

**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

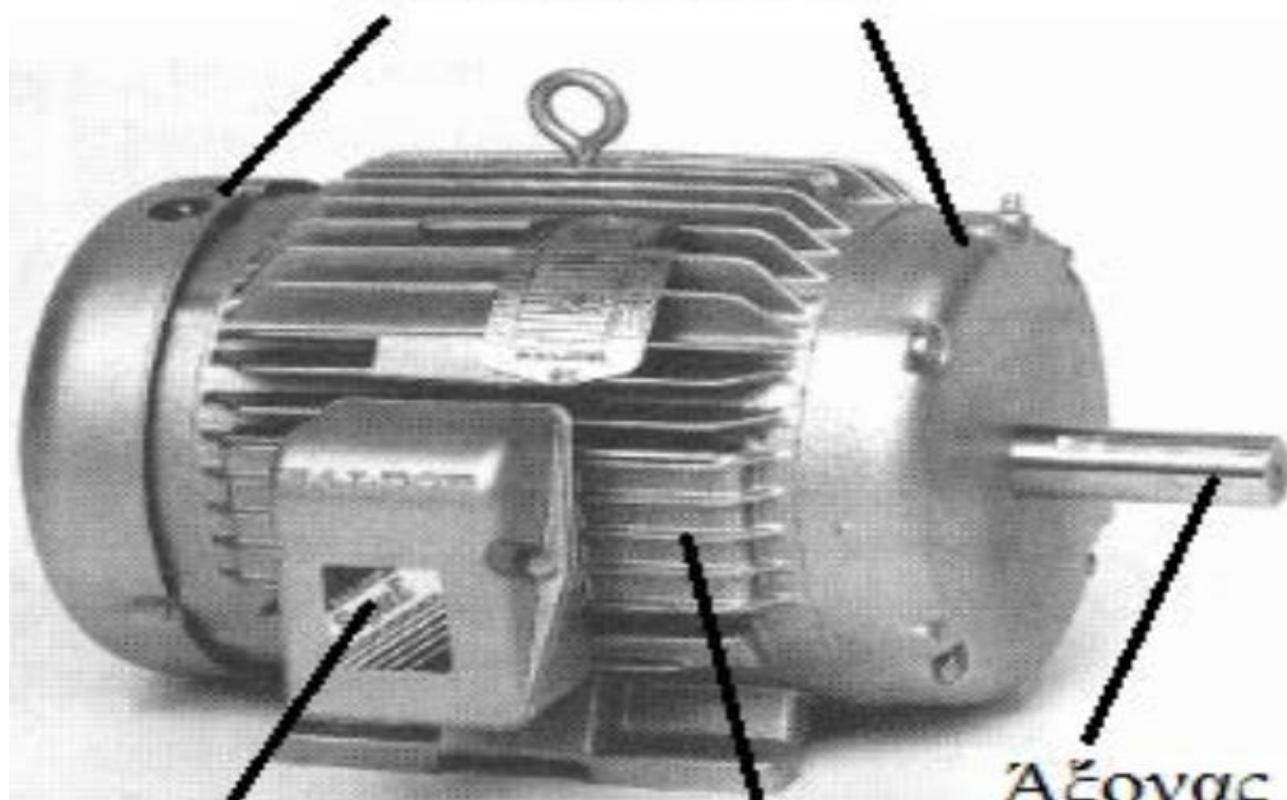
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**« ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ »  
5<sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ**

**9<sup>η</sup> ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ**

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

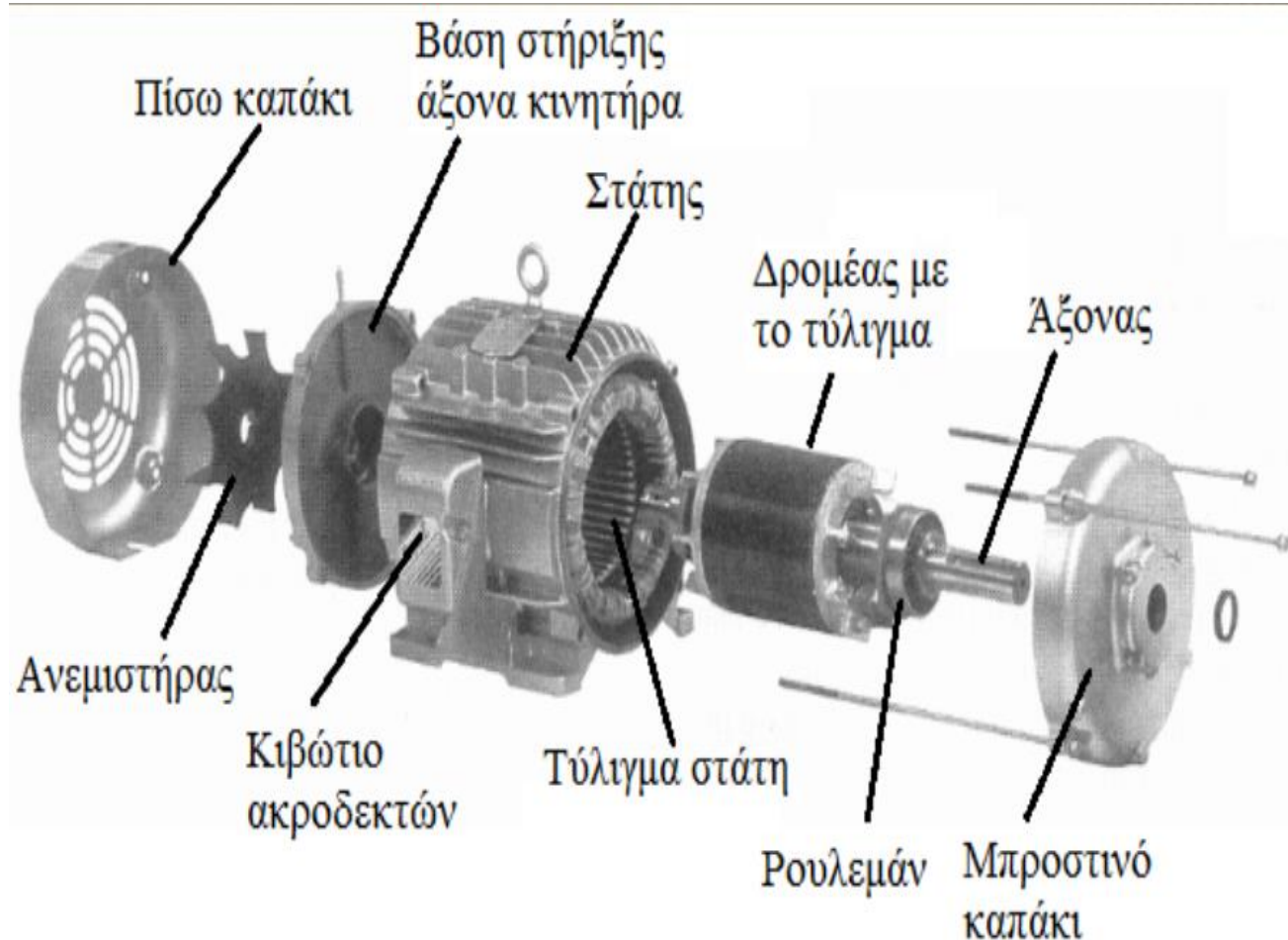
Καπάκια ΣΗΜ



Κιβώτιο  
ακροδεκτών

Στάτης

Άξονας  
δρομέα



Πίσω καπάκι

Βάση στήριξης  
άξονα κινητήρα

Στάτης

Δρομέας με  
το τύλιγμα

Άξονας

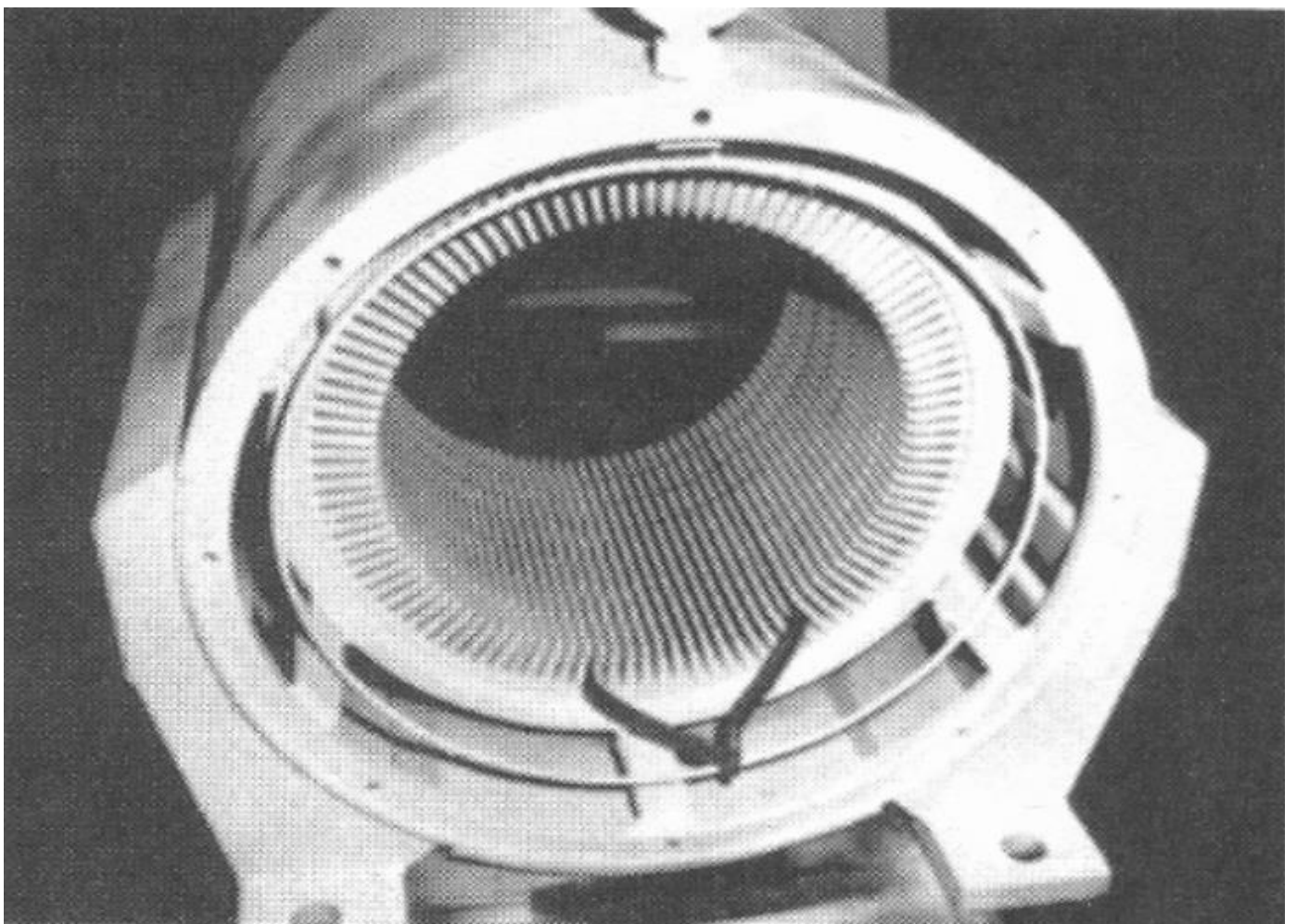
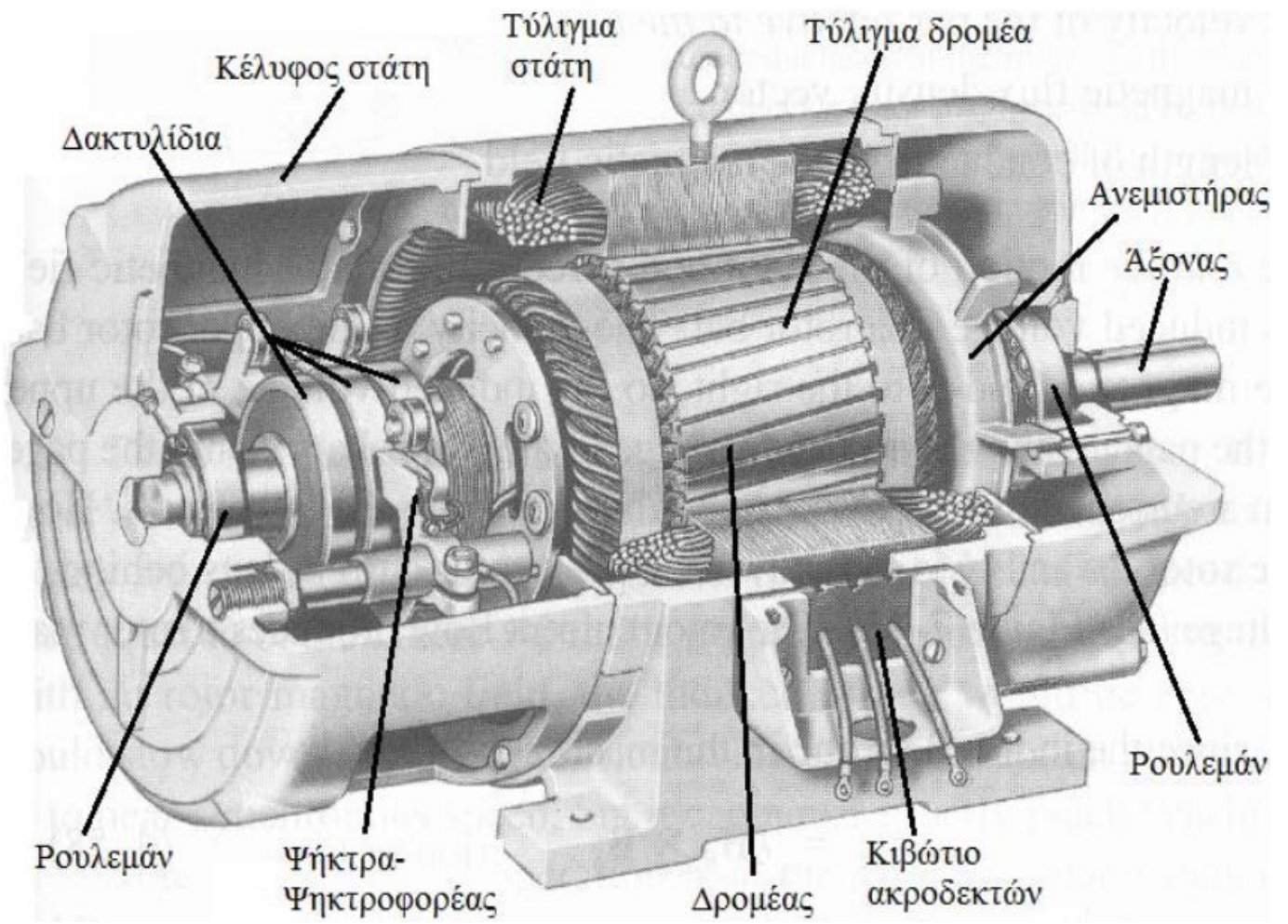
Ανεμιστήρας

