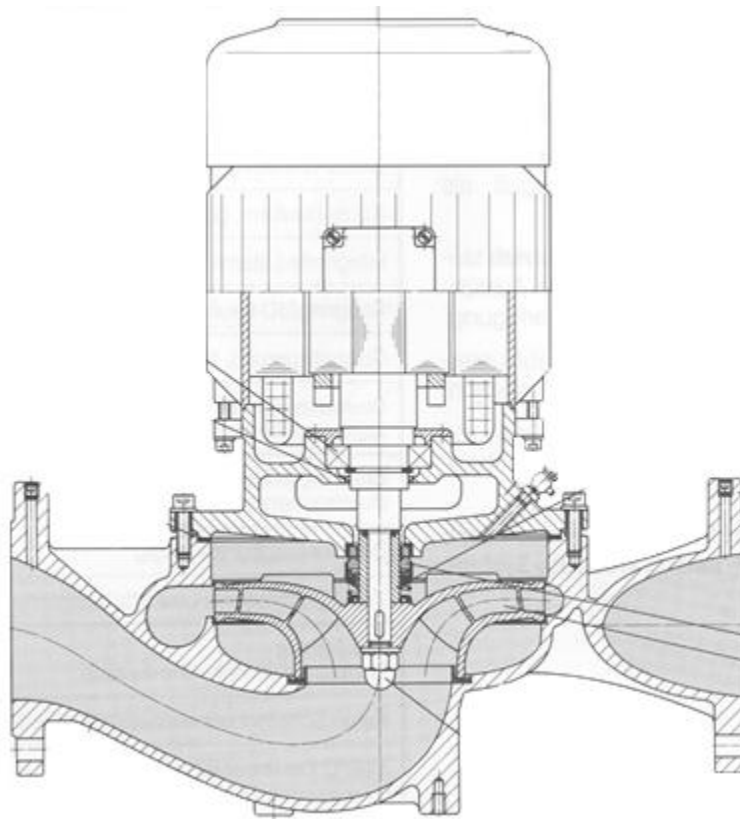


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΕΣ ΝΕΡΟΥ
ΟΔΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΑΓΓΕΛΗΣ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΣΥΛΛΙΓΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Περιεχόμενα

| | |
|---|--|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 4 |
| 1. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.) | |
| 1.1 | Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....5 |
| 1.2 | Κατασκευαστικά στοιχεία του στάτη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....6 |
| 1.3 | Χρησιμότητα του στάτη των Α.Τ.Κ.....6 |
| 1.4 | Πολικά-φασικά μεγέθη.....7 |
| 1.5 | Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.....8 |
| 1.6 | Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....9 |
| 1.7 | Ολίσθηση.....10 |
| 1.8 | Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....10 |
| 2. Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες με Βραχυκυκλωμένο Δρομέα (Κ.Β.Δ.) | |
| 2.1 | Κατασκευαστικά στοιχεία.....12 |
| 2.2 | Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες.....14 |
| 2.3 | Τάση λειτουργίας.....15 |
| 2.4 | Εκκίνηση ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.....15 |
| 2.5 | Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα..22 |
| 2.6 | Αλλαγή φοράς περιστροφής.....27 |
| 2.7 | Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....28 |
| 2.8 | Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....29 |
| 3. Αντλίες | |
| 3.1 | Είδη αντλιών.....31 |
| 3.2 | Αρχή λειτουργίας.....32 |
| 3.3 | Δομή και σχεδιασμός.....33 |
| 3.4 | Τύποι και εφαρμογές.....40 |
| 3.5 | Μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης.....40 |
| 3.6 | Αντλίες διπλής αναρρόφησης.....41 |
| 3.7 | Πολυβάθμιες αντλίες.....42 |
| 3.8 | Ειδικές φυγοκεντρικές αντλίες.....42 |
| 3.9 | Αντλίες αξονικής ροής.....42 |
| 4. Πειραματικό μέρος | |
| 4.1 | Περιγραφή κατασκευής.....43 |
| 4.2 | Τεχνικές προδιαγραφές ρυθμιστή στροφών (Inverter).....44 |
| 4.3 | Περιγραφή ηλεκτρικής σύνδεσης και εξαρτημάτων.....46 |
| 4.4 | Περιγραφή πειράματος.....48 |
| 4.5 | Διαγράμματα.....50 |
| 4.6 | Συμπεράσματα.....51 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι οι πλέον διαδεδομένοι και οι απλούστεροι ηλεκτροκινητήρες. Τα μεγάλα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών έναντι όλων των άλλων τύπων είναι το χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησής τους.

Με τη χρήση των ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών (inverters) όχι μόνο έχει επιτευχθεί η ρύθμιση των στροφών των ασύγχρονων κινητήρων αλλά ταυτοχρόνως βελτιώθηκαν ή και εξαφανίσθηκαν τα μειονεκτήματά τους.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από περιστρεφόμενες μονάδες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης δυναμικότητας, οι οποίες κινούνται είτε από μηχανές εσωτερικής καύσεως, είτε από ηλεκτρικούς κινητήρες είτε από ατμοστροβίλους. Μολονότι υπάρχει μια μεγάλη γκάμα φυγοκεντρικών αντλιών υπάρχουν κοινά συγκριτικά πλεονεκτήματα των φυγοκεντρικών αντλιών σε σχέση με τους άλλους τύπους αντλιών.

Στην εργασία αυτή θα εξετάσουμε, μέσω πειραματικών μετρήσεων, κατά πόσο μπορούμε να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας με αντλίες νερού οδηγούμενες από τριφασικούς κινητήρες.

1. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)

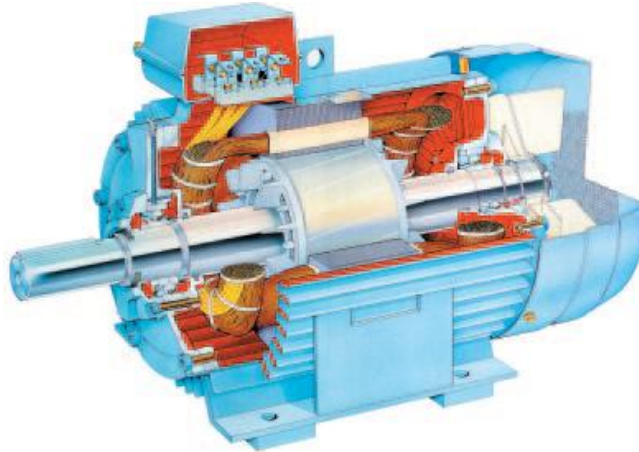
1.1 Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

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.

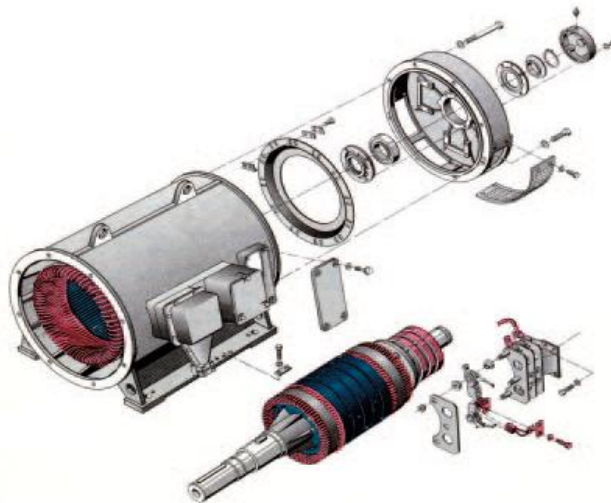
Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε **μονοφασικούς** και **τριφασικούς**. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε τους τριφασικούς κινητήρες. Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες ανάλογα με τη κατασκευή του δρομέα **διακρίνονται** σε δύο τύπους :

α) κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα (σχ. 1.1)



σχ. 1.1

β) κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα (σχ. 1.2)



σχ. 1.2

1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία του στάτη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων (Α.Τ.Κ.)

Το ακίνητο μέρος ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, ο **στάτης**, αποτελεί το μόνο στοιχείο που συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο. Μέσα στο κέλυφος είναι τοποθετημένος ο **πυρήνας** του τυμπάνου, που κατασκευάζεται από πολλά **μαγνητικά ελάσματα**, συνήθως πυριτιούχου χάλυβα, που κόβονται σε ειδικές πρέσες και έχουν τη μορφή του σχήματος 1.3.

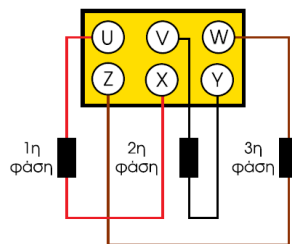


σχ. 1.3 : Μαγνητικά ελάσματα στάτη

Τα ελάσματα αυτά είναι περασμένα με ειδικό βερνίκι, συγκρατούνται με κοχλίες και αποτελούν το **ζύγωμα** της μηχανής. Στα **αυλάκια** (οδοντώσεις) που σχηματίζονται τοποθετούνται οι τρεις φάσεις του τυλίγματος, ώστε να δημιουργείται στο εσωτερικό ένα μαγνητικό πεδίο $B_{ολ}$.

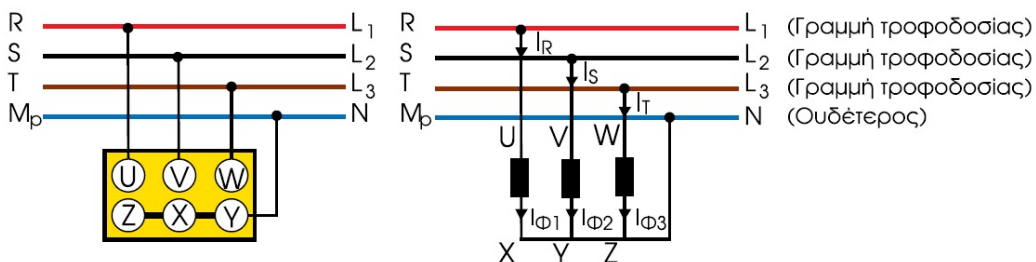
1.3 Χρησιμότητα του στάτη των Α.Τ.Κ.

Ο στάτης χρειάζεται για να δημιουργεί τη διέγερση της μηχανής, που στην περίπτωση των Α.Τ.Κ. Είναι ένα **στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο**. Στις οδοντώσεις του πυρήνα τοποθετείται τριφασικό τυλίγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες του κινητήρα (σχ.1.4).

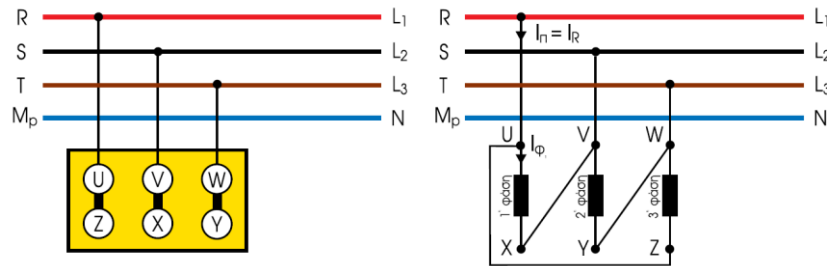


σχ.1.4 : Άκρα τριφασικής μηχανής

Οι τρεις φάσεις του τυλίγματος του στάτη συνδέονται σε αστέρα (σχ.1.5.α) ή τρίγωνο (σχ.1.5.β).



σχ.1.5.α : Συνδεσμολογία αστέρα



σχ.1.5.β : Συνδεσμολογία τριγώνου

Τα άκρα U,V,W χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν στο τριφασικό δίκτυο τροφοδοσίας R,S,T,M_p (παλιός συμβολισμός), L₁,L₂,L₃, N (νέος συμβολισμός) και να παίρνουν ισχύ, ενώ τα X,Y,Z για να δημιουργούν αλληλένδετο τριφασικό σύστημα.

1.4 Πολικά-φασικά μεγέθη.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να συνδεθούν οι τρεις φάσεις:

- **σύνδεση σε αστέρα (Y)**

Ενώνοντας με χάλκινα λαμάκια τους ακροδέκτες X,Y,Z της μηχανής, συνδέουμε τα τυλίγματα σε αστέρα Y όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5.α. Η τάση στα άκρα μιας φάσης λέγεται **φασική τάση** και η τάση μεταξύ δύο γραμμών τροφοδοσίας, **πολική τάση**.

$$\text{Ισχύει : } U_{\text{πολική}} = \sqrt{3} U_{\text{φασική}} \text{ ή σε συντομία } U_{\pi} = \sqrt{3} U_{\phi}$$

$$I_{\text{φασικό}} = I_{\text{πολικό}} \text{ ή σε συντομία } I_{\phi} = I_{\pi}$$

- **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 1.5.β.

Στη συνδεσμολογία τριγώνου ισχύει:

$$U_{\text{φασική}} = U_{\text{πολική}} \text{ ή σε συντομία } U_{\phi} = U_{\pi}$$

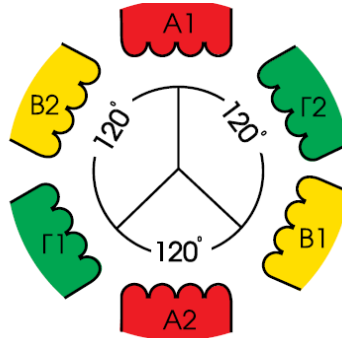
$$I_{\text{πολικό}} = \sqrt{3} I_{\text{φασικό}} \text{ ή σε συντομία } I_{\pi} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

Ανεξάρτητα από τη συνδεσμολογία η **πραγματική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο είναι:**

$$P = \sqrt{3} U_{\pi} I_{\pi} \cos \varphi \text{ (σε W)}$$

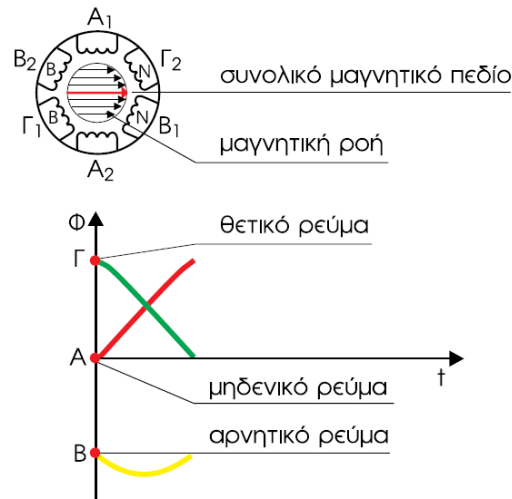
1.5 Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο

Ο στάτης κάθε σύγχρονου τριφασικού κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα (Α,Β,Γ) που σχηματίζουν γωνίες 120° μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6. Όταν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στο στάτη, έχουμε ροή ρεύματος μέσα από τα πηνία. Η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος.



