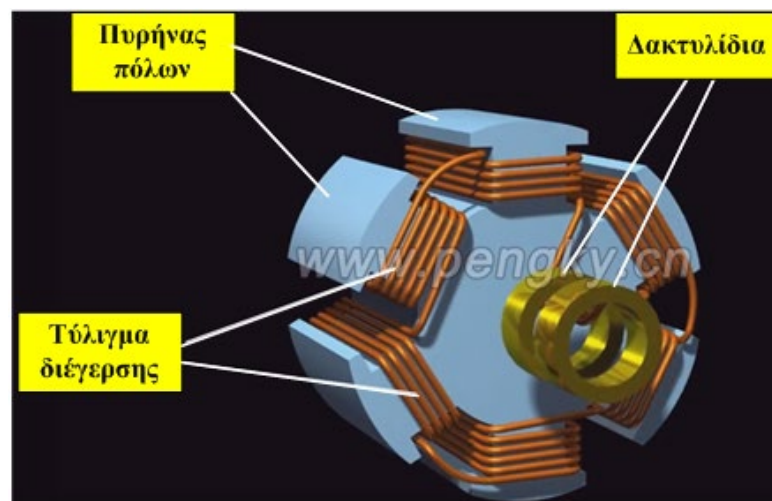
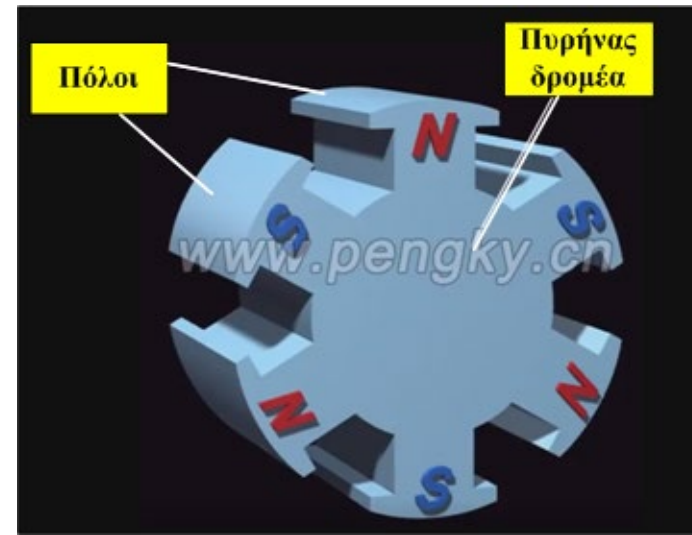
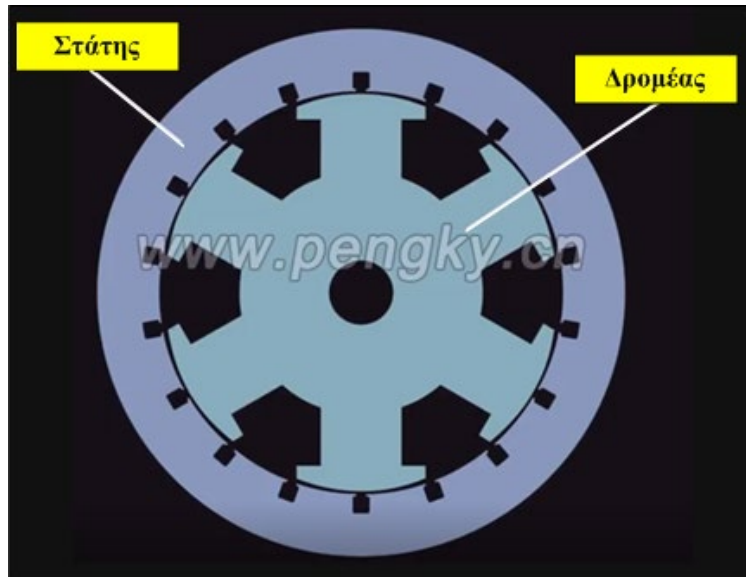


Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

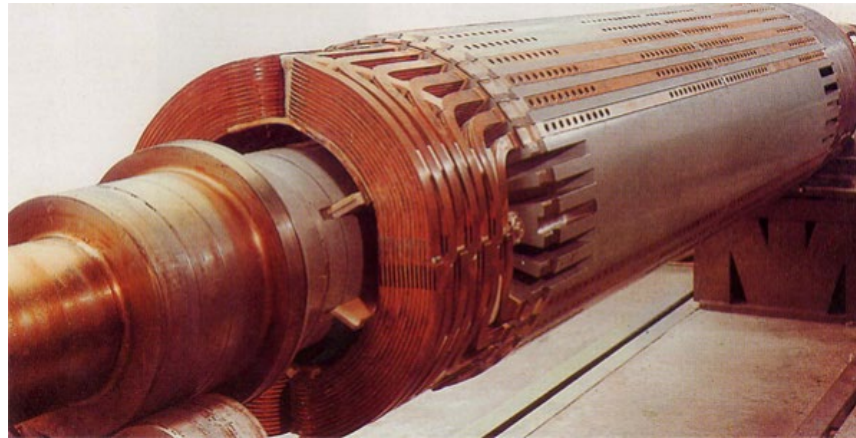
Δρομέας σύγχρονης μηχανής



Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές



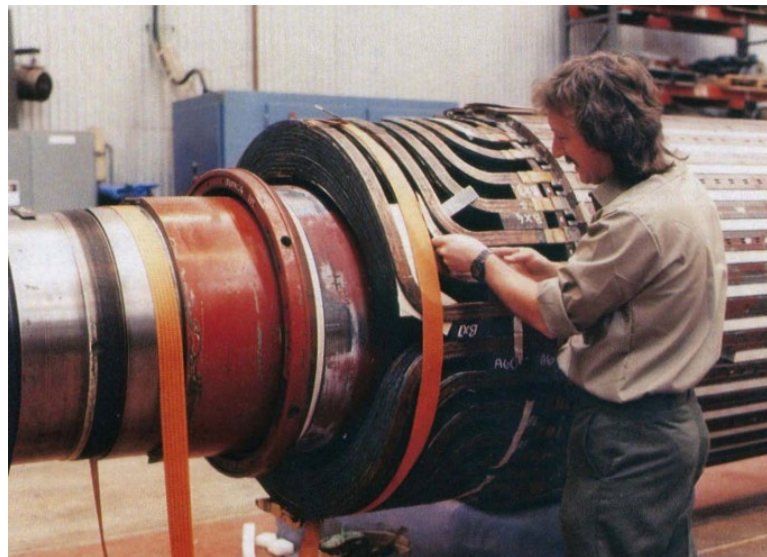
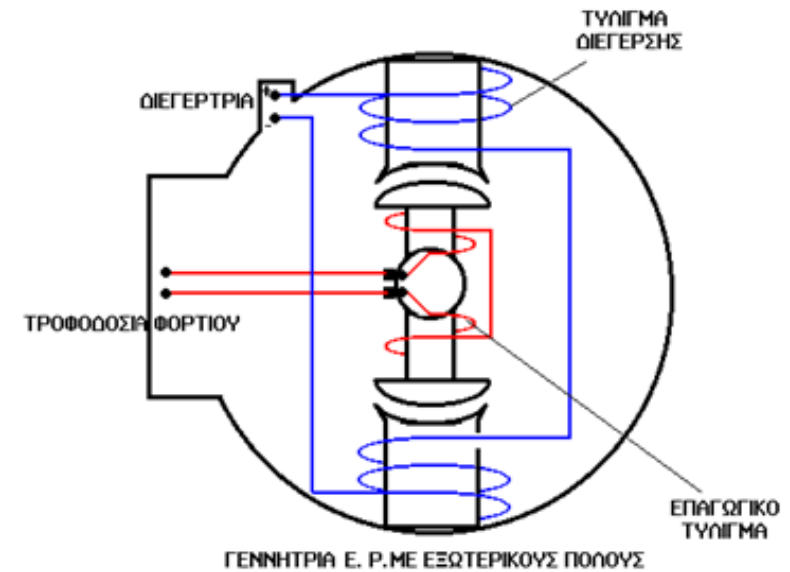
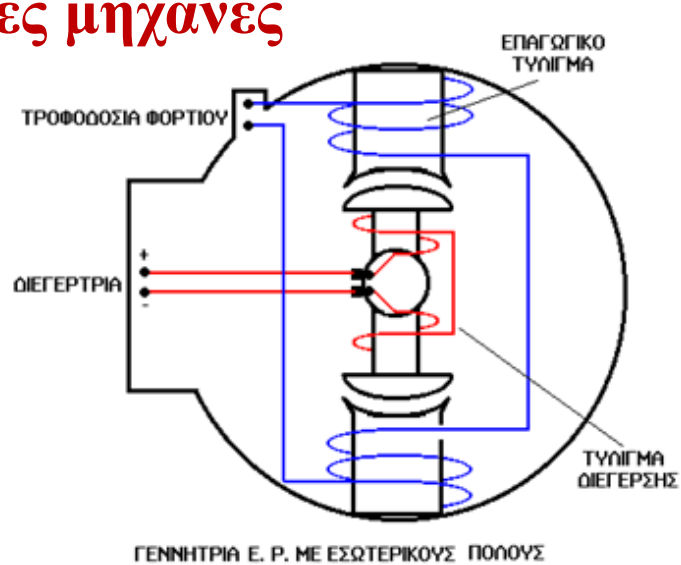
Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές



Δρομέας σύγχρονης μηχανής



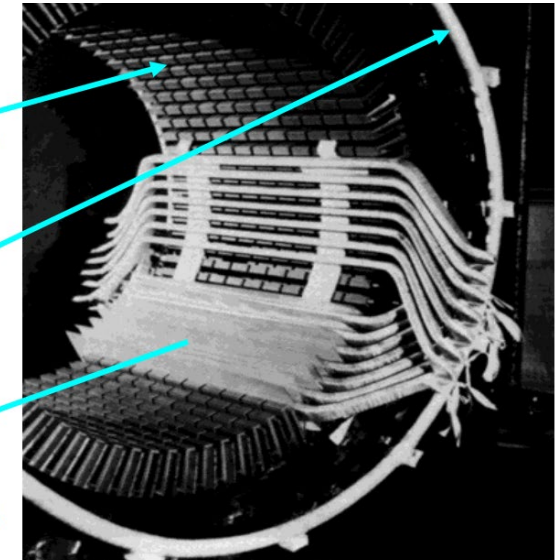
Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές



Πυρήνας από ελάσματα σιδήρου
(με αυλακώσεις)

Μεταλλικό περίβλημα

Μονωμένες ράβδοι χαλκού
τοποθετημένες στις αυλακώσεις
για τη δημιουργία των
περιελίξεων στις τρεις φάσεις



Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

ΧΡΗΣΗ : Χρησιμοποιούνται κυρίως ως **γεννήτριες** και λιγότερο ως κινητήρες.
(π.χ. Αντλητικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς)

