

4. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

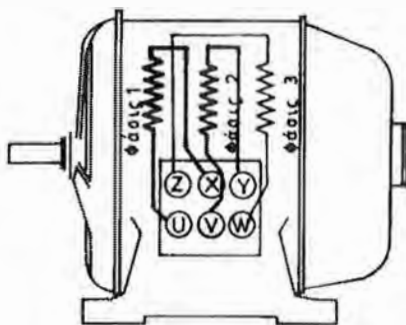
Οι ασύγχρονοι κινητήρες που ονομάζονται και επαγωγικοί κινητήρες διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Στην συνέχεια θα εξετασθούν οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες που υποδιαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, τους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και τους δακτυλιοφόρους κινητήρες.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες γενικής χρήσης και χρησιμοποιούνται πάντα, εκτός αν ειδικές συνθήκες επιβάλλουν την χρησιμοποίηση άλλων τύπων κινητήρων. Οι κινητήρες αυτοί επικράτησαν διότι είναι απλοί στην κατασκευή και συνεπώς οικονομικοί, εύκολοι στην συντήρηση, ασφαλείς στην λειτουργία και έχουν καλό βαθμό απόδοσης.

4.1 Κατασκευή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Στάτης

Η κατασκευή του στάτη είναι όμοια με εκείνη των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους. Διαφορά μπορεί να υπάρχει στην διαμόρφωση του κελύφους που προσαρμόζεται στις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρόκειται να εργασθεί ο κινητήρας. Μέσα στο κέλυφος είναι τοποθετημένος ο πυρήνας του τυμπάνου που κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα. Στα αυλάκια του τυμπάνου τοποθετείται το τριφασικό τύλιγμα, τα έξι άκρα των τριών φάσεων του οποίου καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες του πινακιδίου του κινητήρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η συνδεσμολογία των τριών φάσεων σε αστέρα ή τρίγωνο γίνεται είτε με λαμάκια είτε μέσω κατάλληλων διακοπών.



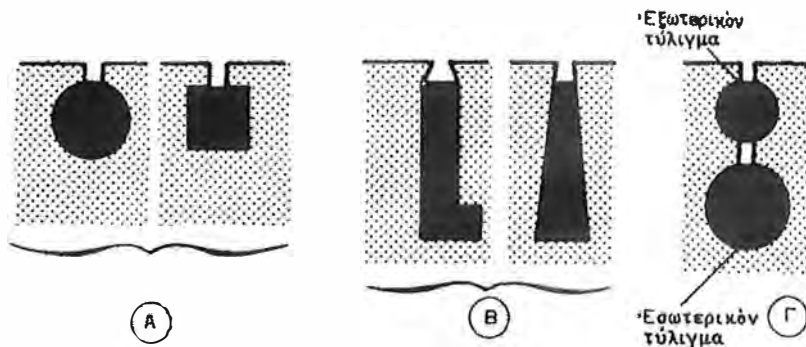
Σχήμα 4.1 Τύλιγμα στάτη ασύγχρονου κινητήρα

Δρομέας κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

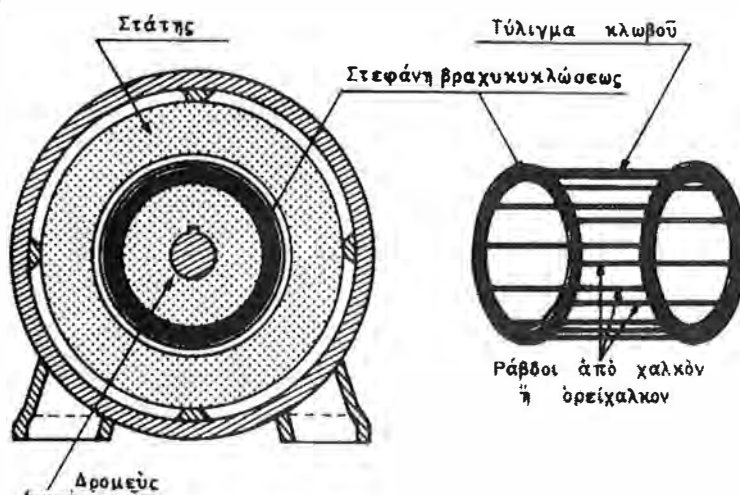
Ο δρομέας των ασύγχρονων κινητήρων δεν συνδέεται ηλεκτρικά με οποιαδήποτε πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό απλοποιεί την κατασκευή του με αποτέλεσμα τα βασικά του πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο δρομέας των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα φέρει στον άξονα τον πυρήνα που αποτελείται από πολλά μαγνητικά ελάσματα με οδοντώσεις που σχηματίζουν αυλάκια με μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Οι οδοντώσεις κατατάσσονται στις απλές, τις βαθείες και τις διπλές που προκαλούν και διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Μέσα στα αυλάκια του δρομέα τοποθετούνται ράβδοι από χαλκό ή

ορείχαλκο χωρίς μόνωση που συγκολλούνται στα δυό άκρα σε δυό στεφάνια βραχυκύκλωσης ώστε να σχηματίζεται το τύλιγμα κλωβού που φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα κλωβού κατασκευάζεται συνήθως από καθαρό αλουμίνιο που χύνεται απ'ευθείας στα αυλάκια και τα πτερύγια του ανεμιστήρα σχηματίζονται πάνω στις στεφάνες βραχυκύκλωσης. Στους δρομείς με διπλές οδοντώσεις κατασκευάζονται δύο ανεξάρτητα τυλίγματα κλωβού.



