

Ενότητα 4.1.

Γενικές γνώσεις για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες (Α.Τ.Κ)

4.1.1. Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Οι ασύγχρονοι κινητήρες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους, του χαμηλού κόστους, της ελάχιστης συντήρησης και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος, είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες στη βιομηχανία.

Ονομάζονται διαφορετικά και **επαγωγικοί κινητήρες**, γιατί το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δημιουργείται από επαγωγή αντί να παρέχεται με ηλεκτρική σύνδεση από κάποια πηγή.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε **μονοφασικούς** και **τριφασικούς**. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε τους τριφασικούς κινητήρες. Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες ανάλογα με τη κατασκευή του δρομέα **διακρίνονται** σε δύο τύπους:

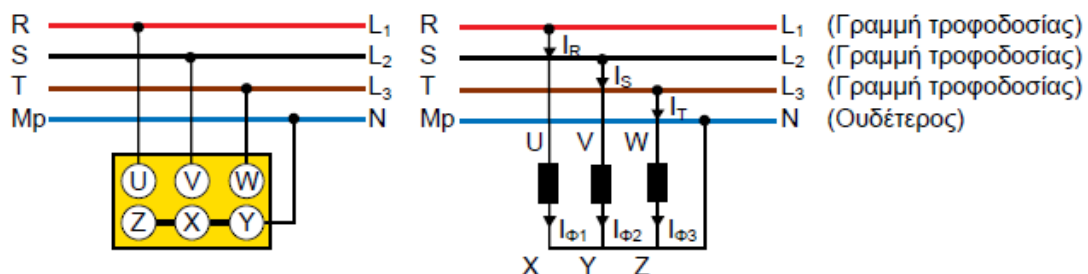
- α) κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα,
- β) κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.

4.1.4. Πολικά - φασικά μεγέθη

Υπάρχουν δύο τρόποι για να συνδεθούν οι τρεις φάσεις:

➤ σύνδεση σε αστέρα (Y)

Ενώνοντας με χάλκινα λαμάκια τους ακροδέκτες X,Y,Z της μηχανής, συνδέουμε τα τυλίγματα σε αστέρα Y, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9.

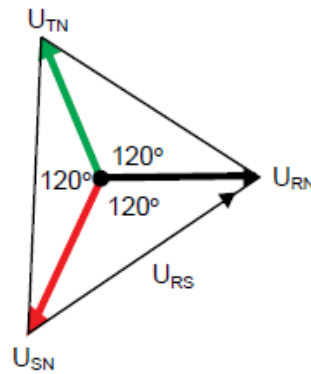


Σχ. 4.9: Συνδεσμολογία αστέρα.

Η τάση στα άκρα μιάς φάσης λέγεται **φασική τάση** και η τάση μεταξύ δύο γραμμών τροφοδοσίας, **πολική τάση**.

Στη συνδεσμολογία αστέρα παίρνοντας τυχαία μία φάση, την 1^η φάση, παρατηρούμε ότι η φασική τάση είναι η τάση $U_{UX}=U_{RN}$. Από την τριγωνομετρική ανάλυση του σχήματος 4.10 προκύπτει ότι $U_{RS} = \sqrt{3} U_{RN}$.

Δηλαδή: **Υπολική** = $\sqrt{3} \cdot \text{Υφασική}$ και σε συντομία: $U_{\pi} = \sqrt{3} U_{\phi}$ (4.1.)



Σχ. 4.10: Πολικά - φασικά μεγέθη.

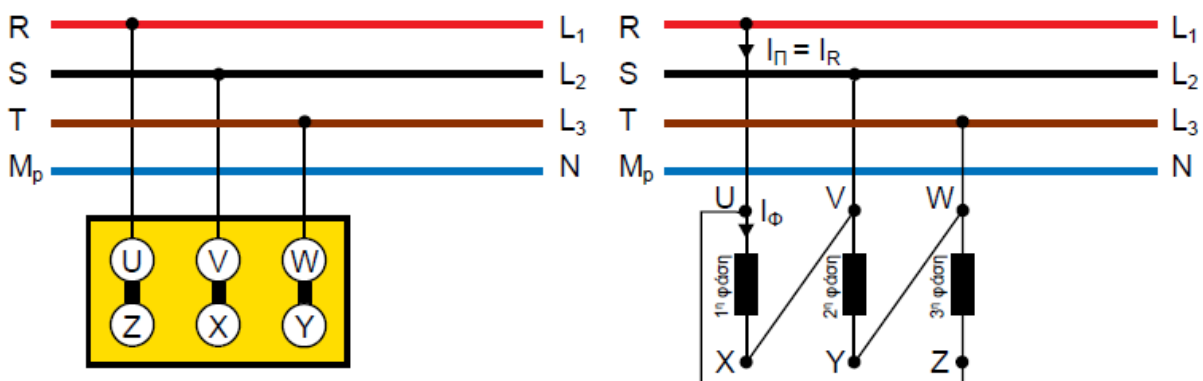
Το ρεύμα που παρέχεται στη 1^η φάση από το δίκτυο είναι I_R .

Παρατηρώντας το σχήμα 4.9 προκύπτει: $I_R = I_{\phi 1}$

Γενικεύοντας μπορούμε να γράψουμε: $I_{\text{φασικό}} = I_{\text{πολικό}}$ και σε συντομία: $I_{\phi} = I_{\pi}$ (4.2)

➤ Σύνδεση σε τρίγωνο (Δ)

Ενώνοντας στη συνέχεια τους ακροδέκτες U με Z, V με X και W με Y συνδέουμε, τα τυλίγματα σε τρίγωνο (Δ) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11.



Σχ. 4.11: Συνδεσμολογία τριγώνου.

Στη συνδεσμολογία τριγώνου η φασική τάση $U_{UX}=U_{RS}$, δηλαδή $U_{\text{φασική}} = U_{\text{Υπολική}}$ σε συντομία: $U_{\phi} = U_{\pi}$ (4.3.)

Από την τριγωνομετρική ανάλυση των ρευμάτων προκύπτει: $I_{\text{πολικό}} = \sqrt{3} I_{\text{φασικό}}$ σε συντομία: $I_{\pi} = \sqrt{3} I_{\phi}$ (4.4.)

 Ανεξάρτητα από τη συνδεσμολογία η πραγματική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο είναι: $P = \sqrt{3} U_{\pi} \cdot I_{\pi} \cdot \cos\phi$ (σε W) (4.5.)

