

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**



# **ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ  
ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Μαλατέστα Παντελή υπεύθυνο καθηγητή για την πτυχιακή μας εργασία, για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση του κατά την συγγραφή της.  
Ξεχωριστά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή του εργαστηρίου των ηλεκτρονικών ισχύος κ. Βυλλιιώτη Ηρακλή για τις πολύτιμες συμβουλές του.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	6
<b>Κεφάλαιο 1: ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Γενικά περί ηλεκτρικών μηχανών επαγωγής.....	7
1.2 Δομή ηλεκτρικών μηχανών επαγωγής.....	7
1.3 Λειτουργία και σημαντικές ιδιότητες.....	9
1.4 Έννοια της ολίσθησης του δρομέα.....	12
1.5 Ισοδύναμο κύκλωμα.....	13
1.6 Απώλειες και διάγραμμα ροής ισχύος.....	15
1.7 Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας.....	17
1.8 Κλάσεις σχεδίασης κινητήρων.....	20
<b>Κεφάλαιο 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ .....</b>	<b>23</b>
2.1 Δίοδος.....	23
2.2 Θυρίστωρ.....	25
2.3 Τριάς.....	27
<b>Κεφάλαιο 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....</b>	<b>29</b>
3.1 Περί μονοφασικών κινητήρων.....	29
3.1.1 Εκκίνηση με χρήση του βοηθητικού τυλίγματος.....	30
3.1.2 Εκκίνηση με χρήση πυκνωτή μόνιμης λειτουργίας.....	31
3.1.3 Εκκίνηση με χρήση δύο πυκνωτών.....	33
3.1.4 Εκκίνηση με χρήση μόνο του πυκνωτή εκκίνησης .....	34
3.2 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων.....	35
3.2.1 Απευθείας εκκίνηση .....	35
3.2.2 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.....	36
3.2.3 Εκκίνηση με αντίσταση στο στάτη.....	39
3.2.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου.....	40
3.2.5 Εκκίνηση με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.....	45
<b>Κεφάλαιο 4 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ (SOFT- STARTER).....</b>	<b>47</b>
4.1 Γενικά.....	47
4.1.1 Οι κυριότερες λειτουργίες των ηλεκτρικών ομαλών εκκινήτων...47	
4.1.2 Εφαρμογές.....	48
4.1.3 Ομαλός εκκινήτης (soft-starter) .....	48
4.1.4 Συνεχόμενη παράλληλη εκκίνηση κινητήρων.....	51
4.1.4.1 Παράλληλη εκκίνηση .....	51
4.1.4.2 Συνεχόμενη εκκίνηση .....	51
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ SOFT STARTER.....	51
4.2.1 Προστατευτικό κάλυμμα.....	52
4.2.2 Τυπωμένο κύκλωμα.....	52
4.2.3 Λειτουργία των θυρίστωρ σε ένα soft-starter.....	52

4.2.4 Σύστημα αποβολής θερμότητας.....	53
4.3 Λειτουργία.....	53
4.3.1 Αρχή λειτουργίας.....	53
4.3.2 Κοινές ρυθμίσεις για τα soft- starter.....	54
4.3.3 Ενδείξεις λειτουργίας για το soft-starter.....	56
4.3.4 Τάσεις λειτουργίας.....	56
4.3.5 Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	57
<b>Κεφάλαιο 5</b> Σύνδεση του soft-starter.....	58
5.1 Γενικά.....	58
5.2 Κατευθείαν σύνδεση (in-line).....	58
5.3 Σύνδεση μέσα στο τρίγωνο (inside delta).....	58
5.4 Ηλεκτρικές συνδέσεις.....	59
5.4.1 Σύνδεση γείωσης.....	59
5.4.2 Καταστολή θορύβων.....	59
5.4.3 Οργάνωση αγωγών.....	60
<b>Κεφάλαιο 6</b> Προϋποθέσεις καλής λειτουργίας και παράμετροι ασφαλείας.....	62
6.1 Αρμονικές.....	62
6.2 Εκρηκτικά περιβάλλοντα.....	62
6.3 Συμμόρφωση με πρότυπα.....	63
6.3.1 Τύποι συμμόρφωσης.....	63
6.3.2 Κατηγορίες χρήσης και τυπικές εφαρμογές.....	64
6.4 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση.....	64
<b>Κεφάλαιο 7</b> Εφαρμογές με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή τάσης ....	66
7.1 Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες.....	66
7.1.1 Κατευθείαν εκκίνηση.....	66
7.1.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος- τριγώνου.....	66
7.1.3 Ομαλός εκκινητής.....	66
7.1.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή.....	68
7.2 Αντλίες	
7.2.1 Κατευθείαν εκκίνηση.....	69
7.2.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος- τριγώνου.....	69
7.2.3 Το σταμάτημα της αντλίας .....	69
7.2.4 Ομαλός εκκινητής.....	69
7.2.5 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή.....	70
7.3 Συμπιεστές.....	71
7.3.1 Κατευθείαν εκκίνηση.....	71
7.3.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος- τριγώνου.....	71
7.3.3 Ομαλός εκκινητής.....	71
7.3.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή.....	72
7.4 Μεταφορικές ταινίες.....	73
7.4.1 Κατευθείαν εκκίνηση.....	73
7.4.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος- τριγώνου.....	73

7.4.3 Ομαλός εκκινητής.....	76
7.4.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή.....	76
Επίλογος.....	79
Βιβλιογραφία.....	80

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης τις σύγχρονες μεθόδους εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων.

Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά μέρη της θεωρίας των ηλεκτρικών μηχανών επαγωγής, ο προσδιορισμός των παραμέτρων του ισοδύναμου κυκλώματος και η κλάση σχεδίασης των κινητήρων .

Στη συνέχεια κάνουμε μια εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος και συγκεκριμένα στις διόδους, θυρίστορ και triac, που είναι τα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τη διάταξη του soft-starter.

Μετάπειτα παρουσιάζουμε τις συμβατικές μεθόδους εκκίνησης που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε απλές εφαρμογές.

Το κύριο μέρος της εργασίας αναφέρεται στις σύγχρονες μεθόδους εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων, από τις οποίες η επικρατέστερη και πιο διαδεδομένη είναι η διάταξη soft-starter. Πιο αναλυτικά τη σύνδεσή του, τις προϋποθέσεις καλής λειτουργίας και τις παραμέτρους ασφάλειας του.

Τέλος, παρουσιάζουμε έναν εύρος εφαρμογών που βρίσκουν σήμερα οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές τάσης (soft-starter).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

#### **1.1 Γενικά περί ηλεκτρικών μηχανών επαγωγής**

Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: τις σύγχρονες μηχανές και τις ασύγχρονες μηχανές ή μηχανές επαγωγής.

Το ρεύμα διέγερσης των σύγχρονων μηχανών παράγεται από ανεξάρτητες πηγές Σ.Ρ ενώ το ρεύμα διέγερσης των επαγωγικών μηχανών παράγεται επαγωγικά (αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή) στα τυλίγματα διέγερσης τους.

Αυτού του είδους οι μηχανές έλαβαν την ονομασία επαγωγικές λόγω του ότι η τάση στο δρομέα (που παράγει το ρεύμα διέγερσης και το πεδίο του δρομέα) ουσιαστικά επάγεται στο κύκλωμα διέγερσης αντί να προσφέρεται σε αυτό με κάποια ηλεκτρική σύνδεση.

Η ειδοποιός διαφορά ενός επαγωγικού κινητήρα είναι το γεγονός ότι για να κινηθεί δεν είναι απαραίτητο να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα διέγερσης.

Η επαγωγική μηχανή μπορεί να λειτουργεί και σαν κινητήρας και σαν γεννήτρια. Όμως κατά τη λειτουργία της ως γεννήτρια παρατηρούνται πολλά μειονεκτήματα, πράγμα που την κάνει να χρησιμοποιείται σπάνια ως γεννήτρια. Συνέπεια τούτου είναι όλες οι επαγωγικές μηχανές να αναφέρονται ως επαγωγικοί κινητήρες.

#### **1.2 Δομή ηλεκτρικών μηχανών επαγωγής**

Οι ηλεκτρικές μηχανές επαγωγής αποτελούνται από το ακίνητο μέρος τον στάτη και τον περιστρεφόμενο δρομέα.

Ο στάτης και ο δρομέας χωρίζονται από το διάκενο, η τάξη μεγέθους του είναι συνήθως κλάσματα του χιλιοστού. Σε πολύ μεγάλους κινητήρες μπορεί το διάκενο να είναι μερικά χιλιοστά.

Ένας τυπικός στάτης και δρομέας φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 1.2

*Ενεργά μέρη* : είναι οι περιελίξεις του στάτη και του δρομέα (φορείς της τάσης και του ρεύματος) και οι πυρήνες του στάτη και του δρομέα (φορείς της μαγνητικής ροής). Οι περιελίξεις είναι τοποθετημένες στα αυλάκια που βρίσκονται στην εσωτερική περιφέρεια του πυρήνα του στάτη και στην εξωτερική περιφέρεια του πυρήνα του δρομέα.

Οι πυρήνες αποτελούνται από στοιβαγμένα πυριτιούχα δυναμοελάσματα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών δινορρευμάτων. Σε μεγάλες μηχανές οι πυρήνες κατασκευάζονται για τεχνολογικούς λόγους από τομείς δυναμοελασμάτων.

Στα αυλάκια του στάτη τοποθετείται η τριφασική περιέλιξη, τα έξι άκρα της οποίας καταλήγουν σε ισάριθμους ακροδέκτες του κιβωτίου άκρων.

Η περιέλιξη που βρίσκεται στα αυλάκια του δρομέα χαρακτηρίζει και το είδος της επαγωγικής μηχανής:

- *επαγωγική μηχανή με δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού*  
Αποτελείται από μία σειρά αγώγιμων ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δύο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων.
- *επαγωγική μηχανή με δακτυλιοφόρο δρομέα.*  
Διαθέτει ολοκληρωμένο τριφασικό τύλιγμα όπου είναι τοποθετημένο ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη. Οι τρεις φάσεις συνδέονται συνήθως σε αστέρα, ενώ τα άκρα των αγωγών συνδέονται σε δακτυλίους. Οι αγωγοί του δρομέα βραχυκυκλώνονται



μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Άρα τα ρεύματα του δακτυλιοφόρου δρομέα μπορούν να μετρηθούν στις ψήκτρες κι ακόμη είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα διέγερσης. Λόγω της τελευταίας δυνατότητας είναι εφικτή η επεξεργασία της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα.

*Μη ενεργά μέρη:* αποτελούν το περίβλημα, ο άξονας, τα έδρανα, τα πλέγματα, ο ανεμιστήρας και άλλα εξαρτήματα στήριξης, στερέωσης και μόνωσης.

### **1.3 Λειτουργία και σημαντικές ιδιότητες**

Η επαγωγική μηχανή κατασκευάζεται με τυλίγματα απόσβεσης, η λειτουργία της είναι ίδια με την λειτουργία των τυλιγμάτων απόσβεσης στις σύγχρονες μηχανές (όπου είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος εκκίνησης τους).

*Επαγόμενη ροπή :*έστω ένας επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού, εφαρμόζεται ένα τριφασικό σύστημα τάσεων στον στάτη, οπότε ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων διαρρέει τους αγωγούς του δρομέα. Συνέπεια αυτών των ρευμάτων είναι η παραγωγή του πεδίου  $B_s$  του στάτη, που περιστρέφεται με ανθρωπολογιακή φορά και ταχύτητα:

$$N_{\text{sync}} = (120 f_c) / P \quad (1.1)$$

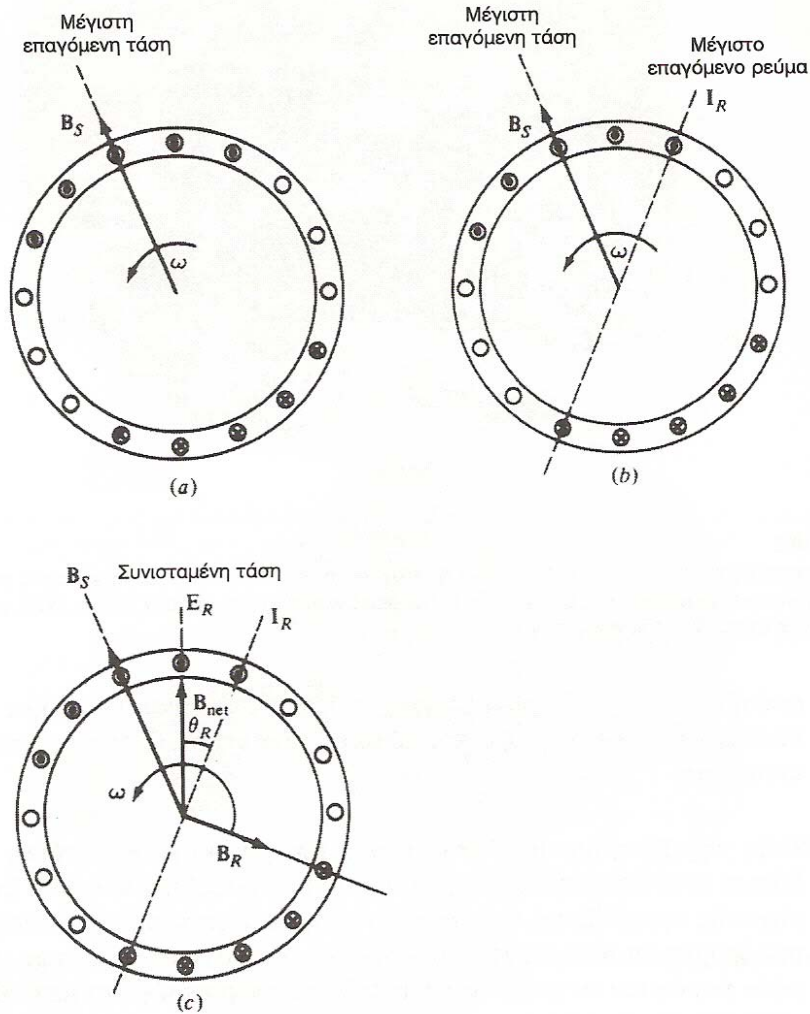
όπου:  $f_c$  συχνότητα συστήματος σε Hz  
 $P$  αριθμός πόλων μηχανής

Η σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη επάγει μία τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα η οποία είναι:

$$e_{\text{ind}} = (v \times B)l \quad (1.2)$$

όπου:  $v$ , η σχετική ταχύτητα των αγωγών του  
δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο  
 $B$ , η μαγνητική επαγωγή του πεδίου του  
στάτη  
 $l$ , το μήκος του αγωγού του δρομέα

Η τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα προκαλείται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Η σχετική ταχύτητα των αγωγών του επάνω μέρους του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο έχει φορά προς τα δεξιά και έτσι η τάση που επάγεται στα άκρα αυτών των αγωγών έχει φορά προς το έξω μέρος της σελίδας. Αντίθετα η τάση στους αγωγούς του κάτω μέρους του δρομέα έχει φορά προς τη σελίδα. Αυτό σημαίνει πως το ρεύμα στους επάνω αγωγούς έχει φορά από τη σελίδα προς τα έξω, ενώ στους κάτω αγωγούς έχει φορά προς τη σελίδα. Όμως επειδή οι αγωγοί του δρομέα συνθέτουν ένα επαγωγικό φορτίο η μέγιστη τιμή του ρεύματος του δρομέα καθυστερεί σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της τάσης του. Το ρεύμα του δρομέα προκαλεί το αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο του δρομέα  $B_R$ .



ΣΧΗΜΑ 1.3

Η ανάπτυξη της επαγόμενης ροπής σε ένα επαγωγικό κινητήρα. (α) Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη  $B_S$  παράγει την τάση εξ επαγωγής στις ράβδους του δρομέα. (β) Η τάση εξ επαγωγής παράγει κάποιο ρεύμα στο δρομέα που έπεται της τάσης εξ αιτίας της αυτεπαγωγής που παρουσιάζει ο δρομέας. (γ) Το ρεύμα του δρομέα παράγει το μαγνητικό πεδίου δρομέα  $B_R$  που έπεται του ρεύματος κατά 90 σε συνδυασμό με το  $B_{net}$  παράγουν την ανθρωρολογική ροπή στο εσωτερικό της μηχανής.

Τελικά επειδή η επαγόμενη ροπή στη μηχανή δίνεται από τη σχέση

$$T_{ind} = K B_R B_S \quad (1.3)$$

με ανθρωρολογική φορά.

Αυτό σημαίνει ότι ο δρομέας του κινητήρα επιταχύνεται κατά την ανθρωρολογιακή φορά. Όμως υπάρχει κάποιο πεπερασμένο πάνω όριο για την ταχύτητα του δρομέα. Αν η ταχύτητα του δρομέα ήταν ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, δεν θα υπήρχε σχετική κίνηση των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη και δεν θα αναπτυσσόταν τάση εξ επαγωγής στα άκρα τους.

## 1.4 Η Έννοια της ολίσθησης του δρομέα

Η τάση που επάγεται σε κάποιον από τους αγωγούς του δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα εξαρτάται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς τα μαγνητικά πεδία. Όμως επειδή η συμπεριφορά ενός επαγωγικού κινητήρα εξαρτάται βασικά από τις τάσεις και τα ρεύματα στο δρομέα, είναι λογικό να γίνεται συχνά λόγος για την παραπάνω σχετική ταχύτητα. Δύο είναι συνήθως τα μεγέθη που περιγράφουν τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς τα μαγνητικά πεδία. Το πρώτο απ' αυτά είναι η ταχύτητα ολίσθησης που ορίζεται ως η διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη ταχύτητα.

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m \quad (1.1)$$

όπου :  $n_{slip}$  η ταχύτητα ολίσθησης της μηχανής  
 $n_{sync}$  η ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων  
 $n_m$  η μηχανική ταχύτητα του άξονα της μηχανής

Το δεύτερο μέγεθος με το οποίο εκφράζεται η σχετική κίνηση είναι η ολίσθηση και ουσιαστικά προκύπτει για τη σχετική ταχύτητα ολίσθησης εκφρασμένη σε εκατοστιαία ή σε ανά μονάδα βάση.

Έτσι η ολίσθηση ορίζεται από τη σχέση :

$$S = \frac{n_{slip}}{n_{sync}} \quad (\times 100\%) \quad (1.2)$$

και μέσω γωνιακής ταχύτητας:

$$S = \frac{\omega_{sync} - \omega_m}{\omega_{sync}} \quad (\times 100\%) \quad (1.3)$$

Ακόμη η ταχύτητα περιστροφής του άξονα της μηχανής μπορεί να εκφραστεί μέσω της ολίσθησης και της σύγχρονης ταχύτητας.

$$n_m = (1 - s) n_{sync} \quad (1.4)$$

$$\omega_m = (1 - s) \omega_{sync} \quad (1.5)$$

Η συχνότητα στο δρομέα είναι ανάλογη της διαφοράς της ταχύτητας του πεδίου του στάτη,  $n_{sync}$  με την ταχύτητα του δρομέα.

Η συχνότητα του δρομέα είναι:

$$f_r = P/120 (s_{sync} - n_m) \quad (1.6)$$

επίσης ισχύει

$$f_r = s f_e \quad (1.7)$$

όπου:  $f_r$  η συχνότητα του δρομέα  
 $f_e$  η συχνότητα του στάτη.

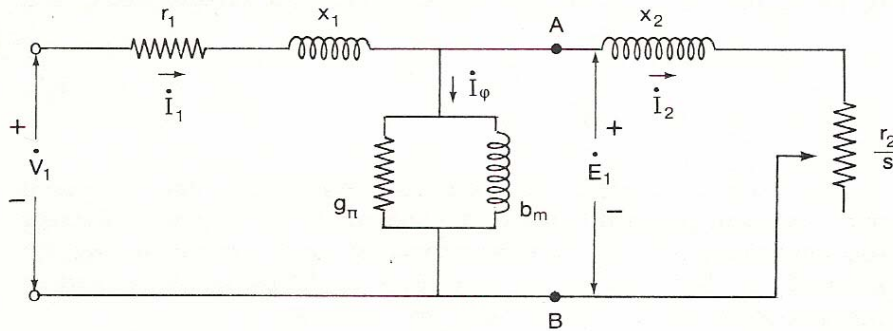
## **1.5 Ισοδύναμο κύκλωμα**

Οι μηχανές επαγωγής έχουν μόνο συμμετρικά τριφασικά τυλίγματα τα οποία διεγείρονται από συμμετρικές πολυφασικές τάσεις.

Μελετούμε τη μία φάση μόνο εφόσον όλες οι φάσεις συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο και η μόνη διάκριση μεταξύ τους είναι η χαρακτηριστική διαφορά φάσης χρόνου.

Το τύλιγμα στάτη θεωρείται συνδεδεμένο κατ'αστέρα. Επίσης θεωρείται ότι όλα τα ρεύματα και οι τάσεις έχουν ημιτονοειδή μορφή κύματος. Οι επιδράσεις των αρμονικών χώρου στη διανομή της ροής αγνοούνται, ενώ λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των αντιδράσεων σκέδασης στάτη και δρομέα.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.5

Τα μεγέθη που παριστάνονται στο ισοδύναμο κύκλωμα είναι τα εξής:

- $V_1$  τάση ακροδεκτών στάτη
- $E_1$  αντι-ΗΕΔ που αναπτύσσεται από τη συνισταμένη ροή διακένου
- $I_1$  ρεύμα στάτη
- $r_1$  πραγματική αντίσταση στάτη
- $X_1$  αντίδραση σκέδασης στάτη
- $I_\phi$  συνιστώσα ρεύματος διέγερσης
- $I_\pi$  συνιστώσα απωλειών πυρήνα
- $I_m$  συνιστώσα μαγνήτισης
- $g_m$  αγωγιμότητα απωλειών πυρήνα
- $b_m$  μαγνητίζουσα αγωγιμότητα
- $I_2$  συνιστώσα φορτίου
- $X_2$  αντίδραση σκεδάσεως δρομέα ανοιγμένοι στη συχνότητα στάτη
- $r_2/s$  ανακλώμενη αντίσταση, συνδυασμένη επίδραση του φορτίου στον άξονα και της αντιστάσεως του δρομέα.

Ισχύει η σχέση:

$$V_1 = E_1 + I_1 * (r_1 + jX_1) \quad (1.8)$$

Επισημαίνεται ότι όταν τα ρεύματα και οι τάσεις του δρομέα ανακλώνται στο στάτη, η συχνότητα τους μετατρέπεται σε συχνότητα στάτη. Όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα του δρομέα, όταν παρατηρούνται στο στάτη, γίνονται φαινόμενα

συχνότητας στάτη, διότι το τύλιγμα του στάτη απλώς βλέπει κύματα ΜΕΔ και ροής να οδεύουν στη σύγχρονη ταχύτητα.

