

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1597**  
**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ**



**ΚΑΛΟΙΔΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ, ΑΜ: 6483**  
**ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΑΜ: 6341**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η τεχνική περιγραφή και η ηλεκτρολογική μελέτη (απαιτούμενες διατομές, μέσα προστασίας) ενός αντλιοστασίου αρδεύσεως το οποίο βρίσκεται παραπλεύρως του ποταμού Μεγανίτη στην περιοχή του Αιγίου Αχαΐας και πιο συγκεκριμένα στον οικισμό Χατζή Αιγιαλείας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η τεχνική περιγραφή και η ηλεκτρολογική μελέτη (απαιτούμενες διατομές, μέσα προστασίας) ενός αντλιοστασίου αρδεύσεως το οποίο βρίσκεται παραπλεύρως του ποταμού Μεγανίτη στην περιοχή του Αιγίου Αχαΐας και πιο συγκεκριμένα στον οικισμό Χατζή Αιγιαλείας. Το αντλιοστάσιο αυτό αποτελείται από τα παρακάτω αντλητικά συγκροτήματα:

Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 152 \text{ m}$ ,  $P = 30 \text{ PS}$ , σε απόσταση 100m από τον κεντρικό πίνακα

Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 190 \text{ m}$ ,  $P = 50 \text{ PS}$ , σε απόσταση 50m από τον κεντρικό πίνακα

Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 200 \text{ m}$ ,  $P = 60 \text{ PS}$ , άμεσα συνδεδεμένο με τον κεντρικό πίνακα

Τα παραπάνω αντλητικά συγκροτήματα αποτελούνται έκαστο από τριφασικό ηλεκτροκινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα ο οποίος τροφοδοτείται μέσω ρυθμιστή στροφών (Inverter) που αυξομειώνει τις στροφές του αντλητικού συγκροτήματος, έτσι ώστε η πίεση στο αρδευτικό δίκτυο, να παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη από την παροχή της αντλίας, (φυσικά μέσα στα όρια των δυνατοτήτων της αντλίας και χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων). Επίσης εντός του ηλεκτρολογικού πίνακα είναι εγκατεστημένο αλεξικέραυνο γραμμής (αποχετευτής υπερτάσεων), προκειμένου να εξασφαλίζεται προστασία του πίνακα και των ηλεκτροκινητήρων, από πτώση κεραυνού στο δίκτυο της ΔΕΗ.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>I</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>II</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>III</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>3</b>
<b>ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ</b> .....	<b>3</b>
1.1 Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών .....	3
1.2 Δομή των ρυθμιστών στροφών .....	6
1.3 Εφαρμογές .....	11
1.4 Πλεονεκτήματα των ρυθμιστών στροφών .....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<b>13</b>
<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ</b> .....	<b>13</b>
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα .....	13
2.2 Βασική κατηγοριοποίηση επαγωγικών κινητήρων.....	14
2.3 Η ανάπτυξη της επαγόμενης ροπής στους επαγωγικούς κινητήρες.....	17
2.4 Η έννοια της ολίσθησης του δρομέα.....	18
2.5 Η ισχύς στους επαγωγικούς κινητήρες .....	19
2.5.1 Ηλεκτρική ισχύς εισόδου του επαγωγικού κινητήρα .....	19
2.5.2 Μηχανική ισχύς εξόδου του επαγωγικού κινητήρα .....	19
2.6 Απώλειες στον επαγωγικό κινητήρα .....	20
2.7 Διάγραμμα ροής ισχύος.....	23
2.8 Συντελεστής απόδοσης επαγωγικού κινητήρα .....	25
2.9 Χαρακτηριστικές ροπής – ταχύτητας .....	25
2.10 Επίδραση της συχνότητας στη χαρακτηριστική ροπής- στροφών.....	27
2.11 Κατηγορίες ασύγχρονων κινητήρων κλωβού.....	29
2.12 Εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων τυλιγμένου δρομέα .....	31
2.12.1 Εκκίνηση κινητήρων κλωβού .....	31
2.12.1.1 Εκκινητής απευθείας συνδέσεως .....	31
2.12.1.2 Εκκινητής αστέρα-τριγώνου .....	32
2.12.2 Εκκινητής με αυτομετασχηματιστή .....	34
2.13 Προβλήματα κινητήρων .....	36
2.14 Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<b>41</b>

<b>ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ .....</b>	<b>41</b>
3.1 Ασφάλειες Τήξεως .....	41
3.1.1 Είδη ασφαλειών τήξης .....	44
3.2 Αυτόματοι Διακόπτες .....	49
3.2.1 Πωματοαυτόματος Μεγίστου .....	50
3.3 Αυτόματοι Ασφαλειοδιακόπτες .....	51
3.4 Μικροαυτόματοι διακόπτες.....	52
3.5 Το θερμικό και το θερμομαγνητικό ως μέθοδοι προστασίας μοτέρ .....	57
3.6 Θερμομαγνητικοί διακόπτες προστασίας κινητήρων .....	60
3.7 Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις .....	61
3.7.1 Ορισμός, αίτια και μετάδοση κρουστικών υπερτάσεων .....	61
3.7.2 Δημιουργία κρουστικών υπερτάσεων .....	61
3.8 Προβλήματα λόγω κρουστικών υπερτάσεων και τρόποι προστασίας–Απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων .....	63
3.9 Απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων .....	64
3.10 Χαρακτηριστικοί παράμετροι επιλογής .....	65
3.11 Είδη απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων .....	68
3.11.1 Ζώνες προστασίας.....	70
3.11.2 Μέγεθος και καταμερισμός κεραυνικού ρεύματος .....	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....</b>	<b>76</b>
<b>Η ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....</b>	<b>76</b>
4.1 Περιγραφή της γραμμής .....	76
4.2 Η ηλεκτρολογική μελέτη της εγκατάστασης .....	80
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΠΑΓΩΓΟΥ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ .....</b>	<b>86</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2-ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΣΤΡΟΦΩΝ .....</b>	<b>87</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>94</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

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

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

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

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

- την βελτίωση του βαθμού αποδόσεως.
- την μείωση του όγκου και του βάρους.
- την εμφάνιση των ανώτερων αρμονικών σε υψηλότερες συχνότητες και κατά συνέπεια την εξάλειψη του μαγνητικού θορύβου, την μείωση των απωλειών και την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα.

- τον ακόμα πιο ακριβή έλεγχο και την δυνατότητα αξιοποίησης όλων των τελευταίων εξελίξεων στο λογισμικό ελέγχου που αναφέρθηκαν παραπάνω.

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

- την εξομάλυνση και την σταθεροποίηση της λειτουργίας τους σε ιδιαίτερα χαμηλές συχνότητες (0.1 έως 1 Hz) καθώς και στα 0 Hz σε λειτουργία κλειστού και ανοικτού βρόχου.
- την περαιτέρω μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών τους καθώς επίσης και της παραγωγής αρμονικών στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ισχύος.
- την περαιτέρω μείωση του μεγέθους και του κόστους κατασκευής.
- την ενσωμάτωσή τους πάνω στους ασύγχρονους κινητήρες.

την κατάργηση του ενδιάμεσου σταδίου μετατροπής της τάσης του δικτύου σε συνεχή η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει στην αφαίρεση των τεράστιων ηλεκτρολυτικών πυκνωτών οι οποίοι είναι ογκώδεις και αποτελούν συχνά αιτία βλάβης

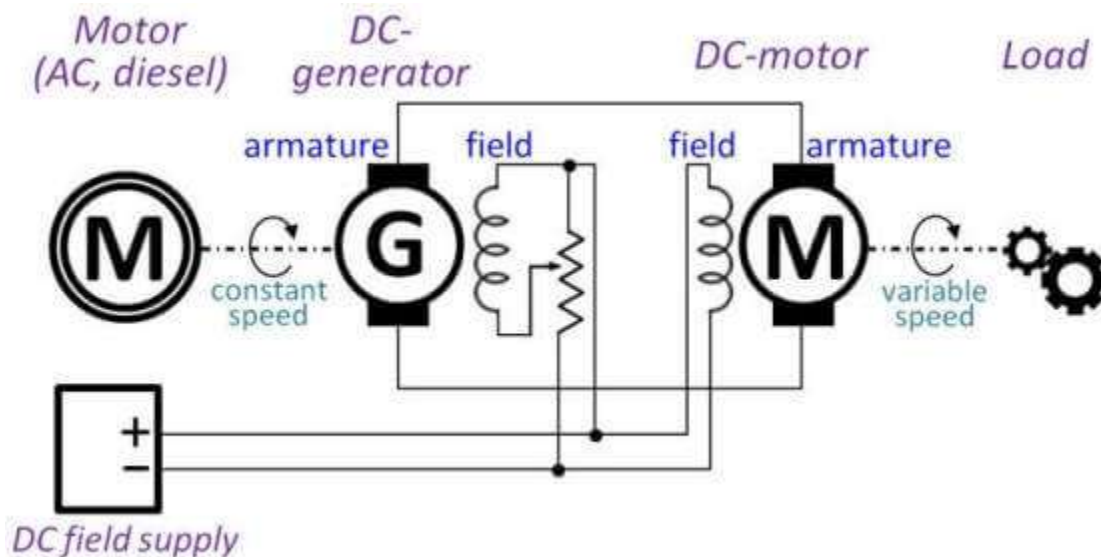
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ

### 1.1 Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών

Οι ρυθμιστές στροφών ανήκουν στον τομέα των Μετατροπέων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο τομέας αυτός παρουσιάζει μια διαρκώς εξελικτική πορεία με αποκορύφωμα τα τελευταία 20 με 30 χρόνια, στα οποία παρατηρείται μια πραγματική επανάσταση ανάλογη με αυτήν που παρατηρείται στον τομέα των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών.

Οι πρώτοι μετατροπείς ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι λεγόμενοι περιστροφικοί μετατροπείς. Αυτοί αποτελούνταν από ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες λειτουργούσαν είτε μεμονωμένα, είτε διασυνδεδεμένες μεταξύ τους με σκοπό τον έλεγχο των στροφών ενός κινητήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα Ward - Leonard.



Σχήμα 1: Το σύστημα Ward - Leonard

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν οι ακίνητοι ή στατικοί μετατροπείς. Αυτοί αρχικά αποτελούνταν από ανορθωτικά στοιχεία με ατμό υδραργύρου.



Μετά το 1960, και σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα της ηλεκτρονικής αναπτύχθηκαν στατικοί μετατροπείς, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν ημιαγωγικά στοιχεία με ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, όπως οι μικρές απώλειες, ο μικρός όγκος και η ταχύτερη απόκριση στις μεταβολές του φορτίου. Τέλος με την εφαρμογή των μικροϋπολογιστών έγινε εφικτή η ανάπτυξη σύνθετων συστημάτων τα οποία εκτελούν πολύπλοκα προγράμματα λειτουργίας, με υψηλότατο βαθμό ακρίβειας ελέγχου και προσφέρουν βελτιωμένη αξιοπιστία και αυξημένη ευελιξία.

