



## Σημειώσεις Ηλεκτρολογείου ΣΤ' εξαμήνου

Γεώργιος Μεσαρχάκης  
Ηλεκτρονικός Μηχανικός Τ.Ε.

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Διακρίνονται σε **μονοφασικούς και τριφασικούς**. Ανεξάρτητα από τον αριθμό φάσεων που τροφοδοτούνται, διακρίνονται σε:

- Ασύγχρονους ή επαγωγικούς κινητήρες. Η ταχύτητά τους εξαρτάται από το φορτίο τους, και διακρίνονται σε βραχυκυκλωμένου κλωβού και δακτυλιοφόρου δρομέα. Έχουν απλή κατασκευή και χρησιμοποιούνται συνήθως ως κινητήρες και όχι σαν γεννήτριες.
- Σύγχρονους κινητήρες. Η ταχύτητα τους είναι συγκεκριμένη και εξαρτάται από τη συχνότητα του δικτύου και από άλλες παραμέτρους. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως γεννήτριες.

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

Στο παρόν εργαστήριο θα αναλύσουμε τον τρόπο που θα συνδέσουμε τον κινητήρα (αστέρι ή τρίγωνο) ανάλογα με την τάση του δικτύου μας και τα δεδομένα που αναγράφονται στο ταμπελάκι του κινητήρα. Καταρχήν θα δεχτούμε ότι ο κινητήρας θα λειτουργήσει στο Ελληνικό τριφασικό δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, όπου η τάση είναι **400V**. **Υπονοείται και θεωρείται γνωστό ότι η προαναφερθείσα τάση είναι πολική** (μεταξύ φάσεων) και επίσης ότι η φασική τάση (μεταξύ φάσης και ουδετέρου) είναι  $V_{\phi} = V_{\pi} / \sqrt{3}$ , ήτοι 230V.

Έστω ο κάτωθι κινητήρας:

3~Mot BN 63B 4				No60278000286	
Cod. 830520106				IM B5 IP 55	
V Δ/Y	I.C.L.	F	S 1	cos φ	
	Hz	kW	A Δ/Y	min-1	
230/400	50	0.18	1.23 - 0.71	1320	0.67
460	60	0.21	0.69	1630	
220/240	VΔ	1.25-1.28	A	50Hz	
380/415	VY	0.72-0.74	A		
440/480	VY	0.68-0.71	A	60Hz	

Όλες οι τάσεις και τα ρεύματα που αναγράφονται στο ταμπελάκι αναφέρονται **πάντα σε ονομαστική λειτουργία του κινητήρα (πλήρη ισχύ με πλήρες φορτίο)**. Επίσης οι τάσεις αυτές είναι πάντα πολικές τάσεις και αναφέρονται στο δίκτυο που θα συνδεθούν. Σύμφωνα με το ταμπελάκι, στο Ελληνικό δίκτυο (**400V**) ο κινητήρας μπορεί να συνδεθεί **MONO** σε συνδεσμολογία Y αστέρα και θα λειτουργήσει στο 100% της ισχύος του. Απαγορεύεται να λειτουργήσει σε συνδεσμολογία Δ τριγώνου διότι θα λειτουργήσει στο 200% της ισχύος του περίπου με αποτέλεσμα να καταστραφεί. (Είναι γνωστό ότι σε συνδεσμολογία τριγώνου ο κινητήρας καταναλώνει περισσότερη ισχύ απ' ότι στον αστέρα)

Αν βρισκόμασταν σε κάποια χώρα όπου η τάση (πολική ασφαλώς) θα ήταν **230V**, τότε ο κινητήρας θα μπορούσε να συνδεθεί σε συνδεσμολογία Δ τριγώνου για να δουλέψει στο 100% της ισχύος του ΑΛΛΑ ΚΑΙ σε συνδεσμολογία Y αστέρα για να δουλέψει στο 50% περίπου της ισχύος του.

Αν βρισκόμασταν σε χώρα με τάση 690V τότε απλά ο κινητήρας δεν θα μπορούσε να συνδεθεί σε καμία συνδεσμολογία διότι θα καταστρεφόταν.