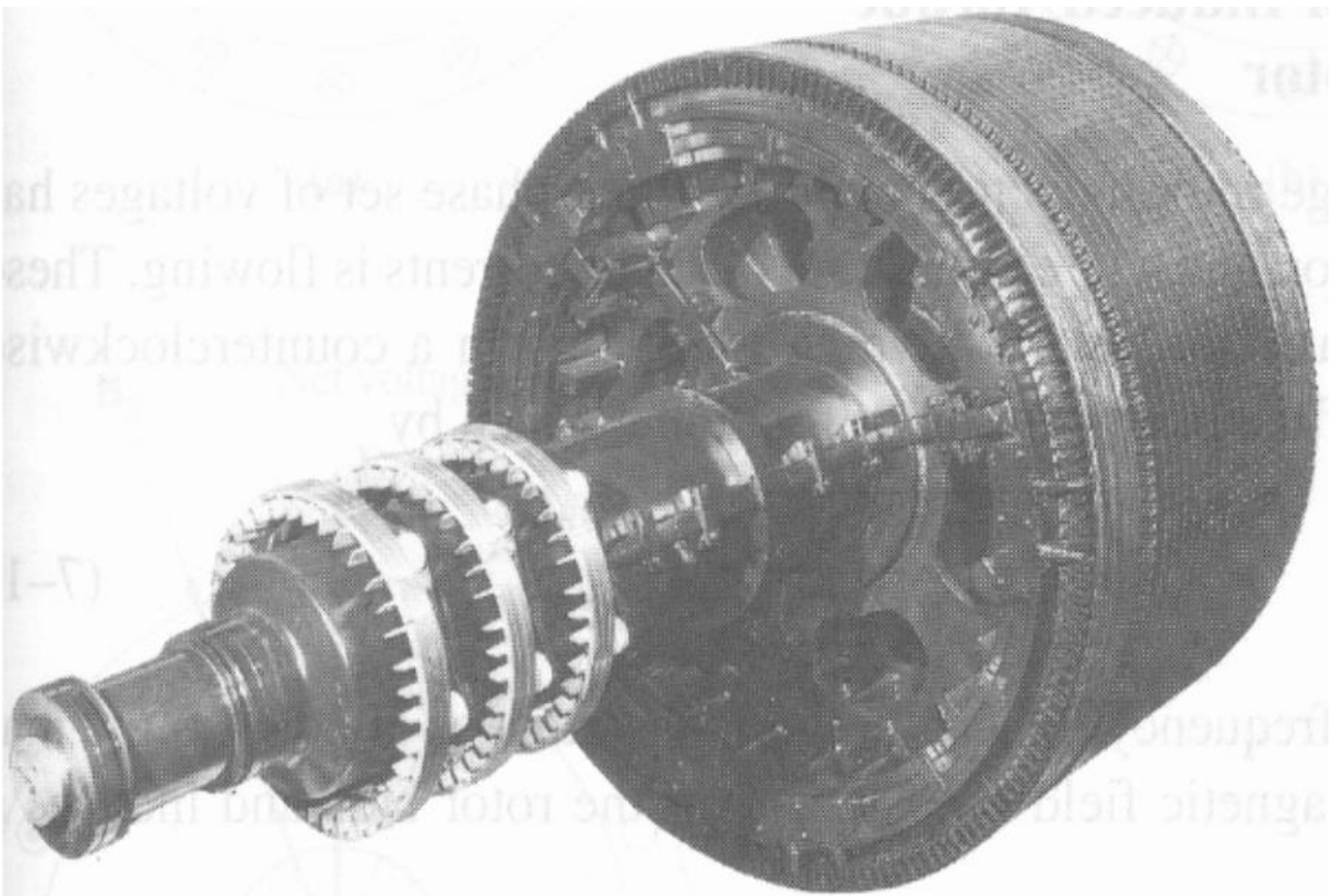
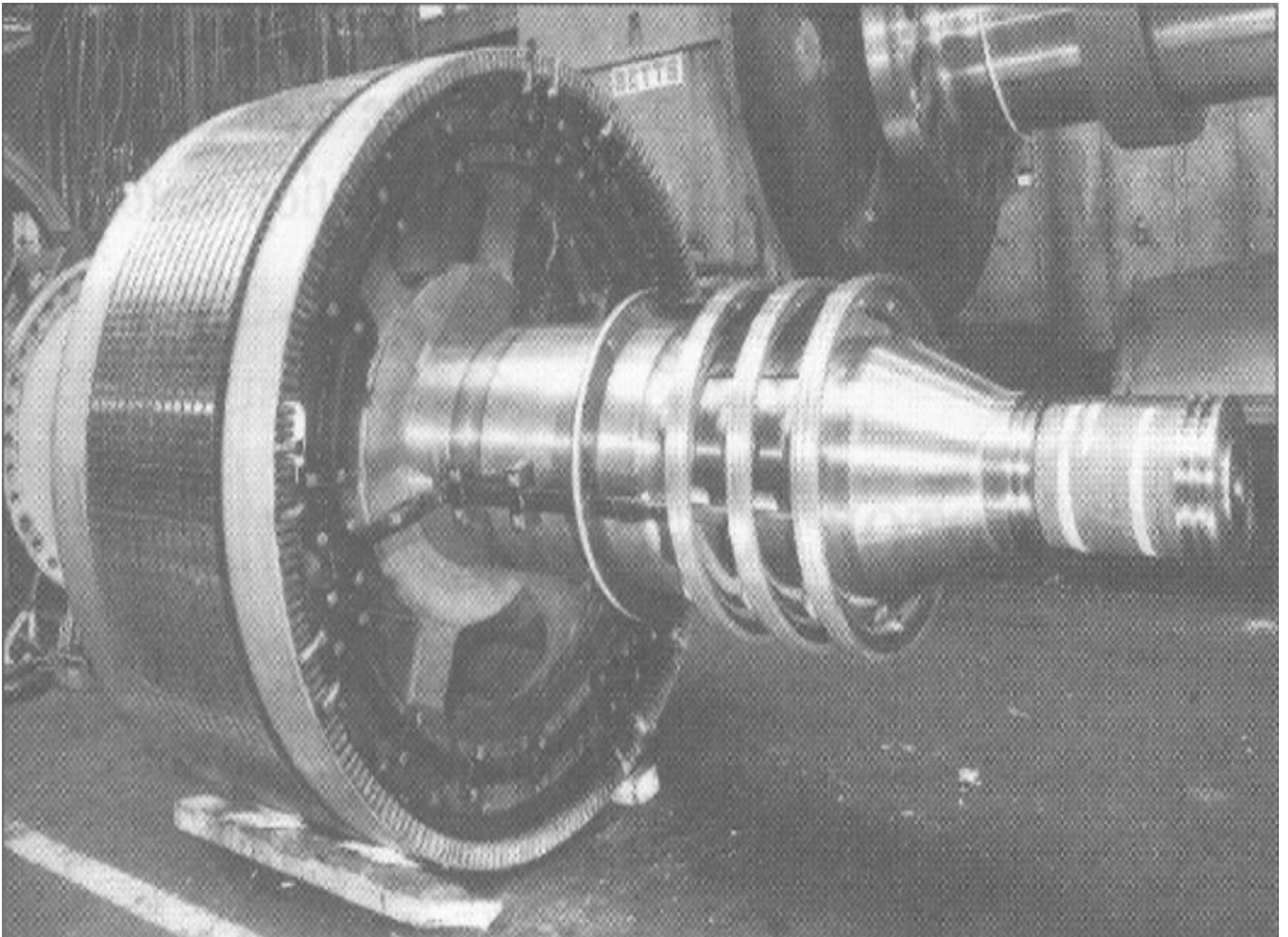
Κιβώτιο  
ακροδεκτών