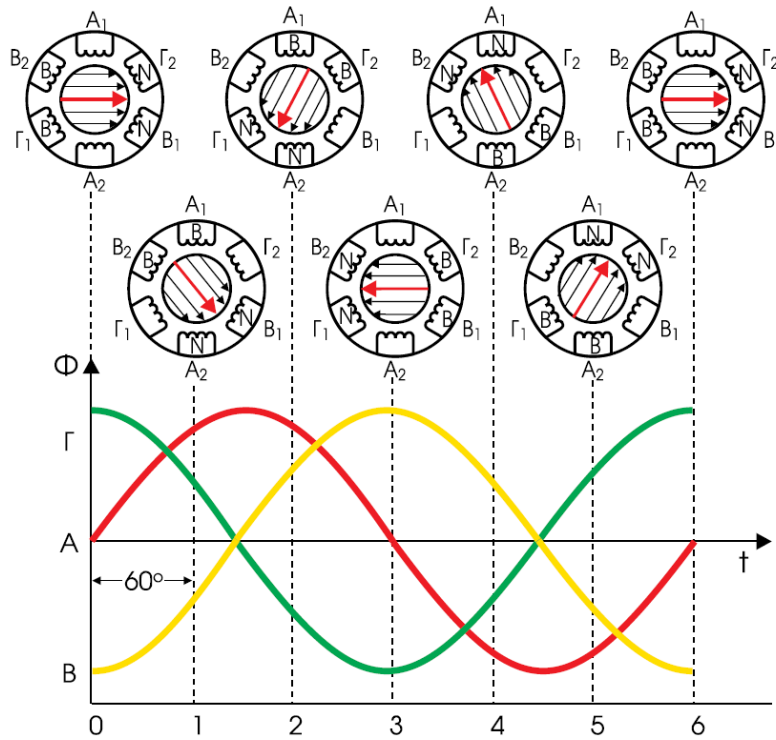
σχ. 1.6 : Τριφασικό τύλιγμα στάτη

Τα τρία τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα. Για να γίνει κατανοητή η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου επιλέγουμε την χρονική στιγμή μηδέν ($t=0$). Το ρεύμα στο πηνίο Α είναι μηδέν, στο Β είναι αρνητικό και στο Γ θετικό. Τα Β₁ και Γ₂ είναι Νότιοι πόλοι και τα Β₂ και Γ₁ Βόρειοι πόλοι. Η δημιουργούμενη συνολική μαγνητική ροή φαίνεται στο σχήμα 1.7.



σχ.1.7 : 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° , όταν το ρεύμα συμπληρώνει φάση 360° , το μαγνητικό πεδίο έχει περιστραφεί αντίστοιχα κατά 360° .



σχ.1.8 : Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο

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.

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 μηδενιστεί η μαγνητική δύναμη και θα σταματήσει ο κινητήρας.

Όπως είναι γνωστό: $F=B_{\sigma}I_{\delta}L$

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

B_{σ} : μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (VS/m²)

I_{δ} : ρεύμα δρομέα από επαγωγή σε (A)

L : μήκος αγωγού δρομέα σε (m)

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

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

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 .

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

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

1.8 Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

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

Μέσα από σχέσεις της Μηχανικής καταλήγουμε στην έκφραση της ροπής:

$$T = \frac{9,55 P}{n}$$

όπου : T : ροπή (σε Nm)

P : αποδιδόμενη ισχύς (σε W)

n : ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

Στο σχήμα 1.9 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**.

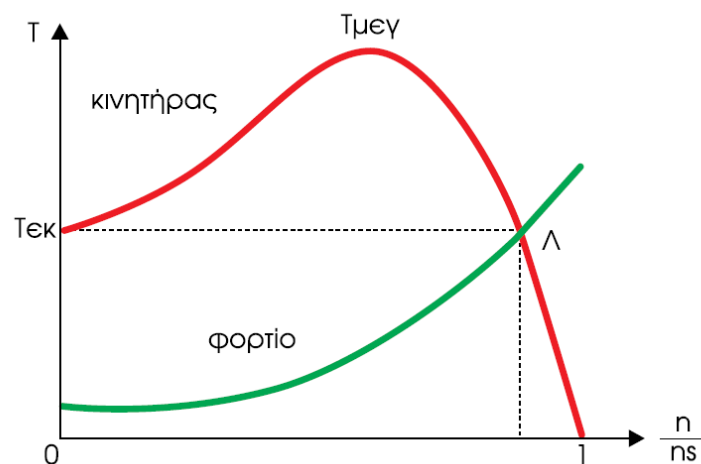
Στη συνέχεια η ροπή μειώνεται απότομα και μηδενίζεται, όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει τη σύγχρονη ταχύτητα.

Στο σχήμα 1.9 φαίνεται 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 1.9.

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν τη μέγιστη ροπή ($T_{\text{μεγ}}$) 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.

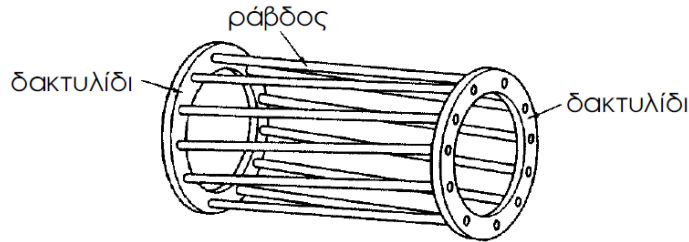


σχ. 1.9 : Καμπύλη ροπής ταχύτητας Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα

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

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.2.1).



σχ. 2.1 : 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 βαθειά, το τύλιγμα λέγεται με **βαθεία αυλάκια** (σχ.2.2).



σχ. 2.2 : Τύποι αυλακιών δρομέα

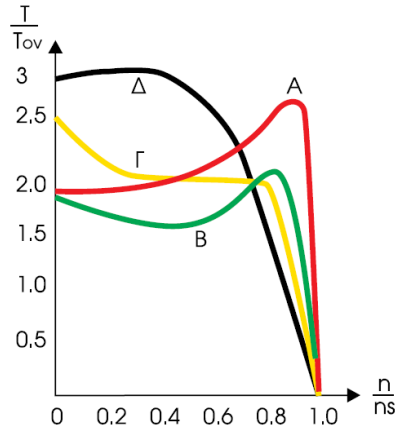
Οι κινητήρες με τύλιγμα απλού κλωβού είναι γενικά απλής κατασκευής, έχουν μικρό κόστος και καλό βαθμό απόδοσης. Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα του απλού κλωβού κατασκευάζεται από καθαρό αλουμίνιο και χύνεται μέσα στα αυλάκια. Το μειονέκτημα των κινητήρων απλού κλωβού είναι το **μεγάλο ρεύμα εκκίνησης 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. Έτσι επιτυγχάνουν μεγάλη ροπή εκκίνησης

και μικρό ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα. Αυτά είναι απαραίτητα για την ομαλή εκκίνηση του και την ανεπιθύμητη πτώση τάσης του δικτύου, που προκαλεί ταλαντώσεις στη λειτουργία διπλανών συσκευών.

Έτσι γίνεται διαχωρισμός των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με την συμπεριφορά τους κατά την εκκίνηση και κατά την κανονική λειτουργία (σχ.2.3).



σχ. 2.3 : Χαρακτηριστικές ροπής ταχύτητας

Κλάση Α: 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 $2,5T_{ov}$ και σε ταχύτητα πάνω από $0,8n_s$ που σημαίνει ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι μεγάλο ίσο με $5\sim 8I_{ov}$. Χρησιμοποιούνται για κίνηση μηχανημάτων σταθερής ταχύτητας χωρίς μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως εργαλειομηχανές, αντλίες, ανεμιστήρες.

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

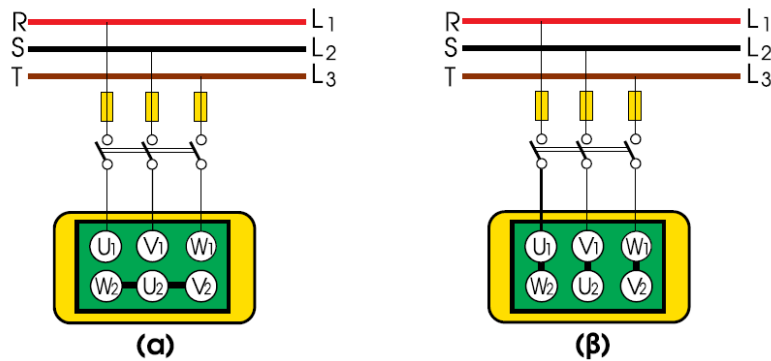
Κλάση Γ: Έχουν τύλιγμα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την Α και τη Β κλάση. Αναπτύσσουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης, χρειάζονται μικρότερο ρεύμα εκκίνησης, έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη ολίσθηση από τις δύο προηγούμενες κλάσεις. Έχουν μεγαλύτερο κόστος και χρησιμοποιούνται 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 τη 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, διατηρητικά μηχανήματα, ψαλίδια και μηχανήματα με σφόνδυλο.

2.2 Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες

Στην παράγραφο 1.3 είχαμε αναφερθεί στα τρία τυλίγματα του στάτη του κινητήρα, U-X, V-Y, W-Z και είχαμε περιγράψει πως 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.2.4).

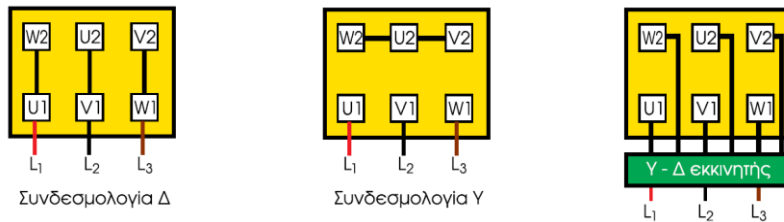


σχ. 2.4: Σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη (α) σε αστέρα (Y) και (β) σε τρίγωνο (Δ)

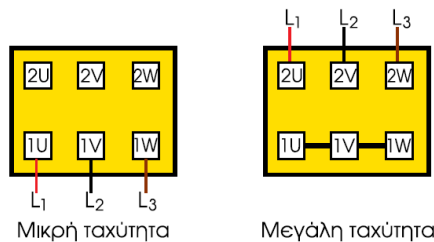
Τα συνηθέστερα κιβώτια ακροδεκτών είναι:

- α. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα μιας ταχύτητας (σχ.2.5)
- β. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων (σχ.2.6)
- 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 της μηχανής.



σχ.2.5 : Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας μιας ταχύτητας



σχ.2.6 : Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο ταχυτήτων

2.3 Τάση λειτουργίας

Τα πηνία των τριών φάσεων του κινητήρα ανάλογα με τη διατομή τους μπορούν να εργασθούν σε μια καθορισμένη από τον κατασκευαστή τάση. Η χαμηλή τάση του δικτύου της ΔΕΗ είναι 220/380V, που σημαίνει, ότι μπορούμε να έχουμε πολική τάση στη μηχανή **380V**. 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.

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 τριπλάσιο 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 διακύμανση 5%.

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

α) Απευθείας εκκίνηση

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

Χαρακτηριστικά λειτουργίας :

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

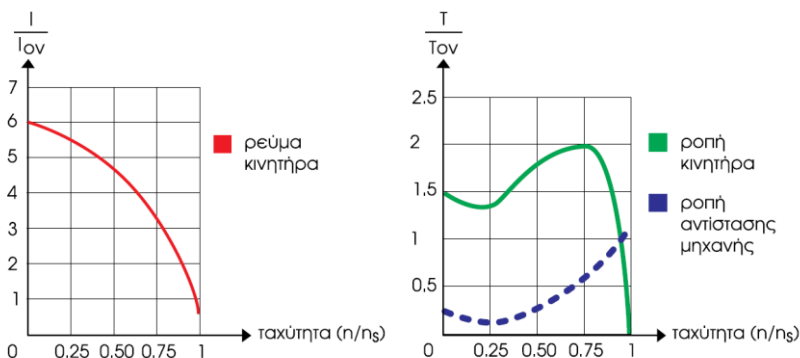
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.

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

Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.

-Απλός εξοπλισμός.

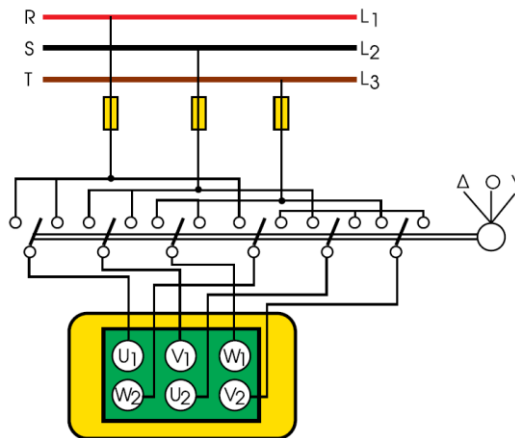
-Αδυναμία ρύθμισης.



σχ. 2.7 : Χαρακτηριστικές λειτουργίας Α.Τ.Κ 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).



σχ. 2.8 : Χειροκίνητος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.

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

Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ. Οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες U1-W2, V1-U2, W1-V2 συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολική τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ:

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

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:

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

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

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

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

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

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

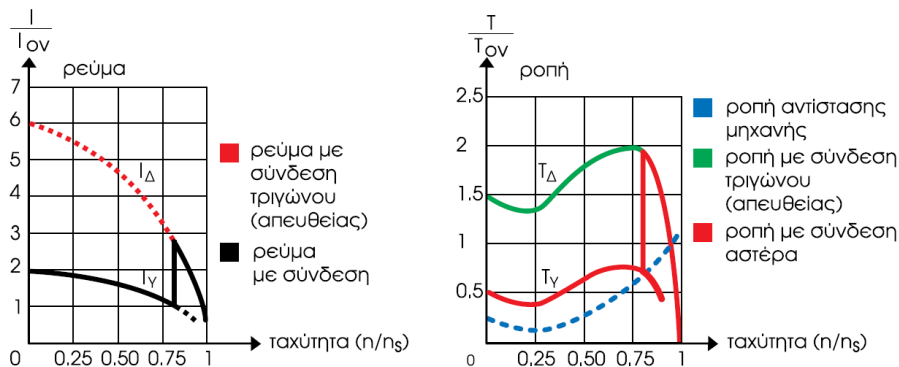
Συμπέρασμα: Με συνδεσμολογία αστέρα ο κινητήρας μειώνει τρεις φορές το ρεύμα εκκίνησης σε σχέση με τη συνδεσμολογία τριγώνου.

Χαρακτηριστικά λειτουργίας :

- Ρεύμα εκκίνησης : $I_{εκκ} \cong 2I_{ov}$
- Ροπή εκκίνησης : $T_{εκκ} \cong 0,5 T_{ov}$.

Δηλαδή η ροπή εκκίνησης μειώθηκε κατά τρεις φορές και πρέπει η εκκίνηση να γίνει χωρίς φορτίο ή με μικρή ροπή φορτίου.

