

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

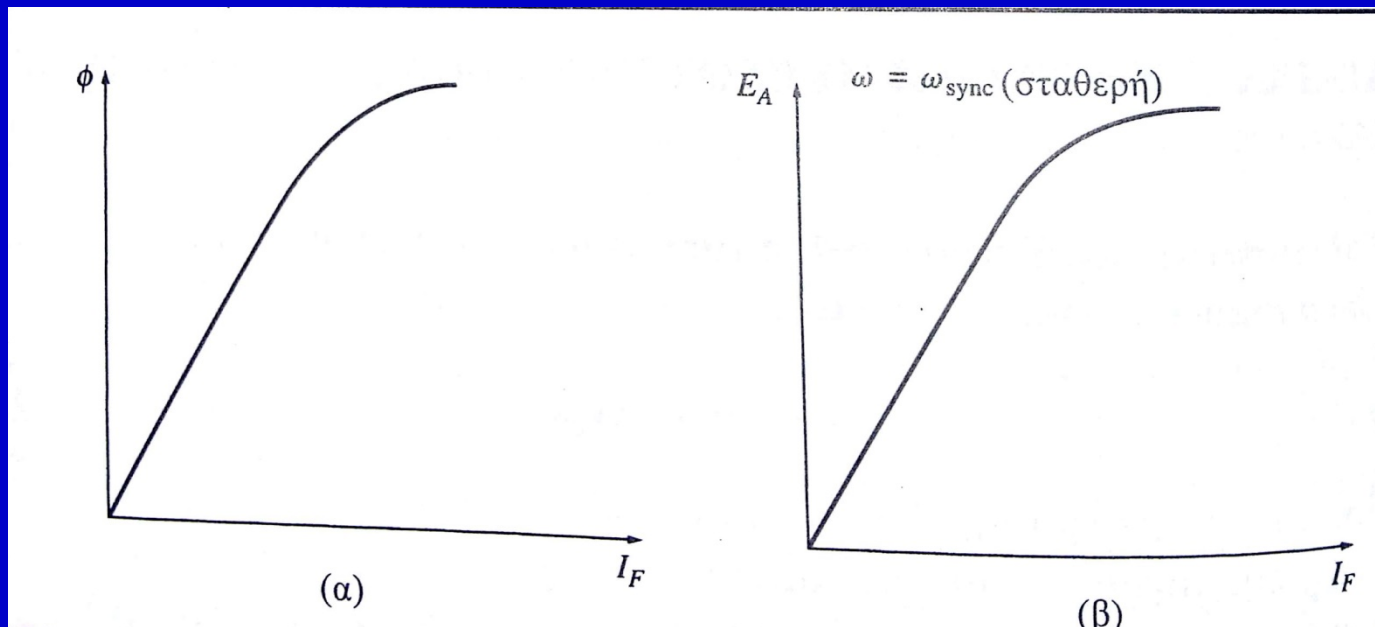
- Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μία σύγχρονη γεννήτρια είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα με ΣΡ
- Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του
- Τελικά, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει 3-φασική τάση στα τυλίγματα του στάτη
- Ο δρομέας μιας ΣΓ μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μεγάλος ηλεκτρομαγνήτης τόσο στην περίπτωση που η ΣΓ είναι εκτύπων πόλων όσο και όταν αυτή διαθέτει κυλινδρικό δρομέα
- Οι πόλοι μιας ΣΓ εκτύπων πόλων διακρίνονται στην επιφάνεια του δρομέα ενώ όταν ο δρομέας είναι κυλινδρικός οι πόλοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την κυλινδρική επιφάνεια

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Ο δρομέας των ΣΓ κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα με σκοπό τη μείωση των απωλειών εξαιτίας των δινορρευσμάτων
- Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές τροφοδοσίας του δρομέα είναι
 1. Με τροφοδοσία από εξωτερική πηγή ΣΡ οπότε ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δαχτυλίδια
 2. Με τροφοδοσία από ειδική πηγή ΣΡ τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας
- Η τάση στα άκρα κάθε φάσης μίας μηχανής ΕΡ είναι:
$$E_A = \sqrt{2}\pi N_c \phi f$$
- Και εξαρτάται από τη μαγνητική ροή, από τη συχνότητα, από την ταχύτητα περιστροφής και από κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η τάση E_A που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής στη μηχανή και της ταχύτητας περιστροφής
- Όμως η μαγνητική ροή εξαρτάται από το ρεύμα του δρομέα (ρεύμα διέγερσης) I_F



- Η (β) ονομάζεται καμπύλη μαγνήτισης ή χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η τάση E_A που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας σπάνια εμφανίζεται στα άκρα της μηχανής
- Αντίθετα είναι ίση με την αντίστοιχη τάση στα άκρα της μηχανής V_ϕ μόνο όταν το ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας είναι μηδέν
- Οι λόγοι που διαφοροποιούν την E_A από την V_ϕ είναι οι εξής:
 1. Η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής που προκαλείται από το ρεύμα του στάτη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντίδραση οπλισμού
 2. Οι αυτεπαγωγές των αγωγών του στάτη
 3. Οι αντιστάσεις των αγωγών του στάτη
 4. Το σχήμα των εκτύπων πόλων του δρομέα

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η περιστροφή του δρομέα στο εσωτερικό της γεννήτριας παράγει τάση Εα σε κάθε φάση του στάτη
- Όταν στα άκρα της μηχανής συνδεθεί κάποιο φορτίο εμφανίζεται ρεύμα στους αγωγούς του στάτη το οποίο παράγει ένα νέο πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής
- Το πεδίο του στάτη με τη σειρά του επηρεάζει το πεδίο που ήταν από πριν διαμορφωμένο στη μηχανή, αλλά και την τάση στα άκρα κάθε φάσης

A schematic diagram of a circular electron beam. A central vertical rod is surrounded by a circular region. A dashed line extends from the top of the rod, labeled $E_{A_{max}}$. A curved arrow around the rod indicates a magnetic field B_R and a rotation ω_m . The circular region is divided into segments by radial lines, with some segments containing a cross symbol ($\otimes$) and others containing a dot symbol ($\odot$).

The diagram illustrates the interaction region of a circular electron gyrotron. It features a central anode (a vertical rod) and a ring-shaped cathode. A magnetic field B_R is applied along the axis of the anode, indicated by an upward arrow. The angular velocity of the electrons is denoted by ω , shown as a curved arrow around the anode. The maximum electric field E_{Amax} and the maximum current I_{Amax} are indicated by dashed lines extending from the top of the anode and the cathode ring, respectively.

The diagram shows a synchronous motor with a central rotor and an outer stator. The rotor has a vertical pole with a north pole at the top and a south pole at the bottom. The stator has four poles, each with a coil winding indicated by a circle with a cross (into the page) or a circle with a dot (out of the page). The following vectors and angles are shown:

- $E_{A_{max}}$: Maximum induced EMF vector, pointing vertically upwards from the center of the rotor.
- V_ϕ : Terminal voltage vector, pointing upwards and to the right from the center of the rotor.
- $I_{A_{max}}$: Maximum armature current vector, pointing upwards and to the right from the center of the rotor.
- B_R : Rotor magnetic flux density vector, pointing vertically upwards from the center of the rotor.
- B_{net} : Net magnetic flux density vector, pointing upwards and to the right from the center of the rotor.
- B_S : Stator magnetic flux density vector, pointing downwards and to the right from the center of the rotor.
- E_{stat} : Stator induced EMF vector, pointing downwards and to the right from the center of the rotor.