Τύλιγμα στάτη

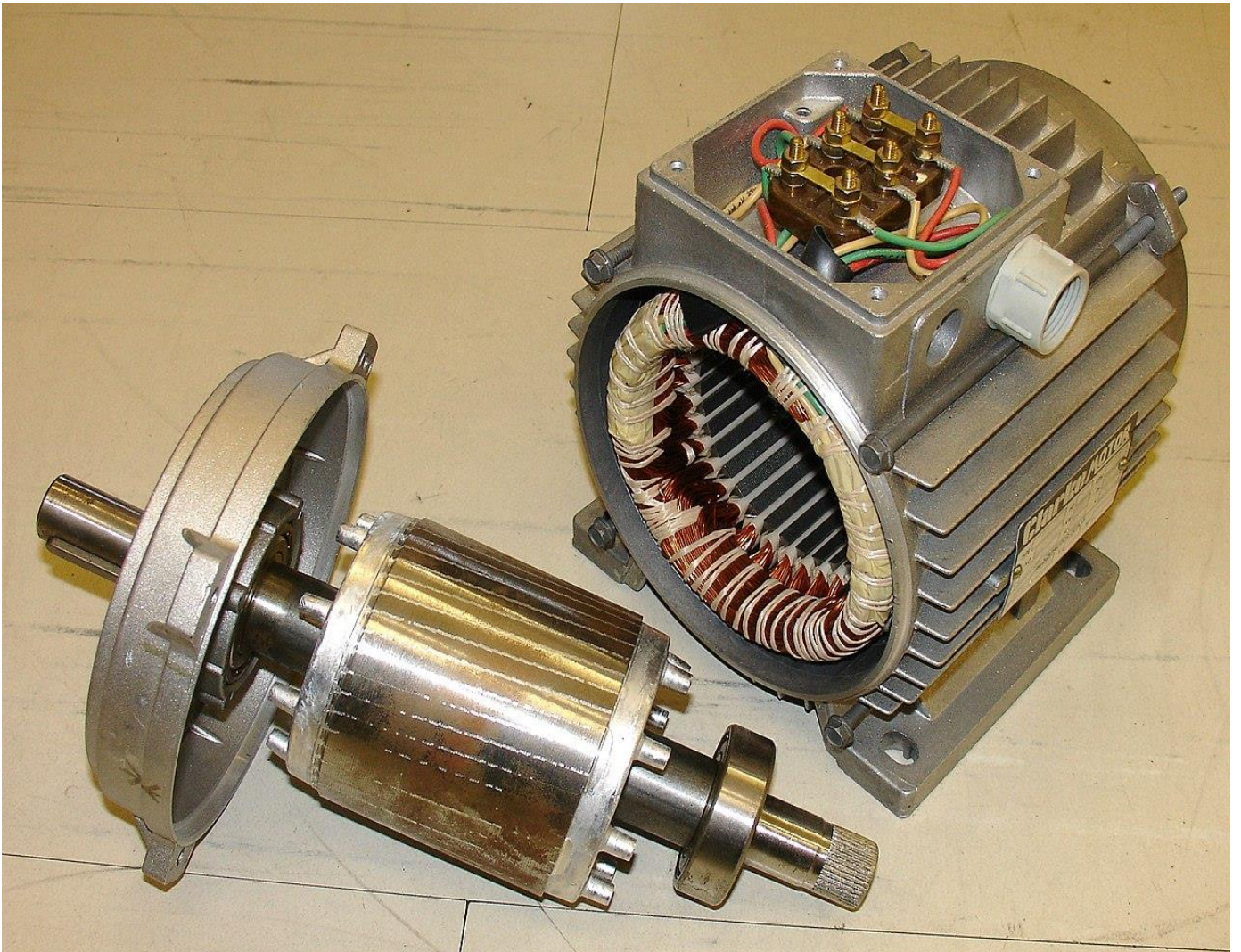
Ρουλεμάν

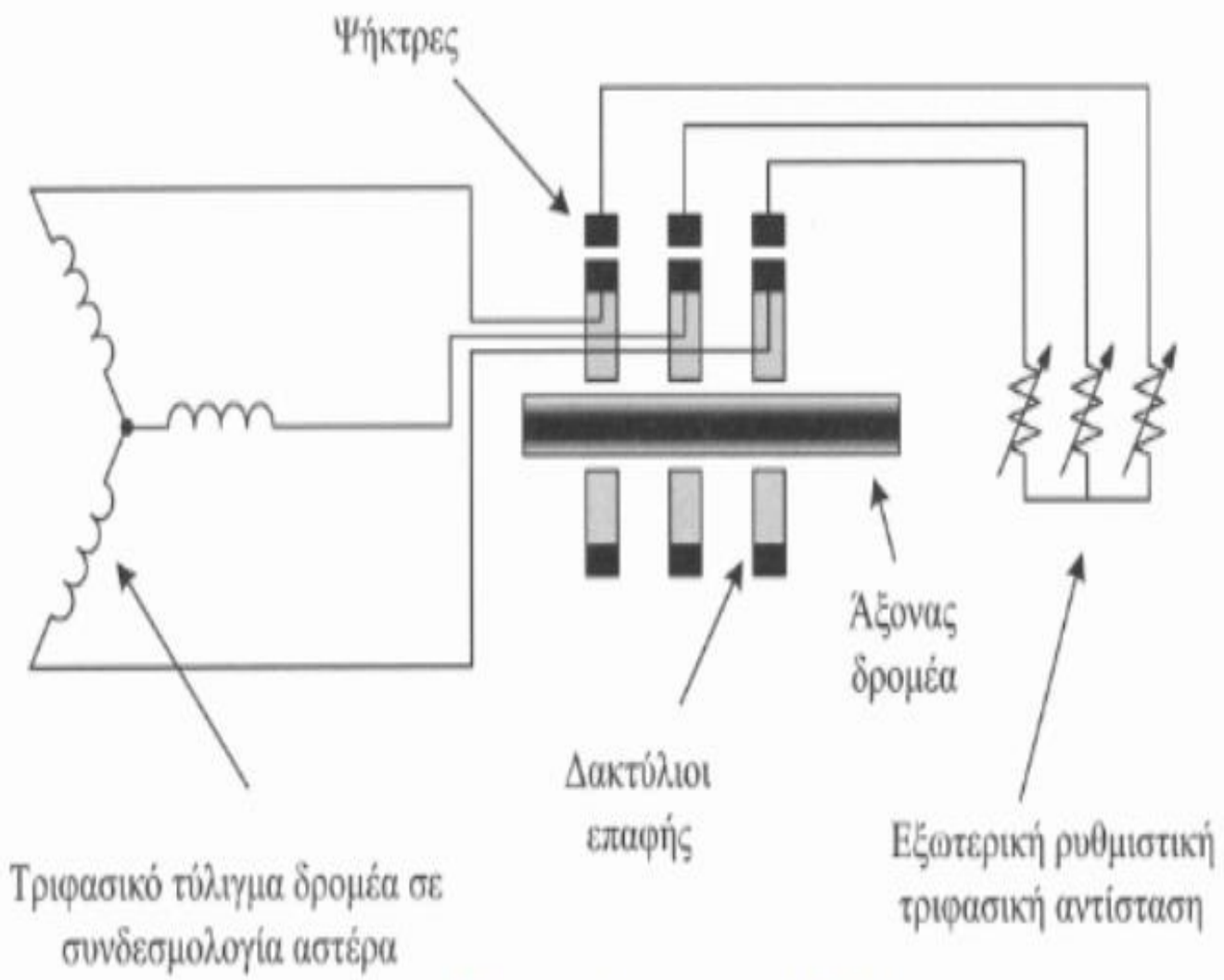
Μπροστινό  
καπάκι



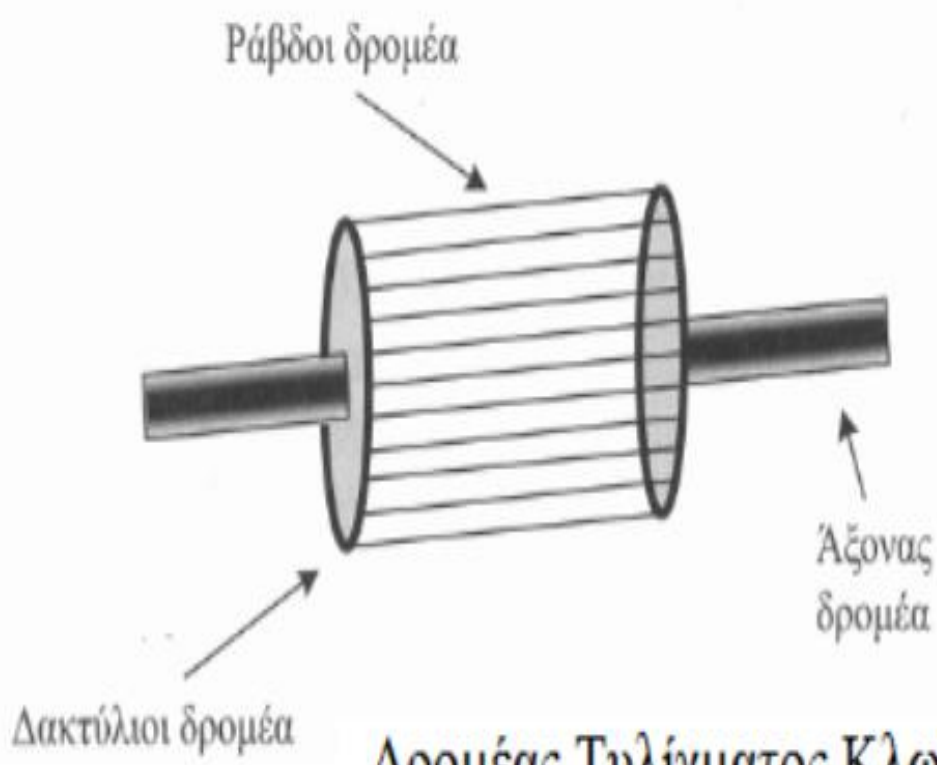


**Δρομέας με δαχτυλίδια (περιελγμένος δρομέας)**





Δακτυλιοφόρος ΑΤΚ



Δρομέας Τυλίγματος Κλωβού

## Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

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

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

όπου  $n_m$  η μηχανική ταχύτητα του άξονα της μηχανής

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

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

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

όταν ο δρομέας περιστρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα

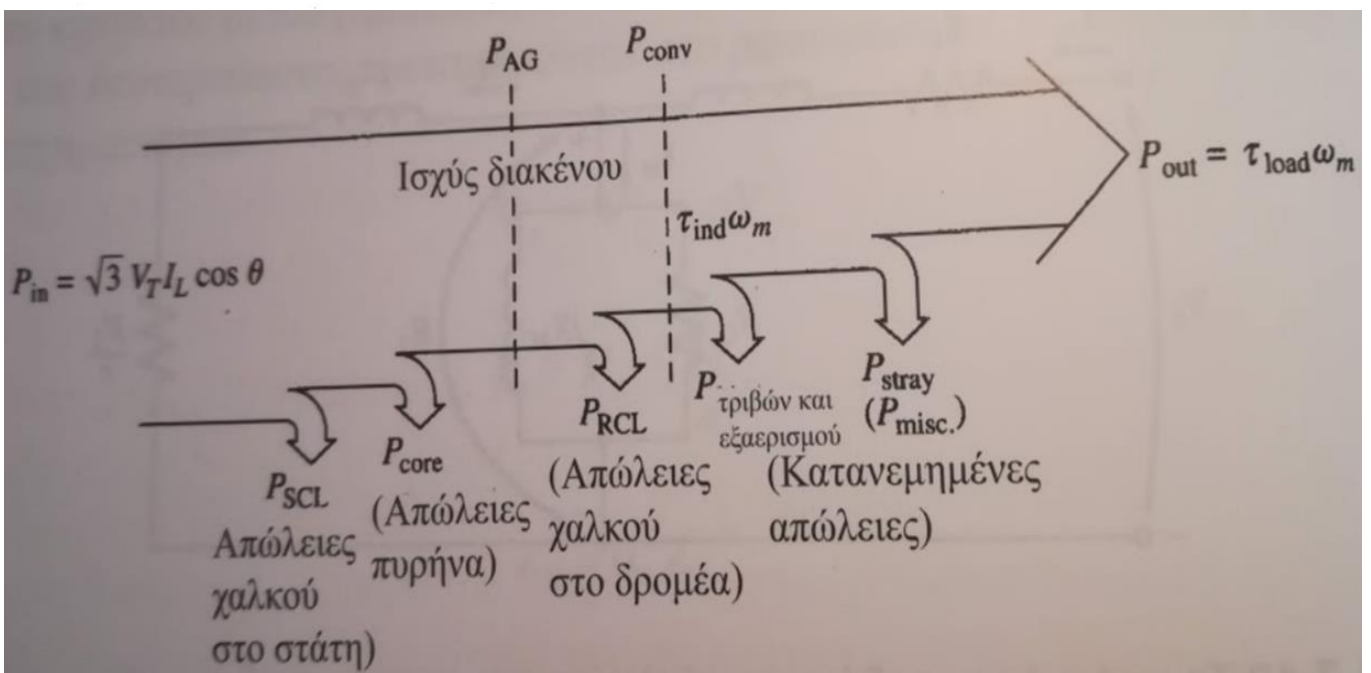
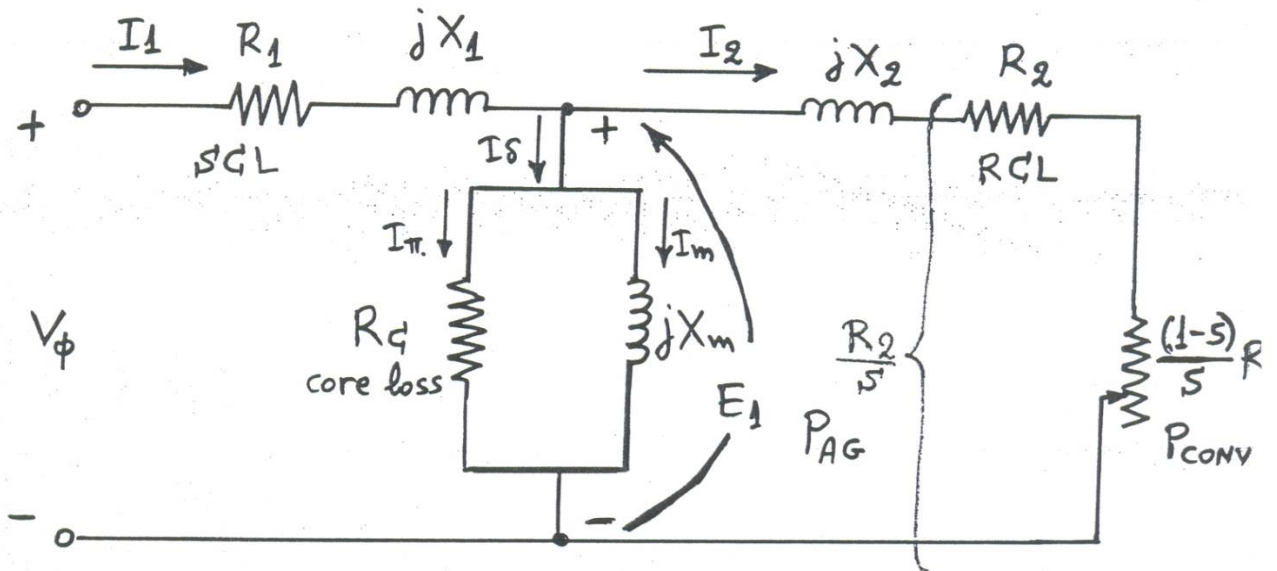
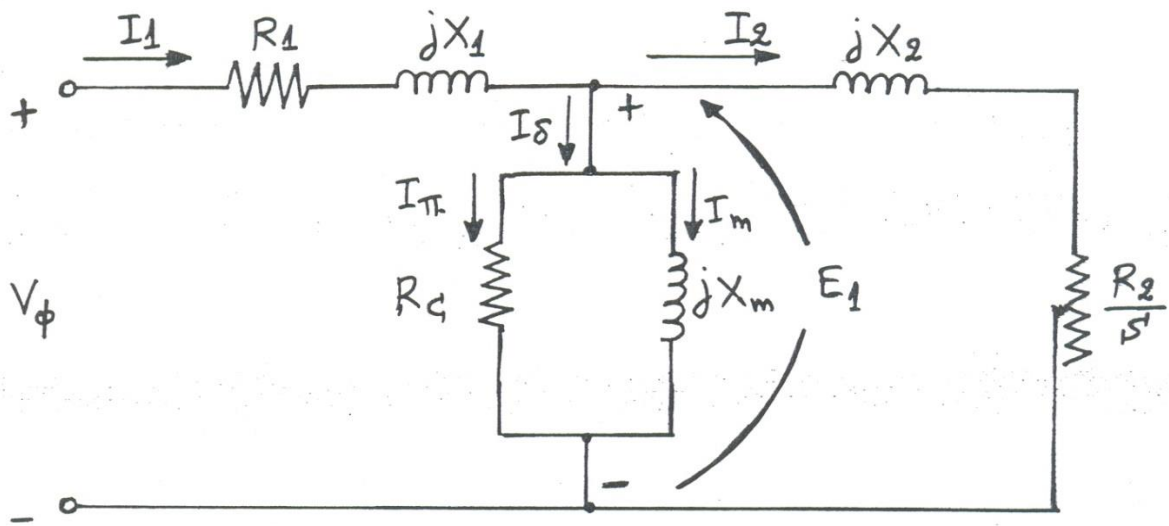
$n_m = n_{sync}$  ,  $s = 0$  ,  $fr = 0$