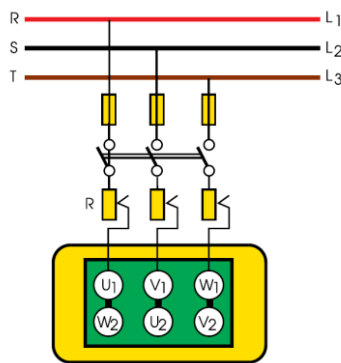
- Παρατηρούνται αιχμές ρεύματος και ροπής κατά τη μεταλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



σχ.2.9 : Χαρακτηριστικές λειτουργίες Α.Τ.Κ με διακόπτη Υ-Δ

γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Με τη διάταξη του σχήματος 2.10 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.

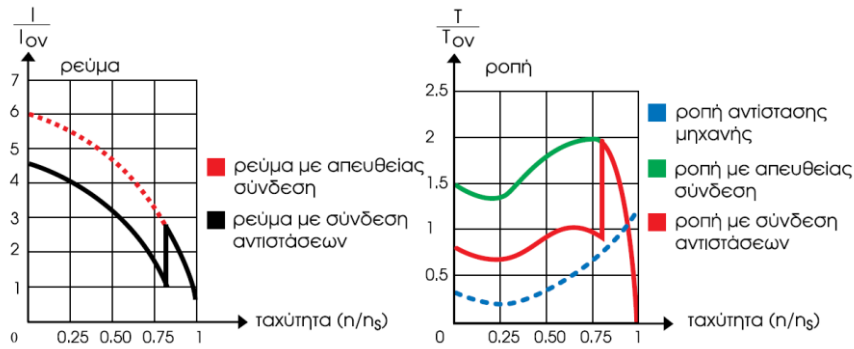


σχ.2.10 : Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

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

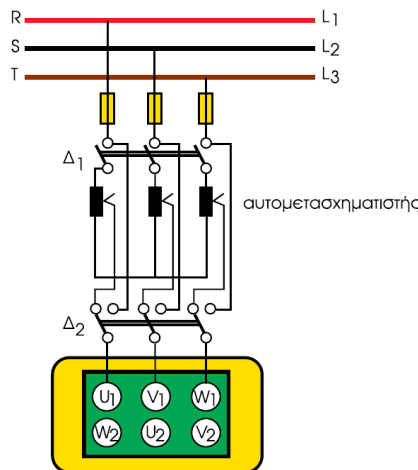
Θα μπορούσαν οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν από στραγγαλιστικά πηνία που δεν έχουν κατανάλωση ισχύος.



σχ.2.11: Χαρακτηριστικές λειτουργίας Α.Τ.Κ με αντιστάσεις στο στάτη

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη Δ1 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 Δ2 και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη Δ1 και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης.



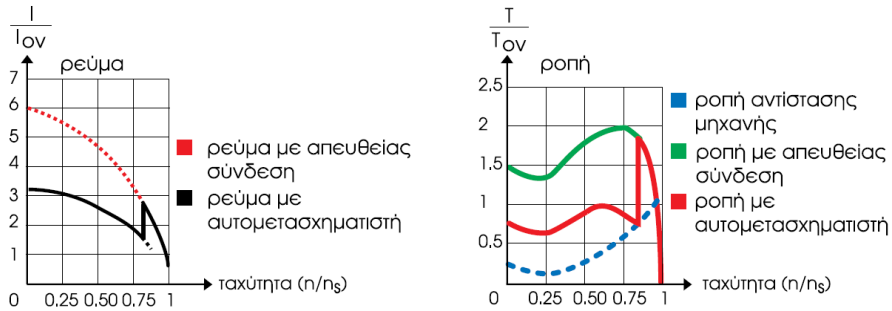
σχ 2.12 : Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

Χαρακτηριστικά λειτουργίας :

- Ρεύμα εκκίνησης : $I_{εκκ} \cong 3,5 I_{0v}$
- Ροπή εκκίνησης : $T_{εκκ} \cong 0,8 T_{0v}$
- 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 τον άξονα του, χρειάζεται έλεγχος της καμπύλης φορτίου και της καμπύλης του κινητήρα με μειωμένο ρεύμα εκκίνησης.

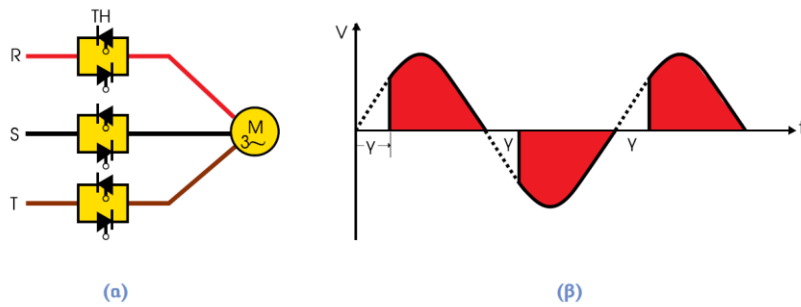


σχ.2.13 : Χαρακτηριστικές λειτουργίας Α.Τ.Κ με αυτομετασχηματιστή

ε) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό εκκινητή

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

Η τροφοδοσία του κινητήρα γίνεται με προοδευτική αύξηση της τάσης εκκίνησης, με την παρεμβολή έξι θυρίστωρ, δύο ανά φάση, τοποθετημένων ανάστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.14α.



Σχ 2.14 : Ηλεκτρονικός εκκινητής α) Συνδεσμολογία θυρίστωρ, β) Τάση τροφοδότησης κινητήρα και γ) Λειτουργίες μικροεπεξεργαστή

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

Ένας μικροεπεξεργαστής, (σχ.2.14β) 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, 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).

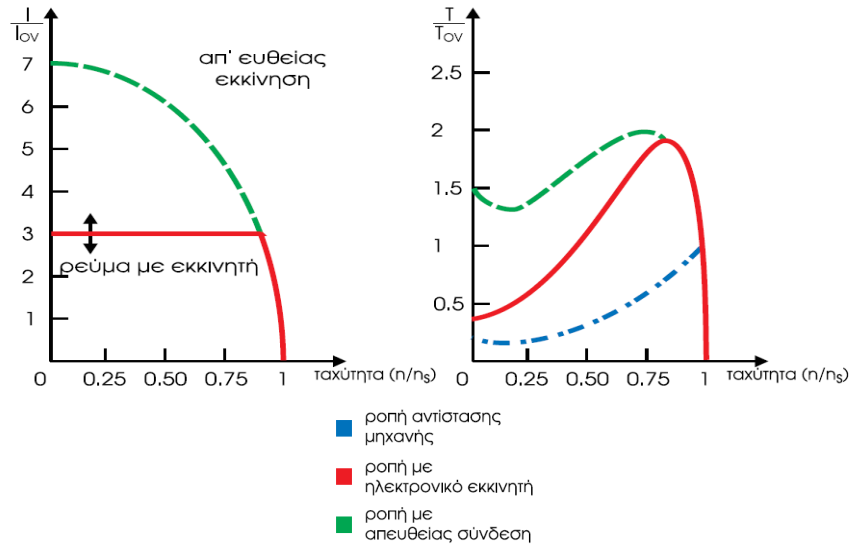
Οι κατασκευαστές διαθέτουν πίνακες στους οποίους φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός εκκινήτη, βάση των οποίων γίνεται η επιλογή του.

Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

-Ρεύμα εκκίνησης : $I_{εκκ} \cong 2 \sim 5 I_{ov}$

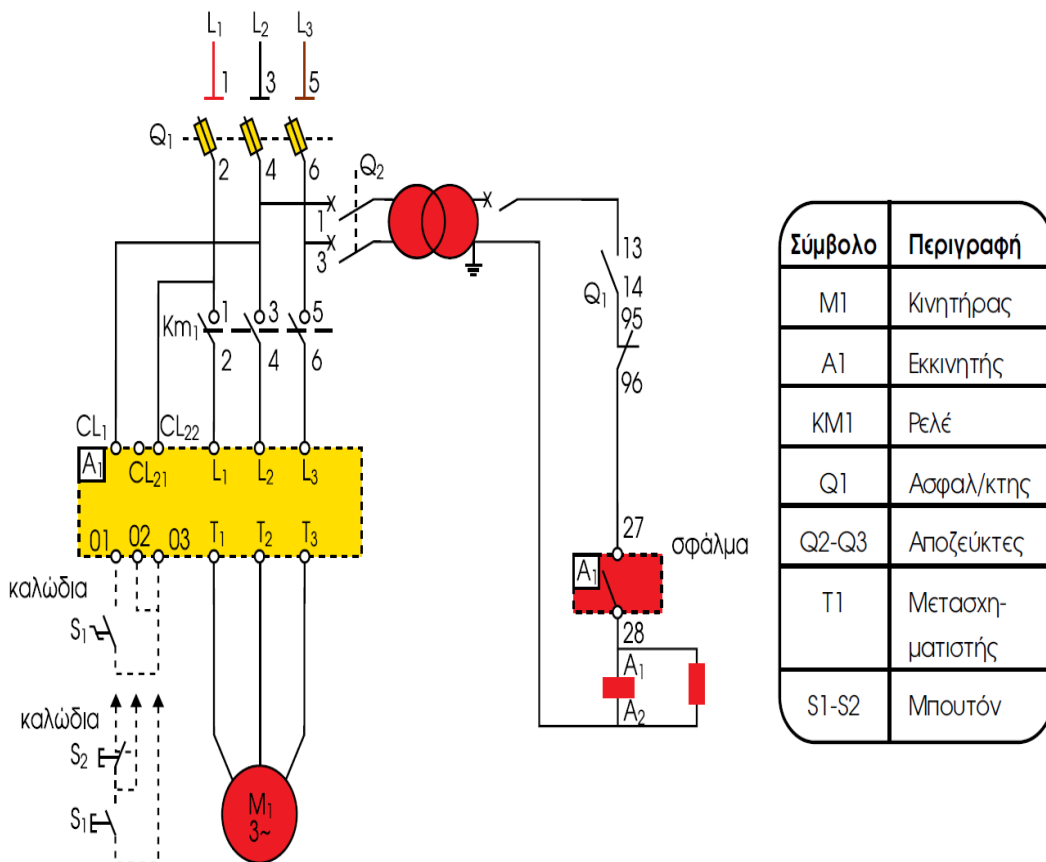
-Ροπή εκκίνησης : $T_{εκκ} \cong 0,5 \sim 1 T_{ov}$

-Δυνατότητα ρύθμισης των παραπάνω παραμέτρων με τις ράμπες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.



σχ. 2.15 : Χαρακτηριστικές λειτουργίας Α.Τ.Κ με ηλεκτρονικό εκκινήτη

Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη



σχ. 2.16 : Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινήτη

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:

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

όπου f : είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδότησης σε Hz

p : είναι το πλήθος των ζευγών των μαγνητικών πόλων και

s : είναι η ολίσθηση

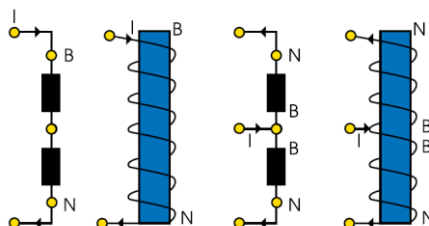
Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι, για να αλλάξει η ταχύτητα πρέπει να αλλάξει η συχνότητα f ή το πλήθος των πόλων p , αφού η ολίσθηση s στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα αλλάζει κυρίως με το φορτίο.

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.2.17 : 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 αυτό ξεπερνιέται με τη **δημιουργία στάτη πολλαπλών 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 πολλαπλών τυλιγμάτων συνήθως κατασκευάζεται κινητήρας μέχρι τεσσάρων ταχυτήτων.

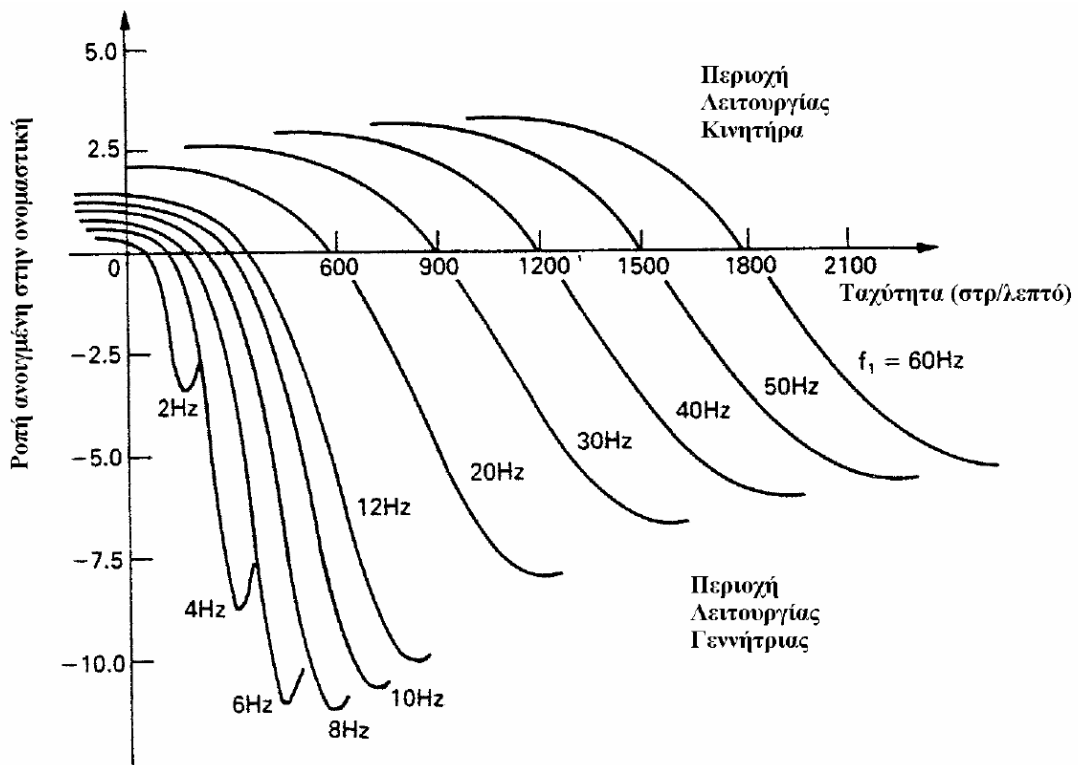
Η μέθοδος της **διαμόρφωσης πλάτους του πόλου (PAM)** είναι ένας τρόπος αλλαγής του πλήθους των πόλων του στάτη με λόγο διαφορετικό από το 2 προς 1, που επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη. Το κόστος κατασκευής του στάτη είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου πολλαπλών τυλιγμάτων.

β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας

Ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του σύγχρονου αριθμού στροφών σύμφωνα με τη 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 2.18.



σχ.2.18 : Μεταβολή της καμπύλης Ροπής-Στροφών ενός Α.Τ.Κ. καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται

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**.

