



ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ (Σ.Τ.Ε.Φ.)  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΟΜΑΛΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΗΣΗΣ  
ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΟΜΑΛΟΥ  
ΕΚΚΙΝΗΤΗ (SOFT-STARTER)»

---

«RESEARCH, DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ELECTRICAL DEVICE FOR  
SMOOTH STARTING AND BREAKING OF A THREE-PHASE INDUCTION MOTOR  
VIA AN ELECTRONIC SOFT STARTER»



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΓΙΑΝΝΟΥΣΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΑΜ.: 28921  
ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΑΜ.: 29274

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΗΡΑΚΛΗΣ ΑΘ. ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

---

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΜΑΪΟΣ 2013

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ευρεία χρήση των τριφασικών (επαγωγικών) ασύγχρονων κινητήρων στη βιομηχανία καταδεικνύεται από το γεγονός ότι οι εν λόγω κινητήρες κατέχουν τη μερίδα του λέοντος σε ότι αφορά την απορρόφηση της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (περί το 60%). Οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες είναι απλοί, οικονομικοί και χρησιμοποιούνται με ευκολία σ' ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Εντούτοις, η εκκίνηση των κινητήρων αυτών δεν είναι μία υπόθεση τόσο απλή όσο το πάτημα ενός διακόπτη. Η απ' ευθείας εκκίνηση τους έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία κορυφών στην ένταση και στη ροπή του κινητήρα και επομένως την πτώση της τάσης σε μη αποδεκτά επίπεδα.

Οι παραπάνω διαταραχές οδηγούν σε σημαντικές υπερφορτώσεις του δικτύου και δημιουργούν σημαντικές μηχανικές καταπονήσεις με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης. Η ύπαρξη διατάξεων προστασίας βοηθά στον περιορισμό και την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, είναι όμως σαφές ότι οι ομαλοί εκκινητές (soft starters) έχουν αποδειχθεί μέσα στη διάρκεια του χρόνου η πιο εύκολη και ευέλικτη λύση σ' ότι αφορά την εκκίνηση κινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος.

Η παρούσα πτυχιακή έχει ως στόχο να παρουσιάσει τους τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες (λειτουργία, εκκίνηση, έλεγχος) ενώ γίνεται εκτενής αναφορά στους ομαλούς εκκινητές, οι οποίοι και αποτελούν το κυρίαρχο αντικείμενο αυτής.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια γενικότερη περιγραφή των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων κάνοντας μια μικρή ιστορική αναδρομή και διαχωρίζει τους εν λόγω κινητήρες σε δύο κατηγορίες (κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και κινητήρες με τυλίγματα στο δρομέα). Παράλληλα, αναλύει την κατασκευαστική δομή και, εν γένει, τα επιμέρους τμήματά τους.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιγράφει την αρχή λειτουργίας των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων. Μέσα από μένα πλήθος εξισώσεων, σχέσεων και τύπων αποδίδεται ο τρόπος λειτουργίας των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων καθώς επίσης και ο τρόπος υπολογισμού των επιμέρους τιμών των παραμέτρων και των μεταβλητών που υπεισέρχονται κατά τη λειτουργία ενός τέτοιου κινητήρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις εκκίνησης των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων. Συνάμα, και με φόντο τον άξονα γύρω από τον οποίο κινείται η παρούσα πτυχιακή εργασία (δηλαδή ο ομαλός εκκινητής – soft starter), γίνεται ειδική μνεία, και κατ' επέκταση αναλυτικότερη περιγραφή της εκκίνησης με ομαλό εκκινητή, της κατασκευαστικής του δομής και της αρχής λειτουργίας αυτού.

Το τέταρτο κεφάλαιο καταπιάνεται με τις διατάξεις τροφοδοσίας και ελέγχου της ταχύτητας των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων. Αναλύει τα

διάφορα συστήματα ελέγχου και αποδίδει σχηματικά τα επιμέρους κυκλώματα και κυματομορφές της εκάστοτε διάταξης.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί την επί χάρτου προβολή της κατασκευής που συνοδεύει αυτή την πτυχιακή εργασία. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα υλικά κατασκευής της διάταξης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς επίσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά ολόκληρου του πίνακα. Συμπληρωματικά, επισυνάπτεται και ένας αναλυτικός πίνακας κόστους.

Στο τέλος αυτής της πτυχιακής εργασίας επισυνάπτονται τα αναλυτικά εγχειρίδια χρήσης των δύο κυριότερων στοιχείων του πίνακα: του ομαλού εκκινητή (ABB PSR-16) και του ψηφιακού οργάνου μέτρησης (DATATELEKOM DKM-405) έτσι ώστε να διευκολυνθεί (στο μέτρο του δυνατού) η χρήση και η λειτουργία του πίνακα.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## 1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

1.1. Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2. Γενική περιγραφή ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα επαγωγής.....	5
1.3. Κατασκευαστική δομή.....	6

## 2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

2.1. Αρχή λειτουργίας.....	9
2.2. Ισοδύναμο κύκλωμα.....	12

## 3. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

3.1. Εισαγωγή.....	16
3.2. Απευθείας εκκίνηση .....	17
3.3. Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.....	18
3.4. Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.....	19
3.5. Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου (Υ/Δ).....	22
3.6. Εκκίνηση με μεταβαλλόμενη αντίσταση στους δακτυλίους του δρομέα.....	24
3.7. Εκκίνηση με ηλεκτρονικό ομαλό εκκινητή (soft starter).....	25
3.7.1. Γενικά.....	25
3.7.2. Οι κυριότερες λειτουργίες των Ηλεκτρονικών Ομαλών Εκκινητών.....	26
3.7.3. Εφαρμογές.....	26
3.7.4. Περιγραφή.....	26
3.7.5. Εποπτική ανάλυση των κυριότερων εξαρτημάτων ενός ομαλού εκκινητή.....	27
3.7.6. Θυρίστωρ.....	28
3.7.6.1. Κατασκευή και λειτουργία των θυρίστωρ .....	28
3.7.6.2. Λειτουργία των θυρίστωρ σε ένα ομαλό εκκινητή.....	29
3.7.7. Αποβολή της θερμότητας σε ένα ομαλό εκκινητή.....	30
3.7.8. Αρχή λειτουργίας .....	30
3.7.9. Ομαλή Εκκίνηση (Soft-Starting).....	31

## 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

4.1. Εισαγωγή.....	32
4.2. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της αντίστασης του δρομέα.....	32
4.3. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της τάσης του στάτη.....	34
4.4. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή του αριθμού των πόλων.....	36

4.5. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας.....	37
--	----

## **5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

5.1. Σκοπός κατασκευής.....	41
5.2. Δυνατότητες διάταξης.....	41
5.3. Ανάλυση τεχνικών χαρακτηριστικών του πίνακα.....	43
5.4. Ανάλυση τεχνικών χαρακτηριστικών υλικών κατασκευής του πίνακα.....	44
5.4.1. Υλικά κατασκευής κυκλώματος ισχύος.....	44
5.4.2. Υλικά κατασκευής κυκλώματος ελέγχου.....	50
5.4.3. Όργανο μέτρησης.....	53
5.5. Αναλυτικός πίνακας κόστους κατασκευής.....	55

## **6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

6.1. Εγχειρίδιο λειτουργίας οργάνου μέτρησης DKM-405.....	57
6.2. Εγχειρίδιο λειτουργίας ομαλού εκκινήτη PSR-16.....	85

<b>7. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>94</b>
-----------------------------	-----------

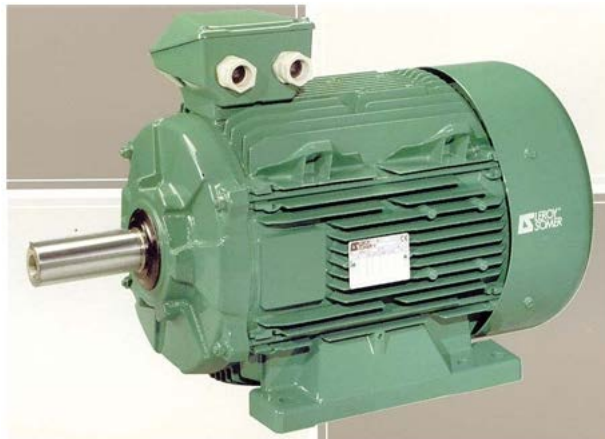
# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

## 1.1. Ιστορική αναδρομή

Από τα διάφορα είδη ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, ο τριφασικός ασύγχρονος ή επαγωγικός κινητήρας (*induction motor*), χρησιμοποιείται ευρύτατα στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ενδεικτικό της καθολικής χρήσης της μηχανής αυτής είναι ότι, οι επαγωγικοί κινητήρες απορροφούν το 60% περίπου, της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα του ασύγχρονου κινητήρα, με κυριότερο την απλή κατασκευαστική δομή του δρομέα, θα εξηγηθούν στη συνέχεια.

Οι επαγωγικές μηχανές χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ως κινητήρες, εξαιτίας των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν όταν λειτουργούν ως γεννήτριες. Για το λόγο αυτό οι επαγωγικές μηχανές αναφέρονται ως επαγωγικοί κινητήρες.

Η αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων κινητήρων διατυπώθηκε από τον *N. Tesla* στα τέλη της δεκαετίας του 1880. Επαγωγικοί κινητήρες με μορφή αντίστοιχη της σημερινής, ήταν εμπορικά διαθέσιμοι από το 1896. Από τότε έως το 1970, οι βελτιώσεις στην ποιότητα των υλικών κατασκευής, στις τεχνικές χύτευσης και στη μόνωση των τυλιγμάτων, επέτρεψε τη δραστική μείωση του μεγέθους και του κόστους κατασκευής των επαγωγικών κινητήρων. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένας σημερινός ασύγχρονος κινητήρας των 100hp, έχει τις ίδιες διαστάσεις με ένα κινητήρα 7.5hp του 1897.



Σχήμα 1.1: Τυπική εξωτερική δομή ενός τριφασικού επαγωγικού κινητήρα υψηλής απόδοσης. Ο εικονιζόμενος κινητήρας είναι κατασκευής της εταιρείας *Leroy-Somer*.

Η μείωση στις διαστάσεις των επαγωγικών κινητήρων δεν είχε συνοδευτεί από ουσιαστική βελτίωση του βαθμού απόδοσης, έως την πετρελαϊκή κρίση του 1973, εξαιτίας του μικρού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, στη συνέχεια, όλοι οι κατασκευαστές ανέπτυξαν επαγωγικούς κινητήρες με το

χαρακτηρισμό υψηλής απόδοσης (*high efficiency induction motors*). Οι κινητήρες αυτοί, αν και έχουν μεγαλύτερο κόστος από τους τυπικούς επαγωγικούς κινητήρες, αποκτούν όλο και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Η τυπική μορφή ενός επαγωγικού κινητήρα υψηλής απόδοσης εικονίζεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1.1).

## **1.2. Γενική περιγραφή ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα επαγωγής**

Ο τριφασικός κινητήρας επαγωγής, ονομάζεται και ασύγχρονος κινητήρας, επειδή λειτουργεί με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη. Την πρώτη ονομασία την οφείλει στο γεγονός ότι κατά την λειτουργία του παράγεται ρεύμα εξ επαγωγής στο τύλιγμα του δρομέα. Από πλευράς κατασκευής, ο τριφασικός κινητήρας επαγωγής διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα (δρομέας τύπου κλωβού - *squirrel cage rotor*)
- Κινητήρας με τυλιγμένο δρομέα (δακτυλιοφόρος δρομέας - *wound rotor*), για τις εφαρμογές που απαιτείται παρέμβαση στο τύλιγμα του δρομέα όπως σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων ή μετατροπέα

## **1.3. Κατασκευαστική δομή**

Οι ασύγχρονοι κινητήρες αποτελούνται από δύο κύρια τμήματα, τον «στάτη» που είναι το σταθερό τμήμα και τον «δρομέα» που είναι το περιστρεφόμενο.

Ο στάτης περιλαμβάνει τον πυρήνα και τα τυλίγματά του. Ο πυρήνας αποτελείται από ελάσματα χάλυβα αξονικά τοποθετημένα, στην εσωτερική επιφάνεια των οποίων υπάρχουν συμμετρικές εγκοπές και κατά συνέπεια αξονικές αυλακώσεις προκειμένου να τοποθετηθούν τα τυλίγματα του στάτη. Τα τυλίγματα του στάτη μπορούν να συνδεθούν κατ' αστέρα ή τρίγωνο ανάλογα με το σχεδιασμό. Επίσης, τα τυλίγματα στο στάτη πρέπει να κατανέμονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν ημιτονοειδής κατανομή του αναπτυσσόμενου μαγνητικού πεδίου στο διάκενο. Τέλος, για εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής κίνησης όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να λειτουργεί σε μεγάλη κλίμακα στροφών είναι απαραίτητη η χρήση εξωτερικής-ανεξάρτητης ψύξης. Στην απλούστερη περίπτωση η ψύξη μπορεί να προέρχεται από έναν μικρότερο ηλεκτρικό κινητήρα κατάλληλα τοποθετημένο στο κέλυφος του τριφασικού κινητήρα. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, κυρίως για ηλεκτρικούς κινητήρες μεγάλης ισχύος, όπου η ψύξη τους γίνεται με την χρήση ψυκτικού υγρού που κυκλοφορεί στο στάτη. Σε αυτή την περίπτωση ο στάτης κατασκευάζεται με επιπλέον

αυλακώσεις ώστε να τοποθετούνται σωλήνες μέσω των οποίων ρέει το ψυκτικό υγρό. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

Σχήμα 1.2: Σχηματική παράσταση τριφασικού ασύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα

Αντίστοιχα με το στάτη και ο δρομέας αποτελείται από τον πυρήνα και τα τυλίγματά του. Ο πυρήνας του δρομέα είναι κυλινδρικός και κατασκευάζεται και αυτός από χαλύβδινα ελάσματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούνται στην περιφέρεια αξονικές αυλακώσεις στις οποίες τοποθετούνται τα τυλίγματα του δρομέα. Στην περίπτωση αυτή, ο ηλεκτρικός κινητήρας λέγεται πως είναι κινητήρας με τυλιγμένο δρομέα.

Στην περίπτωση που ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι με δρομέα τύπου κλωβού τότε στις αυλακώσεις του πυρήνα τοποθετούνται μπάρες από χαλκό ή αλουμίνιο ή άλλου κατάλληλου κράματος υλικό, οι οποίες στα άκρα τους βραχυκυκλώνονται με δακτυλίους κατασκευασμένους από το ίδιο υλικό.

Στην περίπτωση που ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι με δρομέα τύπου κλωβού τότε στις αυλακώσεις του πυρήνα τοποθετούνται μπάρες από χαλκό ή αλουμίνιο ή άλλου κατάλληλου κράματος υλικό, οι οποίες στα άκρα τους βραχυκυκλώνονται με δακτυλίους κατασκευασμένους από το ίδιο υλικό.

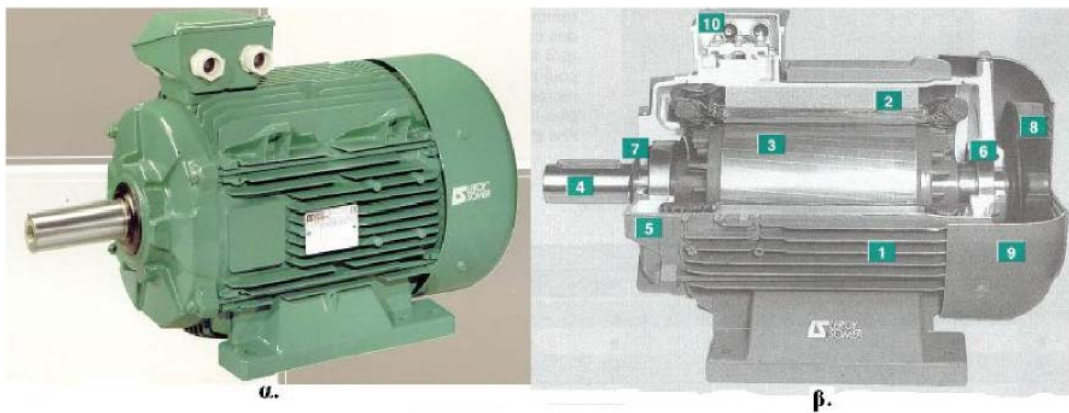
Από τους δύο τύπους τριφασικών κινητήρων που αναφέρθηκαν ο πιο διαδεδομένος σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης είναι εκείνος με δρομέα τύπου κλωβού γιατί στην περίπτωση τροφοδοσίας από αντιστροφέα δεν απαιτείται σύνδεση εξωτερικών στοιχείων στα τυλίγματα του δρομέα. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη ενός δρομέα τύπου κλωβού.



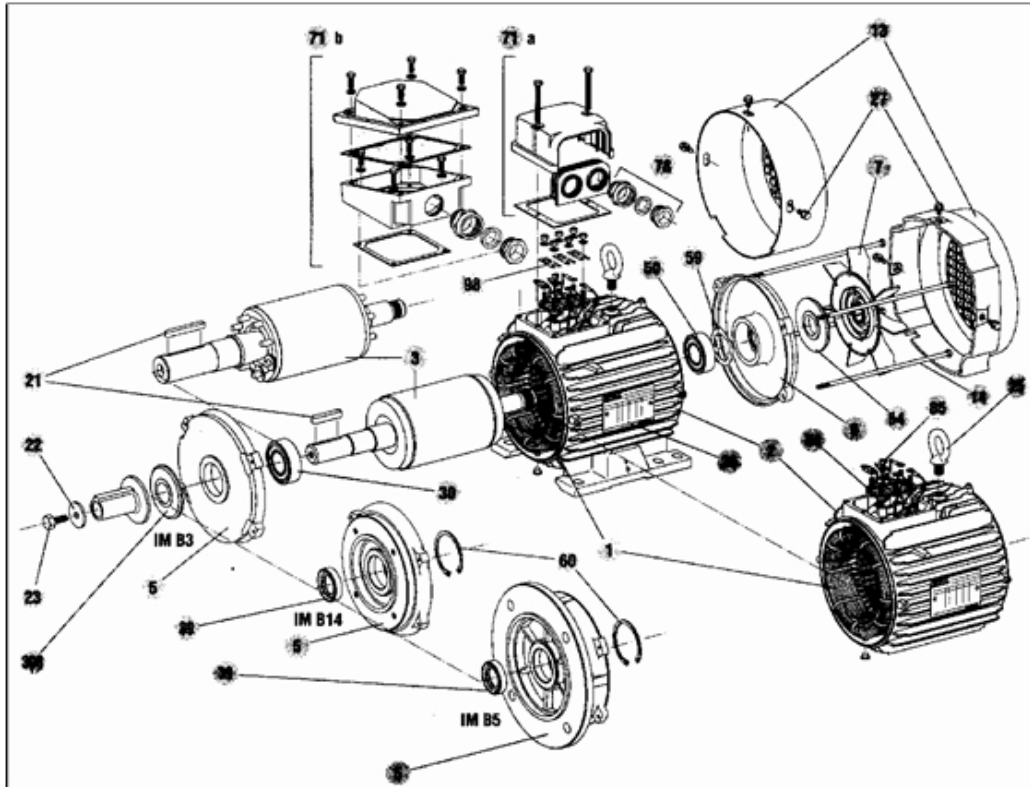


**Σχήμα 1.3:** (α). Δρομέας τύπου κλωβού τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα  
 (β). Στάτης τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα

Αξίζει να τονισθεί πως ο κλωβός που μόλις περιγράφηκε αποτελεί την βάση για όλους τους ασύγχρονους κινητήρες. Βέβαια, με βάση την ισχύ του ηλεκτρικού κινητήρα, τις στροφές, την συχνότητα και την τάση λειτουργίας, υπάρχουν κατασκευαστικές διαφοροποιήσεις (κινητήρες βαθέν αυλακών, διπλού κλωβού κ.λ.π.) ενώ και τα υλικά που τον απαρτίζουν (χαλκό ή αλουμίνιο) επιλέγονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής.



**Σχήμα 1.4:** (α). Τυπική εξωτερική δομή ενός τριφασικού επαγωγικού κινητήρα υψηλής απόδοσης.  
 (β). Διακρίνονται τα παρακάτω μέρη:  
 1-Πτερύγια ψύξης του στάτη  
 2-Ελάσματα του στάτη και το τύλιγμα  
 3-Δρομέας  
 4-Άξονας  
 5-9-Κέλυφος  
 6-7 Ρουλεμάν  
 8-Ανεμιστήρας  
 10-Κιβώτιο ηλεκτρικής σύνδεσης.



Σχήμα 1.5: Λεπτομερής σχεδιαστική καταγραφή των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα

## 2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

### 2.1. Αρχή λειτουργίας

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

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

Το μαγνητικό πεδίου του στάτη σε μια ασύγχρονη ηλεκτρική μηχανή περιστρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα η οποία προσδιορίζεται από την συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας (των τυλιγμάτων του στάτη  $f_1$ ) και τον αριθμό των πόλων της μηχανής (του τυλίγματος του στάτη)  $P$ , με βάση τη σχέση (2.1):

$$n_s = 120 \frac{f_1}{P} \quad (2.1)$$

$$\omega_s = 2\pi \frac{n_s}{60} = \frac{2}{P} 2\pi f_1 = \frac{2}{P} \omega_1 \quad (2.2)$$

Όπου:

$n_s$  = σύγχρονη ταχύτητα (rpm)

$\omega_s$  = σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα (mech.r/s)

$\omega_1 = 2\pi f_1$  = ηλεκτρική κυκλική συχνότητα των τυλιγμάτων του στάτη (r/s)

$P$  = αριθμός των πόλων της μηχανής

Όταν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος, ο ασύγχρονος κινητήρας συμπεριφέρεται όπως ένας μετασχηματιστής, στο μαγνητικό κύκλωμα του οποίου παρεμβάλλεται και κάποιο διάκενο αέρος. Σε αυτή την περίπτωση, οι επαγόμενες τάσεις στο δρομέα έχουν την ίδια συχνότητα με την τάση τροφοδοσίας. Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω, οι επαγόμενες Α.Η.Ε.Δ. ανά φάση, των τυλιγμάτων του στάτη και του δρομέα, δίνονται από τις σχέσεις:

$$E_1 = 4.44 K_1 f_1 N_1 \Phi_\delta \quad (2.3)$$

$$E_2 = 4.44 K_2 f_1 N_2 \Phi_\delta \quad (2.4)$$

όπου:

$K_1, K_2$  : οι κατασκευαστικοί συντελεστές των τυλιγμάτων

$N_1, N_2$  : συνολικοί αριθμοί σπειρών ανά φάση

$\Phi_\delta$  : συνιστάμενη ροή διακένου (Wb)

Όταν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος, διαιρώντας κατά μέλη τις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει ότι:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_1 N_1}{K_2 N_2} \quad (2.5)$$

Το ρεύμα του τυλίγματος του στάτη (ανάλογα με το μετασχηματιστή) αποτελείται από δύο συνιστώσες, τη συνιστώσα φορτίου και τη συνιστώσα του ρεύματος μαγνήτισης (η οποία είναι υπεύθυνη για την εγκατάσταση του πεδίου). Σε αντίθεση με το μετασχηματιστή όπου το ρεύμα μαγνήτισης είναι το 5-10% του ονομαστικού ρεύματος, στην ασύγχρονη μηχανή το αντίστοιχο ποσοστό είναι της τάξης του 40-50%.

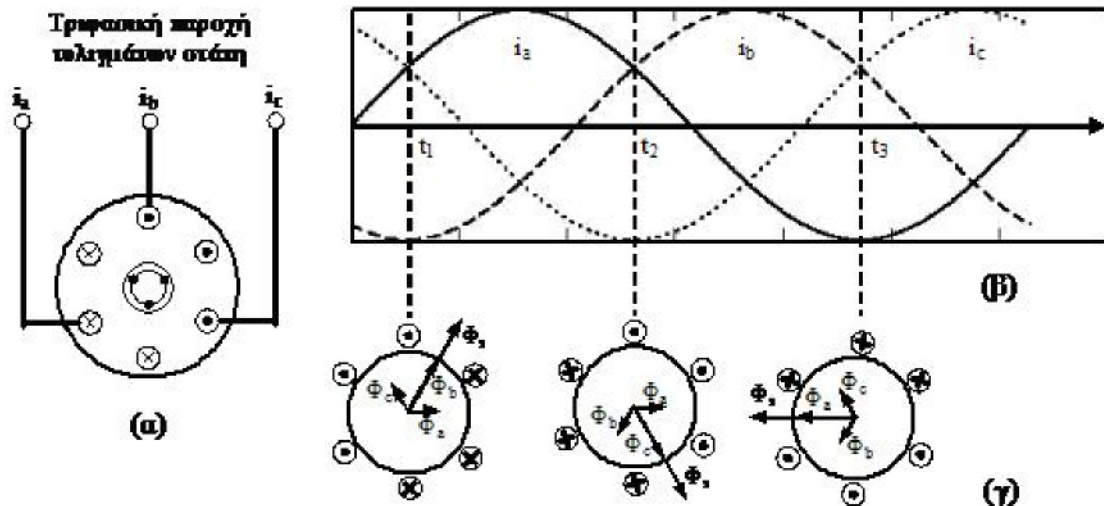
Στην περίπτωση του ακινητοποιημένου δρομέα, τα δύο πεδία στάτη και δρομέα στρέφονται με την ίδια ταχύτητα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ροπής εκκίνησης διάφορη από το μηδέν.

Προκειμένου να παραχθεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τα τυλίγματα του στάτη θα πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένα (χωρική διαφορά φάσης  $120^\circ$ ) και να διαρρέονται με ρεύματα μετατοπισμένα μεταξύ τους στο χρόνο κατά  $120^\circ$ . Για την εύκολη κατανόηση της διαδικασίας έχει θεωρηθεί πως τα τυλίγματα των τριών φάσεων του στάτη είναι συγκεντρωμένα και απεικονίζονται από ένα πηνίο για την κάθε φάση με  $N$  σπείρες, ενώ τροφοδοτούνται από συμμετρικά ρεύματα  $ia, ib, ic$  με διαφορά φάσης  $120^\circ$ . Με  $\Phi_a, \Phi_b, \Phi_c$ , απεικονίζονται οι μαγνητικές ροές που αναπτύσσονται από το κάθε πηνίο. Η συνιστάμενη ροή  $\Phi_s$  περιστρέφεται στο χρόνο δεξιόστροφα για τη συγκεκριμένη διαδοχή φάσεων των ρευμάτων. Στο σχήμα 2.1 γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση για το πως αναπτύσσεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο σε έναν τριφασικό κινητήρα επαγωγής.

Με αντίστοιχη διαδικασία όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2.1.γ και εναλλαγή της διαδοχής των δύο από τα τρία ρεύματα η συνιστάμενη ροή θα περιστρέφεται αριστερόστροφα. Με αυτό το τρόπο το μαγνητικό πεδίο μπορεί να περιστρέφεται είτε αριστερόστροφα είτε δεξιόστροφα και συνεπώς ο δρομέας του κινητήρα επαγωγής να μπορεί να αλλάξει φορά περιστροφής με την εναλλαγή εκ των τριών συνδέσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη.

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται από τα ρεύματα που διαρρέουν τα τυλίγματα του στάτη επάγει τάσεις και κατά συνέπεια ρεύματα στις μπάρες του δρομέα τύπου κλωβού ή στα τυλίγματα στην περίπτωση που ο δρομέας είναι τυλιγμένος. Τα επαγόμενα ρεύματα στο δρομέα δημιουργούν

μια μαγνητική ροή  $\Phi_r$  στο δρομέα, η οποία ακολουθεί τη ροή του στάτη με μια υστέρηση ως προς αυτή κατά μια γωνία  $90^\circ + \alpha$  ( $\alpha$  = διαφορά φάσης τάσης - ρεύματος). Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων και η διαφορά φάσης τους έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας ροπής η οποία προκαλεί την περιστροφική κίνηση του δρομέα με φορά την φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη.



Σχήμα 2.1: Μαγνητικό πεδίο τριφασικής ασύγχρονης μηχανής

- α) Απεικόνιση τυλιγμάτων στάτη
- β) Φασικά ρεύματα τυλιγμάτων στάτη
- γ) Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στάτη

Η διαφορά της πραγματικής ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη ταχύτητα εξαρτάται από το φορτίο που είναι συνδεδεμένο στον άξονα και αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Στο κανονικό φορτίο, η διαφορά αυτή είναι μικρή.

Ο λόγος της διαφορά της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα ως προς τη σύγχρονη ονομάζεται ολίσθηση και ισχύει:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \text{ή} \quad s (\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100 \quad (2.6)$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (2.7)$$

όπου:

$s$  = ολίσθηση

$\omega_s$  = σύγχρονη κυκλική ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη

$\omega_r$  = κυκλική ταχύτητα δρομέα (ταχύτητα άξονα μηχανής)

$n_s$  = σύγχρονη ταχύτητα στρεφόμενου πεδίου

$n_r$  = ταχύτητα δρομέα (όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση)

Η ολίσθηση τη στιγμή της εκκίνησης είναι ίση με 1 διότι τότε η ταχύτητα είναι μηδενική. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα, η τιμή της ολίσθησης εξαρτάται από το φορτίο γιατί από το φορτίο εξαρτάται η ταχύτητα του δρομέα. Στη λειτουργία στο κενό, η ολίσθηση είναι περίπου 0,5% και στο ονομαστικό φορτίο είναι γύρω στο 5% (συνήθεις τιμές τη ολίσθησης για την ονομαστική λειτουργία κινητήρων είναι 2 – 5%).