Σχήμα 4.2 Οδοντώσεις βραχυκυκλωμένου δρομέα



Σχήμα 4.3 Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

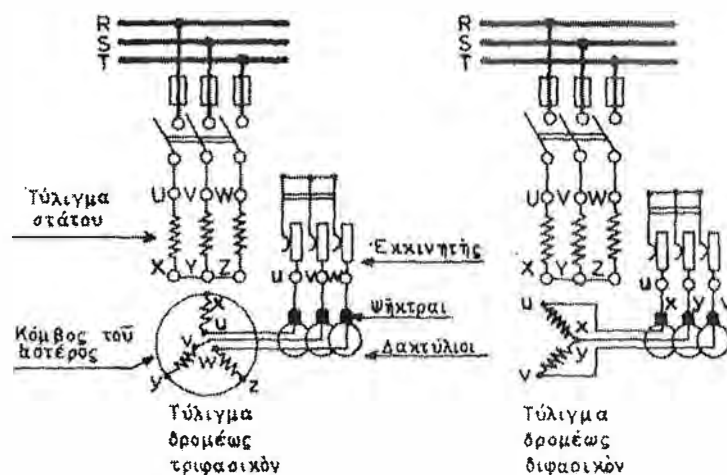
Δακτυλιοφόρος δρομέας

Ο πυρήνας των δρομέων αυτών αποτελείται από πολλά μαγνητικά ελάσματα με ημίκλειστες οδοντώσεις και μέσα στα αυλάκια τοποθετείται διφασικό ή τριφασικό τύλιγμα όπως εκείνο του στάτη με αριθμό πόλων ίδιο με εκείνον του τυλίγματος του στάτη και συνδεσμολογία των τριών τυλιγμάτων σε αστέρα. Τα ελεύθερα άκρα των τριών τυλιγμάτων καταλήγουν σε τρεις δακτυλίους σταθερά στερεωμένους στον άξονα και μονωμένους μεταξύ τους και με τον άξονα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.

Στους δακτυλίους εφάπτονται αντίστοιχες ψήκτρες με ψηκτροθήκες σταθερά στερεωμένες στον στάτη της μηχανής. Μέσω των δακτυλίων και των ψηκτρών αυτών κάθε φάση του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση ενός τριφασικού εκκινητή όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4 Δακτυλιοφόρος δρομέας κινητήρα



Σχήμα 4.5 Συνδεσμολογία ασύγχρονου δακτυλιοφόρου κινητήρα με τριφασικό και διφασικό τύλιγμα δρομέα.

4.2 Αρχή λειτουργίας

Η λειτουργία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο της ανάπτυξης ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων με επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα (από αυτό το φαινόμενο προκύπτει και το όνομα επαγωγικοί κινητήρες).

Όταν τροφοδοτηθεί τριφασικό ή και διφασικό τύλιγμα του στάτη από αντίστοιχο δίκτυο, θα δημιουργηθεί στο διάκενο της μηχανής μαγνητικό πεδίο που θα περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της. Αυτό το πεδίο μοιάζει με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο περιστρεφόμενος δρομέας εναλλακτικά με εσωτερικούς πόλους. Η ουσιαστική διαφορά στην περίπτωση αυτή είναι ότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ακίνητο πολυφασικό τύλιγμα.

Μεταξύ της συχνότητας του ρεύματος που τροφοδοτεί το τύλιγμα, του αριθμού ζευγών πόλων του τυλίγματος που δημιουργεί το πεδίο και της ταχύτητας περιστροφής του μαγνητικού πεδίου θα ισχύει η σχέση

$$n_s = \frac{f}{p} (\text{σε } rps) = \frac{60f}{p} (\text{σε } rpm)$$

Η ταχύτητα αυτή, που ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου πεδίου, εξαρτάται μόνο από την συχνότητα του ρεύματος του δικτύου τροφοδοσίας και τον αριθμό πόλων του τυλίγματος του στάτη.

Μέσα στο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο βρίσκονται οι αγωγοί του δρομέα, στα άκρα των οποίων αναπτύσσονται με επαγωγή ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούν ρεύματα στο βραχυκυκλωμένο τύλιγμα του δρομέα. Επί των περιμετρικά του δρομέα αγωγών του τυλίγματος του δρομέα που βρίσκονται στο πεδίο και διαρρέονται από ρεύμα ασκείται ζεύγος δυνάμεων που τείνει να περιστρέψει τον δρομέα κατά την φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Υπό την επίδραση των παραπάνω δυνάμεων ο ασύγχρονος κινητήρας εκκινεί και επιταχύνεται μέχρις ότου φθάσει σε μια ταχύτητα n που είναι πάντα μικρότερη από την σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (από αυτό προέρχεται και ο όρος ασύγχρονοι κινητήρες).

Η διαφορά της πραγματικής ταχύτητας του δρομέα από την σύγχρονη ταχύτητα, εξαρτάται από το φορτίο που είναι συνδεδεμένο στον άξονα, και αυξάνει όσο αυξάνει το φορτίο. Στο κανονικό φορτίο η διαφορά αυτή είναι μικρή. Ολίσθηση s ονομάζεται ο λόγος

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

Η ολίσθηση την στιγμή της εκκίνησης είναι ίση με 1 διότι τότε η ταχύτητα είναι μηδενική. Κατά την λειτουργία του κινητήρα η τιμή της ολίσθησης εξαρτάται από το φορτίο, διότι από το φορτίο εξαρτάται η ταχύτητα του δρομέα. Στην λειτουργία στο κενό η ολίσθηση είναι περίπου 0.5% και στο ονομαστικό φορτίο είναι γύρω στο 5%.

Γνωρίζοντας την ολίσθηση ενός κινητήρα σε ορισμένο φορτίο μπορεί εύκολα να βρεθεί η ταχύτητά του από την σχέση

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

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι οι ασύγχρονοι κινητήρες έχουν περίπου χαρακτηριστικά ταχύτητας ίδια με εκείνα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης. Δηλαδή η ταχύτητα είναι σχεδόν σταθερή όταν μεταβάλλεται το φορτίο από το κενό μέχρι το ονομαστικό.

4.3 Τάση και ένταση δρομέα

Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η συνδεσμολογία ενός δακτυλιοφόρου κινητήρα. Στο κύκλωμα που συνδέει τις ψήκτρες με τον εκκινητή έχουν παρεμβληθεί ο διακόπτης Δ2 και το βολτόμετρο V . Όταν ο διακόπτης Δ2 είναι ανοικτός και κλείσει ο Δ1, ο κινητήρας δεν εκκινεί διότι δεν υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα του δρομέα. Το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη όμως επάγει μια ηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύλιγμα του δρομέα, την οποία δείχνει το βολτόμετρο και ονομάζεται U_2 . Η τάση αυτή λέγεται τάση δρομέα και είναι ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του δακτυλιοφόρου κινητήρα, γιατί και γράφεται στην πινακίδα του.