Η ρύθμιση των στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται η ρύθμιση της ενεργού τιμής της τάσης τροφοδοσίας του στάτη, η σύνδεση εξωτερικής μεταβλητής αντίστασης στο δρομέα (για δακτυλιοφόρους κινητήρες) και η μεταβολή της συχνότητας και της τάσης τροφοδοσίας του στάτη. Όπως όμως αναλύθηκε και προηγουμένως, ο τελευταίος τρόπος προσφέρει και τα περισσότερα πλεονεκτήματα.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του σύγχρονου αριθμού στροφών του, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και είναι ανάλογος της συχνότητας λειτουργίας.

$$n_s = \frac{f}{p} \cdot 120$$

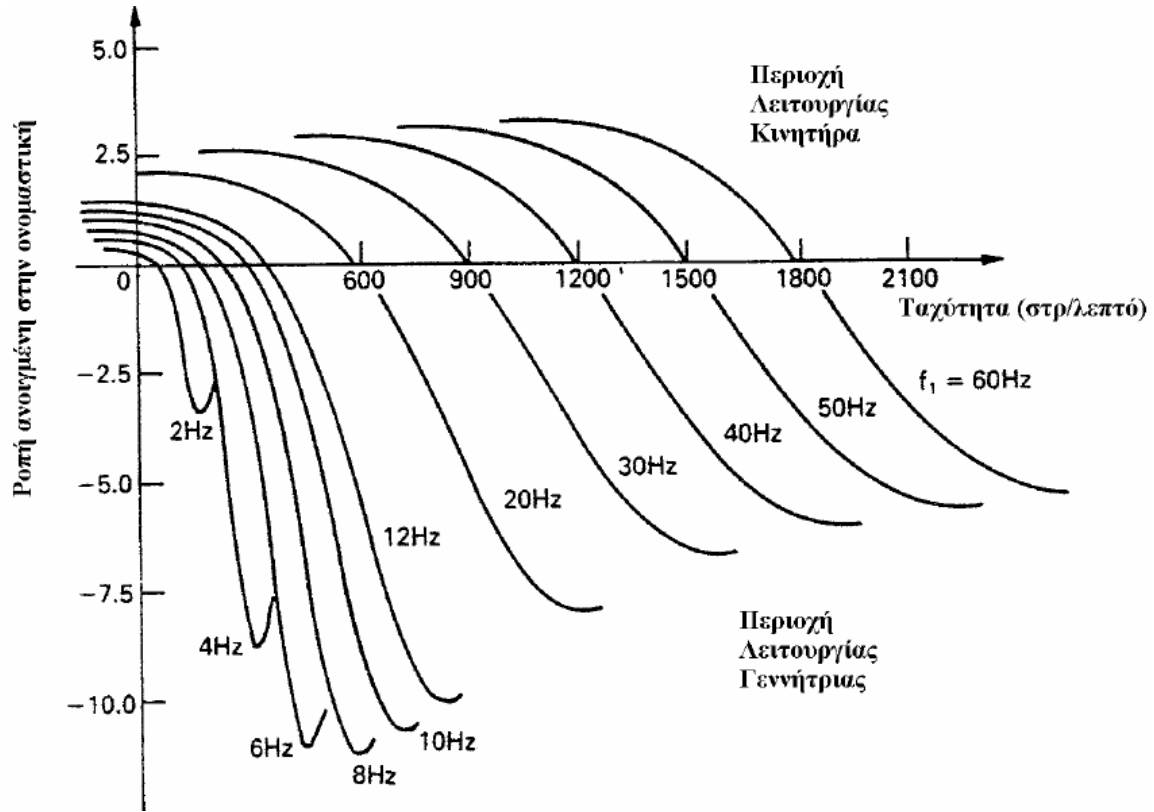
Όπου  $n_s$  : ο σύγχρονος αριθμός στροφών του κινητήρα σε στροφές/λεπτό

$f$  : η συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα σε Hz

$p$  : ο αριθμός των πόλων του κινητήρα (εξαρτάται από την περιέλιξη)

Αυτό με την σειρά του προκαλεί την μετατόπιση της καμπύλης "Ροπής - Στροφών" του κινητήρα προς τα αριστερά, όσο η συχνότητα μειώνεται, και προς τα δεξιά, όσο η συχνότητα αυξάνεται. Έτσι το σύστημα κινητήρας - φορτίο ισορροπεί κάθε φορά σε διαφορετικό σημείο, με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Παράλληλα όμως με τη μεταβολή της συχνότητας, απαιτείται και η μεταβολή της ενεργού τιμής της τάσης, ούτως ώστε να μην οδηγείται το μαγνητικό

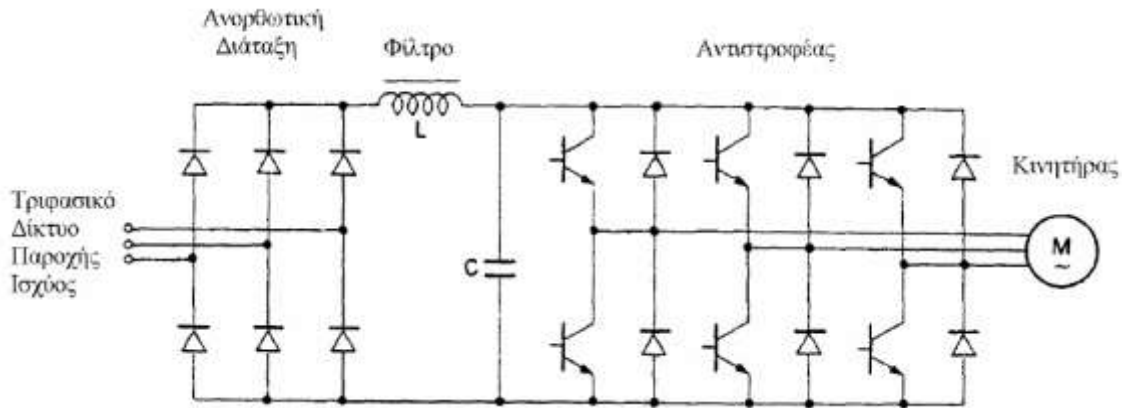
πεδίο της μηχανής στον κόρο και να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του κινητήρα.



**Σχήμα 2: Μεταβολή της καμπύλης Ροπής - Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται**

## 1.2 Δομή των ρυθμιστών στροφών

Οι ρυθμιστές στροφών ασύγχρονων κινητήρων αποτελούνται από τέσσερα βασικά μέρη.



**Σχήμα 3: Κύκλωμα ισχύος ενός ρυθμιστή στροφών με διπολικά τρανζίστορ.**

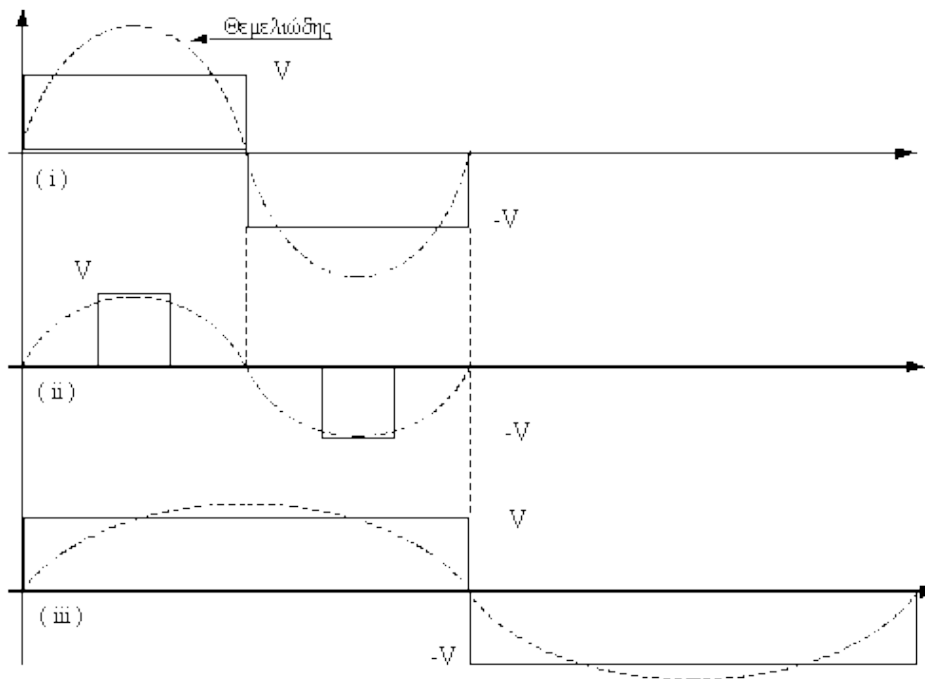
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα από τα αριστερά προς τα δεξιά παρατηρούμε:

- Την ανορθωτική διάταξη η οποία μπορεί να αποτελείται είτε από διόδους είτε από θυρίστορ. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή με σταθερή ή με ρυθμιζόμενη τιμή.
- Η προκύπτουσα συνεχής τάση εισέρχεται σε ένα κατωδιαβατό φίλτρο προκειμένου να εξαλειφθεί η κυμάτωση της. Το φίλτρο αυτό μπορεί να αποτελείται είτε μόνο από μία συστοιχία πυκνωτών, είτε από μία συστοιχία πυκνωτών και ένα πηνίο.
- Η εξομαλυμμένη τάση στη συνέχεια τροφοδοτεί τον αντιστροφέα. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και μεταβλητού πλάτους.
- Τέλος υπάρχει και η μονάδα ελέγχου, σκοπός της οποίας είναι να εποπτεύει και να ελέγχει την λειτουργία των προαναφερθέντων τριών τμημάτων.

Οι αντιστροφείς, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι ένα είδος μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μία πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος, σε μία εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Ο μετατροπέας αυτός αποτελεί και την καρδιά του ρυθμιστή στροφών των ασύγχρονων κινητήρων. Γι' αυτό το λόγο οι ρυθμιστές στροφών ασύγχρονων κινητήρων πολλές φορές αποκαλούνται και απλώς αντιστροφείς (inverters).

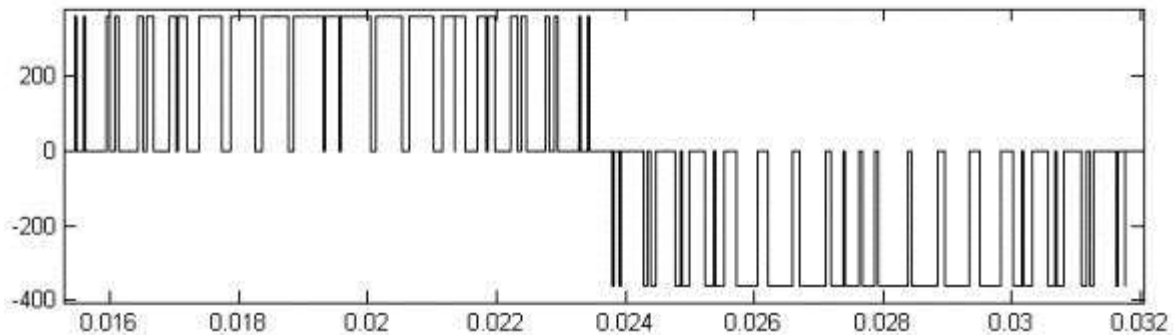
Όπως βλέπουμε από το παραπάνω σχήμα η εναλλασσόμενη τάση δικτύου γίνεται συνεχής (DC) και στη συνέχεια μέσω του αντιστροφέα γίνεται πάλι εναλλασσόμενη αλλά αυτή τη φορά μεταβλητής RMS τιμής και συχνότητας και στην συνέχεια εφαρμόζεται στον κινητήρα του οποίου μπορεί να ελέγχει την ταχύτητα του. Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας αποτελείται από τέσσερις ημιαγωγικούς διακόπτες οι οποίοι μπορεί να είναι τρανζίστορ ισχύος, MOSFET ισχύος, θυρίστορ, GTO, IGBT ή κάποιο άλλο ημιαγωγικό διακόπτη ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος του εναλλασσόμενου κινητήρα. Οι διακόπτες λειτουργούν είτε στην περιοχή κορεσμού είτε στην περιοχή αποκοπής.

Το άνοιγμα και κλείσιμο των ημιαγωγικών διακοπών γίνεται μέσω προγραμματισμού ενός μικροεπεξεργαστή ή ενός Ψηφιακού Επεξεργαστή Σήματος (Digital Signal Processor, DSP). Επομένως, μέσω ψηφιακών επεξεργασιών και χρησιμοποιώντας το κατάλληλο Software μπορούμε να πετύχουμε διάφορους αλγορίθμους ρύθμισης της τάσης εξόδου του αντιστροφέα (π.χ.  $V/F = \text{σταθερός}$ ) και κατά συνέπεια να έχουμε τη δυνατότητα ελέγχου διαφόρων παραμέτρων του κινητήρα (π.χ. ταχύτητα, ροπή, ρεύμα, τάση κ.α.). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται διάφορες τάσεις εξόδου του αντιστροφέα για διάφορους παλμούς έναυσης των ημιαγωγικών διακοπών που προέρχονται από ένα μικροεπεξεργαστή.