Για κανονική λειτουργία του κινητήρα, οι επαγόμενες Α.Η.Ε.Δ. στο τύλιγμα του στάτη έχουν τη συχνότητα του δικτύου (σχέση 2.1), εφόσον για το στάτη, το πεδίο συνεχίζει να στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Όσον αφορά το δρομέα, οι επαγόμενες Α.Η.Ε.Δ. είναι ανάλογες της σχετικής κίνησης πεδίου και δρομέα. Η σχέση που συνδέει τη συχνότητα  $f_2$  των επαγόμενων τάσεων με τη συχνότητα  $f_1$  δίνεται από τη σχέση:

$$f_2 = \frac{P(n_s - n_r)}{2 \cdot 60} = \frac{P}{2} s \frac{n_s}{60} = s f_1 \quad (2.8)$$

όπου:

$f_1$  : συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας (Hz)

$f_2$  : συχνότητα της επαγόμενης τάσης του δρομέα (Hz)

$P$  : αριθμός πόλων μηχανής

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του δρομέα, το οποίο παράγεται από τις επαγόμενες Α.Η.Ε.Δ., και σύμφωνα με η σχέση (1.1), θα στρέφεται ως προς το δρομέα με ταχύτητα:

$$\Delta n_r = 120 \frac{f_2}{P} = 120 s \frac{f_1}{P} = s n_r = n_s - n_r \quad (2.9)$$

Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι και στην περίπτωση που στρέφεται ο δρομέας, τα δύο πεδία έχουν την ίδια ταχύτητα περιστροφής (σύγχρονη ταχύτητα), με αποτέλεσμα η μέση τιμή της ροπής να είναι διάφορη από το μηδέν.

Η Α.Η.Ε.Δ. του δρομέα προκύπτει από την εξίσωση (2.4), αν η  $f_1$  αντικατασταθεί από την  $f_2$ . Συγκεκριμένα:

$$E_{2s} = 4.44 K_2 f_2 N_2 \Phi_\delta = sE_2 \quad (2.10)$$

Η ροή διακένου προκύπτει από το άθροισμα των δύο επιμέρους ροών των πεδίων του στάτη και του δρομέα:

$$\Phi_\delta = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (2.11)$$

Πρέπει, επίσης, να αναφέρουμε ότι η σύγχρονη ταχύτητα είναι μια οριακή ταχύτητα. Δηλαδή, για  $n_r = n_s$ , ο δρομέας δε «βλέπει» κάποια μεταβολή στη ροή, επομένως δεν επάγονται τάσεις, ρεύματα και ροπή, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη λειτουργική κατάσταση να μην αντιστοιχεί σε λειτουργία κινητήρα. Κάτω από την επίδραση, λοιπόν, της ροπής του φορτίου, οι στροφές ελαττώνονται και η περιοχή λειτουργίας κυμαίνεται στα όρια:

$$0 < n_r < n_s$$

## 2.2. Ισοδύναμο κύκλωμα

Η λειτουργία του επαγωγικού κινητήρα στηρίζεται στην ανάπτυξη τάσεων εξ επαγωγής στο τριφασικό τύλιγμα του δρομέα. Επομένως, η αρχή λειτουργίας του επαγωγικού κινητήρα είναι ίδια μ' εκείνη του μετασχηματιστή. Για το λόγο αυτό, ο ασύγχρονος κινητήρας ονομάζεται και στρεφόμενος μετασχηματιστής (*rotating transformer*).

Για τη μελέτη της μηχανής, ελέω τριφασικής συμμετρίας, αρκούμαστε στο ισοδύναμο κύκλωμα της μίας φάσης. Έστω  $V_1$  την ενεργό τιμή της φασικής τάσης του δικτύου. Για το τύλιγμα του στάτη, και σύμφωνα με το νόμο του Kirchhoff, έχουμε την εξίσωση:

$$\bar{V}_1 = \bar{I}_1 (R_1 + jX_1) + \bar{E}_1 \Leftrightarrow \bar{V}_1 = (\bar{I}_o + \bar{I}_L)(R_1 + jX_1) + \bar{E}_1 \quad (2.12)$$

όπου:

$I_1$  : ενεργός τιμή του φασικού τυλίγματος του στάτη (A)

$R_1$  : ωμική αντίσταση τυλίγματος του στάτη ( $\Omega$ )

$X_1 = 2\pi f_1 L_1$  : αντίδραση σκέδασης τυλίγματος του στάτη ( $\Omega$ )

$I_L$  : ρεύμα φορτίου

$E_1$  : επαγόμενη Α.Η.Ε.Δ. ανά φάση των τυλιγμάτων του στάτη

Επίσης:

$$\bar{I}_o = \bar{I}_m + \bar{I}_h \quad (2.13)$$

όπου:

$I_m$  : συνιστώσα του ρεύματος μαγνήτισης (A)

$I_h$  : συνιστώσα απωλειών υστέρησης και δυνορευμάτων (A)

Για το τύλιγμα του δρομέα, σύμφωνα με την σχέση (2.10), προκύπτει:

$$\bar{E}_{2s} = \bar{I}_2(r_2 + j2\pi f_2 L_2) = \bar{I}_2(r_2 + jsx_2) \quad (2.14)$$

όπου:

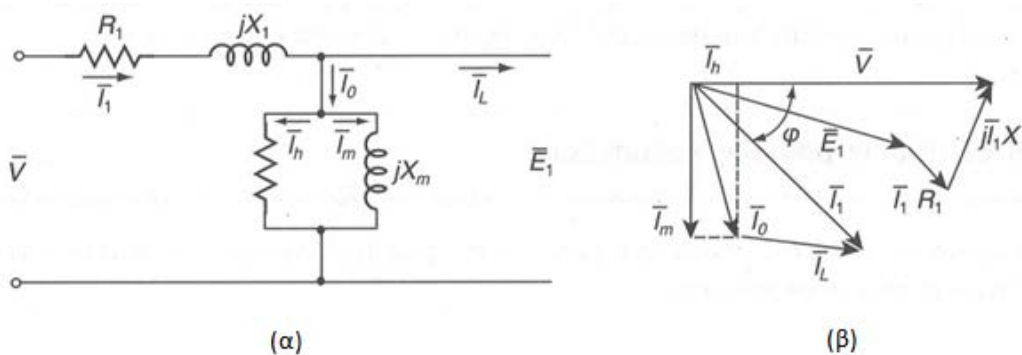
$\bar{I}_2$  : φασικό ρεύμα δρομέα (A)

$r_2$  : ωμική αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα ( $\Omega$ )

$L_2$  : αυτεπαγωγή σκέδασης του τυλίγματος του δρομέα (H)

$x_2$  : αντίδραση σκέδασης στη συχνότητα του δικτύου ( $\Omega$ )

$sx_2$  : αντίδραση σκέδασης στη συχνότητα του δρομέα ( $\Omega$ )



Σχήμα 2.2: (α) Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης  
(β) διανυσματικό διάγραμμα

Αν διαιρέσουμε κατά μέλη την (2.14) με την ολίσθηση  $s$ , προκύπτει ότι:

$$\bar{E}_2 = \frac{\bar{E}_{2s}}{s} = \bar{I}_2 \left( \frac{r_2}{s} + jx_2 \right) \quad (2.15)$$

Η σχέση (2.15) είναι ανηγμένη στη συχνότητα του στάτη. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (2.5), μπορούμε να κάνουμε αναγωγή του τυλίγματος του δρομέα στο τύλιγμα του στάτη. Δηλαδή:

$$\bar{E}'_2 = \bar{E}_1 = \frac{K_1 N_1}{K_2 N_2} \bar{E}_2 = \frac{K_1 N_1}{K_2 N_2} \frac{\bar{E}_{2s}}{s} = \bar{I}'_2 \left( \frac{R_2}{s} + jX_2 \right) \quad (2.16)$$



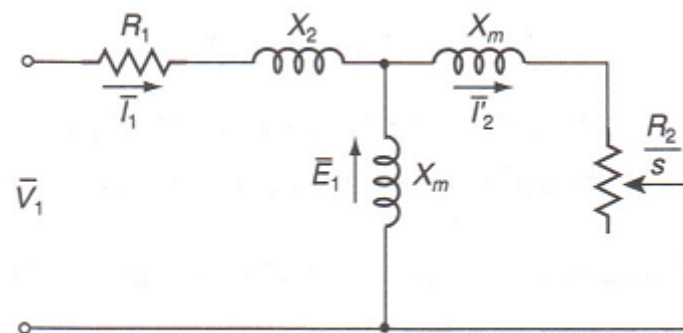
όπου:

$$\bar{I}'_2 = \bar{I}_L = \frac{K_2 N_2}{K_1 N_1} \bar{I}_2 \quad (2.17)$$

$$R_2 = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 r_2 \quad (2.18)$$

$$X_2 = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 x_2 \quad (2.19)$$

Βάση των παραπάνω σχέσεων, η τελική μορφή του ισοδύναμου κυκλώματος της μίας φάσης του ασύγχρονου κινητήρα αποδίδεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.3):



Σχήμα 2.3: Τελική μορφή ισοδύναμου κυκλώματος μιας φάσης τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα

### **3. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Για να αρχίσει να περιστρέφεται ένας κινητήρας πρέπει να αναπτυχθεί σ' αυτόν εσωτερική ροπή εκκίνησης μεγαλύτερη από το άθροισμα των ροπών αντιδράσεως, δηλαδή τις ροπές τριβής και ωφέλιμου φορτίου. Το ρεύμα που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η ροπή εκκίνησης είναι πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα. Το μεγάλο αυτό ρεύμα εκκίνησης προκαλεί μεγάλες απώλειες ισχύος για το μικρό χρόνο εκκίνησης καθώς και υπολογίσιμη πτώση τάσης (το ρεύμα εκκίνησης για εκκίνηση με πλήρες φορτίο είναι  $I_{εκ} = (4 \text{ έως } 8) \times I_{ον}$ ).

Στην εκκίνηση μας ενδιαφέρουν δύο μεγέθη:

- Η ροπή εκκίνησης
- Το ρεύμα εκκίνησης

Το ζητούμενο στην εκκίνηση είναι να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερο ρεύμα εκκίνησης και ροπή κατάλληλα για ομαλή εκκίνηση. Πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης σε σχέση με το φορτίο κατά την εκκίνηση θα μας έδινε απότομο ξεκίνημα. Ροπή εκκίνησης μικρότερη από τη ροπή φορτίου δε θα επέτρεπε στον κινητήρα να αναπτύξει στροφές.

Να σημειώσουμε εδώ ότι η προαναφερθείσα πτώση τάσης που δημιουργείται από το ρεύμα εκκίνησης και η οποία δημιουργεί ανωμαλίες στη σωστή λειτουργία συσκευών που θέλουν σταθερή τάση λειτουργίας, δεν εξαρτάται μόνο από το ρεύμα εκκίνησης, αλλά και από την ικανότητα του εκάστοτε ηλεκτρικού δικτύου ηλεκτροδότησης. Για το λόγο αυτό θεσπίζονται κανονισμοί ώστε η αναλογία  $I_{εκ}/I_{ον}$  να μην ξεπερνά κάποιες ορισμένες τιμές. Επί παραδείγματι, οι κανονισμοί (οδηγίες) της ΔΕΗ αναφέρουν ότι επιτρέπεται η εγκατάσταση τριφασικών κινητήρων εφόσον:

- $I_{εκ}/I_{ον} < 2$  , για κινητήρες μικρότερους από 10 Hp
- $I_{εκ}/I_{ον} < 1,6$  , για κινητήρες μεγαλύτερους από 10 Hp.

Η εκκίνηση ενός ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να επιτευχθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Απευθείας εκκίνηση (σε πλήρη τάση δικτύου)
- Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη
- Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή
- Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου
- Εκκίνηση με μεταβαλλόμενη αντίσταση στους δακτυλίους του δρομέα

Για τους τριφασικούς κινητήρες ισχύουν, στην πράξη, με αρκετά καλή προσέγγιση οι εξής τυποποιημένες τιμές:

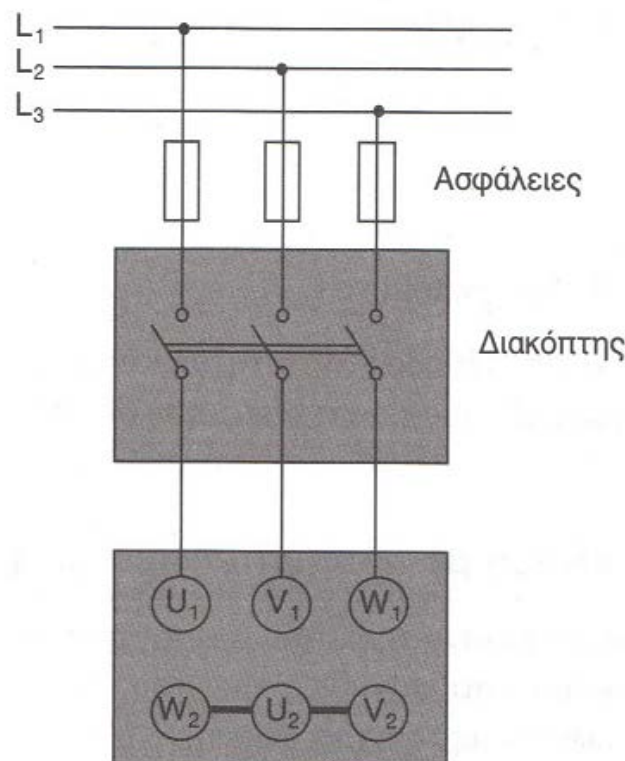
- Μονοφασικός κινητήρας (απευθείας σύνδεση)  $6 \times I_{ov}$
- Τριφασικός κινητήρας (απευθείας σύνδεση)  $6 \times I_{ov}$
- Τριφασικός κινητήρας (σύνδεση με Υ/Δ)  $2 \times I_{ov}$
- Δακτυλιοφόρος κινητήρας  $1,25 \times I_{ov}$

### **3.2. Απευθείας εκκίνηση**

Η απευθείας εκκίνηση αποτελεί τον απλούστερο τρόπο εκκίνησης τριφασικών κινητήρων, κάνοντας χρήση μόνο ενός τριπολικού διακόπτη.

Κατά τη μέθοδο, ο στάτης του κινητήρα συνδέεται απευθείας στο δίκτυο. Όταν θέσουμε σε λειτουργία τον κινητήρα, αυτός αντλεί στιγμιαία ένα μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, το οποίο είναι τέσσερις έως οκτώ φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα.

Η μέθοδος είναι ιδανική από τη στιγμή που το ρεύμα αυτό δε μας δημιουργεί προβλήματα και η αρχική ροπή εκκίνησης είναι επαρκής για να κινήσει τον κινητήρα. Εξάλλου, βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία και κυρίως για κινητήρες μέχρι 1,5 KW. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν έχει ευρεία εφαρμογή για τους λόγους που προαναφέραμε. Παρόλα αυτά, η ΔΕΗ επιτρέπει την απευθείας εκκίνηση κινητήρων ορισμένης ισχύος, τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση.

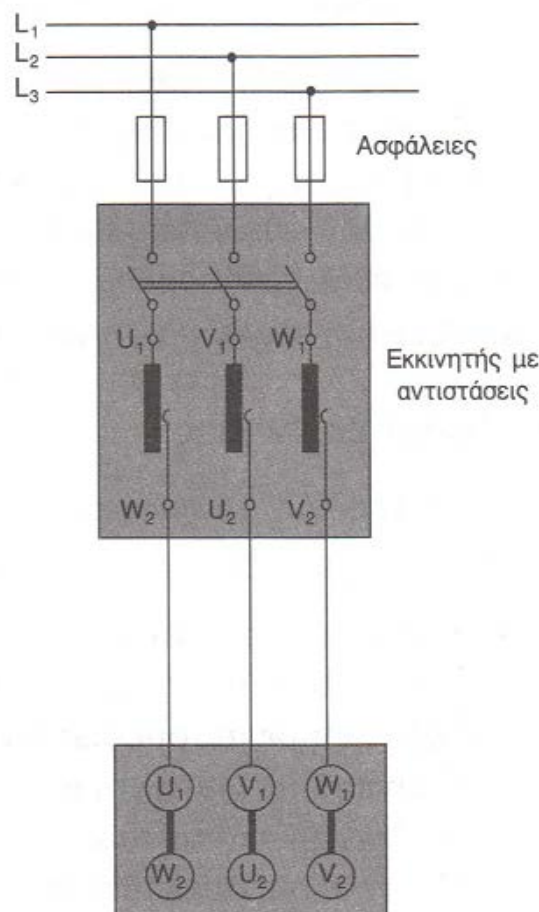


Σχήμα 3.1: Συνδεσμολογία απευθείας εκκίνησης Α.Μ.

Συνολικά, η απευθείας εκκίνηση αποτελεί μια απλή μέθοδο που δύναται να προσδώσει υψηλή ροπή εκκίνησης. Ωστόσο, η ανάγκη για υψηλό ρεύμα εκκίνησης, αποτελεί τροχοπέδη για τη χρήση αυτής της μεθόδου σε ευρεία κλίμακα.

### **3.3. Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη**

Σε αυτή τη μέθοδο εκκίνησης, παρεμβάλλουμε στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του τριφασικού κινητήρα, εκκινητή αποτελούμενο από τρεις αντιστάσεις (προσθέτουμε σε σειρά με τα τυλίγματα του στάτη συμμετρικές αντιστάσεις) προκειμένου να περιορίσουμε το ρεύμα εκκίνησης (εκκινεί με ελαττωμένη τάση). Η συνδεσμολογία περιγράφεται από το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Συνδεσμολογία εκκίνησης με αντιστάσεις στο στάτη

Όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα, αφαιρούμε σταδιακά τις αντιστάσεις έως ότου ο κινητήρας αποκτήσει τις κανονικές του στροφές, χρονική στιγμή κατά την οποία θέτουμε εκτός τον εκκινητή.

Η απαιτούμενη αντίσταση  $R$  ώστε το  $I_{\varepsilon\kappa}$  να μην υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή, δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\varepsilon\kappa} = \frac{V_1}{\sqrt{(R+r)^2 X_1^2}} \Rightarrow R = \sqrt{\left(\frac{V_1}{I_{\varepsilon\kappa}}\right)^2 - X_1^2} - r_1$$

Προφανώς, με την παραπάνω μέθοδο, λαμβάνουμε πολύ μικρή ροπή στρέψης:

$$\frac{T_{\varepsilon\kappa}}{T_{ov}} = k_{\varepsilon} \cdot s_{ov}$$

όπου:

$T_{\varepsilon\kappa}$  : η ροπή εκκίνησης

$T_{ov}$  : η ονομαστική ροπή

$k_{\varepsilon}$  : το επιτρεπόμενο  $I_{\varepsilon\kappa}/I_{ov}$

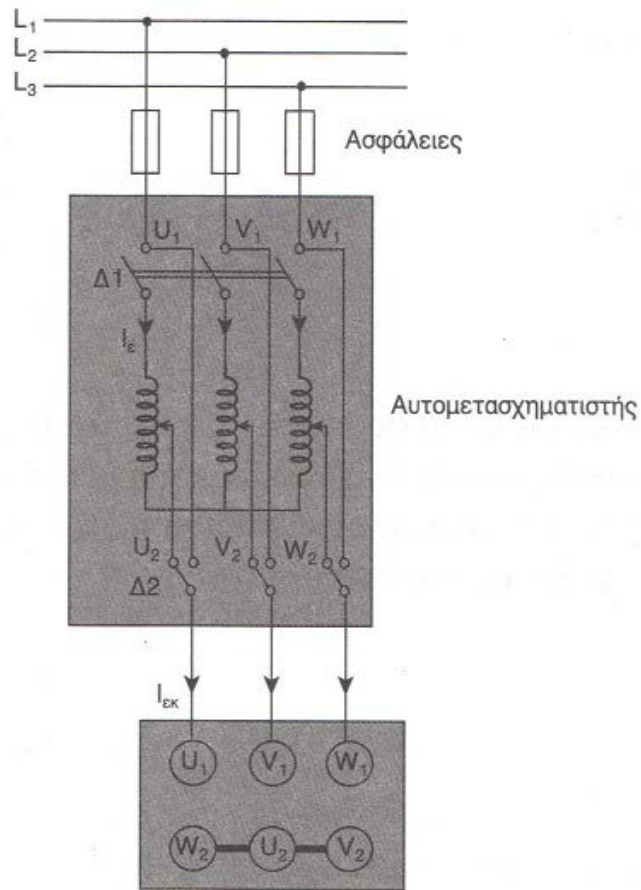
$s_{ov}$  : η ονομαστική ολίσθηση

Κατ' επέκταση, η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη μόνο για κινητήρες μικρής ισχύος και για περιπτώσεις που δεν είναι ουσιαστικό το μέτρο της ροπής εκκίνησης.

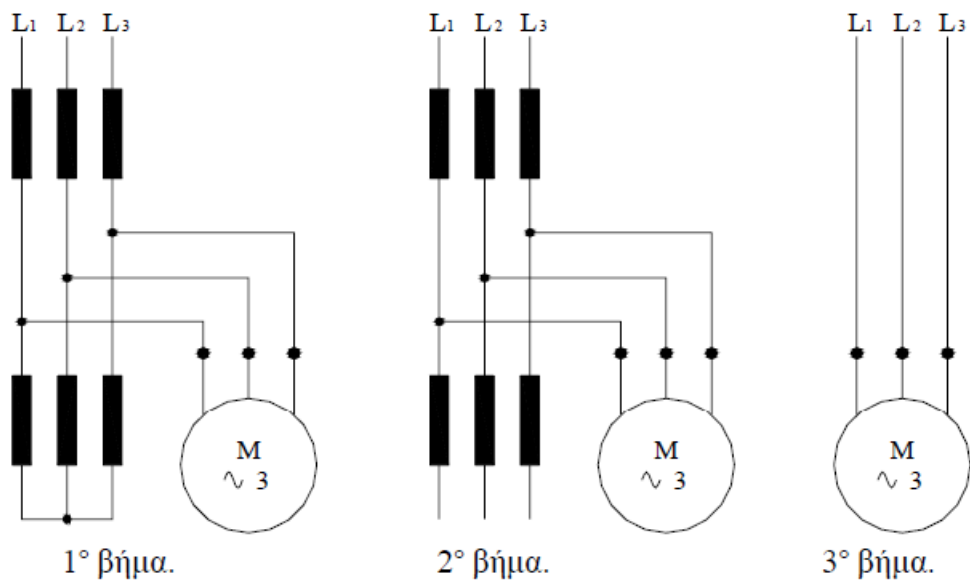
### **3.4. Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή**

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται στην εκκίνηση μεγάλων ασύγχρονων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα. Κάνοντας χρήση αυτής της μεθόδου, επιτυγχάνουμε ελαφρώς μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης (εν συγκρίσει με την εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη) καθώς και ένα χαμηλό ρεύμα κορυφής ενώ παράλληλα, προσθέτοντας μερικές διαθέσιμες λήψεις στον αυτομετασχηματιστή, η τάση εκκίνησης μπορεί να ρυθμιστεί σε σχέση με το φορτίο. Η σύνδεση του αυτομετασχηματιστή υποδεικνύεται από το παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3.3).

Με τον αυτομετασχηματιστή, η πλήρης τάση παρέχεται κλιμακωτά (μεταβαλλόμενη τάση) έως ότου ο κινητήρας να φτάσει την ονομαστική του τάση. Κατόπιν, αποσυνδέουμε τον αυτομετασχηματιστή μέσω του διακόπτη διπλής ενέργειας ( $\Delta 1$ ) και συνδέουμε τον κινητήρα απευθείας στο δίκτυο για την κανονική του λειτουργία. Πιο αναλυτικά, η εκκίνηση αποτελείται από τα παρακάτω τρία βήματα (Σχήμα 3.4):



Σχήμα 3.3: Συνδεσμολογία εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή



Σχήμα 3.4: Σχηματική απεικόνιση βημάτων εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή

- **Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Σύνδεση αστέρα όταν κλείσει ο ηλεκτρονόμος της γραμμής. Ο κινητήρας ξεκινάει με μειωμένη τάση.
- **Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Άνοιγμα του ουδέτερου κόμβου. Ένα τμήμα του τυλίγματος του αυτομετασχηματιστή συνδέεται σε σειρά με κάθε φάση στο στάτη κάνοντας έτσι μια επαγωγική αντίσταση.
- **Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Ένας τρίτος ηλεκτρονόμος συνδέει τον κινητήρα σε πλήρη τάση δικτύου και κάνει τους δύο άλλους ηλεκτρονόμους να ανοίξουν.

Με αυτό το μηχανισμό, ο κινητήρας δε μένει χωρίς τάση, το ρεύμα δεν διακόπτεται και οι μεταβατικές καταστάσεις περιορίζονται κατά πολύ.

Με την παραδοχή της ιδανικής λειτουργίας του αυτομετασχηματιστή, ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$V_{\varepsilon\kappa} = \frac{V}{k} \quad \text{και} \quad I_{\varepsilon\kappa} = \frac{V_{\varepsilon\kappa}}{Z}$$

άρα

$$I_{\varepsilon\kappa} = \frac{V}{k \cdot Z} \quad \text{και} \quad I_{\varepsilon} = \frac{I_{\varepsilon\kappa}}{k}$$

όπου:

$V$ : η τάσης εκκίνησης ανά φάση στο εξωτερικό κύκλωμα

$I_{\varepsilon}$ : το ρεύμα εκκίνησης ανά φάση στο εξωτερικό κύκλωμα

$V_{\varepsilon\kappa}$ : η τάση εκκίνησης ανά φάση στον κινητήρα

$I_{\varepsilon\kappa}$ : το ρεύμα εκκίνησης ανά φάση στον κινητήρα

$k$ : η σχέση μεταφοράς στον αυτομετασχηματιστή

$Z$ : η ανά φάση σύνθετη αντίσταση του κινητήρα κατά την εκκίνηση ( $s=1$ )

Επομένως:

$$I_{\varepsilon} = \frac{I_{\varepsilon\kappa}}{k} = \frac{1}{k^2} \frac{V}{Z} = \frac{1}{k^2} I_{\varepsilon\alpha}$$

όπου:

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

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

Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα  $T_{\varepsilon\kappa}$  είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσης εκκίνησης:

$$T_{\varepsilon\kappa} \approx V_{\varepsilon\kappa}^2$$

Αλλά

$$V_{\text{εκ}} = \frac{V}{k}$$

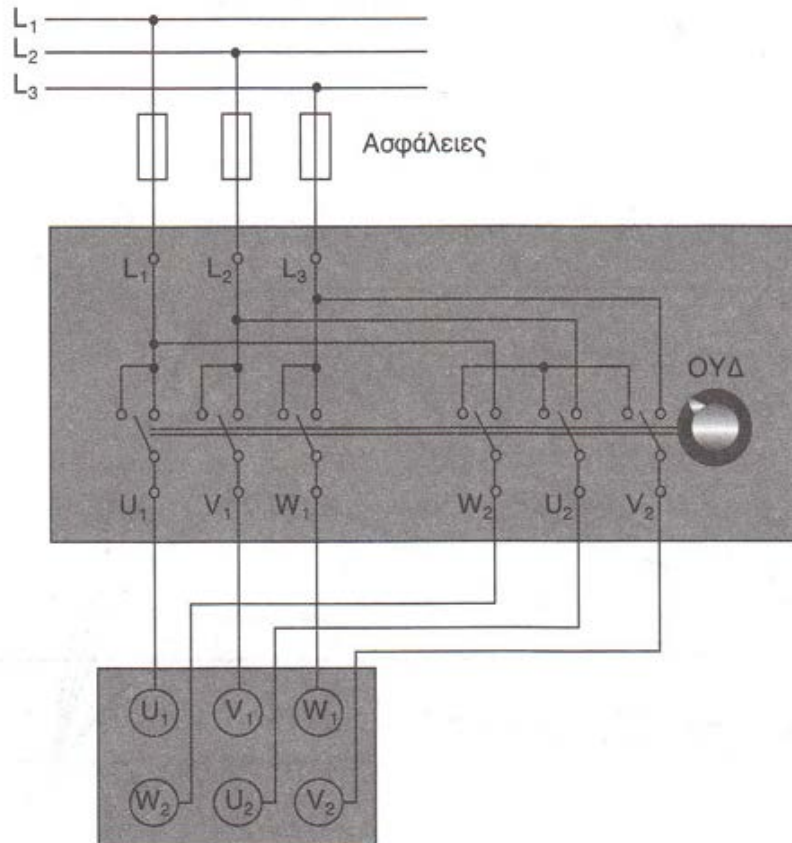
Συνεπώς

$$T_{\text{εκ}} = \frac{1}{k^2} V^2$$

Και η ροπή εκκίνησης μειώνεται κατά  $k^2$ , ως προς τη ροπή εκκίνησης με απευθείας σύνδεση. Συνεπώς, και η μέθοδος αυτή δύναται να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν η ροπή φορτίου είναι μικρή, αλλιώς ο κινητήρας δε θα ξεκινήσει.