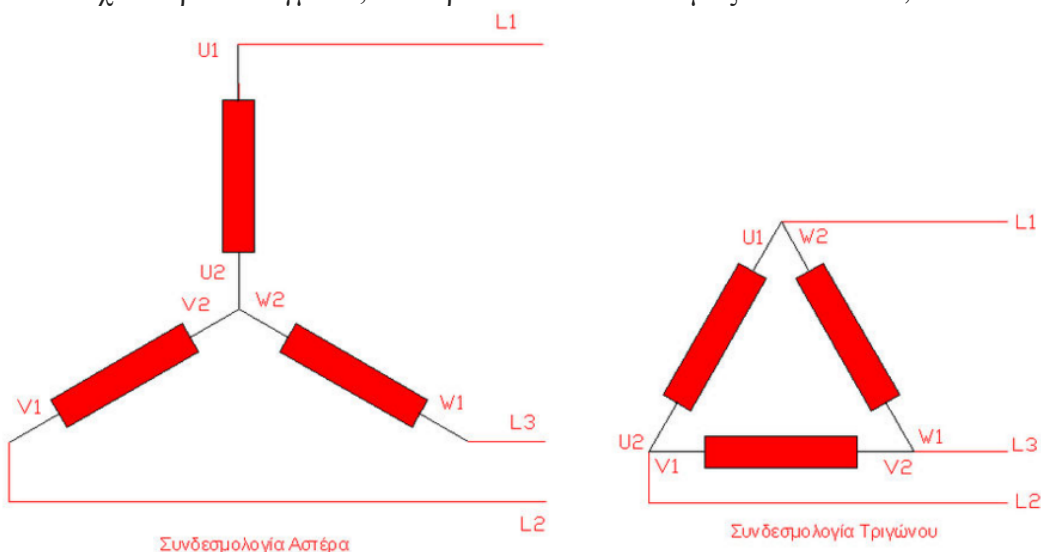
Αν ο κινητήρας αναφέρει μόνο μια τάση λειτουργίας π.χ. 400VΔ, τότε υπονοείται ότι η τάση για συνδεσμολογία Y είναι  $\sqrt{3}$  φορές μεγαλύτερη δηλαδή 690VY. Δηλαδή, αν ο κινητήρας πρόκειται να δουλέψει στο Ελληνικό δίκτυο (400V), μπορεί να συνδεθεί σε Δ για 100% ισχύ, **αλλά και** σε Y για 50% ισχύ.

Αν ο κινητήρας αναφέρει μόνο μια τάση λειτουργίας π.χ. 400VY, τότε υπονοείται ότι η τάση για συνδεσμολογία Δ είναι  $\sqrt{3}$  φορές μικρότερη δηλαδή 230VΔ. Δηλαδή, αν ο κινητήρας πρόκειται να δουλέψει στο Ελληνικό δίκτυο (400V), μπορεί να συνδεθεί σε Y για 100% ισχύ, αλλά σε Δ **απαγορεύεται** να συνδεθεί γιατί θα καεί.

Τέλος, για όποια συνδεσμολογία επιλέξουμε να εργαστεί ο κινητήρας, φροντίζουμε η παροχή μας και τα καλώδια να μπορούν να υποστηρίξουν τα ρεύματα που αναγράφει ο κινητήρας.

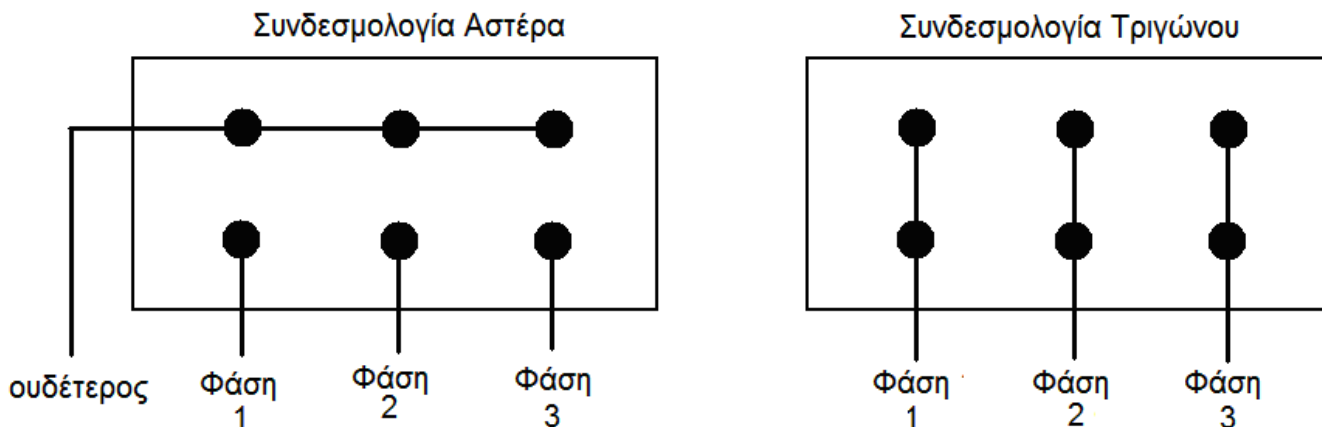
### ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΑΣΤΕΡΑ-ΤΡΙΓΩΝΟΥ (Y-Δ)

