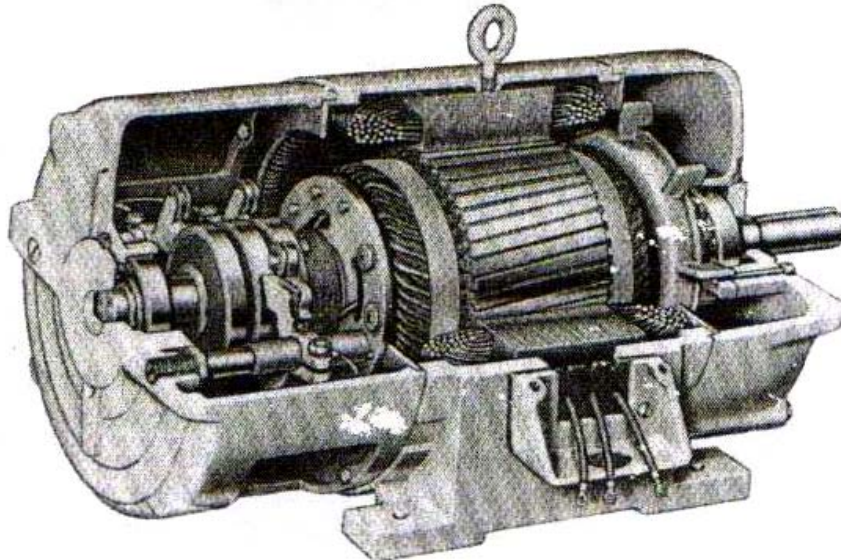
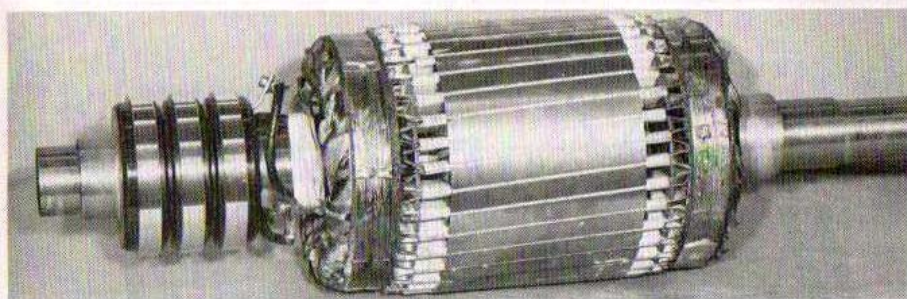


# ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

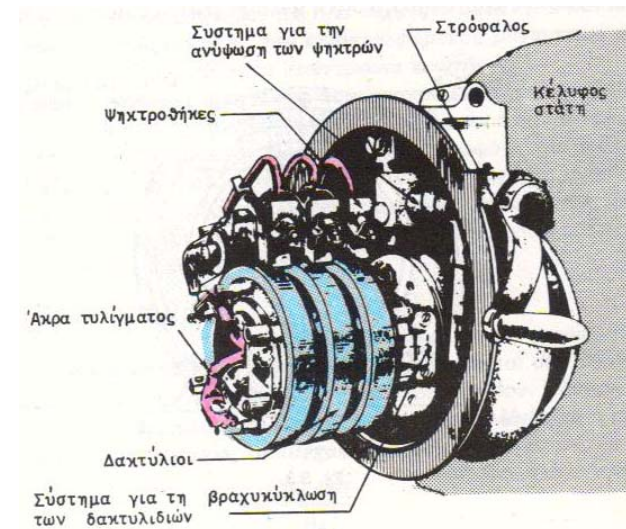
## ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΙΟΦΟΡΟ ΡΟΤΟΡΑ



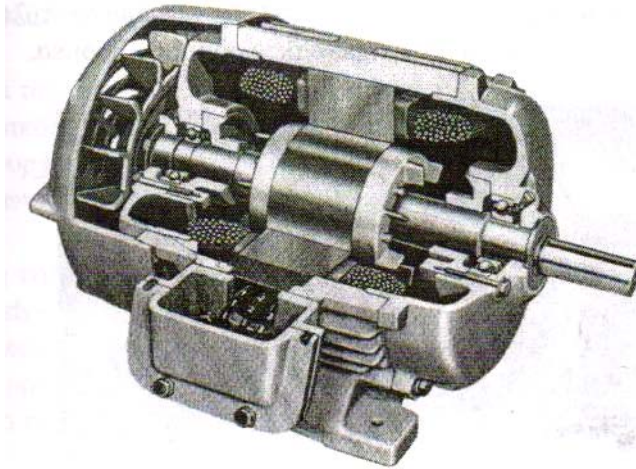
Ρότορας κινητήρα με δακτυλίδια



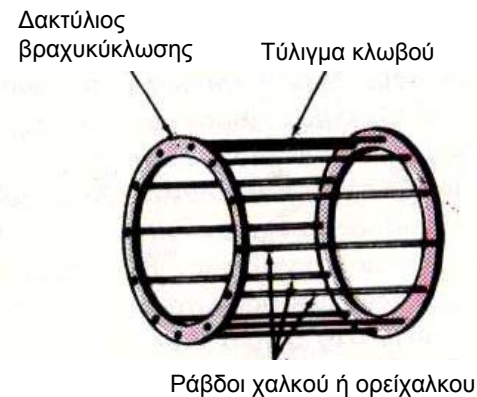
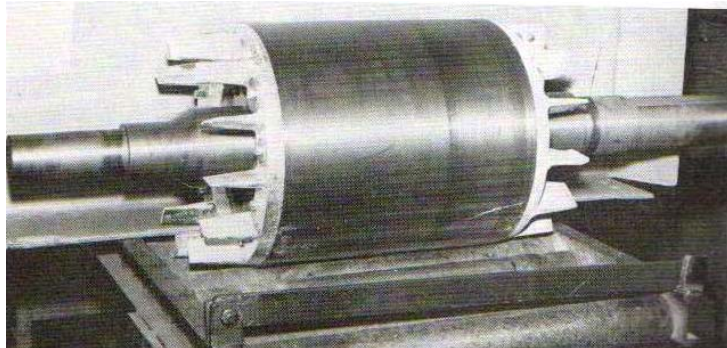
### Σύστημα ανύψωσης ψηκτρών



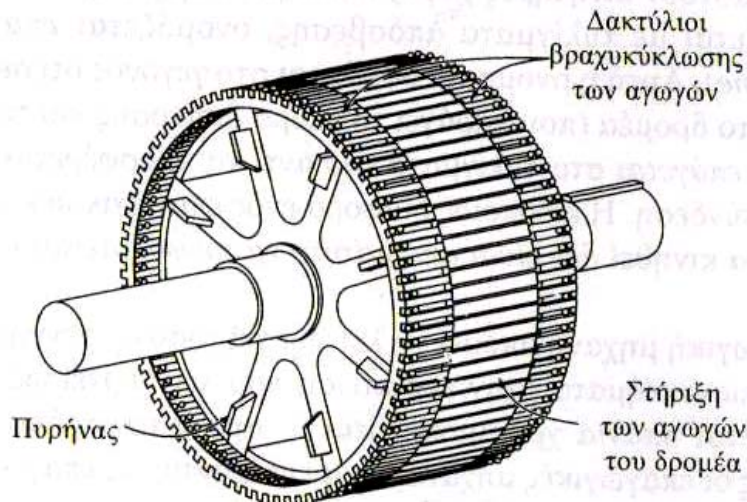
## ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΡΟΤΟΡΑ (ΡΟΤΟΡΑ ΣΚΙΟΥΡΟΚΛΩΒΟΥ)