Εν κατακλείδι, αν συγκρίνουμε το λόγο των ροπών στην εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή με το λόγο των ροπών στην εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη, συμπεραίνουμε ότι η εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή πλεονεκτεί ως προς τη ροπή εκκίνησης έναντι της ροπής εκκίνησης με αντιστάσεις στο στάτη.

### **3.5. Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου (Υ/Δ)**



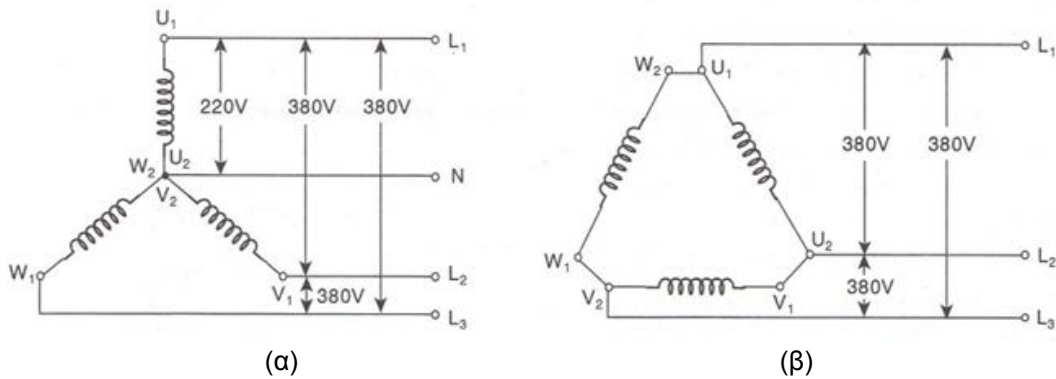
**Σχήμα 3.5:** Συνδεσμολογία εκκίνησης με διακόπτη Υ/Δ



Η εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου αποτελεί μια αρκετά απλή και διαδεδομένη μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται σε μικρής και μέσης ισχύος κινητήρες. Η συνδεσμολογία της εν λόγω μεθόδου αποδίδεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.5).

Κάνοντας χρήση του διακόπτη Υ/Δ, ο στάτης:

- Κατά την εκκίνηση συνδέεται κατά αστέρα (Σχήμα 3.6α)
- Κατά την κανονική λειτουργία συνδέεται κατά τρίγωνο (Σχήμα 3.6β)



Σχήμα 3.6: Σύνδεση των φάσεων του τυλίγματος του στάτη:

(α): κατά αστέρα

(β): κατά τρίγωνο

Υποθέτοντας ότι κατά την εκκίνηση δεν χρησιμοποιούσαμε διακόπτη Υ/Δ αλλά κάναμε απευθείας ζεύξη των τριών φάσεων σε τρίγωνο, το ρεύμα που θα διέρρεε το τύλιγμα κάθε φάσης θα ήταν:

$$I_{\varphi} = \frac{V}{Z}$$

όπου:

$V$  : η πολική τάση του δικτύου

$Z$  : η σύνθετη αντίσταση ανά φάση του στάτη του κινητήρα

Κατά συνέπεια, η ένταση του ρεύματος στο δίκτυο θα ήταν:

$$I_{\Delta} = \sqrt{3}I_{\varphi} = \sqrt{3}\frac{V}{Z}$$

Κατά την περίπτωση όπου πραγματοποιούμε την εκκίνηση κάνοντας χρήση του διακόπτη Υ/Δ (σύνδεση φάσεων σε αστέρα), σε κάθε φάση επικρατεί τάση:

$$V_{\varphi} = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

Άρα, ένταση του ρεύματος κάθε φάσης θα είναι:

$$I_Y = \frac{V_{\varphi}}{Z} = \frac{V}{\sqrt{3}Z}$$

Συνολικά, από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$\frac{I_Y}{I_{\Delta}} = \frac{1}{3} \Rightarrow I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$$

Παρατηρούμε ότι κάνοντας χρήση του διακόπτη Υ/Δ, η ανάγκη για απορρόφηση ρεύματος από το δίκτυο κατά την εκκίνηση μειώνεται στο 1/3 συγκριτικά με την απευθείας ζεύξη σε τρίγωνο.

Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της φασικής τάσης ( $T_{\varepsilon K} \approx V_{\varepsilon K}^2$ ). Συνεπώς, κατά τη σύνδεση σε αστέρα, και η ροπή θα μειώνεται κατά το ίδιο ποσοστό.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η εκκίνηση με διακόπτη Υ/Δ μπορεί να θεωρηθεί ως υποπερίπτωση της μεθόδου εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή, με σχέση μεταφοράς  $k = \sqrt{3}$ .

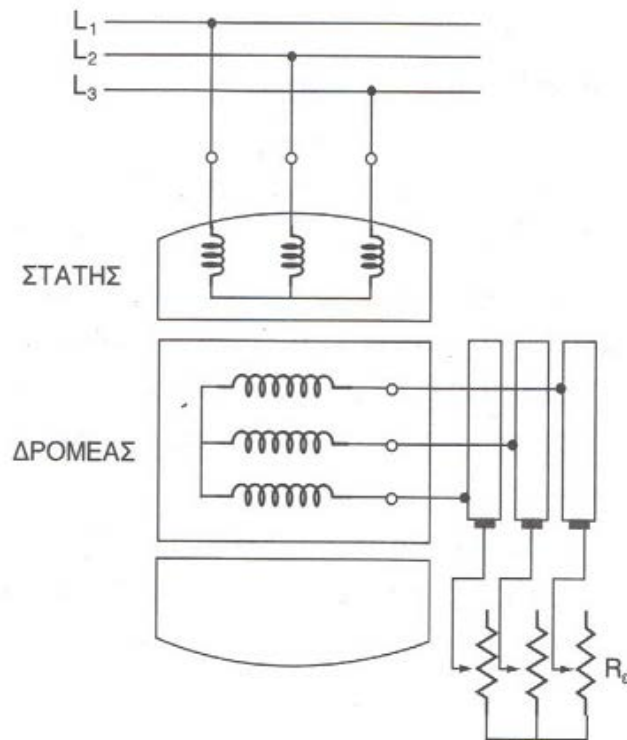
### **3.6. Εκκίνηση με μεταβαλλόμενη αντίσταση στους δακτυλίους του δρομέα**

Στη μέθοδο αυτή, συνδέουμε εξωτερικές ωμικές αντιστάσεις ( $R_{\varepsilon}$ ) στο τύλιγμα του δρομέα, εφόσον, φυσικά, ο κινητήρας είναι δακτυλιοφόρος (Σχήμα 3.7).

Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των κινητήρων είναι το γεγονός ότι στο δρομέα τους φέρουν τριφασικό τύλιγμα. Οι τρεις φάσεις του τυλίγματος συνδέονται σε αστέρα ενώ τα τρία ελεύθερα άκρα του αστέρα συνδέονται με τρεις ορειχάλκινους δακτυλίους που είναι στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα (εξ ου και η ονομασία «δακτυλιοφόροι κινητήρες»). Ο στάτης φέρει τριφασική περιέλιξη όμοια με του βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Οι κινητήρες αυτού του είδους χρησιμοποιούνται πολύ στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις γιατί έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη ροπή εκκίνησης
- Δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής στην κανονική λειτουργία
- Δυνατότητα ρύθμισης του ρεύματος εκκίνησης.



Σχήμα 3.7: Συνδεσμολογία εκκίνησης με μεταβαλλόμενη αντίσταση στους δακτυλίους του δρομέα

### **3.7 Εκκίνηση με ηλεκτρονικό ομαλό εκκινητή (soft starter).**

#### **3.7.1 Γενικά**

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, όπως έχουμε προαναφέρει, κατά την εκκίνηση καταναλώνουν μεγάλη ένταση ρεύματος εκκίνησης από το δίκτυα που τους τροφοδοτούν. Αποτέλεσμα είναι να προκαλούνται στιγμιαίες πτώσεις τάσεις στα δίκτυα, που μπορεί να είναι επικίνδυνες για τους άλλους καταναλωτές, αλλά και για το ίδιο το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως.

Προς αποφυγή των παραπάνω, χρησιμοποιούμε διάφορους τρόπους εκκίνησης, οι οποίοι αναπτύχθηκαν σε προηγούμενως, που στηρίζονται στη τροφοδότηση του κινητήρα με μειωμένη τάση κατά την εκκίνηση.

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής τάσης ή ομαλός εκκινητής (soft starter), αποτελεί μία από τις αξιόπιστες ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου κινητήρων. Είναι κατάλληλος για την ελεγχόμενη ομαλή εκκίνηση αλλά και το σταμάτημα, για το φρενάρισμα και την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων.

### **3.7.2 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, όπως ομαλή εκκίνηση με παλμούς τάσης (ράμπα εκκινήσεως), περιορισμός ρεύματος και δυνατούς συνδυασμούς.
- Ποικιλία δυνατοτήτων σταματήματος , όπως ελεύθερο σταμάτημα, σταμάτημα με χρονική καθυστέρηση, πέδηση με συνεχές ρεύμα.
- Ένδειξη καταστάσεως λειτουργίας (Run) και βλαβών (Fault)
- Προστασία υπερθέρμανσης
- Διαθεσιμότητα συσκευών που διαθέτουν θύρα επικοινωνίας με PC, ώστε σε συνδυασμό με το κατάλληλο πρόγραμμα (software), να γίνεται ακριβέστερη ρύθμιση και έλεγχος της συσκευής.

### **3.7.3 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 έλκυσης
- Πρέσες
- Εργαλειομηχανές, κλπ.

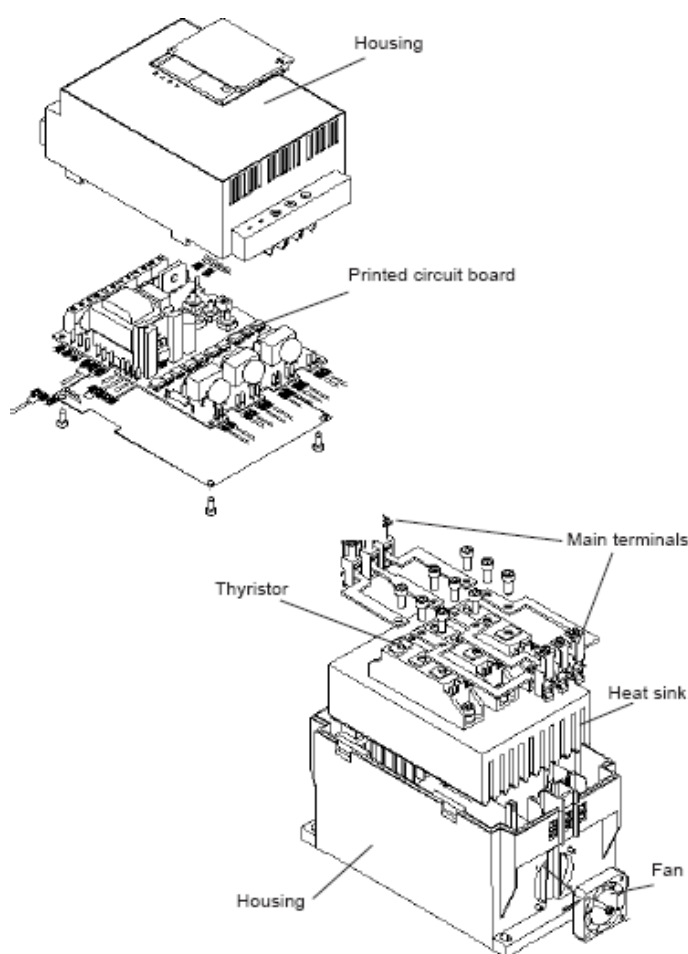
### **3.7.4 Περιγραφή**

Ένας ομαλός εκκινήτης αποτελείται από λιγοστά κύρια εξαρτήματα όπως ένα τυπωμένο κύκλωμα, ένα σύστημα αποβολής της θερμότητας, κάποια θυρίστωρ, ανεμιστήρες ψύξης και το περίβλημα είτε πλαστικό είτε μεταλλικό. Τα κυκλώματα ελέγχου μπορεί να είναι ψηφιακού τύπου , αναλογικού τύπου ή κάποιος συνδυασμός εκ των δύο. Τα ρελέ του σήματος εξόδου μπορούν να έχουν συνδυασμένη λειτουργικότητα ή ακόμη και 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 συμβατικό διμεταλλικό ρελέ. Ένα ενσωματωμένο θερμικό έχει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα τυπικό θερμικό, αφού οι τιμές υπολογίζονται ηλεκτρονικά κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε διακοπτόμενη λειτουργία.

Η ανάγκη επικοινωνίας αναμεταξύ διαφόρων συσκευών σε μία βιομηχανία, όπως επίσης και η επικοινωνία αυτών με κάποιο πάνελ ελέγχου ολοένα και αυξάνεται. Για αυτό το λόγο πολλοί από τους ομαλούς εκκινητές διαθέτουν πόρτες επικοινωνίας, που συχνά υιοθετούν τη χρήση λίγων μόνο οπτικών ινών. Αυτό είναι κάτι αρκετά σημαντικό αρκεί να αναλογιστεί κανείς τον μονόδρομο της χρήσης των εκατοντάδων αγωγών χαλκού που υπήρχαν τα προηγούμενα χρόνια. Ακόμη υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων επικοινωνίας με μερικά από αυτά να είναι πιο διαδεδομένα από τα άλλα. Τα πιο διαδεδομένα είναι το Profibus, Modbus, DeviceNet και άλλα.

### **3.7.5 Εποπτική ανάλυση των κυριότερων εξαρτημάτων ενός ομαλού εκκινητή.**



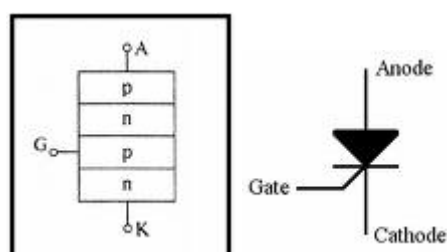
Σχήμα 3.8: Απεικόνιση κυριότερων εξαρτημάτων ενός ομαλού εκκινητή

### 3.7.6 Θυρίστορ

Το θυρίστορ είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης δύο καταστάσεων το οποίο λειτουργεί σαν μία ελεγχόμενη δίοδος. Έχει μία κατάσταση OFF (κατάσταση φραγμού) και διεγείρεται στην κατάσταση ON (κατάσταση αγωγιμότητας), όταν εφαρμοστεί ένας παλμός στην πύλη του.

#### 3.7.6.1 Κατασκευή και λειτουργία των θυρίστορ

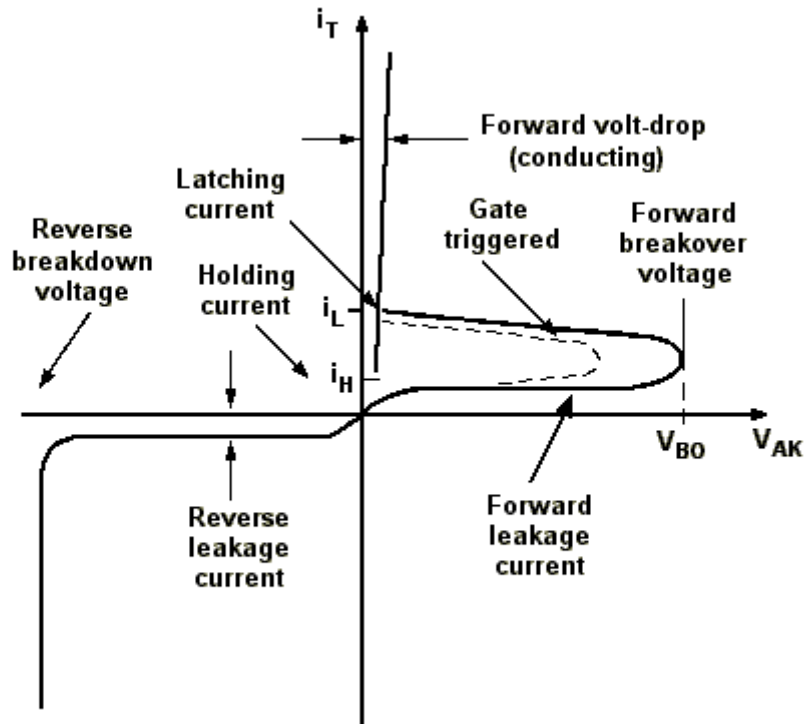
Το θυρίστορ είναι στοιχείο τεσσάρων αγωγών (pnpn), όπως φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9: Δομή ενός θυρίστορ

Το θυρίστορ όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λειτουργεί σαν μία ελεγχόμενη δίοδος. Με το γράμμα «A» συμβολίζεται η άνοδος, με το γράμμα «K» η κάθοδος και με το γράμμα «G» συμβολίζεται η πύλη. Για να σπάσουν οι φραγμοί που φαίνονται στο Σχήμα 3.9 και να βρεθεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής, αρκεί ο ημιαγωγός να πολωθεί ορθά («+» η άνοδος, «-» η κάθοδος) και την στιγμή που θέλουμε να βρεθεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής, να «πυροδοτήσουμε» την πύλη του με ένα παλμό.

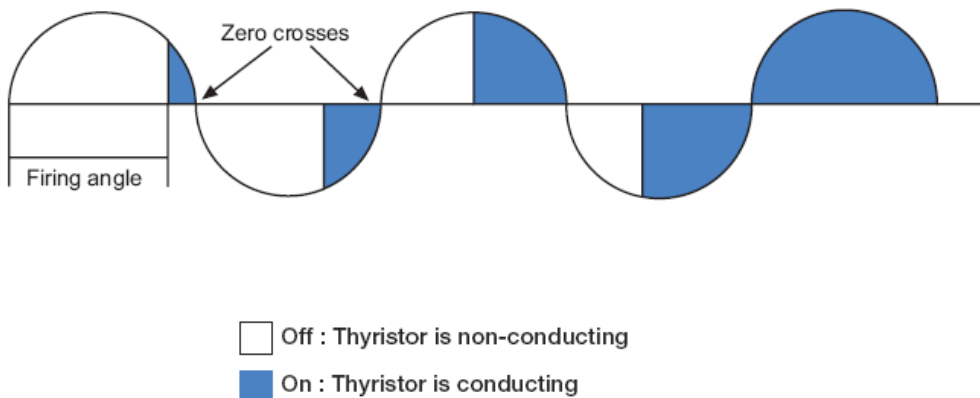
Το επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.10) μας παρουσιάζει μία τυπική I-V χαρακτηριστική ενός θυρίστορ.



Σχήμα 3.10: Τυπική I-V χαρακτηριστική ενός θυρίστορ.

### 3.7.6.2 Λειτουργία των θυρίστορ σε ένα ομαλό εκκινήτή.

Σε ένα ομαλό εκκινήτή τα θυρίστορ είναι συνδεδεμένα σε αντιπαράλληλη διάταξη (triac) και είναι 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. Μία αναλυτικότερη περιγραφή της λειτουργίας τους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας θυρίστορ

Έναρξη : Τα θυρίστορ αφήνουν να περάσει μέρος της τάσης στην αρχή και έπειτα αυξάνουν σταδιακά ανάλογα με το προεπιλεγμένο χρόνο ράμπας.

Λήξη : Τα θυρίστορ άγουν πλήρως και όταν απαιτείται ομαλή στάση του κινητήρα μας, μειώνουν σταδιακά την τάση ανάλογα με τον προεπιλεγμένο χρόνο ράμπας.

### **3.7.7 Αποβολή της θερμότητας σε ένα ομαλό εκκινήτή.**

Από τα ρεύματα εκκίνησης και συνεχόμενης λειτουργίας, προκαλείται μία παραγωγή θερμότητας σύμφωνα με το νόμο του Joule. Για αυτό σε ένα ομαλό εκκινήτή υπάρχουν δύο εξαρτήματα για την απαγωγή της θερμότητας. Ένα είναι η λεγόμενη ως «ψήκτρα» (heat sink), η οποία τοποθετείται πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα και στα θυρίστορ. Το άλλο εξαρτήματα που χρησιμοποιείται για την απαγωγή της θερμότητας είναι ένας ανεμιστήρας (ή ανεμιστήρες).

### **3.7.8 Αρχή λειτουργίας**

Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας, όπως επίσης και μερικές από τις βασικότερες παραμέτρους της.

Ο ηλεκτρονικός ομαλός εκκινήτης επιτρέπει τη σταδιακή επιτάχυνση κινητήρα από τη στάση έως την ονομαστική ταχύτητα, έχοντας σαν παράμετρο την αρχικά τάση και το χρόνο εκκίνησης που μπορεί να φτάσει έως και μερικά λεπτά.

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

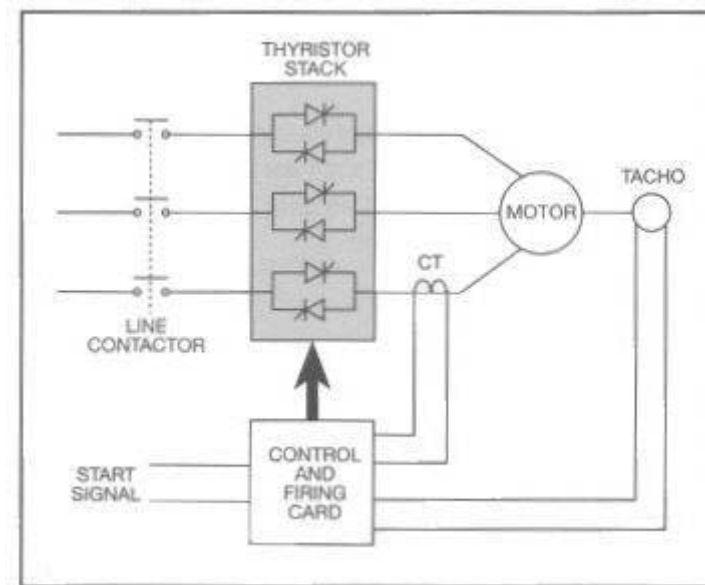
Οι ομαλοί εκκινήτες αποτελούνται :

- από το κύκλωμα ισχύος με τα θυρίστορ
- από το κύκλωμα ελέγχου έναυσης των θυρίστορ

Ο εκκινήτης ψαλιδίζει την τάση του δικτύου , ελέγχοντας τη γωνία έναυσης (ή γωνία πυροδότησης) των θυρίστορ. Με αυτό 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 τις παραμέτρους εκκίνησης του κινητήρα. Ο επεξεργαστής συνεχίζει να παρακολουθεί τον κινητήρα και μετά το στάδιο της εκκίνησης. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός ομαλού εκκινήτη που ελέγχει ένα τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα .





Σχήμα 3.12: Κύκλωμα ενός ομαλού εκκινήτη που ελέγχει ένα τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα

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

### **3.7.9 Ομαλή Εκκίνηση (Soft-Starting)**

Στους ομαλούς ηλεκτρονικούς εκκινήτες η αρχική τιμή της τάσης μπορεί να είναι ίση με περίπου με το 20% της ονομαστικής τάσης της λειτουργίας του κινητήρα και να καταλήγει στο 100% της ονομαστικής τιμής μέσα σε ορισμένο χρόνο (ρυθμιζόμενο) που συνήθως κυμαίνεται από 1 έως 180 sec (Ramp time).

Να σημειώσουμε εδώ ότι ο soft starter ελέγχει συνεχώς την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Αν ο κινητήρας αυξήσει την ταχύτητά του πριν περάσει ο χρόνος που ρυθμίσαμε, η τάση τροφοδοσίας αυξάνει αμέσως στο 100 % της ονομαστικής τιμής.

Κατά τη χρονική διάρκεια  $t_p$  (χρόνος ράμπας), η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα μεταβάλλεται (τάση ράμπας) από την αρχική τιμή  $U_0$  στην ονομαστική τιμή  $U_N$ .

## **4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

### **4.1. Εισαγωγή**

Όταν ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας τροφοδοτείται από το δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας, στρέφεται με μια ταχύτητα η οποία είναι λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη. Η μεταβολή της ταχύτητας από τη σύγχρονη εξαρτάται από το φορτίο και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο υψηλότερη είναι η αντίσταση του δρομέα. Όμως, η λειτουργία του κινητήρα με μειωμένη ταχύτητα σημαίνει αύξηση της ολίσθησης και των απωλειών χαλκού στο δρομέα ( $P_{cu,r} = sP_{ag}$ ) με συνέπεια τη μείωση του βαθμού απόδοσης.

Ο έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

- Με τη ρύθμιση της ολίσθησης.
- Με τη ρύθμιση της σύγχρονης ταχύτητας.

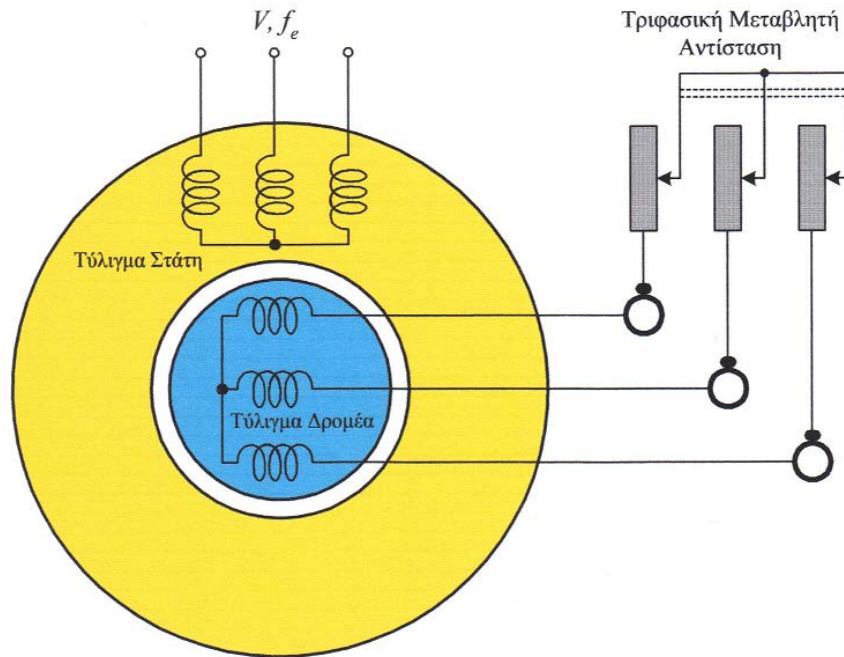
Η ρύθμιση της ολίσθησης, για δεδομένη ροπή φορτίου, επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της αντίστασης του δρομέα στον κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα και με τον έλεγχο της τάσης τροφοδοσίας στον κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού.

Η ρύθμιση της σύγχρονης ταχύτητας από τη σχέση  $n_s = 120 f_1 / P$  , επιτυγχάνεται είτε με τη μεταβολή του αριθμού των πόλων του τυλίγματος του στάτη, ή με τη μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας.

### **4.2. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της αντίστασης του δρομέα**

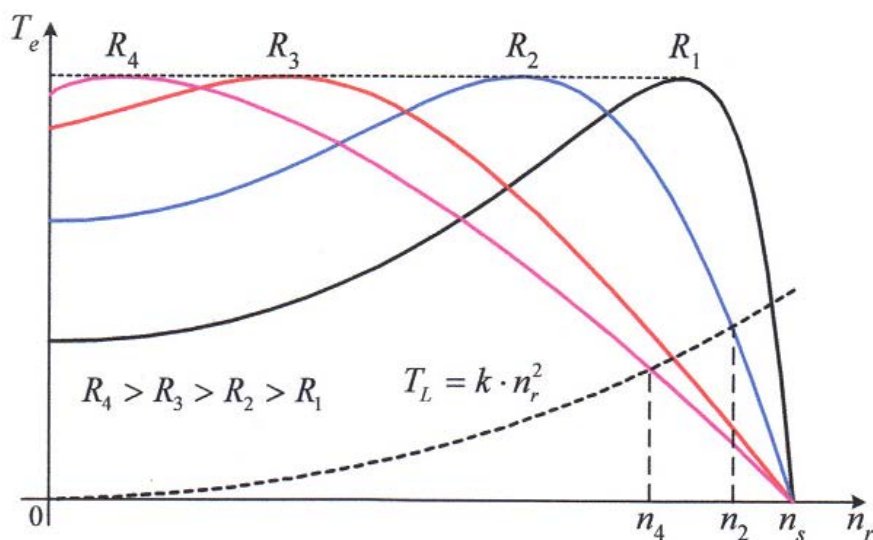
Η ταχύτητα των επαγωγικών κινητήρων με δακτυλιοφόρο δρομέα ρυθμίζεται με την εισαγωγή μεταβλητών αντιστάσεων στο τύλιγμα του δρομέα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται η μορφή της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας του κινητήρα.

Στο Σχήμα 4.2 εικονίζονται οι χαρακτηριστικές του κινητήρα για τέσσερις τιμές της αντίστασης του δρομέα, μαζί με τη χαρακτηριστική του φορτίου. Η ροπή του φορτίου μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας. Αυτή η χαρακτηριστική φορτίου είναι πολύ κοινή και απαντάται στις αντλίες, τους ανεμιστήρες και τα ανυψωτικά (*pump, fan, crane*).