όταν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος

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

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

# 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

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

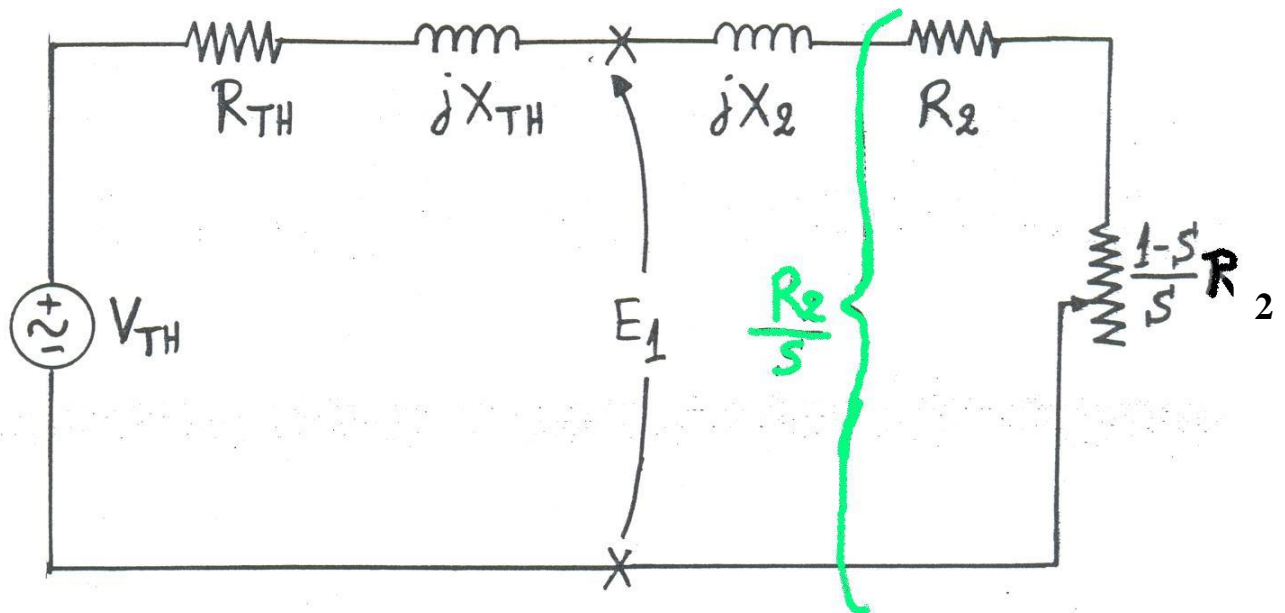
### ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΟΠΗ ΕΞΟΔΟΥ

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

### ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗ 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

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

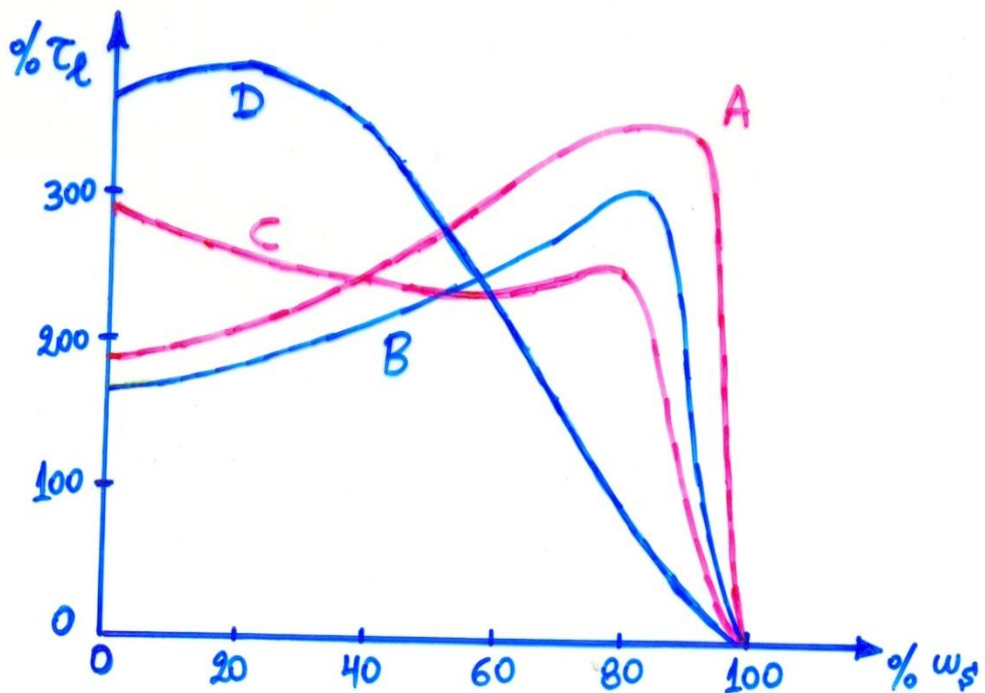
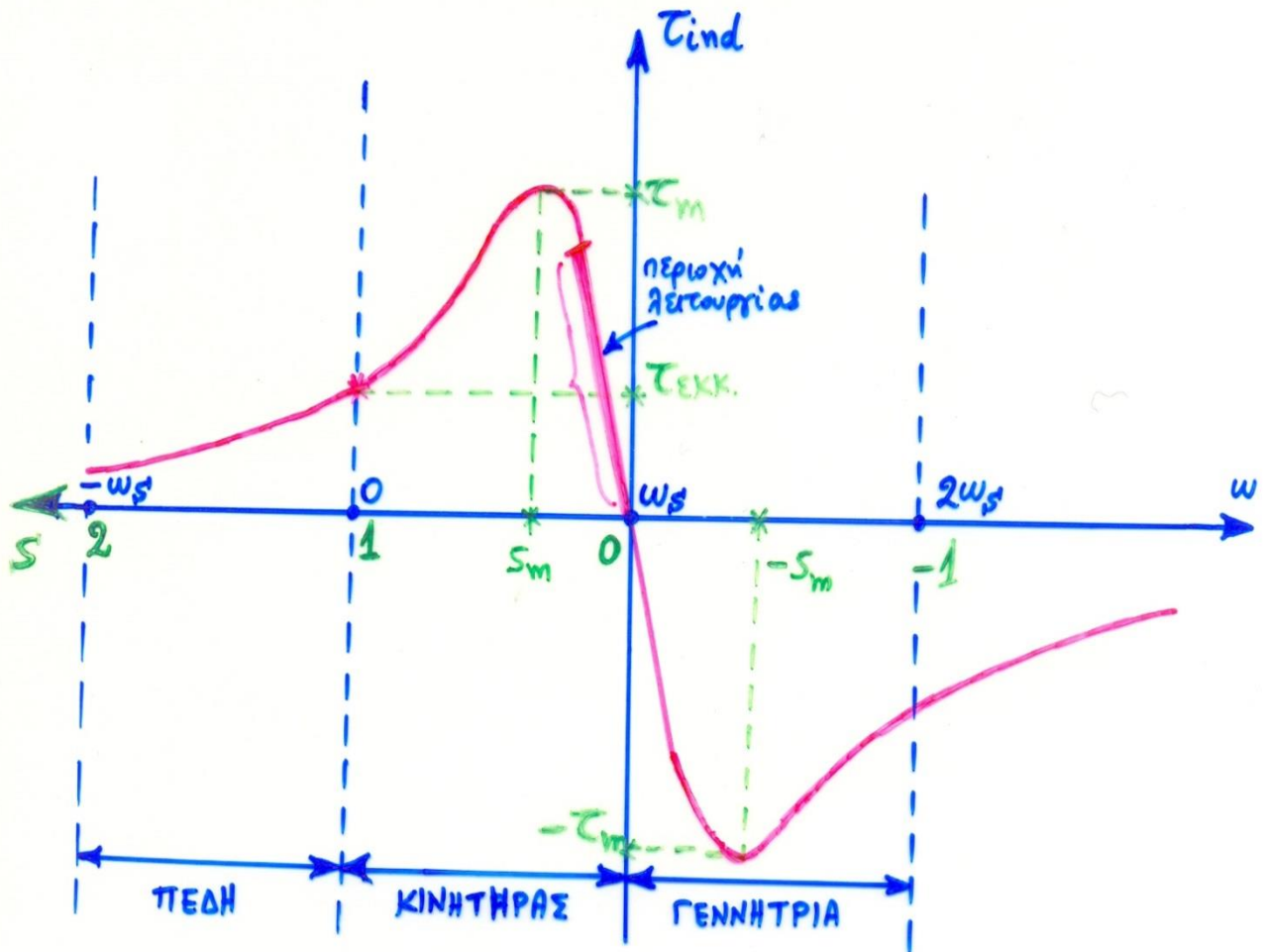
Επομένως η ισχύς διακένου δίνεται από τη σχέση

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

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



## Χαρακτηριστική Ροπής-Στροφών ΑΤΚ

- ❑ Περιοχή λειτουργίας της ασύγχρονης μηχανής ως κινητήρας για:  $0 < n_r < n_s$  ή  $1 < s < 0$ .
- ❑ Περιοχή λειτουργίας της ασύγχρονης μηχανής ως γεννήτριας για:  $n_r > n_s$  ή  $s < 0$ . Στην κατάσταση αυτή εισέρχεται η μηχανή όταν, με τη βοήθεια κινητήριας μηχανής, υπερβεί τη σύγχρονη ταχύτητα. Τότε:
  - ✓ η ολίσθηση γίνεται αρνητική,
  - ✓ η εσωτερική ισχύς γίνεται αρνητική και
  - ✓ η εσωτερική ροπή γίνεται επίσης αρνητική.
- ❑ Κατά τη λειτουργία της μηχανής με υπερσύγχρονο αριθμό στροφών ( $s < 0$ ), η μηχανή παράγει πραγματική ισχύ που αποδίδει στο δίκτυο (γεννήτρια), ενώ συγχρόνως εξακολουθεί να απορροφά από το δίκτυο άεργη ισχύ (μαγνήτισης) για τη διέγερσή της. Βασική εφαρμογή: ανεμογεννήτριες.