Βασικό πλεονέκτημα σύγχρονης γεννήτριας

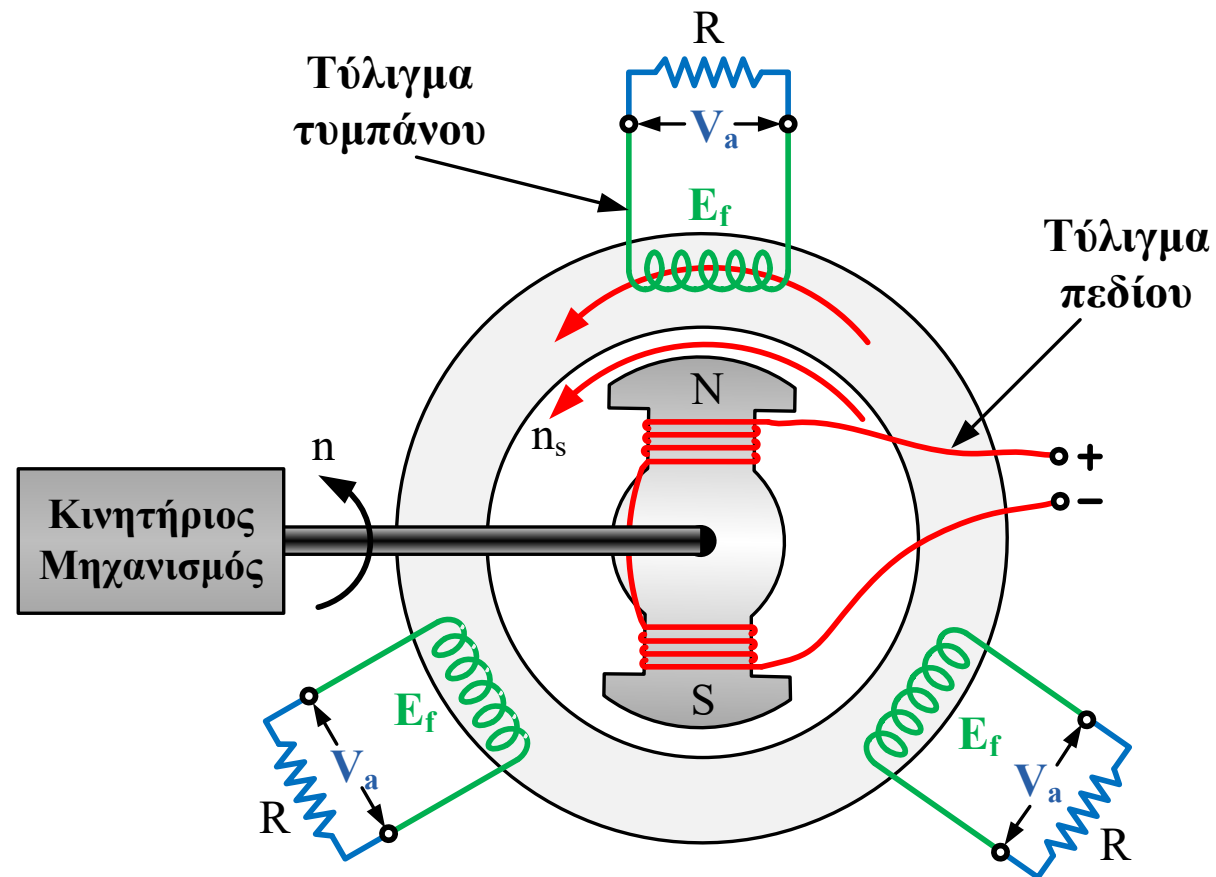
Εύκολη ρύθμιση της ενεργού και της αέργου ισχύος.

Χαρακτηριστικό των σύγχρονων κινητήρων

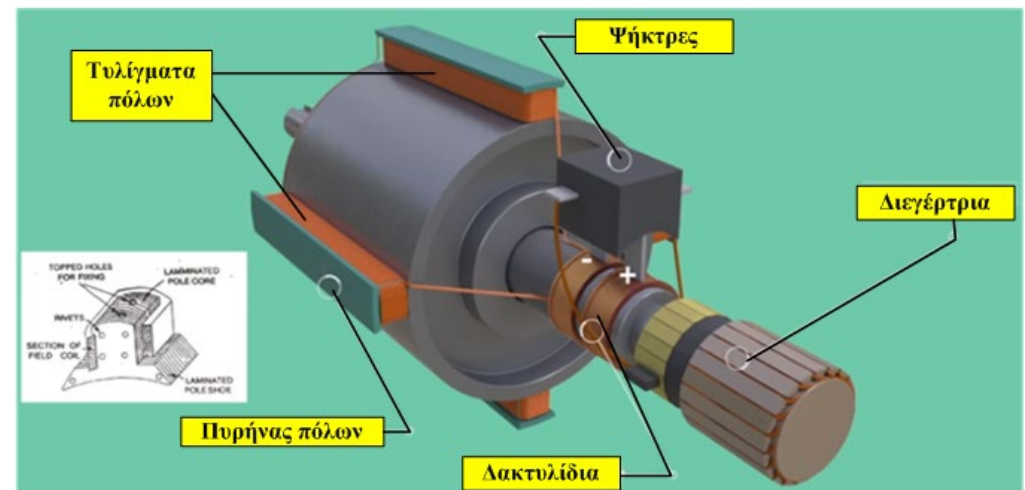
Με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσης, για τις ίδιες συνθήκες φόρτισης μπορεί να εμφανίζουν **χωρητική, επαγωγική ή ωμική συμπεριφορά**.

Υπάρχουν **σύγχρονοι κινητήρες** (στα κέντρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στους υποσταθμούς βιομηχανικών μονάδων μεγάλης ισχύος), οι οποίοι συνήθως είναι χωρίς εξωτερικούς άξονες και οι οποίοι χρησιμοποιούνται σαν **τοπικές μονάδες αντιστάθμισης της άεργης ισχύος**. Οι κινητήρες αυτοί, **δεν παράγουν μηχανικό έργο** («επιπλέουν» στο δίκτυο) και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσης τους, συμπεριφέρονται είτε ως **ιδανικοί πυκνωτές** είτε ως **ιδανικά πηνία**.

Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας



- **Τύλιγμα τύμπανου:** Βρίσκεται στον **στάτη** (τρία επιμέρους όμοια 1Φ διανεμημένα τυλίγματα ένα για κάθε φάση, με τους μαγνητικούς τους άξονες μετατιθέμενους στον χώρο κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες).
- **Τύλιγμα του πεδίου ή διέγερσης:** Βρίσκεται στον **δρομέα** (τροφοδοτείται με Σ.Ρ. μέσω ψηκτρών οι οποίες ολισθαίνουν σε δακτυλίους κατάλληλα τοποθετημένους στον δρομέα).
- **Ο δρομέας** κινείται με τη **σύγχρονη ταχύτητα**, από κινητήρα συνδεδεμένο στον άξονα.



Ταχύτητα περιστροφής Σύγχρονης Γεννήτριας

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που εξετάζονται εδώ ονομάζονται σύγχρονες επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας των τάσεων του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίνεται από τη σχέση:

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

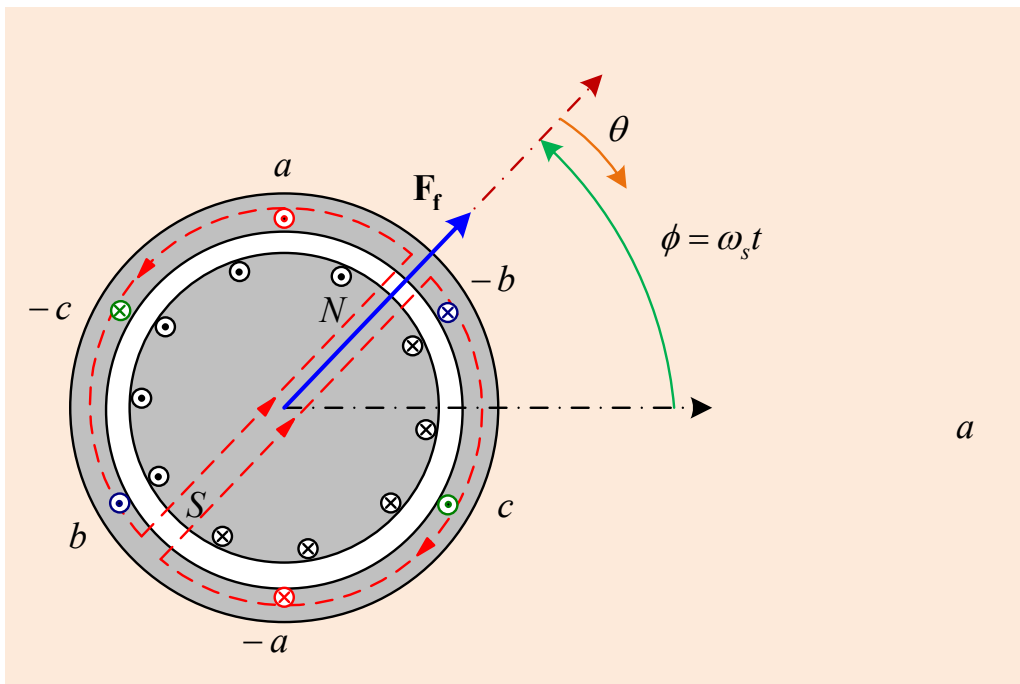
f_e : ηλεκτρική συχνότητα σε Hz

n_m : ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε RPM (= ταχύτητα περιστροφής του δρομέα)

P : αριθμός πόλων μηχανής

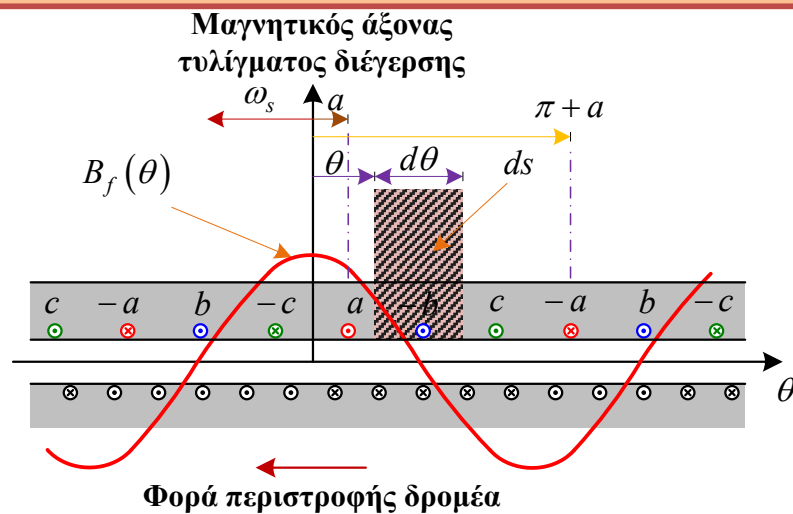
Επειδή λοιπόν ο **δρομέας** της μηχανής περιστρέφεται με την **ίδια ταχύτητα** που περιστρέφεται και το **μαγνητικό πεδίο** της, η παραπάνω εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ της **ταχύτητας περιστροφής** της μηχανής και της **ηλεκτρικής συχνότητάς** της.

Μαγνητικοί άξονες τυλιγμάτων τυμπάνου και διέγερσης



- **Τύλιγμα τύμπανου:** Βρίσκεται στον **στάτη** (τρία επιμέρους όμοια 1Φ διανεμημένα τυλίγματα ένα για κάθε φάση, με τους μαγνητικούς τους άξονες μετατιθέμενους στο χώρο κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες).
- **Τύλιγμα του πεδίου ή διέγερσης:** Βρίσκεται στον **δρομέα** (τροφοδοτείται με Σ.Ρ. μέσω ψηκτρών οι οποίες ολισθαίνουν σε δακτυλίους κατάλληλα τοποθετημένους στον δρομέα).

Ανάπτυξη τάσης



- Το θεμελιώδες κύμα πυκνότητας μαγνητικής ροής του δρομέα **περιστρέφεται με τη n_s** .
- Το πεδίο του δρομέα είναι ακίνητο στον χώρο και το **τύλιγμα τυμπάνου** περιστρέφεται με **ταχύτητα ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς περιστροφής**.

