

**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ  
« ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ »**

**ΔΙΔΑΣΚΩΝ  
ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ Σ. ΘΕΟΚΛΗΤΟΣ**  
Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ.

**ΞΑΝΘΗ 2011**

## **ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ :**

Είναι η διάταξη που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και αντίστροφα.

## **ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ :**

Μηχανική Ενέργεια - Απώλειες = Ηλεκτρική Ενέργεια.

## **ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ :**

Ηλεκτρική Ενέργεια - Απώλειες = Μηχανική Ενέργεια.

Κάθε Ηλεκτρική Μηχανή μπορεί να εργάζεται είτε ως γεννήτρια είτε ως κινητήρας.

## **ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ( Μ/Σ ) :**

Είναι η διάταξη που μετατρέπει εναλλασσόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια με συγκεκριμένο πλάτος τάσης σε εναλλασσόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια με διαφορετικό πλάτος τάσης.

## ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ

### ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ Μ / Σ :

Η ύπαρξη και η δράση ενός μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό τους.

### ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

- Ένας ρευματοφόρος αγωγός παράγει γύρω του μαγνητικό πεδίο.
- Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του οποίου οι δυναμικές γραμμές διέρχονται μέσα από κάποιο πηνίο ( αγωγός σε σπείρες ), επάγει τάση στα άκρα του πηνίου. (  $M / \Sigma$  ).
- Σε ένα ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο εξασκείται μια δύναμη εξ επαγωγής. ( *Κινητήρας* ) .
- Στα άκρα ενός αγωγού που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο επάγεται κάποια τάση. ( *Γεννήτρια* ) .

## NΟΜΟΣ AMPERE :

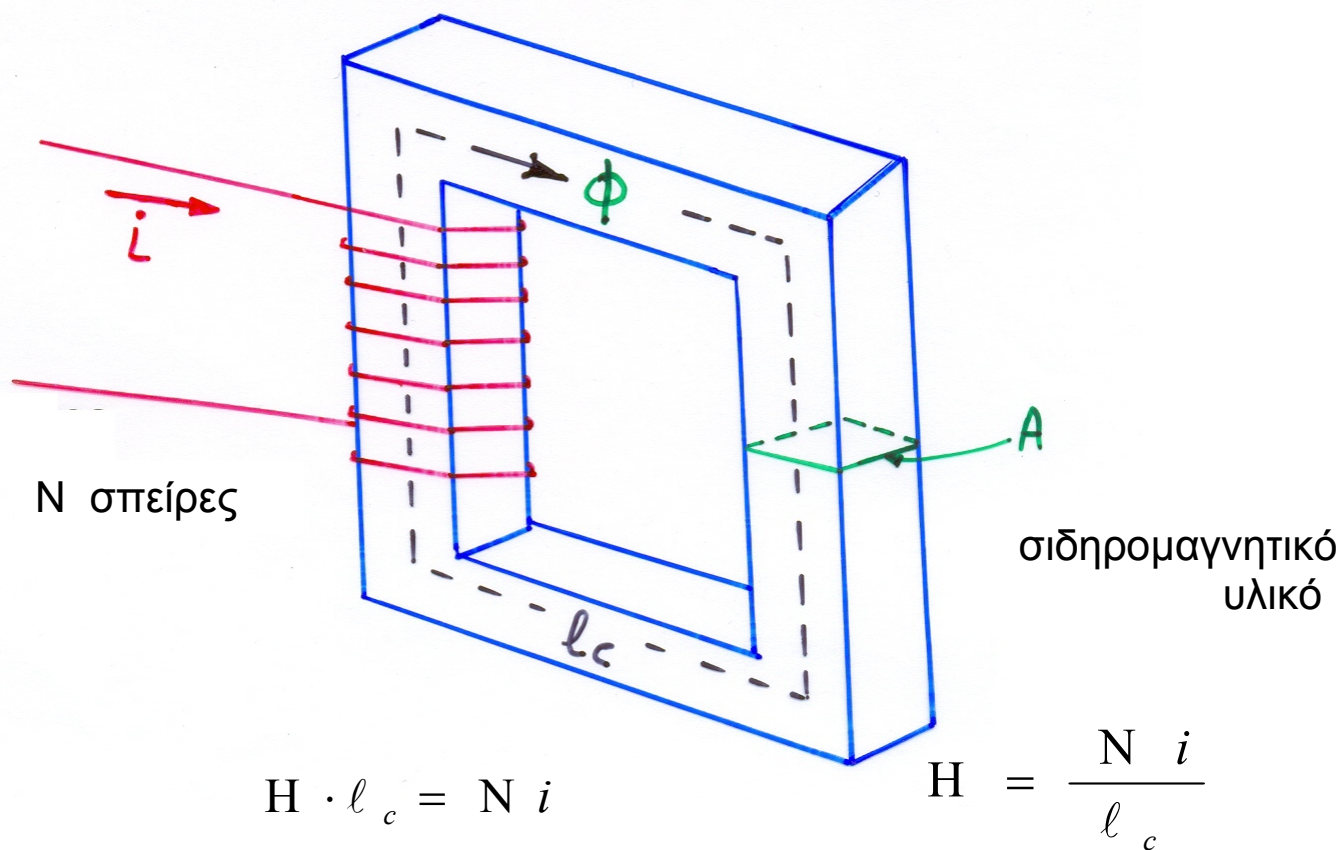
Το μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται γύρω από ένα ρευματοφόρο αγωγό διέπτεται από το Νόμο του Ampere :

$$\oint \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = I_{net}$$

όπου

$\mathbf{H}$  : η ένταση του μαγνητικού πεδίου η οποία παράγεται από το ρεύμα  $I_{net}$  (At/m).

$I_{net}$  : ρεύμα ρευματοφόρου αγωγού (A).



## ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

όπου

$\mathbf{H}$  : η ένταση του μαγνητικού πεδίου ( At/m )

$\mu$  : μαγνητική διαπερατότητα του υλικού ( H / m )

$\mathbf{B}$  : μαγνητική επαγωγή ( T = Wb / m<sup>2</sup> )

- Η ένταση ( H ) του μαγνητικού πεδίου εκφράζει την « προσπάθεια » του ρεύματος για την δημιουργία του πεδίου και
- Η μαγνητική διαπερατότητα (  $\mu$  ) εκφράζει την σχετική ευκολία που παρουσιάζει η ανάπτυξη ενός μαγνητικού πεδίου στο συγκεκριμένο υλικό.

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

μαγνητική διαπερατότητα κενού

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

σχετική μαγνητική διαπερατότητα

## ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ

Η συνολική μαγνητική ροή σε μια συγκεκριμένη περιοχή δίνεται από την εξίσωση :

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (\text{Wb})$$

όπου

$d\mathbf{A}$  : η στοιχειώδης μονάδα επιφάνεια της διατομής του πυρήνα.  $(\text{m}^2)$

$\mathbf{B}$  : η μαγνητική επαγωγή  $(\text{T} = \text{Wb} / \text{m}^2)$

Αν

- το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής είναι κάθετο στο επίπεδο της διατομής  $A$  και το μέτρο της σταθερό σε όλη την περιοχή ,
- και το υλικό του πυρήνα είναι τέτοιο που να περιορίζει όλο το μαγνητικό πεδίο που παράγει το ρεύμα εντός του πυρήνα τότε

Η συνολική μαγνητική ροή δίνεται από τη σχέση :

$$\Phi = B \cdot A = \mu N i A / l_c$$

και ισχύει  $F = \Phi \cdot R = N i$   $(\text{At})$

όπου  $F$  η μαγνητεγερτική δύναμη  $(\text{M.E.}\Delta.)$

$R$  η μαγνητική αντίσταση  $(\text{At} / \text{Wb})$

## NΟΜΟΣ ΤΟΥ FARADAY

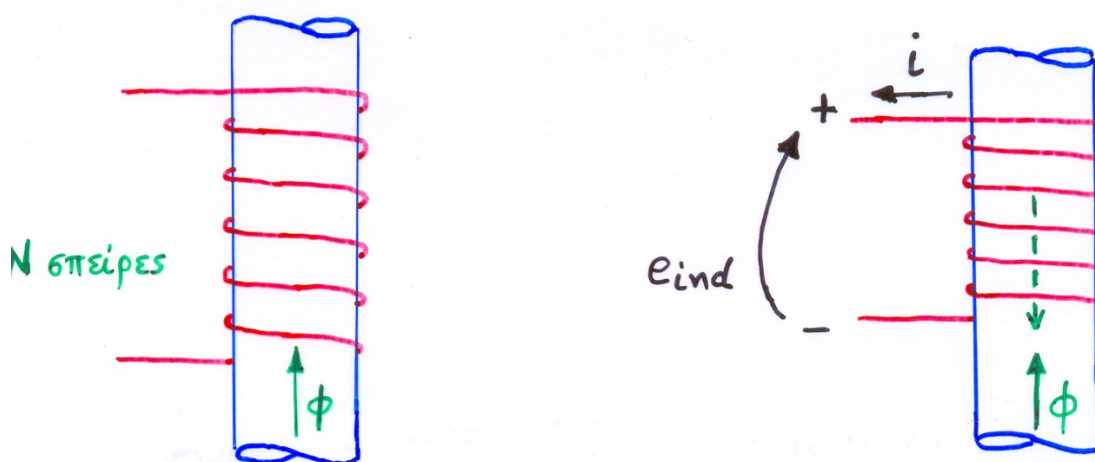
Τάση εξ επαγωγής στα άκρα πηνίου ενός χρονικά μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου.

$$e_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Η τάση που επάγεται στα άκρα του πηνίου είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής ως προς το χρόνο.

Αν το πηνίο έχει  $N$  σπείρες και από κάθε σπείρα περνάει η ίδια μαγνητική ροή

$$e_{ind} = - N \frac{d\Phi}{dt}$$



## ΔΥΝΑΜΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ( LAPLACE )

Σε ένα ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο εξασκείται μια δύναμη εξ επαγωγής ( Δύναμη Laplace ).

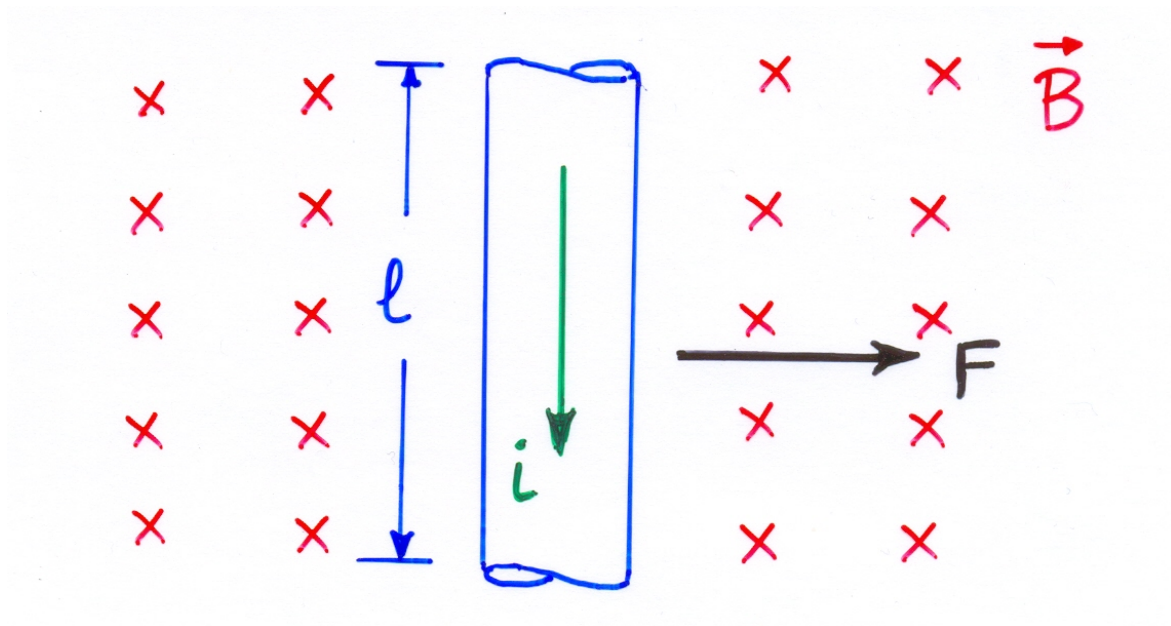
$$\mathbf{F} = i ( \mathbf{l} \times \mathbf{B} )$$

όπου

$i$  : η ένταση του ρεύματος

$\mathbf{l}$  : το διάνυσμα που έχει μέτρο το μήκος του αγωγού και φορά αυτή του ρεύματος

$\mathbf{B}$  : το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής



Το μέτρο της δύναμης αυτής είναι :

$$F = i l B \sin \theta$$

όπου  $\theta$  η γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους ο αγωγός και το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής.



## ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΑΓΩΓΟΥ ΠΟΥ ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Στα άκρα ενός αγωγού που κινείται με τον κατάλληλο προσανατολισμό μέσα σε μαγνητικό πεδίο επάγεται κάποια τάση.

