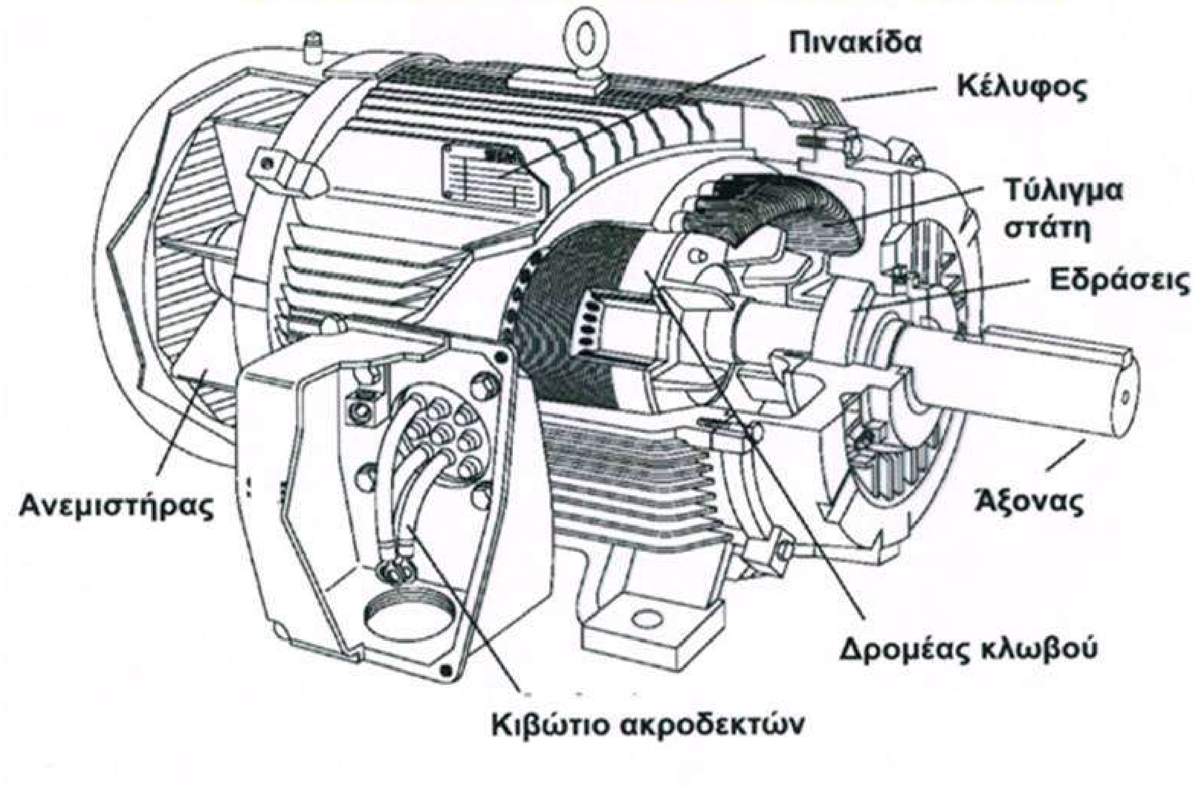
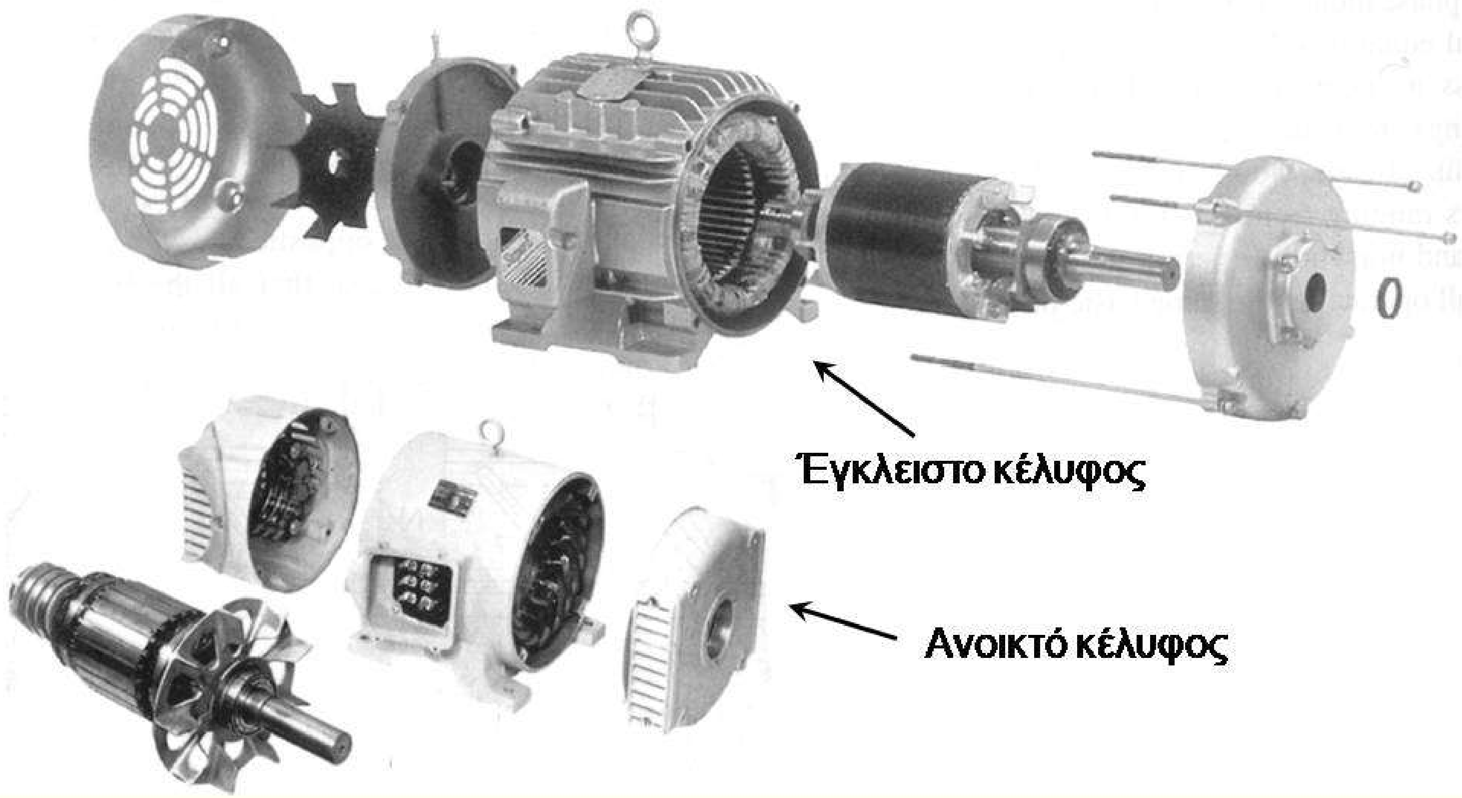
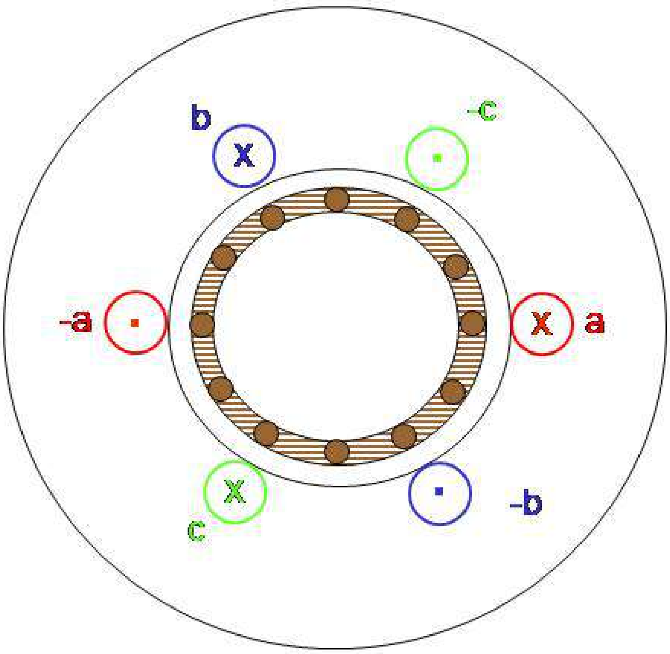
Τριφασικές Μηχανές Επαγωγής



1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: διαμόρφωση κελύφους

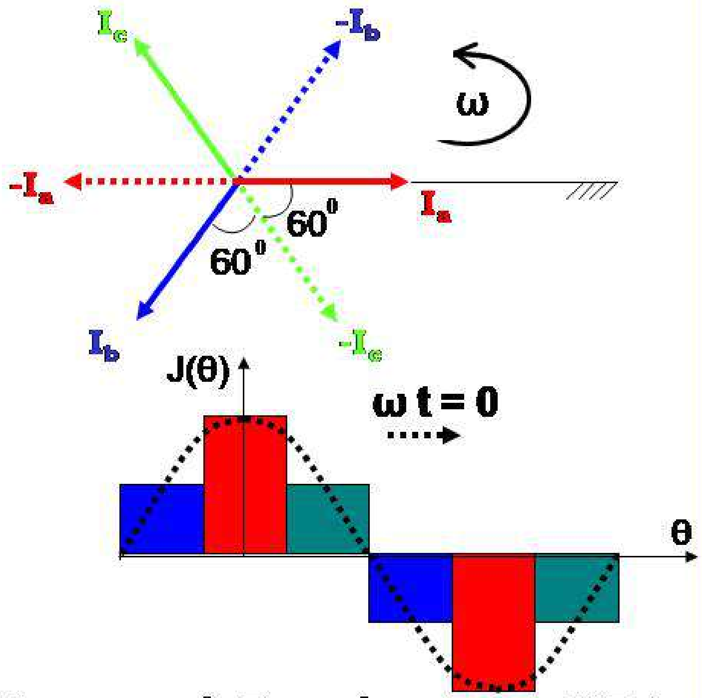


1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Τυλίγματα

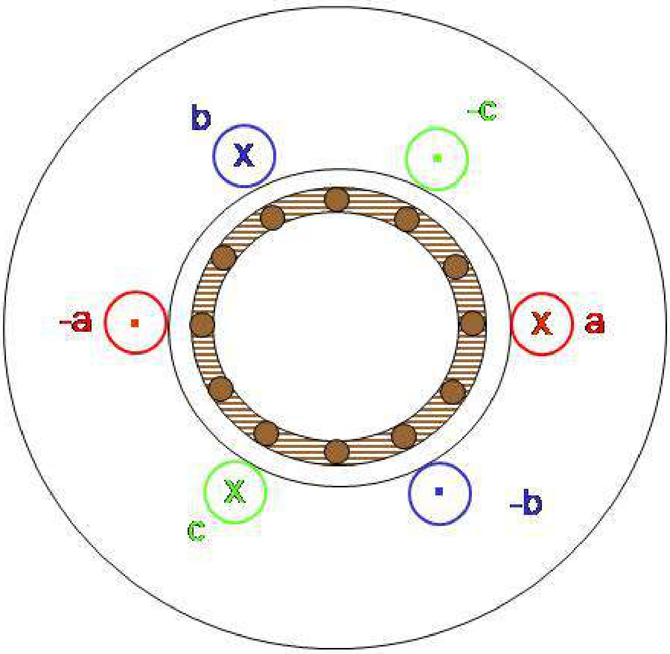
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ

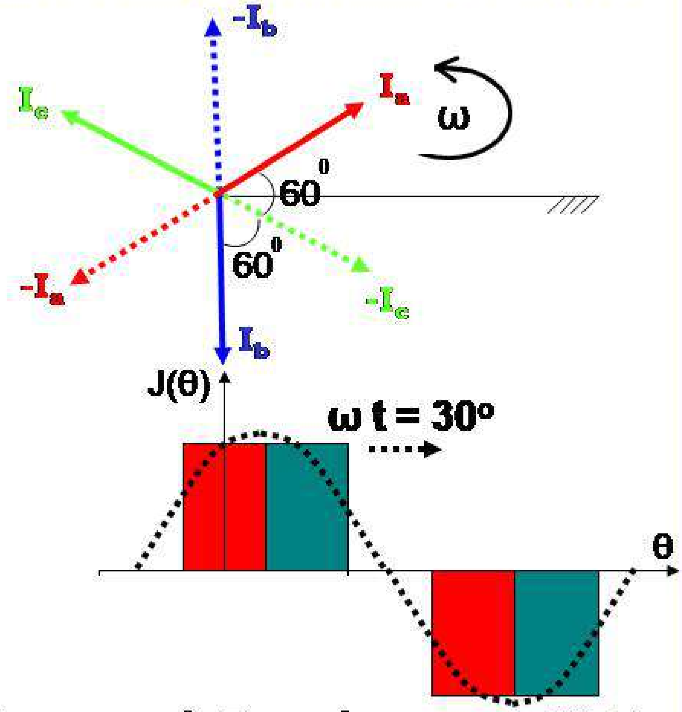
(θεμελιώδης και αρμονικές)

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Τυλίγματα

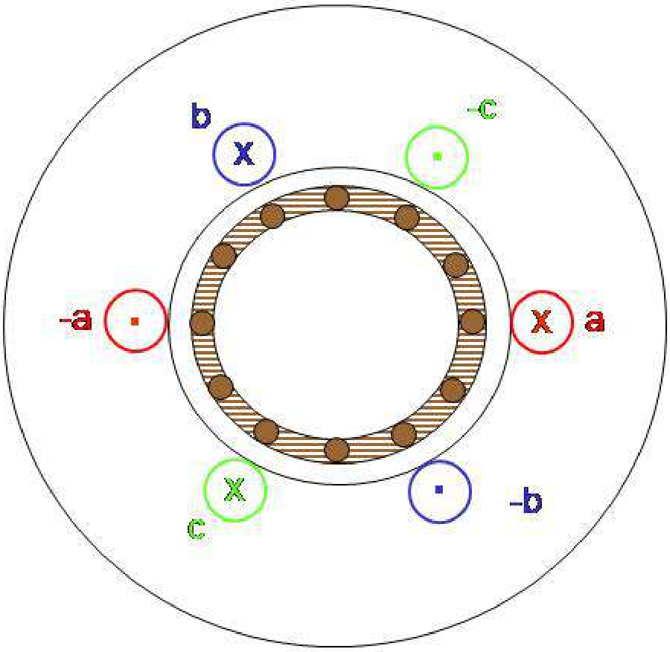
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ

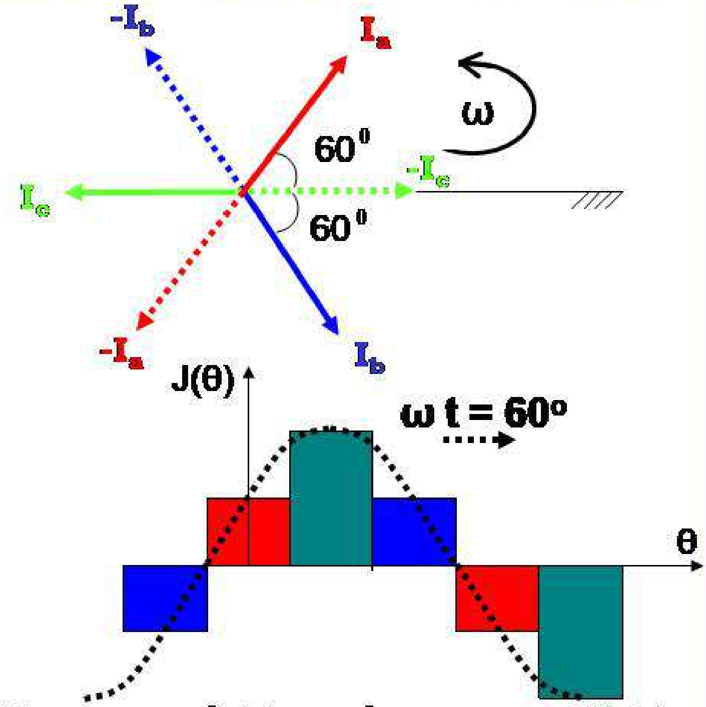
(θεμελιώδης και αρμονικές)

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Τυλίγματα

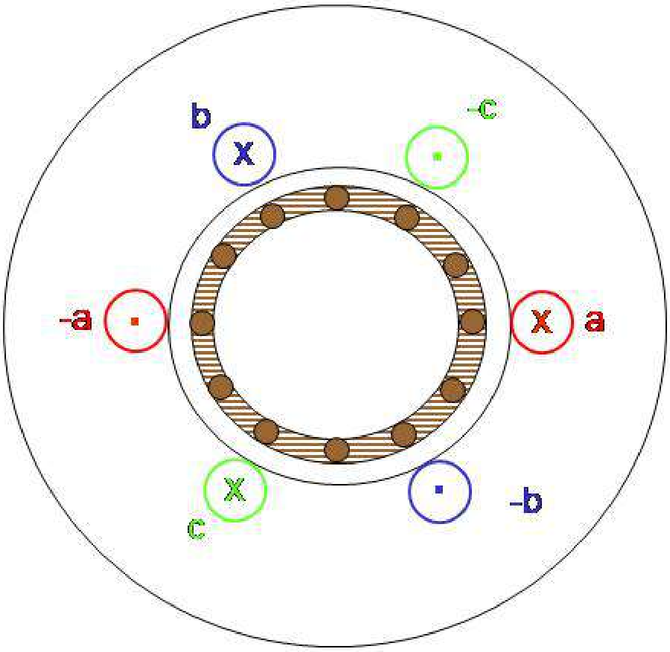
(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ

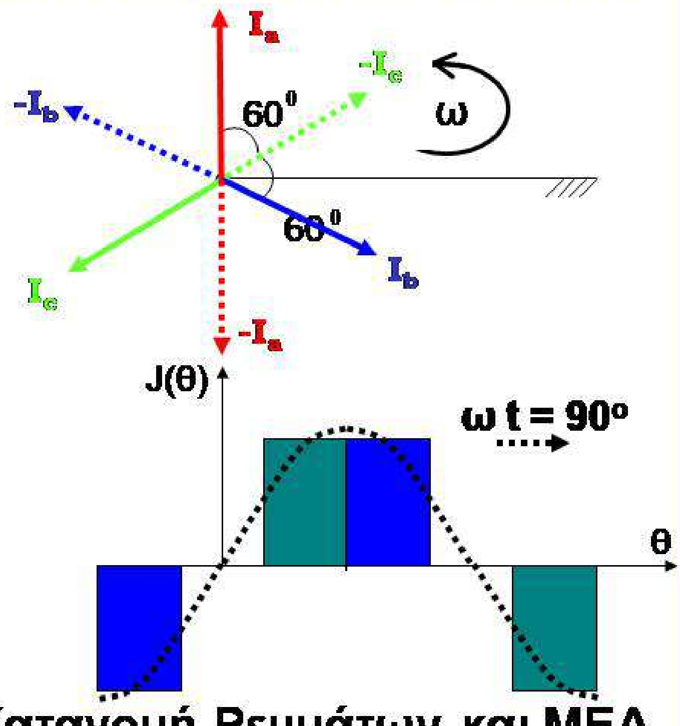
(θεμελιώδης και αρμονικές)

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



Τυλίγματα

(χωρική διαφορά φάσεως 120°)



Κατανομή Ρευμάτων και ΜΕΔ

(θεμελιώδης και αρμονικές)

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)

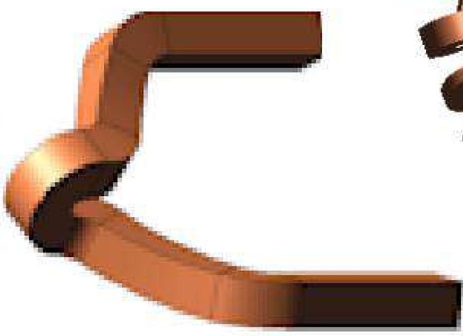
Μείωση ανώτερων αρμονικών τυλίγματος στάτη:

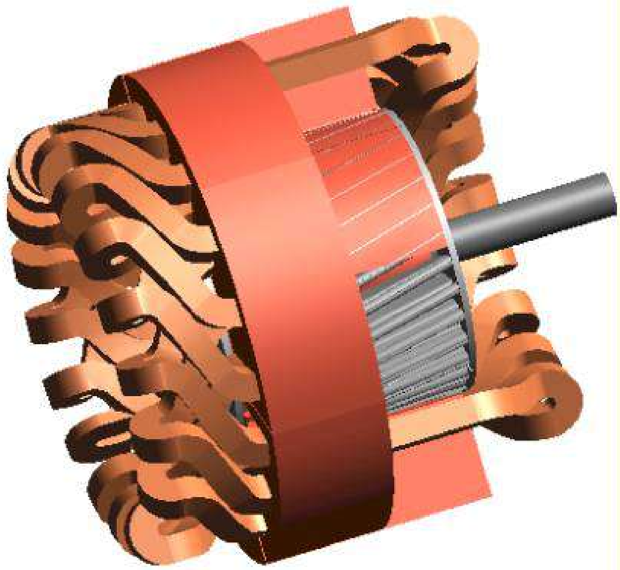
- Κατανομή αγωγών φάσεως σε περισσότερες αύλακες
- Τυλίγματα διπλής στρώσεως

Μείωση ανώτερων αρμονικών τυλίγματος δρομέα:

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

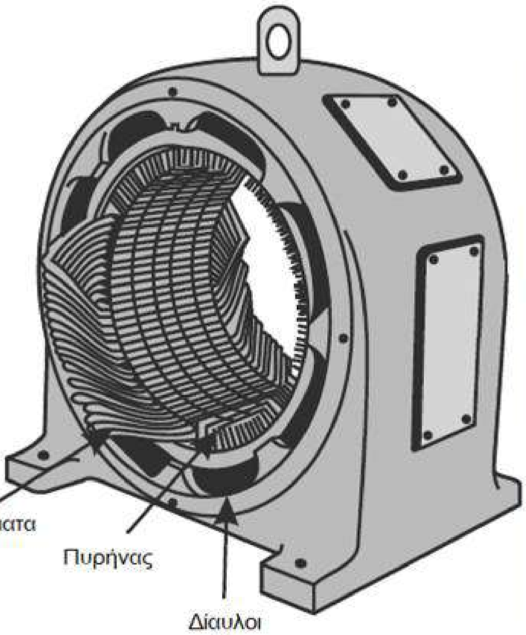
1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)



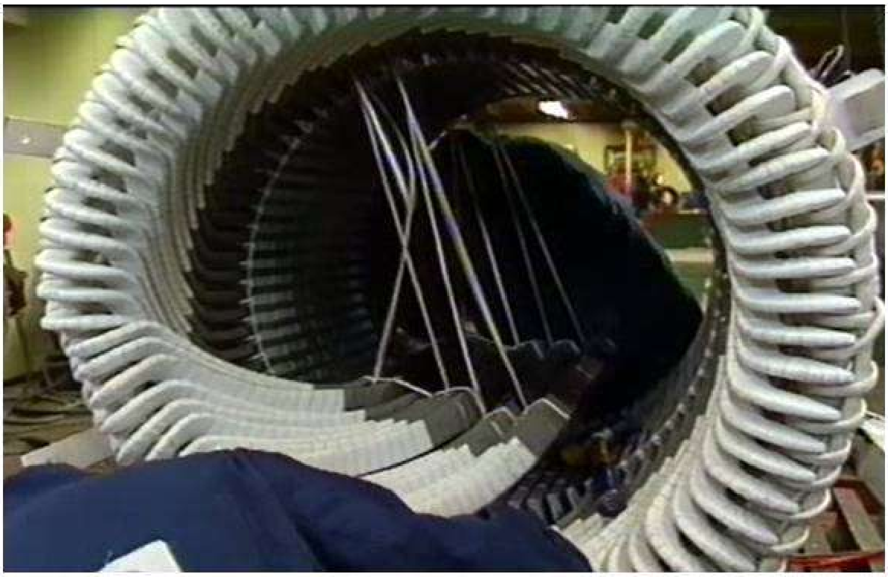


Πηνίο τυλίγματος διπλής στρώσεως **Διαμόρφωση τυλιγματων διπλής στρώσεως**

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: στάτης (τριφασικό τύλιγμα)

