

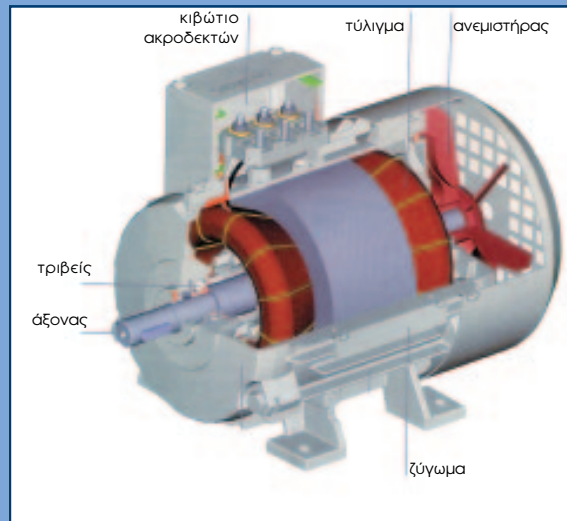
# κεφάλαιο 4

## ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες (Α.Τ.Κ.)

➔ Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια του τριφασικού δικτύου σε μηχανική.

Το τύλιγμα του οπλισμού του στάτη του κινητήρα, τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που επιδρά στο δρομέα και παράγει ροπή περιστροφής.

Οι κινητήρες αυτοί έχουν απεριόριστες εφαρμογές σ' όλους τους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας.



Σχ. 4.1.: Ασύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας.

# Ενότητα 4.1.

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

### Διδακτικοί στόχοι

➔ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε τα χαρακτηριστικά του τριφασικού ρεύματος.
2. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε τις σχέσεις μεταξύ πολικών και φασικών μεγεθών.
3. Να απαριθμείτε τις απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.
4. Να περιγράφετε και να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των Α.Τ.Κ.
5. Να απαριθμείτε τα είδη των Α.Τ.Κ.
6. Να περιγράφετε τις χαρακτηριστικές Ροπής-Στροφών.
7. Να απαριθμείτε τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται οι Α.Τ.Κ.

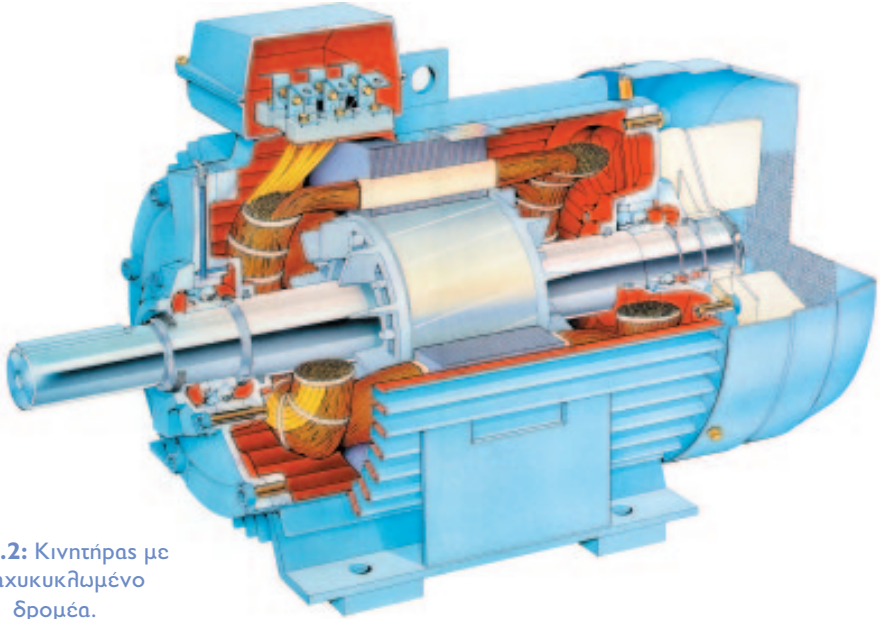
### 4.1.1. Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

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.

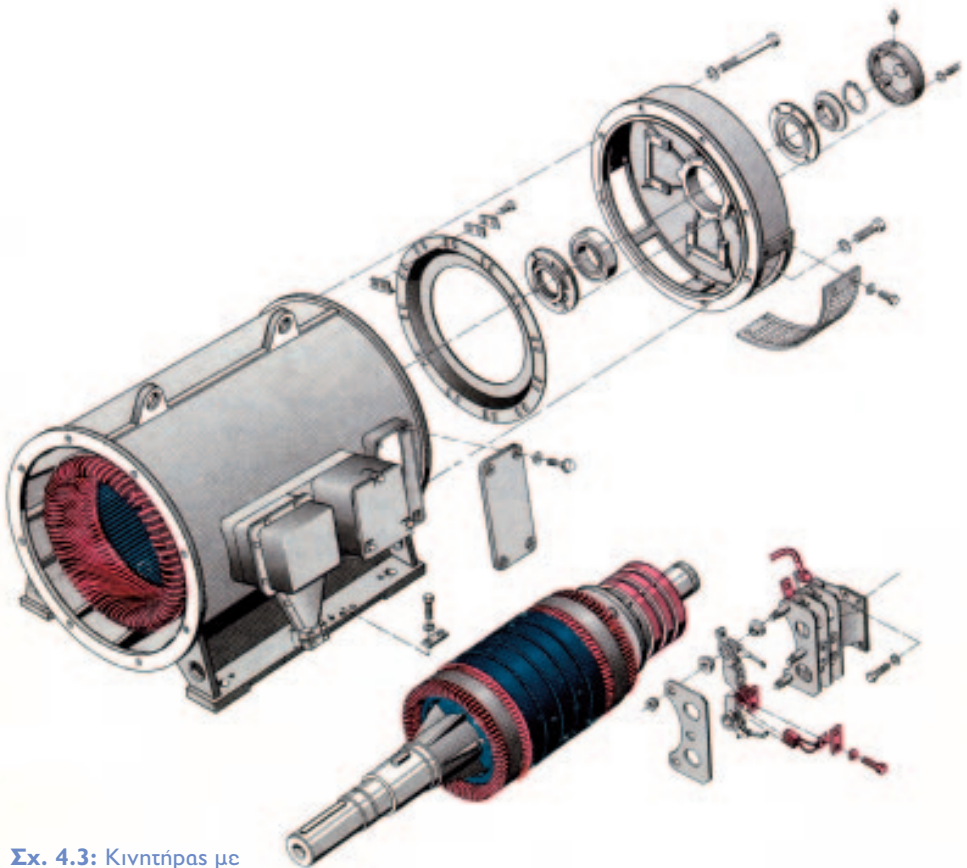
Ονομάζονται διαφορετικά και **επαγωγικοί κινητήρες**, γιατί το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δημιουργείται από επαγωγή αντί να παρέχεται με ηλεκτρική σύνδεση από κάποια πηγή.

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.



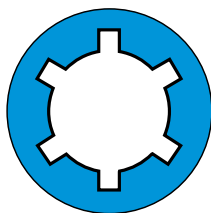
Σχ. 4.2: Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα.



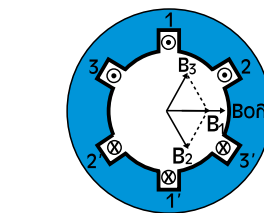
Σχ. 4.3: Κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.

## 4.1.2. Κατασκευαστικά στοιχεία ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Το ακίνητο μέρος ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, ο **στάτης**, αποτελεί το μόνο στοιχείο που συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο. Είναι κατασκευασμένος από πολλά μαγνητικά ελάσματα, συνήθως πυριτιούχου χάλυβα, που κόβονται σε ειδικές πρέσες και έχουν τη μορφή του σχήματος 4.4.



Σχ. 4.4: Μαγνητικά ελάσματα στάτη.

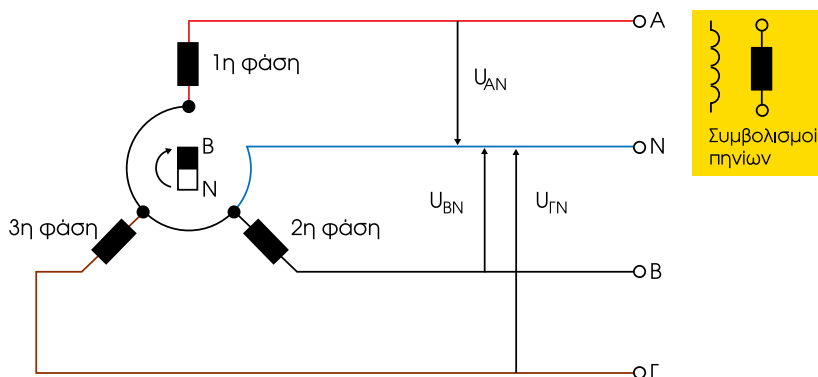


Σχ. 4.5: Μαγνητικό πεδίο στάτη.

Τα ελάσματα αυτά είναι περασμένα με ειδικό μονωτικό βερνίκι, συγκρατούνται με κοχλίες και σχηματίζουν το ζύγωμα της μηχανής. Σχηματίζονται αυλάκια (οδοντώσεις) μέσα στα οποία τοποθετούνται οι τρεις φάσεις του τυλίγματος, ώστε να δημιουργείται στο εσωτερικό ένα μαγνητικό πεδίο  $B_{\phi\theta}$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.

## 4.1.3. Τριφασικά ρεύματα

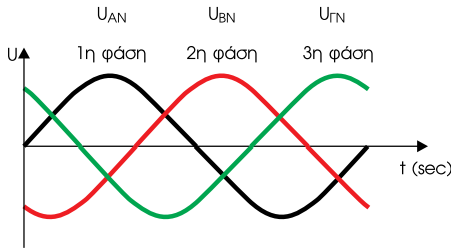
Τα τριφασικά ρεύματα χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις και στα αυτοκίνητα, γιατί οι τριφασικές ηλεκτρικές μηχανές έχουν **μεγάλη συγκέντρωση ισχύος**, παρουσιάζουν **λιγότερες βλάβες** από τις μονοφασικές και χρησιμοποιούν **αγωγούς μικρότερης διατομής**.



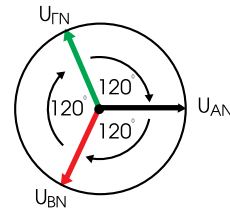
Σχ. 4.6: Τριφασικό σύστημα.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

Με την περιστροφή του μαγνήτη του σχήματος 4.6 στα τυλίγματα των τριών φάσεων, που σχηματίζουν γωνίες  $120^\circ$ , παράγονται, λόγω φαινομένου επαγωγής, τρεις τάσεις  $U_{AN}$ ,  $U_{BN}$ ,  $U_{GN}$ . Οι τάσεις αυτές, λόγω συμμετρίας, είναι ίσες αλλά δεν είναι συμφασικές, παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορά φάσης  $120^\circ$  όπως φαίνεται στα σχήματα 4.7α και 4.7β.



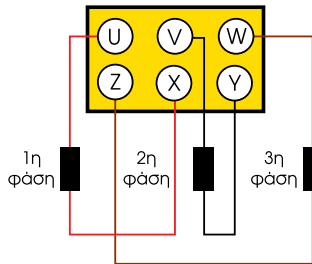
**Σχ. 4.7α:** Χρονική μεταβολή στιγμιαίων τιμών τάσεων.



**Σχ. 4.7β:** Διανυσματικό διάγραμμα μέγιστων τιμών τάσεων.

#### 4.1.4. Ποδικά - φασικά μεγέθη

Κάθε τριφασική ηλεκτρική μηχανή έχει τρεις φάσεις (τυλίγματα) που φαίνονται στο σχήμα 4.8.

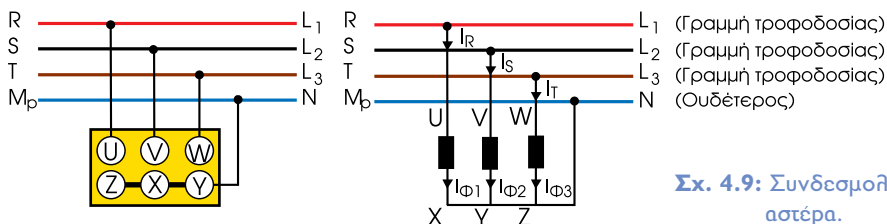


**Σχ. 4.8:** Άκρα τριφασικής μηχανής.

Τα άκρα U,V,W χρησιμοποιούνται για να συνδεόνται στο τριφασικό δίκτυο τροφοδοσίας R,S,T,Μρ (παλιός συμβολισμός),  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , N (νέος συμβολισμός) και να δίνουν ή να παίρνουν ισχύ (γεννήτρια, κινητήρας) και τα X,Y,Z για να δημιουργούν αλληλένδετο τριφασικό σύστημα. 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.



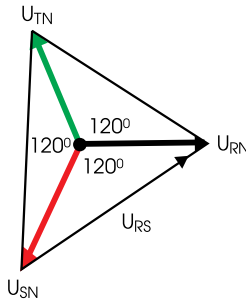
**Σχ. 4.9:** Συνδεσμολογία αστέρα.

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<sup>η</sup> 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** =  $\sqrt{3}$  · **Φασική** και σε συντομία:  $U_{\Pi} = \sqrt{3} U_{\Phi}$  (4.1.)



Σχ. 4.10: Πολικά - φασικά μεγέθη.

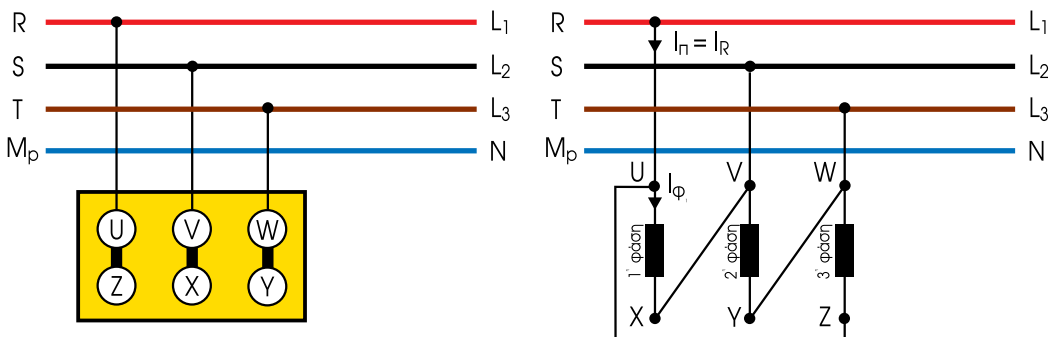
Το ρεύμα που παρέχεται στη 1<sup>η</sup> φάση από το δίκτυο είναι  $I_R$ .

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  $U_{\text{φασική}} = U_{\text{πολική}}$  σε συντομία:  $U_{\Phi} = U_{\Pi}$  (4.3.)

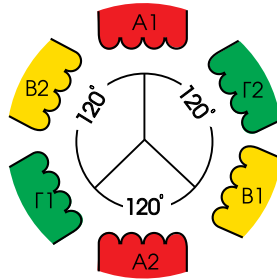
#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

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

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

### 4.1.5. Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο

Ο στάτης κάθε ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα (Α,Β,Γ) που σχηματίζουν γωνίες 120° μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12. Όταν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στο στάτη, έχουμε ροή ρεύματος μέσα από τα πηνία. Η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος.



Σχ. 4.12: Τριφασικό τύλιγμα στάτη.

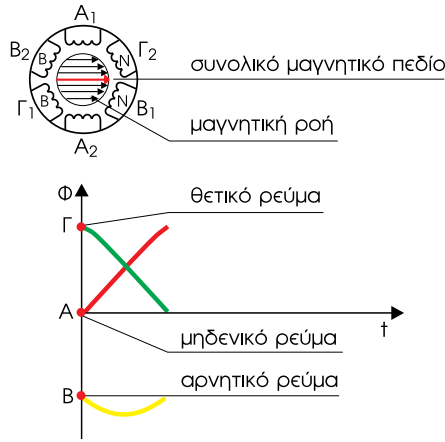
Αν υποθέσουμε ότι θετική φορά ρεύματος δημιουργεί στα πηνία  $A_1, B_1, \Gamma_1$  Βόρειο μαγνητικό πόλο (B) και στα  $A_2, B_2, \Gamma_2$  Νότιο μαγνητικό πόλο (N), καταλήγουμε στον πίνακα:

Πίνακας 4.1.  
Δημιουργία μαγνητικών πόλων

Πηνίο	Φορά Ρεύματος	
	$A_1$	Θετική (+)
	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
$A_2$	Νότιος (N)	Βόρειος (B)
$B_1$	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
$B_2$	Νότιος (N)	Βόρειος (B)
$\Gamma_1$	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
$\Gamma_2$	Νότιος (N)	Βόρειος (B)

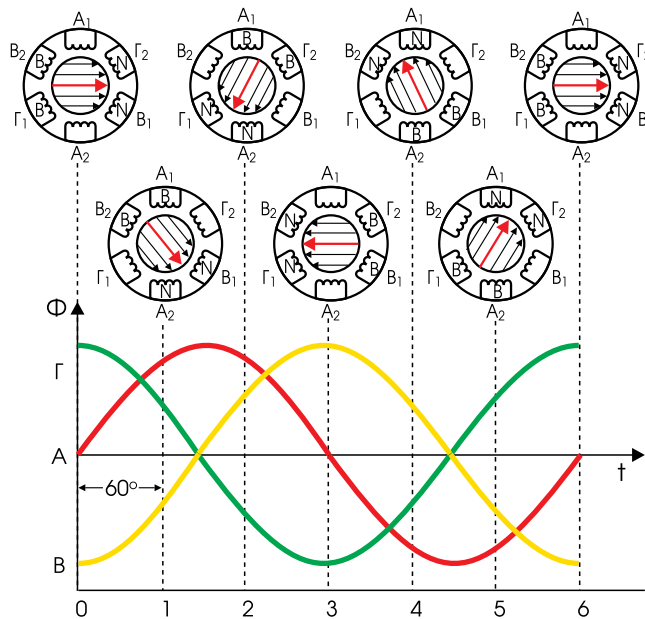
Τα τρία τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα. Για να γίνει κατανοητή η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου επιλέγουμε τη χρονική στιγμή μηδέν

( $t=0$ ). Το ρεύμα στο πηνίο A είναι μηδέν, στο B είναι αρνητικό και στο Γ θετικό. Με βάση τον προηγούμενο πίνακα τα  $B_1$  και  $\Gamma_2$  είναι Νότιοι πόλοι και τα  $B_2$  και  $\Gamma_1$  Βόρειοι πόλοι. Η δημιουργούμενη συνολική μαγνητική ροή φαίνεται στο σχήμα 4.13.



Σχ. 4.13: Δημιουργία μαγνητικής ροής.

Αν με τον ίδιο τρόπο εξετάσουμε το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο για τριφασικό σύστημα παροχής και για χρόνους που αντιστοιχούν σε γωνίες  $60^\circ$ , όταν το ρεύμα συμπληρώσει φάση  $360^\circ$ , το μαγνητικό πεδίο έχει περιστραφεί αντίστοιχα κατά  $360^\circ$ .



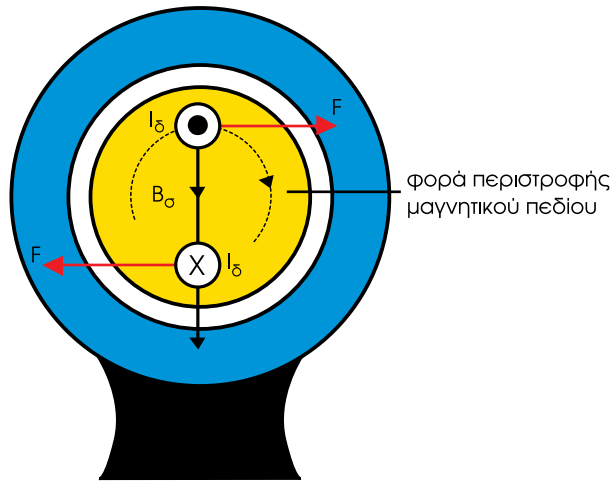
Σχ. 4.14: Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.



### 4.1.6. 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 (σχ. 4.15).



Σχ. 4.15: Μαγνητικές δυνάμεις.

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:

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

όπου: **F**: μαγνητική δύναμη (Laplace) σε (N)  
**B<sub>σ</sub>**: μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (VS/m<sup>2</sup>)  
**I<sub>δ</sub>**: 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:  $n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000$  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 περιστρέψει 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)

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

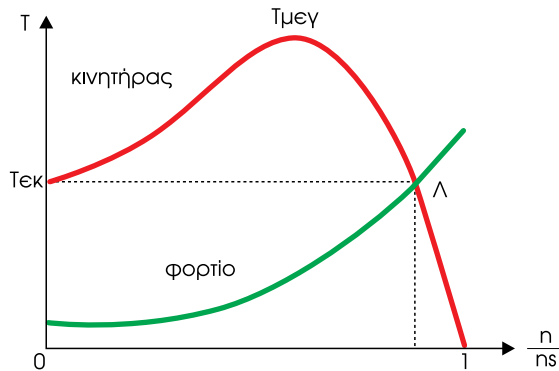
Στο σχήμα 4.16 φαίνεται η τυπική καμπύλη ροπής-στροφών ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα. Η καμπύλη αυτή είναι σημαντική για τη λειτουργία των κινητήρων. Κατά την εκκίνηση, όταν οι στροφές είναι πρακτικά μηδέν, η ροπή του κινητήρα έχει τιμή  $T_{εκ}$  και λέγεται **ροπή εκκίνησης**. Καθώς αυξάνονται οι στροφές, αυξάνεται και η ροπή μέχρι την τιμή  $T_{μεγ}$  που λέγεται **μέγιστη ροπή** ή **ροπή ανατροπής**.

Στη συνέχεια η ροπή μειώνεται απότομα και μηδενίζεται, όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει τη σύγχρονη ταχύτητα.

Στο σχήμα 4.16 φαίνεται και η καμπύλη ροπής-στροφών του φορτίου. Σε κάθε ταχύτητα η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου λέγεται **ροπή επιτάχυνσης**.

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 φθάσει στη ταχύτητα λειτουργίας του. Η ταχύτητα λειτουργίας και η ροπή λειτουργίας καθορίζονται από το **σημείο λειτουργίας Λ** που είναι η τομή των δύο καμπυλών του σχήματος 4.16.

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν τη μέγιστη ροπή ( $T_{μεγ}$ ) είναι **ασταθής λειτουργία** και μετά τη μέγιστη ροπή είναι **ευσταθής λειτουργία**. 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.



Σχ. 4.16: Καμπύλη ροπής - ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

#### 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

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

## 4.1.9. Ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα είδη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων (Α.Τ.Κ);
2. Πώς είναι διαμορφωμένος ο στάτης των Α.Τ.Κ.;
3. Πώς γίνεται η σύνδεση των ακροδεκτών του τυλίγματος του στάτη σε αστέρα και τρίγωνο; Δώστε για κάθε σύνδεση τη σχέση φασικών-πολιτικών τάσεων και ενστάσεων.
4. Ποιος τύπος μας δίνει την ολίσθηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα; Είναι δυνατόν η ολίσθηση να πάρει τιμή μηδέν και μονάδα;
5. Ποιος τύπος μας δίνει τη ροπή ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
6. Τι ονομάζουμε ροπή ανατροπής και τι ροπή επιτάχυνσης κινητήρα;
7. Από τι εξαρτάται η ροπή ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
8. Σχεδιάστε τη χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα και σημειώστε τα βασικά μεγέθη.
9. Εξηγήστε τον τρόπο δημιουργίας στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.
10. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας των Α.Τ.Κ.
11. Πότε έχουμε ασταθή λειτουργία του κινητήρα;
12. Ποιο είναι το μέρος της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας για το οποίο η λειτουργία του κινητήρα είναι ευσταθής;
13. Πώς προσαρμόζεται ο κινητήρας στην αύξηση του φορτίου του, αν λειτουργεί στο τμήμα ευσταθούς λειτουργίας της χαρακτηριστικής ροπής ταχύτητας;
14. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με δύο πόλους έχει συχνότητα τροφοδοσίας 50Hz. Όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο η ολίσθησή του είναι 0,7% ενώ κατά την λειτουργία του με κανονικό φορτίο η ταχύτητά του είναι 2800στρ/min.  
Να βρεθούν:  
**α)** η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.  
**β)** η ταχύτητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο.  
**γ)** η ολίσθηση κατά την κανονική λειτουργία του.  
**(ΑΠ. α) 3000στρ/min, β) 2979στρ/min, γ) 6,67%)**
15. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας απορροφά ισχύ  $N=8.000W$  και έχει βαθμό απόδοσης 0,9. Περιστρέφεται με ταχύτητα 1500στρ/min. Να βρεθεί η ροπή που αναπτύσσει στον άξονά του.  
**(ΑΠ. 45,84N.m)**

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

16. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας συνδέεται με δίκτυο συχνότητας  $f=50\text{Hz}$ . Η ολίσθηση στην πλήρη φόρτιση είναι 5% και έχει περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τεσσάρων πόλων.