### Προσδιορισμός παραμέτρων ισοδύναμου κυκλώματος

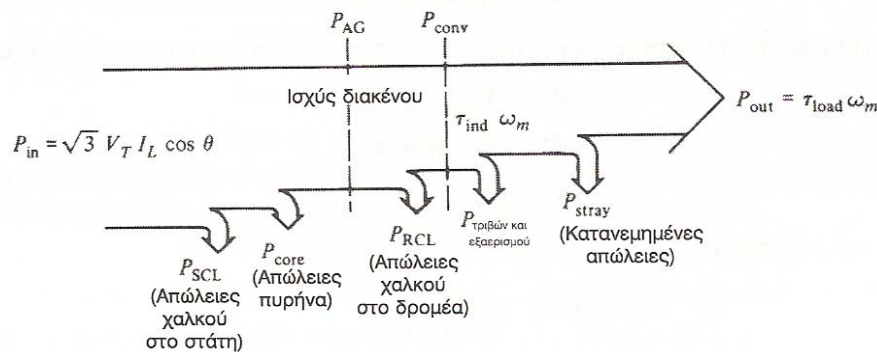
Οι παράμετροι του ισοδύναμου κυκλώματος αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της επίδοσης του κινητήρα υπό φορτίο.

Για τη εύρεση αυτών των παραμέτρων πραγματοποιούνται οι εξής δοκιμές: Δοκιμή κενού φορτίου, δοκιμή ακίνητου δρομέα και το πείραμα της μέτρησης των αντιστάσεων συνεχούς ρεύματος του τυλίγματος του στάτη.

## 1.6 Απώλειες και διάγραμμα ροής ισχύος

Στον επαγωγικό κινητήρα ο δρομέας είναι βραχυκυκλωμένο και έτσι δεν εμφανίζεται η ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο της μηχανής. Αντίθετα η ισχύς εξόδου του κινητήρα είναι μηχανική. Η σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική ισχύ εισόδου και στην μηχανική ισχύ εξόδου ενός επαγωγικού κινητήρα παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής ισχύος.

Οι απώλειες στους κινητήρες επαγωγής κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα ως εξής:



Σχήμα 1.6

Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου παράγεται από ένα τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων και έξοδος του κινητήρα είναι η μηχανική ισχύς.

Οι πρώτες απώλειες που συναντάμε είναι οι

$$P_{scl} = I^2 R \quad (1.9)$$

θερμικές απώλειες στα τυλίγματα χαλκού του στάτη

- $P_{core}$  απώλειες πυρήνα οι οποίες περιλαμβάνουν τις απώλειες υστέρησης και δινορρευμάτων του μετάλλου της μηχανής
- $P_{AG}$  Η ισχύς που απομένει διέρχεται του διακένου και μεταφέρεται στο δρομέα της μηχανής ως εξής: ένα μέρος της μετατρέπεται σε
- $P_{RCL}$  θερμικές απώλειες στα τυλίγματα του δρομέα ( απώλειες Χαλκού δρομέα)  
η εναπομένουσα ισχύς από ηλεκτρική μετατρέπεται σε
- $P_{CONV}$  μηχανική ισχύς. Από αυτή αφαιρούνται οι
- $P_{F\&W}$  απώλειες τριβών και εξαερισμού (μηχανικές απώλειες) και οι
- $P_{misc}$  κατανεμημένες απώλειες.  
Σε αυτές περιλαμβάνονται απώλειες που δεν είναι δυνατό να ενταχθούν σε μία από τις προηγούμενες κατηγορίες. Το άθροισμα των απωλειών τριβών και εξαερισμού και κατανεμημένων απωλειών αποτελεί τις απώλειες περιστροφής της μηχανής.
- $P_{OUT}$  Τέλος η ισχύς που απομένει είναι η ισχύς εξόδου της μηχανής,
- όπου

$$P_{OUT} = T_{load}\omega_m. \quad (1.10)$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες περιστροφής. Ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του κινητήρα (πιο κοντά στη σύγχρονη) τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες πυρήνα.

Οι συνολικές απώλειες περιστροφής συνήθως θεωρούνται σταθερές καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα, αφού οι επιμέρους απώλειες μεταβάλλονται σε αντίθετη κατεύθυνση.



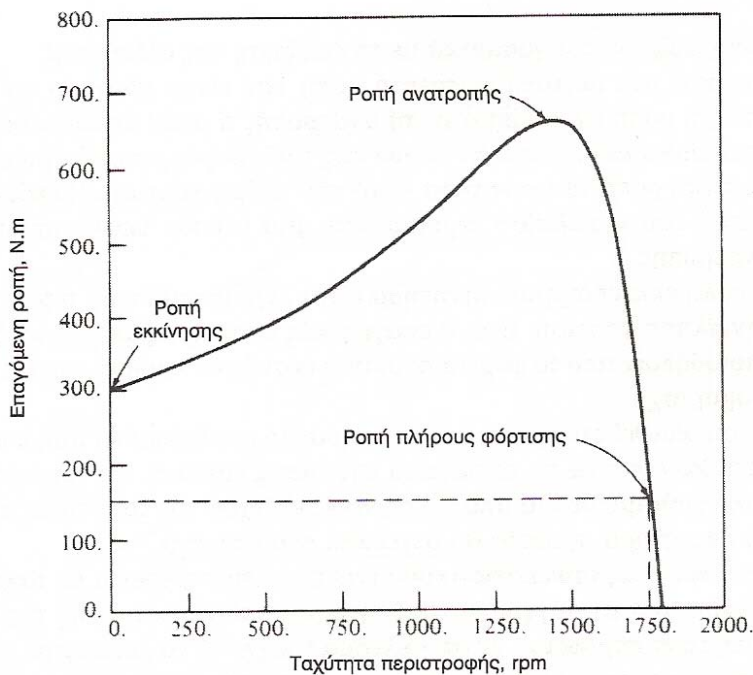
## 1.7 Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας

Η γενική εξίσωση για τη σχέση της επαγόμενης ροπής του κινητήρα με την ταχύτητα περιστροφής του, εξάγεται από το ισοδύναμο κύκλωμα και το διάγραμμα ροής ισχύος.

Η σχέση αυτή είναι:

$$T_{ind} = \frac{3V_{TH}^2 \cdot R_2/s}{\omega_{sync} \cdot [(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]} \quad (1.1)$$

η γραφική παράσταση ροπής ταχύτητας είναι:



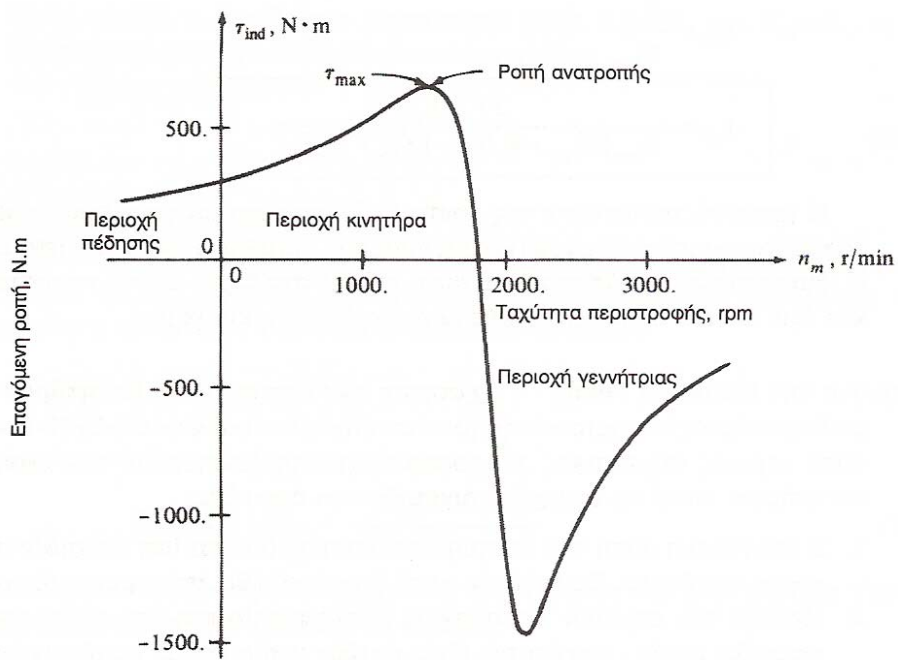
Σχήμα 1.7.α

Η καμπύλη ροπής-ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα που φαίνεται στο σχήμα δίνει μερικές σημαντικές πληροφορίες για την λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων.

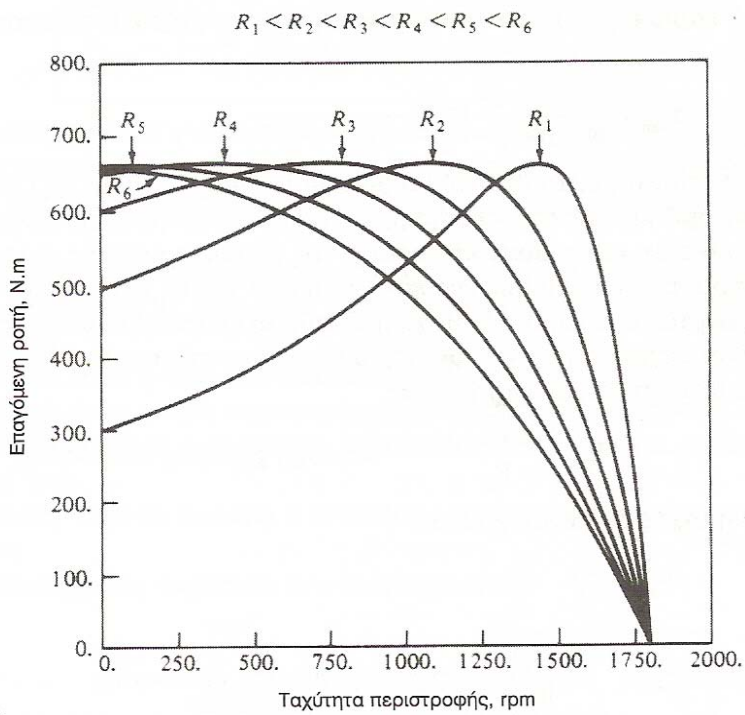
- Η επαγόμενη ροπή του επαγωγικού κινητήρα είναι ίση με 0 στη σύγχρονη ταχύτητα .
- Μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο η καμπύλη ροπής-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική. Σ' αυτήν την περιοχή η αντίσταση του δρομέα είναι πολύ μεγάλη από την αντίδρασή του και έτσι το ρεύμα του δρομέα, το μαγνητικό πεδίο του δρομέα και η επαγόμενη ροπή αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της ολίσθησης.
- Υπάρχει μία μέγιστη επιτρεπτή ροπή που είναι αδύνατον να ξεπεραστεί. Αυτή η ροπή ονομάζεται ροπή ανατροπής ή ροπή κατάρρευσης και είναι δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή του κινητήρα κατά την πλήρη φόρτιση.
- Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι λίγο μεγαλύτερη από τη ροπή κατά την πλήρη φόρτιση. Έτσι ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει με οποιαδήποτε από τα φορτία που είναι ικανός να κινήσει στη λειτουργία υπό πλήρη ισχύ.
- Η ροπή για μία δεδομένη ισχύ της ολίσθησης μεταβάλλεται με τετράγωνο της τάσης εισόδου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε μία από τις τεχνικές ελέγχου της ταχύτητας .
- Αν ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη ταχύτητα η φορά περιστροφής της επαγόμενης ροπής αντιστρέφεται με αποτέλεσμα η μηχανή να λειτουργεί ως γεννήτρια.
- Αν η φορά περιστροφής του κινητήρα είναι αντίθετη από τη φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του, η επαγόμενη ροπή θα σταματήσει τον κινητήρα και θα προσπαθήσει να τον περιστρέψει προς την αντίθετη φορά. Όμως επειδή η φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στον επαγωγικό κινητήρα μπορεί να πραγματοποιηθεί πολύ απλά με την αντιμετάθεση των συνδέσεων σε δύο από τις τρεις φάσεις, η παραπάνω παρατήρηση είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί με σκοπό το απότομο σταμάτημα του κινητήρα.

Η ισχύς που μετατρέπεται σε μηχανική στον επαγωγικό κινητήρα είναι ίση με:

$$P_{\text{conv}} = T_{\text{ind}} \omega_m. \quad (1.2)$$



Σχήμα 1.7 β

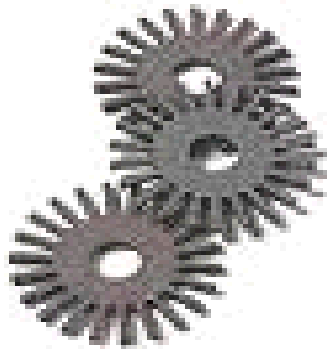


Σχήμα 1.7 γ

Η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας του κινητήρα όπου φαίνονται και οι διευρυμένες περιοχές λειτουργίας

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται οι επιπτώσεις της μεταβολής της αντίστασης του δρομέα στη χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα.

## **1.8 Κλάσεις σχεδίασης επαγωγικών κινητήρων**



Σχήμα 1.8 α

Με την μεταβολή των χαρακτηριστικών του δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα είναι δυνατή η υλοποίηση μεγάλης ποικιλίας χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας. Με σκοπό να βοηθήσουν τη βιομηχανία στην επιλογή των κατάλληλων κινητήρων σε διαφορετικές εφαρμογές και για όλο το εύρος ισχύος η NEMA στις ΗΠΑ και η international electrotechnical commission (IEC) στην Ευρώπη έχουν θεσπίσει μία σειρά από τυποποιημένες σχεδιάσεις κινητήρων με διαφορετικές χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας. Αυτές οι τυποποιημένες σχεδιάσεις ονομάζονται κλάσεις σχεδίασης και ένας συγκεκριμένος κινητήρας συνήθως αναφέρεται ως κινητήρας κλάσης X.

### **ΚΛΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ A**

Οι κινητήρες κλάσης A είναι κινητήρες με τυποποιημένη σχεδίαση που παρουσιάζουν κανονική ροπή εκκίνησης κανονικό ρεύμα εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Η ολίσθηση του κινητήρα κλάσης A στη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5% και μικρότερη απ' αυτή του κινητήρα

κλάσης B αντίστοιχων προδιαγραφών. Η ροπή ανατροπής είναι ίση με 200% έως 300% της ροπής κατά την πλήρη φόρτιση και αντιστοιχεί σε κάποια μικρή τιμή της ολίσθησης (μικρότερη από 20%). Η ροπή εκκίνησης είναι τουλάχιστον ίση με την ονομαστική ροπή στους μεγάλους κινητήρες και ίση ή μεγαλύτερη από 200% της ονομαστικής ροπής στους ονομαστικούς κινητήρες. Το σημαντικότερο πρόβλημα αυτής της κλάσης σχεδίασης είναι το ιδιαίτερα υψηλό κρουστικό ρεύμα κατά την εκκίνηση. Τα τυπικά ρεύματα εκκίνησης για τέτοιους κινητήρες είναι 500% έως 800% του ονομαστικού ρεύματος.

### **ΚΛΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ B**

Οι κινητήρες κλάσης B έχουν κανονική ροπή εκκίνησης μικρότερο ρεύμα εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Ένας τέτοιος κινητήρας παράγει σχεδόν την ίδια ροπή με τον κινητήρα κλάσης A ενώ το ρεύμα εκκίνησής του είναι περίπου 25% μικρότερο. Η ροπή ανατροπής είναι μεγαλύτερη ή ίση με το 200% της ονομαστικής ροπής φορτίου αλλά μικρότερη από αυτή των κινητήρων κλάσης A λόγω της αυξημένης αντίδρασης του δρομέα. Κι εδώ η ολίσθηση στη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο παραμένει χαμηλή (μικρότερη από 5%) οι εφαρμογές αυτών των κινητήρων είναι παρόμοιες με αυτές των κινητήρων κλάσης A μόνο που οι κινητήρες κλάσης B προτιμούνται εξαιτίας του μικρότερου ρεύματος εκκίνησης. Στις σύγχρονες εφαρμογές οι κινητήρες κλάσης B έχουν πια αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τους κινητήρες κλάσης A.

### **ΚΛΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ C**

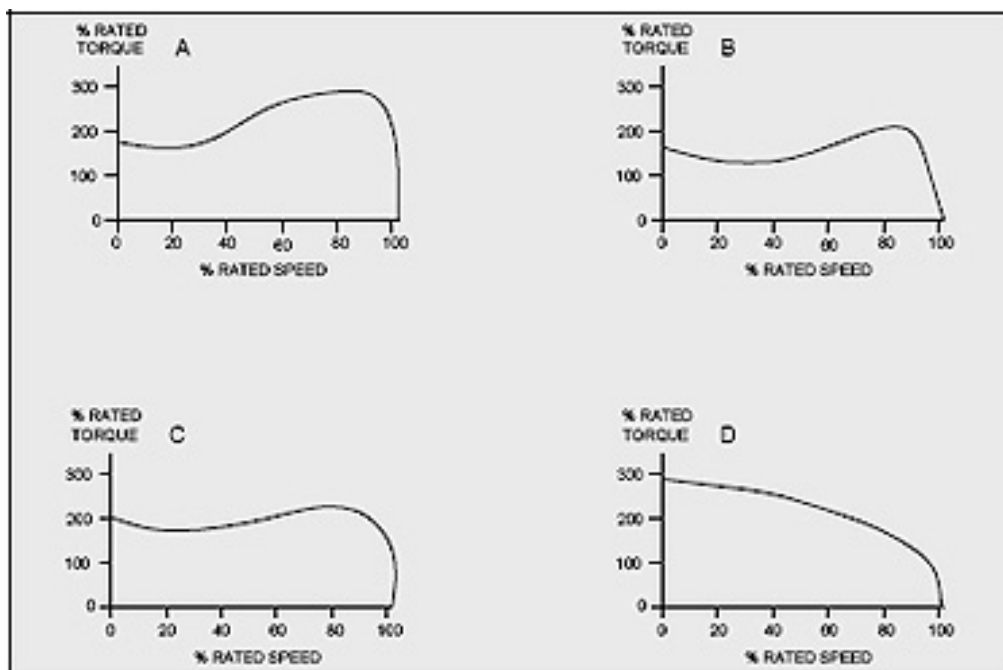
Οι κινητήρες κλάσης C παρουσιάζουν μεγάλη ροπή μικρό ρεύμα εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση στη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο (μικρότερο από 5%). Η ροπή ανατροπής εδώ είναι ελαφρά μικρότερη απ' αυτή των κινητήρων κλάσης A ενώ η ροπή εκκίνησης φτάνει το 250% της ροπής υπό πλήρες φορτίο. Οι κινητήρες αυτού του είδους κατασκευάζονται με διπλό δρομέα και έτσι είναι ακριβότερη από τους κινητήρες των προηγούμενων κλάσεων. Τέλος αυτή οι κινητήρες συνήθως χρησιμοποιούνται σε φορτία που απαιτούν υψηλή ροπή εκκίνησης όπως οι φορτισμένες αντλίες οι συμπιεστές και οι μεταφορείς.

### **ΚΛΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ D**

Οι κινητήρες κλάσης D έχουν πάρα πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης (πάνω από 275% της ονομαστικής ροπής) και μικρό ρεύμα εκκίνησης αλλά παρουσιάζουν υψηλή ολίσθηση στη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο ουσιαστικά πρόκειται για απλούς επαγωγικούς κινητήρες κλάσης A που διαθέτουν όμως ράβδους μικρότερης διατομής κατασκευασμένες από υλικό μεγαλύτερης αντίστασης. Η μεγάλη αντίσταση στο δρομέα μετακινεί τη μέγιστη ροπή σε μία πολύ μικρή ταχύτητα. Είναι επίσης δυνατή η μετακίνηση της μέγιστης ροπής στη μηδενική ταχύτητα (ολίσθηση 100%). Η ολίσθηση αυτών των κινητήρων στη πλήρη φόρτιση είναι αρκετά υψηλή λόγω της μεγάλης αντίστασης δρομέα που δια

θέτουν. Η τυπική τιμή αυτής της ολίσθησης είναι 7 έως 11% αλλά μπορεί να φτάσει στο 17% ή πιο πάνω. Αυτού του είδους οι κινητήρες έχουν εφαρμογή στην επιτάχυνση φορτίων με εξαιρετικά μεγάλη αδράνεια όπως ιδιαίτερα μεγάλοι σφόνδυλοι που χρησιμοποιούνται σε διατρητικές πρέσες ή ψαλίδια.

Μαζί με τις τέσσερις προηγούμενες σχεδιάσεις η NEMA συνήθως αναγνώριζε δύο ακόμα κλάσεις σχεδίασης της κλάσης E και F που τις ονόμαζε επαγωγικούς κινητήρες (soft-start). Η ξεχωριστή ιδιότητα αυτή των κινητήρων ήταν το χαμηλό ρεύμα εκκίνησης όπου τα μεγάλα ρεύματα εκκίνησης δημιουργούσαν σοβαρό πρόβλημα. Στις μέρες μας αυτές οι κλάσεις σχεδίασης έχουν καταργηθεί λόγω της μεγάλης προόδου που έχει συντελεστεί στα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία θα αναπτύξουμε παρακάτω.



Σχήμα 1.8 β

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμαι τα διαγράμματα της ροπής σε σχέση με την ταχύτητα για διαφορετικές κλάσεις σχεδίασης

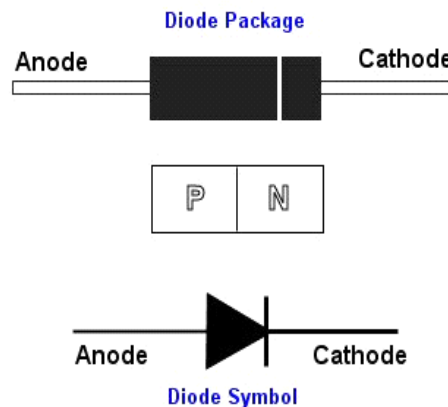
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

Τα ηλεκτρονικά ισχύος έχουν ως αντικείμενο τον έλεγχο και γενικότερα την διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος μέσω καταλλήλων μετατροπών με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας καθώς και την αύξηση της λειτουργικής απόδοσης των συστημάτων. Τα στοιχεία που θα αναλύσουμε σε αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία για την εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων.