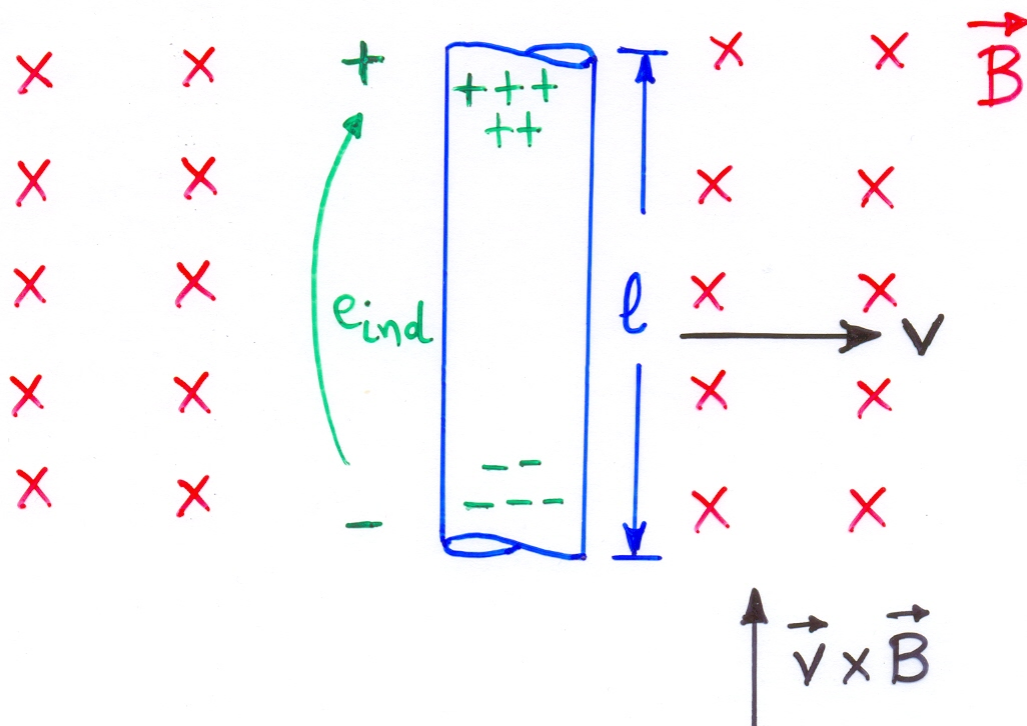
$$e_{ind} = ( \mathbf{v} \times \mathbf{B} ) \cdot \mathbf{l}$$

όπου

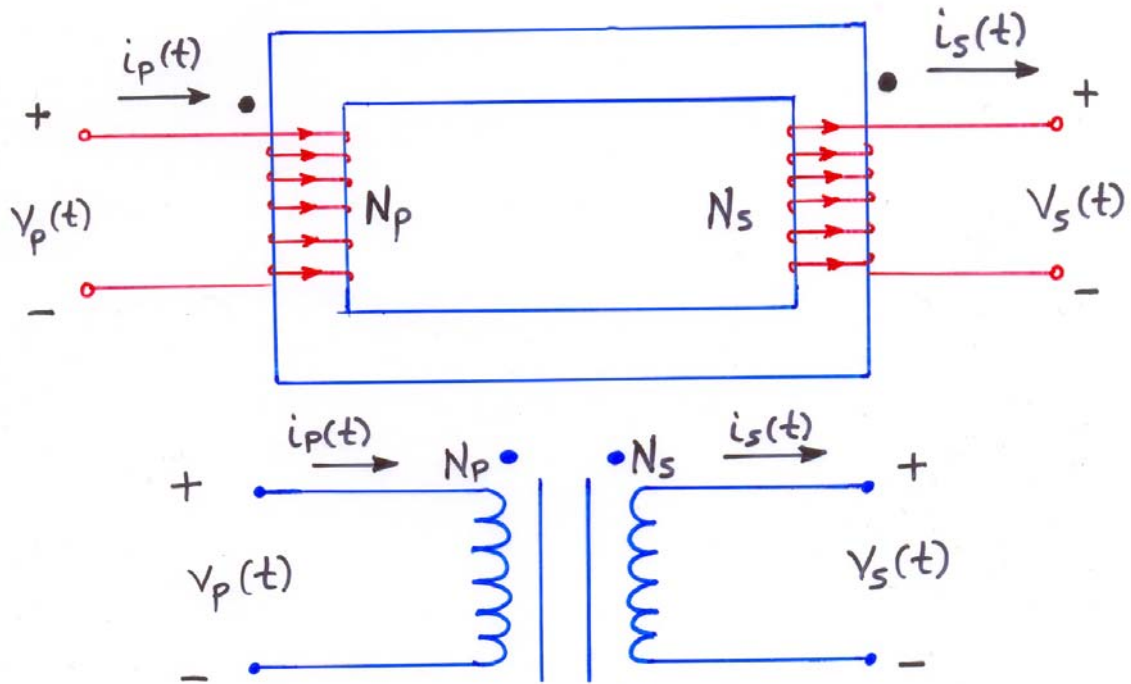
$\mathbf{v}$  : η ταχύτητα του αγωγού

$\mathbf{B}$  : το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής

$\mathbf{l}$  : το διάνυσμα που έχει μέτρο το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο



## ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ



$$\frac{V_P(t)}{V_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a$$

όπου  $a$  : ο λόγος μετασχηματισμού

$$N_P i_P(t) = N_S i_S(t) \Rightarrow \frac{i_P(t)}{i_S(t)} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{1}{a}$$

## ΙΣΧΥΣ ΣΤΟΥΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

$$P_{in} = V_p I_p \cos \theta_p$$

$$P_{out} = V_s I_s \cos \theta_s$$

$$\text{Επειδή } \theta_p = \theta_s = \theta$$

$$P_{out} = V_s I_s \cos \theta = (V_p / a) (\alpha I_p) \cos \theta = P_{in}$$

$$Q_{out} = V_s I_s \sin \theta = V_p I_p \sin \theta = Q_{in}$$

## ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

$$Z_L = \frac{V_L}{I_L}$$

Τιμή Σύνθετης αντίστασης δευτερεύοντος

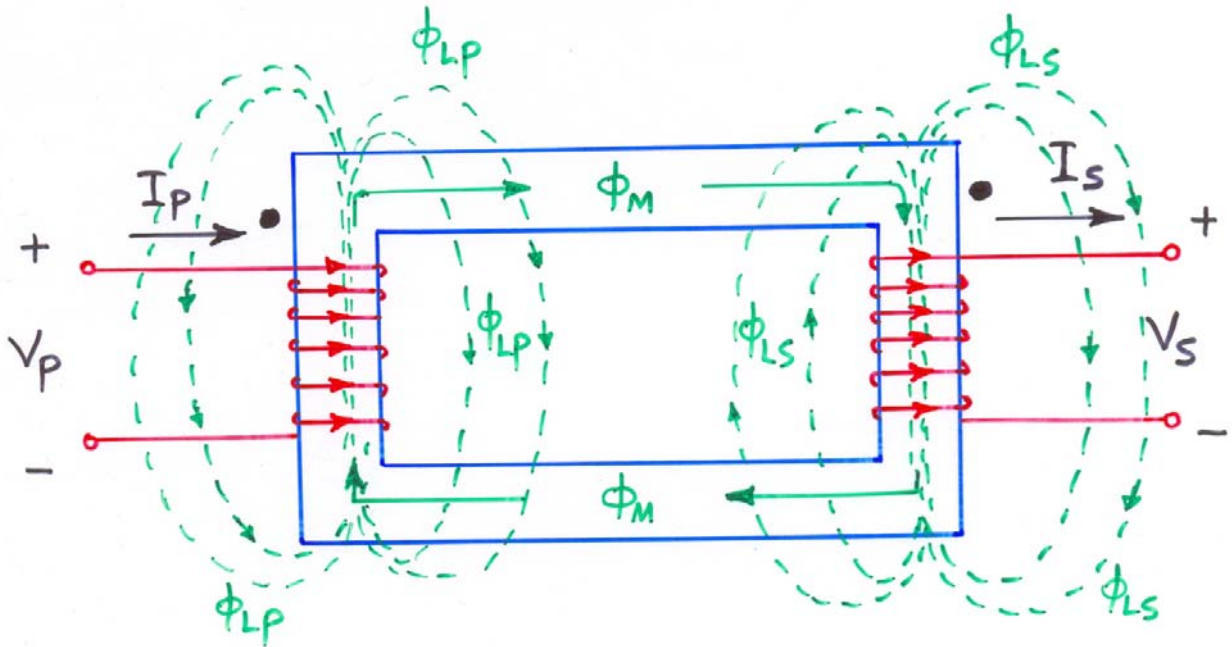
$$Z_L = \frac{V_s}{I_s}$$

Τιμή Σύνθετης αντίστασης πρωτεύοντος

$$Z'_L = \frac{V_p}{I_p}$$

$$Z'_L = \frac{V_p}{I_p} = \frac{a V_s}{I_s / a} = a^2 \frac{V_s}{I_s} = a^2 Z_L$$

## ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ



όπου

$\Phi_M$  το τμήμα της ροής που συνδέει τα δύο τυλίγματα

$\Phi_{LP}$  η ροή διαρροής του πρωτεύοντος

$\Phi_{LS}$  η ροή διαρροής του δευτερεύοντος

$$V_P(t) = N_P \frac{d\Phi_M}{dt} + N_P \frac{d\Phi_{LP}}{dt} = e_P(t) + e_{LP}(t)$$

$$V_S(t) = N_S \frac{d\Phi_M}{dt} + N_S \frac{d\Phi_{LS}}{dt} = e_S(t) + e_{LS}(t)$$

$$\Phi_M \gg \Phi_{LP}, \Phi_{LS}$$

Αν στο πρωτεύον του Μετασχηματιστή εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση χωρίς να υπάρχει συνδεδεμένο φορτίο στο δευτερεύον τότε το συνολικό ρεύμα στο τύλιγμα του Μ/Σ ονομάζεται ρεύμα διέγερσης και δίνεται ως

$$\dot{i}_{ex} = \dot{i}_m + \dot{i}_{h+e}$$

όπου

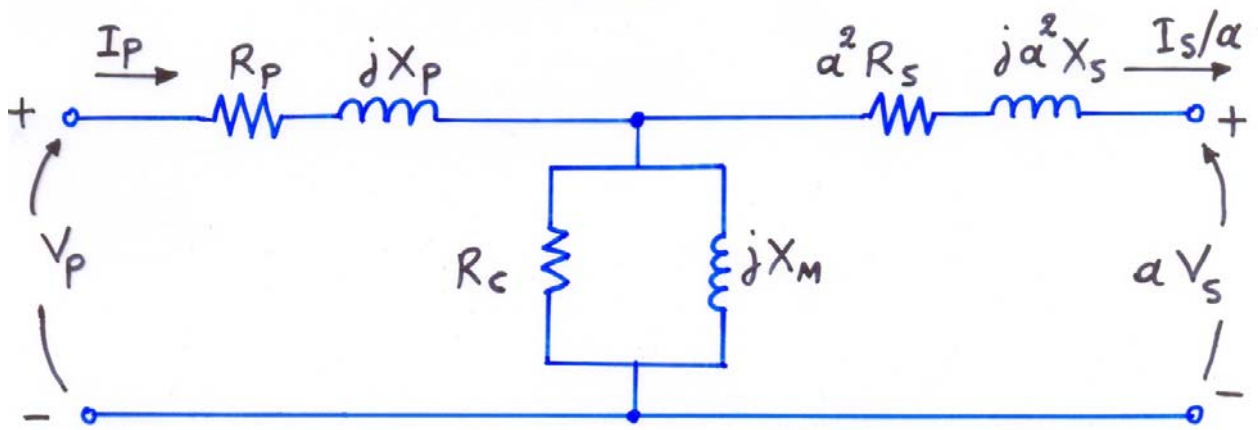
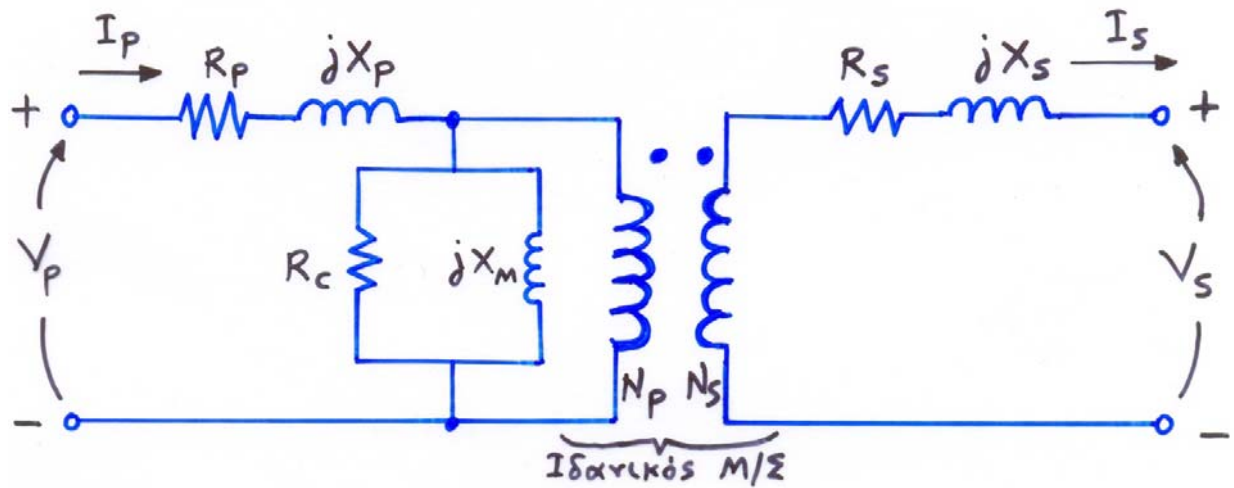
$\dot{i}_m$  το ρεύμα μαγνήτισης

$\dot{i}_{h+e}$  το ρεύμα απωλειών πυρήνα

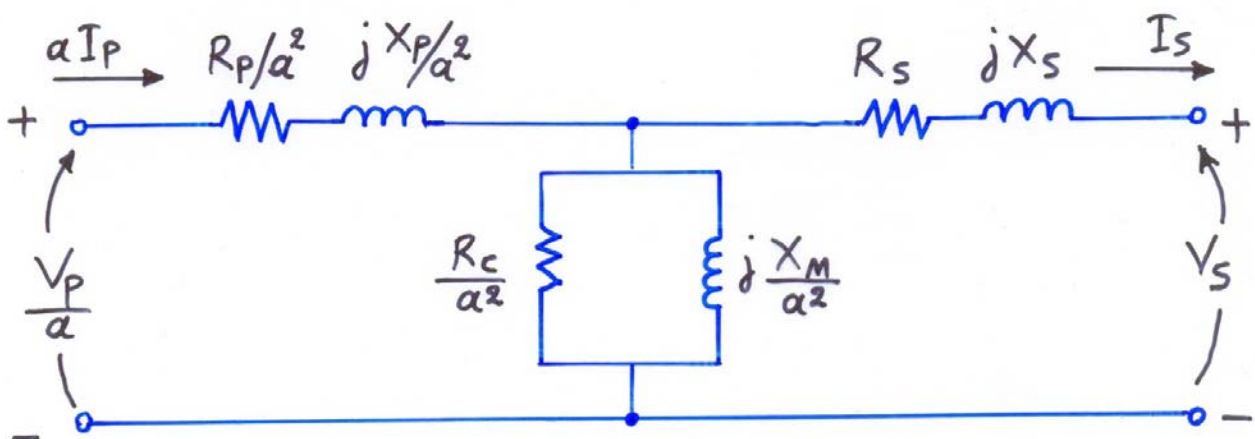
- το ρεύμα μαγνήτισης  $\dot{i}_m$  είναι η αιτία ανάπτυξης μαγνητικής ροής στον πυρήνα του Μ/Σ και καθυστερεί σε σχέση με την κυματομορφή της τάσης κατά  $90^\circ$ .
- το ρεύμα απωλειών πυρήνα  $\dot{i}_{h+e}$  αντιστοιχεί στο φαινόμενο υστέρησης και στα δινορρεύματα και βρίσκεται σε φάση με την κυματομορφή της τάσης.

Γενικά η κυματομορφή του ρεύματος διέγερσης παρουσιάζεται παραμορφωμένη και με πολλές αρμονικές λόγω της μη γραμμικότητας των φαινομένων **υστέρησης** και **κορεσμού** του πυρήνα.