Η ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα

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:

$$F = B_{\sigma} I_{\delta} \ell \quad (4.6.)$$

όπου: **F**: μαγνητική δύναμη (Laplace) σε (N)
B_σ: μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (VS/m²)
I_δ: ρεύμα δρομέα από επαγωγή σε (A)
ℓ: μήκος αγωγού δρομέα σε (m)

4.1.7. Ολίσθηση

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με ταχύτητα που εξαρτάται από τη συχνότητα (f) του ρεύματος τροφοδοσίας και τα ζεύγη πόλων (p) του τυλίγματος του στάτη.

Η ταχύτητα αυτή λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα n_s** .

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (4.7)$$

n_s : σύγχρονη ταχύτητα σε στρ/min (Σ.Α.Λ)
 f : συχνότητα τροφοδοσίας σε Hz (1/sec)
 p : ζεύγη μαγνητικών πόλων

Ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα n που εξαρτάται από το φορτίο του άξονα. Ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της σύγχρονης ταχύτητας n_s και της ταχύτητας του κινητήρα n , προς τη σύγχρονη ταχύτητα, ονομάζεται **ολίσθηση s** :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (4.8.)$$

Η ολίσθηση ενός κινητήρα δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται με το φορτίο και αυξάνεται με αυτό.

Παράδειγμα

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με εξαπολικό τύλιγμα τροφοδοτείται από δίκτυο συχνότητας 50Hz και περιστρέφεται με ταχύτητα 955στρ/min. Πόση είναι η ολίσθησή του;

Λύση

Η σύγχρονη ταχύτητα είναι: $n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ στρ/min}$

Άρα η ολίσθηση θα είναι: $s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 955}{1000} = 0,045$ ή 4,5%

4.1.8. Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του κινητήρα είναι η ροπή (**T**) που μπορεί να αναπτύξει στον άξονά του για να περιστρέφει το φορτίο.

Μέσα από σχέσεις της Μηχανικής καταλήγουμε στην έκφραση της ροπής:

$$T = \frac{9,55 \cdot P}{n} \quad (4.9.)$$

όπου: **T**: ροπή (σε Nm)

P: αποδιδόμενη ισχύς (σε W)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

Παράδειγμα

Να υπολογισθεί η ισχύς που πρέπει να έχει στον άξονά του ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας, όταν κινεί φορτίο με μέγιστη ροπή στέψης 370N.m και ταχύτητα 40στρ/min.

Λύση

Από τη σχέση $T = \frac{9,55 \cdot P}{n}$ έχουμε: $P = \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{370 \cdot 40}{9,55} = 1549,73 \text{ W}$

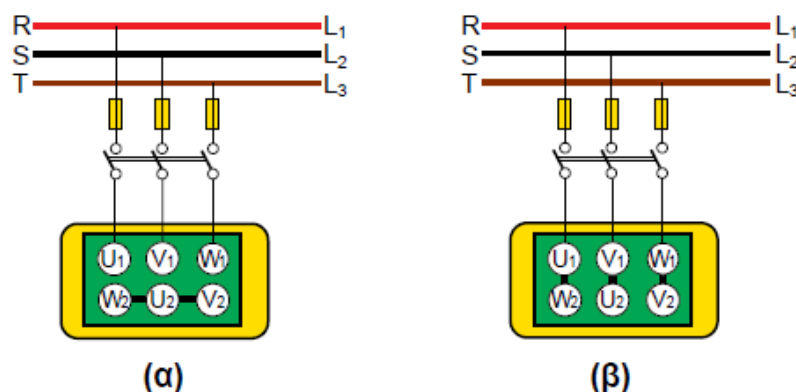
Ενότητα 4.2.

Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες με Βραχυκυκλωμένο Δρομέα (Κ.Β.Δ.)

4.2.2. Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες

Στην παράγραφο 4.1.4. είχαμε αναφερθεί στα τρία τυλίγματα του στάτη του κινητήρα, U-X, V-Y, W-Z και είχαμε περιγράψει πώς συνδεσμολογούνται σε αστέρα (Y) και σε τρίγωνο (Δ).

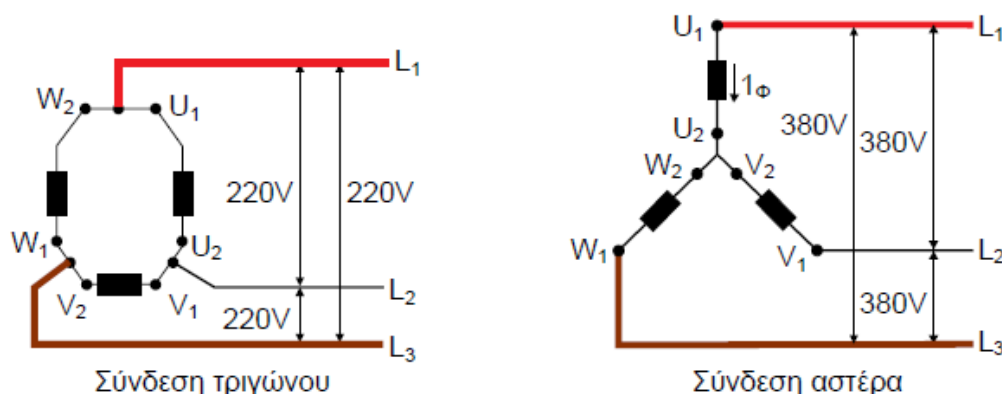
Σύμφωνα με τη σύγχρονη τυποποίηση τα τρία τυλίγματα έχουν ακροδέκτες U_1 - U_2 , V_1 - V_2 και W_1 - W_2 (σχ. 4.22).



Σχ. 4.22: Σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη (α) σε αστέρα (Y) και (β) σε τρίγωνο (Δ).

4.2.3. 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/380VY**, ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί με πολική τάση δικτύου **220V** σε σύνδεση τριγώνου και **380V** σε σύνδεση αστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.25.



Σχ. 4.25: Τάσεις λειτουργίας σε Y και Δ, με ένδειξη πινακίδας 220V Δ/380V Y.

Άλλες συνηθισμένες ενδείξεις είναι: **380VΔ, 380VΔ/660VY**.