#### 2.1 Δίοδος

Η δίοδος κατασκευάζεται από δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού (συνήθως πυριτίου) τύπου p και n σχηματίζοντας μία ένωση p-n. Οι δύο ακροδέκτες της δίοδου, η άνοδος και η κάθοδος, συνδέονται με τα αντίστοιχα ημιαγωγικά στρώματα μέσω κατάλληλων μεταλλικών επαφών. Η δίοδος είναι ένας μη ελεγχόμενος διακόπτης και αυτό είναι προφανές διότι δεν διαθέτει επιπλέον ακροδέκτη ελέγχου για τον έλεγχο της έναυσης ή της σβέσης.

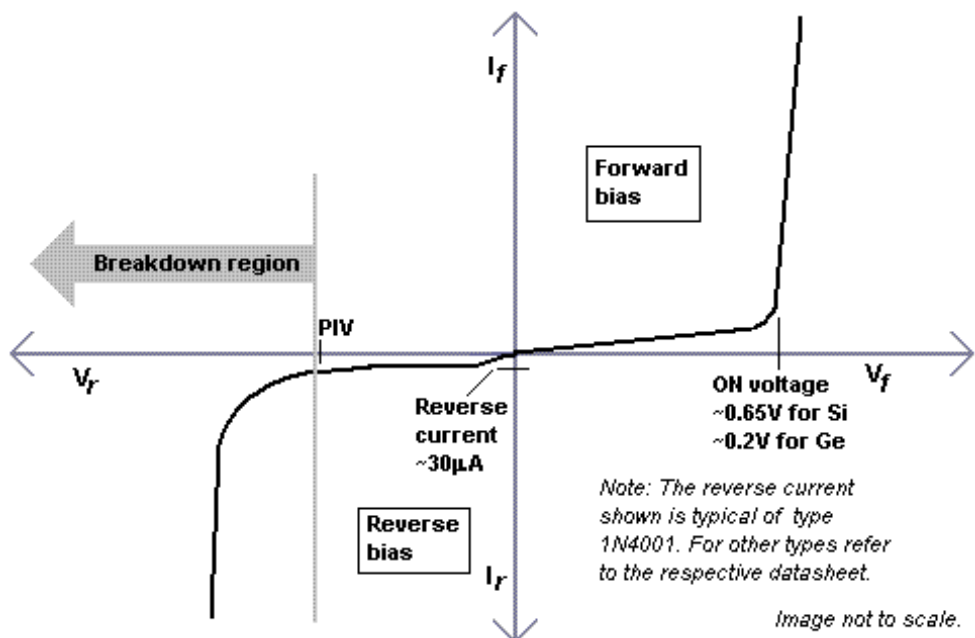


Σχήμα 2.1 α

Πρακτικά μία δίοδος βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής όταν είναι ορθά πολωμένη δηλαδή το δυναμικό του ακροδέκτη της ανόδου είναι θετικότερο του δυναμικού του ακροδέκτη της καθόδου. Σε αντίθετη περίπτωση είναι ανάστροφα πολωμένη και βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής.

## Χαρακτηριστική V-I διόδου

Σύμφωνα με το σχήμα η διόδος λειτουργεί σε δύο τεταρτημόρια. Στο πρώτο σε ορθή πόλωση και στο τρίτο ανάστροφη πόλωση. Κατά την ορθή πόλωση και για τάσεις μικρότερες της τάσης αποκοπής ή έναυσης  $V_f$  (περίπου 0,6-0,7V), το ρεύμα ορθής φοράς είναι αρκετά μικρό (της τάξης του 1% του ονομαστικού), δηλαδή πρακτικά η διόδος βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Όταν η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου γίνει μεγαλύτερη της  $V_f$  εμφανίζεται απότομη αύξηση. Υπάρχει ένα μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα ορθής φοράς  $I_{Dmax}$  για συνεχή λειτουργία (υπό συγκεκριμένες συνθήκες ψύξης), το οποίο χαρακτηρίζει την ασφαλή λειτουργία της διόδου και το οποίο προφανώς σχετίζεται με τη μέγιστη ισχύ θερμικών απωλειών της διόδου. Κατά την ανάστροφη πόλωση και για τάσεις μικρότερες της τάσης διάσπασης της διόδου  $V_{BR}$ , υπάρχει ένα ανάστροφο ρεύμα κόρου ή ρεύμα διαρροής της τάξης των nA.

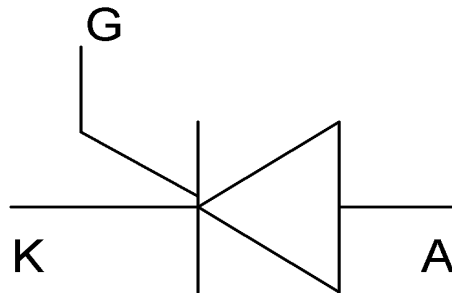


Σχήμα 2.1 β



## 2.2 Θυρίστορ

Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενης έναυσης ηλεκτρονικός διακόπτης. Από πλευράς δομής, το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (p-n-p-n).



Σχήμα 2.2 α

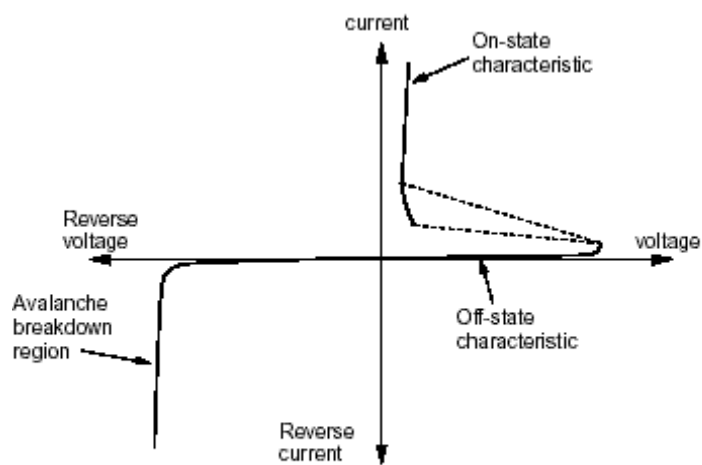
Οι δύο ακροδέκτες άνοδος-κάθοδος αποτελούν το κύκλωμα ισχύος του διακόπτη, ενώ ο έλεγχος της έναυσης πραγματοποιείται μέσω του ηλεκτροδίου ελέγχου (πύλη gate). Σε αντιδιαστολή με τη δίοδο, όταν στην πύλη του θυρίστορ δεν δοθεί παλμός έναυσης ανεξάρτητα αν είναι ορθά πολωμένη δεν διαρρέεται από ρεύμα. Για την έναυση του θυρίστορ δηλαδή τη μετάβαση του από τη κατάσταση αποκοπής στη κατάσταση αγωγιμότητας θα πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα οι εξής δύο προϋποθέσεις:

- Να είναι ορθά πολωμένο, δηλαδή το δυναμικό της ανόδου να είναι μεγαλύτερο του δυναμικού της καθόδου ( $V_A > V_K$ ).
- Να δοθεί στο ηλεκτρόδιο ελέγχου παλμός ικανής έντασης και χρονικής διάρκειας.
- Εάν κατά τη χρονικά διάρκεια του παλμού έναυσης, το ρεύμα του θυρίστορ γίνει μεγαλύτερο μιας συγκεκριμένης χαρακτηριστικής τιμής η διαδικασία της έναυσης έχει ολοκληρωθεί. Σε αντίθετη περίπτωση μετά το πέρας του παλμού το θυρίστορ επέρχεται στην κατάσταση αποκοπής. Η οριακή αυτή τιμή του ρεύματος πύλης που εξασφαλίζει την έναυση του θυρίστορ είναι γνωστή ως ρεύμα μανδάλωσης  $I_L$  και δίνεται στα φυλλάδια του κατασκευαστή. Για την σβέση του θυρίστορ δηλαδή τη μετάβαση του από την κατάσταση αγωγιμότητας στην κατάσταση αποκοπής θα πρέπει ανεξαρτήτως των συνθηκών της πύλης το ρεύμα του θυρίστορ να μειωθεί κάτω μιας συγκεκριμένης τιμής γνωστής ως ρεύμα συγκράτησης  $I_H$ .

- Πρακτικά για τα ρεύματα μανδάλωσης και συγκράτησης ισχύει η παρακάτω σχέση;

$$I_H = I_L / 2 \quad (1.1)$$

- Κατάσταση αποκοπής (conduction state) στην οποία το θυρίστορ διαρρέεται από ρεύμα (διακόπτης κλειστός).
- Κατάσταση θετικής αποκοπής (forward blocking state) όπου το θυρίστορ είναι μεν πολωμένο ορθά αλλά δεν διαρρέεται από ρεύμα (εάν εξαιρέσουμε ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής) καθότι δεν έχει δοθεί παλμός έναυσης (διακόπτης ανοιχτός).
- Κατάσταση αρνητικής αποκοπής (reverse blocking state). Το τμήμα αυτό της χαρακτηριστικής είναι απολύτως όμοιο μ' εκείνο της διόδου. Δηλαδή κατά την ανάστροφη πόλωση (ανεξαρτήτως των συνθηκών του κυκλώματος ελέγχου) το θυρίστορ διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής( διακόπτης ανοιχτός).
- Τα βασικά μεγέθη της στατικής χαρακτηριστικής του θυρίστορ με βάση το σχήμα είναι τα εξής:
- Επαναλαμβανόμενη τάση κορυφής ορθής φοράς (repetitive peak forward voltage). Είναι η μέγιστη με επαναληπτικό ρυθμό εφαρμοζόμενη επιτρεπόμενη τάση ορθής φοράς, η οποία διατηρεί το θυρίστορ σε κατάσταση αποκοπής. Εφαρμόζεται με μηδενική ή αρνητική τάση πύλης ως προς την κάθοδο.
- Επαναλαμβανόμενη ανάστροφη τάση κορυφής (repetitive reverse forward voltage). Είναι η μέγιστη με επαναλαμβανόμενο ρυθμό ανάστροφη ανοδική τάση που διατηρεί το θυρίστορ σε αποκοπή. Εφαρμόζεται με μηδενική ή αρνητική τάση πύλης και καθόδου.
- Μη επαναλαμβανόμενη τάση κορυφής ορθής φοράς, κατάσταση αποκοπής (non-repetitive peak off-state voltage). Είναι η ορθή τάση εκείνη η οποία όταν εφαρμόζεται με κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό (και όχι συνεχώς), εξακολουθεί να διατηρεί το θυρίστορ σε αποκοπή.
- Μη επαναλαμβανόμενη ανάστροφη τάση κορυφής φραγμού (non-repetitive peak reverse blocking voltage). Είναι η μη επαναλαμβανόμενη με κάποιο ρυθμό ανάστροφη τάση η οποία διατηρεί το θυρίστορ σε κατάσταση.

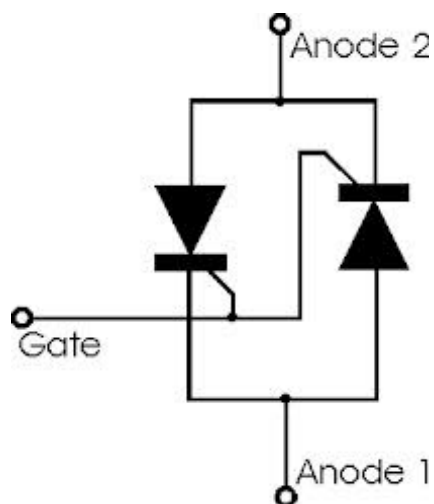


**Thyristor Volt-Ampere Characteristic Curves**

Σχήμα 2.2 β

### **2.3 Triac**

Το triac είναι αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου η κρυσταλλική δομή του και το κυκλωματικό του σύμβολο δείχνονται στο παρακάτω σχήμα.



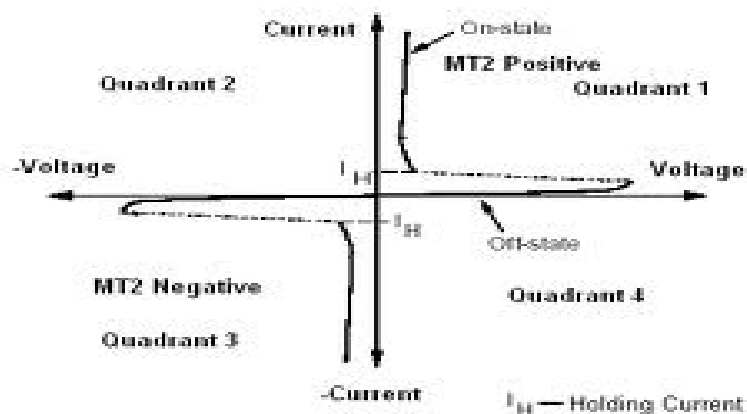
Σχήμα 2.3 α

Στην ουσία αποτελείται από δύο θυρίστορ με αντιπαράλληλη σύνδεση, με κοινή όμως πύλη ελέγχου. Προφανώς το triac ως διακόπτης δύο κατευθύνσεων, βρίσκει εφαρμογές σε μετατροπείς Ε.Ρ/Ε.Ρ. . Το triac ελέγχεται και με θετικούς και με αρνητικούς παλμούς. Η πολικότητα των παλμών αυτών, δεν επηρεάζει τη φορά αγωγιμότητας η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τη σχετική πολικότητα των κύριων ακροδεκτών MT2 και MT1.

Για μικρές ισχύς (της τάξης μερικών KW) και κυρίως μικρές συχνότητες (<400Hz) χρησιμοποιούνται triacs, ενώ για μεγαλύτερες ισχύς αντιπαράλληλα θυρίστορ. Τα δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ, ως διακόπτης εναλλασσομένου έχει πολύ καλύτερες επιδόσεις από το triac και ως προς την ισχύ και ως προς τη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας. Τα μόνο μειονέκτημα του είναι ότι, σε αντίθεση με το triac, απαιτεί τροφοδοσία δύο ανεξάρτητων και γαλβανικά απομονωμένων παλμών για τις δύο πύλες.

Η χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος του triac δείχνεται στο παρακάτω σχήμα.

Οι ορισμοί των χαρακτηριστικών μεγεθών (ρεύματα συγκράτησης, μανδάλωσης, τάση διάσπασης, κλπ) είναι ακριβώς ανάλογα με τα αντίστοιχα των θυρίστορ όπως φαίνεται στη παράγραφο 2.2 .



Tiac Ampere-Voltage Characteristic Curve

Σχήμα 2.3 β

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

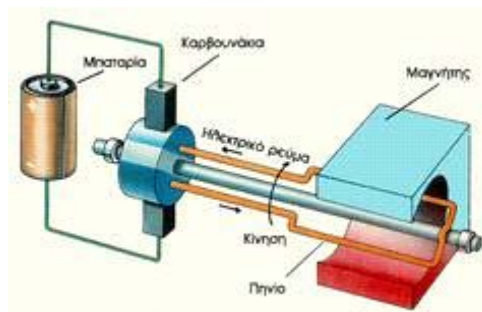
### ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### 3.1 Περί μονοφασικών κινητήρων

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες (ή κινητήρες επαγωγής) συνήθως κατασκευάζονται σε κλάσμα της ισχύος του ενός KW. Αν και οι επιδόσεις τους υστερούν σε σχέση με τους αντίστοιχους τριφασικούς κινητήρες της ίδιας ισχύος, έχουν πληθώρα εφαρμογών τόσο σε οικιακές συσκευές (ψυγεία, μίξερ κτλ) όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως αντλίες ανεμιστήρες κτλ. Το τύλιγμα στο δρομέα του μονοφασικού κινητήρα είναι τύπου κλωβού και αυτό σημαίνει ότι, κατασκευαστικά είναι απολύτως όμοιο με το αντίστοιχο τριφασικού κινητήρα. Το τύλιγμα τυμπάνου το οποίο βρίσκεται στο στάτη είναι μονοφασικό διανεμημένο τύλιγμα. Το μονοφασικό τύλιγμα τυμπάνου δεν μπορεί να δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα ο ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας να μην διαθέτει ροπή εκκίνησης. Ο λόγος είναι ότι, τα επαγόμενα ρεύματα στον ακινητοποιημένο δρομέα που αναπτύσσονται από τις τάσεις μετασχηματισμού παράγουν με τη σειρά τους ένα μαγνητικό πεδίο στο δρομέα συγγραμμικό με εκείνο του στάτη. Καθώς λοιπόν τα δύο μαγνητικά πεδία στάτη και δρομέα είναι συγγραμμικά δεν αναπτύσσεται μέση ηλεκτρική ροπή.

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό τοποθετείται ένα επιπλέον τύλιγμα στο στάτη γνωστό ως βοηθητικό τύλιγμα ή τύλιγμα εκκίνησης. Ο μαγνητικός άξονας του τυλίγματος αυτού είναι μετατοπισμένος στο χώρο κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες σε σχέση με το μαγνητικό άξονα του κύριου τυλίγματος.

Οι διάφορες μέθοδοι εκκίνησης διαφέρουν ως προς τον τρόπο που δημιουργείται η χρονική διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και βοηθητικού τυλίγματος του στάτη, για τα οποία υπενθυμίζουμε ότι η τάση τροφοδοσίας είναι κοινή.



Σχήμα 3.1

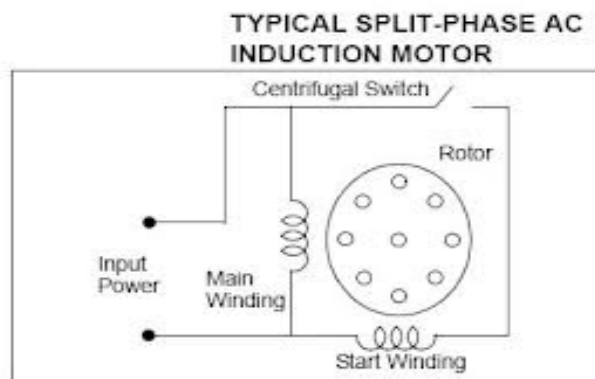
### 3.1.1 Εκκίνηση με χρήση βοηθητικού τυλίγματος

Στην περίπτωση αυτή η χρονική διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος του στάτη δημιουργείται αποκλειστικά και μόνο από την κατάλληλη επιλογή των επιμέρους ωμικών αντιστάσεων και αυτεπαγωγών των δύο τυλιγμάτων. Τα δύο αυτά τυλίγματα κατασκευάζονται έτσι ώστε να ισχύει:

$$(T_a/L_a) \gg (T_m/L_m) \quad (1.1)$$

Όπου  $R_a, L_a$  ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή βοηθητικού τυλίγματος  
 $R_m, L_m$  ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή κύριου τυλίγματος

Για να επιτευχθεί αυτό η διατομή των αγωγών του βοηθητικού τυλίγματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του κύριου τυλίγματος. Η συνδεσμολογία των δύο τυλιγμάτων καθώς επίσης και η προκαλούμενη χρονικά διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ρευμάτων δείχνεται στο σχήμα.



Σχήμα 3.1.1

Αν και οι μαγνητικοί άξονες των δύο τυλιγμάτων απέχουν κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες, η αντίστοιχη χρονική φασική απόκλιση των ρευμάτων είναι μικρότερη των 90. Λόγω της φασικής απόκλισης αυτής, το στρεφόμενο πεδίο του στάτη με το αντίστοιχο πεδίο του δρομέα παράγουν την απαιτούμενη ροπή εκκίνησης. Άραξ και ο δρομέας αρχίσει να περιστρέφεται η παρουσία του βοηθητικού τυλίγματος δεν είναι πλέον απαραίτητη. Ο λόγος είναι ότι το στάσιμο στο χώρο αλλά χρονικά μεταβαλλόμενο με ημιτονικό ρυθμό μαγνητικό πεδίο του κύριου τυλίγματος μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα δύο στρεφόμενων μαγνητικών πεδίων με ίσες και αντίθετες ταχύτητες (ίσες σε μέγεθος με τη σύγχρονη ταχύτητα). Από τις

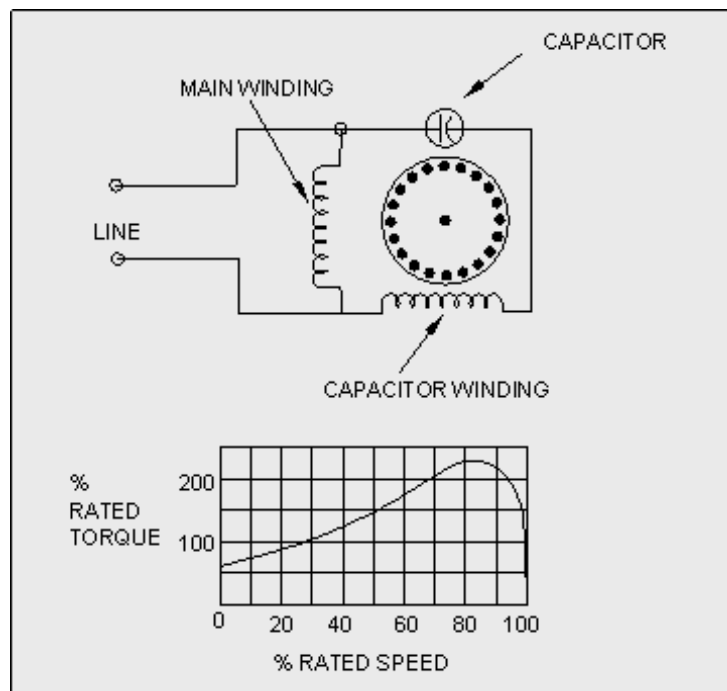
δύο στρεφόμενες συνιστώσες του πεδίου του κύριου τυλίγματος, υπερισχύει εκείνη που στρέφεται με τη ίδια φορά περιστροφής με τον άξονα του δρομέα (καθώς και το επαγόμενο μαγνητικό πεδίο) του δρομέα και έτσι συντηρείται η κίνηση.

Υπάρχουν δύο είδη διακοπής για την απόζευξη του βοηθητικού κυκλώματος, είτε μέσω ενός φυγοκεντρικού διακόπτη, είτε μέσω ρελέ υπερέντασης.

Η ροπή εκκίνησης για την συγκεκριμένη μέθοδο κυμαίνεται συνήθως στο 150-200% της ροπής πλήρως φορτίου. Ένα μειονέκτημα είναι οι αρμονικές ροπές που εμφανίζονται επειδή η χρονική φασική απόκλιση των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος είναι μικρότερη των 90 μοιρών.

### **3.1.2 Εκκίνηση με χρήση πυκνωτή μόνιμης κατάστασης**

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, τοποθετείται σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα ένας πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας.



