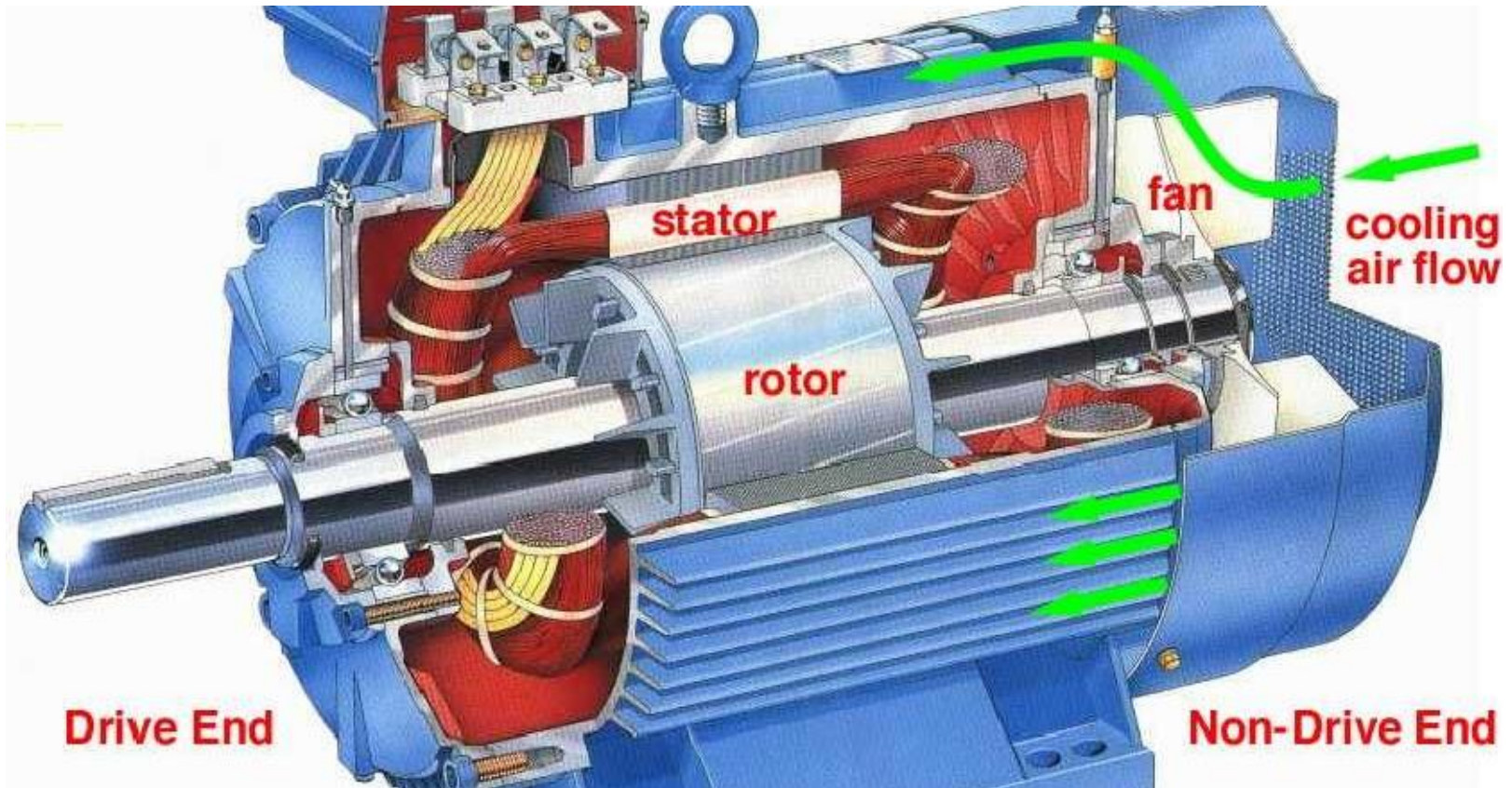


Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες



<https://blogs.sch.gr/imarinakis/>

<http://imarinakis.mysch.gr/>

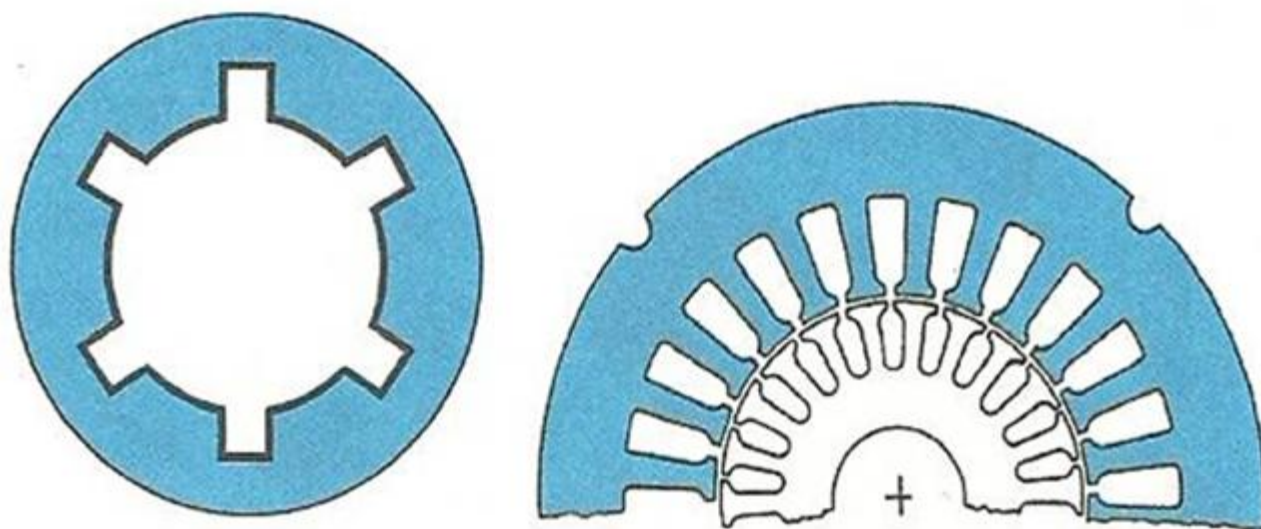
**ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ
ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

```
graph TD; A[ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ] --> B[Βραχυκυκλωμένου Δρομέα]; A --> C[Δακτυλιοφόροι];
```

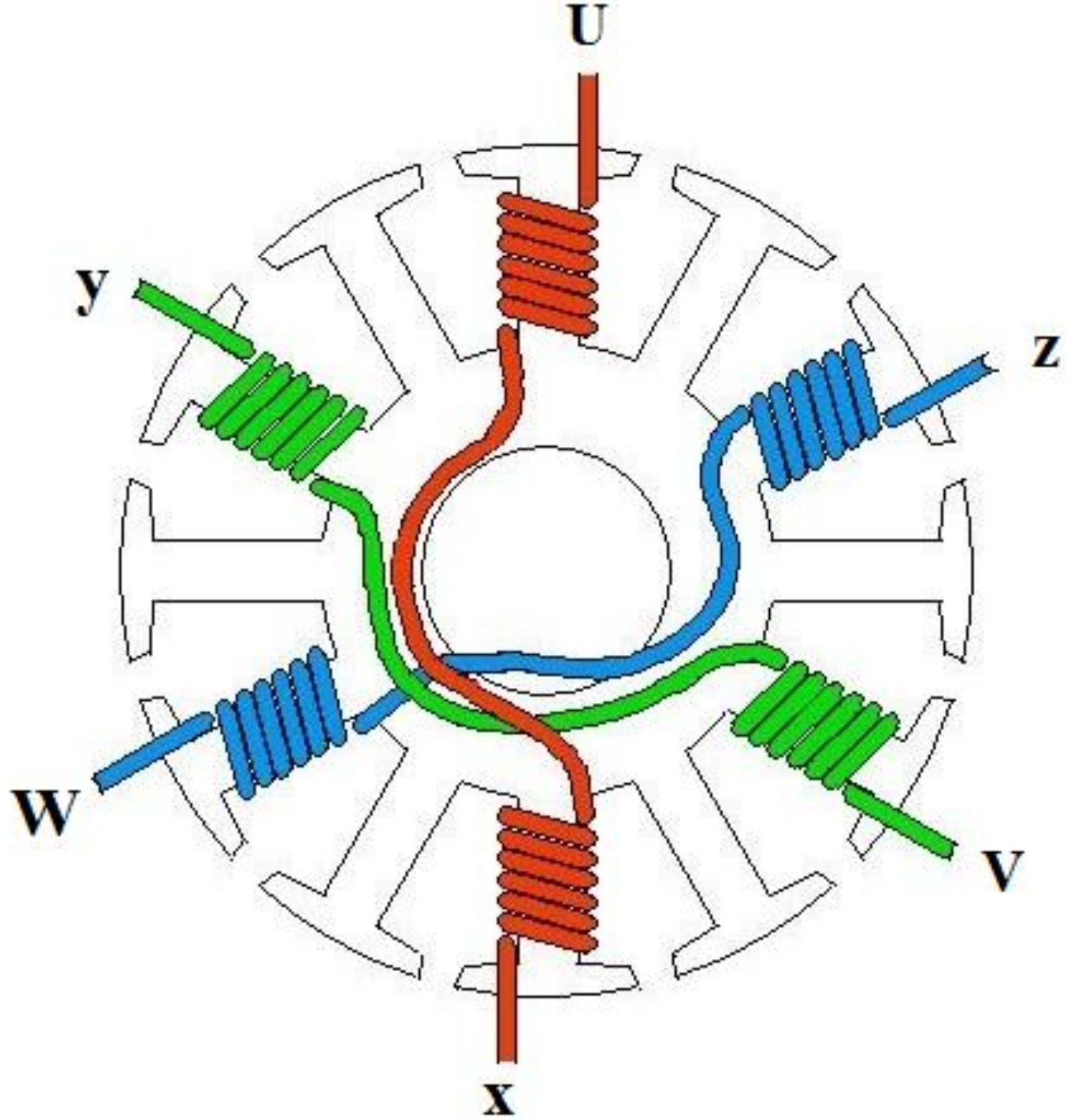
**Βραχυκυκλωμένου
Δρομέα**

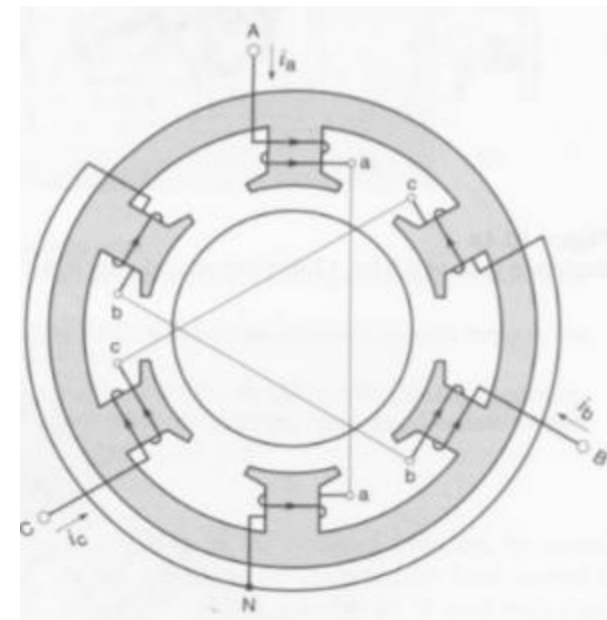
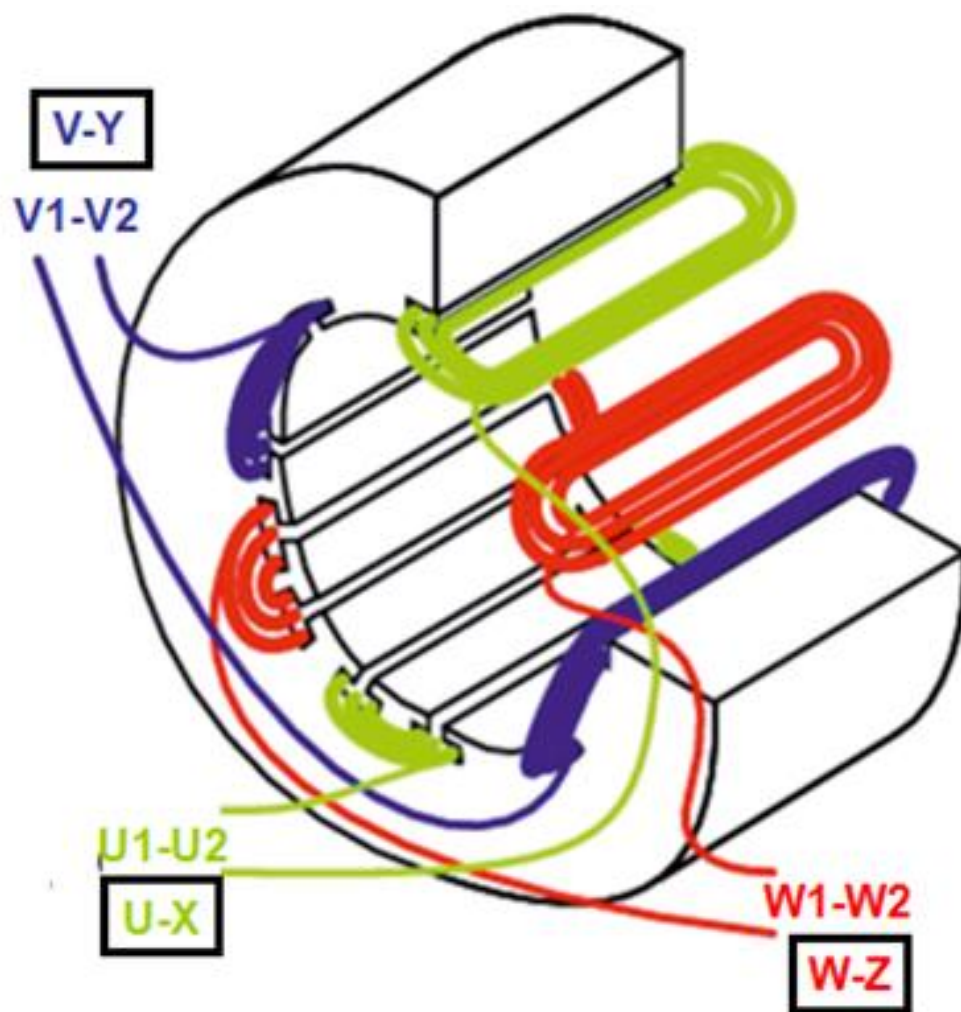
Δακτυλιοφόροι



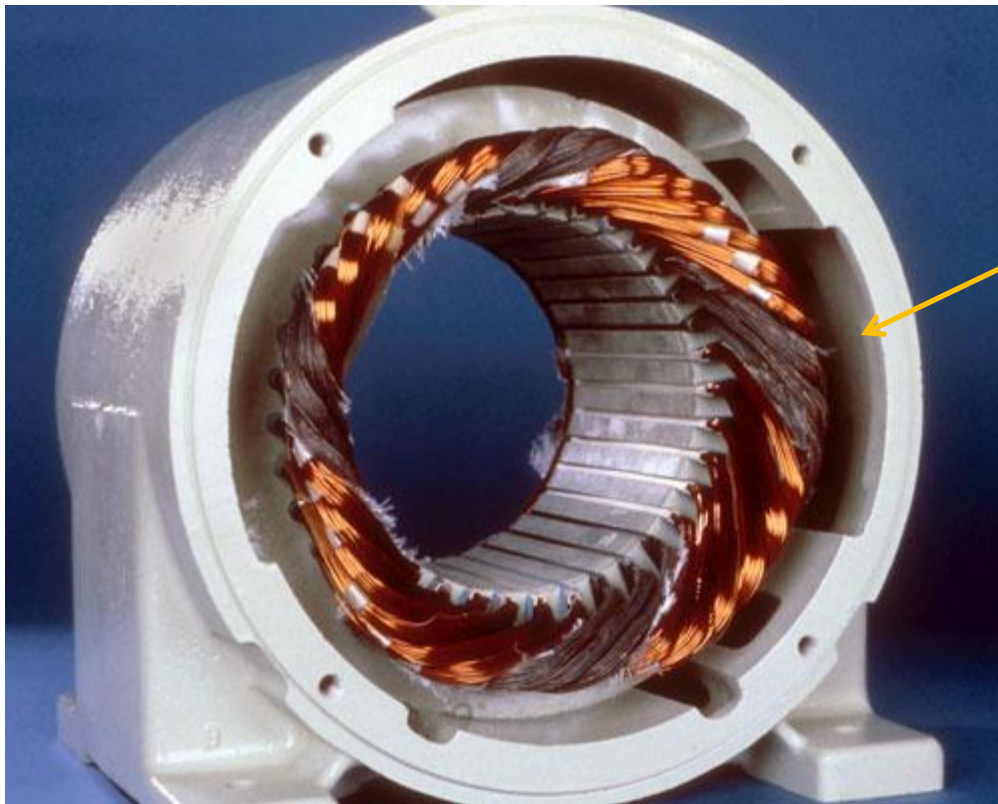


Μαγνητικά ελάσματα στάτη

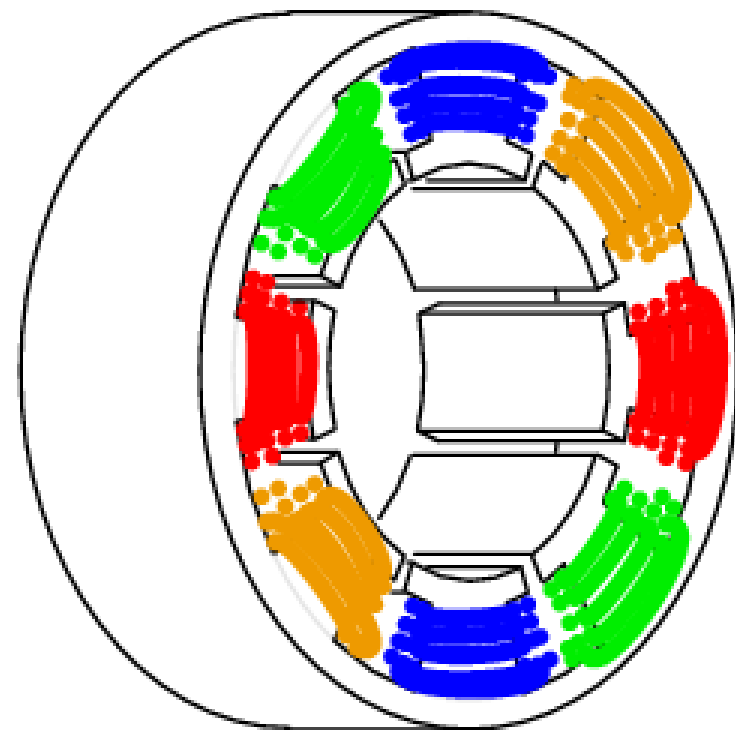


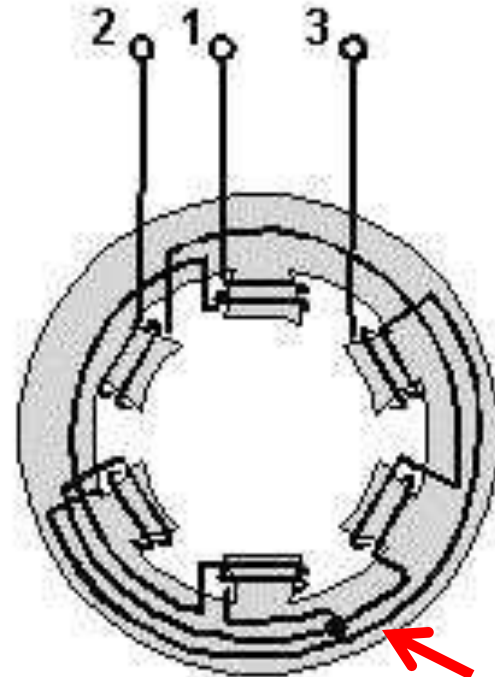
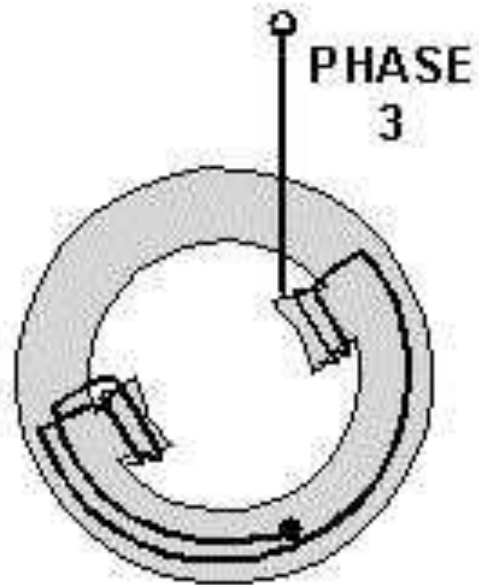
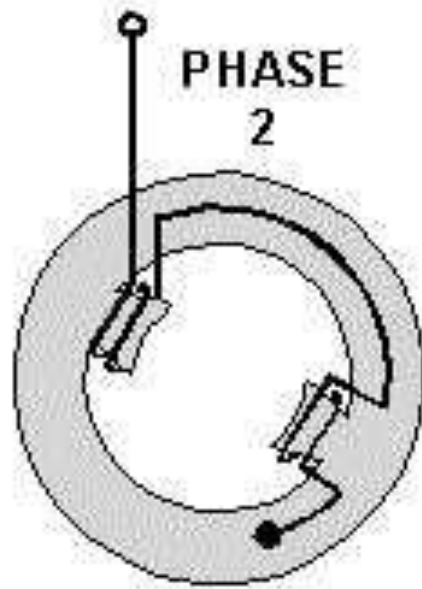
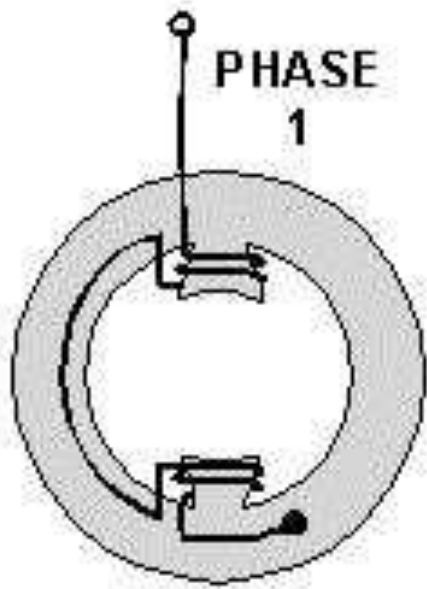


Στην απλούστερη μορφή, στο εσωτερικό των τριφασικών κινητήρων υπάρχουν τρία πηνία (**U1-U2** **V1-V2** **W1-W2**).