Η χαμηλή τάση του δικτύου της ΔΕΗ είναι 220/380V, που σημαίνει, ότι μπορούμε να έχουμε πολική τάση στη μηχανή **380V**. Στο σχήμα 4.25, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο η σύνδεση αστέρα.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς IEC, η επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης τροφοδοσίας είναι $\pm 5\%$ της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσης από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα. Επίσης η νέα τυποποίηση της χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. είναι 230/400V.

4.2.4. Εκκίνηση ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο με έναν απλό εξοπλισμό.

Κατά την εκκίνηση όμως απορροφούν ρεύμα τετραπλάσιο μέχρι οκταπλάσιο του ονομαστικού, που προκαλεί στιγμιαία πτώση τάσης του δικτύου και η οποία έχει επιπτώσεις στους άλλους καταναλωτές. Η πτώση τάσης, που λέγεται και **βύθιση τάσης** δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα σε κινητήρες, ηλεκτρονικά μηχανήματα κ.α. Σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC όπως είδαμε, η τροφοδοσία των κινητήρων μπορεί να έχει διακυμάνση 5%.

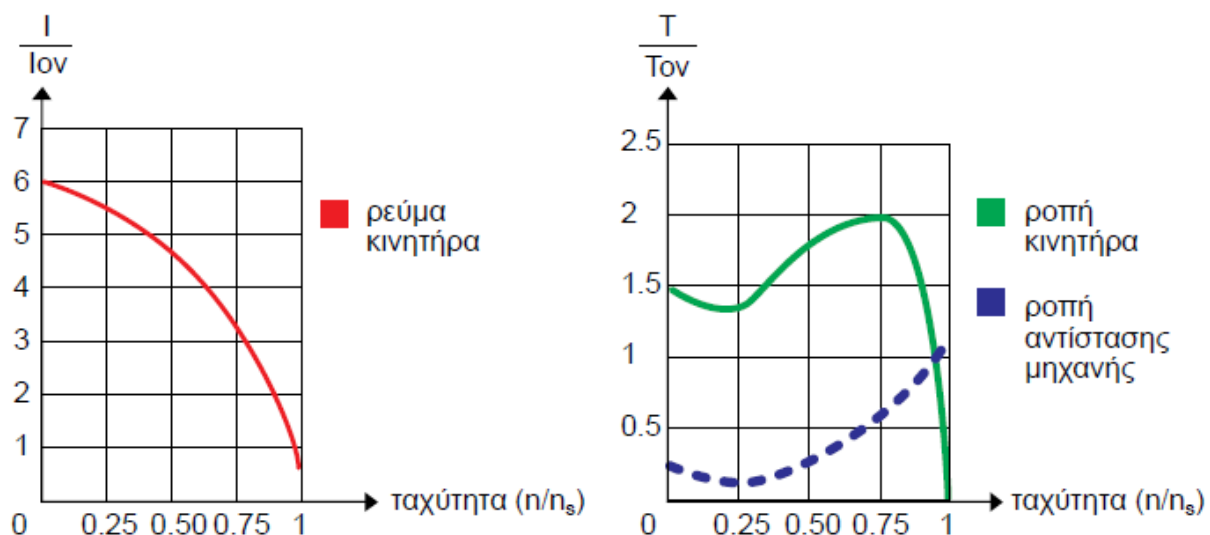
Αρκετές μέθοδοι εκκίνησης αναπτύχθηκαν προκειμένου να επιλύσουν τα προβλήματα της εκκίνησης:

α) Απευθείας εκκίνηση

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο μέσω τριπολικού διακόπτη (σχήμα 4.22).. 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:

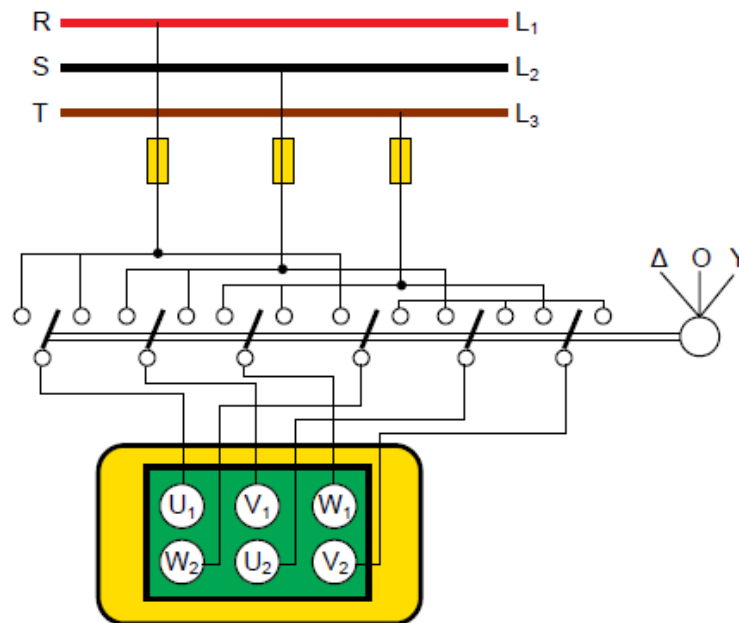
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{\text{ΕΚΚ}} \cong 6 \cdot I_{\text{ΟΝ}}$.
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{\text{ΕΚΚ}} \cong 1,5 T_{\text{ΟΝ}}$.
Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.
- Απλός εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