- ❑ Εάν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας και ξαφνικά αλλαχθεί η διαδοχή δύο εκ των τριών φάσεων του δικτύου, τότε:
  - ✓ αντιστρέφεται η φορά του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη και
  - ✓ η παραγόμενη εσωτερική ηλεκτρική ροπή γίνεται αντιρροπή, με αποτέλεσμα το απότομο φρενάρισμα του κινητήρα.
- ❑ Εάν ο κινητήρας παραμείνει υπό τάση δε θα σταματήσει, αλλά μετά το μηδενισμό των στροφών θα αλλάξει τεταρτημόριο λειτουργίας και θα εξακολουθεί να λειτουργεί ως κινητήρας, με αντίθετη όμως φορά περιστροφής.

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:

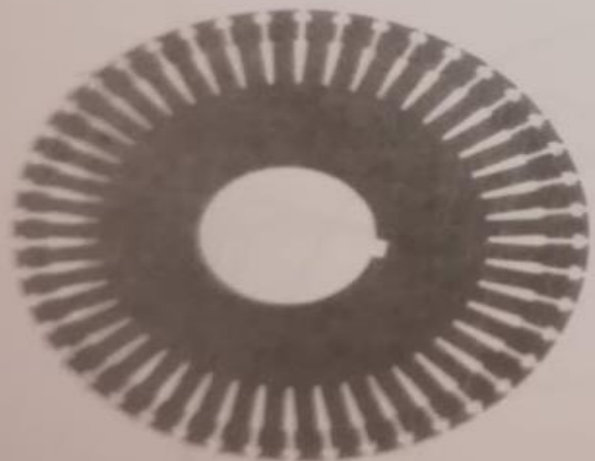
$$\tau_{\text{max.}} = \frac{3 V_{\text{TH}}^2}{2 \omega_{\text{sync}} \left[ R_{\text{TH}} + \sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2} \right]}$$



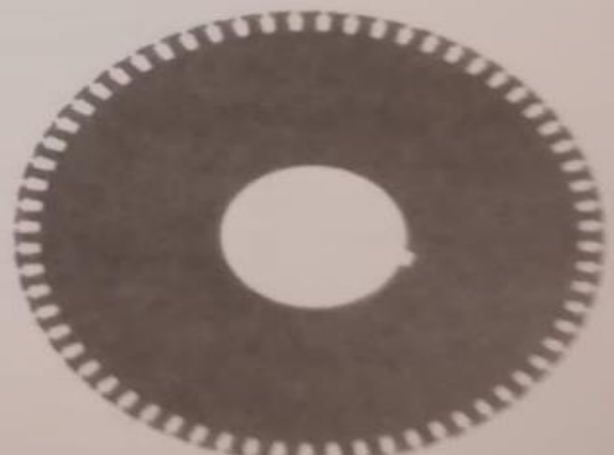
(α)



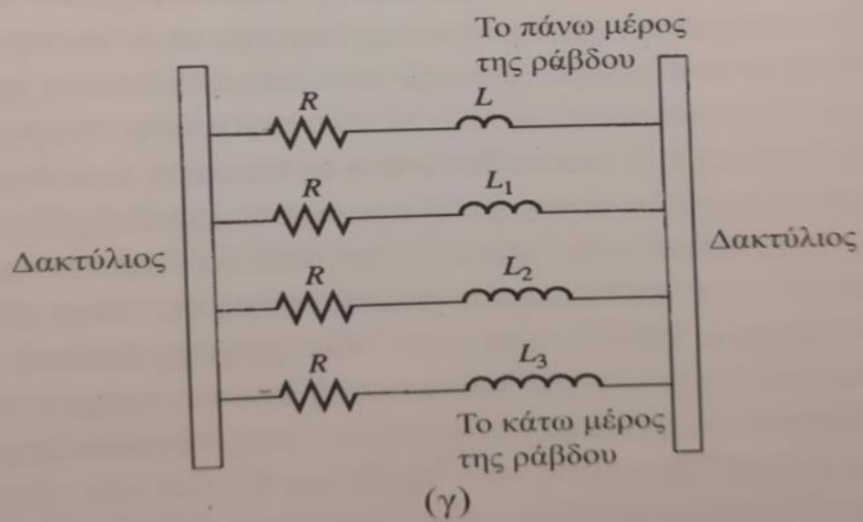
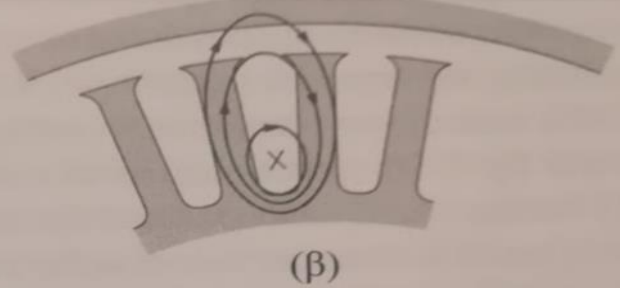
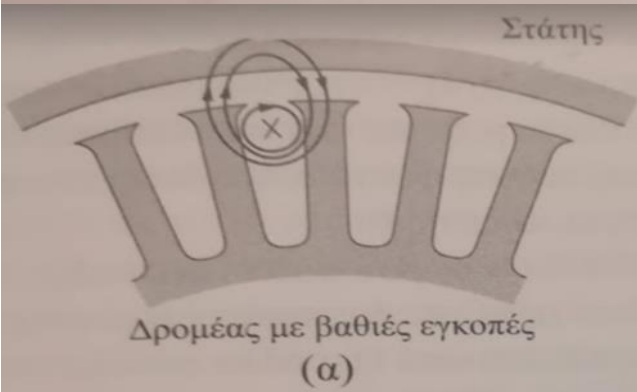
(β)



(γ)



(δ)



## Ροπή φορτίου $\tau = \frac{P}{\omega}$

$$\tau \sim \omega^n \quad \tau = \alpha\omega^n + \beta\omega^{n-1} + \dots + \gamma\omega + \delta$$



- I)  $\tau = \text{σταθερό} \Rightarrow P \sim \omega$

Ανυψωτικά μηχανήματα, μεταφορικές ταινίες, ορισμένοι τύποι ανεμιστήρων, εργαλειομηχανές με σταθερή κοπτική μορφή.

- II)  $\tau \sim \omega \Rightarrow P \sim \omega^2$

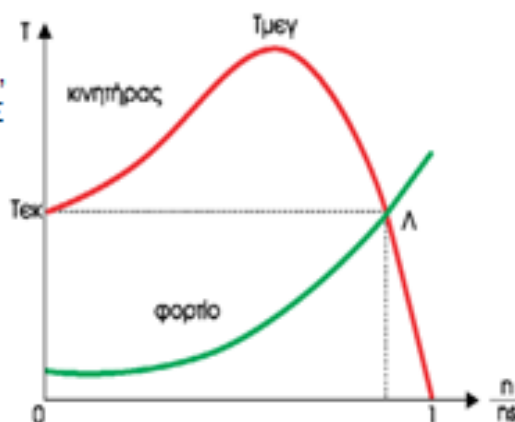
Έλαστρα, έμβολα και ορισμένοι τύποι αντλιών.

- III)  $\tau \sim \omega^2 \Rightarrow P \sim \omega^3$

Παλινδρομικές μηχανές, φυγοκεντρικές αντλίες, ορισμένοι τύποι ανεμιστήρων.

- IV)  $\tau \sim \omega^3 \Rightarrow P \sim \omega^4$

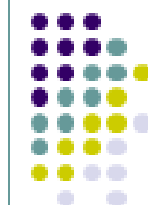
Εργαλειομηχανές, τórνοι, φρέζες, περιελκτικές μηχανές, μηχανές κατεργασίας ξύλου, σπαστήρες.



$$\text{Αν } \tau_{\varphi} > \tau_{\text{κιν}} \Rightarrow \omega \downarrow$$

$$\text{Αν } \tau_{\varphi} < \tau_{\text{κιν}} \Rightarrow \omega \uparrow$$

$$\text{Αν } \tau_{\varphi} = \tau_{\text{κιν}} \Rightarrow \omega = \omega_{\text{στ}}$$



## Ρύθμιση στροφών

- Στους κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος DC

α) Με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας ( V )

β) Με έλεγχο του ρεύματος διέγερσης ( Φ )

γ) Με σύνδεση αντίστασης σε σειρά ( R )

- Στους Επαγωγικούς κινητήρες AC

α) Με διπλά τυλίγματα και αλλαγή πόλων ( P )

β) Με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας ( V )

γ) Με σύνδεση αντιστάσεων ( R ) τυλιγμένος δρομέας

δ) Με μεταβολή της συχνότητας ( f ) VVVF



**α) Αλλαγή πόλων**  $n_{\text{sync}} = \frac{120 f_e}{P}$

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

## 1. Μέθοδος διαδοχικών πόλων

Συγκεκριμένα βήματα αλλαγής 1:2

## 2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη

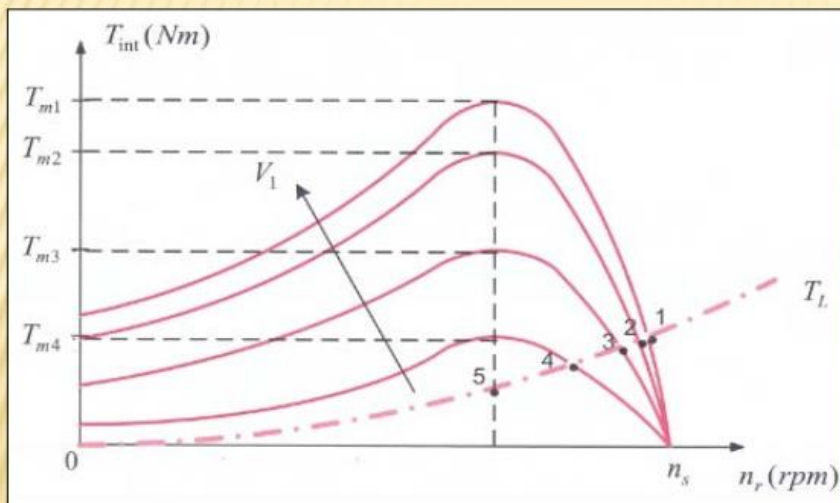
Αυξημένο κόστος κατασκευής

## β) Μεταβολή της τάσης V

$$T_{\text{max}} \sim V^2$$

### Εξάρτηση της Ροπής από την Τάση

- Με βάση τις προηγούμενες παρατηρήσεις, για σταθερή συχνότητα και για διαφορετικές τιμές της τάσης τροφοδοσίας, προκύπτει σμήνος χαρακτηριστικών ( $T_{\text{int}}-s$ ) ή ( $T_{\text{int}}-n_r$ ), της μορφής:

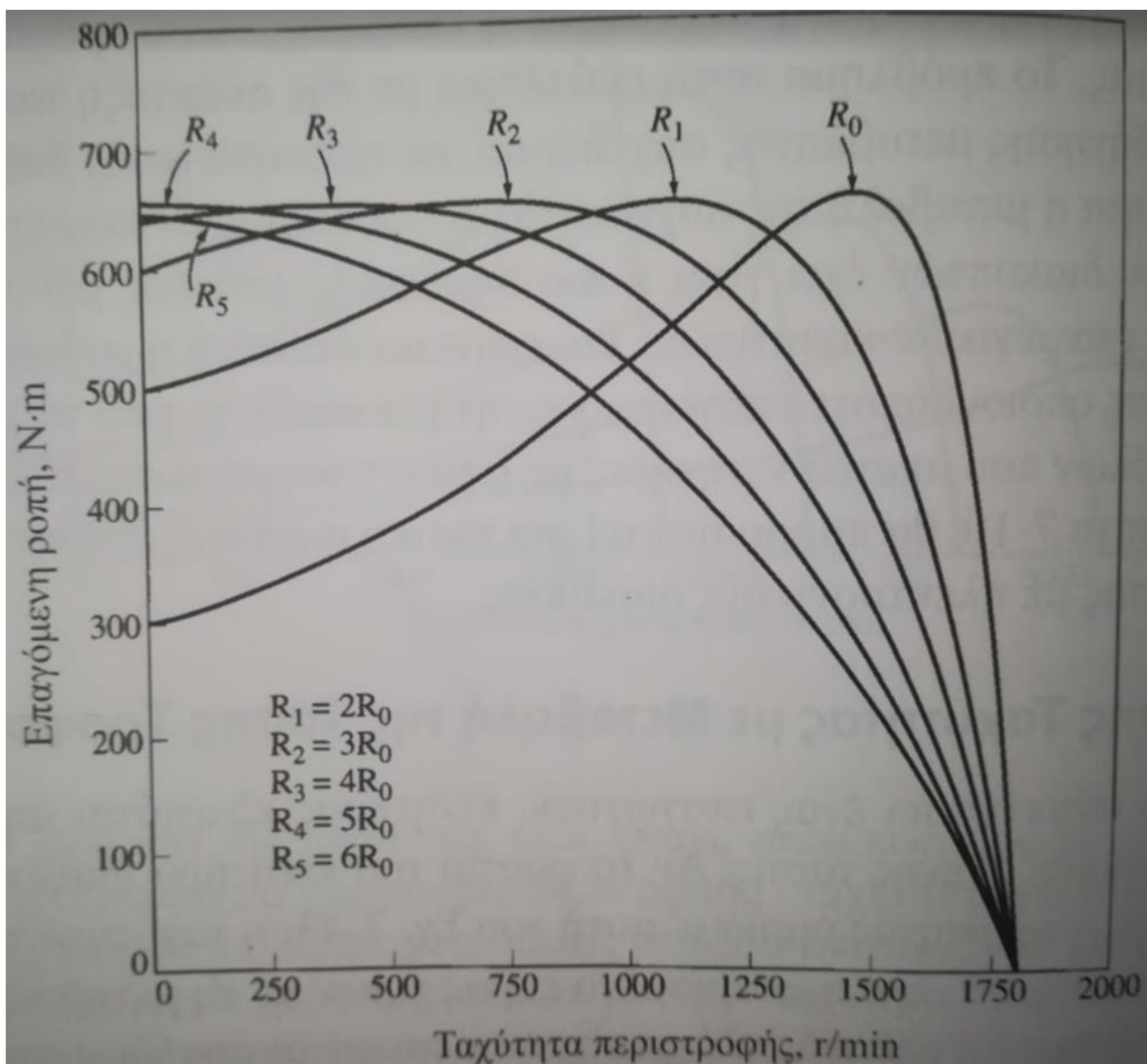


- Σημαντική εξάρτηση της τιμής της ροπής ανατροπής από τη μεταβολή της τάσης.
- Ισχυρή μείωση της αποδιδόμενης ροπής στο φορτίο του κινητήρα.
- Μείωση της ροπής εκκίνησης του κινητήρα.
- Περιορισμός της ταχύτητας λειτουργίας του φορτίου.

Για παράδειγμα, υποδιπλασιασμός της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα σημαίνει υποτετραπλασιασμό της αναπτυσσόμενης ροπής στον άξονα του κινητήρα !!!

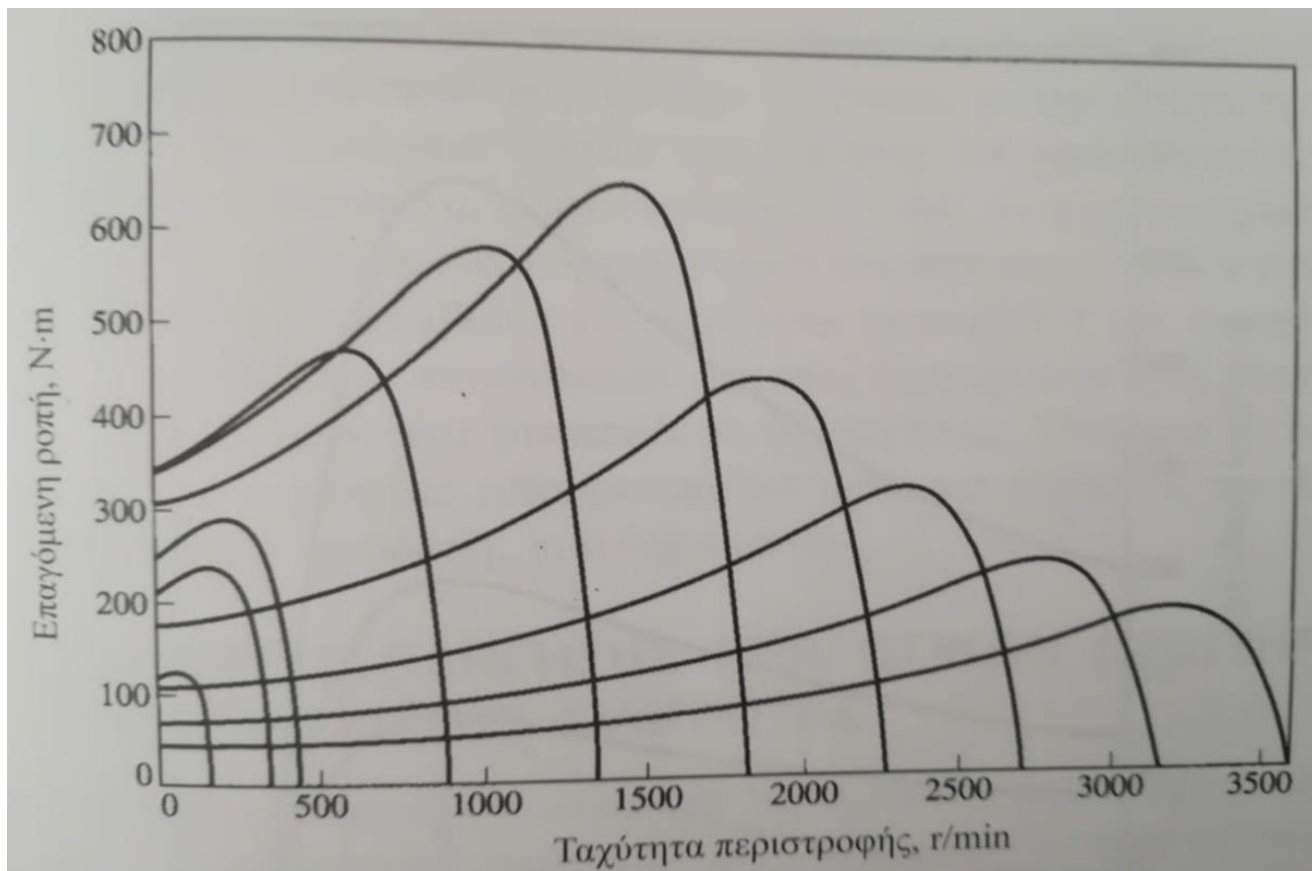
## γ) Σύνδεση αντιστάσεων R

- ✓ Προσθέτοντας αντίσταση στο δρομέα, μετατοπίζεται το σημείο ανατροπής προς τα αριστερά, δηλαδή σε μικρότερο αριθμό στροφών.
- ✓ Με κατάλληλη επιλογή της προστιθέμενης ωμικής αντίστασης, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ευρεία μεταβολή της τιμής της ροπής εκκίνησης του κινητήρα.