Σχήμα 4.1: Εισαγωγή ρυθμιστικών αντιστάσεων στο δρομέα, για τη ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα

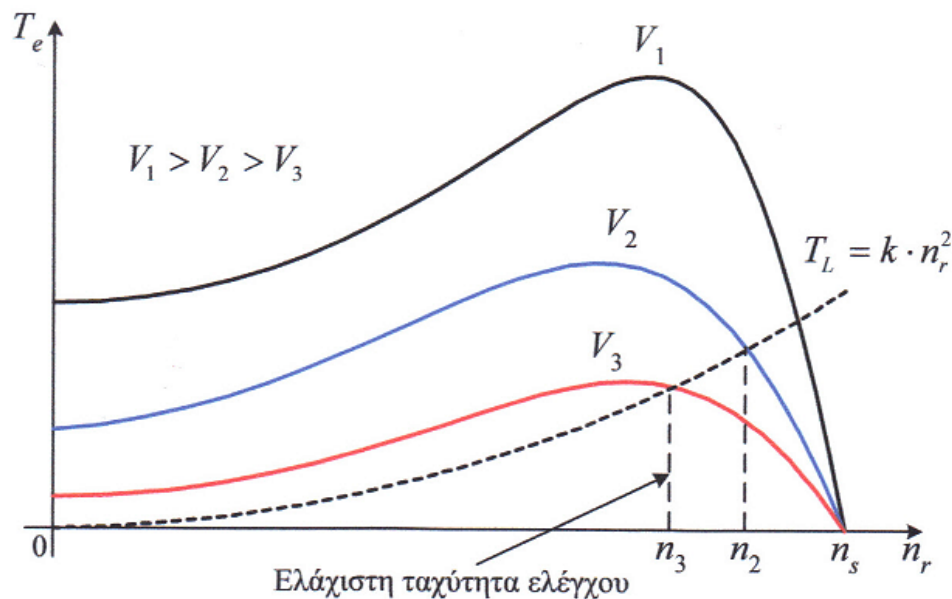
Η μεταβολή της ταχύτητας με τη ρύθμιση της αντίστασης είναι φανερή. Η ταχύτητα του κινητήρα μειώνεται από την τιμή  $n_2$  όταν  $R_r = R_2$  στην τιμή  $n_4$  όταν  $R_r = R_4$ . Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι, ο βαθμός απόδοσης της διάταξης μειώνεται με τη μείωση της ταχύτητας, εξαιτίας των εξωτερικών αντιστάσεων.



Σχήμα 4.2: Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα, με τη μεταβολή της αντίστασης του δρομέα

### 4.3. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της τάσης του στάτη

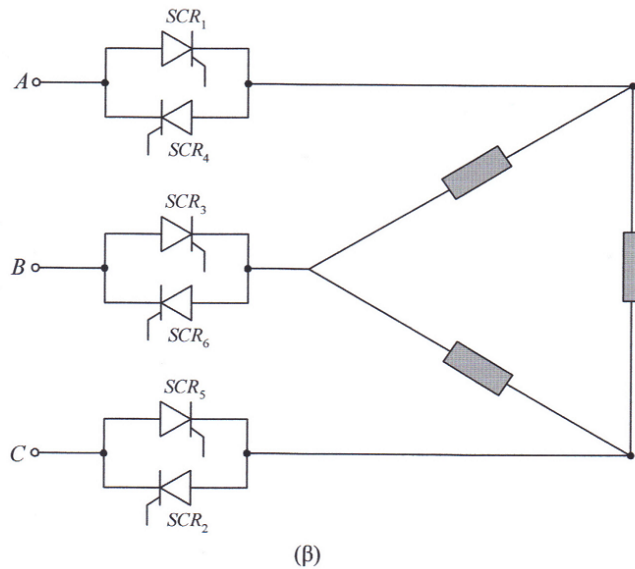
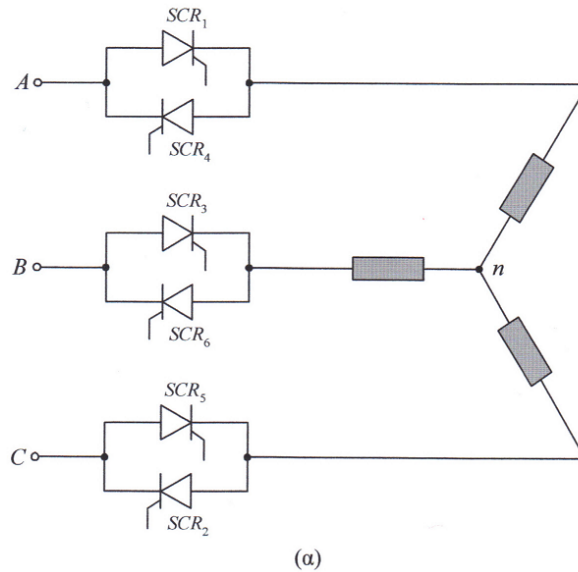
Στους επαγωγικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, η ρύθμιση της ολίσθησης (ταχύτητας) επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη. Η συχνότητα των τάσεων είναι σταθερή και ίση με τη συχνότητα του δικτύου. Καθώς η ροπή που αναπτύσσει ο επαγωγικός κινητήρας είναι ανάλογη με το τετράγωνο της τάσης του στάτη, οι χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας μεταβάλλονται όπως στο Σχήμα 4.3, για διάφορες τιμές της τάσης. Η ροπή του φορτίου είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας. Από το Σχήμα 4.3 είναι φανερό ότι, η ταχύτητα του κινητήρα δεν μπορεί να ελεγχθεί σε τιμές πολύ μικρότερες από τη σύγχρονη. Η ελάχιστη δυνατή ταχύτητα είναι η  $n_3$ , που αντιστοιχεί στη ροπή ανατροπής για την τάση  $V_3$ . Ακόμη, το ρεύμα του κινητήρα είναι ανάλογο της τάσης. Έτσι, ο λόγος ροπής προς ρεύμα, η μέγιστη ροπή, ο συντελεστής ισχύος και ο βαθμός απόδοσης, μειώνονται με τη μείωση της ταχύτητας. Επομένως, ο έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων με τη ρύθμιση της τάσης του στάτη δεν είναι αποτελεσματικός.



Σχ. 4.3: Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα, με τη μεταβολή της τάσης του στάτη

Ο έλεγχος της τάσης στα τυλίγματα του στάτη επιτυγχάνεται με κατάλληλους μετατροπείς ισχύος, οι οποίοι ονομάζονται ρυθμιστές εναλλασσόμενης τάσης (*A/C voltage controllers*). Η κυκλωματική δομή του τριφασικού ρυθμιστή εναλλασσόμενης τάσης εικονίζεται στο Σχήμα 4.4. Τα τυλίγματα του κινητήρα μπορεί να είναι σε σύνδεση αστέρα (Σχήμα 4.4α), ή

τριγώνου (Σχήμα 4.4β). Ο ρυθμιστής αποτελείται από έξι ελεγχόμενους ανορθωτές πυριτίου (*SCR*), οι οποίοι συνδέονται ανά δύο αντιπαράλληλα. Σε μικρές ισχύς χρησιμοποιούνται ως διακόπτες τρία *TRIAC*, στη θέση των έξι *SCR*. Το *TRIAC* συμπεριφέρεται όπως δύο αντιπαράλληλοι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου, όμως έχει πολύ μικρότερη ικανότητα χειρισμού ισχύος απ' αυτούς. Οι *SCR* δέχονται παλμούς έναυσης με τη σειρά αρίθμησης τους και με διαφορά φάσης  $60^\circ$ .



**Σχήμα 4.4:** Τριφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης, με φορτίο σε σύνδεση αστέρα (α) και τριγώνου (β)

Οι ρυθμιστές εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται συνήθως στον έλεγχο της ταχύτητας επαγωγικών κινητήρων κλάσης *D*, σε εφαρμογές αντλιών και ανεμιστήρων, όπου δεν απαιτείται έλεγχος της ταχύτητας σε

μικρές τιμές. Όμως, η κυριότερη εφαρμογή τους είναι στην εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων όλων των κατηγοριών, οπότε ονομάζονται *soft starters*. Οι ηλεκτρονικοί εκκινήτες έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους εκκίνησης, με αυτομετασχηματιστή ή διακόπτη αστέρα τριγώνου. Κάποια από τα πλεονεκτήματα είναι: η ομαλή επιτάχυνση και επιβράδυνση, ο έλεγχος του ρεύματος, η μειωμένη συντήρηση, η προστασία από έλλειψη ή ασυμμετρία των φάσεων. Επιπλέον, ένας εκκινήτης με ρυθμιστή εναλλασσόμενης τάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ελαχιστοποίηση των απωλειών του επαγωγικού κινητήρα, λειτουργώντας τον κινητήρα με μειωμένη τάση σε μικρά φορτία. (Ο επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί με το μέγιστο βαθμό απόδοσης στο ονομαστικό φορτίο, όπου η κατανομή των επιμέρους απωλειών του είναι η βέλτιστη. Όταν το φορτίο μειώνεται, η βέλτιστη κατανομή των απωλειών διαταράσσεται και ο βαθμός απόδοσης μειώνεται. Μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας του κινητήρα ανάλογα με το φορτίο του, ώστε η μαγνητική ροή στο διάκενο να έχει πάντα τη βέλτιστη τιμή, επιτυγχάνουμε το μέγιστο βαθμό απόδοσης. Η βέλτιστη τιμή της μαγνητικής ροής εξαρτάται από το φορτίο και την ταχύτητα του κινητήρα).

#### **4.4. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή του αριθμού των πόλων**

Ο αριθμός των μαγνητικών πόλων που αναπτύσσονται από το τριφασικό τύλιγμα του στάτη μπορεί να μεταβληθεί, με τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων (*consequent poles*), ή τοποθετώντας πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη (*multiple stator windings*).

Στη μέθοδο των διαδοχικών πόλων, με κάποιες απλές αλλαγές στη σύνδεση των ομάδων του τυλίγματος του στάτη, ο αριθμός των πόλων του μεταβάλλεται με ένα λόγο 2 προς 1. Έτσι, ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να έχει δύο ή τέσσερις πόλους και σύγχρονη ταχύτητα 3000rpm ή 1500rpm αντίστοιχα.

Όταν ο λόγος 2 προς 1 στην ταχύτητα δεν είναι βολικός, τοποθετούνται στο στάτη περισσότερα από ένα ανεξάρτητα τριφασικά τυλίγματα, με τον επιθυμητό αριθμό πόλων. Ανάλογα με τη ζητούμενη ταχύτητα, τροφοδοτείται κάθε φορά το κατάλληλο τύλιγμα. Το μειονέκτημα των πολλαπλών τυλιγμάτων είναι ότι αυξάνουν το κόστος του κινητήρα. Ακόμη, η μέθοδος των πολλαπλών τυλιγμάτων μπορεί να συνδυασθεί με τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων, για τη λειτουργία του κινητήρα σε περισσότερες ταχύτητες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, η μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας με τη μεταβολή του αριθμών των πόλων, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επαγωγικούς κινητήρες με βραχυκυκλωμένο κλωβό. Ο δρομέας των κινητήρων αυτών αναπτύσσει πάντα τόσους πόλους, όσοι είναι και οι πόλοι του στάτη. Αυτό δεν ισχύει στους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα, όπου το τύλιγμα του δρομέα αναπτύσσει ένα καθορισμένο αριθμό πόλων, ανάλογο με την κατασκευή του.

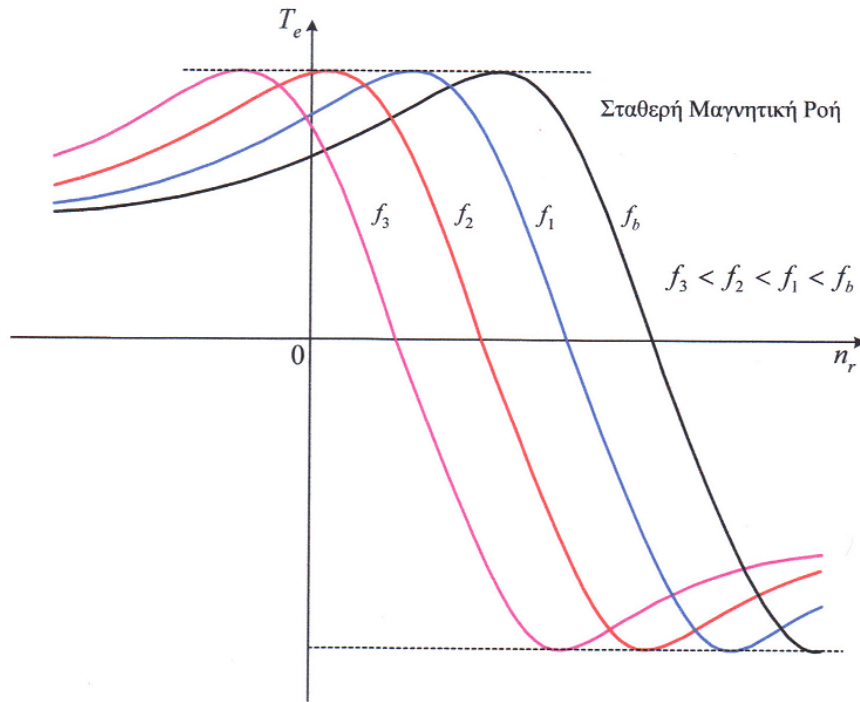
#### **4.5. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας**

Η βέλτιστη μέθοδος για τον έλεγχο της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων κάθε είδους, είναι με τη ρύθμιση της συχνότητας τροφοδοσίας του στάτη. Έτσι, μεταβάλλεται η σύγχρονη ταχύτητα, δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής των μαγνητικών πεδίων και μαζί τους η ταχύτητα του κινητήρα. Η σύγχρονη ταχύτητα που αντιστοιχεί στην ονομαστική συχνότητα  $f_b$ , ονομάζεται βασική (*base*).

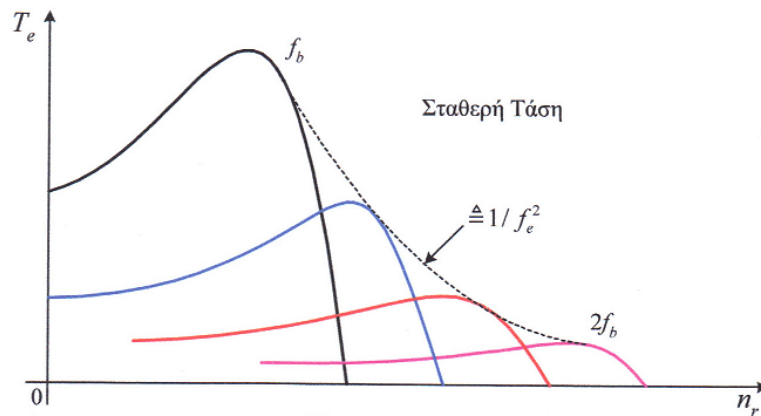
Καθώς η συχνότητα των τάσεων τροφοδοσίας μπορεί να ρυθμιστεί σε τιμές μικρότερες αλλά και μεγαλύτερες της ονομαστικής, η ταχύτητα του κινητήρα μπορεί να μεταβληθεί από το μηδέν, μέχρι μια τιμή πολλαπλάσια της βασικής. Το άνω όριο της ταχύτητας περιορίζεται από τη μηχανική αντοχή του κινητήρα. Εκτός από την ευρεία περιοχή ρύθμισης της ταχύτητας, η μέθοδος εξασφαλίζει τη λειτουργία του κινητήρα με μικρή ολίσθηση σε κάθε ταχύτητα. Έτσι, ο βαθμός απόδοσης διατηρείται υψηλός.

Όταν η ταχύτητα του κινητήρα ρυθμίζεται σε τιμές μικρότερες της βασικής, η μείωση της συχνότητας συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση της τάσης. Ειδικότερα, ο λόγος της τάσης προς τη συχνότητα  $V/f_e$  διατηρείται σταθερός. Με τον τρόπο αυτό η μαγνητική ροή στο διάκενο του κινητήρα παραμένει περίπου σταθερή ( $\varphi_\mu = E/f_e$ ). Στο Σχήμα 4.5α εικονίζονται οι χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας του κινητήρα, σε διάφορες συχνότητες μικρότερες από τη βασική, όταν μαγνητική ροή διατηρείται σταθερή. Παρατηρούμε ότι η ροπή ανατροπής (μέγιστη ροπή), δεν μεταβάλλεται με τη μεταβολή της συχνότητας. Έτσι, ο κινητήρας μπορεί να ελέγξει φορτία, τα οποία απαιτούν μεγάλη ροπή σε μικρές ταχύτητες. Επιπλέον, η δυναμική συμπεριφορά του κινητήρα είναι εξαιρετική.

Στην ονομαστική ταχύτητα, ο κινητήρας τροφοδοτείται με την ονομαστική τάση και τη βασική συχνότητα. Για την αύξηση της ταχύτητας, σε τιμές πέρα από την ονομαστική, η συχνότητα γίνεται μεγαλύτερη από τη βασική. Όμως, η τάση τροφοδοσίας διατηρείται σταθερή στην ονομαστική τιμή, για την προστασία της μόνωσης των τυλιγμάτων. Επειδή η τάση δεν ακολουθεί την αύξηση της συχνότητας, η μαγνητική ροή μειώνεται καθώς η συχνότητα αυξάνει. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της μέγιστης ροπής ανατροπής με το τετράγωνο της συχνότητας, όπως εικονίζεται στο Σχήμα 4.5β.



(α)

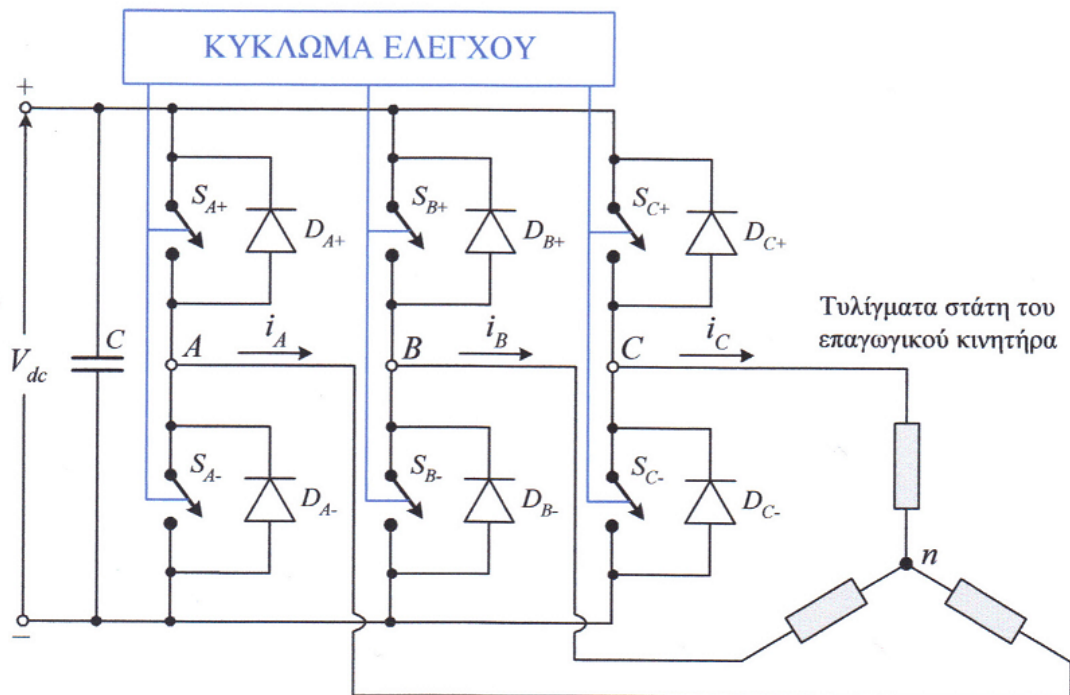


(β)

**Σχήμα 4.5:** Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα με τη μεταβολή της συχνότητας, σε τιμές μικρότερες από τη βασική, με σταθερή τη μαγνητική ροή (α) και σε τιμές μεγαλύτερες από τη βασική, με σταθερή την τάση (β)

Αν και η μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας με τη ρύθμιση της συχνότητας προσφέρει πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας απ' όλες τις άλλες μεθόδους, η χρήση της έχει γενικευτεί μόλις τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται στην κατασκευή των κατάλληλων μετατροπέων ισχύος, οι οποίοι ονομάζονται αντιστροφείς (*inverters*), με λογικό κόστος και υψηλή αξιοπιστία. Στο Σχήμα 4.6 εικονίζεται η δομή του τριφασικού αντιστροφέα πηγής τάσης.

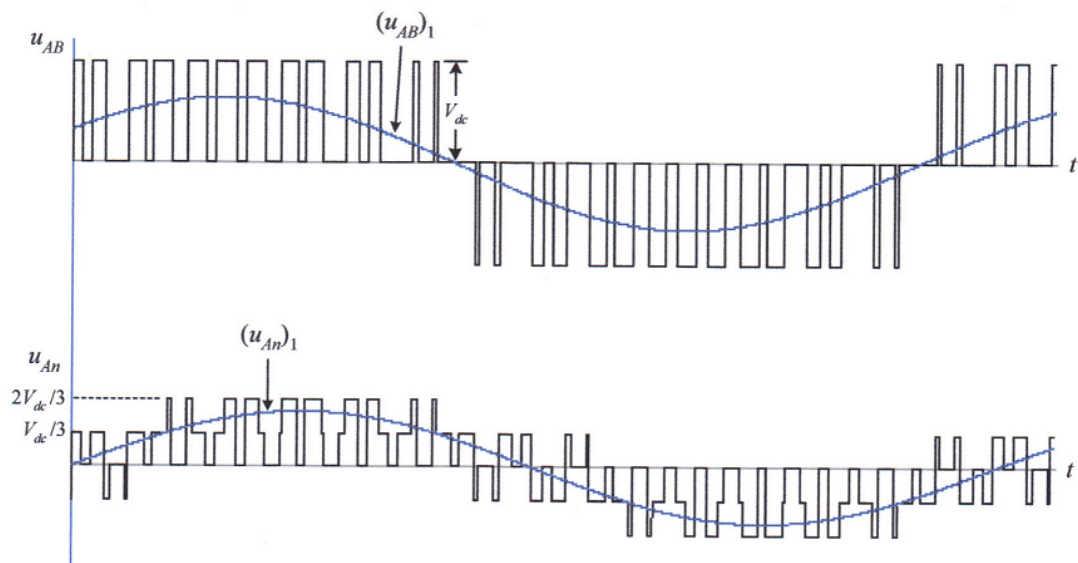




Σχήμα 4.6: Κυκλωματική δομή του τριφασικού αντιστροφέα πηγής τάσης

Ο αντιστροφέας ονομάζεται πηγής τάσης, επειδή τροφοδοτείται από μια πηγή συνεχούς τάσης. Η συνεχής τάση εισόδου του αντιστροφέα  $V_{dc}$ , προέρχεται από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου, την οποία εξομαλύνει ο πυκνωτής  $C$ . Οι αντιστροφείς που τροφοδοτούνται από πηγές συνεχούς ρεύματος ονομάζονται αντιστροφείς πηγής ρεύματος και χρησιμοποιούνται στον έλεγχο κινητήρων μεγάλης ισχύος. Οι έξι διακόπτες του αντιστροφέα πηγής τάσης, είναι συνήθως *MOSFET* ισχύος (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) ή *IGBT* (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Αντιπαράλληλα με κάθε διακόπτη συνδέεται μια δίοδος, η οποία εξασφαλίζει την αμφίδρομη ροή της ισχύος μεταξύ της  $D/C$  εισόδου και της  $A/C$  εξόδου. Οι διακόπτες οδηγούνται από το κύκλωμα ελέγχου, με κάποια από τις πολλές τεχνικές διαμόρφωσης εύρους παλμού *PWM* (*Pulse Width Modulation*).

Το χαρακτηριστικό όλων των τεχνικών *PWM* είναι η ρύθμιση εκτός από τη συχνότητα και της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα. Όμως, οι διακόπτες του αντιστροφέα λειτουργούν με μια συχνότητα  $f_s$ , η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θεμελιώδη  $f_e$ . Η συχνότητα  $f_s$  ονομάζεται συχνότητα μετάβασης (*switching frequency*). Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται ενδεικτικά η κυματομορφή της πολικής και της φασικής τάσης στον κινητήρα, όταν τροφοδοτείται από ένα *PWM* αντιστροφέα. Ο κινητήρας εξαιτίας της επαγωγικής συμπεριφοράς του, φιλτράρει τις συνιστώσες υψηλής συχνότητας των ρευμάτων και ανταποκρίνεται μόνο στη θεμελιώδη συνιστώσα τους. Τα μικρά αρμονικά ρεύματα αυξάνουν τις απώλειες χαλκού και σιδήρου του κινητήρα.



Σχήμα 4.7: Κυματομορφές της πολικής και της φασικής τάσης στον κινητήρα. Διακρίνεται ακόμη η θεμελιώδης συνιστώσα των τάσεων, με συχνότητα  $f_e$

## **5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

### **5.1. Σκοπός κατασκευής**

Η κατασκευή του επιτοίχιου στεγανού πίνακα έχει ως στόχο την ομαλή εκκίνηση και πέδηση τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων. Αυτό πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού ομαλού εκκινητή (*soft-starter*).

### **5.2. Δυνατότητες διάταξης**

Η διάταξη εξυπηρετεί την εκκίνηση και πέδηση τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική ισχύς λειτουργίας έως  $P=7.5KW$  ή 10Hp
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας έως  $I=16A$
- Ονομαστική τάση λειτουργίας έως  $V=690V$

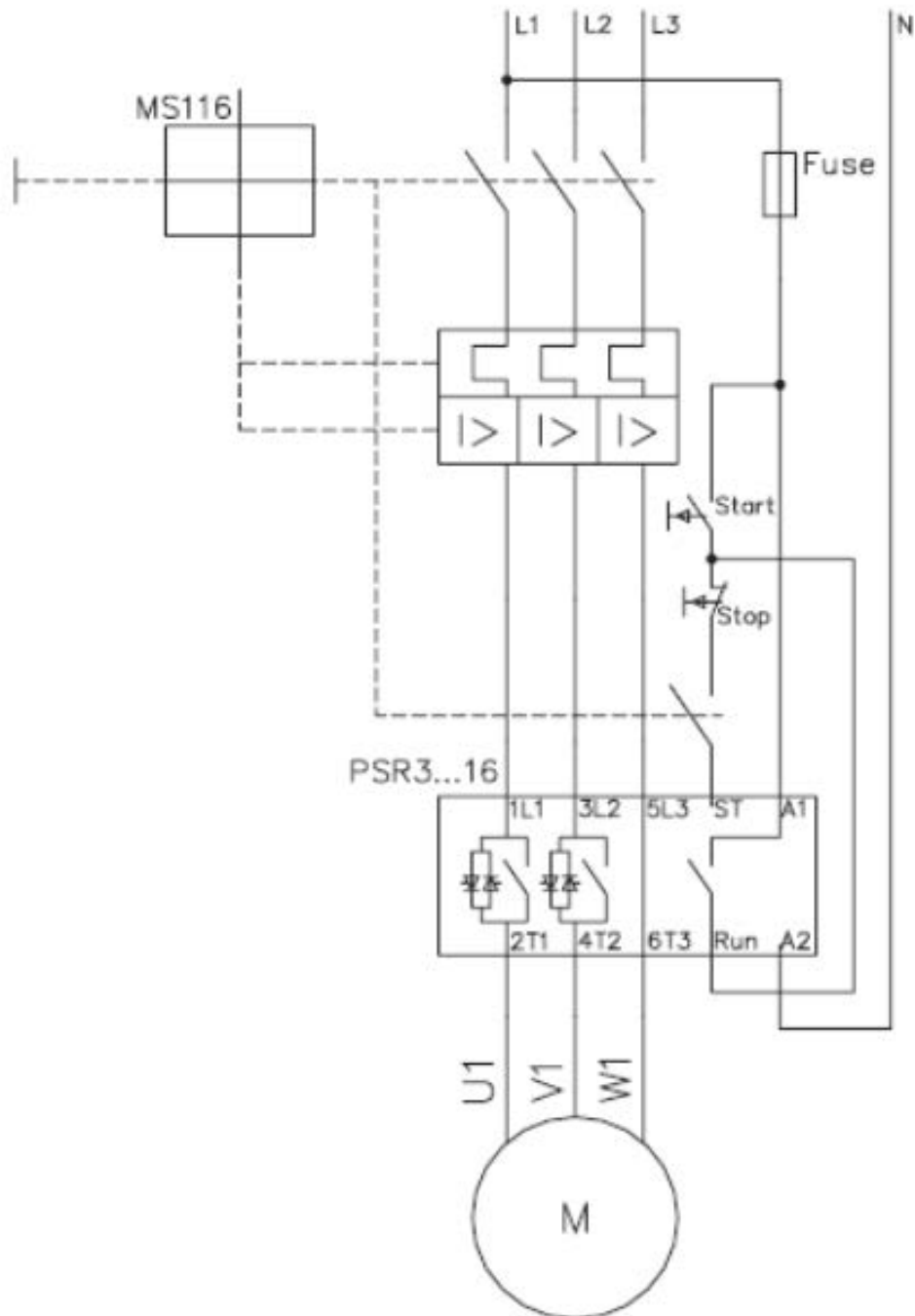
Με την συγκεκριμένη διάταξη μπορούμε να μετρήσουμε:

- Πραγματική ισχύ
- Άεργο ισχύ
- Φαινόμενη ισχύ
- Συνολικό συνημίτονο
- Πολική τάση
- Φασική τάση
- Ένταση ρεύματος ανά φάση
- Συχνότητα
- Χρόνο

Παρέχονται:

- Προστασία στο κινητήρα από βραχυκύκλωμα (16KA).
- Προστασία στο κινητήρα από υπερένταση (16A)
- Δέκα εκκινήσεις ανά ώρα
- Ένδειξη σφάλματος
- Ένδειξη ολοκλήρωσης ράμπας εκκίνησης
- Ένδειξη παρουσίας τάσης στην έξοδο
- Ρύθμιση ράμπας εκκίνησης 1-20s
- Ρύθμιση ράμπας πέδησης 1-20s
- Ρύθμιση περιοχής τάσης 40%-70%

Η συνδεσμολογία του πίνακα περιγράφεται από το παρακάτω μονογραμμικό σχέδιο (Σχήμα 5.1):



Σχήμα 5.1: Μονογραμμικό σχέδιο της διάταξης

### 5.3. Ανάλυση τεχνικών χαρακτηριστικών του πίνακα

#### ➤ ΕΠΙΤΟΙΧΟΣ ΣΤΕΓΑΝΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ GEMINI

##### ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΥΨΟΣ: 700mm  
ΠΛΑΤΟΣ: 460mm  
ΒΑΘΟΣ: 260mm



##### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Χρωματισμός κατά RAL 7035.
- Από ανακυκλώσιμο υλικό, φιλικό στο περιβάλλον, χυτευμένο με τη μέθοδο *co-injection*.
- Υψηλός βαθμός αντοχής σε κρούσεις, IK 10.