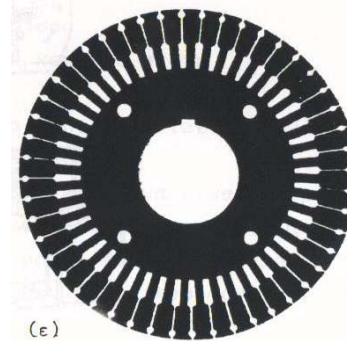
Ρότορας βραχυκυκλωμένου κλωβού



## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΚΛΩΒΟΥ

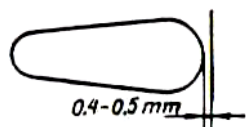


Έλασμα πυρήνα ρότορα διπλού κλωβού

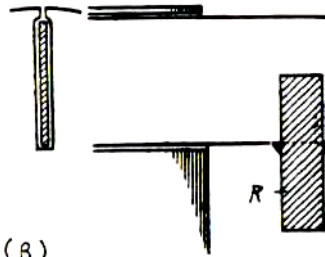


### Διαμόρφωση κλωβών

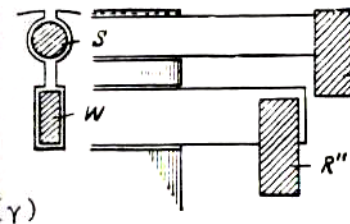
Κλειστό αυλάκι (οβάλ)



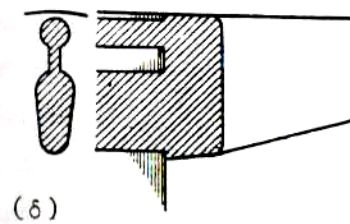
Βαθύ αυλάκι



Διπλού κλωβού, συγκολλητός



Διπλού κλωβού, χυτός



## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

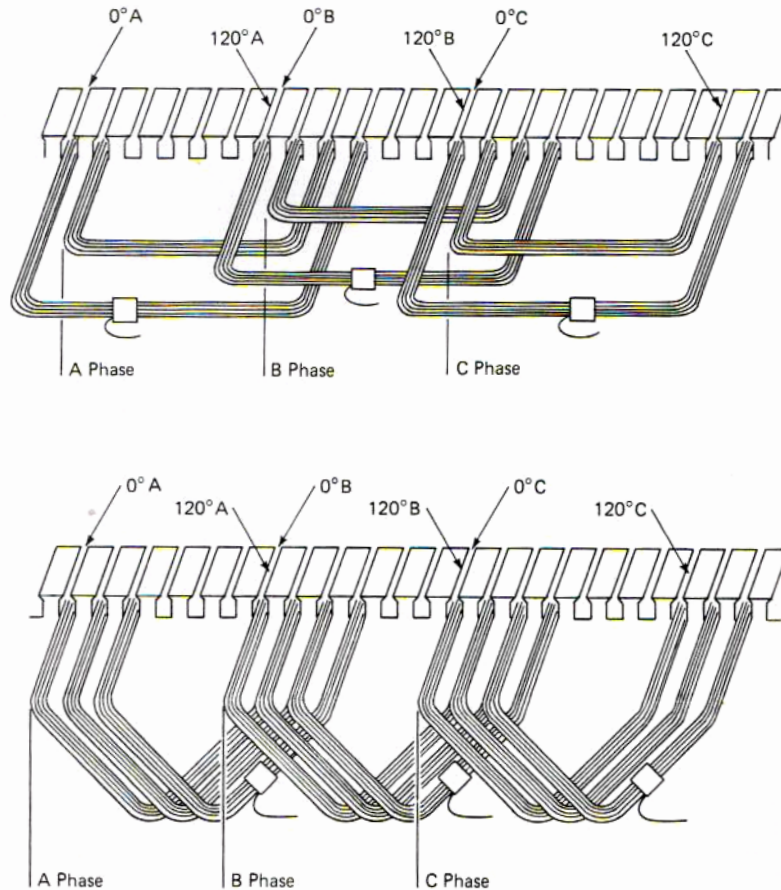


Fig. 3-7. Concentric and lap coil placement 120° apart. Each coil group is the start of its phase and is of the same polarity.

## ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

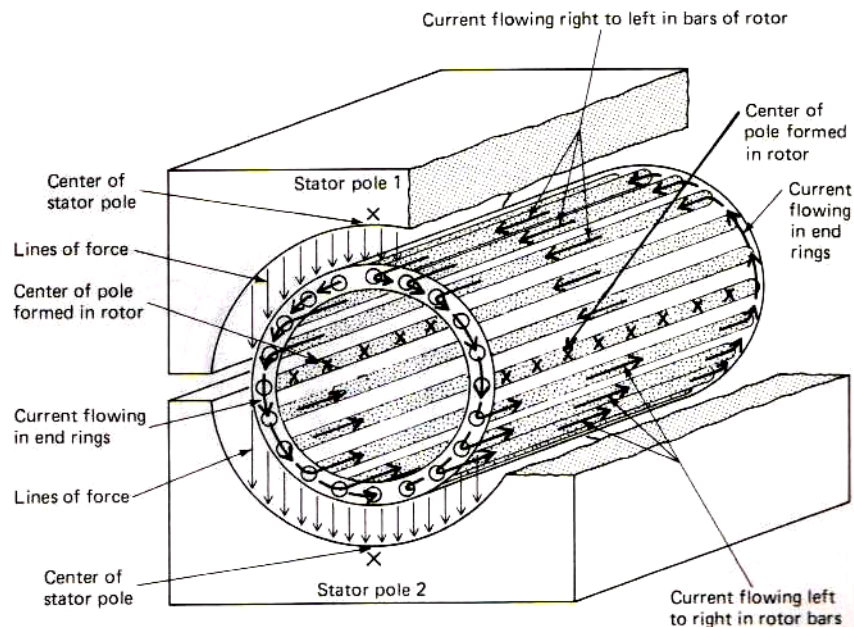
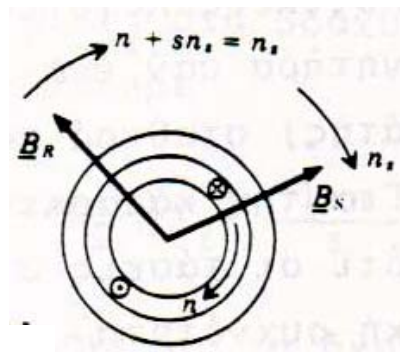


Fig. 3-13. Current flowing in rotor bars at 98 percent rpm. Bars located at 90° from the stator pole centers are the center of the rotor poles.

## Περιστρεφόμενα Πεδία ρότορα, στάτη



## Ταχύτητα περιστροφής $B_s$

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ (rpm)}$$

## Ολίσθηση δρομέα

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Ταχύτητα περιστροφής Πεδίου ρότορα σε σχέση με το ρότορα

$$\left( \frac{p}{120} \right) s n_s = sf = f_r$$

Ταχύτητα περιστροφής Πεδίου ρότορα σε σχέση με το πεδίο του στάτη

$$n + s n_s = n_s \quad \Rightarrow \quad \underline{B}_R \text{ σε συγχρονισμό με } \underline{B}_s \quad \Rightarrow \quad \text{Ροπή σταθερή}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ενας επαγωγικός κινητήρας τεσσάρων πόλων έχει ονομαστική τάση, ισχύ και συχνότητα 208 V, 10 hp και 60 Hz, αντίστοιχα. Ο κινητήρας συνδέεται σε αστέρα και η ολίσθησή του στην πλήρη φόρτιση είναι 5%.

