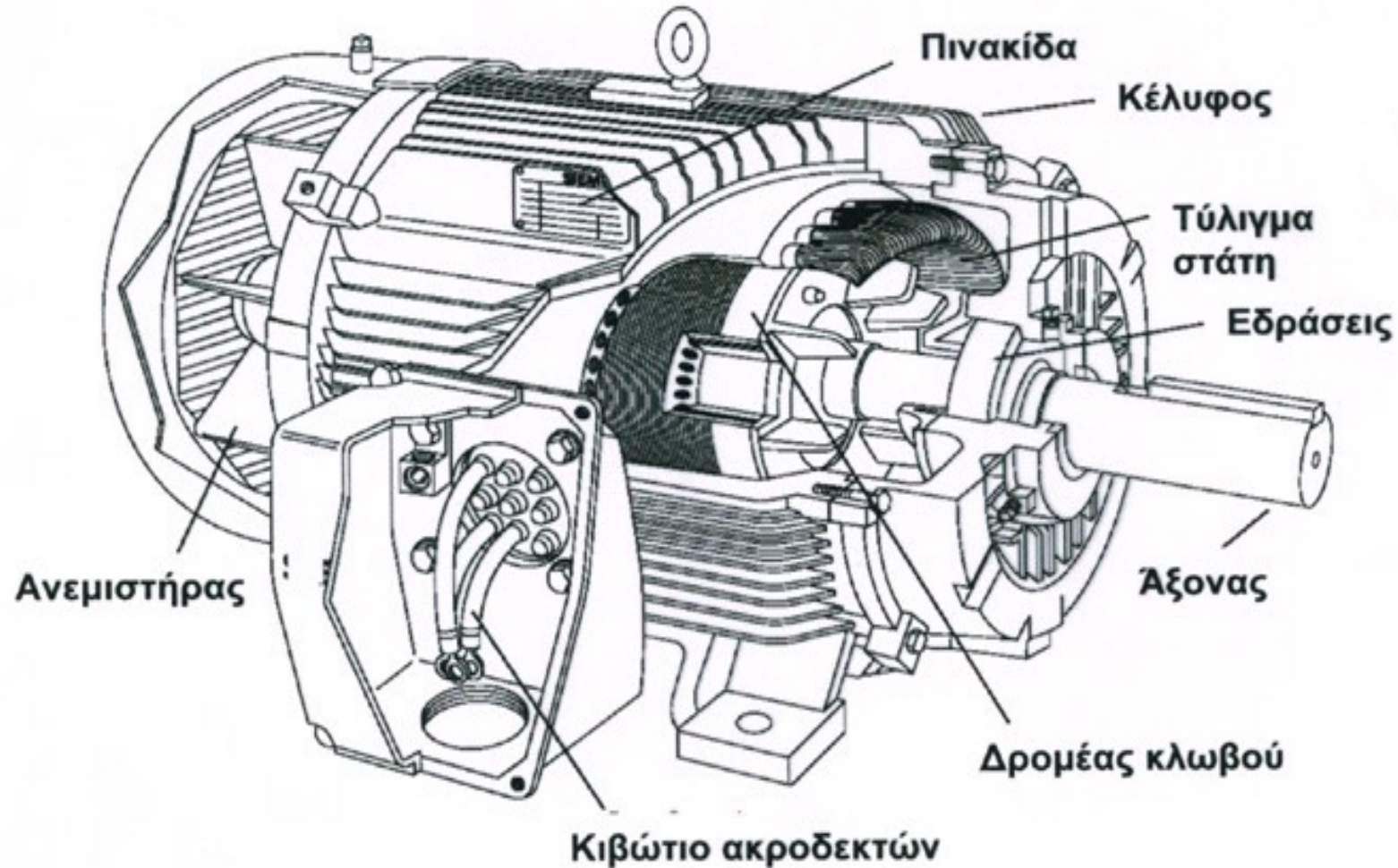


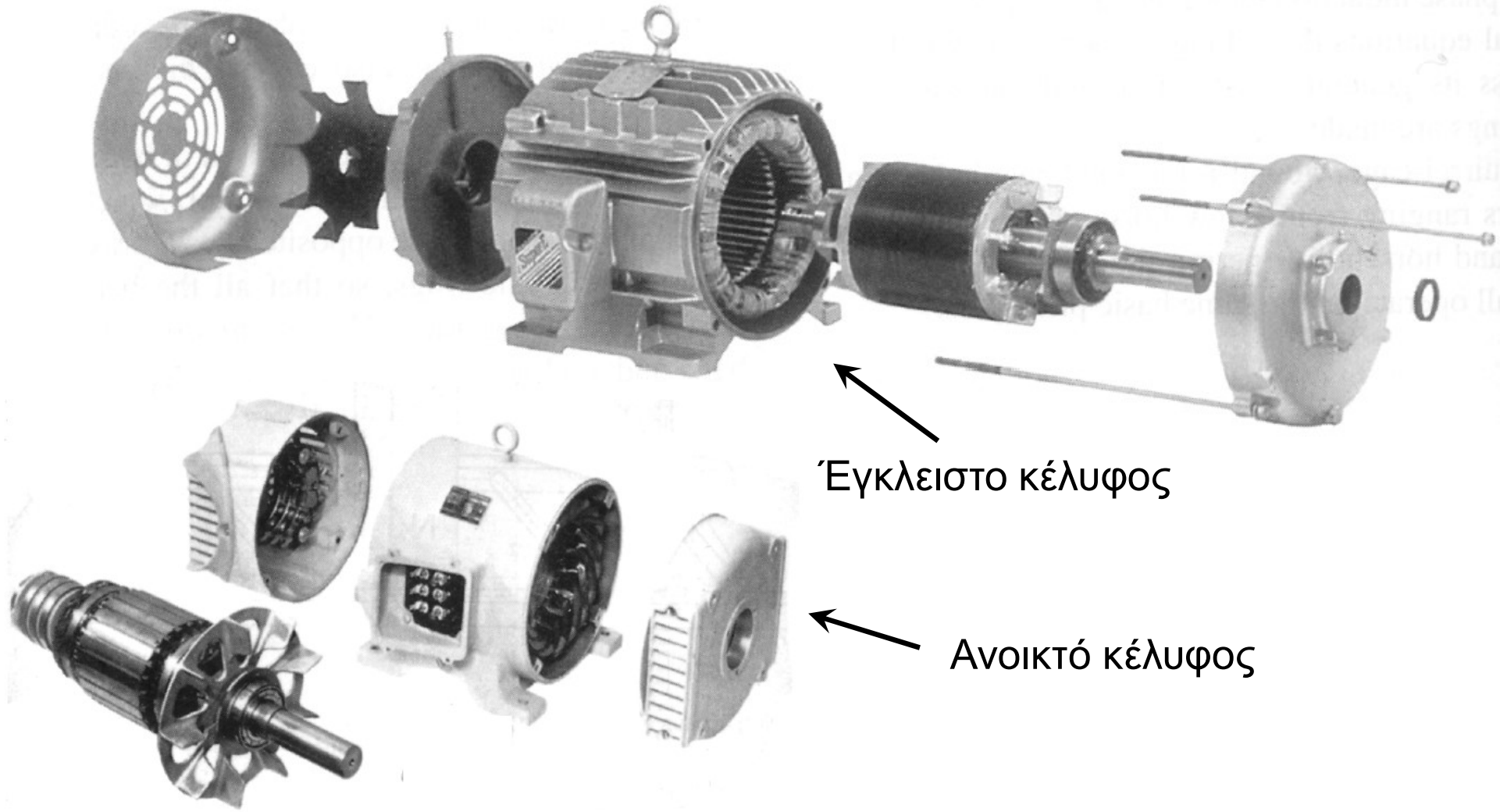


Τριφασικές Μηχανές Επαγωγής



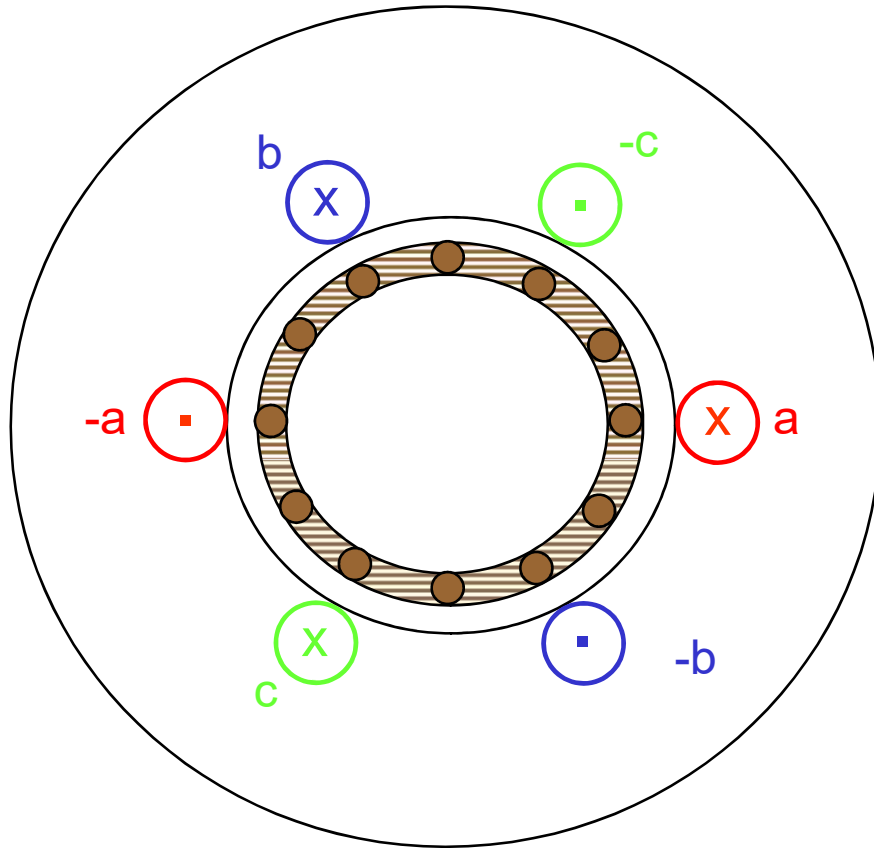


1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: διαμόρφωση κελύφους

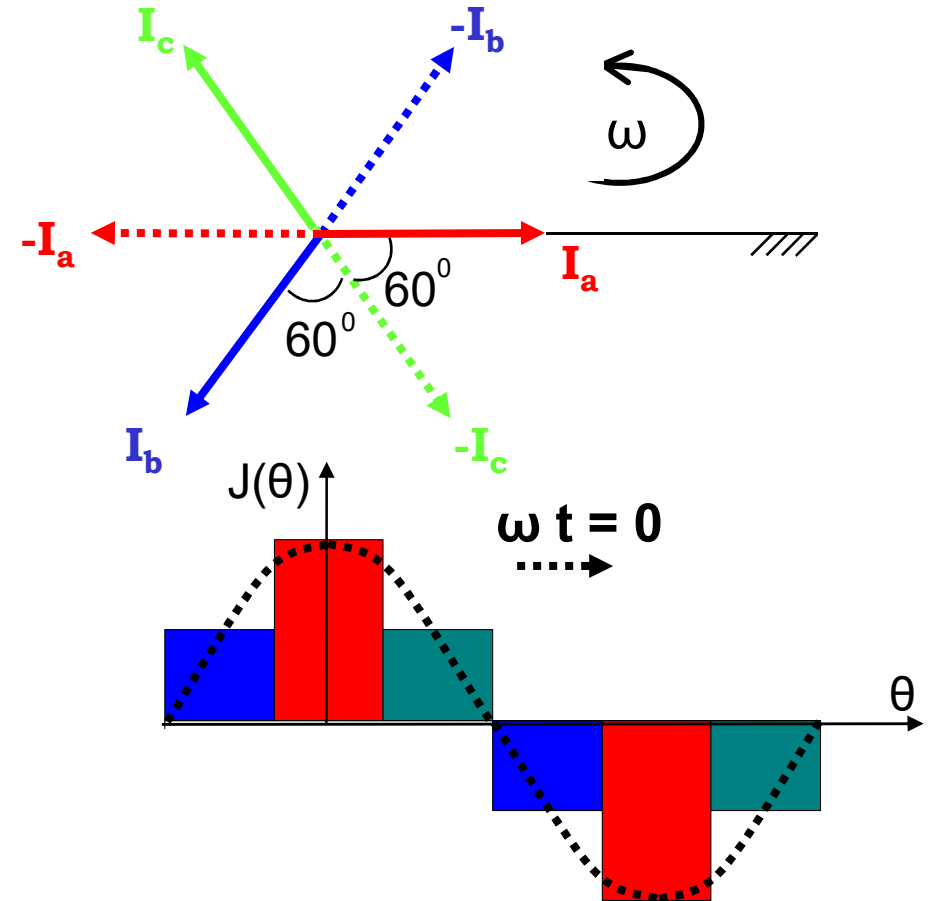




1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



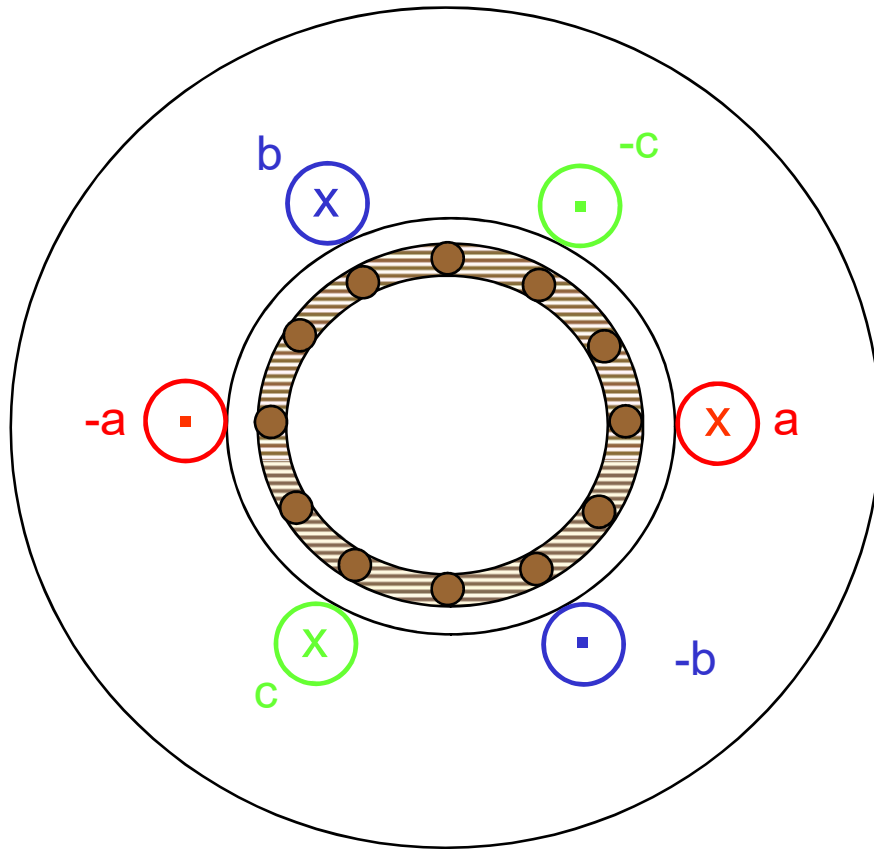
Τυλίγματα
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