Να βρεθούν:

- α)** η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.  
**β)** η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

(ΑΠ. **α)** 1800στρ/min, **β)** 1710στρ/min)

### ➔ Βάλτε σε κύκλο το χράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

17. Ο νέος συμβολισμός των αγωγών τριφασικού δικτύου είναι:

- α.**  $L_1, L_2, L_3, N$ .  
**β.**  $R, S, T, Mφ$ .  
**γ.**  $U, V, W$ .

18. Στην συνδεσμολογία αστέρα Α.Τ.Κ. ισχύει:

- α.**  $V_n = V_{φ'}$ .  
**β.**  $I_{φ} = I_n$ .  
**γ.**  $P = 3 \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos\phi$ .

19. Σε κάθε κινητήρα η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου λέγεται:

- α.** ροπή εκκίνησης.  
**β.** ροπή επιτάχυνσης.  
**γ.** ροπή ανατροπής.

20. Για να έχει ευσταθή λειτουργία ο κινητήρας πρέπει να εργάζεται:

- α.** στη μέγιστη ροπή του.  
**β.** στη ροπή εκκίνησης που είναι αρκετά μεγάλη.  
**γ.** στο τμήμα της καμπύλης μετά την μέγιστη ροπή.

## Ενότητα 4.2.

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

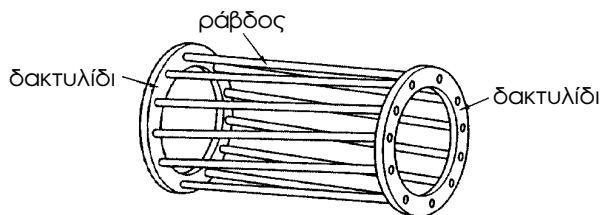
### Διδακτικοί στόχοι

➔ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τα μέρη από τα οποία αποτελούνται οι Κ.Β.Δ.
2. Να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών και τη συνδεσμολογία τους.
3. Να αιτιολογείτε την τάση λειτουργίας των Κ.Β.Δ.
4. Να περιγράφετε τους τρόπους εκκίνησης και να σχεδιάζετε τη συνδεσμολογία.
5. Να περιγράφετε τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη βύθιση τάσης.
6. Να περιγράφετε τους τρόπους ρύθμισης στροφών των Κ.Β.Δ. με αντιστάσεις και χρήση ηλεκτρονικών ισχύος.
7. Να αναφέρετε τους τρόπους πέδησης Κ.Β.Δ.

### 4.2.1. Κατασκευαστικά στοιχεία

Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από μεταλλικές ράβδους από χαλκό ή ορείχαλκο, τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται από δύο δακτυλίδια βραχυκύκλωσης (σχ. 4.17).



Σχ. 4.17: Τύλιγμα κλωβού δρομέα.

Η σύνδεση γίνεται με συγκόλληση ή χύτευση. Ο δρομέας δεν συνδέεται ηλεκτρικά με άλλο τμήμα του κινητήρα και το ρεύμα που κυκλοφορεί σ' αυτόν είναι από επαγωγή λόγω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

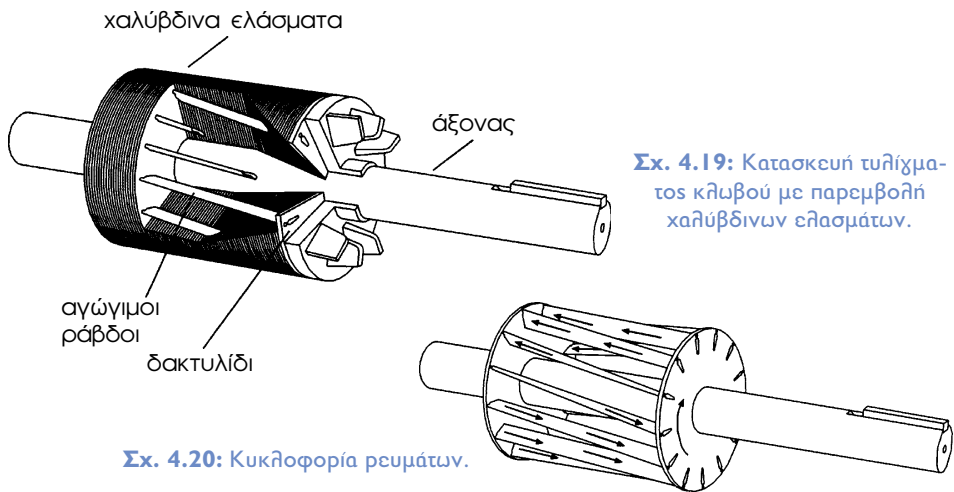
Αν τα αυλάκια στο τύμπανο του δρομέα είναι απλά, το τύλιγμα λέγεται **απλού κλωβού**, αν φέρει διπλά αυλάκια το τύλιγμα λέγεται **διπλού κλωβού** και αν τα αυλάκια είναι βαθιά, το τύλιγμα λέγεται με **βαθεία αυλάκια** (σχ. 4.18).

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



Σχ. 4.18: Διάφοροι τύποι αυθακιών δρομέα.

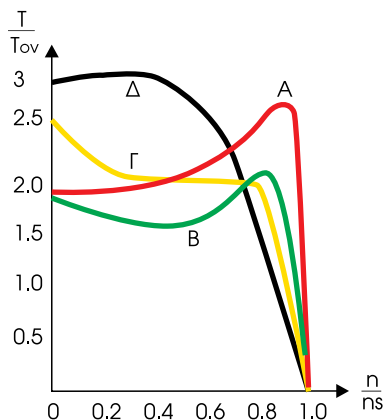
Οι κινητήρες με τύλιγμα απλού κλωβού είναι γενικά απλής κατασκευής, έχουν μικρό κόστος και καλό βαθμό απόδοσης. Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα απλού κλωβού κατασκευάζεται από καθαρό αλουμίνιο που χύνεται μέσα στα αυλάκια. Το μειονέκτημα των κινητήρων απλού κλωβού είναι το **μεγάλο ρεύμα εκκίνησης με αντίστοιχα μικρή ροπή εκκίνησης**. Λόγω των δυσμενών συνθηκών εκκίνησης, οι κινητήρες απλού κλωβού είναι κινητήρες μικρής ισχύος. Τα παραπάνω μειονεκτήματα μειώνονται, όταν οι κινητήρες έχουν τύλιγμα διπλού κλωβού ή τύλιγμα με βαθειά αυλάκια.



#### ➡ Κατασκευαστικές κλάσεις κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα

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 4.18, 4.19, 4.20. 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 (σχ. 4.21).



**Σχ. 4.21:** Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για A,B,C,D κλάση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

➤ **Κλάση A:** Κανονική ροπή εκκίνησης και κανονικό ρεύμα εκκίνησης. Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού και διακρίνονται για την καλή επίδοση λειτουργίας σε βάρος της εκκίνησης. **Η μέγιστη ροπή** είναι μεγαλύτερη του  $2,5 \cdot T_{ov}$  και σε ταχύτητα πάνω από  $0,8 \cdot n_s$  που σημαίνει ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι μεγάλο ίσο με  $5+8 \cdot I_{ov}$ . Χρησιμοποιούνται για κίνηση μηχανημάτων σταθερής ταχύτητας χωρίς μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως εργαλειομηχανές, αντλίες, ανεμιστήρες.

➤ **Κλάση B:** Κανονική ροπή εκκίνησης ίδια με την κλάση A, μικρή ολίσθηση και ρεύμα εκκίνησης το 75% της κλάσης A. Το ρεύμα εκκίνησης μειώθηκε με σχεδιασμό τυλίγματος υψηλής αντίδρασης σκέδασης ενώ η ροπή εκκίνησης είναι ίδια με την κλάση A με κατασκευή όμως διπλού κλωβού ή κλωβού με βαθειά αυλάκια. Οι εφαρμογές τους είναι ίδιες με την κλάση A και έχουν αντικαταστασθήσει στη σύγχρονη τεχνολογία τους κινητήρες κλάσης A, λόγω του χαμηλότερου ρεύματος εκκίνησης.

➤ **Κλάση Γ:** Έχουν τύλιγμα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την A και τη B κλάση. Αναπτύσσουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης, χρειάζονται μικρότερο ρεύμα εκκίνησης, έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη ολίσθηση από τις δύο προηγούμενες κλάσεις. Έχουν μεγαλύτερο κόστος και χρησιμοποιούνται σε φορτία που χρειάζονται μεγάλη ροπή εκκίνησης όπως συμπιεστές, μεταφορικές ταινίες, ισχύος 10PS μέχρι 300PS.

➤ **Κλάση Δ:** Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού με ράβδους από ορείχαλκο, μικρότερης διατομής για να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση. Αναπτύσσουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή ξεπερνά την τριπλάσια της ονομαστικής και επιτυγχάνεται σε χαμηλές ταχύτητες με ολίσθηση 0,5 έως 0,11 με χαμηλό βαθμό απόδοσης.

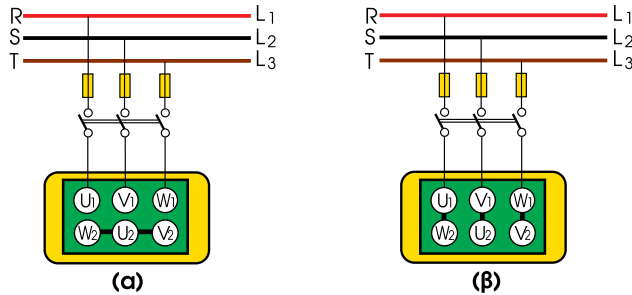
Χρησιμοποιούνται για κίνηση διακοπτόμενων φορτίων που χρειάζονται μεγάλη επιτάχυνση και για κρουστικά φορτία όπως πρέσες, διατρητικά μηχανήματα, ψαλίδια και μηχανήματα με σφόνδυλο.



### 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).

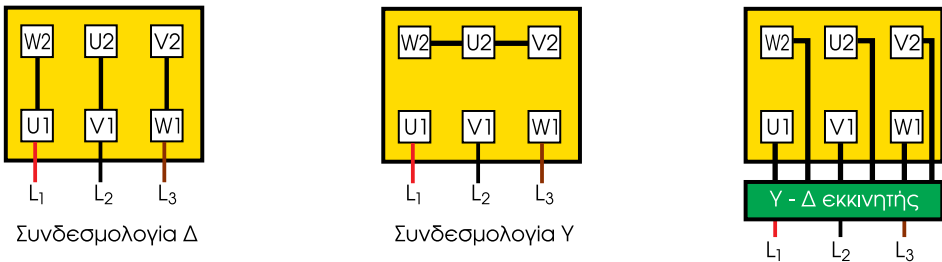


**Σχ. 4.22:** Σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη (α) σε αστέρα (Y) και (β) σε τρίγωνο (Δ).

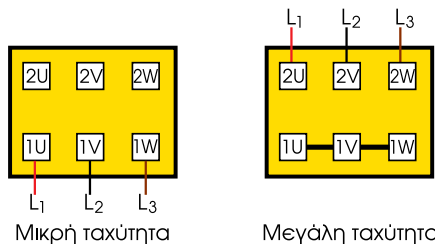
Τα συνηθέστερα κιβώτια ακροδεκτών είναι:

- α.** ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα μιάς ταχύτητας (σχ. 4.23)
- β.** ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων (σχ. 4.24)
- γ.** ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα τριών ταχυτήτων
- δ.** ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα πολλαπλών ταχυτήτων.

Στο κιβώτιο ακροδεκτών υπάρχει συνήθως ακροδέκτης γείωσης με ένδειξη PE, αν και οι κινητήρες, τις περισσότερες φορές, έχουν γείωση ιδιαίτερη, απ'ευθείας στο κέλυφος του κινητήρα της μηχανής.



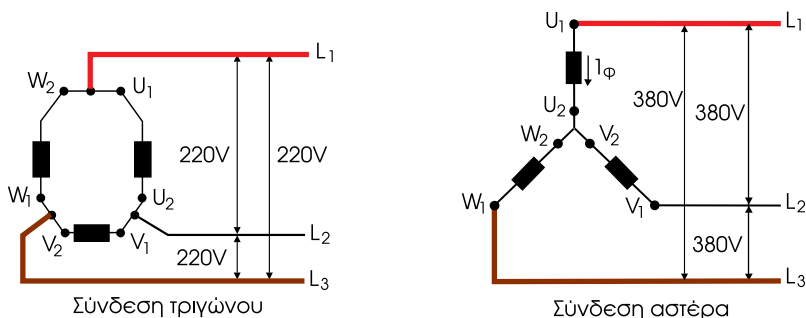
**Σχ. 4.23:** Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας μίας ταχύτητας.



**Σχ. 4.24:** Συνδέσεις κιβωτίου ακροδεκτών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων.

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



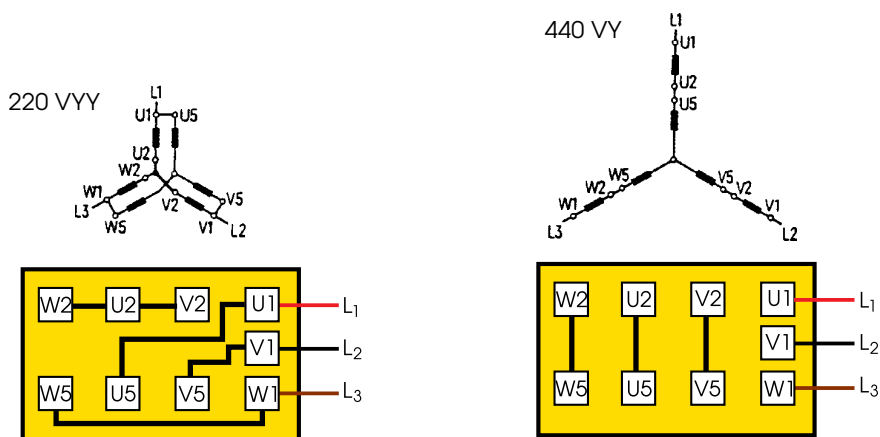
Σχ. 4.25: Τάσεις λειτουργίας σε Υ και Δ, με ένδειξη πινακίδας 220V Δ/380V Υ.

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

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**.

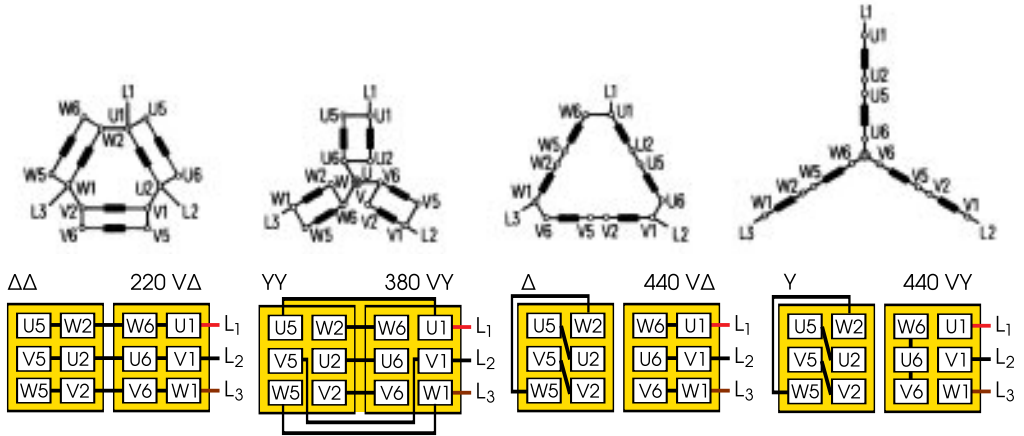
Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς IEC, η επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης τροφοδοσίας είναι  $\pm 5\%$  της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσης από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα. Επίσης η νέα τυποποίηση της χαμηλής τάσης του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

Κατασκευάζονται ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες που μπορούν να λειτουργήσουν σε δύο τάσεις τροφοδοσίας. Αυτοί έχουν δύο τυλίγματα ανά φάση σε κιβώτιο εννιά και δώδεκα άκρων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.26 και 4.27.



Σχ. 4.26: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλοπλών τάσεων, 9 άκρων (SIEMENS).

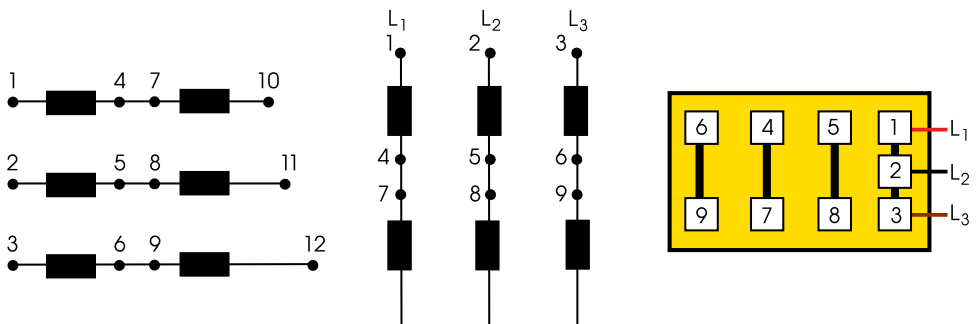
#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



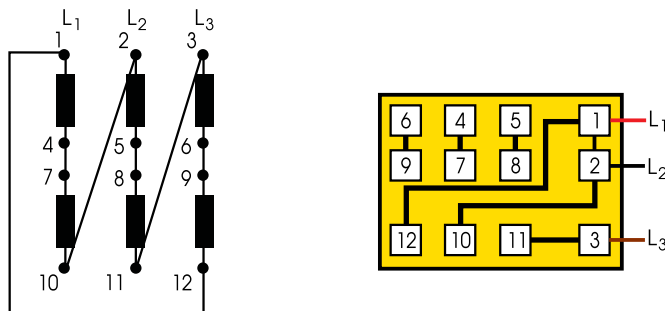
**Σχ. 4.27:** Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλαπλών τάσεων 12 άκρων (SIEMENS).

Παρατηρούμε ότι, για μικρές τάσεις τα τυλίγματα συνδέονται παράλληλα και για μεγάλες σε σειρά, τόσο στον **αστέρα** όσο και στο **τρίγωνο**.

Άλλη τυποποίηση ακροδεκτών κινητήρων πολλαπλών τάσεων είναι με αριθμούς. Τα άκρα κάθε πηνίου διαφέρουν κατά τον αριθμό τρία (3), όπως φαίνεται στα σχήματα 4.28 και 4.29.



**Σχ. 4.28:** Συνδεσμολογία αστέρα μεγάλης τάσης εννιά ακροδεκτών.



**Σχ. 4.29:** Συνδεσμολογία τριγώνου μεγάλης τάσης δώδεκα ακροδεκτών. (Λείπουν οι ακροδέκτες 10,11,12)

## 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%.

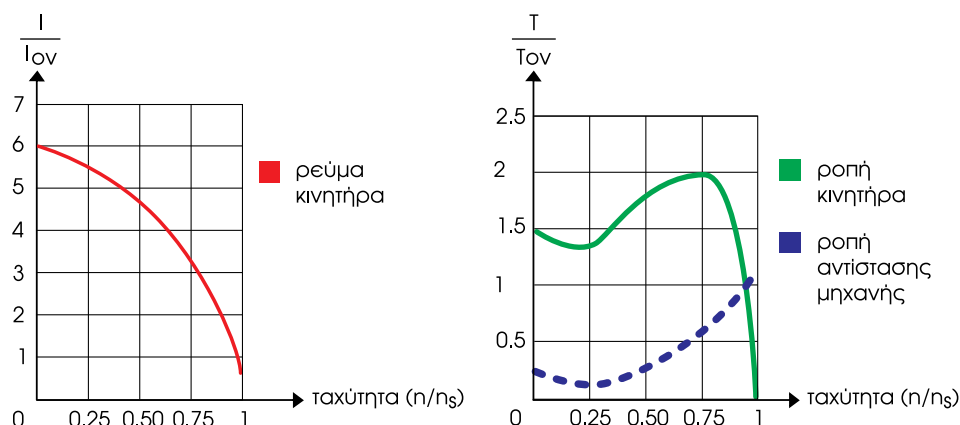
Αρκετές μέθοδοι εκκίνησης αναπτύχθηκαν προκειμένου να επιλύσουν τα προβλήματα της εκκίνησης:

### 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:

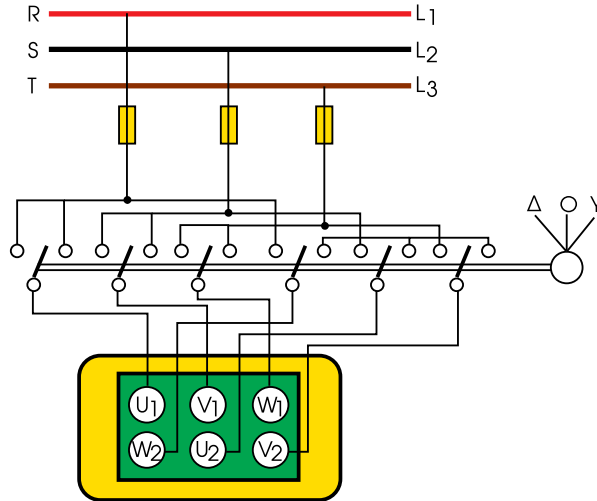
- Ρεύμα εκκίνησης:  $I_{\text{εκκ}} \cong 6 \cdot I_{\text{ov}}$ .  
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.
- Ροπή εκκίνησης:  $T_{\text{εκκ}} \cong 1,5 T_{\text{ov}}$ .  
Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.
- Απλός εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



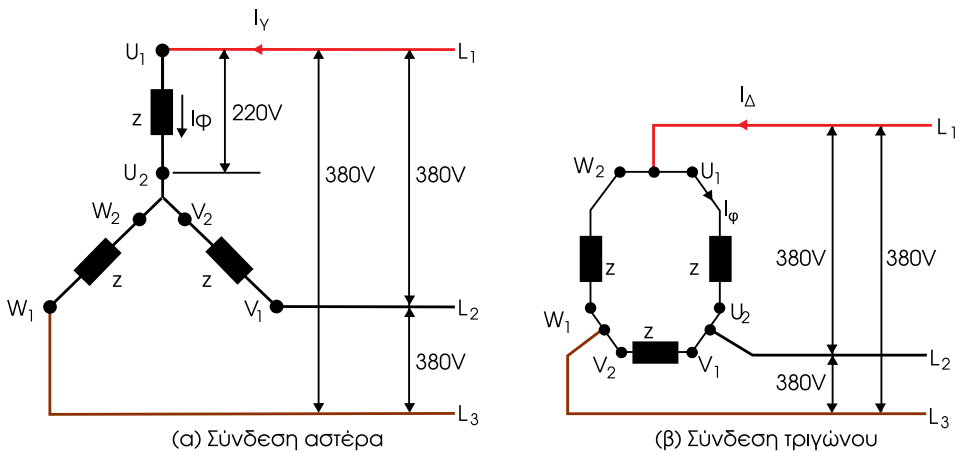
Σχ. 4.30: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με απευθείας εκκίνηση.