- (α) Ποια είναι η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα;  
 (β) Ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο;  
 (γ) Ποια είναι η συχνότητα στο δρομέα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο;  
 (δ) Ποια είναι η ροπή που ασκείται στον άξονα του κινητήρα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο;

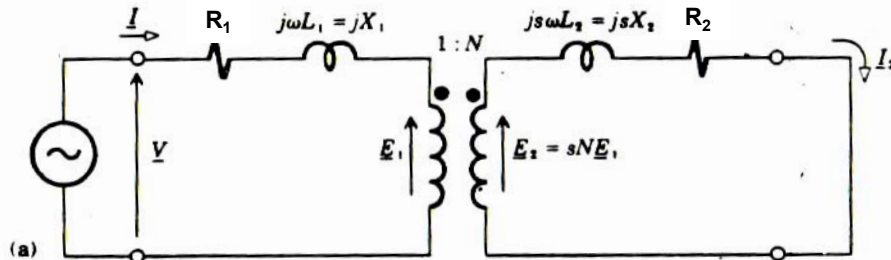
$$\alpha. n_s = \frac{120f}{p} = 1800\text{rpm}$$

$$\beta. s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow n = 1710\text{rpm}$$

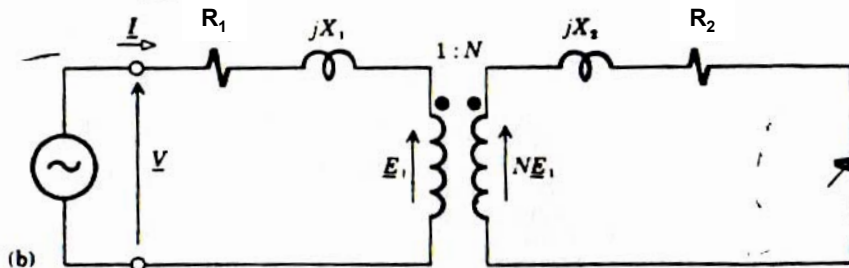
$$\gamma. f_r = sf = 3\text{Hz}$$

$$\delta. \tau = P_{\text{out}}/\omega_m = 41.7\text{Nm}$$

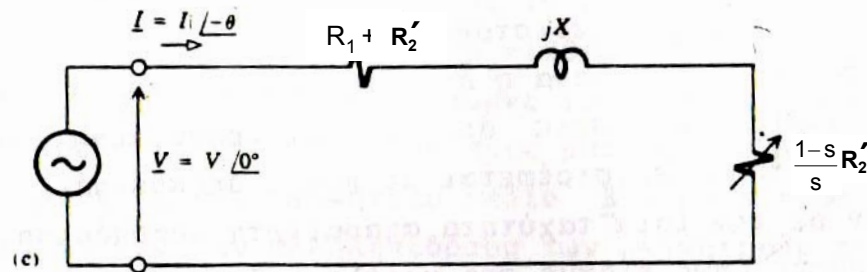
## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



$$N\underline{E}_1 = (R_2/s + jX_2) \underline{I}_2 =$$



$$\left( R_2 + \frac{1-s}{s} R_2 + jX_2 \right) \underline{I}_2$$



$$R'_2 = R_2/N^2$$

$$X = X_1 + X_2/N^2$$

$$\underline{V}/\underline{I} = (R_1 + R'_2) + jX + \frac{1-s}{s} R'_2$$

## ΙΣΧΥΣ & ΡΟΠΗ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Ανά φάση απορροφόμενη ισχύς

$$P = |I|^2 \left( \frac{1-s}{s} R_2' \right) = \frac{|V|^2 (1-s) R_2'}{[R_1 + R_2' + (1-s)R_2'/s]^2 + X^2} = (1-s) |V|^2 \frac{s R_2'}{(s R_1 + R_2') + s^2 X^2}$$

Ολική αναπτυσσόμενη ροπή

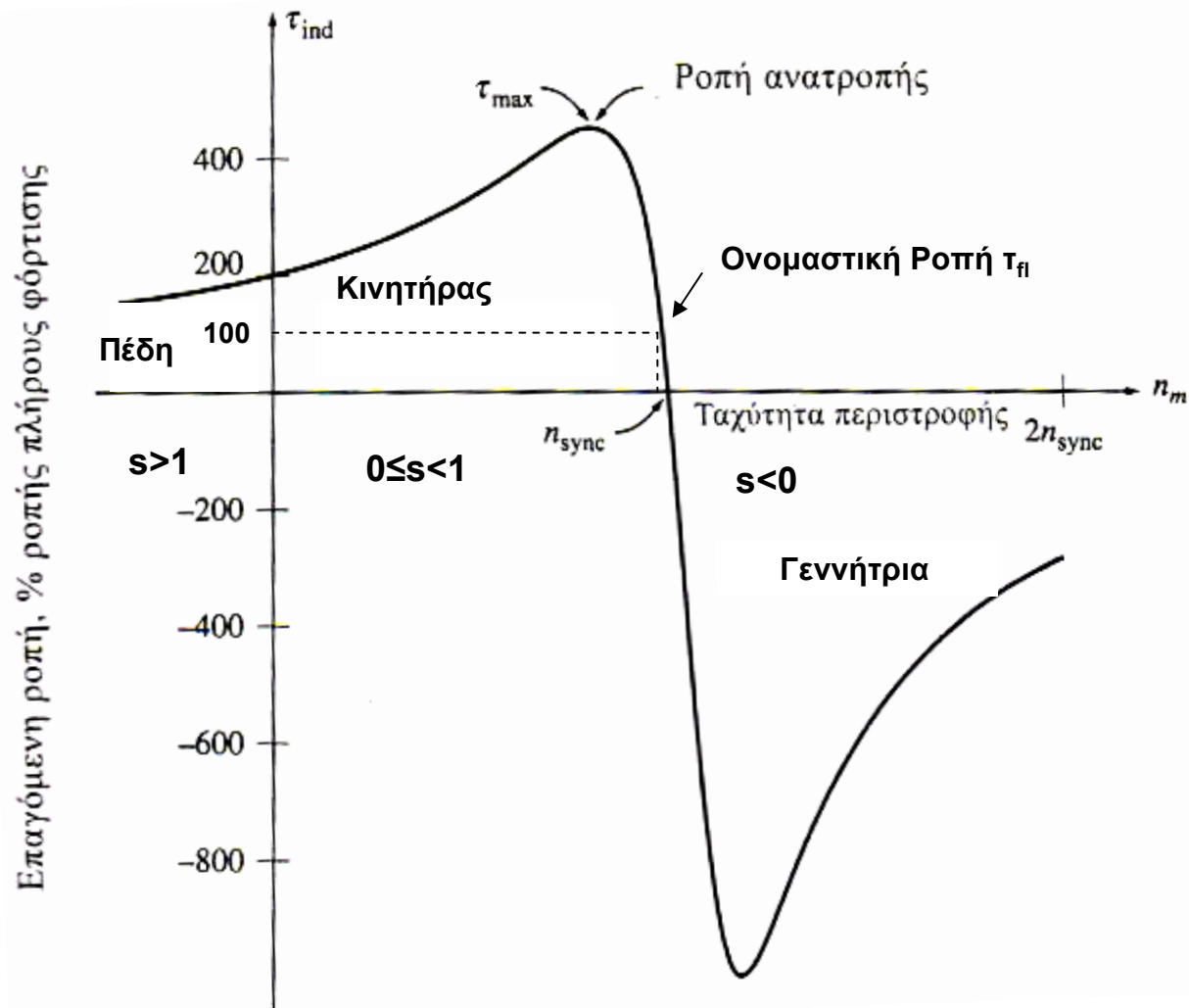
$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{3P}{\omega_m} \\ \omega_m &= (2/p) (1-s)\omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow T = \frac{3p|V|^2}{2\omega} \frac{sR_2'}{(sR_1 + R_2')^2 + s^2X^2}$$