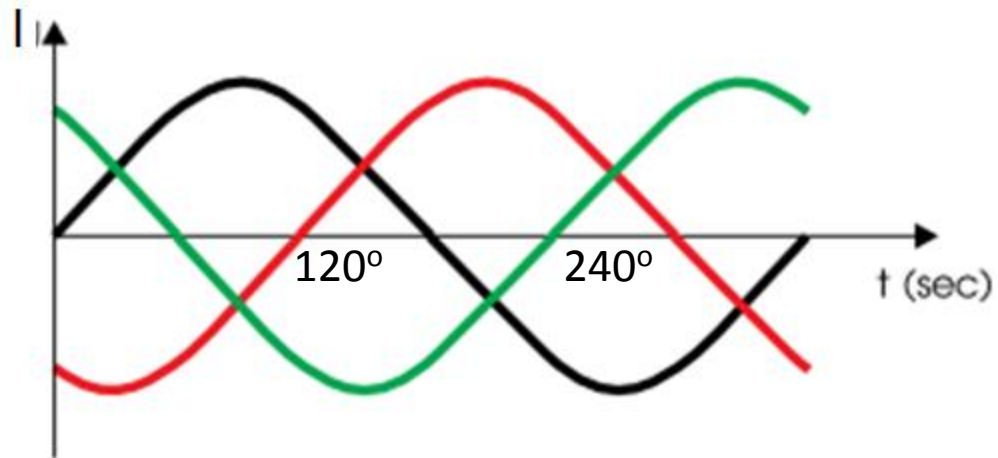
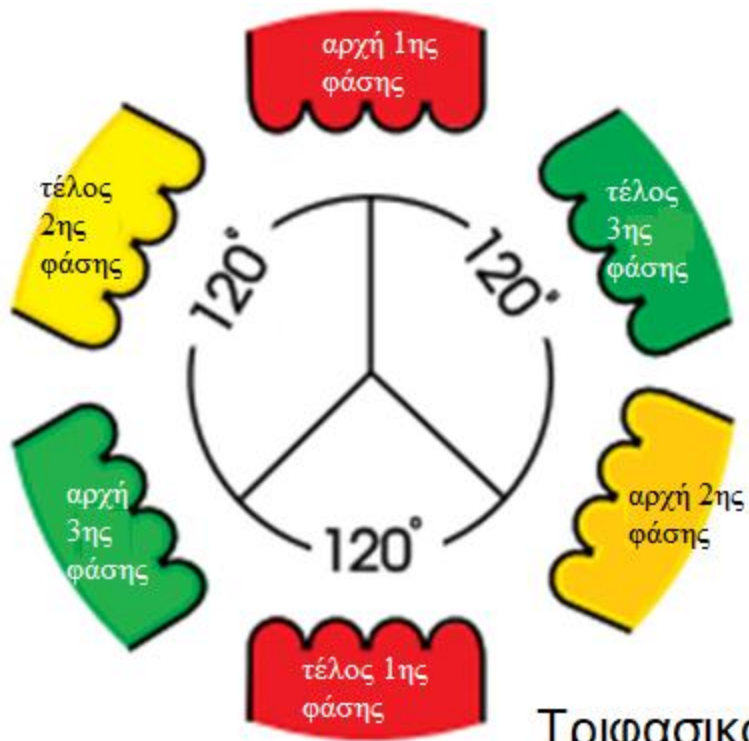


Τριφασικά
τυλίγματα



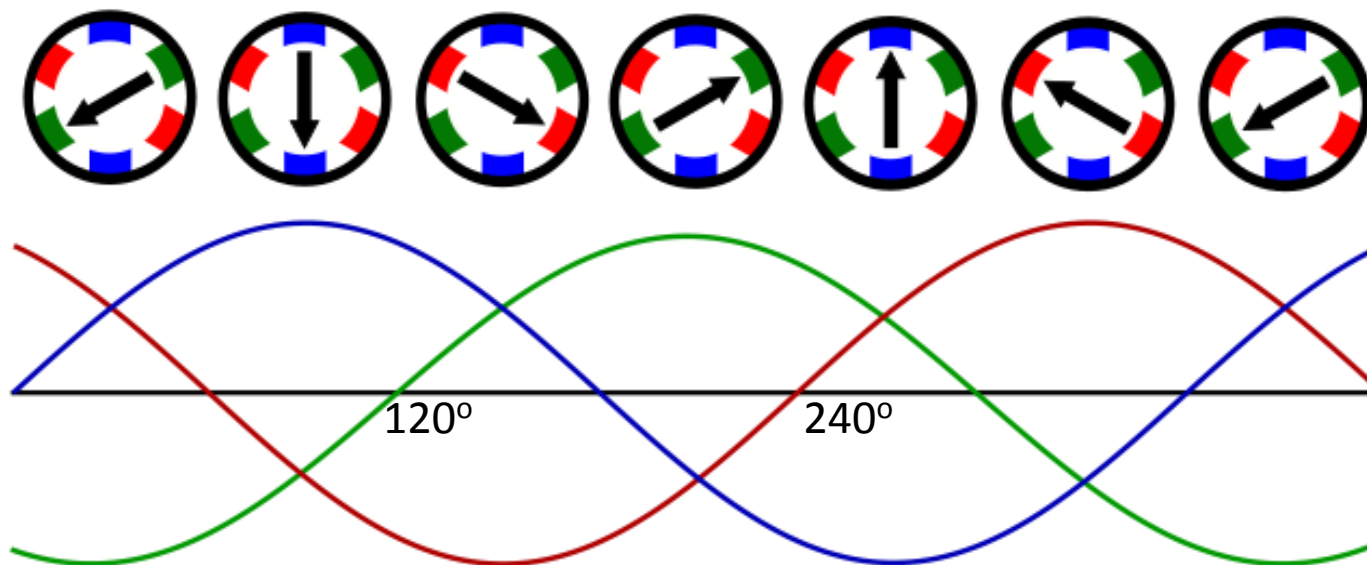


Τα τέλη είναι συγκεντρωμένα
σε ένα κοινό σημείο
αποτελώντας τον ουδέτερο
κόμβο (αστέρα)



Τριφασικό τύλιγμα στάτη

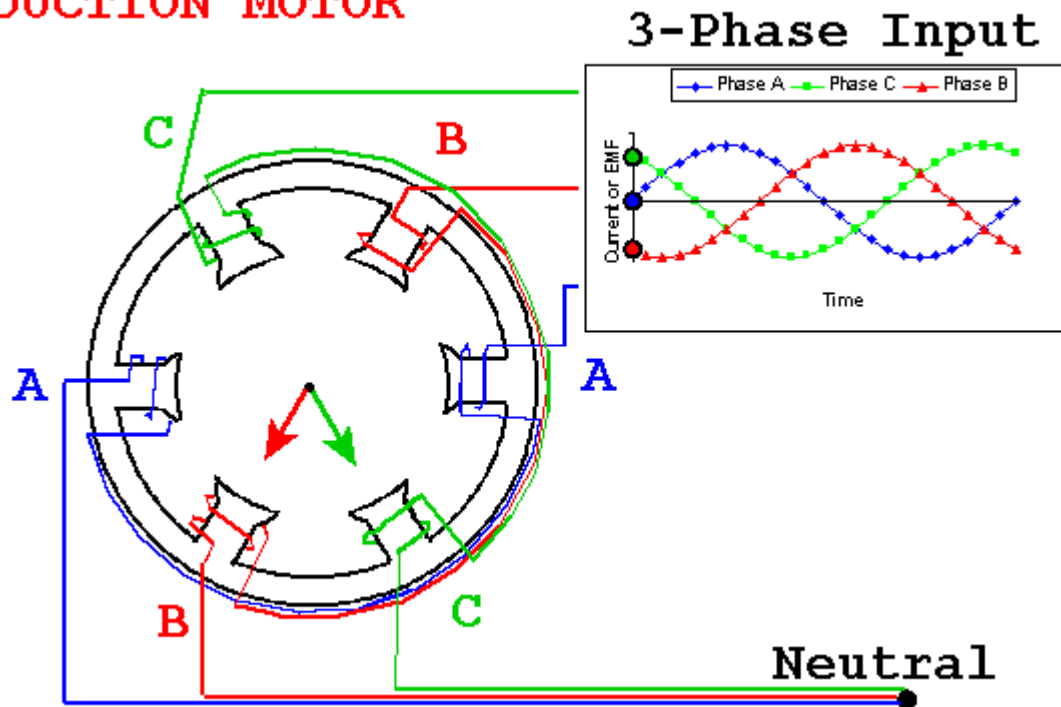
Το τριφασικό ρεύμα στα τριφασικά τυλίγματα του στάση, δημιουργεί το **Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο**.



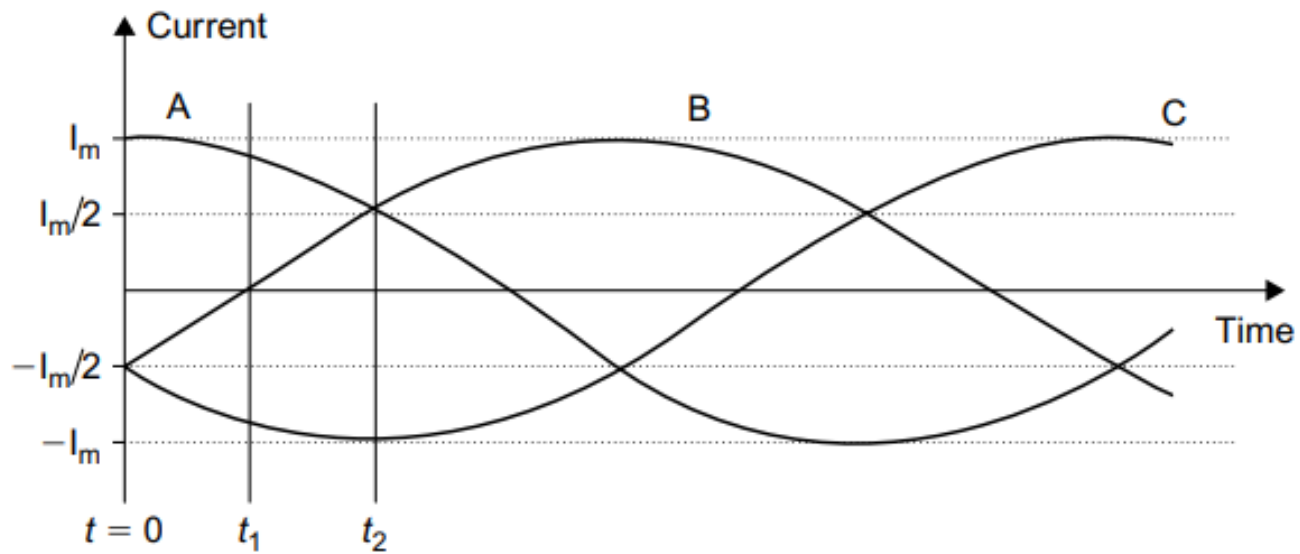
Στην περίπτωση αυτήν, κάθε φάση έχει δυο πόλους.

Στρεφόμενο Μαγνητικό Πεδίο

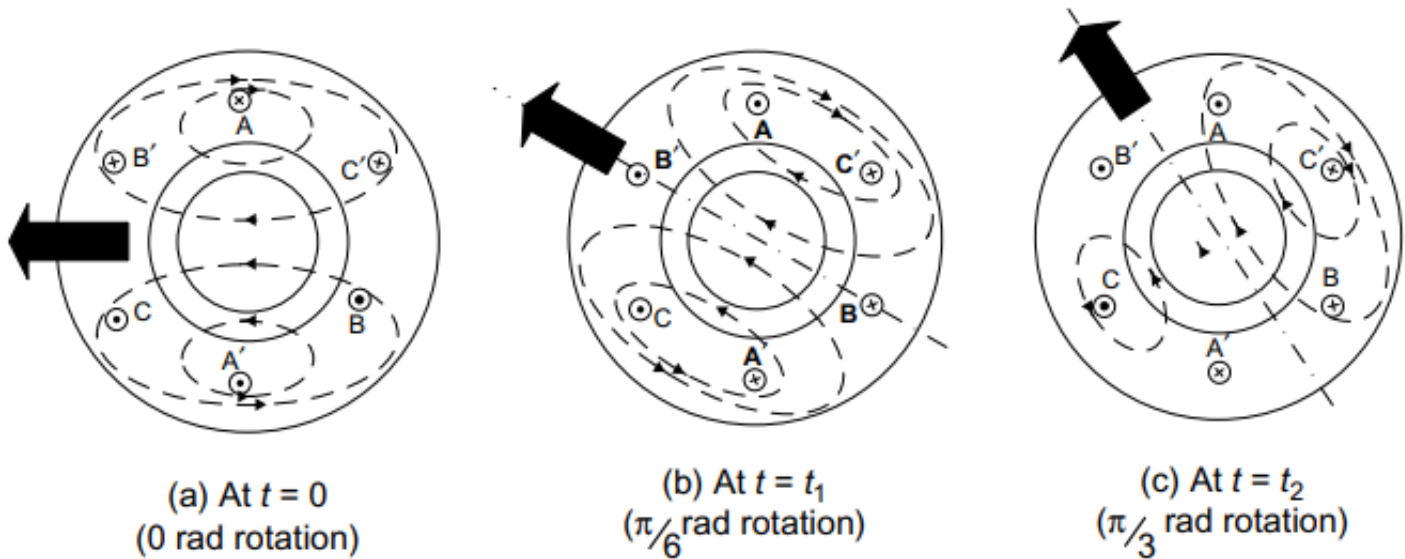
INDUCTION MOTOR

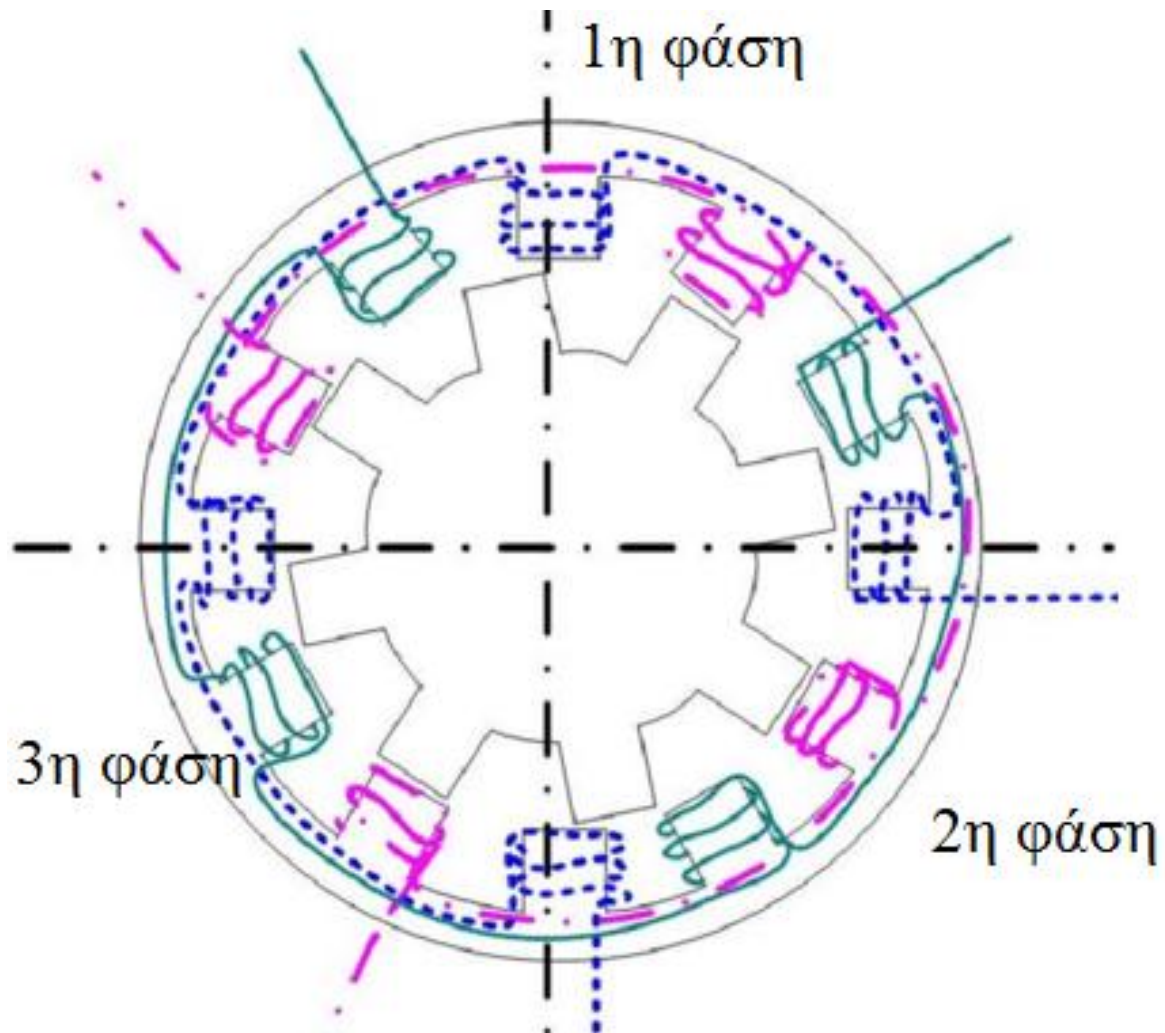


rotating stator magnetic field

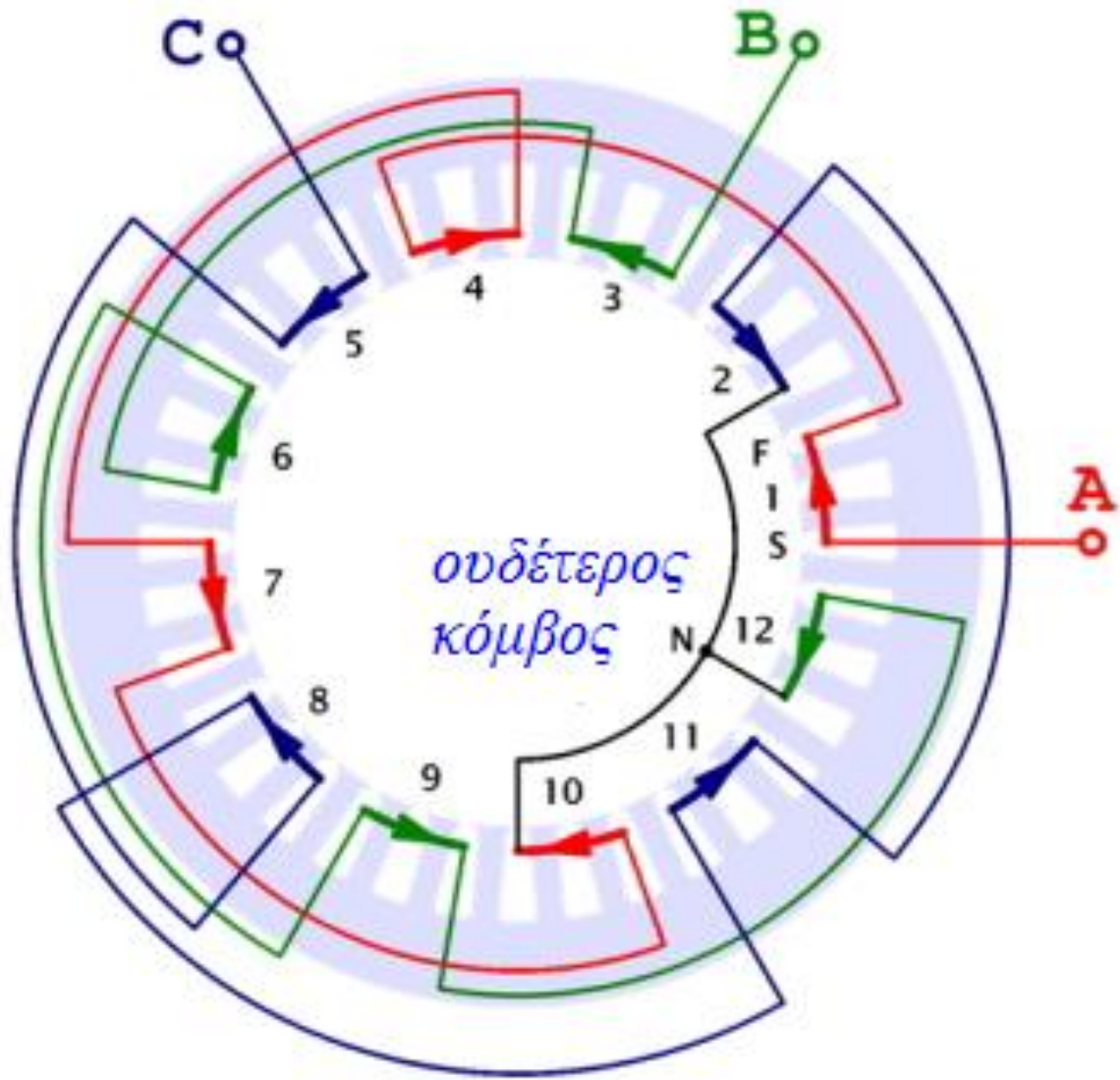


Three-phase currents ($t_1 = \pi/6\omega$ and $t_2 = \pi/3\omega$)





Δύο ζευγάρια πόλων ανά φάση (τετραπολική μηχανή)



Δύο ζευγάρια πόλων ανά φάση (τετραπολική μηχανή)