The following equations are shown at the bottom right of the diagram:

$$V_\phi = E_A + E_{stat}$$

$$B_{net} = B_R + B_S$$
 (δ)

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_\phi &= \mathbf{E}_A + \mathbf{E}_{\text{stat}} \\ \mathbf{B}_{\text{net}} &= \mathbf{B}_R + \mathbf{B}_S \end{aligned}$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Το μαγνητικό πεδίο του δρομέα B_R παράγει την τάση E_A της οποίας η μέγιστη τιμή συμπίπτει με τη διεύθυνση του B_R
- Έστω ότι η γεννήτρια τώρα συνδέεται με κάποιο επαγωγικό φορτίο. Τότε η μέγιστη τιμή της τάσης προπορεύεται της μέγιστης τιμής του ρεύματος
- Όμως το ρεύμα του στάτη παράγει και αυτό κάποιο μαγνητικό πεδίο με επαγωγή B_s στο εσωτερικό του και με φορά που δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού
- Το νέο πεδίο παράγει στα άκρα της κάθε φάσης του στάτη την τάση E_{stat}
- Έτσι η συνολική τάση στα άκρα του τυλίγματος μιας φάσης του στάτη είναι το άθροισμα της τάσης E_A και της E_{stat} που παράγεται λόγω της αντίδρασης οπλισμού

$$V_\phi = E_A + E_{stat}$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η μαγνητική επαγωγή B_{net} του ολικού μαγνητικού πεδίου στο διάκενο είναι ίση με το άθροισμα των επαγωγών των πεδίων του στάτη και του δρομέα

$$\mathbf{B}_{net} = \mathbf{B}_R + \mathbf{B}_S$$

- Αφού οι φορές των E_A και B_r συμπίπτουν, όπως και οι φορές των E_{stat} και B_s , είναι φανερό πως οι V_ϕ και B_{net} θα έχουν την ίδια φορά
- Σύμφωνα με τα παραπάνω η τάση E_{stat} έπεται του ρεύματος I_A κατά 90 μοίρες και είναι ανάλογη προς αυτό. Αν ο συντελεστής αναλογίας μεταξύ της E_{stat} και του I_A είναι X , τότε η τάση που οφείλεται στην αντίδραση οπλισμού είναι

$$\mathbf{E}_{stat} = -jX\mathbf{I}_A$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Άρα η τάση στα άκρα της κάθε φάσης του στάτη είναι:

$$V_{\phi} = E_A - jX I_A$$

- Γίνεται προφανές πως η αντίδραση οπλισμού μιας σύγχρονης γεννήτριας μπορεί να παρασταθεί με μία αυτεπαγωγή συνδεδεμένη σε σειρά με την τάση που παράγεται στο εσωτερικό της μηχανής
- Εκτός όμως από την αντίδραση οπλισμού, αυτεπαγωγές και ωμικές αντιστάσεις εμφανίζουν και τα ίδια τα τυλίγματα του στάτη
- Συμβολίζοντας με L_A τη συνολική αυτεπαγωγή του τυλίγματος μιας φάσης (η αντίστοιχη επαγωγική αντίδραση είναι X_A) και με R_A την ωμική της αντίσταση η διαφορά μεταξύ των V_{ϕ} και E_A δίνεται από

$$V_{\phi} = E_A - jX I_A - jX_A I_A - R_A I_A$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

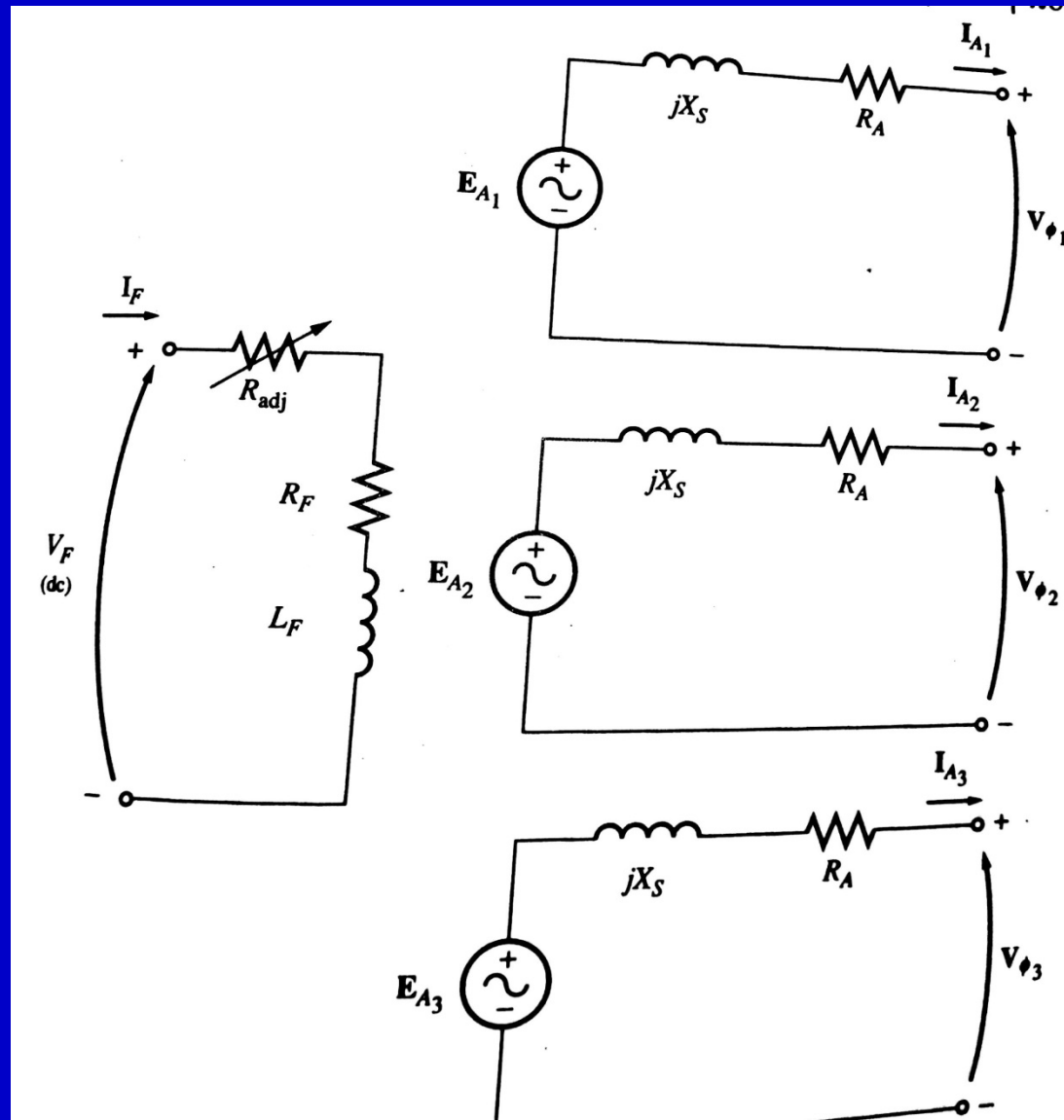
- Επειδή τα αποτελέσματα της αντίδρασης οπλισμού και της αυτεπαγωγής των τυλιγμάτων του στάτη εκφράζονται με τη χρήση κάποιων αντιδράσεων, πολύ συχνά αυτές συνδυάζονται σε μία μόνο αντίδραση που ονομάζεται σύγχρονη αντίδραση της μηχανής και δίνεται από:

$$X_S = X + X_A$$

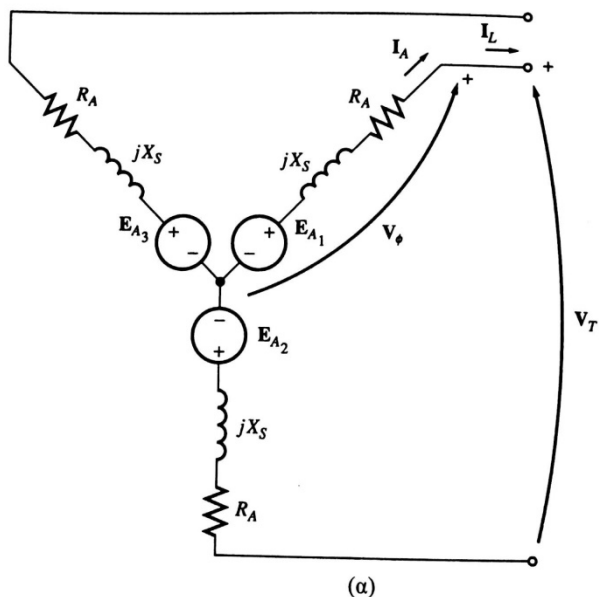
- Τελικά η τάση V_ϕ δίνεται από τη σχέση:

$$V_\phi = E_A - jX_S I_A - R_A I_A$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