**Σχήμα 4: Τάσεις εξόδου αντιστροφέα για διάφορους παλμούς οδήγησης των ημιαγωγικών διακοπών**

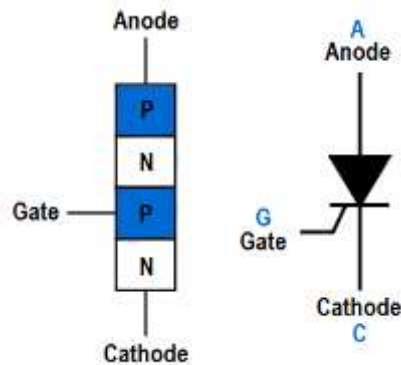
Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι επειδή οι κυματομορφές του σχήματος περιέχουν αρμονικές συνιστώσες σε χαμηλές συχνότητες δημιουργούν παρασιτικές ροπές με συνέπεια την κακή λειτουργία του κινητήρα. Για το λόγο αυτό η σημερινής τεχνολογίας αντιστροφείς παράγουν στην έξοδό τους μια τέτοια τάση η οποία να είναι απελευθερωμένη από αυτές τις αρμονικές. Μια τέτοια τάση (SPWM) παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 5:Κυματομορφή τάσης διαμορφωμένη κατά ημίτονο (SPWM)**

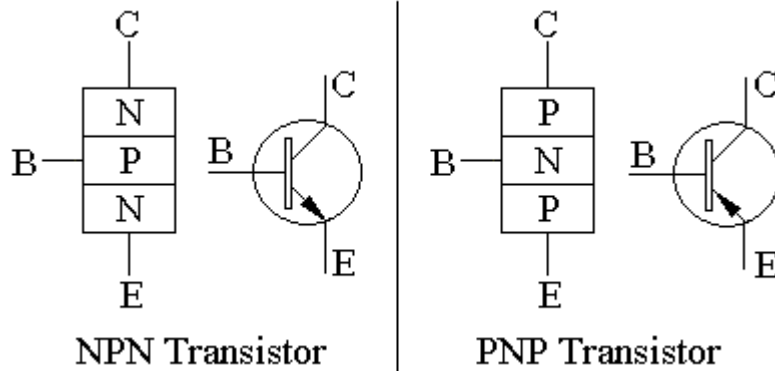
Τα βασικά δομικά στοιχεία αυτού του μετατροπέα είναι ηλεκτρονικοί ημιαγωγικοί διακόπτες. Η επιλογή αυτών των ηλεκτρονικών διακοπών είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει καθοριστικά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας, την απόδοση αλλά και την ποιότητα ενός αντιστροφέα. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικά από αυτά:

- Θυρίστορ (SCR)



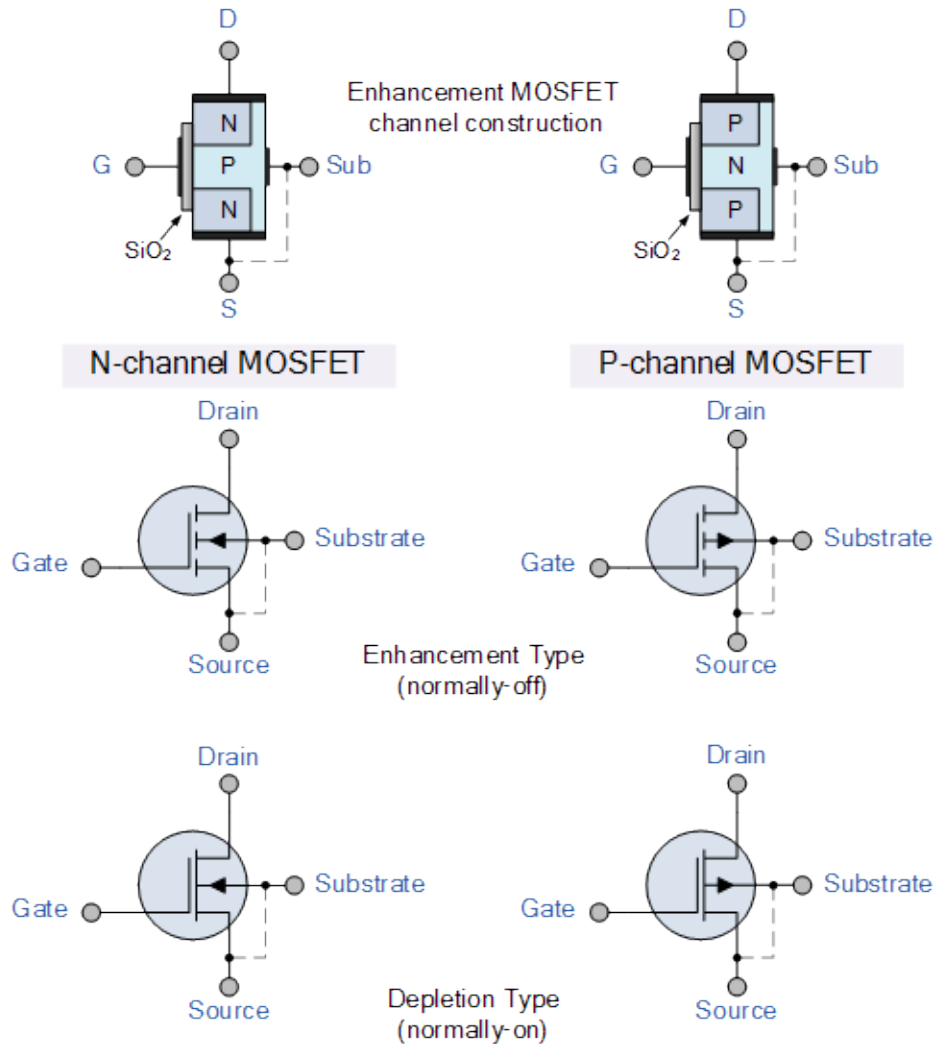
**Σχήμα 6:Οι ακροδέκτες και η δομή ενός θυρίστορ**

- Διπολικό Τρανζίστορ ισχύος (BJT)



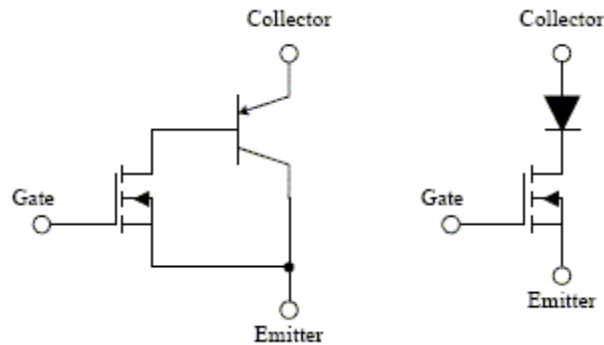
Σχήμα 7: Οι ακροδέκτες και η δομή ενός PNP και NPN τρανζίστορ

- MOSFET

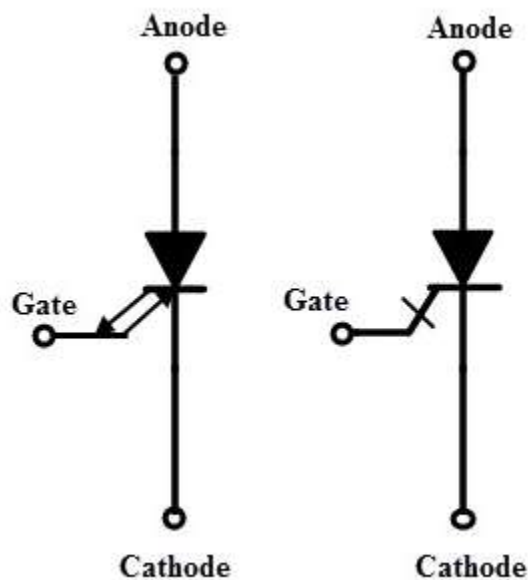


Σχήμα 8: Οι ακροδέκτες και η δομή ενός MOSFET (n-καναλίου και p-καναλίου)

- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)



- GTO θυρίστορ (Gate Turn Off Θυρίστορ)



**Σχήμα 9:Οι ακροδέκτες και η δομή ενός GTO θυρίστορ**

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, η καλύτερη επιλογή για αντιστροφείς ισχύος από 0.55 kW έως 315 kW είναι τα διακοπτικά στοιχεία τεχνολογίας IGBT ενώ για μεγαλύτερες ισχύεις τα διακοπτικά στοιχεία τεχνολογίας GTO.

Ο αντιστροφέας χρησιμοποιεί κάποιο είδος από τα προαναφερθέντα διακοπτικά στοιχεία και παράγει στην έξοδο του μια σειρά παλμών. Η παλμοσειρά αυτή έχει σταθερό ύψος και μεταβλητό εύρος παλμών και η θεμελιώδης συχνότητά της είναι ίση με την συχνότητα που επιθυμούμε να λειτουργήσει ο κινητήρας. Παράλληλα όμως με τη θεμελιώδη συχνότητα, λόγω της διακοπτικής λειτουργία του αντιστροφέα, παράγονται και ορισμένες άλλες συχνότητες

(ανώτερες αρμονικές). Είναι προς το συμφέρον του χρήστη αν αυτές οι συχνότητες έχουν τις δυνατόν υψηλότερες τιμές, για την αποφυγή μαγνητικού θορύβου, πρόσθετων απωλειών και ασταθούς λειτουργίας στον κινητήρα.

### 1.3 Εφαρμογές

Στην βιομηχανία, σήμερα, σε πάρα πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρυθμιστές στροφών, λόγω της σημαντικής βελτίωσης και αύξησης των δυνατοτήτων τους αλλά και λόγω της σημαντικής πτώσης των τιμών τους,. Εδώ θα αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες, συχνά εμφανιζόμενες, εφαρμογές τους:

- Αντλίες
- Ανεμιστήρες
- Παρασκευή και επεξεργασία χάρτου
- Μεταφορικές ταινίες
- Επεξεργασία ξυλείας
- Επεξεργασία μετάλλων
- Επεξεργασία μαρμάρου
- Γερανοί
- Συμπιεστές
- Ανελκυστήρες

### 1.4 Πλεονεκτήματα των ρυθμιστών στροφών

Τα γενικά χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα τους είναι τα ακόλουθα:

- **Αθόρυβη λειτουργία**

Η χρήση των τελευταίας τεχνολογίας ηλεκτρονικών διακοπών IGBT λύνει οριστικά το πρόβλημα του ηλεκτρονικού και του μαγνητικού θορύβου και παρέχει αθόρυβη λειτουργία του κινητήρα σε ολόκληρο το εύρος των στροφών.

- **Ομαλή λειτουργία και πλήρης ικανότητα ροπής σε χαμηλές στροφές**

Η υιοθέτηση της τεχνικής του διανυσματικού ελέγχου (Sensorless Vector Control) και η ανάθεση εκτέλεσής της σε πανίσχυρους βιομηχανικούς μικροεπεξεργαστές έχουν σαν αποτέλεσμα:

- τα τέλεια ημιτονοειδούς μορφής ρεύματα στην έξοδο



- την επίτευξη υψηλής ροπής ακόμα και στις πολύ χαμηλές ταχύτητες
  - και την απουσία κυματώσεως στη ροπή της μηχανής.
- **Αφθονία ρυθμίσεων.**

Κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας αλλά και πάρα πολλοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας, ειδικά σχεδιασμένοι για συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές, έχουν συμπεριληφθεί στο λογισμικό ελέγχου αυτών των μετατροπέων.