Μαγνητική ροή ανά πόλο στο τύλιγμα μιας φάσης

$$\varphi_{af} = -\Phi_f \sin \omega t \quad \text{όπου} \quad \Phi_f = \frac{4}{P} B_{fm} l r$$

Τάση διέγερσης: Η επαγόμενη τάση στο τύλιγμα μιας φάσης

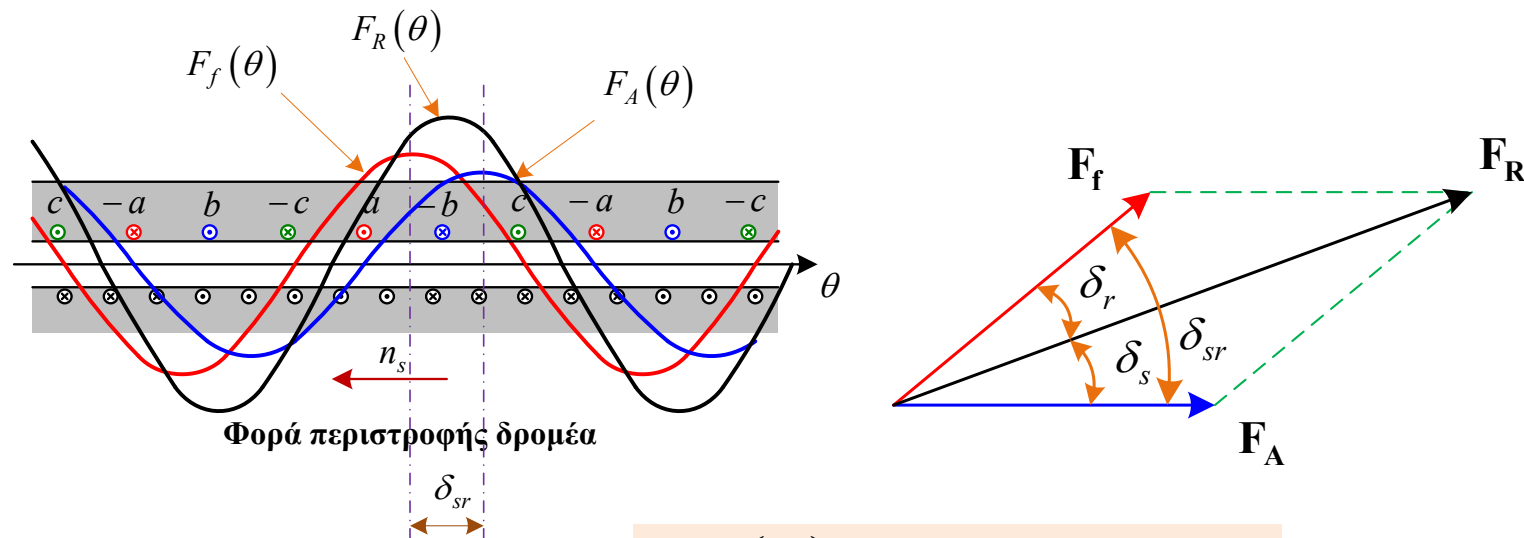
$$e_{af} = -\frac{d\lambda_{af}}{dt} = -N_{ph} \Phi_f \frac{d}{dt}(-\sin \omega t) = N_{ph} \Phi_f \cos \omega t = E_m \cos \omega t$$

Με ενεργό τιμή

$$E_f = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_{ph} \Phi_f}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_{ph} \Phi_f$$

Ανάπτυξη ροπής

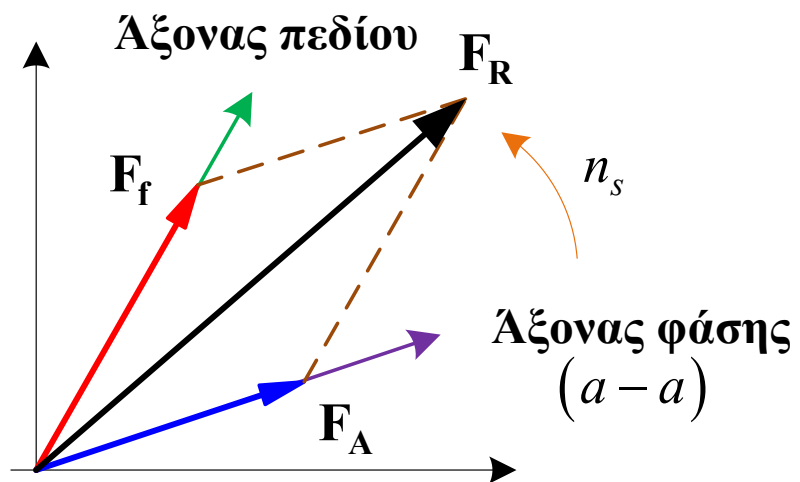
- Τα **μαγνητικά πεδία** των τυλιγμάτων **διέγερσης** και **τυμπάνου** στρέφονται με την ίδια $\mathbf{n}_s$ και την **ίδια φορά περιστροφής**, σχηματίζοντας μια σταθερή γωνία μεταξύ τους. Η γωνία αυτή, καθορίζεται από το **Σ.Ι.** υπό τον οποίο λειτουργεί η μηχανή.
- **Ανάπτυξη ροπής**: Στην προσπάθεια των δύο πεδίων να **ευθυγραμμίσουν** τους μαγνητικούς τους άξονες.
 - ✓ Στην περίπτωση του **κινητήρα** αποτελεί **κινούσα ροπή**
 - ✓ Στην περίπτωση της **γεννήτριας** **αντιδρώσα ροπή**.



Παραγόμενη ροπή

$$\tau = -\left(\frac{P}{2}\right) \frac{\mu_o \pi D l}{2g} F_{fm} F_{Am} \sin \delta_{sr}$$

Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα



- Στη **μόνιμη κατάσταση λειτουργίας**, τα μαγνητικά πεδία των τυλιγμάτων πεδίου και τυμπάνου, περιστρέφονται και τα δύο **με την ίδια κατεύθυνση με τη σύγχρονη ταχύτητα**.
- Για **λειτουργία γεννήτριας**, το πεδίο της διέγερσης προηγείται του πεδίου της αντίδρασης τυμπάνου, ενώ για **λειτουργία κινητήρα** έπεται.
- Η **θεμελιώδης συνιστώσα** της συνισταμένης Μ.Ε.Δ. στο διάκενο, προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των θεμελιωδών συνιστωσών των Μ.Ε.Δ. των τυλιγμάτων του πεδίου και τυμπάνου.

Η **μαγνητική ροή ανά πόλο στο διάκενο** προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των επιμέρους μαγνητικών ροών ανά πόλο των τυλιγμάτων πεδίου και τυμπάνου.

$$\Phi_R = \Phi_f + \Phi_A$$

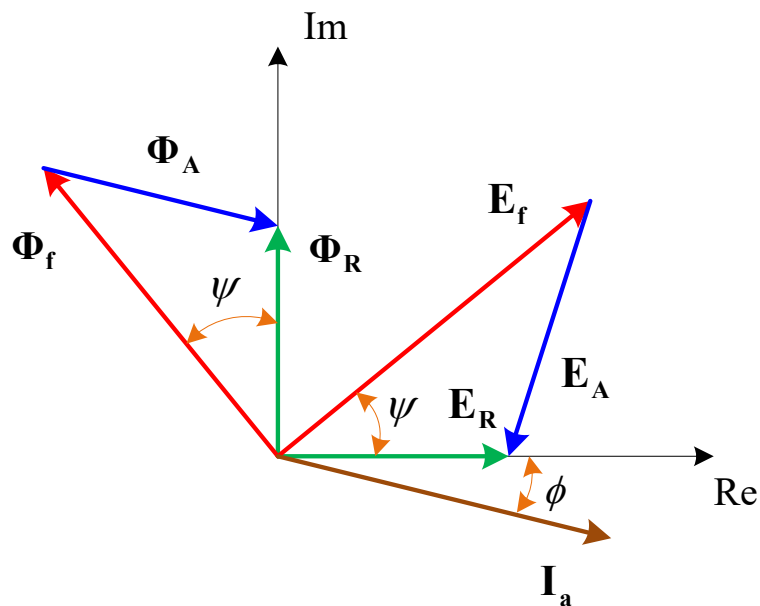
Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα

Τάση διακένου: Η επαγόμενη Η.Ε.Δ. κατά την υπό φορτίο λειτουργία λόγω της συνισταμένης Μ.Ε.Δ. στο διάκενο και **καθυστερεί** της αντίστοιχης μαγνητικής ροής κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες.

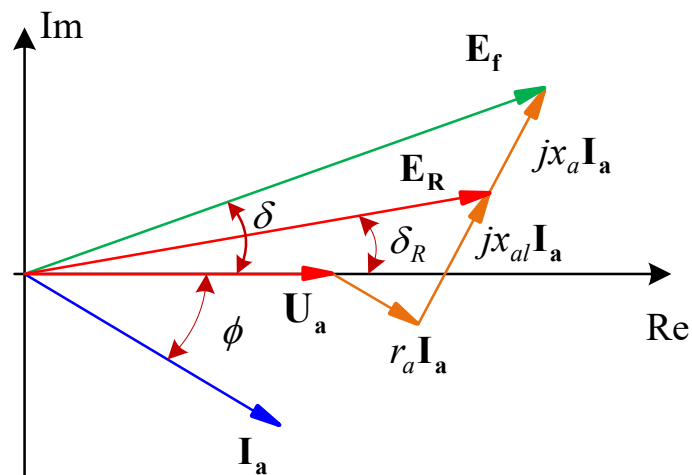
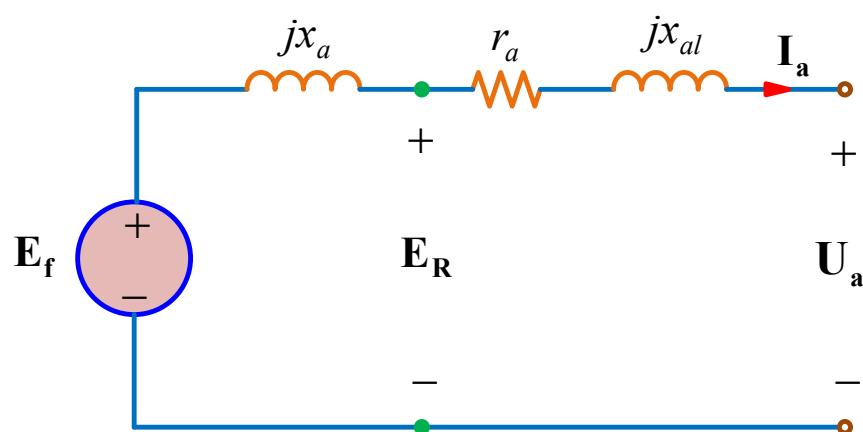
$$\mathbf{E}_R = \mathbf{E}_f + \mathbf{E}_A$$

E_R = επαγόμενη Η.Ε.Δ. λόγω της Φ_R (τάση διακένου), (V)

E_A = επαγόμενη Η.Ε.Δ. λόγω της Φ_A , (V)



Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα



$$\mathbf{E}_R = \mathbf{U}_a + (r_a + jx_{al})\mathbf{I}_a$$

$$\mathbf{E}_f = \mathbf{E}_R + jx_a \mathbf{I}_a = \mathbf{U}_a + \mathbf{I}_a (r_a + jx_s)$$