Μιά και πρακτικά χωρίς κλειστό κύκλωμα δρομέα ο κινητήρας λειτουργεί σαν μετασχηματιστής, θα ισχύει η γνωστή σχέση από τους μετασχηματιστές

$$U_2 = U \frac{w_2}{w_1}$$

έχει στον δρομέα τύλιγμα κλωβού, τότε R_2 είναι η αντίσταση ανά φάση μόνο του τυλίγματος του δρομέα.

Για ορισμένη τιμή της αντίστασης R_2 το ρεύμα I_2 γίνεται μέγιστο την στιγμή της εκκίνησης οπότε $s = 1$. Στους δακτυλιοφόρους κινητήρες το μέγεθος της έντασης του ρεύματος δρομέα μπορεί να ρυθμισθεί με παρεμβολή κατάλληλων αντιστάσεων του εκκινητή αλλά στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα το ρεύμα αποκτά πολύ μεγάλες τιμές. Το ρεύμα αυτό μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνει η ταχύτητα και μειώνεται η ολίσθηση και φθάνει σχεδόν μηδενική τιμή στην λειτουργία χωρίς φορτίο. Στο ονομαστικό φορτίο του κινητήρα το ρεύμα αποκτά την ονομαστική του τιμή που γράφεται στην πινακίδα του κινητήρα.

Κατά προσέγγιση το ρεύμα δρομέα μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση

$$I_2 \cong \frac{650 P_2}{U_2}$$

όπου P_2 η ονομαστική ισχύς σε KW και U_2 η πολική τάση δρομέα σε ακινησία.

4.4 Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Αν ένας κινητήρας περιστρέφεται με n rps τότε η μηχανική ισχύς που αποδίδει στον άξονά του είναι

$$P_2 = 2\pi n T \quad (\text{σε W})$$

όπου T η ροπή σε Nm και n η ταχύτητα δρομέα σε rps

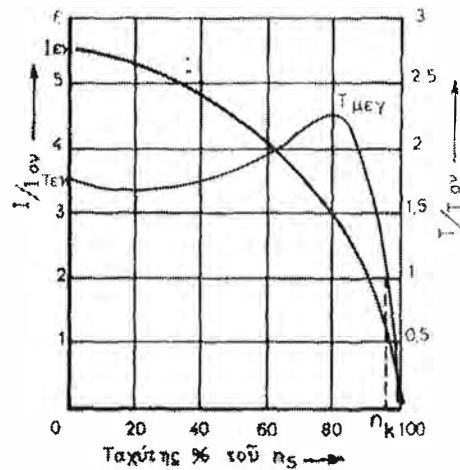
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει η αναπτυσσόμενη ροπή ως

$$T = \frac{P_2}{2\pi n}$$

Όταν η αποδιδόμενη ισχύς του κινητήρα είναι η ονομαστική και αποδίδεται υπό ονομαστική τάση και στροφές, τότε η αποδιδόμενη ροπή είναι η ονομαστική ροπή. Η ροπή του ασύγχρονου κινητήρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης του δικτύου τροφοδοσίας.

Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ροπή ενός κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα και το ρεύμα δικτύου όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του με τα δύο μεγέθη ανηγμένα στα ονομαστικά. Από τις καμπύλες είναι φανερό ότι οι εντάσεις εκκίνησης στο στάτη είναι σημαντικές και φθάνουν σε ορισμένους κινητήρες τιμές 600 ως 800% της ονομαστικής.

Για τον περιορισμό αυτών των εντάσεων παίρνονται διάφορα μέτρα που θα εξετασθούν στην συνέχεια. Στους δακτυλιοφόρους κινητήρες το πρόβλημα λύνεται με τις αντιστάσεις εκκίνησης που συνδέονται στον δρομέα.

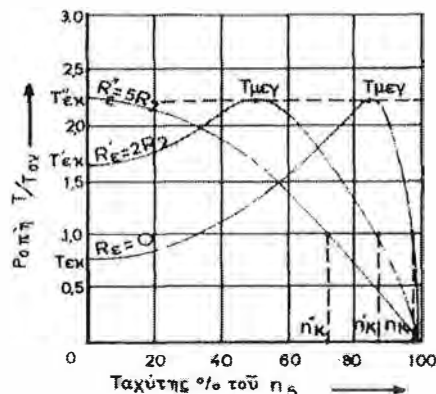


Σχήμα 4.7 Μεταβολή ροπής και ρεύματος κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Από το ίδιο σχήμα φαίνεται ότι όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, το ρεύμα που απορροφάται από το δίκτυο μειώνεται, η ροπή του όμως αυξάνει μέχρι μιας ορισμένης τιμής που λέγεται ροπή ανατροπής (που εμφανίζεται σε ορισμένη ολίσθηση που λέγεται ολίσθηση ανατροπής) και είναι η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναπτύξει ο κινητήρας και είναι σημαντικά μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής.

Η λειτουργία του κινητήρα σε ροπές μικρότερες της ροπής ανατροπής με ολισθήσεις μικρότερες της ολίσθησης ανατροπής είναι ευσταθής και ο κινητήρας προσαρμόζεται αυτόματα στις απαιτήσεις του φορτίου μειώνοντας τις στροφές για να αυξηθεί η αναπτυσσόμενη ροπή και αντιστρόφως. Αντίθετα η λειτουργία του κινητήρα σε ροπές μικρότερες της ροπής ανατροπής με ολισθήσεις μεγαλύτερες της ολίσθησης ανατροπής είναι ασταθής και ο κινητήρας διέρχεται από την περιοχή αυτή λειτουργίας μόνο κατά την εκκίνηση.

Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται η επίδραση της εξωτερικής αντίστασης του δρομέα στην χαρακτηριστική ροπής ταχύτητας ενός δακτυλιοφόρου κινητήρα. Από την μορφή των χαρακτηριστικών είναι φανερό ότι η τιμή της ροπής ανατροπής δεν επηρεάζεται από την τιμή της αντίστασης του δρομέα, αλλά η αύξηση της αντίστασης του δρομέα για ένα σταθερό φορτίο έχει ως αποτέλεσμα μείωση των στροφών του κινητήρα.