- Υψηλός βαθμός προστασίας, IP 66.
- Αντοχή στην καύση μέχρι και 750°C.
- Κατάλληλοι για χώρους με ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, -25°C έως 100°C.
- Ανεπηρέαστοι από ηλιακή ακτινοβολία UV και από χημικά υγρά ή αέρια.
- Κατάλληλοι μέχρι 400 A και 1.000 V AC / 1.500 V DC.
- Κλάση ηλεκτρικής μόνωσης II.

Περιλαμβάνονται:

- Μεταλλική βάση στήριξης υλικών διαστάσεων 360x585mm
- Ορθοστάτες
- Τυφλή μετώπη 150mm
- Τυφλή μετώπη 300mm
- Μετώπη με άνοιγμα
- Κανάλια διέλευσης καλωδίων
- Πόρτα αδιαφανής με κλειδαριά
- Ράγα DIN πλάτους 18 στοιχείων (17.5mm πλάτος στοιχείου)

#### **5.4. Ανάλυση τεχνικών χαρακτηριστικών υλικών κατασκευής του πίνακα**

##### **5.4.1. Υλικά κατασκευής κυκλώματος ισχύος**

- **ΡΑΓΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ 3x32A E203-C32**

#### **ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ**

ΠΛΑΤΟΣ: 52.5mm

ΥΨΟΣ: 85mm

ΒΑΘΟΣ: 69mm

ΒΑΡΟΣ: 0.290 Kg



➤ **ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ E219-3C**

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΠΛΑΤΟΣ: 8.75mm



➤ **ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ MS-116-16A**

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΠΛΑΤΟΣ: 45mm

ΥΨΟΣ: 90mm

ΒΑΘΟΣ: 85.6mm

ΒΑΡΟΣ: 0.265 Kg



## ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Ονομαστική τάση λειτουργίας (Ue): Κύριο κύκλωμα 690 V AC
- Ονομαστική ισχύς λειτουργίας: AC-3 (400V) 7.5KW/10hp
- Αντοχή σε βραχυκύκλωμα:16KA.
- Σε περίπτωση σφάλματος το χειριστήριο μεταβαίνει σε ενδιάμεση θέση (trip) μεταξύ ON και OFF.
- Δυνατότητα κλειδώματος του χειριστηρίου σε θέση OFF με λουκέτο ασφαλείας.
- Περιοχή ρύθμισης θερμικού:10-16A
- Παρέχει προστασία στο κινητήρα από βραχυκύκλωμα.
- Παρέχει προστασία στο κινητήρα από υπερένταση.
- Παρέχει προστασία στο κινητήρα σε περίπτωση απώλειας ή σφάλματος τάσεως φάσεων.
- Θερμοκρασία λειτουργίας -25°C.....+70°C
- Ονομαστική Συχνότητα (fr): Κύρια κυκλώματος 50/60 Hz
- Ονομαστική τάση μόνωσης (Ui): 690 V
- Απώλεια ισχύος: Ανά Πόλο 1,1 ... 2,8 W
- Βαθμός προστασίας: IP20
- Ηλεκτρική Ανθεκτικότητα: 100000 κύκλους
- Μηχανική Αντοχή :100000 κύκλους
- Μέγιστο επιτρεπόμενο Υψόμετρο λειτουργίας: 2000 m
- Κατάσταση συμμόρφωσης με RoHS: Μετά από την οδηγία 2002/95/EK της ΕΕ 18, Αυγούστου του 2005 και τροποποίηση.
- Συνεργάζεται με βοηθητική επαφή ένδειξης σφάλματος πλαϊνής τοποθέτησης:



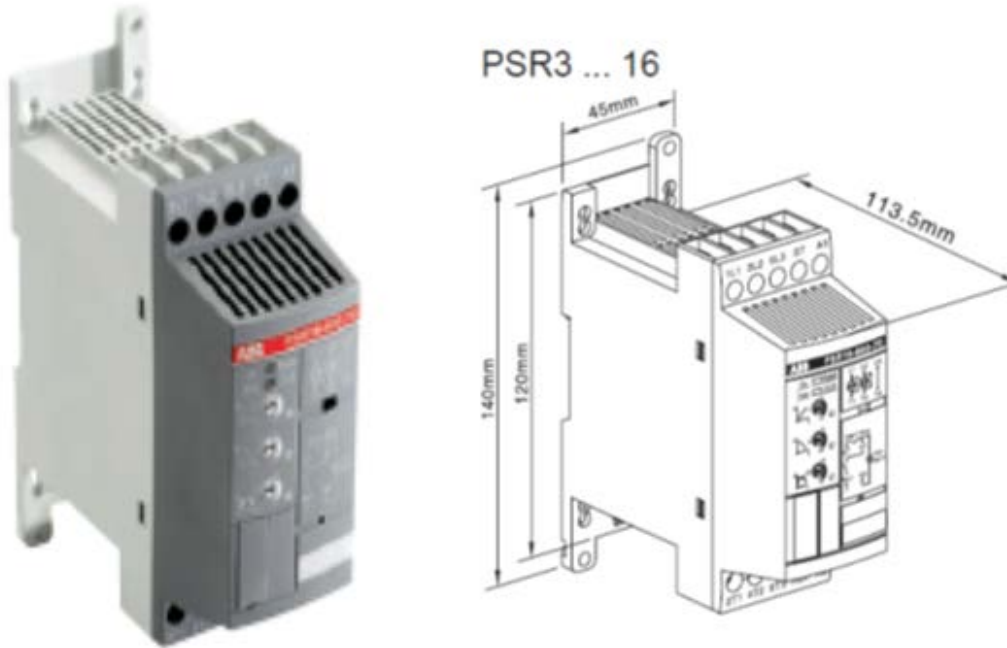
HK1-11



## ➤ ΟΜΑΛΟΣ ΕΚΚΙΝΗΤΗΣ PSR-16A

### ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΠΛΑΤΟΣ: 45mm  
ΥΨΟΣ: 140mm  
ΒΑΘΟΣ: 114mm  
ΒΑΡΟΣ: 0.450 Kg



Με τη χρήση των εκκινήτων ομαλής εκκίνησης πετυχαίνουμε την αντιμετώπιση πολλών μηχανικών και ηλεκτρικών προβλημάτων και εξασφαλίζουμε το μέγιστο της απόδοσης, οικονομίας και χρόνου ζωής των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Όλοι οι συμβατικοί εκκινήτες κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα παρουσιάζουν προβλήματα όπως:

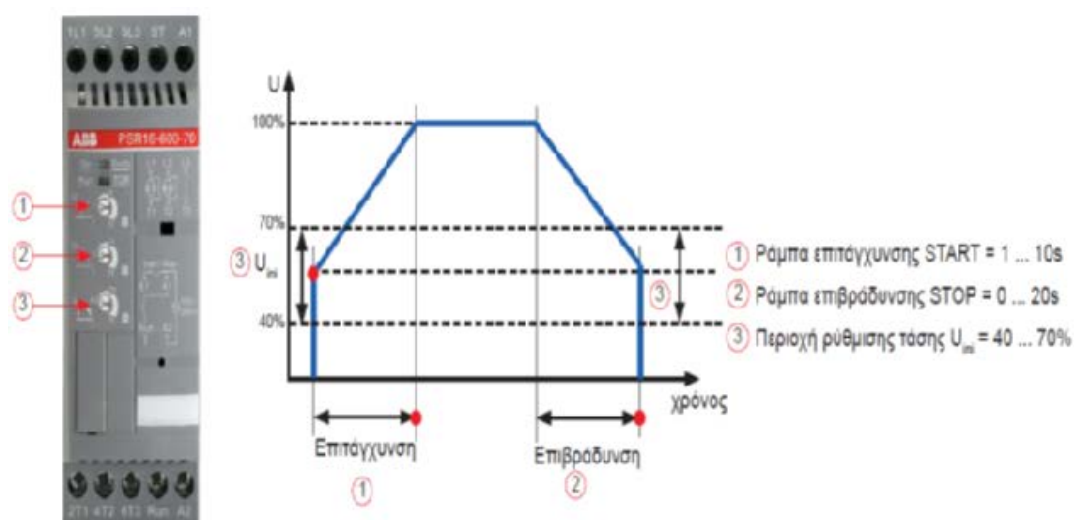
- Τα σοκ ρεύματος που επηρεάζουν το δίκτυο.
- Τα σοκ ροπής που καταπονούν μηχανικά και υδραυλικά φορτία.
- Η αδυναμία προσαρμογής στις ιδιαιτερότητες των φορτίων.
- Η ανάγκη συντήρησης.
- Η αδυναμία πέδησης του κινητήρα.
- Οι αυξημένες θερμικές απώλειες.
- Η φθορά του κινητήρα.
- Η αδυναμία πολλών εκκινήσεων ανά ώρα.
- Η ανάγκη χρήσης 6 καλωδίων (Εκκίνηση με ΥΔ).

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι σημαντικοί για τις βιομηχανίες. Χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τους ανεμιστήρες, τις αντλίες, τις μεταφορικές ταινίες, τους σπαστήρες, τους αεροσυμπιεστές, τα ανυψωτικά μηχανήματα και πολλούς άλλους τύπους μηχανημάτων.

### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Ονομαστική τάση λειτουργίας ( $U_e$ ): Κύριο Κύκλωμα 208 ... 600 V AC
- Ονομαστική ισχύς λειτουργίας ( $P_e$ ): (400V) 7,5 kW
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας: 16 A
- Προστασία υπερφόρτωσης: Συνεργάζεται με MS-116 16A
- Αριθμός εκκινήσεων ανά ώρα: 10
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-25^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$
- Μέγιστο υψόμετρο: 4000m
- Βαθμός προστασίας: IP20
- Ράμπα εκκίνησης: 1-20s
- Ράμπα πέδησης: 1-20s

Περιοχή ρύθμισης τάσης: 40% - 70% της ονομαστικής τάσης



### Ενδείξεις On/Ready

Αναβοσβήνει: Παρουσία τάσης στο βοηθητικό κύκλωμα.

Σταθερό: Παρουσία τάσης στο κύκλωμα ισχύος. Έτοιμο για εκκίνηση.

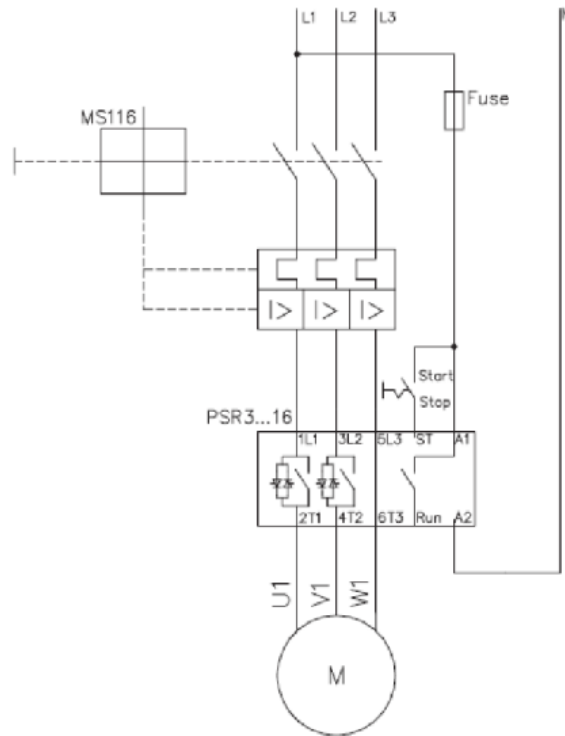
### Ενδείξεις Run/TOR

Αναβοσβήνει: Παρουσία τάσης στην έξοδο. Λειτουργία Run.

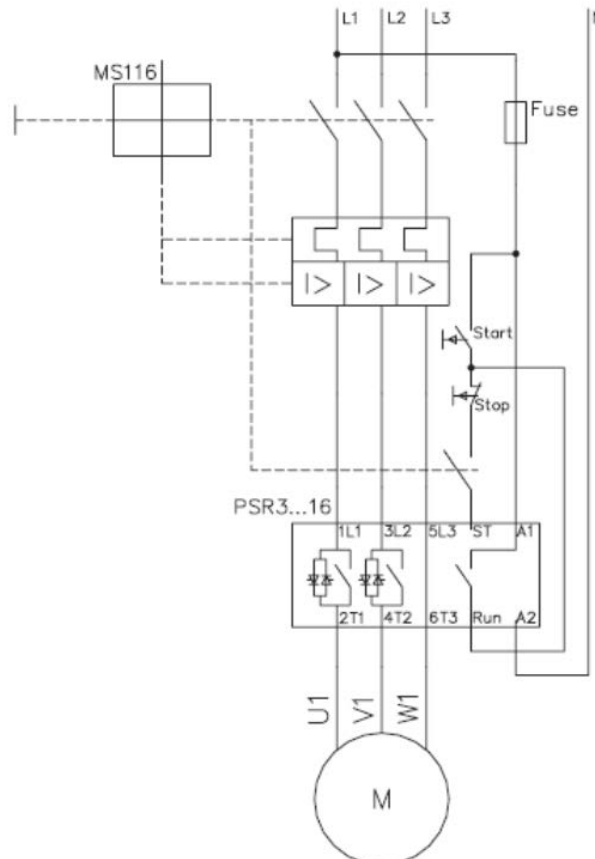
Σταθερό: Ολοκλήρωση ράμπας εκκίνησης (TOR).

## Παραδείγματα εφαρμογών ομαλού εκκινητή PSR-16

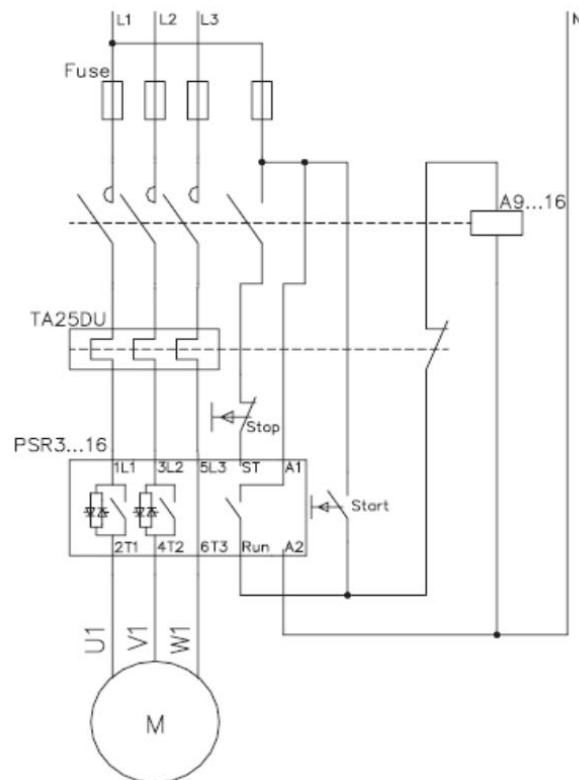
1) Με επιλογικό διακόπτη Ο-Ι:



2) Με θερμομαγνητικό διακόπτη και δύο μπουτόν START-STOP:



- 3) Με ασφάλειες, επαφείς, ηλεκτρονόμο υπερφόρτισης και δύο μπουτόν START-STOP:



#### 5.4.2. Υλικά κατασκευής κυκλώματος ελέγχου

- Μπουτόν Start Φ22( περιλαμβάνει βοηθητική επαφή NO)



- Μπουτόν Stop Φ22(περιλαμβάνει βοηθητική επαφή NC)



- Μπουτόν μανιτάρι ανάγκης Φ40(περιλαμβάνει βοηθητική επαφή NC)



- Αυτόματη ασφάλεια S201-C10A



- Ενδεικτική λυχνία με LED



- Μετασχηματιστής εντάσεως 60/5A

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

30x20x10mm.



- Αυτόματη ασφάλεια S201-C6A



### 5.4.3. Όργανο μέτρησης

➤ DATATELEKOM DKM-405

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

96x96mm



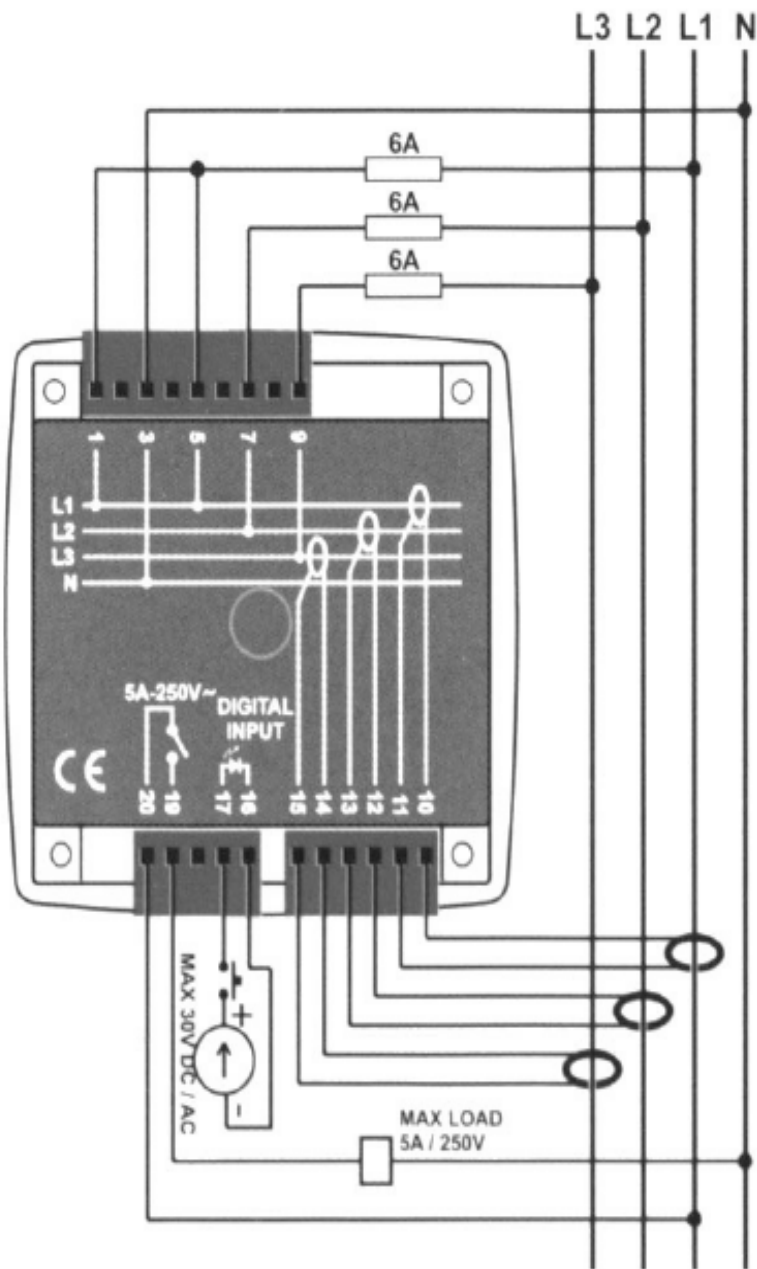
### Δυνατότητα μέτρησης

- Πραγματικής ισχύος
- Άεργου ισχύος
- Φαινομένης ισχύος
- Τάσεως ανά φάση
- Εντάσεως ρεύματος ανά φάση
- Συνολικό συνημίτονο
- Αρμονικών
- Χρόνου

### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Βαθμός προστασίας: IP54
- Κατανάλωση: <1.5W
- Ακρίβεια μέτρησης: ±0.5%
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C....+80°C

- Τάση λειτουργίας: 175-275VAC





## 5.5. Αναλυτικός πίνακας κόστους κατασκευής

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
24261	ΕΠΙΤΟΙΧΟΣ ΣΤΕΓΑΝΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ IP66/IK10 460X700X260(mm)	ABB	1	47,97	47,97
24283	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΛΙΚΩΝ 360X585(mm)	ABB	1	13,75	13,75
24329	ΤΥΦΛΗ ΜΕΤΩΠΗ 300mm	ABB	1	12,79	12,79
23424	ΡΑΓΑ DIN	ABB	2	4,16	8,32
23344	ΚΑΝΑΛΙ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ 40X60mm	ABB	3	3,84	11,52
17937	ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ MS116-16A 16KA	ABB	1	20,61	20,61
28203	ΟΜΑΛΟΣ ΕΚΚΙΝΗΤΗΣ PSR-16A	ABB	1	142,00	142,00
26390	ΑΣΦΑΛΕΙΑ SH201-C10A	ABB	1	3,13	3,13
47664	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ E219-3C	ABB	1	8,95	8,95
12307	ΠΙΝΑΚΙΔΑ ΣΗΜΑΝΣΗΣ START	ABB	1	2,25	2,25
12308	ΠΙΝΑΚΙΔΑ ΣΗΜΑΝΣΗΣ STOP	ABB	1	2,25	2,25
24744	ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ S201-C6	ABB	4	4,15	16,60
15335	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΛΗΠΤΗΣ 5X16A	ABB	1	2,94	2,94
24267	ΠΟΡΤΑ ΕΡΜΑΡΙΟΥ ΑΔΙΑΦΑΝΗΣ	ABB	1	27,18	27,18
23422	ΟΡΘΟΣΤΑΤΗΣ(ΖΕΥΓΟΣ)	ABB	1	9,59	9,59
24325	ΤΥΦΛΗ ΜΕΤΩΠΗ 150mm	ABB	1	7,36	7,36
23425	ΜΕΤΩΠΗ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΡΑΓΑΣ	ABB	1	11,51	11,51
24347	ΧΕΡΟΥΛΙ ΠΟΡΤΑΣ ΜΕ ΚΛΕΙΔΙ	ABB	1	9,59	9,59
26545	ΡΑΓΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ 3X32A E203-32A	ABB	1	8,95	8,95
29766	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ LED 230VAC(ΠΡΑΣΙΝΗ)	ABB	1	4,36	4,36
29760	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ LED 230VAC(ΚΟΚΚΙΝΗ)	ABB	1	4,36	4,36
12377	ΜΠΟΥΤΟΝ START Φ22	ABB	1	3,65	3,65
12380	ΜΠΟΥΤΟΝ STOP Φ22	ABB	1	3,65	3,65
12398	ΜΠΟΥΤΟΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙ Φ40 ΣΤΡΙΦΤΟ	ABB	1	7,22	7,22
18656	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ 40/5	ABB	3	9,97	29,91
17939	ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΕΠΑΦΗ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΛΑΙΝΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ 1NO+1NC	ABB	1	5,54	5,54
	ΣΤΥΠΙΟΘΛΙΠΤΗΣ PG29 ΠΛΑΣΤΙΚΟΣ	ADELEQ	1	1,10	1,10
	ΠΑΞΙΜΑΔΙ PG29 ΠΛΑΣΤΙΚΟ	ADELEQ	1	0,70	0,70
	ΜΠΑΡΑ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ	ADELEQ	1	1,75	1,75
	ΜΠΑΡΑ ΓΕΙΩΣΗΣ	ADELEQ	1	1,75	1,75
12556225	ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ ΣΩΛΗΝΑΚΙ 2.5mm	ADELEQ	100	0,01	0,70
	ΣΠΙΡΑΛ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	ADELEQ	1	3,45	3,45
	ΓΕΜΙΣΜΑΤΑ ΠΙΝΑΚΟΣ	ADELEQ	1	0,95	0,95
1340214	ΟΡΓΑΝΟ DKM-405	DATATEL EKOM	1	89,60	89,60
H05VV-F5G2,5	ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΥΠΟΥ ΝΥΜΗΥ 5X2.5mm	NEXANS	6	1,74	10,44
H07V-K1X1,5	ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΥΠΟΥ ΝΥΑΦ 1X1.5mm	NEXANS	3	0,18	0,54
H07V-K1X2,5	ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΥΠΟΥ ΝΥΑΦ 1X2.5mm	NEXANS	3	0,30	0,90
01-50-2634	ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΗΣ ΣΩΛΗΝΑΣ Φ16(SPIRAL)	VIOKAR	6	1,45	8,70
	ΜΠΟΡΝΕΣ ΙΣΧΥΟΣ		5	1,50	7,50

**ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: €54,03**

## **6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

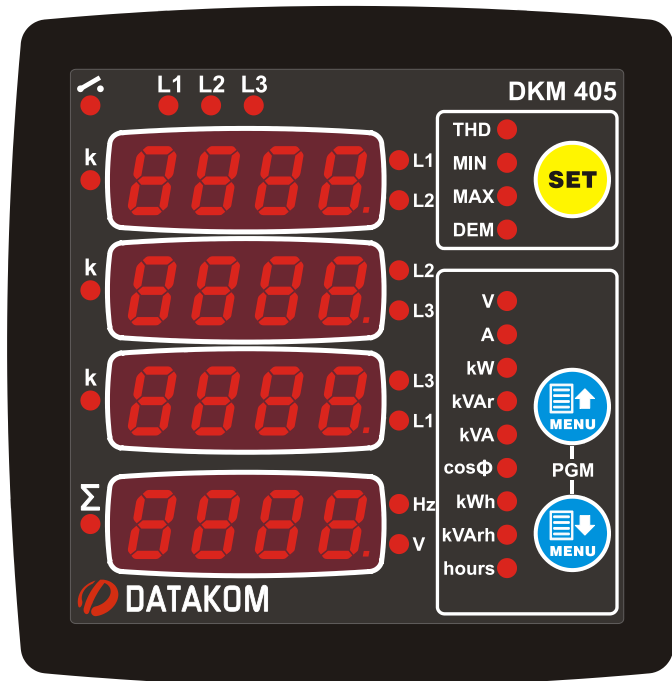
### 6.1 Εγχειρίδιο λειτουργίας οργάνου μέτρησης DKM-405

## 6.2 Εγχειρίδιο λειτουργίας ομαλού εκκινήτη PSR-16



# DKM-405 NETWORK ANALYSER

## WITH TOTAL HARMONIC DISTORTION DISPLAY



### INTRODUCTION

The DKM-405 is a low cost precision instrument designed to display various AC parameters in a 3-phase distribution panel.

The standard unit is designed for 230/400V network. A different version is available for 120/208V systems.

The harmonic analysis is available for up to 31 harmonics. THD values of both voltage and current inputs are available.

The optional digital input accepts both AC and DC signals and has programmable functions.

The optional relay output is programmable. Relay function is selected through a list.

The unit fits into a standard 92x92mm panel opening.