Μέγιστη ροπή

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 0 \Rightarrow s = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} \Rightarrow T_{\max} = \frac{3p|V|^2}{4\omega \left( R_1 + \sqrt{R_1^2 + X^2} \right)}$$

# ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗΣ - ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

6-πολικός, 380V (πολική τάση), 50Hz, επαγωγικός κινητήρας έχει ονομαστική Ροπή 350Nm. Ηλεκτρικές μετρήσεις δίνουν  $R_1=0.26\Omega$ ,  $R_2'=0.14\Omega$ ,  $X=0.4\Omega$   
α. Να υπολογιστούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κινητήρα ( $n_s$ ,  $n_{FL}$ ,  $P_{FL}$ ,  $T_0$ ,  $T_{max}$ ,  $P_{max}$ ,  $n_{max}$ )

$$n_s = \frac{120f}{p} = 1000\text{rpm}$$

$$T_{max} = \frac{3p|V|^2}{4\omega \left( R_1 + \sqrt{R_1^2 + X^2} \right)} = 937\text{Nm}$$

$$T_{FL} \approx \frac{3p|V|^2 s}{2\omega R_2'} \Rightarrow s=0.035$$

$$s = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} = 0.29$$

$$n + sn_s = n_s \Rightarrow n_{FL} = 965\text{rpm}$$

$$n + sn_s = n_s \Rightarrow n = 710\text{rpm}$$

$$P_{FL} = T_{FL} \omega_m = 35.37\text{kW}$$

$$P_{max} = T_{max} \omega_m = 69.7\text{kW}$$

$$T = \frac{3p|V|^2}{2\omega} \frac{sR_2'}{(sR_1 + R_2')^2 + s^2 X^2} \xrightarrow{s=1} T_0 = 606\text{Nm}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (συνέχεια)

β. Να βρεθούν το Ι<sub>III</sub> και ο συντελεστής ισχύος όταν η ροπή είναι: a. T<sub>0</sub>, b. T<sub>max</sub>, c. T<sub>FL</sub>

$$\underline{Z} = (R_1 + R'_2) + \frac{1-s}{s} R'_2 + jX = R_1 + R'_2/s + jX$$

$$\underline{I} = \underline{V} / \underline{Z}$$

$$\tan\theta = X / (R_1 + R'_2/s)$$

a.  $s=1 \Rightarrow Z=0.26+0.14+j0.4=0.4+j0.4 = 0.4e^{j45} \Omega$

$$I_{III} = 220/0.4=550A$$

$$\cos\theta=0.7$$

b.  $s=0.29 \Rightarrow Z=0.26+0.14/0.29+j0.4=0.74+j0.4 = 0.84e^{j28.4} \Omega$

$$I_{III} = 220/0.84=262A$$

$$\cos\theta=0.88$$

c.  $s=0.035 \Rightarrow Z=0.26+0.14/0.035+j0.4=4.26+j0.4 = 4.27e^{j5.3} \Omega$

$$I_{III} = 220/4.27=51.4A$$

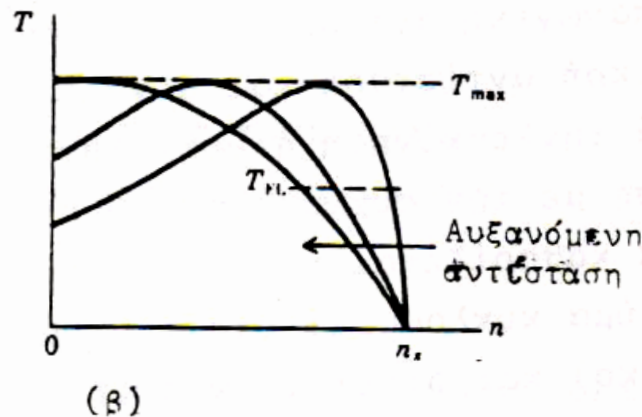
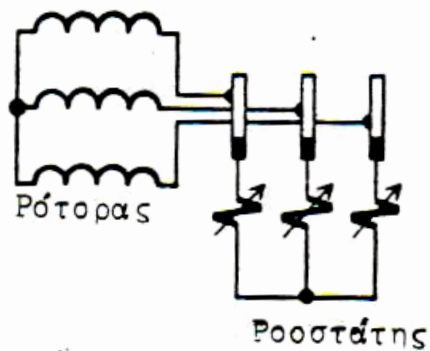
$$\cos\theta=0.99$$

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

### Επαγωγικοί κινητήρες με δακτύλιους στο ρότορα

Ρύθμιση στροφών (ολίσθησης) με προσθήκη ανά φάση εξωτερικής αντίστασης στην  $R'_2$  →

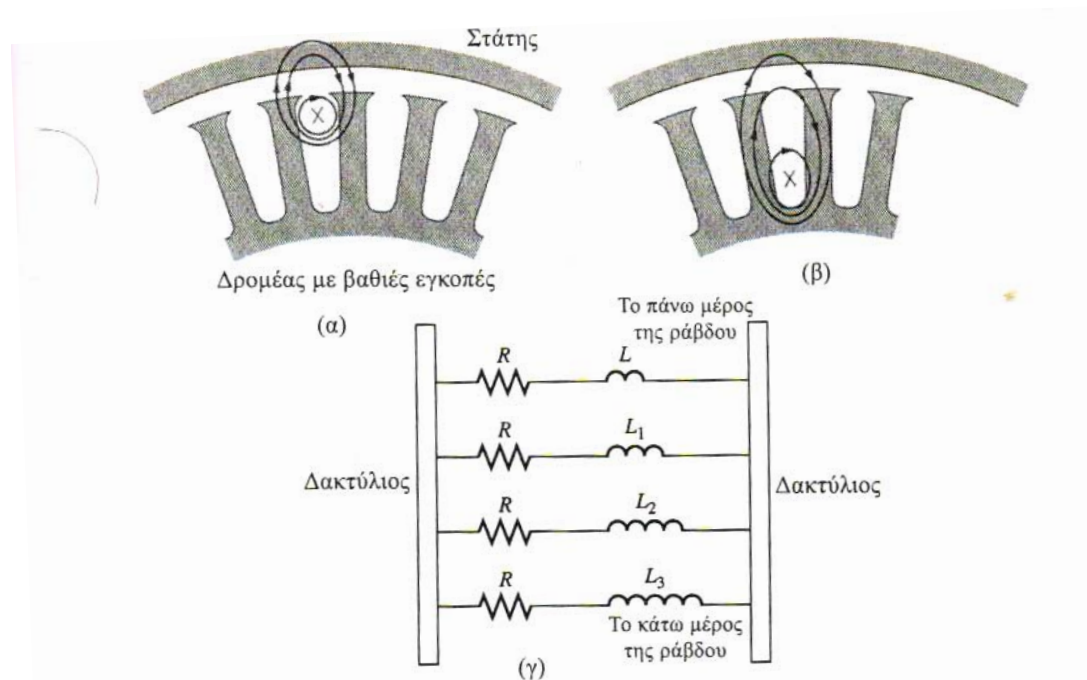
$$s = \frac{R'_2 + R_{ext}}{\sqrt{R_1^2 + X^2}}$$