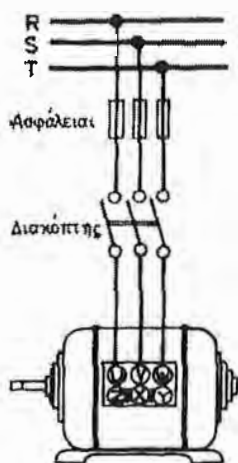


Σχήμα 4.8 Μεταβολή της ροπής δακτυλιοφόρου κινητήρα συναρτήσει των στροφών για διάφορες τιμές της εξωτερικής αντίστασης δρομέα.

4.5 Εκκίνηση κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

Απ'ευθείας εκκίνηση

Η απ'ευθείας εκκίνηση με την χρήση ενός μόνο απλού τριπολικού διακόπτη που φαίνεται στο Σχήμα 4.9, είναι η απλούστερη μέθοδος εκκίνησης τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα και χρησιμοποιείται σε σημαντικό βαθμό στην βιομηχανία.



Σχήμα 4.9 Απ'ευθείας εκκίνηση

Ο λόγος που η μέθοδος δεν βρίσκει γενική εφαρμογή είναι τα μεγάλα ρεύματα εκκίνησης που προκαλούν στιγμιαία μεγάλες πτώσεις τάσης (βυθίσεις τάσης) που είναι ενοχλητικές όταν επαναλαμβάνονται συχνά στους άλλους καταναλωτές και μπορεί να προκαλέσουν γενικότερα προβλήματα στα δίκτυα. Η επιχείρηση ηλεκτρισμού έχει καθορίσει τις μέγιστες επιτρεπόμενες εντάσεις απ'ευθείας εκκίνησης χωρίς έγκρισή της κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες που φαίνονται στον Πίνακα 4.1 και τις μέγιστες επιτρεπόμενες εκκινήσεις κινητήρων από ιδιαίτερο μετασχηματιστή που φαίνονται στον Πίνακα 4.2.

Τροφοδοτήσεις από δίκτυον	Τριφασικοί κινητήρες με εκκινήσεις		Μονοφασικοί κινητήρες
	Σπανίως (*)	Συχνάς (*)	
Έναέριον 220/380 V	50 A	30 A	27 A
Υπόγειον 220/380 V	70 A	50 A	40 A

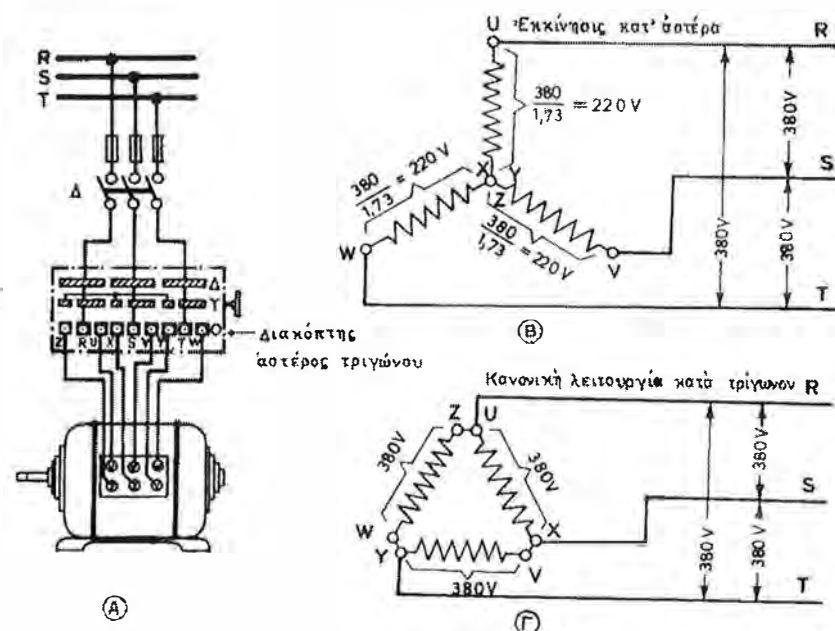
Πίνακας 4.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες εντάσεις απ'ευθείας εκκίνησης

Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου

Κατά την μέθοδο αυτή μέσω κατάλληλου διακόπτη που φαίνεται στο Σχήμα 4.10 και ονομάζεται διακόπτης αστέρα – τριγώνου, το τύλιγμα του στάτη που είναι κατασκευασμένο να εργάζεται κανονικά σε συνδεσμολογία τριγώνου, κατά την εκκίνηση συνδέεται σε αστέρα.

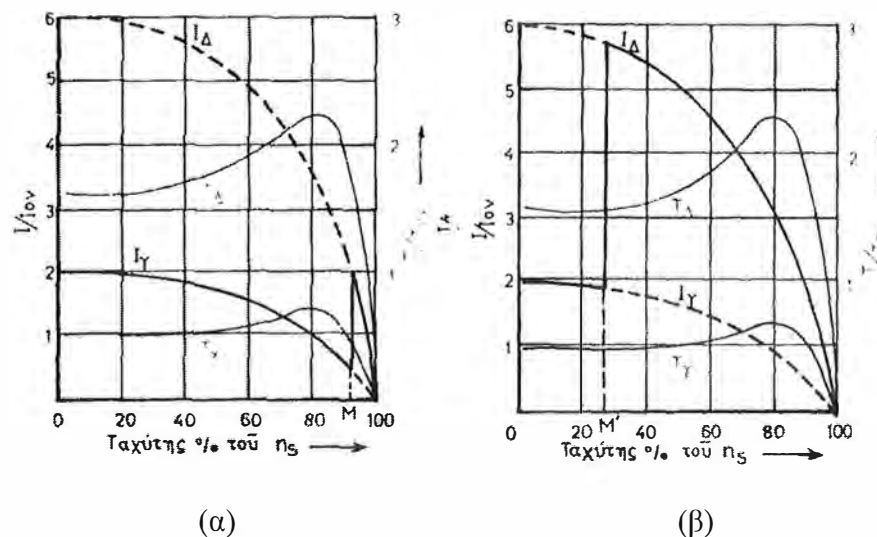
Ίσχυς μετασχηματιστού είς kVA	Μεγίστη επιτρεπόμενη ένταση εκκίνησης είς A
15	30
25	42
50	85
75	127
100	170
150	255
200	300
250	300
400	300
500	300
600	300