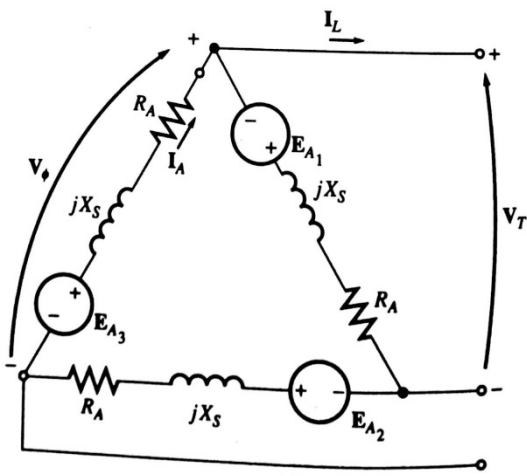


- Όταν είναι συνδεδεμένες οι 3 φάσεις του στάτη σε αστέρα οι αντίστοιχες πολικές τάσεις V_T είναι

$$V_T = \sqrt{3}V_\phi$$

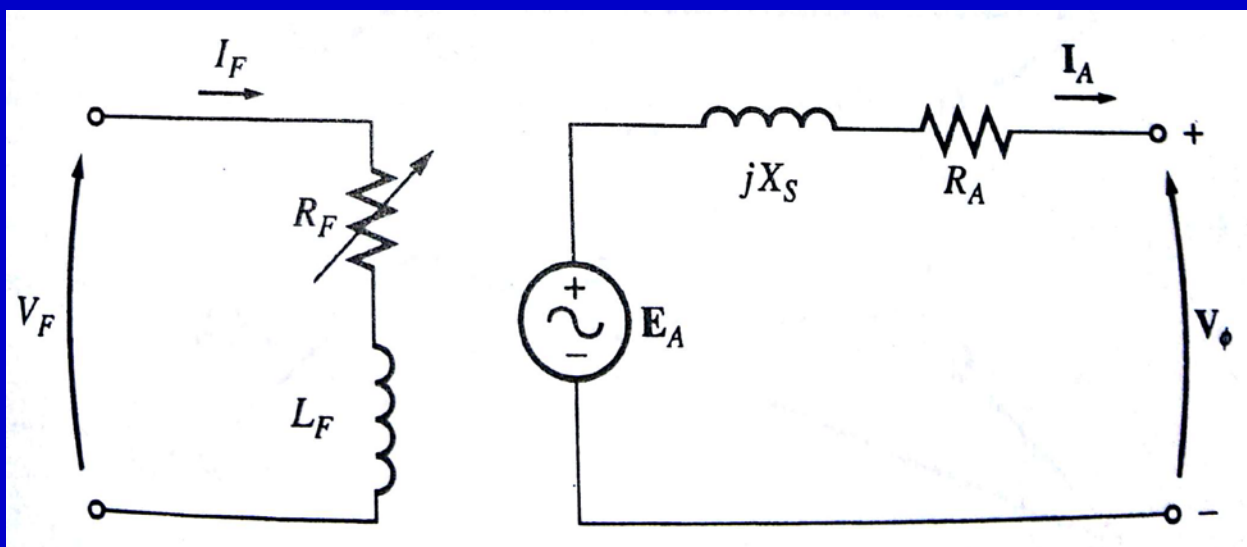
- Όταν συνδέονται σε τρίγωνο τότε ισχύει

$$V_T = V_\phi$$



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

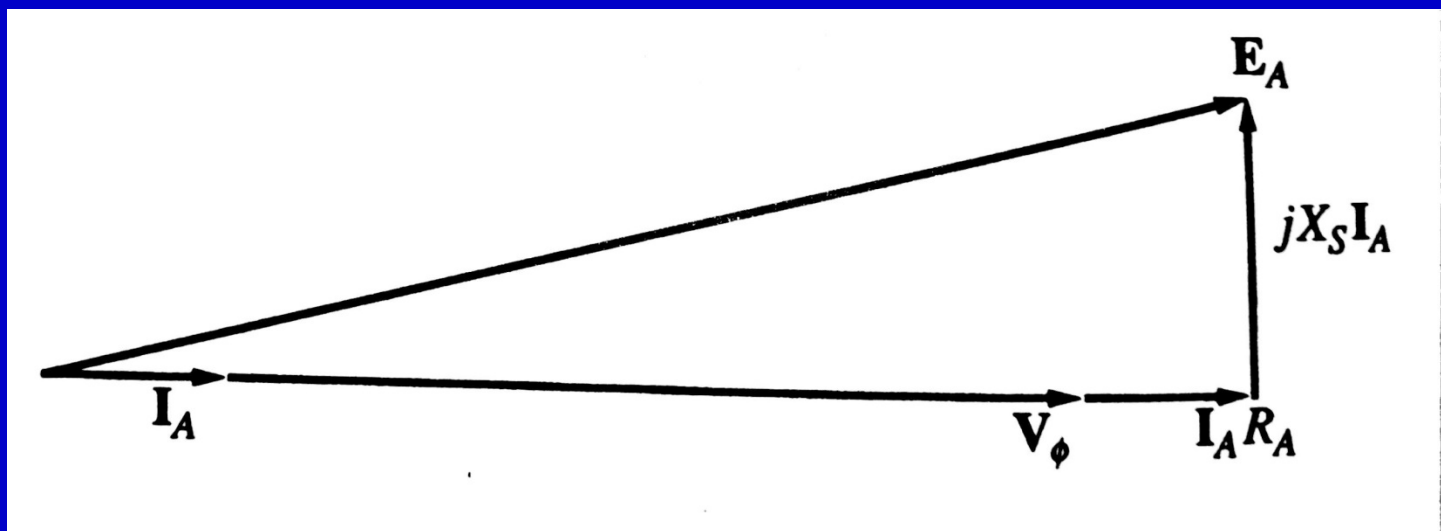
- Το γεγονός ότι η μόνη διαφοροποίηση ανάμεσα στις 3 φάσεις είναι η διαφορά φάσης που εμφανίζεται μεταξύ τους, οδηγεί στην εισαγωγή του ισοδύναμου κυκλώματος ανά φάση



- Οι τάσεις και τα ρεύματα όλων των φάσεων είναι ίσα μόνο στην περίπτωση που το φορτίο της γεννήτριας είναι συμμετρικό
- Όταν το φορτίο δεν είναι συμμετρικό απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές επίλυσης

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Πολύ συχνά οι εναλλασσόμενες τάσεις που αναπτύσσονται στις σύγχρονες γεννήτριες εκφράζονται με στρεφόμενα διανύσματα (phasors)
- Αυτά τα διανύσματα διαθέτουν πλάτος και φάση, οπότε είναι δυνατόν να σχεδιαστούν σε 2 διαστάσεις
- Ένα τέτοιο διάγραμμα που εκφράζει τις σχέσεις μεταξύ των τάσεων (E_A , V_ϕ , $jX_S I_A$ και $R_A I_A$) και του ρεύματος I_A της ΣΓ ονομάζεται διανυσματικό διάγραμμα