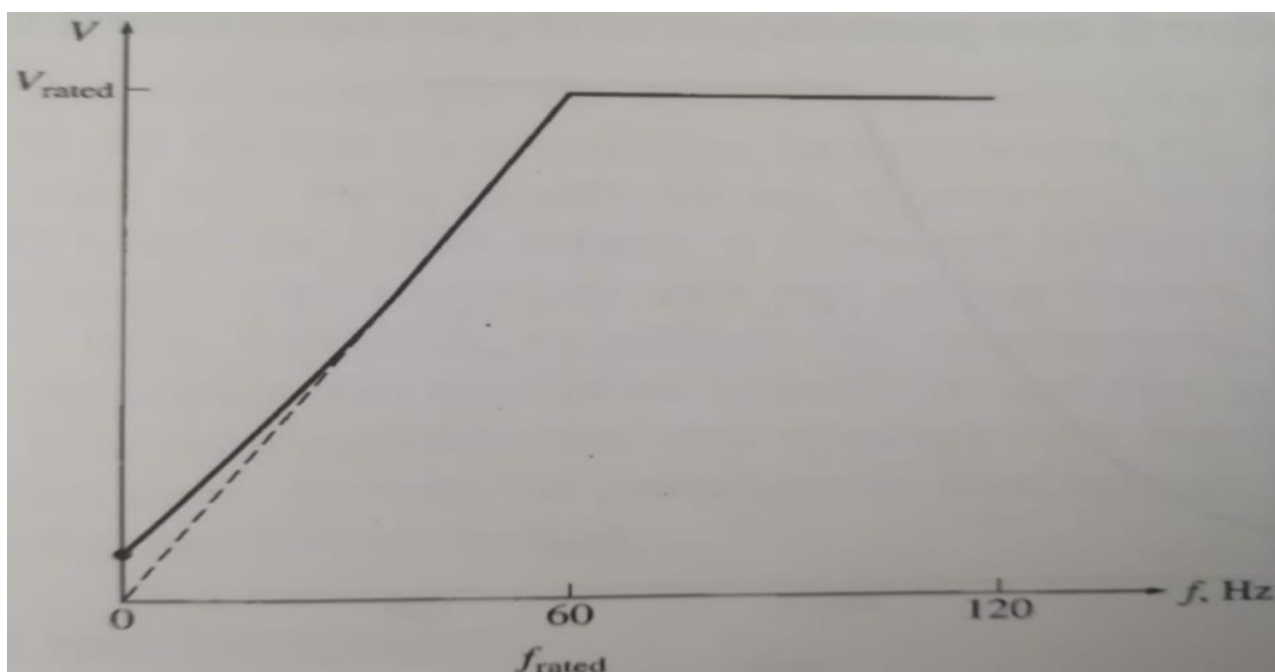


## δ) Μεταβολή συχνότητας $f$

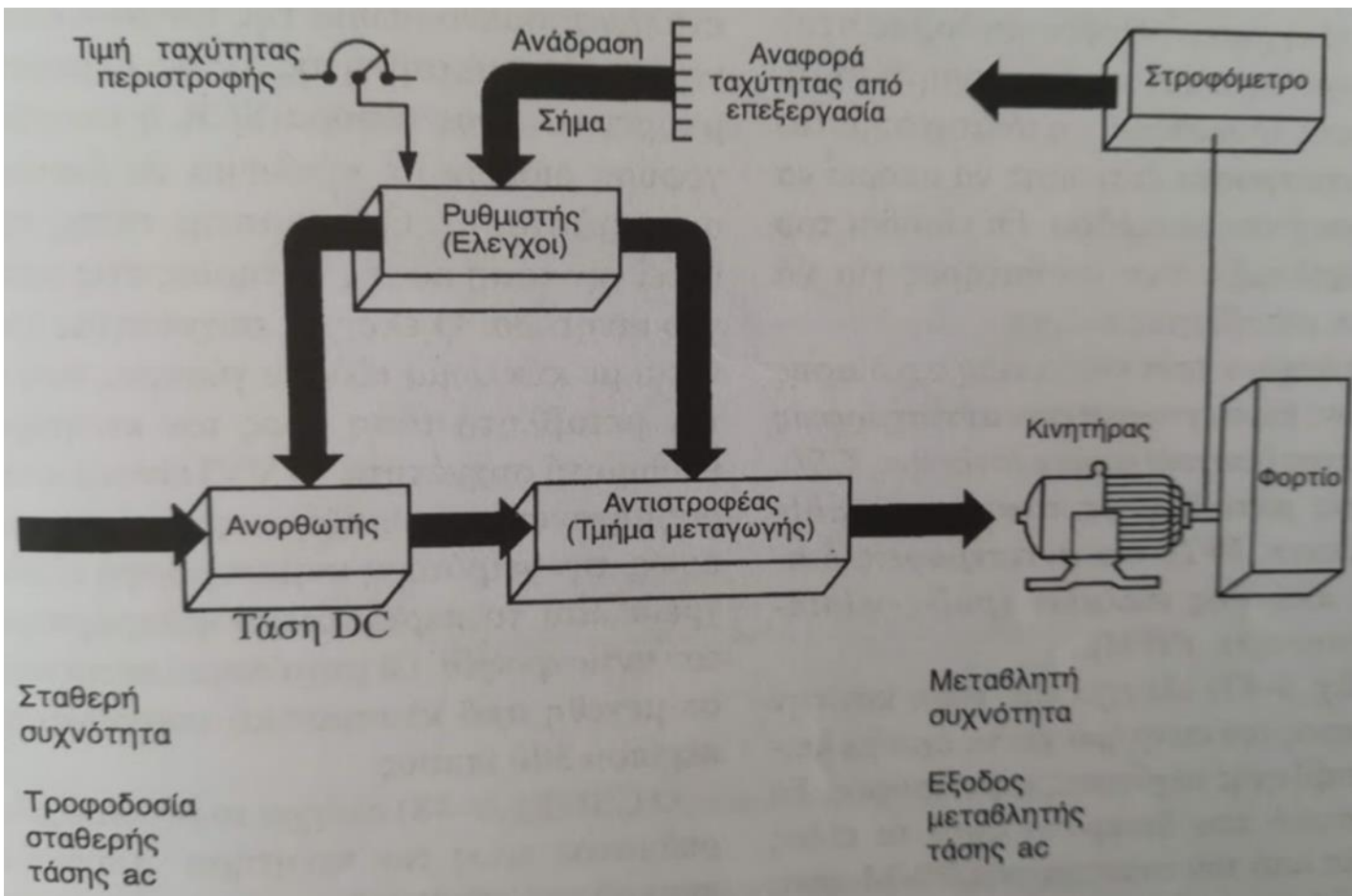
$$T_{\max} \sim 1 / \omega^2$$



$$\Phi(t) = - \frac{V_m}{\omega N_p} \cos(\omega t) \quad , \quad \omega = 2 \pi f$$



Μεταβολή της τάσης  $V$  συναρτήσει της συχνότητας  $f$ .



## Μηχανισμός ac σταθεροποίησης ταχύτητας, μεταβλητής συχνότητας.

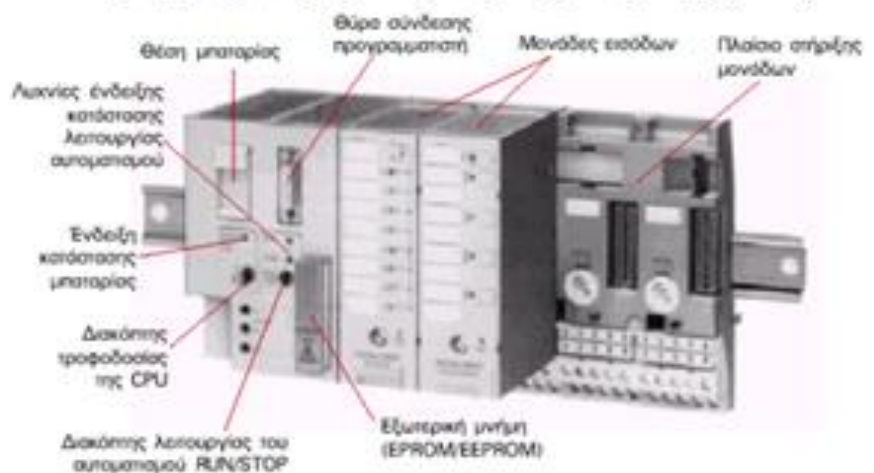
Ρυθμιστής στροφών (Inverter)



Ομαλός εκκινητής



Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC)



## 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

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

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

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

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

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

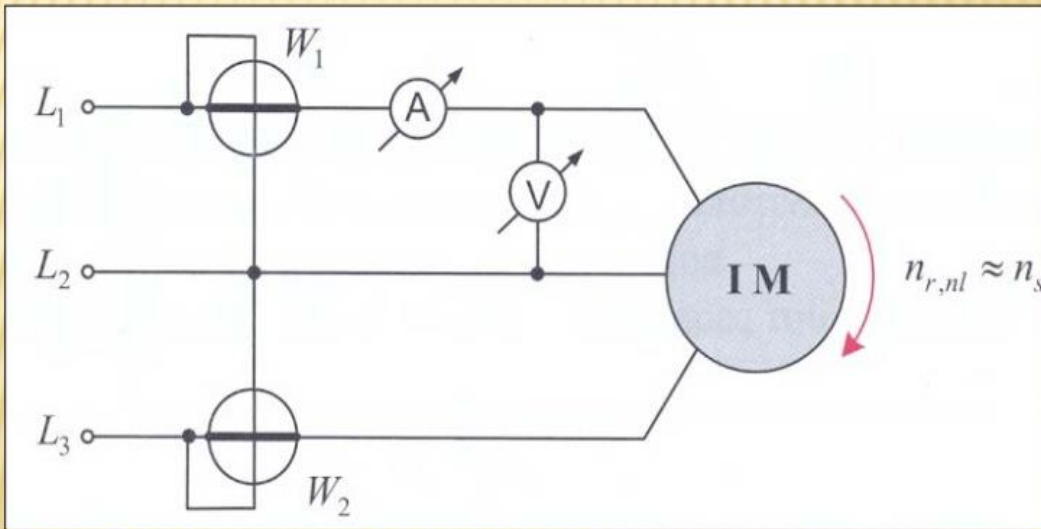
### Δοκιμή με Συνεχές Ρεύμα

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

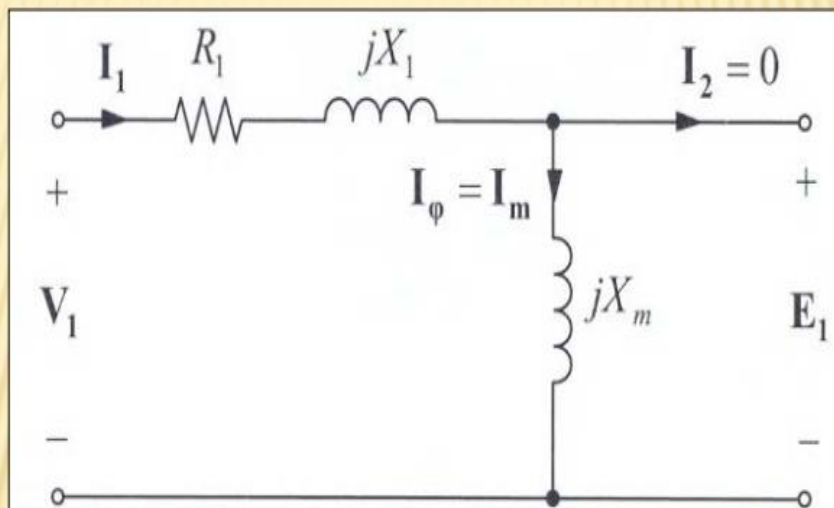
$$2 R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \quad \text{και} \quad R_1 = \frac{V_{DC}}{2 I_{DC}}$$

## Προσδιορισμός Παραμέτρων ΑΤΚ

- Δοκιμή κενού φορτίου (no-load test)
- ✓ Ο κινητήρας εργάζεται χωρίς φορτίο.
- ✓ Τα τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με την ονομαστική τάση και συχνότητα.
- ✓ Μετράται το ρεύμα, η τάση και η ισχύς κατά την κενή λειτουργία.



- ✓ Κατά την κενή λειτουργία η ταχύτητα του κινητήρα πλησιάζει τη σύγχρονη ταχύτητα και είναι:  $n_r \rightarrow n_s$ ,  $s \rightarrow 0$ ,  $R_2/s \rightarrow \infty$ . Επομένως, μπορεί να αγνοηθεί το κύκλωμα του δρομέα:



- ✓ Η ισχύς κενού φορτίου περιλαμβάνει τις απώλειες τριβών και ανεμισμού, τις απώλειες χαλκού στο στάτη, καθώς και τις απώλειες μαγνητικής υστέρησης και δινορευμάτων. Οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι αμελητέες και αγνοούνται.

✓ Σε αντίθεση με το  $M/\Sigma$ , το ρεύμα κενής λειτουργίας (ρεύμα διέγερσης) του κινητήρα είναι σημαντικό ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος, λόγω του μεγάλου διακένου στάτη-δρομέα, το οποίο δημιουργεί μεγάλη μαγνητική αντίσταση. Για το λόγο αυτό, οι απώλειες χαλκού στο στάτη κατά την κενή λειτουργία είναι σημαντικές και πρέπει να ληφθούν υπόψη.

✓ Οι απώλειες περιστροφής κενού φορτίου,  $P_{w,c}$ , είναι σταθερές για συγκεκριμένη ταχύτητα και τάση τροφοδοσίας του κινητήρα και περιλαμβάνουν τις απώλειες τριβών, ανεμισμού, μαγνητικής υστέρησης και δινορευμάτων. Είναι:

$$P_{w,c} = P_{nl} - 3I_{1,nl}^2 R_1$$

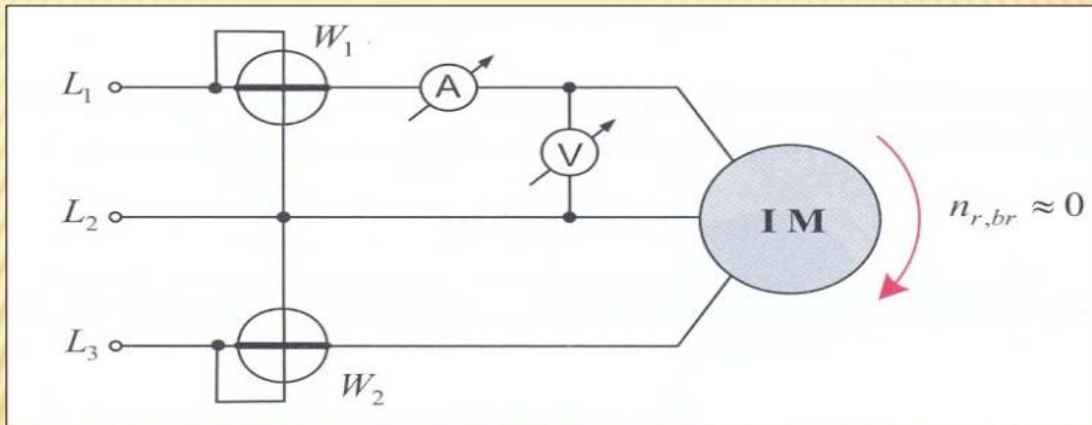
- $P_{w,c}$  = Απώλειες περιστροφής κενής λειτουργίας.
- $P_{nl}$  = Απώλειες κενού φορτίου.
- $I_{1,nl}$  = Ρεύμα στάτη κενής λειτουργίας

✓ Συνολική επαγωγική αντίδραση κενού φορτίου,  $X_{nl}$ ,

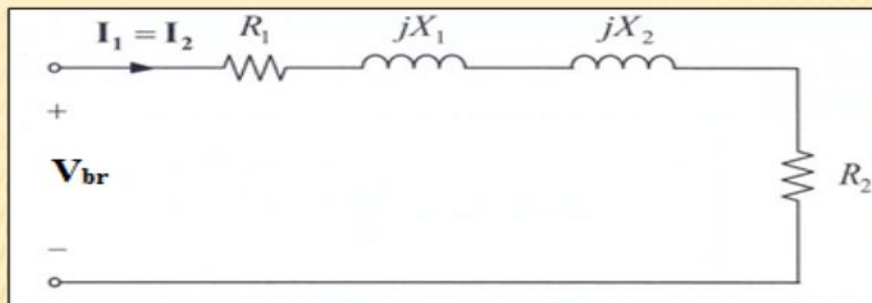
$$X_{nl} = X_1 + X_m, \quad X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2},$$
$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{\sqrt{3} I_{nl}}, \quad R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3 I_{nl}^2}$$

- Δοκιμή με ακινητοποιημένο το δρομέα (blocked-rotor test)
- Ακινητοποιείται (μπλοκάρεται) ο δρομέας έτσι, ώστε να μη μπορεί να περιστραφεί και εφαρμόζεται τάση στα τυλίγματα του στάτη.
- Η τάση στο στάτη αυξάνεται βαθμιαία έως ότου το ρεύμα στάτη γίνει ίσο με το ονομαστικό, καθώς επίσης και το ρεύμα στο δρομέα και η συχνότητά του φτάσουν τις ονομαστικές τιμές.