Πίνακας 4.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες εντάσεις εκκίνησης από ιδιαίτερο μετασχηματιστή



Σχήμα 4.10 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου

Έτσι αρχικά οι τάσεις που επιβάλλονται σε κάθε φάση είναι μειωμένες κατά τον παράγοντα 1.73 με αποτέλεσμα και τα αντίστοιχα ρεύματα δικτύου να μειώνονται κατά τον αντίστοιχο παράγοντα και τα ρεύματα φάσεων να είναι ίσα με το 1/3 των αντίστοιχων σε συνδεσμολογία τριγώνου. Κατά το ίδιο ποσοστό μειώνεται και η ροπή του κινητήρα βέβαια όπως φαίνεται στις καμπύλες του Σχήματος 4.11. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή της χρονικής στιγμής αλλαγής της συνδεσμολογίας από αστέρα σε τρίγωνο διότι κακή επιλογή της στιγμής μπορεί να μην έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.



Σχήμα 4.11 Μεταβολές ρευμάτων και ροπών κατά την ζεύξη αστέρα – τριγώνου.

Άλλες μέθοδοι εκκίνησης

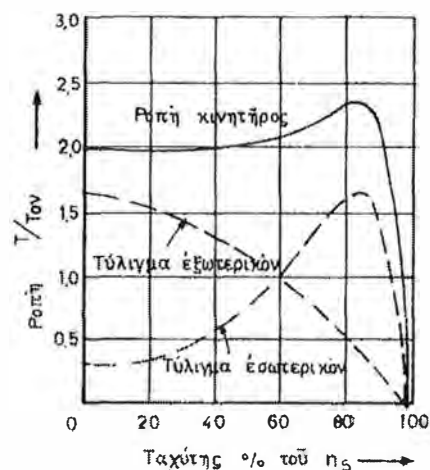
Παλιότερα χρησιμοποιήθηκε και η σταδιακή εκκίνηση με πρόσθετες αντιστάσεις εκκίνησης στον στάτη που μείωναν την τάση που επιβάλλεται στο τύλιγμα του στάτη. Για την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα χρησιμοποιήθηκαν επίσης και αυτομετασχηματιστές με λογική ανάλογη της προηγούμενης και ανάλογα αποτελέσματα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι εκκίνησης περιλαμβάνουν μετατροπείς ισχύος (ρυθμιστές τάσης) που μπορούν να μεταβάλλουν ελεγχόμενα την επιβαλλόμενη τάση τροφοδοσίας ώστε να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές εκκινήσεις (ελαχιστοποίηση χρόνου χωρίς υπερβολικά ρεύματα εκκίνησης).

Κινητήρες διπλού κλωβού

Στα προηγούμενα αναφέρθηκε ότι οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα έχουν μεγάλα ρεύματα εκκίνησης με αποτέλεσμα να πρέπει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι μείωσης των ρευμάτων αυτών. Αυτό όμως έχει ταυτόχρονα σαν αποτέλεσμα την μεγάλη μείωση της αναπτυσσόμενης ροπής οπότε αναγκαστικά οι κινητήρες αυτοί πρέπει να εκκινούν είτε χωρίς φορτίο ή με πολύ μικρό φορτίο.

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή των κινητήρων διπλού κλωβού, με εξωτερικό τύλιγμα ράβδων μικρής διατομής και μεγάλης ωμικής αντίστασης και εσωτερικό τύλιγμα λίγων ράβδων μεγάλης διατομής και μικρής αντίστασης. Η αναπτυσσόμενη ροπή είναι άθροισμα των ροπών των δύο τυλιγμάτων όπως φαίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 4.12 με τελικό αποτέλεσμα το ρεύμα απ'ευθείας εκκίνησης να φθάνει μόνο το 200 ως 350% του ονομαστικού.



Σχήμα 4.12 Συνισταμένη ροπή κινητήρα διπλού κλωβού

Κινητήρες με βαθιά αυλάκια

Οι κινητήρες διπλού κλωβού αντικαθιστούνται όλο και περισσότερο από κινητήρες με βαθιά αυλάκια οι οποίοι έχουν απλούστερα χαρακτηριστικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απ'ευθείας εκκινήσεις με ισχύς μέχρι μερικών εκατοντάδων KW.

4.6 Μέθοδοι εκκίνησης δακτυλιοφόρων κινητήρων

Στους δακτυλιοφόρους κινητήρες η μείωση της έντασης εκκίνησης που απορροφάται από το δίκτυο τροφοδοσίας πραγματοποιείται μέσω ενός τριφασικού εκκινητού αντιστάσεων που συνδέεται κατά την φάση της εκκίνησης στους ακροδέκτες του δρομέα μέσω συστήματος δακτυλίων – ψηκτρών. Αρχικά ολόκληρη η αντίσταση του εκκινητή περιορίζει το ρεύμα και στην συνέχεια, μετά την άνοδο των στροφών, η αντίσταση μειώνεται σταδιακά μέχρι να αποσυνδεθεί εντελώς. Υπάρχουν διάφορες διατάξεις εκκινήτων, από χειροκίνητους για παλιούς και μικρούς κινητήρες μέχρι αυτοματοποιημένους με ηλεκτρονόμους που ελεγχόμενοι είτε από τον χρόνο είτε από την τιμή του ρεύματος πραγματοποιούν την εκκίνηση και μάλιστα υπό φορτίο. Μια διάταξη εκκίνησης με χειροκίνητο εκκινητή φαίνεται στο Σχήμα 4.13.