Σχ. 5.8. α) Κινητήρας με δακτυλίους στο ρότορα  
β) Καμπύλες ροπής-ταχύτητας

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

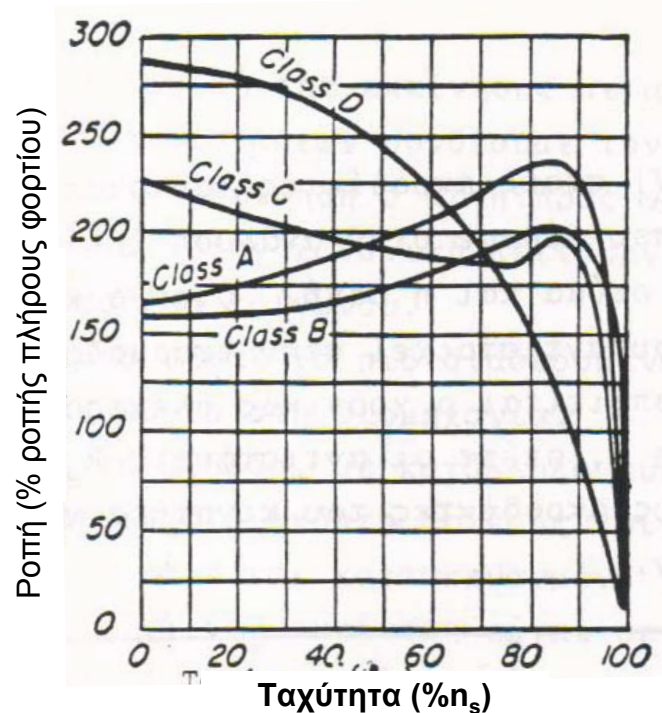
### Επαγωγικοί κινητήρες με ρότορα διπλού κλωβού ή βαθέων αυλάκων



**ΣΧΗΜΑ 7-27** Η ροή διαρροής σ' ένα δρομέα βαθιών εγκοπών. (α) Για το ρεύμα του δρομέα στην κορυφή της ράβδου η ροή διαρροής προς το στάτη είναι μικρή και η αυτεπαγωγή διαρροής είναι επίσης μικρή. (β) Για το ρεύμα του δρομέα στο βάθος της ράβδου η ροή διαρροής προς το στάτη είναι μεγάλη και η αυτεπαγωγή διαρροής είναι επίσης μεγάλη. (γ) Το τελικό ισοδύναμο κύκλωμα της ράβδου συναρτήσκει του βάθους στο δρομέα.

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

### Κατηγορίες επαγωγικών κινητήρων με βάση την τυποποίηση NEMA



- Κατηγορία A. Κανονική ροπή εκκίνησης, κανονικό ρεύμα εκκίνησης. Κινητήρες με ρότορα απλού κλωβού.  
 Κατηγορία B. Κανονική ροπή εκκίνησης, χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Κινητήρες με ρότορα διπλού κλωβού.  
 Κατηγορία C. Υψηλή ροπή εκκίνησης, χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Κινητήρες με ρότορα διπλού κλωβού.  
 Κατηγορία D. Υψηλή ροπή εκκίνησης, υψηλή τιμή ολίσθησης. Κινητήρες με ρότορα διπλού κλωβού με μεγάλη ανίσταση τυλιγμάτων ρότορα.

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΑΣΤΕΡΑ-ΤΡΙΓΩΝΟΥ

### Σύνδεση τυλιγμάτων σάτη σε αστέρα

$$|V_{ph}| = \frac{|V_\ell|}{\sqrt{3}} \quad |I_Y| = |I_{ph}| = \frac{|V_{ph}|}{|Z|} = \frac{|V_\ell|}{\sqrt{3}|Z|}$$

$$T_Y \propto |V_{ph}|^2 = \frac{|V_\ell|^2}{3}$$

### Σύνδεση τυλιγμάτων σάτη σε τρίγωνο

$$V_{ph} = V_\ell \quad |I_\Delta| = \sqrt{3}|I_{ph}| = \sqrt{3} \frac{|V_{ph}|}{|Z|} = \sqrt{3} \frac{|V_\ell|}{|Z|}$$