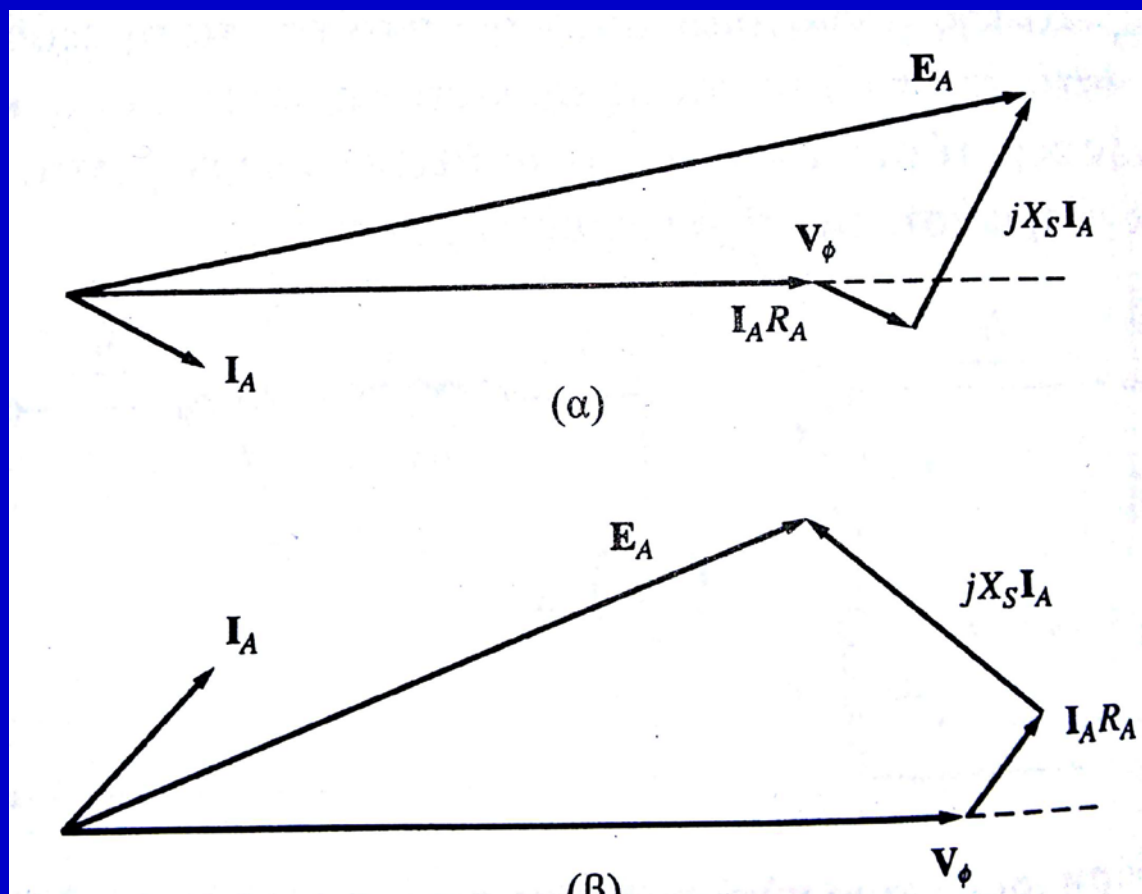


ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Στο προηγούμενο διάγραμμα η γεννήτρια τροφοδοτεί κάποιο φορτίο με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος
- Η τάση κάθε φάσης E_A στο εσωτερικό της γεννήτριας διαφέρει από την τάση εξόδου V_ϕ της συγκεκριμένης φάσης κατά την πτώση τάσης σε κάποιες αντιστάσεις και αυτεπαγωγές
- Ως αναφορά όλων των τάσεων και των ρευμάτων θεωρείται η V_ϕ – η φάση της θεωρείται μηδενική

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Το διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας μετατρέπεται αναλόγως όταν το φορτίο της γεννήτριας είναι επαγωγικό ή χωρητικό



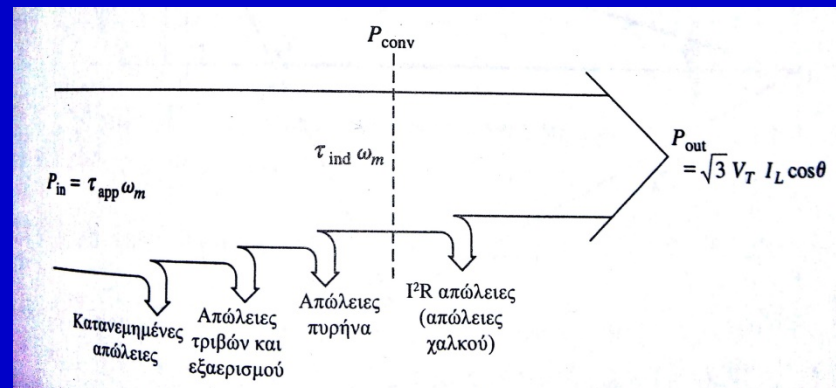
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Με δεδομένη τη φασική τάση και το ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας απαιτείται παραγωγή μεγαλύτερης τάσης ΕΑ για την τροφοδοσία του επαγωγικού φορτίου απ'αυτή που απαιτείται για την τροφοδοσία του χωρητικού φορτίου
- Δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερο ρεύμα διέγερσης για την τροφοδοσία του επαγωγικού φορτίου με την ίδια τάση. Αυτό συμβαίνει επειδή:

$$E_A = K\phi\omega$$

- Και η ω πρέπει να παραμείνει σταθερή ώστε η συχνότητα τροφοδοσίας να μην μεταβληθεί
- Για δεδομένο ρεύμα διέγερσης και ρεύμα φορτίου η φασική τάση στα άκρα της γεννήτριας είναι μικρότερη στα επαγωγικά φορτία και μεγαλύτερη στα χωρητικά

- Η κινητήρια μηχανή μιας ΣΓ μπορεί να είναι κάποιος κινητήρας ντίζελ, ένας ατμοστρόβιλος, ένας υδροστρόβιλος ή κάθε άλλη παρόμοια μηχανή
- Ανεξάρτητα από τη φύση της, αυτή η μηχανή πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργεί σε κάποια σταθερή συχνότητα χωρίς να εξαρτάται από την ισχύ που απαιτεί κάθε φορά το φορτίο της γεννήτριας. Χωρίς αυτή την προϋπόθεση η προσφερόμενη από τη γεννήτρια ηλεκτρική ισχύς δε θα έχει σταθερή συχνότητα
- Μια ΣΓ παρουσιάζει απώλειες κατά τη μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική γι'αυτό και ποτέ η ισχύς εισόδου της δεν είναι ίση με την ισχύ εξόδου



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η μηχανική ισχύς εισόδου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου:

$$P_{out} = \sqrt{3}V_T I_L \cos \theta \quad (\text{πολικά μεγέθη})$$

$$P_{out} = 3V_\phi I_A \cos \theta \quad (\text{φασικά μεγέθη})$$

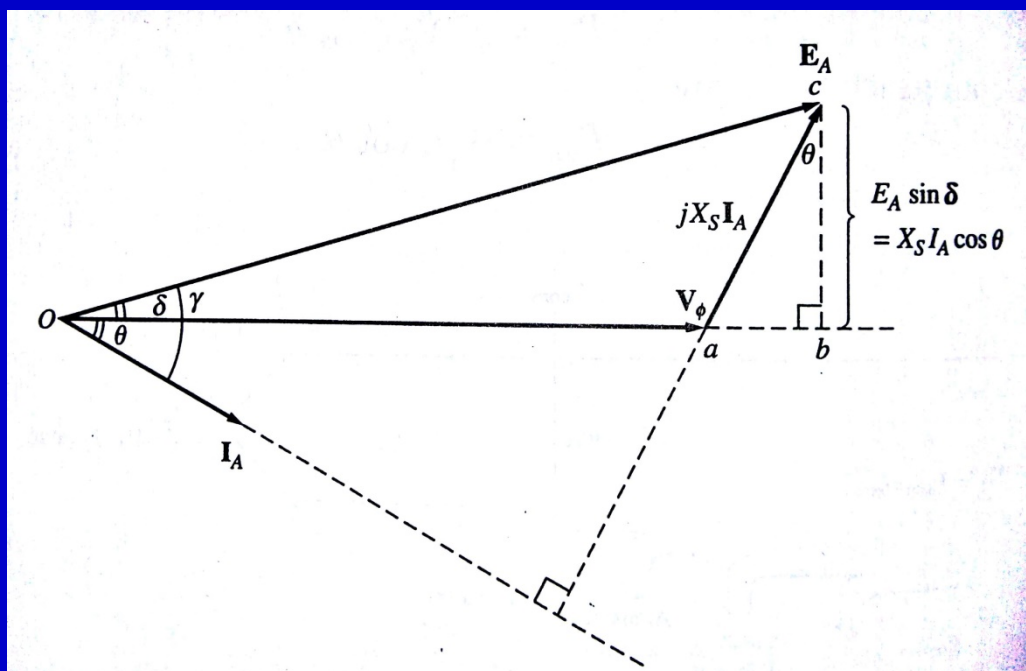
- Η άεγος ισχύς στην έξοδο της μηχανής είναι:

$$Q_{out} = \sqrt{3}V_T I_L \sin \theta \quad (\text{πολικά μεγέθη})$$

$$Q_{out} = 3V_\phi I_A \sin \theta \quad (\text{φασικά μεγέθη})$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Μια πολύ χρήσιμη προσεγγιστική σχέση για τον υπολογισμό της ισχύος εξόδου της γεννήτριας εξάγεται αν αγνοηθεί η αντίσταση οπλισμού R_A
- Αυτή η προσέγγιση γίνεται επειδή $X_S \gg R_A$. Τότε το διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας μετατρέπεται στο:



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Στο προηγούμενο σχήμα το τμήμα bc μπορεί να εκφραστεί ως $E_A \sin \delta$ ή ως $X_s I_A \cos \theta$ οπότε:

$$I_A \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_s}$$

- Και τελικά:

$$P = \frac{3V_\phi E_A \sin \delta}{X_s}$$

- Επειδή οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται, η παραπάνω σχέση εκφράζει τόσο την ισχύ που μετατρέπεται από μηχανική σε ηλεκτρική P_{conv} όσο και την ισχύ εξόδου P_{out}

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Συνεπώς, η ισχύς εξόδου της μηχανής εξαρτάται από τη γωνία δ μεταξύ των V_ϕ και E_A . Αυτή η γωνία ονομάζεται γωνία ροπής της μηχανής και προσδιορίζει τη μέγιστη ισχύ που είναι ικανή να προσφέρει η γεννήτρια
- Όταν $\delta=90$ μοίρες και $\sin\delta=1$ τότε

$$P_{\max} = \frac{3V_\phi E_A}{X_s}$$

- Αυτή η μέγιστη ισχύς ονομάζεται στατικό όριο ευστάθειας της γεννήτριας
- Οι πραγματικές μηχανές δεν πλησιάζουν ποτέ αυτό το όριο. Συνήθως στην κανονική λειτουργία με πλήρες φορτίο η τιμή της δ κυμαίνεται μεταξύ 15 και 20 μοίρες
- Η ροπή της γεννήτριας με ηλεκτρικά μεγέθη είναι: $T_{ind} = \frac{3V_\phi E_A \sin\delta}{\omega_m X_s}$

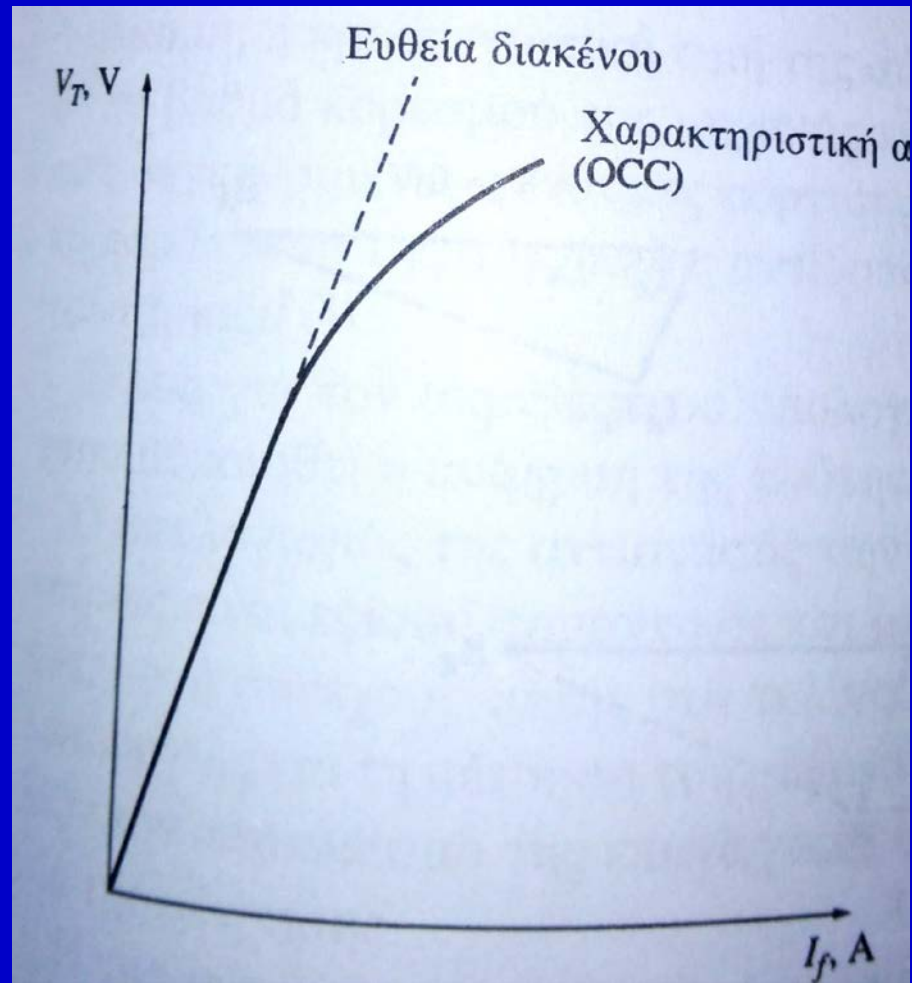
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Στο ισοδύναμο κύκλωμα της ΣΓ εμφανίζονται 3 ποσότητες που πρέπει να προσδιοριστούν πλήρως πριν την ανάλυση οποιασδήποτε μηχανής. Αυτές οι παράμετροι είναι:
 1. Η σχέση του ρεύματος διέγερσης με τη μαγνητική ροή (ή αλλιώς του ρεύματος διέγερσης με την ΕΑ)
 2. Η σύγχρονη αντίδραση
 3. Η αντίσταση του τυλίγματος οπλισμού

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Αρχικά η γεννήτρια υποβάλλεται στο πείραμα ανοιχτού κυκλώματος όπου, καθώς περιστρέφεται με την ονομαστική της ταχύτητα το φορτίο αποσυνδέεται από τα άκρα της και το ρεύμα διέγερσης μηδενίζεται
- Κατόπιν το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται βαθμιαία και ταυτόχρονα μετριέται η τάση στα άκρα της. Καθώς σε αυτό το πείραμα δεν υπάρχει φορτίο, το ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας θα είναι ίσο με μηδέν ($I_A=0$) ενώ η V_ϕ και E_A θα είναι ίσες μεταξύ τους
- Έτσι είναι δυνατή η σχεδίαση της γραφικής παράστασης της E_A ή της V_T συναρτήσει του ρεύματος διέγερσης I_F
- Αυτή η καμπύλη ονομάζεται χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος της γεννήτριας και μπορεί να δώσει την τάση που αναπτύσσεται κάθε φορά στο εσωτερικό της μηχανής για ένα συγκεκριμένο ρεύμα διέγερσης

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος είναι ευθεία μέχρι την εμφάνιση κορεσμού σε κάποιες υψηλές τιμές ρεύματος διέγερσης
- Αυτό συμβαίνει επειδή αρχικά η μαγνητική αντίσταση των μεταλλικών μερών της μηχανής είναι μερικές χιλιάδες φορές μικρότερη από τη μαγνητική αντίσταση του διακένου και έτσι όλη η μαγνητεγερτική δύναμη εμφανίζεται στο διάκενο, του οποίου η μαγνητική ροή αυξάνεται γραμμικά
- Όμως όταν με την αύξηση του ρεύματος αρχίζει να αναπτύσσεται κορεσμός στα μεταλλικά μέρη της μηχανής, η μαγνητική τους αντίσταση αυξάνεται με μεγάλους ρυθμούς και έτσι ο ρυθμός αύξησης της ροής με τη μαγνητεγερτική δύναμη μειώνεται
- Το γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής ανοιχτού κυκλώματος ονομάζεται καμπύλη διακένου της γεννήτριας