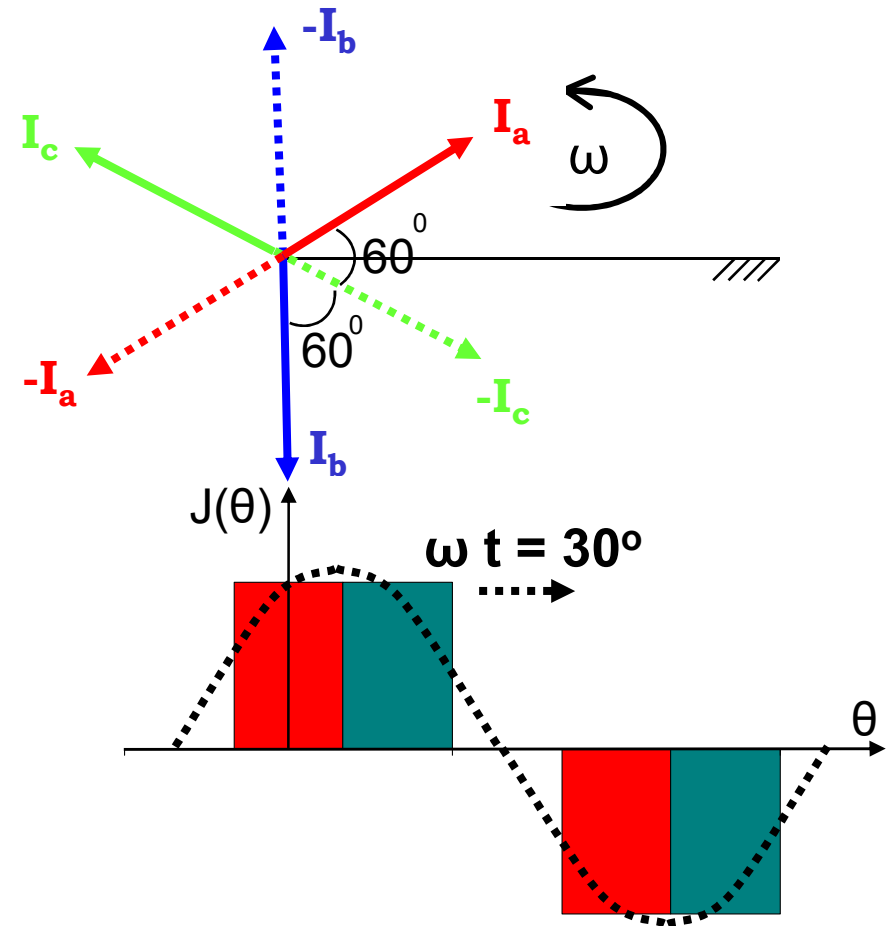
Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ
(θεμελιώδης και αρμονικές)



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



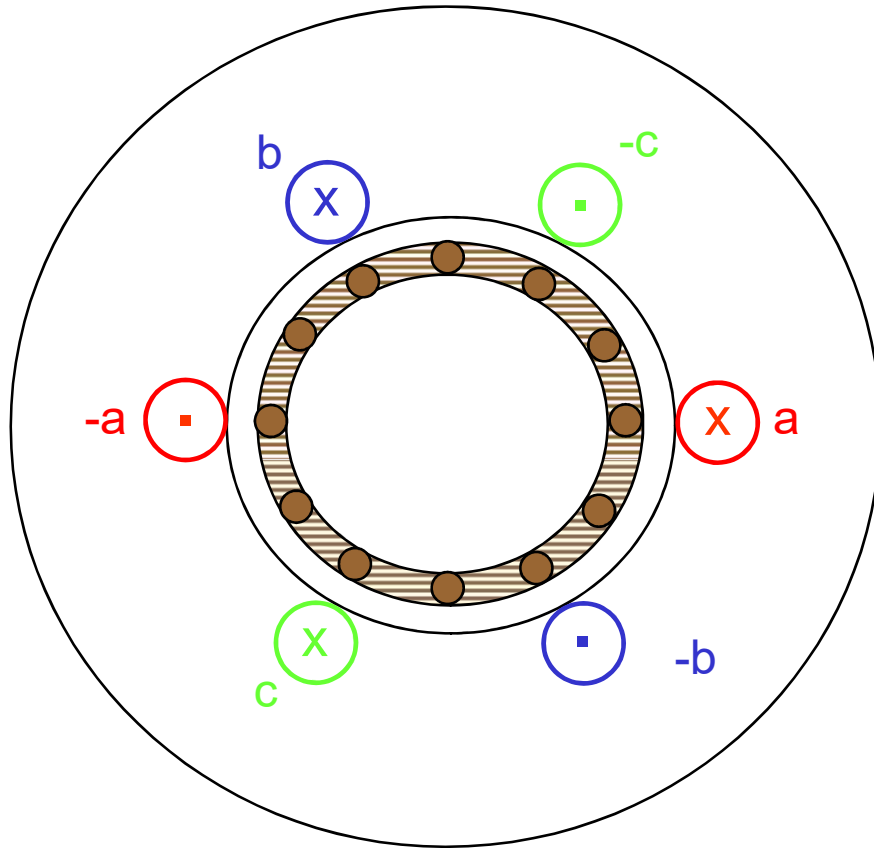
Τυλίγματα
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



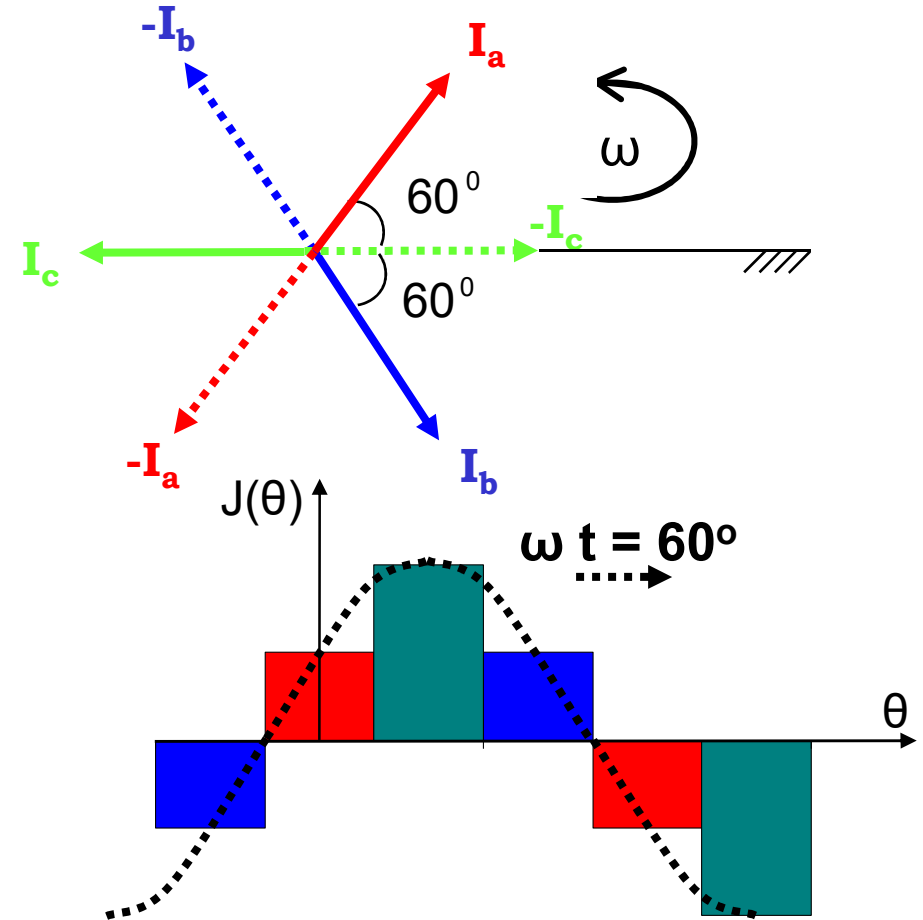
Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ
(θεμελιώδης και αρμονικές)



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



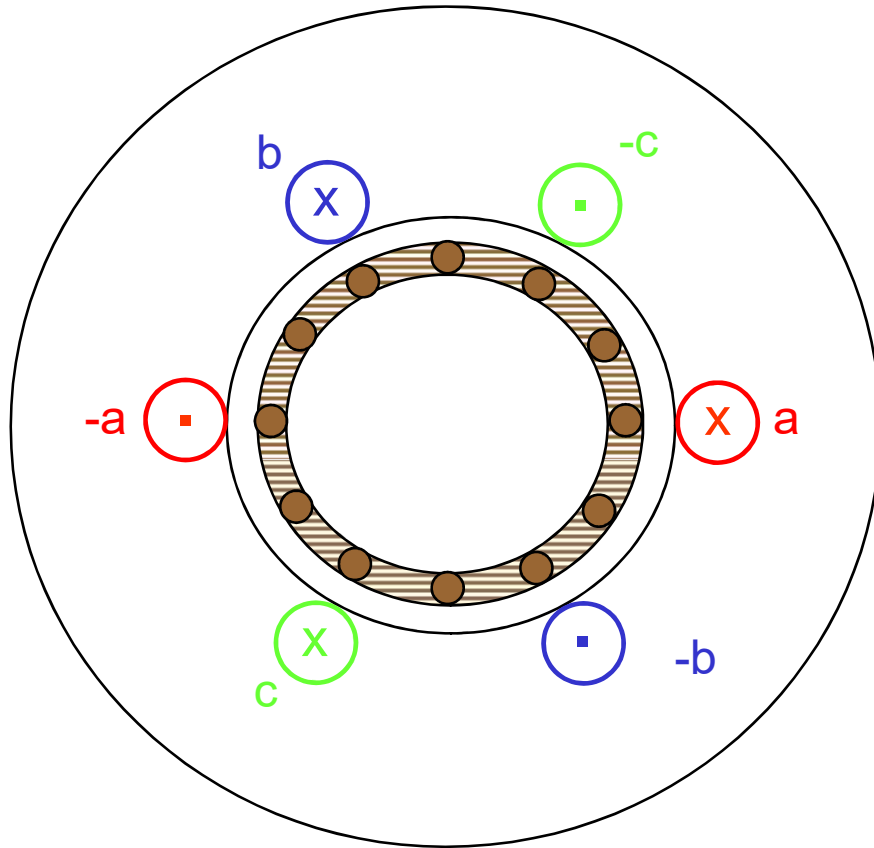
Τυλίγματα
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



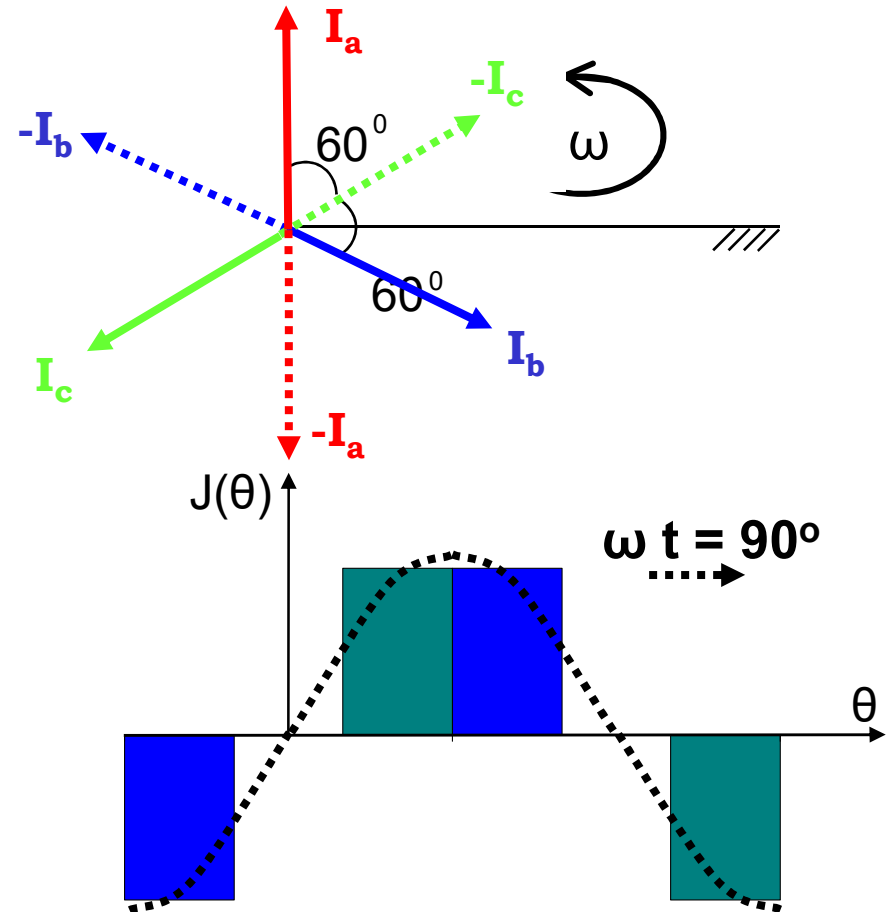
Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ
(θεμελιώδης και αρμονικές)