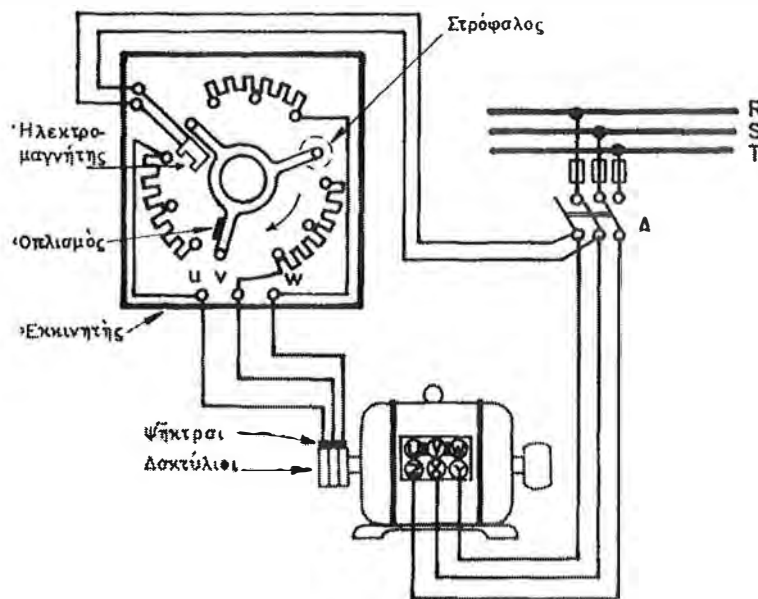
4.7 Ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής

Από προηγούμενες σχέσεις η ταχύτητα περιστροφής ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα δίνεται από τον τύπο

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

όπου f η συχνότητα τροφοδοσίας του τυλίγματος του στάτη, p ο αριθμός ζευγών πόλων του τυλίγματος του στάτη και s η ολίσθηση του κινητήρα.

Από τον παραπάνω τύπο είναι φανερό ότι η ταχύτητα του κινητήρα μπορεί να ρυθμισθεί με μεταβολή ενός από τα μεγέθη f , p και s .



Σχήμα 4.13 Συνδεσμολογία τριφασικού χειροκίνητου εκκινητή σε δακτυλιοφόρο κινητήρα

Ρύθμιση ταχύτητας με μεταβολή της ολίσθησης

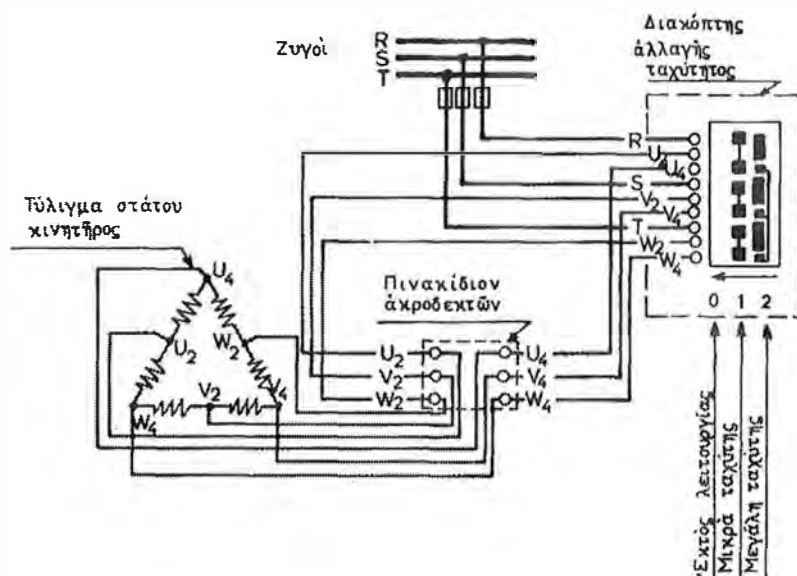
Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δακτυλιοφόρους κινητήρες με την βοήθεια ρυθμιστή στροφών που είναι όμοιος με τον τριφασικό εκκινητή αλλά με αντιστάσεις που θα μπορούν να αντέχουν τα ισχυρά ρεύματα που θα τις διαρρέουν. Η ταχύτητα μεταβάλλεται με μεταβολή της αντίστασης του ρυθμιστή αλλά αυτή η μέθοδος είναι αντιοικονομική λόγω των μεγάλων ωμικών απωλειών στην αντίσταση του ρυθμιστή. Φυσικά η ταχύτητα δεν μπορεί να μεταβληθεί πέραν της συγχρόνου ταχύτητας.

Ρύθμιση ταχύτητας με μεταβολή του αριθμού των ζευγών πόλων

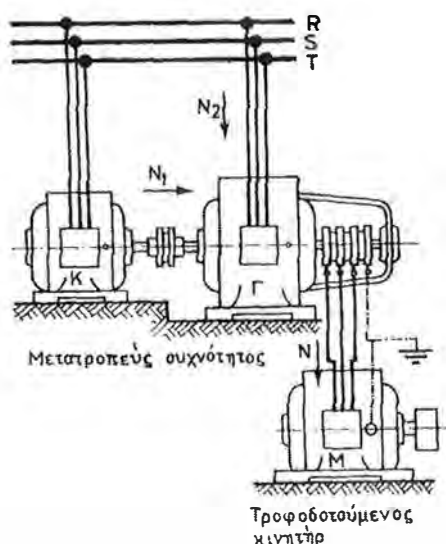
Η μέθοδος εφαρμόζεται στην περίπτωση κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα με απ'ευθείας εκκίνηση. Χρησιμοποιούνται ειδικά τυλίγματα στάτη τα οποία μέσω ειδικού διακόπτη εμφανίζουν δύο διαφορετικούς αριθμούς ζευγών πόλων. Μιά τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 4.14.

Ρύθμιση ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας

Η μέθοδος χρησιμοποιείται και σε κινητήρες που πρέπει να κινηθούν με ταχύτητες μεγαλύτερες της σύγχρονης ταχύτητας. Παλιότερα και πριν την εισαγωγή των ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος χρησιμοποιήθηκαν μετατροπείς συχνότητας αποτελούμενοι από ζεύγος ηλεκτρικών μηχανών όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.15. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του Σχήματος η ρυθμιζόμενη συχνότητα παράγεται από δακτυλιοφόρο κινητήρα που λειτουργεί ως ασύγχρονη γεννήτρια παράγοντας στον δρομέα την μεταβλητή συχνότητα.