Σχήμα 3.1.2

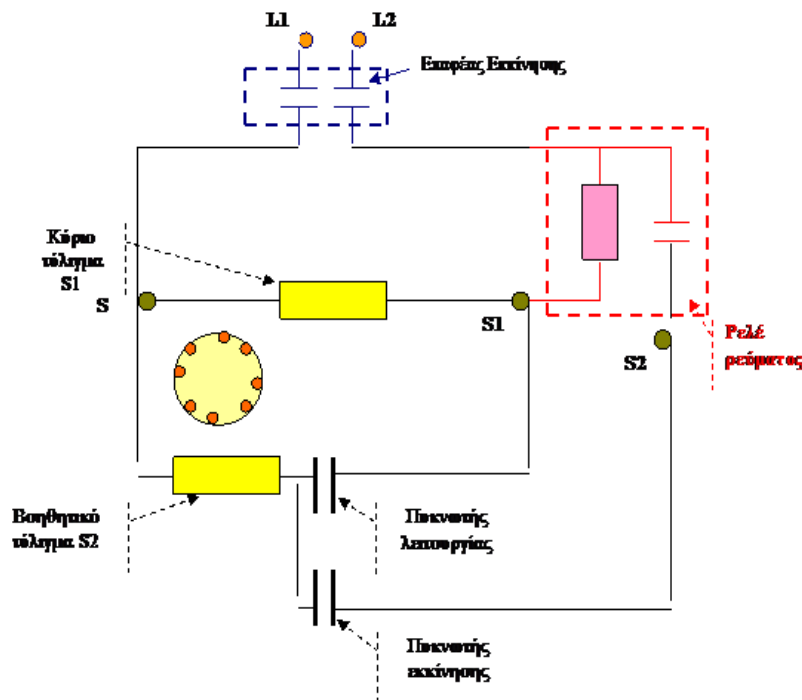
Με κατάλληλη επιλογή της τιμής της χωρητικότητας το βοηθητικό τύλιγμα μπορεί να εμφανίζει χωρητική συμπεριφορά με αποτέλεσμα το ρεύμα του να προηγείται σε σχέση με το την τάση τροφοδοσίας. Εύκολα λοιπόν μπορεί να δημιουργηθεί μια φασική απόκλιση μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος της τάξης των 90 μοιρών. Στη συγκεκριμένη μέθοδο το βοηθητικό τύλιγμα παραμένει εντός λειτουργίας και μετά τη λήξη της φάσης εκκίνησης. Επομένως δεν απαιτείται η χρήση φυγοκεντρικού διακόπτη ή άλλου μέσου για την αποσύνδεσή του.

Η συγκεκριμένη μέθοδος εξασφαλίζει υψηλότερες ροπές εκκίνησης σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο εκκίνησης. Επιπρόσθετα εξασφαλίζει καλύτερο συντελεστή ισχύος μικρότερα ρεύματα καθώς επίσης και υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Επίσης η λειτουργία του κινητήρα είναι καλύτερη από πλευράς θορύβου (λόγω των παλλόμενων ροπών) μιας και η φασική απόκλιση των δύο ρευμάτων των τυλιγμάτων του στάτη είναι αν όχι ακριβώς πλησιέστερη στις 90 μοίρες. Επειδή ο πυκνωτής είναι μόνιμης λειτουργίας δεν μπορεί να είναι ηλεκτρολυτικός αλλά χαρτιού ή λαδιού.



### 3.1.3 Εκκίνηση με χρήση δύο πυκνωτών

Στην περίπτωση που απαιτούνται υψηλότερες ροπές κατά την εκκίνηση παρεμβάλλεται ένας ακόμα πυκνωτής παράλληλα με τον προηγούμενο αλλά μόνο κατά τη φάση εκκίνησης.



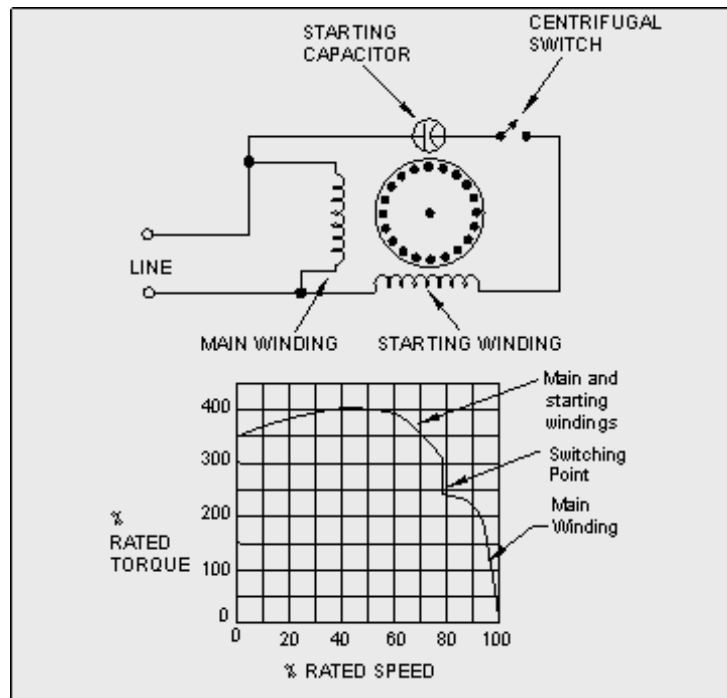
Σχήμα 3.1.3

Για τις υψηλές ροπές εκκίνησης ένας μεγάλης χωρητικότητας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής  $C_1$  συνδέεται παράλληλα μέσω φυγοκεντρικού διακόπτη. Μετά την αποσύνδεσή του (περίπου στο 75% της ονομαστικής ταχύτητας), παραμένει εντός λειτουργίας μόνο ο πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας, ο οποίος δεν είναι ηλεκτρολυτικός αλλά χαρτιού ή λαδιού κατάλληλος για χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου μοιάζουν με εκείνα της προηγούμενης μεθόδου με τη διαφορά ότι η χρήση του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή εξασφαλίζει υψηλότερες ροπές κατά την εκκίνηση.

### 3.1.4 Εκκίνηση με χρήση μόνο του πυκνωτή εκκίνησης

Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιείται μόνο ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής εκκίνησης, ο οποίος συνδέεται μέσω φυγοκεντρικού διακόπτη σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα.



Σχήμα 3.1.4

Η ροπή εκκίνησης για την συγκεκριμένη διάταξη είναι περίπου στο 300-400% της ροπής πλήρους φορτίου. Ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής είναι υγρού τύπου σχεδιασμένος για χρήση εναλλασσομένου ρεύματος (όχι βέβαια για μόνιμη λειτουργία αλλά για πεπερασμένο αριθμό περιόδων της τάσεως εισόδου).

Ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο εκκίνησης για την αλλαγή της φοράς περιστροφής, θα πρέπει να αντιστραφεί η πολικότητα ενός εκ των δύο τυλιγμάτων του στάτη (κύριου ή βοηθητικού τυλιγματος).

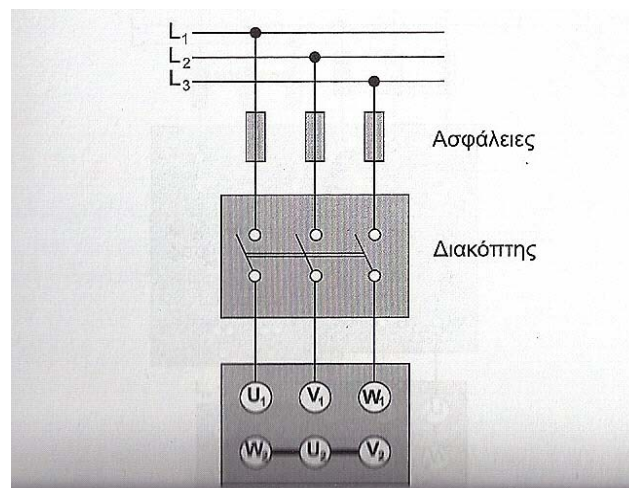
## 3.2 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων

Εδώ θα μπορούμε απευθείας στους τρόπους εκκίνησης τριφασικών κινητήρων διότι τους έχουμε αναλύσει ήδη στο πρώτο κεφάλαιο. Έχουμε τους παρακάτω τρόπους εκκίνησης:

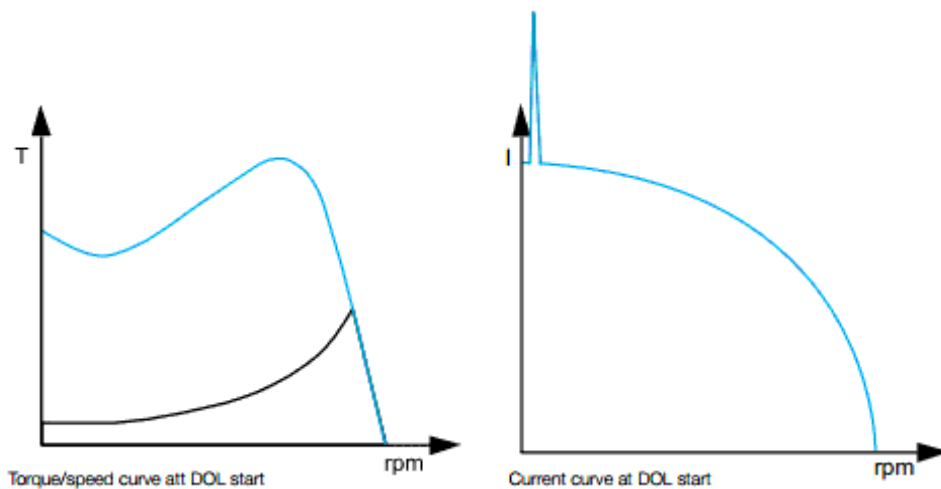
- Απευθείας εκκίνησης
- Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή
- Εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη
- Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου
- Εκκίνηση με αντιστάσεις στο δρομέα
- Εκκίνηση με συσκευές στερεάς κατάστασης
- Με ρύθμιση του λόγου  $V/f$

### 3.2.1 Απευθείας εκκίνηση

Ο απλούστερος τρόπος εκκίνησης τριφασικού κινητήρα, είναι η απευθείας εκκίνηση με τη χρήση ενός μόνο απλού τριπολικού διακόπτη.



Σχήμα 3.2.1 α

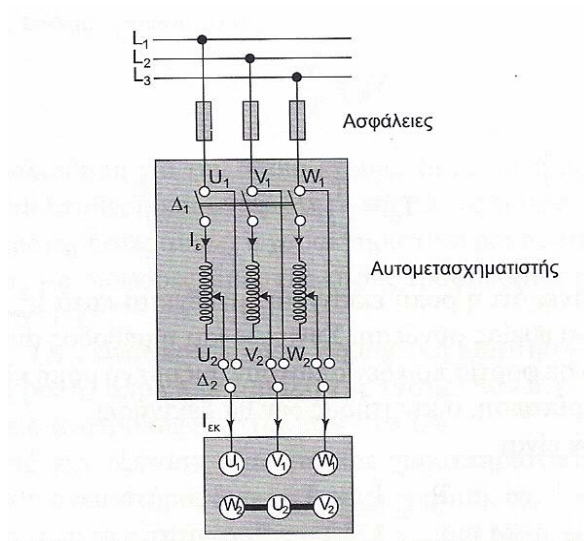


Σχήμα 3.2.1 β Χαρακτηριστική ροπής/στροφών και ρεύματος/στροφών κατά την απευθείας εκκίνηση.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις στη βιομηχανία και κυρίως για κινητήρες μικρής ισχύος της τάξης του 1,5-2KW. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως όπου η ΔΕΗ επιτρέπει την απευθείας εκκίνηση κινητήρων μεγαλύτερης ισχύος (βλέπε κανονισμό ΔΕΗ) τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πρώτον η απλή μεθόδός του και η υψηλή ροπή εκκίνησης. Ενώ το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης.

### **3.2.2 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή**

Για την εκκίνηση μεγάλων ασύγχρονων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα χρησιμοποιείται συνήθως τριφασικός αυτομετασχηματιστής που συνδέεται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.2.2

Με τη μέθοδο αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε ελαφρώς μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης απ' ό τι στην εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη. Με τον αυτομετασχηματιστή η πλήρης τάση παρέχεται κλιμακωτά αφού ο κινητήρας έχει φτάσει την ονομαστική του ταχύτητα. Κατόπιν αποσυνδέουμε τον αυτομετασχηματιστή μέσω του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ1 και συνδέουμε με τον κινητήρα απευθείας με το δίκτυο για την κανονική του λειτουργία. Με την παραδοχή ιδανικής λειτουργίας του αυτομετασχηματιστή έχουμε:

$$V_{εκ} = V/k, I_{εκ} = V_{εκ}/Z \quad (1.1)$$

Όπου:

$V$  = η τάση ανά φάση στο εξωτερικό κύκλωμα (V)

$I_{ε}$  = το ρεύμα εκκίνησης ανά φάση στο εξωτερικό κύκλωμα (A)

$V_{εκ}$  = η τάση εκκίνησης (V)

$I_{εκ}$  = το ρεύμα εκκίνησης ανά στον κινητήρα (A)

$k$  = η σχέση μεταφοράς στον αυτομετασχηματιστή και

$Z$  = η ανά φάση σύνθετη αντίσταση του κινητήρα κατά τη εκκίνηση ( $s=1$ ), ( $\Omega$ )

$$I_{εκ} = V/(k Z) \quad (1.2)$$

$$I_{ε} = I_{εκ}/k \quad (1.3)$$

Επομένως:

$$I_{\varepsilon} = I_{\varepsilon k} / k = (1/k^2) (V/Z) = (1/k^2) I_{\varepsilon \alpha} \quad (1.4)$$

Όπου

$I_{\varepsilon \alpha}$  = ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα όταν συνδεθεί απευθείας στην τάση του δικτύου  $V$ , με ολίσθηση  $s=1$

Έτσι εάν χρησιμοποιηθεί αυτομετασχηματιστής για την εκκίνηση, το ρεύμα εκκίνησης ελαττώνετε κατά  $k^2$  φορές, σε σύγκριση με το ρεύμα στην περίπτωση εκκίνησης με απευθείας σύνδεση.

Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα  $T_{\varepsilon k}$ , είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσης.

$$T_{\varepsilon k} \sim V_{\varepsilon k}^2, \quad V_{\varepsilon k} = (V/k) \quad (1.5)$$

Οπότε

$$T_{\varepsilon k} = (1/k^2) V^2 \quad (1.6)$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ροπή εκκίνησης μειώνετε κατά  $k^2$  ως προς την ροπή εκκίνησης με απευθείας σύνδεση. Συνεπώς και η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε φορτία που δεν απαιτούν αυξημένοι ροπή κατά την εκκίνηση. Σε αντίθετη περίπτωση ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει.

Ο λόγος των ροπών είναι

$$(T_{\varepsilon k} / T_{Ov}) = (I_{\varepsilon k} / I_{Ov}) (k I_{\varepsilon k} / I_{Ov}) s_{Ov} \quad (1.7)$$

Επίσης

$$I_{\varepsilon} = k_{\varepsilon} I_{Ov} \Rightarrow k_{\varepsilon} = (I_{\varepsilon} / I_{Ov}) \quad (1.8)$$

Από τις (1.4) και (1.7) έχουμε

$$(T_{\varepsilon k} / T_{Ov}) = k_{\varepsilon} s_{Ov} (I_{\varepsilon \alpha} / I_{Ov}) \quad (1.9)$$

Εάν συγκρίνουμε το λόγο των ροπών στην εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή με το λόγο των ροπών στην εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη και δεχόμενη ότι :

$$(I_{\varepsilon \alpha} / I_{Ov}) > k_{\varepsilon} \quad (1.10)$$

Προκύπτει

$$T_{\varepsilon k, AM\Sigma} > T_{\varepsilon k, R} \quad (1.11)$$

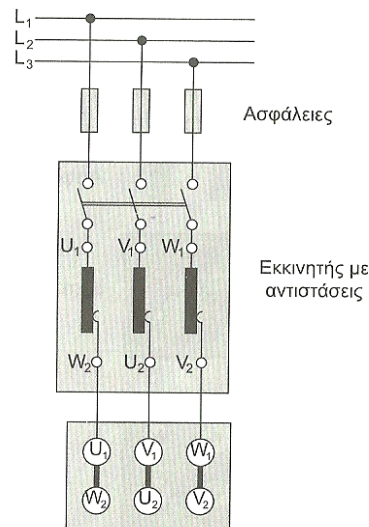
Άρα η εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή πλεονεκτεί ως προς την ροπή εκκίνησης από την εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη.  
Μόνο στην οριακή περίπτωση, όπου

$$k_E = I_{εα}/I_{ον} \quad (1.12)$$

η οποία αντιστοιχεί στην απευθείας εκκίνηση οι ροπές εκκίνησης για τους δύο τρόπους είναι ίδιες.

### 3.2.3 Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Για την εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη χρησιμοποιείται εκκινητής που αποτελείται από τρεις αντιστάσεις οι οποίες παρεμβάλλονται στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του τριφασικού κινητήρα.



Σχήμα 3.2.3

Ο κινητήρας μ' αυτόν τον τρόπο ξεκινάει με ελαττωμένη τάση και συνεπώς και με ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα αφαιρούνται σταδιακά οι αντιστάσεις έως ότου ο κινητήρας αποκτήσει τις κανονικές στροφές οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι στη

κανονική λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντιστάσεις του εκκινήτη είναι εκτός κυκλώματος.

Η απαιτούμενη αντίσταση R ώστε το  $I_{εκ}$  να μην υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή δίδεται από τη σχέση:

$$I_{εκ} = V_1 / \sqrt{[(V_1/I_{εκ})^2 - X_1^2 - r_1]} \quad (1.13)$$

Προφανώς με τη συγκεκριμένη μέθοδο έχουμε ελαττωμένη ροπή κατά την εκκίνηση.

Ισχύει ότι:

$$T_{εκ}/T_{ον} = K_ε^2 S_{ον} \quad (1.14)$$

Όπου  $K_ε$ : επιτρεπόμενο  $I_{εκ}/I_{ον}$

Άρα η μέθοδος αυτή της εκκίνησης είναι κατάλληλη μόνο για κινητήρες μικρής ισχύος και για περιπτώσεις που δεν είναι ουσιαστικό το αυξημένο μέτρο της ροπής εκκίνησης  $T_{εκ}$ .

### **3.2.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου**

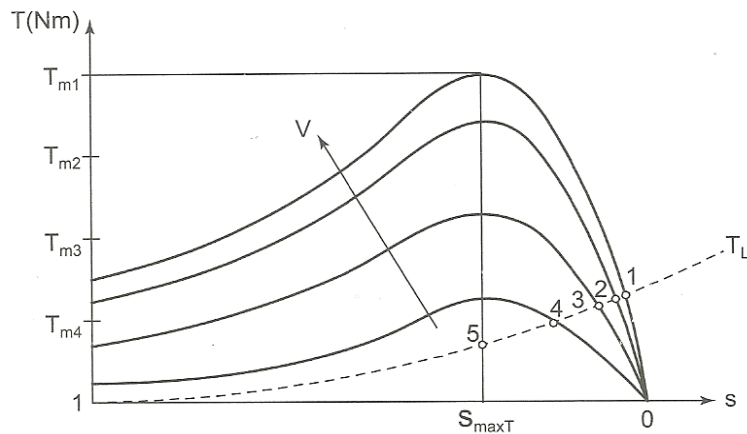
Η παραγόμενη ροπή όπως προαναφέραμε είναι ανάλογη του τετραγώνου του μεγέθους της τάσης τροφοδοσίας.

$$T \sim V_1^2 \quad (1.15)$$

Επιπλέον η ολίσθηση για την οποία έχουμε τη μέγιστη ροπή (για σταθερή συχνότητα), είναι σταθερή και ανεξάρτητη της τάσης τροφοδοσίας. Σύμφωνα λοιπόν με τις παρατηρήσεις αυτές, η χαρακτηριστική ροπής-στροφών του ασύγχρονου κινητήρα, για διάφορες τιμές της τάσης τροφοδοσίας ( $f$ =σταθερό), θα έχει τις μορφές του παρακάτω σχ.3.2.4 α



Από το παραπάνω σχήμα είναι προφανής η σημαντική εξάρτηση του σημείου ανατροπής (μέγιστη ροπή) από τη μεταβολή της τάσης. Εάν π.χ. η τάση υποδιπλασιαστεί, το σημείο ανατροπής ελαττώνεται στο  $\frac{1}{4}$ . Επίσης από την εξέταση μιας τυχαίας χαρακτηριστικής φορτίου (π.χ. ενός φυγοκεντρικού ανεμιστήρα διακεκομμένη γραμμή του παραπάνω σχήματος) είναι προφανές ότι η ελάχιστη δυνατή ταχύτητα αντιστοιχεί σε κάποια τάση,



Σχήμα 3.2.4 α Επίδραση του μεγέθους της τάσης τροφοδοσίας στη χαρακτηριστική ροπής ολίσθησης του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

έστω  $V_1$  για την οποία η χαρακτηριστική ροπής του φορτίου τέμνει την αντίστοιχη χαρακτηριστική του κινητήρα, στο σημείο ανατροπής (π.χ. σημείο "5"). Δηλαδή η περιοχή ρύθμισης περιορίζεται στο διάστημα

$$s_{\max,T} \leq s \leq 0 \quad (1.16)$$

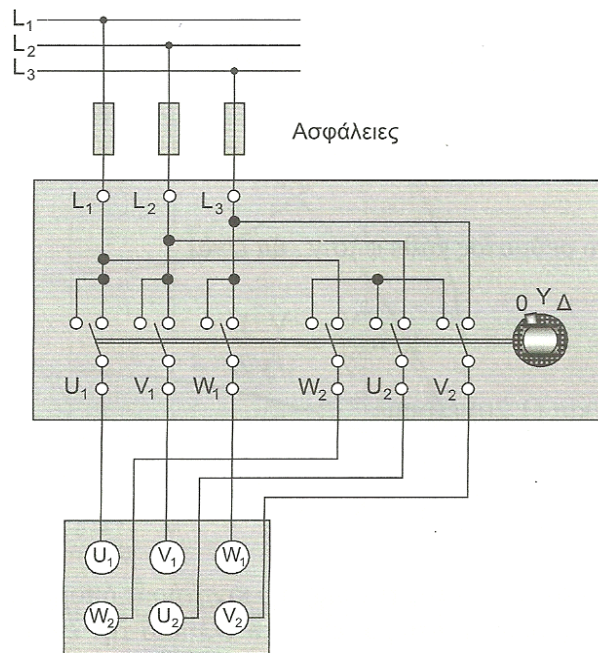
ή

$$(1 - s_{\max,T}) n_s \leq n_r \leq n_s \quad (1.17)$$

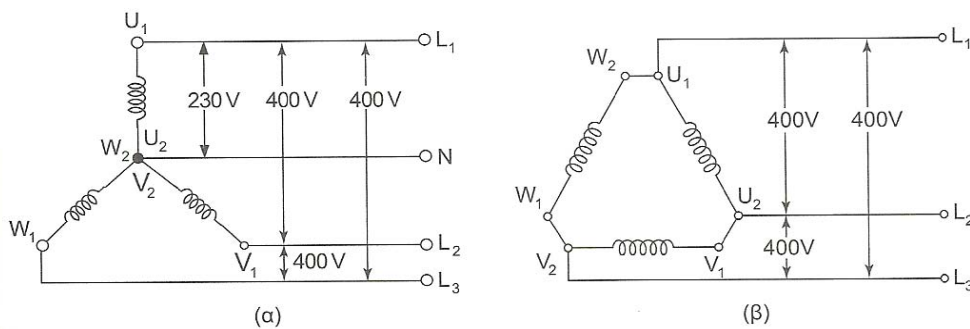
Οι πιο κατάλληλοι κινητήρες, για τον έλεγχο των στροφών με την μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας είναι εκείνοι των οποίων το σημείο ανατροπής παρουσιάζεται σε πολύ υψηλότερη ολίσθηση έναντι των υπόλοιπων κατηγοριών. Βέβαια η αύξηση αυτή του εύρους ρύθμισης γίνεται σε βάρος της απόδοσης του κινητήρα αφού λόγω της παρακάτω σχέσης έχουμε σημαντικά αυξημένες απώλειες χαλκού στο δρομέα.

$$P_{Cu,r} = s P_g \quad (1.18)$$

Σ' αυτή την αρχή βασίζεται και η αρκετά απλή και διαδεδομένη μέθοδος εκκίνησης των κινητήρων με διακόπτη αστέρα-τριγώνου (Y/Δ), που κυρίως εφαρμόζεται σε μικρής και μέσης ισχύος κινητήρες σχήμα 3.2.4 β. Μέσω του διακόπτη Y/Δ για την εκκίνηση του κινητήρα ο στάτης συνδέεται κατά αστέρα σχήμα 3.2.4 (γ) ενώ για την κανονική λειτουργία του κατά τρίγωνο σχήμα 3.2.4 (γ).