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Τυλίγματα
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ
(θεμελιώδης και αρμονικές)



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)

Μείωση ανώτερων αρμονικών τυλίγματος στάτη:

- Κατανομή αγωγών φάσεως σε περισσότερες αύλακες
- Τυλίγματα διπλής στρώσεως

Μείωση ανώτερων αρμονικών τυλίγματος δρομέα:

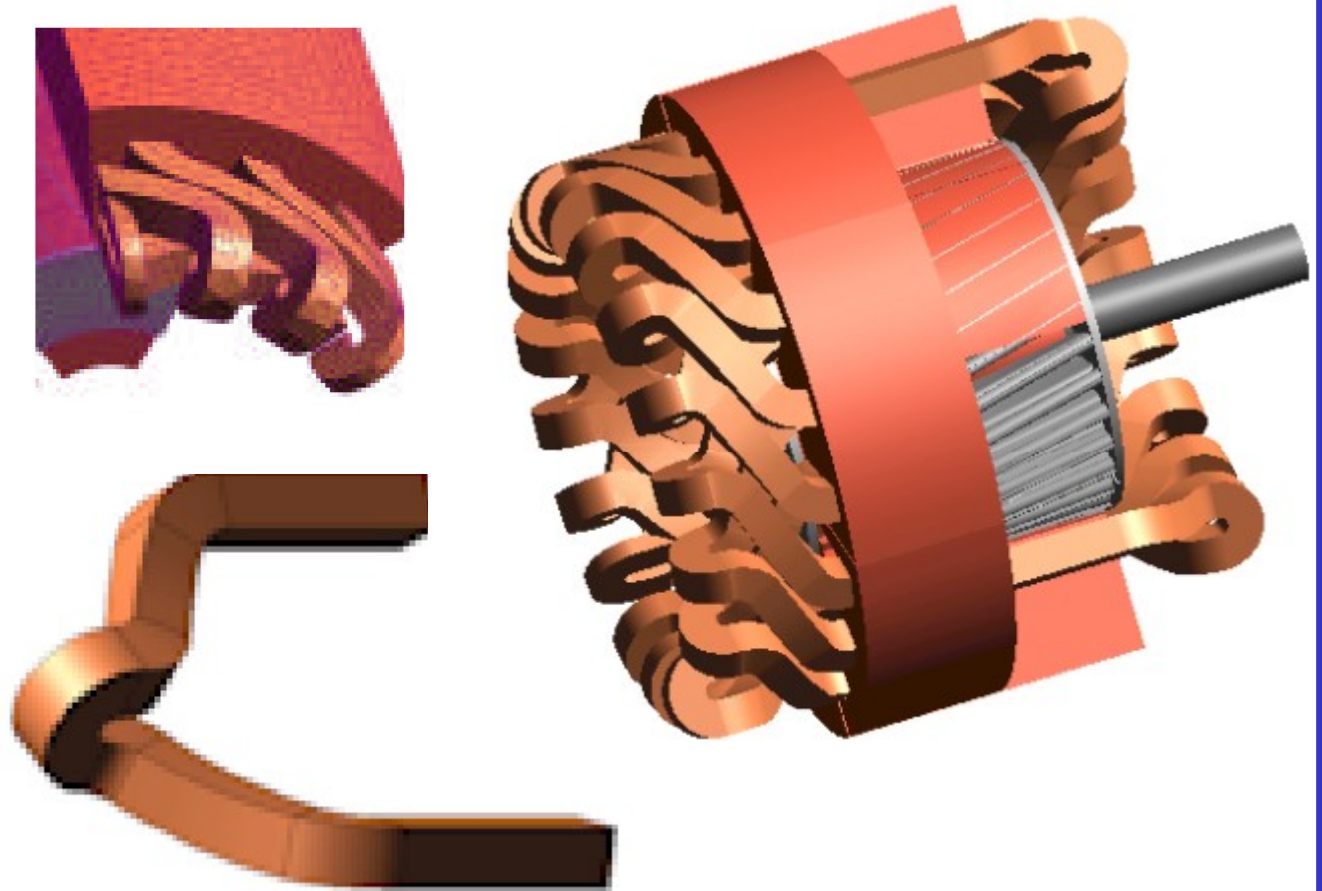
- Διαφορετικός αριθμός αυλάκων στάτη και δρομέα
- Κλίση αυλάκων δρομέα κατά βήμα αύλακος



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)