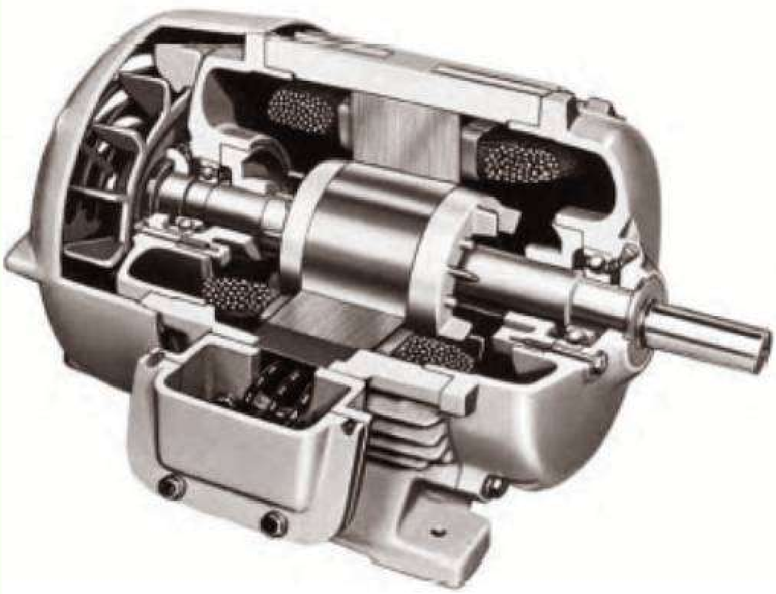


Διαμόρφωση στάτη

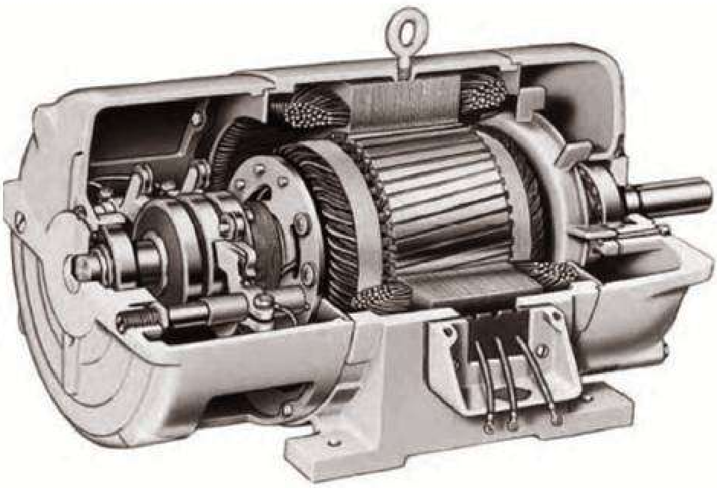


Τοποθέτηση τυλιγματων διπλής στρώσεως

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: δρομέας

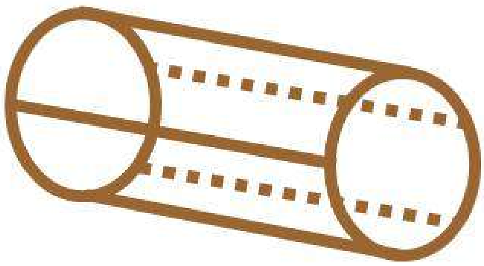


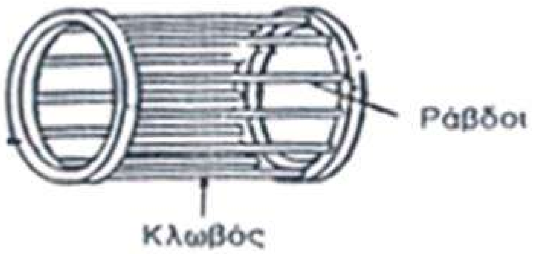
δρομέας κλωβού

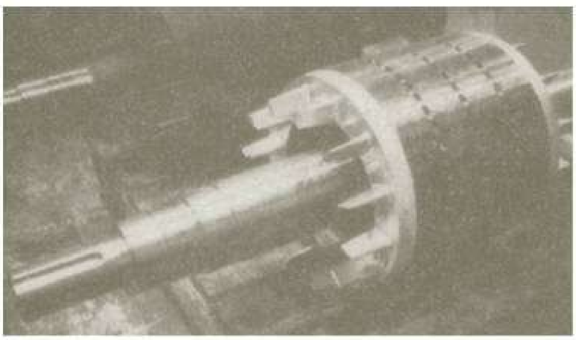


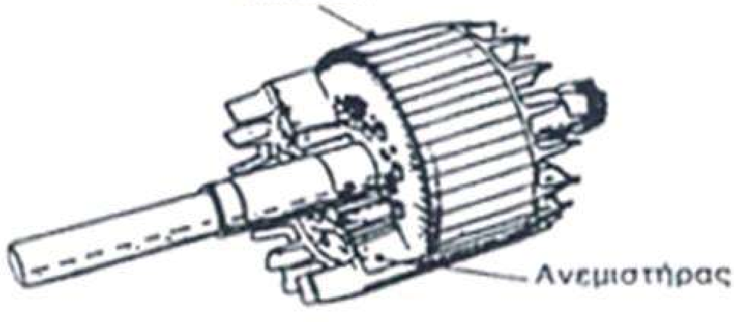
τυλιγμένος δρομέας

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: δρομέας κλωβού





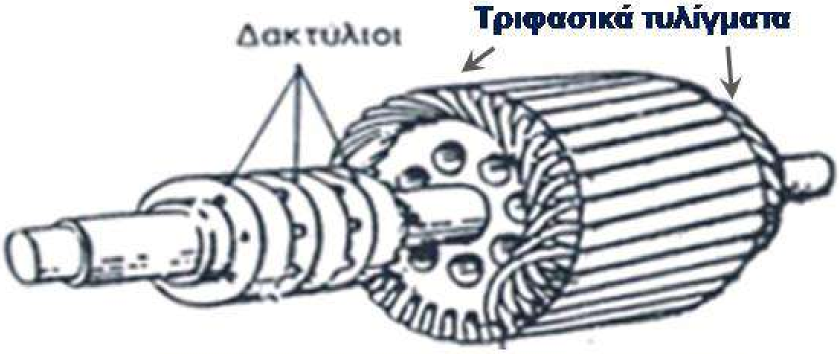


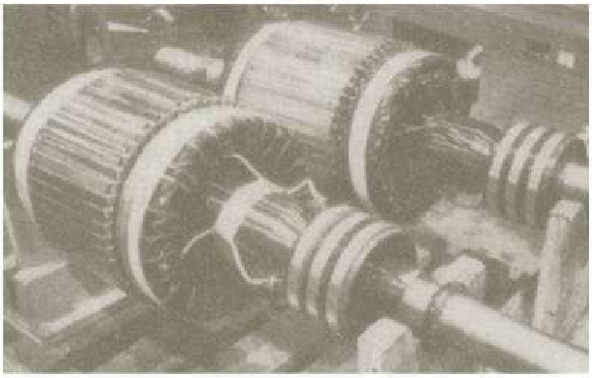


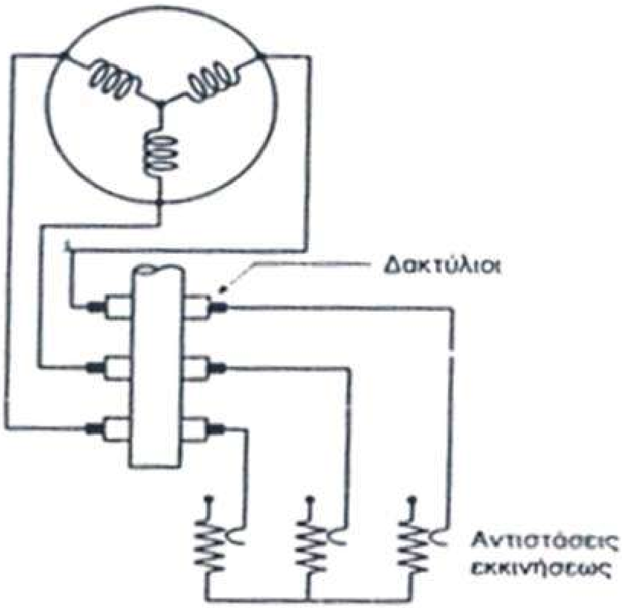
Κλωβός
(Ράβδοι και δακτύλιοι βραχυκύκλωσης)

Υλικό Κλωβού
(χαλκός ή αλουμίνιο)

1) Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά: τυλιγμένος δρομέας

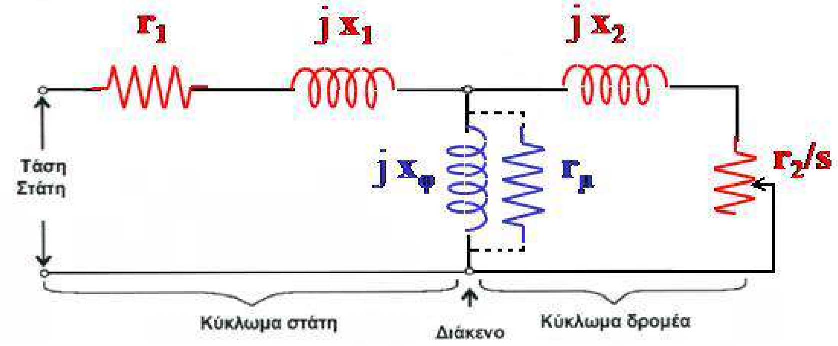






Δακτύλιοι με ψήκτρες για σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων εκκινήσεως

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



Ολίσθηση

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

Σύγχρονη ταχύτητα

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

τυλίγματα, πυρήνας: $r_\mu >> j\,x_\varphi > j\,x_1,\ j\,x_2$

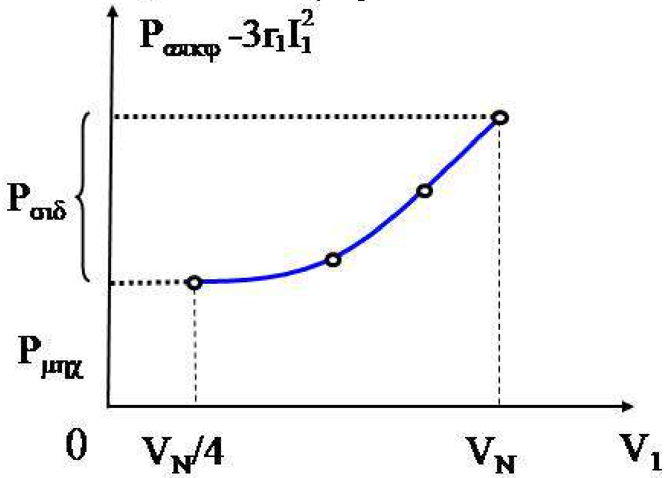
Ισχύς διακένου $P_\delta = 3 \left(\frac{r_2}{s}\right) I_2^2$