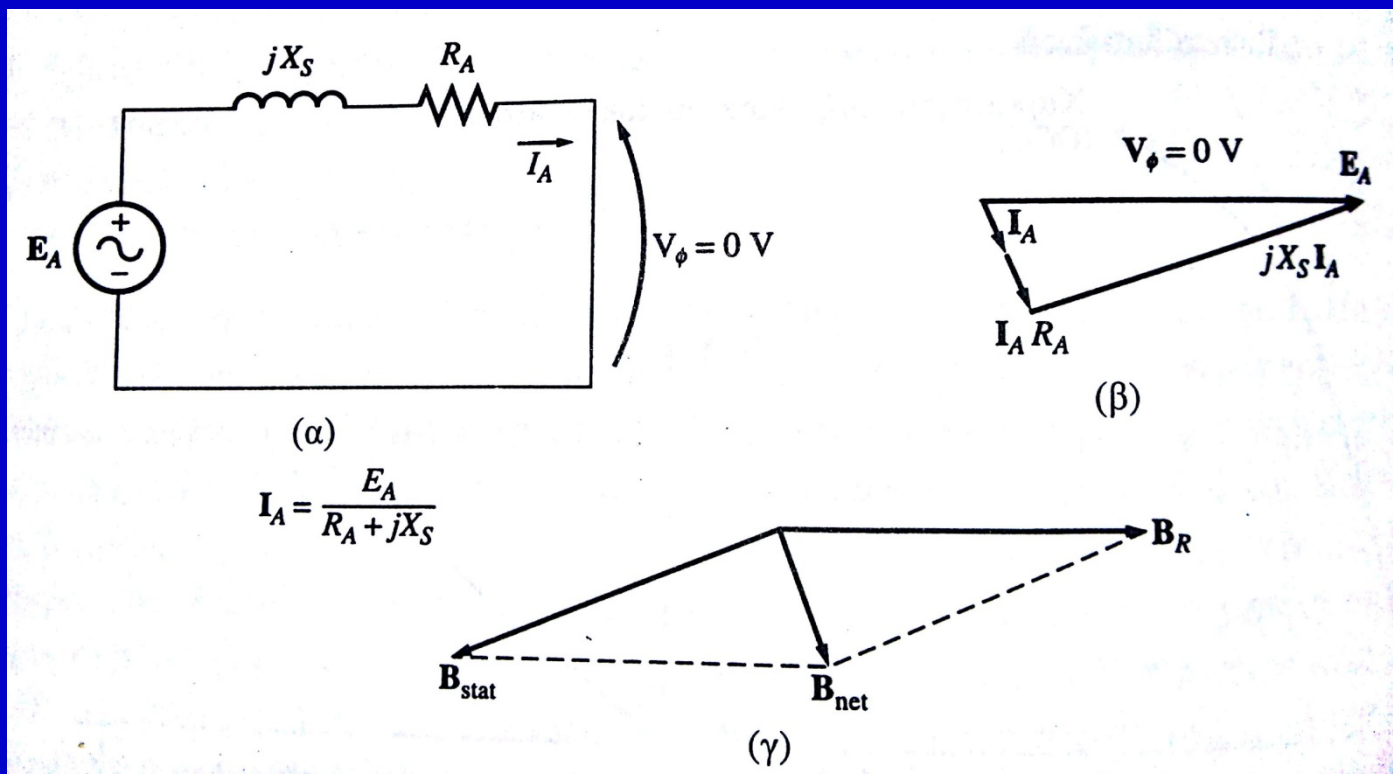
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Στη συνέχεια η γεννήτρια υποβάλλεται στο πείραμα βραχυκύκλωσης
- Εδώ το ρεύμα διέγερσης είναι ξανά ίσο με μηδέν στην αρχή ενώ τα άκρα της γεννήτριας βραχυκυκλώνονται μέσω αμπερομέτρων
- Καθώς το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται, μετριέται το ρεύμα του οπλισμού I_A ή το ρεύμα γραμμής I_L της γεννήτριας
- Η γραφική παράσταση που σχεδιάζεται με τις παραπάνω μετρήσεις ονομάζεται χαρακτηριστική βραχυκύκλωσης και είναι μία ευθεία γραμμή



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Για την καλύτερη κατανόηση της γραμμικότητας της χαρακτηριστικής βραχυκύκλωσης εξετάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα του γεννήτριας με βραχυκυκλωμένα άκρα



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος, το ρεύμα I_A δίνεται από:

$$I_A = \frac{E_A}{R_A + jX_S}$$

Και το μέτρο του δίνεται από: $I_A = \frac{E_A}{\sqrt{R_A^2 + X_S^2}}$

- Επειδή το πεδίο B_S σχεδόν εξουδετερώνει το B_R , το πεδίο B_{net} έχει πολύ μικρή τιμή (που αντιστοιχεί μόνο στην εσωτερική αντίσταση και την αυτεπαγωγή της μηχανής)
- Έτσι λόγω της μικρής τιμής του συνολικού πεδίου δεν εμφανίζεται κορεσμός και η χαρακτηριστική βραχυκυκλώματος παραμένει γραμμική

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Οι πληροφορίες που δίνουν οι 2 χαρακτηριστικές που εξετάστηκαν γίνονται κατανοητές με τις παρακάτω παρατηρήσεις
- Αρχικά όταν η V_ϕ είναι μηδενική το μέτρο της εσωτερικής αντίστασης της μηχανής δίνεται από την:

$$Z_S = \sqrt{R_A^2 + X_S^2} = \frac{E_A}{I_A}$$

Και επειδή $X_S \gg R_A$ έχουμε:

$$X_S \approx \frac{E_A}{I_A} = \frac{V_{\phi,OC}}{I_A}$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Έτσι αν σε μια συγκεκριμένη γεννήτρια τα E_A και I_A είναι γνωστά, η σύγχρονη αντίδραση X_s είναι εύκολο να υπολογιστεί
- Μια προσεγγιστική μέθοδος λοιπόν υπολογισμού της σύγχρονης αντίδρασης είναι η εξής:
 1. Στη χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος επισημαίνεται η E_A για τη συγκεκριμένη τιμή του ρεύματος διέγερσης
 2. Στη χαρακτηριστική βραχυκύκλωσης επισημαίνεται το ρεύμα $I_{A,sc}$ για τη συγκεκριμένη τιμή του ρεύματος διέγερσης
 3. Η X_s υπολογίζεται από

$$X_s \approx \frac{E_A}{I_A} = \frac{V_{\phi,OC}}{I_A}$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η παραπάνω μέθοδος βέβαια είναι σχετικά ανακριβής αφού η τάση E_A προσδιορίζεται μέσω της χαρακτηριστικής ανοιχτού κυκλώματος όπου η μηχανή είναι μερικώς κορεσμένη σε μεγάλες τιμές του ρεύματος διέγερσης
- Έτσι, όταν το ρεύμα διέγερσης είναι μεγάλο η τιμή της E_A που προσδιορίζεται από την χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος δεν είναι ίση με την αντίστοιχη τιμή της που προσδιορίζεται από τη χαρακτηριστική βραχυκύκλωσης και ο υπολογισμός της X_s είναι προσεγγιστικός
- Η ακόρεστη τιμή της σύγχρονης αντίδρασης $X_{s,u}$ μπορεί να υπολογιστεί για κάθε τιμή του ρεύματος διέγερσης που βρίσκεται πάνω στο γραμμικό μέρος της χαρακτηριστικής ανοιχτού κυκλώματος