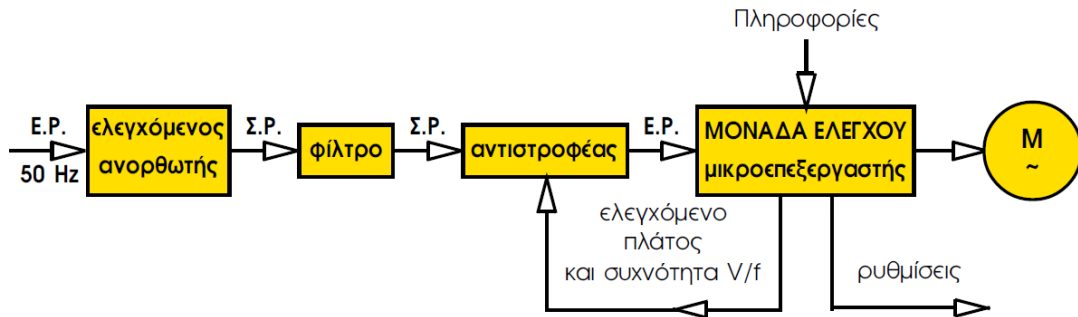
Τη δυνατότητα παροχής ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας μας την έδωσε η ταχύτατη ανάπτυξη **των ηλεκτρονικών ισχύος** και ειδικά των **ημιαγωγικών διακοπών** όπως:

Θυρίστορ SRC (*Secondary Resistive Controller*),
διπολικό τρανζίστορ ισχύος BJT (*Bipolar Junction Transistor*),
τρανζίστορ MOFSET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*),
τρανζίστορ IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) και
θυρίστορ GTO (*Gate Turn-Off*).

Με τα στοιχεία αυτά μπορούμε να ελέγξουμε ισχύ μέχρι 400KW.

Δομή ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών

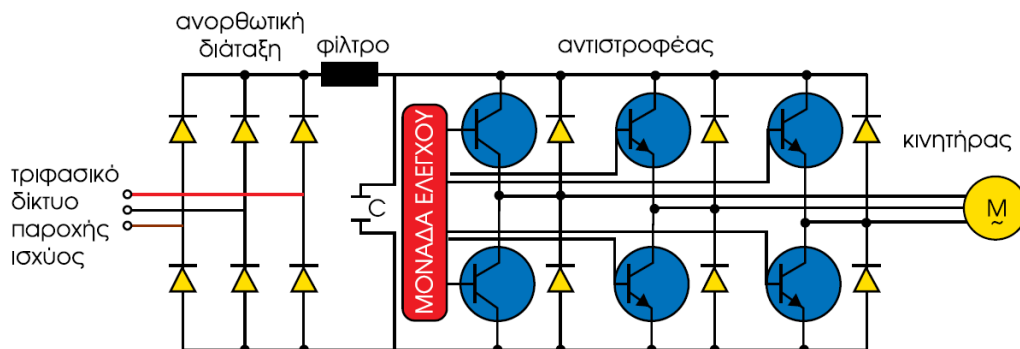
Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών περιλαμβάνει έναν ελεγχόμενο αναρρωτή, ένα φίλτρο, έναν αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας και μια μονάδα ελέγχου.



σχ.2.19 : Δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών

Αναλυτικά, όπως φαίνεται στο κύκλωμα του (σχ.2.19) 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 ή ρυθμιζόμενη τιμή.
- 2) Η συνεχής τάση που προκύπτει περνά από ένα **φίλτρο** για εξομαλυνση. 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, εμποπτεύει 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.



σχ.2.20 : Κύκλωμα ισχύος ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών με διπολικά τρανζίστορ

Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον κινητήρα σε μια μεγάλη περιοχή ταχυτήτων, από μηδενική ταχύτητα

μέχρι μια μέγιστη ταχύτητα, που καθορίζεται από την μηχανική και ηλεκτρική αντοχή του. 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 3000στρ/λεπτό.

Η απαρτίθιση 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

Τελευταίες εξελίξεις

Η πρόοδος στον τομέα των ρυθμιστών στροφών ασύγχρονων κινητήρων, τρέχει στις μέρες μας με ιλιγγιώδεις ρυθμούς και αφορά τόσο το λογισμικό όσο και το ηλεκτρονικό κύκλωμα του αντιστροφέα που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Η χρησιμοποίηση εξαιρετικά γρήγορων και με μεγάλη υπολογιστική ισχύ μικροεπεξεργαστών, κάνει δυνατή τη χρήση πολύπλοκων αλγορίθμων ελέγχου και εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μέθοδος ελέγχου του διανύσματος της μαγνητικής ροής (Vectror Control). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο και με τη βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου, το οποίο περιγράφει τον κινητήρα, επιτυγχάνεται η πρόβλεψη και ο έλεγχος της μαγνητικής ροής του κινητήρα.

Αυτό με τη σειρά του σημαίνει:

- **αύξηση της ροπής εκκίνησης** κατά 50% έως 80% και διατήρησή της καθ'όλη τη διάρκεια της επιτάχυνσης του κινητήρα.
- **εξοικονόμηση ενέργειας** οδηγώντας τον κινητήρα στο αποδοτικότερο σημείο λειτουργίας του για όλο το φάσμα των ταχυτήτων.
- κατακόρυφη **βελτίωση της ταχύτητας απόκρισης** του συστήματος Κινητήρα - Φορτίου, τόσο ώστε ο κοινός τριφασικός κινητήρας έχει πλέον την ίδια ίσως και καλύτερη δυναμική συμπεριφορά με εκείνη ενός αντίστοιχου κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα του τελευταίου αποτελεί η δυνατότητα ταυτόχρονης ελευθέρωσης του συστήματος πέδησης και η εκκίνηση του κινητήρα, σε ανελκυστήρα αφού ο κινητήρας φτάνει σε μέγιστη ροπή μέσα σε 30 μόλις χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Η συνεχής ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος οδήγησαν σε διακοπτικά ημιαγωγικά στοιχεία με πολύ μικρούς χρόνους έναυσης και σβέσης και μεγάλης αντοχής σε ρεύμα και τάση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων στοιχείων είναι τα IGBT. Τα στοιχεία αυτά δίνουν τη δυνατότητα σε ρυθμιστές στροφών ισχύος από 0.55 kW έως και 315 kw να λειτουργούν με μεγαλύτερη διακοπτική συχνότητα.

Αυτό με τη σειρά του έχει σαν αποτέλεσμα:

- την **βελτίωση του βαθμού αποδόσεως**.
- την **μείωση του όγκου και του βάρους**.
- την εμφάνιση των ανώτερων αρμονικών σε υψηλότερες συχνότητες και κατά συνέπεια την **εξάλειψη του μαγνητικού θορύβου**, την **μείωση των απωλειών** και την **ομαλότερη λειτουργία** του κινητήρα.
- Τον ακόμα πιο **ακριβή έλεγχο** και την δυνατότητα αξιοποίησης όλων των τελευταίων εξελίξεων στο λογισμικό ελέγχου που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ενώ λοιπόν οι Ρυθμιστές Στροφών Ασύγχρονων Κινητήρων είναι ήδη σε ένα πολύ εξελιγμένο στάδιο οι μελλοντικές τους βελτιώσεις έχουν στόχο:

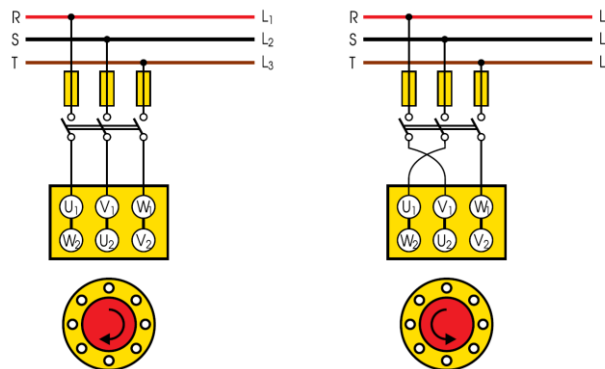
- την **εξομάλυνση** και την **σταθεροποίηση της λειτουργίας** τους σε ιδιαίτερα χαμηλές συχνότητες (0.1 έως 1 Hz) καθώς και στα 0 Hz σε λειτουργία κλειστού και ανοικτού βρόχου.
- την περαιτέρω **μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών** τους καθώς επίσης και της **παραγωγής αρμονικών** στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής

ισχύος.

- την περαιτέρω **μείωση του μεγέθους και του κόστους** κατασκευής.
- την **ενσωμάτωσή τους πάνω στους ασύγχρονους κινητήρες**.
- την **κατάργηση του ενδιάμεσου σταδίου** μετατροπής της τάσης του δικτύου σε συνεχή η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει στην αφαίρεση των τεράστιων ηλεκτρολυτικών πυκνωτών οι οποίοι είναι ογκώδεις και αποτελούν συχνά αιτία βλάβης.

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.2.21).**



σχ. 2.21 : Αλλαγή φοράς περιστροφής

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 συχνά φθορές και απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης.

-Ελεύθερη πέδηση: Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.

-Ομαλή πέδηση: Διακόπτεται βαθμιαία η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγή απότομης παύσης λειτουργίας της μηχανής (π.χ. Σε αντλίες, μεταφορικές ταινίες, γερανούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη **ράμπας επιβράδυνσης** που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές (σχ.2.22).

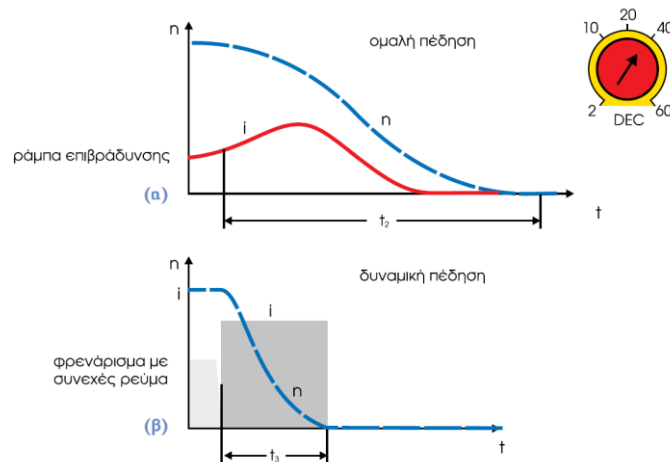
Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

α) ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με το χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του

ποτενσιόμετρο του εκκινητή.

β) ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών κτυπημάτων

γ) προοδευτική μείωση της τάσης



σχ. 2.22 : Καμπύλη n-t, i-t ομαλής πέδησης (α) και δυναμικής πέδησης (β)

-Δυναμική πέδηση: ο στάτης αποσυνδέεται από το τριφασικό δίκτυο και τροφοδοτείται με συνεχή τάση από πηγή ή μέσω ανορθωτή.

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

$$I_{\pi} \leq 0,6KI_A$$

όπου

I_{π} : συνεχές ρεύμα πέδησης σε (A)

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

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

-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.

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

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

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

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

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

T: ροπή (σε Nm)

n: ταχύτητα κινητήρα (σε στρ/min)

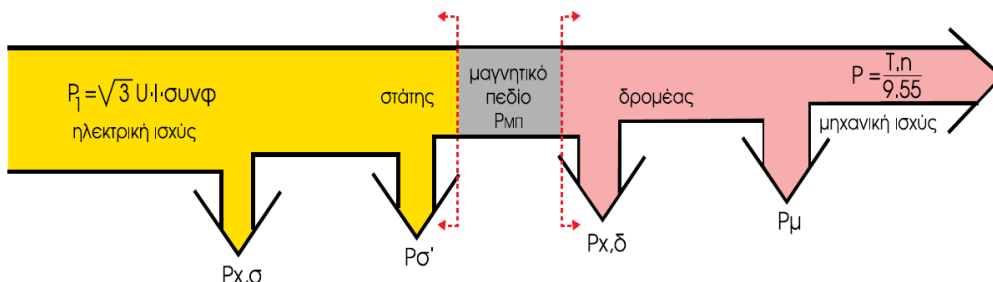
Απώλειες βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι απώλειες του κινητήρα είναι δύο ειδών:

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

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

Οι **μεταβλητές απώλειες** είναι : α) **ηλεκτρικές απώλειες του στάτη**, που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του στάτη και λέγονται απώλειες χαλκού στάτη $P_{\chi,\sigma'}$ και β) **ηλεκτρικές απώλειες δρομέα** που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του δρομέα και λέγονται απώλειες χαλκού δρομέα $P_{\chi,\delta}$.



σχ. 2.23 : Κατανομή απωλειών Α.Τ.Κ.

Υπολογισμός απωλειών

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από το νόμο του Τζάουλ:

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

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

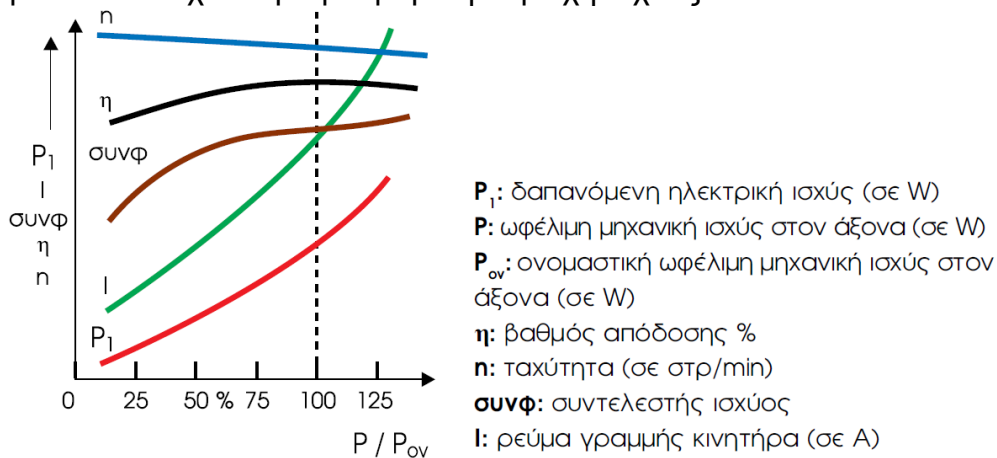
Βαθμός απόδοσης

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

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - P_{απ}}{P_1} = \frac{P}{P - P_{απ}}$$

όπου $P_{απ} = P_{χσ} + P_{χδ} + P_σ + P_μ$

Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.24 μεταβάλλεται ελάχιστα για μια μεγάλη περιοχή ισχύος.