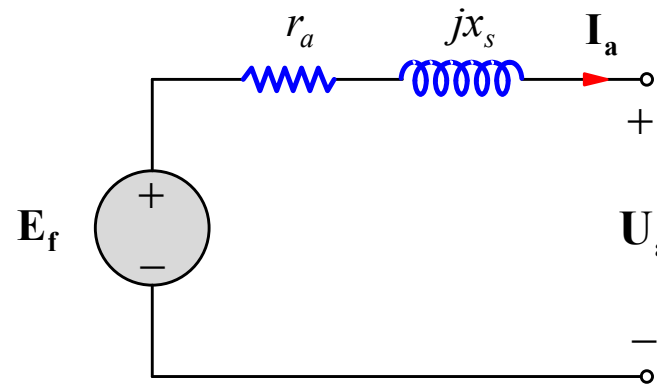
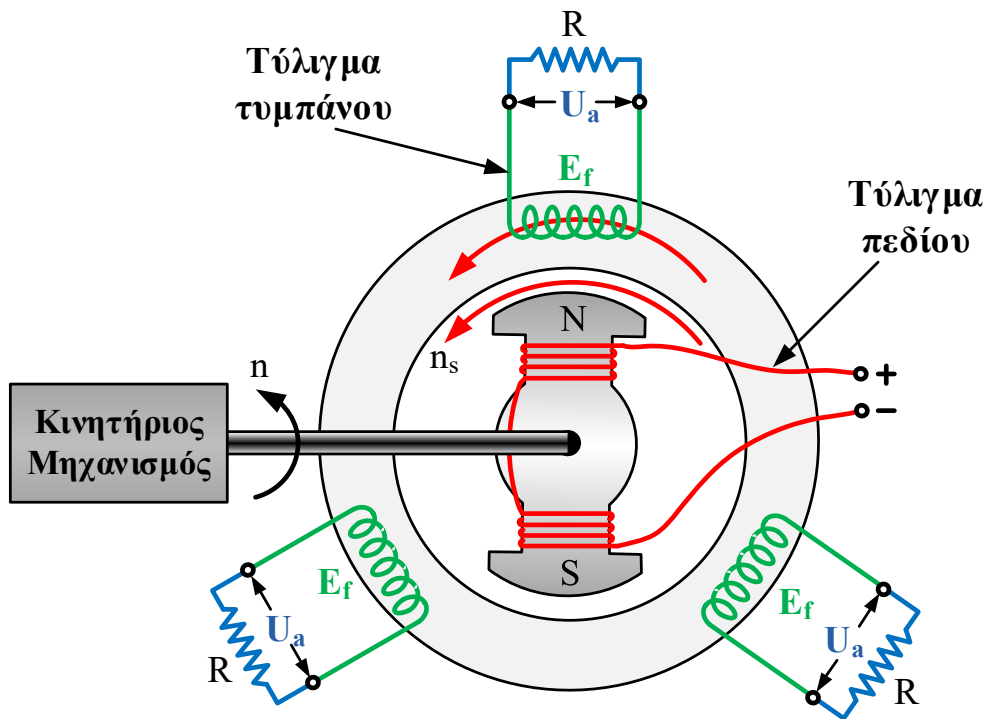
Η **επαγόμενη Η.Ε.Δ. E_A** λόγω της αντίδρασης του τυλίγματος τυμπάνου, **καθυστερεί** κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες σε σχέση με το διάνυσμα της **μαγνητικής ροής Φ_A** ή του **ρεύματος τυμπάνου I_a** .

$$\mathbf{E}_A = -jK_A \Phi_A = -jx_a \mathbf{I}_a$$

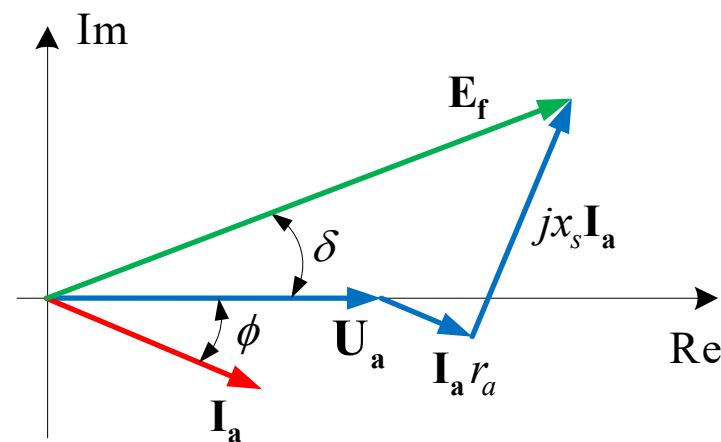
Σύγχρονη επαγωγική αντίδραση του τυλίγματος τυμπάνου

$$x_s = x_a + x_{al}$$

Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα



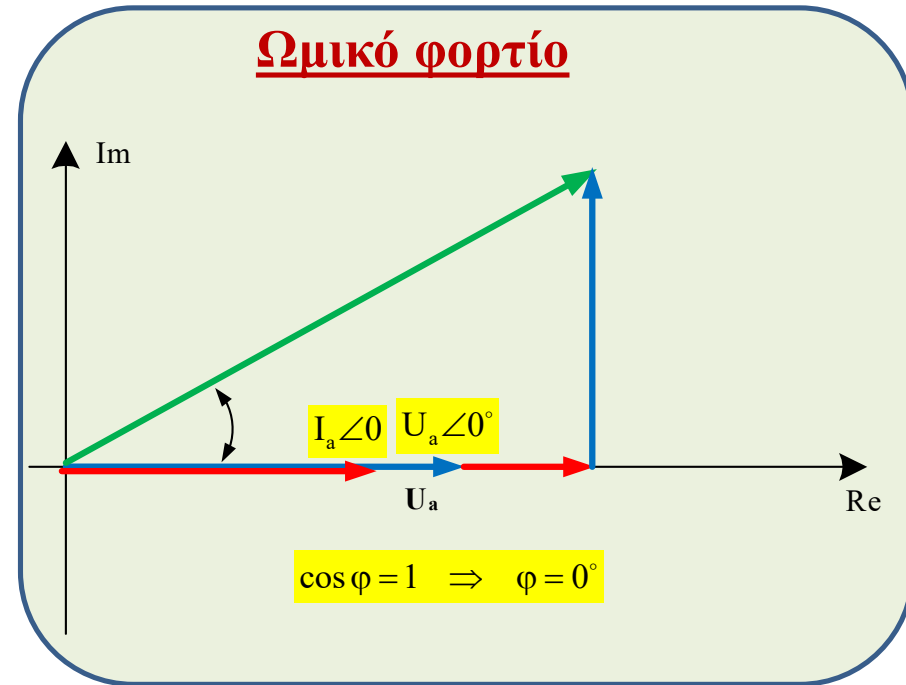
$$E_f = U_a + I_a (r_a + jx_s)$$



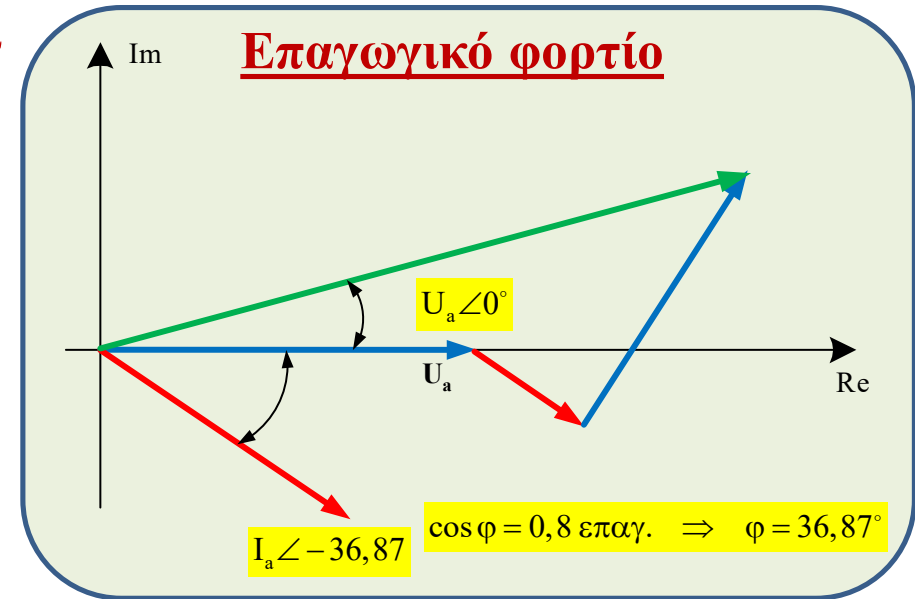
*Ισοδύναμο κύκλωμα
σύγχρονης γεννήτριας με
επαγωγική φόρτιση.*

Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα

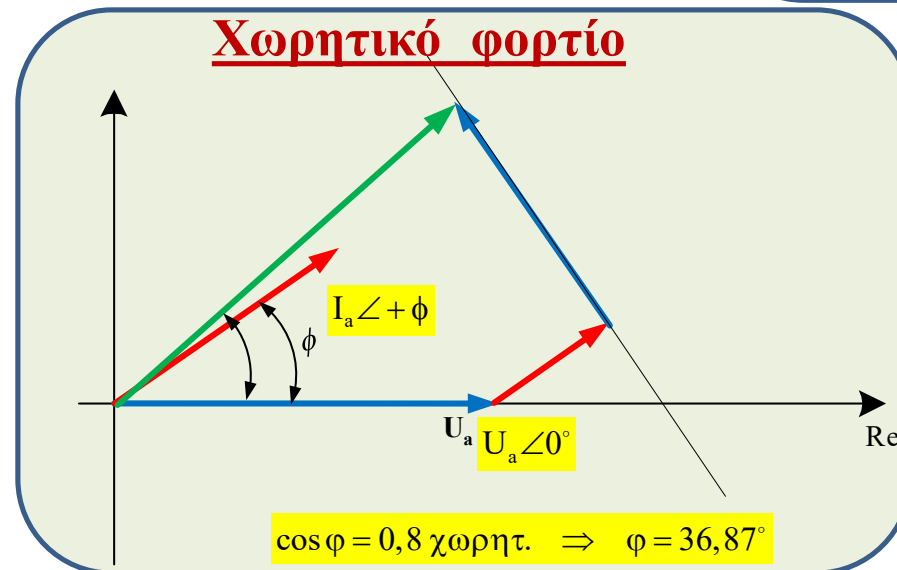
Ωμικό φορτίο



Επαγωγικό φορτίο



Χωρητικό φορτίο



Ρύθμιση της τάσης

Στην ιδανική περίπτωση, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής, θα ήταν επιθυμητό η **τάση ακροδεκτών** της γεννήτριας να συμπεριφέρεται σαν μια **ιδανική ανεξάρτητη πηγή τάσης**, δηλαδή το μέγεθός της να παραμένει σταθερό ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου. Κάποιες γεννήτριες προσεγγίζουν περισσότερο και κάποιες λιγότερο την **ιδανική κατάσταση**, όπως αυτή διατυπώθηκε. Ένα μέτρο για τον βαθμό προσέγγισης είναι η **ρύθμιση της τάσης (voltage regulation – VR)**, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$VR(\%) = \frac{E_f - U_a}{U_a} \times 100$$

E_f = τάση διέγερσης, (V)

U_a = τάση ακροδεκτών πλήρους φορτίου, (V)