### FEATURES

**True RMS measurements**

**Total harmonic distortion display**

**Max demand display**

**Configurable relay output**

**Energy pulse output capability**

**Optically isolated, configurable digital input**

**Active-reactive power counters**

**Hour counter**

**Voltage transformer ratio for MV applications**

**Front panel programming**

**Reduced panel depth**

**Wide operating temperature range**

**Sealed front panel (IP54)**

**Plug-in connection system**



## **SAFETY NOTICE**

**Failure to follow below instructions will result in death or serious injury**



- **Electrical equipment should be installed only by qualified specialist. No responsibility is assured by the manufacturer or any of its subsidiaries for any consequences resulting from the non-compliance to these instructions.**
- **Check the unit for cracks and damages due to transportation. Do not install damaged equipment.**
- **Do not open the unit. There is no serviceable parts inside.**
- **Fuses must be connected to the power supply and phase voltage inputs, in close proximity of the unit.**
- **Fuses must be of fast type (FF) with a maximum rating of 6A.**
- **Disconnect all power before working on equipment.**
- **When the unit is connected to the network do not touch terminals.**
- **Short circuit terminals of unused current transformers.**
- **Any electrical parameter applied to the device must be in the range specified in the user manual.**
- **Do not try to clean the device with solvent or the like. Only clean with a dry cloth.**
- **Verify correct terminal connections before applying power.**
- **Only for front panel mounting.**



**Current Transformers must be used for current measurement.**

**No direct connection allowed.**

## TABLE OF CONTENTS

### Section

1. INSTALLATION
  - 1.1. FRONT / REAR PANELS
  - 1.2. MECHANICAL INSTALLATION
  - 1.3. ELECTRICAL INSTALLATION
  - 1.4. CONNECTION DIAGRAM
2. PUSHBUTTON FUNCTIONS
3. DISPLAY NAVIGATION
4. DEVICE CONFIGURATION
  - 4.1. INTRODUCTION
  - 4.2. RESETTING DEMAND VALUES
  - 4.3. RESETTING ENERGY COUNTERS
  - 4.4. RESETTING THE HOUR COUNTER
  - 4.5. RESETTING ALARMS
  - 4.6. SETTING THE DEFAULT SCREEN
  - 4.7. SETTING THE CURRENT TRANSFORMER RATIO
  - 4.8. SETTING THE VOLTAGE TRANSFORMER RATIO
  - 4.9. SETTING HIGH AND LOW VOLTAGE LIMITS
  - 4.10. SETTING HIGH AND LOW FREQUENCY LIMITS
  - 4.11. SETTING THE OVERCURRENT LIMIT
  - 4.12. SETTING HIGH AND LOW ACTIVE POWER LIMITS
  - 4.13. SETTING HIGH AND LOW REACTIVE POWER LIMITS
  - 4.14. SETTING HIGH AND LOW POWER FACTOR LIMITS
  - 4.15. CONFIGURING THE DIGITAL INPUT
  - 4.16. CONFIGURING THE RELAY OUTPUT
  - 4.17. DISPLAYING THE FIRMWARE VERSION
  - 4.18. CALIBRATION
  - 4.19. LAMP TEST
5. TECHNICAL SPECIFICATIONS

## 1. INSTALLATION

### **Before installation:**

- Read the user manual carefully, determine the correct connection diagram.
- Remove all connectors and mounting brackets from the unit, then pass the unit through the mounting opening.
- Put mounting brackets and tighten. Do not tighten too much, this can brake the enclosure.
- Make electrical connections with plugs removed from sockets, then place plugs to their sockets.
- Note that the power supply terminal is separated from measurement terminals.

### **Below conditions may damage the device:**

- Incorrect connections.
- Incorrect power supply voltage.
- Voltage at measuring terminals beyond specified range.
- Current at measuring terminals beyond specified range.
- Connecting or removing data terminals when the unit is powered-up.
- Overload or short circuit at relay outputs
- Voltage applied to digital inputs over specified range.
- High voltage applied to communication port.



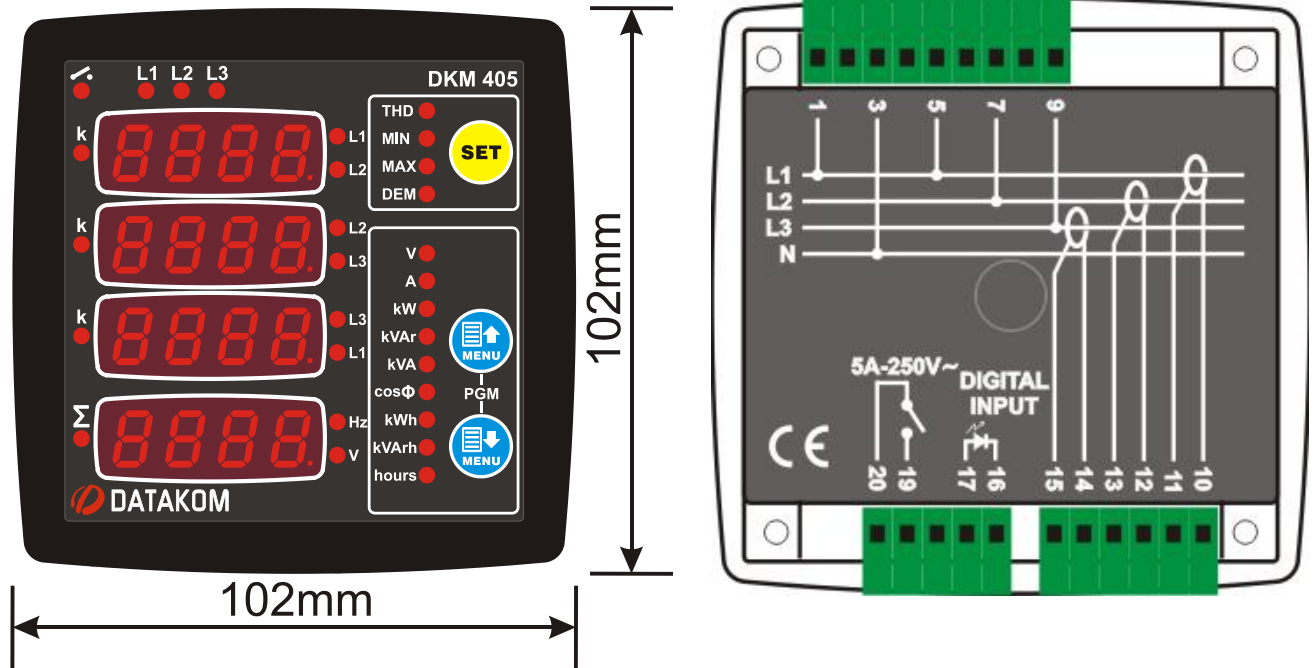
**Current Transformers must be used for current measurement.**

**No direct connection allowed.**

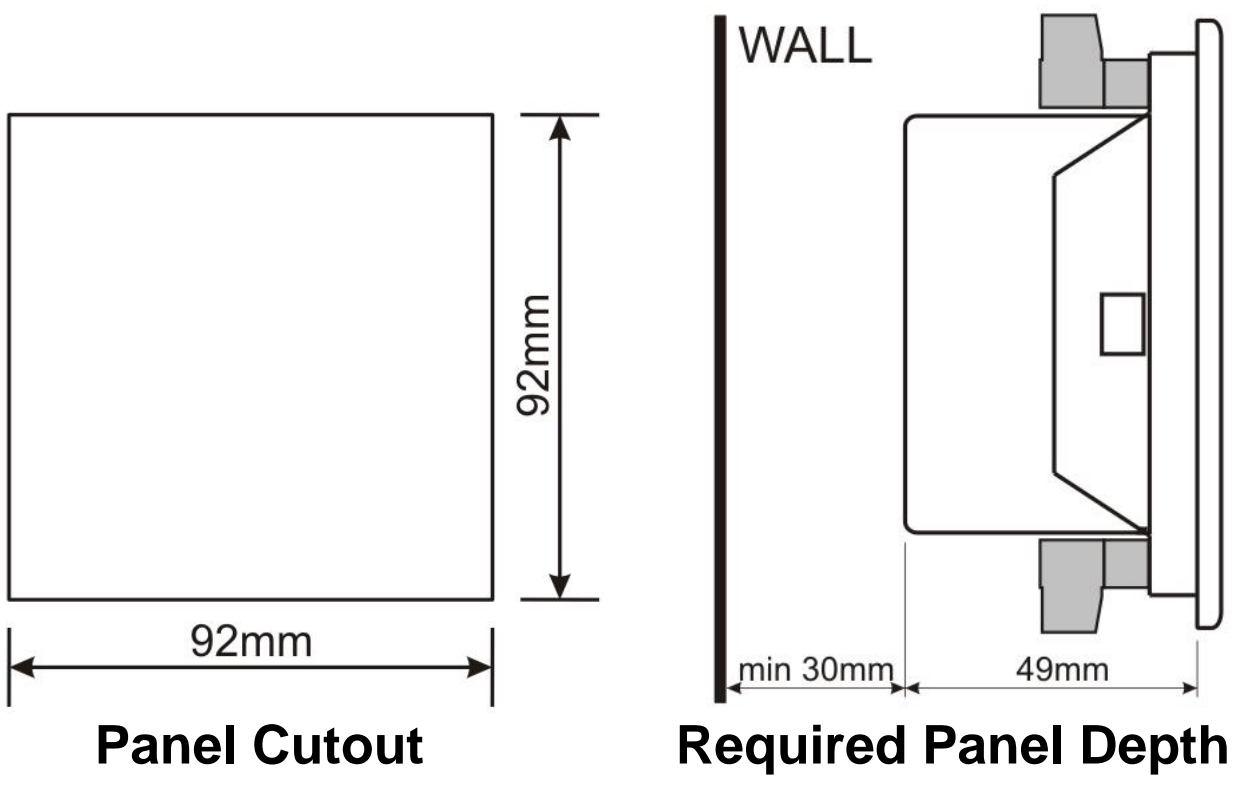
### **Below conditions may cause abnormal operation:**

- Power supply voltage below minimum acceptable level.
- Power supply frequency out of specified limits
- Phase order of voltage inputs not correct.
- Current transformers not matching related phases.
- Current transformer polarity incorrect.

### 1.1 FRONT / REAR PANELS



### 1.2 MECHANICAL INSTALLATION





## 1.3 ELECTRICAL INSTALLATION



**Do not install the unit close to high electromagnetic noise emitting devices like contactors, high current busbars, switchmode power supplies and the like.**

Although the unit is protected against electromagnetic disturbance, excessive disturbance can affect the operation, measurement precision and data communication quality.

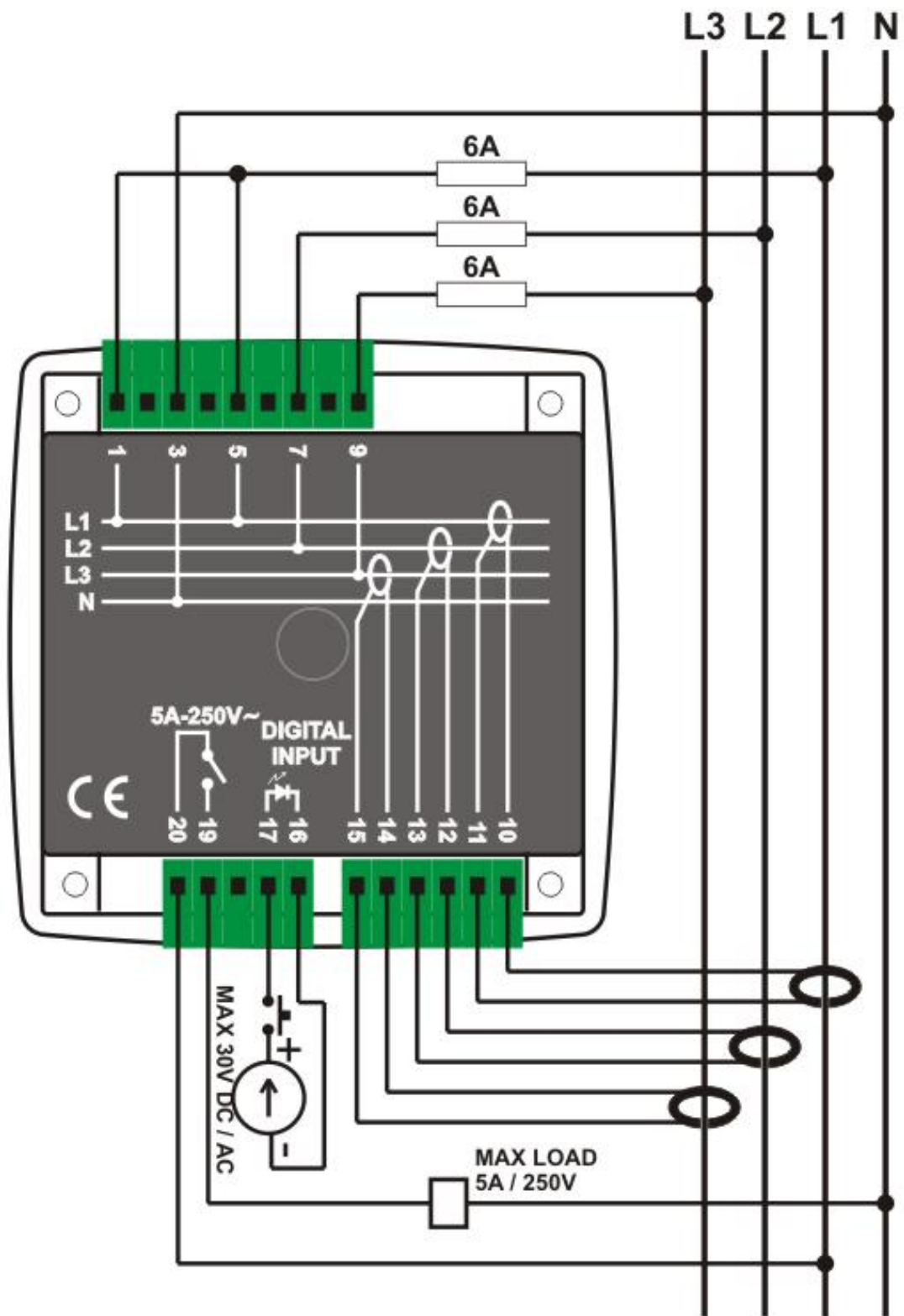
- **ALWAYS** remove plug connectors when inserting wires with a screwdriver.
- Fuses must be connected to the power supply and phase voltage inputs, in close proximity of the unit.
- Fuses must be of fast type (FF) with a maximum rating of 6A.
- Use cables of appropriate temperature range.
- Use adequate cable section, at least 0.75mm<sup>2</sup> (AWG18).
- For current transformer inputs, use at least 1.5mm<sup>2</sup> section (AWG15) cable.
- The current transformer cable length should not exceed 1.5 meters. If longer cable is used, increase the cable section proportionally.
- Follow national rules for electrical installation.
- Current transformers must have 5A output.



**Current Transformers must be used for current measurement.**






**No direct connection allowed.**

# 1.4 CONNECTION DIAGRAM

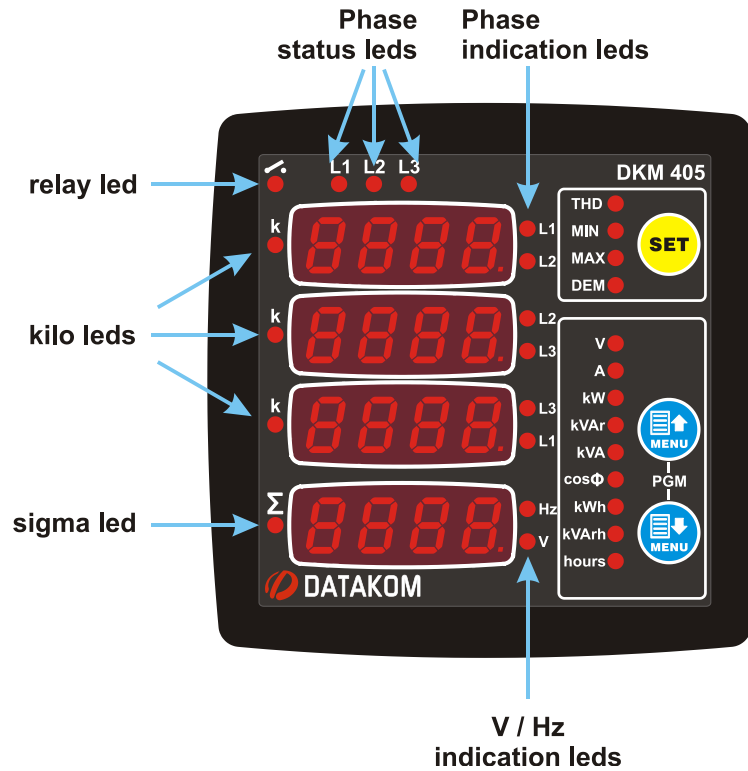





## 2. PUSHBUTTON FUNCTIONS

Three buttons on the front panel provide access to configuration and measurement screens.

BUTTON	FUNCTION
	<p><b><u>Selects display context</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• THD display</li> <li>• Minimum values display</li> <li>• Maximum values display</li> <li>• Demand display</li> <li>• If all leds are off then actual measurements display.</li> </ul>
	<p><b><u>HELD PRESSED FOR 5 SEC:</u></b> resets min-max values and displays minimum phase-to-neutral voltages.</p>
	<p>Upper screen or Increase related value (configuration mode)</p>
	<p>Lower screen or Decrease related value (configuration mode)</p>
	<p><b><u>HELD PRESSED TOGETHER FOR 2 SEC:</u></b> Enters configuration mode.</p>
	<p><b><u>IF NO BUTTON PRESSED FOR 5 MINUTES:</u></b> returns to the main display screen</p>

### 3. DISPLAY NAVIGATION



The  button will select the display context and   buttons will navigate between possible values of this context.

- Phase indication leds** will reflect the phase displayed on the screen.
- Phase status leds** will turn-on if the related phase voltage is above 70 volts.
- Relay led** will turn-on when the relay output is active.
- Kilo leds** will turn on if the displayed value is in kA/kV/kW/kVA/kVAR.
- Sigma led** will turn on when displaying total values.
- V / Hz leds** will turn-on when the displayed value is in volts or hertz.

**Display of currents:** If the CT ratio is below 200/5 then currents will be displayed with 0.1A precision. If the CT ratio is between 200/5 and 2000/5 then currents are displayed with 1A precision. If the CT ratio is above 2000/5 then currents are displayed with 0.01 kA precision and the “k” led will turn on.

**Display of voltages:** If the VT ratio is above 100.0/1 then voltages will be displayed with 0.1kV precision. If the VT ratio is between 100.0/1 and 20.0/1 then voltages will be displayed with 0.01kV precision. In both cases the “k” led will turn on. If the VT ratio is below 20.0/1 then voltages are directly displayed with 1V precision.

**Display of kW, kVA, kVAR:** If the product CTxVT is below 1000 then the values will be displayed with 0.1k precision. Otherwise they will be displayed with 1k precision.

**Display of kWh, kVArh, Hours:** Values are displayed with a precision of 0.1 k (or hour).

## 4. DEVICE CONFIGURATION

### 4.1 INTRODUCTION

In order to offer the maximum flexibility to the user, the unit has several configurable parameters.

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Device Configuration</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Default display configuration</li> </ul> </li> <li>• <b>Measurement Configurations</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resetting Demand Values</li> <li>➤ Clearing Counters</li> <li>➤ Resetting Alarms</li> <li>➤ Setting the CT ratio</li> <li>➤ Setting the VT ratio</li> <li>➤ Setting alarm limits</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Input / Output Configuration</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Input Configuration</li> <li>➤ Relay Configuration</li> </ul> </li> <li>• <b>Device Calibration</b></li> </ul> |
|---|--|



In order to enter the configuration menu, hold both MENU buttons pressed for 2 seconds.



In order to exit the configuration menu, hold both MENU buttons pressed for 2 seconds. If no button is pressed, the unit will automatically close the configuration menu after 1 minute.



Parameter values are increased / decreased with MENU buttons. Holding the button pressed will increase / decrease with larger steps.

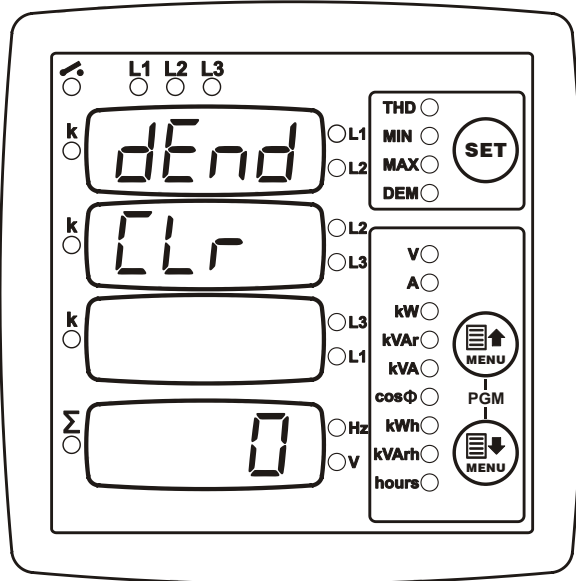


Pressing the SET button will save the current parameter and display the next parameter.



Holding the SET button pressed for 2 seconds will display the previous parameter.

## 4.2 RESETTING DEMAND VALUES



Parameter value:

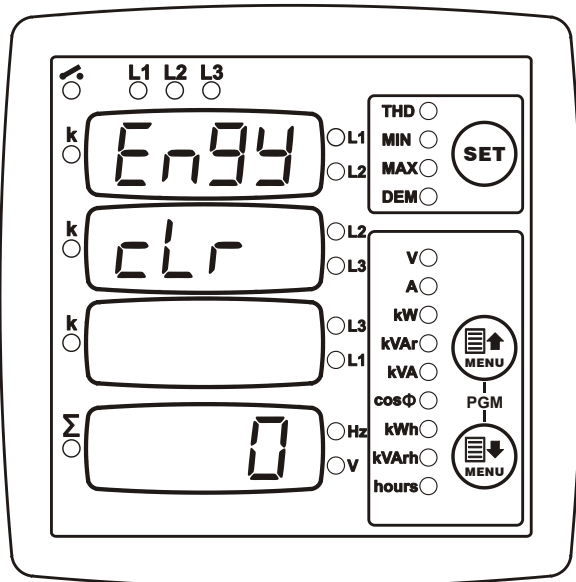
**0:** No action

**1:** Reset Demand values

Setting this parameter to 1 will reset demand values.

The parameter value is not stored into memory and reads always 0.

## 4.3 RESETTING ENERGY COUNTERS



Parameter value:

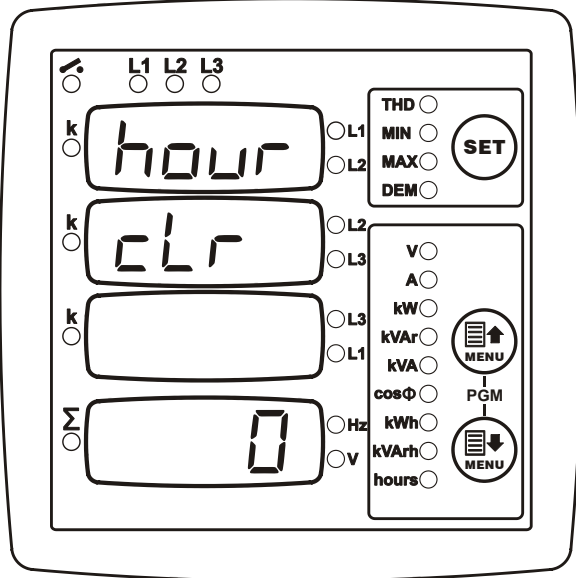
**0:** No action

**1:** Reset kWh and kVArh counters

Setting this parameter to 1 will reset powermeter counters.

The parameter value is not stored into memory and reads always 0.

### 4.4 RESETTING THE HOUR COUNTER



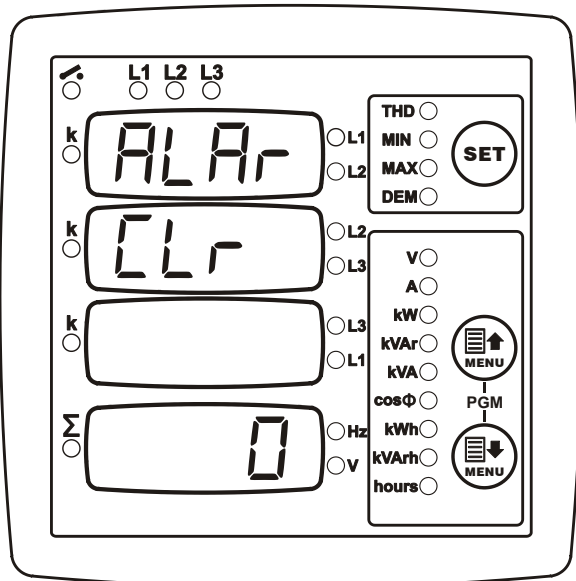
Parameter value:

- 0:** No action
- 1:** Reset hour counter

Setting this parameter to 1 will reset the hour counter.

The parameter value is not stored into memory and reads always 0.

### 4.5 RESETTING ALARMS



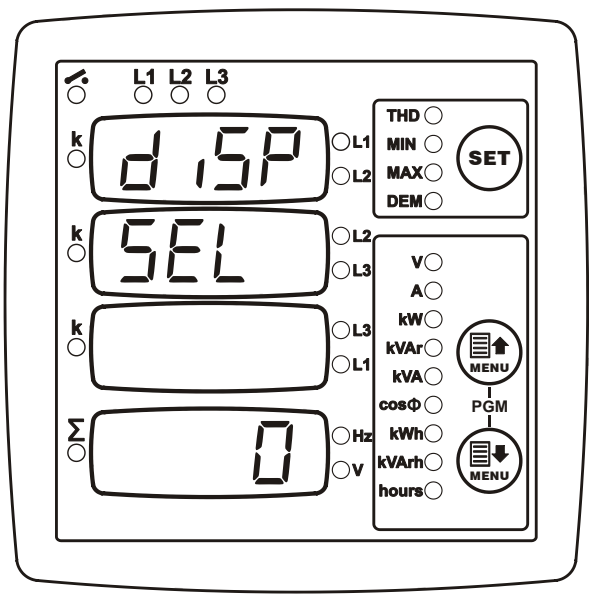
Parameter value:

- 0:** No action
- 1:** Reset alarms

Setting this parameter to 1 will reset existing alarms.

The parameter value is not stored into memory and reads always 0.

## 4.6 SETTING THE DEFAULT SCREEN



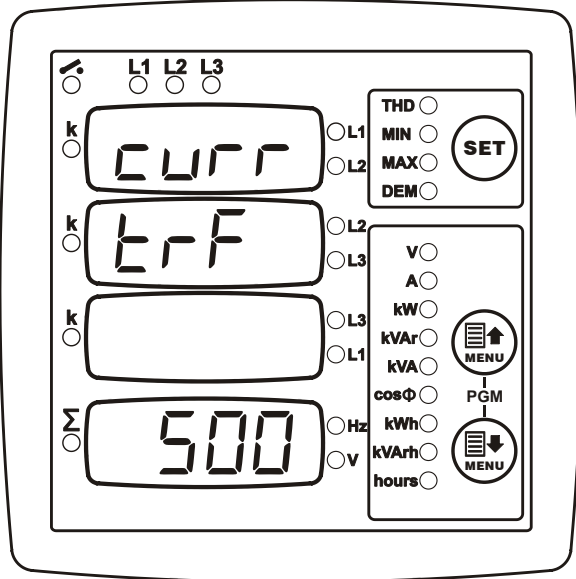
This parameter selects the default screen that the unit returns 5 minutes after any key is pressed.

Setting this parameter to 0 will cancel the default screen.

Param. value	Upper displays	Lower display
0	no change	no change
1	Voltages L-N	Frequency
2	Voltages L-L	Frequency
3	Voltages L-L	Voltage L1-N
4	Currents	Total current
5	Currents	Frequency
6	Currents	Voltage L1-N
7	Phase kW	Total kW
8	Phase kW	Frequency
9	Phase kW	Voltage L1-N
10	Phase kVA	Total kVA
11	Phase kVA	Frequency
12	Phase kVA	Voltage L1-N
13	Phase kVA	Total kVA
14	Phase kVA	Frequency
15	Phase kVA	Voltage L1-N
16	Phase cosφ	Average cosφ
17	Phase cosφ	Frequency
18	Phase cosφ	Voltage L1-N
19	-	kWh counter
20	-	kVArh counter
21	-	hour counter



### 4.7 SETTING THE CURRENT TRANSFORMER RATIO



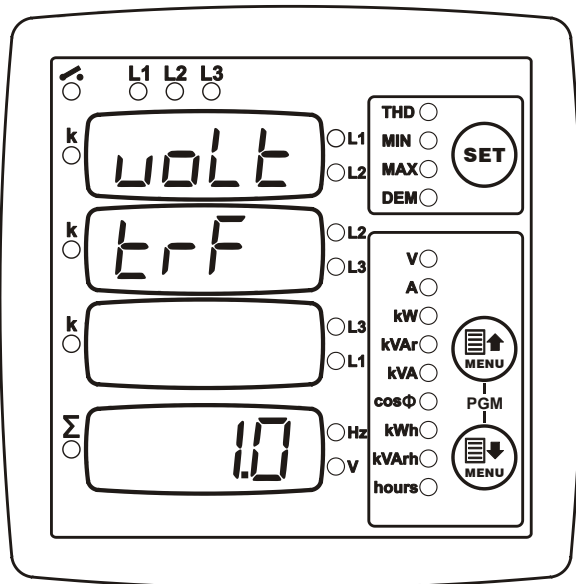
This parameter sets the primary rating of current transformers.

Current transformer secondary rating should be 1 Amps.

The factory set default value is 500/5A.

Acceptable values are 5/5A to 5000/5A.

### 4.8 SETTING THE VOLTAGE TRANSFORMER RATIO



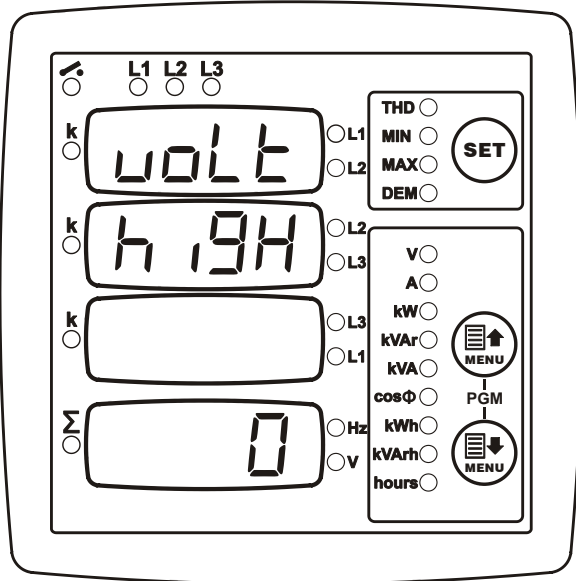
This parameter sets the ratio of voltage transformers.