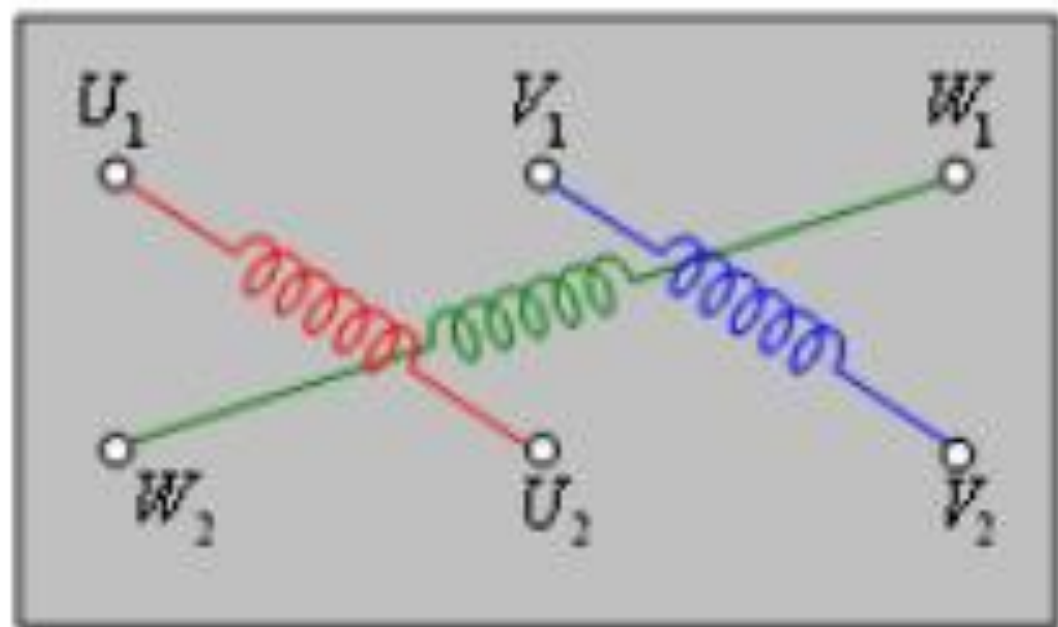
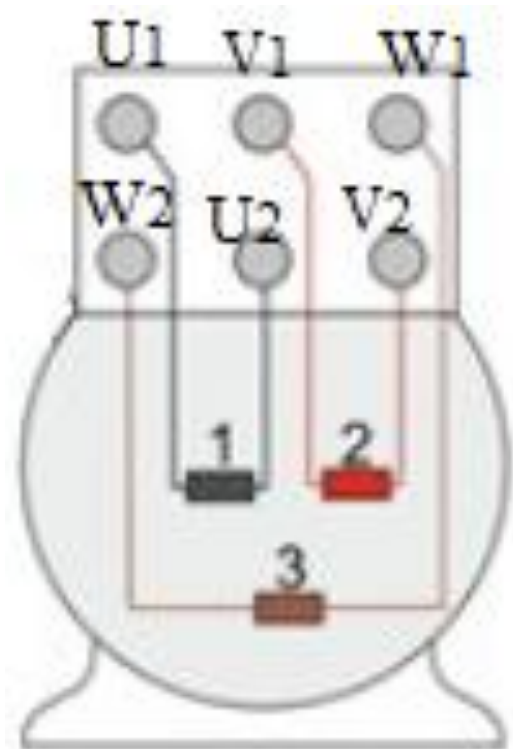
Ταχύτητα Στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (Σύγχρονη ταχύτητα):

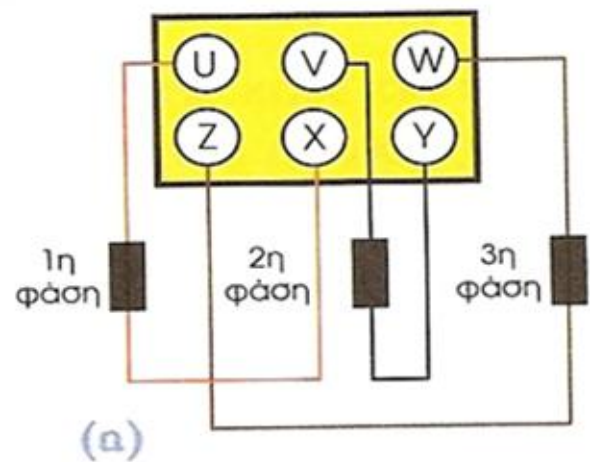
$$n_s = \frac{60f}{p}$$

n_s : σύγχρονη ταχύτητα σε στρ/min (Σ.Α.Λ)

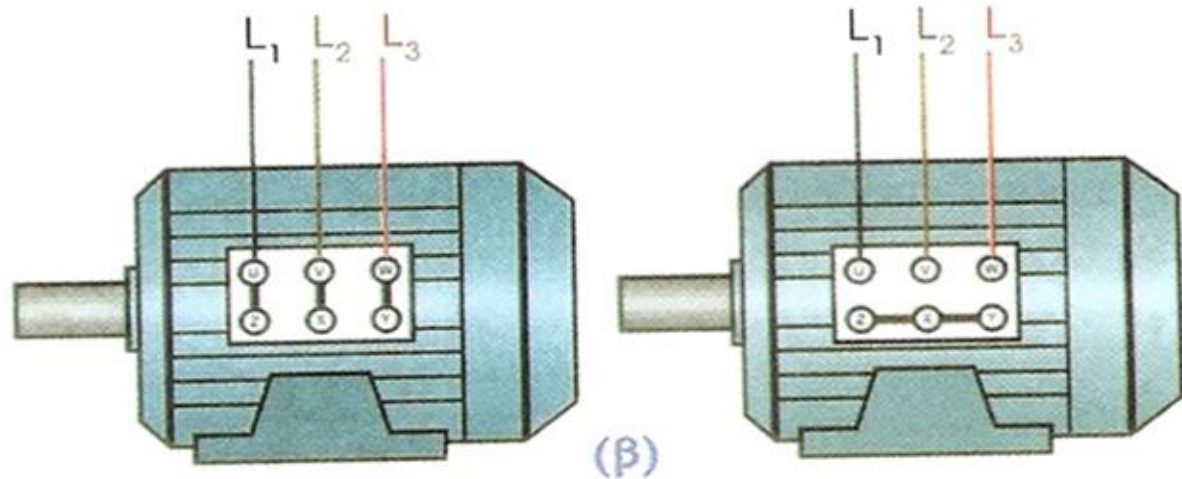
f : συχνότητα τροφοδοσίας σε Hz (1/sec)

p : ζεύγη μαγνητικών πόλων





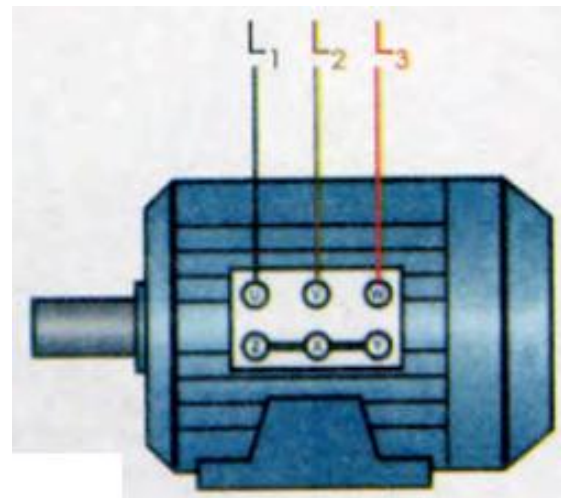
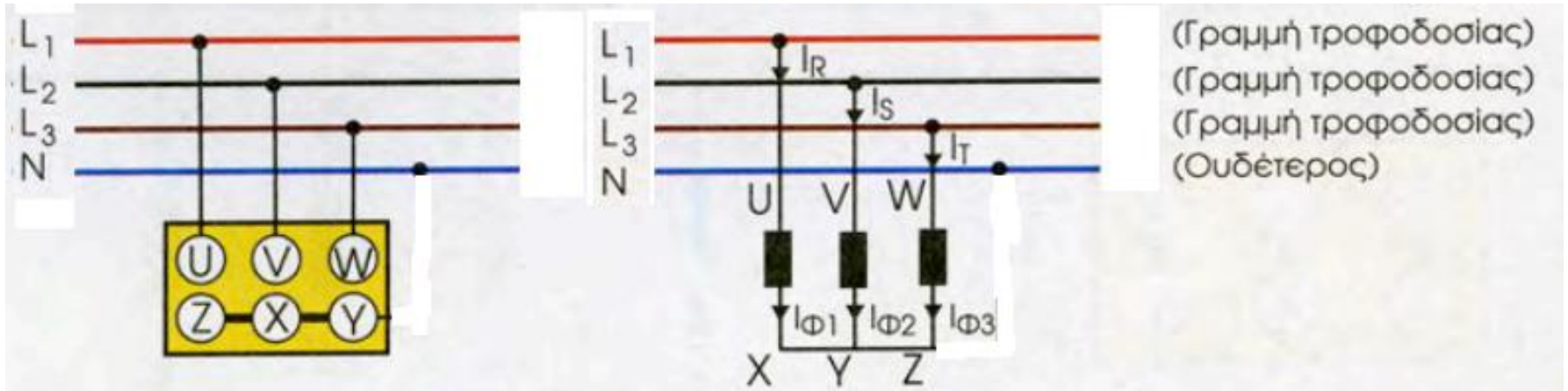
Άκρα τριφασικής μηχανής



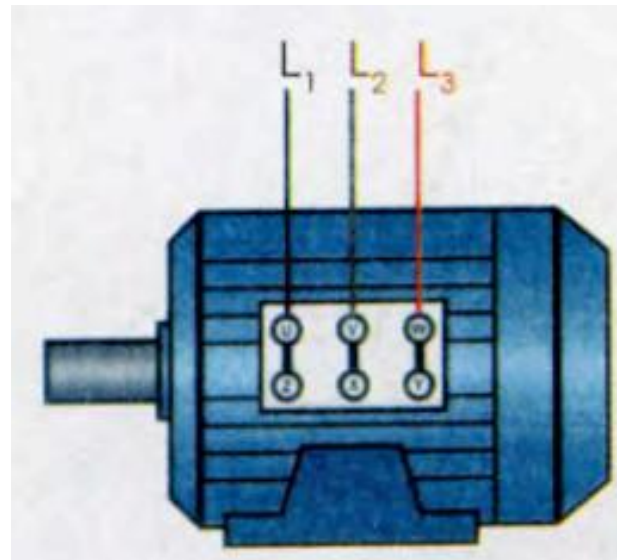
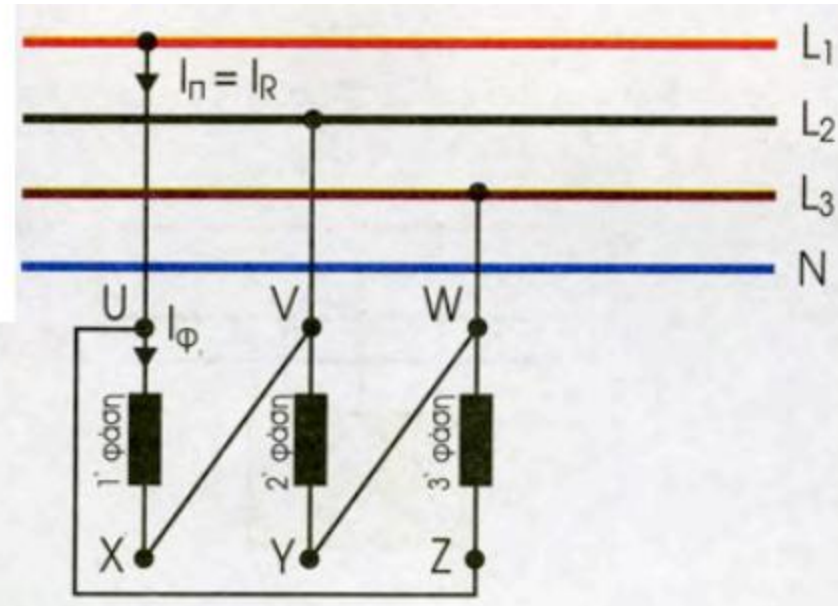
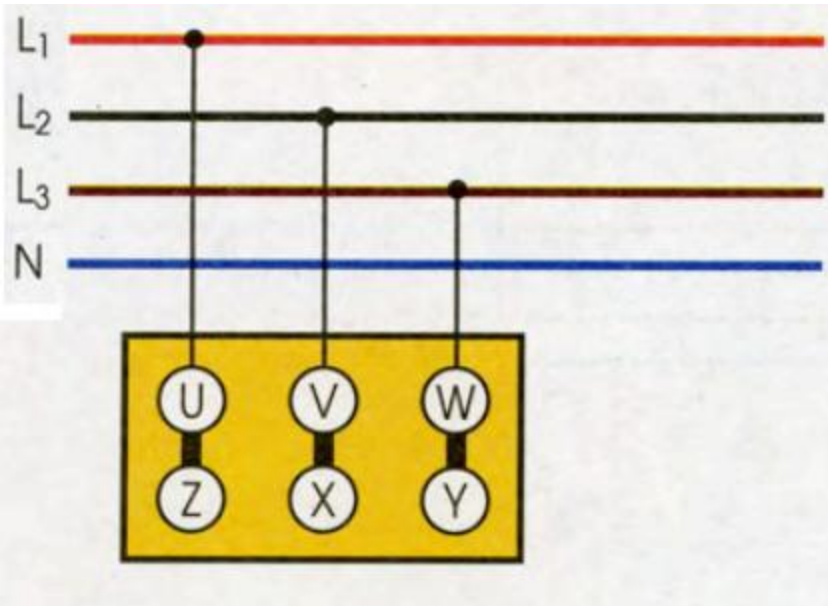
Σύνδεση κατά τρίγωνο και αστέρα

Συνδεσμολογία τυλιγμάτων Στάτη:

α) Αστέρας

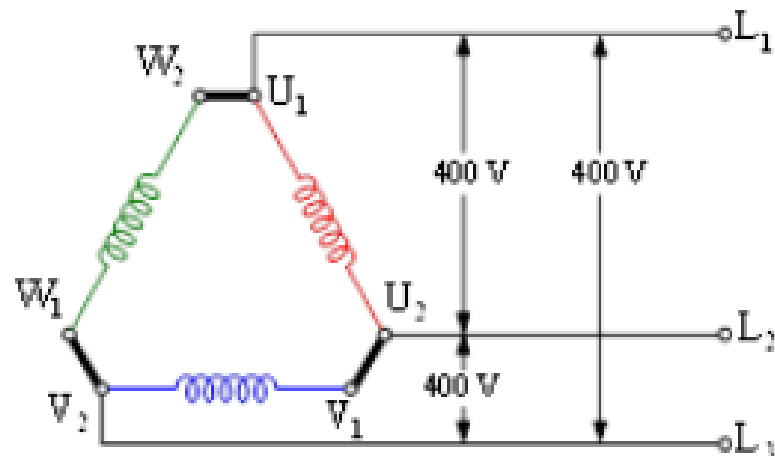
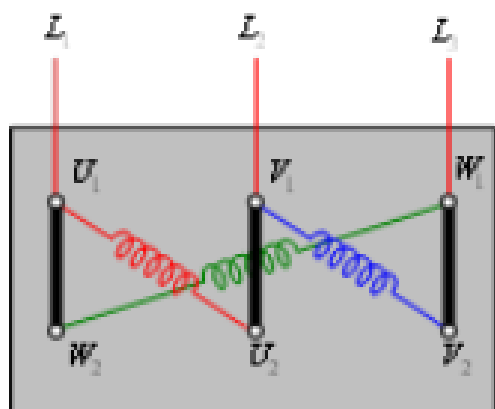
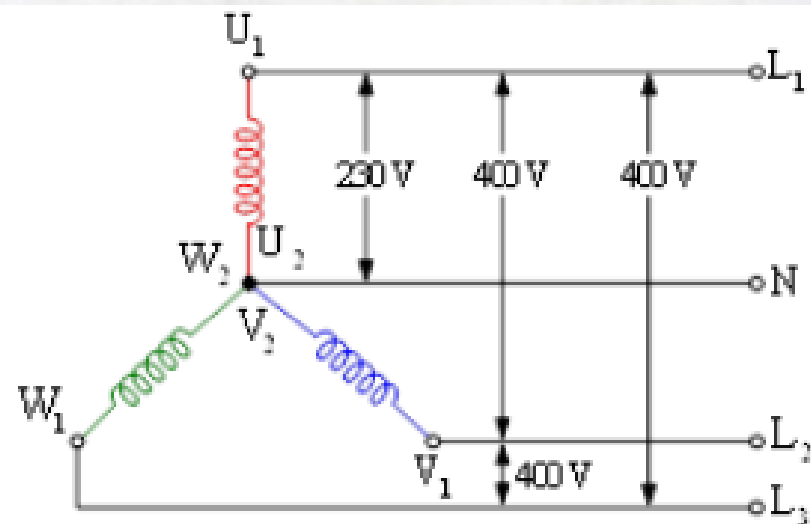
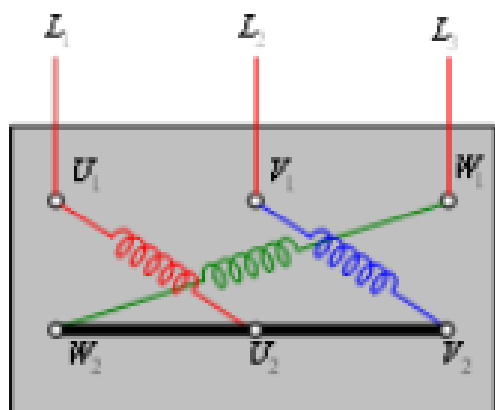


β) Τρίγωνο



Τάση λειτουργίας

Τα πηνία των τριών φάσεων του κινητήρα ανάλογα με τη διατομή τους μπορούν να εργασθούν σε μία καθορισμένη από τον κατασκευαστή τάση. Αυτή υποχρεωτικά αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής. Για παράδειγμα, αν η ένδειξη είναι **220VΔ/380VΥ**, ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί με πολική τάση δικτύου **220V** σε σύνδεση τριγώνου και **380V** σε σύνδεση αστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα



Για να συνδέσω ένα κινητήρα σε **ΑΣΤΕΡΑ** στο δίκτυο της ΔΕΗ (πολική 380V) πρέπει η πινακίδα του να αναγράφει

Η τάση 380V αντιστοιχεί στον αστέρα

220/380V Δ Υ ή 380V Υ

Εάν έχουμε δίκτυο με πολική τάση (μεταξύ δύο φάσεων) 220V όπως πχ με τη χρήση ενός μικρής ισχύος Inverter, συνδέουμε τον κινητήρα σε τρίγωνο.

Και στις δύο περιπτώσεις ή τάση τελικά που εφαρμόζεται στο κάθε πηνίο της μηχανής είναι 220V

Για να συνδέσω ένα κινητήρα σε **ΤΡΙΓΩΝΟ** στο δίκτυο της ΔΕΗ (πολική 380V) πρέπει η πινακίδα του να αναγράφει:

Η τάση 380V αντιστοιχεί στο τρίγωνο

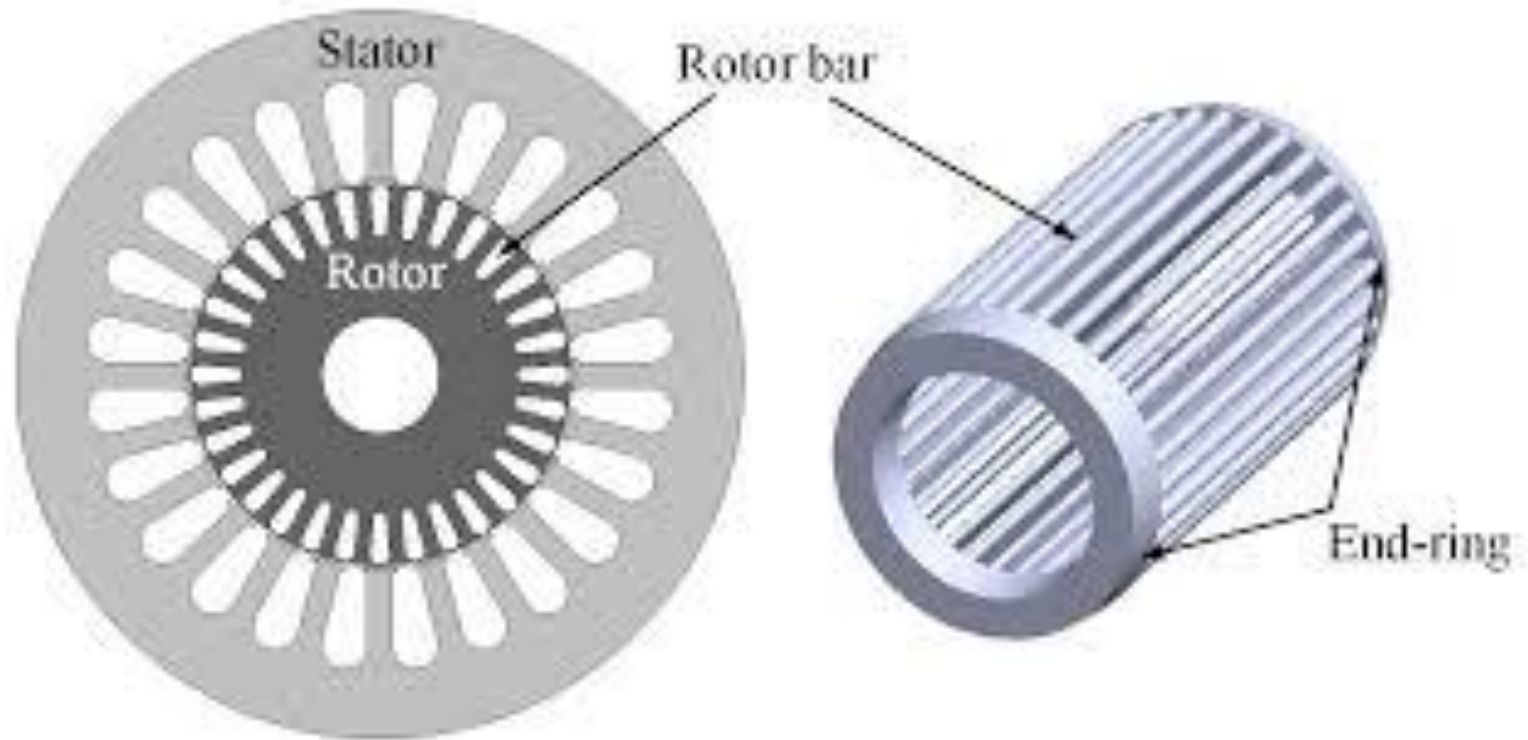


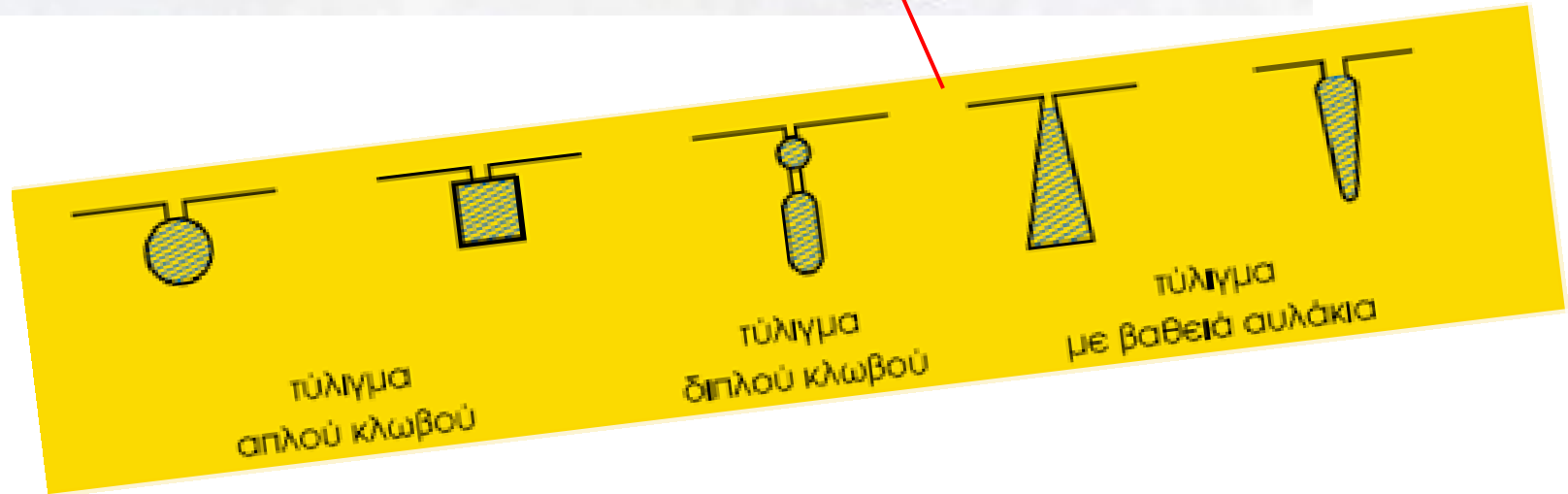
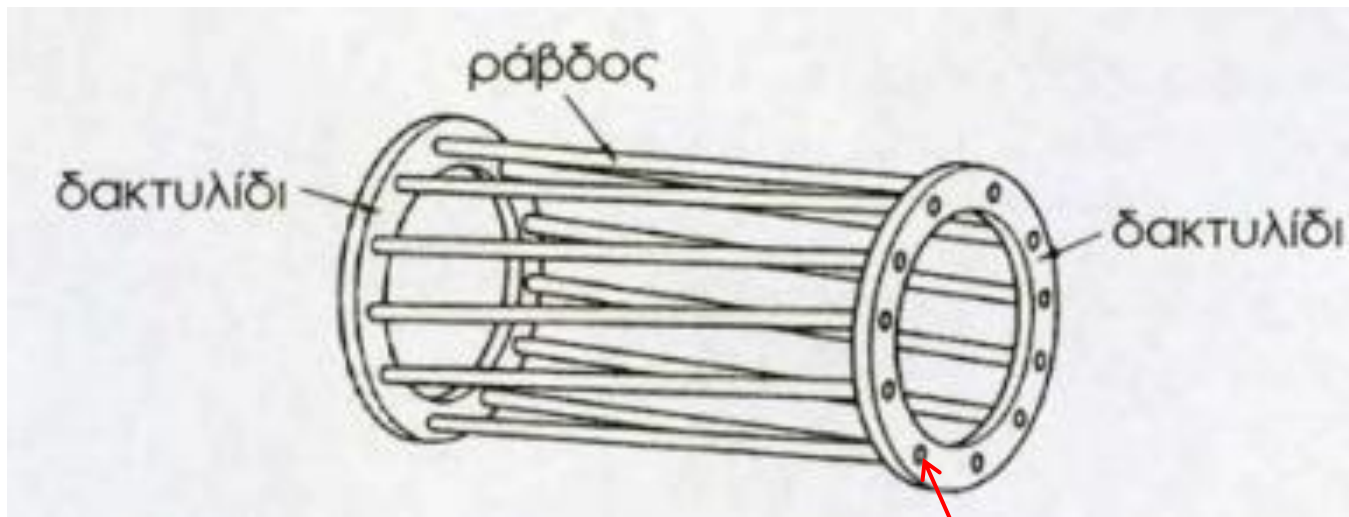
Σε ένα άλλο δίκτυο το οποίο έχει πολική 660V πρέπει να συνδέσω τον κινητήρα σε Υ