Εκφράσεις ισχύος και ροπής μηχανής κυλινδρικού δρομέα

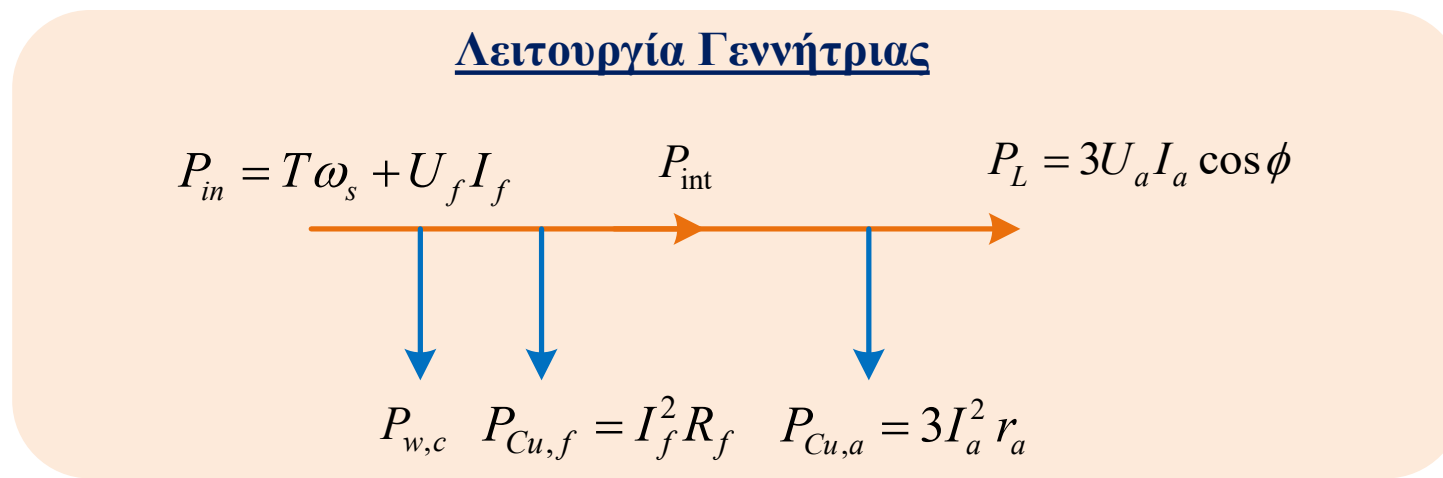
- Η σύγχρονη μηχανή ανεξάρτητα από το είδος της λειτουργίας της (σαν γεννήτρια ή σαν κινητήρας), συνήθως **συνδέεται σε άπειρο ζυγό** (σύστημα σταθερής τάσης και συχνότητας, το οποίο της εξασφαλίζει **σταθερή ταχύτητα περιστροφής** στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας).
- Υπάρχει ένα **όριο στη μέγιστη ισχύ** που μπορεί να αποδώσει η σύγχρονη μηχανή (για λειτουργία γεννήτριας ή κινητήρα) στο φορτίο, χωρίς να διατρέχει τον κίνδυνο της απώλειας του συγχρονισμού της.

Απώλειες Σύγχρονης Μηχανής

- **Μηχανικές:** Απώλειες τριβών και ανεμισμού, οι οποίες συνήθως θεωρούνται **σταθερές** και ανεξάρτητες της ταχύτητας περιστροφής. Στις μηχανικές απώλειες ενσωματώνουμε συνήθως και τις απώλειες πυρήνα.
- **Ηλεκτρικές:** Απώλειες χαλκού στα τυλίγματα διέγερσης και τυμπάνου.

Εκφράσεις ισχύος και ροπής μηχανής κυλινδρικού δρομέα

Διάγραμμα ροής ισχύος της σύγχρονης γεννήτριας



P_{in} = Ισχύς στην είσοδο της γεννήτριας, (W)

$P_{w,c}$ = Μηχανικές απώλειες τριβών και ανεμισμού καθώς και απώλειες πυρήνα, (W)

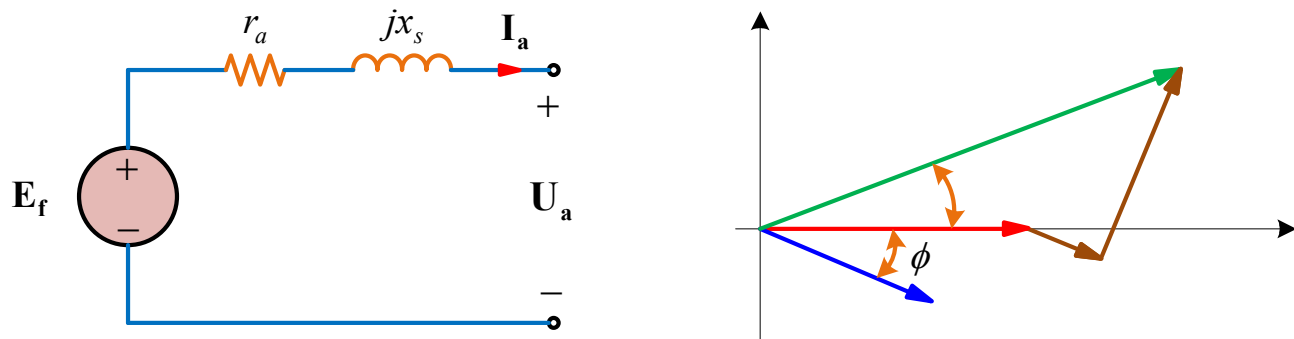
$P_{Cu,f}$ = Απώλειες χαλκού στα τυλίγματα διέγερσης, (W)

P_{int} = Εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς, (W)

$P_{Cu,a}$ = Απώλειες χαλκού στα τυλίγματα τυμπάνου, (W)

P_L = Ισχύς στο φορτίο, (W)

Εκφράσεις ισχύος και ροπής μηχανής κυλινδρικού δρομέα



Ρεύμα τυμπάνου

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{E}_f - \mathbf{U}_a}{r_a + jx_s} = \frac{\mathbf{E}_f - \mathbf{U}_a}{\mathbf{z}_s}$$

Εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς

$$P_{\text{int}} = 3 \operatorname{Re} \{ \mathbf{E}_f \mathbf{I}_a^* \}$$

$$P_{\text{int}} = \operatorname{Re} \{ \mathbf{S}_{\text{int}} \} = 3 \left(\frac{E_f^2}{z_s} \cos \varphi - \frac{E_f U_a}{z_s} \cos(\delta + \varphi) \right)$$

$$Q_{\text{int}} = \operatorname{Im} \{ \mathbf{S}_{\text{int}} \} = 3 \left(\frac{E_f^2}{z_s} \sin \varphi - \frac{E_f U_a}{z_s} \sin(\delta + \varphi) \right)$$

$$P_{\text{int}} = P_L + I_a^2 r_a$$

$$Q_{\text{int}} = Q_L + I_a^2 x_s$$

Ισχύς εξόδου της γεννήτριας (Ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο)

$$P_L = \operatorname{Re} \{ \mathbf{S}_L \} = 3 \left(\frac{U_a E_f}{z_s} \cos(\varphi - \delta) - \frac{U_a^2}{z_s} \cos \varphi \right)$$

$$Q_L = \operatorname{Im} \{ \mathbf{S}_L \} = 3 \left(\frac{U_a E_f}{z_s} \sin(\varphi - \delta) - \frac{U_a^2}{z_s} \sin \varphi \right)$$

Εκφράσεις ισχύος και ροπής μηχανής κυλινδρικού δρομέα

Απλοποιημένες σχέσεις: Επειδή $r_a \ll x_s$

$$P_{\text{int}} = P_L = 3 \frac{U_a E_f}{x_s} \sin \delta = P_{\text{max}} \sin \delta$$

Για σταθερή διέγερση και σταθερή τάση τροφοδοσίας, η **εσωτερική ισχύς** είναι αποκλειστικά και μόνο **συνάρτηση της γωνίας ροπής** (ή γωνίας φορτίου).

$$Q_{\text{int}} = 3 \left(\frac{E_f^2}{z_s} - \frac{E_f U_a}{z_s} \cos \delta \right)$$

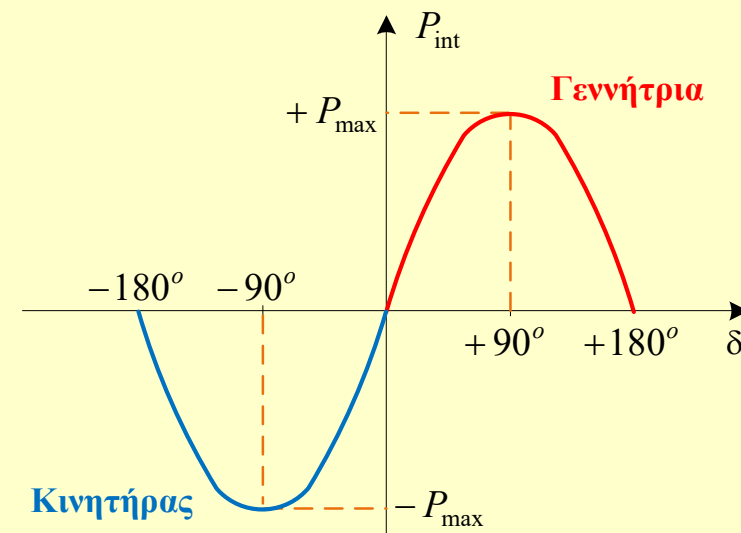
$$Q_L = 3 \left(\frac{U_a E_f}{z_s} \cos \delta - \frac{U_a^2}{z_s} \right)$$

Ισχύς αποσυγχρονισμού ή **στατικό όριο ευστάθειας:**

(Η μέγιστη εσωτερική ισχύ που μπορεί να αποδώσει η σύγχρονη μηχανή ανεξάρτητα από το είδος της λειτουργίας της).

Κάθε προσπάθεια για απόδοση **μεγαλύτερης ισχύος**, θα οδηγήσει σε **αποσυγχρονισμό**.

$$P_{\text{max}} = \frac{3 E_f U_a}{x_s}$$



Εκφράσεις ισχύος και ροπής μηχανής κυλινδρικού δρομέα

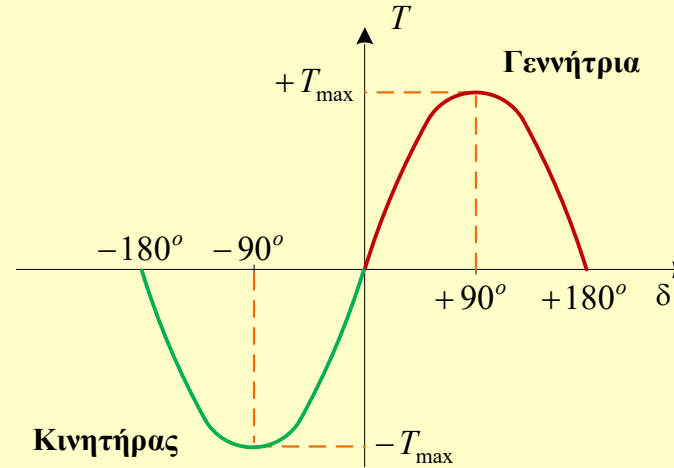
Εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ροπή

$$T = \frac{P_{\text{int}}}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_a E_f}{x_s} \sin \delta = T_{\text{max}} \sin \delta \quad \text{όπου}$$

$$T_{\text{max}} = \frac{3}{\omega_s} \frac{E_f U_a}{x_s}$$

Μεταβάλλεται **ημιτονικά** με τη **γωνία φορτίου**.

- Οι οριακές τιμές φόρτισης T_{max} και P_{max} , είναι γνωστές ως **στατικά όρια ευστάθειας**.
- Η υπέρβαση τους έχει σαν αποτέλεσμα τον **αποσυγχρονισμό** της μηχανής.
- Για σύνδεση σε **άπειρο σύστημα**, οι μεταβολές απαιτήσεων σε ροπή αναλαμβάνονται εξ' ολοκλήρου από τη μεταβολή της **γωνίας φορτίου**.