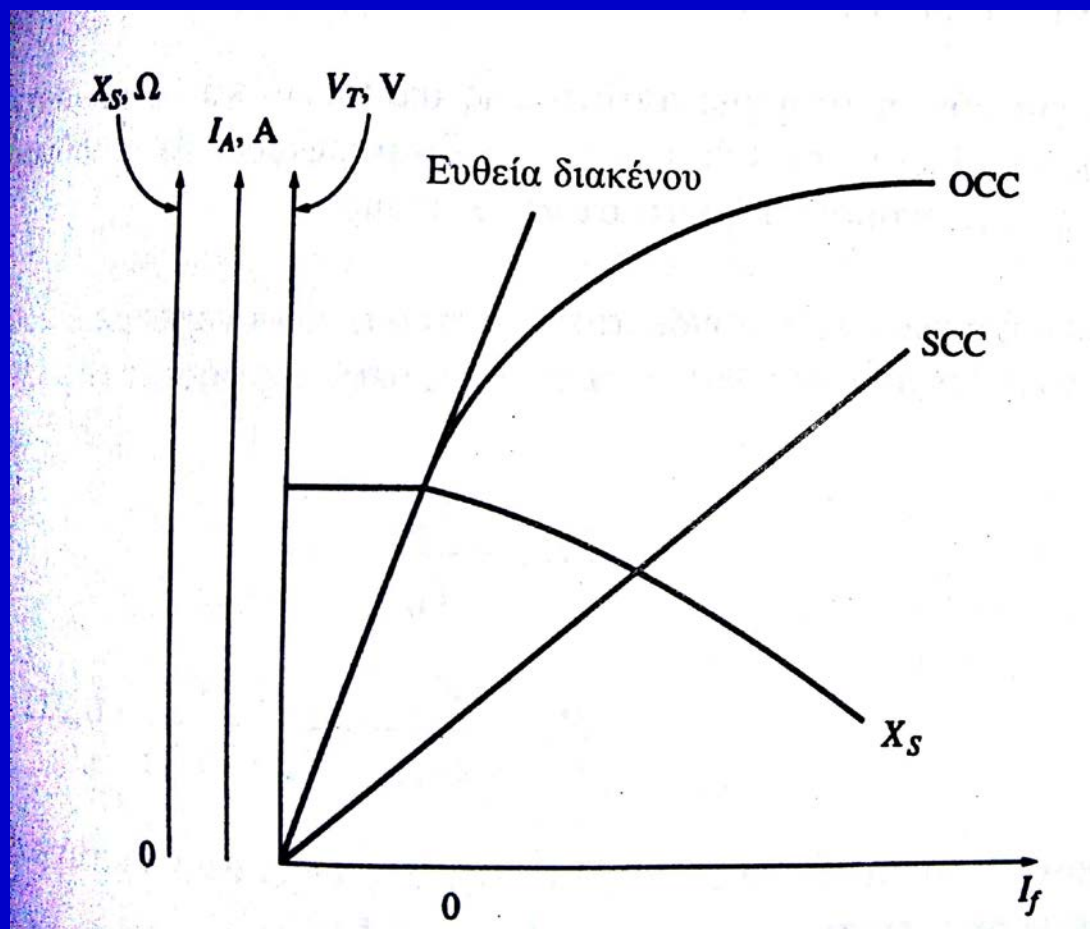
$$X_s \approx \frac{E_A}{I_A} = \frac{V_{\phi,OC}}{I_A}$$

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η προσεγγιστική τιμή της σύγχρονης αντίδρασης μεταβάλλεται ανάλογα με το βαθμό κορεσμού της μηχανής και έτσι θα πρέπει κάθε φορά να υπολογίζεται στις συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης της μηχανής
- Ο υπολογισμός της αντίστασης των τυλιγμάτων του στάτη μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι εξίσου σημαντικός και μπορεί να γίνει (προσεγγιστικά πάντα) με την εφαρμογή συνεχούς τάσης στα τυλίγματα, όταν φυσικά η μηχανή βρίσκεται εκτός λειτουργίας, και τη μέτρηση του ρεύματος που τα διαρρέει
- Η συνεχής τάση εξασφαλίζει τον αποκλεισμό της επαγωγικής αντίδρασης των τυλιγμάτων από τη διαδικασία της μέτρησης
- Αυτή η τεχνική όμως είναι και πάλι προσεγγιστική αφού η αντίσταση των τυλιγμάτων με την εφαρμογή AC τάσης είναι ελαφρά μεγαλύτερη

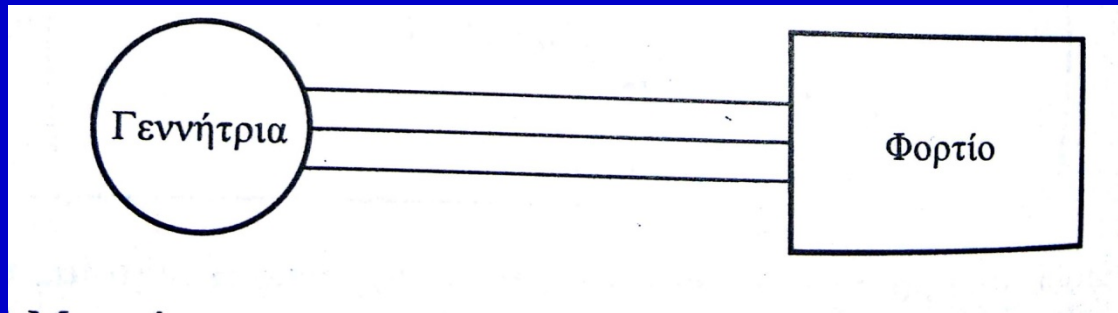
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Αυτό συμβαίνει ιδίως στις υψηλότερες συχνότητες όπου το επιδερμικό φαινόμενο επηρεάζει την τιμή της αντίστασης των τυλιγμάτων του στάτη



ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας ΣΓ όταν αυτή λειτουργεί με κάποιο φορτίο είναι αφενός ο συντελεστής ισχύος του φορτίου και αφετέρου το αν λειτουργεί αυτόνομα ή σε συνεργασία με άλλες γεννήτριες



- Η ΣΓ αναλαμβάνει την τροφοδοσία του φορτίου και εξετάζεται η συμπεριφορά αυτής της γεννήτριας κατά την αύξηση του φορτίου
- Κατά την αύξηση του φορτίου λοιπόν αυξάνεται η ενεργός και/ή η άεργος ισχύς εξόδου της γεννήτριας καθώς και το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτεί το συγκεκριμένο φορτίο

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

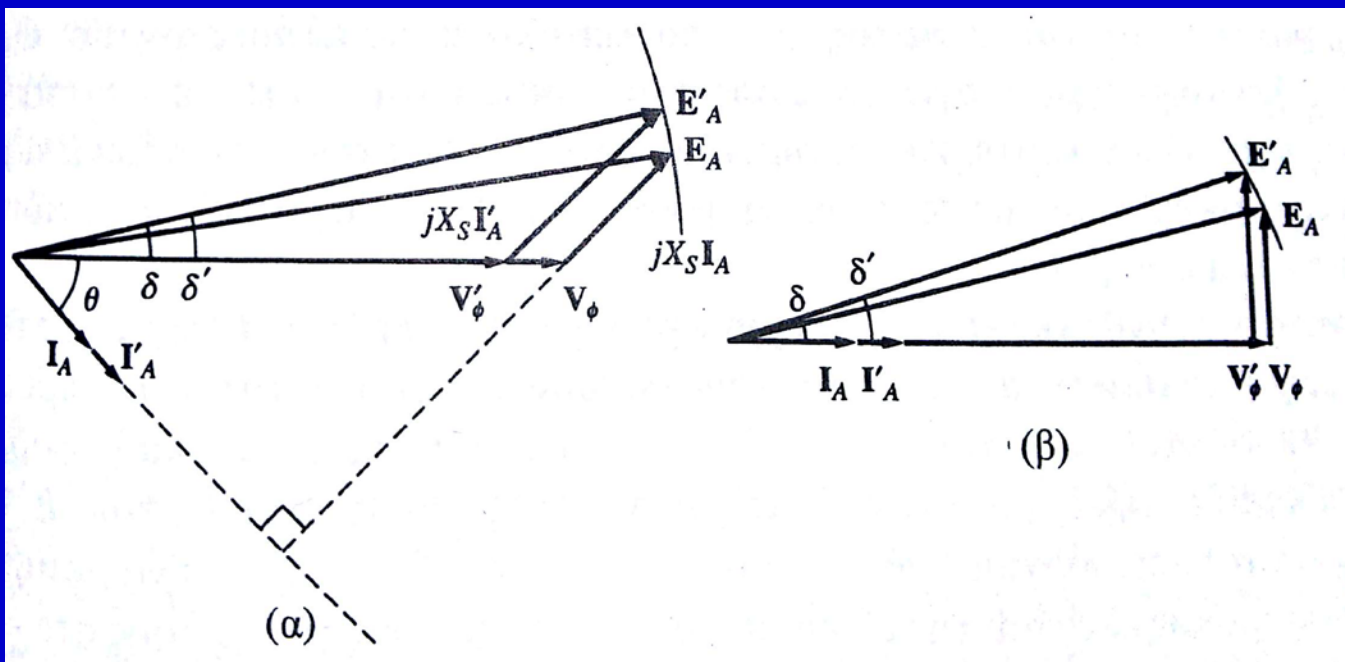
- Στο κύκλωμα διέγερσης δεν συμβαίνει καμία αλλαγή και έτσι τόσο το ρεύμα διέγερσης όσο και η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της παραμένουν σταθερά
- Επίσης, επειδή ούτε η ταχύτητα της κινητήριας μηχανής δεν αλλάζει, το πλάτος της τάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας $E_A = K\Phi\omega$ παραμένει σταθερό
- Αρχικά το φορτίο της γεννήτριας θεωρείται επαγωγικό. Αν το φορτίο αυτό αυξηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το $\cos\phi$ του να παραμείνει σταθερό, το μέτρο του ρεύματος I_A θα αυξηθεί ενώ η φάση του δεν θα μεταβληθεί
- Αυτό σημαίνει ότι η πτώση τάσης λόγω της αντίδρασης οπλισμού θα αυξηθεί επίσης, διατηρώντας όμως σταθερή τη φάση της