**β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Υ-Δ**

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



**Σχ. 4.31:** Χειροκίνητος διακόπτης Υ-Δ.



**Σχ. 4.32:** Τάσεις και Ρεύματα σε σύνδεση Υ-Δ.

Κατά την εκκίνηση ο διακόπτης στρέφεται στη θέση Υ και οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες  $W_2, U_2, V_2$  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  $U_1-W_2, V_1-U_2, W_1-V_2$  συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολι-

κή τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ:  $U_n = U = \sqrt{3} \cdot U_\phi = \sqrt{3} \cdot 220 = 380V$

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:

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

Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα  $I_{\gamma} = I_{\phi}$  λόγω αστέρα

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

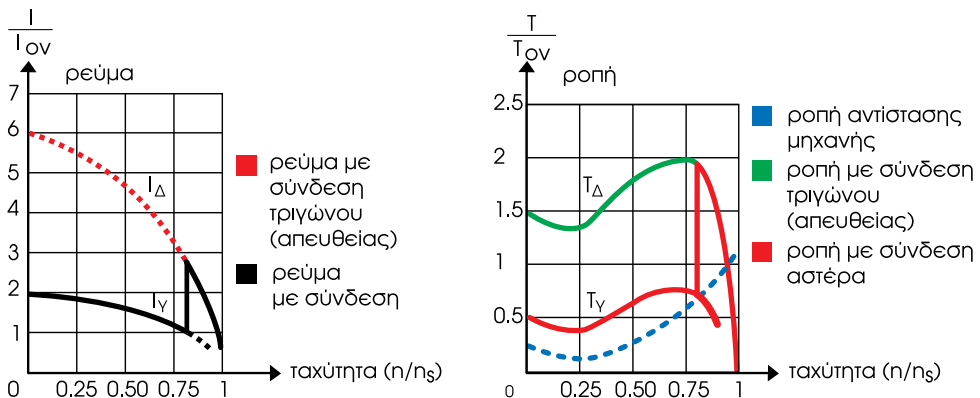
Συνεπώς θα έχουμε:  $I_{\gamma} = \frac{I_{\Delta}}{3}$

## Συμπέρασμα

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

### ➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης:  $I_{\text{εκκ}} \cong 2 I_{\text{οv}}$
- Ροπή εκκίνησης:  $T_{\text{εκκ}} \cong 0,5 T_{\text{οv}}$   
Δηλαδή η ροπή εκκίνησης μειώθηκε κατά τρεις φορές και πρέπει η εκκίνηση να γίνει χωρίς φορτίο ή με μικρή ροπή φορτίου.
- Παρατηρούνται αιχμές ρεύματος και ροπής κατά τη μεταλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



Σχ. 4.33: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με διακόπτη Υ-Δ.

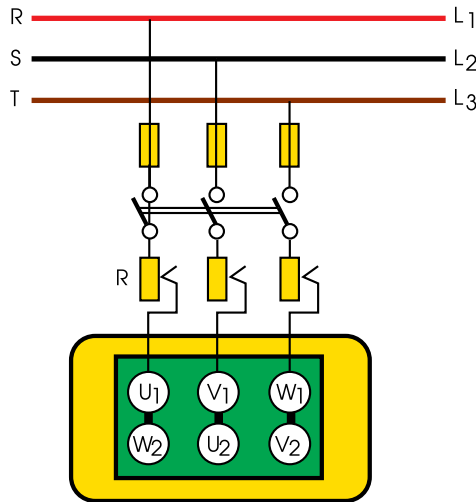
**γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη**

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.

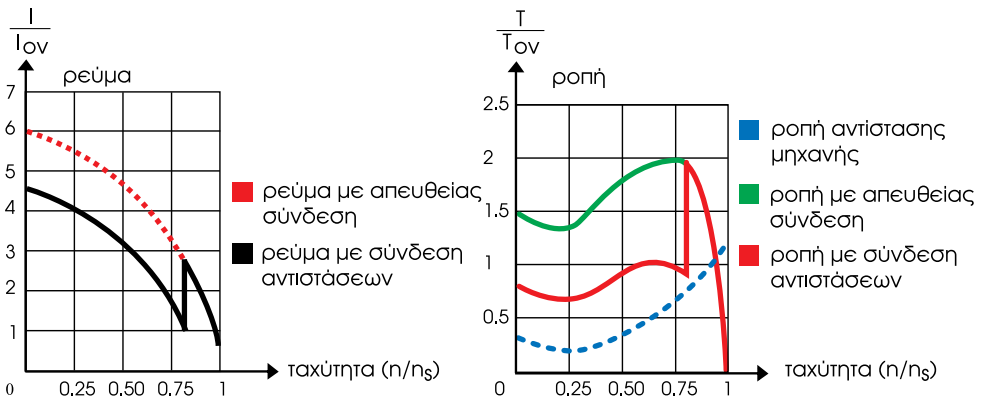
➤ **Χαρακτηριστικά λειτουργίας:**

- 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.



**Σχ. 4.35:** Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αντιστάσεις στο στάτη.

## δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

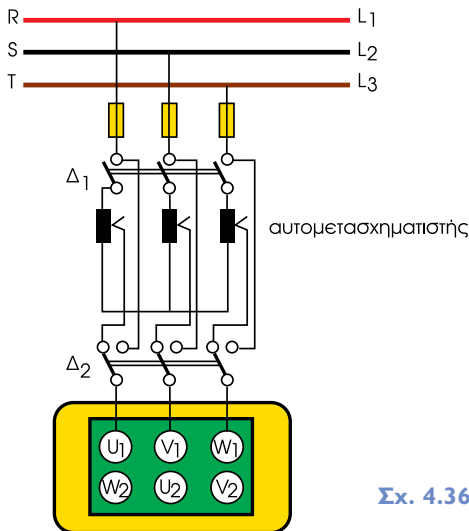
Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη  $\Delta_1$  και τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη  $\Delta_2$  και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη  $\Delta_1$  και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης (σχ. 4.36).

### ➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

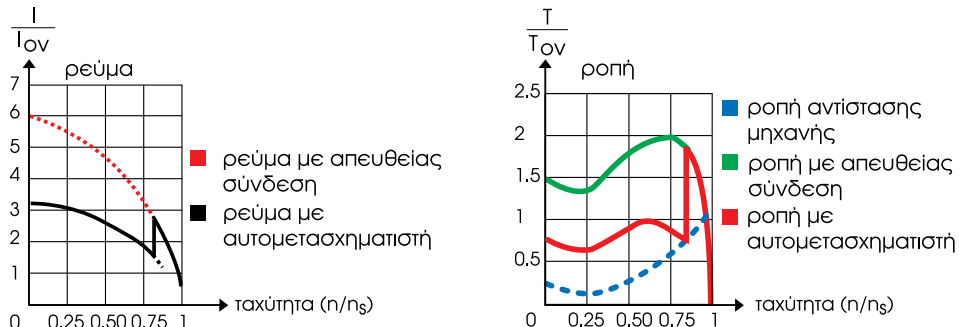
- Ρεύμα εκκίνησης:  $I_{\text{εκκ}} \approx 3,5 I_{\text{ov}}$ .
- Ροπή εκκίνησης:  $T_{\text{εκκ}} \approx 0,8 T_{\text{ov}}$ .  
Μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

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.

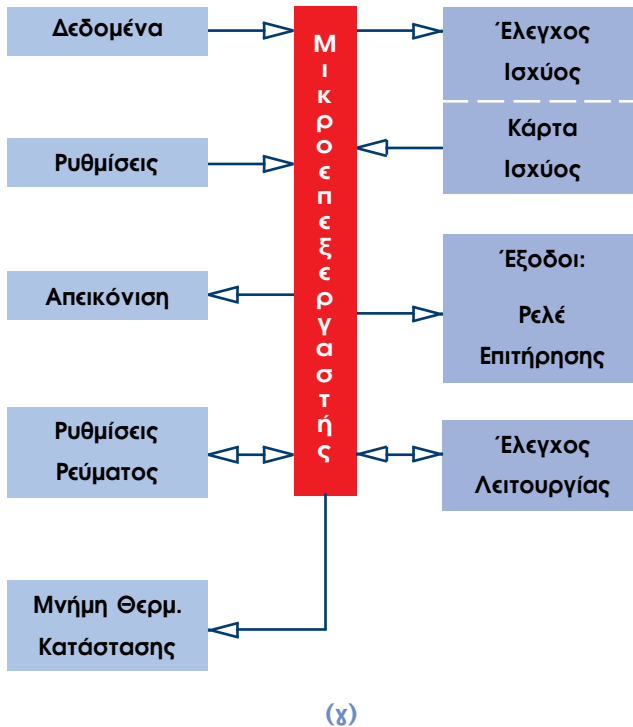
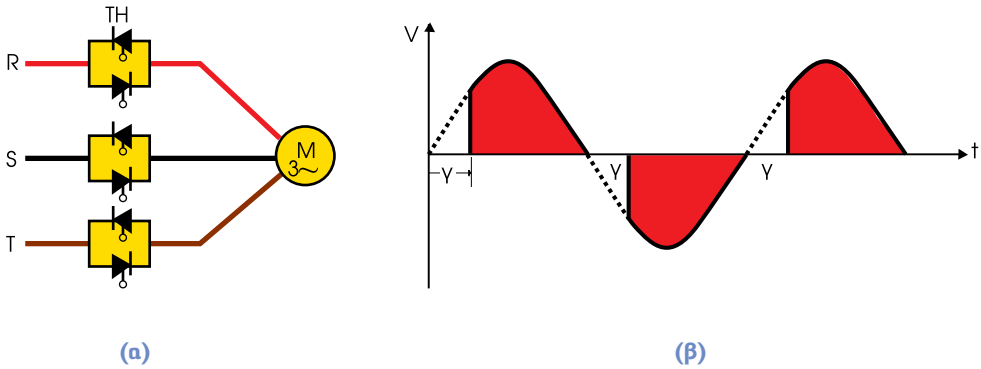


Σχ. 4.37: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αυτομετασχηματιστή.



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.




Σχ. 4.38: Ηλεκτρονικός εκκινητής α) Συνδεσμολογία θυρίστορ, β) Τάση τροφοδότησης κινητήρα και γ) Λειτουργίες μικροπεξεργαστή.

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 4.38α.

Η τάση μεταβάλλεται με τη γωνία έναυσης ( $\gamma$ ) 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 εκκινήτες 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, (σχ. 4.38β) ελέγχει και βελτιστοποιεί διαρκώς τις βασικές παραμέτρους του εκκινήτη και του κινητήρα. Αυτές είναι:**

- Οι συνθήκες εκκίνησης και σταματήματος.
- Η υπερθέρμανση του κινητήρα με υπολογισμό της θερμικής του εικόνας και δυνατότητα θερμικής προστασίας.
- Το ρεύμα του κινητήρα συγκρινόμενο με το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα που εξαρτάται από το μέγεθος του εκκινήτη, το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα και τη διάρκεια λειτουργίας.
- Η προστασία του κινητήρα και ο εκκινήτης.
- Η επιτήρηση του δικτύου παροχής (μείωση τάσης, απουσία φάσης).
- Ο διάλογος και η σηματοδότηση κατάστασης και σφαλμάτων.
- Η ρύθμιση του χρόνου εκκίνησης και παύσης του κινητήρα.

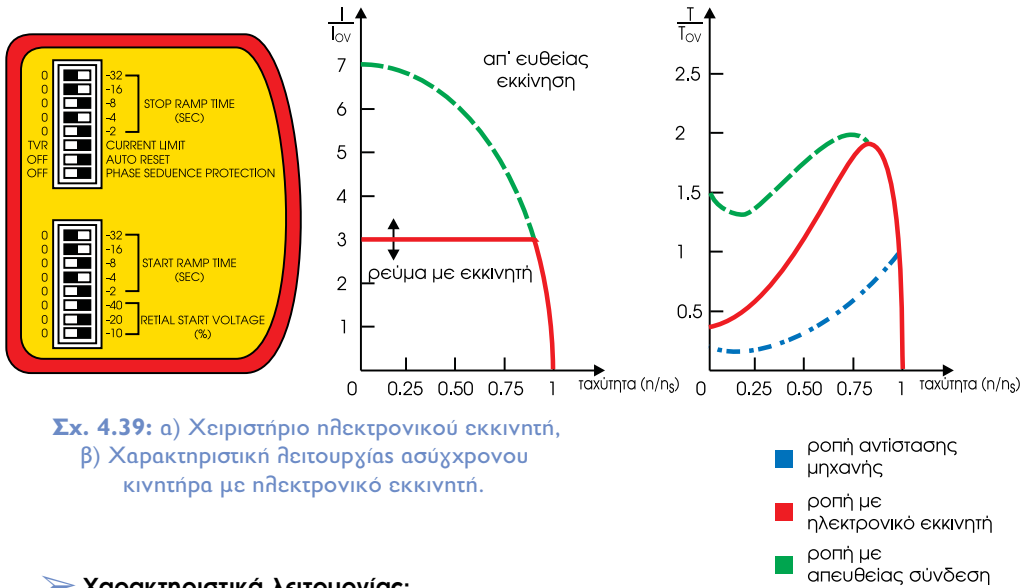
 **Οι σύγχρονοι εκκινήτες διαθέτουν ειδικό χειριστήριο, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.39, προκειμένου ο προγραμματισμός των παραμέτρων τους να γίνεται εύκολα και γρήγορα.**

Με το χειριστήριο επιλέγονται τα ακόλουθα:

- Ο τρόπος εκκίνησης του κινητήρα.
- Ο χρόνος εκκίνησης και παύσης λειτουργίας.
- Η ενεργοποίηση της αυτόματης επανεκκίνησης μετά από σφάλμα.
- Η εφαρμοσμένη αρχική τάση κατά την έναρξη της εκκίνησης.
- Η προστασία έναντι σφάλματος στη διαδοχή των φάσεων (φορά περιστροφής).

Οι κατασκευαστές διαθέτουν πίνακες στους οποίους φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός εκκινήτη, βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή του.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

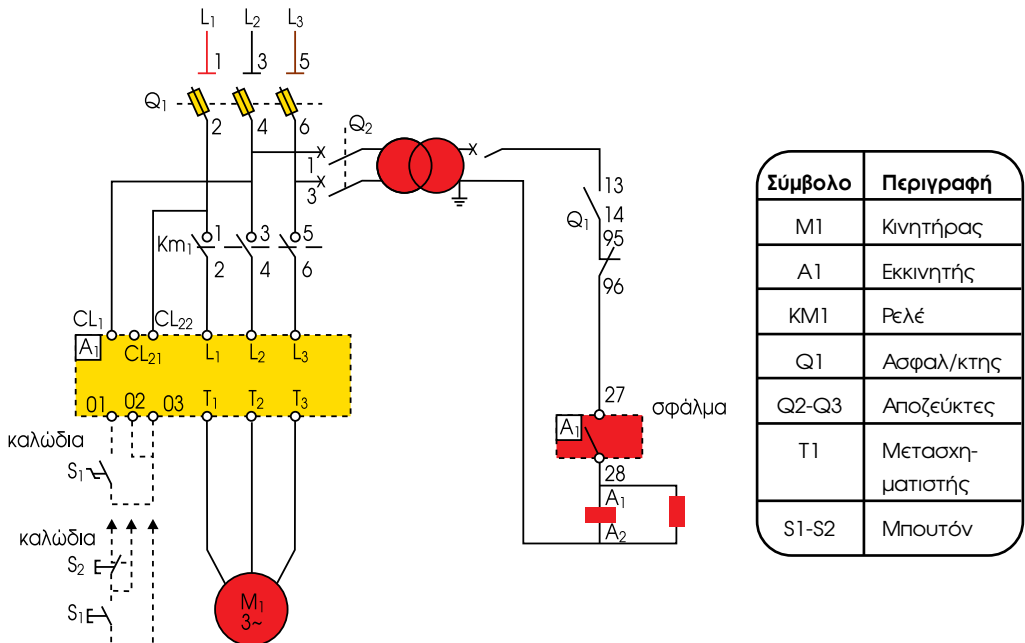


**Σχ. 4.39:** α) Χειριστήριο ηλεκτρονικού εκκινήτη, β) Χαρακτηριστική λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με ηλεκτρονικό εκκινήτη.

#### ➤ Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ρεύμα εκκίνησης:  $I_{εκκ} \approx 2+5 \cdot I_{ov}$ ,
- ροπή εκκίνησης:  $T_{εκκ} \approx 0,5+1 \cdot T_{ov}$ ,
- δυνατότητα ρύθμισης των παραπάνω παραμέτρων με τις ράμπες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

#### Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη



**Σχ. 4.40:** Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη (Altistart Telemecanique).

## 4.2.5. Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα πριν την εμφάνιση των ηλεκτρονικών συστημάτων οδήγησης, εθεωρείτο μηχανή σταθερής ταχύτητας. Η πτώση των στροφών από τη λειτουργία χωρίς φορτίο, στη λειτουργία με φορτίο φθάνει το 5%.

Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα δίνεται από τη σχέση:  $n = n_s (1-s)$ .

Αντικαθιστώντας τη σύγχρονη ταχύτητα  $n_s$  έχουμε:

$$n = \frac{60f}{p} (1-s) \quad (4.10.)$$

όπου **f**: είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδότησης σε Hz

**p**: είναι το πλήθος των ζευγών των μαγνητικών πόλων και

**s**: είναι η ολίσθηση

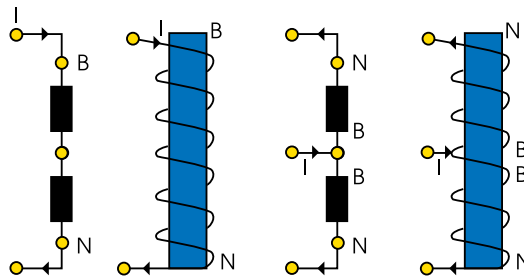
Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι, για να αλλάξει η ταχύτητα πρέπει να αλλάξει η συχνότητα  $f$  ή το πλήθος των πόλων  $p$ , αφού η ολίσθηση  $s$  στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα αλλάζει κυρίως με το φορτίο.

### 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 4.41. Με αλλαγή του σημείου τροφοδοσίας των δύο πηνίων, διπλασιάζονται οι πόλοι.



Σχ. 4.41: Διπλασιασμός πόλων με αλλαγή τροφοδότησης.

➤ Η μέθοδος πολλαπλών τυλιγμάτων καλύπτει το μειονέκτημα της προηγούμενης μεθόδου που είναι το ότι έχουμε μόνο δύο ταχύτητες, με λόγο 2:1. Το μειονέκτημα

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

αυτό ξεπερνιέται με τη **δημιουργία στάτη παλλαπλών τυλιγμάτων**. Η παρεμβολή του ενός ή του άλλου τυλιγματος μας δίνει διαφορετική ταχύτητα. Πρακτικά ο στάτης δεν μπορεί να περιλάβει πολλές περιελίξεις, γιατί αυξάνεται πολύ το κόστος. Συνδυάζοντας τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων και των παλλαπλών τυλιγμάτων συνήθως κατασκευάζεται κινητήρας μέχρι τεσσάρων ταχυτήτων.

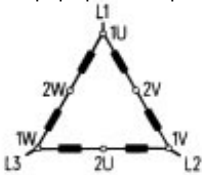
➤ Η μέθοδος της διαμόρφωσης πλάτους του πόλου (PAM) είναι ένας τρόπος αλλαγής του πλήθους των πόλων του στάτη με λόγο διαφορετικό από 2 προς 1, που επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη. Το κόστος κατασκευής του στάτη είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου παλλαπλών τυλιγμάτων. Στον πίνακα 4.2 φαίνεται ο λόγος των πόλων και οι αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες και στα σχήματα 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 διάφορες συνδεσμολογίες κινητήρων δύο και τριών ταχυτήτων.

**Πίνακας 4.2.**

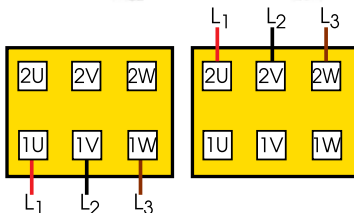
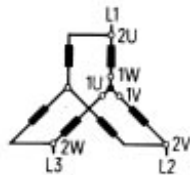
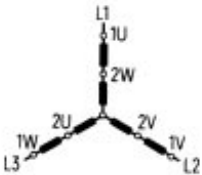
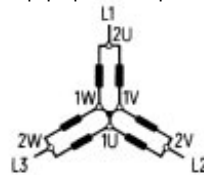
Λόγος ζευγών πόλων με τις αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες

Λόγος ζευγών πόλων	Σύγχρονη ταχύτητα: $n_s = 60f/p$ (στρ/μιν) <b>f=50Hz</b>
1:4	3000/750
2:3	1500/1000
2:5	1500/600
3:4	1000/750
3:5	1000/600
4:5	750/600
4:6	750/500
5:6	600/500

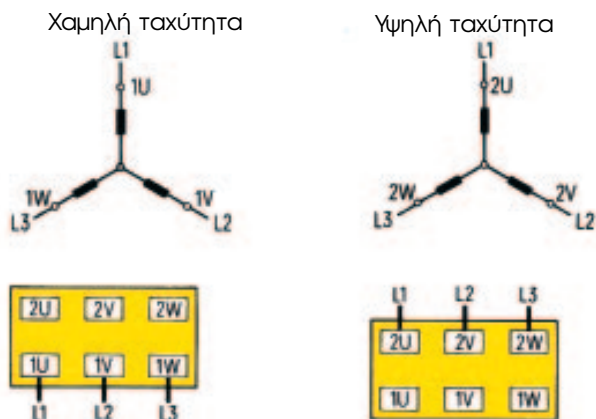
Χαμηλή ταχύτητα



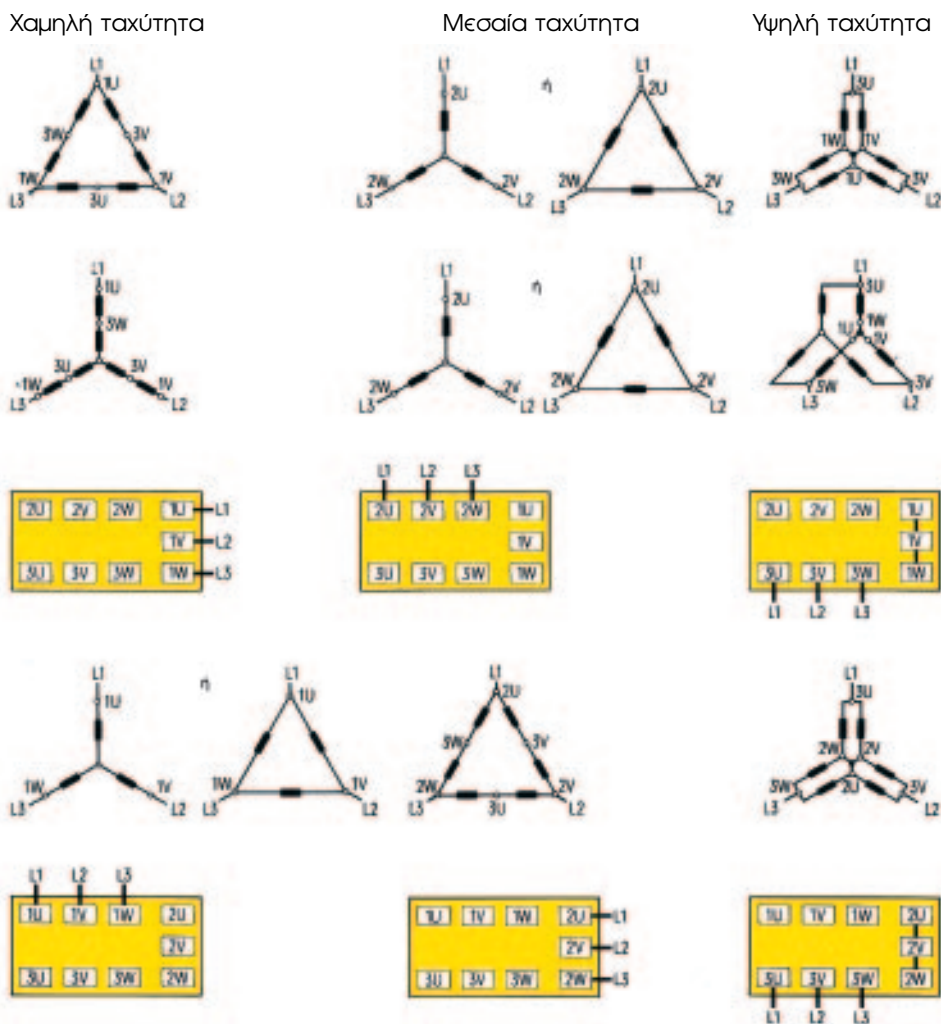
Υψηλή ταχύτητα



**Σχ. 4.42:** Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) ταχυτήτων με ένα τύλιγμα (Σύνδεση Dahlander ή PAM).



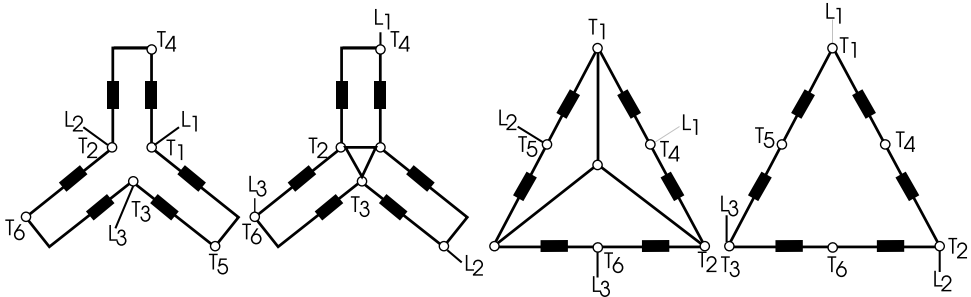
Σχ. 4.43: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) ταχυτήτων με δύο (2) ξεχωριστά τυλίγματα.