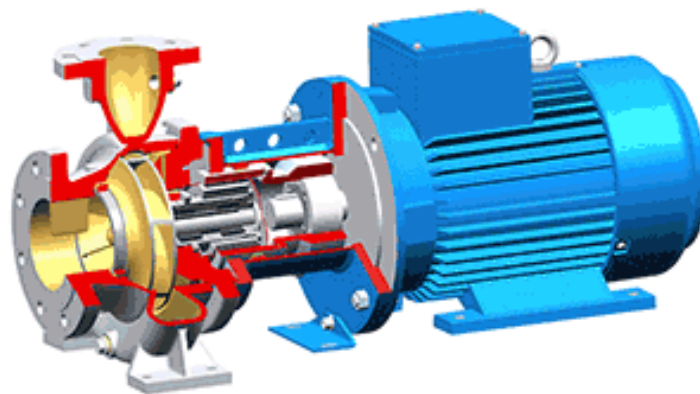
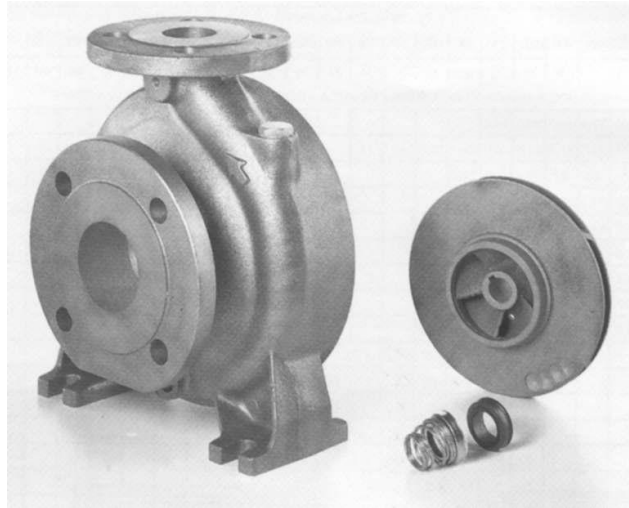
σχ. 2.24 : Διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες Α.Τ.Κ.
3. Αντλίες

3.1 Είδη αντλιών

Οι αντλίες συνιστούν ένα από τα πιο ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αντικείμενα της μηχανολογίας και αποτελούν την καρδιά ενός μεγάλου τομέα βιομηχανικών αλλά και δημοσίων δικτύων, των δικτύων σωληνώσεων.

Υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα τύπων αντλιών αρκετά διαφορετικών μεταξύ τους ως προς την αρχή λειτουργίας τη δομή και τις εφαρμογές που καλύπτουν. Αναφέρουμε ενδεικτικά τις φυγοκεντρικές αντλίες, τις παλινδρομικές, τις περιστροφικές, τις αντλίες κενού, αλλά και ειδικές αντλίες όπως ατμού και αερίων. Οι δύο πιο βασικές κατηγορίες ωστόσο είναι οι **φυγοκεντρικές αντλίες** και οι **αντλίες θετικού εκτοπίσματος** στις οποίες υπάγονται οι παλινδρομικές και οι περιστροφικές αντλίες.

Παρακάτω θα εξετάσουμε το σχεδιασμό και τους διάφορους τύπους των φυγοκεντρικών αντλιών.



σχ. 3.1 : Διάφορες φυγοκεντρικές αντλίες

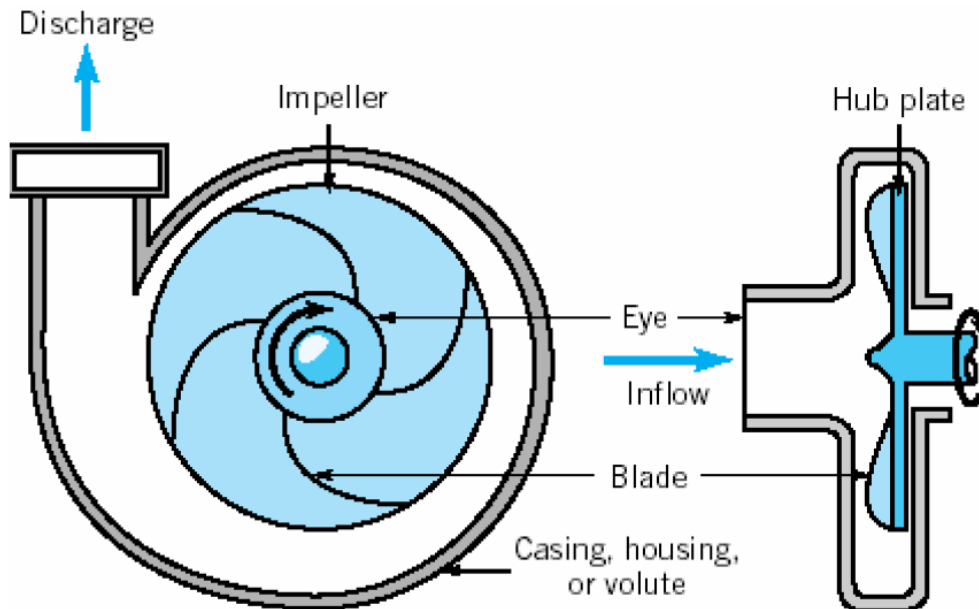
3.2 Αρχή λειτουργίας

Οι φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούν τη **φυγόκεντρο δύναμη** που δημιουργείται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο πάνω στον οποίο υπάρχουν πτερύγια ειδικής μορφής και ο οποίος είναι γνωστός ως **στροφέιον** ή **πτερωτή**.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από περιστρεφόμενες μονάδες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης δυναμικότητας, οι οποίες κινούνται είτε από **μηχανές εσωτερικής καύσεως**, είτε από **ηλεκτρικούς κινητήρες** είτε από **ατμοστροβίλους**.

Η ροή του υγρού στις φυγοκεντρικές αντλίες δημιουργείται από τη φυγόκεντρη κινητική ενέργεια που δημιουργεί η περιστροφική κίνηση του στροφέιου. Το αναρροφούμενο υγρό φτάνει στο άνοιγμα αναρρόφησης και παρασύρεται στην περιστροφή οδηγούμενο από τα πτερύγια. Η περιστροφική κίνηση της πτερωτής προσδίδει περιστροφή στη μάζα του υγρού η οποία οδηγείται από τα πτερύγια μεταδίδοντας φυγόκεντρη δύναμη στο υγρό. Το

υγρό υποχρεώνεται να διατρέχει κατά μήκος των πτερυγίων και να πετάγεται έξω από την πτερωτή. Το υγρό μόλις διαφύγει από την πτερωτή συλλέγεται σε έναν εσωτερικό χώρο της αντλίας, ο οποίος έχει σπειροειδή μορφή με συνεχώς αυξανόμενη διατομή και τελικά φεύγει από την έξοδο της αντλίας.

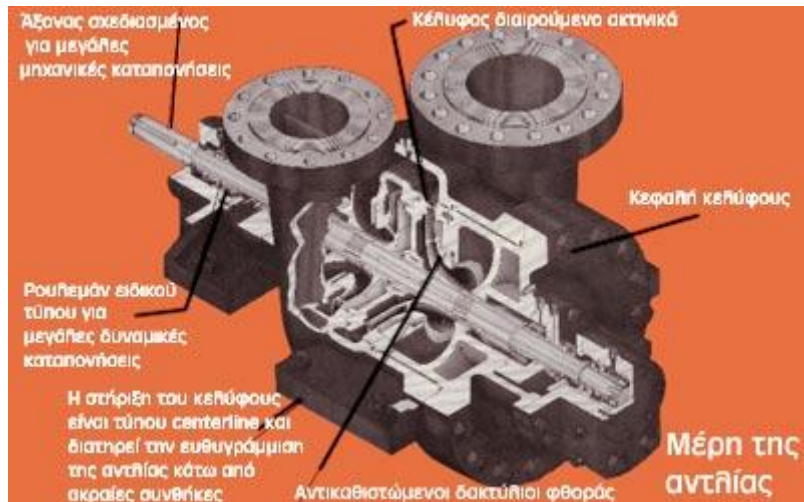


σχ. 3.2 : Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικής αντλίας

3.3 Δομή και σχεδιασμός

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος εξαρτημάτων. Τα βασικότερα μέρη τους είναι τα παρακάτω.

- Το **σώμα** της αντλίας.
- Το **στροφέιο** ή **πτερωτή**.
- Τους **δακτυλίους φθοράς**
- Την **άτρακτο** τη αντλίας και τα **παρελκόμενα** εξαρτήματα.



σχ. 3.3 : Μέρη φυγοκεντρικής αντλίας

Το σώμα της αντλίας

Το σώμα της αντλίας είναι το πλαίσιο πάνω στο οποίο μοντάρονται όλα τα άλλα μέρη της αντλίας. Το σώμα της αντλίας κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά και στα υγρά που πρόκειται να μεταφερθούν και στις διάφορες θερμοκρασίες λειτουργίας. Το κέλυφος της αντλίας είναι διαιρούμενο, είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε διαγώνια σε μια γωνία διαφορετική από 90 μοίρες. Τα κελύφη που διαιρούνται οριζόντια λέγονται και αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ τα κάθετα διαιρούμενα λέγονται και ακτινικά διαιρούμενα.

Οι λαιμοί (nozzles) για τις φλάντζες εισόδου και εξόδου είναι και οι δύο στο κάτω τμήμα του διαιρούμενου κελύφους. Αναφορικά με το σώμα της αντλίας σημειώνουμε πως υπάρχει και ο σχεδιασμός τύπου βαρελιού (barrel type), που χρησιμοποιούνται κυρίως σε αντλίες πολύ υψηλών πιέσεων. Στο σχεδιασμό αυτό το εσωτερικό του κελύφους προσαρμόζεται στο εξωτερικό του «βαρελιού». Το σώμα έχει ποδαρικά με τα οποία αγκυρώνεται είτε στον εξοπλισμό που βρίσκεται κάτω από αυτό είτε στο έδαφος, πράγμα που αποτελεί και τη συνηθέστερη περίπτωση. Το σώμα της αντλίας με βάση το κριτήριο της λειτουργικότητας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη το τμήμα εισόδου και το τμήμα εξόδου.

Τμήμα εισόδου

Η βασική απαίτηση για να επιτυγχάνεται ικανοποιητική λειτουργία στην αναρρόφηση της αντλίας είναι το τμήμα εισόδου να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας στην συμμετρική ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της πτερωτής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται όλα τα πτερύγια της πτερωτής να λειτουργούν ομοιόμορφα.

Ευκολότερος είναι ο σωστός σχεδιασμός του τμήματος εισόδου σε ορισμένους τύπους αντλιών, όπως στις μονοβάθμιες αντλίες με την πτερωτή σε πρόβολο και στις κατακόρυφες αντλίες αξονικής ή μικτής ροής. Σε αυτούς

τους τύπους αντλιών το τμήμα εισόδου έχει μορφή, είτε κωνική συγκλίνουσα προς την είσοδο της πτερωτής, είτε κυλινδρική με κυκλική διατομή. Ωστόσο το τμήμα εισόδου δεν μπορεί να έχει κωνική ή κυλινδρική μορφή στις πολυβάθμιες αντλίες και στις αντλίες διπλής αναρρόφησης γιατί σε αυτούς τους τύπους αντλιών η διεύθυνση του ρευστού στη διατομή εισόδου είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής.

Για να εξαλειφθεί λοιπόν η συστροφή του ρευστού στη διατομή εισόδου, αλλά παράλληλα και για να αλλάξει η διεύθυνση του ρευστού μετά την είσοδό του στην αντλία σχεδιάστηκε το τμήμα εισόδου με τη μορφή ημισπειροειδούς κελύφους. Σχεδιάζοντας τη διατομή του ημισπειροειδούς αυτού κελύφους υποπολλαπλάσια της διατομής εισόδου επιτυγχάνουμε την επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή στο τμήμα εισόδου. Στις αντλίες που έχουν πτερωτή διπλής αναρρόφησης το τμήμα εισόδου είναι συμμετρικό και διαμοιράζει τη ροή σε δύο ίσα μέρη με συνέπεια η τροφοδοσία κάθε μιας εισόδου της πτερωτής να γίνεται από ένα ημισπειροειδές κέλυφος όπως και στις πολυβάθμιες αντλίες.

Τμήμα εξόδου

Το τμήμα εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας φαίνεται να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο του συνολικού σώματος (κελύφους) της αντλίας και είναι αυτό που συλλέγει το αντληθέν ρευστό και το καθοδηγεί στη διατομή εξόδου της αντλίας.

Στην έξοδο της πτερωτής (που εντάσσεται στο τμήμα εισόδου) το ρευστό έχει μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα που είναι συνάρτηση μιας σειράς παραμέτρων (τύπος πτερωτής, μορφή τμήματος εισόδου, πίεση ρευστού στην αναρρόφηση κ.λπ.), η οποία όμως πρέπει να μειωθεί όταν το ρευστό θα φτάσει στην κυκλική διατομή εξόδου μέχρι μια ταχύτητα της τάξεως 4-6 μέτρων το δευτερόλεπτο.

Η πτώση της ταχύτητας πρέπει να συνοδεύεται από μια μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Στα κελύφη των φυγοκεντρικών αντλιών συναντώνται δύο βασικοί τύποι τμημάτων εξόδου, το σπειροειδές κέλυφος και ο διαχύτης (diffuser).

Σπειροειδές κέλυφος

Είναι ο συχνότερα συναντώμενος τύπος κελύφους εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Για να σχεδιαστεί το σπειροειδές κέλυφος χρησιμοποιούνται σήμερα δύο μέθοδοι που κάθε μια έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Η πρώτη μέθοδος που είναι και η πιο παραδοσιακή και συνήθως χρησιμοποιούμενη βασίζεται σε δύο βασικές αρχές της μηχανικής των ρευστών, την αρχή της διατήρησης της συστροφής και την αρχή της συνέχειας

και υπολογίζει την κλίση της γραμμής ροής του αντληθέντος ρευστού στη διαδρομή εξόδου συναρτήσει της απόστασης του όγκου ελέγχου (μονάδα αναφοράς του ρευστού που χρησιμοποιείται για θεωρητικούς υπολογισμούς στη μηχανική των ρευστών) του προωθούμενου ρευστού από το κέντρο της κυκλικής διατομής εισόδου.

Από τη εξίσωση που προκύπτει διαπιστώνεται ότι η γραμμή ροής - στον αξονοισομετρικό χώρο που αποτελεί νοητή προέκταση των αξονοισομετρικών επιφανειών των δίσκων της πτερωτής – είναι σπειροειδής καμπύλη. Αν οι προεκτάσεις των αξονοισομετρικών επιφανειών είναι επίπεδα κάθετα προς τον άξονα συμμετρίας τότε οι γραμμές ροής είναι λογαριθμικές σπείρες. Η γεωμετρία λοιπόν του κελύφους καλείται να ακολουθήσει τη γραμμή ροής που προέκυψε με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, ωστόσο είναι προσεγγιστική για δύο βασικούς λόγους. Κατά πρώτον γιατί οι υπολογισμοί της γραμμής ροής γίνονται με την παραδοχή ιδανικής και όχι συνεκτικής ροής και κατά δεύτερο γιατί για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους το σπειροειδές κέλυφος ακολουθεί την υπολογισθείσα γεωμετρία της σπειροειδούς καμπύλης μόνο για μια περιστροφή και μετά διαμορφώνεται έτσι ώστε να προσαρμοστεί σταδιακά στην κυκλική διατομή εξόδου.