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Τώρα επειδή

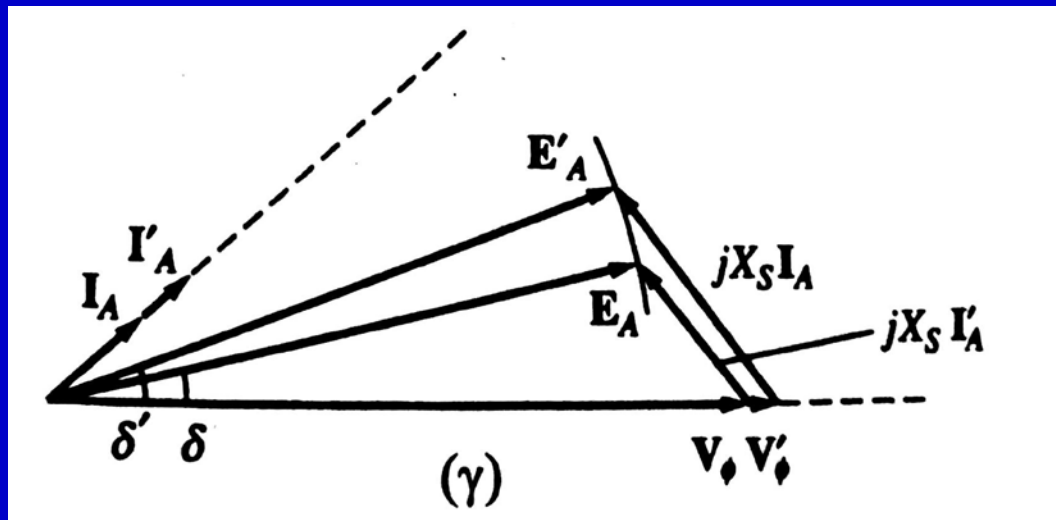
$$\mathbf{E}_A = \mathbf{V}_\phi + j\mathbf{X}_S \mathbf{I}_A$$

- Το διάνυσμα $j\mathbf{X}_S \mathbf{I}_A$ θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των $\mathbf{E}_A$ και $\mathbf{V}_\phi$
- Όμως η $\mathbf{E}_A$ πρέπει να παραμείνει στην τιμή που είχε πριν την αύξηση του φορτίου



ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Ας υποθεθεί τώρα ότι το φορτίο της γεννήτριας είναι αρχικά ωμικό και ότι αυξάνεται χωρίς να αλλάξει ο συντελεστής ισχύος του
- Με βάση τους προηγούμενους περιορισμούς φαίνεται ότι η αύξηση του φορτίου στην περίπτωση αυτή προκαλεί μικρή μείωση στην τάση V_ϕ
- Αν τώρα το φορτίο της γεννήτριας θεωρηθεί ότι είναι χωρητικό και ότι αυξάνεται διατηρώντας σταθερό το συντελεστή ισχύος τότε η τάση V_ϕ αυξάνεται



ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Το αποτέλεσμα αυτό είναι γενικά απρόσμενο διότι σπάνια παρουσιάζεται αύξηση της τάσης μιας γεννήτριας με αύξηση του φορτίου της
- Συμπερασματικά:
 1. Η σύνδεση νέων επαγωγικών φορτίων στα άκρα της ΣΓ προκαλεί σημαντική μείωση των τάσεων V_ϕ και V_T στα άκρα της
 2. Η σύνδεση νέων ωμικών φορτίων στα άκρα της ΣΓ προκαλεί μικρή μείωση των τάσεων V_ϕ και V_T στα άκρα της
 3. Τέλος, η σύνδεση νέων χωρητικών φορτίων στα άκρα της ΣΓ προκαλεί αύξηση των τάσεων V_ϕ και V_T στα άκρα της

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Για τη σύγκριση 2 ΣΓ με αναφορά στη συμπεριφορά της τάσης στα άκρα τους χρησιμοποιείται συχνά το μέγεθος της διακύμανσης τάσης που ορίζεται ως εξής:

$$VR = \frac{V_{n1} - V_n}{V_n} \times 100\%$$

Όπου V_{n1} η τάση στα άκρα της ΣΓ χωρίς φορτίο και V_n η τάση με πλήρες φορτίο

- Όταν η ΣΓ λειτουργεί με επαγωγικό φορτίο η διακύμανση της τάσης έχει αρκετά μεγάλη θετική τιμή
- Όταν λειτουργεί με ωμικό φορτίο η ΣΓ εμφανίζει μικρή θετική διακύμανση τάσης ενώ με χωρητικό φορτίο η διακύμανση τάσης είναι αρνητική

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας μια γεννήτρια θα πρέπει να παράγει σταθερή τάση ανεξάρτητα από τις αλλαγές που συμβαίνουν στο φορτίο της
- Η πιο προφανής μέθοδος είναι η διόρθωση της τάσης E_A κάθε φορά που συμβαίνει κάποια αλλαγή στο φορτίο της γεννήτριας
- Όμως επειδή $E_A = K\phi\omega$ και η συχνότητα λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος δεν πρέπει να μεταβάλλεται, ο μόνος τρόπος ελέγχου της E_A είναι η ρύθμιση της μαγνητικής ροής
- Ας θεωρηθεί μια ΣΓ στην οποία συνδέεται επαγωγικό φορτίο – η τάση στα άκρα της θα μειωθεί
- Για να αυξηθεί ξανά, μειώνεται η τιμή της αντίστασης διέγερσης R_F
- Τότε το ρεύμα διέγερσης θα αυξηθεί

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΗΤΡΙΑΣ

- Έτσι η μαγνητική ροή θα αυξηθεί, αυξάνοντας την τάση ΕΑ που αναπτύσσεται στα τυλίγματα του στάτη
- Το τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της φασικής τάσης στην έξοδο της γεννήτριας
- Η διαδικασία αυτή συνοψίζεται ως εξής:
 1. Η μείωση της αντίστασης διέγερσης αυξάνει το ρεύμα διέγερσης
 2. Η αύξηση του ρεύματος διέγερσης προκαλεί αύξηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό της γεννήτριας
 3. Η αύξηση της ροής προκαλεί αύξηση της τάσης ΕΑ που παράγεται στο εσωτερικό της μηχανής
 4. Η αύξηση της ΕΑ προκαλεί αύξηση της φασικής τάσης V_{ϕ} της γεννήτριας