$$T_\Delta \propto |V_\ell|^2$$

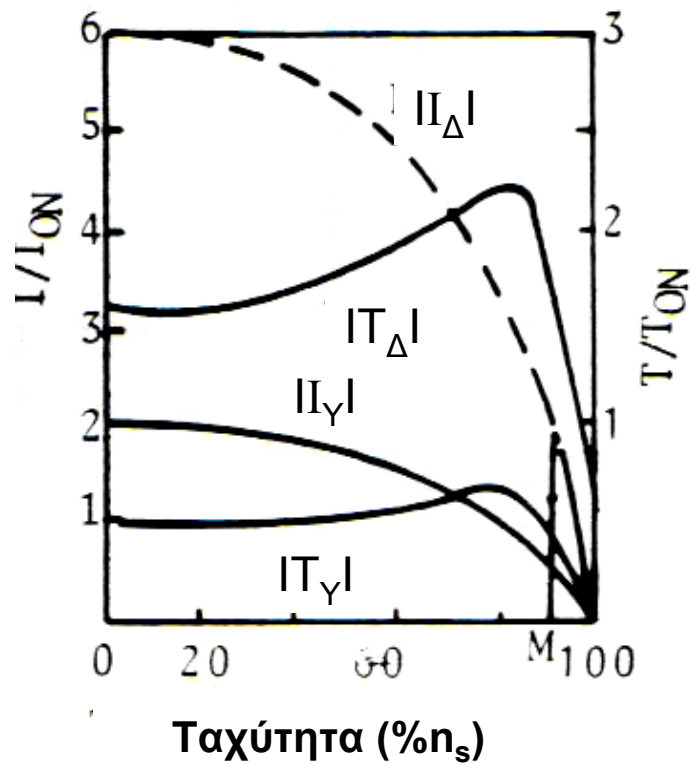


$$|I_\Delta| = 3 |I_Y|$$

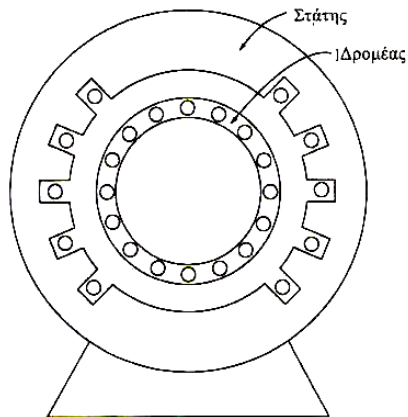
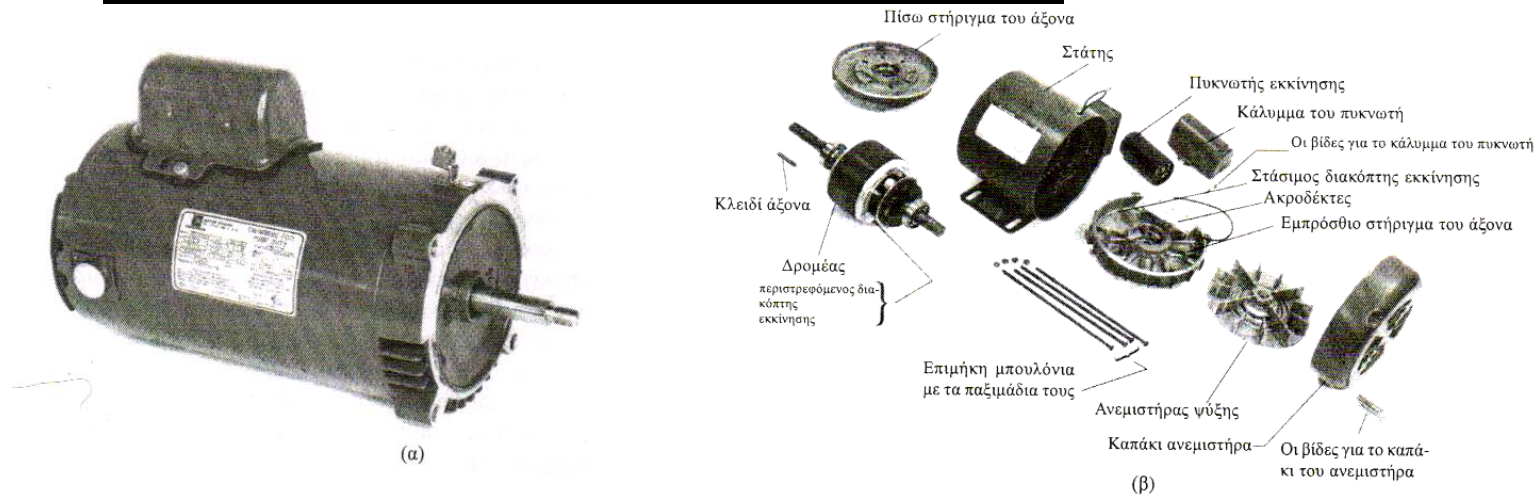
$$T_\Delta = 3 T_Y$$

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΑΣΤΕΡΑ-ΤΡΙΓΩΝΟΥ

Χαρακτηριστικές ρεύματος-ροπής. Μεταγωγή στις ονομαστικές στροφές



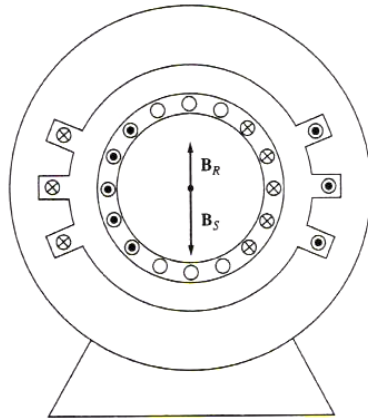
## ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ



**ΣΧΗΜΑ 10-19** (α) Επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης. (Προσφορά *Emerson Electric Company*). (β) Ένας επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης χωρισμένος στα τμήματά του. (Προσφορά *Westinghouse Electric Corporation*).

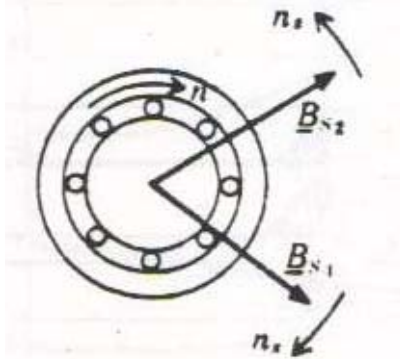
**ΣΧΗΜΑ 10-5** Η δομή ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα. Ο δρομέας είναι ίδιος μ' αυτόν του τριφασικού επαγωγικού κινητήρα, ενώ ο στάτης διαθέτει μόνο μία διανεμημένη φάση.

## ΡΟΠΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

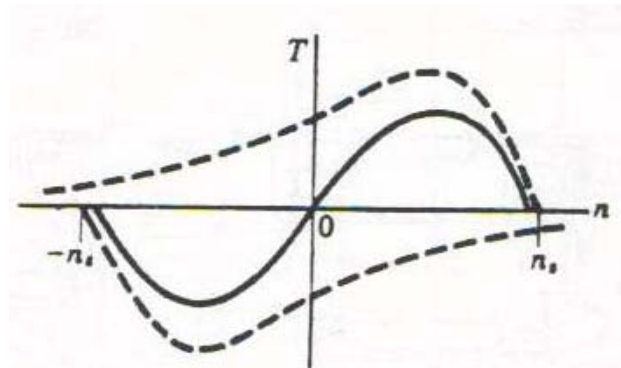


**ΣΧΗΜΑ 10-6** Ο μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας στις συνθήκες εκκίνησης. Το τύλιγμα του στάτη παράγει αντίθετα ρεύματα και τάσεις εξ επαγωγής, τα οποία με τη σειρά τους παράγουν μαγνητικό πεδίο *ευθυγραμμισμένο* με το πεδίο του στάτη  $\tau_{ind} = 0$ .

### Ανάλυση μαγνητικού πεδίου στάτη σε δύο στρόφμενα μαγνητικά πεδία

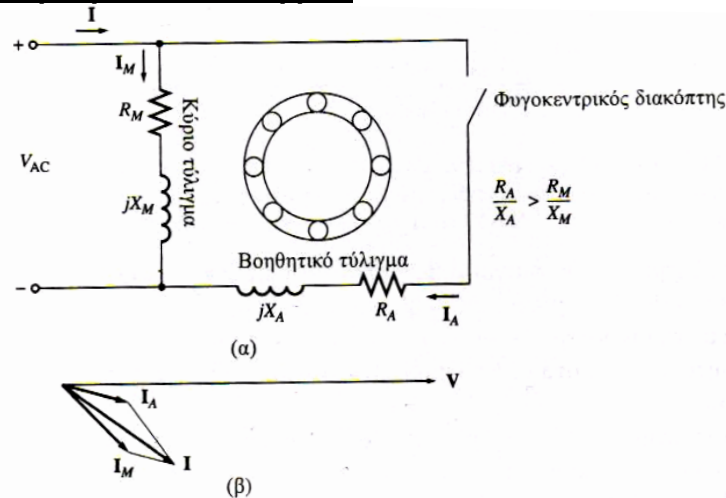


### Καμπύλη ροπής ταχύτητας



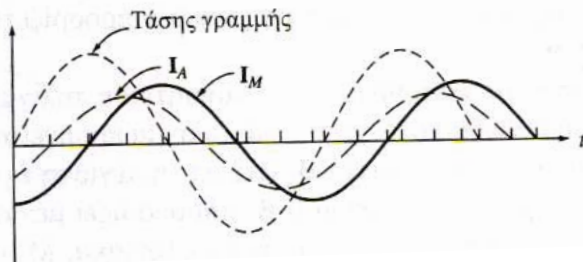
## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