Σχήμα 4.14 Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής ταχύτητας κινητήρα δύο ταχυτήτων



Σχήμα 4.15 Μετατροπέας συχνότητας με ζεύγος ηλεκτρικών μηχανών

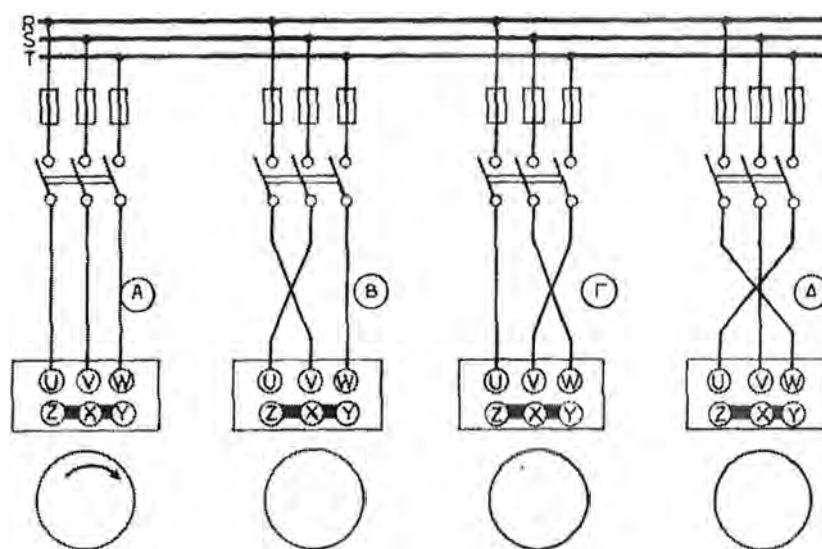
Σύγχρονες μέθοδοι ρύθμισης στροφών με ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος

Μετά την εισαγωγή των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, τόσο η εκκίνηση όσο και η ρύθμιση στροφών πραγματοποιούνται πολύ πιο εύκολα, οικονομικά και με ακρίβεια με την χρήση των μετατροπέων ισχύος που εξετάστηκαν στο μάθημα των ηλεκτρονικών ισχύος. Λεπτομέρειες των χρησιμοποιούμενων διατάξεων θα δοθούν στο μάθημα των Ηλεκτρονικών Κινητηρίων Συστημάτων του ΣΤ εξαμήνου.

4.8 Αλλαγή φοράς περιστροφής

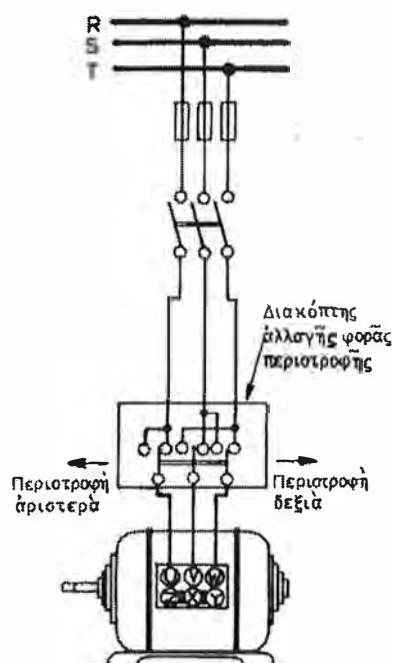
Η φορά περιστροφής του τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα είναι ίδια με την φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Ετσι για την αλλαγή φοράς πρέπει να

αλλάζει η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Αυτό γίνεται με αντιμετάθεση των συνδέσεων με τους ακροδέκτες σε δύο από τους τρεις αγωγούς τροφοδοτήσεως του κινητήρα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16 Αλλαγή φοράς περιστροφής ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Αν η αλλαγή πρόκειται να γίνει μια φορά η εναλλαγή των συνδέσεων γίνεται στην πινακίδα ακροδεκτών του κινητήρα, αλλά αν αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται συχνά, τότε χρησιμοποιείται ειδικός διακόπτης αλλαγής φοράς περιστροφής όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17.



Σχήμα 4.17 Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής φοράς περιστροφής

4.9 Βαθμός απόδοσης και συντελεστής ισχύος

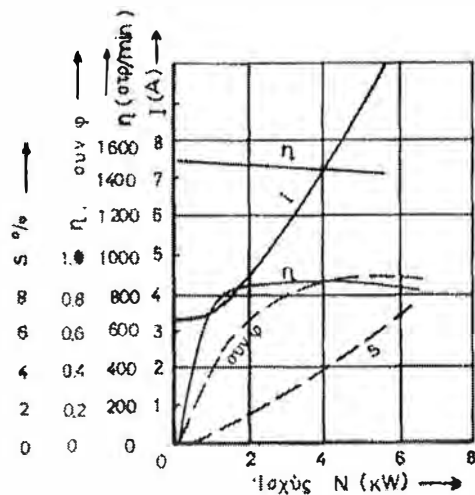
Βαθμός απόδοσης

Ο ακριβής υπολογισμός του βαθμού απόδοσης ενός κινητήρα γίνεται με προσδιορισμό των απωλειών του. Οι απώλειες του κινητήρα μπορούν να διαχωρισθούν σε δύο είδη :

α) τις σταθερές που είναι ανεξάρτητες του φορτίου του και είναι οι μαγνητικές (από υστέρηση και δινορρεύματα) και οι μηχανικές (από τριβές και αερισμό)

β) τις μεταβλητές που εξαρτώνται από το φορτίο και είναι θερμικές απώλειες λόγω των ρευμάτων που διαρρέουν τα τυλίγματα στάτη και δρομέα

Η μεταβολή του βαθμού απόδοσης ενός ασύγχρονου κινητήρα όταν μεταβάλλεται το φορτίο του φαίνεται στο Σχήμα 4.18 στο οποίο δείχνονται επίσης και άλλες καμπύλες λειτουργίας ενός κινητήρα 4 KW, 1500 rpm.