Λειτουργία υπό φορτίο – Καμπύλες V

- Η ανταλλαγή **πραγματικής ισχύος** με το ηλεκτρικό δίκτυο, ελέγχεται μέσω της **μηχανικής ισχύος στον άξονα**.
- Η **άεργος ισχύς** ελέγχεται μέσω του **ρεύματος διέγερσης**.
- Ο **συντελεστής ισχύος** εξαρτάται και αυτός άμεσα από το **ρεύμα διέγερσης**.

Εάν $r_a = 0$, υπό σταθερό φορτίο και με τη μηχανή **συνδεδεμένη σε άπειρο ζυγό**, η μεταβολή στην τάση διέγερσης λόγω μεταβολής του ρεύματος του πεδίου, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε το γινόμενο **$(E_f \sin \delta)$ να παραμείνει σταθερό**.

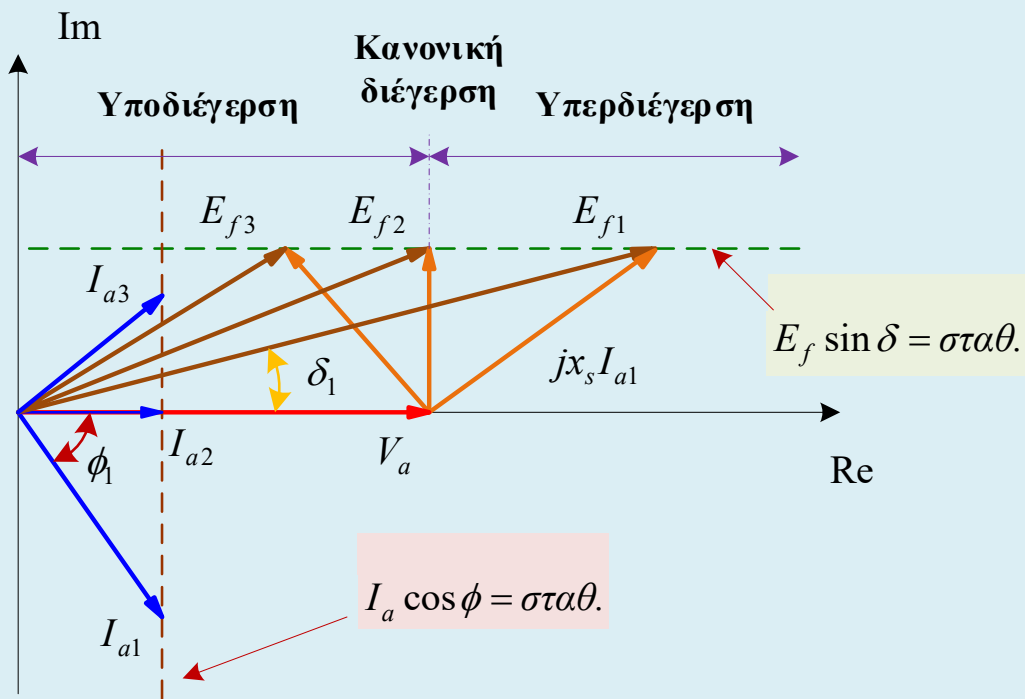
$$E_f \sin \delta = \text{σταθ.}$$

Η μεταβολή του μέτρου του ρεύματος στο τύλιγμα τυμπάνου, συνοδεύεται από αντίστοιχη μεταβολή της φασικής απόκλισης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος τυμπάνου, ώστε **η προβολή του ρεύματος στον άξονα της τάσης να παραμείνει σταθερή**.

$$I_a \cos \varphi = \text{σταθ.}$$

Λειτουργία υπό φορτίο – Καμπύλες V

Σταθερό φορτίο και μεταβλητό ρεύμα διέγερσης



Η συνεχής μείωση του μέτρου της E_f που προκαλείται λόγω της μείωσης του I_f , έχει σαν αποτέλεσμα τη **συνεχή μείωση του στατικού ορίου ευστάθειας**.

Λειτουργία σε υπερδιέγερση

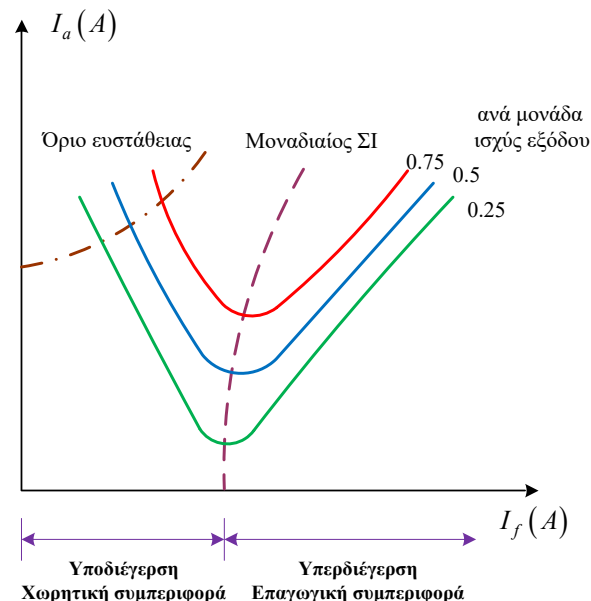
$I_f \downarrow \rightarrow E_f \downarrow \rightarrow \gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha \delta \uparrow$
Ταυτόχρονα $I_a \downarrow \rightarrow \cos\phi \uparrow$

Κανονική διέγερση

Το I_a εμφανίζει την ελάχιστη τιμή του.

Λειτουργία σε υποδιέγερση

Περαιτέρω $I_f \downarrow$ και $\gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha \delta \uparrow$
Ο Σ.Ι. $\downarrow$, αλλά είναι πλέον RC.
Επίσης $I_a \uparrow$ επειδή $I_f \downarrow$



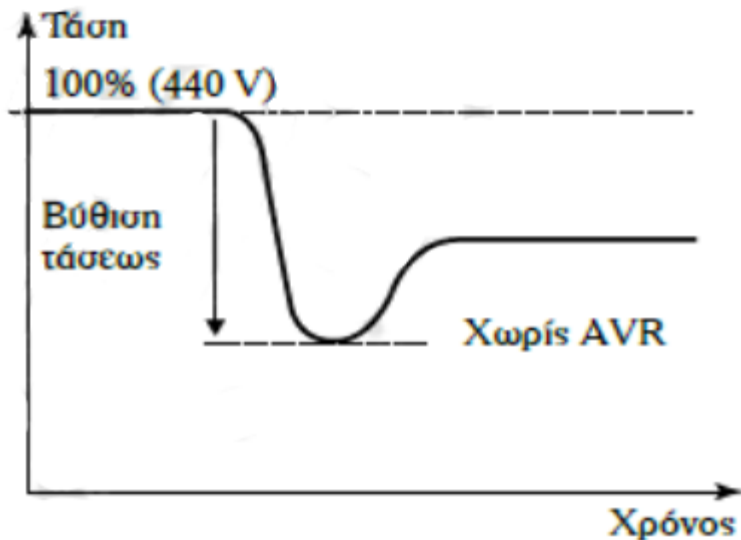
Συμπεράσματα

Λειτουργία σύγχρονης γεννήτριας

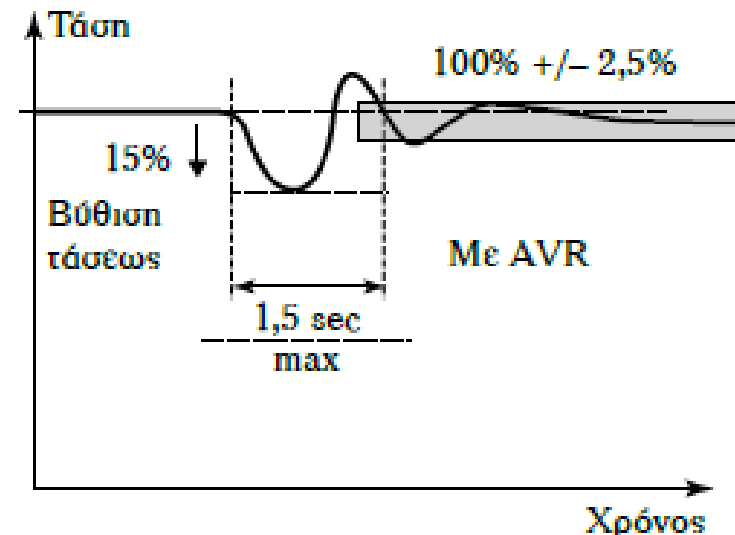
- **Υπερδιέγερση:** Η γεννήτρια τροφοδοτεί το φορτίο με συντελεστή ισχύος **μεταπορείας**.
- **Κανονική διέγερση:** με **μοναδιαίο** συντελεστή ισχύος.
- **Υποδιέγερση:** με συντελεστή ισχύος **προπορείας**.
- Σε **κανονική διέγερση** οι καμπύλες V εμφανίζουν **απόλυτο ελάχιστο**.
- Για τη ρύθμιση της **αέργου ισχύος Q** , με την προϋπόθεση ότι η πραγματική ισχύς P παραμένει σταθερή, πρέπει να μεταβληθεί το **ρεύμα διέγερσης**, οπότε και το **μέτρο της E_f** αντίστοιχα.
- Για τη ρύθμιση της **πραγματικής ισχύος P** , την οποία παρέχει η σύγχρονη γεννήτρια, διατηρώντας σταθερό το ρεύμα διέγερσης, πρέπει να μεταβληθεί η ποσότητα **$E_f \sin \delta$** , οπότε πρέπει να μεταβληθεί η **ηλεκτρομαγνητική ροπή T** .

Ρύθμιση και έλεγχος τάσης στις σύγχρονες γεννήτριες – Αυτόματος Ρυθμιστής Τάσης

- Όταν εκκινούνται **ισχυρά επαγωγικά φορτία**, προκαλούνται μεταβολές της τάσης εξόδου στις σύγχρονες γεννήτριες. Αυτό οφείλεται στην πτώση τάσης η οποία δημιουργείται στα κυκλώματα τυμπάνου των γεννητριών και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **βύθιση τάσης**.
- Όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω, είναι απαραίτητη η ρύθμιση και ο έλεγχος της τάσης εξόδου των σύγχρονων γεννητριών, ώστε αυτή να διατηρείται σταθερή. Συνεπώς είναι αναγκαία η παρουσία του **Αυτόματου Ρυθμιστή Τάσης** (Automatic Voltage Regulator – AVR).