- **Έλεγχος ρεύματος και τάσης εξόδου.**

Ο συνεχής έλεγχος του ρεύματος κάνει δυνατή την γρήγορη επιτάχυνση της μηχανής ή την στιγμιαία υπερφόρτωσή της, χωρίς την διακοπή της λειτουργίας αυτής λόγω υπερεντάσεων, ενώ η τάση εξόδου ελέγχεται διαρκώς από τον μικροεπεξεργαστή προκειμένου να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

- **Εύκολη και ολοκληρωμένη επικοινωνία.**

Το ψηφιακό χειριστήριο περιλαμβάνει οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα του εύκολου χειρισμού και της παρακολούθησης πολλών χρησιμων μεγεθών όπως της συχνότητας, της τάσης, του ρεύματος και της αιτίας πιθανής αυτόματης διακοπής λειτουργίας.

- **Μεγάλο εύρος ισχύων.**

Οι ρυθμιστές στροφών καλύπτουν ισχύεις από 0.37 kW έως 250 kW. Έτσι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την καταλληλότερη για αυτόν ισχύ σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μηχανής ή του εξοπλισμού που διαθέτει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

---

#### 2.1 Γενικά χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα

Ο ασύγχρονος ηλεκτρικός κινητήρας είναι ο πιο κοινός τύπος κινητήρα λόγω της απλής κατασκευής του και της ευκολίας που παρουσιάζει στη λειτουργία του, καθώς δεν έχει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης αλλά οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στη διέγερσή του σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Καθώς τροφοδοτείται με ισχύ μόνο το κύκλωμα του στάτη του, ο επαγωγικός κινητήρας ονομάζεται και **μηχανή απλής διέγερσης** (singly excited), σε αντιδιαστολή με τις σύγχρονες μηχανές που ονομάζονται **μηχανές διπλής διέγερσης** (doubly excited).

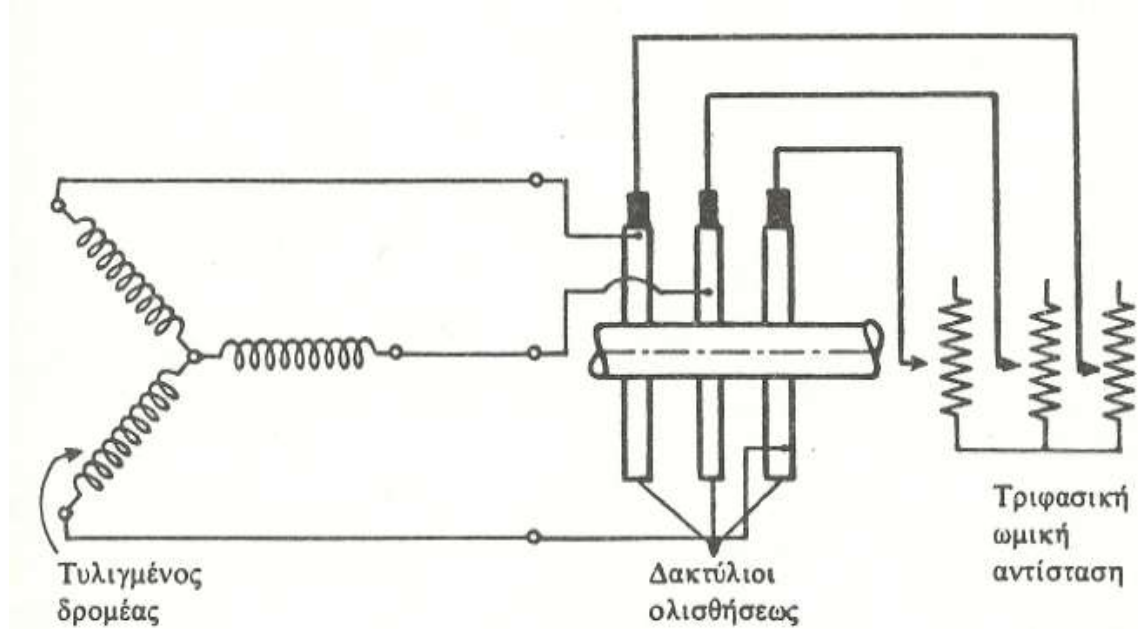
Στην πραγματικότητα ο επαγωγικός κινητήρας είναι ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Όπως και σε έναν μετασχηματιστή, έτσι και στον επαγωγικό κινητήρα το πρωτεύον τύλιγμα (του στάτη) επάγει κάποια τάση στο δευτερεύον τύλιγμα (του δρομέα). Αντίθετα όμως απ' ότι συμβαίνει σ' ένα μετασχηματιστή, η συχνότητα του δευτερεύοντος δεν είναι απαραίτητα ίση μ' αυτή του πρωτεύοντος. Ο επαγωγικός κινητήρας, στην κανονική λειτουργία, περιστρέφεται με ταχύτητα που πλησιάζει την σύγχρονη, χωρίς όμως ποτέ να την αποκτά. Θα πρέπει πάντα να υφίσταται κάποια σχετική κίνηση που να εξασφαλίζει την επαγωγή τάσης στο κύκλωμα διέγερσης. Συγκεκριμένα η σχετική κίνηση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα ευθύνεται για την ανάπτυξη της επαγόμενης τάσης στο δρομέα. Αυτή η τάση με τη σειρά της παράγει κάποιο ρεύμα στο δρομέα του κινητήρα, το οποίο αλληλεπιδρώντας με το πεδίο του στάτη παράγει την επαγόμενη ροπή του κινητήρα.

## 2.2 Βασική κατηγοριοποίηση επαγωγικών κινητήρων

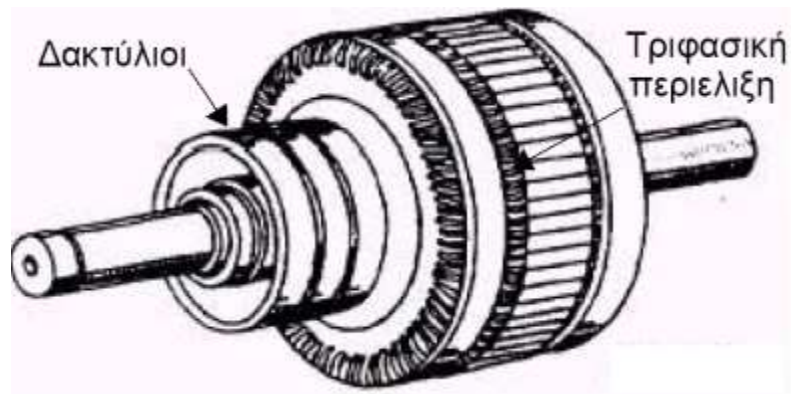
Κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του δρομέα τους

- Κινητήρες Τυλιγμένου Δρομέα

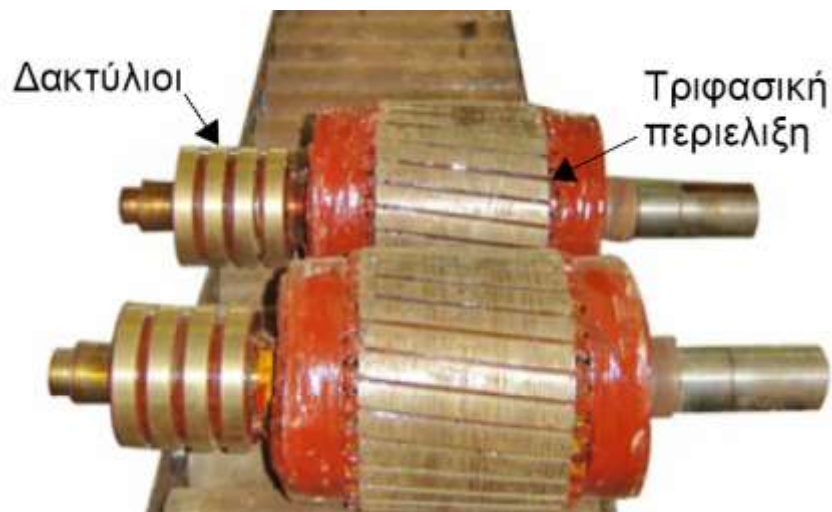
Ο δρομέας αποτελείται από τριφασική περιέλιξη σε συνδεσμολογία αστέρα. Τα άκρα της περιέλιξης συνδέονται μέσω κατάλληλων διατάξεων ψυκτρών-δακτυλίων με εξωτερικές μεταβλητές αντιστάσεις. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, το ρεύμα στο δρομέα μειώνεται μέσω των αντιστάσεων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ροπή εκκίνησης, ενώ καθώς η ταχύτητα αυξάνεται οι αντιστάσεις μειώνονται σταδιακά έως ότου μηδενιστούν.



Σχήμα 10: Συνδεσμολογία τυλιγμάτων τυλιγμένου δρομέα



Σχήμα 11: Δομή τυλιγμένου δρομέα



Εικόνα 1: Τυπικός τυλιγμένος δρομέας [Patil Electric Works PVT. LTD]

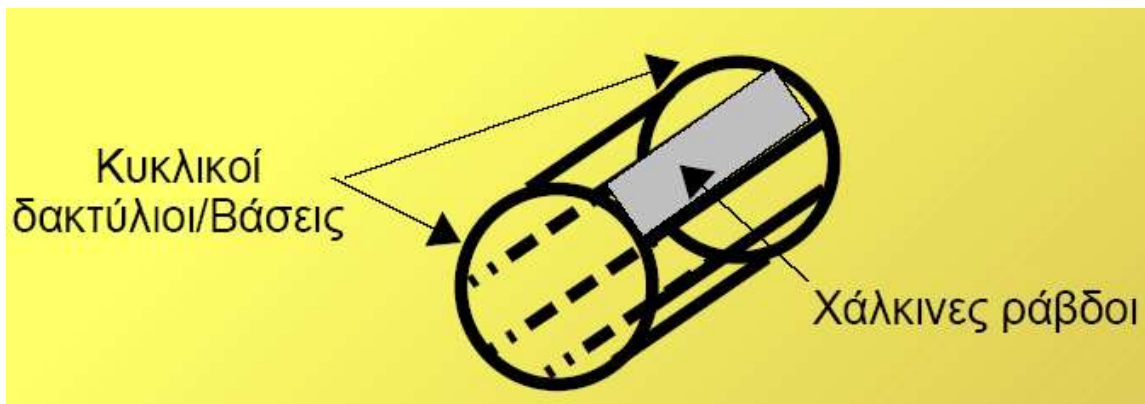
Μειονέκτημα αποτελούν η απώλεια ενέργειας στις αντιστάσεις και το αυξημένο κόστος σε σύγκριση με τους κινητήρες κλωβού

- Κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα

Ονομάζονται επίσης και **κινητήρες κλωβού** (*squirrel-cage motors*). Ο δρομέας έχει κυλινδρικό σχήμα. Αποτελείται κυρίως από δύο κυκλικές βάσεις ενωμένες μεταξύ τους με χαλύβδινα ηλεκτρικά μονωμένα ελάσματα. Στην εξωτερική του επιφάνεια φέρει κατάλληλες αυλακώσεις μέσα στις οποίες τοποθετούνται

χάλκινες ράβδοι (σχηματίζοντας τον κλωβό). Τα άκρα των ράβδων είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, μέσω των