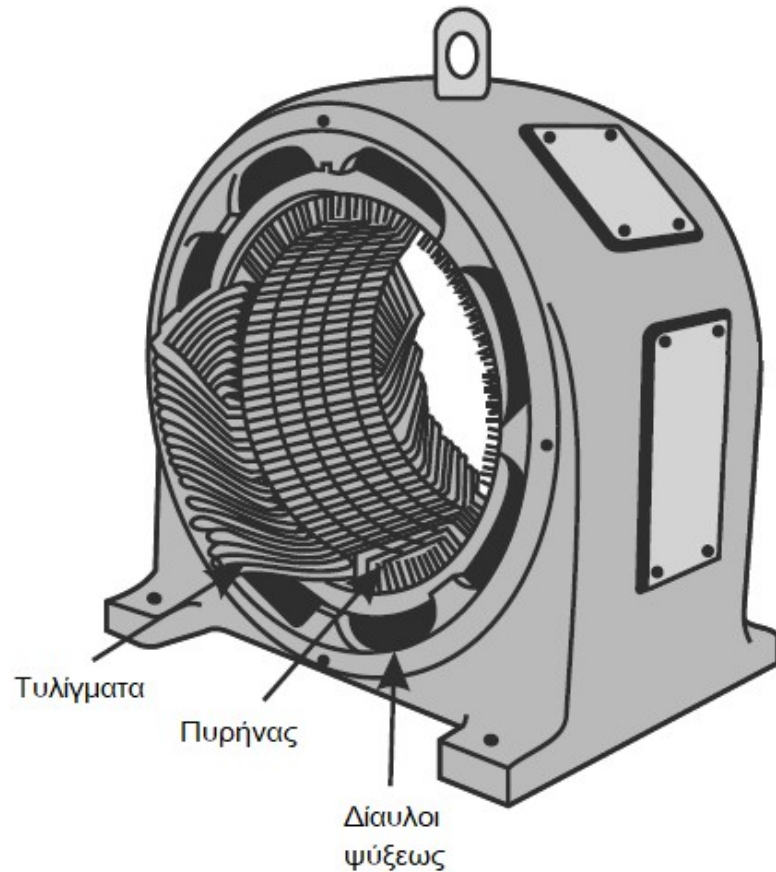


Πηνίο τυλίγματος διπλής στρώσεως



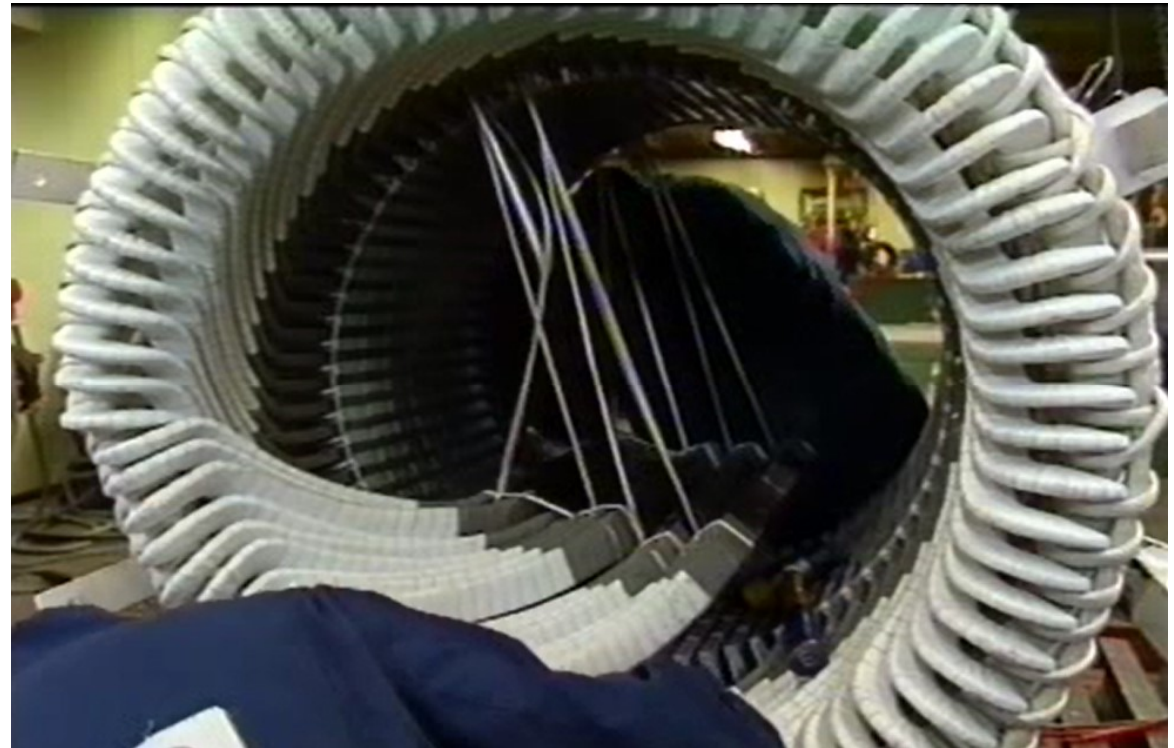
Διαμόρφωση τυλιγμάτων διπλής στρώσεως

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Διαμόρφωση στάτη

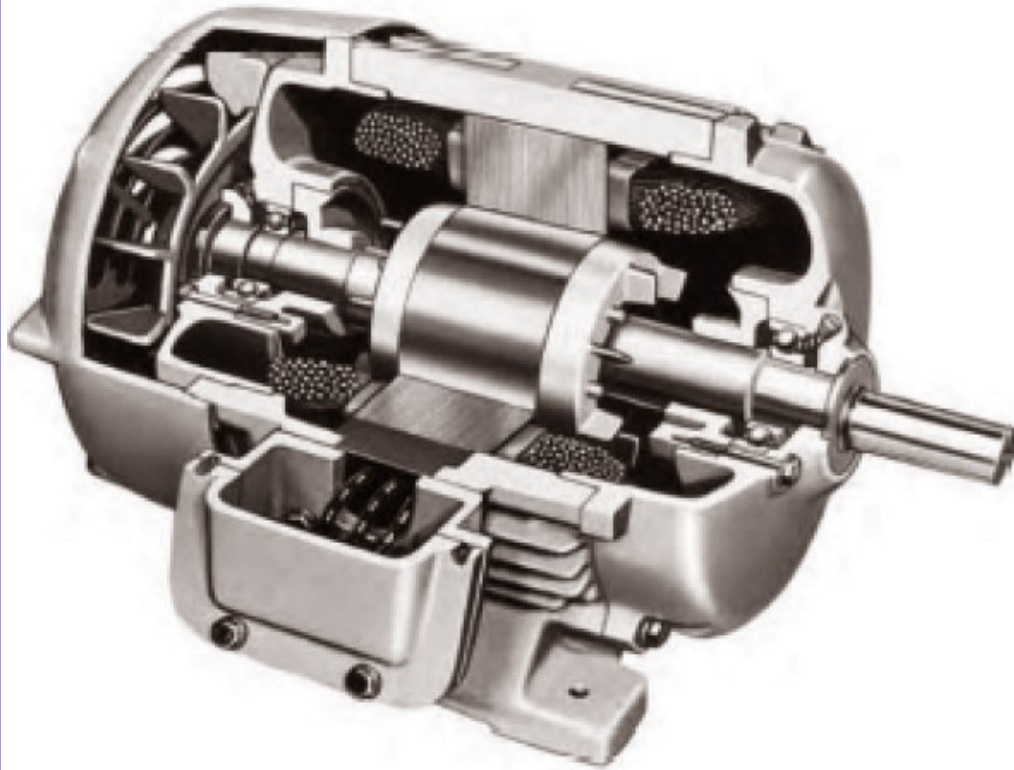
I_c



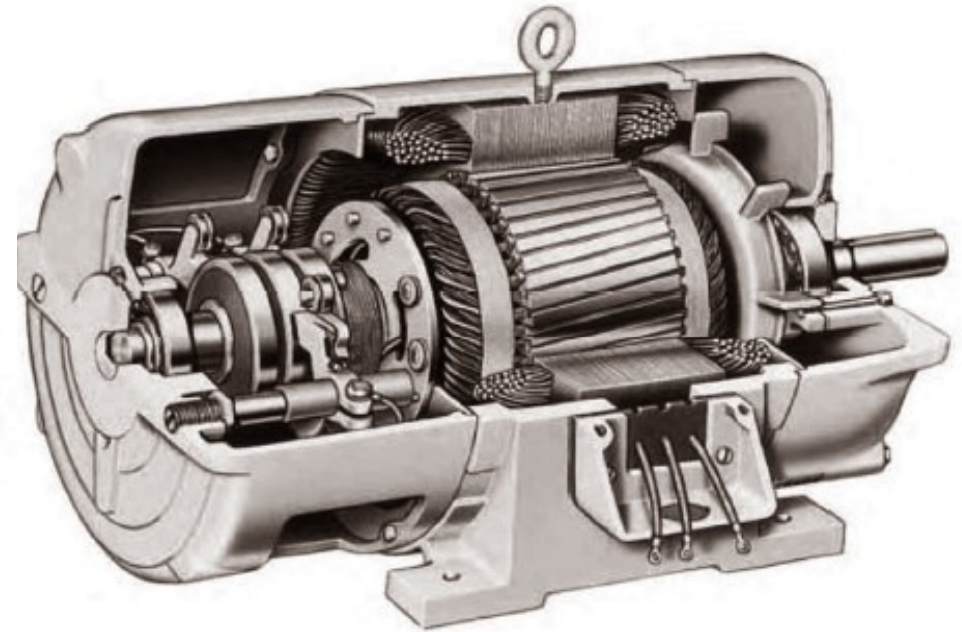
Τοποθέτηση τυλιγμάτων διπλής στρώσεως



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: δρομέας



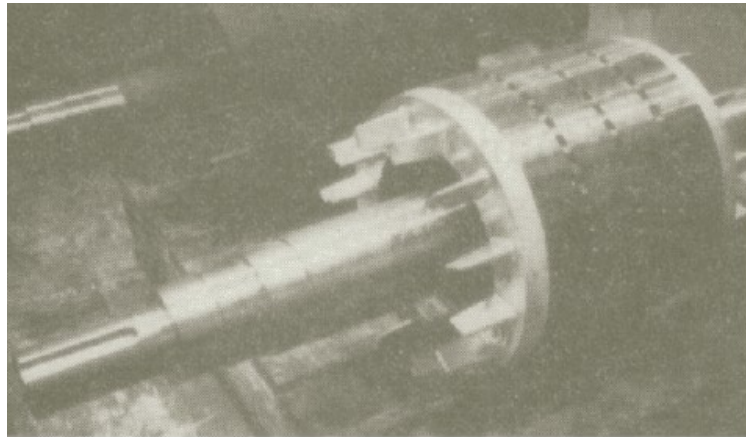
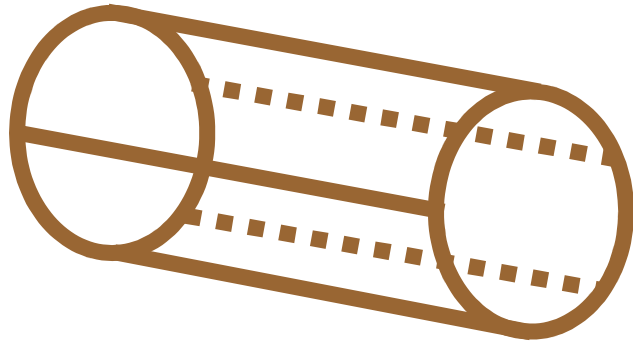
δρομέας κλωβού



τυλιγμένος δρομέας

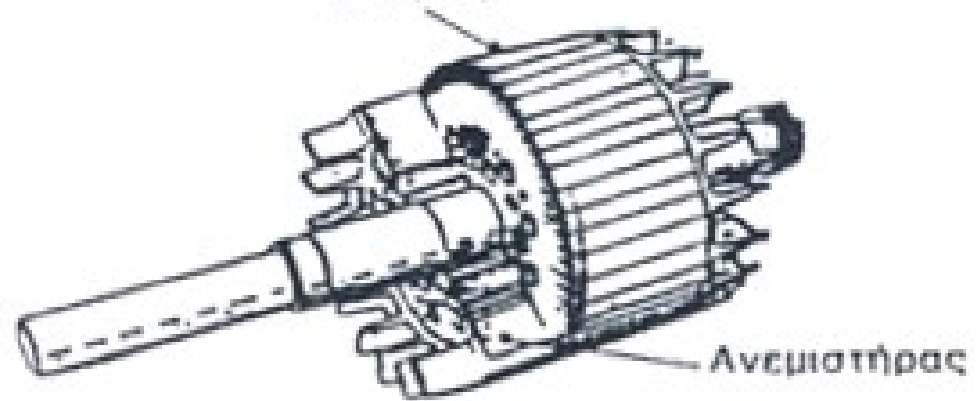
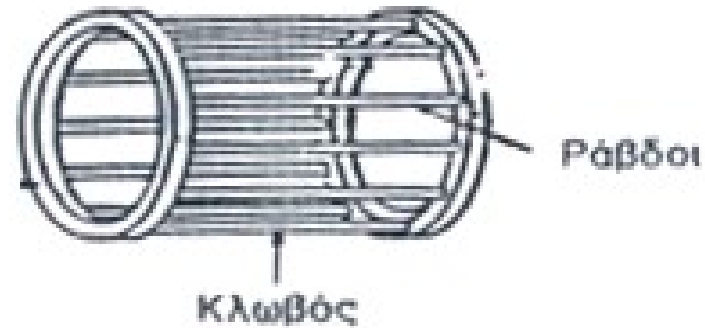


1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: δρομέας κλωβού



Κλωβός

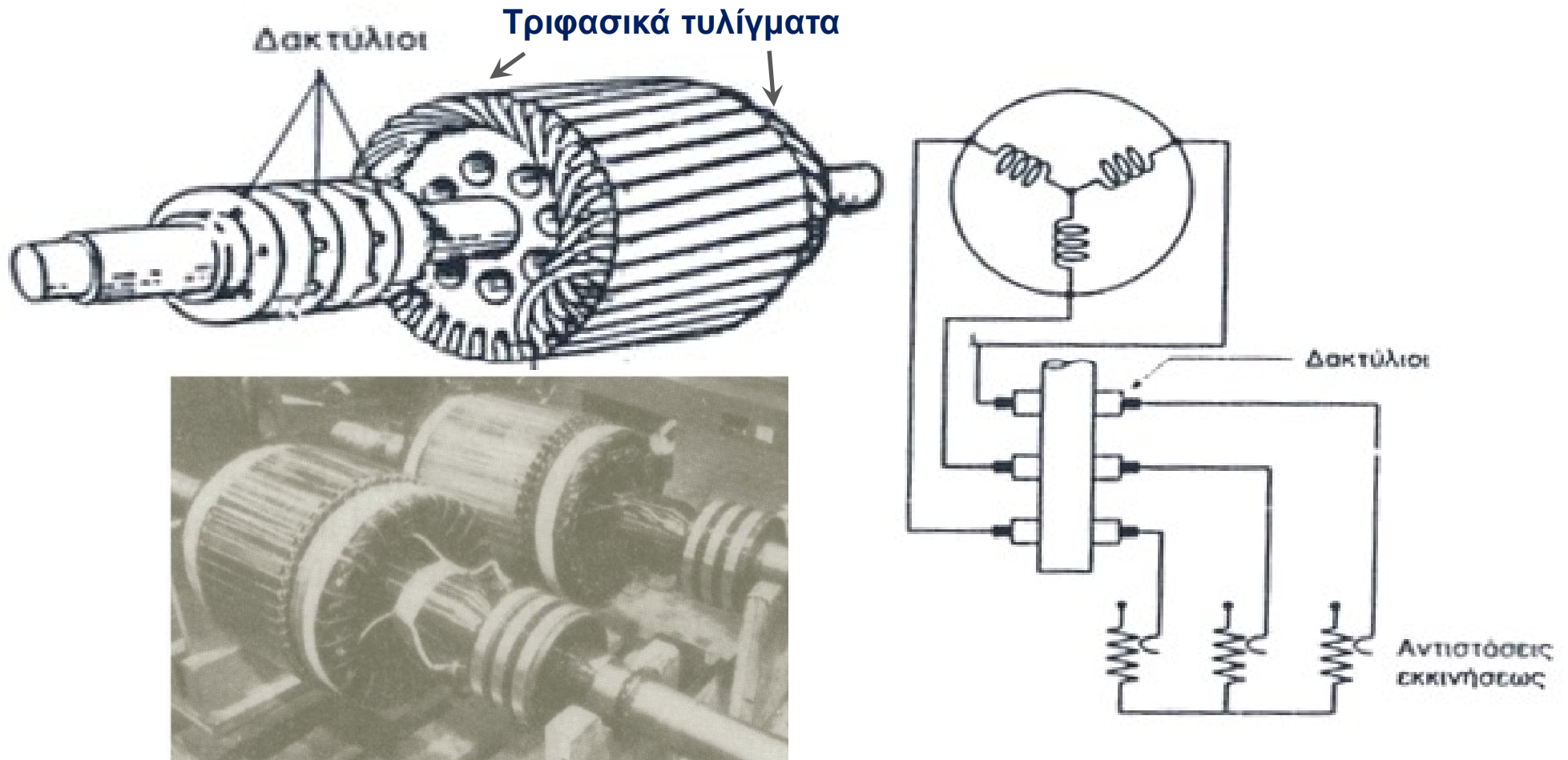
(Ράβδοι και δακτύλιοι βραχυκύκλωσης)



Υλικό Κλωβού

(χαλκός ή αλουμίνιο)

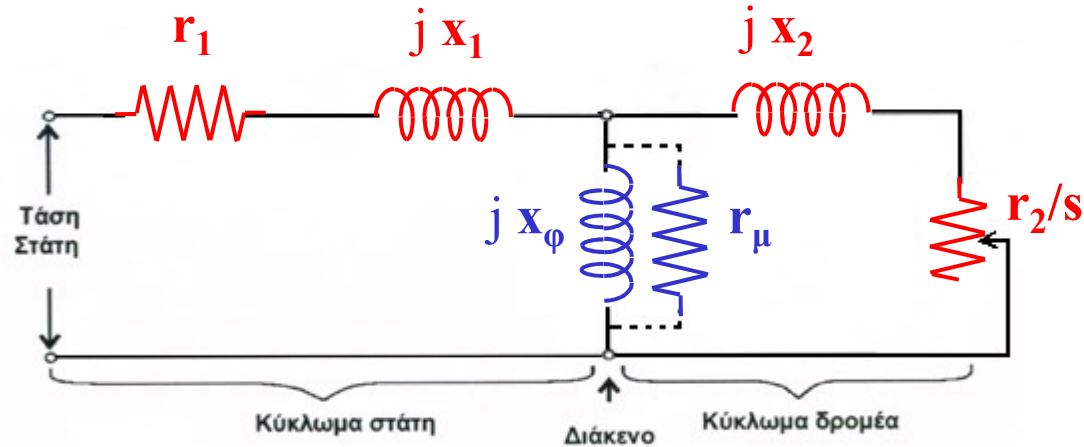
1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: τυλιγμένες δρομέας



Δακτύλιοι με ψήκτρες για σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων εκκινήσεως