All voltage and power measurements will be displayed after multiplication with this parameter.

The factory set default value is 1.0

Acceptable values are 0.1 to 200.0

**4.9 SETTING HIGH AND LOW VOLTAGE LIMITS**



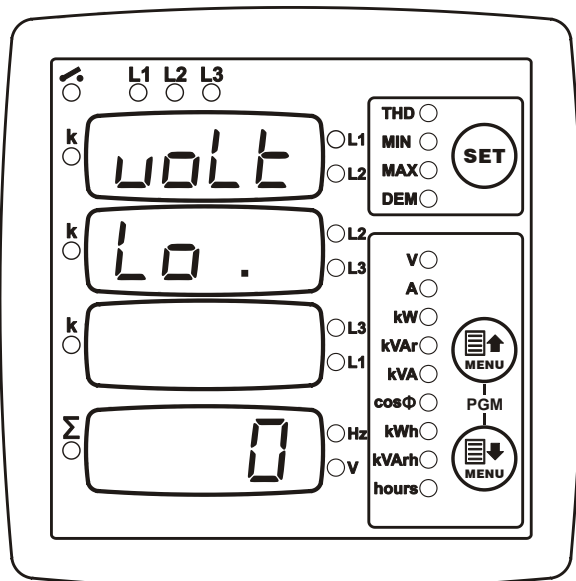
This parameter sets the high limit for high voltage alarm.

Only **phase to neutral** voltages are monitored and generate alarms.

If the parameter is set to 0 then no high voltage alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 12'000volts



This parameter sets the low limit for low voltage alarm.

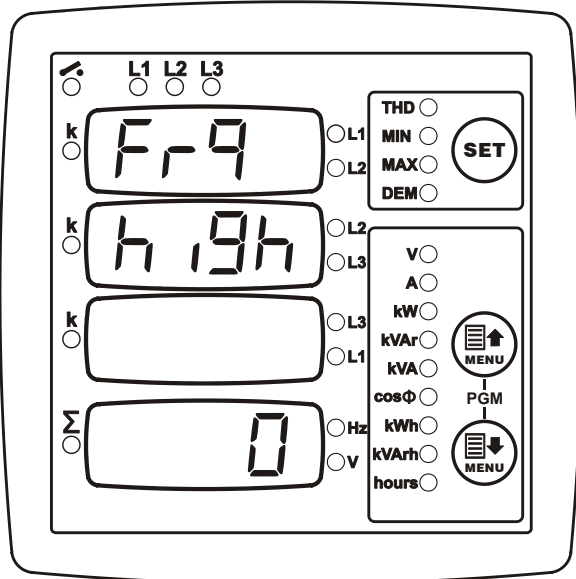
Only **phase to neutral** voltages are monitored and generate alarms.

If the parameter is set to 0 then no low voltage alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 12'000volts

**4.10 SETTING HIGH AND LOW FREQUENCY LIMITS**

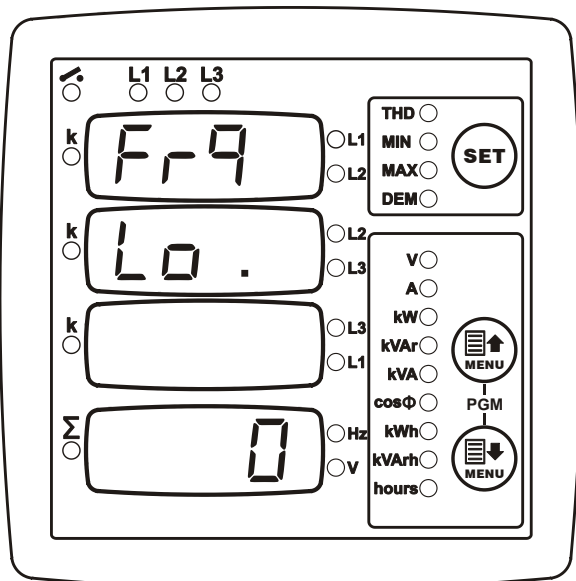


This parameter sets the high limit for high frequency alarm.

If the parameter is set to 0 then no high frequency alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 400Hz.



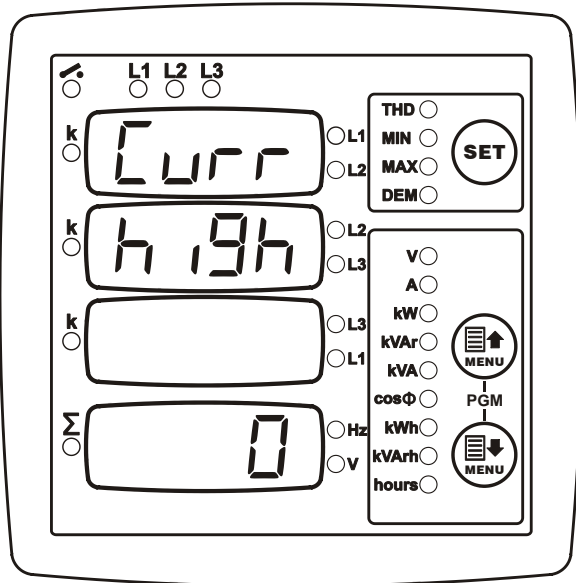
This parameter sets the low limit for low frequency alarm.

If the parameter is set to 0 then no low frequency alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 400Hz.

**4.11 SETTING THE OVERCURRENT LIMIT**



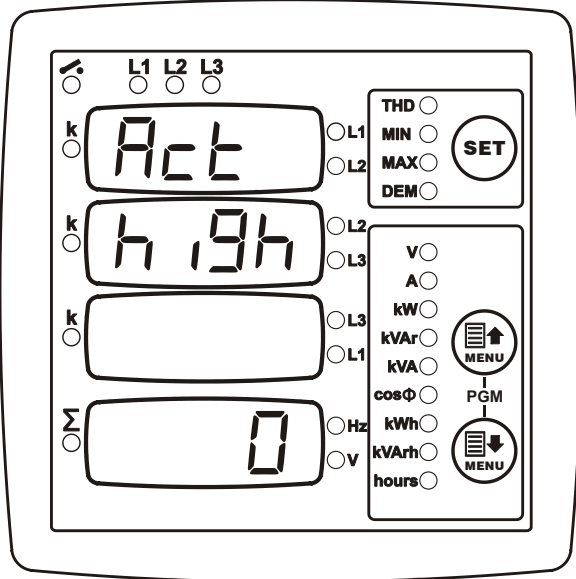
This parameter sets the high limit for overcurrent alarm.

If the parameter is set to 0 then no overcurrent alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 5000Amps.

**4.12 SETTING HIGH AND LOW ACTIVE POWER LIMITS**

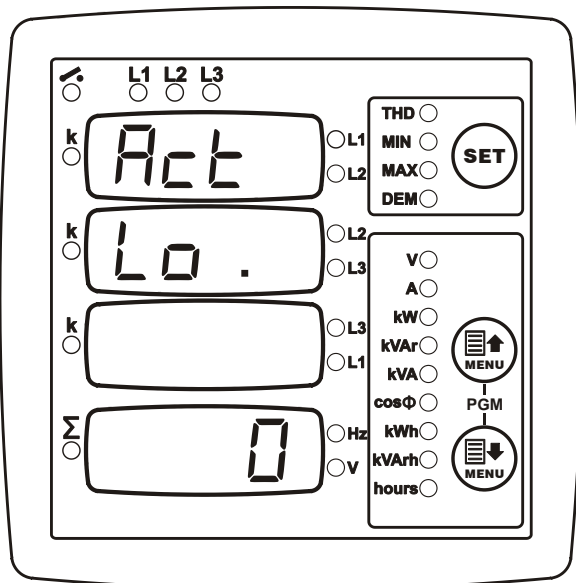


This parameter sets the high limit for excess active power alarm.

If the parameter is set to 0 then no excess active power alarm will occur.

The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 6500kW.



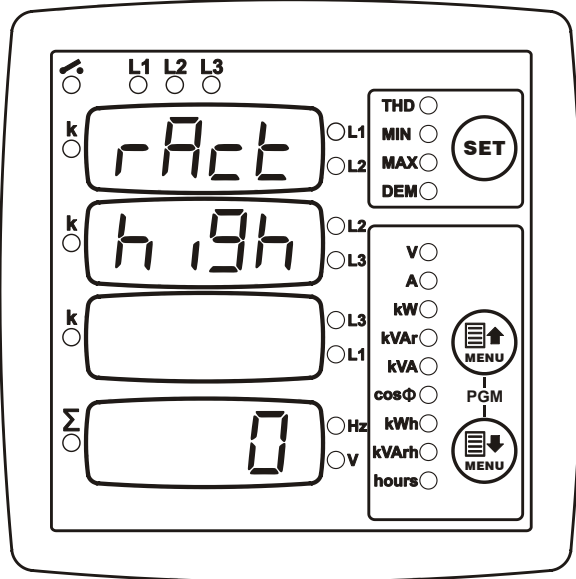
This parameter sets the low limit for low active power alarm.

If the parameter is set to 0 then no low active power alarm will occur.

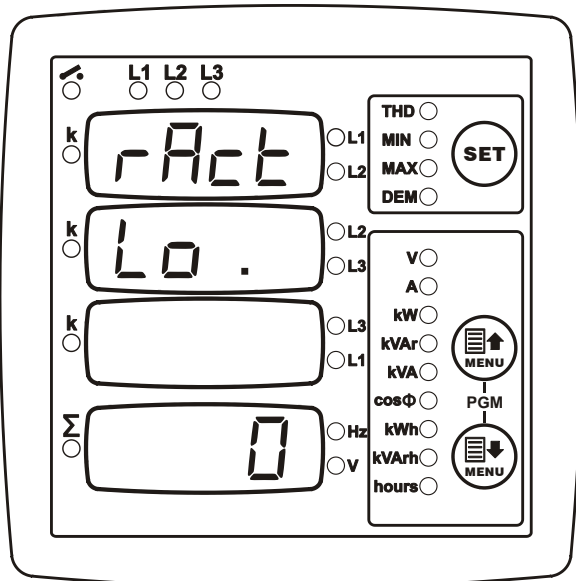
The factory set default value is 0

Acceptable values are 0 to 6500kW.

**4.13 SETTING HIGH AND LOW REACTIVE POWER LIMITS**

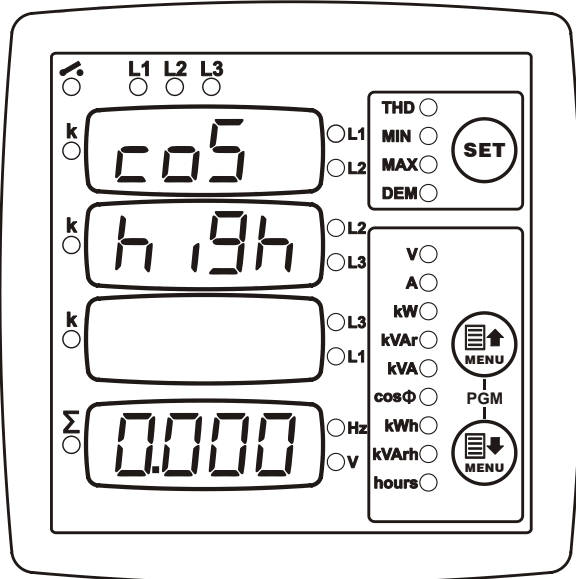


This parameter sets the high limit for excess reactive power alarm.  
 If the parameter is set to 0 then no excess reactive power alarm will occur.  
 The factory set default value is 0  
 Acceptable values are 0 to 6500kVA.



This parameter sets the low limit for low reactive power alarm.  
 If the parameter is set to 0 then no low reactive power alarm will occur.  
 The factory set default value is 0  
 Acceptable values are 0 to 6500kVA.

**4.14 SETTING HIGH AND LOW POWER FACTOR LIMITS**

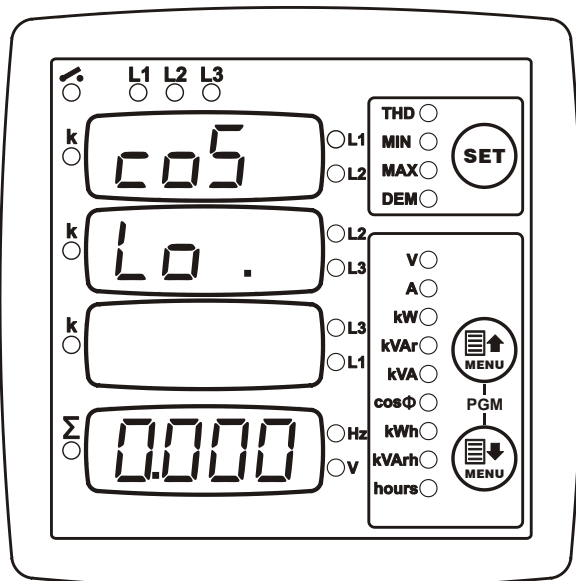


This parameter sets the high limit for high  $\cos\phi$  alarm.

If the parameter is set to 0.000 then no high  $\cos\phi$  alarm will occur.

The factory set default value is 0.000

Acceptable values are 0.000 to 1.000



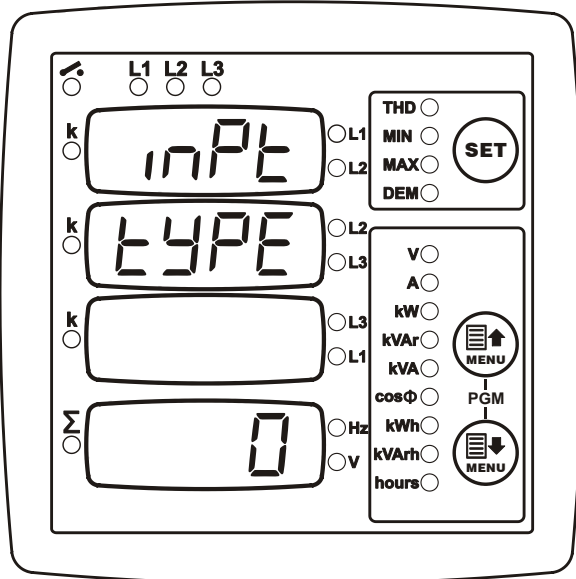
This parameter sets the low limit for low  $\cos\phi$  alarm.

If the parameter is set to 0.000 then no low  $\cos\phi$  alarm will occur.

The factory set default value is 0.000

Acceptable values are 0.000 to 1.000

**4.15 CONFIGURING THE DIGITAL INPUT**

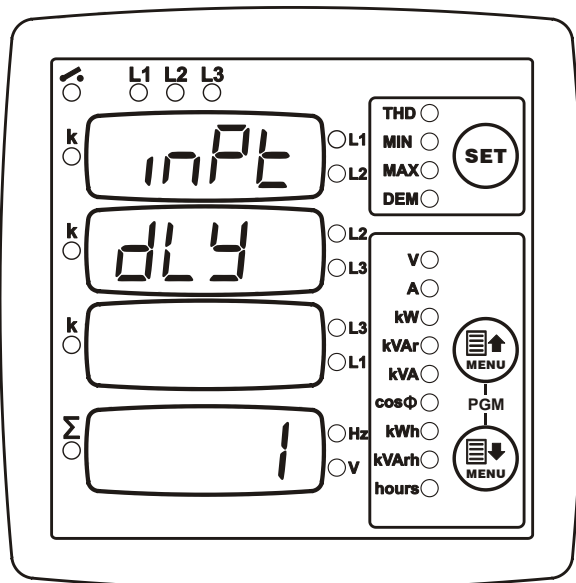


This parameter sets the active status of the digital input signal.

- 0:** input active when signal applied
- 1:** input active when signal removed

The input signal is 5 to 30V AC or DC applied between terminals 16 and 17 with the polarity shown in the connection diagram.

The factory set default value is 0.



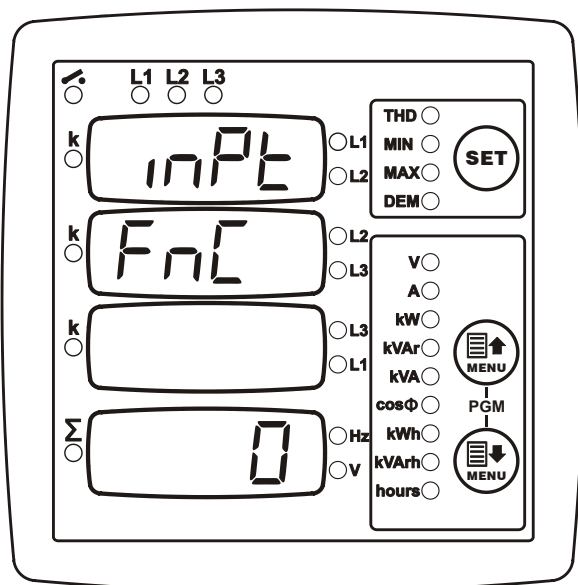
This parameter sets the detection delay of the digital input signal in milliseconds.

This delay is necessary to prevent spurious signal detection due to electrical noise.

The factory set default value is 1ms.

Acceptable values are 1 to 1000ms.



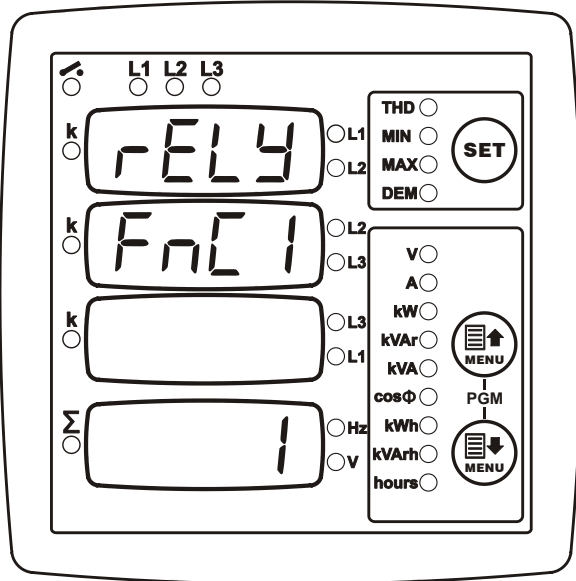


This parameter sets the function of the digital input.

The factory set default value is 0.

Value	Function when signal active	Function when signal passive
0	kWh and kVArh counters increment	no increment
1	kWh and kVArh counters increment	kWh and kVArh counters reset to zero
2	kWh, kVArh, hour counters increment	no increment
3	kWh, kVArh, hour counters increment	kWh, kVArh and hour counters reset to zero
4	Hour counter increment	no increment
5	Hour counter increment	Hour counter reset to zero
6	kWh and kVArh counters reset to zero	-
7	Hour counter reset to zero	-
8	kWh, kVArh and hour counters reset to zero	-
9	Reset alarms	-
10	-	-

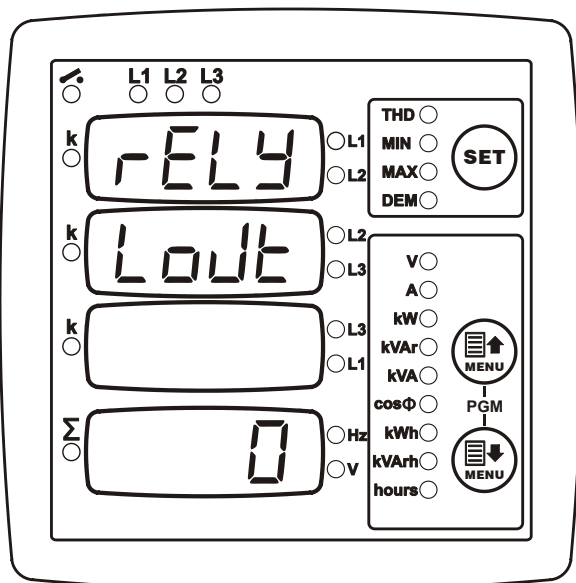
## 4.16 CONFIGURING THE RELAY OUTPUT



The relay output is a combination of 4 different input functions. The combination logic is explained in the next picture.

Each of 4 available functions is selected from the below list. Unused functions should be left as 0.

Value	Relay Function
0	-
1	Follows the digital input
2	kWh tick
3	kVAh tick
4	High voltage alarm
5	Low voltage alarm
6	High frequency alarm
7	Low frequency alarm
8	Overcurrent alarm
9	Excess active power alarm
10	Low active power alarm
11	Excess reactive power alarm
12	Low reactive power alarm
13	High cosφ alarm
14	Low cosφ alarm
15	Phase sequence alarm
16	Relay active if any alarm exists



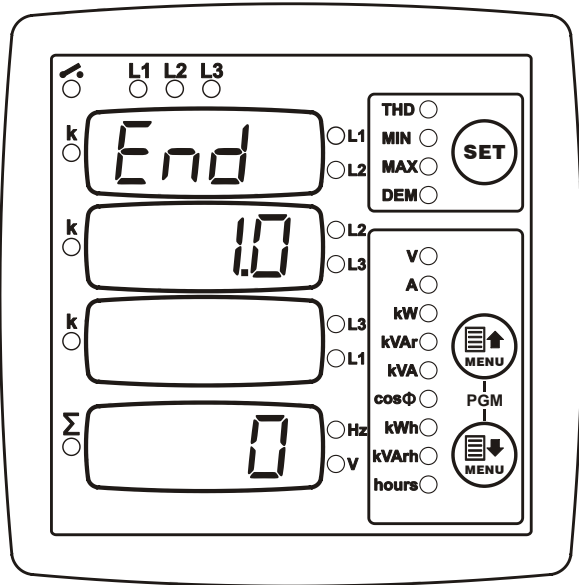
The relay output is the combination of 4 functions defined above. Thus various combined functions may be attributed to the relay output.

This parameter defines how functions are combined in order to generate the relay output.

**0:** Functions logically OR'ed. The relay output is active if any of the 4 functions is active.

**1:** Functions loagically AND'ed. The relay output is active if all 4 functions are active.

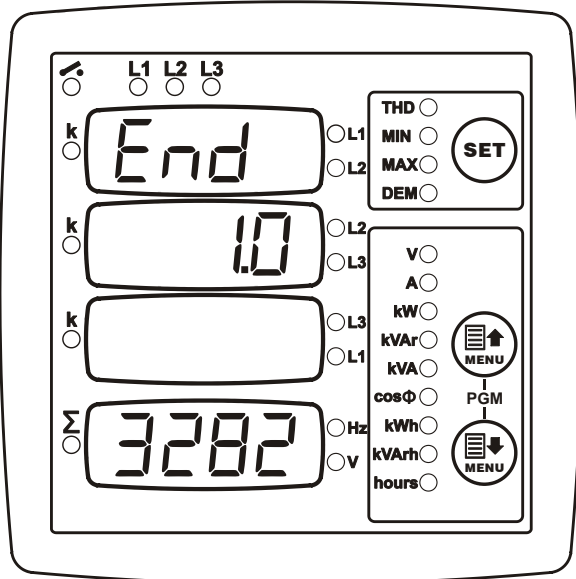
**4.17 DISPLAYING THE FIRMWARE VERSION**



The device firmware version is displayed at the second line of the “End ” screen.

The firmware version may be required by the manufacturer together with any customer application.

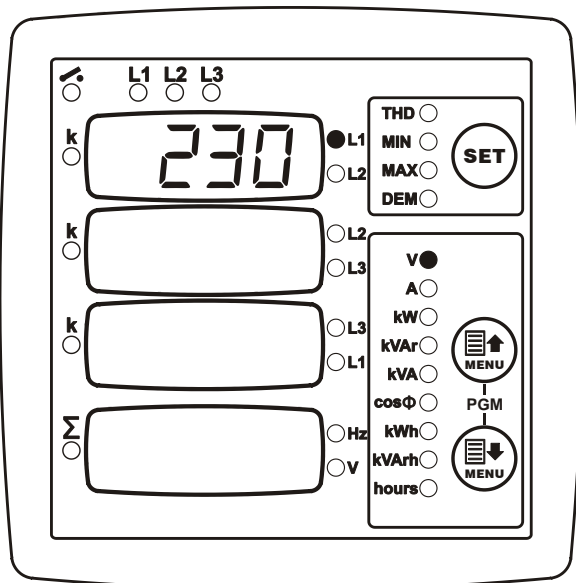
**4.18 CALIBRATION**



The unit is factory calibrated before shipment.

If recalibration is required, Please enter “3282” at the bottom display then press


 button.



The calibration screen for L1 phase voltage

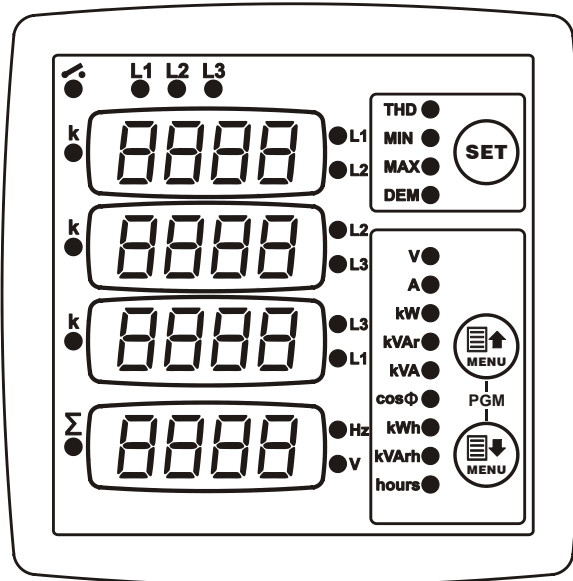
will appear. Pressing   buttons will increase/decrease the measured value.

When the measured value is correct press

 button. The next input will come to display.

Repeat above procedure for each input to be recalibrated.

## 4.19 LAMP TEST



When all required parameters are programmed hold pressed together both



buttons for 2 seconds.

This will exit the configuration menu and perform a display test.

Check that all displays and leds are turned on.

Press any button to exit LAMP TEST and return to normal operating mode.

## 5. TECHNICAL SPECIFICATIONS

<b>Power Supply Input:</b>	170 - 275VAC, 50 - 60Hz nominal ( $\pm 10\%$ ) Different AC supply voltages available.
<b>Measurement Input Range:</b>	
<b>Voltage inputs:</b>	10 - 300 V AC (L-N) 20 - 520 V AC (L-L)
<b>Current inputs:</b>	0.2 – 5.5 A AC
<b>Frequency:</b>	30 - 100 Hz
<b>Accuracy:</b>	
<b>Voltage:</b>	0.5%+1digit
<b>Current:</b>	0.5%+1 digit
<b>Frequency:</b>	0.5%+1 digit
<b>Power(kW,kVAr):</b>	1.0%+2digit
<b>Power factor:</b>	2.0%+2digit
<b>Measurement Range:</b>	
<b>CT range:</b>	5/5A to 5000/5A
<b>VT range:</b>	0.1/1 to 200.0/1
<b>kW range:</b>	0.1 kW to 6.5 MW
<b>Power Consumption:</b>	< 4 VA
<b>Voltage burden:</b>	< 0.1VA per phase
<b>Current burden:</b>	< 1VA per phase
<b>Relay Outputs:</b>	5A @ 250VAC
<b>Digital Inputs:</b>	
<b>Active level:</b>	5 to 30V-DC or AC
<b>Min pulse duration:</b>	250ms.
<b>Isolation:</b>	1000V AC, 1 minute
<b>Operating Temperature:</b>	-20°C to +80°C (-4 to +176 °F).
<b>Maximum humidity:</b>	95% non-condensing.
<b>Degree of Protection:</b>	IP 54 (Front Panel) , IP 30 (Back panel)
<b>Enclosure:</b>	Non-flammable, ROHS compliant, ABS/PC (UL94-V0)
<b>Installation:</b>	Flush mounting with rear retaining brackets
<b>Dimensions:</b>	102x102x53mm (WxHxD)
<b>Panel Cutout:</b>	92x92mm
<b>Weight:</b>	200 gr

### EU Directives Conformity:

2006/95/EC (low voltage)

2004/108/EC (EMC)

### Norms of reference:

EN 61010 (safety requirements)

EN 61326 (EMC requirements)

### PACKAGING INFORMATION

<b>Pieces per Package:</b>	12 pieces
<b>Package Size:</b>	280 x 170 x 215mm (LxWxH)
<b>Package Weight:</b>	2.6 kg



Εκκινητές ομαλής εκκίνησης, PSR

**NEO**  
*Smart*  
**Softstarter**



**ABB**

## Εκκινητές ομαλής εκκίνησης, ABB Γενικά



Αριστερά: Συνεργασία μεταξύ PSR και θερμομαγνητικού διακόπτη προστασίας κινητήρα MS116. Επάνω: PSR16, PSR30 και PSR 45.

Η ABB διαθέτει μακρόχρονη εμπειρία και υψηλή τεχνολογία στην ανάπτυξη και παραγωγή των εκκινητών ομαλής εκκίνησης (softstarters). Μετά τις σειρές εκκινητών ομαλής εκκίνησης PSS και PST (B), παρουσιάζεται ο ομαλός εκκινητής PSR - ένας πραγματικά “έξυπνος” εκκινητής.