Σχήμα 3.2.4 β



Σχήμα 3.2.4 γ

Αν η εκκίνηση του κινητήρα γίνονταν χωρίς διακόπτη Υ/Δ αλλά με απευθείας ζεύξη των τριών φάσεων σε τρίγωνο, το ρεύμα που θα διέρρεε το τύλιγμα κάθε φάσης θα δίνονταν από τη σχέση

$$I_{\phi} = V/Z \quad (1.19)$$

Όπου

V= η πολική τάση του δικτύου και

Z= η σύνθετη αντίσταση ανά φάση του στάτη του κινητήρα.

Συνεπώς η ένταση του ρεύματος στο δίκτυο θα ήταν

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} * I_{\phi} = (\sqrt{3} * V)/Z \quad (1.20)$$

Τώρα που η εκκίνηση του κινητήρα γίνεται με σύνδεση των φάσεων σε αστέρα σε κάθε φάση επικρατεί μειωμένη τάση ίση με

$$V_{\phi} = V/\sqrt{3} \quad (1.21)$$

Άρα η ένταση του ρεύματος κάθε φάσης θα είναι

$$I_{Y} = (V_{\phi}/Z) = V/\sqrt{3} * Z \quad (1.22)$$

Από τις (1.20) και (1.22) έχουμε

$$(I_{Y}/I_{\Delta}) = 1/3 \Rightarrow I_{Y} = I_{\Delta}/3 \quad (1.23)$$

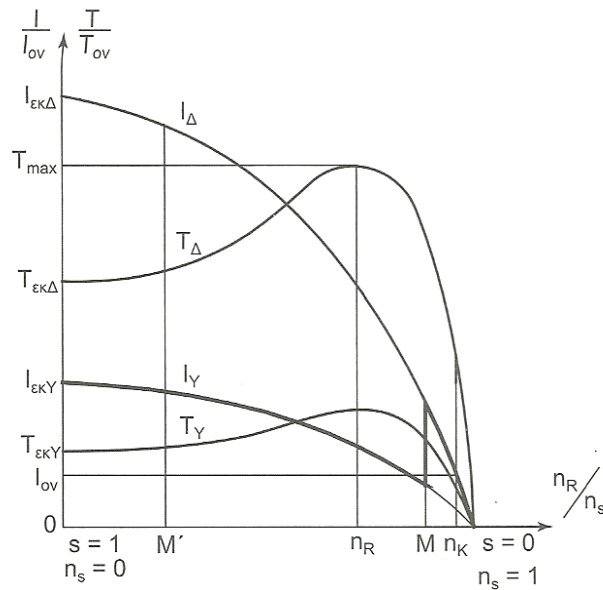
Δηλαδή η ένταση του ρεύματος την οποία ο εκκινητήρας απορροφά από το δίκτυο στην εκκίνηση με ζεύξη σε αστέρα είναι το 1/3 από την ένταση του ρεύματος που απορροφά με απευθείας ζεύξη σε τρίγωνο.

Κατά το ίδιο ποσοστό και η ροπή εκκίνησης του κινητήρα αφού είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της φασικής τάσης.

$$T_{EK} \sim V_{EK}^2 \quad (1.24)$$

Συνεπώς κατά τη σύνδεση αστέρα η ροπή μειώνεται στο 1/3 της ροπής που θα αναπτύσσονταν κατά τη σύνδεση τριγώνου βλέπε παρακάτω σχήμα. Λόγω κορεσμού η πραγματική ελάττωση αυτή ανέρχεται από 0,23 έως 0,3. Η συγκεκριμένη μέθοδος εκκίνησης μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση εκκίνησης μέσω αυτομετασχηματιστή. Με σχέση μεταφοράς  $k=\sqrt{3}$  Κατά τη χρήση του διακόπτη Υ/Δ πρέπει να προσεχθεί η χρονική στιγμή της ζεύξης του διακόπτη από αστέρα σε τρίγωνο ώστε να αποφευχθούν οι υπερεντάσεις και οι υπερτάσεις πρόωρης ζεύξης του κινητήρα στο δίκτυο. Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι η χρονική στιγμή της ζεύξης από αστέρα σε τρίγωνο η ένταση αυξάνεται απότομα, αλλά δεν υπερβαίνει την αρχική τιμή του  $I_{εΚ}$  το οποίο είναι περίπου διπλάσιο του  $I_{ov}$ . Σε περίπτωση που η ζεύξη από αστέρα σε τρίγωνο γίνει πιο πρόωρα (σημείο M') το ρεύμα εκκίνησης είναι πολύ μεγάλο οπότε η παρεμβολή του διακόπτη Υ/Δ δεν έχει ουσιαστικά καμία επίδραση. Πρακτικά ο χρόνος εκκίνησης υπολογίζεται ανάλογα με την ισχύ του κινητήρα από την παρακάτω σχέση.

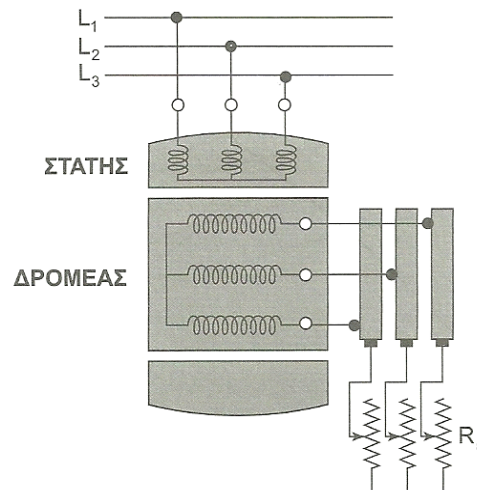
$$t_{εκ} = 4 + (2 * \sqrt{P_{kw}}) \text{ (sec)} \quad (1.25)$$



Σχήμα 3.2.4 δ Μεταβολή της ζεύξεως από αστέρα σε τρίγωνο.

### 3.2.5 Εκκίνηση με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα

Στη μέθοδο αυτή συνδέουμε εξωτερικές ωμικές αντιστάσεις ( $R_{\epsilon}$ ) στο τύλιγμα του δρομέα εφόσον βέβαια ο κινητήρας είναι δακτυλιοφόρος βλέπε σχήμα 3.2.5 α.



Σχήμα 3.2.5 α

Η μορφή που έχει η καμπύλη της μεταβολής της ροπής ενός δακτυλιοφόρου κινητήρα εξαρτάται από την ολική αντίσταση του τυλίγματος κάθε φάσης του δρομέα  $R_2$  και την συνδεδεμένη σε σειρά εξωτερική αντίσταση  $R_{\epsilon}$ .

Όπως προκύπτει από το παρακάτω σχήμα όσο αυξάνει η αντίσταση ( $R_2 + R_{\epsilon}$ ) συμβαίνουν τα εξής:

- μεγαλώνει (μέχρι ενός ορίου) η ροπή εκκίνησης
- η μέγιστη ροπή  $T_{max}$  της οποίας το μέγεθος δεν εξαρτάται από την ολική αντίσταση  $R_2$  του δρομέα, μετατοπίζεται σε μικρότερο αριθμό στροφών και
- η ολίσθηση του κινητήρα για το κανονικό φορτίο αυξάνεται, δηλαδή μειώνεται η ταχύτητα  $n_R$ .

Η διαδικασία με πρόσθετη αντίσταση στο δρομέα ώστε η εκκίνηση να γίνει με μεγαλύτερη ροπή αναπτύσσεται με βάση το σχήμα 3.2.5 β.

Η ροπή του φορτίου είναι η  $T_{\phi}$ . Εφόσον η μέγιστη ροπή είναι μεγαλύτερη της ροπής του φορτίου, ο δρομέας θα αρχίσει να περιστρέφεται και η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή θα ακολουθεί την καμπύλη 1 μέχρι το σημείο Γ, όπου θα εξισωθεί με τη ροπή του φορτίου. Στο διάστημα η ολίσθηση ελαττώνεται και η ταχύτητα αυξάνεται. Εάν στο σημείο αυτό, η πρόσθετη αντίσταση  $R_{\epsilon}$  ελαττωθεί, ο κινητήρας μεταβαίνει στην καμπύλη 2.

Η ηλεκτρομαγνητική ροπή γίνεται πάλι μεγαλύτερη από την  $T_{\phi}$  και ο κινητήρας αρχίζει να επιταχύνει μέχρι το νέο σημείο ισοροπίας Β όπου η ολίσθηση είναι μικρότερη. Στη συνέχεια μπορεί να αναφερθεί και το τελευταίο τμήμα της

πρόσθετης αντίστασης στη φυσική του καμπύλη 3, η οποία αντιστοιχεί στην αντίσταση του δρομέα

Παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια της εκκίνησης η ροπή του κινητήρα κυμαίνεται μεταξύ των δύο ορίων  $T_1$  και  $T_2$ , τα όρια αυτά ρυθμίζονται με κατάλληλη επιλογή των αντιστάσεων εκκίνησης .

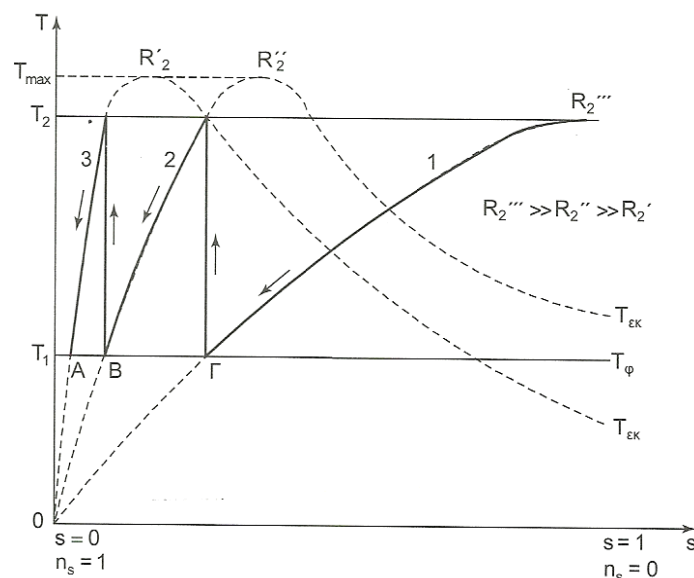
Στην πράξη οι βαθμίδες των πρόσθετων αντιστάσεων που αφαιρούνται καθορίζονται έτσι ώστε τα σημεία A,B και Γ να βρίσκονται κάπως υψηλότερα από τη καμπύλη του φορτίου και μάλιστα σε σημείο όπου το ρεύμα του κινητήρα πέφτει σε μία ορισμένη τιμή. Τούτο οδηγεί σε ελάττωση του χρόνου ( $t_{EK}$ ).

Πάντως πρέπει να σημειώσουμε το άνω όριο  $T_2$  είναι μεγαλύτερο και πλησιάζει τη μέγιστη ροπή τόσο η ένταση εκκίνησης θα είναι μεγαλύτερη.. Μόνο σε περίπτωση που χρειάζεται να έχουμε πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης η ολική αντίσταση του εκκινητή επιλέγεται έτσι ώστε  $T_2=T_{max}$ .

Η ένταση εκκίνησης  $I_{EK}$  είναι δυνατό να ελαττωθεί όσο θέλουμε με κατάλληλη επιλογή της ολικής αντίστασης του εκκινητή. Στην περίπτωση αυτή όμως ελαττώνεται και η ροπή εκκίνησης  $T_2$ .

Μια παρόμοια πριονωτή καμπύλη με τις ροπές μπορεί να χαραχθεί και για το ρεύμα  $I_1$  που απορροφά ο κινητήρας. Εννοείται ότι η αλλαγή καμπύλης ρεύματος γίνεται σε σημεία με αυτή την ολίσθηση όπως και για τη ροπή.

Τελικά μπορούμε να πούμε ότι καμία παραπάνω από τις μεθόδους εκκίνησης δεν δίνει σημαντική ροπή κατά την εκκίνηση πλην εκείνης κατά την οποία αυξάνουμε την ολική αντίσταση στο δρομέα (η οποία όμως ισχύει μόνο για δακτυλιοφόρους κινητήρες). Η ελάττωση του βαθμού απόδοσης ( $\eta$ ) τότε είναι αναπόφευκτη. Γι' αυτό τον λόγο οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα εκκινούν εν κενώ.



Σχήμα 3.2.5 β Επίδραση της  $R_2$  στη χαρακτηριστική ροπής/στροφών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ (SOFT STARTER)**

#### **4.1 Γενικά**

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα κατά την εκκίνηση καταναλώνουν μεγάλη ένταση από τα δίκτυα που τους τροφοδοτούν. Αποτέλεσμα είναι να προκαλούνται στιγμιαίες πτώσεις τάσεως που μπορεί να είναι επικίνδυνες για τους άλλους καταναλωτές αλλά και για το ίδιο το δίκτυο ηλεκτροδότησεως. Προς αποφυγή των παραπάνω χρησιμοποιούμε διάφορους τρόπους εκκίνησης των κινητήρων που στηρίζονται στη τροφοδότηση του κινητήρα με μειωμένη κατά την εκκίνηση μερικούς από τους τρόπους αυτούς στο κεφάλαιο 3. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής τάσης ή ομαλός εκκινήτης (soft starter) αποτελεί μια από τις πιο σύγχρονες και αξιόπιστες ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου κινητήρων. Είναι κατάλληλος για την ελεγχόμενη ομαλή εκκίνηση αλλά και το σταμάτημα για το φρενάρισμα και την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την λειτουργία των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων.

#### **4.1.1 Οι κυριότερες λειτουργίες των ηλεκτρονικών ομαλών εκκινήτων**

Οι κυριότερες λειτουργίες που διακρίνουν τους ηλεκτρονικούς ομαλούς εκκινήτες είναι:

- Επιλογή της εκκίνησης ανάλογα με το είδος του φορτίου (ομαλή εκκίνηση με παλμό τάσης, ράμπα τάσης, περιορισμό τάσης και ρεύματος, καθώς επίσης και δυνατούς συνδυασμούς).
- Ποικιλία δυνατοτήτων σταματήματος(ελεύθερο σταμάτημα, σταμάτημα αντλίας, ομαλό σταμάτημα, πέδηση συνεχούς ρεύματος).
- Ένδειξη καταστάσεων λειτουργίας και βλαβών
- Προστασία υπερθέρμανσης
- Διαθεσιμότητα συσκευών που διαθέτουν θύρα για επικοινωνία με PC ώστε σε συνδυασμό με το πρόγραμμα (software), να γίνει ακριβέστερη ρύθμιση των παραμέτρων καθώς και ο έλεγχος της συσκευής. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες (Dahlander), σε κινητήρες με

μεταγωγή πόλων, συστήματα αιολικής ενέργειας καθώς και για συριακή εκκίνηση κινητήρων με διαφορετική ισχύ ή φορτίο.

### **4.1.2 Εφαρμογές**

Χάρη στις πολλαπλές δυνατότητες ρύθμισης αλλά και τις ενσωματωμένες λειτουργίες μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν παντού όπως:

- Αντλίες, Συμπιεστές
- Εξαεριστήρες, Ανεμιστήρες
- Μεταφορικές ταινίες
- Σπαστήρες, Μύλους
- Αναδευτήρες
- Μηχανήματα Λείανσης
- Μηχανές Όλκησης/Υφαντουργικά
- Πρέσσες
- Εργαλειομηχανές κλπ.

### **4.1.3 Ομαλός εκκινήτης (soft-starter)**

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής τάσης ή ομαλός εκκινήτης αποτελεί τη διαφορά έναντι των προηγούμενων τρόπων εκκίνησης τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα που έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 3.

Χρησιμοποιεί θυρίστορ για το κύριο κύκλωμα του, ενώ η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα ρυθμίζεται με τη βοήθεια τυπωμένου κυκλώματος.

Κατά την εκκίνηση μειώνοντας την τάση του κινητήρα, το ρεύμα και η ροπή εκκινήσεως μειώνονται επίσης. Η ροπή της εκκίνησης είναι τόσο χαμηλή που δεν δημιουργεί μηχανική καταπόνηση μεταξύ των συνδέσεων του κινητήρα (ηλεκτρομειωτήρες, αλυσίδες, ιμάντες) με το φορτίο.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του ομαλού εκκινήτη είναι ότι προσαρμόζεται εύκολα στις ανάγκες του φορτίου είτε είναι πλήρες είτε όχι.

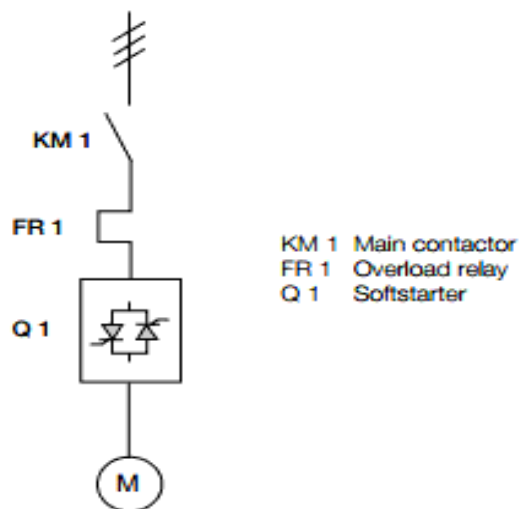


Σε εφαρμογές με ειδικά φορτία μπορούμε να έχουμε ομαλό σταμάτημα, αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για το σταμάτημα αντλίας.



Softstarter

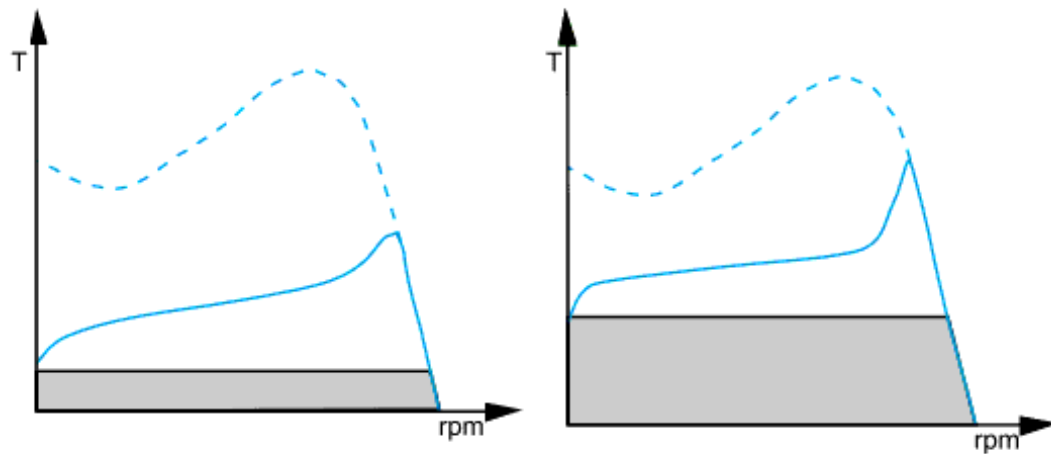
Σχήμα 4.1.4 α



Single line diagram for a softstarter.  
The line contactor is not required and  
sometimes the overload is built-in.\*

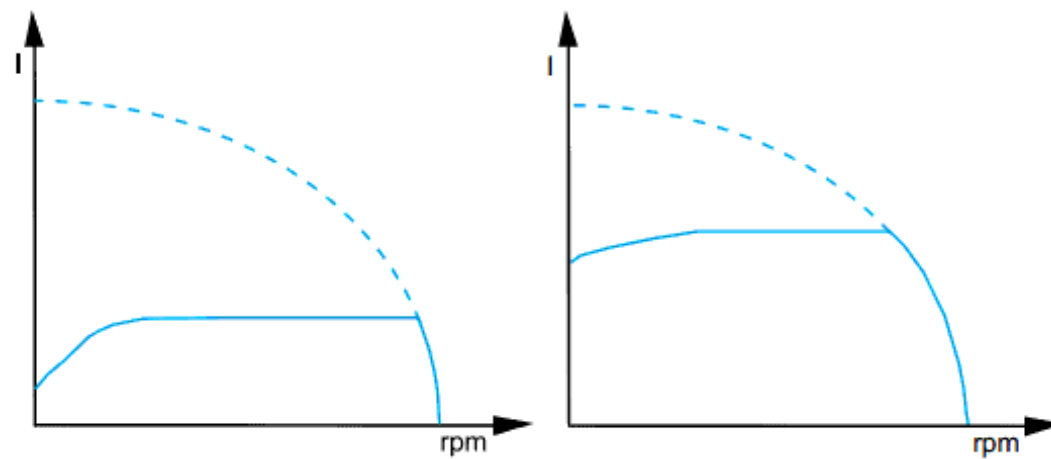
\*In the PSE and PST(B) softstarters  
the overload protection is built-in.