Και στις δύο περιπτώσεις ή τάση τελικά που εφαρμόζεται στο πηνίο της μηχανής είναι 380V

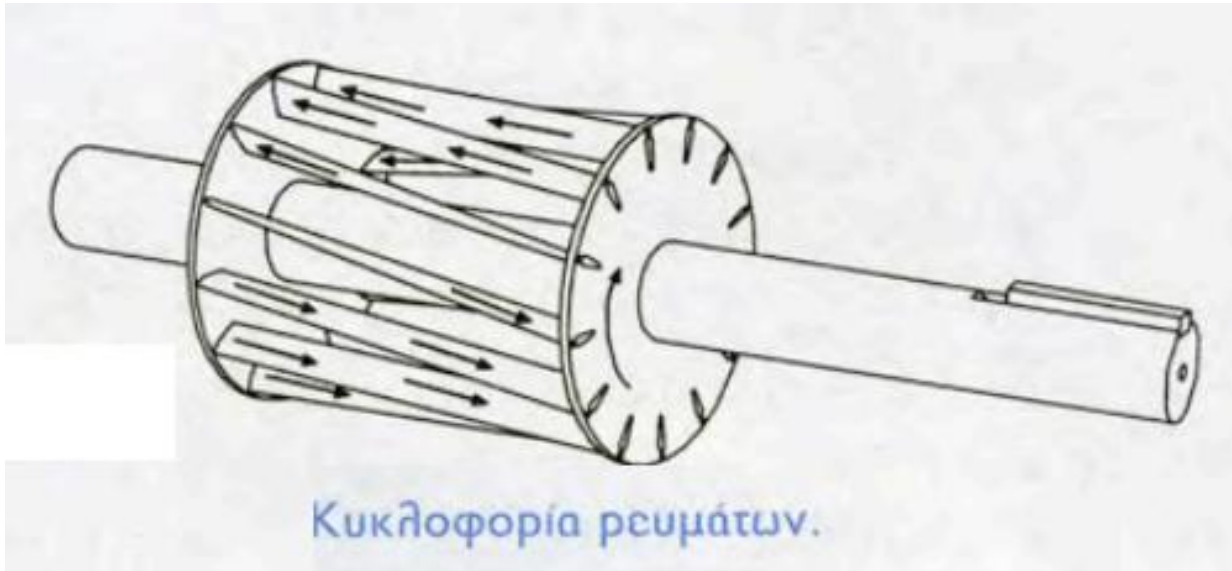
$$380\sqrt{3} = 658 \approx 660V$$

Τύλιγμα κλωβού



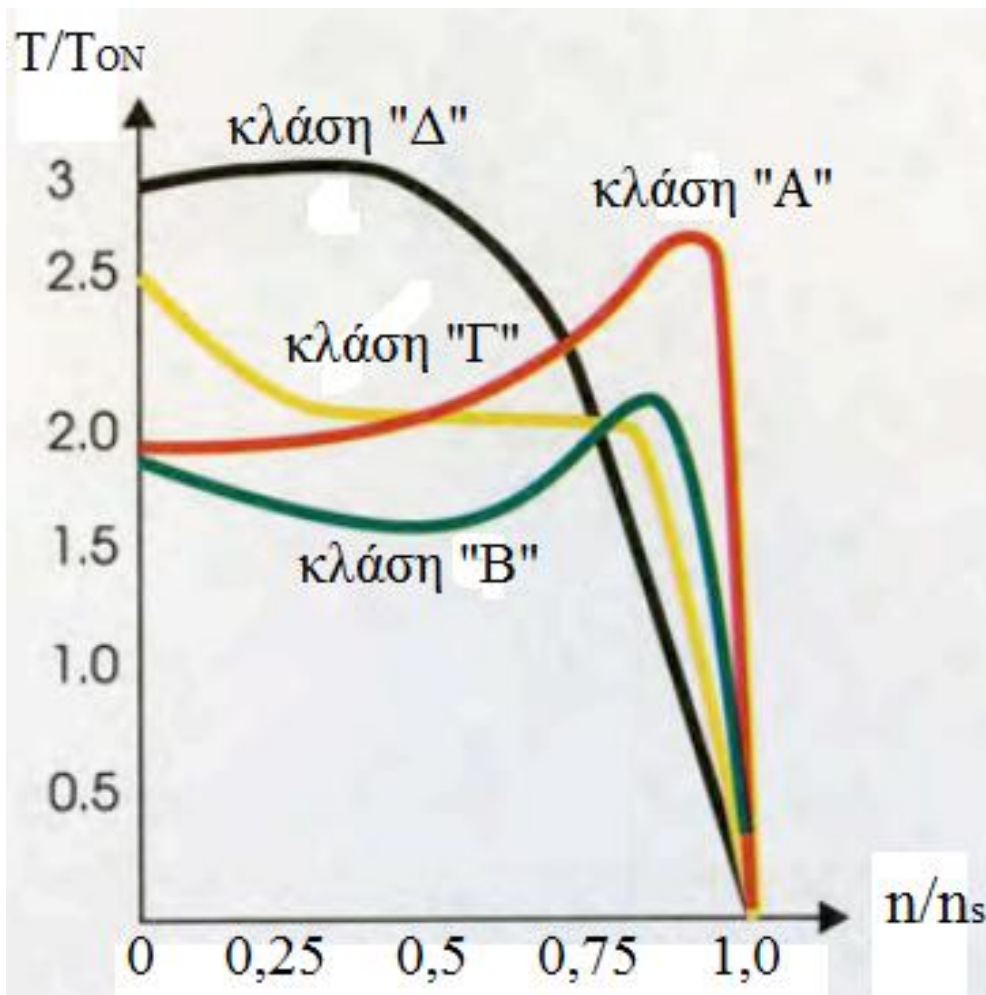


Αν τα αυλάκια στο τύμπανο του δρομέα είναι απλά, το τύλιγμα λέγεται **απλού κλωβού**, αν φέρει διπλά αυλάκια το τύλιγμα λέγεται **διπλού κλωβού** και αν τα αυλάκια είναι βαθειά, το τύλιγμα λέγεται με **βαθειά αυλάκια**



Οι κατασκευαστές προσπαθούν να μεταβάλλουν την αντίσταση και την αντίδραση των τυλιγμάτων του δρομέα μεταβάλλοντας το μέγεθος, τη μορφή και το βάθος των αυλακιών του, όπως φαίνεται στα σχήματα . Έτσι επιτυγχάνουν **μεγάλη ροπή εκκίνησης και μικρό ρεύμα εκκίνησης** του κινητήρα. Αυτά είναι απαραίτητα για την ομαλή εκκίνησή του και την ανεπιθύμητη πτώση τάσης του δικτύου, που προκαλεί ταλαντώσεις στη λειτουργία διπλανών συσκευών.

Έχει γίνει διαχωρισμός των κινητήρων με βραχυκλωμένο δρομέα σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά την εκκίνηση και κατά την κανονική λειτουργία .



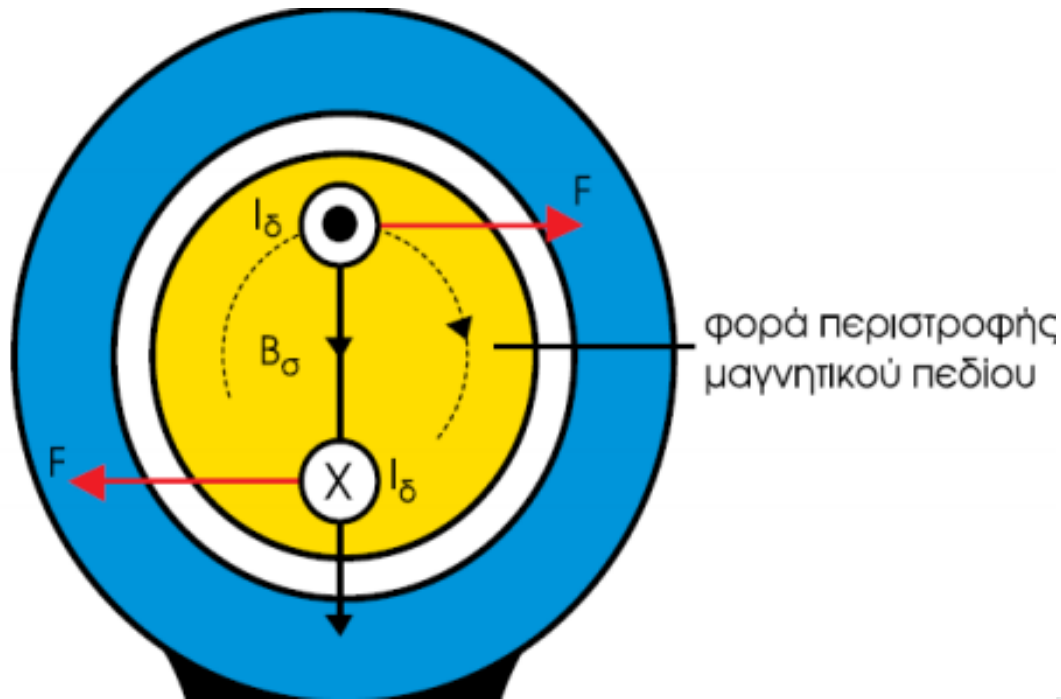
Κλάση Α΄ : Έχουν τυλίγματα απλού κλωβού με μεγάλο ρεύμα εκκίνησης.

Κλάση Β΄: Διαθέτουν τυλίγματα διπλού κλωβού ή με βαθιά αυλάκια ώστε, διαθέτοντας τυλίγματα μεγαλύτερης αντίδρασης να μειώνεται το ρεύμα εκκίνησης.

Κλάση Γ΄: Ο δρομέας αποτελείται από τυλίγματα διπλού κλωβού έχοντας μεγαλύτερη αντίσταση από τις κλάσεις «Α» & «Β».

Κλάση Δ΄: Αποτελούνται από τύλιγμα απλού κλωβού με ορειχάλκινες ράβδους μικρότερης διατομής παρουσιάζοντας μεγαλύτερη αντίσταση. Ανταπύσουν μεγάλη ροπή με μικρό ρεύμα εκκίνησης.

Αρχή λειτουργίας Ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων



Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος μέσα από το συλλέκτη τροφοδοτείται με ρεύμα ο δρομέας που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο δημιουργούμενο από το τύλιγμα διέγερσης. Αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία **μαγνητικής δύναμης (Laplace)** που περιστρέφει το δρομέα.

Στους ασύγχρονους κινητήρες, ο δρομέας είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητος από το στάτη και δεν τροφοδοτείται με ρεύμα από το δίκτυο. Στα τρία τυλίγματα του στάτη δίνουμε τριφασικό ρεύμα και δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που τέμνει τις σπείρες του δρομέα. Στο δρομέα αναπτύσσονται επαγωγικά ρεύματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μαγνητικής δύναμης (Laplace) που περιστρέφει το δρομέα

Η ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα n_s του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Αν υποθέσουμε ότι $n=n_s$, τότε δεν θα προλαβαίνει το μαγνητικό πεδίο να κόψει τους αγωγούς του δρομέα, δεν θα έχουμε επαγωγή και φυσικά θα μηδενισθεί η μαγνητική δύναμη και θα σταματήσει ο κινητήρας. Όπως είναι γνωστό:

$$F = B_o I_o \ell$$

όπου: F : μαγνητική δύναμη (Laplace) σε (N)

B_o : μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (VS/m²)

I_o : ρεύμα δρομέα από επαγωγή σε (A)

ℓ : μήκος αγωγού δρομέα σε (m)

Ολίσθηση

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, ο δρομέας στρέφεται με ταχύτητα n μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας n_s .

Ολίσθηση: Ο λόγο της διαφοράς ταχύτητας του στρεφόμενου πεδίου ως προς το δρομέα προς τη σύγχρονη ταχύτητα.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad s(\%) = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$$

Συχνότητα Ολίσθησης : Η συχνότητα f_2 των επαγόμενων τάσεων στα τυλίγματα του δρομέα, συνδέεται με τη συχνότητα f_1 του δικτύου

$$f_2 = \frac{P}{2} \frac{(n_s - n)}{60} = \frac{P}{2} s \frac{n_s}{60} = s f_1$$

Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

$$P_{μηχ} = \frac{Tn}{9,55} \Rightarrow$$

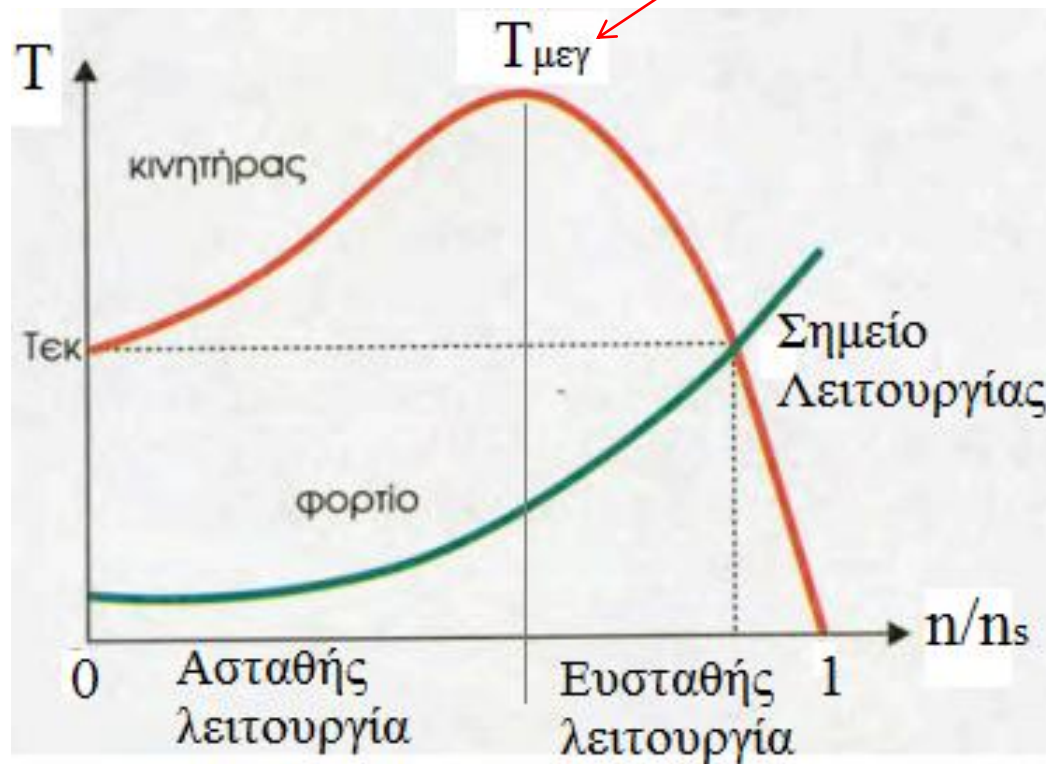
$$T = 9,55 \frac{P_{μηχ}}{n}$$

όπου: T: ροπή (σε Nm)

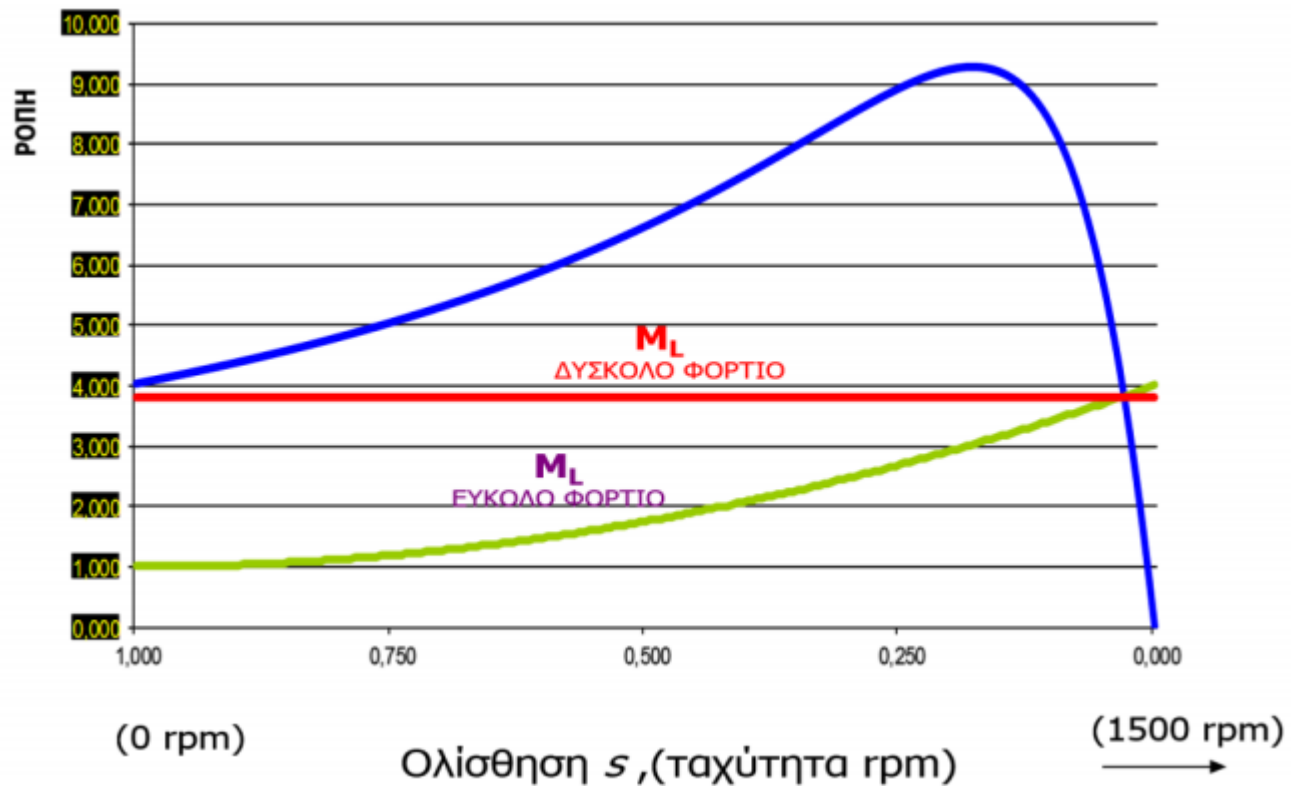
P: αποδιδόμενη ισχύς (σε W)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

Ροπή ανατροπής



Ο κινητήρας εργάζεται στην ευσταθή περιοχή για να μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου. Στην περιοχή αυτή, αν για κάποιο λόγο αυξηθεί το φορτίο, θα μειωθεί η ταχύτητα και κατόπιν θα αυξηθεί η ροπή ώστε να μπορέσει ο κινητήρας να περιστρέψει το φορτίο.



Μέθοδοι εκκίνησης

- α) Απευθείας εκκίνηση
- β) Εκκίνηση με διακόπτη Αστέρα-Τρίγωνο (Υ-Δ).
- γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη
- δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή
- ε) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό εκκινητή

α) Απευθείας εκκίνηση

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο μέσω τριπολικού διακόπτη (Σχήμα). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 1,5PS. Δημιουργεί πτώση τάσης στο δίκτυο, γι' αυτό η ΔΕΗ έχει εκδώσει σχετική οδηγία που προσδιορίζει το μέγιστο ρεύμα εκκίνησης στην περίπτωση αυτή.

➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 6 \cdot I_{ov}$

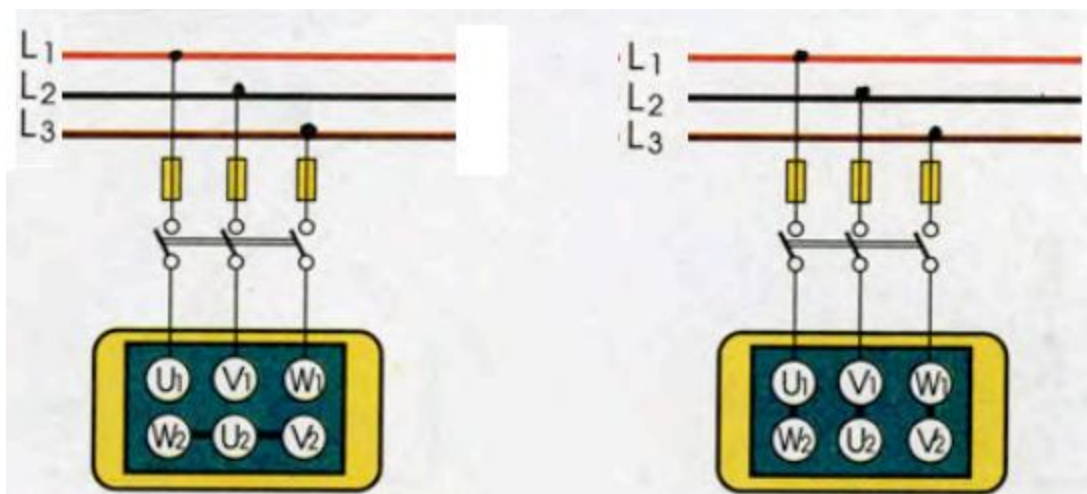
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.

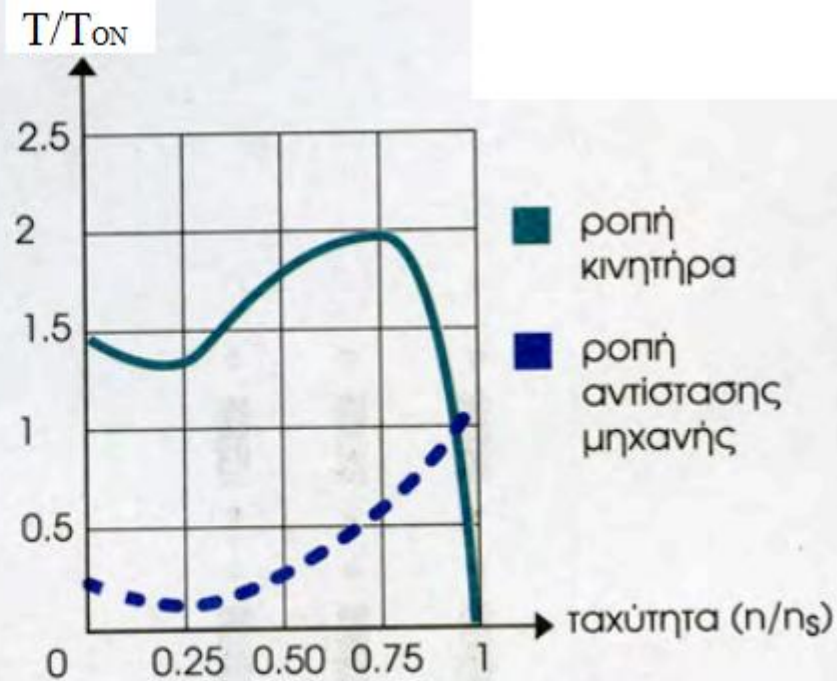
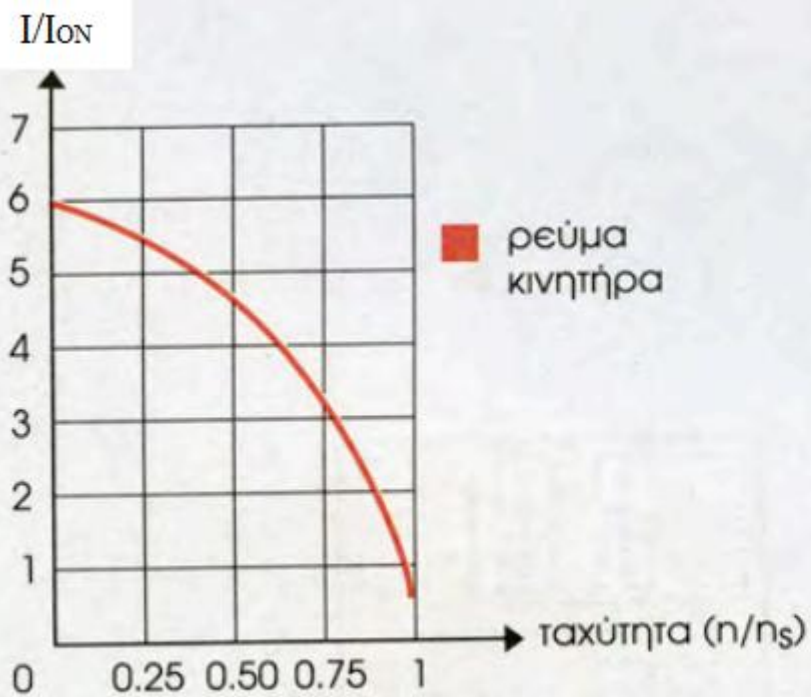
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 1,5 T_{ov}$

Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.

- Απλός εξοπλισμός.

- Αδυναμία ρύθμισης.

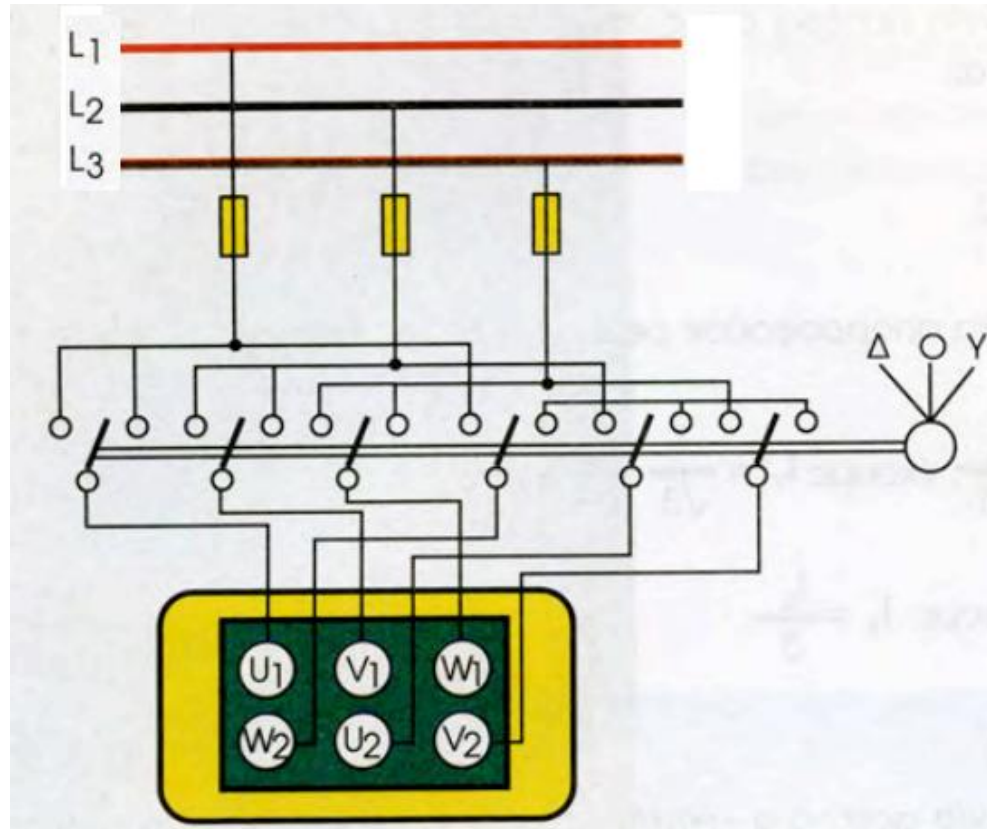




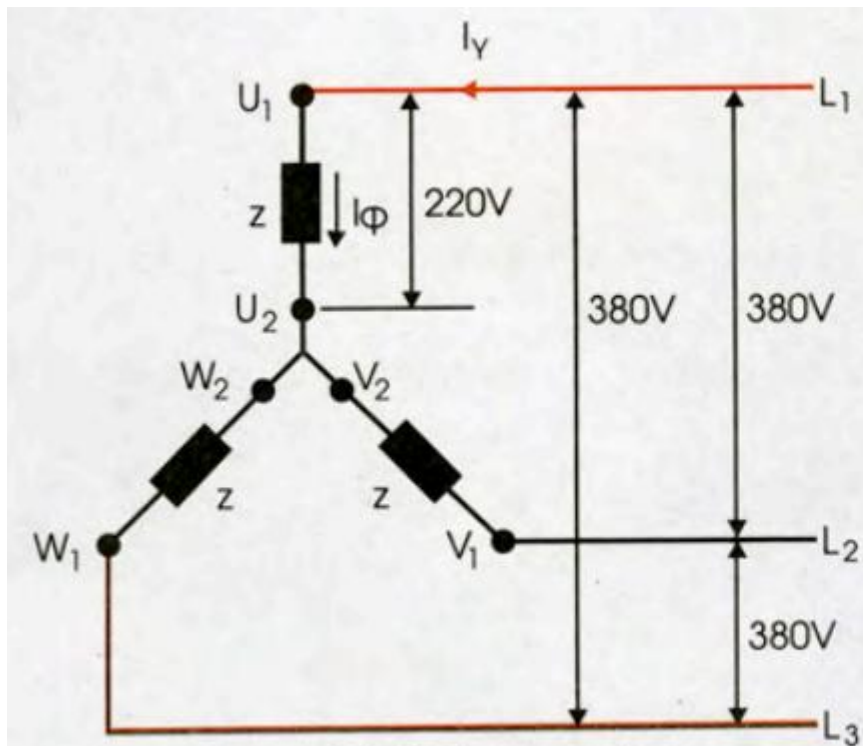
Χαρακτηριστικές λειτουργίες ασύγχρονου κινητήρα με απευθείας εκκίνηση.

β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Υ-Δ

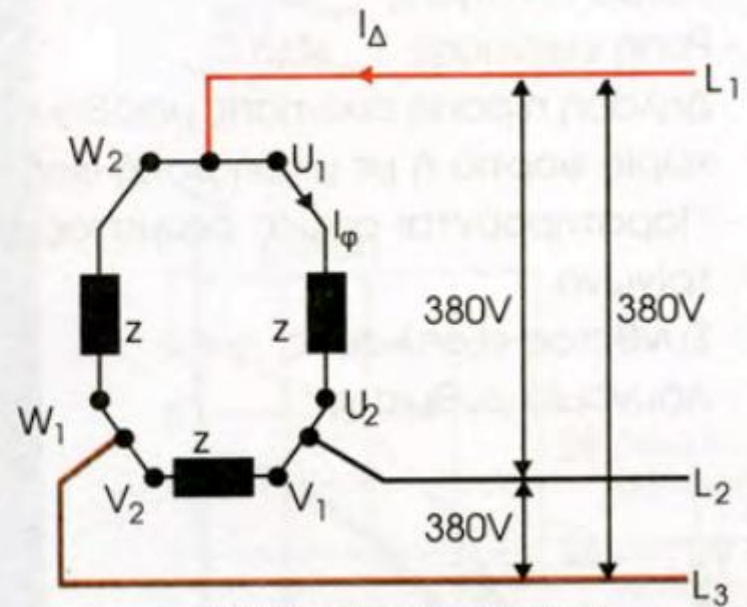
Η εκκίνηση γίνεται με ειδικό χειροκίνητο ή με αυτόματο διακόπτη αστέρα - τριγώνου (Υ-Δ). Στο σχήμα φαίνεται ένας χειροκίνητος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.



Διακόπτης Αστέρα- τρίγωνο



(α) Σύνδεση αστέρα



(β) Σύνδεση τριγώνου

Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ. Οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες U_1-W_2 , V_1-U_2 , W_1-V_2 συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολιτική τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_n=U=\sqrt{3} \cdot U_\phi = \sqrt{3} \cdot 220=380V$

$$U_n=U=\sqrt{3} \cdot U_\phi = \sqrt{3} \cdot 220=380V$$

Αν ο κινητήρας ξεκινούσε απ'ευθείας σε συνδεσμολογία τριγώνου, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του θα ήταν: $I_{\phi} = U_{\pi} / Z$ όπου Z , η σύνθετη αντίσταση κάθε φάσης του κινητήρα. Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα: $I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} / Z$.

Σε συνδεσμολογία αστέρα όμως, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του κινητήρα θα είναι:

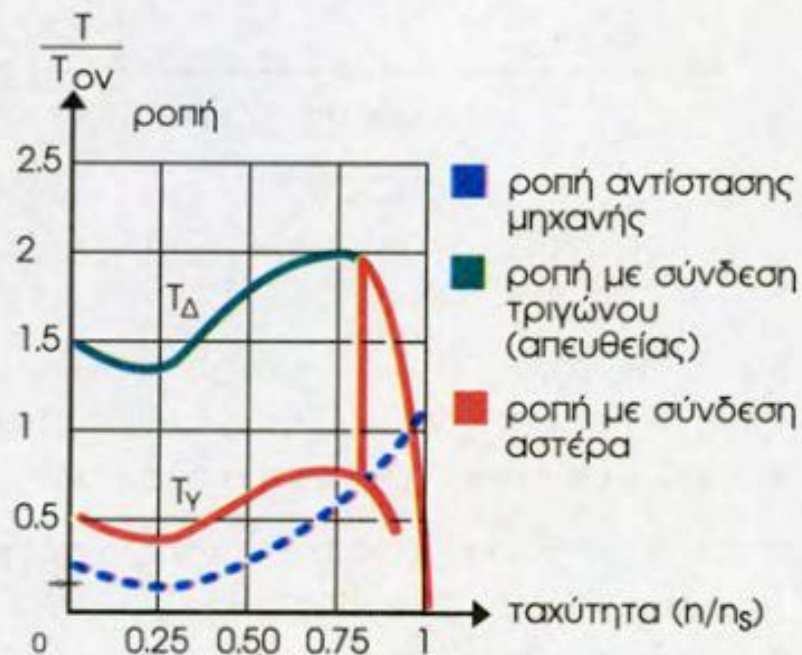
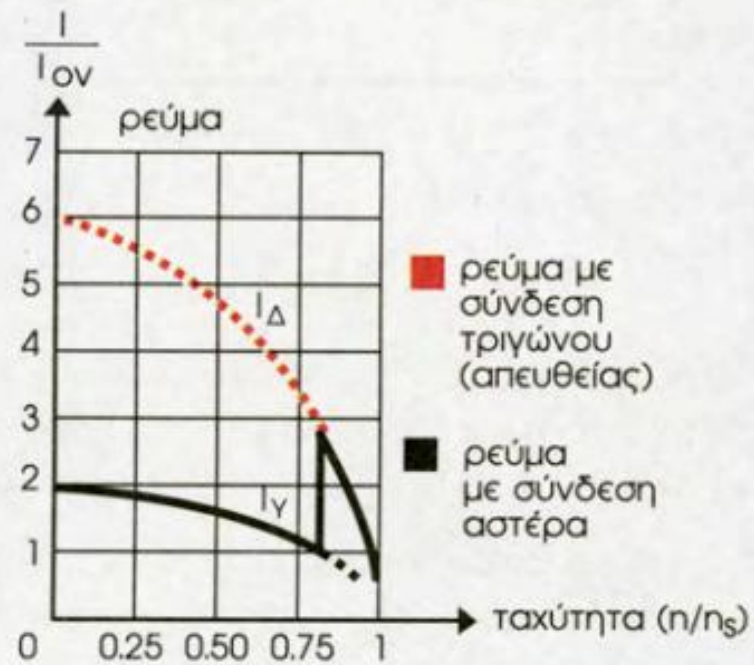
$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z} = \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα $I_Y = I_{\phi}$ λόγω αστέρα: $I_Y = I_{\phi} = \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3} \cdot Z}$

Επειδή $\frac{U_{\pi}}{Z} = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}}$, έχουμε: $I_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{\Delta}}{3}$

Συνεπώς θα έχουμε: $I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$

Με συνδεσμολογία αστέρα ο κινητήρας μειώνει τρεις φορές το ρεύμα εκκίνησης σε σχέση με τη συνδεσμολογία τριγώνου.



γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

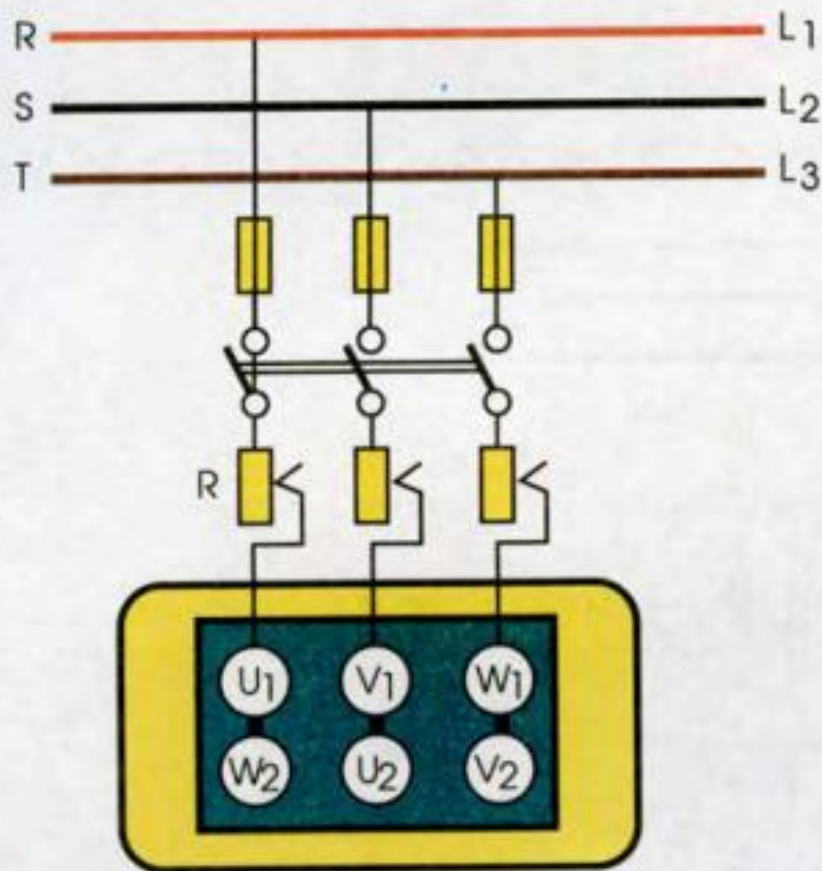
Με τη διάταξη του σχήματος 4.34 παρεμβάλλουμε σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη αντιστάσεις R . Έτσι ο κινητήρας εκκινεί με ελαττωμένη τάση και φυσικά ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, ελαττώνουμε την αντίσταση μέχρι ο κινητήρας να αποκτήσει την ονομαστική του ταχύτητα, οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός δικτύου.

➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

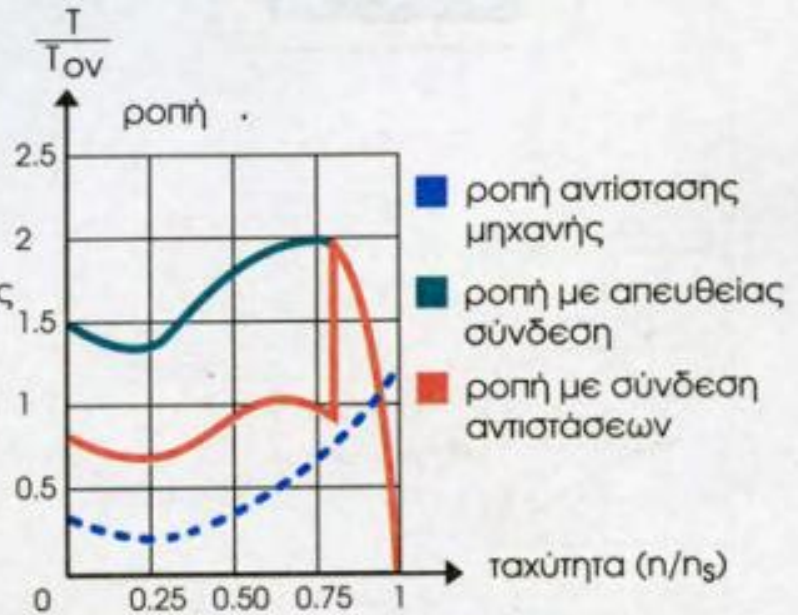
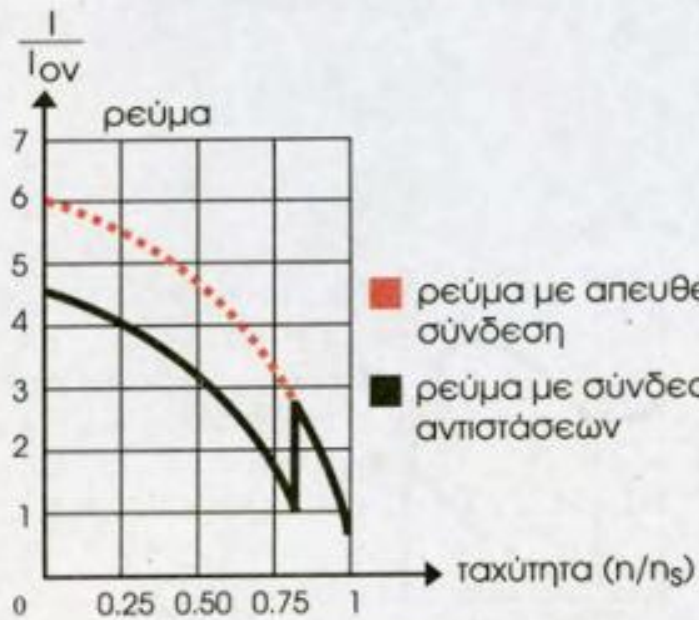
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 4,5 I_{ov}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,75 T_{ov}$ δηλαδή έχουμε μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Θα μπορούσαν οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν από στραγγαλιστικά πηνία που δεν έχουν κατανάλωση ισχύος.

Θα μπορούσαν οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν από στραγγαλιστικά πηνία που δεν έχουν κατανάλωση ισχύος.



Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.



Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αντιστάσεις στο στάτη.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

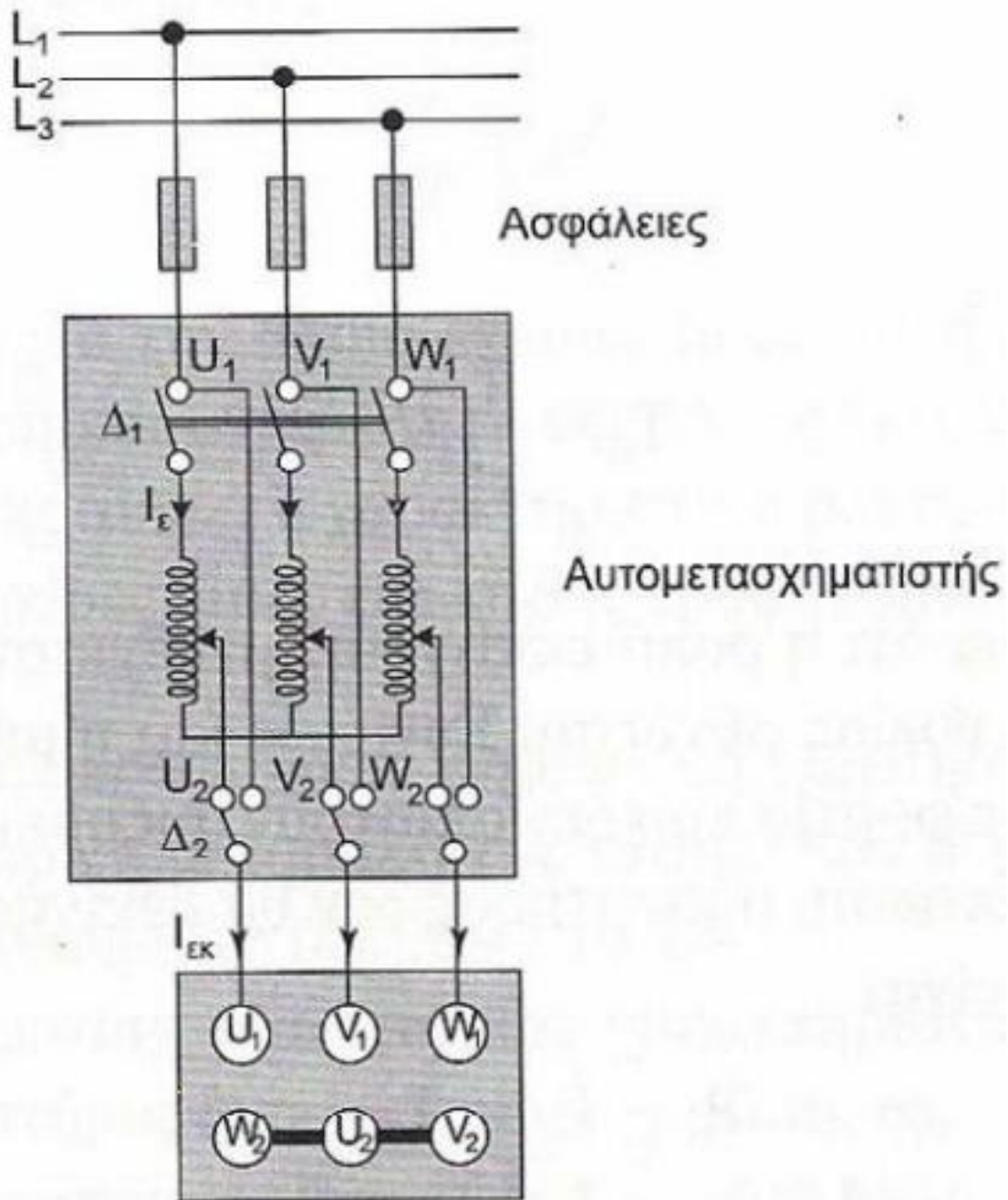
Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη Δ_1 και τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη Δ_2 και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη Δ_1 και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης (Σχήμα).

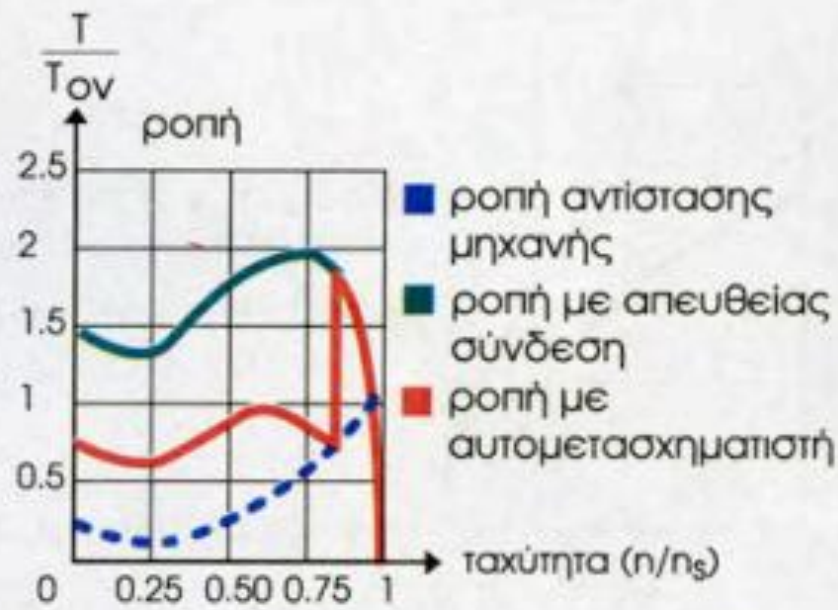
➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 3,5 I_{ov}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,8 T_{ov}$.
Μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Το ρεύμα εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της τάσης τροφοδοσίας και η ροπή εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα.

Αν ο κινητήρας ξεκινά με φορτίο στον άξονά του, χρειάζεται έλεγχος της καμπύλης φορτίου και της καμπύλης του κινητήρα με μειωμένο ρεύμα εκκίνησης (Σχήμα).

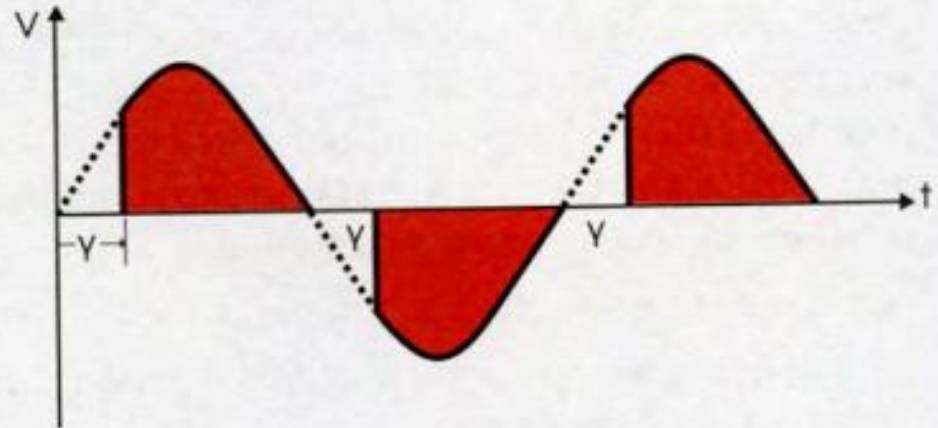
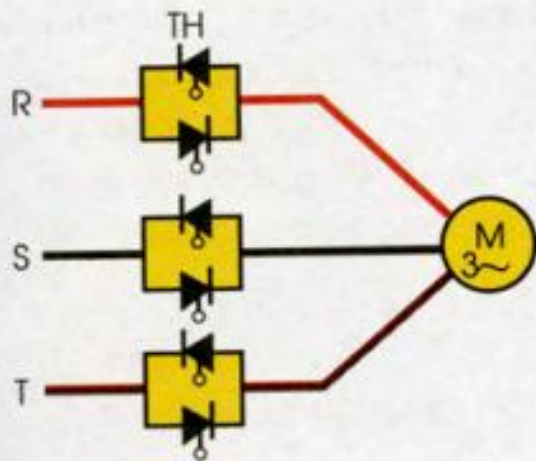





Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αυτομετασχηματιστή.

ε) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό εκκινητή

Ο ηλεκτρονικός εκκινητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που επιτρέπει τον έλεγχο της διαδικασίας εκκίνησης του κινητήρα. Ανάλογα με τη ροπή του φορτίου, μπορούμε να προσαρμόσουμε την τάση του κινητήρα και να επιτύχουμε την βέλτιστη εκκίνηση, τόσο από άποψη ροπής, όσο και από άποψη έντασης ρεύματος.



Η τροφοδοσία του κινητήρα γίνεται με προοδευτική αύξηση της τάσης εκκίνησης, με τη παρεμβολή έξι θυρίστορ, δύο ανά φάση, τοποθετημένων ανάστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα .

Η τάση μεταβάλλεται με τη γωνία έναυσης (γ) των θυρίστορ μετά από κάθε πέρασμα του εναλλασσόμενου ρεύματος από το μηδέν. Αυτή η τεχνική εγγυάται ευστάθεια και ομαλή περιστροφή του κινητήρα χωρίς μηχανικά κτυπήματα στη φάση της εκκίνησης. Οι ηλεκτρονικοί εκκινητές έχουν δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών λειτουργίας κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα. Συνήθως διατίθενται διάφορα προγράμματα με διαφορετικές καμπύλες ρεύματος-ροπής-στροφών, ώστε να προσαρμόζεται η εκκίνηση στις εκάστοτε παραμέτρους του φορτίου. Ένας μικροεπεξεργαστής. (Σχήμα) ελέγχει και βελτιστοποιεί διαρκώς τις βασικές παραμέτρους του εκκινητή και του κινητήρα. Αυτές είναι:

Ρύθμιση Στροφών

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

$$n = (1 - s)n_s \Rightarrow$$

$$\text{επειδή : } n_s = 60 \frac{f}{p}$$

προκύπτει: $n = 60 \frac{f}{p} (1 - s)$

$$n = 60 \frac{f}{p} (1 - s)$$

όπου **f**: είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδότησης σε Hz
p: είναι το πλήθος των ζευγών των μαγνητικών πόλων και
s: είναι η ολίσθηση

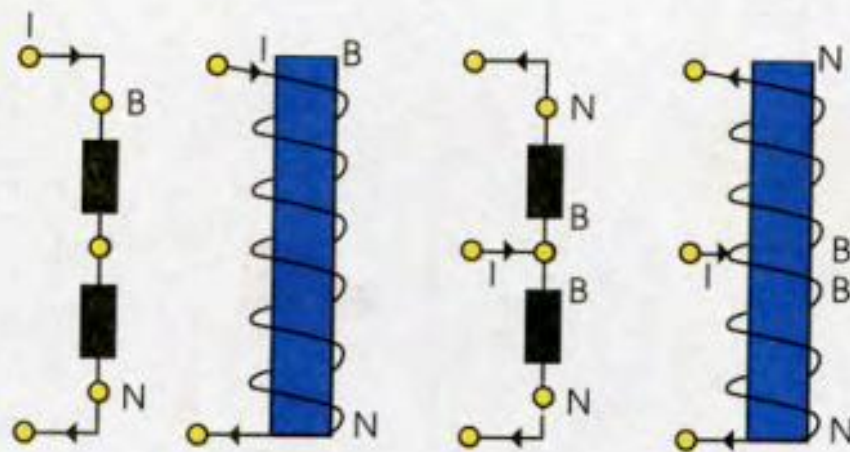
Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι, για να αλλάξει η ταχύτητα πρέπει να αλλάξει η συχνότητα f ή το πλήθος των πόλων p, αφού η ολίσθηση s στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα αλλάζει κυρίως με το φορτίο.

α) Ρύθμιση στροφών με αλλαγή του πλήθους των πόλων

Η ταχύτητα του κινητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογη του πλήθους των ζευγών των μαγνητικών πόλων. Για την αλλαγή του πλήθους των πόλων υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι:

1. Μέθοδος διαδοχικών πόλων.
2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη.
3. Διαμόρφωση πλάτους του πόλου (PAM).

➤ Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων βασίζεται στη δυνατότητα διπλασιασμού κάθε φορά των πόλων με απλές αλλαγές στη συνδεσμολογία των πηνίων διέγερσης. Η βασική ιδέα φαίνεται στο σχήμα . Με αλλαγή του σημείου τροφοδοσίας των δύο πηνίων, διπλασιάζονται οι πόλοι.



Διπλασιασμός πόλων με αλλαγή τροφοδότησης.

β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας

➡ Γενικά

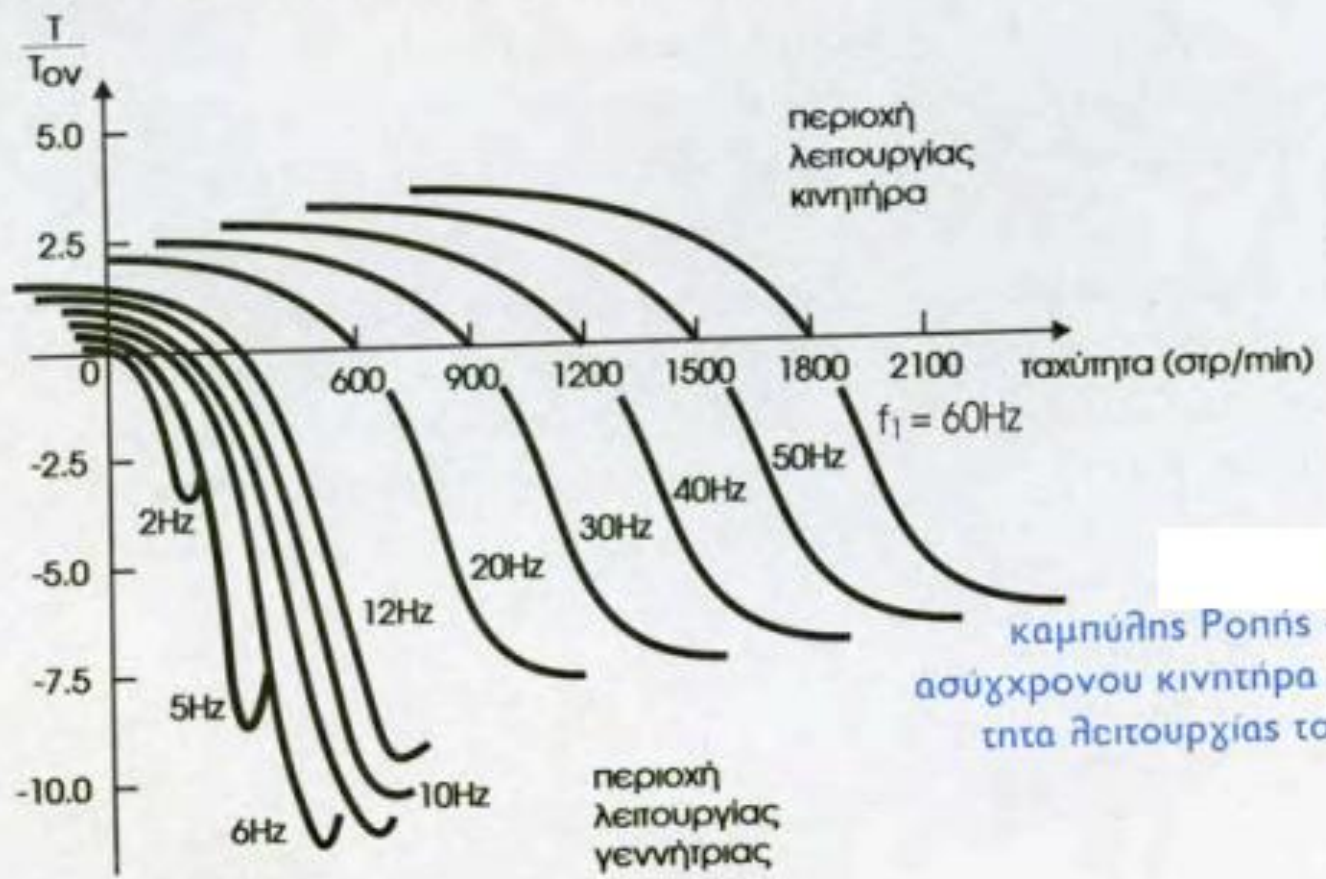
Ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του σύγχρονου αριθμού στροφών σύμφωνα με τη

$$\text{σχέση: } n_s = \frac{60f}{p}.$$

Αυτό με τη σειρά του προκαλεί τη μετατόπιση της καμπύλης ροπής - στροφών του κινητήρα προς τα δεξιά, όσο αυξάνεται η συχνότητα. Το σημείο λειτουργίας του κινητήρα μεταβάλλεται με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του, όπως φαίνεται στο σχήμα .

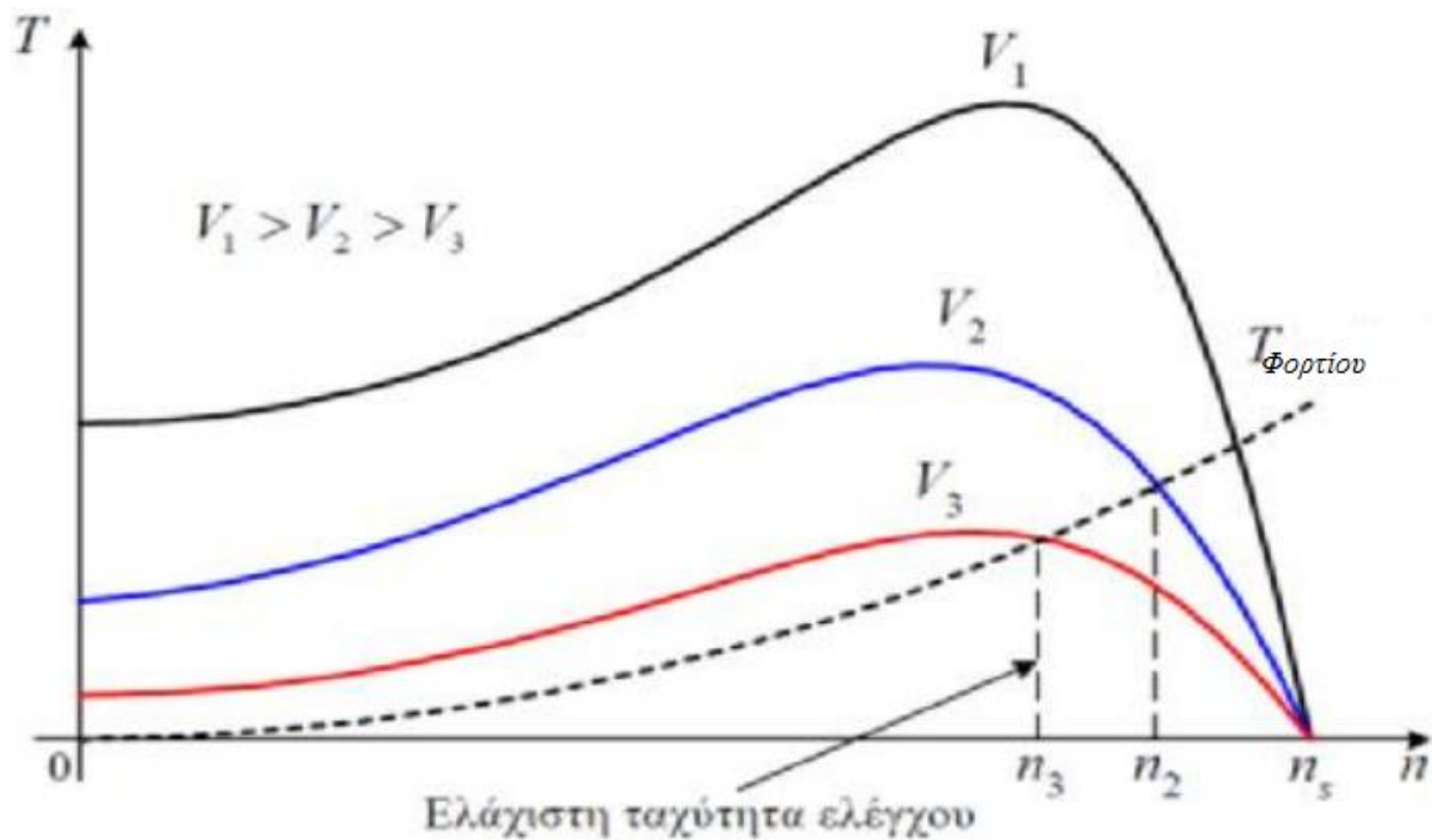
Ταυτόχρονα με τη μεταβολή της συχνότητας μεταβάλλεται και η τάση τροφοδοσίας, ώστε να μην αυξάνεται το ρεύμα, όταν μειώνεται η συχνότητα και να επιτυγχάνεται οικονομική και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Η μέθοδος αυτή λέγεται **βαθμωτού ελέγχου σταθερού λόγου V/f**.

ροπή ανοιγμένη στην ονομαστική



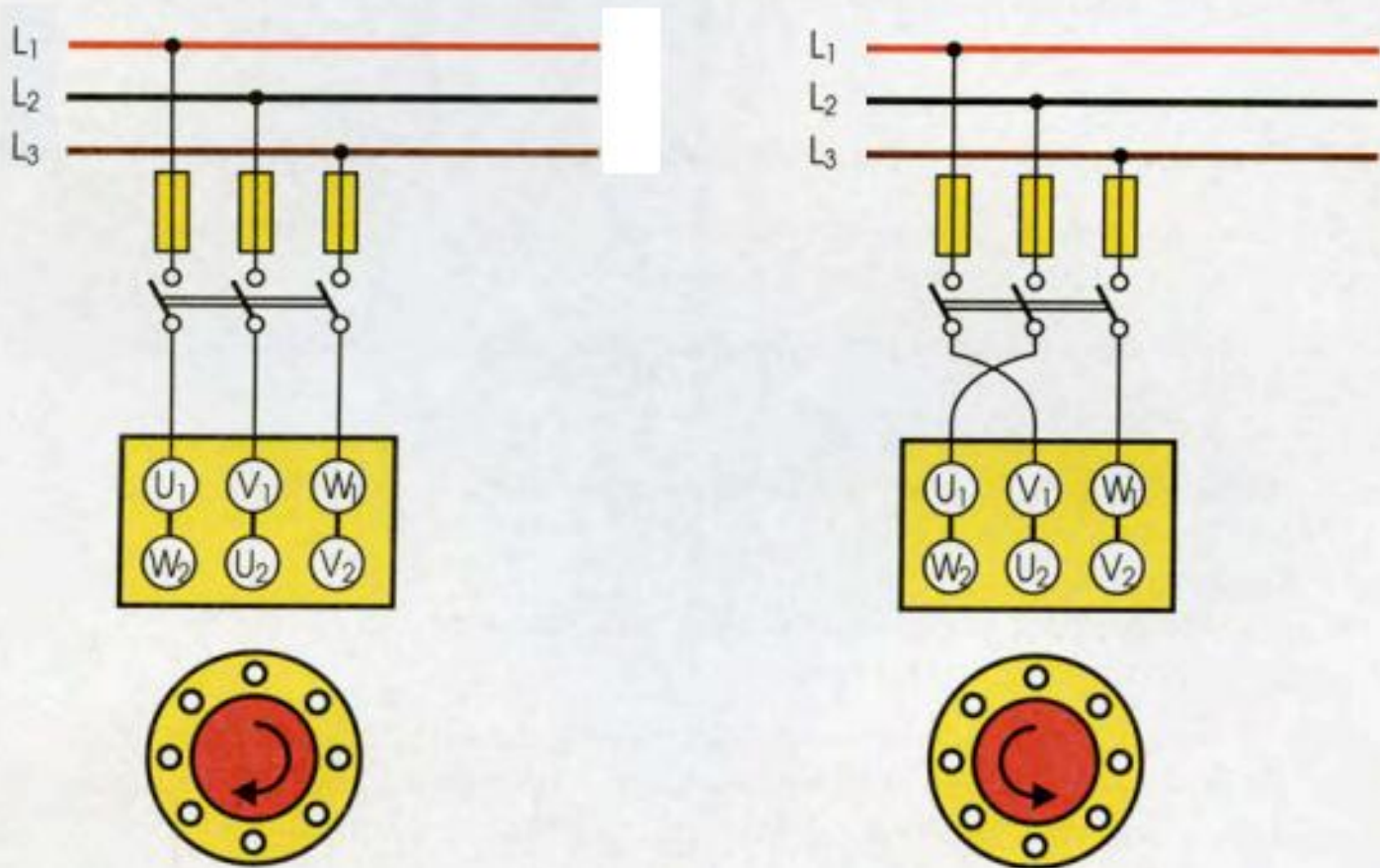
Μεταβολή της καμπύλης Ροπής - Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται.