2) Ισοδύναμο κύκλωμα (ανά φάση) : προσέγγιση θεμελιώδους συνιστώσας



Ολίσθηση Σύγχρονη ταχύτητα

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

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$

τυλίγματα, πυρήνας: $r_\mu \gg jx_\phi > jx_1, jx_2$

Ισχύς διακένου $P_\delta =$

$$3 \left(\frac{r_2}{s} \right) I_2^2$$

$$3 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2 I_2^2$$

Μηχανική ισχύς

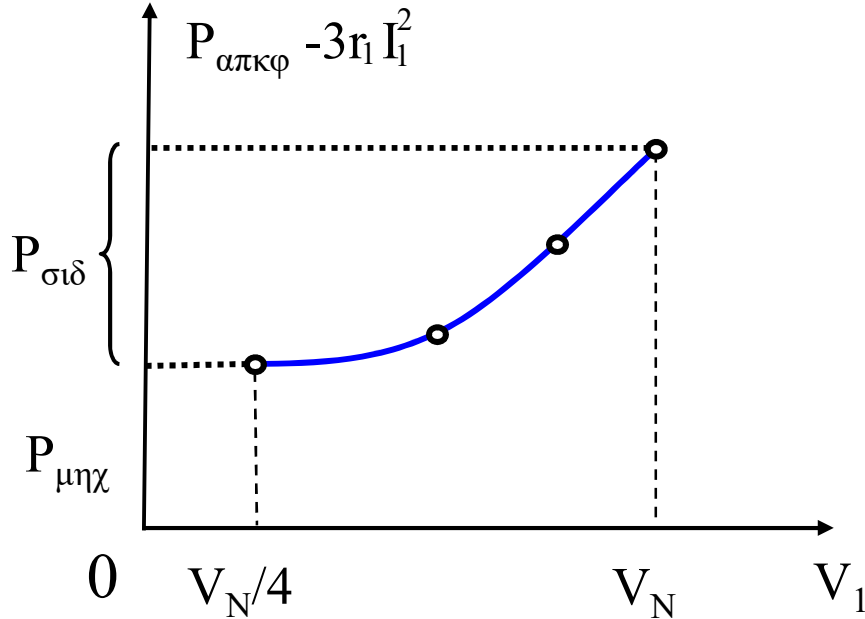
$$3 r_2 I_2^2$$

Απώλειες χαλκού δρομέα



3) Δοκιμές προσδιορισμού ισοδυνάμου κυκλώματος

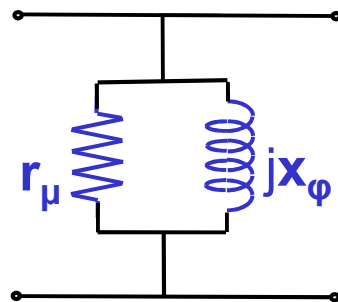
α) Κενού φορτίου



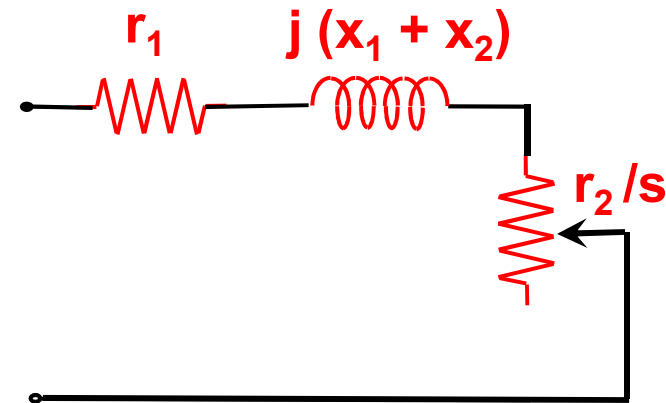
Προσδιορισμός r_μ , x_ϕ

$$V_1 = V_N$$

$$I_1 < I_N$$



β) Ακίνητοποιημένου δρομέα



$$V_1 < V_N$$

$$I_1 = I_N$$

Προσδιορισμός r_2 , x_1 , x_2

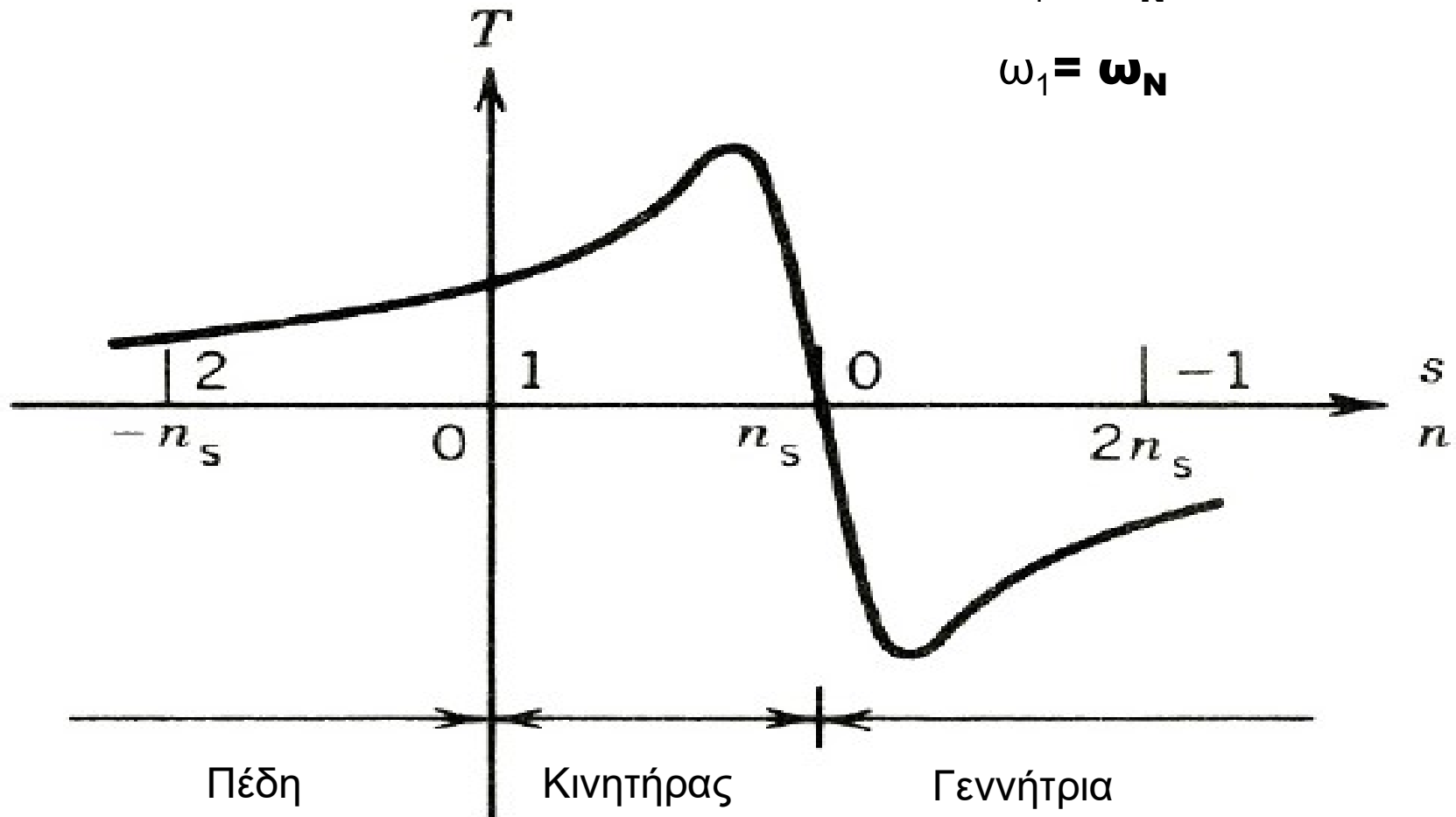


4) Χαρακτηριστικές λειτουργίας

α) Ροπής –στροφών (T- n)

$$V_1 = V_N$$

$$\omega_1 = \omega_N$$



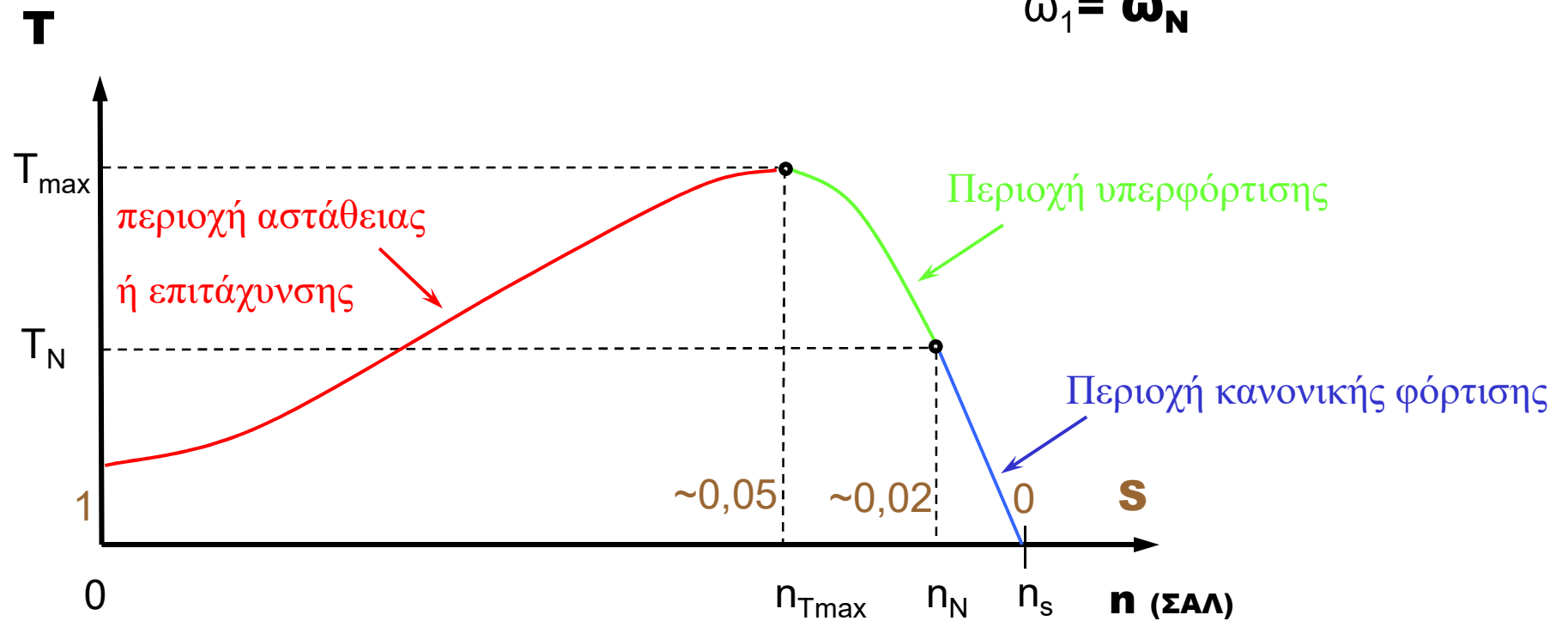


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

α) Ροπής –στροφών (T- n)

$$V_1 = V_N$$

$$\omega_1 = \omega_N$$





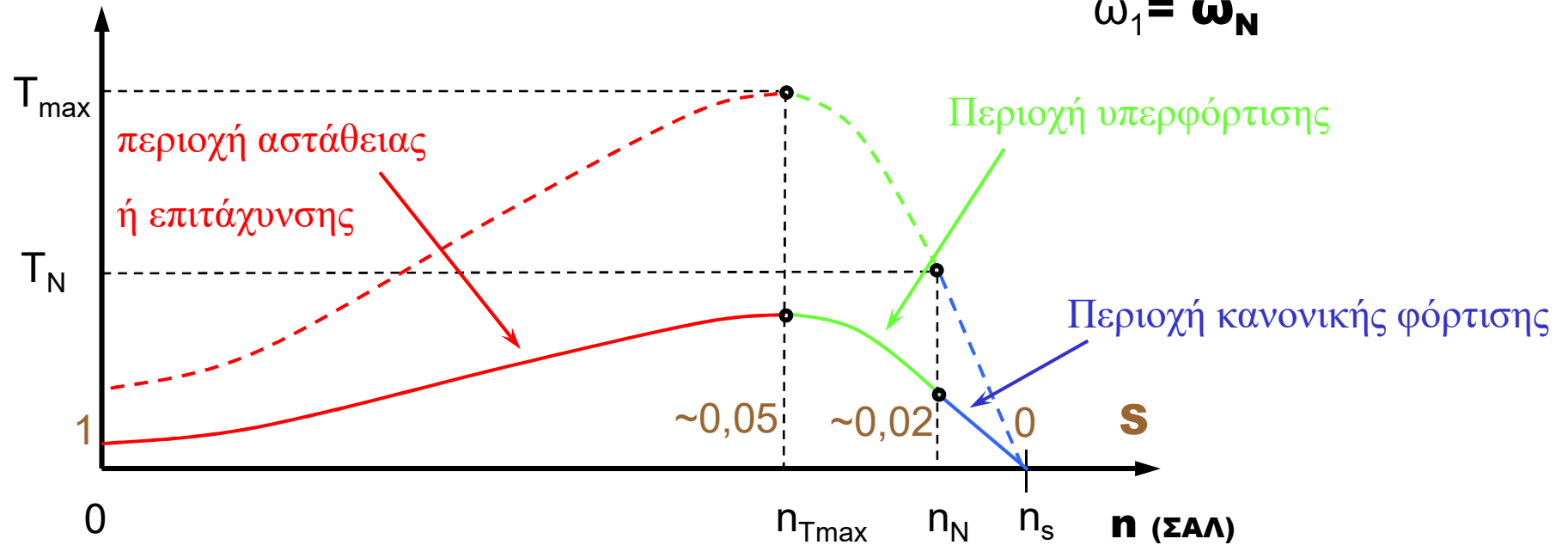
4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