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

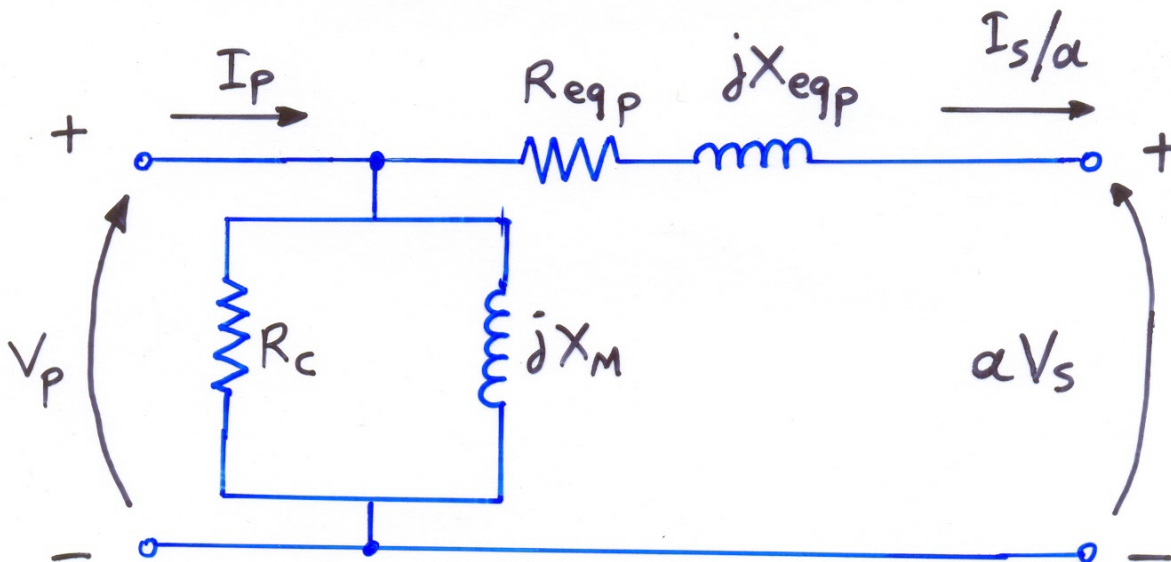


α) ανηγμένο στο πρωτεύον



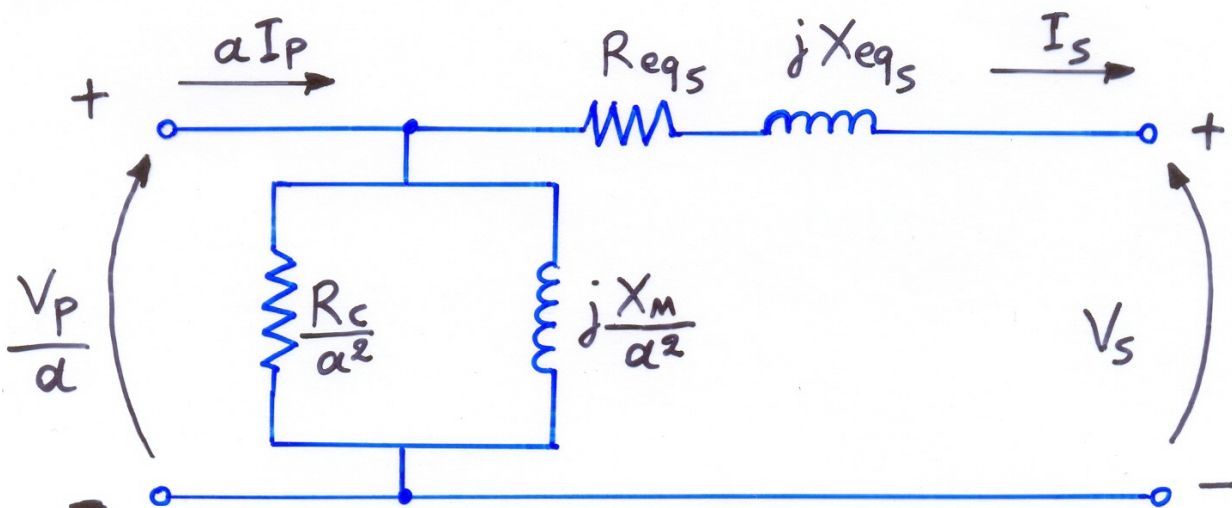
β) ανηγμένο στο δευτερεύον

## ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



$$R_{eqp} = R_p + \alpha^2 R_s \quad X_{eqp} = X_p + \alpha^2 X_s$$

α) προσεγγιστικό ισοδύναμο ανηγμένο στο πρωτεύον



$$R_{eqs} = \frac{R_p}{\alpha^2} + R_s \quad X_{eqs} = \frac{X_p}{\alpha^2} + X_s$$

β) προσεγγιστικό ισοδύναμο ανηγμένο στο δευτερεύον

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

### A. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

$$Y_E = G_C - jB_M = \frac{1}{R_C} - j\frac{1}{X_M}$$

$$|Y_E| = \frac{I_{OC}}{V_{OC}}$$

$$PF = \cos\theta = \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}} \quad \theta = \cos^{-1} \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}}$$

$$Y_E = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \angle -\theta = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \angle -\cos^{-1} \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}}$$

### B. ΠΕΙΡΑΜΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

$$|Z_{SE}| = \frac{V_{SC}}{I_{SC}}$$

$$PF = \cos\theta = \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}} \quad \theta = \cos^{-1} \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}}$$

$$Z_{SE} = \frac{V_{SC} \angle 0^\circ}{I_{SC} \angle -\theta} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle \theta = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle \cos^{-1} \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}}$$

$$Z_{SE} = R_{eq} + jX_{eq} = (R_P + \alpha^2 R_S) + j(X_P + \alpha^2 X_S)$$



## ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

$$VR = \frac{V_{S, nl} - V_{S, fl}}{V_{S, fl}} \times 100 \%$$

Επειδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο ισχύει  $V_S = V_P / \alpha$

$$VR = \frac{V_P / \alpha - V_{S, fl}}{V_{S, fl}} \times 100 \%$$

όπου 
$$\frac{V_P}{\alpha} = V_S + R_{eq} I_S + j X_{eq} I_S$$

και προσεγγιστικά 
$$\frac{V_P}{\alpha} = V_S + R_{eq} I_S \cos\theta + X_{eq} I_S \sin\theta$$

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Συντελεστής απόδοσης

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad \text{ή} \quad n = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \%$$

$$P_{out} = V_S I_S \cos \theta_s$$

Απώλειες = Απώλειες χαλκού ( $I^2 R$ ) + Απώλειες πυρήνα

$$n = \frac{V_S I_S \cos\theta}{P_{Cu} + P_{core} + V_S I_S \cos\theta} \times 100 \%$$

# Ηλεκτρικές Μηχανές

Συνεχούς  
Ρεύματος Σ.Ρ.  
D.C.

Εναλλασσόμενου  
Ρεύματος Ε.Ρ.  
A.C.

Με Ξένη  
Διέγερση

Με  
Αυτοδιέγερση

Σύγχρονες

Ασύγχρονες  
ή  
επαγωγικές

- A) Παράλληλη διέγερση
- B) Διέγερση σειράς
- Γ) Σύνθετη διέγερση

## ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ D.C.

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

$$E_A = K \Phi \omega_m = K' \Phi n$$

$$\text{όπου } \omega_m = \frac{2 \pi n}{60} \quad \text{ή} \quad \omega_{ηλ} = \frac{P}{2} \omega_m$$

- Η τάση  $E_A$  της μηχανής εξαρτάται από
- τη μαγνητική ροή του πεδίου στο εσωτερικό της  $\Phi$
  - την ταχύτητα περιστροφής  $\omega_m$  του δρομέα
  - μια σταθερά  $K$  που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

### ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

$$\tau_{\text{ind}} = K \Phi I_A$$

- Η ροπή  $\tau_{\text{ind}}$  της μηχανής εξαρτάται από
- τη μαγνητική ροή του πεδίου στο εσωτερικό της  $\Phi$
  - το ρεύμα οπλισμού  $I_A$  της μηχανής
  - μια σταθερά  $K$  που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

$$\text{όπου } K = \frac{Z P}{2 \pi \alpha} \quad \text{ή} \quad K' = \frac{Z P}{60 \alpha} \quad \text{και} \quad Z = 2 C N_c$$

$Z$  = ο συνολικός αριθμός αγωγών τυλίγματος  
 $P$  = ο αριθμός των πόλων της μηχανής  
 $\alpha$  = ο αριθμός των παράλληλων διαδρομών  
 $C$  = ο αριθμός των συστάδων του δρομέα  
 $N_c$  = ο αριθμός των πλαισίων σε μια συστάδα

## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 1. Απώλειες χαλκού

απώλειες τυλίγματος οπλισμού

$$P_A = I_A^2 R_A$$

απώλειες τυλίγματος πεδίου (διέγερση)

$$P_F = I_F^2 R_F$$

### 2. Απώλειες ψηκτρών

απώλειες που οφείλονται στην πτώση τάσης

επάνω στις ψήκτρες

$$P_{BD} = V_{BD} I_A$$

### 3. Απώλειες πυρήνα

απώλειες υστέρησης

$$\sim B^2$$

απώλειες δινορρευμάτων

### 4. Μηχανικές Απώλειες

απώλειες τριβών (ρουλεμάν)

απώλειες ανεμισμού

$$\sim \omega^3$$

### 5. Κατανεμημένες Απώλειες

θεωρούνται περίπου 1% της ισχύος εξόδου σε πλήρες φορτίο.

Η ισχύς (ηλεκτρική ή μηχανική) που μετατρέπεται στο διάκενο αέρα της μηχανής δίνεται ως:

$$P_{\text{conv}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m = E_A I_A$$

Συντελεστής απόδοσης

$$n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

ή

$$n = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ Η ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 1. Αντίδραση οπλισμού

Η παραμόρφωση της μαγνητικής ροής κατά την αύξηση του φορτίου της μηχανής ονομάζεται *αντίδραση οπλισμού*.

Η αντίδραση οπλισμού προκαλεί

- α) μετακίνηση της ουδέτερης ζώνης της μηχανής
- β) εξασθένηση της μαγνητικής ροής.

### 2. Υπερτάσεις

Οφείλονται στην αυτεπαγωγή του αγωγού  $L (di/dt)$  και ονομάζονται *επαγωγικές κρουστικές τάσεις*.

## ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ

1. Μετακίνηση των ψηκτρών
2. Εισαγωγή βοηθητικών ή εσωτερικών πόλων
3. Εισαγωγή τυλιγμάτων αντιστάθμισης.

## ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ( Σ.Ρ. )

1. Ανεξάρτητης διέγερσης
2. Παράλληλης διέγερσης
3. Διέγερσης σειράς
4. Με αθροιστική σύνθετη διέγερση
5. Με διαφορική σύνθετη διέγερση
6. Με μόνιμο μαγνήτη

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Χαρακτηριστική φορτίου μιας συσκευής ονομάζεται η γραφική παράσταση των ποσοτήτων εξόδου της συσκευής.

Οι ποσότητες εξόδου μιας γεννήτριας Σ.Ρ. είναι η τάση στα άκρα της  $V_T$  και το ρεύμα φορτίου  $I_L$ .

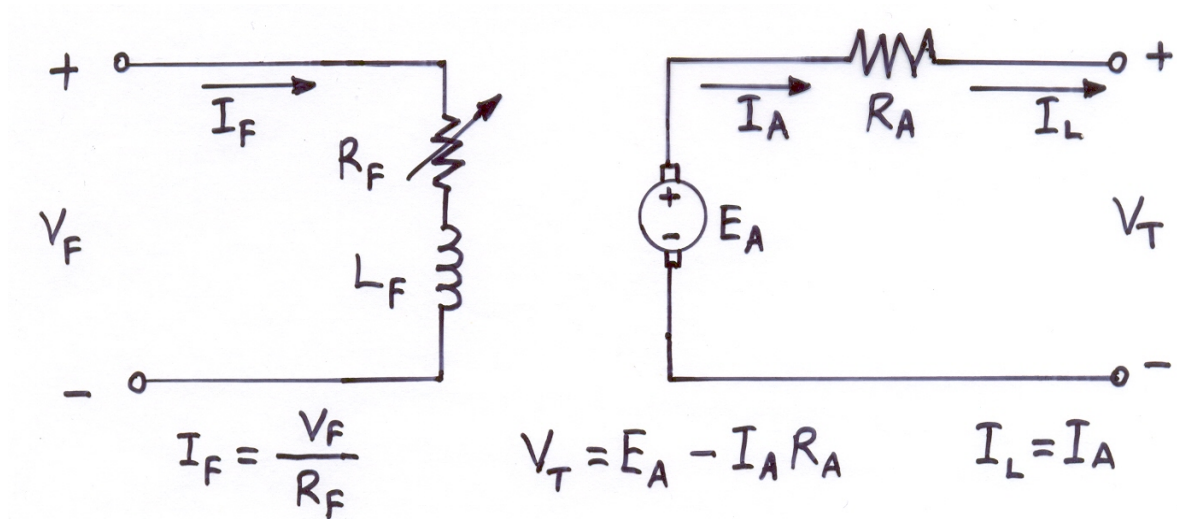
Χαρακτηριστική φορτίου (  $V_T - I_L$  ).

Οι ποσότητες εξόδου ενός κινητήρα Σ.Ρ. είναι η ροπή στον άξονά του  $\tau_{ind}$  και η ταχύτητα περιστροφής του  $\omega_m$ .

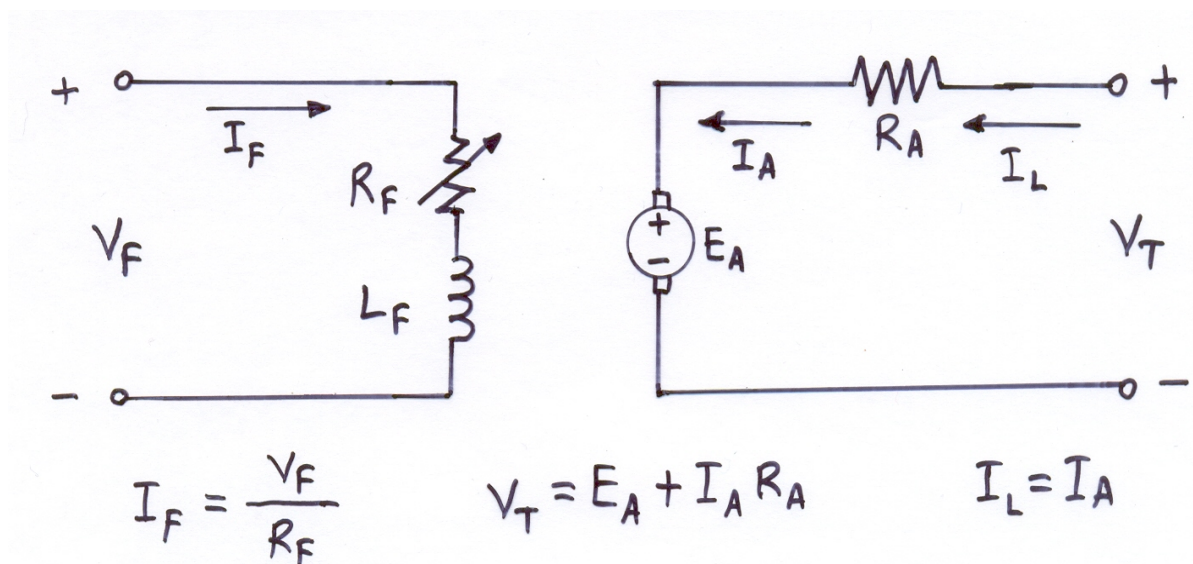
Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας. (  $\tau_{ind} - \omega_m$  )