Σχήμα 4.18 Καμπύλες λειτουργίας κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Συντελεστής ισχύος

Συντελεστής ισχύος κινητήρα υπό ορισμένο φορτίο είναι ο λόγος της απορροφούμενης από το δίκτυο πραγματικής ισχύος προς την φαινομένη ισχύ

$$\cos \phi = \frac{P_1}{S}$$

όπου P_1 είναι η απορροφούμενη από το δίκτυο ηλεκτρική ισχύς και S είναι η φαινομένη ισχύς που δίνονται από τους τύπους

$$P_1 = \sqrt{3}UI \cos \phi \quad \text{και} \quad S = \sqrt{3}UI$$

όπου U η πολική τάση του δικτύου και I το ρεύμα γραμμής.

Από τις καμπύλες του Σχήματος 4.18 φαίνεται ότι ο συντελεστής ισχύος μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται το φορτίο του κινητήρα και φθάνει το 0.8 – 0.9 στο ονομαστικό φορτίο. Στην λειτουργία χωρίς φορτίο ο συντελεστής ισχύος είναι πολύ μικρός διότι ο κινητήρας συμπεριφέρεται σχεδόν σαν καθαρό πηνίο απορροφώντας ένα ρεύμα χωρίς φορτίο που είναι σημαντικό ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος και φθάνει το 40-50% στους μικρούς κινητήρες και το 25-30% στους μέσους και μεγαλύτερους κινητήρες.

4.10 Χαρακτηριστικά στοιχεία ασύγχρονων κινητήρων

Στην πινακίδα του κατασκευαστή που φέρει κάθε κινητήρας, γράφονται, εκτός από τις συνήθειες ενδείξεις και τα εξής χαρακτηριστικά

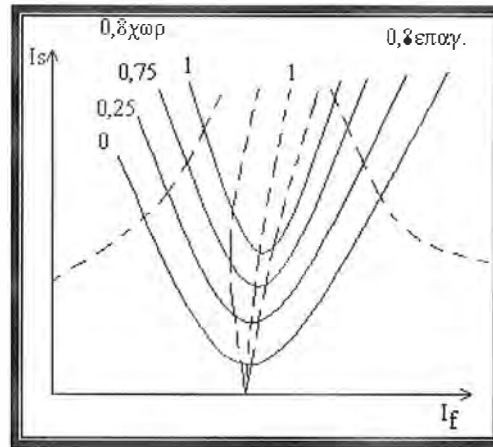
- α) η ονομαστική ισχύς του κινητήρα σε K W ή σε HP (1HP = 0.736 KW)
- β) ο αριθμός φάσεων του κινητήρα
- γ) η ονομαστική συχνότητα
- δ) η ονομαστική τάση. Εφόσον στους τριφασικούς κινητήρες είναι δυνατή η λειτουργία είτε σε σύνδεση τριγώνου είτε σε σύνδεση αστέρα, η ονομαστική τάση δίνεται με δύο αριθμούς, από τους οποίους ο πρώτος δίνει την πολική τάση του δικτύου ηλεκτροδότησης για λειτουργία του κινητήρα σε τρίγωνο και ο δεύτερος για λειτουργία σε αστέρα πχ. 220/380V. Η τάση μπορεί να γραφεί και σαν 220V Δ, πράγμα που σημαίνει ότι ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος να λειτουργεί κανονικά σε δίκτυο πολικής τάσης 220V σε συνδεσμολογία τριγώνου. Αυτονόητο είναι ότι ο ίδιος κινητήρας συνδεσμολογημένος σε αστέρα μπορεί να εργασθεί κανονικά σε δίκτυο πολικής τάσης 380V. Γιαυτό στον ίδιο κινητήρα μπορεί να γραφεί τάση 380V Υ.
- ε) η ονομαστική ένταση του κινητήρα
- στ) ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος
- ζ) η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής σε rpm
- η) στους δακτυλιοφόρους κινητήρες γράφεται και η τάση και η ένταση στον δρομέα

Στον Πίνακα 4.3 δίνονται οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών στοιχείων ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων. Ακριβή στοιχεία δίνονται από τους κατασκευαστές.

Ο συντελεστής ισχύος στον οποίο λειτουργεί ο σύγχρονος κινητήρας μπορεί να ελεγχθεί ρυθμίζοντας το ρεύμα διέγερσης.

Η καμπύλη δείχνει τη σχέση μεταξύ του ρεύματος του δρομέα και του ρεύματος διέγερσης για μια σταθερή τάση στα άκρα του στάτη με ένα σταθερό φορτίο στον άξονα του.

Μια οικογένεια καμπυλών φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Καμπύλες (V)

Για σταθερή ισχύ εξόδου, το ρεύμα του δρομέα είναι φυσικά ελάχιστο σε ένα μοναδιαίο συντελεστή ισχύος και αυξάνεται με μείωση του συντελεστή ισχύος.

Αυτές οι καμπύλες δείχνουν πως το ρεύμα διέγερσης πρέπει να μεταβληθεί καθώς το φορτίο μεταβάλλεται σε σχέση με τον κύριο σταθερό συντελεστή ισχύος.

Τα σημεία στα δεξιά του μοναδιαίου συντελεστή ισχύος συνθέτουν μια καμπύλη που αντιστοιχεί σε υπερδιέγερση και χωρητικό ρεύμα εισόδου. Τα σημεία στα αριστερά αντιστοιχούν σε υποδιέγερση και επαγωγικό ρεύμα εισόδου. Η διακεκομμένη γραμμή καθορίζει τα όρια στα οποία θα πρέπει να περιορισθεί το ρεύμα διέγερσης για να μην έχουμε αποδιέγερση της μηχανής. Επίσης καθορίζεται και το όριο του ρεύματος I_s το οποίο δεν μπορεί να ξεπερνάει μια ορισμένη τιμή (υπερφόρτιση).

Παράλληλη λειτουργία γεννητριών Ε.Ρ.(Εναλλακτήρων).

Για να πραγματοποιηθεί ο παραλληλισμός των εναλλακτήρων πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις :

- α) Οι εναλλακτήρες να είναι του αυτού είδους (π.χ τριφασικοί κατά Υ)
- β) Οι παραγόμενες ομοειδείς τάσεις U_1 και U_2 να είναι ίσες.
- γ) Οι συχνότητες f_1 και f_2 να είναι ίσες.
- δ) Η διαδοχή των φάσεων να είναι η ίδια.
- ε) Οι τάσεις των αντίστοιχων φάσεων να είναι σε φάση.