γ) Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα, με τη μεταβολή της τάσης



Αλλαγή φοράς περιστροφής

Η αλλαγή φοράς περιστροφής του κινητήρα επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Για να γίνει αυτή η αλλαγή **αντιμεταθέτουμε τις συνδέσεις των δύο από τους τρεις αγωγούς που τροφοδοτούν τον κινητήρα**



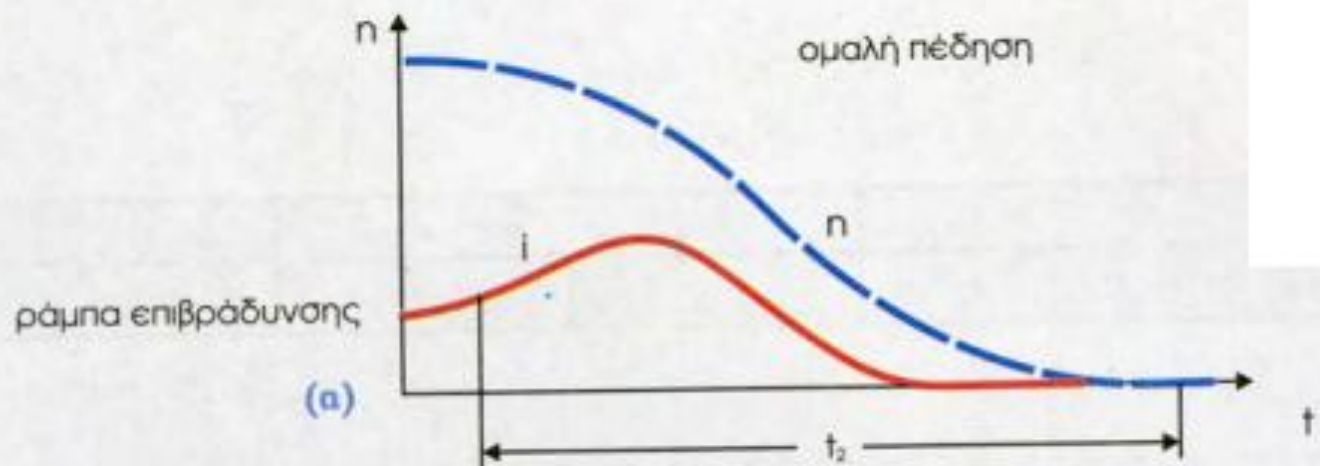
Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Η πέδηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους:

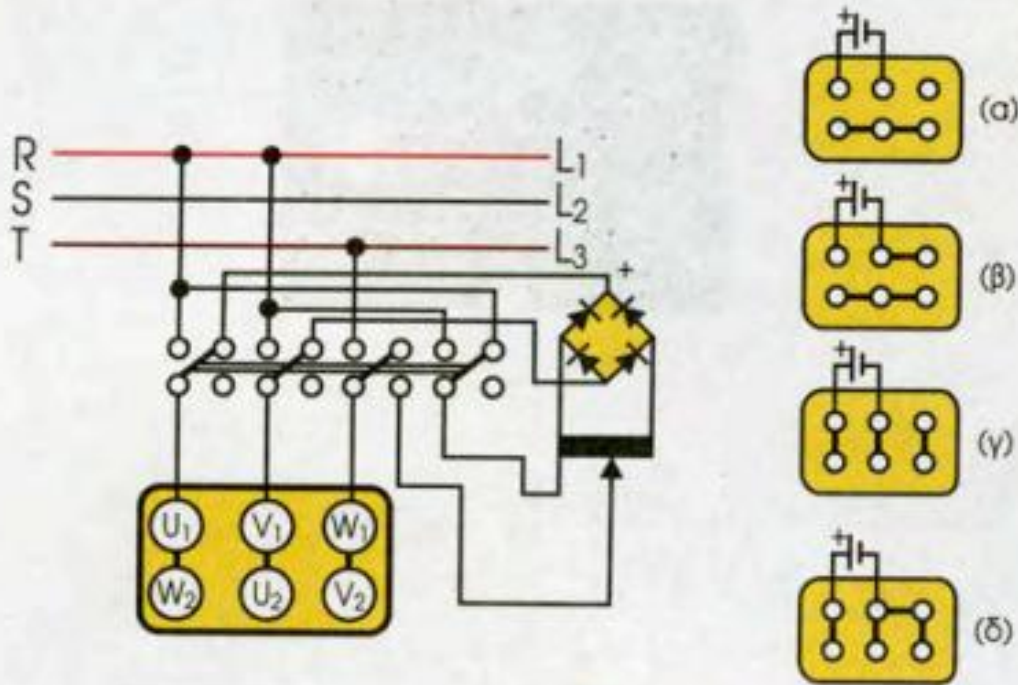
- **Μηχανική πέδηση:** Πραγματοποιείται μέσω ειδικών σιαγόνων που πιέζουν τον άξονα της μηχανής. Παρουσιάζουν συχνές φθορές και απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης.
- **Ελεύθερη πέδηση:** Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.
- **Ομαλή πέδηση:** Διακόπτεται βαθμιαία η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγή απότομης παύσης λειτουργίας της μηχανής (π.χ. σε αντλίες, μεταφορικές ταινίες, γεραμούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη **ράμπας επιβράδυνσης** που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές.

Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

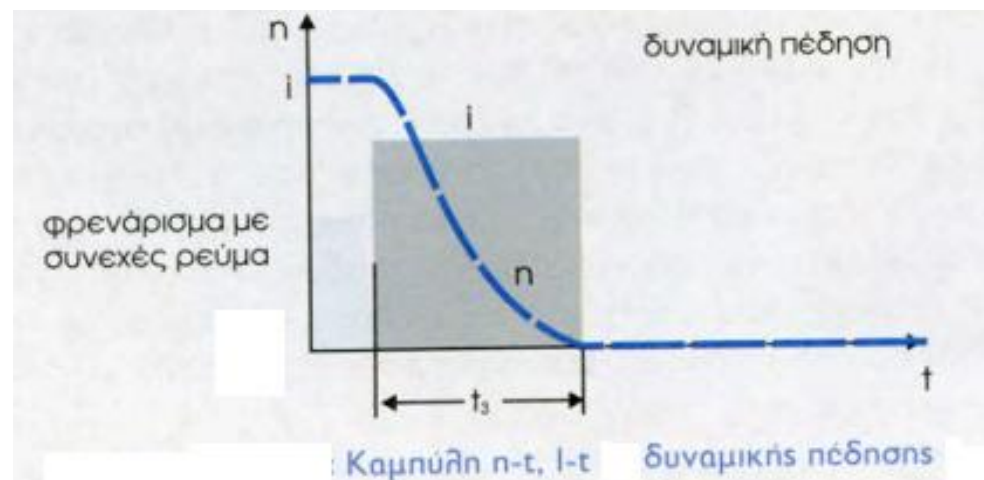
- α)** ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με το χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του τ μετρου του εκκινήτη.
- β)** ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών κτυπημάτων.
- γ)** προοδευτική μείωση της τάσης.



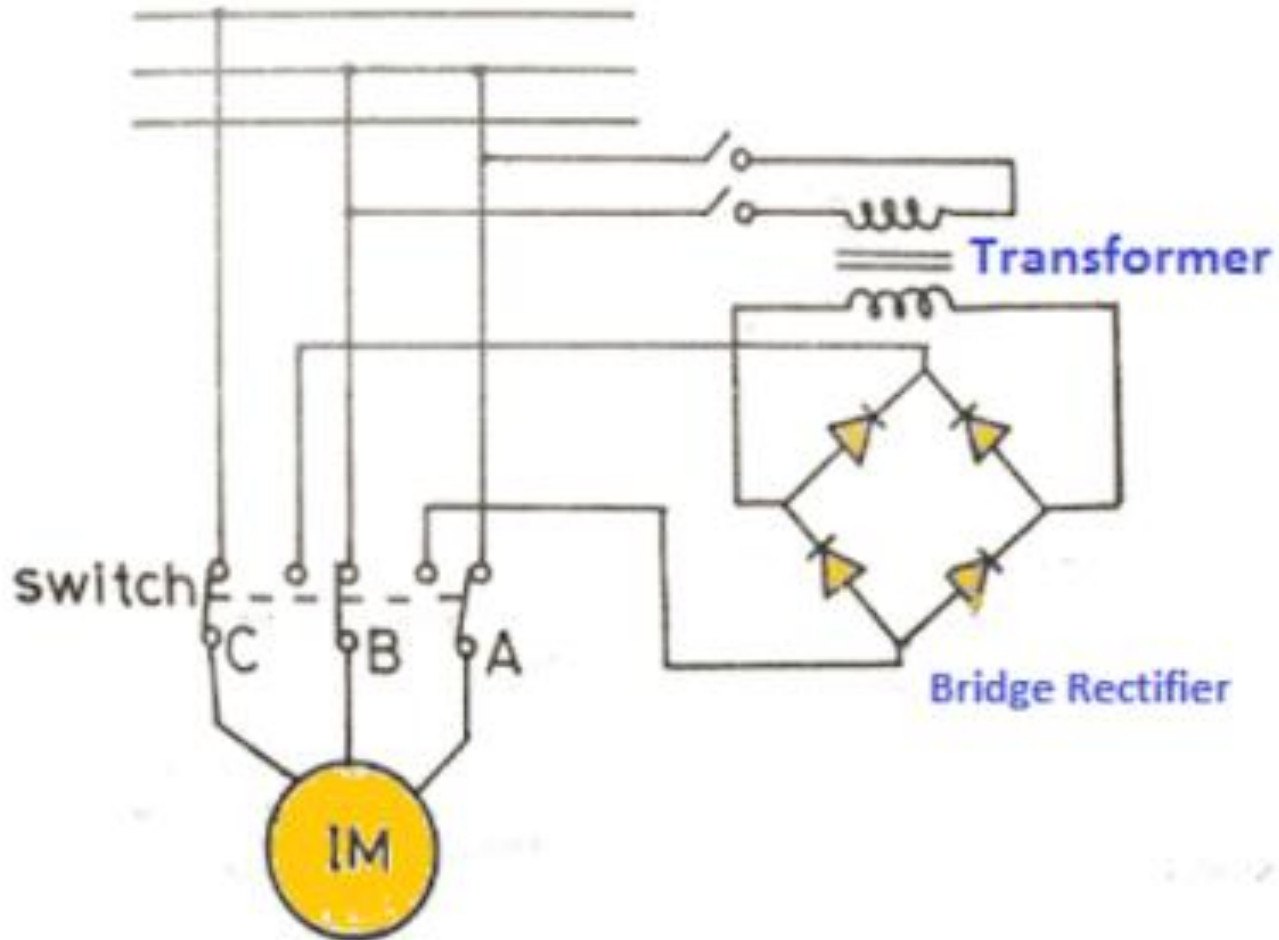
➤ **Δυναμική πέδηση:** Ο στάτης αποσυνδέεται από το τριφασικό δίκτυο και τροφοδοτείται με συνεχή τάση από πηγή ή μέσω ανορθωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Κυκλώματα δυναμικής πέδησης.

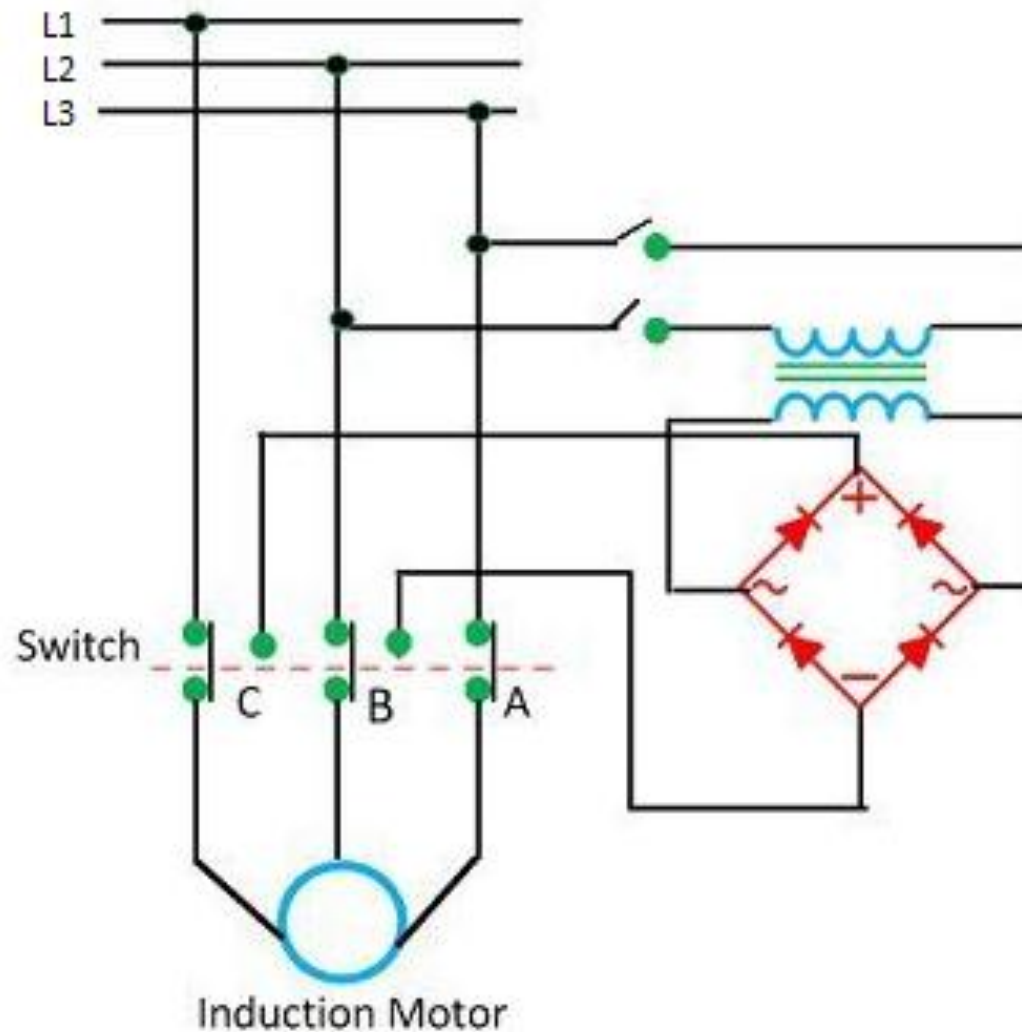


Δυναμική Πέδηση

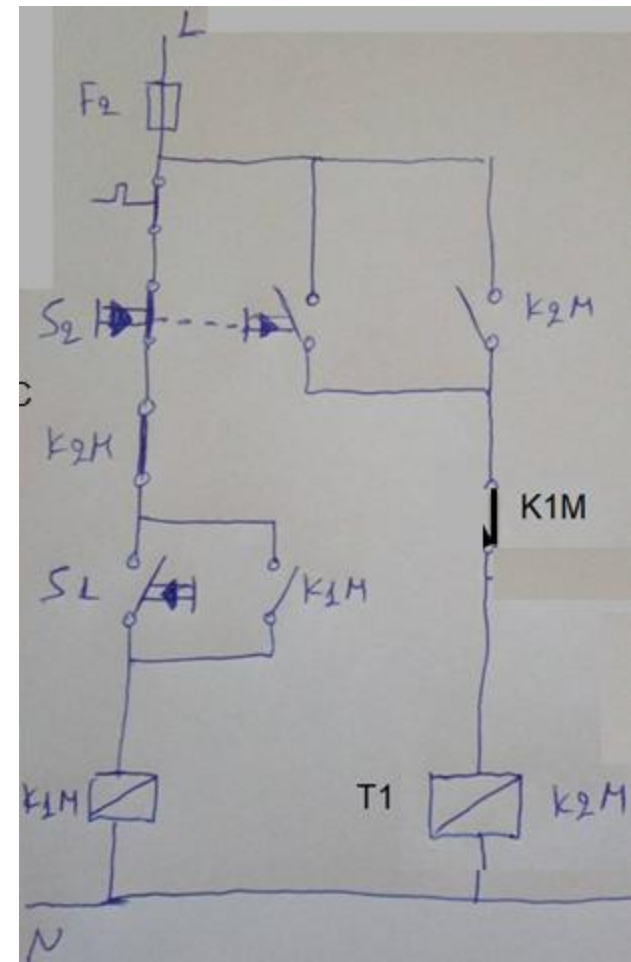
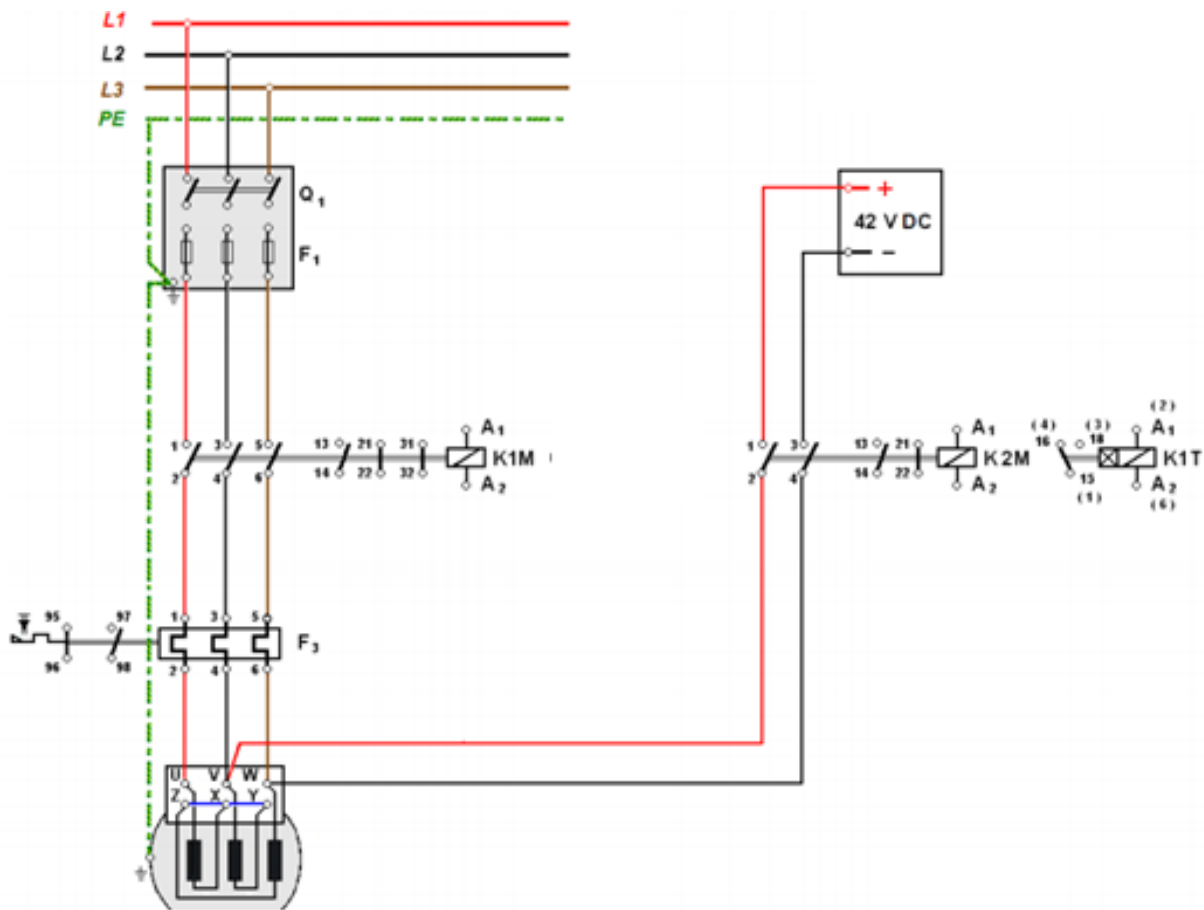