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με ανεξάρτητη διέγερση

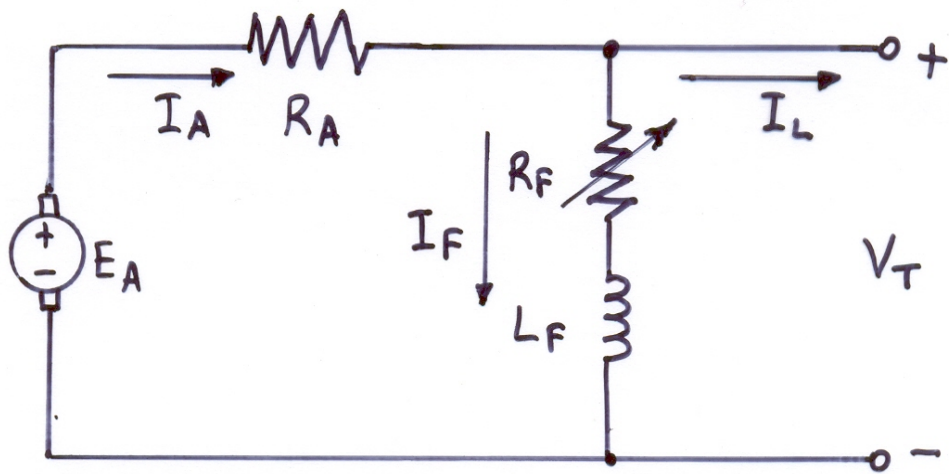


β) Κινητήρα Σ.Ρ. με ανεξάρτητη διέγερση



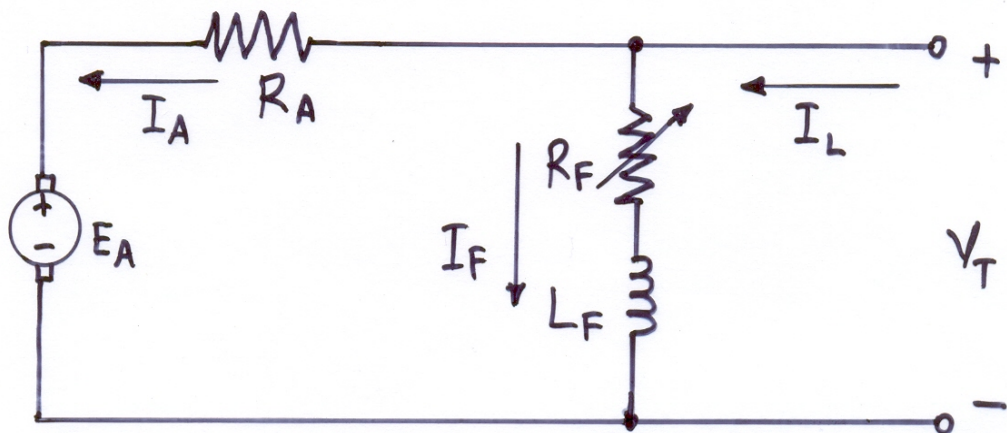
## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση



$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad V_T = E_A - I_A R_A \quad I_A = I_F + I_L$$

β) Κινητήρα Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση

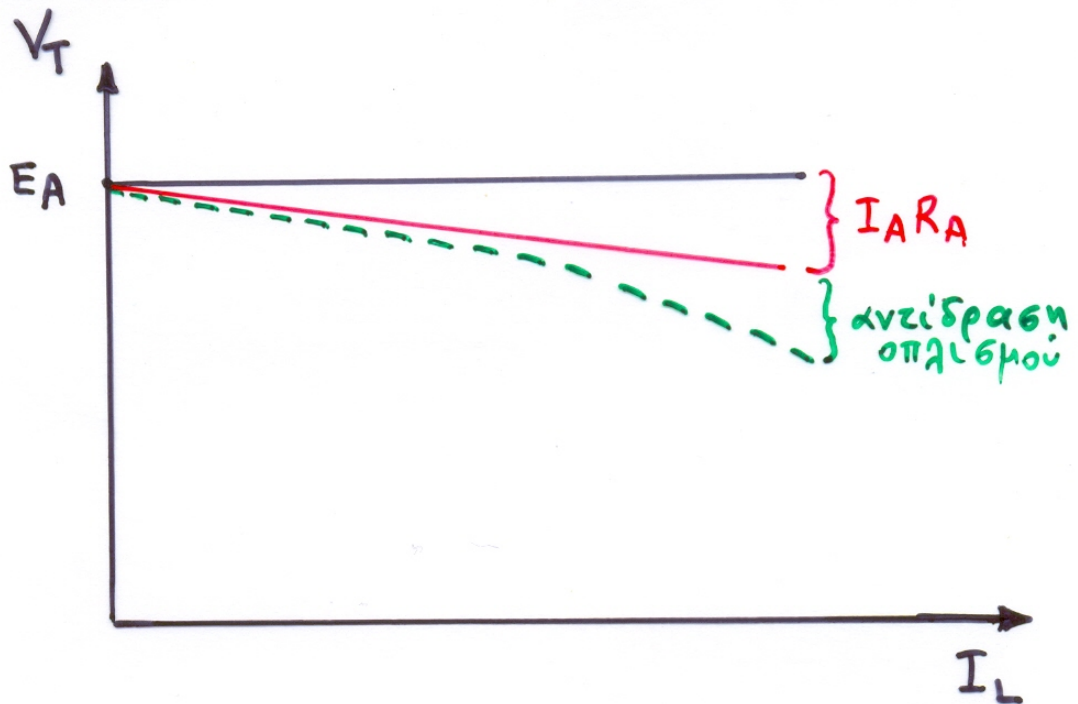


$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad V_T = E_A + I_A R_A \quad I_L = I_A + I_F$$

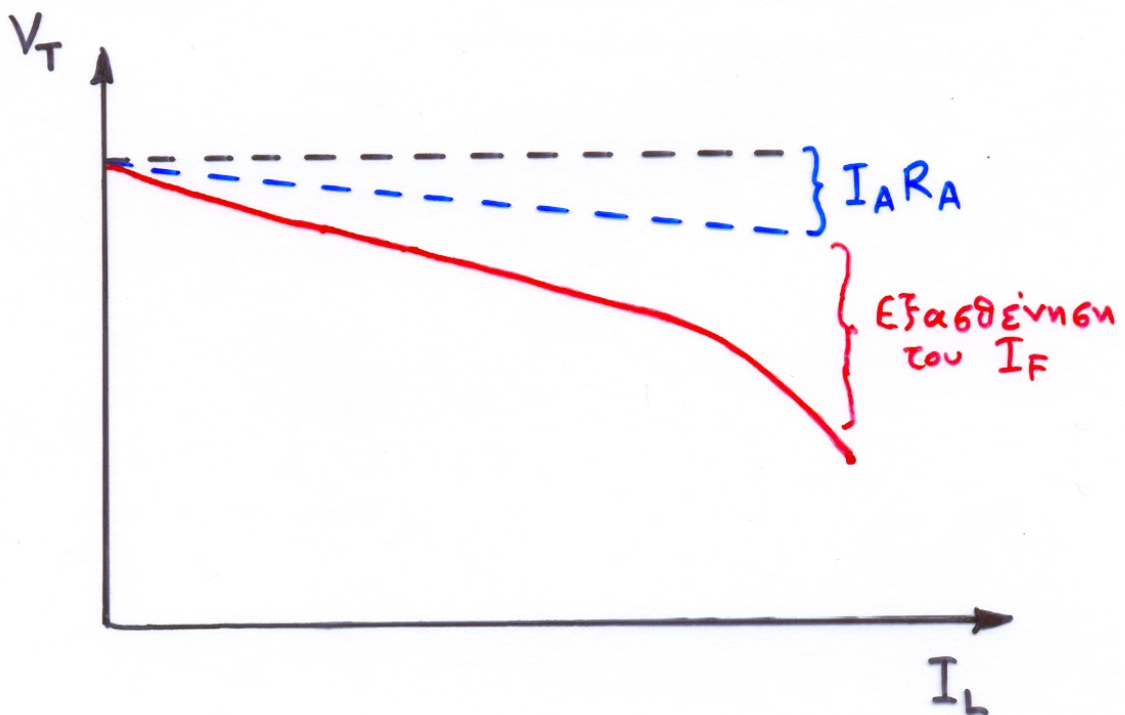


## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με ανεξάρτητη διέγερση



β) Γεννήτριας Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση



## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗΣ – ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

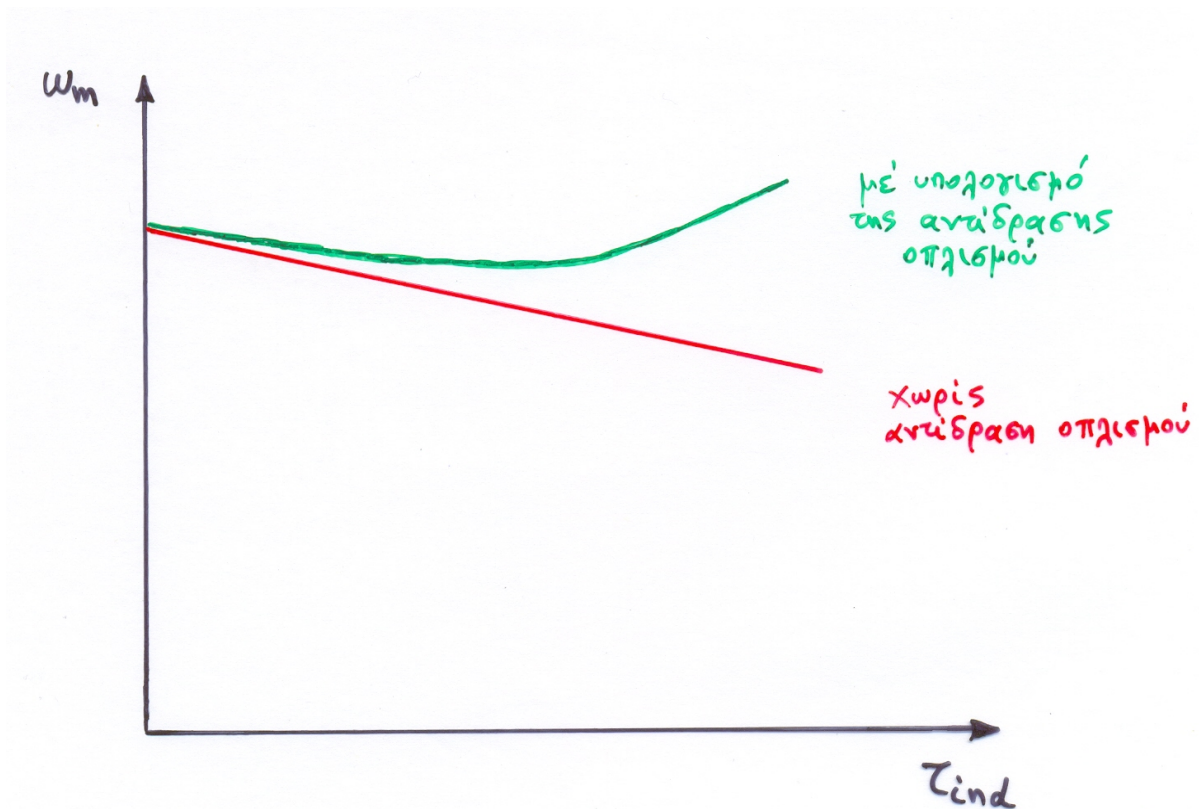
Κινητήρα Σ.Ρ. με ανεξάρτητη διέγερση ή με παράλληλη διέγερση ή με μόνιμο μαγνήτη.

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$E_A = K \Phi \omega_m \quad \tau_{ind} = K \Phi I_A$$

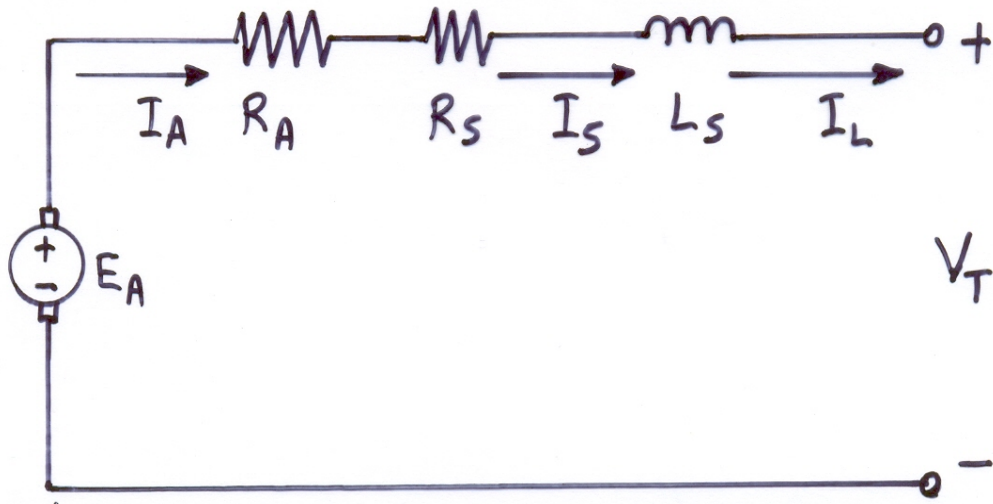
$$V_T = K \Phi \omega_m + (\tau_{ind} / K \Phi) R_A$$

$$\omega_m = \frac{V_T}{K \Phi} - \frac{R_A}{(K \Phi)^2} \tau_{ind}$$



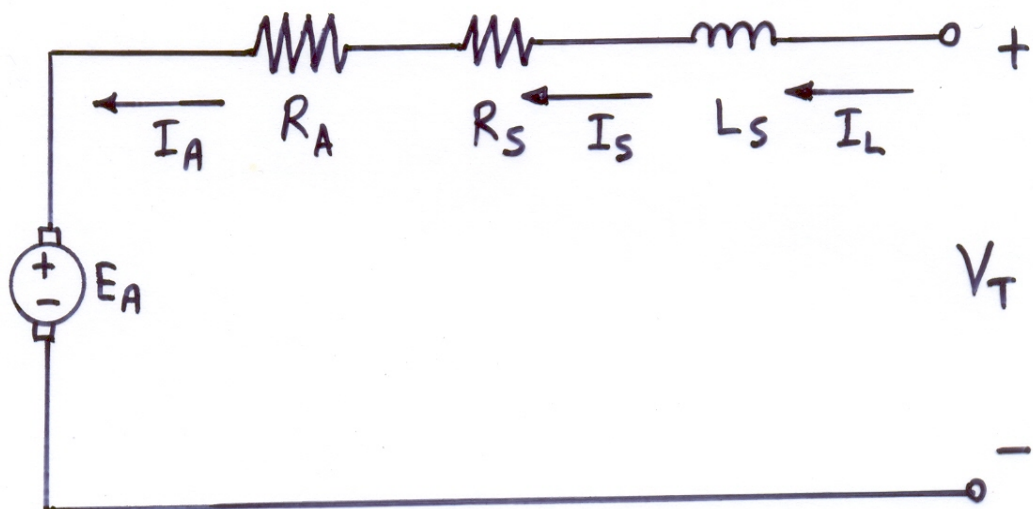
## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με διέγερση σειράς