Σχ. 4.44: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας τριών (3) ταχυτήτων με δύο (2) ξεχωριστά τυλίγματα, ένα (1) σε Dahlander ή σε σύνδεση PAM. Χρειάζονται εννέα (9) άκρα (SIEMENS M10).

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

Μπορεί να συναντήσουμε τα ίδια κυκλώματα με άλλες πινακίδες ακροδεκτών:



Χαμηλή ταχύτητα  
συνδεσμολογίας  
σταθερής ροπής

Υψηλή ταχύτητα  
συνδεσμολογίας  
σταθερής ροπής

Χαμηλή ταχύτητα  
συνδεσμολογίας  
σταθερής ισχύος

Υψηλή ταχύτητα  
συνδεσμολογίας  
σταθερής ισχύος

Σχ. 4.45: Διάφορες συνδεσμολογίες ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

#### β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας

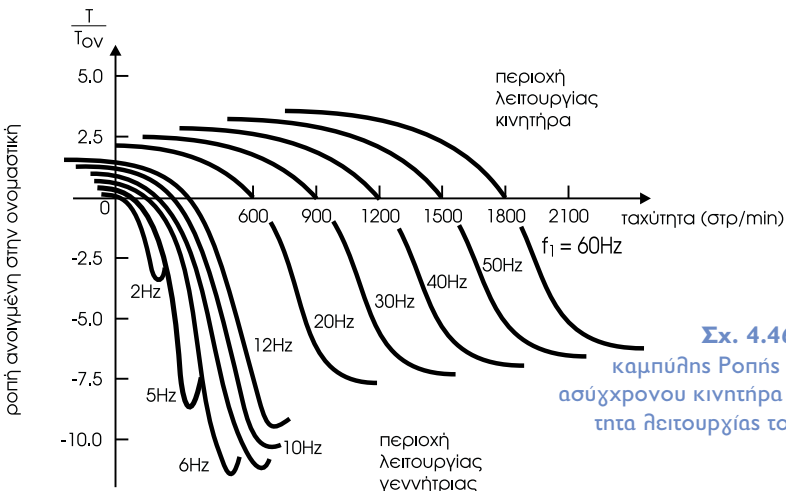
##### ➡ Γενικά

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 4.46.

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**.

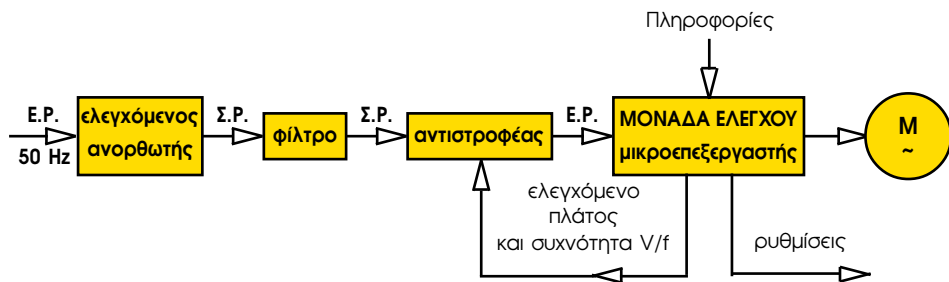


Σχ. 4.46: Μεταβολή της καμπύλης Ροπής - Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται.

Τη δυνατότητα παροχής ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας μας την έδωσε η ταχύτατη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και ειδικά των ημιαγωγικών διακοπών όπως: **Θυρίστορ (SRC)**, **διπολικό τρανζίστορ ισχύος (BJT)**, **τρανζίστορ MOSFET**, **τρανζίστορ IGBT** και **θυρίστορ GTO**. Με τα στοιχεία αυτά μπορούμε να ελέγξουμε ισχύ μέχρι 400kW.

## ➡ Δομή ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών περιλαμβάνει έναν ελεγχόμενο ανορθωτή, ένα φίλτρο, έναν αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας και μία μονάδα ελέγχου.



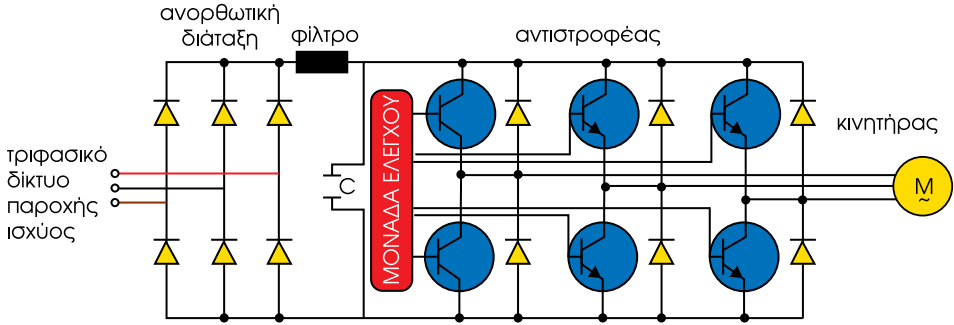
Σχ. 4.47: Δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών.

Αναλυτικά, όπως φαίνεται στο κύκλωμά του (σχ. 4.47) ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής περιλαμβάνει:

- 1) **Ανορθωτική διάταξη** που αποτελείται από διόδους ή θυρίστορ. Σκοπός της διάταξης είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή με σταθερή η ρυθμιζόμενη τιμή.
- 2) Η συνεχής τάση που προκύπτει περνά από ένα **φίλτρο** για εξομάλυνση. Το φίλτρο αυτό αποτελείται από συστοιχία πυκνωτών και πηνίων.
- 3) Η τάση που έχει εξομαλυνθεί, τροφοδοτεί **τον αντιστροφέα** που τη μετατρέπει σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και πλάτους. Ο αντιστροφέας αποτελείται από θυρίστορ ή τρανζίστορ. Ο τύπος καθορίζεται από την ισχύ και τη συχνότητα λειτουργίας.
- 4) **Η μονάδα ελέγχου** επικοινωνεί με όλα τα τμήματα, εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος. Περιλαμβάνει ένα μικροεπεξεργαστή στη μνήμη του οποίου μπορούμε να εγγράψουμε διάφορες ρυθμίσεις και έτσι να αναγνωρίζει στιγμιαία τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και να αυτοπροσαρμόζεται, να δίνει επιπλέον ροπή στην εκκίνηση και όταν αυτή ζητηθεί από το φορτίο.



#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



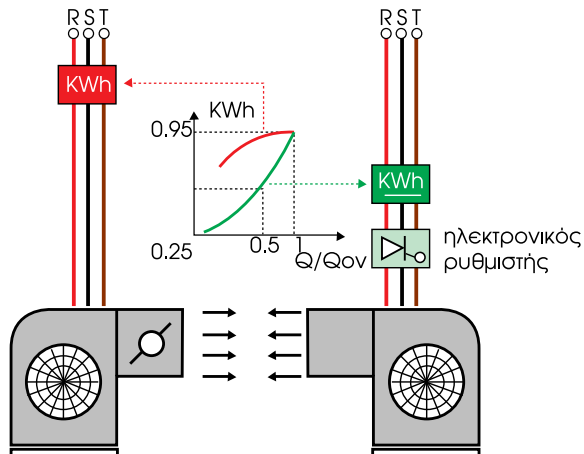
Σχ. 4.48: Κύκλωμα ισχύος ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών με διπολικά τρανζίστορ.



Σχ. 4.49: Ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας.

#### Πρακτική εφαρμογή ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας

Στο σχήμα 4.50 φαίνεται μία μονάδα εξαερισμού ενός δικτύου αεραγωγών. Να προταθούν **τεχνικές λύσεις** για ρύθμιση της παροχής αέρα.



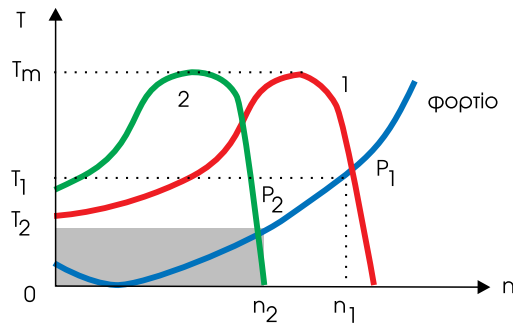
Σχ. 4.50: Μονάδα εξαερισμού.

Για να έχουμε αυτόματη ρύθμιση της παροχής υπάρχουν δύο τεχνικές λύσεις:

- 1) Τροφοδοσία από το δίκτυο ηλεκτρικού κινητήρα που κινεί ένα διάφραγμα (κλαπέτο) και
- 2) Παρεμβολή μεταξύ του δικτύου και του κινητήρα ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο διάγραμμα του σχήματος 4.50, με άξονες τις μεταβλητές, κατανάλωση ενέργειας (kWh) και λόγο παροχής αέρα ως προς την ονομαστική παροχή  $Q/Q_{ov}$ , φαίνονται οι δύο καμπύλες που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικούς τρόπους ρύθμισης της παροχής. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από το διάφραγμα είναι φανερή και εξηγείται από την ενέργεια που καταναλώνεται από τις δημιουργούμενες δίνες. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες, για μείωση της παροχής αέρα στο μισό έχουμε περίπου τέσσερις φορές λιγότερη ενέργεια με την παρεμβολή του ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο σχήμα 4.51 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-ταχύτητας ενός ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα και η χαρακτηριστική καμπύλη της ροπής αντίστασης-ταχύτητας μιας αντλίας.



**Σχ. 4.51:** Καμπύλες T-n ασύγχρονου κινητήρα  
1: χωρίς ηλεκτρονικό ρυθμιστή  
2: με ηλεκτρονικό ρυθμιστή

Στο σχήμα 4.51 φαίνεται η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης T-n του κινητήρα σε μικρότερη ταχύτητα προς τα αριστερά που πραγματοποιείται με μεταβολή της τάσης και της συχνότητας τροφοδοσίας του κινητήρα, ώστε ο λόγος  $V/f$  να παραμένει σταθερός. Η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται από τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή ταχύτητας. Η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης γίνεται χωρίς να μεταβάλλονται οι επιδόσεις του κινητήρα. Παραμένει σταθερή η μέγιστη ροπή και η ροπή στην περιοχική ευσταθούς λειτουργίας.

☞ Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον κινητήρα σε μία μεγάλη περιοχή ταχυτήτων, από μηδενική ταχύτητα μέχρι μία μέγιστη ταχύτητα, που καθορίζεται από την μηχανική και ηλεκτρική αντοχή του. Στο σχήμα 4.51 φαίνεται, ότι ο ηλεκτρικός κινητήρας ακολουθώντας την καμπύλη 2, μπορεί να περιστρέψει τη φτερωτή του εξαεριστικού με μικρότερη ταχύτητα  $n_2$ , μικρότερη ροπή  $T_2$  και φυσικά μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Μικραίνοντας την ταχύτητα, μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και να κάνουμε σύντομη απόσβεση του κόστους αγοράς του ρυθμιστή.

#### ➡ Πλεονεκτήματα ηλεκτρονικών ρυθμιστών

Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρονικό ρυθμιστή επιτυγχάνουμε εκτός από την πλήρη ρύθμιση των στροφών και τα εξής επίσης σημαντικά:

- Ομαλή εκκίνηση και μάλιστα ρυθμιζόμενη με μικρό ρεύμα εκκίνησης.
- Ομαλή πέδηση.
- Αύξηση της ροπής εκκίνησης.
- Δυνατότητα αυτόματης ή προγραμματιζόμενης ρύθμισης.
- Πλήρη έλεγχο των στροφών.
- Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Δυνατότητα αλλαγής φοράς περιστροφής χωρίς επιπλέον διακόπτες.
- Αυξημένη προστασία του κινητήρα.

Τέλος με τη χρήση των ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών μπορούμε, χρησιμοποιώντας ως πηγή τροφοδοσίας το δίκτυο των 50Hz, να έχουμε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα με ταχύτητα περιστροφής άνω των 3000στροφ/λεπτό.

Η απarıθμιση αυτών και μόνο των πλεονεκτημάτων, τα οποία μέχρι προ ολίγων ετών εθεωρούντο φαντασία, καταδεικνύει τη μεγάλη υπεροχή της ρύθμισης των στροφών μέσω ηλεκτρονικών ρυθμιστών, έναντι όλων των άλλων παλαιών μεθόδων.

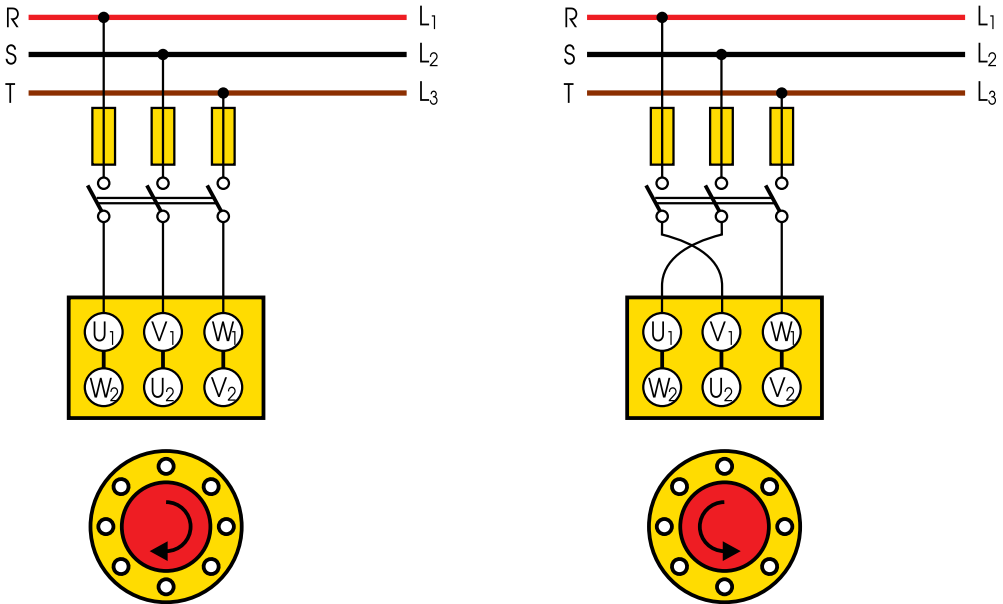
#### ➡ Εφαρμογές ηλεκτρονικών ρυθμιστών

Στη βιομηχανία σήμερα, σε πάρα πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρυθμιστές στροφών, λόγω της σημαντικής βελτίωσης και αύξησης των δυνατοτήτων τους αλλά και λόγω της σημαντικής πτώσης των τιμών τους. Εδώ θα αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες, συχνά εμφανιζόμενες εφαρμογές τους:

- Αντλίες
- Ανεμιστήρες
- Παρασκευή και επεξεργασία χάρτου
- Μεταφορικές ταινίες
- Επεξεργασία ξυλείας
- Επεξεργασία μαρμάρου
- Γερανοί
- Συμπιεστές
- Ανελκυστήρες

## 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).

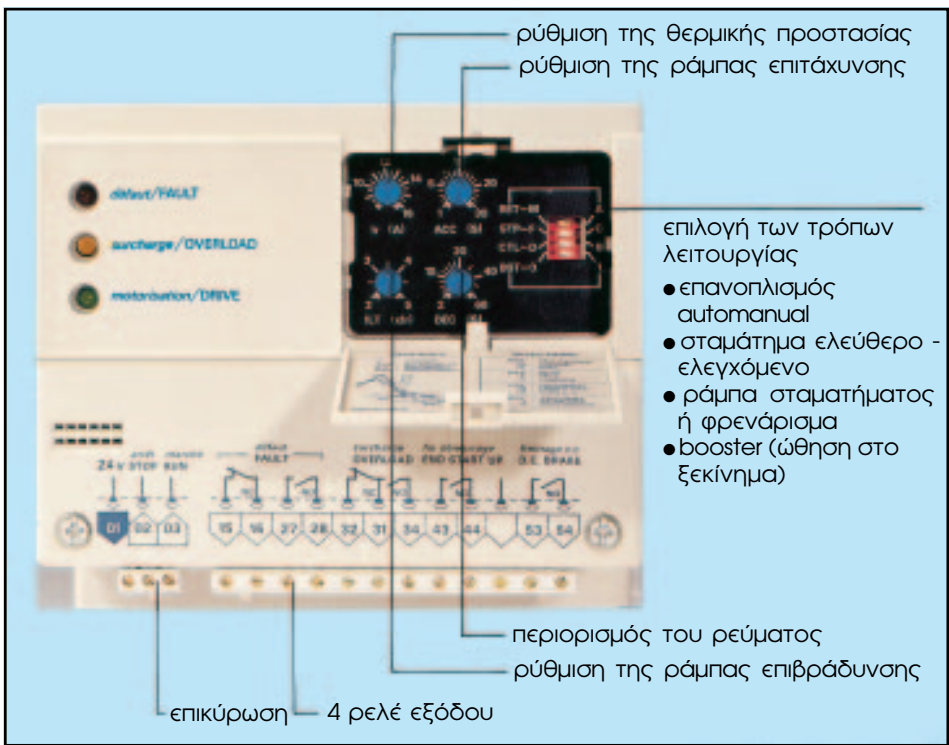


Σχ. 4.52: Αλλαγή φοράς περιστροφής.

## 4.2.7. Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

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

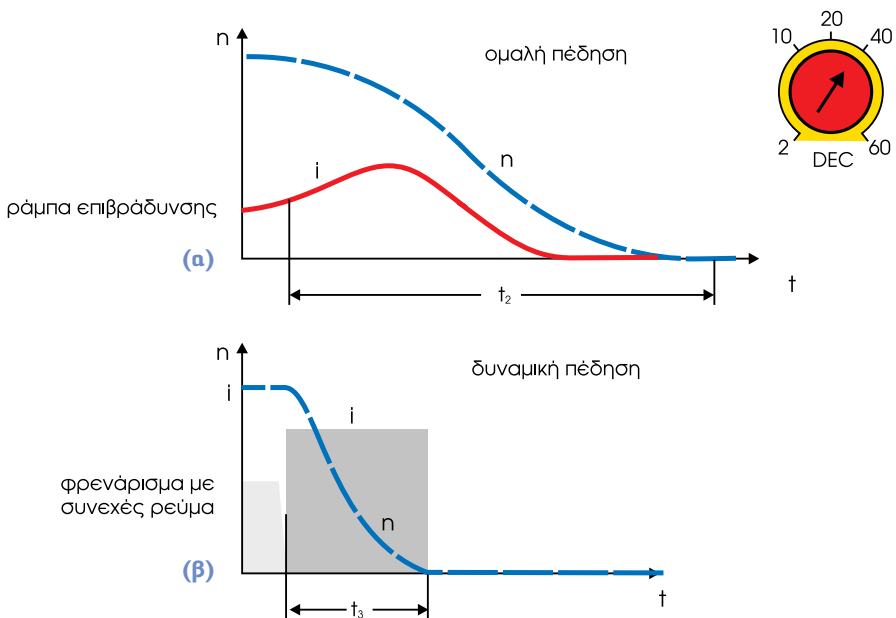
- **Μηχανική πέδηση:** Πραγματοποιείται μέσω ειδικών σιαγόνων που πιέζουν τον άξονα της μηχανής. Παρουσιάζουν συχνές φθορές και απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης.
- **Ελεύθερη πέδηση:** Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.
- **Ομαλή πέδηση:** Διακόπτεται βαθμιαία η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγή απότομης παύσης λειτουργίας της μηχανής (π.χ. σε αντλίες, μεταφορικές ταινίες, γεραμούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη **ράμπας επιβράδυνσης** που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές (σχ. 4.53, 4.54).



Σχ. 4.53: Ηλεκτρονικός εκκινητής.

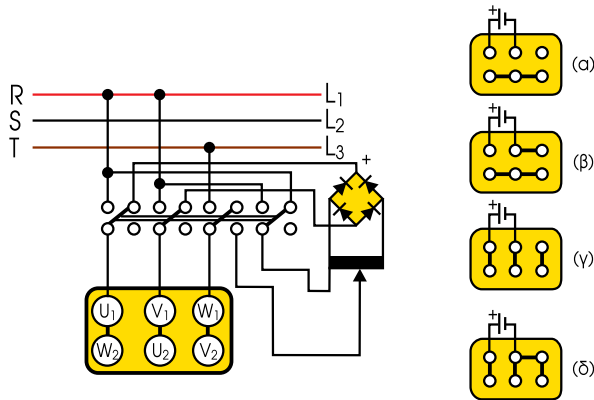
Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

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



Σχ. 4.54: Καμπύλη n-t, i-t ομαλής πέδησης.

➤ **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:

$$I_p \leq 0,6KI_A \quad (4.11)$$

όπου  $I_p$ : 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 ακινητοποιη μένος

### Πίνακας 4.3.

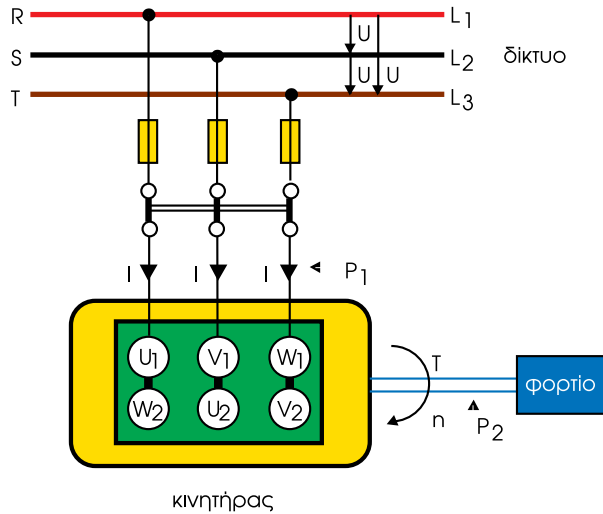
#### Τιμές συντελεστή K

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 βαττόμετρο και δίνεται από τη σχέση:

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

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

$$P = \frac{T \cdot n}{9.55} \quad (\text{σε W}) \quad (4.13)$$

T: ροπή (σε N·m)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

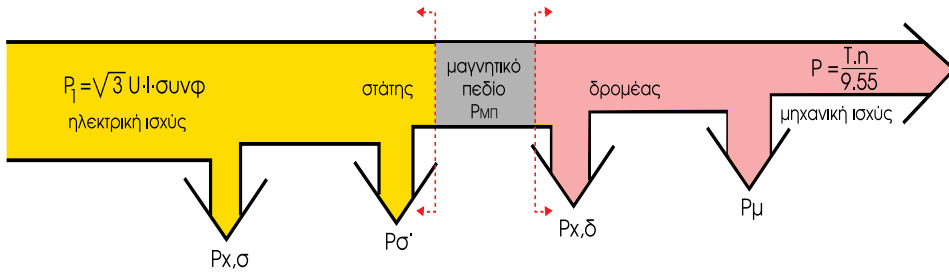
### Απώλειες, βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

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  $P_\sigma$  γιατί οφείλονται στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης και των δινορρευμαίων στο σιδερένιο πυρήνα της μηχανής και β) **μηχανικές απώλειες**  $P_\mu$  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  $P_{x,\sigma}$  και β) **ηλεκτρικές απώλειες δρομέα** που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του δρομέα και λέγονται απώλειες χαλκού δρομέα  $P_{x,\delta}$ .



**Σχ. 4.57:** Κατανομή απωλειών ασύγχρονου κινητήρα.

### ➤ Υπολογισμός απωλειών

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από τον νόμο του Τζάουλι:

$$P_{x,\sigma} = 3I^2R_1 \text{ όπου } R_1: \text{ η αντίσταση της μιας φάσης του στάτη}$$

$$P_{x,\delta} = 3I_2^2R_2 \text{ όπου } R_2: \text{ η αντίσταση του δρομέα.}$$

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:

$P_{x,\delta} = P_{M\pi} - P$  θεωρώντας τις μηχανικές απώλειες αμελητέες,  $P_{M\pi}$  είναι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου που μεταφέρει την ισχύ από το στάτη στο δρομέα:

$$P_{M\pi} = \frac{T \cdot n_s}{9,55} \text{ άρα } P_{x,\delta} = \frac{T \cdot n_s}{9,55} - \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{T}{9,55} (n_s - n) = \frac{T \cdot n_s}{9,55} \cdot s =$$

$$P_{M\pi} \cdot s = (P_1 - P_{x,\sigma}) \cdot s \Rightarrow P_{x,\delta} = (P_1 - P_{x,\sigma}) \cdot s \quad (4.14)$$

θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες σιδήρου.