### Εκκίνηση με βοηθητικό τύλιγμα

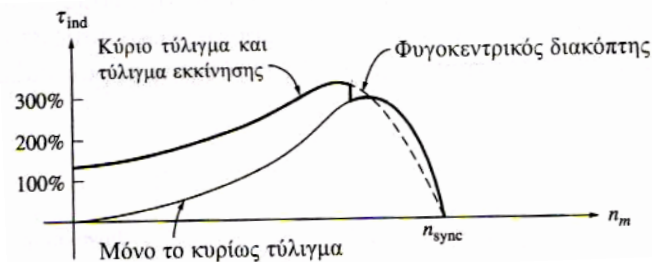


**ΣΧΗΜΑ 10-14** (α) Ένας επαγωγικός κινητήρας διαχωρισμένων τυλιγμάτων. (β) Τα ρεύματα στον κινητήρα κατά την εκκίνηση.

### Διαφορά φάσης ρευμάτων βοηθητικού και κύριου τυλιγματος

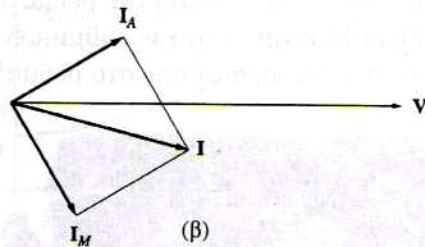
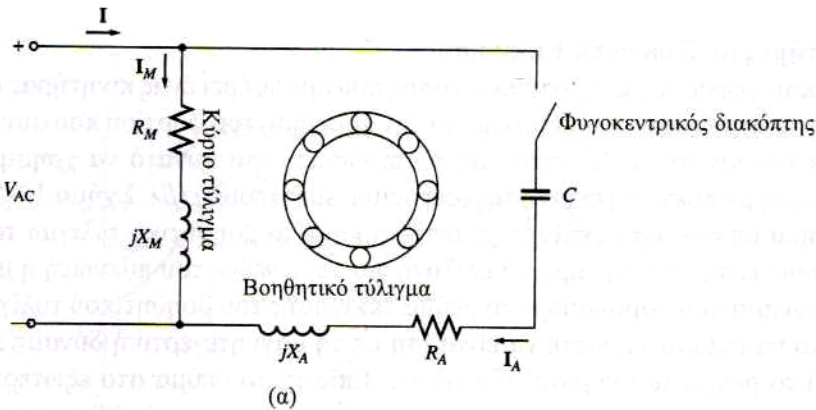


### Καμπύλη ροπής ταχύτητας

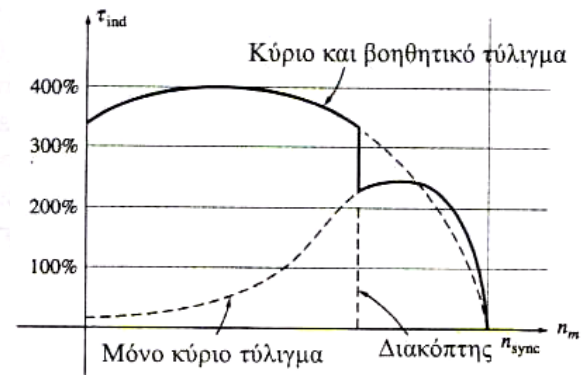


## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

### Εκκίνηση με πυκνωτή



### Καμπύλη ροπής ταχύτητας

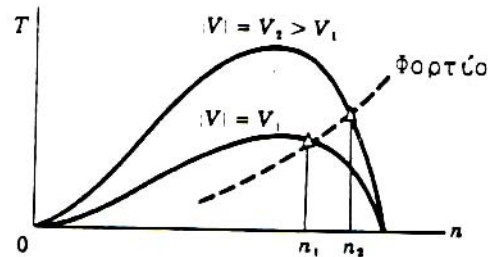


**ΣΧΗΜΑ 10-17** (α) Ένας επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης. (β) Οι φάσεις των ρευμάτων κατά την εκκίνηση του κινητήρα.

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

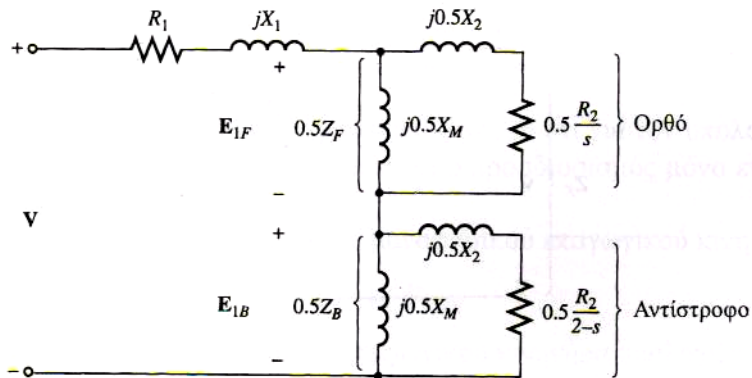
Διαθέσιμες τεχνικές μεταβολής ταχύτητας σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού:

1. Μεταβολή συχνότητας στο στάτη
2. Μεταβολή αριθμού των πόλων
3. Μεταβολή τροφοδοσίας



Σχ. 5.17. Μεταβολή ταχύτητας μέσω τάσης τροφοδοσίας.

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



**ΣΧΗΜΑ 10-28** Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα που περιστρέφεται με ενεργοποιημένο μόνο το κύριο τύλιγμά του.

$$Z_F = R_F + jX_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{(R_2/s + jX_2) + jX_M}$$

$$Z_B = R_B + jX_B = \frac{[R_2/(2-s) + jX_2](jX_M)}{[R_2/(2-s) + jX_2] + jX_M}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

**Παράδειγμα 10-1.** Ένας επαγωγικός κινητήρας με διαχωρισμένα τυλίγματα έχει έξι πόλους και παρουσιάζει ονομαστική ισχύ, τάση και συχνότητα 1/3 hp, 110 V και 60 Hz, αντίστοιχα. Τα στοιχεία του κινητήρα έχουν τις ακόλουθες τιμές:

$$R_1 = 1,52 \Omega \quad X_1 = 2,10 \Omega \quad X_M = 58,2 \Omega \quad R_2 = 3,13 \Omega \quad X_2 = 1,56 \Omega$$

Η τιμή των απωλειών πυρήνα στον κινητήρα είναι 35 W, ενώ οι απώλειες τριβών, εξαερισμού και οι κατανεμημένες απώλειες είναι 16 W. Ο κινητήρας λειτουργεί με την ονομαστική του τάση και συχνότητα και με το τυλίγμα εκκίνησης ανοιχτό, καθώς η ολίσθησή του είναι 5%. Σ' αυτές τις συνθήκες να υπολογιστούν οι παρακάτω ποσότητες για τον κινητήρα:  $n_m$ ,  $I$ ,  $\Sigma.I.$ ,  $P_{in}$ ,  $P_{AG}$ ,  $P_{conv}$ ,  $T_{ind}$ ,  $P_{out}$ ,  $T_{load}$ ,  $\eta$

$$n_s = 120f/p = 1200 \text{rpm}$$

$$n_m = (1-s)n_s = 1140 \text{rpm}$$

$$Z_F = R_F + jX_F = \frac{(R_2/s + jX_2)(jX_M)}{(R_2/s + jX_2) + jX_M} = 25.4 + j30.7 \Omega$$

$$Z_B = R_B + jX_B = \frac{[R_2/(2-s) + jX_2](jX_M)}{[R_2/(2-s) + jX_2] + jX_M} = 1.51 + j1.56 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0,5Z_F + 0,5Z_B} = 4.66e^{-j50.6}$$