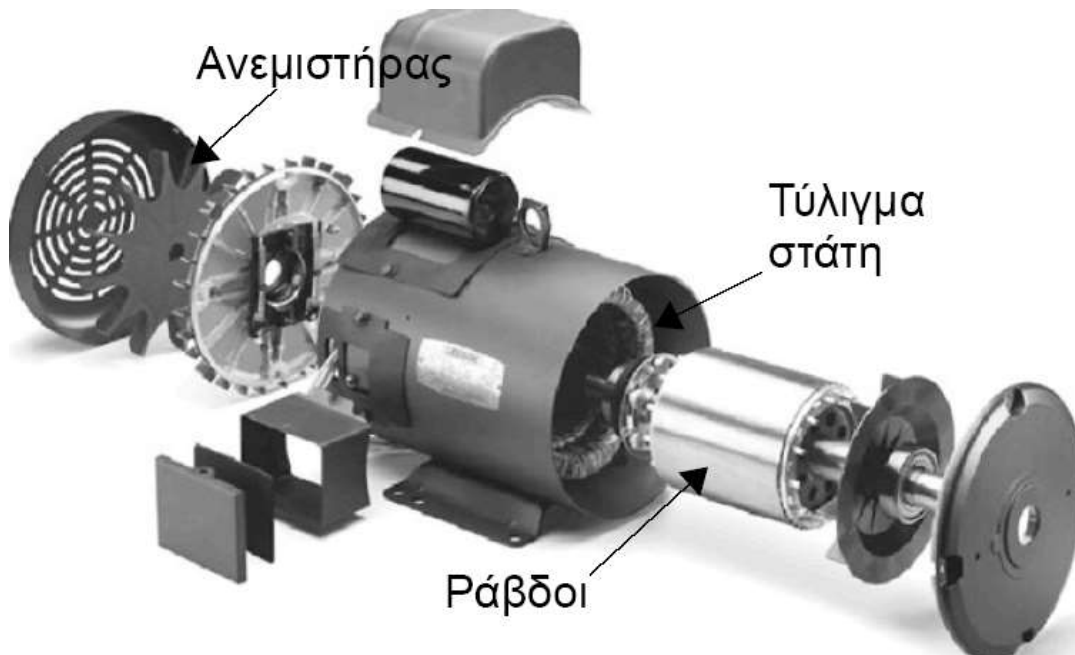
βάσεων, επιτρέποντας τη ροή του επαγωγικού ρεύματος, απαραίτητη για την ανάπτυξη της στρεπτικής ροπής



Σχήμα 12: Διάταξη κλωβού



Εικόνα 2: Τομή ενός τυπικού επαγωγικού κινητήρα κλωβού [Welsch & Partner]



Εικόνα 3: Τα κύρια μέρη ενός κινητήρα κλωβού

### 2.3 Η ανάπτυξη της επαγόμενης ροπής στους επαγωγικούς κινητήρες

Εξαιτίας του τριφασικού συστήματος τάσεων που εφαρμόζονται στο στάτη του κινητήρα οι αγωγοί του στάτη διαρρέονται από τριφασικό σύστημα ρευμάτων. Τα ρεύματα αυτά παράγουν το πεδίο του στάτη  $\mathbf{B}_s$  που περιστρέφεται με ανθρωπολογιακή φορά και με ταχύτητα

$$n_{sync} = \frac{120 \cdot f_e}{P}$$

όπου  $f_e$  είναι η συχνότητα του συστήματος σε Hz και  $p$  ο αριθμός των πόλων της μηχανής. Το μαγνητικό πεδίο  $\mathbf{B}_s$  καθώς διέρχεται πάνω από τους αγωγούς του δρομέα επάγει κάποια τάση στα άκρα τους. Η τάση εξ επαγωγής στα άκρα ενός συγκεκριμένου αγωγού του δρομέα θα είναι

$$e_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{\ell}$$

Όπου

$u$ =σχετική ταχύτητα των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο

$B$ =η μαγνητική επαγωγή του πεδίου του στάτη

$l$ =το μήκος του αγωγού του δρομέα

## 2.4 Η έννοια της ολίσθησης του δρομέα

Η σχετική κίνηση που προαναφέραμε περιγράφεται συνήθως από δύο μεγέθη: την ταχύτητα ολίσθησης και την ολίσθηση.

Η **ταχύτητα ολίσθησης** (slip speed) ορίζεται ως η διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη ταχύτητα και δίνεται από τη σχέση

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m$$

όπου

$n_{slip}$ = η ταχύτητα ολίσθησης της μηχανής

$n_{sync}$ = η ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων

$n_m$ = η μηχανική ταχύτητα του άξονα της μηχανής

Η **ολίσθηση** (slip) είναι ουσιαστικά η σχετική ταχύτητα εκφρασμένη σε εκατοστιαία ή σε ανά μονάδα (per-unit) βάση και ορίζεται από τη σχέση

$$s = \frac{n_{slip}}{n_{sync}} \times 100\%$$

η οποία μπορεί να εκφραστεί και μέσω της γωνιακής ταχύτητας (rad/s)

$$s = \frac{\omega_{sync} - \omega_m}{\omega_{sync}} \times 100\%$$

Η τιμή της ολίσθησης κυμαίνεται μεταξύ των οριακών τιμών  $s=0$ , για την περίπτωση που ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα, και  $s=1$  για την περίπτωση που ο δρομέας είναι ακίνητος.

Τα παραπάνω μεγέθη δεν προσδιορίζουν μόνο την σχετική κίνηση πεδίων δρομέα - στάτη, αλλά και όλα τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την επαγωγική λειτουργία του κινητήρα, δηλαδή τα μεγέθη εκείνα που συνοδεύουν την περιστροφική κίνηση του δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα. Τέτοια είναι η συχνότητα του δρομέα, η επαγόμενη τάση στο δρομέα, η αντίδραση του δρομέα, το ρεύμα του δρομέα κ.ά.

## 2.5 Η ισχύς στους επαγωγικούς κινητήρες

### 2.5.1 Ηλεκτρική ισχύς εισόδου του επαγωγικού κινητήρα

Η είσοδος ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ένα τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων. Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου του  $P_{in}$  θα έχει τη μορφή τριφασικού συστήματος τάσεων και ρευμάτων, ενώ θα δίνεται από τη σχέση

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_T \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

όπου

$V_T$ = η ονομαστική τάση του κινητήρα

$I_L$ = το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα

$\cos \theta$ = ο συντελεστής ισχύος λειτουργίας του κινητήρα

### 2.5.2 Μηχανική ισχύς εξόδου του επαγωγικού κινητήρα

Ο επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί ως στρεφόμενος μετασχηματιστής. Ενώ όμως σ'έναν κοινό μετασχηματιστή η ισχύς στο δευτερεύον τύλιγμα αποτελεί την ηλεκτρική ισχύ εξόδου, στον επαγωγικό κινητήρα δεν εμφανίζεται ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο του, καθώς το δευτερεύον τύλιγμα του επαγωγικού κινητήρα (δρομέας) είναι βραχυκυκλωμένο. Αντίθετα η ισχύς εξόδου του επαγωγικού κινητήρα είναι μηχανική. Η μηχανική ισχύς εξόδου  $P_{out}$  του επαγωγικού κινητήρα είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος προσδιορισμού της μηχανικής ισχύος εξόδου ενός επαγωγικού κινητήρα βασίζεται στη σχέση που συνδέει την μηχανική αυτή ισχύ με την ηλεκτρική ισχύ εισόδου και τις



συνολικές απώλειες του κινητήρα. Έτσι αν γνωρίζουμε την ηλεκτρική ισχύ εισόδου και το σύνολο των απωλειών του κινητήρα ( $P_{ap}$ ), μπορούμε να βρούμε την μηχανική ισχύ εξόδου από τη διαφορά των δύο παραπάνω μεγεθών, δηλαδή

$$P_{out} = P_{in} - P_{out}$$

Ο δεύτερος τρόπος προσδιορισμού της μηχανικής ισχύος εξόδου του επαγωγικού κινητήρα προκύπτει από τη σχέση που συνδέει την παραπάνω ισχύ με την ροπή που ασκείται στον άξονα του δρομέα (tload) και τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ( $\omega_m$ ). Με τη γνώση των παραπάνω τιμών ροπής και γωνιακής ταχύτητας, βρίσκουμε την τιμή της ισχύος εξόδου του επαγωγικού κινητήρα σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση

$$P_{out} = \tau_{load} \cdot \omega_m$$

## 2.6 Απώλειες στον επαγωγικό κινητήρα

Οι κατηγορίες απωλειών σε έναν επαγωγικό κινητήρα είναι οι ακόλουθες

1. Απώλειες χαλκού στο στάτη και στο δρομέα
2. Απώλειες πυρήνα ή απώλειες σιδήρου
3. Μηχανικές απώλειες
4. Κατανεμημένες απώλειες

Οι απώλειες χαλκού είναι οι απώλειες θερμότητας στους αγωγούς του στάτη και του δρομέα της μηχανής. Συγκεκριμένα οι απώλειες χαλκού στον τριφασικό στάτη (stator copper losses- SCL) ενός επαγωγικού στάτη δίνονται από τη σχέση

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

όπου:

$R_1$ = η συνολική ωμική αντίσταση των αγωγών της κάθε φάσης του στάτη

$I_1$ = το ρεύμα της κάθε φάσης του στάτη

Οι απώλειες χαλκού στο δρομέα (rotor copper losses- RCL) δίνονται από τη σχέση

$$P_{RCL} = 3I_R^2 R_R = 3I_2^2 R_2 = sP_{AG} = P_{conv} \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right)$$

όπου:

$R_R$  = η συνολική ωμική αντίσταση των αγωγών της κάθε φάσης του δρομέα

$I_R$  = το ρεύμα της κάθε φάσης του δρομέα

$s$  = η ολίσθηση

$P_{AG}$  = η ισχύς του διακένου

$P_{conv}$  = η μετατρεπόμενη μηχανική ισχύς

Οι ωμικές αντιστάσεις του στάτη και του δρομέα εξαρτώνται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κινητήρα (όπως το μήκος κι τη διατομή των τυλιγμάτων του, την ποιότητα του χαλκού του, την κλάση μόνωσης) καθώς και από τη θερμοκρασιακή κατάστασή του. Επίσης οι τιμές των ωμικών αντιστάσεων επηρεάζονται και από το επιδερμικό φαινόμενο.

Οι απώλειες πυρήνα  $P_{core}$  (ή αλλιώς σιδήρου) οφείλονται στα φαινόμενα υστέρησης και δινορρευμάτων που αναπτύσσονται στα σιδηρομαγνητικά υλικά των κινητήρων.

Οι απώλειες υστέρησης (hysteresis losses)  $P_{core,h}$  αναφέρονται στη μαγνητική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μαγνήτιση του πυρήνα, δηλαδή την αναδιάταξη των μαγνητικών τμημάτων του όπως αυτή συμβαίνει σε κάθε περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα. Μπορεί ν' αποδειχτεί ότι οι απώλειες ενέργειας σε κάθε περίοδο είναι ανάλογες του εμβαδού που καλύπτει ο βρόχος υστέρησης. Όσο μικρότερη είναι η μέγιστη τιμή της μαγνητεγερτικής δύναμης που εφαρμόζεται στον πυρήνα, τόσο μικρότερο είναι το εμβαδό του βρόχου υστέρησης, άρα και οι αντίστοιχες απώλειες.

Οι απώλειες δινορρευμάτων (eddy current losses)  $P_{core,e}$  αποτελούν μια ακόμα κατηγορία απωλειών προκαλούμενων από τις

μεταβολές της επιβαλλόμενης μαγνητεγερτικής δύναμης σ' έναν πυρήνα. Οφείλονται στην ανάπτυξη δινορρευμάτων στον πυρήνα από τάσεις που επάγει μια χρονικά μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή και είναι ουσιαστικά οι θερμικές απώλειες που καταναλώνονται στην αντίσταση του μετάλλου του πυρήνα. Εξαρτώνται από τη γεωμετρία του πυρήνα, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού του, την πυκνότητα του ρεύματος και το πάχος των δυναμοελασμάτων. Πρακτικά ο διαχωρισμός των απωλειών πυρήνα σε απώλειες υστέρησης και απώλειες δινορρευμάτων είναι πολύ δύσκολος.