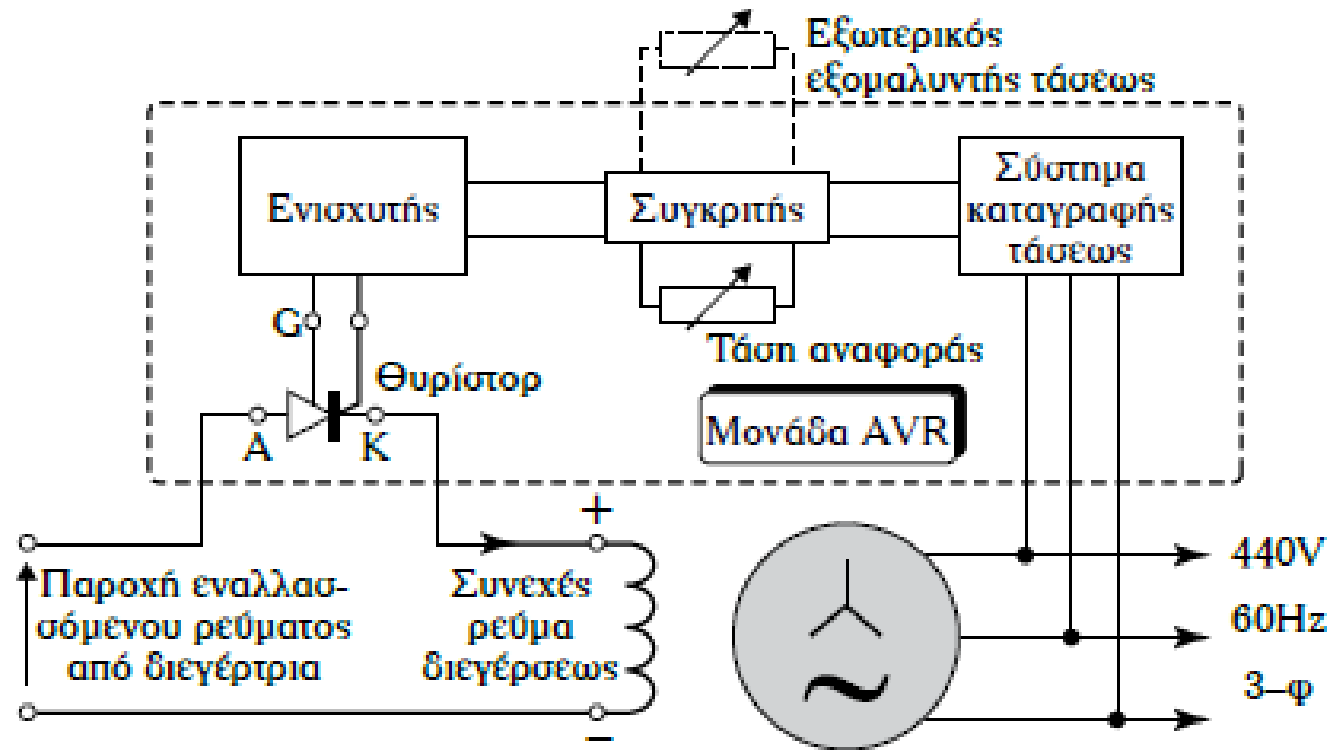


Μεταβολή της τάσης εξόδου μιας σύγχρονης γεννήτριας χωρίς AVR.



Μεταβολή της τάσης εξόδου μιας σύγχρονης γεννήτριας με AVR.

Ρύθμιση και έλεγχος τάσης στις σύγχρονες γεννήτριες – Αυτόματος Ρυθμιστής Τάσης



Διάγραμμα AVR

Ψύξη – βλάβες – λίπανση – συντήρηση των σύγχρονων γεννητριών

Ψύξη σύγχρονων γεννητριών

Οι απώλειες ισχύος σε μία σύγχρονη γεννήτρια παράγουν **θερμότητα**, η οποία δεν πρέπει να εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της μηχανής γιατί κινδυνεύουν οι μονώσεις. **Η θερμότητα πρέπει να απάγεται** στον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο της γεννήτριας και αυτό πραγματοποιείται με τη μεσολάβηση συστημάτων ψύξης.

Τα συστήματα ψύξης τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως είναι **με αέρα**, ενώ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο δρομέας στα συστήματα στροβιλογεννητριών, μέχρι 200MW, ψύχεται μέσω της κυλινδρικής επιφάνειας **με υδρογόνο** χωρίς ειδικά κανάλια.

Ψύξη – βλάβες – λίπανση – συντήρηση των σύγχρονων γεννητριών

Βλάβες σύγχρονων γεννητριών

Βλάβη	Πιθανή αιτία	Επισκευή
Ανωμαλίες στην τάση της σύγχρονης γεννήτριας	1) Αν πρόκειται για συμβατή σύγχρονη γεννήτρια με διεγέρτρια, έστω ότι η διεγέρτρια δεν δίδει τάση για τους εξής λόγους:	
	α) Εξασθένηση του παραμένουτος μαγνητισμού.	α) Τροφοδότηση με συνεχές ρεύμα των τυλιγμάτων των πόλων.
	β) Διακοπή του κυκλώματος διεγέρσεως (τυλίγματα πόλων).	β) Εντόπιση και επισκευή της βλάβης.
	γ) Διακοπή του ροοστάτη διεγέρσεως.	γ) Εντόπιση και επισκευή της βλάβης.
	δ) Κακή επαφή των αγωγών με τους ακροδέκτες.	δ) Σόσφιγξη των κοκλιών.
	ε) Η μαγνητική ροή των πόλων είναι αντίθετη από τον παραμένουσα μαγνητισμό.	ε) Αντιστροφή της τροφοδοτήσεως των πόλων.
	στ) Αντίστροφη φορά της εντάσεως σε έναν πόλο.	στ) Η βλάβη εμφανίζεται μετά την επισκευή του τυλίγματος ενός πόλου. Γίνεται ορθή σύνδεση.
	ζ) Κακή επαφή των ψηκτρών.	ζ) Ρύθμιση της τάσεως των ελατρίων και αντικατάσταση των ψηκτρών, αν είναι φθαρμένες.
	η) Ακάθαρτος συλλέκτης.	η) Σε ένα μικρό κομμάτι ξύλου τοποθετούμε ένα πολύ λεπτό γυαλόχαρτο, το πιέζουμε ελαφρά στο συλλέκτη, ενώ η μηχανή περιστρέφεται. Μπορεί στο συλλέκτη να υπάρχει συσσωρευμένη σκόνη. Την αφαιρούμε με ένα κομμάτι υφάσματος ή χρησιμοποιούμε πεπιεσμένο αέρα, στον οποίο δεν υπάρχει υγρασία. Για τον καθαρισμό του συλλέκτη δεν χρησιμοποιούμε ποτέ σφυριδόπανο, λιπαντικό λάδι, βενζίνη ή άλλο αναφλέξιμο υγρό.
	2) Διακοπή στο τυλίγμα του στάτη.	Αποκατάσταση της διακοπής ή μερική αντικατάσταση του τυλίγματος.
	3) Μη συμμετρική φόρτιση.	Φόρτιση περίπου συμμετρική.
	4) Δυσλειτουργία του ρυθμιστή στροφών.	Επισκευή ή αντικατάσταση του ρυθμιστή στροφών.

Βασικές αιτίες βλαβών σύγχρονης γεννήτριας και τρόποι αντιμετώπισής τους.

*Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές
Αριστείδη Γ. Βλάχου, 1^{ος} Τόμος*

Ψύξη – βλάβες – λίπανση – συντήρηση των σύγχρονων γεννητριών

Λίπανση σύγχρονων γεννητριών

Τα μέρη που απαιτούν λίπανση στις σύγχρονες γεννήτριες είναι κυρίως τα έδρανα μέσα στα οποία περιστρέφεται ο άξονας της μηχανής.

Υπάρχουν δύο είδη εδράνων:

α. **Έδρανα τριβής** (κουζινέτα) με δακτυλίδια ελαίου.

β. **Έδρανα με ένσφαιρους τριβείς** (ρουλεμαν). Αυτά τα έδρανα λιπαίνονται με γράσο.

Ψύξη – βλάβες – λίπανση – συντήρηση των σύγχρονων γεννητριών

Συντήρηση σύγχρονων γεννητριών

Ο προληπτικός έλεγχος και η συντήρηση αυξάνουν τη διάρκεια ζωής και περιορίζουν τη συχνότητα βλαβών των σύγχρονων γεννητριών. Το πρόγραμμα ελέγχου και συντήρησης αυτών περιλαμβάνει:

1. Την εξωτερική καθαριότητα των διόδων αερισμού και του ανεμιστήρα, καθώς και τον καθαρισμό των εδράνων, του συλλέκτη και των ψυκτρών – δακτυλιδιών, όπου υπάρχουν.
2. Τη λίπανση των εδράνων.
3. Τη συντήρηση των βοηθητικών συσκευών (π.χ. των διακοπών).

Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Γενικά

Με τον ισολογισμό ενέργειας για μια ηλεκτρική εγκατάσταση πλοίου ορίζεται ο αριθμός των γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος (σύγχρονες γεννήτριες) που θα εγκατασταθούν στον χώρο του μηχανοστασίου (ηλεκτροστάσιο).

Στη λειτουργική κατάσταση του πλοίου εν πλω και εν πλω με χειρισμούς, ένας συγκεκριμένος αριθμός γεννητριών λειτουργεί παράλληλα προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες των φορτίων σε πραγματική ισχύ.

Πλεονεκτήματα παράλληλης λειτουργίας σύγχρονων γεννητριών

- ✚ Παρέχεται **πραγματική ισχύς** σε σύνολο φορτίων, όταν μία γεννήτρια δεν έχει τη δυνατότητα να παράσχει από μόνη της την αντίστοιχη πραγματική ισχύ.
- ✚ Ενισχύεται η **αξιοπιστία** της ηλεκτρικής εγκατάστασης του πλοίου, γιατί στην περίπτωση βλάβης μιας γεννήτριας δε διακόπτεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✚ Δρομολογείται ένα ευέλικτο **πρόγραμμα συντήρησης** των γεννητριών.

Η παράλληλη λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών μελετάται με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών συχνότητας - ισχύος ($f-P$) και της αντίστοιχης τάσης - αέργου ισχύος ($U-Q$).

Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Χαρακτηριστικές f - P και U - Q

Η σύγχρονη γεννήτρια τροφοδοτείται με τις ακόλουθες μορφές ενέργειας:

1. **Ηλεκτρική ενέργεια** η οποία μέσω του πεδίου διέγερσης μετατρέπεται σε άεργο ισχύ. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από μια **πηγή συνεχούς ρεύματος (DC)** και είναι υπεύθυνη για το **μέτρο της τάσης** στους ακροδέκτες της γεννήτριας. Προκειμένου να διατηρείται η τάση ακροδεκτών σταθερή, μεταξύ πηγής τροφοδότησης DC και κυκλώματος διέγερσης παρεμβάλλεται ο **Αυτόματος Ρυθμιστής Στροφών (AVR)**. Ο μηχανισμός που ρυθμίζει την **παραγόμενη άεργο ισχύ** για σταθερότητα της τάσης ονομάζεται **U - Q μηχανισμός**.
2. **Μηχανική ενέργεια** η οποία με τη βοήθεια του φαινομένου της επαγωγής και του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μετατρέπεται σε πραγματική ηλεκτρική ισχύ. Τη μηχανική ενέργεια την παρέχει η **κινητήρια μηχανή** στη σύγχρονη γεννήτρια και είναι υπεύθυνη για τη **συχνότητα** των παραγόμενων τάσεων και ρευμάτων. Για τη διατήρηση της συχνότητας σε σταθερή τιμή, στην κινητήρια μηχανή τοποθετείται διάταξη αυτομάτου ελέγχου που καθορίζει τον έλεγχο της συχνότητας και ονομάζεται **Αυτόματος Ρυθμιστής Συχνότητας (Speed Governor)**. Με τον έλεγχο του ρυθμού έγχυσης καυσίμου στην κινητήρια μηχανή ρυθμίζεται η **παραγόμενη ενεργός ισχύς** της γεννήτριας και ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται **f - P μηχανισμός**.