$$\Sigma.I. = \cos(-50.6) = 0.635$$

$$P_{in} = V I \cos\theta = 325 \text{W}$$

$$P_{AG} = I^2 0.5(R_F - R_B) = 259.4 \text{W}$$

$$P_{conv} = (1-s)P_{AG} = 246 \text{W}$$

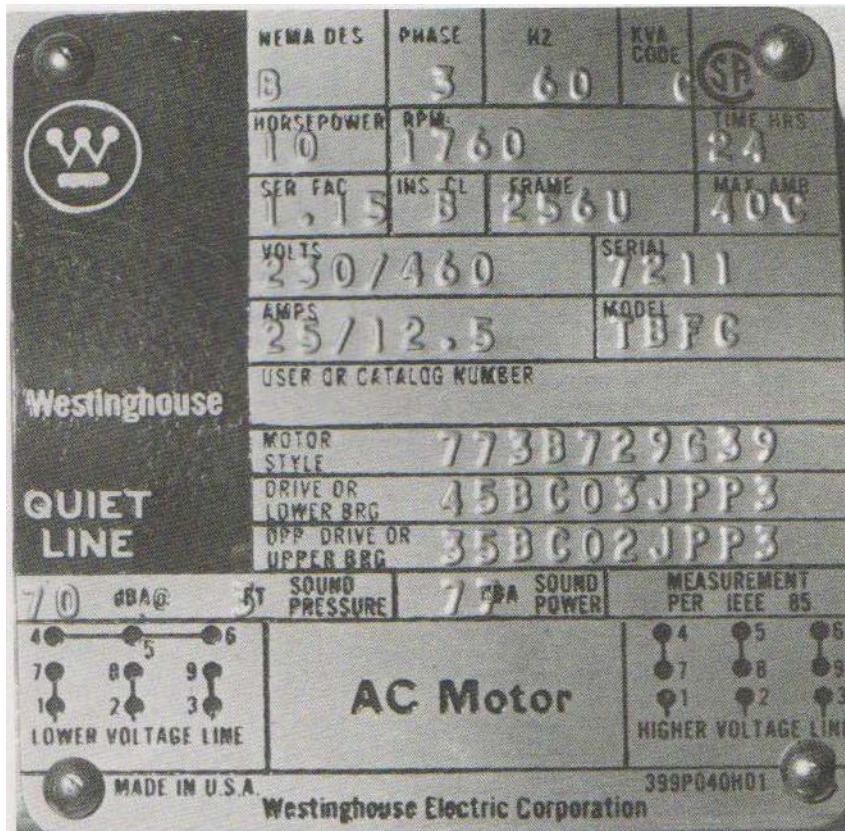
$$T_{ind} = P_{AG}/\omega_s = 2.06 \text{Nm}$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_c - P_m - P_s = 195 \text{W}$$

$$T_{load} = P_{out}/\omega_m = 1.63 \text{Nm}$$

$$\eta = P_{out}/P_{in} = 60\%$$

## ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΠΙΝΑΚΙΔΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



**NEMA Design Category: A, B, C, D**  
(A, B, C →  $s < 5\%$ , D →  $s > 5\%$ )

**Phase: Number of phases (3 or 1)**

**Hz: Input electrical frequency**

**Code: locked rotor K.V.A code letter**  
(Code letter G: K.V.A/HP = 5.6-6.3)  
(10HP → 63K.V.A)

**Horsepower: Rated power at motor axis**

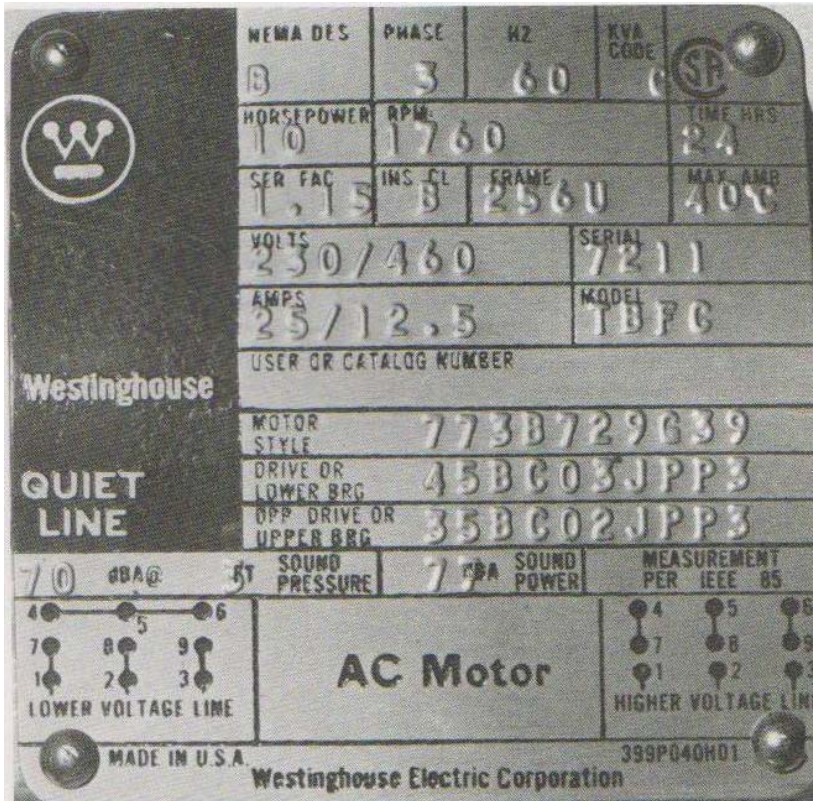
**RPM: Motor rated speed**

**Time Hrs: Period of operation at rated load without overheating**

**Service Factor: Overload factor**  
(1.15 → 1.15 x rated horsepower)

**Insulation Class: Insulation temperature class**  
(A → 105°C, B → 130°C, C → 220°C,  
E → 120°C, F → 155°C, H → 180°C)

## ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΠΙΝΑΚΙΔΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



**Frame:** Motor dimensional characteristics according to NEMA

**Max Amb.:** Max ambient temperature

**Volts:** Motor input line Voltage  
(230/460: Input for low/high voltage connection )

**Amperes:** Motor rated current per phase  
(25/12.5: rated current for low/high voltage connection)

**Serial:** production S/N

**Model:** Manufacturer Model

**Motor Style:** Manufacturer style code

**Drive or Lower bearing:** Drive bearing PN

**Opposite Drive or Upper bearing:** Upper bearing PN

**Sound pressure:** maximum produced noise (dbA)

## ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ

Fig. 3-81. A two-voltage star (wye) motor with groups connected in series for high-voltage operations.

Συνδεσμολογία για  
Υψηλή Τάση Εισόδου

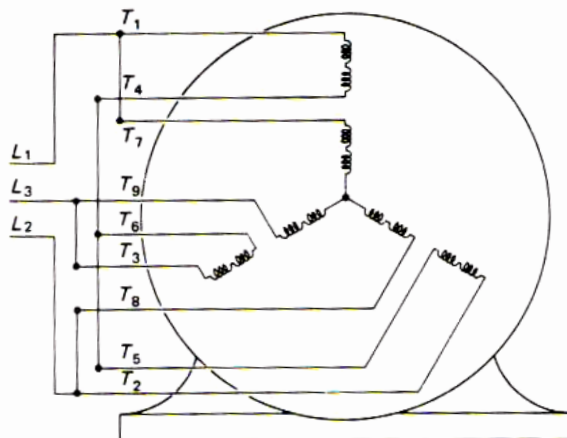
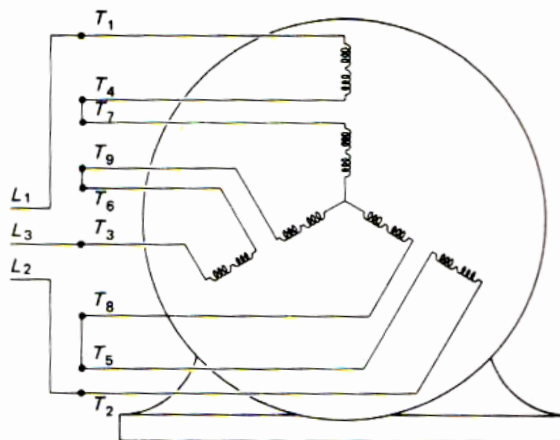


Fig. 3-82. A two-voltage star (wye) motor with groups connected in parallel for low voltage. The common connection of 4, 5, and 6 forms an external star.

Συνδεσμολογία για  
Χαμηλή Τάση Εισόδου