### ➤ Πείραμα με κινητήρα χωρίς φορτίο

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο και μετράμε με βαττόμετρο και αμπερόμετρο την ισχύ  $P_o$  και το ρεύμα  $I_o$  που απορροφά σε λειτουργία χωρίς κανένα φορτίο. Η ισχύς  $P_o$  αντιπροσωπεύει τις απώλειες σιδήρου  $P_\sigma$ , τις μηχανικές απώλειες  $P_\mu$  και τις απώλειες χαλκού του στάτη. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα είναι αμελητέες.

$$P_o = P_\sigma + P_\mu + P_{x,\sigma} = P_\sigma + P_\mu + 3I_o^2R_1$$

### ➤ 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 βαττόμετρου είναι  $P_{\alpha\kappa}$  και αντιπροσωπεύει τις απώλειες χαλκού στάτη και δρομέα και τις απώλειες σιδήρου. Προσεγγιστικά μπορούμε να γράψουμε:

$$P_{\alpha\kappa} = P_{x,\sigma} + P_{x,\delta} + P_\sigma$$



#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

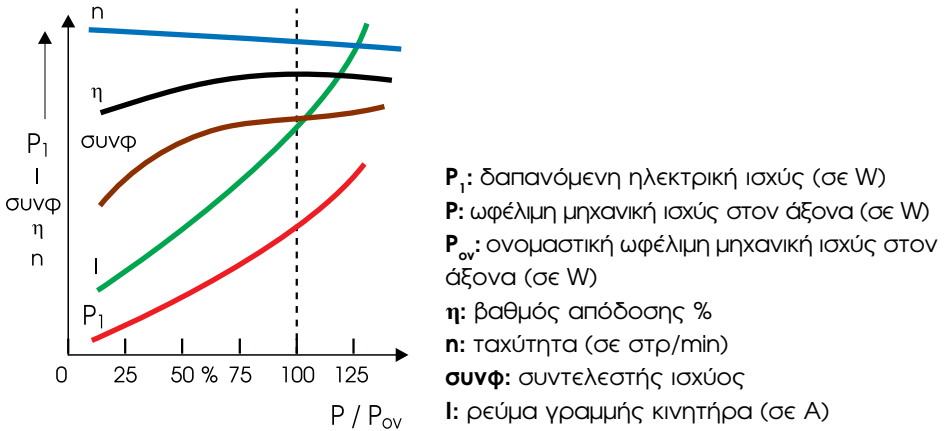
##### ➤ Βαθμός απόδοσης

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

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

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

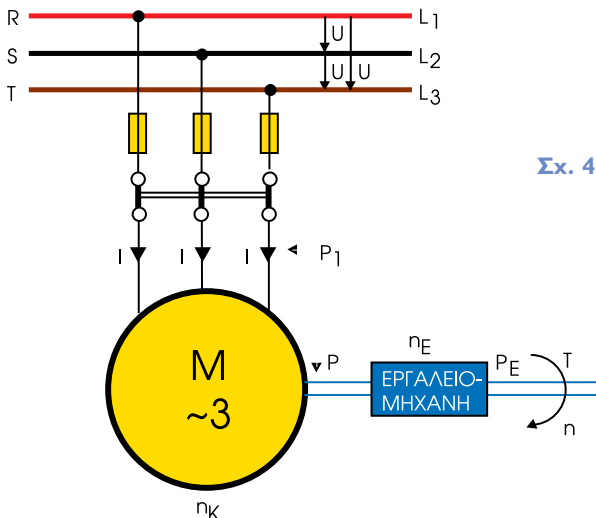
Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.58 μεταβάλλεται ελάχιστα για μία μεγάλη περιοχή ισχύος.



Σχ. 4.58: Διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες ασύγχρονου κινητήρα.

##### 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:

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

Με βάση το βαθμό απόδοσης της εργαλειομηχανής και του κινητήρα:

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

β. Η ηλεκτρική ισχύς δίνεται από τη σχέση:

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

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

### 4.2.9. Ερωτήσεις

1. Πώς είναι διαμορφωμένος ο πυρήνας του δρομέα κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα;
2. Γιατί είναι πιο διαδεδομένος ο κινητήρας με βαθιά αυλάκια;
3. Κινητήρας έχει ένδειξη 380VΔ. Μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυο 220/380V; Σχήμα και εξήγηση.
4. Ποιοι λόγοι επιβάλλουν την εκκίνηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων μέσω διάταξης εκκίνησης; Ποιοι μέθοδοι εκκίνησης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα υπάρχουν;
5. Πότε μπορεί να εκκινήσει απευθείας (χωρίς μέσο εκκίνησης) ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του;
6. Πώς γίνεται η εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου;  
Πώς μεταβάλλεται η ροπή και η ένταση με αυτόν τον τρόπο εκκίνησης;  
Τι προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται για να μπορέσει ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα να εκκινήσει με διακόπτη αστέρα τριγώνου;
7. Τι επιπτώσεις έχει η λανθασμένη μετάβαση από τη σύνδεση αστέρα-τριγώνου;
8. Σχεδιάστε κύκλωμα εκκίνησης με αντιστάσεις στο στάτη. Πώς μεταβάλλονται τότε η ένταση και η ροπή του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα;
9. Σχεδιάστε κύκλωμα εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή.  
Πόσο μειώνεται η ένταση και η ροπή εκκίνησης;
10. Περιγράψτε το κύκλωμα και τη λειτουργία του ηλεκτρονικού εκκινητή.
11. Αναφέρετε ονομαστικά τις μεθόδους ρύθμισης στροφών Α.Τ.Κ.
12. Περιγράψτε τη ρύθμιση στροφών με τη μέθοδο βαθμωτού ελέγχου σταθερού λόγου  $V/f$ .
13. Σχεδιάστε και εξηγήστε το δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών.
14. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών;
15. Πώς γίνεται η αλλαγή της φοράς περιστροφής ενός Α.Τ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα;
16. Αναφέρετε ονομαστικά τους τρόπους πέδησης ενός Α.Τ.Κ. βραχυκυκλωμένου δρομέα.
17. Ποια η διαφορά της μορφής της ισχύος που απορροφά ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας από την ισχύ που αποδίδει; Γράψτε τους τύπους για τον υπολογισμό των δύο μορφών.

18. Ποιες είναι οι σταθερές απώλειες ενός ασύγχρονου κινητήρα;
19. Ποιες απώλειες μεταβάλλονται με την μεταβολή του φορτίου;  
Πώς αλλιώς ονομάζονται;
20. Σχεδιάστε και εξηγήστε το διάγραμμα κατανομής απωλειών κινητήρα.
21. Ποιος τύπος μας δίνει τις ηλεκτρικές απώλειες του δρομέα;
22. Πώς υπολογίζουμε τις σταθερές απώλειες;
23. Πώς μεταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με τη μεταβολή του φορτίου;
24. Ποιος τύπος δίνει το βαθμό απόδοσης ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα;
25. Πώς μεταβάλλεται ο συντελεστής ισχύος με την μεταβολή του φορτίου σε ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα; Τι επιπτώσεις έχει αυτό στην επιλογή ενός τέτοιου κινητήρα;
26. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με ονομαστική ισχύ 6000W περιστρέφεται με την ονομαστική του ταχύτητα 1000στρ/min. Να βρεθεί αν μπορεί να εκκινήσει φορτίο ροπής 150N, αν η ροπή εκκίνησής του είναι:  $T_{εκκ} = 1,75T_{ον}$ .
27. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) πόλων, τροφοδοτείται με τάση κανονικής συχνότητας  $f=50\text{Hz}$ . Λόγω υπερφόρτισης του δικτύου η συχνότητα έχει μειωθεί σε  $f=49,97\text{Hz}$ . Αν η ταχύτητα στον άξονα του κινητήρα πρέπει να είναι  $n=2900\text{στρ/min}$  να βρεθούν:
- α) η σύγχρονη ταχύτητα για κανονική συχνότητα.  
β) η σύγχρονη ταχύτητα με την μείωση της συχνότητας.  
γ) η ολίσθηση στις παραπάνω περιπτώσεις.  
δ) τι συμπεράσματα βγαίνουν από την μεταβολή της συχνότητας;
- (ΑΠ. α) 3000στρ/min, β) 2998,2στρ/min, γ) 3,33%, 3,27%)**
28. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας τεσσάρων (4) πόλων τροφοδοτείται με τάση συχνότητας  $f=50\text{Hz}$ . Η ολίσθηση χωρίς φορτίο είναι  $s=0,5\%$  και η ταχύτητα ονομαστικής λειτουργίας (με πλήρες φορτίο) είναι  $n=1430\text{στρ/min}$ .
- Να βρεθούν:
- α) η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα.  
β) η ταχύτητα στην εν κενώ λειτουργία του.  
γ) η ολίσθηση κατά την κανονική λειτουργία του.
- (ΑΠ. α) 1500στρ/min, β) 1492,5στρ/min, γ) 4,66%)**
29. Τετραπολικός ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας κινεί φορτίο ροπής 70Nm με ταχύτητα 1400στρ/min. Η συχνότητα του δικτύου τροφοδοσίας είναι 50Hz. Όλες οι απώλειες εκτός από τις ηλεκτρικές του δρομέα θεωρούνται αμελητέες.
- Να βρεθούν:
- α) η ολίσθηση.  
β) ο βαθμός απόδοσης προσεγγιστικά.  
γ) η ισχύς εξόδου.  
δ) η ισχύς εισόδου προσεγγιστικά.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

ε) οι ηλεκτρικές απώλειες δρομέα προσεγγιστικά.

(ΑΠ. α) 6,66%, β) 93,33%, γ) 10.261,78W, ε) 733,22W)

30. Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας συνδέεται σε δίκτυο 220/380V. Ο συντελεστής ισχύος είναι 0,9 και ο βαθμός απόδοσής του 0,8. Ο κινητήρας στρέφει τόρνο μηχανουργείου με ροπή 170N και ταχύτητα 30στρ/λεπτό. Ο βαθμός απόδοσης του τόρνου είναι 70%.

Να βρείτε:

- α) την ισχύ του κινητήρα.  
β) την ένταση του απορροφούμενου ρεύματος.

(ΑΠ. α) 953,57W, 1,29PS, β) 1,61A)

### ➡ Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

31. Με συνδεσμολογία αστέρα ο ασύγχρονος κινητήρας:
- α. αυξάνει το ρεύμα εκκίνησης.
  - β. μειώνει το ρεύμα εκκίνησης τρεις φορές σε σχέση με το τρίγωνο.
  - γ. διατηρεί σταθερή τη ροπή.
32. Ο ηλεκτρονικός εκκινητής ελέγχει τη διαδικασία εκκίνησης του κινητήρα με:
- α. διάταξη αυτομετασχηματιστή.
  - β. γέφυρα έξι αντιπαράλληλων θυρίστορ.
  - γ. γέφυρα έξι διόδων.
33. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών αποτελείται από:
- α. ανορθωτική διάταξη - φίλτρο.
  - β. ανορθωτική διάταξη - φίλτρο - αντιστροφέα - μονάδα ελέγχου.
  - γ. αυτομετασχηματιστή ανορθωτική διάταξη - διόδους.
34. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών:
- α. μετατοπίζει την καμπύλη T-n προς τα πάνω.
  - β. μετατοπίζει την καμπύλη προς τα αριστερά.
  - γ. μετατοπίζει την καμπύλη του φορτίου.
35. Η δυναμική πέδηση κινητήρα:
- α. μετατρέπει τον κινητήρα σε σύγχρονη γεννήτρια.
  - β. πραγματοποιείται μέσω ειδικών, ισχυρών σιαγόνων με ηλεκτρονικό έλεγχο.
  - γ. διακόπτει βαθμιαία την τάση τροφοδοσίας.

## Ενότητα 4.3.

# Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες με Δακτυλιοφόρο Δρομέα (Κ.Δ.Δ.)

### Διδακτικοί στόχοι

➔ *Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:*

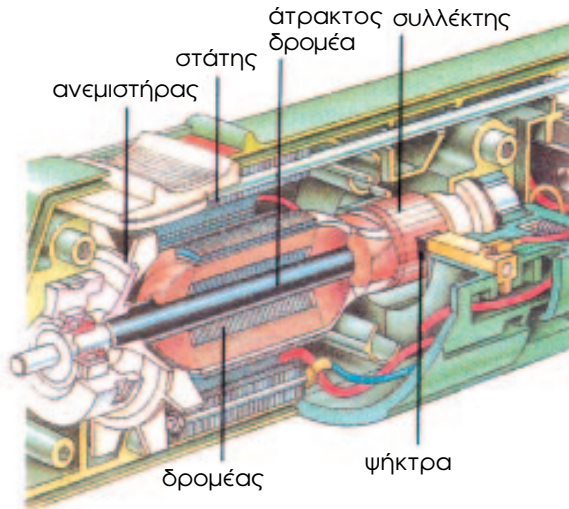
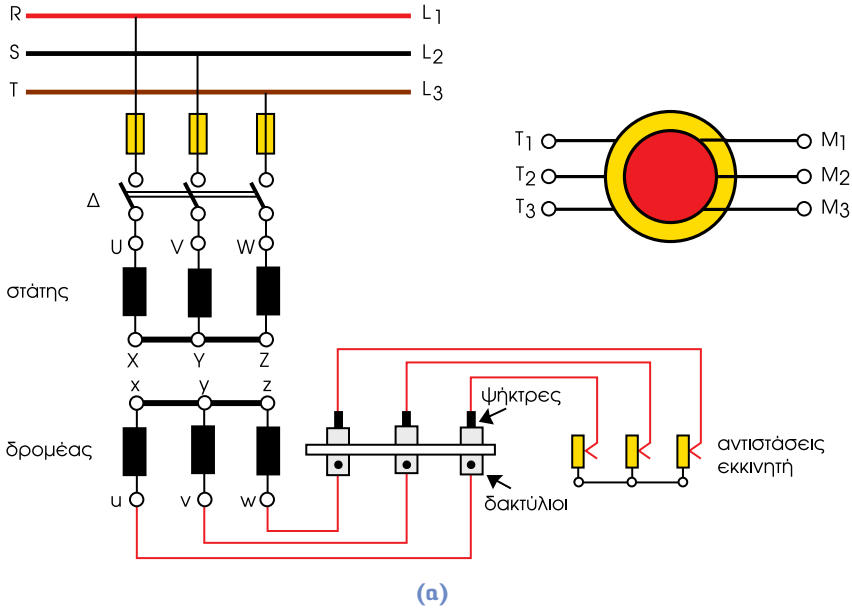
- 1. Να απαριθμείτε τα μέρη από τα οποία αποτελούνται οι Κ.Δ.Δ.*
- 2. Να αναγνωρίζετε τη σήμανση των ακροδεκτών.*
- 3. Να αιτιολογείτε την τάση λειτουργίας των Κ.Δ.Δ.*
- 4. Να περιγράψετε τους τρόπους εκκίνησης και να σχεδιάζετε τη συνδεσμολογία.*
- 5. Να περιγράψετε τους τρόπους ρύθμισης στροφών των Κ.Δ.Δ. με αντιστάσεις ή χρήση ηλεκτρονικών ισχύος.*
- 6. Να αναφέρετε τους τρόπους πέδησης Κ.Δ.Δ.*

### 4.3.1. Κατασκευαστικά στοιχεία

Ο στάτης του κινητήρα με δακτυλίδια δεν έχει καμία διαφορά από το στάτη του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Ο δρομέας όμως είναι τελείως διαφορετικός. Αποτελείται από μαγνητικά ελάσματα με εγκοπές που σχηματίζουν οδοντώσεις μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα. Ο αριθμός των πόλων του δρομέα είναι ίδιος με τον αριθμό των πόλων του στάτη. Το τύλιγμα του δρομέα είναι συνδεδεμένο κατ'αστέρα ή τρίγωνο, τα τρία άκρα του οποίου συνδέονται σε τρία μονωμένα μεταξύ τους **δακτυλίδια**, στερεωμένα πάνω στον άξονα του δρομέα.

Στα δακτυλίδια εφάπτονται **ψηκτρες**, με ψηκτροθήκες στερεωμένες στο στάτη. Μέσω των ψηκτρών, κάθε φάση του δρομέα συνδέεται με την αντίσταση ενός τριφασικού **εκκινητή**, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.60.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



Ηλεκτροκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος γενικής χρήσης για την κίνηση τροχείου.

(β)

Σχ. 4.60: Συνδεσμολογία ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλιδία.

Με τις αντιστάσεις του εκκινήτη μπορούμε να επιτύχουμε εκκίνηση με χαμηλό ρεύμα και μεγάλη ροπή.

👉 Οι ακροδέκτες, οι συνδεσμολογίες με το δίκτυο και η τάση λειτουργίας των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, που αναφέραμε στην ενότητα 4.2, ισχύουν και για τους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα.

## 4.3.2. Εκκίνηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια

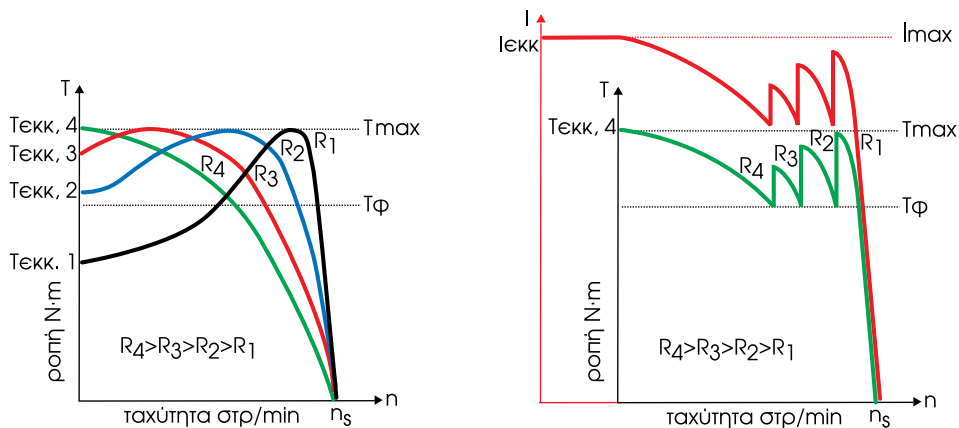
Όπως αναφέραμε στο κύκλωμα του δρομέα, στο σχήμα 4.60 είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων μέσω δακτυλιδιών και ψηκτρών.

Ξεκινώντας από μία αντίσταση  $R_1$  ίση με την ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων του δρομέα  $R_1=R_{\delta p}$ , προσθέτουμε βηματικά εξωτερικές αντιστάσεις  $R$ , έτσι ώστε  $R_2=R_1+R$ ,  $R_3=R_1+2R$ ,  $R_4=R_1+3R$ .

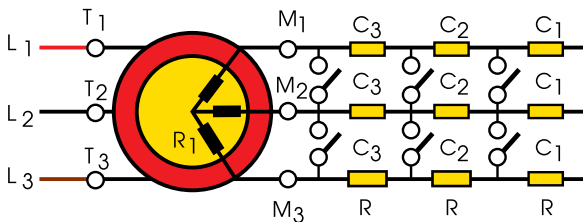
➤ Παρατηρούμε από τις καμπύλες T-n και I-n ότι, καθώς αυξάνεται η αντίσταση του δρομέα, η μέγιστη ροπή  $T_{max}$  παραμένει σταθερή, αλλά πραγματοποιείται σε μικρότερη ταχύτητα.

Με την προσθήκη της  $R_4$  έχουμε επιτύχει ροπή εκκίνησης ίση με τη μέγιστη  $T_{EKK,4}=T_{max}$  και ρεύμα εκκίνησης αρκετά χαμηλό σε σχέση με αυτό που θα είχαμε με αντίσταση δρομέα ίση με την  $R_1$ . Στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη ολίσθηση και φυσικά μικρή απόδοση. **Στην εκκίνηση έχουμε συνδεδεμένη την αντίσταση  $R_4$  και, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, βηματικά αφαιρούνται οι αντιστάσεις μέσω χειροκίνητου διακόπτη ή καλύτερα αυτόματα μέσω ηλεκτρονόμου και χρονοδιακόπτη.** Λίγο πριν φθάσει ο κινητήρας στις ονομαστικές του στροφές, έχουν βραχυκυκλωθεί οι εξωτερικές αντιστάσεις και λειτουργεί μόνο με την αντίσταση του δρομέα σαν κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Στο σχήμα 4.62 φαίνεται η διάταξη των επαφών των ηλεκτρονόμων  $C_1, C_2, C_3$  που βαθμιαία κλείνουν. Στο σχήμα 4.61 φαίνεται η αντίστοιχη πριονωτή μεταβολή της ροπής του κινητήρα.



Σχ. 4.61: Εκκίνηση ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια με παρεμβολή αντιστάσεων.

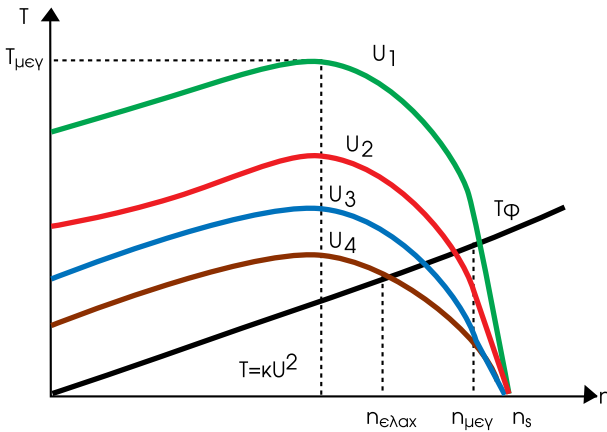


Σχ. 4.62: Αυτοματισμός εκκίνησης ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.



### 4.3.3. Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια

Όπως είδαμε και στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, η ταχύτητα περιστροφής  $n = 60 \frac{f}{p} (1 - s)$  μπορεί να μεταβληθεί επιδρώντας σε τρεις παραμέτρους  $p$ ,  $f$ ,  $s$ . Οι μέθοδοι είναι ίδιες, μόνο που στον κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα μας δίνονται μεγαλύτερα περιθώρια ρύθμισης με ταυτόχρονη μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.



Σχ. 4.63: Χαρακτηριστικές T-n με  $U_1 > U_2 > U_3 > U_4$ .

#### ➔ Αλλαγή ολίσθησης s

Την ολίσθηση μπορούμε να τη μεταβάλλουμε με αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη ή με αλλαγή της αντίστασης του δρομέα.

#### 1. Αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη

Η αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη δίνει τις χαρακτηριστικές T-n του σχήματος 4.63. Η ρύθμιση των στροφών γίνεται σε ένα μικρό εύρος από  $n_{ελαχ}$  μέχρι  $n_{μεγ}$ . Πρέπει να υπερκαλύπτεται φυσικά η ροπή του φορτίου. Σε κάθε εφαρμογή υπάρχει μία ελάχιστη τιμή τάσης του στάτη που, αν ξεπεραστεί, οδηγεί το σύστημα σε ασταθή λειτουργία. Για να βελτιωθεί το σύστημα από πλευράς ευστάθειας πρέπει να έχουμε κινητήρα με δρομέα με μεγάλη αντίσταση.

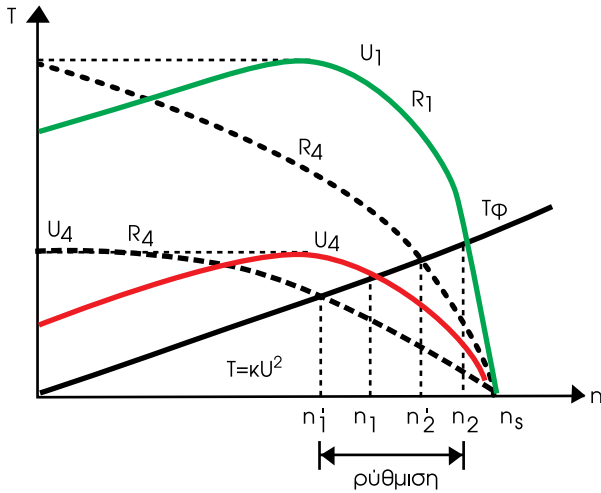
Αν ο κινητήρας είναι με βραχυκυκλωμένο δρομέα θα έχουμε σε κανονική λειτουργία υπερθέρμανση, απώλειες και μικρό βαθμό απόδοσης.