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

→ $3\,r_2 I_2^2$ **Απώλειες χαλκού δρομέα**

3) Δοκιμές προσδιορισμού ισοδυνάμου κυκλώματος

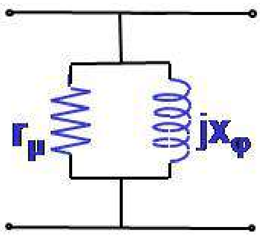
α) Κενού φορτίου



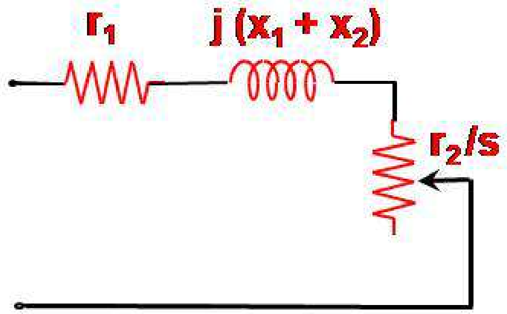
Προσδιορισμός r_μ, x_φ

$V_1 = V_N$

$I_1 < I_N$



β) Ακινητοποιημένου δρομέα



$V_1 < V_N$

$I_1 = I_N$

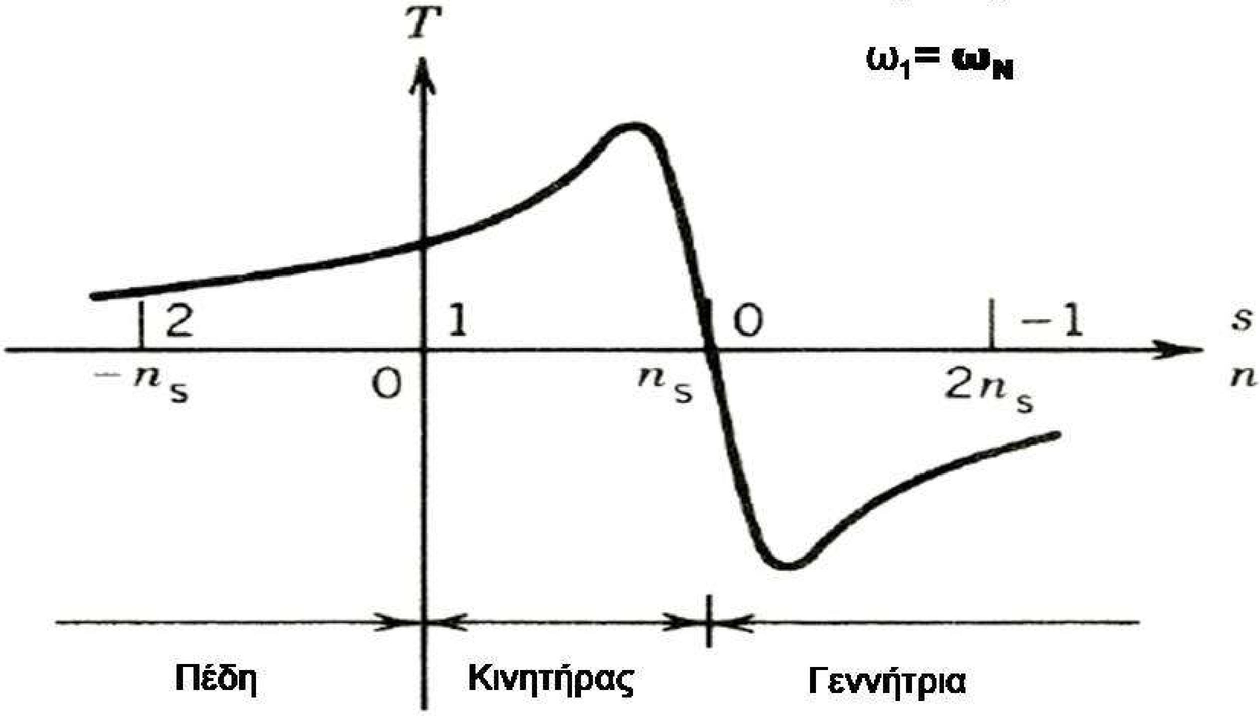
Προσδιορισμός r_2, x_1, x_2

4) Χαρακτηριστικές λειτουργίας

α) Ροπής –στροφών (T- n)

$V_1 = V_N$

$\omega_1 = \omega_N$

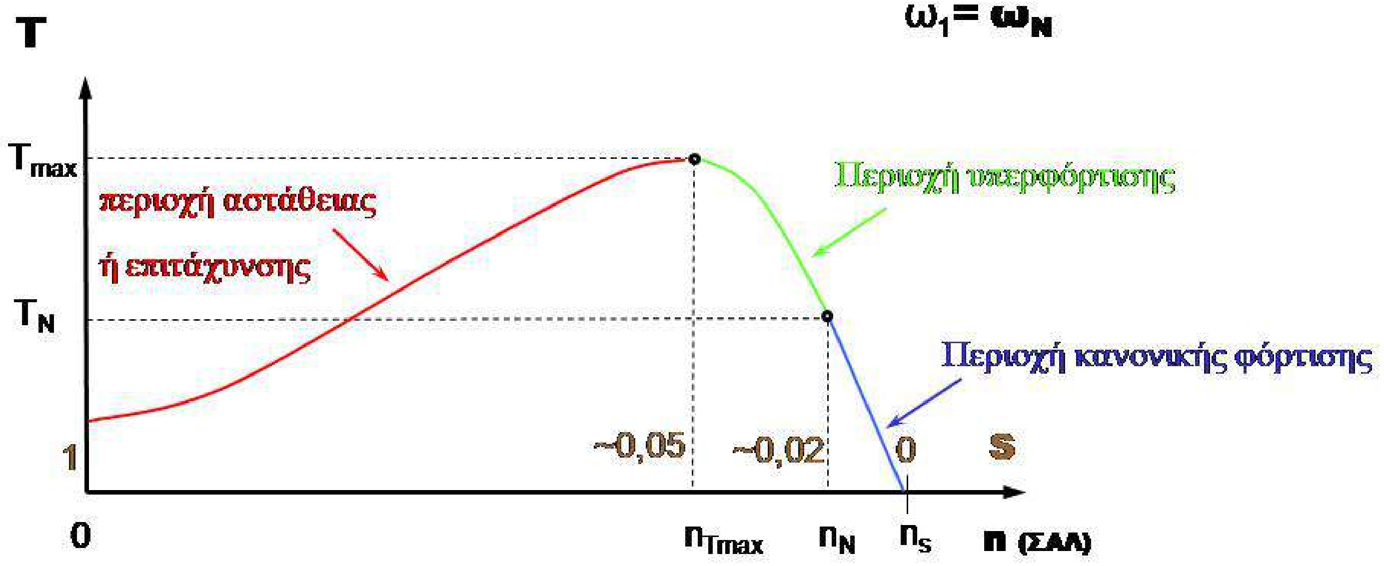


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

α) Ροπής –στροφών (T- n)

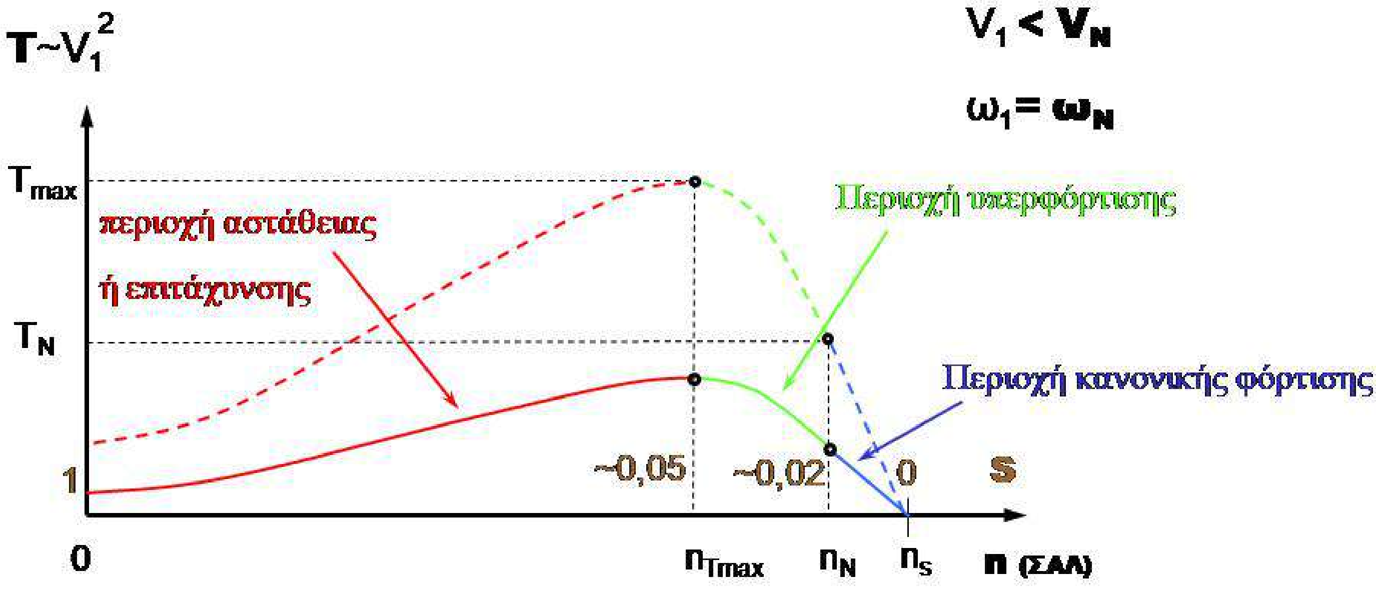
$V_1 = V_N$

$\omega_1 = \omega_N$



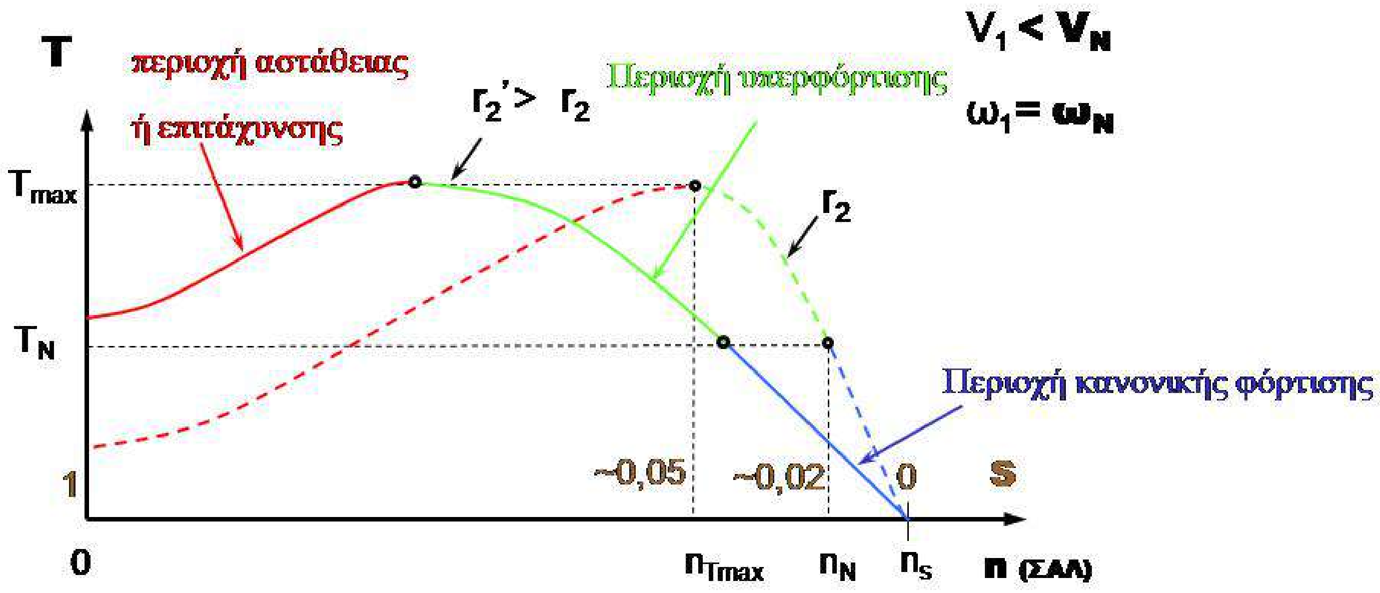
4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