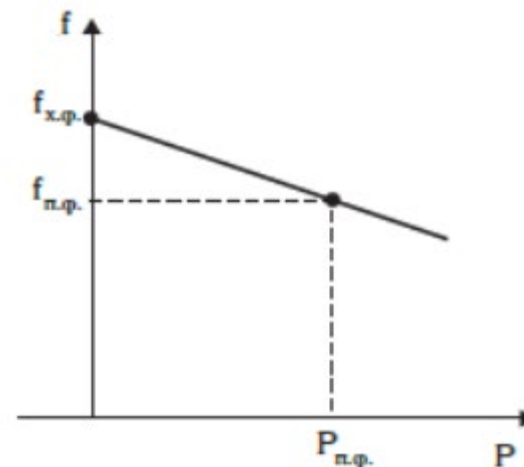
Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Χαρακτηριστικές f - P και U - Q

Μηχανισμός f - P

Όταν αυξάνεται η προσφερόμενη μηχανική ισχύς στη σύγχρονη γεννήτρια, αυξάνεται η παραγόμενη ενεργός ισχύς P και συγχρόνως μειώνεται γραμμικά η ταχύτητα του δρομέα, άρα και της κινητήριας μηχανής, οπότε και η ηλεκτρική συχνότητα f .

- Η κλίση της χαρακτηριστικής f - P είναι αρνητική, σταθερή και ονομάζεται **στατισμός συχνότητας**.
- Όταν αυξάνεται ο ρυθμός έγχυσης του καυσίμου στην κινητήρια μηχανή, η χαρακτηριστική μετατοπίζεται παράλληλα προς τον εαυτό της με κατεύθυνση προς τα πάνω.



Χαρακτηριστική f - P

$P_{\pi,φ}$: Ενεργός ισχύς (πραγματική)
στην λειτουργία πλήρους φορτίου.
 $f_{x,φ}$: Συχνότητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο.
 $f_{\pi,φ}$: Συχνότητα στη λειτουργία πλήρους φορτίου.

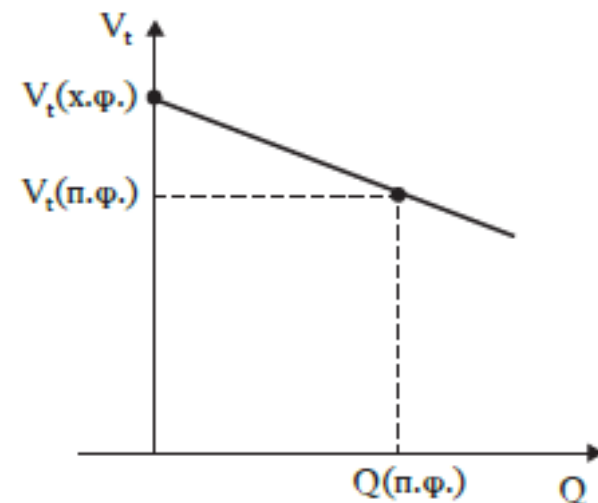
Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Χαρακτηριστικές $f-P$ και $U-Q$

Μηχανισμός $U-Q$

Όταν η σύγχρονη γεννήτρια τροφοδοτεί επαγωγικά φορτία (αύξηση της αέργου ισχύος) τότε μειώνεται το μέτρο της τάσης ακροδεκτών (U) της γεννήτριας. Όταν τροφοδοτεί χωρητικά φορτία (μείωση της αέργου ισχύος) τότε η τάση ακροδεκτών αυξάνεται. Η σχέση $U-Q$ παριστάνεται από μια ευθεία (για ορισμένες περιοχές τιμών) με αρνητική κλίση.

- Η κλίση της χαρακτηριστικής $U-Q$ είναι αρνητική, σταθερή και ονομάζεται **στατισμός τάσης**.
- Όταν αυξάνεται η τιμή του ρεύματος διέγερσης μέσω του AVR, η χαρακτηριστική μετατοπίζεται παράλληλα προς τον εαυτό της με κατεύθυνση προς τα πάνω.



Χαρακτηριστική $U-Q$

$V_t(x.φ.)$: Τερματική τάση στη λειτουργία χωρίς φορτίο.
 $V_t(π.φ.)$: Τερματική τάση στο πλήρες φορτίο.

Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Συνθήκες παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών

Για να λειτουργήσουν παράλληλα δύο ή περισσότερες σύγχρονες γεννήτριες πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

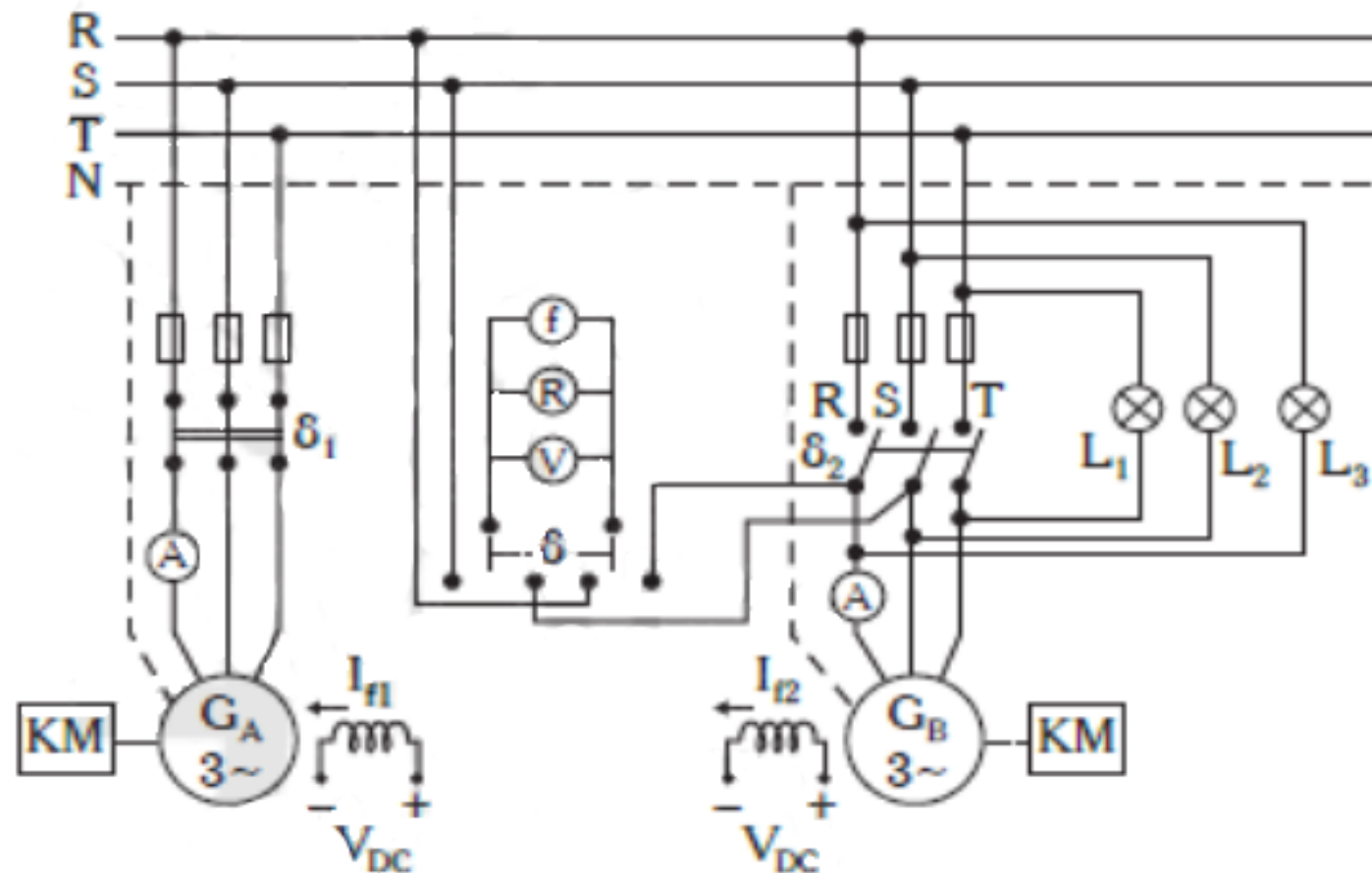
1. Οι **πολικές τάσεις** στους ακροδέκτες των γεννητριών να είναι ίσες.
2. Να υπάρχει ίδια **διαδοχή των φάσεων των αντιστοίχων τάσεων**.
3. Οι τάσεις των αντιστοίχων φάσεων των γεννητριών να είναι **ίσες κάθε χρονική στιγμή** (μηδενική φασική **απόκλιση** μεταξύ των αντιστοίχων πολικών/φασικών τάσεων).
4. Η **συχνότητα** της παραγόμενης τάσης της γεννήτριας, η οποία παραλληλίζεται, να είναι λίγο μεγαλύτερη από τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου.

Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Συνθήκες παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών

Για να παραλληλιστεί η γεννήτρια G_B προς την G_A εκτελούνται οι παρακάτω ενέργειες:

1. Αρχικά ο διακόπτης δ_2 είναι ανοικτός.
2. Θέτουμε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή KM_B και ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας ώστε να γίνει ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα.
3. Ρυθμίζουμε το ρεύμα διέγερσης I_{f2} της γεννήτριας G_B ώστε η τάση διέγερσής της να γίνει ίση με την τάση του δικτύου. Οι συνθήκες παραλληλισμού (1) και (2) ελέγχονται με το βολτόμετρο και το συχνόμετρο μέσω του διακόπτη (δ) διπλής ενέργειας.
4. Ελέγχεται η διαδοχή των τάσεων των αντιστοιχών φάσεων.



Σχηματικό διάγραμμα παραλληλισμού δύο σύγχρονων γεννητριών

Παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών

Συνθήκες παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών

Έλεγχος διαδοχής φάσεων

Ο έλεγχος διαδοχής των φάσεων πραγματοποιείται με τους ακόλουθους δύο τρόπους:

1. Με χρήση κατάλληλου **ασύγχρονου κινητήρα** ο οποίος συνδέεται διαδοχικά στους ακροδέκτες των γεννητριών G_A και G_B . Αν η φορά περιστροφής του άξονα του κινητήρα είναι ίδια και για τις δύο γεννήτριες, τότε η διαδοχή φάσεων είναι η ίδια.
2. Με χρήση **τριών πλοηγών λυχνιών** οι οποίες συνδέονται ομοιοπολικά. Αν οι λυχνίες αναβοσβήνουν ταυτόχρονα με μια περιοδικότητα, η οποία εξαρτάται από τη διαφορά $f_2 - f_1$ των αντιστοίχων συχνοτήτων των γεννητριών, τότε η διαδοχή φάσεων των τάσεων είναι η ίδια. Όταν οι λαμπτήρες δεν αναβοσβήνουν ταυτόχρονα αλλά κυκλικά, τότε δεν έχουμε ίδια διαδοχή φάσεων των αντιστοίχων τάσεων των γεννητριών.

Η συνδεσμολογία των πλοηγών λυχνιών είναι γνωστή ως **συνδεσμολογία σβέσης** ή **σκοτεινή σύνδεση λαμπτήρων συγχρονισμού**.

Βιβλιογραφία

1. Παντελής Β. Μαλατέστας, “**Ηλεκτρικές Μηχανές**”, Εκδόσεις Τζιόλα, 4^η Έκδοση, 2021
2. S. J. Charman, “**Ηλεκτρικές Μηχανές**”, Εκδόσεις Τζιόλα, 4^η Έκδοση, 2014
3. Αριστείδης Γ. Βλάχος, “**Ηλεκτρικές Μηχανές**”, Τόμος 1^{ος} & 2^{ος}, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 2^η Έκδοση, 2023

Κάποια από τα σχήματα του παρόντος έργου αντλήθηκαν από το βιβλίο “Ηλεκτρικές Μηχανές”, Π. Β. Μαλατέστας, Εκδόσεις Τζιόλα, 4^η Έκδοση, 2021 και από το βιβλίο “Ηλεκτρικές Μηχανές”, Α. Β. Βλάχος, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 2^η Έκδοση, 2023.