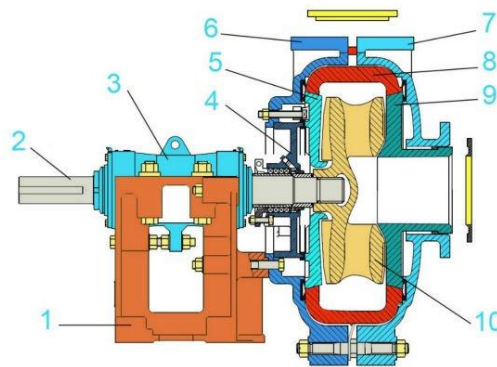
Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους είναι η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή της σταθερής μέσης ταχύτητας της ροής στις διάφορες διατομές και υπολογίζει τη διατομή του σπειροειδούς κελύφους συναρτήσει της γωνίας περιστροφής του μονάδας αναφοράς του προωθούμενου ρευστού (όγκος ελέγχου όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Η αφορμή για τη χρησιμοποίηση αυτή της μεθόδου δόθηκε από τη διαπίστωση ότι υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διανομή της ταχύτητας στο τμήμα εξόδου σε σπειροειδή κελύφη που υπολογίζονταν με τη μέθοδο της διατήρησης της συστροφής.

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στο σπειροειδές κέλυφος σημειώνουμε ότι μέθοδος της διατήρησης της συστροφής δίνει αντλίες με λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, ενώ η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας δίνει περισσότερο ομοιόμορφη διανομή της στατικής πίεσης στο σπειροειδές κέλυφος.

Διαχύτης

Το τμήμα εξόδου μπορεί να έχει τη μορφή διαχύτη, ο οποίος μπορεί να είναι κατασκευασμένος με ή χωρίς πτερύγια. Ο διαχύτης χωρίς πτερύγια δεν είναι παρά ένα αξονοσυμμετρικό κέλυφος οδήγησης της ροής, εντός του οποίου η περιφερειακή ταχύτητα μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα προς την ακτίνα ενώ η ακτινική ταχύτητα ικανοποιεί την αρχή της συνέχειας. Δεν αποτελεί καλή λύση γιατί η διαδρομή του ρευστού μέχρι τη φλάντζα εξόδου είναι μεγάλη όπως επίσης και οι αντίστοιχες απώλειες τριβής. Ο διαχύτης με πτερύγια δεν

είναι παρά μια ακίνητη ακτινική στεφάνη πτερυγίων διατεταγμένη γύρω από την πτερωτή. Τα πτερύγια της στεφάνης επιτυγχάνουν σε μικρή σχετικά ακτινική απόσταση την επιθυμητή επιβράδυνση της ταχύτητας που έχει το ρευστό στην έξοδο της πτερωτής. Όταν χρησιμοποιείται σχεδιασμός τύπου διαχύτη με πτερύγια σε μικρού μεγέθους αντλίες προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες απώλειες τριβής. Από την άλλη πλευρά σε αντλίες με μικρό ειδικό αριθμό στροφών συχνά μια στεφάνη διαχύτη με πτερύγια παρεμβάλλεται μεταξύ πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους. Ο διαχύτης στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνει μια καταρχήν επιβράδυνση της ροής πριν το ρευστό προχωρήσει στο σπειροειδές κέλυφος και παράλληλα μια μείωση των υδραυλικών απωλειών.



1. Base. 2. Shaft. 3. Bearing assembly. 4. Stuffing box. 5. Frame plate liner inert.
6. Frame plate. 7. Cover plate. 8. Volute liner. 9. Throat bush. 10. Impeller.

σχ. 3.4 : Μέρη φυγοκεντρικής αντλίας

Η πτερωτή

Για το σχεδιασμό της πτερωτής δύο είναι τα καθοριστικά σημεία. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου της πτερωτής και το δεύτερο είναι ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής.

Αναφορικά με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων είναι γνωστό από τη μηχανική των ρευστών ότι αυτή συνδέεται άμεσα με την κλίση της ιδεατής αλλά και πραγματικής χαρακτηριστικής H-V μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Σημειώνουμε πως όσο μειώνεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων, τόσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή της κλίσης της πραγματικής χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας H-V. Αυτό ευνοεί την ευστάθεια της λειτουργίας μιας αντλητικής εγκατάστασης με θετικό μανομετρικό.

Στις περιπτώσεις αυτές που αποτελούν και τη μεγάλη πλειοψηφία η γωνία κλίσης κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος 17-35 μοιρών και συνήθως επιλέγεται να είναι 20–25 μοίρες. Στις ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι απαιτητό ένα θετικό μανομετρικό, όπως στους κυκλοφορητές των κτιριακών δικτύων, δεν τίθεται

πρόβλημα ευστάθειας λειτουργίας της συνολικής αντλητικής εγκατάστασης, οπότε η γωνία κλίσης παίρνει μεγαλύτερη τιμή (μέχρι τις 90 μοίρες), δεδομένου άλλωστε ότι με μεγαλύτερη γωνία κλίσης επιτυγχάνεται το επιθυμητό σημείο λειτουργίας με μικρότερες διαστάσεις πτερωτής αλλά και της αντλίας συνολικά.

Το πλήθος των πτερυγίων της πτερωτής με βάση τη θεωρία των φυγοκεντρικών αντλιών συνδέεται άμεσα με το βαθμό απόδοσης της πτερωτής και κατ' επέκταση και της αντλίας καθώς όσο περισσότερα είναι τα πτερύγια τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Ωστόσο ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της πτερωτής είναι αντίστροφα ανάλογος με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων και από αυτόν επίσης εξαρτάται το μέσο πραγματικό τρίγωνο των ταχυτήτων εξόδου. Από την άλλη πλευρά η αύξηση του πλήθους των πτερυγίων επιφέρει αύξηση των απωλειών τριβής και κατά συνέπεια μείωση του υδραυλικού βαθμού απόδοσης της αντλίας.

Έτσι τελικά έχουμε για κάθε περιοχή τιμών της γωνίας κλίσης των πτερυγίων να υπολογίζεται ένας βέλτιστος αριθμός πτερυγίων, ώστε να βελτιστοποιείται το γινόμενο $\eta_1 \cdot \eta_2$, όπου η_1 είναι ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της πτερωτής και η_2 ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας.



σχ. 3.5 : Τύποι πτερωτών φυγοκεντρικής αντλίας

Δακτύλιοι φθοράς (Wear Rings)

Ένα άλλο δομικό στοιχείο των φυγοκεντρικών αντλιών είναι οι δακτύλιοι φθοράς. Αυτοί έχουν συγκεκριμένη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνουν μια δακτυλιοειδή σχισμή μεταξύ του ακίνητου κελύφους και της πτερωτής. Η σχισμή αφήνει ένα συγκεκριμένο κατά περίπτωση ακτινικό διάκενο και έχει ένα επίσης συγκεκριμένο μήκος.

Σκοπός της διαμόρφωσης λαβυρίνθων με τη χρήση των δακτυλίων φθοράς είναι η διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών στην επιθυμητή χαμηλή τιμή οπότε η αντίστοιχη τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης να έχει την τιμή που προδιαγράφεται. Οι δακτύλιοι φθοράς είναι στις περιπτώσεις αφαιρετοί και μπορούν να αντικατασταθούν όταν έχουν φθαρεί αρκετά με χαμηλό

κόστος, πολύ χαμηλότερο φυσικά από αυτό που θα απαιτείτο για την αντικατάσταση, είτε του κελύφους, είτε της πτερωτής.

Άτρακτος

Η άτρακτος μεταφέρει τη **ροπή στρέψης** από τον κινητήρα προς την πτερωτή ή τις πτερωτές. Σε μια μόνιμη λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας με σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή ισούται με τη ροπή αντιστάθμισης που προκύπτει από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία.

Πάντως καθώς η άτρακτος είναι προσδεδεμένη στην πτερωτή παραλαμβάνει επίσης εκτός από τη μηχανική ροπή αντίστασης και αντιστάσεις «υδραυλικής προέλευσης» που προέρχονται από τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην/στις πτερωτές καθώς αυτή/αυτές μετακινούν το ρευστό.

Το σύνολο των προβλεπόμενων να εφαρμοστούν στην άτρακτο δυνάμεων και ροπών επιβάλλει καταρχήν ένα στατικό υπολογισμό στη φάση του σχεδιασμού της. Δεδομένου του μεγάλου κατά κανόνα μήκους της ατράκτου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ελαστικότητα της.

Στόχος μας είναι να έχουμε κατά τη λειτουργία μικρή κλίση και βέλος κάμψης της ατράκτου για να μην επηρεάζεται η λειτουργία του πλήθους των συνδεόμενων με αυτήν εξαρτημάτων.

Παράλληλα πρέπει να μελετηθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος άτρακτος-πτερωτή ώστε να μην συμπέσει με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφομένου συστήματος και προκληθούν έτσι αυξημένες καταπονήσεις και συνεπώς ανεπιθύμητα μεγάλες παραμορφώσεις στην άτρακτο κατά τη λειτουργία.

Παρελκόμενα εξαρτήματα

Από κατασκευαστική σκοπιά η άτρακτος πρέπει να διαθέτει τις κατάλληλες ανοχές για να λειτουργεί σωστά ένα πλήθος καθοριστικών για τη λειτουργία της αντλίας παρελκομένων εξαρτημάτων τα κυριότερα των οποίων είναι οι σαλαμάστρες και τα έδρανα στήριξης.

Γύρω από τον άξονα των αντλιών τοποθετούμε σαλαμάστρες για να επιτύχουμε στεγανότητα. Το πρόβλημα της στεγανότητας είναι από τα σημαντικότερα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας.

Αντιμετωπίζεται με τη χρήση στυπιοθλιπτών των οποίων σκοπός είναι η εξασφάλιση της στεγανότητας της αντλίας με το εξωτερικό περιβάλλον στο σημείο όπου η άτρακτος διαπερνά το σταθερό κέλυφος της αντλίας. Στην

περίπτωση όπου το ύψος της αντλίας είναι σημαντικό οπότε κατά την εκκίνησή της, η στατική πίεση στο σημείο εξόδου της ατράκτου πέσει κάτω από την ατμοσφαιρική, σκοπός του στυπιοθλίπτη είναι να εμποδίσει την είσοδο του αέρα από το περιβάλλον. Σε αντίθετη περίπτωση η κίνηση της αντλίας γίνεται προβληματική.

Διακρίνουμε δύο ειδών στυπιοθλίπτες:

1) Τους συμβατικούς με στυπία (σαλαμάστρα) στους οποίους η στεγανότητα εξασφαλίζεται από τη συμπίεση των στυπιών μέσω του στυπιοθλίπτου.

2) Τους μηχανικούς στους οποίους η στεγανότητα εξασφαλίζεται με την επαφή δύο λείων δίσκων, ενός στρεφόμενου με την άτρακτο και ενός μη στρεφόμενου.

Έδρανα

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό των αντλιών είναι η στήριξη της ατράκτου, η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εδράνων.

Σκοπός των εδράνων είναι η στήριξη της ατράκτου τόσο κατά την αξονική όσο και κατά την ακτινική διεύθυνση ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της πτερωτής. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει τα έδρανα να μπορούν να παραλάβουν και να μεταφέρουν στο στερεό σώμα της αντλίας τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην πτερωτή, στο σημείο μετάδοσης της κίνησης, καθώς και το ίδιο βάρος της ατράκτου.

Στη γενική περίπτωση η άτρακτος των αντλιών έχει δύο έδρανα, οπότε οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σ' αυτά προκύπτουν από την ισορροπία των εξωτερικών δυνάμεων, σύμφωνα με τη μηχανική του στερεού σώματος. Στις τυποποιημένες αντλίες ή αντλίες γενικής χρήσης χρησιμοποιούνται έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), παρά το γεγονός ότι είναι ακριβότερα από τα έδρανα ολίσθησης, διότι έχουν μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων. Βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο σε όλα τα μεγέθη και τους τύπους, έχουν 25-50% μικρότερες απώλειες, απαιτούν μικρότερες διαστάσεις και εξασφαλίζουν λειτουργία με μικρότερες ανοχές.

3.4 Τύποι και εφαρμογές

Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε **οριζόντιες** και **κάθετες** με βάση το κριτήριο της διεύθυνσης της γραμμής αναρρόφησης, σε ακτινικής και αξονικής ροής με βάση το κριτήριο της κατεύθυνσης της ροής του καταθλιβόμενου ρευστού, σε **απλής** και **διπλής αναρρόφησης** με βάση το κριτήριο της μορφής της χρησιμοποιούμενης πτερωτής και σε **μονοβάθμιες** και

πολυβάθμιες με βάση το κριτήριο του αριθμού των στροφείων ή πτερωτών που χρησιμοποιούν.

Μολονότι όπως καταδεικνύεται παραπάνω υπάρχει μια μεγάλη γκάμα φυγοκεντρικών αντλιών υπάρχουν κοινά **συγκριτικά πλεονεκτήματα** όλων των τύπων των φυγοκεντρικών αντλιών σε σχέση με τους άλλους τύπους αντλιών.

Αυτά είναι:

- η **στρωτή και ομαλή λειτουργία** τους (αν τις συγκρίνουμε π.χ. με τις παλινδρομικές) αλλά κυρίως
- η **ευκαμψία λειτουργίας τους** με την έννοια της δυνατότητας επιλογής του επιθυμητού εύρους λειτουργίας κατά το διάγραμμα Η-Ν, (η επιλογή αυτή γίνεται με βάση κατασκευαστικές και λειτουργικές παραμέτρους, π.χ διάμετρο στροφέου, ταχύτητα περιστροφής, κ.λ.π).

Παράλληλα οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούν κατά κανόνα **μικρό χώρο** συγκριτικά με άλλους τύπους αντλιών για το ίδιο μανομετρικό ή παροχή. Οι φυγοκεντρικές αντλίες πάντως έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τύπους αντλιών με πολύ μεγάλες παροχές που οι άλλοι τύποι αντλιών αδυνατούν να επιτύχουν (με μια εύλογη τεχνοοικονομικά κατασκευή) και για το λόγο αυτό συνήθως προτιμώνται σε γραμμές μεγάλων παροχών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ορισμένων βασικών τύπων αντλιών καθώς και οι ιδιαίτερες εφαρμογές τους.