Οι ασύγχρονοι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι απλοί στην κατασκευή και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης. Για το λόγο αυτό η χρήση τους είναι πλατιά διαδεδομένη. Το ρεύμα εκκίνησης τους είναι 4 έως 8 φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα κανονικής λειτουργίας. Για το λόγο αυτό, η απ'ευθείας εκκίνηση του κινητήρα σε συνδεσμολογία τριγώνου, που είναι η συνδεσμολογία λειτουργίας τους, δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο (πτώση τάσης). Για να περιοριστεί το ρεύμα εκκίνησης, αλλά και για την προστασία τους, χρησιμοποιείται ο **αυτόματος διακόπτης αστέρα-τριγώνου (Y-Δ)**. Συνήθως χρησιμοποιείται σε κινητήρες ισχύος πάνω από τρεις ίππους (περίπου 2 KW). Οι κινητήρες αυτοί έχουν τρία τυλίγματα, τα άκρα των οποίων ονομάζονται U1-U2, V1-V2 και W1-W2.

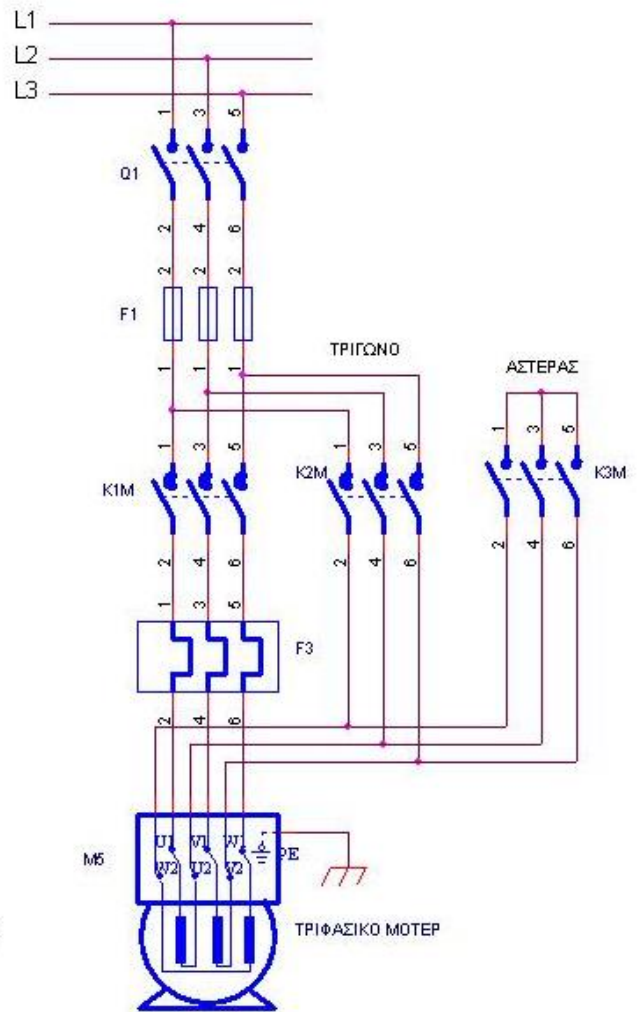
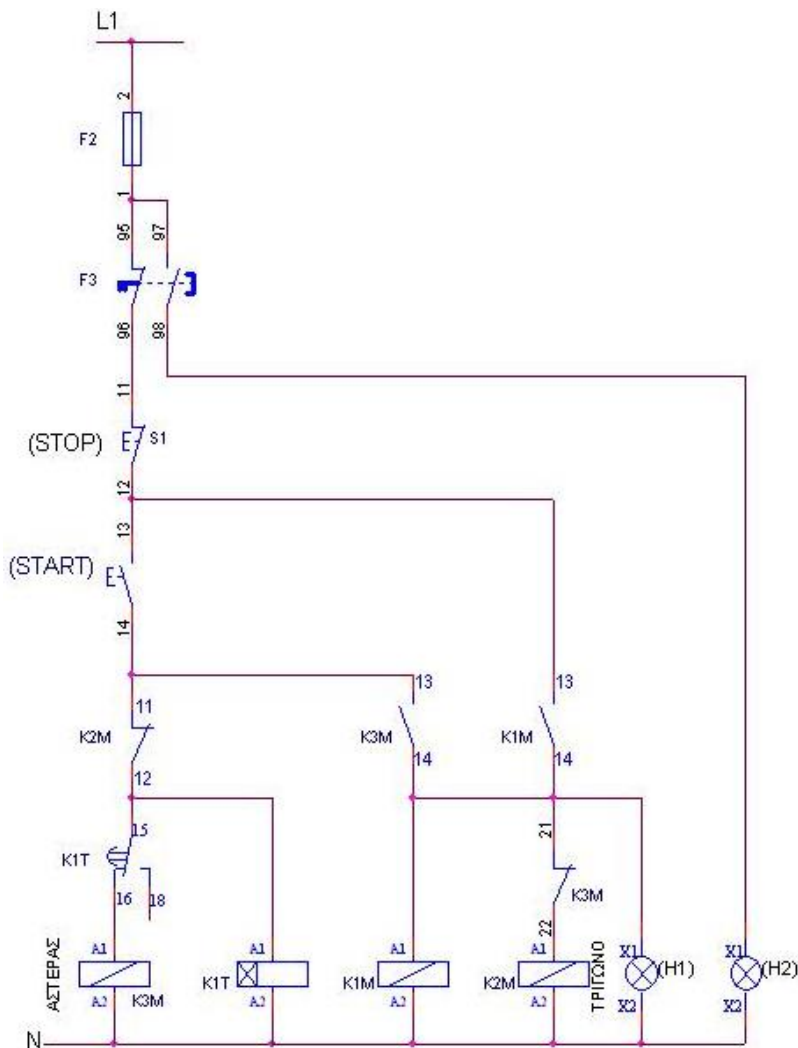


Στο ξεκίνημα του κινητήρα τα τρία τυλίγματα πρέπει να συνδεθούν σε συνδεσμολογία αστέρα. Για το σκοπό αυτό συνδέονται μαζί τα άκρα U2, V2 και W2 μεταξύ τους, ενώ τα άκρα U1, V1 και W1 συνδέονται με τις φάσεις L1, L2 και L3 αντίστοιχα. Αφού ο κινητήρας λειτουργήσει για ένα χρονικό διάστημα, ώστε να φτάσει περίπου την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του, ο αυτόματος διακόπτης αλλάζει την συνδεσμολογία του κινητήρα από αστέρα σε τρίγωνο. Αυτό γίνεται γεφυρώνοντας τα άκρα U1-W2, V1-U2 και W1-V2 και συνδέοντας τα στις φάσεις L1, L2, L3 αντίστοιχα. Το ρεύμα εκκίνησης ενός κινητήρα σε συνδεσμολογία αστέρα, είναι 3 φορές μικρότερο από το ρεύμα εκκίνησης σε συνδεσμολογία τριγώνου.