Σχήμα 4.1.4 β



Low load

High load



Torque and current curves when starting a low loaded motor and fully loaded motor using a softstarter.

Σχήμα 4.1.4 γ Κυματομορφές ροπής-στροφών και ρεύματος-στροφών για μικρό και μεγάλο φορτίο

#### **4.1.4 Συνεχόμενη-παράλληλη εκκίνηση κινητήρων**

Υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες, ένας ομαλός εκκινητής καλείται να ξεκινήσει παραπάνω από έναν κινητήρες παράλληλα ή και ακολουθιακά. Αυτή η περίπτωση μπορεί να αντιμετωπιστεί με επιτυχία ωστόσο πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι σημαντικοί παράγοντες.

##### **4.1.4.1 Παράλληλη εκκίνηση**

Εάν ένα soft-starter πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ξεκίνημα κινητήρων την ίδια χρονική στιγμή πρέπει να προσέξουμε δύο σημαντικά πράγματα.

1. Πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει και στο συνολικό άθροισμα των ονομαστικών ρευμάτων των κινητήρων.
2. Πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει στο συνολικό ρεύμα εκκίνησης μέχρι να αποκτηθούν οι ονομαστικές στροφές.

##### **4.1.4.2 Συνεχόμενη εκκίνηση**

Εάν ένα soft starter πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για εκκίνηση κινητήρων τον έναν μετά τον άλλον, είναι σημαντικό να ελέγξουμε ότι μπορεί να ανταπεξέλθει στο ρεύμα εκκίνησης του κάθε μοτέρ ξεχωριστά και για όλη τη χρονική διάρκεια του ξεκινήματος.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν είναι δυνατόν να αθροίσουμε τους χρόνους εκκίνησης για δύο κινητήρες με διαφορετικό ονομαστικό ρεύμα. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να τροποποιήσουμε τους υπολογισμούς μας.

#### **4.2 Περιγραφή και ανάλυση του soft-starter**

Ένας ομαλός εκκινητής αποτελείται από λιγοστά κύρια εξαρτήματα όπως ένα τυπωμένο κύκλωμα, ένα σύστημα αποβολής θερμότητας, κάποια θυρίστρο, ανεμιστήρες ψύξης και το περίβλημα πλαστικό ή μεταλλικό. Τα κυκλώματα ελέγχου μπορεί να είναι ψηφιακού τύπου, αναλογικού τύπου ή κάποιος συνδυασμός και των δύο. Τα ρελέ του σήματος εξόδου μπορεί να έχουν συνδυασμένη λειτουργικότητα η ακόμα να προγραμματίζονται ελεύθερα δίνοντας στον χρήστη την ευχέρεια να αποφασίσει τη λειτουργία της εξόδου.

Ο εκκινητής είναι μερικές φορές εφοδιασμένος με ένα εσωτερικό ρελέ θερμικής προστασίας που αντικαθιστά το κλασσικό διμεταλλικό ρελέ.

Ένα ενσωματωμένο θερμικό έχει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα παραδοσιακό ρελέ αφού οι τιμές υπολογίζονται ηλεκτρονικά κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε διακοπτόμενη λειτουργία. Η ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων συσκευών σε ένα εργοστάσιο όπως επίσης και η επικοινωνία αυτών με κάποιο πάνελ ελέγχου αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Πολλοί από τους σύγχρονους soft-starter διαθέτουν θύρες επικοινωνίας, που συχνά υιοθετούν τη χρήση λίγων μόνο οπτικών ινών. Αυτό είναι κάτι σημαντικό αρκεί να αναλογιστεί κανείς τον μονόδρομο της χρήσης εκατοντάδων αγωγών χαλκού που υπήρχαν τα προηγούμενα χρόνια. Ακόμα υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων επικοινωνίας με μερικά από αυτά να είναι πιο διαδεδομένα από τα άλλα. Τα πιο διαδεδομένα είναι το Modbus, το Profibus, το Devicenet, το Lonworks και άλλα.

### **4.2.1 Προστατευτικό κάλυμμα**

Το προστατευτικό περίβλημα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από πλαστικό υλικό, μεταλλικό, ή ίσως ένας συνδυασμός εκ των δύο. Σκοπός του να προστατεύει τα εσωτερικά εξαρτήματα μηχανικά και ηλεκτρικά. Επίσης χρησιμοποιείται για να κρατάει μακριά σκόνες και ακαθαρσίες οι οποίες προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Η συνολική προστασία και απομόνωση της διάταξης επιτυγχάνεται μέσω ενός πίνακα προστασίας με το κατάλληλο βαθμό IP.

### **4.2.2 Τυπωμένο κύκλωμα**

Το τυπωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της έναυσης των θυρίστορ βασιζόμενος σε ρεύματα και τάσεις αναφοράς. Ακόμα υπολογίζει διάφορες σημαντικές τιμές όπως είναι ο συντελεστής ισχύος, η ενεργός τιμή και άλλα. Μπορεί ακόμα να αποθηκεύσει δεδομένα ιστορικού, καταγραφές ή και στοιχεία για γραφικές παραστάσεις.

### **4.2.3 Λειτουργία των θυρίστορ σε ένα soft-starter**

Τα θυρίστορ είναι ημιαγωγικά στοιχεία συνδεδεμένα σε αντιπαράλληλη διάταξη και τοποθετημένα σε δύο ή τρεις φάσεις του κύριου κυκλώματος. Ρυθμίζουν (αυξάνοντας ή μειώνοντας ) το επίπεδο της τάσης κατά την εκκίνηση και κατά τη λήξη της ράμπας

#### **4.2.4 Συστήματα αποβολής θερμότητας**

Αυτό το τμήμα του soft starter έχει σκοπό την απομάκρυνση της θερμότητας που αναπτύσσεται από το αυξημένο ρεύμα της εκκίνησης αλλά και τη συνεχή λειτουργία. Με άλλα λόγια το σύστημα αυτό είναι ένα μέτρο της δυναμικότητας και του ρεύματος λειτουργίας του εκκινητή .

Όπως άλλωστε συμβαίνει και σε όλες σχεδόν τις ηλεκτρονικές διατάξεις, έτσι και εδώ η ψύξη επιτυγχάνεται μέσω ανεμιστήρων. Ένας , δύο ή και περισσότερη ανεμιστήρες με σχεδίαση και μέγεθος που να καλύπτει της ανάγκες ψύξης, βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα σε ένα soft starter.

Όσο και αν φαίνεται υπερβολικό, η έλλειψη τέτοιων ανεμιστήρων μπορεί να περιορίσει των αριθμό των εκκινήσεων.

### **4.3 Λειτουργία**

#### **4.3.1 Αρχή λειτουργίας**

Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας όπως επίσης και μερικές από της βασικότερες παραμέτρους της.

Ο ηλεκτρονικός ομαλός εκκινητής επιτρέπει την σταδιακή επιτάχυνση του κινητήρα από την στάση έως την ονομαστική ταχύτητα, έχοντας σαν παράμετρο την αρχική τάση που μπορεί να είναι μικρή κι το χρόνο εκκίνησης που μπορεί να φτάσει έως και μερικά λεπτά.

Ο εκκινητής έχει την δυνατότητα της σταδιακής επιβράδυνσης του κινητήρα που επιτρέπει ομαλή μείωση της ταχύτητας μέχρι την στάση. Η δυνατότητα αυτή του προσδίδει ιδιαίτερη χρησιμότητα στις υδραυλικές εγκαταστάσεις για την αποφυγή του πλήγματος, στις μεταφορικές ταινίες και σε όλες τις εγκαταστάσεις που η στάση του κινητήρα πρέπει να γίνεται ομαλά .

Στην επιβράδυνσή το ρεύμα του κινητήρα είναι συνάρτηση της ροπής του φορτίου και του επιλεγόμενου χρόνου επιβράδυνσης.

Οι ομαλοί εκκινητές αποτελούνται :

-Από το κύκλωμα ισχύος με τα θυρίστορ

-Από το κύκλωμα ελέγχου έναυσης των θυρίστορ.

Ο εκκινητής φαλιδίζει την τάση του δικτύου, ελέγχοντας την γωνία έναυσης των θυρίστορ. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχει το ύψος της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του κινητήρα τη στιγμή της εκκίνησης.

Η γωνία έναυσης των θυρίστορ ελέγχεται από έναν μικροεπεξεργαστή ,ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει όλες της παραμέτρους εκκίνησης του κινητήρα. Ο

επεξεργαστής συνεχίζει να παρακολουθεί τον κινητήρα και μετά το στάδιο της εκκίνησης.

Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει τη γωνία ανάμεσα στη τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει των κινητήρα, δηλαδή ελέγχει τον συντελεστή ισχύος (συν φ) του κινητήρα. Όταν έχουμε μείωση του φορτίου επόμενος και μείωση του συνφ του κινητήρα, ο μικροεπεξεργαστής επεμβαίνει στην τάση τροφοδοσίας, διατηρώντας το συνφ περίπου στην μέγιστη τιμή, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να παραμένει υψηλός.

Παρατήρηση: Όλα τα συστήματα που κάνουν ψαλιδισμό της τάσης του δικτύου προκαλούν σε αυτό αρμονικές. Τα soft starter πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε, να μην δημιουργούνται ή να ελαχιστοποιούνται να αρμονικά ρεύματα από την αρχή. Από τις μετρήσεις αποδεικνύεται ότι ο συντελεστή αρμονικών που προκαλούν είναι μικρός. Όταν θέλουμε να αποτρέψουμε την είσοδο των αρμονικών στο δίκτυο, όπου προκαλούν απώλειες ισχύος και αλληλεπίδραση με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, θα πρέπει να τοποθετούμε φίλτρα όπως αυτό του παρακάτω σχήματος

### **4.3.2 Κοινές ρυθμίσεις για τα soft-starter**

Ανάλογα με τον τύπο του soft-starter μπορεί να συναντήσει κανείς, αρκετές διαφορετικές ρυθμίσεις. Αυτές πραγματοποιούνται με ποτενσιόμετρα ρύθμισης, με dip swithes, με ειδικά πλήκτρα υπολογιστή και άλλα.

#### **Χρόνος ράμπας ανόδου (start ramp):**

Ονομάζεται ο χρόνος στον οποίο το soft-starter αποκτά την πλήρη τιμή τάσης ξεκινώντας από την αρχική τιμή τάσης. Αυτός ο χρόνος ανόδου δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλος, επειδή αυτό θα προκαλέσει το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του κινητήρα, και τη πιθανότητα πτώσης του θερμικού. Αν ο κινητήρας δεν έχει αρχικό φορτίο τότε στην πράξη το χρονικό αυτό διάστημα θα είναι μικρότερο από αυτό που έχουμε επιλέξει. Αν όμως έχει συνδεδεμένο μεγάλο φορτίο, τότε το χρονικό διάστημα θα είναι μεγαλύτερο.

#### **Χρόνος ράμπας καθόδου (stop ramp):**

Ονομάζεται ο χρόνος στον οποίο το soft-starter αποκτά την αρχική τιμή τάσης ξεκινώντας από την πλήρη τιμή τάσης. Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται ομαλό

σταμάτημα του κινητήρα, όπως στην περίπτωση μιας αντλίας ή μιας ταινίας μεταφοράς.

Αν ο χρόνος καθόδου επιλεγεί ίσος με 0, αυτό θα αντιστοιχεί σε ακαριαίο σταμάτημα.

### **Αρχική τάση (initial voltage):**

Καλείται η τάση από την οποία ξεκινά η αύξηση της τάσης, ή η τάση στην οποία παύει η μείωση της τάσης. Συνήθως, όπως θα δούμε και στο διάγραμμα που ακολουθεί η τιμή της τάσης για τα δύο διαστήματα χρόνου-ράμπας (ανόδου-καθόδου), είναι περίπου ίδια (εννοείται ότι είναι αντίθετη).

Η ροπή του κινητήρα μειώνεται με το τετράγωνο της τάσης οπότε αυτό σημαίνει ότι αν η αρχική τάση ρυθμιστεί πολύ χαμηλά, π.χ. 20% η ροπή εκκίνησης θα γίνει  $0,2^2=0,04=4\%$ . Δηλαδή ο κινητήρας από πολύ νωρίς κιόλας δεν θα μπορέσει να εκκινήσει. Γι' αυτούς τους λόγους είναι σημαντικό να βρίσκεται ένα επίπεδο τάσης ώστε ο κινητήρας να απομακρύνεται <<ομαλά>> χωρίς να εκλύονται υπερβολικές ποσότητες θερμότητας.

Άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό λειτουργίας, στο οποίο μπορούμε να επέμβουμε και να κάνουμε διορθωτικές ρυθμίσεις είναι το όριο της έντασης ρεύματος. Αυτό το όριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου απαιτείται περιορισμένο ρεύμα εκκίνησης, ή στην περίπτωση μιας δύσκολης εκκίνησης η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσα από τη ρύθμιση της αρχικής τάσης και του χρόνου ράμπας ανόδου.

### **Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής:**

Όταν προσεγγίζεται το όριο της έντασης που έχουμε προεπιλέξει, το soft-starter σταματάει προσωρινά την αύξηση της τάσης μέχρι το ρεύμα να επανέλθει στα επιτρεπτά όρια. Τότε συνεχίζει να αυξάνει την τάση, μέχρι αυτή να φτάσει την πλήρη τιμή της.

Επειδή η παύση λειτουργίας είναι το ίδιο σημαντική με την εκκίνηση υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της βηματικής τάσης λήξης (step down voltage). Αυτή επιδρά στη ράμπα χρόνου καθόδου ως εξής. Καθορίζουμε ένα επίπεδο στο οποίο θα πέσει η τάση, όπου εκεί οι στροφές του κινητήρα θα μειωθούν άμεσα.

Αν ο κινητήρας δεν έχει μεγάλο φορτίο τότε οι στροφές θα μειωθούν μόνο αν η τάση φτάει σε ένα πολύ χαμηλό επίπεδο. Η ειδική αυτή ρύθμιση, μπορεί να περιορίσει αυτό το φαινόμενο και ιδιαίτερα σε εφαρμογές αντλιών.

Η ρύθμιση της ονομαστικής έντασης ρεύματος του κινητήρα (adjustable rated motor current), δίνει την δυνατότητα να ορίσουμε την τιμή του ονομαστικού ρεύματος από τον soft-starter. Αυτή η επιλογή ενδέχεται να επηρεάσει και άλλες τιμές μεγεθών, όπως είναι το επίπεδο trip του ηλεκτρονικού θερμικού ρελέ, το επίπεδο του ορίου της έντασης ρεύματος.

### **4.3.3 Ενδείξεις λειτουργίας του soft-starter**

Αυτές οι ενδείξεις μπορούν να διαφέρουν αρκετά από τον έναν τύπο στον άλλον, ή και μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών. Παρ' όλα αυτά οι πιο κοινές ενδείξεις ενός ομαλού εκκινητή είναι αυτές που περιγράφονται παρακάτω.

**ON-** Φυσιολογικά σημαίνει ότι η τροφοδοσία είναι συνδεδεμένη με τον εκκινητή και η μονάδα είναι έτοιμη να ξεκινήσει τον κινητήρα.

**TOP OFF RAMP** - Σημαίνει ότι ο χρόνος ράμπας ανόδου έχει διέλθει και η πλήρη τάση έχει αποκτηθεί. Εάν χρησιμοποιηθεί μια επαφή μεταγωγής, τότε θα ενεργοποιηθεί.

**FAULT** - Μπορεί να είναι σφάλμα διαφόρων τύπων. Ένας από αυτούς μπορεί να είναι εσωτερικό σφάλμα του soft-starter, σφάλμα από την πλευρά της τροφοδοσίας (απώλεια φάσης, σκάσιμο ασφάλειας) ή σφάλμα από την πλευρά του κινητήρα (κινητήρας όχι συνδεδεμένος, έλλειψη φάσης).

**OVERLOAD** – Σημαίνει ότι η θερμική προστασία έχει ενεργοποιηθεί. Ο λόγος ενεργοποίησης του θερμικού μπορεί να είναι μια υπερένταση, υπερβολικά μεγάλος χρόνος έναρξης, λάθος θερμικό.

**OVERTEMPERATURE** – Σημαίνει ότι το soft-starter έχει υπερθερμανθεί, ίσως λόγω υπερβολικού αριθμού εκκινήσεων, υπερεντάσεων, υπερβολικά μεγάλο χρόνο έναρξης.

### **4.3.4 Τάσεις λειτουργίας**

#### **ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ – MAIN VOLTAGE (Ve)**

Είναι η τάση με την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας και επίσης η τάση την οποία δέχεται το αρχικό κύκλωμα οδήγησης (θυρίστωρ) του ομαλού εκκινητή. Τιμές 200 – 690V είναι οι συνηθισμένες.

#### **ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ – SUPPLY VOLTAGE (Vs)**

Είναι η τάση με την οποία τροφοδοτούνται τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μέσα στον εκκινητή, όπως για παράδειγμα η πλακέτα με τυπωμένο κύκλωμα. Τυπικές τιμές είναι 110V-120V ή 220V-240V.



## **ΤΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – CONTROL VOLTAGE (Vc)**

Είναι η τάση που χρησιμοποιείται για τις εντολές ελέγχου start και stop του εκκινητή. Τυπικές τιμές είναι 24V-480V.

### **4.3.5 Θερμοκρασία περιβάλλοντος**

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του χώρου μέσα στον οποίο βρίσκεται το soft-starter κατά την διάρκεια των 24 ωρών. Για τους περισσότερους τύπους εκκινητών η θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 40<sup>0</sup>C, χωρίς να μεταβάλλουμε το ρεύμα λειτουργίας της μονάδος.

Η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφέρει από τον έναν τύπο στον άλλον, και γι' αυτό τον λόγο πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Για μία θερμοκρασία περιβάλλοντος 40<sup>0</sup>C, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μαθηματική σχέση:

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ SOFT-STARTER**

#### **5.1 Γενικά**

Υπάρχουν δύο τρόποι συνδεσμολογίας ενός soft-starter. Η απευθείας σύνδεση, που είναι και η πιο συνηθισμένη, και η σύνδεση μέσα στο τρίγωνο. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως ορισμένοι μόνο τύποι μπορούν να συνδεθούν μέσα στο τρίγωνο.

#### **5.2 Κατευθείαν σύνδεση (in-line)**

Αυτή είναι η ευκολότερη μέθοδος σύνδεσης. Τα διακοπτικά στοιχεία απομονώνουν και προστατεύουν τον κινητήρα αλλά και το soft-starter. Βρίσκονται τοποθετημένα με το καλώδιο τροφοδοσίας.

Το ρεύμα της γραμμής προς την πλευρά του κινητήρα είναι  $I_r$ . Αυτό διέρχεται μέσα από τα θυρίστορ του εκκινητή. Τρία καλώδια ενώνουν τον εκκινητή με τον κινητήρα.

Και οι τρεις φάσεις συνδέονται σε σειρά με το θερμικό ρελέ, τις επαφές του ρελέ όπως φαίνεται στο σχήμα. Οι προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά που έχουν οι επιλεγμένες διατάξεις πρέπει να συμβαδίζουν με το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα

#### **5.3 Σύνδεση μέσα στο τρίγωνο (inside delta)**

Η τοποθέτηση του soft-starter μέσα στο τρίγωνο, γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντικαθιστά εύκολα έναν εκκινητή Υ-Δ.

Όταν ο εκκινητής είναι συνδεδεμένος στο τρίγωνο εκτίθεται μόνο στο 58% ( $1/\sqrt{3}$ ) του ρεύματος της γραμμής. Το ρεύμα της γραμμής (line current) και το ρεύμα του τριγώνου (inside delta current) ακολουθούν πάντα την αναλογία  $\sqrt{3}=1,732$ . Τα θυρίστορ συνδέονται με τις φάσεις των τυλιγμάτων του κινητήρα. Γι' αυτό το λόγο είναι εφικτό να επιλεγούν μικρότερα μεγέθη διατάξεων, ώστε να επιτευχθεί μείωση του κόστους.

## **5.4 Ηλεκτρικές συνδέσεις**

Μπορούμε να διαχωρίσουμε τις ηλεκτρικές συνδέσεις, σε ισχύος και ελέγχου. Προφανώς το κύκλωμα ισχύος αφορά τη γραμμή τροφοδοσίας του εκκινητή από το δίκτυο, και τη γραμμή σύνδεσης του εκκινητή με τον κινητήρα. Οι τάσεις σε αυτό το κύκλωμα κυμαίνονται από 200 έως 600V AC ανάλογα με τον τύπο και τον τρόπο συνδεσμολογίας του κινητήρα. Το αμπεράζ της τροφοδοσίας και της καλωδίωσης του κινητήρα, πρέπει να βασίζεται στις ονομαστικές τιμές που αναγράφονται στην πινακίδα του κινητήρα, και να είναι σύμφωνο με τους κανονισμούς ασφαλείας (σωλήνα ή κανάλι).

Το κύκλωμα ελέγχου αφορά την καλωδίωση της μονάδας ελέγχου των θυρίστρον, και η τάση ελέγχου βρίσκεται συνήθως στα 24V DC. Ωστόσο αυτό δεν θα πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο, αφού υπάρχουν μοντέλα soft-starter με τάσεις 120 ή 240V AC. Επομένως κατά την τροφοδότηση των διατάξεων ελέγχου πρέπει να εξασφαλίζουμε τη σωστή τάση και τη σωστή συχνότητα (εφ' όσον πρόκειται για εναλλασσόμενο ρεύμα).

Ένα ακόμη σημαντικό σημείο, είναι το γεγονός ότι κάθε ομαλός εκκινητής προορίζεται για μια συγκεκριμένη τάση τροφοδοσίας. Επομένως τόσο η τάση όσο και η συχνότητα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο εύρος των τιμών του εκκινητή.

### **5.4.1 Σύνδεση γείωσης**

Το μεταλλικό πλαίσιο του εκκινητή αλλά και το σώμα του κινητήρα πρέπει να γειώνονται σύμφωνα με τους κανονισμούς εγκατάστασης.

Ένα σύνθετο σύστημα πρέπει να έχει μόνο ένα σημείο γείωσης για τα κοινά τροφοδοτικά, τις επιστροφές σήματος ώστε να αποτρέπονται τα φαινόμενα βρόγχων γείωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα μεγάλο γειωμένο μεταλλικό αντικείμενο όπως ένας πίνακας μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημείο. Η χρήση ενός κοντού αγωγού γείωσης συνδεδεμένο με τον πίνακα είναι καλύτερη από τη χρήση ενός μακρύτερου αγωγού ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μία μπάρα γείωσης.