Η μέθοδος ενδείκνυται κυρίως για κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα, που μπορούμε να προσθέσουμε βηματικά εξωτερικές αντιστάσεις και να επιτύχουμε την ίδια μέγιστη ροπή σε μικρότερη ταχύτητα.

Στο σχήμα 4.63 φαίνονται για δύο τάσεις τροφοδοσίας  $U_1 > U_4$ , οι καμπύλες T-n με αντιστάσεις δρομέα  $R_1$  και  $R_4$  με  $R_4 > R_1$ .

Με συνδυασμό τιμής αντίστασης δρομέα και τάσης τροφοδοσίας μπορούμε να επιτύχουμε ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα με μεγάλα περιθώρια. Η ελάχιστη ταχύτητα είναι  $n_1$  και η μέγιστη  $n_2$ . **Η μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας γίνεται ηλε-**

κτρονικά με παρεμβολή μετατροπέα έξι θυρίστορ, δύο ανά φάση τοποθετημένα ανά-στροφα (TRIAC). Η αλλαγή της γωνίας έναυσης των θυρίστορ μεταβάλλει την τάση τροφοδοσίας.

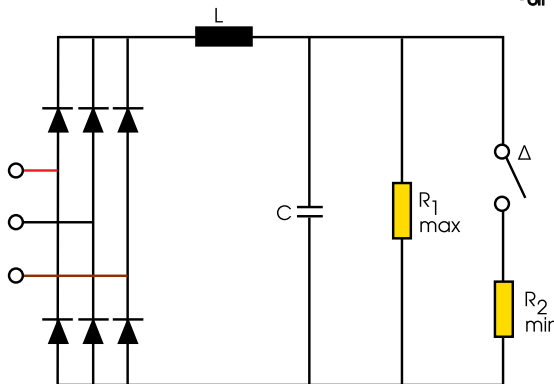


Σχ. 4.64: Χαρακτηριστικές T-n με αλλαγή τάσης τροφοδοσίας και αντίστασης δρομέα.

## 2. Αλλαγή αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη (σύστημα ON-OFF)

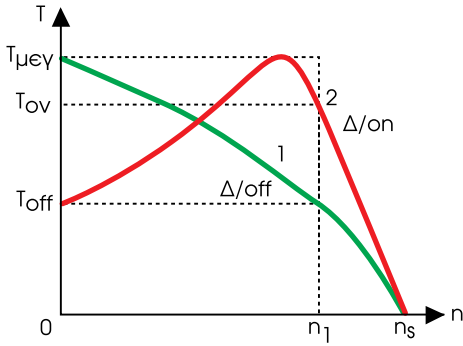
Οι τάσεις που παράγονται στο δρομέα, ανορθώνονται με μία γέφυρα, εξομαλύνονται με φίλτρο L,C και έτσι παράγεται μια συνεχής τάση που δεν παρουσιάζει αιχμές μεταγωγικής έντασης (σχ. 4.65). Όταν ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός (Δ/off), ο δρομέας είναι συνδεδεμένος με την αντίσταση  $R_1$  που έχει μεγάλη τιμή και ακολουθεί την καμπύλη 1 του σχήματος 4.66. Όταν ο διακόπτης Δ είναι κλειστός (Δ/on), είναι συνδεδεμένες οι αντιστάσεις  $R_1$  και παράλληλα η  $R_2$ , η οποία είναι πολύ μικρή. Η συνολική αντίσταση είναι μικρή και ο κινητήρας ακολουθεί την καμπύλη 2. Αν ο χρόνος που παραμένει ανοικτός ο διακόπτης είναι  $t_{on}$  και ο χρόνος που παραμένει κλειστός  $t_{off}$ , για μία ταχύτητα  $n_1$ , η μέση ροπή θα είναι:

$$T = \frac{T_{off} \cdot t_{off} + T_{on} \cdot t_{on}}{t_{on} + t_{off}}, \text{ άρα θα έχουμε: } T = \frac{T_{off} + \frac{t_{on}}{t_{off}} \cdot T_{on}}{1 + \frac{t_{on}}{t_{off}}} \quad (4.16)$$



Σχ. 4.65: Κύκλωμα αλλαγής αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



**Σχ. 4.66:** Καμπύλες T-n σε κύκλωμα αλλαγής αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη.

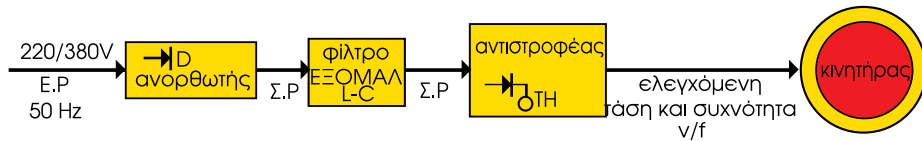
Μέσω ηλεκτρονικής συσκευής οδήγησης μπορεί να μεταβληθεί ο λόγος  $t_{on}/t_{off}$  με αποτέλεσμα να μεταβληθεί η μέση ροπή του δρομέα. Η ροπή του φορτίου είναι συγκεκριμένη, άρα έτσι θα ρυθμιστεί η ταχύτητα.

#### ➡ Στατική ρύθμιση ολίσθησης και ανάκτηση ισχύος

Τα συστήματα ρύθμισης ταχύτητας δακτυλιοφόρων κινητήρων που μελετήσαμε, στηρίζονται στη μεταβολή της εξωτερικής αντίστασης του δρομέα. Ο τρόπος αυτός αυξάνει τις θερμικές απώλειες και φυσικά μας δίνει χαμηλό βαθμό απόδοσης.

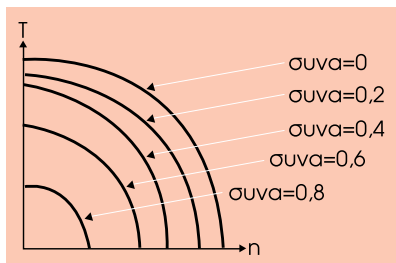
**Τα ηλεκτρονικά ισχύος μας βοηθούν να αλλάξουμε τη χαρακτηριστική ροπής - στροφών (T-n) χωρίς απώλειες.** Περίπου το 90% της ισχύος του δρομέα αντί να μετατραπεί σε θερμότητα πάνω στις εξωτερικές αντιστάσεις, επιστρέφει στο δίκτυο τροφοδοσίας.

Η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ταχύτητας και ταυτόχρονα η ανάκτηση ισχύος είναι η γνωστή διάταξη **ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών** που μελετήσαμε στη ρύθμιση ταχύτητας κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής θα μπορούσε να τροφοδοτήσει το στάτη με ελεγχόμενη τάση και συχνότητα (σχ. 4.67) και έτσι να ελεγχθεί η ταχύτητα, όπως στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα.

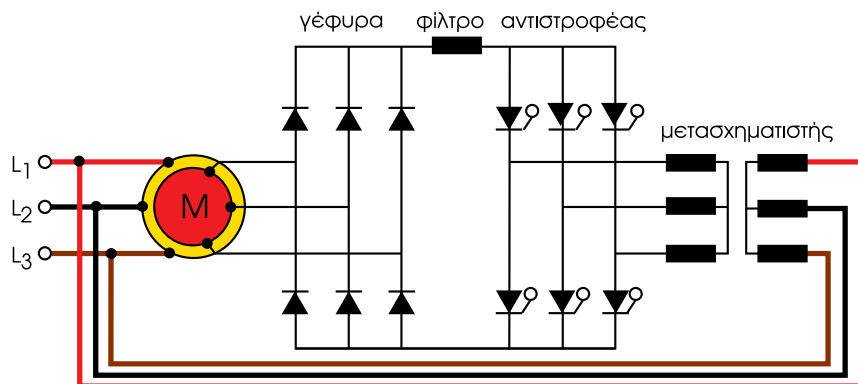


**Σχ. 4.67:** Μετατροπέας EP/EP.

Στους κινητήρες με δακτυλίδια μπορούμε όμως να συνδέσουμε τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στο δρομέα, να μεταβάλλουμε τη γωνία έναυσης των θυρίστωρ και έτσι να αλλάξει η χαρακτηριστική ροπής - στροφών (T-n) και ταυτόχρονα να ανατροφοδοτηθεί το δίκτυο τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.68 και 4.69.



**Σχ. 4.68:** Χαρακτηριστικές ροπές - στροφών για διάφορες χυνίες έναυσης των θυρίστωρ.



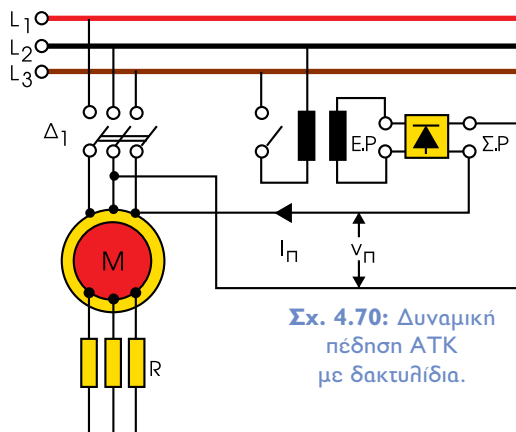
**Σχ. 4.69:** Έλεγχος ταχύτητας δακτυλιοφόρου κινητήρα με μετατροπή EP/EP (CASCADE).

### 4.3.4. Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια

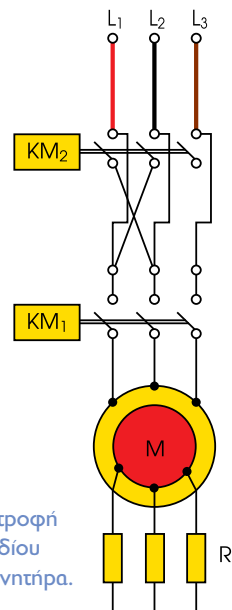
Η πέδηση ενός κινητήρα με δακτυλίδια μπορεί να γίνει με τους τρόπους που αναπτύχθηκαν στον κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα. Αυτοί είναι:

**α)** μηχανική πέδηση, **β)** ελεύθερη πέδηση, **γ)** ομαλή πέδηση, **δ)** δυναμική πέδηση Σ.Ρ. και **ε)** πέδηση με αντιστροφή του μαγνητικού πεδίου.

Στα σχήματα 4.70 και 4.71 φαίνονται κυκλώματα πέδησης.



**Σχ. 4.70:** Δυναμική πέδηση ATK με δακτυλίδια.



**Σχ. 4.71:** Αντιστροφή μαγνητικού πεδίου δακτυλιοφόρου κινητήρα.

### 4.3.5. Ερωτήσεις

1. Περιγράψτε την κατασκευή του δρομέα Κ.Δ.Δ.
2. Πώς είναι συνδεδεμένες οι φάσεις του τυλίγματος του δρομέα Κ.Δ.Δ.; Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία.
3. Τι συμβαίνει, όταν αυξηθεί η αντίσταση του δρομέα Κ.Δ.Δ.;
4. Πώς εκμεταλευόμαστε το πλεονέκτημα της μετατόπισης της μέγιστης ροπής ενός Κ.Δ.Δ.;
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της εκκίνησης Κ.Δ.Δ.;
  - α) Πώς μεταβάλλεται η ένταση, η ροπή και η ταχύτητα;
  - β) Ποια είναι η διαφορά στην εκκίνηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων με βραχυκυκλωμένο και δακτυλιοφόρο δρομέα όσο αφορά την ένταση, τη ροπή και την ταχύτητα εκκίνησης;
6. Εξηγείστε την αλλαγή αντίστασης του δρομέα με διακόπτη συστήματος ON-OFF.
7. Σχεδιάστε και εξηγείστε το σύστημα μετατροπεία EP/EP για έλεγχο ταχύτητας Κ.Δ.Δ. και ανάκτηση ισχύος.
8. Αναφέρετε ονομαστικά τις μεθόδους πέδησης Κ.Δ.Δ.
9. Συγκρίνετε ασύγχρονο κινητήρα με δακτυλίδια με ασύγχρονο κινητήρα. βραχυκυκλωμένου δρομέα.

### ➔ Βάλτε σε κύκλο το χράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση

10. Μεγαλώνοντας την αντίσταση που είναι συνδεδεμένη στον δρομέα κινητήρα με δακτυλίδια:
  - α. μικραίνει το ρεύμα εκκίνησης.
  - β. μικραίνει η ροπή εκκίνησης.
  - γ. μεγαλώνουν και τα δύο.
11. Μεγαλώνοντας την τάση τροφοδοσίας του κινητήρα με δακτυλίδια:
  - α. μεγαλώνει αναλογικά η ροπή εκκίνησης.
  - β. μεγαλώνει τετραγωνικά η ροπή εκκίνησης.
  - γ. μικραίνει η ροπή εκκίνησης.
12. Με συνδυασμό μεταβολής αντίστασης δρομέα και τάσης τροφοδοσίας:
  - α. μικραίνει η περιοχή ρύθμισης ταχύτητας.
  - β. μεγαλώνει η περιοχή ρύθμισης.
  - γ. μικραίνει ή μεγαλώνει η περιοχή ρύθμισης ταχύτητας ανάλογα με την καμπύλη του φορτίου.

- 13.** Στον έλεγχο ταχύτητας κινητήρα με δακτυλίδια και ανάκτηση ισχύος:
- α.** τροφοδοτείται ο δρομέας με ελεγχόμενη τάση και συχνότητα και ο στάτης επιστρέφει την παραγόμενη ισχύ στο δίκτυο.
  - β.** τροφοδοτείται ο στάτης με ελεγχόμενη τάση και συχνότητα και ο δρομέας επιστρέφει την παραγόμενη ισχύ στο δίκτυο.
  - γ.** τροφοδοτούμε το στάτη και το δίκτυο μέσω ανορθωτή - φίλτρο - αντιστροφέα.

## Ενότητα 4.4.

# Έλεγχος - βλάβες - συντήρηση - ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

### Διδακτικοί στόχοι

➔ *Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής θα πρέπει να μπορείτε:*

1. *Να αναγνωρίζετε από τις ενδείξεις των οργάνων την κατάσταση λειτουργίας των Α.Τ.Κ.*
2. *Να περιγράφετε πώς και που θα συνδεθούν τα όργανα ελέγχου του Α.Τ.Κ.*
3. *Να περιγράφετε τις μετρήσεις που είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό των ακροδεκτών των Α.Τ.Κ.*
4. *Να προσδιορίζετε από τη συμπεριφορά του κινητήρα την πιθανή βλάβη και να κάνετε την κατάλληλη μέτρηση για τον προσδιορισμό της.*
5. *Να περιγράφετε πώς θα συντηρήσετε ένα Α.Τ.Κ.*
6. *Να περιγράφετε τους διάφορους ελέγχους των κινητήρων.*

### 4.4.1. Έλεγχος κινητήρων με την παράδοση

1. Με την παράδοση ο ηλεκτρολόγος πρέπει να ελέγξει τους κινητήρες που παρέλαβε, τα διάφορα εξαρτήματα και τον πίνακα.
2. Εάν ο κινητήρας είναι εξωτερικά χτυπημένος ή η συσκευασία του έχει υποστεί ζημιά, έτσι ώστε να συμπεραίνεται κάποιο ατύχημα κατά τη μεταφορά του, τότε η παραλαβή του κινητήρα πρέπει να γίνεται μόνο μετά την επίσημη αναφορά και παρουσία εκπροσώπου του μεταφορέα.

#### ➔ Έλεγχος μεταφοράς και αποθήκευσης κινητήρων

1. Οι κινητήρες μεταφέρονται πλήρως συναρμολογημένοι χωρίς συσκευασία ή συσκευασμένοι μετά από συμφωνία πωλητή και αγοραστή.
2. Οι κινητήρες θα πρέπει να ανυψώνονται με γερανό χρησιμοποιώντας τις αναρτήσεις του κελύφους, εάν δεν υπάρχει συσκευασία ή τα σημεία που σημειώνονται επί της συσκευασίας. Ο χειρισμός πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή προς αποφυγή μηχανικών βλαβών ή παραμορφώσεων του κελύφους.
3. Εάν ο κινητήρας δεν εγκατασταθεί αμέσως μετά την παράδοση, πρέπει να ληφθούν μέτρα αποθήκευσης. Η αποθήκευση πρέπει να γίνει σε κλειστό, καθαρό, στεγνό και αεριζόμενο χώρο με θερμοκρασία όχι μικρότερη από +3°C για να

προστατεύεται ο κινητήρας και ειδικότερα οι περιελίξεις του από πάγο και υγρασία. Στην αποθήκη δεν επιτρέπεται η παρουσία βλαβερών αερίων ή ηλεκτρικά αγωγίμης σκόνης (σκόνη άνθρακα ή μεταλλική σκόνη).

#### **Απαγορεύεται η αποθήκευση στο ύπαιθρο.**

4. Τα έδρανα (ρουλεμάν) πρέπει να προστατεύονται από τη σκουριά με την χρήση κατάλληλου γράσσο.

5. Για την προστασία των δακτυλίων από τη σκόνη και την υγρασία, στους δακτυλιοφόρους κινητήρες, οι ψήκτρες πρέπει να αφαιρεθούν και να συσκευασθούν σε χαρτί παραφίνης. Οι δακτύλιοι πρέπει ακόμα να αλειφθούν με γράσσο και να τυλιχθούν με χαρτί παραφίνης.

6. Σε τακτά χρονικά διαστήματα, όχι πάντως μεγαλύτερα των τριών μηνών, ο κινητήρας πρέπει να επιθεωρείται και σε περίπτωση σκουριών αυτές πρέπει να αφαιρούνται.

7. Τα περιστρεφόμενα μέρη του κινητήρα πρέπει μια φορά το μήνα να περιστρέφονται κατά μισή στροφή με το χέρι έτσι ώστε να προλαμβάνεται το σημάδεμα του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν.

8. Συσκευασμένοι ή όχι οι κινητήρες δεν πρέπει να αποθηκεύονται ο ένας πάνω στον άλλο.

9. Απαγορεύεται η μεταφορά του κινητήρα πάνω σε κυλιόμενους κυλίνδρους ή σωλήνες όπως και η κύλησή του στο έδαφος.

#### **➡ Έλεγχος προστασίας των κινητήρων**

Ο αγοραστής πρέπει να εξασφαλίζει τουλάχιστον τους ακόλουθους τρεις τύπους προστασίας:

1. Προστασία έναντι υπερφόρτισης.
2. Προστασία έναντι βραχυκυκλώματος.
3. Προστασία έναντι πτώσης της τάσης.

#### **➡ Έλεγχος θεμελίωσης-σύνδεσης κινητήρων**

1. Οι κινητήρες πρέπει να θεμελιώνονται σε γερά θεμέλια χωρίς κραδασμούς και σε χώρους που ανταποκρίνονται στον σχεδιασμό τους. Υποχρέωση του αγοραστή είναι να παρέχει την κατάλληλη θεμελίωση. Πριν την εγκατάσταση πρέπει να ελεγχθεί η ομαλότητα και η οριζοντιότητα της επιφάνειας τοποθέτησης του κινητήρα.

2. Κατά την εγκατάσταση του κινητήρα τα κατεργασμένα μέρη του (άκρα άξονα) πρέπει να προστατεύονται καλυπτόμενα από δέρμα ή λάστιχο.

3. Μετά την εγκατάσταση του κινητήρα θα πρέπει να καθαριστεί το γράσσο από τα μεταλλικά μέρη με ένα πανί ποτισμένο σε πετρέλαιο. Κατά την διαδικασία αυτή απαιτείται προσοχή για να αποφευχθεί η εισχώρηση πετρελαίου στα μονωμένα μέρη του κινητήρα.



#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

4. Ο κινητήρας και ο εξοπλισμός του πρέπει να γειώνονται σύμφωνα με τους κανόνες ασφαλείας. Οι ακροδέκτες γείωσης βρίσκονται πάνω στο κέλυφος του κινητήρα. Ο προστατευτικός ακροδέκτης που συνδέεται στη γείωση του δικτύου τοποθετείται μέσα στο κιβώτιο ακροδεκτών.
5. Οι κύριες συνδέσεις πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τα στοιχεία του κινητήρα, τα οποία αναφέρονται στην πινακίδα του.

#### ➡ Έλεγχος υγρασίας κινητήρα

Όλοι ανεξαιρέτως οι κινητήρες πριν τεθούν σε λειτουργία πρέπει να ελέγχονται ως προς την υγρασία. Χρησιμοποιώντας ένα μέγγερ, ελέγχουμε τα τυλίγματα στα 500V. Αποδεκτή θεωρείται η υγρασία, όταν, υπό κανονικές κλιματολογικές συνθήκες, μετρήσουμε αντίσταση μόνωσης μέχρι 40ΜΩ. Σε διαφορετική περίπτωση είναι απολύτως απαραίτητο να υποβληθεί ο κινητήρας στη διαδικασία του στεγνώματος.

Το στέγνωμα του κινητήρα μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος με το οποίο τροφοδοτούμε το στάτη, με μειωμένη όμως τάση (10-15% της ονομαστικής). Μπορούμε επίσης να στεγνώσουμε τον κινητήρα θερμαίνοντάς τον εξωτερικά (αφού προηγουμένως τον αποσυναρμολογήσουμε) με αντιστάσεις, φούρνο κ.λπ., ακολουθώντας μία συγκεκριμένη διαδικασία. Συνιστάται το στέγνωμα σε φούρνο και, εάν κρίνεται σκόπιμο, η επικοινωνία με το εργοστάσιο κατασκευής.

#### ➡ Έλεγχος μηχανικής ζεύξης

1. Οι ηλεκτροκινητήρες, στους οποίους αναφέρονται οι παρούσες οδηγίες, είναι συνήθως σχεδιασμένοι για απ'ευθείας ζεύξη με άλλες μηχανές ή συσκευές. Διαφορετικά πρέπει ο κατασκευαστής να υποδεικνύει τρόπο ζεύξης.
2. Ο κινητήρας πρέπει να τεθεί σε λειτουργία πριν γίνει η ζεύξη, ώστε να ελεγχθεί τυχούσα ζημιά κατά την διάρκεια της μεταφοράς.
3. Η ζεύξη πρέπει να γίνεται μόνο από ειδικευμένο προσωπικό και με μεγάλη προσοχή, ώστε να υπάρχει τέλεια ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα της οδηγούμενης μηχανής. (Η απόκλιση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/10mm). Η οδηγούμενη μηχανή δεν πρέπει να μεταφέρει κραδασμούς ή αξονικές πιέσεις στον κινητήρα κατά την διάρκεια της εκκίνησης ή της λειτουργίας.
4. Οι κινητήρες μας μπορούν να μεταδώσουν την κίνηση και με ιμάντες. Για την επιλογή των κατάλληλων ιμάντων και τροχαλιών, ζητούνται τα σχετικά έντυπα των εργοστασίων κατασκευής.
5. Η τροχαλία θα πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να παρέχει σημείο εφαρμογής της τάσης του ιμάντα το οποίο δεν πρέπει να είναι πέρα του άκρου του άξονα.
6. Το τμήμα του σύνδεσμου και η τροχαλία που εφαρμόζονται στον άξονα του κινητήρα πρέπει να είναι δυναμικά ζυγοσταθμισμένα.