DC Dynamic braking

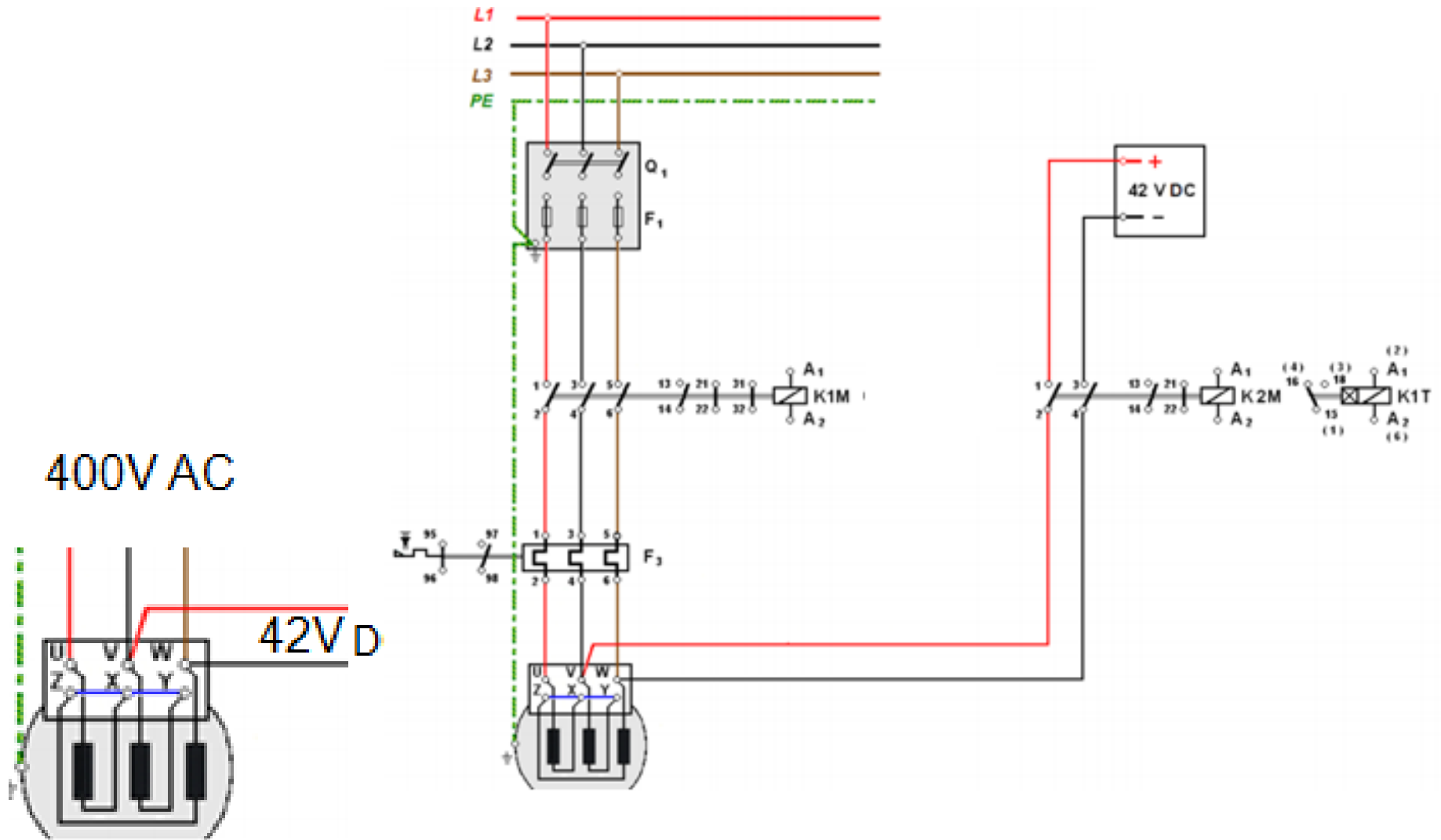
Δυναμική Πέδηση

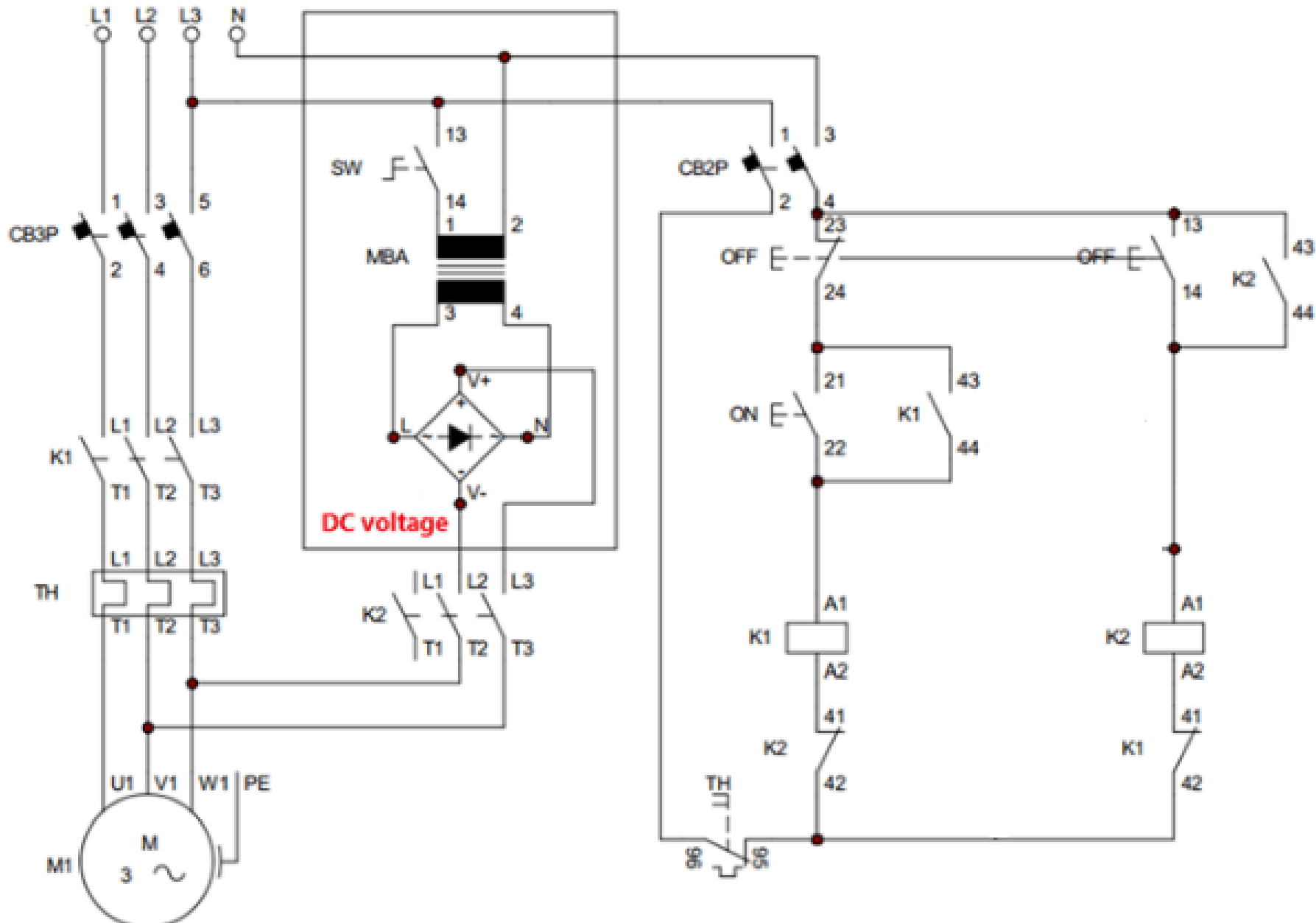


Two Lead DCdynamic Braking Connection




Δυναμική Πέδηση





Dynamic braking circuit

 Η δυναμική πέδηση μετατρέπει τον ασύγχρονο κινητήρα σε σύγχρονη γεννήτρια και όλη η ενέργεια της πέδησης απορροφάται από το δρομέα. Ο έλεγχος της ροπής πέδησης επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τη συνεχή τάση. Η μέθοδος αυτή επιλέγεται, όταν έχουμε μηχανές με μεγάλη αδράνεια. Το ρεύμα πέδησης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_n \leq 0,6KI_A$$

όπου I_n : συνεχές ρεύμα πέδησης σε (A)

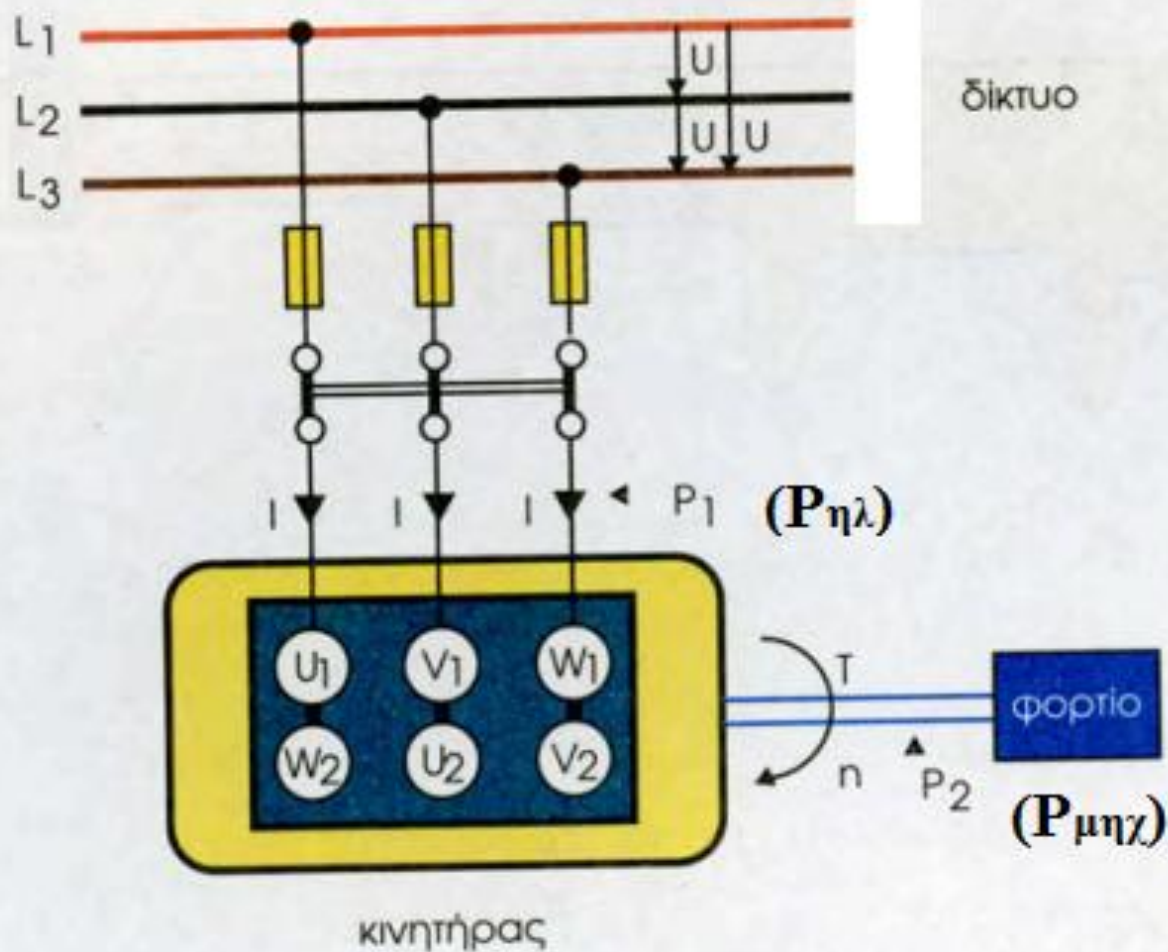
K : συντελεστής κυκλώματος πέδησης, λαμβάνεται από τον πίνακα 4.3 ανάλογα με το κύκλωμα πέδησης του σχήματος 4.55

I_A : ρεύμα φάσης κινητήρα (A) όταν είναι αναγκαστικά ακινητοποιημένος

➤ Πέδηση με αντιστροφή της φοράς του μαγνητικού πεδίου

Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αντιστρέφεται με αντιμετάθεση δύο φάσεων τροφοδότησης του στάτη. Ο δρομέας τείνει να περιστραφεί αντίθετα και να ισορροπήσει τη ροπή του φορτίου. Έτσι ο **ασύγχρονος κινητήρας λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνητική πέδη**. Μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη καταπόνηση της μηχανής, από τα υπερβολικά ρεύματα στο στάτη και στο δρομέα. Ελαττώνονται οι τιμές αυτών των ρευμάτων με παρεμβολή αντιστάσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση εφαρμογής της πέδησης είναι η ύπαρξη ενός αισθητηρίου ταχύτητας που θα αποσυνδέσει τον κινητήρα από το δίκτυο μόλις μηδενισθεί η ταχύτητα, γιατί διαφορετικά θα αρχίσει να περιστρέφεται ανάστροφα.

Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα



Τριφασικός κινητήρας με φορτίο.

Η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο ο κινητήρας είναι ηλεκτρική ισχύς, μπορεί να μετρηθεί με βατόμετρο και δίνεται από τη σχέση:

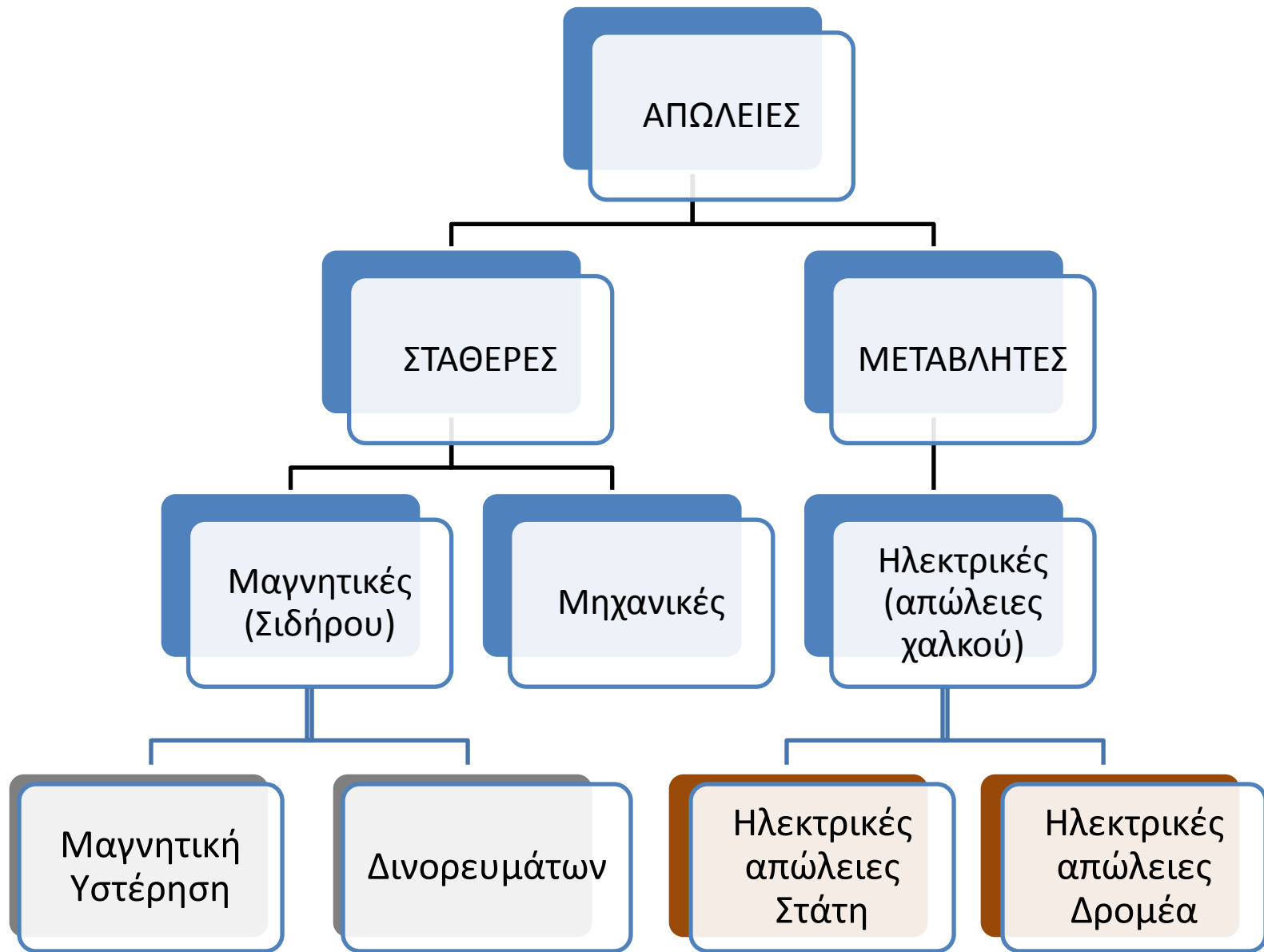
$$P_1 = P_{\eta\lambda} = \sqrt{3}U_{\pi\omicron\lambda}I_{\gamma\rho}\cos(\varphi) \text{ [Watts]}$$

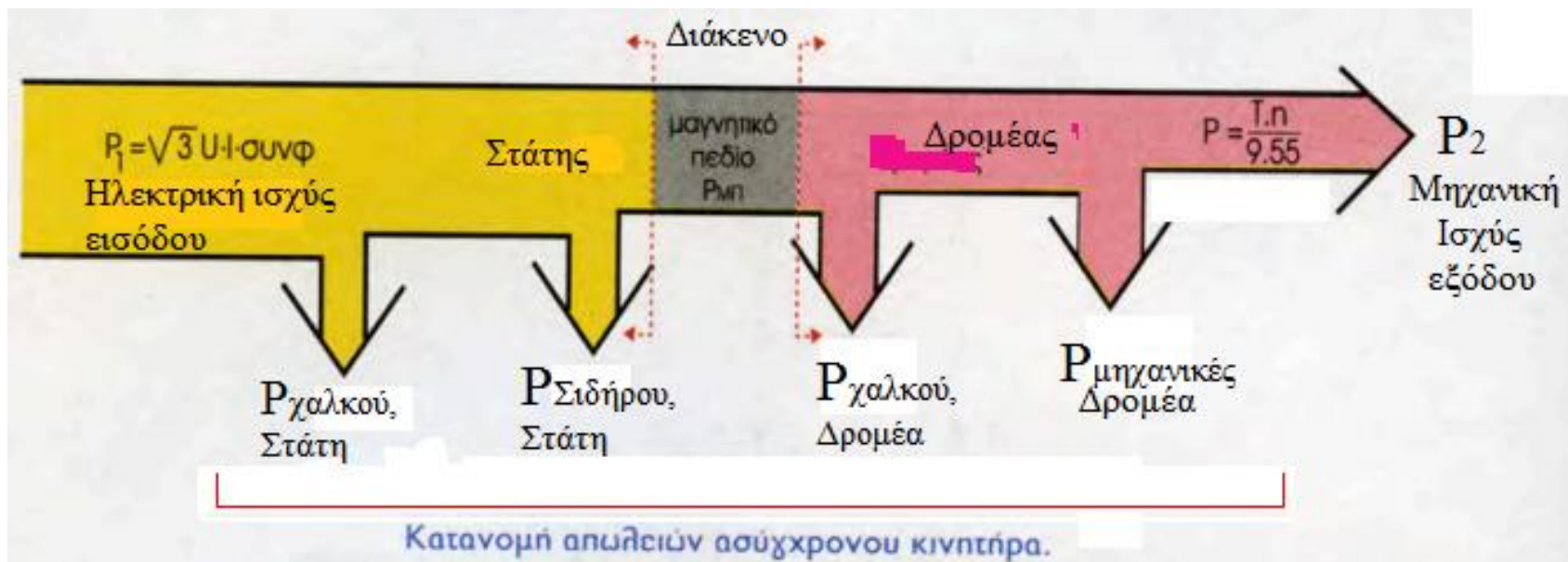
Η ισχύς που δίνει στον άξονά του και κατ'έπείταση στο συνδεδεμένο φορτίο είναι μηχανική ισχύς και δίνεται από τη σχέση:

$$P_2 = P_{\mu\eta\chi} = \frac{Tn}{9,55} \text{ [Watts]}$$

T: ροπή (σε N·m)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)





➤ Υπολογισμός απωλειών

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από το τον νόμο του Τζάουλ:

$P_{\chi\alpha\lambda\kappa\acute{o}\upsilon} = 3I^2 R_1$ όπου R_1 : η αντίσταση της μιας φάσης του στάτη

$P_{\chi\alpha\lambda\kappa\acute{o}\upsilon} = 3I_2^2 \cdot R_2$ όπου R_2 : η αντίσταση του δρομέα.

Επειδή τα I_2 , R_2 είναι δύσκολο να υπολογισθούν, μπορούμε προσεγγιστικά να υπολογίσουμε τις απώλειες χαλκού του δρομέα από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου:

$P_{\chi\alpha\lambda\kappa\acute{o}\upsilon} = P_{MF} - P$ θεωρώντας τις μηχανικές απώλειες αμελητέες, P_{MF} είναι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου που μεταφέρει την ισχύ από το στάτη στο δρομέα:

θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες σιδήρου.

$$P_{\text{χαλκού, Δρομέα}} \approx P_{\text{διακένου}} - P_2 = \frac{Tn_s}{9,55} - \frac{Tn}{9,55} = \frac{T}{9,55} (n_s - n)$$

$$\text{επειδή: } s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow n_s - n = sn_s$$

$$\text{προκύπτει: } P_{\text{χαλκού, Δρομέα}} \approx \frac{T}{9,55} sn_s = sP_{\text{διακένου}}$$

για αμελητέες μαγνητικές απώλειες ισχύει: $P_{\text{διακένου}} \approx P_1 - P_{\text{χαλκού, Στάτη}}$

$$\text{επομένως: } P_{\text{χαλκού, Δρομέα}} = s(P_1 - P_{\text{χαλκού, Στάτη}})$$

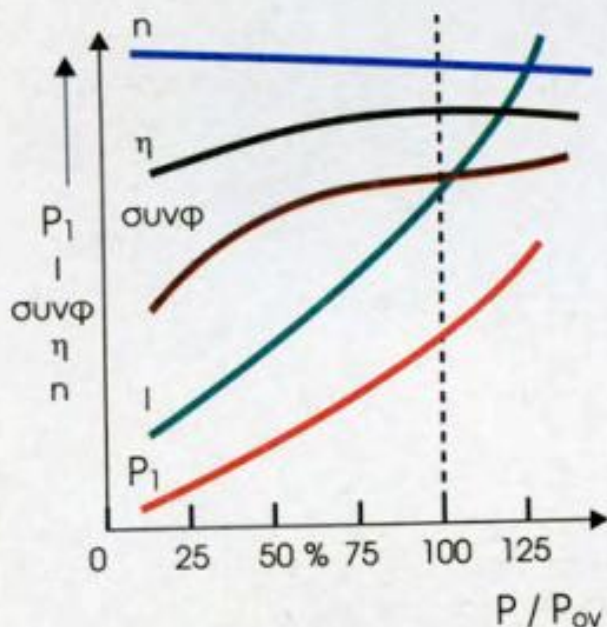
➤ Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος στον άξονά του προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά από το δίκτυο.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{\text{απωλειών}}}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{απωλειών}}}$$

όπου $P_{\text{απ}} = P_{\text{κσ}} + P_{\text{κδ}} + P_{\text{σ}} + P_{\text{μηχ}}$

Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.58 μεταβάλλεται ελάχιστα για μία μεγάλη περιοχή ισχύος.



P_1 : δαπανώμενη ηλεκτρική ισχύς (σε W)
 P : ωφέλιμη μηχανική ισχύς στον άξονα (σε W)
 P_{ov} : ονομαστική ωφέλιμη μηχανική ισχύς στον άξονα (σε W)
 η : βαθμός απόδοσης %
 n : ταχύτητα (σε στρ/min)
συνφ: συντελεστής ισχύος
 I : ρεύμα γραμμής κινητήρα (σε A)

Διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες ασύγχρονου κινητήρα.