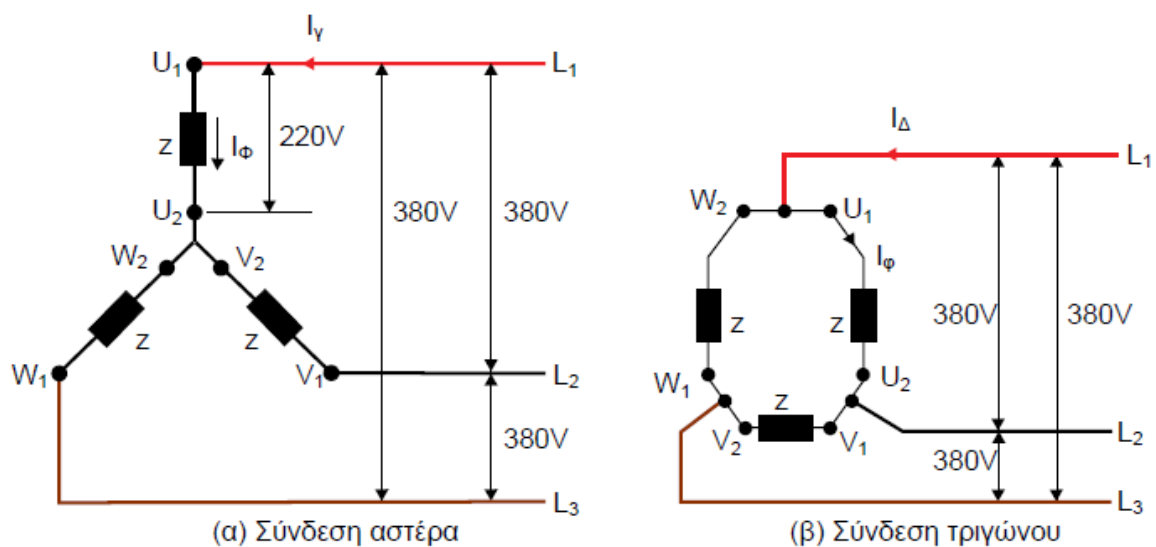
Σχ. 4.30: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με απευθείας εκκίνηση.

β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Y-Δ

Η εκκίνηση γίνεται με ειδικό χειροκίνητο ή με αυτόματο διακόπτη αστέρα - τριγώνου (Y-Δ). Στο σχήμα 4.31 φαίνεται ένας χειροκίνητος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.



Σχ. 4.31: Χειροκίνητος διακόπτης Y-Δ.



Σχ. 4.32: Τάσεις και Ρεύματα σε σύνδεση Y-Δ.

Κατά την εκκίνηση ο διακόπτης στρέφεται στη θέση Y και οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες W₂, U₂, V₂ και συνδέουν το στάτη σε αστέρα που τροφοδοτεί κάθε φάση του κινητήρα με φασική τάση δικτύου. Για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_{\phi}=220V$.

Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ. Οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες U₁-W₂, V₁-U₂, W₁-V₂ συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολική τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_{\pi}=U=\sqrt{3} \cdot U_{\phi}=\sqrt{3} \cdot 220=380V$

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

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

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

Συμπέρασμα

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

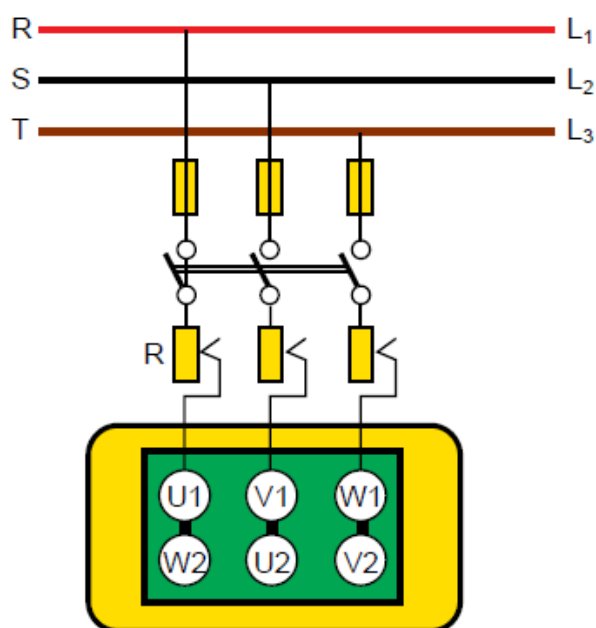
γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

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

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



Σχ. 4.34: Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

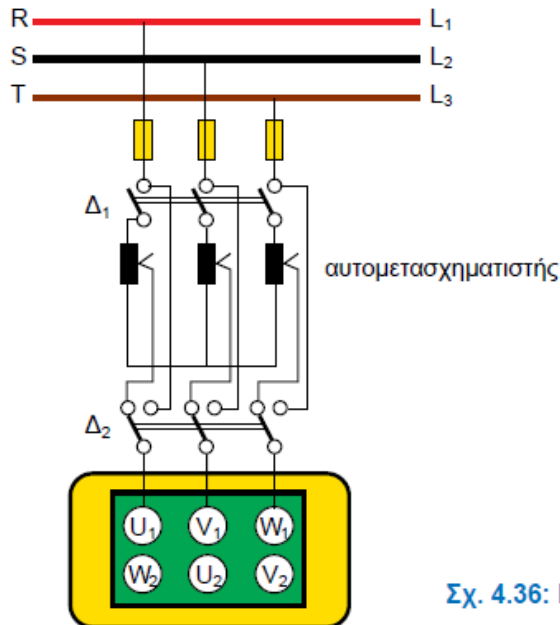
Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη Δ_1 και τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη Δ_2 και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη Δ_1 και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης (σχ. 4.36).

➤ 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.

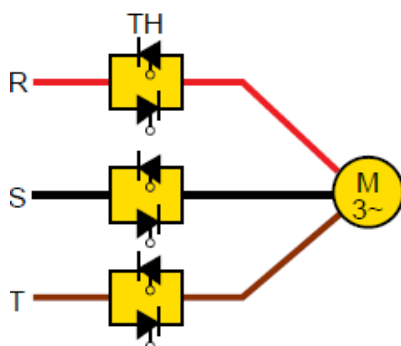
Αν ο κινητήρας ξεκινά με φορτίο στον άξονά του, χρειάζεται έλεγχος της καμπύλης φορτίου και της καμπύλης του κινητήρα με μειωμένο ρεύμα εκκίνησης (σχ. 4.37).



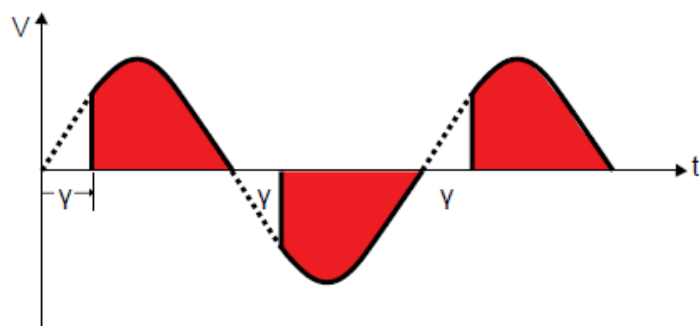
Σχ. 4.36: Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

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.