Για την κάθε συνδεσμολογία, οι συνδέσεις στο κουτί συνδέσεων γίνονται ως εξής:



## ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΑΣΤΕΡΑ-ΤΡΙΓΩΝΟΥ (Υ-Δ)



Ο ηλεκτρονόμος **K1M** λέγεται **ηλεκτρονόμος δικτύου** και συνδέει τις φάσεις L1, L2 και L3 με τους ακροδέκτες U1, V1 και W1 του κινητήρα αντίστοιχα. Ο ηλεκτρονόμος **K2M** λέγεται **ηλεκτρονόμος τριγώνου** επειδή, όταν ενεργοποιείται συνδέει τα τυλίγματα σε συνδεσμολογία τριγώνου (γεφυρώνει ανά δύο τα άκρα U1-W2, V1-U2 και W1-V2). Τέλος ο ηλεκτρονόμος **K3M** λέγεται **ηλεκτρονόμος αστέρα** διότι με την ενεργοποίησή του, γεφυρώνει τα άκρα U2, V2 και W2 των τυλιγμάτων, συνδέοντας τα σε συνδεσμολογία αστέρα. **Οι ηλεκτρονόμοι K2M και K3M δεν πρέπει ποτέ να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα, γιατί τότε προκαλείται βραχυκύκλωμα των τριών φάσεων στις θέσεις 1,3,5 του ηλεκτρονόμου K3M.**

Για να μπει σε λειτουργία ο κινητήρας, πρέπει πρώτα να κλείσει χειροκίνητα ο διακόπτης Q1 και στη συνέχεια να πατηθεί το μπουτόν εκκίνησης (START). Τότε διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από τα πηνία του ηλεκτρονόμου K3M και του χρονικού K1T, ενεργοποιώντας τα.

Ας εξετάσουμε τώρα τι συμβαίνει με την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου K3M. Με την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου:

- κλείνουν οι κανονικά ανοικτές επαφές ισχύος 1-2, 3-4, 5-6 του K3M
- κλείνει η κανονικά ανοικτή επαφή του 13-14
- ανοίγει η κανονικά κλειστή επαφή του 21-22

Το κλείσιμο των επαφών 1-2, 3-4 και 5-6 του K3M, συνδέει τα τυλίγματα του κινητήρα σε συνδεσμολογία αστέρα (επειδή, όπως φαίνεται στο σχήμα, ενώνει μεταξύ τους τα W2, U2 και V2). Το κλείσιμο της επαφής 13-14 έχει σαν συνέπεια την ενεργοποίηση του ρελέ K1M, που μέσω των επαφών του (ισχύος) 1-2, 3-4 και 5-6 συνδέει, μέσω του θερμικού, τις τρεις φάσεις L1, L2, L3 του δικτύου με

τους ακροδέκτες U1, V1, W1 των τυλιγμάτων του κινητήρα αντίστοιχα. Έτσι ο κινητήρας ξεκινά σε συνδεσμολογία αστέρα. Το άνοιγμα της επαφής 21-22 του K3M, αποκλείει την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου K2M παράλληλα με τον K3M, που θα είχε σαν συνέπεια την βραχυκύκλωση των τριών φάσεων.

Με την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου K1M:

- κλείνει η κανονικά ανοικτή επαφή του 13-14 τροφοδοτώντας με ρεύμα το κύκλωμα ελέγχου του αυτοματισμού και μετά την απελευθέρωση του κομβίου εκκίνησης START. Αυτή είναι η επαφή **αυτοσυγκράτησης**
- ανάβει η ενδεικτική λυχνία H1 λειτουργίας του κινητήρα.

Όπως αναφέρθηκε με πάτημα του START, ενεργοποιήθηκε επίσης το χρονικό K1T. Όταν περάσει ο χρόνος για τον οποίο έχει ρυθμιστεί, ανοίγει η επαφή του 15-16. Τότε απενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος αστέρα K3M, με αποτέλεσμα να κλείσει η επαφή του 21-22 ενεργοποιώντας τον **ηλεκτρονόμο τριγώνου K2M**, που ενώνει τα τυλίγματα του κινητήρα σε συνδεσμολογία τριγώνου (αν δείτε προσεκτικά το σχήμα το κλείσιμο της επαφής 1-2 του K2M, ενώνει το U1 με το W2 και ταυτόχρονα τα ενώνει με τη φάση L1, το κλείσιμο της επαφής του 3-4 ενώνει το V1 με το U2 και ταυτόχρονα τα ενώνει με τη φάση L2 και τέλος το κλείσιμο της επαφής του 5-6, ενώνει το W1 με το V2 και ταυτόχρονα τα ενώνει με τη φάση L3. Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε παραπάνω, και φαίνονται στο αντίστοιχο σχήμα, έτσι είναι η συνδεσμολογία των ακροδεκτών στην συνδεσμολογία τριγώνου).