$$I_A = I_S = I_L \quad V_T = E_A - I_A (R_A + R_S)$$

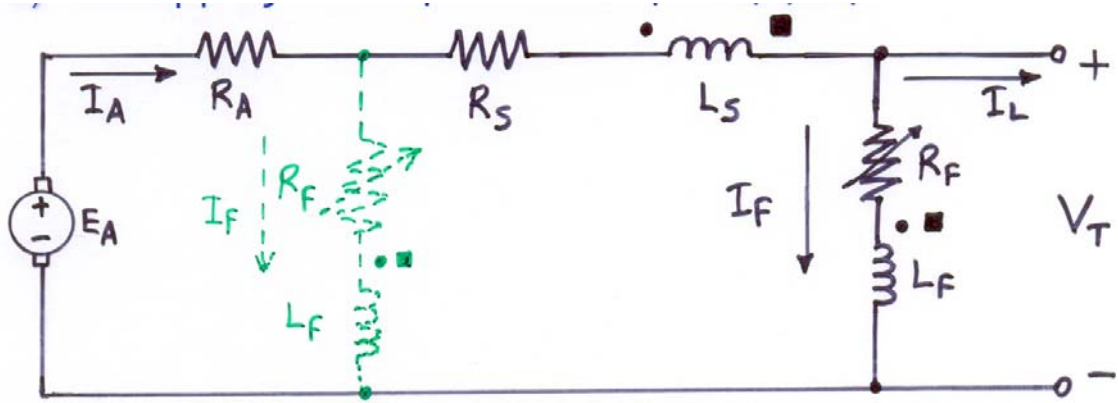
β) Κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς



$$I_A = I_S = I_L \quad V_T = E_A + I_A (R_A + R_S)$$

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση



$$I_A = I_L + I_F$$

$$V_T = E_A - I_A (R_A + R_S)$$

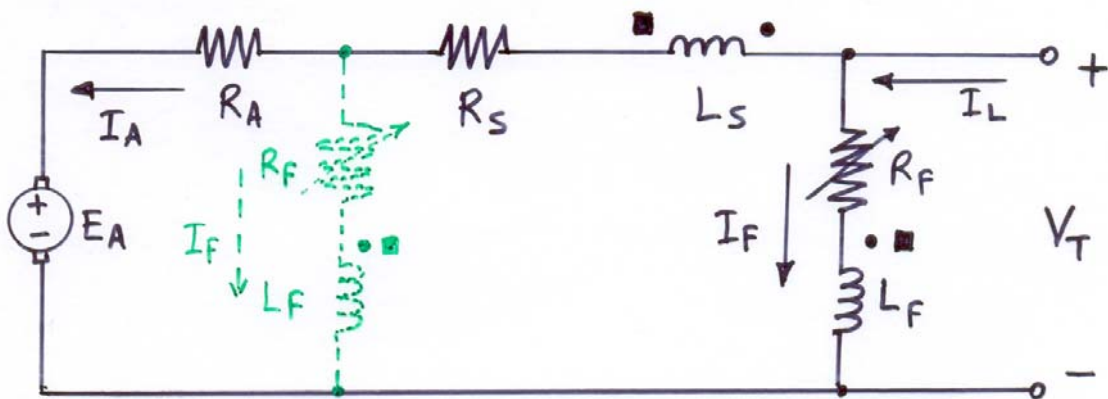
$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

και

$$F_{net} = N_F I_F \pm N_{SE} I_A - F_{AR}$$

- αδρυστική σύνθ. διέγ.
- διαφορική σύνθ. διέγ.

β) Κινητήρα Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση



$$I_A = I_L - I_F$$

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S)$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

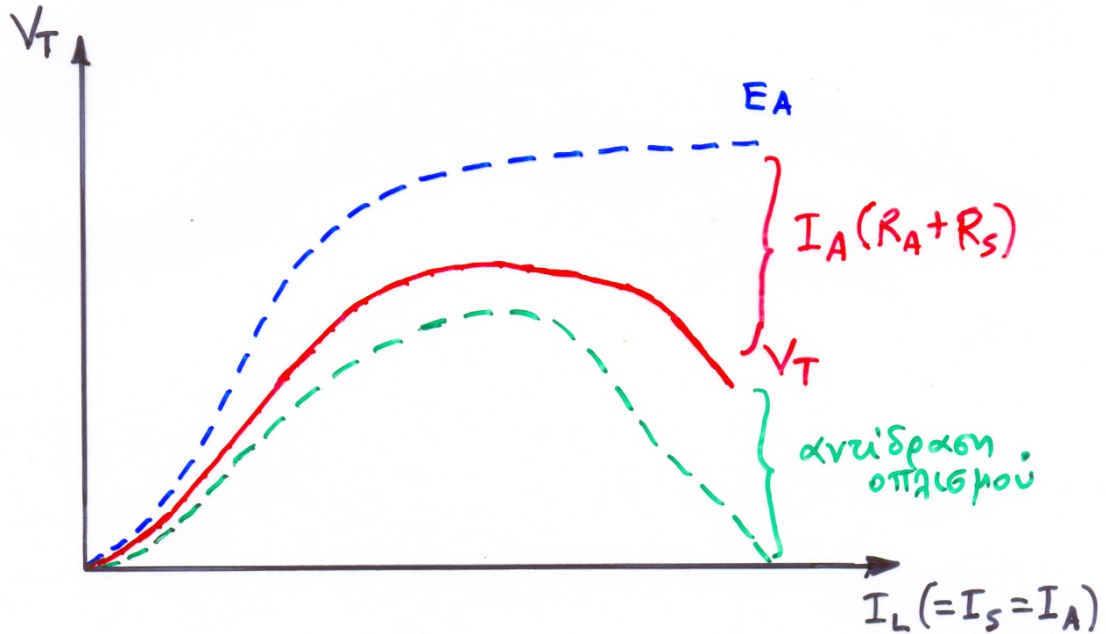
και

$$F_{net} = N_F I_F \pm N_{SE} I_A - F_{AR}$$

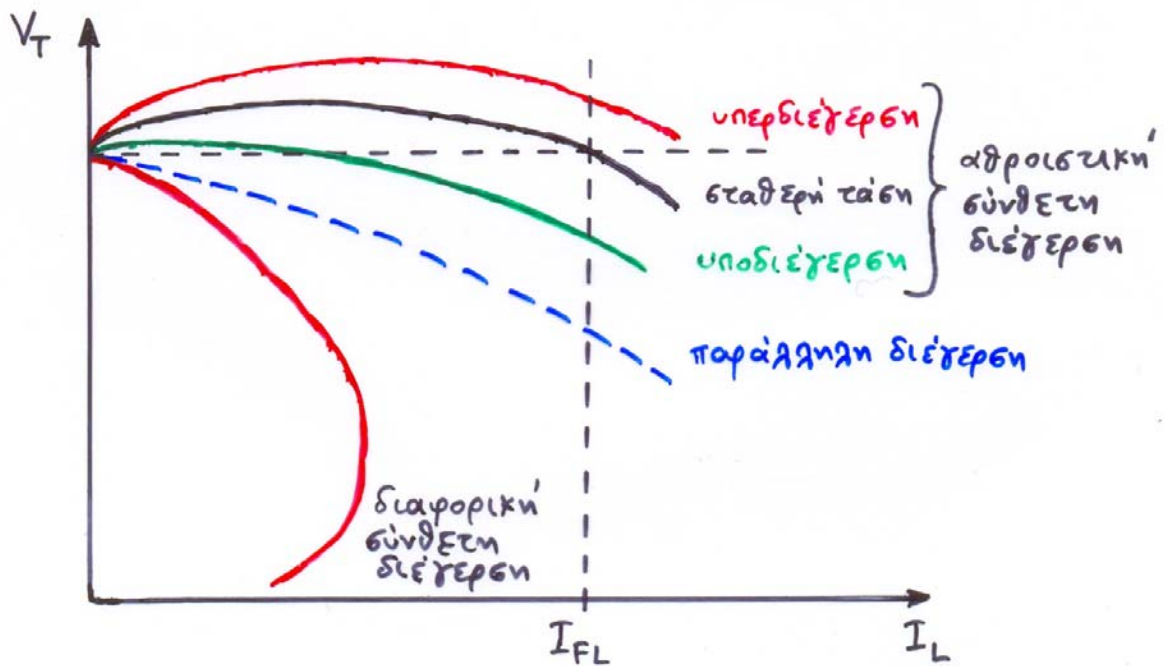
- αδρυστική σύνθ. διέγ.
- διαφορική σύνθ. διέγ.

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

α) Γεννήτριας Σ.Ρ. με διέγερση σειράς



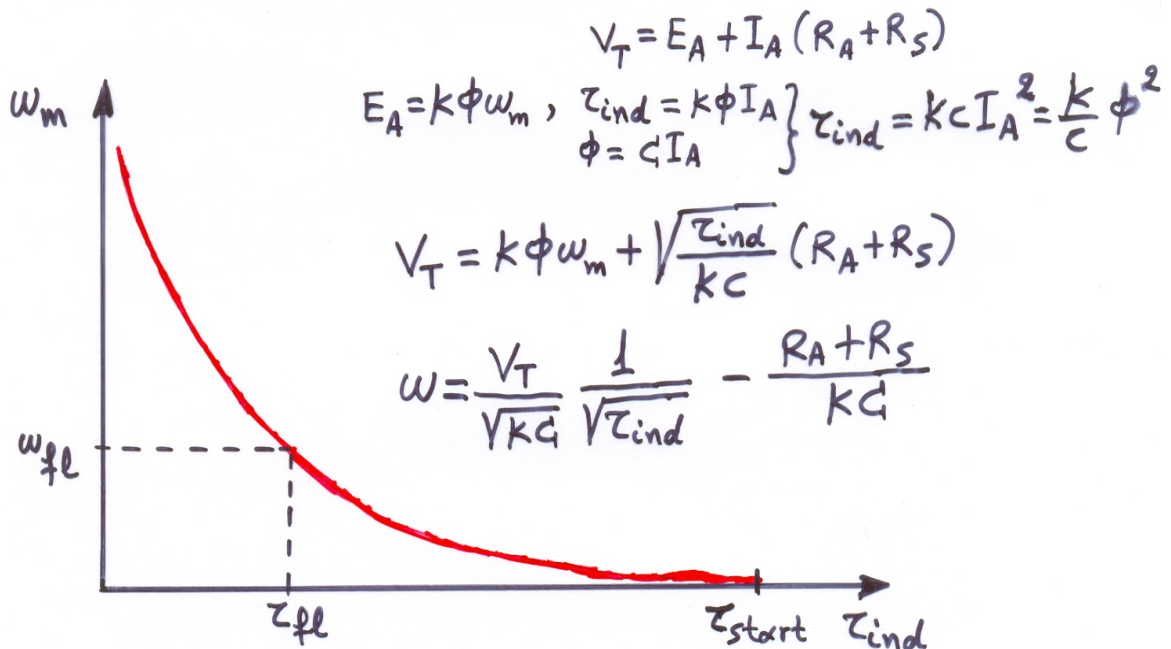
β) Γεννήτριας Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση



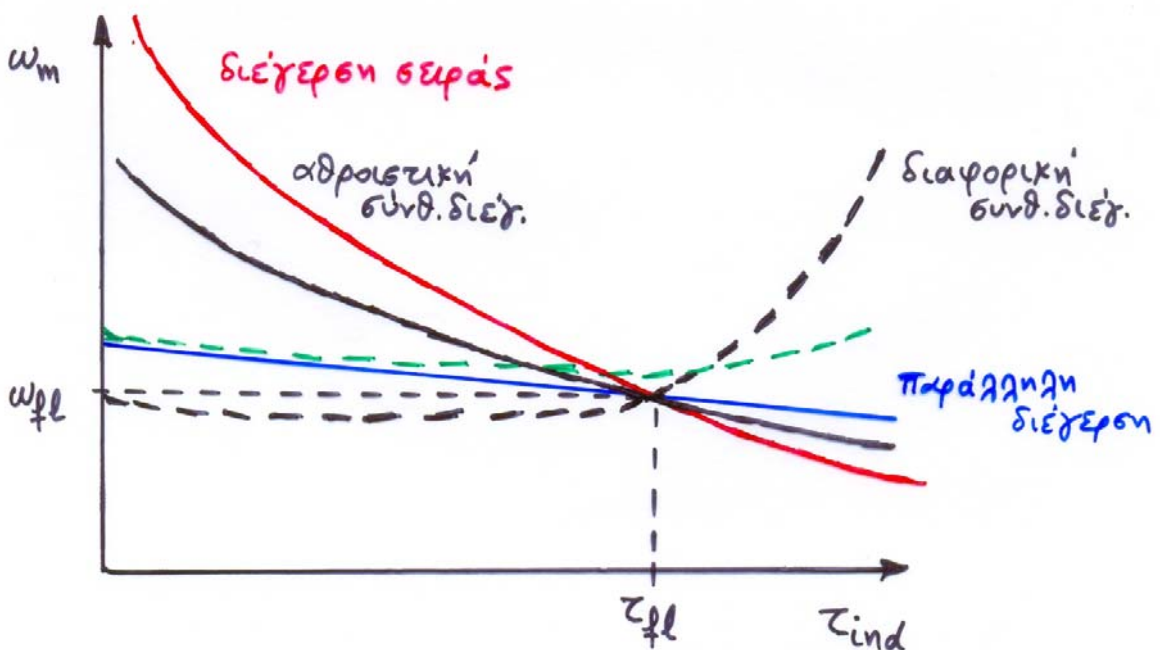


## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ – ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

α) Κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς



β) Κινητήρα Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση



## ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ Σ. Ρ.

$$E_A = K \Phi \omega$$

$$V_T = E_A - I_A R_A$$

1. Με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής  $\omega_m$ .
2. Με μεταβολή της αντίστασης διέγερσης  $R_f$  της γεννήτριας ή αλλιώς με έλεγχο του ρεύματος διέγερσης  $I_f$ , που προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής  $\Phi$ .

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ Σ. Ρ.

$$\tau_{ind} = K \Phi I_A$$

$$I_A = (V_T - E_A) / R_A$$

1. Με μεταβολή της αντίστασης διέγερσης  $R_f$  του κινητήρα δηλαδή με μεταβολή της μαγνητικής ροής  $\Phi$ .
2. Με μεταβολή της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του οπλισμού του κινητήρα  $V_A$ .
3. Με σύνδεση μιας αντίστασης σε σειρά με το κύκλωμα οπλισμού  $R_A'$

Η επιλογή ενός κινητήρα ή αντίστοιχα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος πρέπει να βασίζεται σε ορισμένους παράγοντες για να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η οικονομική λειτουργία τους.