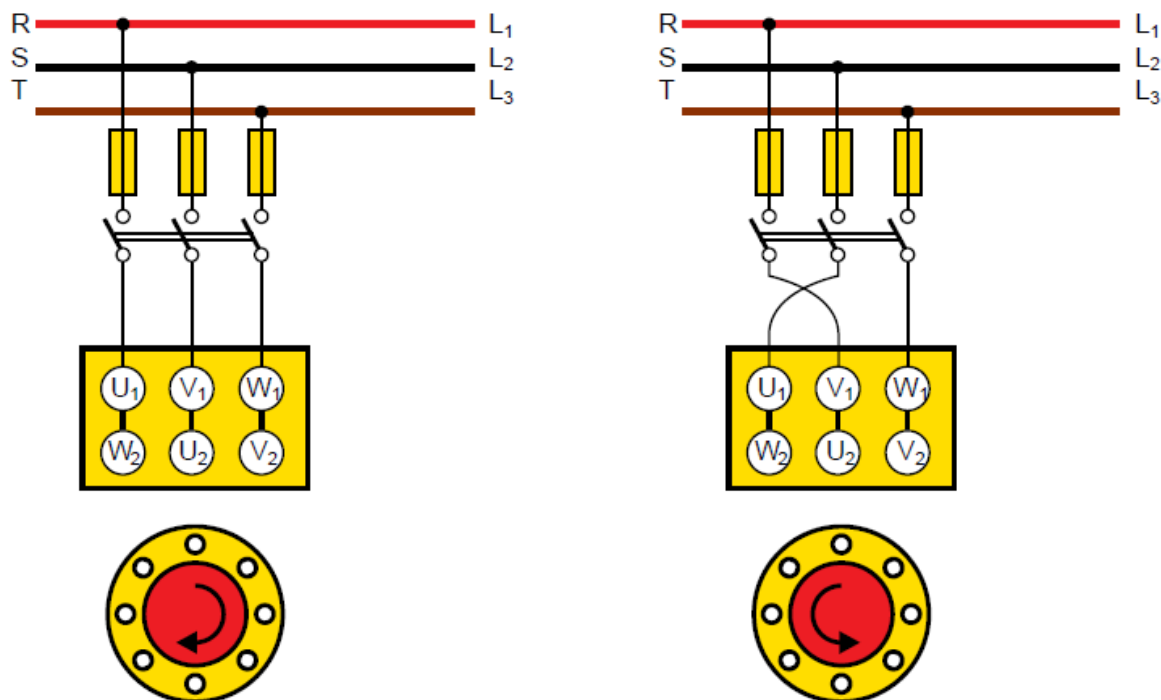
(α)



(β)

4.2.6. 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** (σχ. 4.52).



Σχ. 4.52: Αλλαγή φοράς περιστροφής.

4.2.7. Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

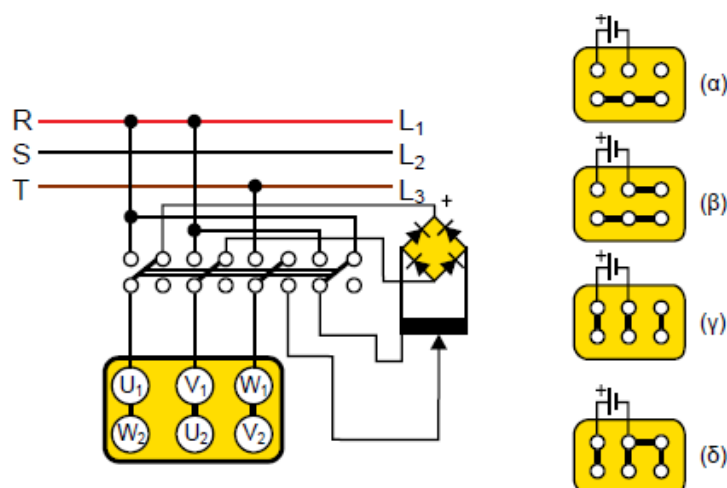
Η πέδηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους:

- **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, γερανούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη **ράμπας επιβράδυνσης** που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές (σχ. 4.53, 4.54).

Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

- α) ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με το χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του ποτενσιόμετρου του εκκινητή.
- 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 4.55.



Σχ. 4.55: Κυκλώματα δυναμικής πέδησης.

👁 **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:

$$I_{\pi} \leq 0,6KI_A \quad (4.11)$$

όπου I_{π} : 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

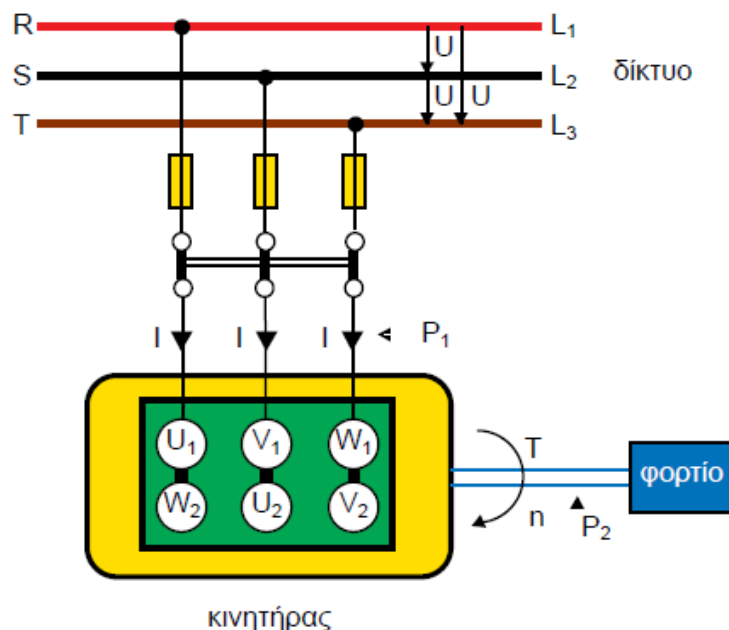
Πίνακας 4.3.
Τιμές συντελεστή K

Κύκλωμα	α	β	γ	δ
Συντελεστής K	1,225	1,41	2,12	2,45

➤ 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.