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



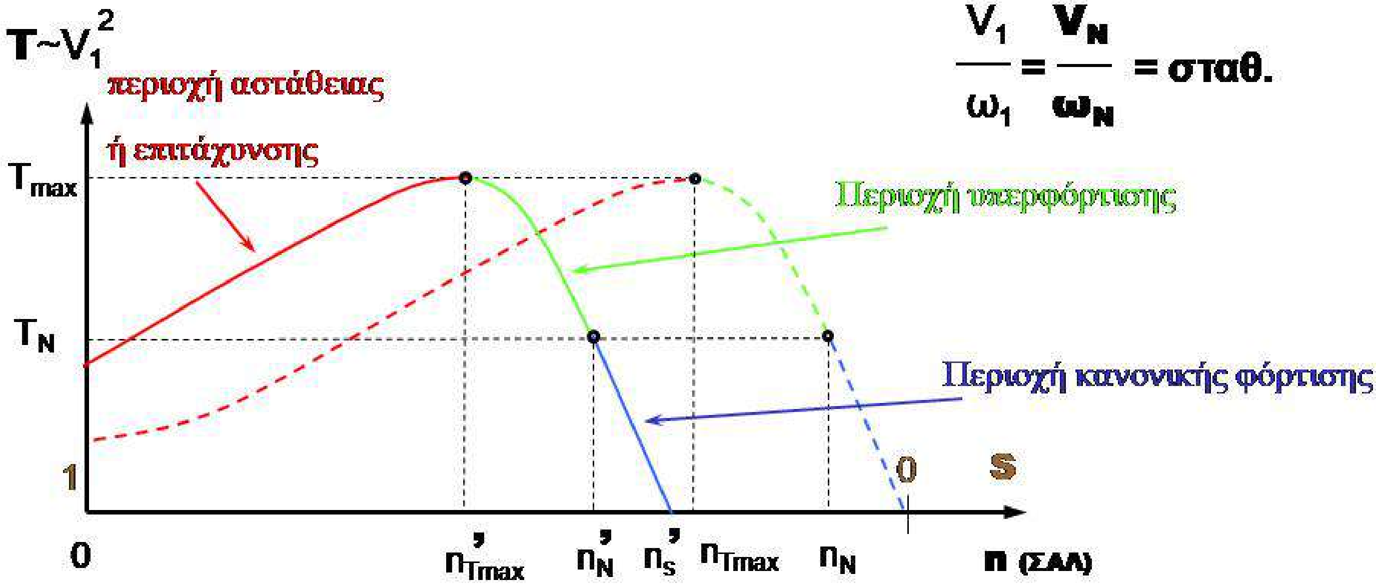
4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

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



4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

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



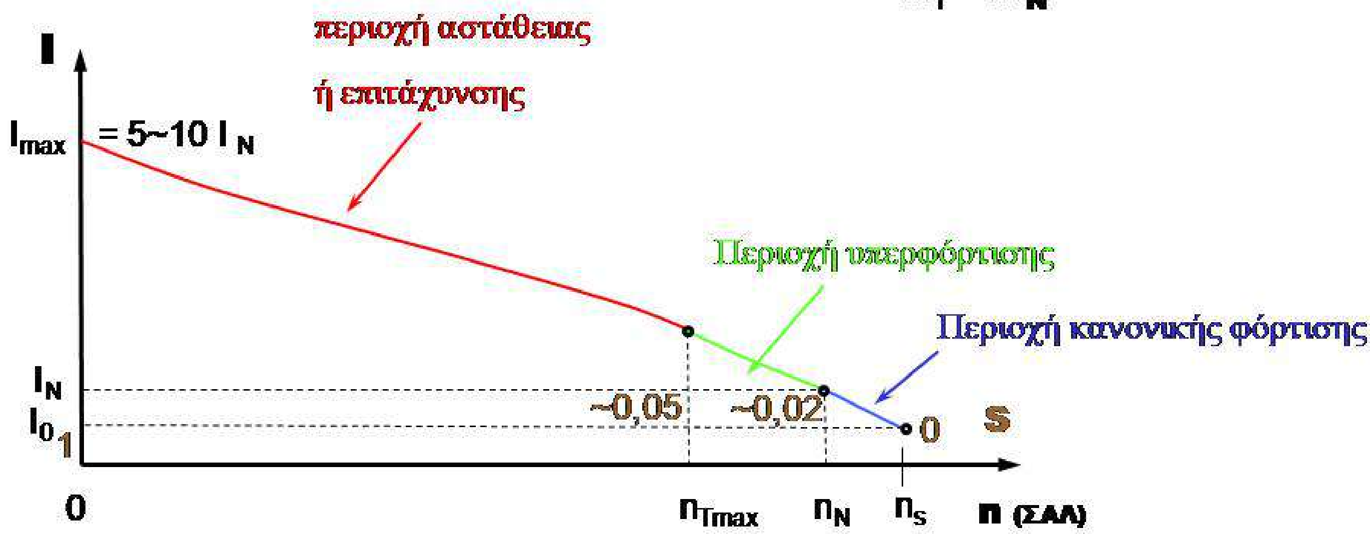
$$\frac{V_1}{\omega_1} = \frac{V_N}{\omega_N} = \text{σταθ.}$$

4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

β) Ρεύματος –στροφών (I- n)

$V_1 = V_N$

$\omega_1 = \omega_N$

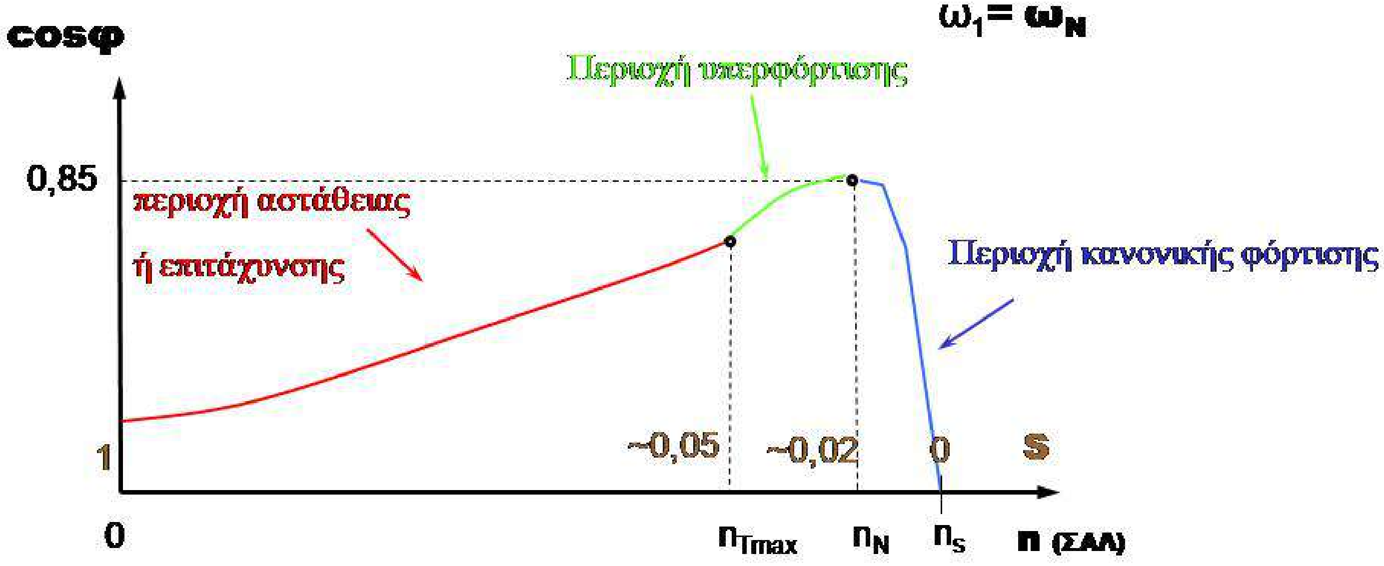


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

γ) Συντελεστή Ισχύος –στροφών (cosφ - n)