Οι κυριότεροι παράγοντες για την επιλογή ενός κινητήρα ή μιας γεννήτριας Σ.Ρ. είναι :

- Η χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας – ροπής του κινητήρα και του φορτίου του ή αντίστοιχα η χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου της γεννήτριας.
- Οι ταχύτητες λειτουργίας του κινητήρα και ο τρόπος ρύθμισης της ταχύτητάς του ή αντίστοιχα ο τρόπος ρύθμισης της τάσης εξόδου της γεννήτριας.
- Οι ειδικές απαιτήσεις του συστήματος.
- Οι πηγές τροφοδοσίας και διέγερσης της μηχανής.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός προστασίας.
- Ο χώρος τοποθέτησης της μηχανής.
- Ο βαθμός αξιοπιστίας και απόδοσης της μηχανής σε συνάρτηση με τις απαιτήσεις της για επισκευές και συντήρηση.



## ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ A.C.

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

$$e_{\text{ind}} = K \Phi_{\text{max}} \omega_m \sin(\omega_m t)$$

$$\text{όπου } \omega_m = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{ή} \quad \omega_{\eta\lambda} = \frac{P}{2} \omega_m$$

$$\text{και } f_m = \frac{n}{60} \quad \text{ή} \quad f_{\eta\lambda} = \frac{n P}{120} \text{ ( Hz )}$$

Η επαγόμενη τάση  $e_{\text{ind}}$  της μηχανής έχει ημιτονοειδή μορφή και εξαρτάται από

- Τη μαγνητική ροή του πεδίου στο εσωτερικό της  $\Phi$
- την ταχύτητα περιστροφής  $\omega_m$  του δρομέα
- μια σταθερά  $K$  που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

### ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

$$\tau_{\text{ind}} = K ( \mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_S ) = K B_R B_{\text{net}} \sin\delta$$

Η ροπή  $\tau_{\text{ind}}$  της μηχανής εξαρτάται από

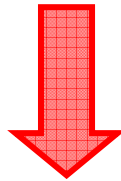
- τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου του δρομέα  $B_R$
- τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου του στάτη  $B_S$
- το ημίτονο της μεταξύ τους γωνίας  $\delta$
- μια σταθερά  $K$  που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

## ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΤΑΣΕΩΝ

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin(\omega t) \quad A$$

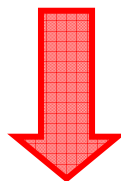
$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \quad A$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) \quad A$$



$$B_{\text{net}}(t) = (1,5 B_M \sin(\omega t)) \mathbf{x} - (1,5 B_M \cos(\omega t)) \mathbf{y}$$

Η αντιμετάθεση των ρευμάτων στα δύο από τα τρία τυλίγματα του στάτη αντιστρέφει τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του.



$$e_{aa'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t) \quad V$$

$$e_{bb'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t - 120^\circ) \quad V$$

$$e_{cc'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t - 240^\circ) \quad V$$

Ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων παράγει ομοιόμορφο και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του στάτη μιας μηχανής, ενώ ένα ομοιόμορφο και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο μπορεί να παράγει τριφασικό σύστημα τάσεων σε ένα τέτοιο στάτη.

## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 1. Απώλειες χαλκού

απώλειες τυλιγμάτων στάτη

$$P_{\text{scl}} = 3 I_A^2 R_A$$

απώλειες τυλιγμάτων δρομέα

$$P_{\text{rcl}} = I_F^2 R_F$$

### 2. Απώλειες πυρήνα

απώλειες υστέρησης

$$\sim B^2$$

απώλειες δινορρευμάτων

### 3. Μηχανικές Απώλειες

απώλειες τριβών ( ρουλεμάν )

απώλειες ανεμισμού  $\sim \omega^3$

### 4. Κατανεμημένες Απώλειες

θεωρούνται περίπου 1 % της ισχύος εξόδου σε πλήρες φορτίο.

Η ισχύς ( ηλεκτρική ή μηχανική ) που μετατρέπεται στο διάκενο αέρα της μηχανής δίνεται ως:

$$P_{\text{conv}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m$$

#### Γεννήτρια

$$P_{\text{in}} = \tau_{\text{app}} \omega_m$$

$$P_{\text{out}} = 3 V_\phi I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$$

#### Κινητήρας

$$P_{\text{in}} = 3 V_\phi I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$$

$$P_{\text{out}} = \tau_{\text{load}} \omega_m$$

Συντελεστής απόδοσης

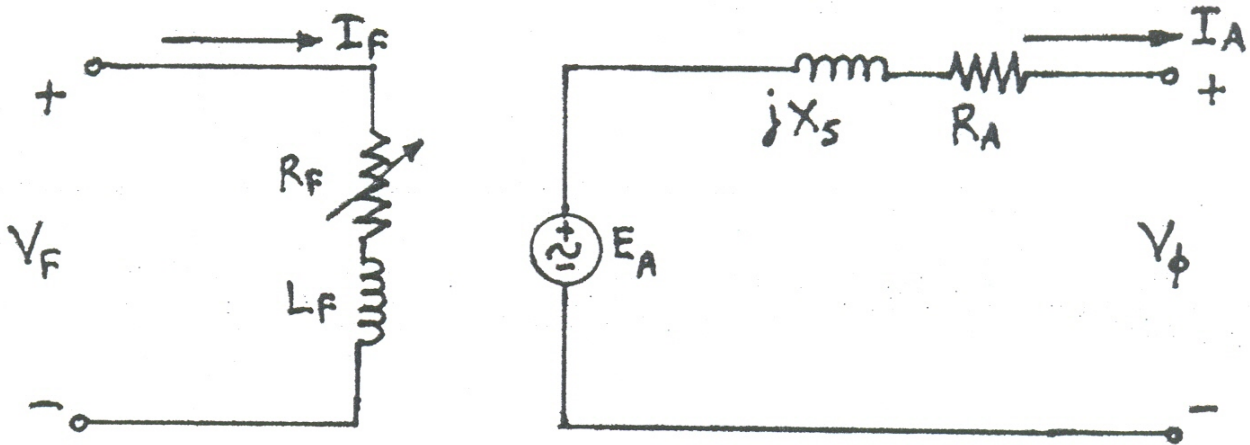
$$n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

ή

$$n = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑ ΦΑΣΗ

α) Σύγχρονης γεννήτριας .

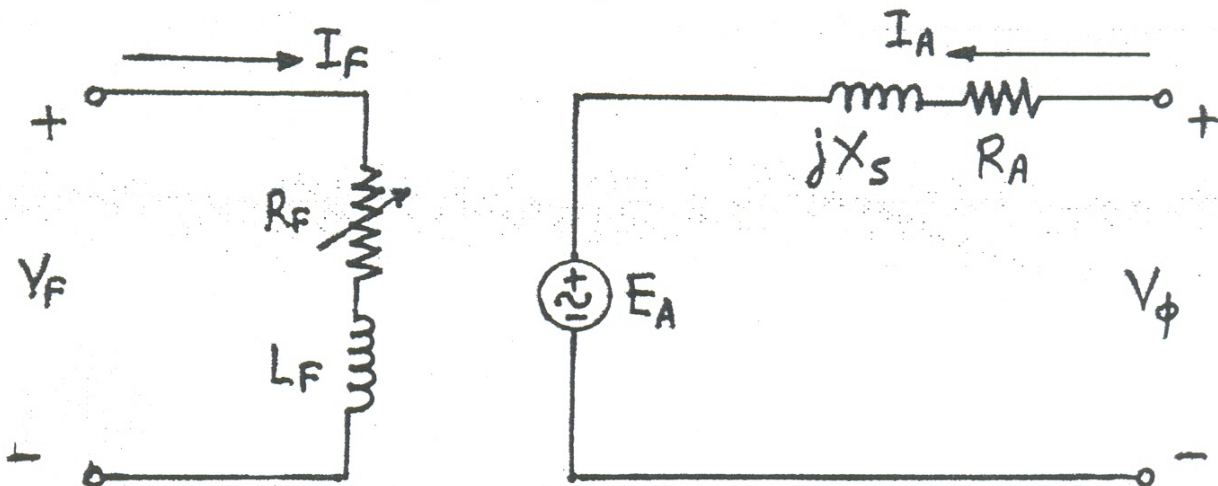


$$\begin{aligned} \Delta &\longrightarrow V_L = V_\phi, \quad I_L = \sqrt{3} I_A \\ Y &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = I_A \end{aligned}$$

$$V_\phi = E_A - j X I_A - j X_A I_A - R_A I_A$$

$$X_S = X + X_A \quad \Rightarrow \quad V_\phi = E_A - j X_S I_A - R_A I_A$$

β) Σύγχρονου Κινητήρα .



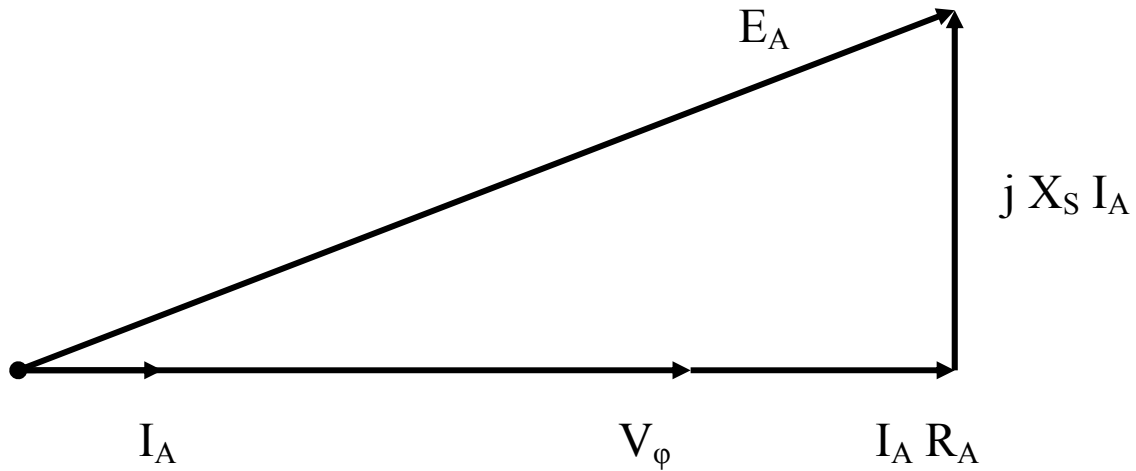
$$\begin{aligned} \Delta &\longrightarrow V_L = V_\phi, \quad I_L = \sqrt{3} I_A \\ Y &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = I_A \end{aligned}$$

$$V_\phi = E_A + j X_S I_A + R_A I_A$$

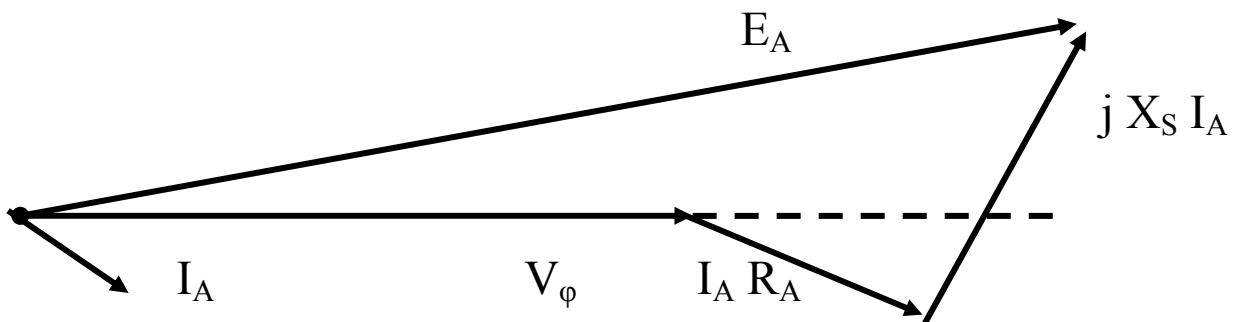
$$E_A = V_\phi - j X_S I_A - R_A I_A$$

## ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

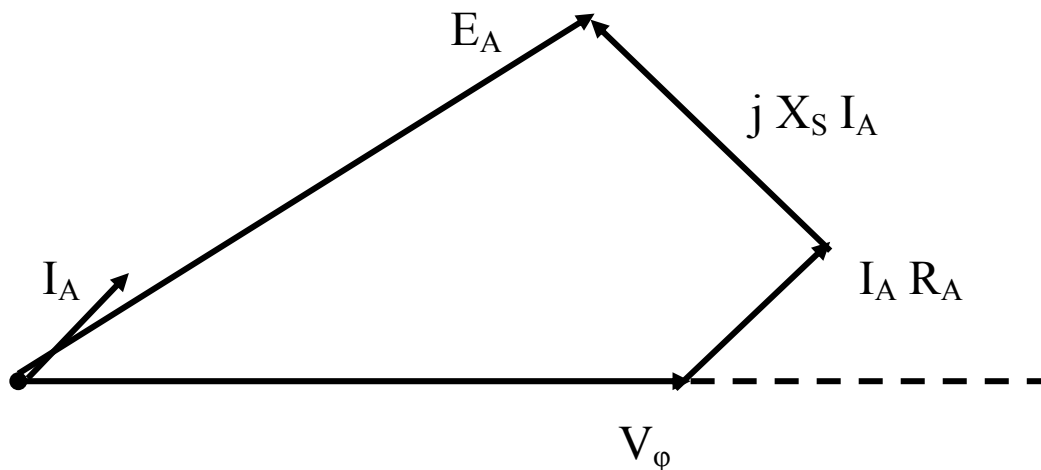
α) Με καθαρά ωμικό φορτίο .



β) Με επαγωγικό φορτίο .



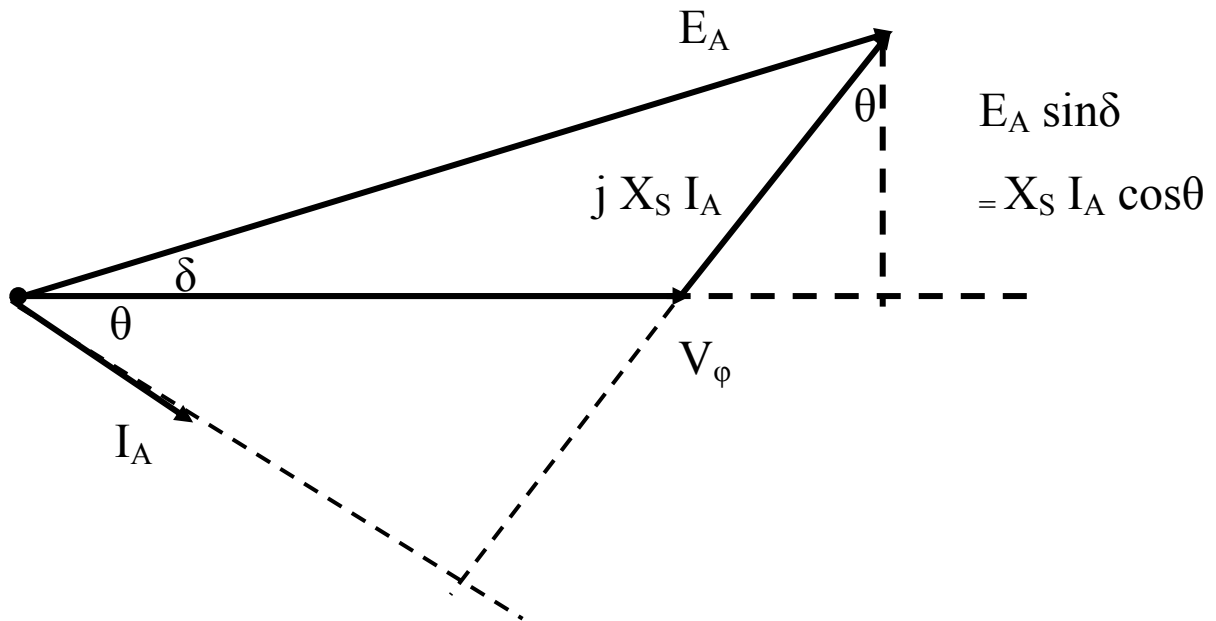
γ) Με χωρητικό φορτίο .



## ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

$$P_{\text{out}} = 3 V_{\phi} I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

$$Q_{\text{out}} = 3 V_{\phi} I_A \sin\theta = \sqrt{3} V_T I_L \sin\theta$$



Επειδή  $X_S \gg R_A$  στο διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας μπορεί να αγνοηθεί η αντίσταση οπλισμού  $R_A$  τότε προσεγγιστικά

$$I_A \cos\theta = \frac{E_A \sin\delta}{X_S} \quad \text{και} \quad P = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin\delta}{X_S}$$

$$\text{ΕΝΩ ΕΠΕΙΔΗ } P_{\text{con}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin\delta}{\omega_m X_S}$$

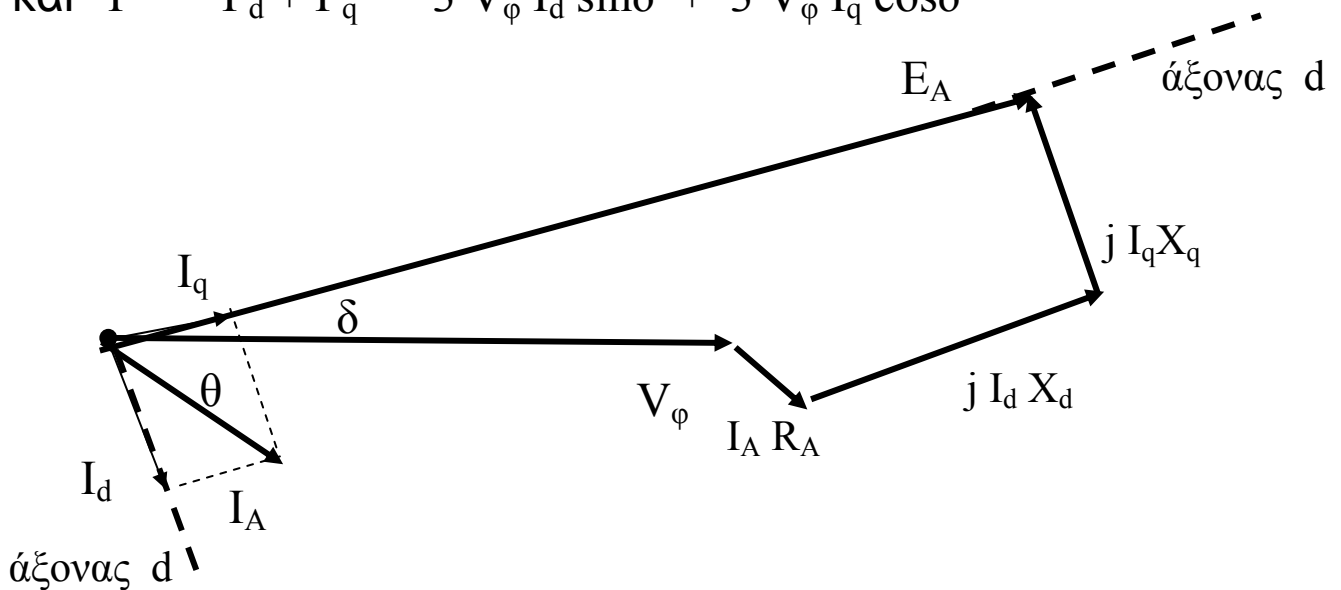
## ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΕΚΤΥΠΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ

$$P_{\text{out}} = 3 V_{\varphi} I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

$$Q_{\text{out}} = 3 V_{\varphi} I_A \sin\theta = \sqrt{3} V_T I_L \sin\theta$$

$$\mathbf{I}_A = \mathbf{I}_d + \mathbf{I}_q$$

$$\text{και } P = P_d + P_q = 3 V_{\varphi} I_d \sin\delta + 3 V_{\varphi} I_q \cos\delta$$



Από το πιο πάνω διανυσματικό διάγραμμα αγνοώντας πάλι την αντίσταση σπλισμού  $R_A$  ( $X_d \gg R_A$ ) ισχύει προσεγγιστικά

$$I_d = \frac{E_A - V_{\varphi} \cos\delta}{X_d} \quad \text{και} \quad I_q = \frac{V_{\varphi} \sin\delta}{X_q}$$

ΟΠΩΣΤΕ

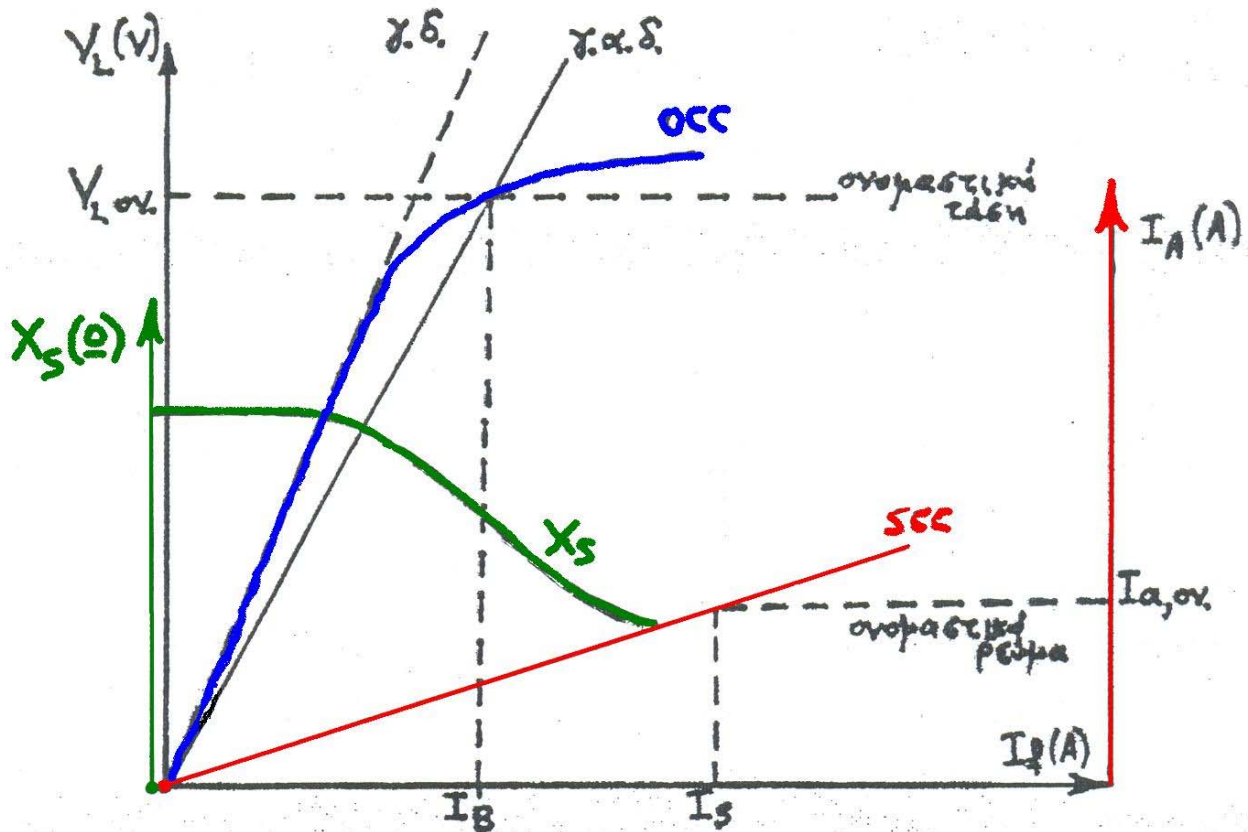
$$P = \frac{3 V_{\varphi} E_A}{X_d} \sin\delta + \frac{3 V_{\varphi}^2}{2} \left( \frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) \sin 2\delta$$

ΚΑΙ

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{3 V_{\varphi} E_A}{\omega_m X_d} \sin\delta + \frac{3 V_{\varphi}^2}{2 \omega_m} \left( \frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) \sin 2\delta$$

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΙΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

- A) Με το πείραμα ανοικτού κυκλώματος προσδιορίζεται η καμπύλη ανοικτού κυκλώματος της γεννήτριας (OCC) ή χαρακτηριστική κενού φορτίου.
- B) Με το πείραμα βραχυκύκλωσης προσδιορίζεται η χαρακτηριστική βραχυκύκλωσης (SCC) της γεννήτριας.



$$I_A = \frac{\bar{E}_A}{Z_S} = \frac{\bar{E}_A}{\sqrt{R_A^2 + X_S^2}} \Rightarrow X_S \approx \frac{\bar{E}_A}{I_A} = \frac{V_{\Phi, OC}}{I_{A, SC}}$$

Ο Λόγος Βραχυκύκλωσης ( SCR ) ορίζεται ως ο λόγος του ρεύματος διέγερσης που απαιτείται για την παραγωγή της ονομαστικής τάσης στο πείραμα ανοικτού κυκλώματος προς το ρεύμα διέγερσης που απαιτείται για την παραγωγή του ονομαστικού ρεύματος οπλισμού στο πείραμα βραχυκύκλωσης.

$$SCR = \frac{I_B}{I_S} \quad \text{και} \quad SCR \approx \frac{1}{X_S} \text{ (p.u.)}$$



## Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Σύγχρονη ταχύτητα πεδίου στάτη  $B_s$   $n_{\text{sync}} = \frac{120 f_e}{P}$

Ταχύτητα ολίσθησης  $n_{\text{slip}} = n_{\text{sync}} - n_m$

όπου  $n_m$  η μηχανική ταχύτητα του άξονα της μηχανής

ολίσθηση  $s = \frac{n_{\text{slip}}}{n_{\text{sync}}} (\times 100\%)$

ή  $s = \frac{n_{\text{sync}} - n_m}{n_{\text{sync}}} (\times 100\%)$   $s = \frac{\omega_{\text{sync}} - \omega_m}{\omega_{\text{sync}}} (\times 100\%)$

$n_m = (1 - s) n_{\text{sync}}$  ή  $\omega_m = (1 - s) \omega_{\text{sync}}$

όταν ο δρομέας περιστρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα

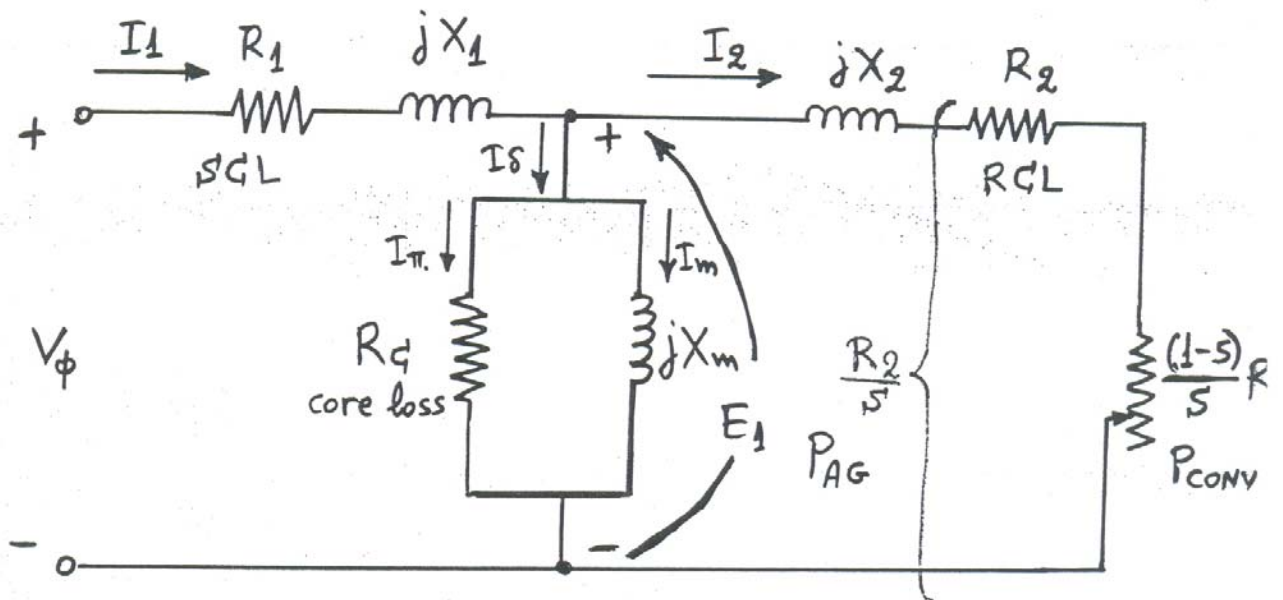
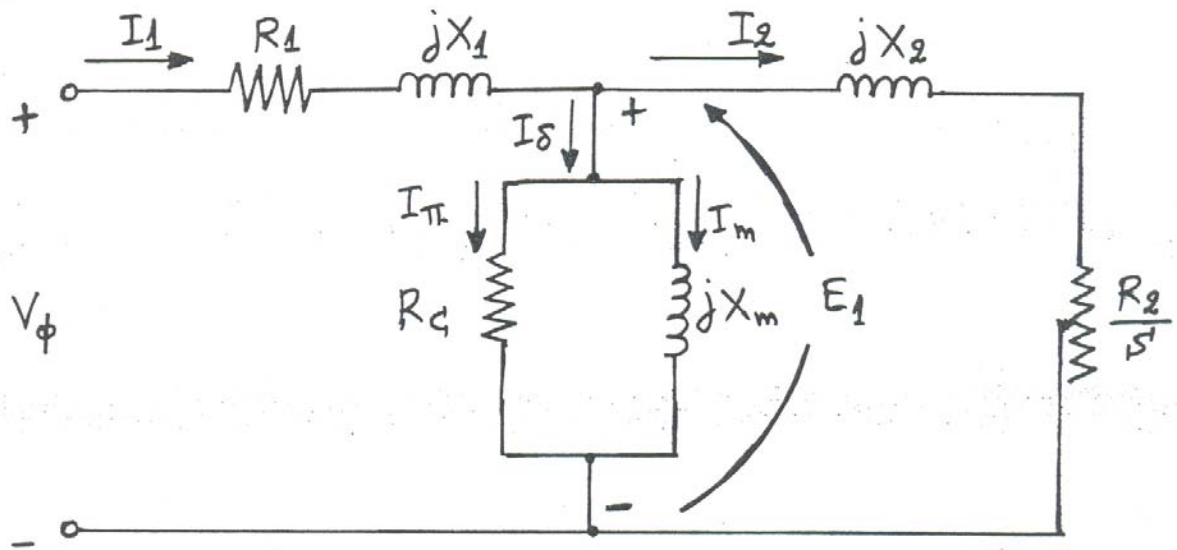
$n_m = n_{\text{sync}}$  ,  $s = 0$  ,  $fr = 0$