3.5 Μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης

Οι μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης έχουν μεγάλη χρήση γιατί καλύπτουν εκτεταμένες τεχνικές εφαρμογές (ύδρευση, άρδευση, κυκλοφορία υγρών σε βιομηχανίες κ.λ.π).

Όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές αντλιών κατασκευάζουν πλήρεις σειρές τυποποιημένων αντλιών αυτού του τύπου για ταχύτητα περιστροφής 1450 και 2900 RPM, που καλύπτουν την περιοχή παροχών από $V = 6,0-500,0$ m³/h και ολικών υψών $H = 15-80$ mΣΥ.

Μια πολύ πρακτική διαμόρφωση των μονοβάθμιων φυγοκεντρικών αντλιών που συνηθίζεται στη χημική βιομηχανία και είναι οι λεγόμενες in-line αντλίες, οι οποίες τοποθετούνται συνήθως με κατακόρυφο τον άξονα. Σ' αυτές η διατομή εισόδου βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τη διατομή εξόδου με αποτέλεσμα η αντλία να παρεμβάλλεται στη σωληνογραμμή χωρίς την παρέμβαση καμπυλών.

Μια άλλη συνηθισμένη διαμόρφωση των μονοβάθμιων αντλιών που εφαρμόζεται συνήθως για τη διακίνηση υγρών ή σε δίκτυα θέρμανσης – ψύξης (κυκλοφορητές), είναι αυτή στην οποία ο ηλεκτροκινητήρας προσαρμόζεται με φλάντζα πάνω στο σώμα της αντλίας και έχει κοινή άτρακτο με αυτή. Αυτές οι

αντλίες ονομάζονται monoblock και κατασκευάζονται για παροχές από 10-80 m³/h και μανομετρικά ύψη 8-50 mΣΥ.

3.6 Αντλίες διπλής αναρρόφησης

Αναφορικά με το σχεδιασμό των πτερωτών έχουμε τις απλές και τις διπλές πτερωτές καθώς επίσης τις **ανοικτές** και τις **κλειστές** πτερωτές.

Οι αντλίες απλού στροφείου ή απλής πτερωτής έχουν δύο ανοίγματα, ένα από κάθε πλευρά. Το πρώτο είναι για την εισαγωγή του υγρού, ενώ το δεύτερο χρησιμεύει για την είσοδο του άξονα από τον κινητήρα ή τη μηχανή που μας προσδίδει την κίνηση. Ένα τρίτο ακτινικό άνοιγμα αποτελεί τον αγωγό εξόδου.

Εκτός όμως από τις «μονές» πτερωτές υπάρχουν και οι διπλές πτερωτές που είναι συμμετρικές ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονά τους. Χρησιμοποιούμε αντλίες διπλής αναρρόφησης όταν θέλουμε να αυξήσουμε τη ροή. Στις αντλίες διπλής αναρρόφησης κάθε μια πτερωτή διακινεί το μισό της συνολικής παροχής δηλαδή $V' = V/2$, οπότε ο ειδικός αριθμός στροφών της πτερωτής χαρακτηρίζεται από την παροχή V' .

Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται με σκοπό τη μείωση του ειδικού αριθμού στροφών (ο οποίος είναι πλέον συνάρτηση του V' αντί του V) ώστε αυτός να έχει τιμές μεταξύ 2.000 και 4.000 (V σε m³/h), οπότε η πτερωτή έχει έξοδο ακτινικής ροής και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι υψηλός.

Λόγω της ιδιομορφίας όλων των τμημάτων της αντλίας διπλής αναρρόφησης (διαμπερής άτρακτος, τμήμα εισόδου κ.λ.π), οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται μόνο για μεγάλα μεγέθη και συγκεκριμένα για παροχές $V = 500-8.000$ m³/h και ολικά μανομετρικά ύψη 42-128 mΣΥ. Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης είναι συνήθως αντλίες οριζόντιου άξονα.

3.7 Πολυβάθμιες αντλίες

Οι αντλίες που κατασκευάζονται με πολλά στροφεία σε σειρά συνιστούν τις πολυβάθμιες αντλίες. Σε αυτούς τους τύπους των φυγοκεντρικών αντλιών η ποσότητα του υγρού που μεταφέρεται από τα στροφεία είναι πάντοτε η ίδια.

Η κάθε πτερωτή χρησιμεύει μόνο για να αυξάνει την πίεση. Στην έξοδο της αντλίας το υγρό αποκτά ταχύτητα ίση προς την ταχύτητα που θα είχε αν είχαμε μόνο μια πτερωτή, ενώ η τελική πίεση δίνεται από τη διαφορά πίεσης

που επιτυγχάνεται από τη μεμονωμένη λειτουργία της μιας πτερωτής, αν αυτή η τιμή πολλαπλασιαστεί επί τον αριθμό των πτερωτών.

Οι πολυβάθμιες αντλίες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν ανάγκες όπου απαιτείται μεγάλο μανομετρικό με σχετικά μικρές παροχές.

Ο αριθμός των βαθμίδων για δεδομένη πίεση και παροχή λειτουργίας υπολογίζεται έτσι ώστε ο ειδικός αριθμός στροφών κάθε πτερωτής να είναι της τάξης του 2.500 (V σε m³/h) και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλός ολικός βαθμός απόδοσης

3.8 Ειδικές φυγοκεντρικές αντλίες

Ο συνηθέστερος τύπος ειδικών αντλιών είναι οι αντλίες λυμάτων και οι αντλίες υγρών – στερεών μιγμάτων (π.χ μίγματα νερού με πέτρες, χώματα ή άλλα στερεά για την υγρή μεταφορά υλικών).

Η συγκέντρωση και το είδος των μεταφερόμενων στερεών λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή των υλικών των διαφόρων τμημάτων της αντλίας ώστε να αντέχουν ικανοποιητικά στη μηχανική διάβρωση, ενώ για τη σχεδίαση της αντλίας λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη διάμετρος του στερεού σώματος που μπορεί να περάσει από την αντλία.

Οι αντλίες λυμάτων ή στερεών είναι πάντοτε μονοβάθμιες. Στην περίπτωση οριζόντιου άξονα έχουν την πτερωτή σε πρόβολο, ενώ στην περίπτωση κατακόρυφου άξονα είναι τύπου monoblock με στεγανό υποβρύχιο κινητήρα.

Οι αντλίες λυμάτων σχεδιάζονται με αρκετά μεγάλο πλάτος πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους, έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν τη διέλευση στερεών σωμάτων μέχρι ενός ορισμένου μεγέθους.

3.9 Αντλίες αξονικής ροής

Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται συνήθως στην άντληση νερού. Οι αντλίες αυτές διακινούν υγρά σε κατεύθυνση παράλληλη, προς τον άξονά τους. Το διακινούμενο υγρό στις αντλίες αξονικής ροής κινείται από ένα στροφείο όμοιο με την προπέλα ενός πλοίου.

Τέτοιες αντλίες χρησιμοποιούμε σε συστήματα που έχουν μεγάλη ροή και χαμηλή κατάθλιψη.

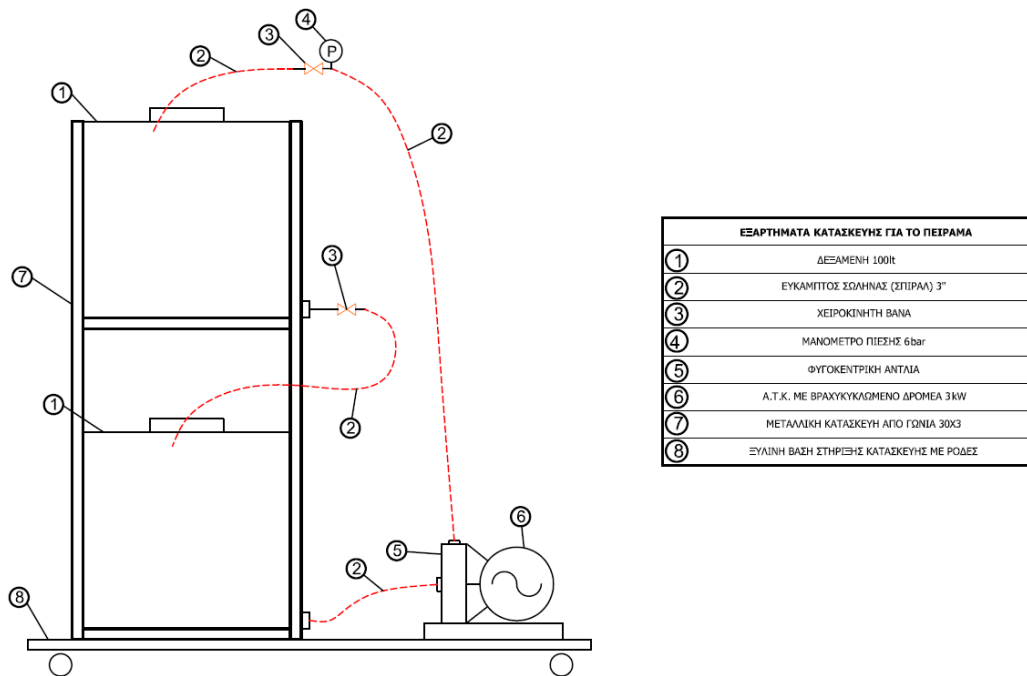
4. Πειραματικό μέρος

4.1 Περιγραφή κατασκευής

Για την διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του σχήματος 4.1 και των φωτογραφιών 4.2 που ακολουθούν.

Αποτελείται από δύο δεξαμενές 100lt, οι οποίες στηρίζονται στη θέση τους με μία πλαισιωτή μεταλλική κατασκευή από σιδηρογωνιές 30X3 mm. Ένας Α.Τ.Κ. 3HP με βραχυκυκλωμένο δρομέα σε σύνδεση τριγώνου, κινεί μία φυγόκεντρη αντλία και μέσω εύκαμπτων σωλήνων σπιράλ 3/4" ανεβάζει το νερό της κάτω δεξαμενής στην πάνω. Με ίδιας διατομής εύκαμπτο σωλήνα έχει ενωθεί η έξοδος της πάνω δεξαμενής στο στόμιο εισόδου της κάτω, ώστε να κλείσει το κύκλωμα. Δύο χειροκίνητες βάνες και ένα μανόμετρο πίεσης 6 bar, έχουν τοποθετηθεί σε κατάλληλα σημεία για τον στραγγαλισμό και την μέτρηση της πίεσης του νερού αντίστοιχα.

Όλη η κατασκευή στηρίζεται σε μια ξύλινη βάση με ρόδες για την εύκολη μεταφορά της.



σχ. 4.1 : Σκαρίφημα κατασκευής



σχ. 4.2 : Φωτογραφίες κατασκευής

4.2 Τεχνικές προδιαγραφές ρυθμιστή στροφών (Inverter)

Ο ρυθμιστής στροφών του πειράματος είναι της εταιρίας **Schneider Electric** και συγκεκριμένα ο **Telemecanique Altivar 31**.



σχ. 4.3 : Ρυθμιστές στροφών Altivar 31

Η εταιρία δίνει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά για το συγκεκριμένο ρυθμιστή στροφών:

Altivar 31 - Ρυθμιστές στροφών για κινητήρες 0,18kW - 15kW

- Ρυθμιστές στροφών για ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες από 0,18 έως 15 kW.
- Μονοφασικοί: 200-240V από 0,18 έως 2,2kw,
- Τριφασικοί: 200-240V / 380-500V / 525 -600 V από 0,18 έως 15kw,
- Ρύθμιση ταχύτητας μέσω ελέγχου διανύσματος ροής
- Εύρος ταχύτητας 1/50
- 2 Tn έως 3 Hz χωρίς προσαρμογή
- Αυτορύθμιση
- Προστασία κινητήρα και ρυθμιστή στροφών
- Λειτουργία έως και τους 50°C χωρίς υποβιβασμό της ισχύος
- Ακολουθία πέδησης
- Έλεγχος PI
- +/- Ταχύτητας, 16 προρυθμισμένες ταχύτητες
- Διαχείριση τερματικών διακοπών
- Έλεγχος διαδρομής νήματος (μηχανήματα κλωστοϋφαντουργίας)
- Συμπαγές, τοποθέτηση πλευρά-πλευρά
- Ενσωματωμένο φίλτρο κλάσης A EMC, και κλάσης B ως επιλογή
- Ενσωματωμένο Modbus και CANopen. δυνατότητα επικοινωνίας σε περισσότερα δίκτυα με χρήση επιπλέον: Fiprio, Profibus DP, DeviceNet, Ethernet
- Άλλες εκδόσεις : Βαθμός προστασίας IP55 ή kit ρυθμιστή στροφών.

Οφέλη

- Υψηλή απόδοση!

Παρά την υψηλή απόδοση και τις πλείστες λειτουργίες του, το Altivar 31 διατηρεί την απλότητά του. Τεχνολογία “Plug and drive”, συμπαγές και ανοικτό σε συστήματα αυτοματισμού με ενσωματωμένο Modbus και CANopen, τηρεί τις τοπικές προδιαγραφές (εύρος τάσης, θετική και αρνητική λογική κτλ.).

Εφαρμογές

- Διαχείριση υλικών, συσκευασία υλικών
- Αντλίες, αερισμός
- Ειδικά μηχανήματα, μηχανήματα κλωστοϋφαντουργίας



σχ.4.4 : Εσωτερική και εξωτερική άποψη Inverter

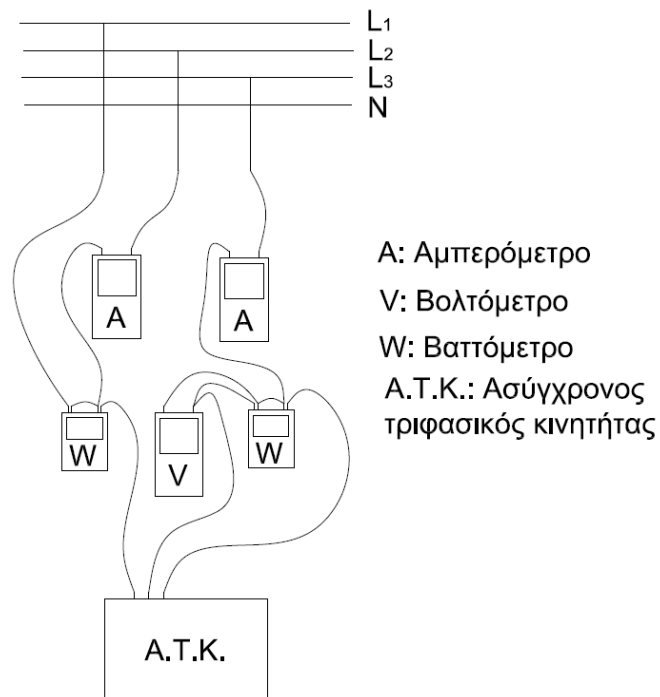
4.3 Περιγραφή ηλεκτρικής σύνδεσης και εξαρτημάτων

Ο κινητήρας, όπως προαναφέρθηκε είναι συνδεδεμένος στο τριφασικό ρεύμα του δικτύου. Οι έξι ακροδέκτες του είναι σε συνδεσμολογία τριγώνου.