Οι μηχανικές απώλειες ενός επαγωγικού κινητήρα συνίστανται στις απώλειες λόγω τριβών μεταξύ των μηχανικών τμημάτων της μηχανής (friction losses) PF, και στις απώλειες εξαερισμού (windage losses) PW. Οι τελευταίες είναι οι απώλειες που προκύπτουν από τις τριβές των μηχανικών τμημάτων του κινητήρα με τον αέρα λόγω περιστροφής. Για τις μηχανικές απώλειες χρησιμοποιείται ο συμβολισμός PF&W. Κατά προσέγγιση θεωρούνται ανάλογες του κύβου της περιστροφικής ταχύτητας του κινητήρα.

Τέλος στις κατανεμημένες απώλειες Pstray περιλαμβάνονται όλες οι απώλειες που δεν μπορούν να υπολογιστούν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες και συνήθως οφείλονται στην αύξηση της μαγνητικής ροής σκέδασης κατά την αύξηση φορτίου και στις υψίσυχνες διακυμάνσεις της ροής αυτής (οι διακυμάνσεις της ροής προέρχονται από την παραμόρφωση της ημιτονοειδούς ιδανικά κατανομής της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο, λόγω της κατανομής των αγωγών στα αυλάκια). Τέτοιες μη υπολογίσιμες απώλειες μπορεί να είναι

- Απώλειες δινορρευμάτων στις περιελίξεις εξαιτίας του επιδερμικού φαινομένου που προκαλεί η μαγνητική ροή σκέδασης, με συνέπεια την μείωση της ενεργού διατομής των αγωγών και άρα την αύξηση της ωμικής των αντιστάσεως.
- Απώλειες δινορρευμάτων λόγω της μαγνητικής ροής σκέδασης στις κεφαλές των τυλιγμάτων του στάτη, με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών πυρήνα και την πρόκληση απωλειών σιδήρου στο περίβλημα και σε άλλα μη ενεργά μέρη του κινητήρα. Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από τη γεωμετρία των κεφαλών του κινητήρα. Η τιμή τους προσδιορίζεται συμβατικά ως το 1% επί της ισχύος εξόδου του κινητήρα κατά τη λειτουργία με πλήρες φορτίο.

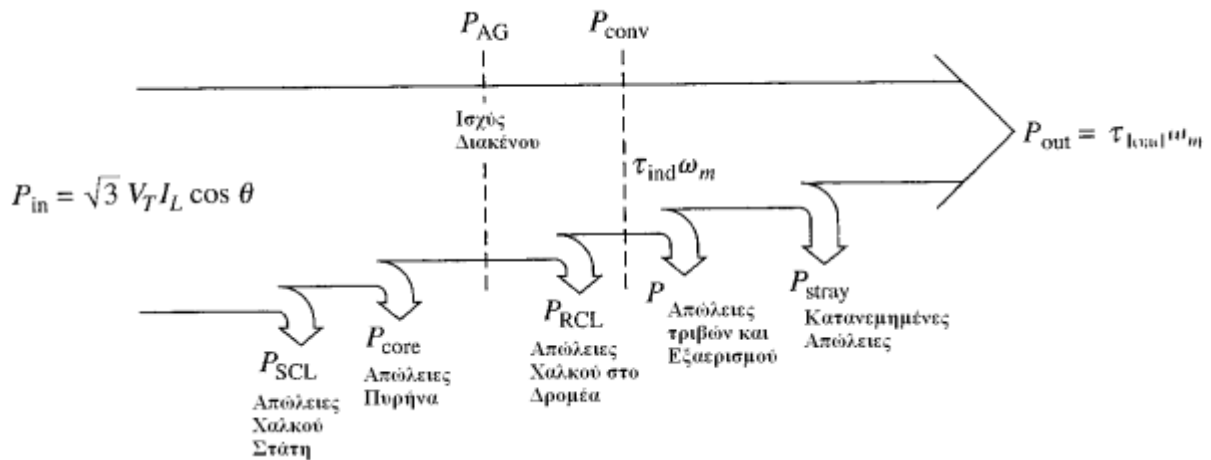
Οι μηχανικές απώλειες και οι απώλειες πυρήνα συνήθως υπολογίζονται μαζί και ονομάζονται απώλειες χωρίς φορτίο ή απώλειες της εν κενώ λειτουργίας.

Οι απώλειες πυρήνα, οι μηχανικές και οι κατανεμημένες απώλειες πολλές φορές προστίθενται όλες μαζί και ονομάζονται απώλειες περιστροφής (rotational losses). Ο λόγος είναι ότι οι τιμές των παραπάνω απωλειών εξαρτώνται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες τριβών, εξαερισμού και οι κατανεμημένες απώλειες. Από την άλλη μεριά οι απώλειες πυρήνα μειώνονται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (όταν δηλαδή η  $n_m$  προσεγγίζει την  $n_{sync}$ ).

Παρά την παραπάνω εξάρτηση των επιμέρους απωλειών περιστροφής από την ταχύτητα περιστροφής, η συνολική τιμή τους θεωρείται σταθερή ακόμα και για μεταβαλλόμενη περιστροφική ταχύτητα κινητήρα, αφού οι επιμέρους απώλειες μεταβάλλονται προς αντίθετες κατευθύνσεις.

## 2.7 Διάγραμμα ροής ισχύος

Η σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική ισχύ εισόδου, την μηχανική ισχύ εξόδου, καθώς και τις επιμέρους απώλειες του επαγωγικού κινητήρα αποδίδεται σχηματικά με το διάγραμμα ροής ισχύος



Σχήμα 13: Διάγραμμα ροής ισχύος επαγωγικού κινητήρα

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής ο κινητήρας τροφοδοτείται αρχικά με την ηλεκτρική ισχύ  $P_{in}$ . Οι πρώτες απώλειες της ισχύος εισόδου, εμφανίζονται στο τύλιγμα του στάτη του κινητήρα και είναι οι απώλειες χαλκού του στάτη. Στη συνέχεια χάνεται κάποιο ποσό ισχύος με την μορφή απωλειών υστέρησης και δινορρευσμάτων στο

στάτη (απώλειες πυρήνα). Η ισχύς που απομένει μεταφέρεται στο δρομέα του κινητήρα διαμέσου του διακένου, και γι' αυτό το λόγο ονομάζεται ισχύς διακένου (air-gap power)  $P_{AG}$  της μηχανής. Ένα μέρος της ισχύος διακένου, δηλαδή της ισχύος που μεταφέρεται μέσω του διακένου στο δρομέα, χάνεται με τη μορφή θερμικών απωλειών στους αγωγούς του δρομέα (απώλειες χαλκού δρομέα).

Σε αυτό το σημείο, μετά δηλαδή από τις θερμικές απώλειες του δρομέα, η ισχύς που απομένει μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική ( $P_{conv}$ ). Η ισχύς αυτή, που μερικές φορές ονομάζεται αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύς, δίνεται από τις σχέσεις

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$$

$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m$$

όπου  $\tau_{ind}$  είναι η ροπή που παράγεται κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε μηχανική. Αυτή η ροπή διαφέρει από εκείνη που είναι πραγματικά αξιοποιήσιμη στην έξοδο του κινητήρα, γεγονός που φαίνεται άλλωστε και από το διάγραμμα ροής ισχύος.

Πράγματι η  $P_{conv}$  μειώνεται από τις απώλειες τριβών και εξερισμού, δηλαδή τις μηχανικές απώλειες του κινητήρα (PF&W), ενώ στο τέλος αφαιρούνται και οι κατανεμημένες απώλειες ( $P_{stray}$ ). Το ποσό της μηχανικής ισχύος που απομένει αποτελεί την αξιοποιήσιμη μηχανική ισχύ εξόδου της μηχανής ( $P_{out}$ ).

Λόγω της φύσης τους, οι απώλειες πυρήνα τοποθετούνται στο διάγραμμα ροής ισχύος σχετικά αυθαίρετα. Στην πραγματικότητα οι συνολικές απώλειες του πυρήνα δεν προέρχονται μόνο από το κύκλωμα του στάτη (όπως υποδηλώνεται από το συγκεκριμένο διάγραμμα), αλλά προέρχονται και από το κύκλωμα του δρομέα. Θα μπορούσαν λοιπόν να τοποθετηθούν στο διάγραμμα μετά τις απώλειες χαλκού του δρομέα.

Ο λόγος για τον οποίο σ' ένα διάγραμμα ροής ισχύος οι συνολικές απώλειες πυρήνα συνήθως τοποθετούνται στο κύκλωμα του στάτη (όπως έγινε και στο διάγραμμα του σχήματος μας), είναι ότι οι απώλειες αυτές, τις περισσότερες φορές, προέρχονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από το στάτη. Κι αυτό διότι τις περισσότερες φορές ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα πολύ κοντά στην σύγχρονη και κατά συνέπεια η σχετική ταχύτητα που αναπτύσσεται ανάμεσα στα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μικρή. Έτσι

οι απώλειες πυρήνα στο δρομέα είναι πολύ μικρές συγκριτικά με τις αντίστοιχες του στάτη.

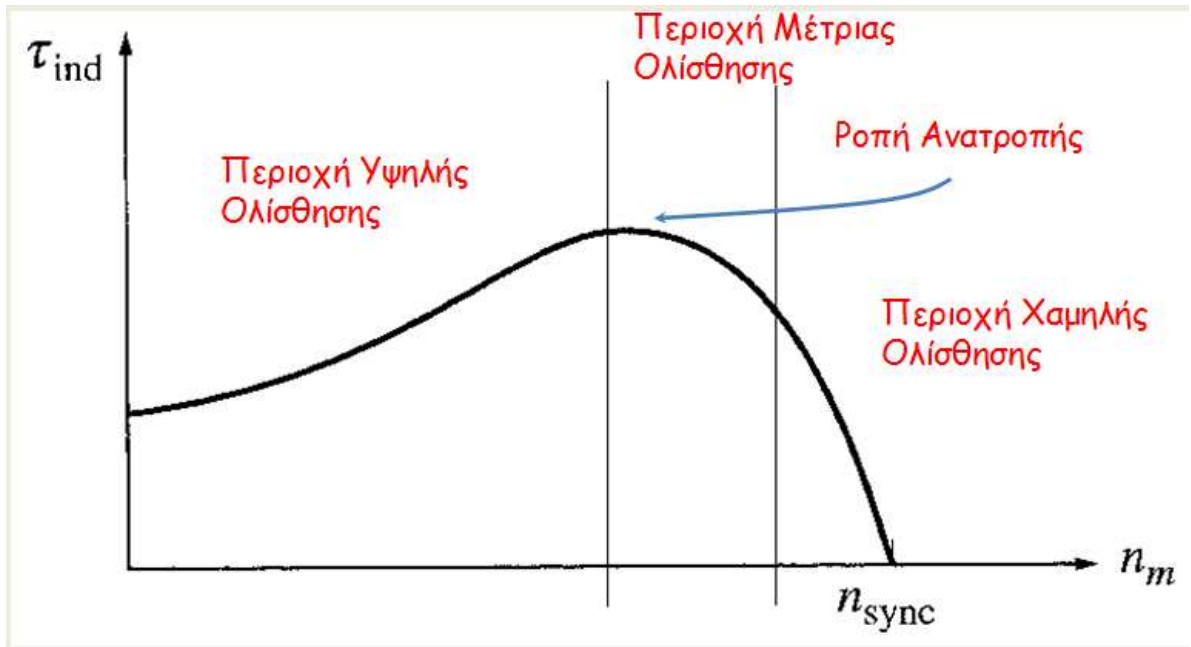
## 2.8 Συντελεστής απόδοσης επαγωγικού κινητήρα

Ο συντελεστής απόδοσης ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ίσος με το λόγο της ωφέλιμης μηχανικής ισχύος εξόδου του κινητήρα προς την ηλεκτρική ισχύ εισόδου του