όταν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος

$n_m = 0$  ,  $s = 1$  ,  $fr = fe$

$fr = s fe$  ή  $fr = \frac{P}{120} (n_{\text{sync}} - n_m)$

# ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



## **ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

### **ΙΣΧΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ**

$$P_{in} = 3 V_{\phi} I_{\phi} \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

### **ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΛΚΟΥ ΣΤΑΤΗ**

(ωμικές απώλειες στάτη)

$$P_{SCL} = 3 I_1^2 R_1$$

### **ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΥΡΗΝΑ**

(υστέρησης και δινορρευμάτων)

$$P_{Core} = 3 E_1^2 G_C$$

### **ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ**

Η ισχύς διακένου καταναλώνεται στην μεταβλητή αντίσταση  $R_2 / s$

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{Core}$$

$$P_{AG} = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

### **ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΛΚΟΥ ΔΡΟΜΕΑ**

(ωμικές απώλειες δρομέα)

$$P_{RCL} = 3 I_2^2 R_2$$

### **ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΣΧΥΣ**

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3 I_2^2 R_2 = 3 I_2^2 R_2 \left( \frac{1-s}{s} \right) = (1-s) P_{AG}$$

### **ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗ ΡΟΠΗ**

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{(1-s) P_{AG}}{(1-s) \omega_{sync}} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}}$$

### **ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ**

(τριβής, ανεμισμού και κατανεμημένου φορτίου)

$$P_{F\&W}, P_{misc}$$

### **ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ**

$$P_{out} = P_{conv} - P_{F\&W} - P_{misc}$$

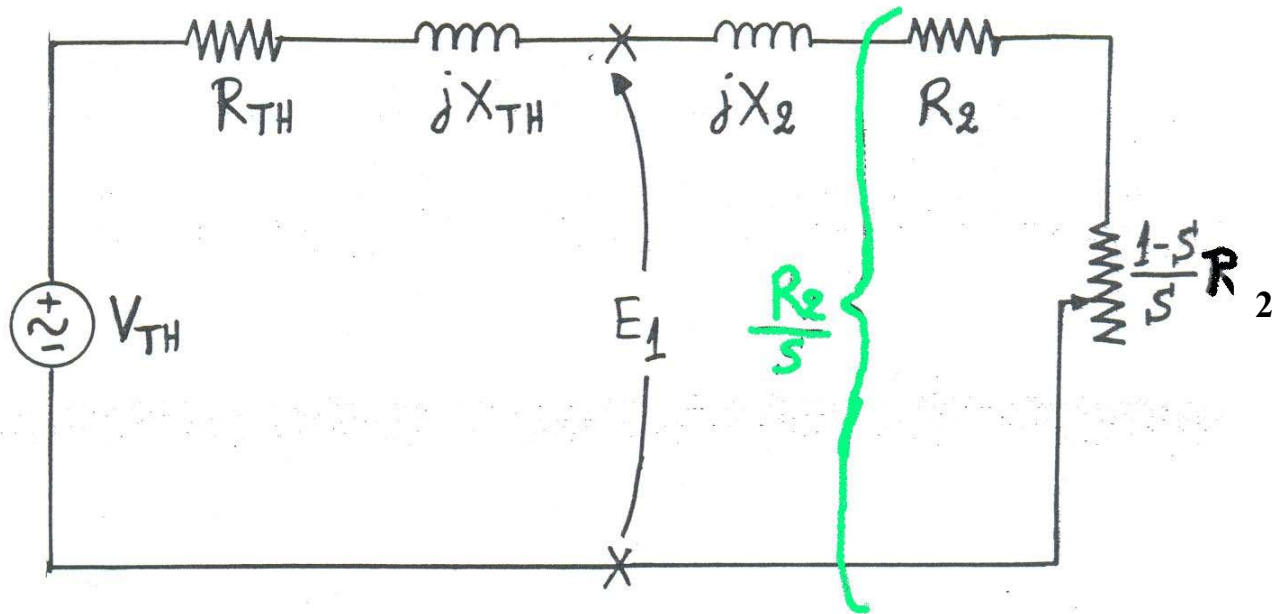
### **ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΟΠΗ ΕΞΟΔΟΥ**

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m}$$

### **ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

**ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ THEVENIN**  
**ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**



$$V_{TH} = V_{\phi} \frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)}$$

$$Z_{TH} = R_{TH} + jX_{TH} = \frac{jX_m (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)}$$

Επειδή  $X_m \gg X_1$  και  $X_m + X_1 \gg R_1$

$$R_{TH} \approx R_1 \left( \frac{X_m}{X_1 + X_m} \right)^2 \quad X_{TH} \approx X_1$$

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_2} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_2/s + j(X_{TH} + X_2)}$$

Έτσι, με βάση το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα THEVENIN του επαγωγικού κινητήρα το μέτρο της τάσης Thevenin δίνεται ως

$$|V_{TH}| = V_{\phi} \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}}$$

και το μέτρο του ρεύματος είναι

$$|I_2| = \frac{|V_{TH}|}{\sqrt{(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

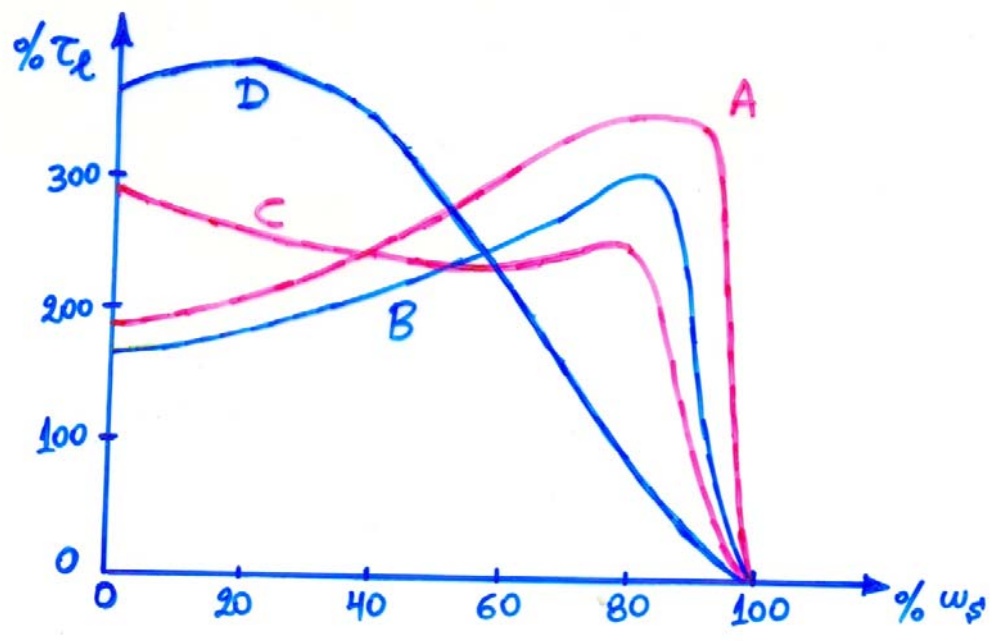
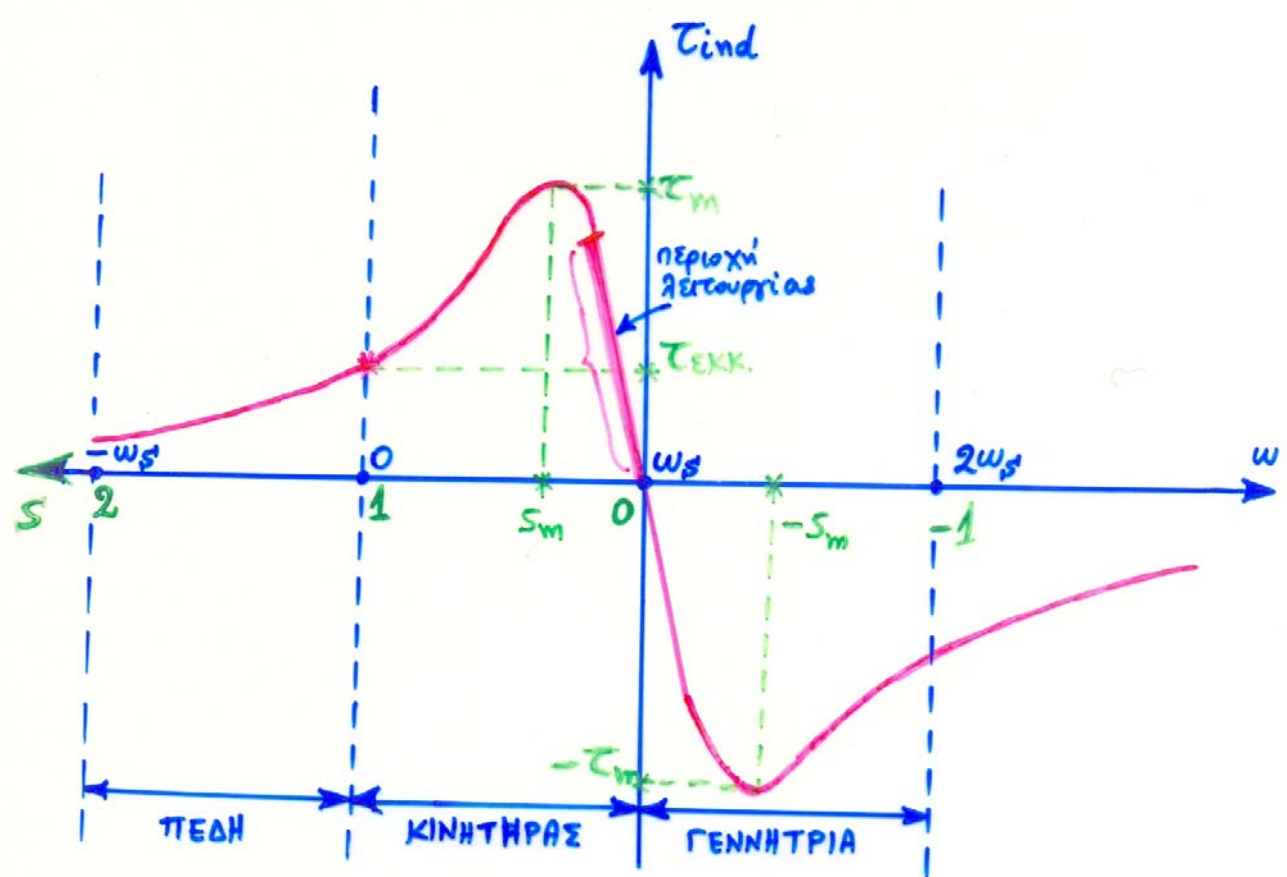
Επομένως η ισχύς διακένου δίνεται από τη σχέση

$$P_{AG} = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s} = \frac{3 V_{TH}^2 R_2/s}{(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

και η επαγόμενη ή αναπτυσσόμενη ροπή δίνεται από τη σχέση

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} = \frac{3 V_{TH}^2 R_2/s}{\omega_{sync} [(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]}$$

# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗΣ – ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



Για  $s = 1$  τη στιγμή της εκκίνησης δίνεται η ροπή εκκίνησης από τη σχέση

$$\tau_{\text{εκκ.}} = \frac{3 V_{\text{TH}}^2 R_2}{\omega_{\text{sync}} \left[ (R_{\text{TH}} + R_2)^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2 \right]}$$

Η μέγιστη ροπή ή *ροπή ανατροπής* εμφανίζεται όταν η ισχύς διακένου  $P_{\text{AG}}$  γίνει μέγιστη, δηλαδή όταν είναι μέγιστη η ισχύς που μεταφέρεται στην αντίσταση  $R_2/s$ .

Σύμφωνα με το Θεώρημα της μέγιστης μεταφερόμενης ισχύος αυτό ισχύει όταν

$$\frac{R_2}{s_{\text{max}}} = \sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2}$$

όπου  $s_{\text{max}}$  η ολίσθηση στην οποία ο κινητήρας αναπτύσσει τη μέγιστη ροπή (*ροπή ανατροπής*).

$$s_{\text{max}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2}}$$

Με αντικατάσταση της σχέσης για την μέγιστη ολίσθηση  $s_{\text{max}}$  στην σχέση της αναπτυσσόμενης ροπής, προκύπτει ότι η τιμή της μέγιστης ροπής ή ροπής ανατροπής δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_{\text{max.}} = \frac{3 V_{\text{TH}}^2}{2 \omega_{\text{sync}} \left[ R_{\text{TH}} + \sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2} \right]}$$

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

### Δοκιμή χωρίς φορτίο

$$P_{in} = P_{SCL} + P_{Core} + P_{F\&W} + P_{misc} = 3 I_1^2 R_1 + P_{rot}$$
$$|Z_{\chi.\phi.}| = \frac{V_{\phi \chi.\phi.}}{I_1 \chi.\phi.} \approx X_1 + X_m$$

### Δοκιμή με εμποδισμένο δρομέα

Η ολίσθηση είναι  $s = 1$

Η ισχύς εισόδου του κινητήρα θα είναι

$$P_{in} = 3 V_{\phi} I_{\phi} \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

και ο συντελεστής ισχύος ακινητοποιημένου δρομέα υπολογίζεται από τη σχέση

$$PF = \cos\theta = \frac{P_{in \ \epsilon.\delta.}}{\sqrt{3} V_{T \ \epsilon.\delta.} I_{L \ \epsilon.\delta.}} \quad \theta = \cos^{-1} PF$$

$$Z_{\epsilon.\delta.} = R_{\epsilon.\delta.} + j X'_{\epsilon.\delta.} = |Z_{\epsilon.\delta.}| \cos\theta + j |Z_{\epsilon.\delta.}| \sin\theta$$

$$\text{και} \quad |Z_{\epsilon.\delta.}| = \frac{V_{T \ \epsilon.\delta.}}{\sqrt{3} I_{L \ \epsilon.\delta.}}$$

$$\text{Έτσι} \quad R_{\epsilon.\delta.} = R_1 + R_2 = \frac{V_{T \ \epsilon.\delta.}}{\sqrt{3} I_{L \ \epsilon.\delta.}} \cos\theta \quad \text{και} \quad R_2 = R_{\epsilon.\delta.} - R_1$$

$$X'_{\epsilon.\delta.} = X'_1 + X'_2 = \frac{V_{T \ \epsilon.\delta.}}{\sqrt{3} I_{L \ \epsilon.\delta.}} \sin\theta \quad \text{και} \quad X_{\epsilon.\delta.} = X_1 + X_2 = \frac{f_{ov.}}{f_{test}} X'_{\epsilon.\delta.}$$

### Δοκιμή με Συνεχές Ρεύμα

Αν τα τυλίγματα στο στάτη είναι συνδεδεμένα σε αστέρα, θα ισχύει

$$2 R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \quad \text{και} \quad R_1 = \frac{V_{DC}}{2 I_{DC}}$$