4.2.8. Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα



Σχ. 4.56: 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:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (σε W)} \quad (4.12)$$

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

$$P = \frac{T \cdot n}{9,55} \text{ (σε W)} \quad (4.13)$$

T: ροπή (σε N·m)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

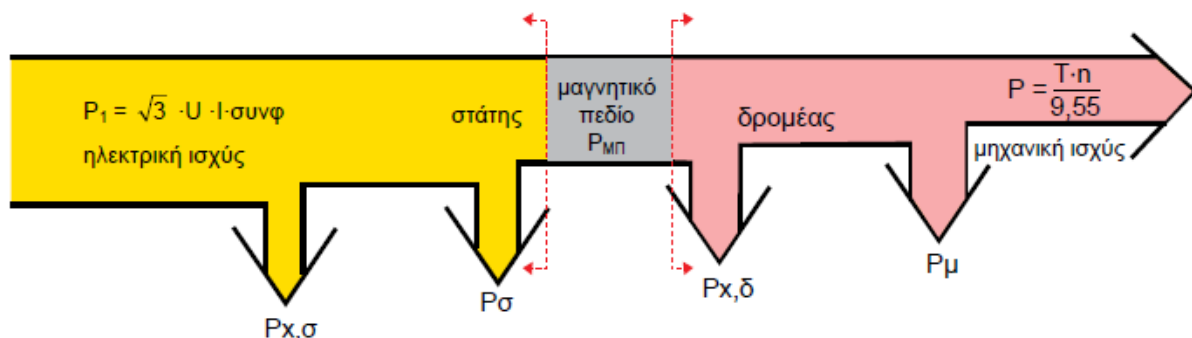
Απώλειες, βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι απώλειες του κινητήρα είναι δύο ειδών:

1. απώλειες σταθερές που δεν μεταβάλλονται με το φορτίο και
2. απώλειες μεταβλητές που μεταβάλλονται με το φορτίο.

Οι **σταθερές απώλειες** είναι: α) **μαγνητικές απώλειες**, που λέγονται και απώλειες σιδήρου P_σ γιατί οφείλονται στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης και των δινορρευσμάτων στο σιδερένιο πυρήνα της μηχανής και β) **μηχανικές απώλειες** P_μ λόγω τριβών στους τριβείς του άξονα και αερισμού της φτερωτής της μηχανής.

Οι μεταβλητές απώλειες είναι: α) ηλεκτρικές απώλειες του στάτη, που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του στάτη και λέγονται απώλειες χαλκού στάτη $P_{χ,σ}$, και β) ηλεκτρικές απώλειες δρομέα που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του δρομέα και λέγονται απώλειες χαλκού δρομέα $P_{χ,δ}$.



Σχ. 4.57: Κατανομή απωλειών ασύγχρονου κινητήρα.

➤ Υπολογισμός απωλειών

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από τον νόμο του Τζάουλι:

$P_{χ,σ} = 3I^2 R_1$ όπου R_1 : η αντίσταση της μιας φάσης του στάτη

$P_{χ,δ} = 3I^2 R_δ$ όπου $R_δ$: η αντίσταση του δρομέα.

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

$P_{χ,δ} = P_{μπ} - P$ θεωρώντας τις μηχανικές απώλειες αμελητέες, $P_{μπ}$ είναι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου που μεταφέρει την ισχύ από το στάτη στο δρομέα:

$$P_{μπ} = \frac{T \cdot n_s}{9,55} \text{ άρα } P_{χ,δ} = \frac{T \cdot n_s}{9,55} - \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{T}{9,55} (n_s - n) = \frac{T \cdot n_s}{9,55} \cdot s =$$

$$P_{μπ} \cdot S = (P_1 - P_{χ,σ}) \cdot s \Rightarrow P_{χ,δ} = (P_1 - P_{χ,σ}) \cdot s \quad (4.14)$$

θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες σιδήρου.

➤ Πείραμα με κινητήρα χωρίς φορτίο

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο και μετράμε με βατόμετρο και αμπερόμετρο την ισχύ P_0 και το ρεύμα I_0 που απορροφά σε λειτουργία χωρίς κανένα φορτίο. Η ισχύς P_0 αντιπροσωπεύει τις απώλειες σιδήρου $P_σ$, τις μηχανικές απώλειες $P_μ$ και τις απώλειες χαλκού του στάτη. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα είναι αμελητέες.

$$P_0 = P_σ + P_μ + P_{χ,σ} = P_σ + P_μ + 3I_0^2 R_1$$

➤ Πείραμα με ακινητοποιημένο το δρομέα του κινητήρα

Ακινητοποιούμε το δρομέα και τροφοδοτούμε το στάτη με τάση μικρότερη της ονομαστικής, ώστε το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο να είναι ίσο με το ονομαστικό. Η ένδειξη του βατόμετρου είναι $P_{ακ}$ και αντιπροσωπεύει τις απώλειες χαλκού στάτη και δρομέα και τις απώλειες σιδήρου. Προσεγγιστικά μπορούμε να γράψουμε:

$$P_{ακ} = P_{χ,σ} + P_{χ,δ} + P_σ$$

➤ Βαθμός απόδοσης

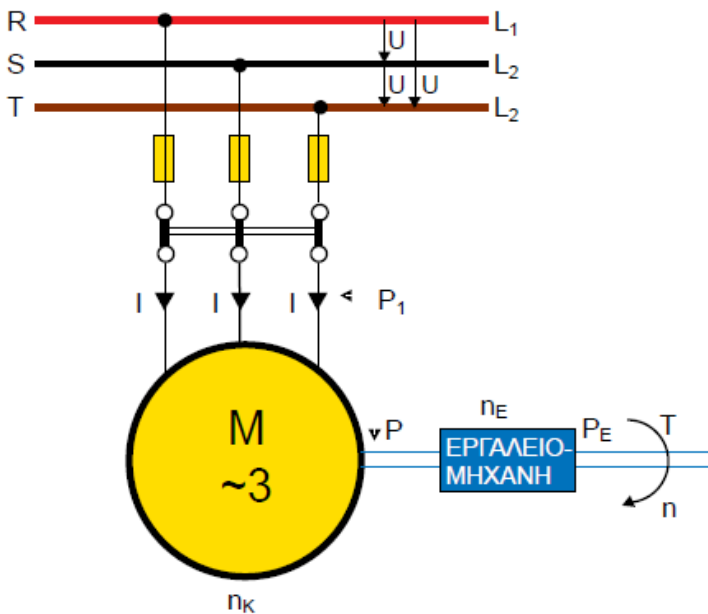
Ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος στον άξονά του προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά από το δίκτυο.