**Με τη χρήση των εκκινητών ομαλής εκκίνησης πετυχαίνουμε την αντιμετώπιση πολλών μηχανικών και ηλεκτρικών προβλημάτων και εξασφαλίζουμε το μέγιστο της απόδοσης, οικονομίας και χρόνου ζωής των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.**

Όλοι οι συμβατικοί εκκινητές κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα παρουσιάζουν προβλήματα όπως:

- Τα σοκ ρεύματος που επηρεάζουν το δίκτυο.
- Τα σοκ ροπής που καταπονούν μηχανικά και υδραυλικά φορτία.
- Η αδυναμία προσαρμογής στις ιδιαιτερότητες των φορτίων.
- Η ανάγκη συντήρησης.
- Η αδυναμία πέδησης του κινητήρα.
- Οι αυξημένες θερμικές απώλειες.
- Η φθορά του κινητήρα.
- Η αδυναμία πολλών εκκινήσεων ανά ώρα.
- Η ανάγκη χρήσης 6 καλωδίων (Εκκίνηση με ΥΔ).

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι σημαντικοί για τις βιομηχανίες. Χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τους ανεμιστήρες, τις αντλίες, τις μεταφορικές ταινίες, τους σπαστήρες, τους αεροσυμπιεστές, τα ανυψωτικά μηχανήματα και πολλούς άλλους τύπους μηχανημάτων.

### Εκκινητές ομαλής εκκίνησης της ABB - Προηγμένες, ευέλικτες και εύχρηστες σειρές

Η ABB προσφέρει τρεις διαφορετικές σειρές εκκινητών ομαλής εκκίνησης οι οποίοι δίνουν λύση σε όλα σχεδόν τα προβλήματα εκκίνησης των κινητήρων σε διάφορες εφαρμογές.

Η σειρά **PST (B)** καλύπτει εφαρμογές με ονομαστικό ρεύμα κινητήρων από **30 έως 1050A** και παρέχει δυνατότητα επιλογής έτοιμων προγραμματισμένων εφαρμογών, πλήρη ενσωματωμένη ηλεκτρονική προστασία, οθόνη ενδείξεων, δυνατότητα ελέγχου τάσης αλλά και ροπής (για αντιμετώπιση υδραυλικού πλήγματος κατά το σταμάτημα των αντλιών), αναλογική έξοδο, ενσωματωμένο επαφά by-pass (370-1050A). Έχει δυνατότητα επικοινωνίας με την χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας ποικιλία από Fieldbus Plugs. Ο εκκινητής μπορεί να συνδεθεί στην γραμμή ή μέσα στο τρίγωνο.

Η σειρά **PSS** καλύπτει εφαρμογές με ονομαστικό ρεύμα κινητήρων από **50 έως 300A** και προσφέρει ευέλικτες λύσεις και ευκολία στην εγκατάσταση και την ρύθμιση. Ο εκκινητής μπορεί να συνδεθεί στην γραμμή ή μέσα στο τρίγωνο.

Η σειρά **PSR** καλύπτει εφαρμογές με ονομαστικό ρεύμα κινητήρων από **3.9 έως 45A**. Είναι η πιο πρόσφατη σειρά που προστέθηκε στην οικογένεια των εκκινητών ομαλής εκκίνησης και έχει έναν ελκυστικό και συμπαγή σχεδιασμό. Για ολοκληρωμένη προστασία πρέπει να συνδυάζεται με θερμομαγνητικό διακόπτη (ενδεικτικός τύπος MS116 της ABB). Οι εκκινητές ομαλής εκκίνησης μπορούν να δικτυωθούν με την χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας χρησιμοποιώντας ποικιλία από Fieldbus Plugs που είναι διαθέσιμα ως εξαρτήματα. Όλα τα μεγέθη περιλαμβάνουν εξόδους ρελέ για ένδειξη λειτουργίας ενώ στα μεγέθη πάνω από 25A παρέχεται και έξοδος ρελέ για ένδειξη ολοκλήρωσης της ράμπας εκκίνησης (TOR). **Σε κανονικές συνθήκες οι εκκινητές ομαλής εκκίνησης PSR μπορούν να πραγματοποιήσουν δέκα εκκινήσεις την ώρα. Όταν προστεθεί ανεμιστήρας η ικανότητά τους αυξάνεται σε τουλάχιστον 20 εκκινήσεις την ώρα.**

Οι εκκινητές ομαλής εκκίνησης PSR είναι ιδανικοί για εγκαταστάσεις όπου υπάρχει περιορισμός στον διαθέσιμο χώρο και όπου απαιτείται απλή και εύκολη εγκατάσταση.



# PSR3 ... PSR45



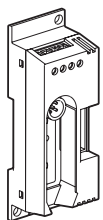
PSR3 ... PSR16



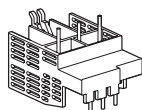
PSR25, PSR30



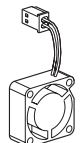
PSR37 ... PSR45



PSR-FBPA



PSR16-MS116



PSR-FAN



Ισχύς κινητήρα				IEC	Τύπος	Κωδικός	Βάρος kg 1 τμχ.
230V P <sub>e</sub> kW	400V P <sub>e</sub> kW	500V P <sub>e</sub> kW	Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα κινητήρα, I <sub>e</sub> A				
<b>208 – 600V ac</b>							
<b>Τάση τροφοδοσίας 100-240V ac</b>							
0.75	1.5	2.2	3.9	PSR3-600-70	29625	0.45	
1.5	3	4	6.8	PSR6-600-70	28200	0.45	
2.2	4	4	9	PSR9-600-70	28201	0.45	
3	5.5	5.5	12	PSR12-600-70	28202	0.45	
4	7.5	7.5	16	PSR16-600-70	28203	0.45	
5.5	11	15	25	PSR25-600-70	28204	0.65	
7.5	15	18.5	30	PSR30-600-70	28205	0.65	
7.5	18.5	22	37	PSR37-600-70	28206	1.00	
11	22	30	45	PSR45-600-70	28207	1.00	
<b>Τάση τροφοδοσίας 24V dc</b>							
0.75	1.5	2.2	3.9	PSR3-600-81	Κ.Π.	0.45	
1.5	3	4	6.8	PSR6-600-81	Κ.Π.	0.45	
2.2	4	4	9	PSR9-600-81	Κ.Π.	0.45	
3	5.5	5.5	12	PSR12-600-81	Κ.Π.	0.45	
4	7.5	7.5	16	PSR16-600-81	Κ.Π.	0.45	
5.5	11	15	25	PSR25-600-81	Κ.Π.	0.65	
7.5	15	18.5	30	PSR30-600-81	Κ.Π.	0.65	
7.5	18.5	22	37	PSR37-600-81	Κ.Π.	1.00	
11	22	30	45	PSR45-600-81	Κ.Π.	1.00	

## Εξαρτήματα

Περιγραφή	Τύπος	Κωδικός	Βάρος kg 1 τμχ.
Βάση διασύνδεσης εκκινήτη με Fieldbus Plug* (κοινή για όλα τα μεγέθη)	PSR-FBPA	Κ.Π.	0.06
Εξάρτημα σύνδεσης PSR3 έως PSR16 με θερμομαγνητικό διακόπτη MS 116	PSR16-MS116	29624	0.03
Εξάρτημα σύνδεσης PSR37 έως PSR45 με θερμομαγνητικό διακόπτη MS450	PSR45-MS450	29623	0.03
Ανεμιστήρας Όλα τα μεγέθη μπορούν να εξοπλίζονται με ανεμιστήρα προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των εκκινήσεων τους ανά ώρα. Για τον ακριβή αριθμό εκκινήσεων με ή χωρίς πρόσθετο ανεμιστήρα επικοινωνήστε με την εταιρεία μας.	PSR-FAN	29622	0.01

\*ABB Field Bus Plugs: Συσκευές σειριακής δικτύωσης με διάφορα πρωτόκολλα (κοινές για όλα τα μεγέθη).

Κ.Π.: Κατά παραγγελία

# PSR3 ... PSR45

## Τεχνικά χαρακτηριστικά

### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Όνομαστική τάση μόνωσης	600V									
Όνομαστική τάση τροφοδοσίας κινητήρα	208...600V									
Όνομαστική τάση τροφοδοσίας εκκινήτη	100...240V ac ή 24V dc									
Όνομαστικό ρεύμα λειτουργίας, I <sub>r</sub>	PSR3	PSR6	PSR9	PSR12	PSR16	PSR25	PSR30	PSR37	PSR45	
	3.9A	6.8A	9A	12A	16A	25A	30A	37A	45A	
Ρεύμα εκκίνησης	4 x I <sub>r</sub> για 6s									
Αριθμός εκκινήσεων ανά ώρα	10 (4 x I <sub>e</sub> για 6s)									
Με ψύξη ανεμιστήρα	20 (4 x I <sub>e</sub> για 6s)									
Συντελεστής ασφαλείας	100 %									
Θερμοκρασία λειτουργίας <sup>1)</sup>	-25°C έως +60°C									
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Αποθήκευσης -40°C έως +70°C									
Μέγιστο υψόμετρο <sup>2)</sup>	4000m									
Βαθμός προστασίας	PSR3	PSR6	PSR9	PSR12	PSR16	PSR25	PSR30	PSR37	PSR45	
Κύκλωμα ισχύος	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 10	IP 10	
Κύκλωμα ελέγχου	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	
Διατομή αγωγών	PSR3 - PSR16					PSR25 - PSR30		PSR37 - PSR45		
Κύκλωμα ισχύος	1 x 0.75 - 2.5mm <sup>2</sup> 2 x 0.75 - 2.5mm <sup>2</sup>					1 x 2.5 - 10mm <sup>2</sup> 2 x 2.5 - 10mm <sup>2</sup>		1 x 6 - 35mm <sup>2</sup> 2 x 6 - 16mm <sup>2</sup>		
Κύκλωμα ελέγχου	PSR3 - PSR16 1 x 2.5mm <sup>2</sup> 2 x 2.5mm <sup>2</sup>					PSR25 - PSR45 1 x 2.5mm <sup>2</sup> 2 x 1.5mm <sup>2</sup>				
Έξοδοι ρελέ	PSR3 - PSR16					PSR25 - PSR45				
Για ένδειξη λειτουργίας	Ωμικό φορτίο 240V, 2A					250V, 5A				
	AC-15 (οδήγηση επαφεία) 240V, 0.5A					250V, 0.5A				
Για ένδειξη ολοκλήρωσης ράμπας εκκίνησης	Ωμικό φορτίο -					250V, 2A				
	AC-15 (οδήγηση επαφεία) -					250V, 0.5A				

### LED's

Ενδείξεις On/Ready

Αναβοσβήνει: Παρουσία τάσης στο βοηθητικό κύκλωμα (On)  
Σταθερό: Παρουσία τάσης στο κύκλωμα ισχύος. Έτοιμο για εκκίνηση (Ready)

Ενδείξεις Run/TOR

Αναβοσβήνει: Παρουσία τάσης στην έξοδο. Λειτουργία (Run)  
Σταθερό: Ολοκλήρωση ράμπας εκκίνησης (TOR)

### Ρυθμίσεις

Ράμπα επιτάχυνσης

1-10s

Ράμπα επιβράδυνσης

0-20s

Περιοχή ρύθμισης τάσης

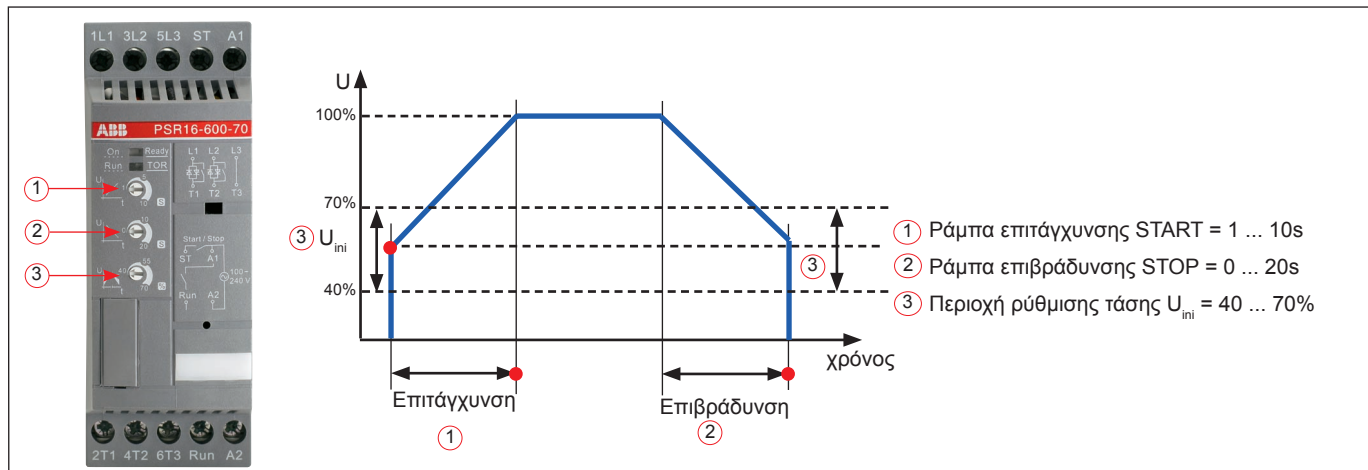
40-70% της ονομαστικής τάσης

<sup>1)</sup> Για θερμοκρασίες άνω των 40°C και έως 60°C το ονομαστικό ρεύμα μειώνεται κατά 0.8% ανά °C.

<sup>2)</sup> Όταν ο εκκινήτης εγκατασταθεί σε υψόμετρο πάνω από 1000m μέχρι 4000m το ονομαστικό ρεύμα μειώνεται σύμφωνα με την σχέση:

$$[\% \text{ του } I_e = 100 - \frac{x - 1000}{150}] \text{ όπου } x = \text{το υψόμετρο εγκατάστασης του εκκινήτη}$$

### Ρυθμίσεις



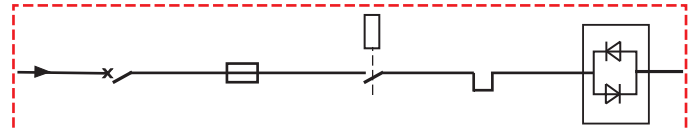
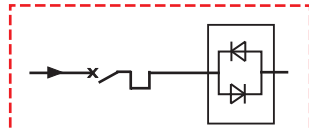
# PSR3 ... PSR45

## Τεχνικά χαρακτηριστικά

Προτεινόμενοι συνδυασμοί εκκινήτων στα 400V σύμφωνα με το IEC60947.

Εναλλακτική λύση με θερμομαγνητικούς διακόπτες προστασίας κινητήρων

Εναλλακτική λύση με ασφάλειες βραδείας τήξεως gG



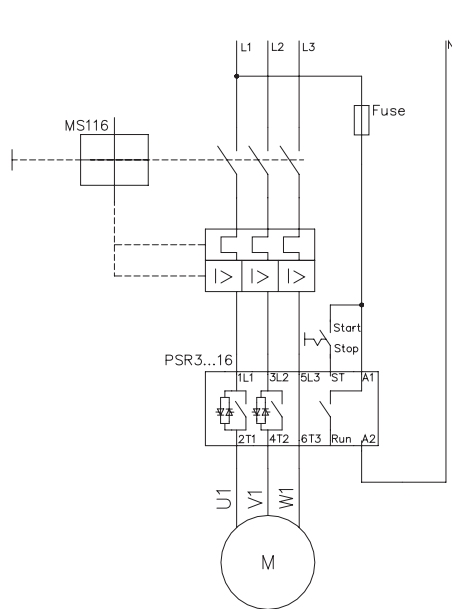
Κινητήρας Μέγ. I <sub>e</sub>		Θερμομαγν. διακόπτης		Softstarter	Ασφαλείο- διακόπτης				Ασφάλεια βραδείας τήξεως gG	Επαφείας γραμμής	Θερμικός ηλεκτρονόμος υπερφόρτισης	Softstarter
kW	A	Τύπος	Τύπος		Τύπος	Τύπος	Τύπος	Τύπος	Τύπος	Τύπος	Τύπος	
1.5	3.9	MS116	PSR3		OS32D	10A gG	A9	TA25DU	PSR3			
3	6.8	MS116	PSR6		OS32D	16A gG	A9	TA25DU	PSR6			
4	9	MS116	PSR9		OS32D	25A gG	A9	TA25DU	PSR9			
5.5	12	MS116	PSR12		OS32D	32A gG	A12	TA25DU	PSR12			
7.5	16	MS116	PSR16		OS32D	32A gG	A16	TA25DU	PSR16			
11	25	MS325	PSR25		OS32D	50A gG	A26	TA25DU	PSR25			
15	30	MS450	PSR30		OS32D	63A gG	A30	TA25DU	PSR30			
18.5	37	MS450	PSR37		OS63D	100A gG	A40	TA42DU	PSR37			
22	45	MS450	PSR45		OS125D	125A gG	A50	TA75DU	PSR45			

# PSR3 ... PSR45

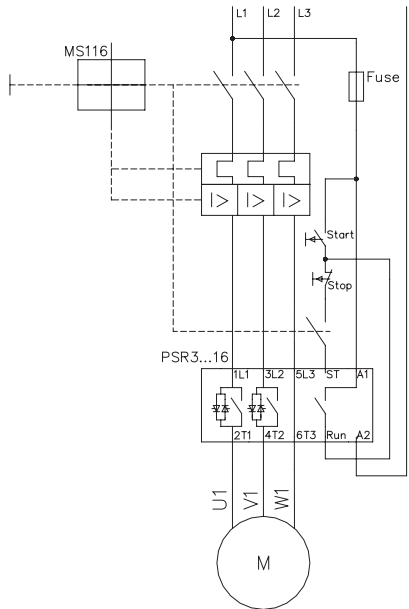
## Παραδείγματα εφαρμογών

### PSR3 ...16

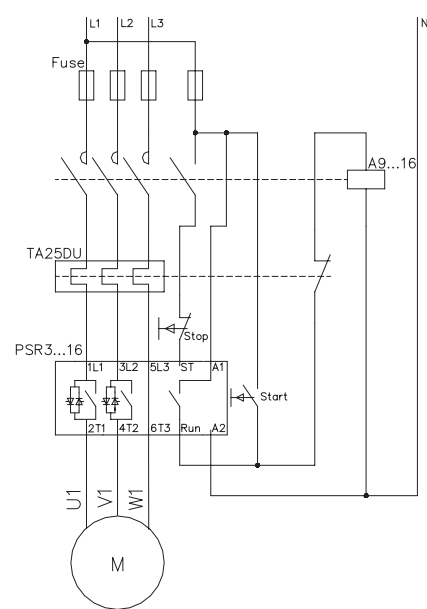
1) Με θερμομαγνητικό διακόπτη και επιλογικό διακόπτη O-I



2) Με θερμομαγνητικό διακόπτη και δύο μπουτόν START/STOP

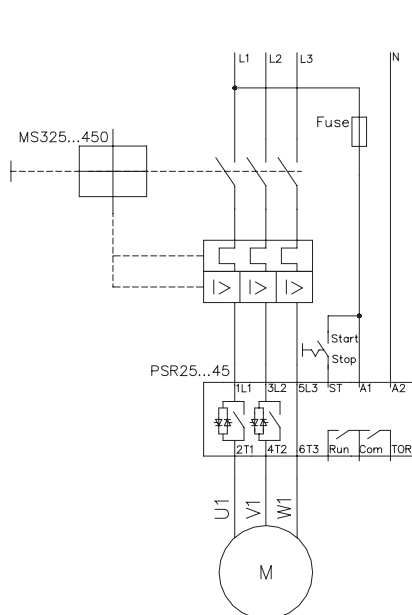


3) Με ασφάλειες, επαφείς, ηλεκτρονόμο υπερφόρτισης και δύο μπουτόν START/STOP

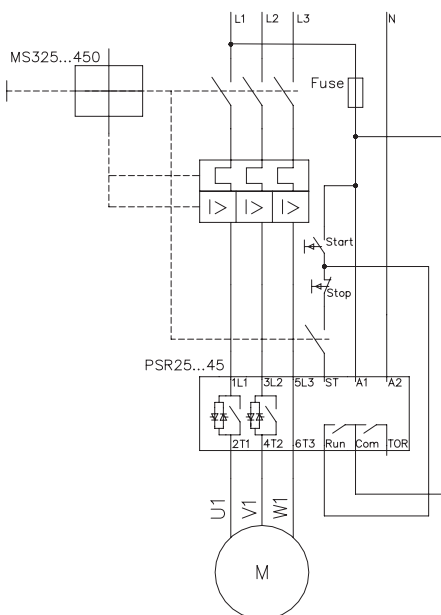


### PSR25 ... 45

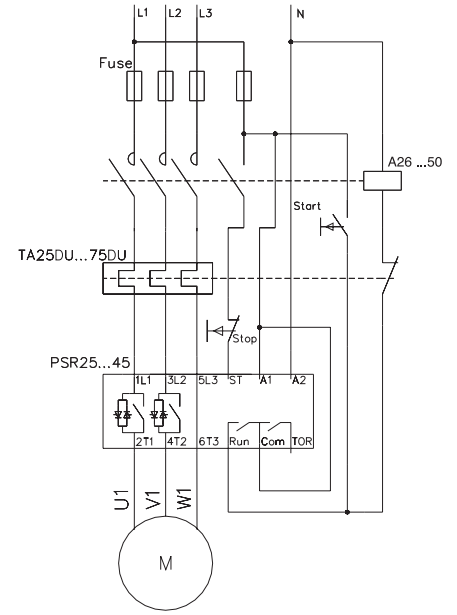
4) Με θερμομαγνητικό διακόπτη και επιλογικό διακόπτη O-I



5) Με θερμομαγνητικό διακόπτη και δύο μπουτόν START/STOP



6) Με ασφάλειες, επαφείς, ηλεκτρονόμο υπερφόρτισης και δύο μπουτόν START/STOP

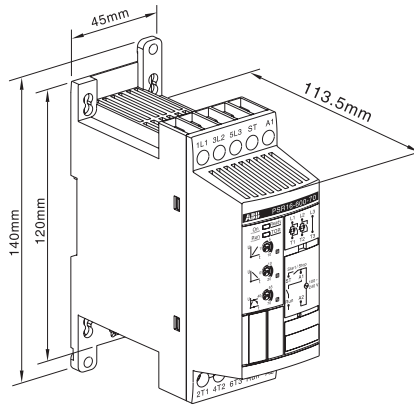


# PSR3 ... PSR45

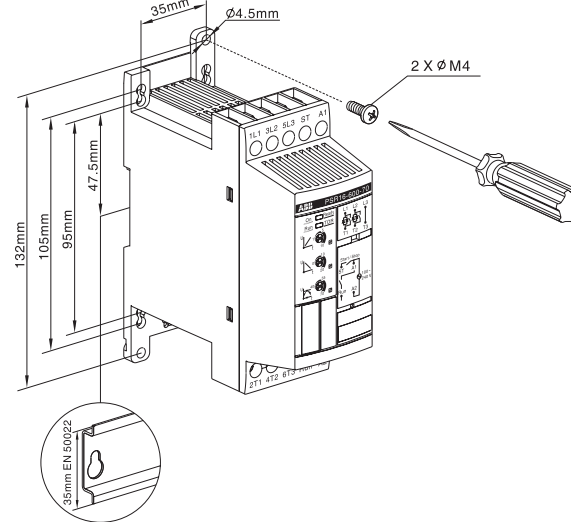
## Διαστάσεις

### Διαστάσεις (mm)

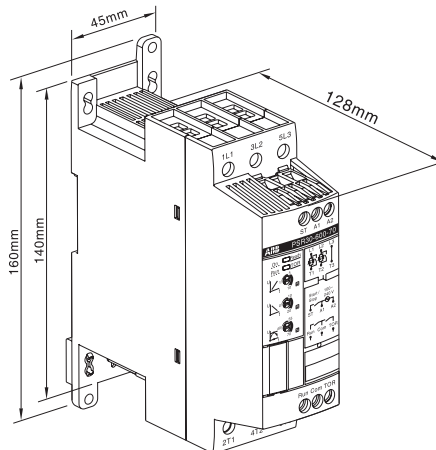
PSR3 ... 16



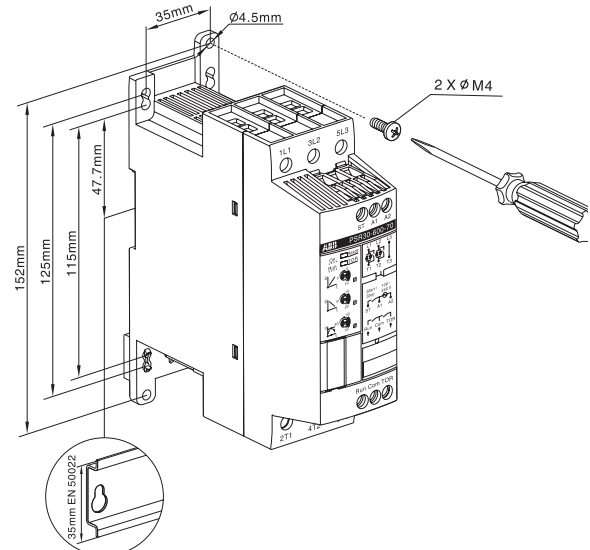
PSR3 ... 16



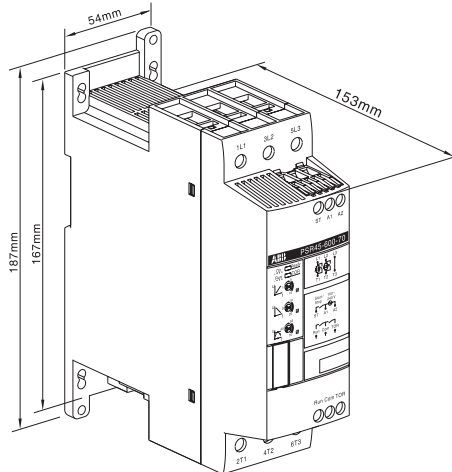
PSR25 ... 30



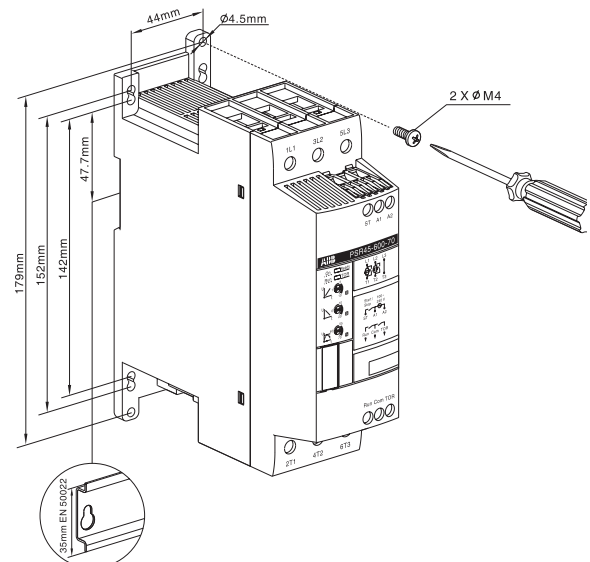
PSR25 ... 30



PSR37 ... 45



PSR37 ... 45



Οι διαστάσεις, τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και ο σχεδιασμός μπορούν να αλλάξουν χωρίς προειδοποίηση.



**ABB ΑΕ**

Αθήνα:  
13ο χλμ. Ε.Ο. Αθηνών-Λαμίας  
144 52 Μεταμόρφωση Αττικής  
Τηλ.: 210 2891 900, Fax: 210 2891 999  
e-mail: [abb@gr.abb.com](mailto:abb@gr.abb.com)

Θεσσαλονίκη (**Νέα Διεύθυνση**):  
Τ.Θ.:60750  
15ο χλμ. Ε.Ο. Θεσσαλονίκης-Ν. Μουδανιών  
570 01 Θέρμη  
Τηλ.: 2310 460 900, Fax: 2310 460 999  
e-mail: [abbng@gr.abb.com](mailto:abbng@gr.abb.com)

[www.abb.gr](http://www.abb.gr)

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

1. Π. Β. Μαλατέστας, Σ. Ν. Μανιάς, «Ηλεκτρική Κίνηση», 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008
2. Π. Β. Μαλατέστας, Ηρ. Αθ. Βυλλιώτης, «Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος», Εκδόσεις Τζιόλα, 2004
3. Π. Β. Μαλατέστας, Ηρ. Αθ. Βυλλιώτης, «Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικής Κίνησης», Εκδόσεις Τζιόλα, 2005
4. Σ. Γατζούδης, Μ. Λαγουδάκος, Αθ. Μπινιάρης, «Ηλεκτρικές Μηχανές», ΟΕΔΒ – Αθήνα
5. C. I. Hubert, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Εκδόσεις Ίων, 2008
6. J. T. Humphries, L. P. Sheets, «Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά Ισχύος», 4η Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, 2003
7. Ν. Μαστρομηνάς, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Εκδόσεις Ίων, 1999

### **Διαδικτυακή Βιβλιογραφία**

1. [www.abb.gr](http://www.abb.gr)
2. [www.datakom.com.tr](http://www.datakom.com.tr)
3. [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
4. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)