α1) Ροπής –στροφών (T- n) με μειωμένη τάση

$$T \sim V_1^2$$

$$V_1 < V_N$$

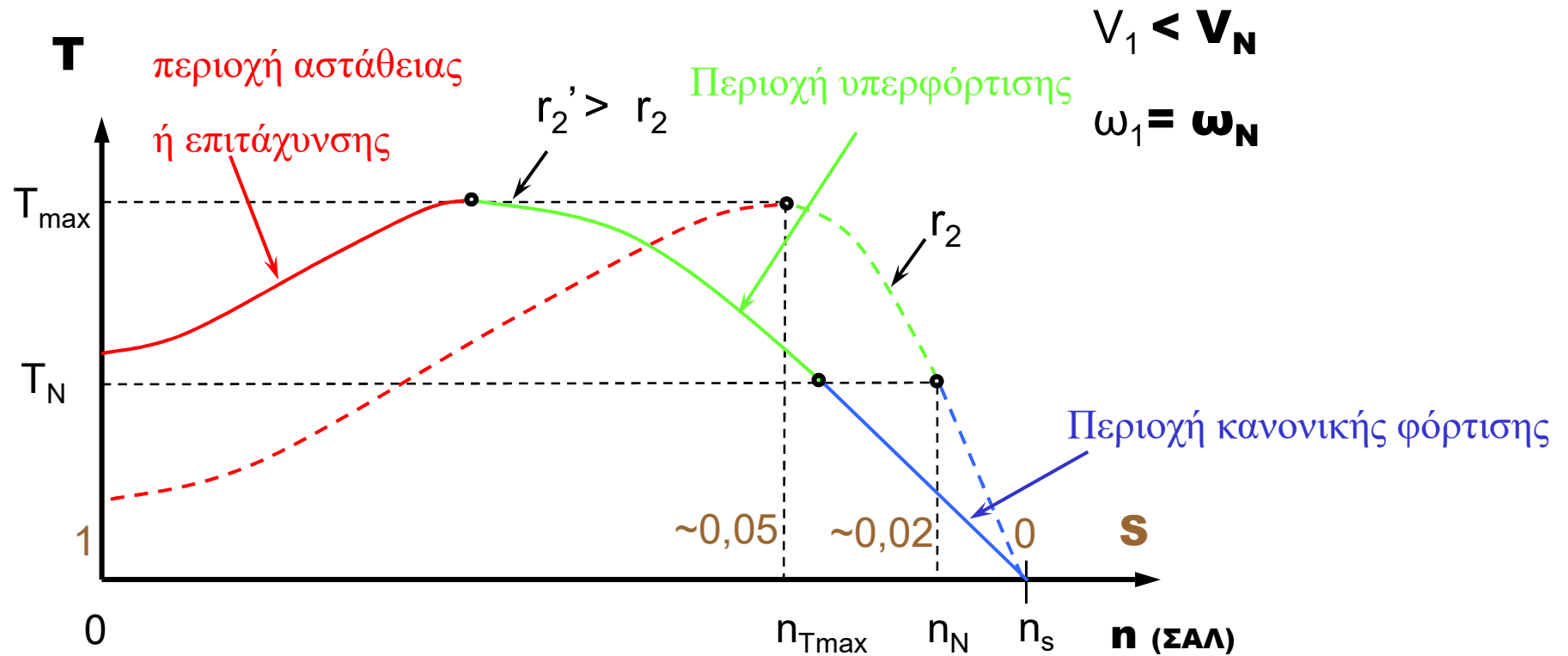
$$\omega_1 = \omega_N$$





4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

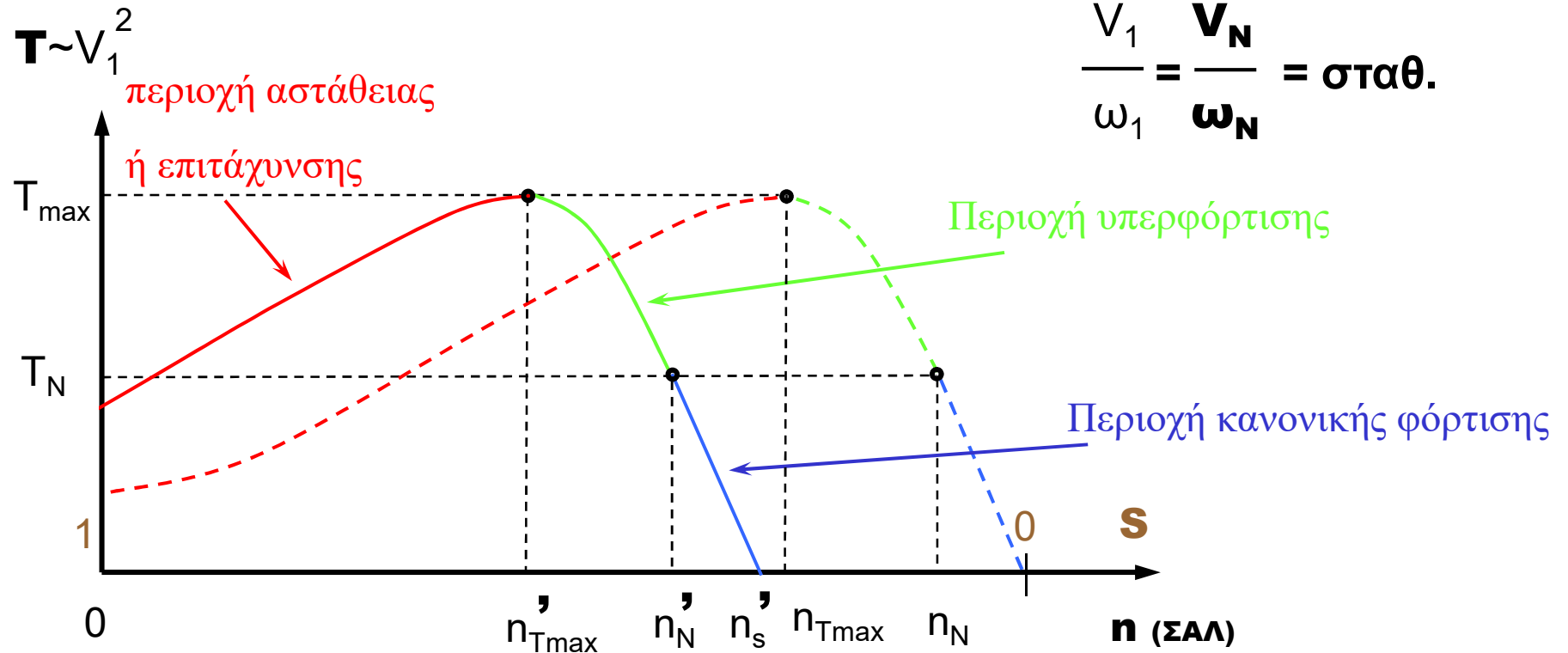
α2) Ροπής –στροφών (T- n) με σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο δρομέα





4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

α3) Ροπής –στροφών (T- n) με τροφοδοσία αντιστροφέα



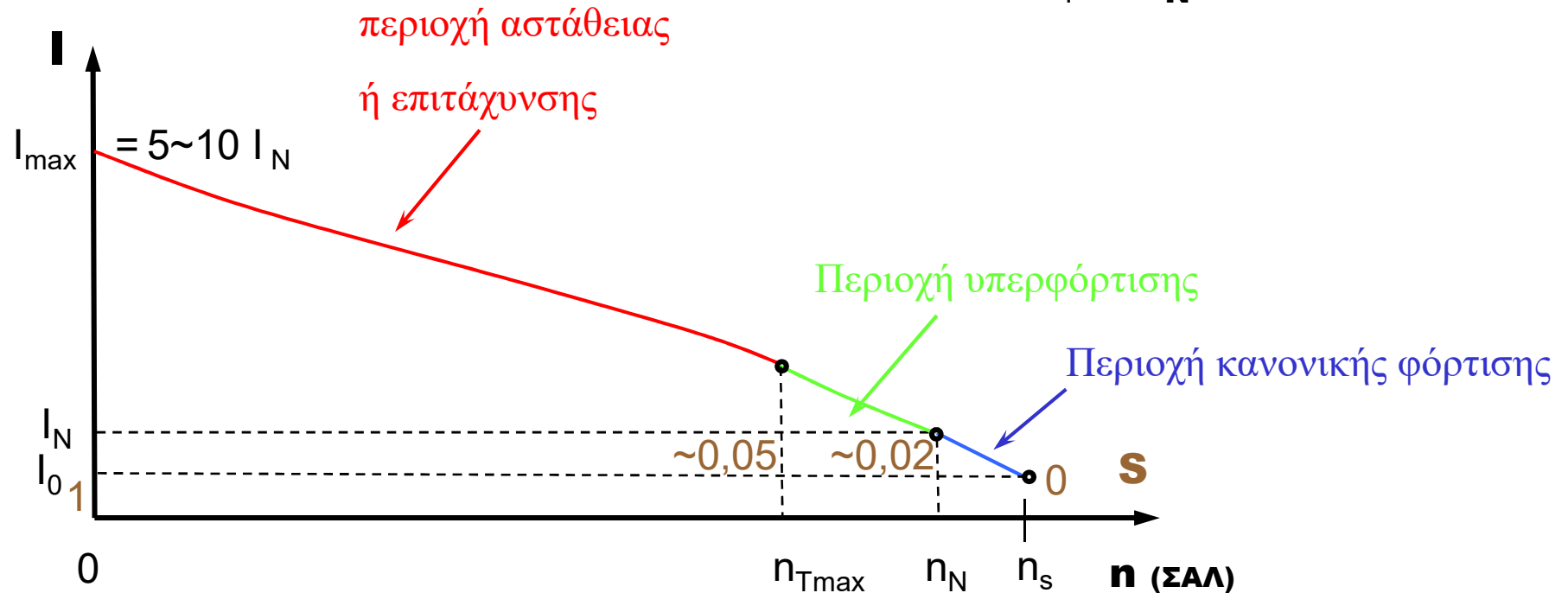


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

β) Ρεύματος –στροφών (I- n)

$$V_1 = V_N$$

$$\omega_1 = \omega_N$$



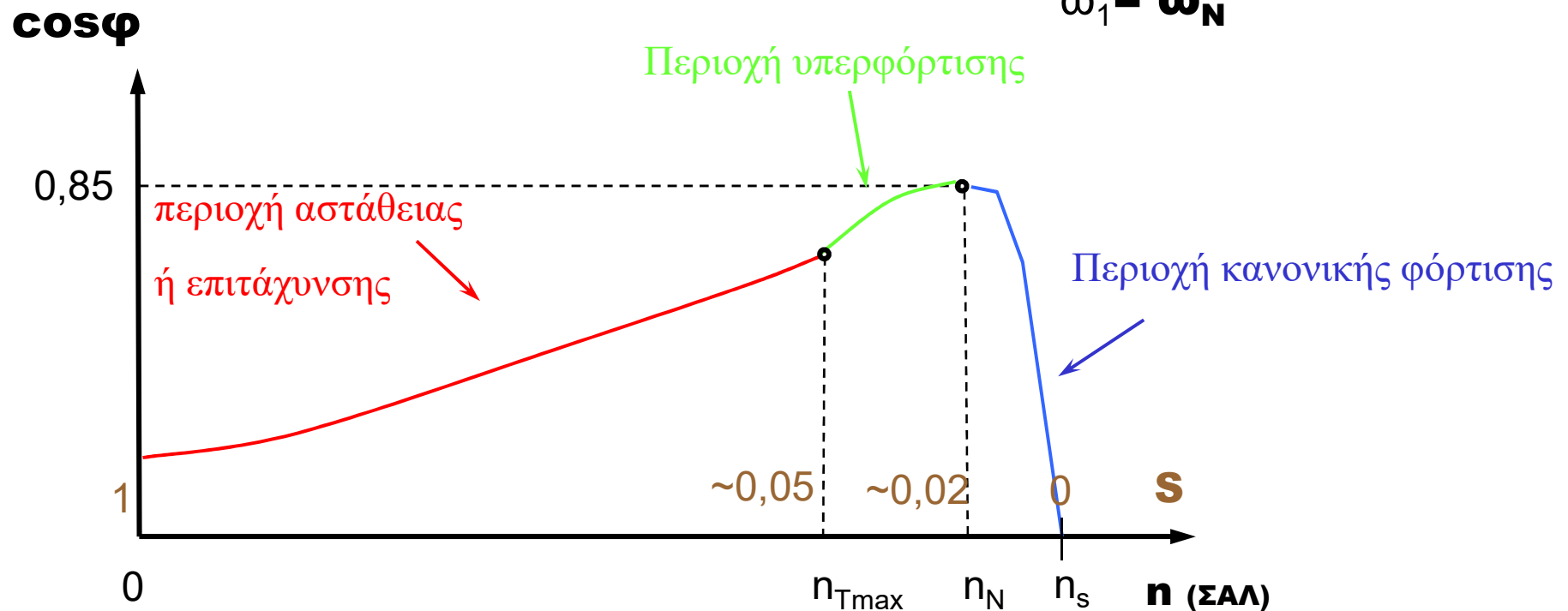


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

γ) Συντελεστή Ισχύος – στροφών ($\cos\phi - n$)

$$V_1 = V_N$$

$$\omega_1 = \omega_N$$



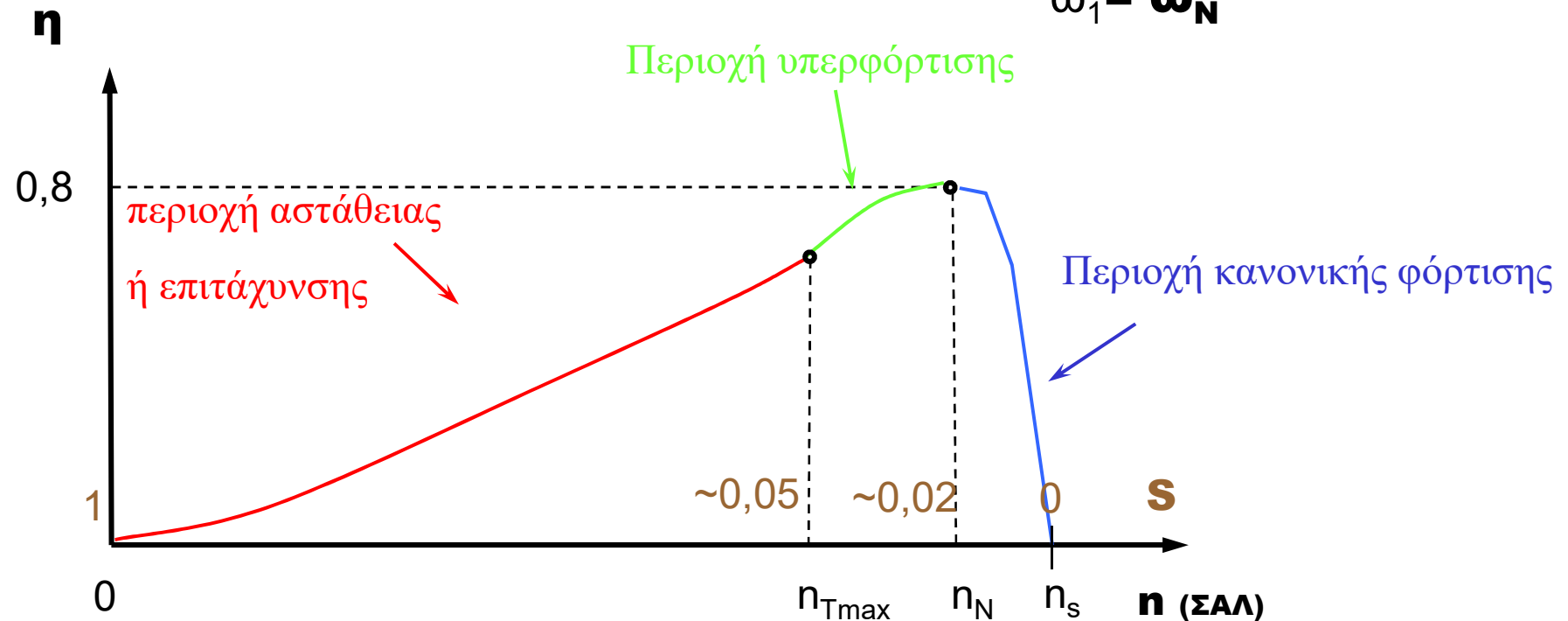


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

δ) Απόδοσης –στροφών ($\eta - n$)