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - P_{\text{απ}}}{P_1} = \frac{P}{P_1 + P_{\text{απ}}} \quad (4.15)$$

όπου $P_{\text{απ}} = P_{\chi, \sigma} + P_{\chi, \delta} + P_{\sigma} + P_{\mu}$

Παράδειγμα

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα τροφοδοτείται με πολική τάση 380V, έχει συντελεστή ισχύος 0,8 και βαθμό απόδοσης 0,85. Στρέφει εργαλειομηχανή που ασκεί στην έξοδό της ροπή 450N.m με ταχύτητα 30στρ/min. Ο βαθμός απόδοσης της εργαλειομηχανής είναι 0,7.



Σχ. 4.59: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας.

Να υπολογισθούν:

- α. η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα,
- β. η ένταση του ρεύματος που απορροφά από το δίκτυο,
- γ. οι απώλειες του κινητήρα.

Λύση

α. Η ισχύς στην έξοδο της εργαλειομηχανής θα είναι:

$$P_E = \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{450 \cdot 30}{9,55} = 1.413,6 \text{ W}$$

Με βάση το βαθμό απόδοσης της εργαλειομηχανής και του κινητήρα:

$$P = \frac{P_E}{\eta_E} = \frac{1.413,6}{0,85} = 2019,4 \text{ W} \quad \text{Όμως } \eta = \frac{P}{P_1} \text{ άρα } P_1 = \frac{2019,4}{0,85} = 2375,7 \text{ W}$$

β. Η ηλεκτρική ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ άρα } I = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{2375,7}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 4,5 \text{ A}$$

γ. Οι απώλειες του κινητήρα είναι: $P_{\text{απ}} = P_1 - P = 2375,7 - 2019,4 = 356,3 \text{ W}$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Ο βαθμός απόδοσης Α.Τ.Κ. προσδιορίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση $\eta = 1 - S$ όπου: S, η διολίσθηση του Α.Τ.Κ.

ΘΕΜΑ 4^ο

Εξαπολικός ($p=3$) ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα αποδίδει στον άξονά του ισχύ $P_{εξ}=8KW$, συχνότητας $f=50Hz$, περιστρέφει τόρνο με ροπή $T=80Nm$.

Να υπολογίσετε:

4.1 Τη σύγχρονη ταχύτητα (n_s) του δικτύου.

Μονάδες 9

$$4.1 \ n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \Rightarrow n_s = \frac{60 \cdot 50}{3} \Rightarrow n_s = \frac{3000}{3} \Rightarrow n_s = 1000 \text{ στρ/λεπτό}$$

4.2 Την ταχύτητα περιστροφής του (n) κινητήρα.

Μονάδες 8

$$4.2 \ T = \frac{P \cdot 9,55}{n} \Rightarrow n = \frac{P \cdot 9,55}{T} \Rightarrow n = \frac{8000 \cdot 9,55}{80} \Rightarrow n = 955 \text{ στρ/λεπτό}$$

4.3 Την ολίσθηση (s).

Μονάδες 8

$$4.3 \ s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow s = \frac{1000 - 955}{1000} \Rightarrow s = \frac{45}{1000} \Rightarrow s = 45 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$
$$s = 0,045 \text{ ή } 4,5\%$$

ΘΕΜΑ 4^ο

Εξαπολικός ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας αναπτύσσει ροπή στον άξονά του όταν αποδίδει την ονομαστική ισχύ $T=45Nm$, με ταχύτητα περιστροφής $n=955$ στρ/λεπτό, συχνότητας $f=50Hz$ και βαθμό απόδοσης $\eta=0,75$.

Να υπολογίσετε:

4.1 Την ισχύ εξόδου ($P_{εξ}$) που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του.

Μονάδες 10

$$4.1 \ P_{εξ} = \frac{T \cdot n}{9,55} \Rightarrow P_{εξ} = \frac{45 \cdot 955}{9,55} \Rightarrow P_{εξ} = 4500W$$

4.2 Την ισχύ ($P_{εισ}$) που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

Μονάδες 8

$$4.2 \ \eta = \frac{P_{εξ}}{P_{εισ}} \Rightarrow P_{εισ} = \frac{P_{εξ}}{\eta} \Rightarrow P_{εισ} = \frac{4500}{0,75} \Rightarrow P_{εισ} = 6000W$$

4.3 Τις συνολικές απώλειες ($P_{\alpha\pi}$) του κινητήρα.

Μονάδες 7

$$4.3 \quad P_{\varepsilon\iota\sigma} = P_{\varepsilon\xi} + P_{\alpha\pi} \Rightarrow P_{\alpha\pi} = P_{\varepsilon\iota\sigma} - P_{\varepsilon\xi} \Rightarrow P_{\alpha\pi} = 6000 - 4500 \Rightarrow P_{\alpha\pi} = 1500W$$

ΘΕΜΑ 4^ο

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας είναι συνδεδεμένος **σε αστέρα** με φασική τάση $U_{\phi}=250V$, έχει βαθμό απόδοσης $\eta=0,8$ και διαρρέεται από ρεύμα γραμμής $I_{\gamma\rho} = 10A$. Αν ο συντελεστής ισχύος είναι **συνφ=0,8** να υπολογίσετε:

4.1 Την πολική τάση (U_{π}) του δικτύου.

Μονάδες 7

$$4.1 \quad U_{\pi} = \sqrt{3} * U_{\phi} \Rightarrow U_{\pi} = \sqrt{3} * 250V$$

4.2 Την ισχύ ($P_{\varepsilon\iota\sigma}$) του κινητήρα που απορροφά από το δίκτυο.

Μονάδες 10

$$4.2 \quad P_{\varepsilon\iota\sigma} = \sqrt{3} * U_{\pi} * I_{\gamma\rho} * \text{συν}\varphi \Rightarrow P_{\varepsilon\iota\sigma} = \sqrt{3} * 250\sqrt{3} * 10 * 0,8 \Rightarrow$$

$$P_{\varepsilon\iota\sigma} = 3 * 250 * 10 * 0,8 \Rightarrow P_{\varepsilon\iota\sigma} = 6000W$$

4.3 Την ισχύ εξόδου ($P_{\varepsilon\xi}$) που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του.