Η ενεργοποίηση του K2M, ανοίγει την επαφή του 11-12, αποκλείοντας έτσι την ταυτόχρονη ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου αστέρα K3M.

Τέλος πατώντας το κομβίο STOP, διακόπτεται η τροφοδοσία όλου του κυκλώματος ελέγχου, απενεργοποιώντας όλους τους ηλεκτρονόμους και διακόπτοντας τη λειτουργία του κινητήρα. Τότε σβήνει και η ενδεικτική λυχνία λειτουργίας H1.

### **ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ**

Η αποστολή των θερμικών είναι η προστασία του κινητήρα από συνεχή υπερφόρτιση, η οποία μπορεί να καταστρέψει τα τυλίγματα του. Έτσι αν ο χρόνος υπερφόρτισης του κινητήρα, υπερβεί το χρονικό διάστημα στο οποίο έχει ρυθμιστεί το θερμικό F3, τότε αυτό ενεργοποιείται: Η επαφή 95-96 ανοίγει, ενώ η 97-98 κλείνει. Το άνοιγμα της επαφής 95-96 έχει σαν συνέπεια τη διακοπή της τροφοδοσίας των πηνίων των ηλεκτρονόμων και το σταμάτημα του κινητήρα. Η ενδεικτική λυχνία λειτουργίας H1 σβήνει, ενώ ανάβει η λυχνία βλάβης H2. Στο σημείο αυτό αναφέρουμε ότι **το ρεύμα του θερμικού ρυθμίζεται στο 0,58 x Ιον (δηλ. στο φασικό ρεύμα τριγώνου)**, όπου Ιον είναι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα.

Μετά την εξάλειψη του αιτίου που προκάλεσε την υπερφόρτιση του κινητήρα, για να μπορέσει να ξαναλειτουργήσει ο κινητήρας, πιέζουμε το μπουτόν επαναφοράς του θερμικού.

### **ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ**

Η ρύθμιση του χρόνου μεταγωγής των τυλιγμάτων θέλει ιδιαίτερη προσοχή. Όπως προαναφέρθηκε η μεταγωγή πρέπει να γίνει, όταν ο κινητήρας αποκτήσει την ταχύτητα λειτουργίας του.

- Αν γίνει νωρίτερα, μπορεί να καίγονται οι ασφάλειες τήξης και μετά από μερικές εκκινήσεις καταστρέφονται οι επαφές του ηλεκτρονόμου τριγώνου.
- Εάν γίνεται καθυστερημένα, έχουμε μείωση της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, που και αυτό μπορεί να δημιουργεί προβλήματα.

Ο χρόνος μεταγωγής μπορεί να υπολογιστεί εμπειρικά από τον θόρυβο του κινητήρα, καθώς επιταχύνεται. Ακριβέστερα όμως μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας το ρεύμα του κινητήρα. Η μεταγωγή πρέπει να γίνει όταν το ρεύμα εκκίνησης, καθώς μειώνεται, πέσει στο διπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος του κινητήρα. Αυτό το ρεύμα μπορεί να μετρηθεί με ένα αμπερόμετρο και έτσι να βρεθεί ο χρόνος μεταγωγής.

## ΑΛΛΑΓΗ ΦΟΡΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για την αλλαγή φοράς ενός τριφασικού κινητήρα, σε οποιαδήποτε συνδεσμολογία (Υ-Δ), αρκεί απλά να αντιμεταθέσουμε οποιεσδήποτε 2 φάσεις του κινητήρα. Έτσι θα γυρνάει με φορά αντίθετη από αυτήν που γυρνούσε μέχρι τώρα.