σχ.4.5 : Α.Τ.Κ. σε συνδεσμολογία τριγώνου

Κατά τη διάρκεια του πειράματος λαμβάνονται μετρήσεις από δύο αμπερόμετρα, δύο βατόμετρα, και ένα βολτόμετρο συνδεδεμένα σε κατάλληλες θέσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5 και στη φωτογραφία 4.6 ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις.



σχ.4.6 : Συνδεσμολογία οργάνων μέτρησης



σχ.4.7 : Συνδεσμολογία οργάνων μέτρησης

4.4 Περιγραφή πειράματος

1^η Φάση

Αρχικά το πείραμα πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση του inverter. Κλείνουμε τη βάνα στην εξαγωγή της πάνω δεξαμενής και θέτουμε σε λειτουργία την αντλία. Μετρώντας το χρόνο και τη στάθμη του νερού, με τις διαστάσεις της δεξαμενής γνωστές, βρίσκουμε την παροχή. Στραγγαλίζοντας την χειροκίνητη βάνα στην εισαγωγή της πάνω δεξαμενής, ρυθμίζουμε την επιθυμητή πίεση. Παράλληλα χρησιμοποιώντας το τυπολόγιο του θεωρητικού μέρους της εργασίας μπορούμε να εξάγουμε επιπλέον πληροφορίες:

Μετρήσεις

| Ένταση I | Ισχύς εισόδου P _{in} | Τάση V ₁ | συχνότητα f | συντελεστής ισχύος (cosφ) | Απώλειες χαλκού P _{cu} |
|-------------|-------------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 5,7 | 1550 | 201 | | 0,78 | 142,96 |
| 5,7 | 1550 | 200 | | 0,79 | 142,96 |
| 5,7 | 1550 | 200 | | 0,79 | 142,96 |
| 6,4 | 1600 | 220 | | 0,66 | 180,22 |
| 6,4 | 1600 | 220 | | 0,66 | 180,22 |
| 6,4 | 1600 | 220 | | 0,66 | 180,22 |
| 6,4 | 1600 | 220 | | 0,66 | 180,22 |
| 6,4 | 1600 | 220 | | 0,66 | 180,22 |
| 6,35 | 1630 | 230 | | 0,65 | 177,42 |
| 6,35 | 1630 | 230 | | 0,65 | 177,42 |
| 6,35 | 1630 | 230 | | 0,65 | 177,42 |

| Ύψος νερού (cm) | χρόνος (sec) | Πίεση δικτύου P _r (bar) | Ύψος νερού h(m) | Επιφάνεια δεξαμενής s(m ²) | Όγκος V(m ³) | Μάζα m(kgr) | παροχή (kg/s) | παροχή (m ³ /h) |
|-----------------------|-----------------|--|-----------------------|--|-----------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| 12,8 | 60 | 0,5 | 0,1280 | 0,25 | 0,0320 | 32 | 0,53 | 1,92 |
| 11,2 | 60 | 1 | 0,1120 | 0,25 | 0,0280 | 28 | 0,47 | 1,68 |
| 6,7 | 60 | 2 | 0,0670 | 0,25 | 0,0168 | 16,75 | 0,28 | 1,01 |
| 18 | 60 | 0,5 | 0,1800 | 0,25 | 0,0450 | 45 | 0,75 | 2,70 |
| 12,4 | 60 | 1 | 0,1240 | 0,25 | 0,0310 | 31 | 0,52 | 1,86 |
| 8,2 | 60 | 2 | 0,0820 | 0,25 | 0,0205 | 20,5 | 0,34 | 1,23 |
| 2,3 | 60 | 2,5 | 0,0230 | 0,25 | 0,0058 | 5,75 | 0,10 | 0,35 |
| 6,4 | 60 | 2 | 0,0640 | 0,25 | 0,0160 | 16 | 0,27 | 0,96 |
| 10,8 | 60 | 1 | 0,1080 | 0,25 | 0,0270 | 27 | 0,45 | 1,62 |
| 12,8 | 60 | 0,5 | 0,1280 | 0,25 | 0,0320 | 32 | 0,53 | 1,92 |

2^η Φάση

Στη δεύτερη φάση του πειράματος συνδέουμε το Inverter. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως, με τη διαφορά ότι επιπλέον μπορούμε να ρυθμίσουμε τη συχνότητα στα επιθυμητά επίπεδα και παίρνουμε τις μετρήσεις για το πείραμα.

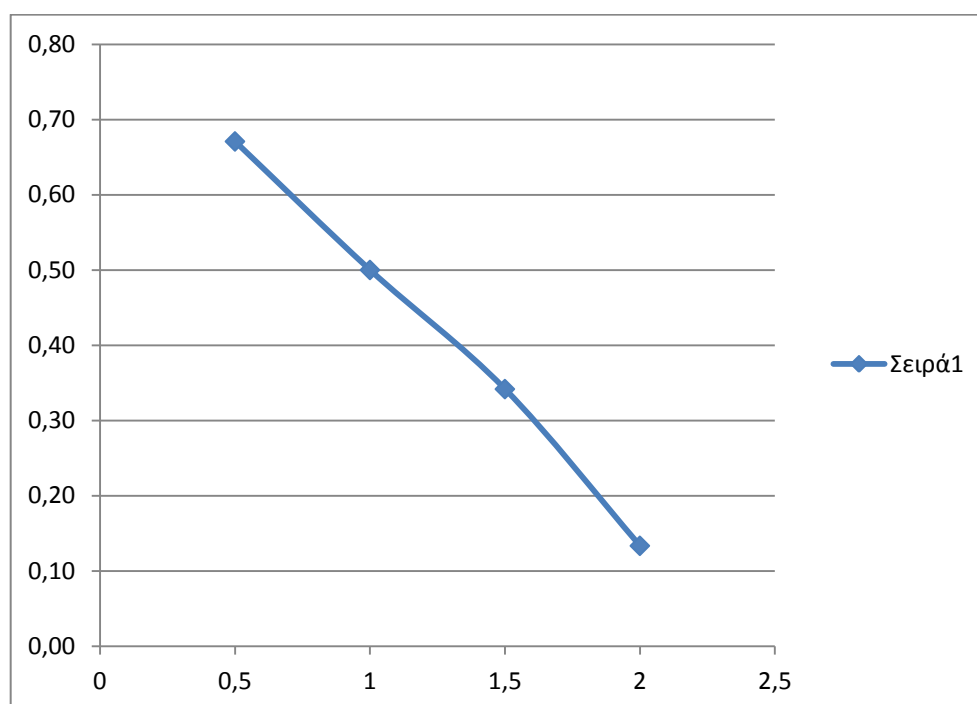
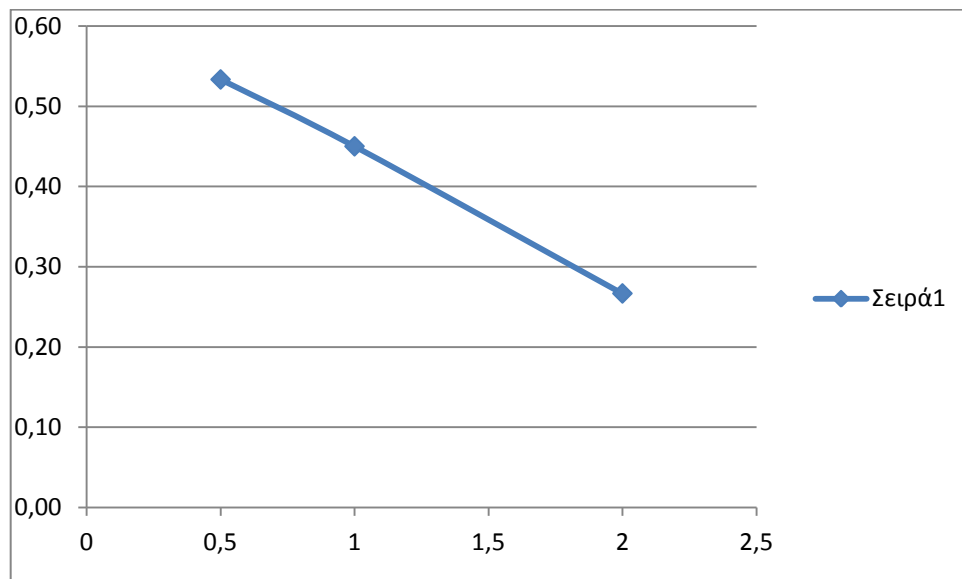
Μετρήσεις

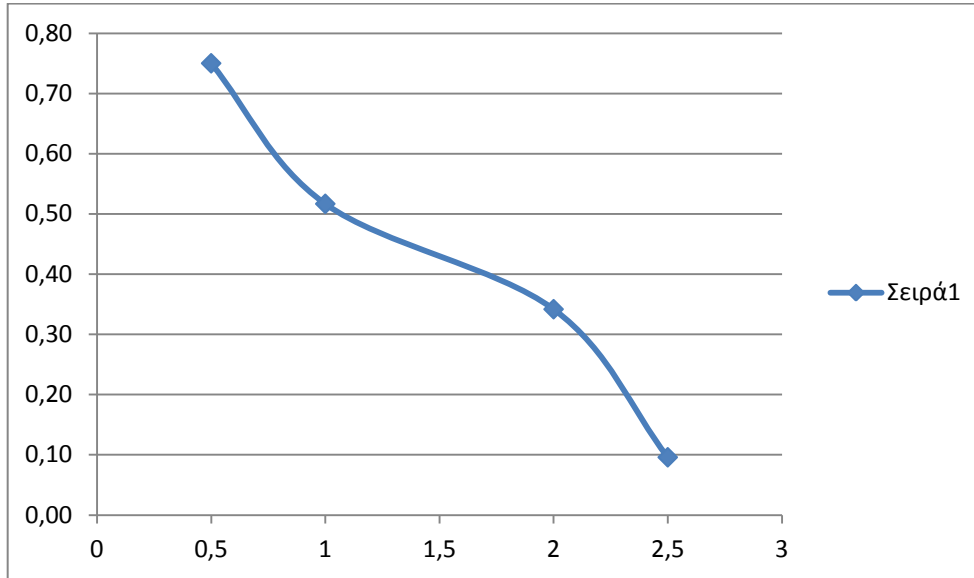
| Ένταση I | Ισχύς εισόδου P _{in} | Τάση V ₁ | συχνότητα f | συντελεστής ισχύος (cosφ) | Απώλειες χαλκού P _{cu} |
|-------------|-------------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 2,65 | 205 | 84,5 | 20 | 0,53 | 30,90 |
| 3,25 | 495 | 130 | 30 | 0,68 | 46,48 |
| 3,25 | 470 | 130 | 30 | 0,64 | 46,48 |
| 3 | 450 | 129 | 30 | 0,67 | 39,60 |
| 4,6 | 1110 | 175,3 | 40 | 0,80 | 93,10 |
| 4,6 | 1030 | 174,3 | 40 | 0,74 | 93,10 |
| 4,5 | 1000 | 174,3 | 40 | 0,74 | 89,10 |
| 5,7 | 1600 | 210,3 | 50 | 0,77 | 142,96 |
| 5,4 | 1380 | 195,3 | 45 | 0,76 | 128,30 |
| 5,45 | 1430 | 196 | 45 | 0,77 | 130,69 |
| 5,3 | 1370 | 195,2 | 45 | 0,77 | 123,60 |
| 5,2 | 1320 | 195 | 45 | 0,75 | 118,98 |

| Ύψος νερού (cm) | χρόνος (sec) | Πίεση δικτύου P _r (bar) | Ύψος νερού h(m) | Επιφάνεια δεξαμενής s(m ²) | Όγκος V(m ³) | Μάζα m(kgr) | παροχή (kg/s) | παροχή (m ³ /h) |
|-----------------------|-----------------|--|-----------------------|--|-----------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| 1,6 | 60 | 0,5 | 0,016 | 0,25 | 0,0040 | 4 | 0,07 | 0,24 |
| 8,3 | 60 | 0,5 | 0,083 | 0,25 | 0,0208 | 20,75 | 0,35 | 1,25 |
| 7,5 | 60 | 1 | 0,075 | 0,25 | 0,0188 | 18,75 | 0,31 | 1,13 |
| 1,1 | 60 | 1,5 | 0,011 | 0,25 | 0,0028 | 2,75 | 0,05 | 0,17 |
| 13,8 | 60 | 0,5 | 0,138 | 0,25 | 0,0345 | 34,5 | 0,58 | 2,07 |
| 11,2 | 60 | 1 | 0,112 | 0,25 | 0,0280 | 28 | 0,47 | 1,68 |
| 5 | 60 | 1,5 | 0,050 | 0,25 | 0,0125 | 12,5 | 0,21 | 0,75 |
| | 60 | | 0,000 | 0,25 | 0,0000 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 16,1 | 60 | 0,5 | 0,161 | 0,25 | 0,0403 | 40,25 | 0,67 | 2,42 |
| 12 | 60 | 1 | 0,120 | 0,25 | 0,0300 | 30 | 0,50 | 1,80 |
| 8,2 | 60 | 1,5 | 0,082 | 0,25 | 0,0205 | 20,5 | 0,34 | 1,23 |
| 3,2 | 60 | 2 | 0,032 | 0,25 | 0,0080 | 8 | 0,13 | 0,48 |

4.5 Διαγράμματα

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των παραπάνω μετρήσεων μπορούν να παραχθούν τα εξής διαγράμματα





4.6 Συμπεράσματα

Από τις πειραματικές μετρήσεις και ειδικά από τις συγκρίσεις τους με τη βοήθεια των διαγραμμάτων, μπορούμε να καταλήξουμε σε αρκετά συμπεράσματα.

Ειδικότερα για την εξοικονόμηση ενέργειας τα αποτελέσματα είναι εμφανή κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος, με τη χρήση του inverter για την λειτουργία του κινητήρα.

Επίσης σημαντική ήταν η αυξημένη προστασία του κινητήρα με τη χρήση του inverter. Συγκεκριμένα είχαμε ομαλή εκκίνηση και μάλιστα ρυθμιζόμενη με μικρό ρεύμα εκκίνησης, ομαλή πέδηση, καθώς και πλήρους έλεγχος των στροφών.

Βιβλιογραφία

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, Τομέας Ηλεκτρολογικός β' Τάξη 1^{ου} Κύκλου, ΥΠΕΠΘ & Διόφαντος

ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΔΡΟΜΕΑ, ΒΑΛΙΑΔΗΣ
Ελληνικοί Ηλεκτροκινητήρες, Ρυθμιστές Στροφών

ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ, <http://www.metadosi-ischios.gr>

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ, <http://www.eetemher.gr>

<http://www.schneider-electric.com>