### **5.4.2 Καταστολή θορύβων**

Τα ρελέ, η ηλεκτρομηχανική πέδηση, και τα σωληνοειδή πηνία παράγουν ηλεκτρικό θόρυβο, με τη μορφή απότομων μεταβολών της τάσης. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει ιδιαίτερα όταν απενεργοποιούνται και μπορεί να επηρεάσει το κύκλωμα ελέγχου, με τελικό αποτέλεσμα την ακανόνιστη λειτουργία της συνολικής διάταξης. Για τέτοιες πηγές θορύβου όπως αυτές που αναφέρθηκαν υπάρχουν οι εξής απλοί τρόποι προστασίας.

Αν ο θόρυβος δημιουργείται από πηνίο 24V DC: Συνδέουμε μια δίοδο παράλληλα με το πηνίο. Η δίοδος τύπου 1N4004 είναι επαρκής για τις περισσότερες περιπτώσεις μέχρι 1A. Ένα βαρίστορ ή ένας καταστολέας ακμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της διόδου.

Αν ο θόρυβος δημιουργείται από πηνίο 120/230V AC: Χρησιμοποιούμε ένα κύκλωμα R-C (αποτελείται από έναν πυκνωτή 0,47μF), 600V σε σειρά με μία αντίσταση ¼ W, 220Ω), το οποίο συνδέεται παράλληλα με το πηνίο.

. Ένα βαρίστορ ή ένας καταστολέας ακμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της διόδου ωστόσο ενδείκνυται το κύκλωμα R-C.

### **5.4.3 Οργάνωση αγωγών**

Παρά το γεγονός ότι οι επόμενοι κανόνες δεν μπορούν να επιβληθούν κατά την ηλεκτρική εγκατάσταση, η τήρηση τους έχει μεγάλη σημασία για την απρόσκοπτη λειτουργία του ομαλού εκκινητή.

-Κάθε ακροδέκτης μπορεί να δεχτεί μέχρι μία ορισμένη διατομή αγωγού. Η χρήση μη κατάλληλων διατομών μπορεί να καταστρέψει τις κλέμμες σύνδεσης, να επιφέρει υπερθέρμανση, ή ακόμα και καταστροφή του εκκινητή.

- Κάθε αγωγός πρέπει να σημειώνεται κατάλληλα με τη χρήση ετικετών θερμοσκληρυνόμενων και άλλων μεθόδων.

- Τα καλώδια που αφορούν τις εντολές ελέγχου πρέπει να βρίσκονται χωριστά από τα καλώδια ισχύος και να είναι τοποθετημένα σε ξεχωριστό σωλήνα. Η συνιστώμενη ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους είναι 15 με 20cm.

Από τη βασική συνδεσμολογία των γραμμών ισχύος, παρατηρούμε ότι:

- Στην περίπτωση χρήσης πυκνωτών διόρθωσης του συντελεστή ισχύος, δεν συνδέουμε τους πυκνωτές από την πλευρά των ακροδεκτών εξόδου. Διαφορετικά υπάρχει περίπτωση καταστροφής του κυκλώματος με τα αγώγιμα στοιχεία στερεής μορφής.
- Ο κινητήρας συνδέεται πάντα στους ακροδέκτες T1(2)-T2(4)-T3(6), οι οποίοι αποτελούν και την έξοδο.
- Η κύρια τροφοδοσία συνδέεται πάντοτε στους ακροδέκτες L1(1)-L(3)-L3(5), οι οποίοι αποτελούν και την είσοδο.
- Το soft-starter απεικονίζεται σαν ένα κιβώτιο με ακροδέκτες εισόδου, εξόδου, γείωσης και κλέμμες σύνδεσης (επαφών και βοηθητικές, τις οποίες θα εξηγήσουμε σε λίγο).

Σε έναν κλασσικό εκκινητή στη γενική όψη του διακρίνουμε:

Πάνω δεξιά τους ακροδέκτες σύνδεσης της τάσης ελέγχου. Αυτοί είναι οι ακροδέκτες X1-X2 και μπορούν να δεχθούν τόσο εναλλασσόμενη όσο και

συνεχή τάση. Κάτω από αυτούς υπάρχει ένα ζευγάρι ακροδεκτών εισόδου που ενεργοποιεί το πηνίο ενός ρελέ (άκρα A1-A2).

Οι επόμενες τρεις κλέμμες (ζευγάρια κλεμμών) αφορούν εξόδους που μπορεί να μας δώσει ο εκκινητής. Έτσι στην απλή λειτουργία μπορεί να κλείσει μια κανονικά κλειστέα επαφή ανάβοντας μια βοηθητική λυχνία, ή τροφοδοτώντας ένα κύκλωμα.

Όταν ο κινητήρας δίνει το 100% της τάσης εξόδου του, τότε κλείνει η επαφή 27-28.

Επίσης όταν συμβαίνουν ορισμένα είδη σφάλματος, κλείνει η επαφή 37-38. Τέτοια σφάλματα μπορούν να είναι απώλεια φάσης, κατεστραμμένα θυρίστορ ή ακόμα και πρόβλημα στη μνήμη EEPROM.

**ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ:** Η παρουσίαση των συνδέσεων και των λειτουργιών τους γίνεται πάνω σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο. Ωστόσο η πλειοψηφία από αυτές συναντάται σε όλους σχεδόν τους εκκινητές με διαφορετική ίσως διάταξη ή και ονοματολογία.

Ακολουθούν ορισμένα LED ενδείξεων μέσα από τα οποία μπορεί κανείς να ελέγξει αλλά και να διαγνώσει πιθανές βλάβες του εκκινητή.

Τέλος στο κάτω μέρος μπορούμε να βρούμε τοποθετημένα τρία πολύ σημαντικά ποτενσιόμετρα. Το πρώτο καθορίζει τον χρόνο ράμπας ανόδου, το δεύτερο ποτενσιόμετρο το επίπεδο της τάσης πάνω από το οποίο θα αρχίσει να λειτουργεί ο εκκινητής ενώ το τρίτο τον χρόνο ράμπας καθόδου. Στο αντίστοιχο σχεδιάγραμμα που βρίσκεται στα αριστερά, αναγράφεται τόσο τον εύρος όσο και οι θέσεις μέγιστης-ελάχιστης τιμής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

#### **6.1 Αρμονικές**

Οι αρμονικές είναι ανεπιθύμητες τάσεις και ρεύματα που υπάρχουν σε όλα τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Έχουν πάντα συχνότητα πολλαπλάσια της ονομαστικής, τυπικές αρμονικές είναι η 3<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup>, η 7<sup>η</sup> κλπ. Οι αρμονικές συμβάλλουν στην επιπρόσθετη θέρμανση των κινητήρων, των καλωδίων και άλλων εξαρτημάτων, μειώνοντας έστω και μακροπρόθεσμα τον χρόνο ζωής τους.

Επίσης είναι πιθανό να αλλοιώσουν την λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων. Το επίπεδο και τα περιεχόμενα μιας αρμονικής εξαρτώνται από την πηγή της αλλά και από ένα πλήθος άλλων παραγόντων όπως η αντίσταση του τροφοδοτούμενου δικτύου, ο κινητήρας, οι χωρητικότητες που πιθανόν να υπάρχουν στο σύστημα κλ. Αυτό σημαίνει ότι η παρουσία τους είναι ένα αρκετά σύνθετο φαινόμενο.

#### **Περιεχόμενα των αρμονικών σε σχέση με τα soft-starter:**

Γενικά μπορούμε να πούμε πως η επίδραση των αρμονικών για τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν softstarter είναι μικρής σημασίας. Τα προβλήματα δημιουργούνται κυρίως σε εφαρμογές με inverter όπου η χρήση φίλτρου είναι απαραίτητη κυρίως για βιομηχανικά δίκτυα.

Κατά την εκλογή ενός ομαλού εκκινητή αυτό που αρκεί είναι να εκπληρώνει τις οδηγίες περιορισμένης εκπομπής EMC (electromagnetic commission), που ορίζονται από τους διεθνείς οργανισμούς.

#### **6.2 Εκρηκτικά περιβάλλοντα**

Για εργοστάσια σε περιβάλλον όπου ο κίνδυνος έκρηξης είναι αυξημένος λόγω του ότι υπάρχει συνδυασμός εύφλεκτων αερίων, ή υλικά με μεγάλο δείκτη εκρηκτικότητας, υπάρχουν ειδικές προφυλάξεις που λαμβάνονται αναφορικά με τη χρήση των ηλεκτρικών μερών. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών κινητήρων υπάρχουν βασικά μέτρα προφύλαξης. Το πρώτο αφορά την σχεδιάσή τους ώστε να μην εμφανίζονται σπίθες ή αδικαιολόγητη θερμότητα. Το δεύτερο μέτρο είναι να απομονωθούν οι σπίθες και η επικίνδυνη θερμότητα μέσα στο κινητήρα ούτως ώστε να αποφευχθεί η ανάφλεξη εύφλεκτων αερίων εξωτερικά του κινητήρα. Οι διαφορετικές κλάσεις αντιαεκρηκτικής προστασίας περιγράφονται από τις ακόλουθες οδηγίες συμμόρφωσης. Η ύπαρξη ειδικών τεχνικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται πάνω στις πινακίδες των κινητήρων, ή σε ανάγλυφη συνήθως

σήμανση όταν αφορά άλλες συσκευές (όργανα μέτρησης, πάνελ απεικόνισης, βαλβίδες).

## **6.3 Συμμόρφωση με πρότυπα**

Με τον όρο συμμόρφωση εννοούμε ότι οι ηλεκτρικές διατάξεις που χρησιμοποιούμε, πληρούν τους κανόνες ασφαλείας τόσο για το περιβάλλον όσο και για το προσωπικό, ακόμα και αν συμβεί υπερφόρτιση ή άλλο σφάλμα στο σύστημα.

Το συμμορφωμένο σύνολο πρέπει να πληροί τις εξής τέσσερις προϋποθέσεις:

- Προστασία από τις υπερφορτίσεις. Αυτή αφορά όλα τα εξαρτήματα, καλώδια όπως και τον ίδιο τον κινητήρα, αφού όλα αυτά μπορούν να καταστραφούν από την υπερθέρμανση. Η διάταξη προστασίας ενεργοποιείται σε μία συγκεκριμένη τιμή της έντασης του ρεύματος, την οποία έχουμε προκαθορίσει εμείς. Έπειτα στέλνει ένα σήμα trip σε ένα διακοπτικό στοιχείο, που συνήθως είναι επαφές που ελέγχουν τον κινητήρα.
- Έλεγχος του μοτέρ. Αυτός επιτυγχάνεται με τη χρήση επαφών.
- Προστασία από βραχυκυκλώματα, η οποία συμπεριλαμβάνει όλα τα ρεύματα που υπερβαίνουν την προκαθορισμένη τιμή του ρεύματος στον ρότορα.
- Μόνωση. Συνήθως στους ομαλούς εκκινήτες είναι το κενό αέρος μεταξύ αυτού και των διαφόρων εξαρτημάτων.

### **6.3.1 Τύποι συμμόρφωσης**

Το πρότυπο συμμόρφωσης IEC 60947-4-2 ορίζει τους εξής δύο τύπους ανάλογα με τον βαθμό συχνότητας των επισκευών.

ΤΥΠΟΣ 1: Το πρότυπο ασφαλείας αναφέρει ότι, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η συσκευή δεν θα προκαλέσει υλική ή σωματική βλάβη, και ότι περαιτέρω χρήση επιτρέπεται μόνο αφού επισκευαστούν ή αντικατασταθούν μέρη του.

ΤΥΠΟΣ 2: Το πρότυπο ασφαλείας αναφέρει ότι σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η συσκευή δεν θα προκαλέσει υλική ή σωματική βλάβη, και ότι περαιτέρω χρήση επιτρέπεται. Για ειδικής μορφής controller και starter αναγνωρίζεται ο κίνδυνος

κόλλησης των επαφών οπότε ο κατασκευαστής θα πρέπει να προσδιορίζει τα μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνονται.

### **6.3.2 Κατηγορίες χρήσης και τυπικές εφαρμογές**

Μερικές κατηγορίες χρήσης δηλώνονται στο πρότυπο συμμόρφωσης IEC 60947-4-2 το οποίο έχει τίτλο "AC semiconductor motor controller and starter". Μια τέτοια κατηγορία που χρησιμοποιείται π.χ. για τους soft-starter χαμηλής τάσης της ABB είναι η AC-53.

### **6.4 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση**

Ένα αυξανόμενο πρόβλημα που δημιουργείται με τη χρήση ολοένα και περισσότερων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στα συστήματα είναι η ηλεκτροστατική εκφόρτιση (electrostatic discharge- ESD). Κύρια πηγή του προβλήματος είναι ο λανθασμένος χειρισμός των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, των τυπωμένων κυκλωμάτων κλπ. Ένα εξάρτημα που καταστρέφεται από ηλεκτροστατική εκφόρτιση έχει προηγουμένως εκτεθεί σε ένα υπερβολικό επίπεδο τάσης. Σήμερα ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός είναι πολύ πιο ευαίσθητος ανάλογα με τον βαθμό ενσωμάτωσης του στο σύστημα αλλά και από την πολυπλοκότητά του. Οι αποστάσεις μεταξύ των αγωγών μειώνονται και κατ' επέκταση η απόσταση μόνωσης ελαχιστοποιείται. Μία συνήθης τιμή των 0,002 mm συνηθίζεται στα σύγχρονα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Το ηλεκτροστατικό φορτίο δημιουργείται ως εξής:

- Τρίβοντας δύο επιφάνειες μεταξύ τους
- Διαχωρισμός δύο επιφανειών, όπως για παράδειγμα να απομακρύνουμε ένα πλαστικό καπάκι μιας συσκευασίας από τα περιεχόμενά της.
- Επαγωγή που οφείλεται σε στατικό ηλεκτρισμό χωρίς να προϋπάρχει επαφή με το υλικό.

#### **Είδη σφαλμάτων από ESD και διαφορετικοί τύποι κυκλωμάτων**

Οι ζημιές που δημιουργούνται από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Άμεσα σφάλματα και λανθάνοντα σφάλματα. Τα άμεσα σφάλματα είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστούν αφού το εξάρτημα δεν θα



λειτουργήσει καθόλου, και αυτό πολύ συχνά ανακαλύπτεται πριν ακόμα το εξάρτημα καταστραφεί.

Αντιθέτως τα λανθάνοντα σφάλματα μπορούν να εντοπιστούν πολύ δύσκολα αφού το εξάρτημα δεν λειτουργεί αξιόπιστα και η διάρκεια ζωής του μπορεί να μειωθεί δραματικά σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

#### Σφάλματα που οφείλονται σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις

Ψηφιακά κυκλώματα: Τα ψηφία 1 γίνονται 0 και τα 0 γίνονται 1 χωρίς να υπάρχει λόγος. Δεν υπάρχουν καθόλου "ψηφία" στο κύκλωμα (το κύκλωμα είναι νεκρό).

Αναλογικά κυκλώματα: α) Ακρίβεια μέτρησης η οποία να χειροτερεύει

β) Λανθασμένα επίπεδα τάσης τα οποία χρειάζονται ρύθμιση

γ) δυσλειτουργίες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΤΑΣΗΣ**

#### **7.1 Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες**

##### **7.1.1 Κατευθείαν εκκίνηση**

Σε αρκετές εφαρμογές η εκκίνηση γίνεται με μειωμένο φορτίο. Οι μεγάλοι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία, δηλαδή ο κινητήρας ξεκινάει με μειωμένη ροπή φορτίου, οπότε η εκκίνηση γίνεται πιο εύκολα. Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες πολύ συχνά συνδέονται με έναν ή περισσότερους ιμάντες για να μεταδώσουν την περιστροφική κίνηση στη φτερωτή. Στην κατευθείαν σύνδεσή τους με το δίκτυο τροφοδοσίας, οι ιμάντες έχουν την τάση να γλιστρούν (πρόβλημα ολίσθησης). Αυτό συμβαίνει, γιατί υπάρχει αυξημένη αδράνεια στο ξεκίνημα της φτερωτής που αντιστέκεται στον αέρα. Οι ιμάντες μετάδοσης γλιστρούν, ακόμα και αν αυξήσουμε τη ροπή. Στην περίπτωση αυτή οι ιμάντες δεν αντέχουν να μεταφέρουν τόση δύναμη. Το παραπάνω πρόβλημα δημιουργεί μεγάλο κόστος συντήρησης αλλά και ζημιά στην παραγωγή.

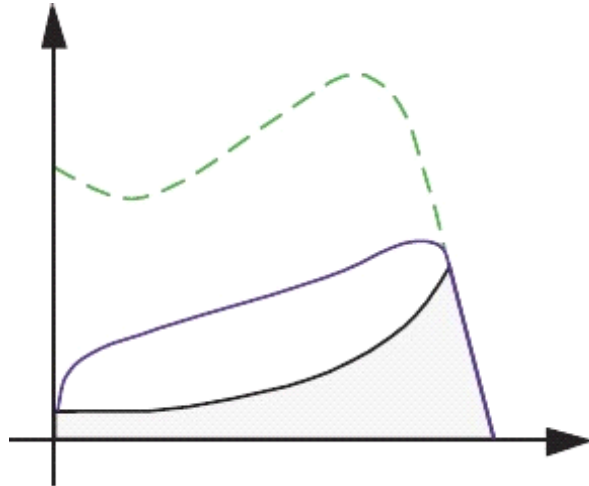
##### **7.1.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος-τριγώνου**

Στην περίπτωση εκκίνησης αστέρος-τριγώνου, η ροπή εκκίνησης είναι μειωμένη. Όμως η ροπή του φορτίου αυξάνεται με το τετράγωνο της ταχύτητας, οπότε η ροπή του κινητήρα στη θέση αστέρα δεν αρκεί για να επιταχύνει τον ανεμιστήρα στις ονομαστικές του στροφές. Επίσης κατά την μετάβαση από τον αστέρα στο τρίγωνο δημιουργείται μια επικίνδυνη γρήγορη μετάδοση που συνοδεύεται από απότομη αύξηση του ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι ίδιο με αυτό που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, δηλαδή εμφανίζεται το πρόβλημα της ολίσθησης των ιμάντων μετάδοσης. Φυσικά αν τεντώσουμε τους ιμάντες πολύ σκληρά το πρόβλημα θα λυθεί προσωρινά, αλλά μακροπρόθεσμα στον κινητήρα δημιουργείται μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε μεγάλες δαπάνες συντήρησης.

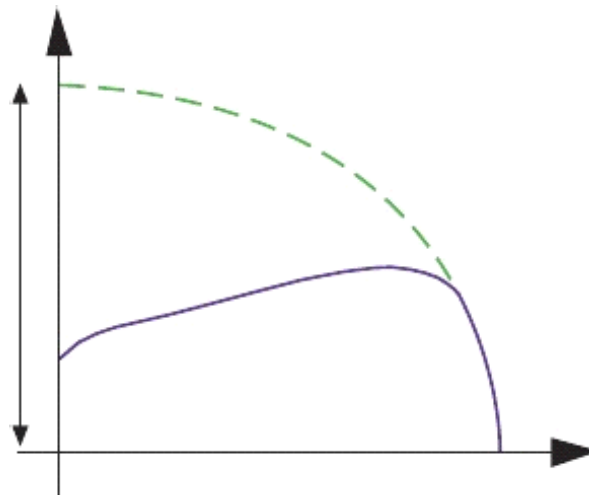
##### **7.1.3 Ομαλός εκκινητής**

Η λύση του προβλήματος της ολίσθησης των ιμάντων μετάδοσης, είναι η μειωμένη ροπή εκκίνησης. Η χρήση του ομαλού εκκινητή (soft starter),

επιτυγχάνει τη μείωση της τάσης στο επίπεδο που χρειάζεται κάθε φορά, για να αποφύγουμε το πρόβλημα της ολίσθησης κατά την εκκίνηση του ανεμιστήρα, αλλά παράλληλα και την ακριβή ρύθμισή της, στο επίπεδο που χρειάζεται για να θέσει σε λειτουργία τον ανεμιστήρα. Επίσης ο εκκινητής παρέχει την δυνατότητα ρύθμισης της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα σε όλες τις καταστάσεις εκκίνησης, είτε δηλαδή έχουμε εκκίνηση με μειωμένο φορτίο είτε έχουμε πλήρες φορτίο.



Σχήμα 7.1.3 α Χαρακτηριστική ροπής/ στροφών για εκκίνηση με ομαλό εκκινητή.



Σχήμα 7.1.3 β Χαρακτηριστική ρεύματος/στροφών για εκκίνηση με ομαλό εκκινητή.

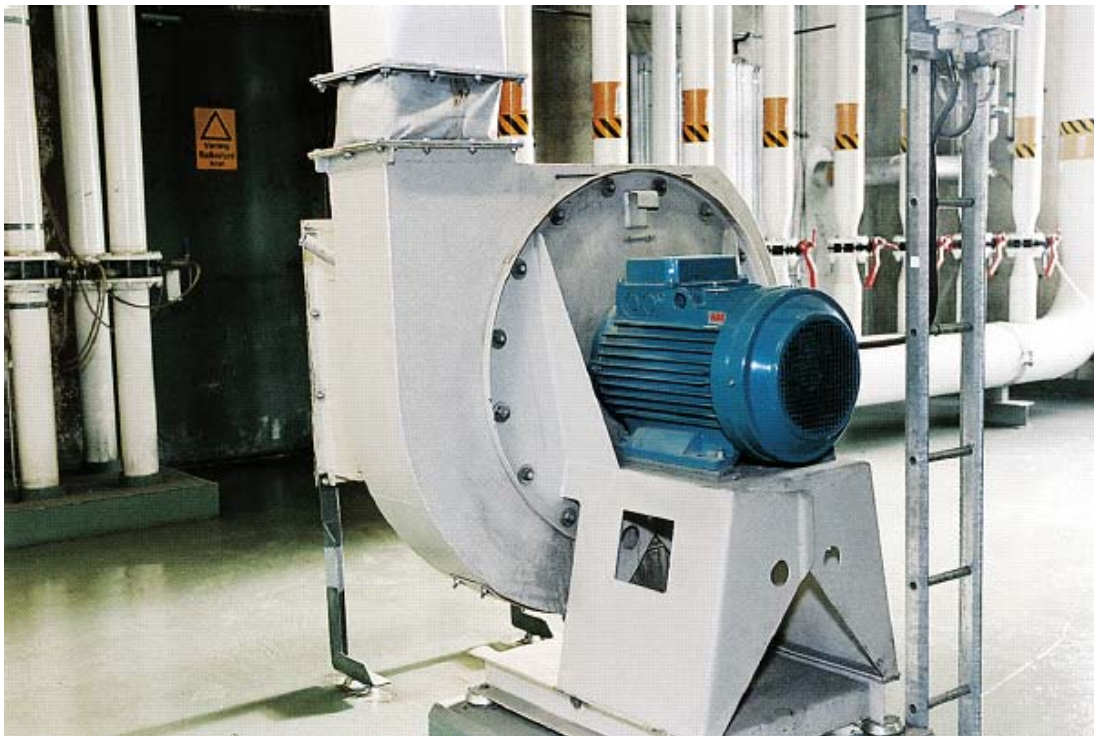
## **7.1.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή**

### **ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Για τους ανεμιστήρες με μικρή φτερωτή, η επιλογή ενός εκκινητή είναι σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Τα παραπάνω ισχύουν εάν ο χρόνος στην κατευθείαν τροφοδοσία του κινητήρα με το δίκτυο είναι λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα.