$V_1 = V_N$

$\omega_1 = \omega_N$

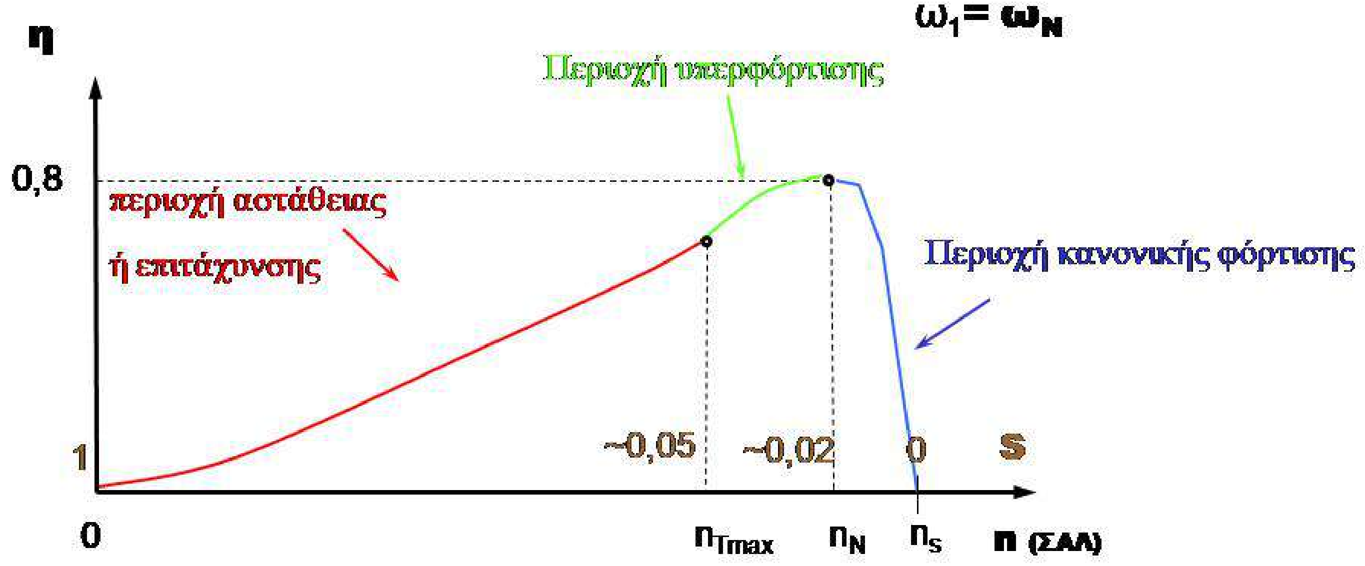


4) Χαρακτηριστικές επίδοσης

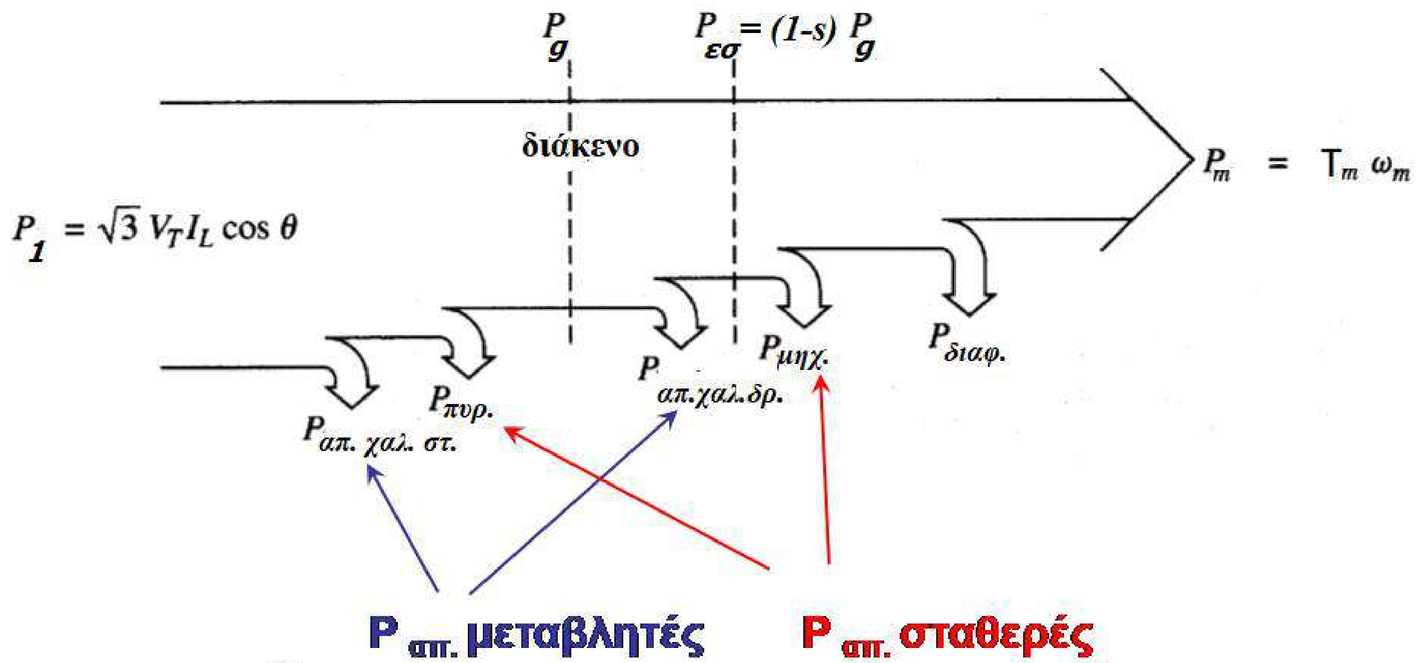
δ) Απόδοσης –στροφών (η - n)

$V_1 = V_N$

$\omega_1 = \omega_N$



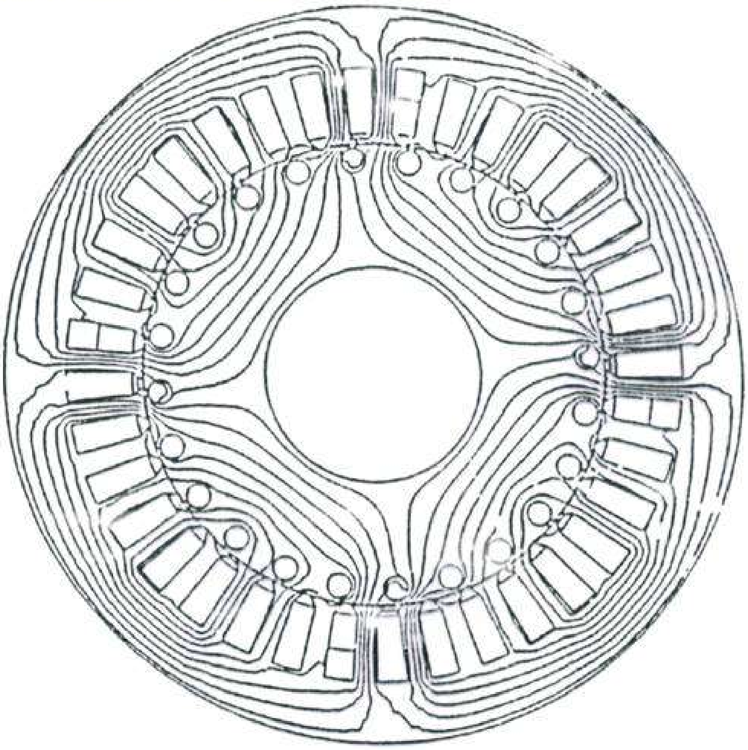
5) Ροή ισχύος κινητήρα (απώλειες και βαθμός απόδοσης)



ΒΑ: $\eta = \dfrac{P_{εξ}}{P_{εξ} + \Sigma P_{απ}}$

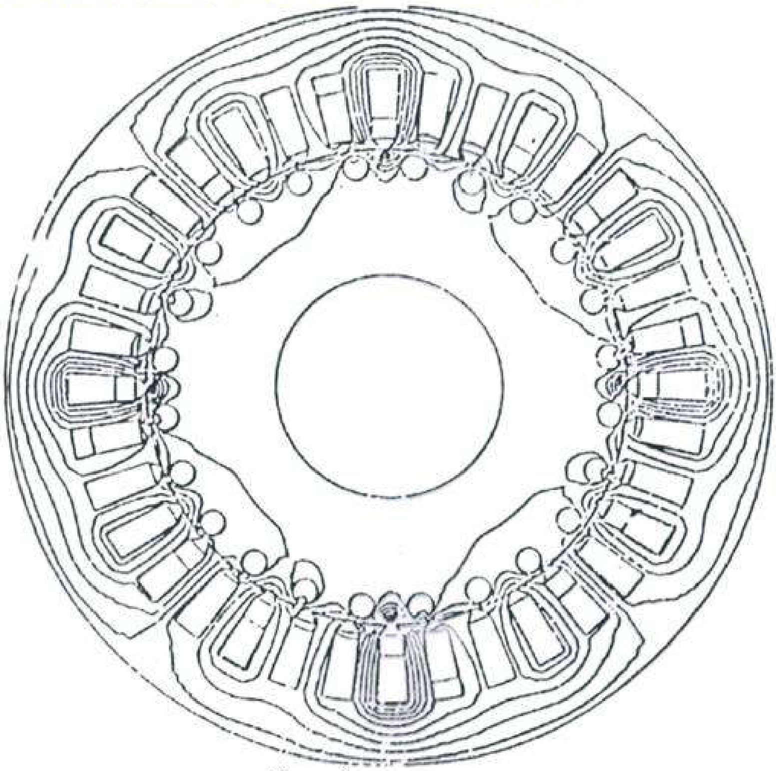
η_{max} για $P_{απ.}$ μεταβλητές $= P_{απ.}$ σταθερές

6α) Κατανομή μαγνητικού πεδίου



Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας

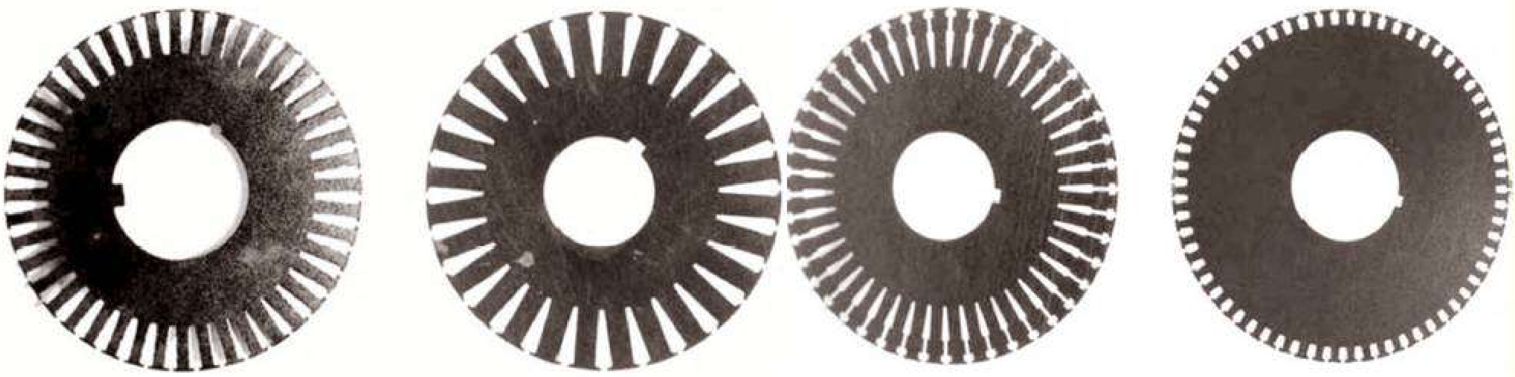
6β) Κατανομή μαγνητικού πεδίου



Εκκίνηση

7) Κατηγοριοποίηση κλωβού με βάση τη ροπή κατά την εκκίνηση

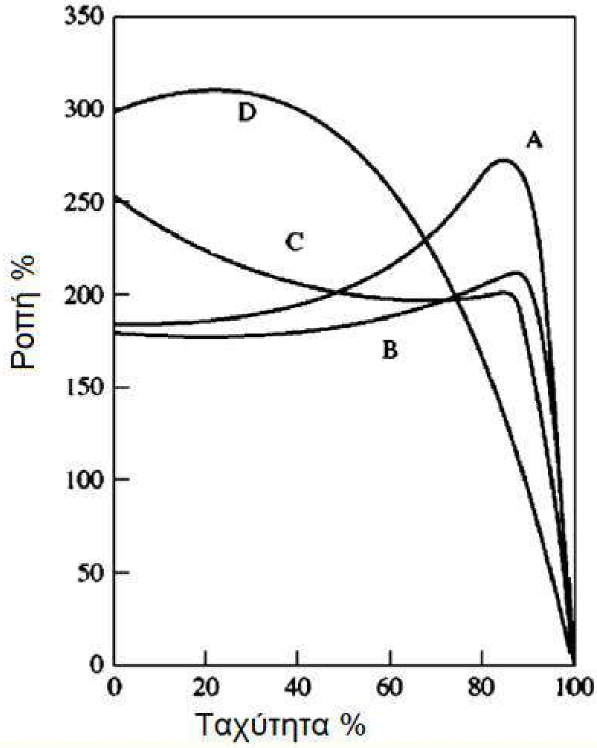
Διαμόρφωση κλωβού (διπλός κλωβός, βαθειές αύλακες) – κατηγορίες NEMA



A B C D

7) Κατηγοριοποίηση κλωβού με βάση τη ροπή κατά την εκκίνηση

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



Εφαρμογή 1

Ασύγχρονη τριφασική τετραπολική μηχανή λεπουργεί 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 μεταξυ των πεδίων στάτη και δρομέα.

Λύση

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

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

$$f_2 = s f_1 = (0.05)(50) = 2.5 \text{ Hz}$$

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

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	Δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα	Δοκιμή ΣΡ
$U_o = 400V$	$U_s = 45\ V$	$U_{dc} = 12{,}6\ V$
$I_o = 18.5\ A$	$I_s = 63\ A$	$I_{dc} = 63\ A$
$P_o = 1770\ W$	$P_s = 2700\ W$	
$P_{\text{απ.περ.}} = 600\ W$		

Να υπολογισθούν οι παράμετροι του ανά φάση ισοδυνάμου κυκλώματος.