## ➡ Έλεγχος των κινητήρων πριν την έναρξη λειτουργίας

Μετά την εγκατάσταση και πριν την έναρξη λειτουργίας ο κινητήρας πρέπει υποχρεωτικά και λεπτομερώς να ελεγχθεί. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τους παρακάτω επιμέρους ελέγχους:

1. Έλεγχος όλων των εξαρτημάτων σύσφιξης και στεγανοποίησης.
2. Έλεγχος για την πιθανή ύπαρξη ξένων σωμάτων μέσα στον κινητήρα.
3. Έλεγχος για το αν ο κινητήρας συνοδεύεται από το έντυπο των οδηγιών του κατασκευαστή.
4. Έλεγχος περιστροφής του δρομέα του κινητήρα.
5. Έλεγχος (στους προστατευόμενους κινητήρες IP 23) πιθανής ύπαρξης σκόνης η οποία πρέπει να απομακρύνεται με πεπιεσμένο αέρα.
6. Έλεγχος της όλης εγκατάστασης σε σχέση με τους κανονισμούς Εργατικής ασφάλειας και Πυροπροστασίας.
7. Έλεγχος των αντιστάσεων μόνωσης των περιελίξεων και των καλωδίων σύνδεσης με την χρήση μέγερ των 1000V.
8. Έλεγχος αντίστασης μόνωσης των θερμίστορ (στους κινητήρες που είναι εφοδιασμένοι με θερμίστορ) η οποία πρέπει να μετρηθεί σύμφωνα με τις ειδικές οδηγίες που συνοδεύουν τον κινητήρα όπου και αναφέρεται ο τύπος του θερμίστορ που χρησιμοποιείται. **ΠΡΟΣΟΧΗ: ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ ΣΤΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ 2V.**
9. Έλεγχος των τυλιγμάτων τόσο ως προς το σώμα όσο και μεταξύ των ιδίων για χρονική διάρκεια ενός λεπτού σε αυξανόμενη τάση εναλασσόμενου ρεύματος.
10. Έλεγχος των πλευρικών καλυμμάτων και του καλύμματος του ανεμιστήρα, ώστε να αποδίδεται ο απαιτούμενος βαθμός προστασίας.
11. Έλεγχος των ακροδεκτών, των περικοχλίων σύσφιξης και των κοχλιών της πινακίδας άκρων, ώστε να προλαμβάνεται η υπερθέρμανση των καλωδίων σύνδεσης.
12. Έλεγχος της ροής αέρα του χώρου στον οποίο θα εγκατασταθεί ο κινητήρας έτσι, ώστε η θερμοκρασία του αέρα να μην υπερβαίνει τους 40°C.
13. Έλεγχος των ελάχιστων αποστάσεων που απαιτούνται για τη δυνατότητα αναρρόφησης του ανεμιστήρα ψύξης (τουλάχιστον 1,2m από το πίσω μέρος του κινητήρα και 0,5m από τα πλάγια πρέπει να είναι ελεύθερος χώρος).
14. Έλεγχος λίπανσης. Φεύγοντας από το εργοστάσιο ο κινητήρας πρέπει να έχει τα έδρανά του ήδη γεμάτα με γράσσο και έτοιμα για λειτουργία.
  - α. Η λίπανση των εδράνων είναι μία εύκολη διαδικασία, αφού και στα δύο έδρανα υπάρχουν γρασσαδόροι για την εισαγωγή του γράσσου και βαλβίδες για την απομάκρυνση της περίσσειας του γράσσου. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η λίπανση του κινητήρα χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας του. Τα διαστήματα λίπανσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τον ένα χρόνο. Στους κινητήρες όπου δεν υπάρχει γρασσαδόρος δεν απαιτείται λίπανση καθ'όσον χρησιμοποιούνται έδρανα αυτολιπαινόμενα.
  - β. Αν το διάστημα μεταξύ της παράδοσης και της θέσης σε λειτουργία είναι μεγάλο (μεγαλύτερο από 6 μήνες), η λίπανση πρέπει να ελεγχθεί, μετακινώντας το κάλυμμα των εδράνων και παρατηρώντας, αν το γράσσο είναι σκλη-

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

ρό ή έχει χάσει τις λιπαντικές του ιδιότητες. Αν είναι αλλοιωμένο εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας αποθήκευσης πρέπει να αντικατασταθεί και τα έδρανα να καθαριστούν προσεκτικά και να στεγνώσουν με στεγνό πεπλεγμένο αέρα. Μετά τον καθαρισμό, το 1/3 έως το 1/2 του διαθέσιμου χώρου πρέπει να το γεμίσουμε με γράσσο, με αντοχή λειτουργίας μέχρι 110°C.

γ. Ασυνήθιστες ταλαντώσεις ή θόρυβοι, συνήθως οφείλονται σε κακή κατάσταση των εδράνων. Σ' αυτή την περίπτωση είναι προτιμότερη η αντικατάσταση των εδράνων.

**15.** Έλεγχος καλωδίωσης. Πριν την πρώτη εκκίνηση του κινητήρα, η ηλεκτρική καλωδίωση του κινητήρα πρέπει να υποστεί τους ακόλουθους ελέγχους από αδειούχο Ηλεκτρολόγο:

**α.** Έλεγχος του ηλεκτρικού πίνακα, των διακοπών και του αυτόματου διακόπτη εκκίνησης.

**β.** Ρύθμιση συστημάτων προστασίας.

**γ.** Η σύνδεση των τυλιγμάτων με τους αγωγούς πρέπει να γίνει σύμφωνα με τα στοιχεία που αναγράφονται στην πινακίδα του κινητήρα.

#### ➡ Έλεγχος συνδεσμολογίας - φοράς περιστροφής - εκκίνησης - σταματήματος

**1.** Η συνδεσμολογία πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό και άτομα που είναι κάτοχοι αντίστοιχης άδειας εγκαταστάσεων.

**2.** Οι ηλεκτροκινητήρες στους οποίους εφαρμόζονται οι παρούσες οδηγίες είναι σχεδιασμένοι για τάση μεταξύ των φάσεων 380/660V, 400VΔ και σε ειδικές περιπτώσεις για διαφορετική τάση (220,415 ή 500Volts).

**3.** Κινητήρες μιας ταχύτητας.

Εάν στην πινακίδα στοιχειών αναγράφεται 380Υ, ο κινητήρας πρέπει να συνδεσμοποιηθεί κατά Υ. Εάν στην πινακίδα αναγράφεται 380Δ, ο κινητήρας μπορεί να συνδεθεί απ' ευθείας Δ ή μέσω διακόπτη Υ-Δ.

**4.** Φορά περιστροφής.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες στους οποίους αναφέρονται οι παρούσες οδηγίες είναι σχεδιασμένοι, έτσι ώστε να επιτρέπουν τη φορά περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις, που πιθανόν να απαιτούνται από το οδηγούμενο μηχανήμα. Αν η γραμμή συνδέεται στους ακροδέκτες του στάτη, U, V και W και η φασική ακολουθία της γραμμής είναι 1,2,3, ο κινητήρας θα στραφεί κατά την ωρολογιακή φορά περιστροφής. Αν είναι επιθυμητή η αντίθετη φορά πρέπει να γίνει εναλλαγή των δύο από τις τρεις φάσεις που συνδέονται στον κινητήρα ή στον εκκινητή.

Στους κινητήρες Κοίλου Άξονος, όπου υπάρχει κασάνια αντεπιστροφής, πρέπει **απαραιτήτως να ελέγχεται σχολαστικά η φορά περιστροφής πριν την πρώτη εκκίνηση.**

Για τον πλήρη έλεγχο δεν αρκεί η προηγούμενη δοκιμή, αλλά πρέπει στιγμιαία να δοκιμασθεί η φορά.

## 5. Εκκίνηση.

Οι ηλεκτροκινητήρες συνήθως επιτρέπουν τη χρήση οποιασδήποτε μεθόδου εκκίνησης. (Υ-Δ, ηλεκτρονική εκκίνηση κ.α.)

### **ΠΡΟΣΟΧΗ**

Μικροί κινητήρες που τροφοδοτούνται άμεσα από θερμικούς διακόπτες μπορούν να ξεκινήσουν αυτόματα.

Για τοποθέτηση διακόπτη Υ-Δ χρειάζεται έλεγχος της τάσης λειτουργίας.

**6.** Ανεξάρτητα με την μέθοδο εκκίνησης, ένας κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να ξεκινήσει από την ψυχρή κατάσταση 2-3 φορές το πολύ, μέσα σε διάστημα 8 ωρών.

**7.** Στους δακτυλιοφόρους κινητήρες, ο χειριστής πρέπει να αυξάνει την ταχύτητα διαδοχικά. Αν η αύξηση αυτή γίνει πολύ γρήγορα ο κινητήρας απορροφά πολύ ρεύμα από τον αγωγό με συνέπεια το "κάψιμο" και την πρόωρη φθορά δακτυλίων και ψηκτρών.

**8.** Όλοι οι τύποι κινητήρων "σβήνουν" όταν διακοπεί η τροφοδοσία.

Μετά την διακοπή παροχής στον κινητήρα, για να αποσυνδέσουμε τα καλώδια τροφοδοσίας από τον πίνακα άκρων, πρέπει να περιμένουμε να σταματήσει πλήρως η περιστροφή.

**9.** Ενδεικτικές τιμές Ασφαλειών - Διακοπών - Αγωγών για σύνδεση κινητήρων, τάσεων 380V δίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.4.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

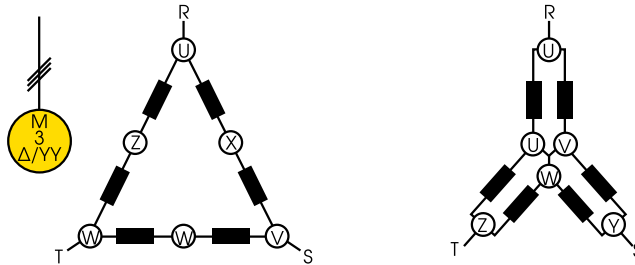
**Πίνακας 4.4.**

Ασφάλειες - Διακόπτες - Αγωγοί Α.Τ.Κ.

Ισχύς (HP)	Ασφάλεια εκκίνηση απ' ευθείας (A)	Ασφάλεια Εκκίνηση Υ/Δ (A)	Διακόπτης Υ/Δ (A)	Γενικός Διακόπτης Υ/Δ (A)	Διατομή Αγωγού (mm <sup>2</sup> )
0,25	2	-	-	16	2,5
0,33	2	-	-	16	2,5
0,50	2	-	-	16	2,5
0,75	4	-	-	16	2,5
1	4	-	-	16	2,5
1,5	6	-	-	16	2,5
2	10	6	16	16	2,5
3	10	10	16	16	2,5
4	16	10	16	16	2,5
5,5	20	16	16	16	2,5
7,5	25	16	16	16	2,5
10	25	25	25	25	4
12,5	35	25	25	25	6
15	35	25	40	40	6
20	50	35	40	40	10
25	63	50	63	40	16
30	80	63	63	60	25
35	80	63	63	60	25
40	80	63	63	60	35
50	100	80	160	100	35
60	160	100	160	100	50
75	160	125	160	100	70
100	200	160	160	200	95
125	225	200	340	200	120
150	300	250	340	200	120
180	400	300	340	400	150
220	430	300	340	400	185
270	500	430	550	400	300

10. Κινητήρες διπλών στροφών 3000/1500στρ/min ή 1500/750στρ/min.  
Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται με μια περιέλιξη με συνδεσμολογία DAHLANDER ( $\Delta/YY$ ).

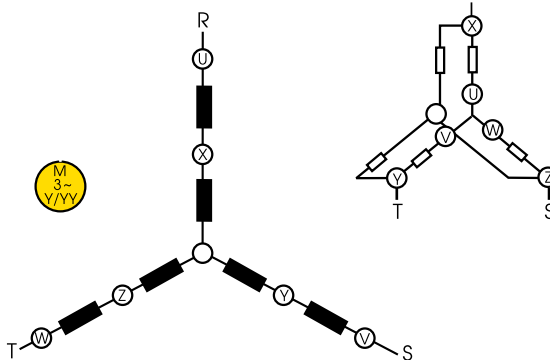
DAHLANDER  $\Delta/YY$



Σχ. 4.72: Κινητήρας με περιέλιξη (DAHLANDER)  $\Delta/YY$ .

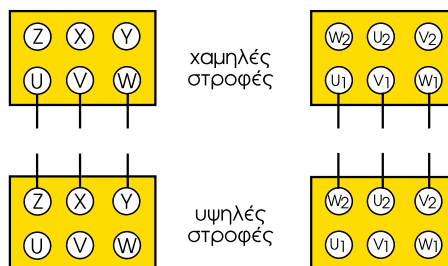
Σε περίπτωση κινητήρων για φυγοκεντρικά φορτία π.χ. ανεμιστήρες, χρησιμοποιείται ή συνδεσμολογία (DAHLANDER) ( $Y/YY$ ).

DAHLANDER ( $\Delta/YY$ )



Σχ. 4.73: Κινητήρας με περιέλιξη (DAHLANDER) ( $Y/YY$ ).

☞ Και για τις δύο περιπτώσεις στο ακροκιβώτιο έχουμε 6 ακροδέκτες.  
Η σύνδεση πρέπει να γίνεται ως εξής (σχ. 4.74):



Σχ. 4.74: Αλλαγή ταχύτητας σε ακροκιβώτιο έξι ακροδεκτών (DAHLANDER) της εταιρίας ΒΑΛΙΑΔΗΣ Α.Ε.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

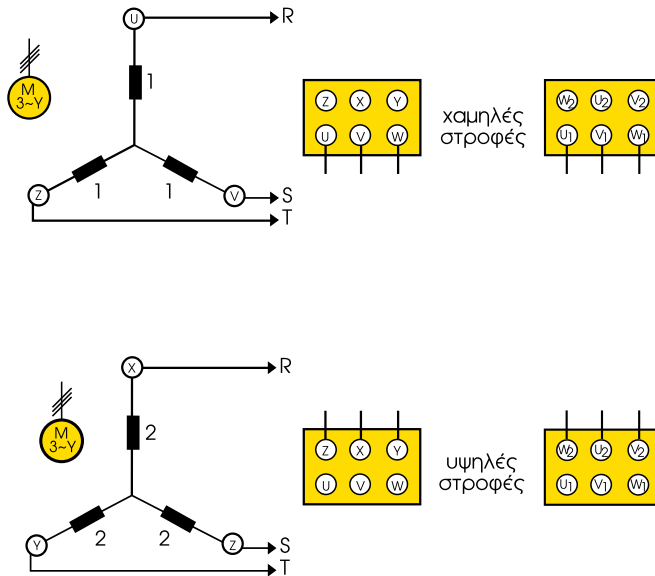
Η εκκίνηση πρέπει να γίνεται πάντοτε από τις χαμηλές στροφές.

11. Κινητήρες διπλών στροφών 1500/1000στρ/min.

Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται με δύο ανεξάρτητες περιελίξεις.

Στο ακροκιβώτιο έχουμε 6 ακροδέκτες και η σύνδεση πρέπει να γίνεται ως εξής:

DAHLANDER (Δ/ΥΥ)



Σχ. 4.75: Αλλαγή ταχύτητας σε κινητήρα με ανεξάρτητες περιελίξεις της εταιρίας ΒΑΛΙΑΔΗΣ Α.Ε.

Υπάρχουν διάφορες άλλες συνδεσμολογίες εκτός από τις βασικές που αναφέρθηκαν, οι οποίες θα πρέπει να αναζητηθούν στα συνοδευτικά έντυπα του κατασκευαστή.

#### ➡ Έλεγχοι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας

1. Μετά την εκκίνηση πρέπει να ελεγχθεί η ταχύτητα κραδασμών του κινητήρα. Οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας κραδασμών ( $V_{gr}$ ) στο σύγχρονο αριθμό στροφών ( $n_s$ ) είναι:  $V_{gr}=4,5\text{mm/sec}$ .

Σε περίπτωση αυξημένων τιμών, οι αιτίες που τις προκαλούν πρέπει να εντοπισθούν και η βλάβη να διορθωθεί.

2. Απαγορεύεται κατά την λειτουργία του κινητήρα η υπερφόρτωσή του για μεγάλο διάστημα, αντίθετα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Βραχυχρόνιες υπερφορτώσεις επιτρέπονται σύμφωνα με VDE 0530.

3. Απαγορεύεται η άμεση επαφή (να ακουμπήσετε τα χέρια σας) με το κέλυφος του κινητήρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που μπορεί να αναπτυχθούν κατά τη λειτουργία του.

4. Οι δοκιμές που γίνονται στο εργοστάσιο του κατασκευαστή εγγυώνται την καλή λειτουργία όταν εκπληρούνται οι ακόλουθοι όροι:

- Όταν η θερμοκρασία κινείται στα σύμφωνα με την κλάση μόνωσης προδιαγραφμένα όρια.
- Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται στα προδιαγραφμένα όρια (VDE 0530).

- Όταν εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαερισμού με την κατάλληλη τοποθέτηση και διατήρησή του.

Για να αποφευχθούν βλάβες που μπορούν να συμβούν αν οι ανωτέρω όροι δεν τηρηθούν, είναι απαραίτητο κατά την εκκίνηση και λειτουργία να ελέγχεται η θερμοκρασία των διαφόρων τμημάτων του κινητήρα (περιελίξεις, έδρανα κ.λπ.).

Για τις μετρήσεις πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος της καταβολής της αντίστασης με τη θερμοκρασία. Τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας είναι αυτά που αναφέρονται στα VDE 0530 για την κλάση μόνωσης που αναφέρεται στην πινακίδα του κινητήρα.

Εάν γίνεται χρήση λιπαντικών με επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους 100°C, επιτρέπεται θερμοκρασία των εδράνων μέχρι τους 70°C.

## 4.4.2. Συντήρηση κατά την λειτουργία

1. Η συντήρηση καθώς και η επισκευή των κινητήρων πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό, αδειούχους ηλεκτρολόγους με σχετική εμπειρία.

2. Για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του κινητήρα απαιτείται η καλή κατάσταση τόσο από ηλεκτρολογικής όσο και από μηχανολογικής πλευράς.

Ο εξαερισμός του κινητήρα δεν πρέπει να εμποδίζεται (από το σύστημα κάλυψης του ανεμιστήρα).

Οι έλεγχοι πρέπει να είναι ανάλογοι των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα.

3. Οι έλεγχοι και οι τακτικές επιδιορθώσεις εξαρτώνται αποκλειστικά από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, εννοώντας με αυτό τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος του χώρου εγκατάστασης, π.χ. υγρασία, περιεκτικότητα σε σκόνη, θερμοκρασία περιβάλλοντος, τύπος προστασίας κινητήρα κ.λπ.

4. Σε ορισμένες περιπτώσεις ιδιαίτερων συνθηκών λειτουργίας (π.χ. τροπικό κλίμα) πρέπει να γίνονται προληπτικοί έλεγχοι.

5. Οι ψήκτρες των δακτυλιοφόρων κινητήρων, πρέπει να αντικαθίστανται, όταν το ύψος της ψήκτρας έχει μειωθεί κατά 60%. Εάν το αρχικό ύψος της ψήκτρας είναι 40mm αυτή πρέπει να αντικατασταθεί, όταν το ύψος της φτάσει τα 16mm.

6. Κατά τη λειτουργία πρέπει περιοδικά να ελέγχονται και να επιθεωρούνται τα κάτωθι:

- οι κοιλίες και τα περικόχλια σύσφιξης του κινητήρα στη βάση του
- η ακρίβεια στη ζεύξη του κινητήρα
- η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του κινητήρα (κατ'αρχήν επί του κελύφους και τοπικώς στα έδρανα και τον άξονα)
- οι κοιλίες σύσφιξης του καλύμματος του ανεμιστήρα
- οι συνδέσεις στο κιβώτιο των ακροδεκτών (έλεγχος καλής επαφής και σύσφιξης)
- ο θόρυβος και κυρίως ο θόρυβος ο προερχόμενος από τα έδρανα
- η τάση (το "τέντωμα") των ιμάντων εάν έχουμε ιμαντοκίνηση
- η αντίσταση μόνωσης της περιέλιξης
- Στους Διακτυλιοφόρους κινητήρες πρέπει επιπλέον να ελέγχονται:



#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

**α.** οι δακτύλιοι

**β.** οι ψήκτρες ως προς το μέγεθος, την πίεση και τη δυνατότητα ολισθήσης μέσα στις ψηκτροθήκες

**γ.** ο ψηκτροφορέας ως προς την στερέωσή του και τη μόνωση.

**7.** Περιοδικά, χωρίς να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας από τη μηχανή πρέπει να γίνονται οι εξής εργασίες συντήρησης:

- καθαρισμός των καναλιών αερισμού

- καθαρισμός του πλέγματος του καλύμματος ανεμιστήρα

- λίπανση των εδράνων και έλεγχος του συστήματος λίπανσης

- καθαρισμός των μερών με ίχνη σκουριάς

- έλεγχος της αντίστασης μόνωσης της περιέλιξης και των καλωδίων σύνδεσης

**8.** Στους κινητήρες μεγάλης ισχύος είναι σκόπιμο ο αγοραστής να διατηρεί κατάσταση ωρών λειτουργίας και αριθμού εκκινήσεων.

**9.** Επισημαίνεται ακόμη, πως καμία ευθύνη δεν φέρει ο κατασκευαστής από τυχόν ατύχημα ή βλάβη που μπορεί να προκληθεί από χρήση ανταλλακτικών χωρίς εγγύηση καθώς και από τη μη συμμόρφωση με τις οδηγίες χρήσης.

#### 4.4.3. Επίπεδα θορύβου

Οι μικροί κινητήρες έχουν στάθμη θορύβου που δεν υπερβαίνει τα 70dB(A) (ακουστική πίεση).

Ακολουθεί πίνακας, στον οποίο αναφέρονται οι κινητήρες των οποίων η στάθμη θορύβου στο 1m από την επιφάνειά του μπορεί να υπερβεί τα 70dB(A).

**Πίνακας 4.5.**

**Στάθμη θορύβου κινητήρων**

Ακουστική Πίεση dB(A)			
2-πόλοι	4-πόλοι	6-πόλοι	8-πόλοι
72	-	-	-
72	-	-	-
72	-	-	-
72	-	-	-
74	-	-	-
75	-	-	-
77	-	-	-
80	71	-	-
83	80	-	75
83	80	75	75

Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται για ημιτονοειδή παροχή 50Hz.

Για ημιτονοειδή παροχή 60Hz προσθέστε 4dB(A) στις παραπάνω τιμές.

## 4.4.4. Βλάβες και επισκευές A.T.K.

Πίνακας βλαβών - διόρθωση

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Επισκευή
1. Ο κινητήρας δεν ξεκινάει ούτε εν κενώ ούτε σε φορτίο.	Δεν υπάρχει τάση τροφοδοσίας στους ακροδέκτες.	Έλεγχος του αυτόματου διακόπτη ρευματος για πιθανή διακοπή ρεύματος. Έλεγχος των καλωδίων τροφοδοσίας. Εάν υπάρχει διακοπή η σύνδεση πρέπει να γίνει πάλι.
	Μία φάση του τυλίγματος του στάτη είναι κομμένη.	Το τύλιγμα του κινητήρα πρέπει να ελεγχθεί με megometer και να διορθωθεί.
	Τροφοδοσία με τάση μικρότερη από την ονομαστική.	Οι κατάλληλες μετρήσεις πρέπει να γίνουν και να δοθεί τάση τροφοδοσίας ίση με την ονομαστική του κινητήρα.
	Η ροπή του φορτίου είναι μεγαλύτερη από τη ροπή εκκίνησης.	Η μηχανή που οδηγείται πρέπει να ελεγχθεί και να διορθωθεί.
2. Δύσκολη εκκίνηση ακολουθούμενη από μεγάλο βύθισμα ταχύτητας.	Οι μπάρες του δρομέα έχουν κοπεί ή έχουν αποσυγκολληθεί.	Έλεγχος αν οι μπάρες του κλωβού εφάπτονται του δακτυλίου βραχυκύκλωσης. Οποιοδήποτε σφάλμα πρέπει να διορθωθεί.
3. Δύσκολη εκκίνηση ακολουθούμενη από θόρυβο και υπερθέρμανση.	Τα έδρανα είναι φθαρμένα.	Τα κατεστραμένα έδρανα πρέπει να αντικατασταθούν.
4. Κανονική εκκίνηση ακολουθούμενη από μεγάλη πτώση του αριθμού στροφών.	Πολύ χαμηλή τάση στους ακροδέκτες λόγω μεγάλης πτώσης τάσεως στα καλώδια τροφοδοσίας.	Τα καλώδια τροφοδοσίας πρέπει να αντικατασταθούν.
5. Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται.	Η τάση είναι πολύ υψηλή και προκαλεί απώλειες σιδήρου. Η τάση είναι πολύ υψηλή και προκαλεί απώλειες χαλκού. Υπερφόρτωση του κινητήρα.	Η τάση πρέπει να αποκατασταθεί στην ονομαστική τιμή. Έλεγχος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο. Έλεγχος φορτίου.
	Ιμάντας πολύ σφικτός.	Διόρθωση τάσης ιμάντα.
	Ασύμμετρη ηλεκτρική φόρτιση (καμμένη ασφάλεια, σφάλμα στη διάταξη ελέγχου, διακοπή μιας φάσης).	Αντικατάσταση ασφάλειας, έλεγχος, σύνδεση.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Επισκευή
	Κακός αερισμός. Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών.	Ελεγχος συνδεσμολογίας σωστή σύνδεση.
6. Ο στάτης υπερθερμαίνεται σε ορισμένα σημεία και η υπερθέρμανση συνοδεύεται από υπερφόρτιση, σε μία ή δύο φάσεις, και δυνατό θόρυβο.	Εσωτερικό βραχυκύκλωμα στην περιέλιξη του στάτη.	Αντικατάσταση της περιέλιξης.
7. Όταν λειτουργεί ο κινητήρας, ο δρομέας έρχεται σε επαφή με το στάτη και δημιουργεί θόρυβο και υπερθέρμανση.	Είναι πιθανόν ότι το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα δεν είναι πια ομοιόμορφο, λόγω ρωγμών στα έδρανα ή στα καπάκια τους ή λόγω κάποιας κλίσης του άξονα.	Τα καπάκια και τα φθαρμένα μέρη των εδράνων πρέπει να αντικατασταθούν.
8. Ο κινητήρας παρουσιάζει κραδασμούς κατά τη λειτουργία.	Λανθασμένη ευθυγράμμιση του άξονα λόγω κακής θεμελίωσης ή ανώμαλης επιφάνειας του εδάφους.	Η βάση πρέπει να στερεωθεί.
	Οι κραδασμοί μπορεί να μεταφέρονται από τη μηχανή που οδηγείται.	Πρέπει να γίνει αποσύζευξη από τη μηχανή ελέγχοντας τη λειτουργία εν κενώ του κινητήρα. Εάν η λειτουργία είναι χωρίς κραδασμούς, είναι βέβαιο ότι οι κραδασμοί μεταφέρονται από τη μηχανή που κινεί ο κινητήρας.
9. Τα έδρανα υπερθερμαίνονται.	Έχει εισχωρήσει σκόνη ή άλλα ξένα σώματα, ή το λιπαντικό είναι βρώμικο.	Το παλιό λιπαντικό απομακρύνεται. Τα έδρανα πλένονται και λιπαίνονται με κατάλληλο λιπαντικό.
	Το υπερβολικό γράσσο στο έδρανο αυξάνει τις απώλειες των τριβών.	Αφαιρείται το επιπλέον γράσσο.
	Η βαλβίδα λιπαντικού δεν λειτουργεί κανονικά και το έδρανο έχει φθαρεί ή καταστραφεί.	Πρέπει να αντικατασταθεί.
	Ο μάντας που οδηγείται είναι πολύ σφιγμένος.  Η μηχανή που οδηγείται δεν είναι καλά κεντραρισμένη.	Ο μάντας πρέπει να χαλαρώσει.  Η έδραση των εδράνων και το κεντράρισμα της μηχανής πρέπει να ελεγχθούν.