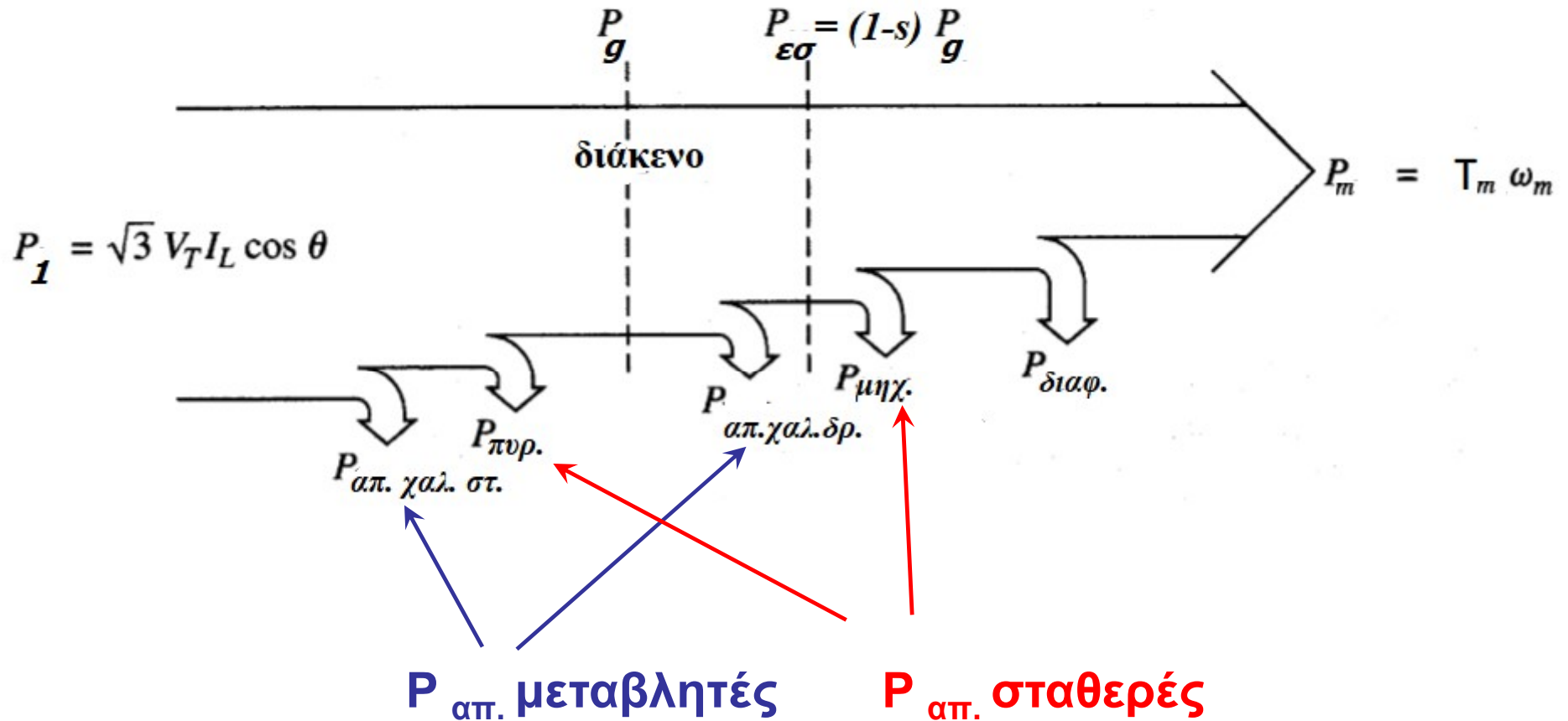
$$V_1 = V_N$$

$$\omega_1 = \omega_N$$





5) Ροή ισχύος κινητήρα (απώλειες και βαθμός απόδοσης)

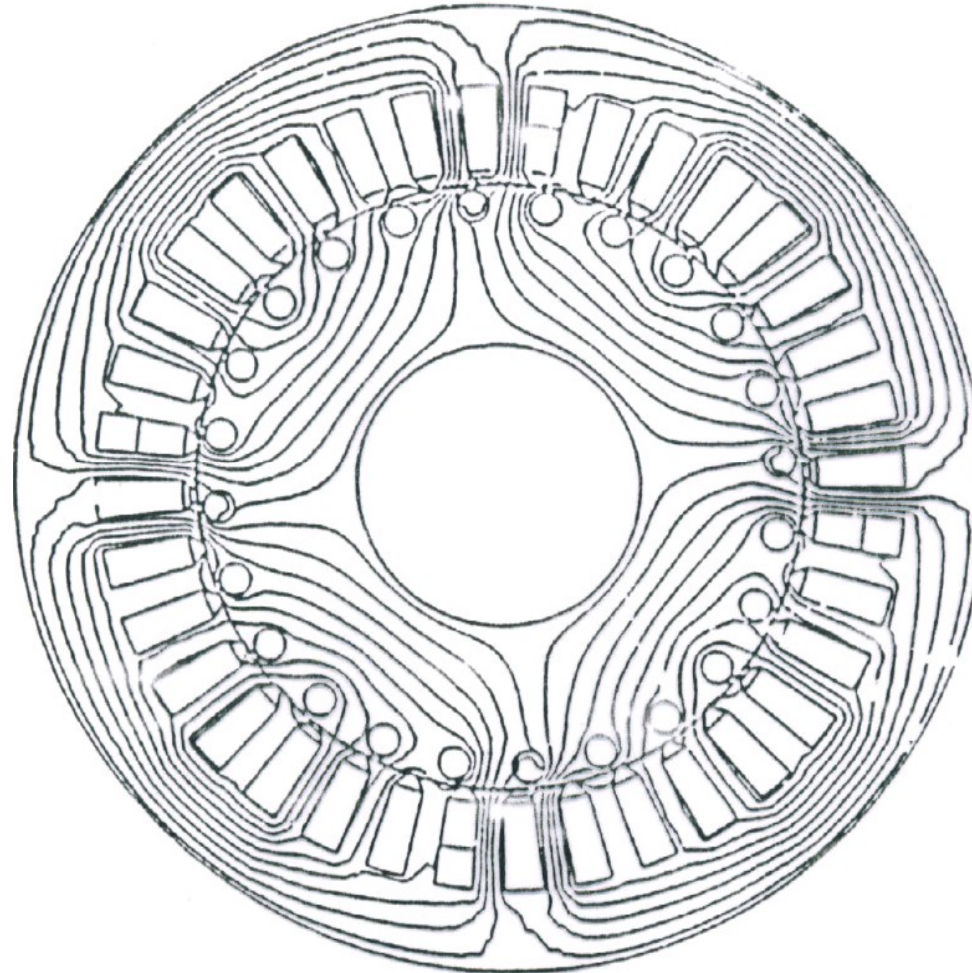


ΒΑ: $\eta = \frac{P_{\varepsilon\xi}}{P_{\varepsilon\xi} + \sum P_{\alpha\pi}}$

η_{\max} για $P_{\alpha\pi. \mu\epsilon\tau\alpha\beta\lambda\eta\tau\acute{\epsilon}\varsigma} = P_{\alpha\pi. \sigma\tau\alpha\theta\epsilon\rho\acute{\epsilon}\varsigma}$



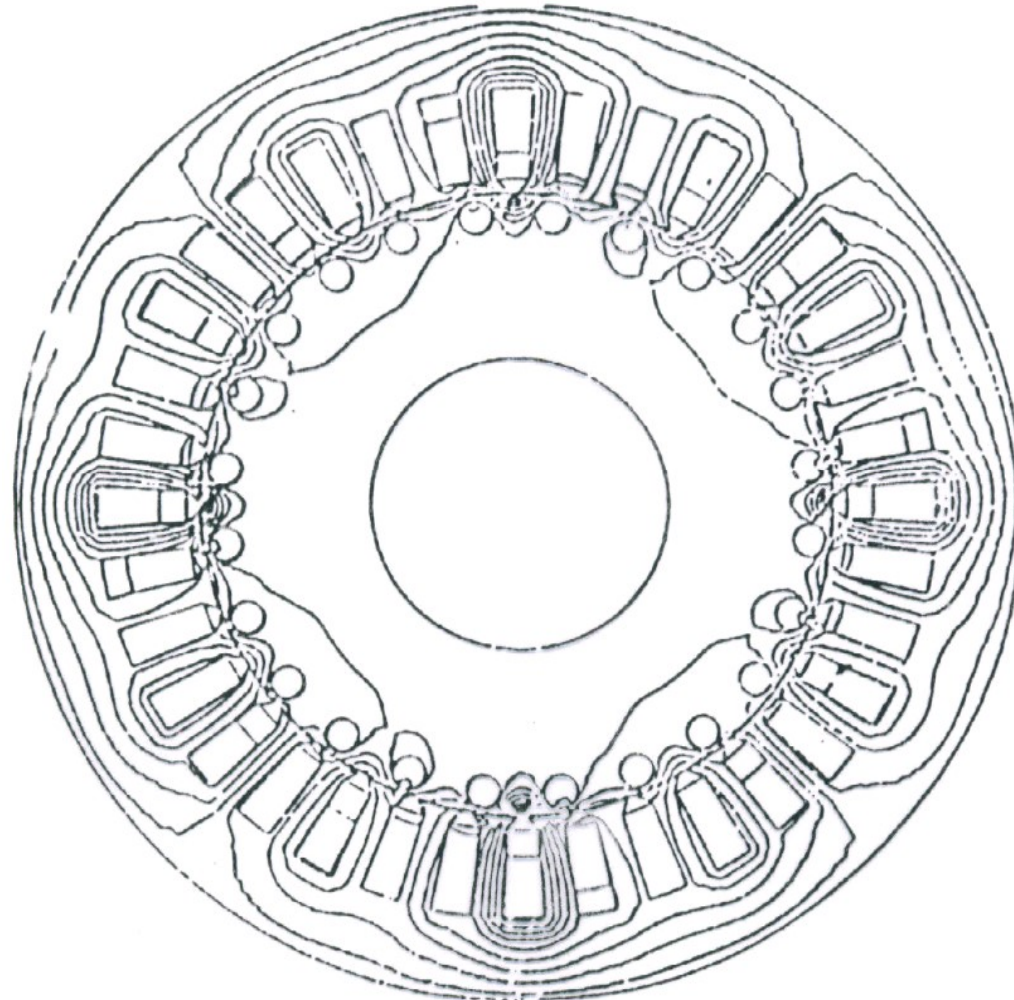
6α) Κατανομή μαγνητικού πεδίου



Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας



6β) Κατανομή μαγνητικού πεδίου



Εκκίνηση



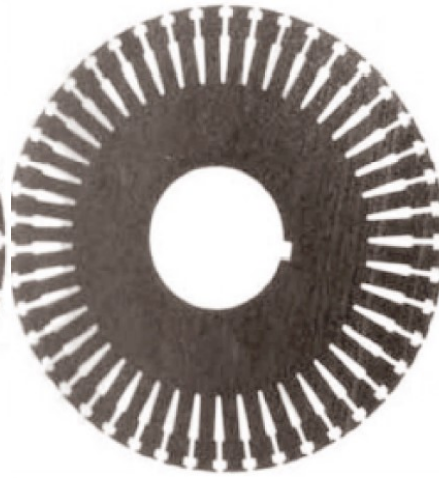
7) Κατηγοριοποίηση κλωβού με βάση τη ροπή κατά την εκκίνηση Διαμόρφωση κλωβού (διπλός κλωβός, βαθιές αύλακες) – κατηγορίες NEMA



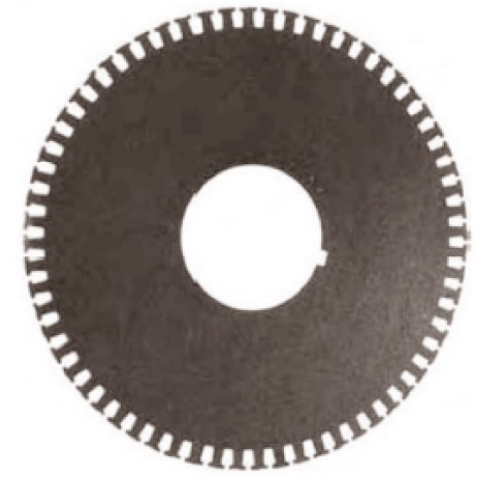
A



B



C

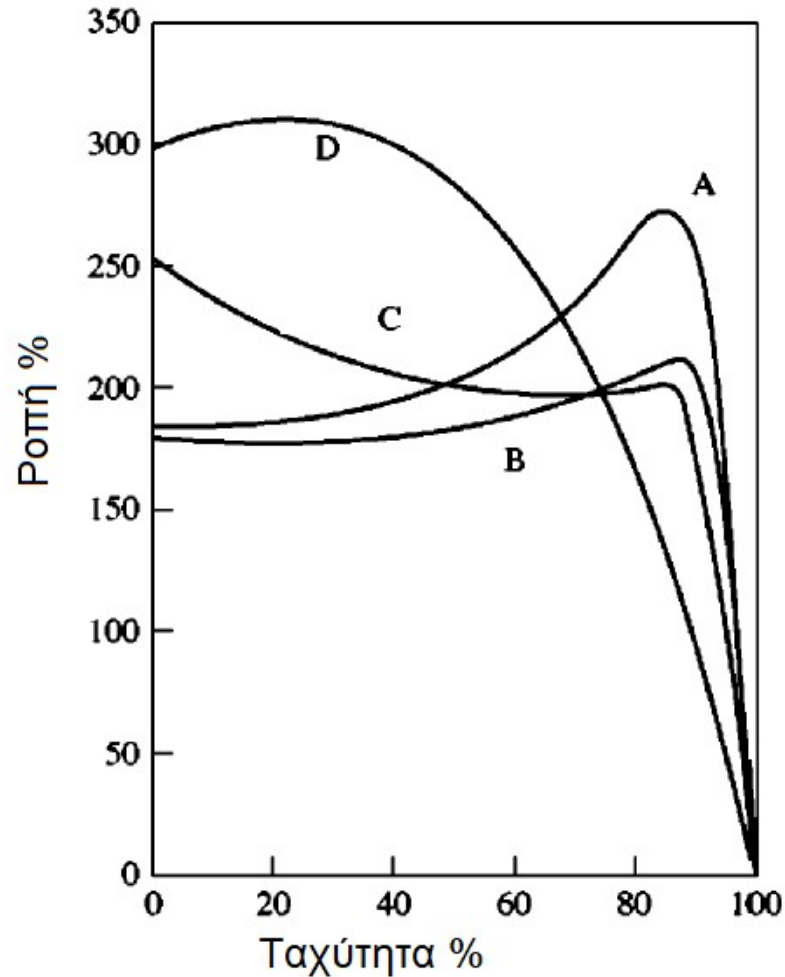


D



7) Κατηγοριοποίηση κλωβού με βάση τη ροπή κατά την εκκίνηση

Διαμόρφωση κλωβού (διπλός κλωβός, βαθιές αύλακες) – κατηγορίες NEMA





Εφαρμογή 1

Ασύγχρονη τριφασική τετραπολική μηχανή λειτουργεί με ολίσθηση 5%. Να υπολογισθούν η ταχύτητα του δρομέα, η συχνότητα των ρευμάτων του δρομέα, η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη ως προς τον δρομέα και η σχετική ταχύτητα μεταξύ των πεδίων στάτη και δρομέα.