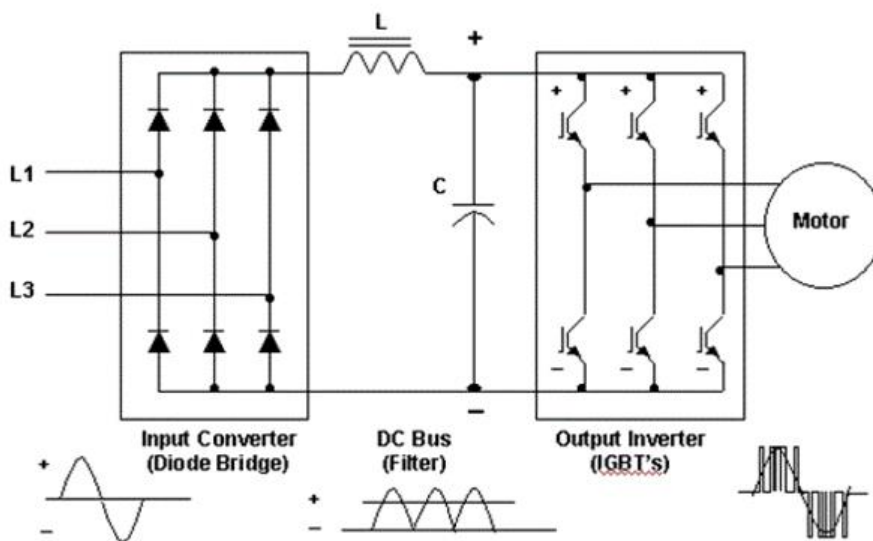
## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για να ελέγξουμε τις στροφές ανα λεπτό ενός τριφασικού κινητήρα υπάρχουν πολλές μέθοδοι, εμείς όμως θα δούμε την πιο αποδοτική, δηλαδή τον έλεγχο με Inverter. Το Inverter (ή variable frequency drive) ελέγχει τις στροφές του κινητήρα **μεταβάλλοντας τη συχνότητα του ρεύματος** που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Οι στροφές του κινητήρα δίνονται από την παρακάτω σχέση, όπου είναι προφανές ότι οι στροφές ανα λεπτό και η συχνότητα τροφοδοσίας είναι ανάλογα ποσά:

$$\text{RPM} = \frac{120 \times f}{p}$$

Όπου  $f$  είναι η συχνότητα και  $p$  είναι οι πόλοι του κινητήρα.

Για να το κατορθώσει αυτό το Inverter, χρησιμοποιεί ηλεκτρονικούς ανορθωτές (διόδους) για να μετατρέψει το εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα (το οποίο αποθηκεύει σε πυκνωτή), και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς διακόπτες (τρανζίστορ) “ψαλιδίζει” την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη οποιασδήποτε συχνότητας εμείς θελήσουμε. Τα τρανζίστορ ελέγχονται από μικροεπεξεργαστή. Ένα απλοποιημένο κύκλωμα Inverter φαίνεται παρακάτω:



Μεταβάλλοντας όμως μόνο τη συχνότητα δεν αρκεί, διότι είναι επιθυμητό ο κινητήρας να έχει ΚΑΙ σταθερή ροπή σε όλο το φάσμα στροφών. Αυτό το πετυχαίνει το Inverter μεταβάλλοντας και το πλάτος της τάσης, έτσι ώστε ο λόγος τάση / συχνότητα (V/f) να είναι σταθερός.

### **Παραδείγμα:**

Έχουμε τριφασικό κινητήρα με ονομαστική τάση 400V και συχνότητα 50Hz. Εάν επιθυμούμε να μειώσουμε τις στροφές στο μισό και παράλληλα να διατηρήσουμε την ροπή του κινητήρα στην ονομαστική, υπολογίστε την απαιτούμενη συχνότητα και τάση.

Απάντηση: Πρέπει ο λόγος V/f να κρατηθεί σταθερός, άρα χρειαζόμαστε 25Hz και 200V.

## **ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:**

Σε τριφασικό δίκτυο με τάση 400V, πόση είναι η φασική τάση;

Σε ένα τριφασικό κινητήρα το ταμπελάκι του γράφει Υ/Δ 692/400. Σε ποιές συνδεσμολογίες μπορεί να συνδεθεί και τι ποσοστό ισχύος θα καταναλώσει σε κάθε συνδεσμολογία;

Γιατί χρησιμοποιούμε το κύκλωμα του αυτόματου διακόπτη Υ/Δ;

Τι μας προσφέρει το κύκλωμα start-stop και πως το επιτυγχάνει;

Τι είναι και πως χρησιμοποιούμε το timer;

Τι είναι και πως χρησιμοποιούμε το θερμικό;

Πως αλλάζουμε τη φορά περιστροφής ενός τριφασικού κινητήρα;

Τι είναι και τι μας προσφέρει το Inverter;