Λύση

Από τη δοκιμή κενού φορτίου προκύπτει:

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

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

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

Από τη δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα προκύπτει:

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

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

Από τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος προκύπτει:

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

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

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

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

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 λεπουργεί σε ονομαστικές συνθήκες εμφανίζει ολίσθηση 5%. Οι παραμετροι του ανά φάση ισοδυνάμου κυκλώματος ανηγμένου στον στάτη είναι:

$R_1 = 0.200\ \Omega \qquad R_2 = 0.120\ \Omega \qquad X_M = 15.0\ \Omega$

$X_1 = 0.410\ \Omega \qquad X_2 = 0.410\ \Omega$

Ζητούνται:

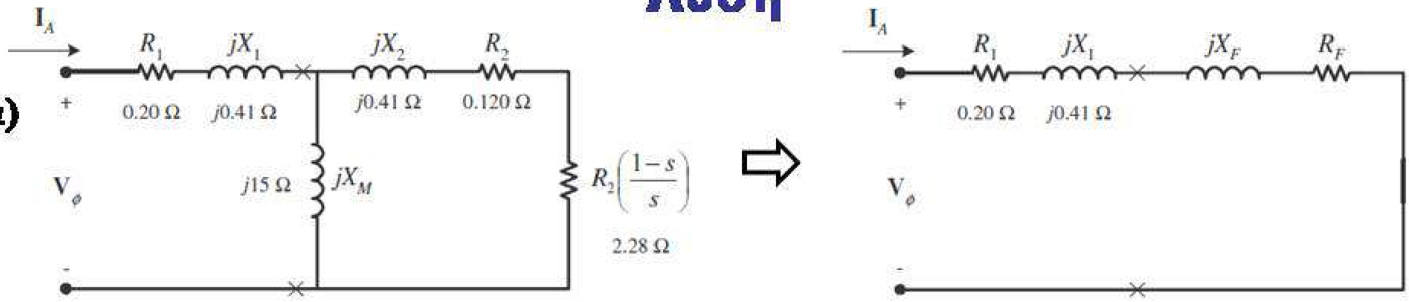
α) Για ονομαστικές συνθήκες λεπουργίας να υπολογισθούν το ρεύμα στάτη, οι απώλειες χαλκού στάτη, η ισχύς διακένου, η εσωτερική μηχανική ισχύς δρομέα, η ηλεκτρομαγνητική ροπή, η ροπή στον άξονα, ο βαθμός απόδοσης και η ταχύτητα του δρομέα.

β) Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση,

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

Λύση

α)



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

Η φασική τάση τροφοδοσίας είναι 208 V/√3 = 120 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: $P_{\text{SCL}} = 3I_A{}^2R_1 = 3(44.8\ \text{A})^2(0.20\ \Omega) = 1205\ \text{W}$

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:

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

Η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι:

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

Η ισχύς εξόδου είναι:

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

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:

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

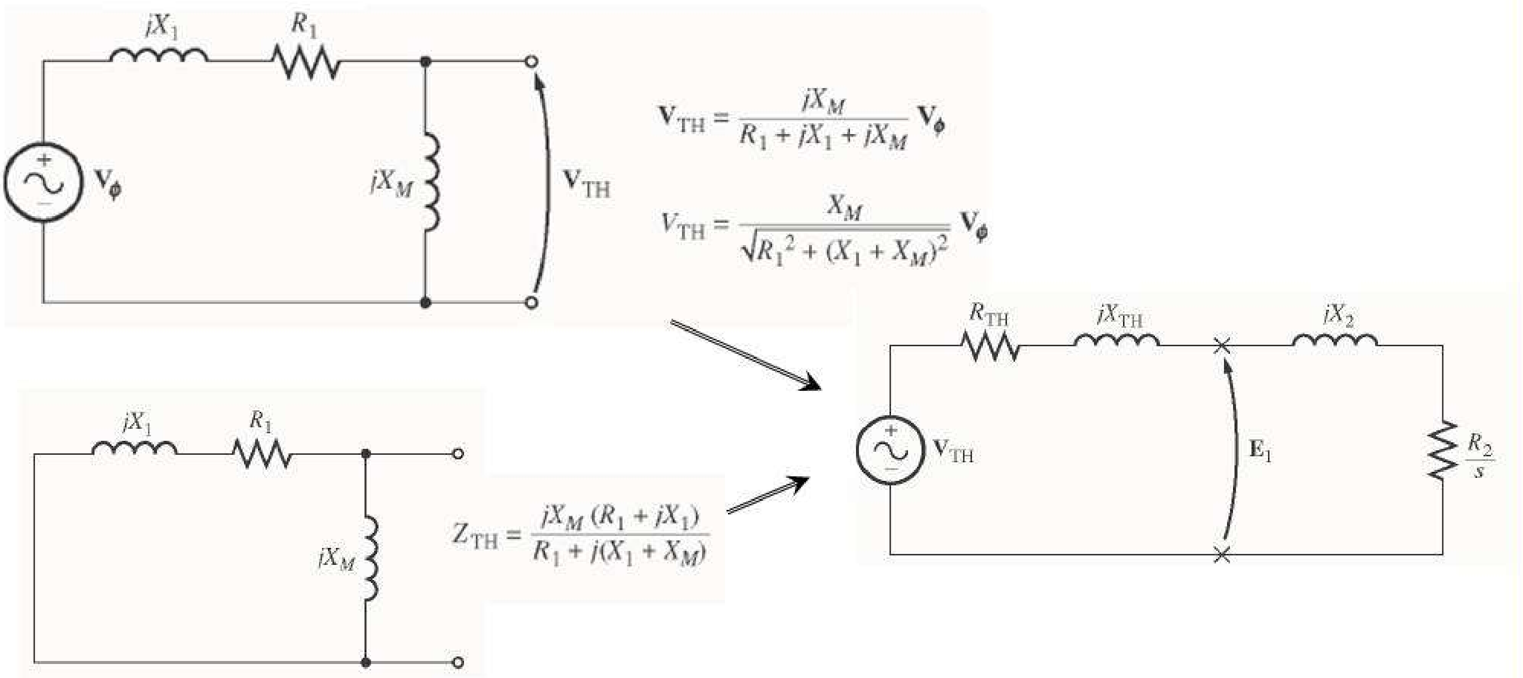
Ο βαθμός απόδοσης είναι:

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

Η γωνιακή ταχήτητα 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:



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

$$\mathbf{V}_{TH} = \frac{jX_M}{R_1 + j(X_1 + X_M)}\mathbf{V}_\phi = \frac{(j15\ \Omega)}{0.22\ \Omega\ +\ j(0.43\ \Omega + 15\ \Omega)}\ (120\angle 0°\ \mathrm{V}) = 116.8\angle 0.7°\ \mathrm{V}$$

Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση είναι:

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

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

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

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

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:

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

$$1.00 = \frac{R_2}{\sqrt{(0.1895\ \Omega)^2 + (0.4016\ \Omega\ + 0.410\ \Omega)^2}}$$

$$R_2 = 0.833\ \Omega$$

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

Εφαρμογή 4

Εξαπολικός κινητήρας επαγωγής συνδέσεως αστέρα με τυλιγμένο δρομέα έχει τα ακόλουθα στοιχεία ισοδυνάμου κυκλώματος (ανηγμένα στο στάτη ανά φάση)

$$r_1 = r_2 = 0,5\ \Omega, \qquad X_1 = X_2 = 2\ \Omega, \qquad X_m = 18\ \Omega$$

Ο κινητήρας συνδέεται σε συμμετρικό τριφασικό δίκτυο 800 V, 50 Hz και χρησιμοποιείται για την κίνηση φορτίου 30 HP με 950 στροφές ανά λεπτό. Πόση αντίσταση πρέπει να προστεθεί στο τύλιγμα του δρομέα;

Οι απώλειες περιστροφής θεωρούνται σταθερές και ίσες με 800 W.

Λύση

$$P_{\varepsilon\sigma} = 30 \cdot 746 + 800 = 23180\, W$$

$$n_1 = 120 \cdot \frac{50}{6} = 1000\ \Sigma \mathrm{A}\Lambda$$

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0{,}05$$

$$V_1 = \frac{800}{\sqrt{3}}\, V$$

$$V_{th} = V_1 \left| \frac{j18}{0{,}5 + j20} \right| = 415{,}56\, V$$

$$R_{th} + jX_{th} = \frac{j18(0{,}5 + j2)}{0{,}5 + j20} = 0{,}405 + j1{,}81\, \Omega$$

$$P_{\varepsilon\sigma} = T_{\varepsilon\sigma} \cdot \omega_m = \frac{\omega_m}{\omega_s} \frac{3\, V_{th}^2 \frac{r_2}{s}}{\left(R_{th} + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_{th} + X_2)^2} = \frac{3 \cdot 415{,}56^2 \frac{r_2}{s}(1-s)}{\left(0{,}405 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (1{,}81 + 2)^2} = 23180\ W$$

Θέτοντας $z = \frac{r_2}{s}$, προκύπτει μετά από πράξεις:

$$(0{,}405 + z)^2 + 3{,}81^2 = 22{,}35 \cdot 0{,}95 \Rightarrow$$

$$z^2 - 20{,}422z + 14{,}68 = 0$$

Οι λύσεις του τριωνύμου είναι $r_2 = 0{,}984\ \Omega$ ή $r_2 = 0{,}037\ \Omega$.

Επομένως πρέπει να προσθέσουμε εξωτερική αντίσταση

$$\Delta \mathrm{r}_2 = 0{,}484\ \Omega$$

Εφαρμογή 5

Τριφασικός κινητήρας επαγωγής 10 HP, 380 V, 50 Hz, συνδέσεως αστέρα έχει τις παρακάτω παραμέτρους:

$$r_1 = r_2 = 0,4\ \Omega, \qquad X_1 = X_2 = 0,6\ \Omega, \qquad X_m = 20\ \Omega$$

Όταν ο κινητήρας τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση να βρεθούν:

α) Η ολίσθηση στην οποία ο κινητήρας αποδίδει την ονομαστική του ισχύ. (Οι απώλειες περιστροφής αμελούνται.)

β) Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα.

Λύση

α)

$$V_{th} = 220\left|\frac{j20}{0{,}4 + j20{,}6}\right| = 213{,}55\,V$$

$$R_{th} + jX_{th} = \frac{j20(0{,}4 + j0{,}6)}{0{,}4 + j20{,}6} = 0{,}377 + j0{,}59\,\Omega$$

$$P_{\varepsilon\sigma} = \frac{3 \cdot 213{,}55^2 \frac{r_2}{s}(1 - s)}{\left(0{,}377 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (0{,}6 + 0{,}59)^2} = 7460\,W$$

Θέτοντας $z = \frac{r_2}{s}$, προκύπτει μετά από πράξεις:

$$(0{,}377 + z)^2 + 1{,}19^2 = 18{,}339 \cdot (z - 0{,}4) \Rightarrow$$

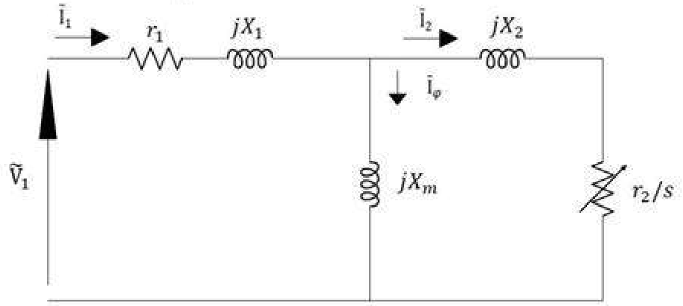
$$z^2 - 17{,}585z + 8{,}894 = 0$$

Οι λύσεις του τριωνύμου αντιστοιχούν σε $s = 0{,}023$ ή $s = 0{,}767$.

Από αυτές η πρώτη είναι η ολίσθηση κανονικής λειτουργίας και η δεύτερη αντιστοιχεί στην περιοχή επιταχύνσεως. Άρα ο κινητήρας αποδίδει την ονομαστική του ισχύ σε ολίσθηση 2,3%.