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

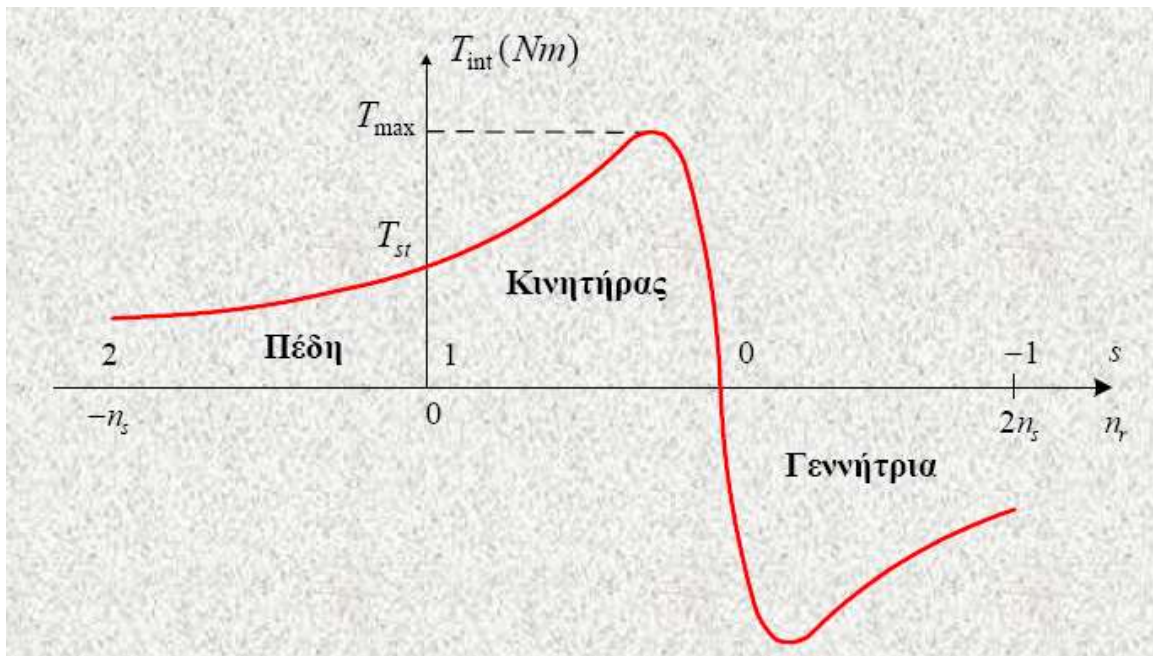
## 2.9 Χαρακτηριστικές ροπής – ταχύτητας

Όταν ο κινητήρας δουλεύει χωρίς φορτίο η ολίσθηση είναι μικρή και η σχετική κίνηση ανάμεσα στα μαγνητικά πεδία του στάτη και του δρομέα είναι πολύ μικρή. Η τάση που επάγεται στις ράβδους του δρομέα είναι μικρή και κατά συνέπεια είναι μικρό και το ρεύμα στο δρομέα. Το ρεύμα στο στάτη είναι αρκετά μεγάλο, ακόμα και όταν ο κινητήρας δουλεύει χωρίς φορτίο. Εάν προστεθεί φορτίο στον κινητήρα η ολίσθηση αυξάνεται, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μειώνεται και αυξάνονται η τάση που επάγεται στις ράβδους του δρομέα, το ρεύμα του δρομέα και το ρεύμα του στάτη. Το μέτρο του μαγνητικού πεδίου του στάτη και η γωνία μεταξύ του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και του πεδίου του στάτη αυξάνονται με συνέπεια την αύξηση της ροπής. Αύξηση της γωνίας μεταξύ του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και του πεδίου του στάτη σε τιμές μεγαλύτερες των 90 μοιρών τείνει να μειώσει τη ροπή



Σχήμα 14: Χαρακτηριστική ροπής- στροφών

Η χαρακτηριστική ροπής- στροφών στην πλήρη της μορφή απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 15: Χαρακτηριστική ροπής- στροφών (πλήρης μορφή)

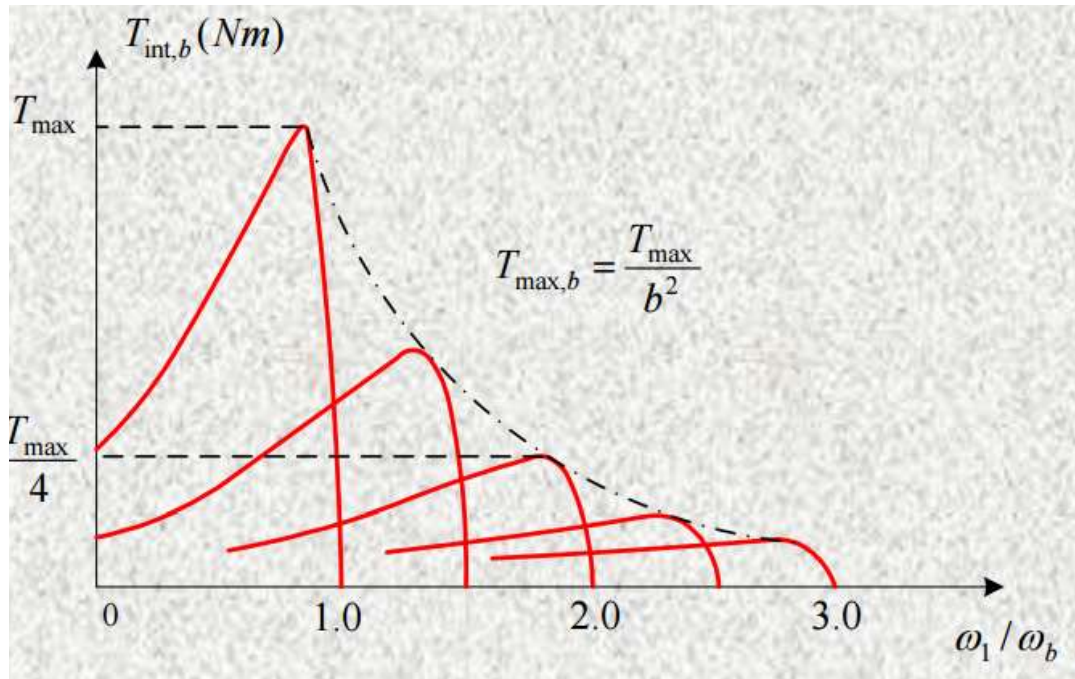
- $0 < n_r < n_s < 0$  ή  $1 < s < 0$  : Περιοχή λειτουργίας της ασύγχρονης μηχανής ως Κινητήρας
- $n_r > n_s$  (Υπερσύγχρονος αριθμός στροφών): Με τη βοήθεια κινητήριας μηχανής στρέφεται ο άξονας πάνω από το σύγχρονο αριθμό στροφών και η ασύγχρονη μηχανή λειτουργεί ως Γεννήτρια. (αποδίδει πραγματική ισχύ στο δίκτυο), οπότε:  $s < 0$ .
- Αλλαγή της διαδοχής των φάσεων του δικτύου: Αν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας, θα αντιστραφεί η φορά του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη. Στην κατάσταση αυτή, η παραγόμενη ηλεκτρική ροπή αλλάζει πρόσημο, γίνεται δηλαδή αντιρροπή, με αποτέλεσμα το απότομο φρενάρισμα του κινητήρα. Εάν ο κινητήρας παραμείνει υπό τάση δε θα σταματήσει, αλλά μετά το μηδενισμό των στροφών θα αλλάξει τεταρτημόριο λειτουργίας και θα εξακολουθεί να λειτουργεί ως Κινητήρας, με αντίθετη όμως φορά περιστροφής.

## 2.10 Επίδραση της συχνότητας στη χαρακτηριστική ροπής-στροφών

Η μεταβολή των στροφών ενός ασύγχρονου 3Φ κινητήρα επιτυγχάνεται:

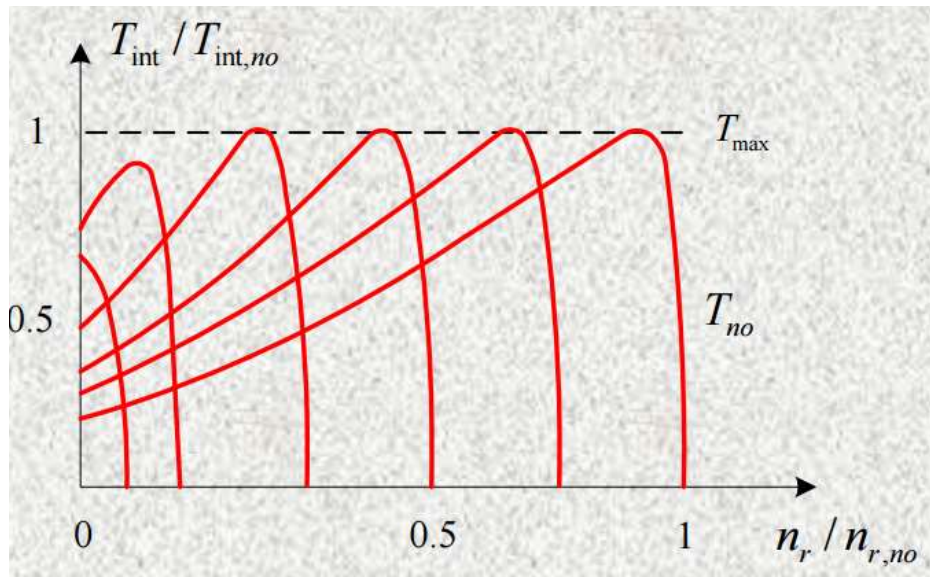
Με τη γραμμική μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας του στάτη χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ισχύος (αντιστροφείς). Με την αύξηση της συχνότητας, ελαττώνεται η ικανότητα φόρτισης σε ροπή του κινητήρα. Σε χαμηλές συχνότητες, έχουμε ελάττωση των επαγωγικών αντιδράσεων και αύξηση των επιμέρους ρευμάτων. Επίσης η ροπή ανατροπής αυξάνει, αυξάνοντας ταυτόχρονα και η ικανότητα φόρτισης του κινητήρα. Χρήση της μεθόδου: σε συστήματα τα οποία απαιτούν υψηλές ροπές εκκίνηση και σε χαμηλές ταχύτητες και αρκετά μικρότερες ροπές σε υψηλές ταχύτητες (π.χ. συστήματα κίνησης, έλξης).





**Σχήμα 16: Μεταβολή ροπής με μεταβολή στροφών (λόγω μεταβολής της συχνότητας)**

- Με τη τοποθέτηση περισσότερων του ενός τυλιγμάτων στο στάτη με διαφορετικό αριθμό πόλων (π.χ. κινητήρας δυο ταχυτήτων, συνδεσμολογία Dahlander, ανελκυστήρες κ.λπ.)



**Σχήμα 17: Διατήρηση της ροπής με τη μεταβολή στροφών (λόγω μεταβολής της τάσης)**

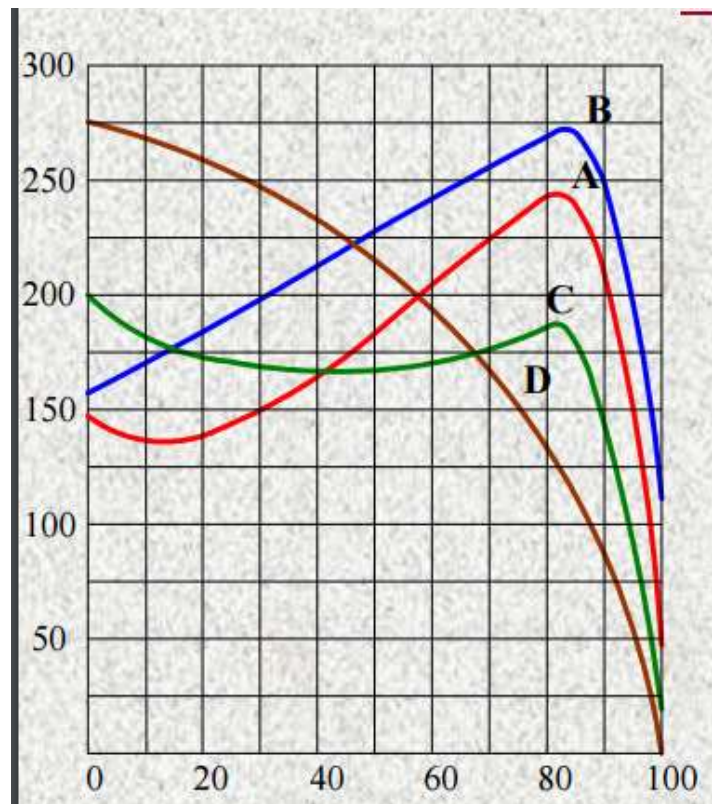
Για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση των μαγνητικών χαρακτηριστικών του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος, στα συστήματα ελέγχου των στροφών των ασύγχρονων κινητήρων, η μεταβολή της συχνότητας συνοδεύεται από ανάλογη μεταβολή του μεγέθους της τάσης τροφοδοσίας, έτσι ώστε η μαγνητική ροή στο διάκενο να διατηρείται στη μέγιστη δυνατή τιμή.