✓ Μετρήσεις κατά τη δοκιμή με ακινητοποιημένο το δρομέα



✓ Επειδή η τάση στο στάτη είναι μειωμένη, το ρεύμα διέγερσης είναι μικρό ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος και επομένως μπορεί ο παράλληλος κλάδος μαγνήτισης να αμεληθεί. Υπό τις συνθήκες αυτές, το ισοδύναμο κύκλωμα θα έχει τη μορφή:



✓ Υπολογισμός παραμέτρων  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$  και  $X_2$  κινητήρα:

$$X_{br} = X_1 + X_2, \quad X_{br} = \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2},$$

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{\sqrt{3} I_{br}}, \quad R_{br} = \frac{P_{br}}{3 I_{br}^2}$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{br}}{2}$$

➤ Με γνωστή την αντίδραση  $X_1$  και την αντίδραση  $X_{nl}$ , από τη δοκιμή κενού φορτίου, προκύπτει η αντίδραση μαγνήτισης,

$$X_m = X_{nl} - X_1$$

➤ Η τιμή της ωμικής αντίστασης  $R_1$  του τυλίγματος του στάτη προσδιορίζεται με απευθείας μέτρηση με τη βοήθεια ωμομέτρου. Η αντίσταση  $R_2$  στο τύλιγμα του δρομέα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_2 = R_{br} - R_1$$



**ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2020**

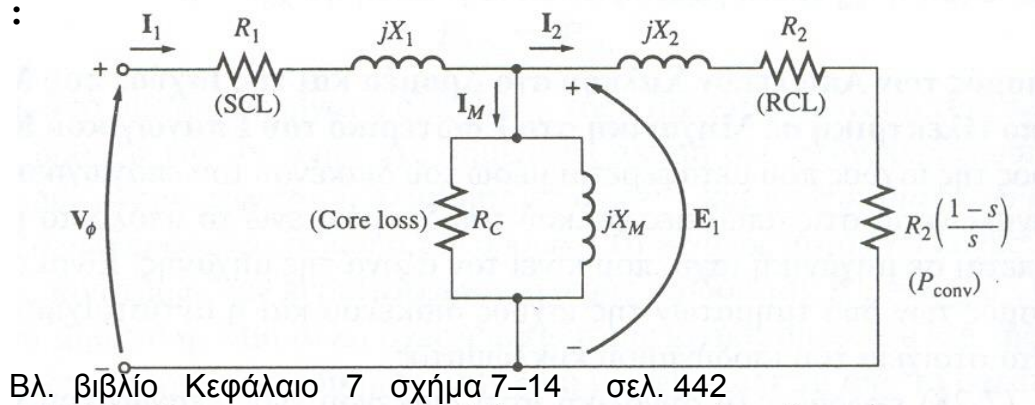
**ΘΕΜΑ 3<sup>ο</sup> : ( 3,3 Μονάδες )**

Τριφασικός τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας με ονομαστικά μεγέθη 25 Hp, 400 V, 50 Hz συνδεσμολογίας τυλιγμάτων στάτη κατά τρίγωνο, λειτουργεί στο πλήρες φορτίο με ολίσθηση 10 % , επαγωγικό συντελεστή ισχύος  $\Sigma.I. = 0,70$  και βαθμό απόδοσης 80 % . Η ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων του στάτη είναι  $R_1 = 0,50 \Omega$  ανά φάση ενώ οι απώλειες πυρήνα είναι 500 W . Ζητούνται :

- Να σχεδιαστεί το πλήρες ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα .
- Να υπολογιστεί το ρεύμα γραμμής που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο και η ταχύτητα περιστροφής του.
- Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ισχύς και ροπή του κινητήρα , καθώς και η ροπή στον άξονα.
- Ποιες είναι οι συνολικές μηχανικές απώλειες του κινητήρα ;

**Λύση :**

α)



β) Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είναι :

$$P_{out} = 25 \text{ Hp} \times 0,746 \text{ kW/HP} \Rightarrow P_{out} = 18.650 \text{ W}$$

$$\eta(\%) = (P_{out}/P_{in}) \times 100\% = 80\% \Rightarrow P_{in} = P_{out}/0,80 = 18.650/0,80 = 23.312,5 \text{ W}$$

$$P_{in} = \sqrt{3} I_L V_{\pi} \cos\theta \Rightarrow I_L = P_{in} / \sqrt{3} V_{\pi} \cos\theta = 23.312,5 / \sqrt{3} \times 400 \times 0,70 \Rightarrow I_L = 48 \text{ A}$$

$$n_s = 120 f / P = 120 \times 50 / 4 \Rightarrow n_s = 1.500 \text{ rpm}$$

$$n = (1 - s) n_s = (1 - 0,10) \times 1500 \Rightarrow n = 1350 \text{ rpm}$$

$$\eta \quad \omega_m = 2 \pi n / 60 = 2 \times 3,14 \times 1350 / 60 = 141,37 \text{ rad/sec}$$

γ) Η ροπή στον άξονα είναι :

$$\tau_{out} = P_{out} / \omega_m = 18.650 / 141,37 \Rightarrow \tau_{out} = 131,92 \text{ N m}$$

Αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή

$$\tau_{ind} = P_{con} / \omega_m \quad \eta \quad \tau_{ind} = P_{ag} / \omega_{\text{σύγχ}}$$

Απώλειες χαλκού στάτη (ωμικές)

$$P_{Cu \text{ st}} = 3 I_a^2 R_1 \quad \text{όπου} \quad I_a = I_L / \sqrt{3} = 48 / \sqrt{3} \Rightarrow I_a = 27,71 \text{ A}$$

$$\text{και} \quad P_{Cu \text{ st}} = 3 \times 27,71^2 \times 0,5 \Rightarrow P_{Cu \text{ st}} = 1.151,77 \text{ W}$$

$$\text{Ισχύς διακένου} \quad P_{ag} = P_{in} - P_{Cu \text{ st}} - P_{core} = 23.312,50 - 1.151,77 - 500$$

$$\Rightarrow P_{ag} = 21.660 \text{ W}$$

Αναπτυσσόμενη ισχύς κινητήρα

$$P_{con} = (1-s) P_{ag} = (1-0,10) \times 21.660,00 \text{ W} \Rightarrow P_{con} = 19.494 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \tau_{ind} = P_{con} / \omega_m = 19.494 / 141,37 \Rightarrow \tau_{ind} = 137,89 \text{ N m}$$

δ) Μηχανικές απώλειες περιστροφής  $P_{\text{απ.μηχ.}(περιστ)} = P_{con} - P_{out}$

$$\Rightarrow P_{\text{απ.μηχ.}(περιστ)} = 19.494 - 18.650 \Rightarrow P_{\text{απ.μηχ.}(περιστ)} = 844 \text{ W}$$

**ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2019**

**ΘΕΜΑ 3<sup>ο</sup> : ( 3,3 Μονάδες )**

Ενας τριφασικός τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας με ονομαστικά μεγέθη 15 Hp, 380 V, 50 Hz συνδεσμολογίας αστέρα, έχει ταχύτητα περιστροφής 1275 rpm σε πλήρες φορτίο, και ρεύμα γραμμής 30 A με επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0,80. Οι συνολικές απώλειες περιστροφής του είναι 810 W.

Να σχεδιαστεί το πλήρες ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του κινητήρα και εξηγηθεί το κάθε στοιχείο του. Να προσδιοριστούν :

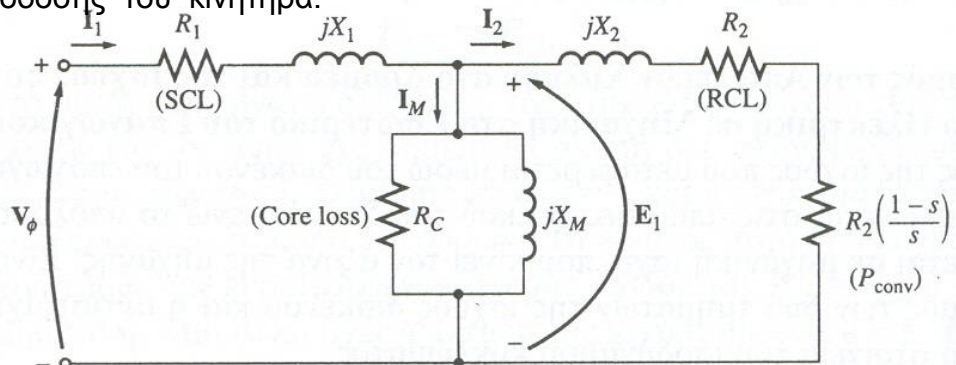
α) Η ολίσθηση στο πλήρες φορτίο.

β) Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή του κινητήρα και η ροπή στον άξονα.

γ) Οι ωμικές απώλειες του δρομέα και η ανά φάση ωμική τιμή της αντίστασης του τυλίγματος του στάτη.

δ) Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα.

**Λύση :**



Βλ. βιβλίο Κεφάλαιο 7 σχήμα 7-14 σελ. 442

α)  $n_s = 120 f / P = 120 \times 50 / 4 = 1500 \text{ rpm}$   
 $s = (1500 - 1275) / 1500 = 0,15 \quad \text{ή} \quad s = 15 \%$

β) Ισχύς εξόδου κινητήρα

$$P_{out} = 15\text{Hp} \times 0,746 \text{ kW/HP} = 11,19 \text{ kW} = 11.190 \text{ W}$$

Αναπτυσσόμενη ισχύς κινητήρα

$$P_{con} = P_{out} + P_{\text{απ.μηχ. (περιστ)}} = 11.190 + 810 = 12.000 \text{ W}$$

Αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή

$$\tau_{ind} = P_{con} / \omega_m$$

$$\omega_{\text{σύγχ.}} = 2\pi f (2/P) = 2 \times 3,14 \times 50 \times (2/4) = 157,08 \text{ rad/s}$$

$$\omega_m = (1-s) \omega_{\text{σύγχ.}} = (1-0,15) \times 157,08 = 133,52 \text{ rad/s}$$

$$\text{ή} \quad \omega_m = 2\pi n / 60 = 1275 \times 2 \times 3,14 / 60 = 133,52 \text{ rad/s}$$

$$\tau_{ind} = P_{con} / \omega_m = 12.000 / 133,52 = 89,87 \text{ N m}$$

Ροπή στον άξονα του κινητήρα

$$\tau_{out} = P_{out} / \omega_m = 11.190 / 133,52 = 83,81 \text{ N m}$$

γ) Ισχύς διακένου

$$P_{ag} = P_{con} / (1-s) = 12.000 / (1-0,15) = 14.117,65 \text{ W}$$

Απώλειες χαλκού δρομέα (ωμικές)

$$P_{Cu r} = s P_{ag} = 0,15 \times 14.117,65 \text{ W} = 2.117,65 \text{ W} \quad \text{ή}$$

$$P_{Cu r} = P_{ag} - P_{con} = 14.117,65 - 12.000 = 2.117,65 \text{ W}$$

$$P_{in} = \sqrt{3} I_L V_{\Pi} \cos\theta = \sqrt{3} 30 380 0,80 = 15.796,30 \text{ W}$$

Απώλειες χαλκού στάτη (ωμικές)

$$P_{Cu st} = 3 I_1^2 R_1$$

$$P_{Cu st} = P_{in} - P_{ag} = 15.796,30 - 14.117,65 = 1.678,65 \text{ W}$$

$$\Rightarrow 3 I_1^2 R_1 = 1.678,65 \text{ W} \Rightarrow R_1 = 1.678,65 / (3 30^2)$$

$$\Rightarrow R_1 = 0,62 \Omega \text{ ανά φάση}$$

δ)  $\eta (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% = (11.190 / 15.796,3) \times 100\% = 70,84\%$