Λύση

$$n_s = \frac{120f_1}{p} = \frac{120(50)}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

$$n = (1 - s)n_s = (1 - 0.05)(1500) = 1425 \text{ rpm}$$

$$f_2 = sf_1 = (0.05)(50) = 2.5 \text{ Hz}$$



$$n_r = \frac{120f_2}{p} = \frac{120sf_1}{p} = sn_s = 75 \text{ rpm}$$

Τα μαγνητικά πεδία του στάτη και του δρομέα περιστρέφονται και τα δύο με σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής και επομένως η σχετική τους ταχύτητα είναι μηδενική.



Εφαρμογή 2

Οι δοκιμές κενού φορτίου, ακινητοποιημένου δρομέα και συνεχούς ρεύματος σε τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα συνδέσεως αστέρα έδωσαν τις παρακάτω μετρήσεις:

Δοκιμή κενού φορτίου

$$U_o = 400\text{ V}$$

$$I_o = 18.5\text{ A}$$

$$P_o = 1770\text{ W}$$

$$P_{\text{απ.περ.}} = 600\text{ W}$$

Δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα

$$U_s = 45\text{ V}$$

$$I_s = 63\text{ A}$$

$$P_s = 2700\text{ W}$$

Δοκιμή ΣΡ

$$U_{\text{dc}} = 12,6\text{ V}$$

$$I_{\text{dc}} = 63\text{ A}$$

Να υπολογισθούν οι παράμετροι του ανά φάση ισοδυνάμου κυκλώματος.



Λύση

Από τη δοκιμή κενού φορτίου προκύπτει:

$$V_0 = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V} \quad P_0 = \frac{1}{3} (1770 - 600) = 390 \text{ W} \quad I_0 = 18.5 \text{ A}$$

$$R_m = \frac{(231)^2}{390} = 136.8 \text{ } \Omega$$

$$X_m = \frac{(231)^2}{\sqrt{(231)^2(18.5)^2 - (390)^2}} = 12.5 \text{ } \Omega$$



Από τη δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα προκύπτει:

$$V_s = \frac{45}{\sqrt{3}} = 25.98 \text{ V} \quad I_s = 63 \text{ A} \quad P_s = \frac{2700}{3} = 900 \text{ W}$$

$$R_s = R_1 + a^2 R_2 = \frac{900}{(63)^2} = 0.23 \text{ } \Omega$$

Από τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος προκύπτει:

$$R_1 = V_{dc}/(2I_{dc}) = 0.1 \text{ } \Omega$$

$$R_2' = 0.23 - 0.1 = 0.13 \text{ } \Omega$$

$$X_s = X_1 + a^2 X_2 = \frac{\sqrt{(25.98)^2(63)^2 - (900)^2}}{(63)^2} = 0.34 \text{ } \Omega$$

$$X_1 = X_2' = 0.17 \text{ } \Omega$$



Εφαρμογή 3

Ασύγχρονη τριφασική διπολική μηχανή 208 V, 60 Hz, 15 HP, τυλιγμένου δρομέα συνδέσεως αστέρα, εμφανίζει απώλειες πυρήνα 180 W, μηχανικές 250 W και όταν λειτουργεί σε ονομαστικές συνθήκες εμφανίζει ολίσθηση 5%. Οι παραμετροί του ανά φάση ισοδυναμού κυκλώματος ανηγμένου στον στάτη είναι:

$$R_1 = 0.200 \ \Omega$$

$$R_2 = 0.120 \ \Omega$$

$$X_M = 15.0 \ \Omega$$

$$X_1 = 0.410 \ \Omega$$

$$X_2 = 0.410 \ \Omega$$

Ζητούνται:

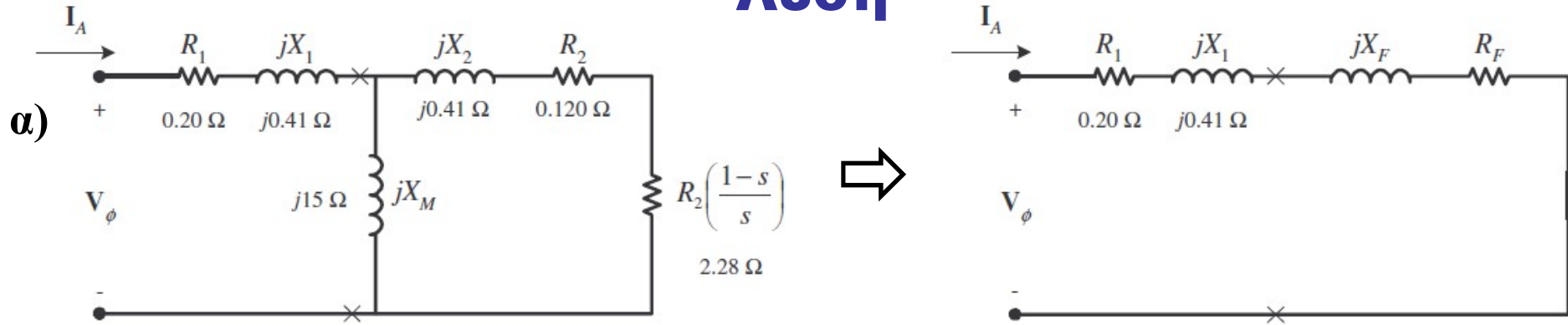
α) Για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας να υπολογισθούν το ρεύμα στάτη, οι απώλειες χαλκού στάτη, η ισχύς διακένου, η εσωτερική μηχανική ισχύς δρομέα, η ηλεκτρομαγνητική ροπή, η ροπή στον άξονα, ο βαθμός απόδοσης και η ταχύτητα του δρομέα.

β) Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση.

γ) Η τιμή τριών ίδιων αντιστάσεων (τιμή αντίστασης ανηγμένη στον στάτη), οι οποίες συνδεόμενες σε σειρά με τα τυλιγματα του δρομέα εξασφαλίζουν μέγιστη ροπή κατά την εκκίνηση.



Λύση



$$Z_F = \frac{1}{\frac{1}{jX_M} + \frac{1}{Z_2}} = \frac{1}{\frac{1}{j15 \Omega} + \frac{1}{2.40 + j0.41}} = 2.220 + j0.745 = 2.34 \angle 18.5^\circ \Omega$$

Η φασική τάση τροφοδοσίας είναι $208 \text{ V}/\sqrt{3} = 120 \text{ V}$ και επομένως:

$$I_L = I_A = \frac{V_\phi}{R_1 + jX_1 + R_F + jX_F} = \frac{120 \angle 0^\circ \text{ V}}{0.20 \Omega + j0.41 \Omega + 2.22 \Omega + j0.745 \Omega}$$

$$I_L = I_A = 44.8 \angle -25.5^\circ \text{ A}$$

Οι απώλειες χαλκού στάτη προκύπτουν: $P_{\text{SCL}} = 3I_A^2 R_1 = 3(44.8 \text{ A})^2 (0.20 \Omega) = 1205 \text{ W}$



Η ηλεκτρομαγνητική ισχύς διακένου είναι:

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = 3I_A^2 R_F = 3(44.8 \text{ A})^2 (2.220 \Omega) = 13.4 \text{ kW}$$

Η εσωτερική μηχανική ισχύς δρομέα είναι:

$$P_{\text{conv}} = (1 - s) P_{AG} = (1 - 0.05)(13.4 \text{ kW}) = 12.73 \text{ kW}$$

Η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι:

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{P_{AG}}{\omega_{\text{sync}}} = \frac{13.4 \text{ kW}}{(3600 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 35.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Η ισχύς εξόδου είναι:

$$P_{\text{OUT}} = P_{\text{conv}} - P_{\text{mech}} - P_{\text{core}} = 12.73 \text{ kW} - 250 \text{ W} - 180 \text{ W} = 12.3 \text{ kW}$$



Η ταχύτητα του δρομέα είναι:

$$n_m = (1 - s) n_{\text{sync}} = (1 - 0.05)(3600 \text{ r/min}) = 3420 \text{ r/min}$$

Η ροπή στον άξονα είναι:

$$\tau_{\text{load}} = \frac{P_{\text{OUT}}}{\omega_m} = \frac{12.3 \text{ kW}}{(3420 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 34.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι:

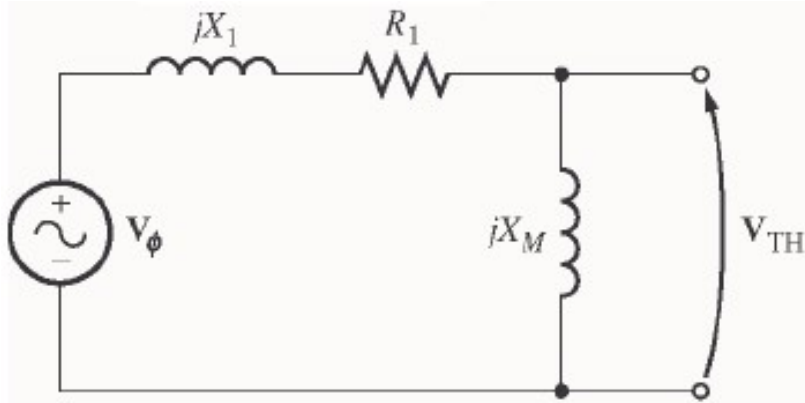
$$\eta = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}}} \times 100\% = \frac{P_{\text{OUT}}}{3V_{\phi} I_A \cos \theta} \times 100\% = \frac{12.3 \text{ kW}}{3(120 \text{ V})(44.8 \text{ A}) \cos 25.5^{\circ}} \times 100\% = 84.5\%$$

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι:

$$\omega_m = (3420 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 358 \text{ rad/s}$$

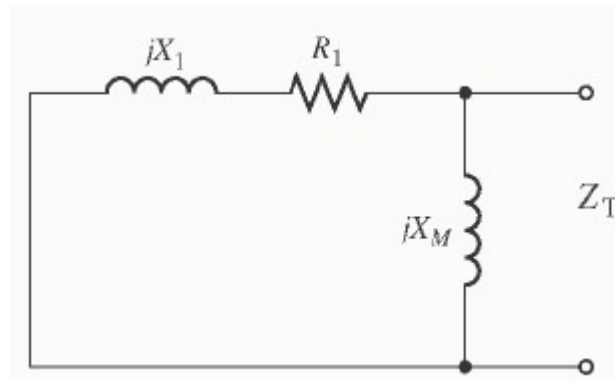


β) Για τον υπολογισμό της ροπής ανατροπής χρησιμοποιούμε το απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα σειράς στάτη – κλάδου μαγνήτισης κατά Thevenin ως εξής:

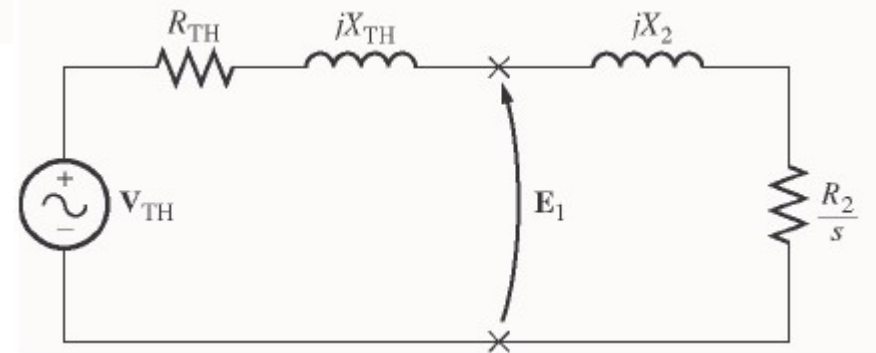


$$V_{TH} = \frac{jX_M}{R_1 + jX_1 + jX_M} V_\phi$$

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



$$Z_{TH} = \frac{jX_M (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_M)}$$





$$Z_{\text{TH}} = \frac{jX_M (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_M)} = \frac{(j15 \Omega)(0.20 \Omega + j0.41 \Omega)}{0.20 \Omega + j(0.41 \Omega + 15 \Omega)} = 0.1895 + j0.4016 \Omega = 0.444 \angle 64.7^\circ \Omega$$

$$V_{\text{TH}} = \frac{jX_M}{R_1 + j(X_1 + X_M)} V_\phi = \frac{(j15 \Omega)}{0.22 \Omega + j(0.43 \Omega + 15 \Omega)} (120 \angle 0^\circ \text{ V}) = 116.8 \angle 0.7^\circ \text{ V}$$

Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση είναι:

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

$$s_{\text{max}} = \frac{0.120 \Omega}{\sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}} = 0.144$$

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

$$\tau_{\text{max}} = \frac{3(116.8 \text{ V})^2}{2(377 \text{ rad/s}) 0.1895 \Omega + \sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}} = 53.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$



γ) Η αντίσταση (τιμή ανηγμένη στον στάτη) που πρέπει να συνδεθεί σε σειρά με τα τυλιγματα του δρομέα προκειμένου να εξασφαλισθεί μέγιστη ροπή κατά την εκκίνηση είναι:

$$S_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2}}$$
$$1.00 = \frac{R_2}{\sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}}$$
$$R_2 = 0.833 \Omega$$

Επομένως: $R_{\varepsilon\xi} = 0.833 - 0.12 = 0.713 \Omega$