### **ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Για τους ανεμιστήρες με μεγάλη φτερωτή, η επιλογή είναι ενός εκκινητή σχεδιασμένου για δύσκολη εκκίνηση σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Είναι δυνατόν να επιλέξουμε εκκινητή και για κανονική εκκίνηση αρκεί να είναι λίγο μεγαλύτερος από την ονομαστική ισχύ του κινητήρα, σε συνδυασμό με ένα θερμικό υπερφόρτισης στο μέγεθος της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα. Τα παραπάνω ισχύουν εάν ο χρόνος στην κατευθείαν τροφοδοσία του κινητήρα με το δίκτυο είναι λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα.



## **7.2 Αντλίες**

### **7.2.1 Κατευθείαν εκκίνηση**

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι αντλιών, όπως οι εμβολοφόρες αντλίες και οι φυγοκεντρικές αντλίες. Η πιο κοινή έκδοση είναι η φυγοκεντρική αντλία στην οποία και θα αναφερθούμε. Ωστόσο η εκκίνηση της αντλίας δεν είναι πρόβλημα. Το πρόβλημα είναι η φθορά που δημιουργείται από την υψηλή πίεση του νερού στα εσωτερικά τοιχώματα των σωληνώσεων της εγκατάστασης, όταν εκείνο ξεκινά ή σταματά απότομα.

Κατά τη διάρκεια της κατευθείαν εκκίνησης η ροπή και το ρεύμα του κινητήρα είναι αρκετά αυξημένα με αποτέλεσμα ο κινητήρας να επιταχύνει και να φτάνει την ονομαστική του ταχύτητα πάρα πολύ γρήγορα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι η μειωμένη ροπή φορτίου κατά την εκκίνηση του κινητήρα.

### **7.2.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος-τριγώνου**

Χρησιμοποιώντας την αυτόματη εκκίνηση αστέρος-τριγώνου, η ροπή εκκίνησης είναι μειωμένη. Όμως η ροπή του φορτίου αυξάνεται με το τετράγωνο της ταχύτητας, οπότε η ροπή του κινητήρα στη θέση αστέρα δεν αρκεί για να επιταχύνει τον ανεμιστήρα στις ονομαστικές του στροφές. Επίσης κατά την μετάβαση από τον αστέρα στο τρίγωνο δημιουργείται μια επικίνδυνη γρήγορη μετάδοση που συνοδεύεται από απότομη αύξηση του ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι η μηχανική καταπόνηση του κινητήρα που οδηγεί σε μεγάλες δαπάνες συντήρησης.

### **7.2.3 Το σταμάτημα της αντλίας**

Κατά το σταμάτημα της αντλίας είναι φυσικό να υπάρχουν προβλήματα. Αποσυνδέοντας την κύρια τροφοδοσία ο κινητήρας σταματά απότομα. Ανάλογα με την παροχή ροής μέσα στις σωληνώσεις της εγκατάστασης, το υγρό (έστω ότι στην περίπτωσή μας είναι νερό) συνεχίζει να κινείται με την ίδια ταχύτητα για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Τελικά όλη η πίεση του νερού επιστρέφει πίσω στις σωληνώσεις εγκατάστασης. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα στις βαλβίδες που δεν αντέχουν την αυξημένη πίεση του νερού, αλλά και στο σύστημα σωληνώσεων αφού δέχεται μεγάλες μηχανικές πιέσεις .

### **7.2.4 Ομαλός εκκινήτης**

Επιλέγοντας έναν ομαλό εκκινήτη για να θέσουμε σε λειτουργία την αντλία, καταφέραμε να μειώσουμε την ροπή εκκίνησης. Στη συνέχεια, ρυθμίζοντας την

τάση τροφοδοσίας της αντλίας με την βοήθεια του εκκινήτη, επιτυγχάνουμε την σταδιακή αύξηση της ροπής της αντλίας μέχρι την ονομαστική τιμή της. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγουμε τις απότομες αυξήσεις του ρεύματος εκκίνησης. Ένα σύνηθες ρεύμα που καταναλώνει ένας soft-setarter, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης με πλήρες φορτίο είναι περίπου 4 φορές επί του ονομαστικού ρεύματος του κινητήρα. Όταν η αντλία σταματά, το πρόβλημα της αυξημένης πίεσης του νερού μέσα στο σύστημα σωληνώσεων της εγκατάστασης δεν παρουσιάζεται. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει μία ειδική λειτουργία του εκκινήτη που ονομάζεται τάση ράμπας (voltage ramp), η οποία μειώνει σταδιακά την τάση τροφοδοσίας της αντλίας, με αποτέλεσμα να επιβραδύνει την αντλία ομαλά.

## **7.2.5 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινήτη**

### **ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Το ξεκίνημα μιας αντλίας είναι μία τυπική διαδικασία εκκίνησης. Η επιλογή ενός ομαλού εκκινήτη, γίνεται σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα.



## **7.3 Συμπιεστές**

### **7.3.1 Κατευθείαν εκκίνηση**

Οι μικρότεροι συμπιεστές είναι συνήθως εμβολοφόροι και η ονομαστική ροπή στο φορτίο αυξάνεται γραμμικά με την ταχύτητα. Σε άλλους πάλι συμπιεστές όπου η ανάγκη σε ροή αέρα είναι αυξημένη, η ροπή στο φορτίο αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας οι συμπιεστές που χρησιμοποιούν απευθείας εκκίνηση εκτίθενται σε μεγάλη μηχανική καταπόνηση. Τόσο ο ίδιος ο συμπιεστής, όσο και οι ιμάντες αλλά και οι σύνδεσμοι φθείρονται με λογικό επακόλουθο την μείωση της διάρκειας ζωής τους. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες οι ιμάντες οδήγησης “γλιστρούν” κατά το ξεκίνημά τους. Η αιτία αυτή του φαινομένου είναι η υψηλή τιμή της ροπής εκκίνησης του συμπιεστή. Ακόμα ένα σημαντικό πρόβλημα στη μέθοδο της κατευθείαν εκκίνησης είναι και η μεγάλη τιμή του ρεύματος (μία συνήθης τιμή μπορεί να φτάσει ακόμα και το εφταπλάσιο της τιμής του ονομαστικού ρεύματος του κινητήρα).

### **7.3.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος-τριγώνου**

Η εκκίνηση με αστέρα-τρίγωνο προσφέρει μια αρχική χαμηλή τιμή ροπής και ρεύματος. Ωστόσο ο κινητήρας δεν έχει την απαιτούμενη δύναμη ώστε να μπορέσει να επιταχυνθεί μέχρι τις ονομαστικές στροφές του. Κατά την μετάβαση από αστέρα σε τρίγωνο η ροπή αλλά και το ρεύμα αποκτούν μεγάλες στιγμιαίες τιμές με επακόλουθο την μηχανική καταπόνησή του.

Οι συμπιεστές συχνά λειτουργούν εν κενώ (χωρίς φορτίο) για μεγάλα χρονικά διαστήματα όταν η πίεση του συστήματος είναι υψηλή. Ένας κινητήρας που λειτουργεί κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις έχει πάντοτε χαμηλό συντελεστή ισχύος και βαθμό απόδοσης.

### **7.3.3 Ομαλός εκκινήτης**

Μέσα από τη χρήση ενός ομαλού εκκινήτη είναι δυνατόν να περιορίσουμε τη ροπή εκκίνησης σε ένα επαρκές επίπεδο για κάθε διαφορετική εφαρμογή. Το αποτέλεσμα είναι μειωμένη καταπόνηση στους συνδέσμους, στα ρουλεμάν, και λιγότερη έως ανύπαρκτη ολίσθηση των ιμάντων. Ένα έμμεσο αλλά εξίσου σημαντικό στοιχείο είναι και η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης. Γενικά στους συμπιεστές ένας soft-sarter περιορίζει το ρεύμα εκκίνησης σε 3 έως 4 φορές του ονομαστικού.

### **7.3.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή**

#### **ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Για τους συμπιεστές με χρόνο κατευθείαν εκκίνησης (direct on line starting time) μικρότερο των 5 sec, η επιλογή είναι ενός εκκινητή σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Είναι επίσης δυνατό να βρούμε ποιον εκκινητή θα χρησιμοποιήσουμε ακολουθώντας τον εξής πρακτικό κανόνα: επιλέγουμε ένα μέγεθος μεγαλύτερο της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα και [προσθέτουμε ένα θερμικό ρελέ κλάσης 30.

#### **ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Για τους συμπιεστές με χρόνο μεγαλύτερο των 5 sec, η επιλογή είναι ενός εκκινητή σχεδιασμένου για δύσκολη εκκίνηση σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα.





## **7.4 Μεταφορικές ταινίες**

### **7.4.1 Κατευθείαν εκκίνηση**

Οι μεταφορικές ταινίες εμφανίζονται σε αρκετές διαφορετικές μορφές και <<κατευθύνσεις>> χρήσης. Αποτελούν τυπικό παράδειγμα φορτίου σταθερής ροπής με μικρή έως υψηλή ροπή πέδησης ανάλογα με το ποσοστό φόρτισης της ταινίας. Αυτό είναι προφανές αφού άλλοι επιβραδυντική δύναμη χρειάζεται μια ταινία η οποία μεταφέρει πλαστικά κουτιά, και άλλη που μεταφέρει βαριά εξαρτήματα αυτοκινήτων.

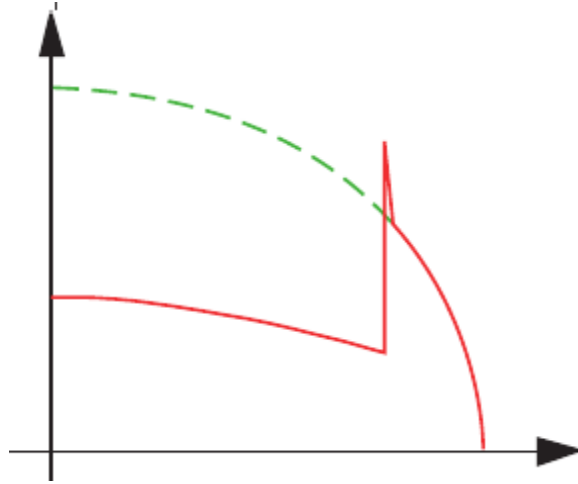
Οι ταινίες συχνά χρειάζονται μία ροπή εκκίνησης της τάξεως κοντά ή ελάχιστα παραπάνω από την ονομαστική ροπή του κινητήρα. Η κατευθείαν εκκίνηση με έναν μέσο κινητήρα κλωβού δίνει περίπου 1.5-2 φορές την ονομαστική ροπή του κινητήρα ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του. Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος εκκίνησης δείχνει να είναι ικανοποιητική, υπάρχουν τα παρακάτω προβλήματα.

A) Ο κίνδυνος ολίσθησης της ταινίας από τους οδηγούς είναι ιδιαίτερα αυξημένος και εξαρτάται από την αρχική ροπή εκκίνησης.

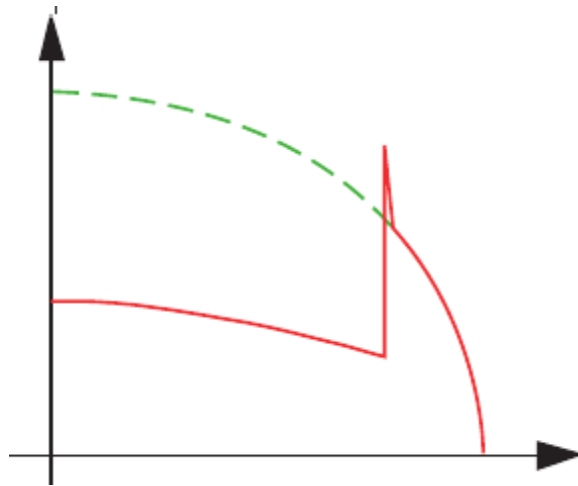
B) Τα συστήματα μετάδοσης της κίνησης και οι σύνδεσμοι υπόκεινται μεγάλη μηχανική καταπόνηση. Αυτό όπως έχουμε προαναφέρει σημαίνει πρόωρη φθορά και υψηλό κόστος συντήρησης. Μερικές φορές ειδικά είδη συνδέσμων με μεγαλύτερες ελαστικότητες χρησιμοποιούνται για να ελαττώσουν την μεταφερόμενη ροπή φθοράς.

### **7.4.2 Αυτόματη εκκίνηση αστέρος-τριγώνου**

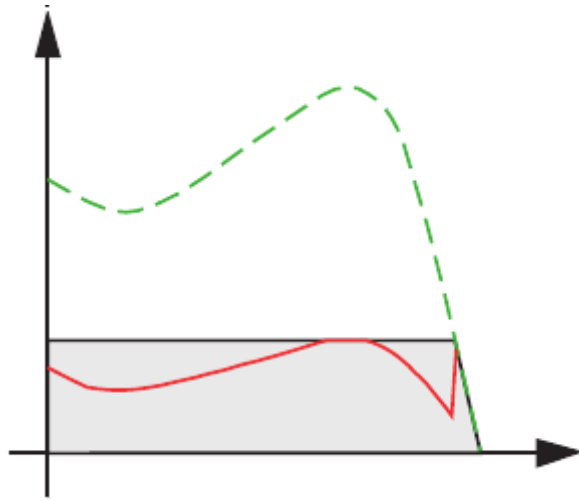
Αυτή η μέθοδος εκκίνησης δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί όταν η ροπή του φορτίου έχει παραπλήσιες τιμές με την ονομαστική ροπή εκκίνησης του κινητήρα.



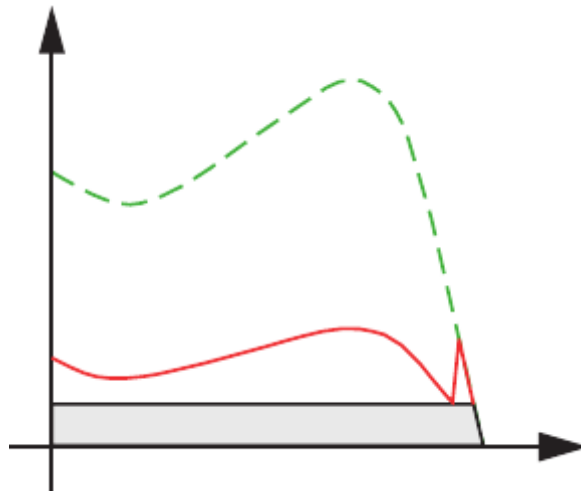
Σχήμα 7.2.4 α Καμπύλη ρεύματος/στροφών κατά την εκκίνηση σε αστέρα- τρίγωνο με μειωμένη ροπή φρεναρίσματος.



Σχήμα 7.2.4 α Καμπύλη ρεύματος/στροφών κατά την εκκίνηση σε αστέρα- τρίγωνο με αυξημένη ροπή φρεναρίσματος.



Σχήμα 7.2.4 β Καμπύλη ροπής/στροφών κατά την εκκίνηση σε αστέρα- τρίγωνο με αυξημένη ροπή φρεναρίσματος.



Σχήμα 7.2.4. γ Καμπύλη ροπής/στροφών κατά την εκκίνηση σε αστέρα- τρίγωνο με μειωμένη ροπή φρεναρίσματος.

### **7.4.3 Ομαλός εκκινήτης**

Αν ενσωματώσουμε στην εφαρμογή μας έναν ομαλό εκκινήτη τότε μπορούμε να εξασφαλίσουμε μια ελάχιστη τιμή ροπής εκκίνησης η οποία όμως αρκεί για να ξεκινήσει η μεταφορική ταινία. Οι δυνατότητες ρύθμισης που υπάρχουν σε έναν soft-starter μας προσφέρει με ακρίβεια το επιθυμητό επίπεδο της ροπής εκκίνησης. Το αποτέλεσμα είναι ο μέγιστος περιορισμός της φθοράς στα συστήματα μετάδοσης κίνησης και στους συνδέσμους ζεύξης.

Επίσης το φαινόμενο ολίσθησης των ταινιών μεταφοράς και μειώνουμε τις ανάγκες συντήρησης.

Όταν χρησιμοποιούμε ένα soft-starter έχουμε ένα ρεύμα εκκίνησης που είναι 3-4 φορές μεγαλύτερου του ονομαστικού.

### **7.4.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινήτη**

#### **ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Κατ' αρχήν θα πρέπει να προσδιορίσουμε πότε έχουμε κανονική εκκίνηση μιας μεταφορικής ταινίας. Η απάντηση είναι, όταν αυτή είναι φορτωμένη με μικρό βάρος πάνω σε μικρή έκταση αυτής. Για ταινίες με χρόνο κατευθείαν εκκίνησης (direct on line starting time) μικρότερο των 5 sec, η επιλογή είναι ενός εκκινήτη σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα.

#### **ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ**

Οι μεταφορικές ταινίες ενδέχεται σε μερικές περιπτώσεις να είναι πολύ μεγάλου μήκους οπότε σε μία τέτοια περίπτωση αν είναι πλήρως φορτωμένες τότε ο χρόνος εκκίνησης (starting time) πρόκειται να είναι επίσης πολύ μεγάλος. Για τέτοιες εφαρμογές πρέπει να επιλέγεται ένας ομαλός εκκινήτης ειδικά σχεδιασμένος για υψηλές απαιτήσεις και συνθήκες λειτουργίας. Πρέπει ωστόσο να παρατηρήσουμε πως είναι δυνατή η χρήση ενός soft-starter κανονικής εκκίνησης, αρκεί να επιλέξουμε ένα μέγεθος ισχύος μεγαλύτερο από την ονομαστική του κινητήρα, και το συνδυάσουμε με ένα θερμικό ρελέ κλάσης 30. Είναι εφικτό να γίνεται η επιλογή σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιλέγεται soft-starter μεγαλύτερης ισχύος ανάλογα με τις συνθήκες της εφαρμογής (βαθμός δυσκολίας εκκίνησης, πολλές εκκινήσεις ανά ώρα, κλπ).

Η δυναμικότητα ενός ομαλού εκκινήτη καθορίζεται από την ικανότητα των θυρίστορ (thyristor capacity) όπως επίσης και από τη διάταξη απομάκρυνσης της θερμότητας (heat sink).

Ο επόμενος πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός γρήγορης επιλογής και εξασφάλισης ότι ο εκκινητής είναι επαρκώς μεγάλος για να καλύψει τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο πίνακας δεν συνιστά εργαλείο εύρεσης των βέλτιστων λύσεων. Γι' αυτό τον σκοπό έχουν δημιουργηθεί τα κατάλληλα προγράμματα από τις κατασκευάστριες εταιρίες των soft-starter. Τέτοια λογισμικά είναι το PROSOFT της ABB και το SIKOSTART της SIEMENS.



## ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

### ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ

#### Τυπικές εφαρμογές:

Συμπιεστής  
Ανελκυστήρας  
Φυγοκεντρική αντλία  
Ταινία μεταφοράς (μικρού μήκους)  
Κυλιόμενη σκάλα

#### ΕΠΙΛΟΓΗ

Επιλογή του soft-starter σύμφωνα  
με την ονομαστική ισχύ του  
κινητήρα.

Για συσκευές με ενσωματωμένο  
θερμικό επιλογή trip κλάσης 10.

### ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ

#### Τυπικές εφαρμογές

Μηχανή σύνθλιψης  
Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας  
Ταινία μεταφοράς (μεγάλου μήκους)  
Αναδευτήρας  
Μήλος

#### ΕΠΙΛΟΓΗ

Επιλογή του heavy duty soft-starter  
σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ  
του κινητήρα.

Επιλογή του normal duty soft-starter  
Ένα μέγεθος μεγαλύτερο από την ονομαστική ισχύ του κινητήρα.  
Για συσκευές με ενσωματωμένο θερμικό επιλογή  
trip κλάσης 30.

**Αν υπάρχουν περισσότερες από έξι εκκινήσεις  
ανά ώρα επιλέγουμε ένα μέγεθος μεγαλύτερο από τα  
προηγούμενα.**

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Μετά το τέλος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, μελετώντας και αναλύοντας τις συμβατικές μεθόδους εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων και των σύγχρονων μεθόδων εκκίνησης (soft-starter), τα συμπεράσματα που βγάλαμε είναι τα εξής: Σε απλές εφαρμογές όπως για την εκκίνηση ενός κινητήρα χρησιμοποιούμε τους συμβατικούς εκκινήτες γιατί είναι πιο οικονομικοί σε σχέση με την αγορά ενός σύγχρονου εκκινήτη.

Ενώ σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές λόγω του ότι έχουμε τάχιστα απόσβεση κόστους χρησιμοποιούμε σύγχρονους εκκινήτες.

Τέλος εκτός από το οικονομικό όφελος έχουμε και ποιοτικότερη λειτουργία του κινητήρα λόγω των κατασκευαστικών πλεονεκτημάτων των σύγχρονων εκκινήτων, επίσης “μηδενίζουν” τα όποια μειονεκτήματα κατά την εκκίνηση που δεν μπορούμε να αποφύγουμε με τους συμβατικούς εκκινήτες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια συντήρησης .

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ι.Α Τεγόπουλος, 'Ηλεκτρικές Μηχανές, μέρος β' Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2001.
- Στέφανος Μανιάς 'Ηλεκτρονικά Ισχύος', Εκδόσεις Συμμετών, Αθήνα 2000
- Stephen J. Charman, 'Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC' Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε. Θεσσαλονίκη 1993
- Μαλατέστας Π., Βερνάδος Π., Βυλλιώτης Η., 'Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικών Μηχανών', Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 2008
- Μαλατέστας Π., Βυλλιώτης Η., 'Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος', Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 2004
- Μαλατέστας Π., Βυλλιώτης Η., 'Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικής Κίνησης, Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 2005
- Μαλατέστας Π., 'Ηλεκτρική Κίνηση', Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 2010
- Μαρία Ιωαννίδου' Συστήματα ελέγχου ηλεκτρικών μηχανών', Έκδοσεις Ε.Μ.Π 2003
- ABB Soft-Starter Handbook Automation Technology Products AB, Control February 2003
- SIEMENS Soft-Start Sirius 3rw30 / 3rw40 Manual 2010