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Επισκευή
10. Ασυνήθης θόρυβος στο έδρανο συχνά συνοδευόμενος από αύξηση της θερμοκρασίας	Τα έδρανα χρειάζονται καθαρισμό.	Αφαιρείται το παλιό λιπαντικό και αντικαθίσταται με νέο.
	Το έδρανο έχει καταστραφεί.	Αντικατάσταση με καινούριο.
	Λανθασμένη ζεύξη ή κακή ευθυγράμμιση.	Έλεγχος συναρμολόγησης και διόρθωση. Έλεγχος ευθυγράμμισης.
11. Κινητήρας με δακτυλίδια στρέφεται με χαμηλή ταχύτητα ενώ έχουμε βραχυκυκλώσει την εξωτερική αντίσταση του εκκινητή.	Πολύ μικρή διατομή καλωδίου στη διάταξη ρύθμισης.	Αντικατάσταση.
	Η διάταξη ρύθμισης της ταχύτητας είναι πολύ μακριά από τον κινητήρα.	Αλλαγή θέσης ρυθμιστή.
	Διακοπή στο κύκλωμα του δρομέα ή στο καλώδιο που συνδέει τον εκκινητή.	Αντικατάσταση τυλίγματος.
	Ακαθαρσίες μεταξύ δακτυλιδιών και ψηκτρών.	Καθαρισμός με βούρτσα και αμυριδόπανο.
	Οι ψήκτρες είναι κολλημένες στις ψηκτροθήκες. Η πίεση των ελατηρίων των ψηκτρών δεν είναι κατάλληλη.	Αντικατάσταση ψηκτρών ψηκτροφορέα.
	Ανώμαλη η επιφάνεια των δακτυλιδιών.	Τρίψιμο με αμυριδόπανο ή αντικατάσταση.
	Δακτυλίδια έκκεντρα.	Αντικατάσταση.
	Υπερβολικές δονήσεις.	Έλεγχος στήριξης.
	Πυκνότητα ρεύματος ψηκτρών πολύ μεγάλη (υπερφόρτιση).	Έλεγχος φορτίου.
12. Προβλήματα στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών:	Υπερβολικά υψηλή αδράνεια, μεγάλο φορτίο.	Ροοστάτης ρύθμισης πιο αργά. Μείωση φορτίου. Απαιτείται μεγαλύτερος ρυθμιστής.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

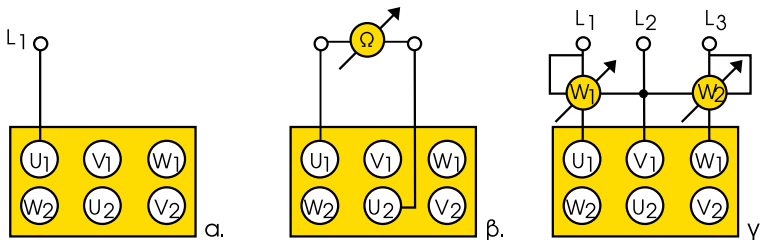
Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Επισκευή
α) Ενεργοποιείται το σύστημα προστασίας κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση	Βραχυκύκλωμα στην έξοδο.	Απομάκρυνση του βραχυκυκλώματος.
β) Ενεργοποιείται το σύστημα προστασίας κατά την ομαλή λειτουργία του ρυθμιστή.	Υπερβολικά υψηλό φορτίο.	Μείωση του φορτίου.
	Μακριά καλώδια εξόδου. Καταστροφή γέφυρας ή Θυρίστωρ.	Μείωση του μήκους των καλωδίων. Ηλεκτρονικό εργαστήριο - Προμηθευτής.

### 4.4.5. Βασικές μετρήσεις και υπολογισμοί στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες

#### 1.Εύρεση ακροδεκτών των πηνίων του στάτη

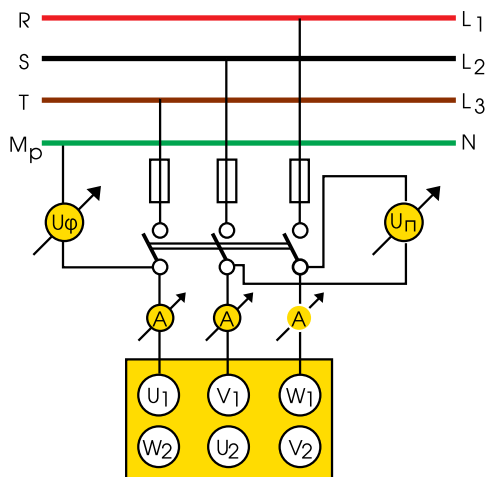
α) Συνδέουμε μια φάση σε ένα από τα άνω άκρα και με ένα δοκιμαστικό κατασαβίδι ελέγχουμε τα κάτω άκρα. Όπου ανάψει το δοκιμαστικό είναι το άλλο άκρο του πηνίου. Διαφορετικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ωμόμετρο.

β) Αφού μηδενίσουμε το ωμόμετρο, συνδέουμε τον ένα ακροδέκτη του σε ένα από τα άνω άκρα και τον δεύτερο με τη σειρά στα τρία κάτω. Όπου έχει ένδειξη είναι το άλλο άκρο του πηνίου που ψάχνουμε.



Σχ. 4.76: Μετρήσεις σε κινητήρα:

α. & β. εύρεση ακροδεκτών στάτη γ. μέτρηση ισχύος.



Σχ. 4.77: Μέτρηση φυσικής τάσης και ρεύματος γραμμής κινητήρα.

2. Μέτρηση φυσικής τάσης  $U_{\phi}$  και πολικής τάσης  $U_{\pi}$  μετά το κλείσιμο του διακόπτη  $\Delta$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.77.

3. Μέτρηση ρεύματος γραμμής κινητήρα με αμπερόμετρο ή για ευκολία με αμπεροταιμπίδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.77.

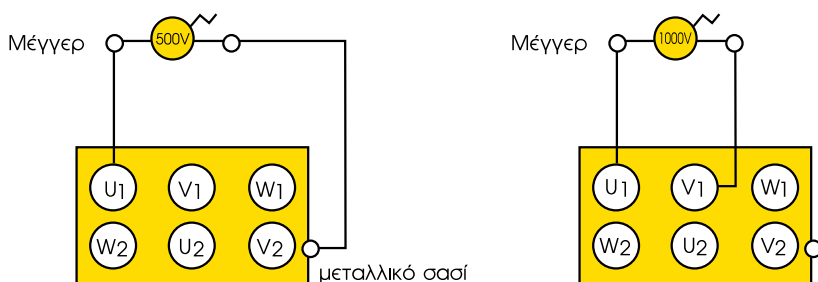
4. Μέτρηση ισχύος που απορροφά ο κινητήρας με δύο βατόμετρα σε σύνδεση Ααση:  $W=W_1+W_2$  όπως φαίνεται στο σχήμα 4.79γ.

5. Υπολογισμός συντελεστή ισχύος

$$\text{συνφ} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} = \frac{W_1 + W_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \quad (4.17)$$

6. Έλεγχος αντίστασης μόνωσης των περιελίξεων του κινητήρα με Μέγγερ

Ελέγχουμε την αντίσταση μόνωσης κάθε φάσης ως προς το σασί του κινητήρα και φάσης-φάσης για έλεγχο υγρασίας, πρέπει το Μέγγερ στα 500V να έχει ένδειξη τουλάχιστον 40MΩ. Στη συνέχεια ελέγχουμε την αντίσταση μόνωσης κάθε φάσης ως προς το σασί του κινητήρα και κάθε φάσης ως προς τις υπόλοιπες δύο με Μέγγερ στα 1000V.



Σχ. 4.78: Μετρήσεις με Μέγγερ.

#### 4. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

##### 7. Διόρθωση συντελεστή ισχύος από συνφ<sub>1</sub> σε συνφ<sub>2</sub> ≥ 0,85 σύμφωνα με την ΔΕΗ

α. Μετρούμενα μεγέθη: A, V, W

β. Υπολογισμοί:

Από το γνωστό  $\text{συν}\varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$  υπολογίζουμε την τιμή της εφφ<sub>1</sub>.

Με συνφ<sub>2</sub> δεδομένο, υπολογίζουμε τη τιμή της εφφ<sub>2</sub>.

Για να γίνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος από την τιμή συνφ<sub>1</sub> σε συνφ<sub>2</sub> θα συνδεθούν τρεις πυκνωτές σε αστέρα στα άκρα U,V,W του κινητήρα, μεγέθους:

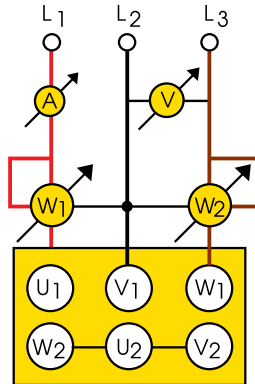
$$C_Y = \frac{P}{3} \frac{(\text{εφ}\varphi_1 - \text{εφ}\varphi_2)}{2\pi f U \varphi^2} \quad \text{με} \quad U \varphi = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (4.18)$$

ή τρεις πυκνωτές σε τρίγωνο στα άκρα U,V,W, μεγέθους:

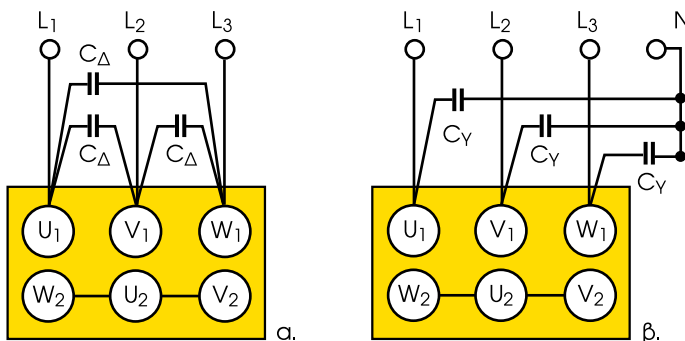
$$C_{\Delta} = \frac{P}{3} \frac{(\text{εφ}\varphi_1 - \text{εφ}\varphi_2)}{2\pi f U^2} \quad (4.19)$$

Εύκολα προκύπτει:

$$C_Y = 3XC_{\Delta} \quad (4.20)$$



Σχ. 4.79: Μετρήσεις για εύρεση συντελεστή ισχύος



Σχ. 4.80: Διόρθωση συντελεστή ισχύος (αντιστάθμιση), α) σε τρίγωνο, β) σε αστέρα.

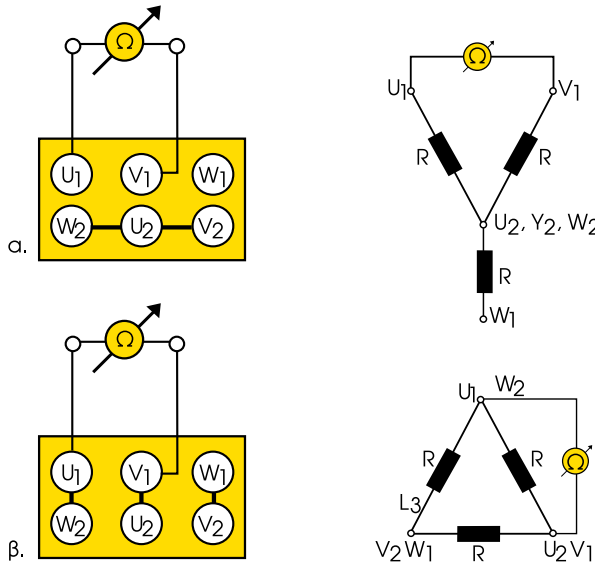
## 8. Μέτρηση αντίστασης τυλιγμάτων στάτη

Σε **συνδεσμολογία αστέρα** η μετρούμενη με το ωμόμετρο αντίσταση, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.81α, είναι:

$$R_{\mu} = 2R \text{ άρα: } R = R_{\mu} / 2.$$

Σε **συνδεσμολογία τριγώνου** η μετρούμενη με το ωμόμετρο αντίσταση είναι:

$$R_{\mu} = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2}{3} R \text{ άρα: } R = \frac{3}{2} R_{\mu}$$



Σχ. 4.81: Μετρήσεις αντίστασης των τυλιγμάτων του στάτη, α) σε αστέρα, β) σε τρίγωνο.

## 4.4.6. Παραγγελία - Ανταλλακτικά

Όταν γίνεται παραγγελία ενός κινητήρα πρέπει να δίνονται οι εξής πληροφορίες:

- ισχύς (σε HP ή kw)
- ταχύτητα
- τάση
- συχνότητα
- έδραση
- θερμοκρασία περιβάλλοντος
- συνθήκες λειτουργίας (αριθμός εκκινήσεων κ.α.)

Όταν χρειαστούν ανταλλακτικά είναι απαραίτητος ο αριθμός σειράς του κινητήρα.



### 4.4.7. Ερωτήσεις

1. Αναφέρετε ονομαστικά τους βασικούς ελέγχους που πρέπει να γίνονται στους ηλεκτρονικούς κινητήρες.
2. Ποιοι είναι οι τρεις βασικοί τύποι προστασίας που πρέπει ο εγκαταστάτης κινητήρων να εξασφαλίσει;
3. Πώς γίνεται ο έλεγχος υγρασίας (όργανα, μετρήσεις, στέγνωμα);
4. Πώς πρέπει να αυξάνει ο χειριστής δακτυλιοφόρου κινητήρα την ταχύτητα και για ποιο λόγο;
5. Γιατί μετά τη διακοπή τροφοδοσίας πρέπει να περιμένουμε να σταματήσει πλήρως η περιστροφή για να αποσυνδέσουμε τα καλώδια τροφοδοσίας;
6. Σχεδιάστε κινητήρα διπλών στροφών με τύλιγμα (DAHLANDER) Δ/ΥΥ, και Υ/ΥΥ.
7. Ποιες εργασίες συντήρησης πρέπει να γίνονται περιοδικά χωρίς να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας;
8. Ποιοι έλεγχοι και επιθεωρήσεις πρέπει να γίνονται περιοδικά κατά τη λειτουργία του κινητήρα;
9. Πώς μπορείτε να βρείτε τους ακροδέκτες των πηνίων του στάτη κινητήρα;
10. Πώς μπορείτε να υπολογίσετε το συντελεστή ισχύος κινητήρα;
11. Σχεδιάστε κυκλώματα μέτρησης αντίστασης μόνωσης περιελίξεων κινητήρα και εξηγήστε τη διαδικασία μέτρησης.
12. Σχεδιάστε κυκλώματα μέτρησης αντίστροφης μόνωσης εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης και εξηγήστε τη διαδικασία μέτρησης.
13. Πώς γίνεται η διόρθωση του συντελεστή ισχύος;
14. Σχεδιάστε και εξηγήστε κύκλωμα μέτρησης αντίστροφης μόνωσης τυλιγμάτων στο στάτη.
15. Ποιά στοιχεία πρέπει να έχουμε για να παραγγείλουμε τον κατάλληλο κινητήρα;

➡ **Βάλτε σε κύκλο το γράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

16. Η πινακίδα κινητήρα αναγράφει 380Υ μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυο 220/380V ΔΕΗ:
  - α. κατά Υ,
  - β. κατά Δ,
  - γ. με διακόπτη Υ-Δ.

17. Ανεξάρτητα με τη μέθοδο εκκίνησης, ένας κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να εκκινήσει χωρίς να δημιουργηθούν στο μέλλον προβλήματα από την ψυχρή κατάσταση:
- α. 2-3 φορές το πολύ μέσα σε διάστημα 8 ωρών,
  - β. μέχρι 20 φορές ανάλογα με την ισχύ του,
  - γ. δεν υπάρχει πρόβλημα αριθμού εκκινήσεων, αφού έχει εξασφαλιστεί ο σωστός τρόπος εκκίνησης.
18. Οι ψήκτρες του δακτυλιοφόρου κινητήρα πρέπει να αντικαθίστανται:
- α. όταν καταστραφούν,
  - β. όταν το ύψος της ψήκτρας μειωθεί κατά 60%,
  - γ. όταν έχει μείνει 10% του αρχικού ύψους.
19. Η ροπή του φορτίου είναι μεγαλύτερη από τη ροπή εκκίνησης του κινητήρα:
- α. ο κινητήρας θα υπερθερμανθεί,
  - β. δύσκολη εκκίνηση ακολουθούμενη από μεγάλο βύθισμα τάσης,
  - γ. ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει.
20. Ο έλεγχος καλωδίωσης κατά την πρώτη εκκίνηση του κινητήρα περιλαμβάνει:
- α. έλεγχο πίνακα-διακοπών-αυτόματου.
  - β. έλεγχο πίνακα-κινητήρα.
  - γ. έλεγχο καλωδίωσης εκκινητή.
  - δ. όλα τα παραπάνω.

## 4.5. Ανακεφαλαίωση

◆ Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες (Α.Τ.Κ.) ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα διακρίνονται σε δύο τύπους:

**α)** κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα,

**β)** κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα.

◆ Το τριφασικό σύστημα παροχής ισχύος αποτελείται από τρεις φάσεις που έχουν ίδιο μέτρο τάσης αλλά διαφορά τάσης  $120^\circ$ .

◆ Ο στάτης Α.Τ.Κ. αποτελείται από τρία πηνία με έξι ακροδέκτες. Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας τους έχουμε σύνδεση σε αστέρα ή σε τρίγωνο.

◆ Ο μεταφορέας ταχύτητας βρίσκεται στο εσωτερικό του κινητήρα στο πίσω μέρος.

◆ Ο δρομέας του Α.Τ.Κ. με δακτυλίδια έχει τριφασικό τύλιγμα που τα τρία άκρα του καταλήγουν σε τρία δακτυλίδια, τα οποία μέσω ψηκτρών ενώνονται με αντιστάσεις.

◆ Τα τρία πηνία του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα και δημιουργούν περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στο τύλιγμα του δρομέα αναπτύσσονται επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούν μαγνητικές δυνάμεις που τον περιστρέφουν

$$F = B_{\sigma} \cdot I_{\sigma} \cdot l$$

◆ Το μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα:  $n_s = \frac{60f}{p}$

και ο δρομέας με ταχύτητα  $n$  που είναι πάντα μικρότερη της σύγχρονης.

Ολίσθηση είναι το πηλίκο:  $s = \frac{n_s - n}{n_s}$

◆ Η ροπή που αναπτύσσει στον άξονά του ο κινητήρας είναι:  $T = \frac{9,55 \cdot P}{n}$

◆ Η εκκίνηση Α.Τ.Κ./βραχυκυκλωμένου δρομέα γίνεται με πέντε τρόπους: **α)** απευθείας εκκίνηση, **β)** εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου, **γ)** με αντιστάσεις στο στάτη, **δ)** με αυτομετασχηματιστή και **ε)** με ηλεκτρονικό εκκινήτη.

◆ Η ρύθμιση στροφών Α.Τ.Κ./βραχυκυκλωμένου δρομέα γίνεται: **α)** με αλλαγή του πλήθους των πόλων και **β)** με μεταβολή της συχνότητας.

◆ Οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές στροφών αλλάζουν την τάση λειτουργίας με παράλληλη μεταβολή της συχνότητας ώστε ο λόγος  $u/f$  να παραμένει σταθερός. Αποτελούνται από ένα ελεγχόμενο ανορθωτή, ένα φίλτρο εξομάλυνσης, ένα αντιστροφέα και συνήθως από μία μονάδα ελέγχου (μικροεπεξεργαστή). Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή έχουμε πολλά πλεονεκτήματα κατά την εκκίνηση και λειτουργία του Α.Τ.Κ.

◆ Η αλλαγή φοράς περιστροφής Α.Τ.Κ. επιτυγχάνεται με αντιμετάθεση δύο φάσεων.

◆ Η πέδηση Α.Τ.Κ. γίνεται με διάφορους τρόπους: **α)** μηχανική πέδηση, **β)** ελεύθερη πέδηση, **γ)** ομαλή πέδηση.

◆ Η ισχύς που απορροφά ο Α.Τ.Κ. από το δίκτυο είναι:  $P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$  συνφ και η ισχύς

που δίνει στον άξονά του:  $P = \frac{T \cdot n}{9,55}$

◆ Οι απώλειες ενός Α.Τ.Κ. είναι: **α) σταθερές:** μαγνητικές ή απώλειες σιδήρου ( $P_{\sigma}$ ) και μηχανικές ( $P_{\mu}$ ) και **β) μεταβλητές:** ηλεκτρικές απώλειες στάτη ( $P_{x,\sigma}$ ) και δρομέα ( $P_{x,\delta}$ ).

Ο βαθμός απόδοσης είναι:  $\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - P_{\text{απ}}}{P_1}$

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

◆ Οι Α.Τ.Κ./με δακτυλίδια λόγω εξωτερικής αντίστασης παρουσιάζουν μεγάλη ροπή εκκίνησης με μικρό σχετικά ρεύμα. Η ρύθμιση στροφών αντίστοιχα, γίνεται όπως στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, αλλά με μεγαλύτερα περιθώρια ρύθμισης με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.

◆ Οι κινητήρες κατά την αγορά και τη λειτουργία τους υπόκεινται στους ακόλουθους ελέγχους:

- έλεγχος με την παράδοση
- έλεγχος μεταφοράς και αποθήκευσης
- έλεγχος προστασίας
- έλεγχος θεμελίωσης
- έλεγχος υγρασίας
- έλεγχος μηχανικής ζεύξης
- έλεγχος πριν την έναρξη λειτουργίας
- έλεγχος συνδεσμολογίας-φοράς περιστροφής-εκκίνησης-σταματήματος
- έλεγχος κατά την διάρκεια λειτουργίας

◆ Οι βασικές μετρήσεις και υπολογισμοί που πρέπει να γνωρίζει ο εγκαταστάτης είναι:

- εύρεση ακροδεκτών
- μέτρηση φασικής και πολικής τάσης
- μέτρηση ρεύματος γραμμής
- μέτρηση ισχύος
- υπολογισμός συντελεστή ισχύος
- διόρθωση συντελεστή ισχύος
- έλεγχος αντίστασης μόνωσης, κινητήρα και εγκατάστασης