β)

Από το προηγούμενο ερώτημα γνωρίζουμε την αντίσταση $\frac{r_2}{s} = 17{,}064\ \Omega$, καθώς και την αποδιδόμενη ισχύ 7460 W. Για να βρούμε το βαθμό αποδόσεως αρκεί να υπολογίσουμε την ισχύ εισόδου από το ισοδύναμο κύκλωμα.



$$Z_{o\lambda} = \left(\frac{r_2}{s} + jX_2\right) /\!/ \, jX_m + r_1 + jX_1$$

$$Z_{o\lambda} = \frac{\left(\frac{r_2}{s} + jX_2\right) jX_m}{\frac{r_2}{s} + j(X_2 + X_m)} + r_1 + jX_1 = \frac{(17{,}064 + j0{,}6)j20}{17{,}064 + j20{,}6} + 0{,}4 + j0{,}6 \Rightarrow$$

$$Z_{o\lambda} = 9{,}939 + j9{,}084\ \Omega = 13{,}465\angle 42{,}43°\ \Omega$$

$$\tilde{I}_1 = \frac{220\angle 0°}{Z_{o\lambda}} = \frac{220\angle 0°}{13{,}465\angle 42{,}43°} = 16{,}339\angle 42{,}43°\ A$$

$$P_1 = 3V_1 I_1 cos\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 16{,}339 \cdot \cos 42{,}43\,° = 7960\ W$$

και άρα ο βαθμός αποδόσεως είναι

$$\eta = \text{Β.Α.} = \frac{7460}{7960} = 0{,}937 \text{ ή } 93{,}7\%$$

Εφαρμογή 6

Κινητήρας επαγωγής 380 V, 50 Hz, βραχυκυκλωμένου δρομέα έχει τις παρακάτω παραμέτρους ανά φάση (ανηγμένες στο στάτη):

$$\boldsymbol{R_1 = 1\,\Omega}, \quad \mathbf{X_1 = 4\,\Omega}, \quad \boldsymbol{r_2 = 0{,}8\,\Omega}, \quad \mathbf{X_2 = 3{,}5\,\Omega}$$

όπου στις τιμές R_1 και X_1 έχει συμπεριληφθεί η επίδραση της αντίστασης μαγνητίσεως X_φ.

α) Αν κατά την κανονική λειτουργία η εσωτερική ροπή είναι ίση με τη ροπή εκκινήσεως, να υπολογιστεί η ολίσθηση κανονικής λειτουργίας.

β) Να υπολογιστεί η ολίσθηση στην οποία η ροπή γίνεται μέγιστη.

Λύση

α)

Προφανώς,

$$R_1 = R_{th} \text{ και } X_1 = X_{th}$$

Ισχύει ότι:

$$T_{\varepsilon\kappa\kappa} = T_{em} \Rightarrow$$

$$\frac{3}{\omega_s}\frac{V_{th}^2 r_2}{(R_{th}+r_2)^2+(X_{th}+X_2)^2} = \frac{3}{\omega_s}\frac{V_{th}^2\frac{r_2}{s}}{\left(R_{th}+\frac{r_2}{s}\right)^2+(X_{th}+X_2)^2}$$

Μοναδικός άγνωστος η ζητούμενη ολίσθηση

Αντικαθιστώντας με $z = \frac{r_2}{s}$ και μετά από πράξεις λαμβάνουμε:

$$(1+z)^2 + 7{,}5^2 = \frac{1{,}8^2 + 7{,}5^2}{0{,}8} z$$

ή ισοδύναμα:

$$z^2 - 72{,}363z + 57{,}25 = 0$$

Η λύση $z = 71{,}563$ αντιστοιχεί σε ολίσθηση $s = 0{,}011$, ενώ η λύση $z = 0{,}8$ αντιστοιχεί σε ολίσθηση εκκινήσεως $s = 1$. Συνεπώς, η ολίσθηση κανονικής λειτουργίας είναι $s = 1{,}1\%$

β)

$$s_{maxT} = \frac{r_2}{\sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2}} = 0{,}106$$

Άρα η ροπή γίνεται μέγιστη για ολίσθηση 10,6%.

Εφαρμογή 7

Τα στοιχεία του ισοδυνάμου ανά φάση κυκλώματος μιας σύγχρονης τριφασικής εξαπολικής γεννήτριας 380 V, 50 Hz, συνδεσμολογίας αστέρα είναι:

$$r_1 \sim 0\ \Omega, \quad X_1 = 1\ \Omega, \quad X_m = 12\ \Omega, \quad r_2 = 0{,}1\ \Omega, \quad X_2 = 1\ \Omega$$

Η γεννήτρια τροφοδοτεί φορτίο υπό ονομαστική τάση και συχνότητα ενώ εμφανίζει απώλειες περιστροφής 500 W. Ζητούνται:

α) Να υπολογιστεί η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα όταν η γεννήτρια παράγει 17 kW

β) Εάν το φορτίο μεταβληθεί και η ταχύτητα του δρομέα γίνει 1010 ΣΑΛ να υπολογιστούν η αναπτυσσόμενη ροπή και ο βαθμός απόδοσης.

α)

$$V_{th} = \frac{X_m}{X_1 + X_m} \cdot \frac{380}{\sqrt{3}} = 202{,}5\ V$$

$$R_{th} = 0$$

$$X_{th} = \frac{X_1 X_m}{X_1 + X_m} = 0{,}923\ \Omega$$

$$P_{\varepsilon\xi} = \mathrm{P_{g1}} = \mathrm{T_e}\omega_\mathrm{s} = \frac{3V_{th}^2 \frac{r_2}{s}}{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_{th} + X_2)^2} = 17000\ W$$

Έστω $z = \frac{r_2}{s}$, τότε μετά από πράξεις προκύπτει:

$$17000z^2 + 123038z + 62869{,}8 = 0 \Rightarrow$$

$$z_1 = -0{,}553 \rightarrow s_1 = -0{,}18$$

$$z_2 = -6{,}684 \rightarrow \boldsymbol{s_2 = -0{,}015}$$

$$n = (1 - s_2)n_s = 1015\ \text{ΣΑΛ}$$

β)

$$\omega_s = \frac{100\pi}{6/2} = 104{,}72\, rad/s$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 1010}{1000} = -0{,}01$$

$$T_{em} = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_{th}^2 \frac{r_2}{s}}{\left(R_{th} + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_{th} + X_2)^2} = \frac{3}{104{,}72} \cdot \frac{202{,}5^2 \cdot (10)}{(10)^2 + (1{,}923)^2} = 114{,}6\, Nm$$

$$P_e = P_g = T_e \omega_s = 114{,}6 \cdot 104{,}72 = 12\, kW$$

$$P_{em} = T_e (1 - s)\omega_s = 114{,}6 \cdot 1{,}01 \cdot 104{,}72 = 12{,}121\, kW$$

$$\eta = \frac{12000}{12121 + 500} = 0{,}951$$

$$f_r = |s| f_e = 0{,}01 \cdot 50 = 0{,}5\, Hz$$

Εφαρμογή 8

Τα στοιχεία του ισοδυνάμου κυκλώματος ανά φάση ενός ασύγχρονου τριφασικού διπολικού κινητήρα 380 V, 50 Hz, συνδεσμολογίας αστέρα είναι:

$$r_1 \sim 0\ \Omega, \quad \mathrm{X}_1 = 0,1\ \Omega, \quad \mathrm{X}_m = 12\ \Omega, \quad r_2 = 0,01\ \Omega, \quad \mathrm{X}_2 = 0,1\ \Omega$$

Ο κινητήρας τροφοδοτείται με ονομαστική τάση και συχνότητα. Ζητούνται:

α) Οι τιμές των ρευμάτων στάτη και δρομέα (ανηγμένο στο στάτη) κατά την εκκίνηση καθώς και η ροπή εκκίνησης

β) Η τιμή χωρητικότητας τριών ίδιων πυκνωτών οι οποίοι συνδεόμενοι σε τρίγωνο παράλληλα στους ακροδέκτες του κινητήρα επιτυγχάνουν μοναδιαίο συνολικό συντελεστή ισχύος κατά την εκκίνηση.

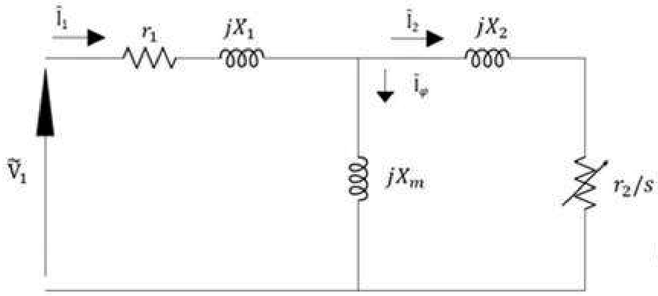
γ) Πώς θα μεταβληθεί το ρεύμα γραμμής κατά την εκκίνηση και η ροπή εκκίνησης εάν ο κινητήρας συνδεθεί σε τρίγωνο (οι παράμετροι του ισοδυνάμου κυκλώματος μπορούν να θεωρηθούν αμετάβλητες)

δ) Η συχνότητα των ρευμάτων του δρομέα κατά την εκκίνηση

Λύση

α)

$$\tilde{I}_1 = \frac{\tilde{V}_1}{jX_1 + \frac{jX_m(jX_2 + r_2)}{jX_m + jX_2 + r_2}} = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}\angle 0°}{j0{,}1 + \frac{j12(j0{,}1 + 0{,}01)}{j12 + j0{,}1 + 0{,}01}} = 1103{,}1\angle -87{,}17°\ A$$



$$jX_{th} = \frac{jX_m \cdot jX_1}{jX_m + jX_1} = j0{,}099\ \Omega$$

$$V_{th} = V_1 \left|\frac{jX_m}{jX_m + jX_1}\right| = 218{,}18\ V$$

$$I_2 = \left|\frac{V_{th}}{r_2 + j(X_{th} + X_2)}\right| = \left|\frac{218{,}18}{0{,}01 + j12{,}1}\right| = 1095\ A$$

$$T_{\varepsilon\kappa\kappa} = \frac{1}{\omega_s} 3I_2^2 r_2 = 114{,}5\ Nm$$

$$\left(P_g = 3I_2^2 r_2, \omega_s = 100\pi = 314 \frac{rad}{s}\right)$$

β)

$$Q_{\varepsilon\kappa\kappa} = 3V_1 I_{\varepsilon\kappa\kappa} sin\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 1103{,}1 \cdot \sin(87{,}17°) = 727{,}16\ kVAr$$

$$Q_c = Q_{\varepsilon\kappa\kappa} = \frac{3V_\pi^2}{z_c} = 3V_\pi^2 \omega C \Rightarrow C = \frac{727{,}16 \cdot 10^3}{3 \cdot 380^2 \cdot 314} = 5{,}32\ mF$$

Έστω ότι ζητάει $cos\varphi_{\varepsilon\kappa\kappa} = 0{,}9\ \varepsilon\pi\alpha\gamma \Rightarrow tan\varphi_{\varepsilon\kappa\kappa} = 0{,}484$

$$P_{\varepsilon\kappa\kappa} = \frac{Q_{\varepsilon\kappa\kappa}}{tan\varphi} = \frac{727{,}17}{\tan(\cos^{-1} 87{,}17°)} = 35{,}95\ kW$$

$$Q'_{\varepsilon\kappa\kappa} = tan\varphi_{\varepsilon\kappa\kappa} \cdot P_{\varepsilon\kappa\kappa} = 17{,}41\ \mathrm{kVAr}$$

$$Q_{\varepsilon\kappa\kappa} - Q'_C = Q'_{\varepsilon\kappa\kappa} \Rightarrow Q'_C = 727{,}16 - 17{,}41 = 709{,}75\ kVAr$$

$$C' = \frac{709{,}75 \cdot 10^3}{3 \cdot 380^2 \cdot 314} = 5{,}22\ mF$$