Μονάδες 8

Σημείωση: Δίνεται $\sqrt{3} \cong 1,73$. Δεν είναι απαραίτητο να γίνει αντικατάσταση με 1,73 αλλά μπορείτε να διατηρήσετε το $\sqrt{3}$ όπως είναι στις πράξεις όπου εσείς κρίνετε σκόπιμο.

$$4.3 \quad \eta = \frac{P_{\varepsilon\xi}}{P_{\varepsilon\iota\sigma}} \Rightarrow P_{\varepsilon\xi} = \eta * P_{\varepsilon\iota\sigma} \Rightarrow P_{\varepsilon\xi} = 6000 * 0,8 \Rightarrow P_{\varepsilon\xi} = 4800W$$

Θέμα 4^ο

Στην πινακίδα ενός Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα αναγράφεται πως έχει ονομαστική ισχύς 3KW και ονομαστική ταχύτητα 1500σπ/min.

Σας ζητείτε να αποδείξετε και να επιχειρηματολογήσετε, εάν μπορεί να εκκινήσει φορτίο ροπής 25Nm, όταν γνωρίζετε πως η ροπή εκκίνησής του είναι η μισή της ονομαστικής του.

Μονάδες:25

Θέμα 4^ο

Τα δεδομένα της άσκησης είναι:

$$P = 3000W$$

$$n = 1500\sigma\tau\rho/min$$

$$T_{εκ} = 0,5 * T_{ον}$$

$$T_{φορτίου} = 25Nm$$

$$\text{Είναι γνωστό ότι: } T = \frac{9,55 * P}{n}$$

$$\text{Άρα, αντικαθιστώ τα δεδομένα : } T = \frac{9,55 * 3000}{1500} = 19,1Nm$$

Και βρίσκω πως η ροπή είναι $T = 19,1Nm$.

Αφού η ροπή εκκίνησης είναι η μισή της ονομαστικής της :

$$T_{εκ} = 0,5 * T = 0,5 * 19,1 = 9,55Nm$$

Συνεπώς ο κινητήρας δεν μπορεί να εκκινήσει το φορτίο με ροπή $T_{φορτίου} = 25Nm$ όταν η ροπή εκκίνησής του είναι $T_{εκ} = 9,55Nm$.

Εξάλλου, η ροπή εκκίνησης του κινητήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ροπή εκκίνησης του φορτίου. Η ροπή του κινητήρα πρέπει να παραμένει μεγαλύτερη από τη ροπή του φορτίου όλο το διάστημα που ο κινητήρας επιταχύνεται μέχρι να φτάσει ο κινητήρας στην ταχύτητα λειτουργίας.

Θέμα 4^ο

Σε έναν ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα η ταχύτητα περιστροφής του είναι $n=200\sigma\tau\rho/min$

και η σύγχρονη ταχύτητα n_s είναι $n_s=400\sigma\tau\rho/min$. Η συχνότητα f του δικτύου είναι $f=40Hz$.

Να υπολογίσετε:

4.1 Τη ολίσθηση s του κινητήρα.

Μονάδες 13

4.1

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{400 - 200}{400} = \frac{200}{400} = 0,5$$

4.2 Τον αριθμό ζευγών p των πόλων του κινητήρα.

Μονάδες 12

4.2

$$n_s = \frac{60 * f}{p} \rightarrow 400 = \frac{60 * 40}{p} \rightarrow p = \frac{2400}{400} = 6 \text{ ζεύγη πόλων}$$

Θέμα 4^ο

Ένας τετραπολικός ($p=2$) ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας απορροφά από το δίκτυο ισχύ

$P_1 = 12\text{KW}$. Η ροπή T του κινητήρα είναι $T=80\text{N}\cdot\text{m}$ και οι στροφές του $n=955\text{στρ}/\text{min}$.

Να υπολογίσετε:

4.1 Την πραγματική ισχύ εξόδου (P) του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

Μονάδες 12

4.1

$$P = \frac{T \cdot n}{9,55} \rightarrow P = \frac{80 \cdot 955}{9,55} = 8000\text{W} = 8\text{KW}$$

4.2 Τις απώλειες ($P_{\alpha\pi}$) του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

Μονάδες 13

4.2

$$P_{\alpha\pi} = P_1 - P = 12 - 8 = 4\text{KW}$$

ΘΕΜΑ 4^ο

Τριφασικός κινητήρας είναι συνδεδεμένος σε τρίγωνο με πολική τάση $U_{\pi}=230\cdot\sqrt{3}\text{V}$, διαρρέεται με ρεύμα φάσης $I_{\phi} = 10\cdot\sqrt{3}\text{A}$ και έχει βαθμό απόδοσης $\eta=0,75$. Αν ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\phi=0,8$ να υπολογίσετε:

4.1 Το ρεύμα γραμμής ($I_{\gamma\rho}$) που διαρρέει τον κινητήρα.

Μονάδες 8

$$4.1 I_{\gamma\rho} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} \Rightarrow I_{\gamma\rho} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \Rightarrow I_{\gamma\rho} = 30\text{A}$$

4.2 Την ισχύ ($P_{\epsilon\iota\sigma}$) που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

Μονάδες 8

$$4.2 P_{\epsilon\iota\sigma} = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I_{\gamma\rho} \cdot \cos\phi \Rightarrow P_{\epsilon\iota\sigma} = \sqrt{3} \cdot 230\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 0,8 \Rightarrow$$

$$P_{\epsilon\iota\sigma} = 3 \cdot 230 \cdot 30 \cdot 0,8 \Rightarrow P_{\epsilon\iota\sigma} = 16560\text{W}$$

4.3 Την ισχύ εξόδου ($P_{\epsilon\lambda}$) που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του.

Μονάδες 9

Σημείωση: Δίνεται $\sqrt{3} \cong 1,73$. Δεν είναι απαραίτητο να γίνει αντικατάσταση με 1,73 αλλά μπορείτε να διατηρήσετε το $\sqrt{3}$ όπως είναι στις πράξεις όπου εσείς κρίνετε σκόπιμο.

$$4.3 \eta = \frac{P_{\epsilon\lambda}}{P_{\epsilon\iota\sigma}} \Rightarrow P_{\epsilon\lambda} = \eta \cdot P_{\epsilon\iota\sigma} \Rightarrow P_{\epsilon\lambda} = 16560 \cdot 0,75 \Rightarrow P_{\epsilon\lambda} = 12420\text{W}$$