## 2.11 Κατηγορίες ασύγχρονων κινητήρων κλωβού

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας, οι ασύγχρονοι κινητήρες κλωβού κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες (σύμφωνα με την Ένωση Κατασκευαστών Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού NEMA των ΗΠΑ)

- Κατηγορία A
  - Αποτελούν τη *βασική κατασκευή* για κάτω από 7,5 HP πάνω από 200 HP.
  - Έχουν χρήση σε ηλεκτροκίνηση με σταθερό αριθμό στροφών και χαμηλή ροπή εκκίνησης (π.χ. *ανεμιστήρες, φυσητήρες, αντλίες, εργαλειομηχανές*)
  - Η ολίσθηση πλήρους φορτίου είναι χαμηλή, ενώ η απόδοση στο πλήρες φορτίο είναι υψηλή
  - Το *ρεύμα εκκίνησης ποικίλει από 500 έως 800%* του ρεύματος πλήρους φορτίου (εκκίνηση με ονομαστική τάση)
  
- Κατηγορία B
  - Κατασκευάζεται για ισχύ *μεταξύ 7,5 και 200 HP*
  - Έχουν την *ίδια περίπου ροπή εκκίνησης* με την κατηγορία A
  - Η ολίσθηση πλήρους φορτίου είναι χαμηλή, ενώ η απόδοση στο πλήρες φορτίο είναι υψηλή
  - Έχουν τις *ίδιες εφαρμογές όπως και στην κατηγορία A*, με τη διαφορά ότι *το ρεύμα εκκίνησης είναι περίπου το 75%* αυτού που απαιτείται στην κατηγορία A
  
- Κατηγορία C
  - Κατασκευάζονται για ισχύ *μεταξύ των 10 έως 300 HP*
  - Έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης

- Η ολίσθηση είναι υψηλότερη εκείνης των κατηγοριών A & B σε κανονική λειτουργία (επομένως έχουν χαμηλότερη απόδοση)
  - Βρίσκουν εφαρμογές σε *συμπιεστές και μεταφορικές ταινίες*
- Κατηγορία D
    - Κατασκευάζονται για ισχύ από 5 έως μερικές εκατοντάδες HP
    - Αναπτύσσουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης
    - Σε λειτουργία πλήρους φορτίου (ονομαστική ροπή) η ολίσθηση είναι μεγάλη (από 7 έως 11%) συνεπώς έχουν χαμηλή απόδοση λειτουργίας
    - Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε φορτία που απαιτούν υψηλή επιτάχυνση και φορτία κρούσεων (π.χ. κρουστικές πρέσες)
    - Η μέγιστη ροπή αναπτύσσεται σε ολίσθηση 50 έως 100%



**Σχήμα 18: Διαγράμματα ροπών Ασύγχρονων κινητήρων και των τεσσάρων κατηγοριών**

## **2.12 Εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων τυλιγμένου δρομέα**

Η εκκίνηση πραγματοποιείται μέσω των εξωτερικών μεταβλητών αντιστάσεων που είναι συνδεδεμένες με τα άκρα της τριφασικής περιέλιξης του δρομέα, μειώνοντας στο επιθυμητό επίπεδο το απαιτούμενο ρεύμα εκκίνησης

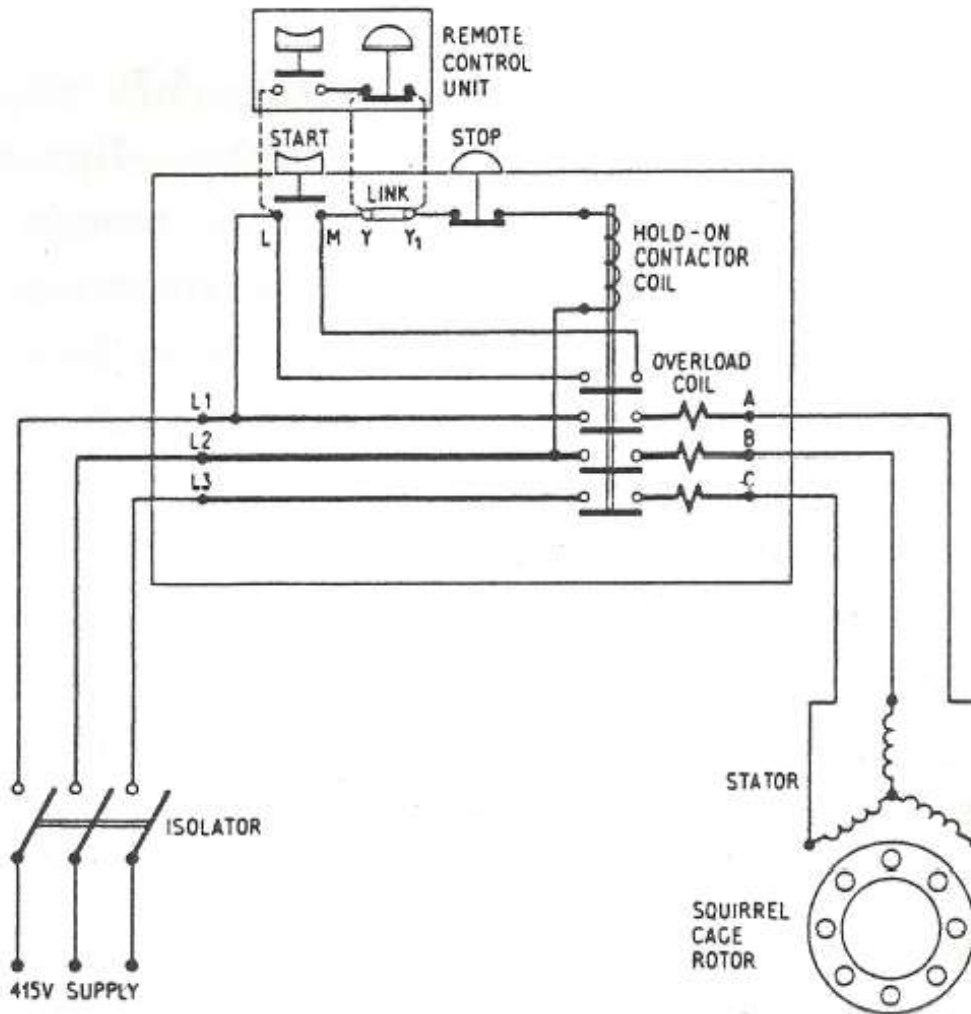
### **2.12.1 Εκκίνηση κινητήρων κλωβού**

#### **2.12.1.1 Εκκινήτης απευθείας συνδέσεως**

- Χρησιμοποιείται σε μικρούς κινητήρες (*κάτω των 3,75 kW*)
- *Δεν περιορίζει* το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα
- Περιλαμβάνει κυρίως ένα μαχαιρωτό και ένα αυτόματο διακόπτη τεσσάρων επαφών μέσω του οποίου τροφοδοτεί τον κινητήρα (3 φάσεις) και το πηνίο του αυτομάτου
- Μπορεί εύκολα να προστεθεί *τηλεχειρισμός*

Τρόπος λειτουργίας

- Με το μαχαιρωτό διακόπτη κλειστό, πιέζεται το “START” με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η τροφοδοσία του πηνίου και η συγκράτηση των τεσσάρων επαφών του ρελέ από το δίκτυο
- Για τη διακοπή του κινητήρα, πιέζεται το “STOP”, διακόπτοντας την παροχή του πηνίου άρα και τη συγκράτηση των επαφών

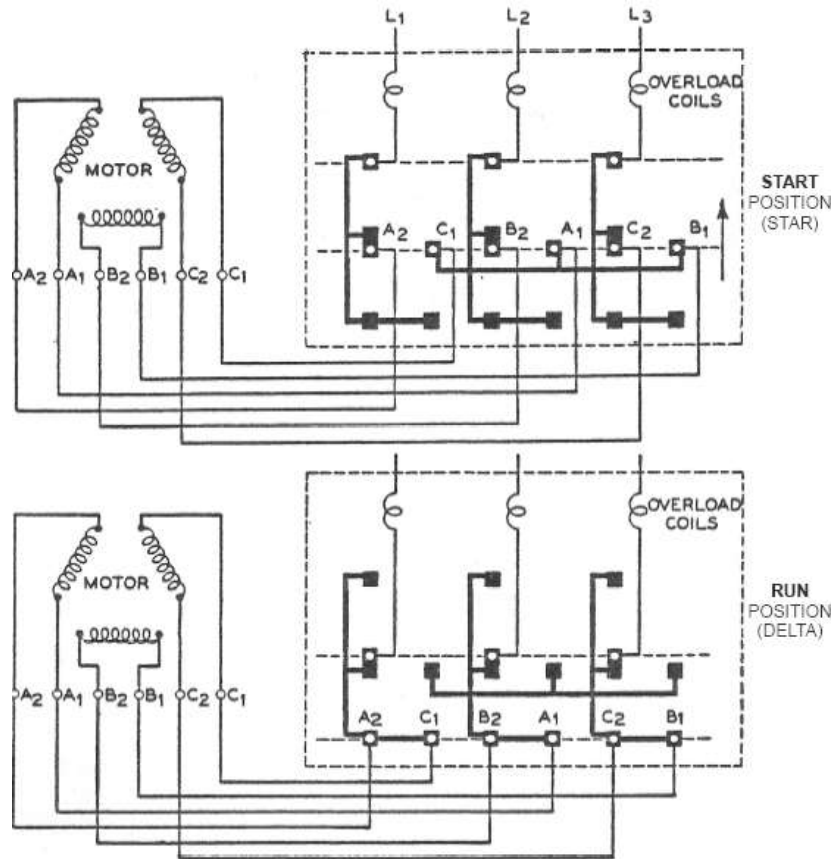


Σχήμα 19: Εκκινητής απευθείας συνδέσεως

### 2.12.1.2 Εκκινητής αστέρα-τριγώνου

- Χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερους κινητήρες για τον περιορισμό του ρεύματος εκκίνησης στο επιθυμητό επίπεδο
- Τα έξι άκρα του τριφασικού τυλίγματος του στάτη συνδέονται μέσω του εκκινητή σε συνδεσμολογία αστέρα κατά την εκκίνηση του κινητήρα και τριγώνου στην κανονική λειτουργία
- Η τάση εκκίνησης περιορίζεται στο 58% της πολικής τάσης  $V_{\pi}$  αφού:  $V_{\varphi} = \frac{V_{\pi}}{\sqrt{3}} = 0.58 \cdot V_{\pi}$
- Το ρεύμα εκκίνησης και η ροπή εκκίνησης είναι ίσα με το 1/3 των αντίστοιχων στην περίπτωση απευθείας τροφοδότησης με το δίκτυο τροφοδοσίας
- Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κίνησης φορτίων φυγοκεντρικού τύπου όπως αντλίες, ανεμιστήρες κτλ

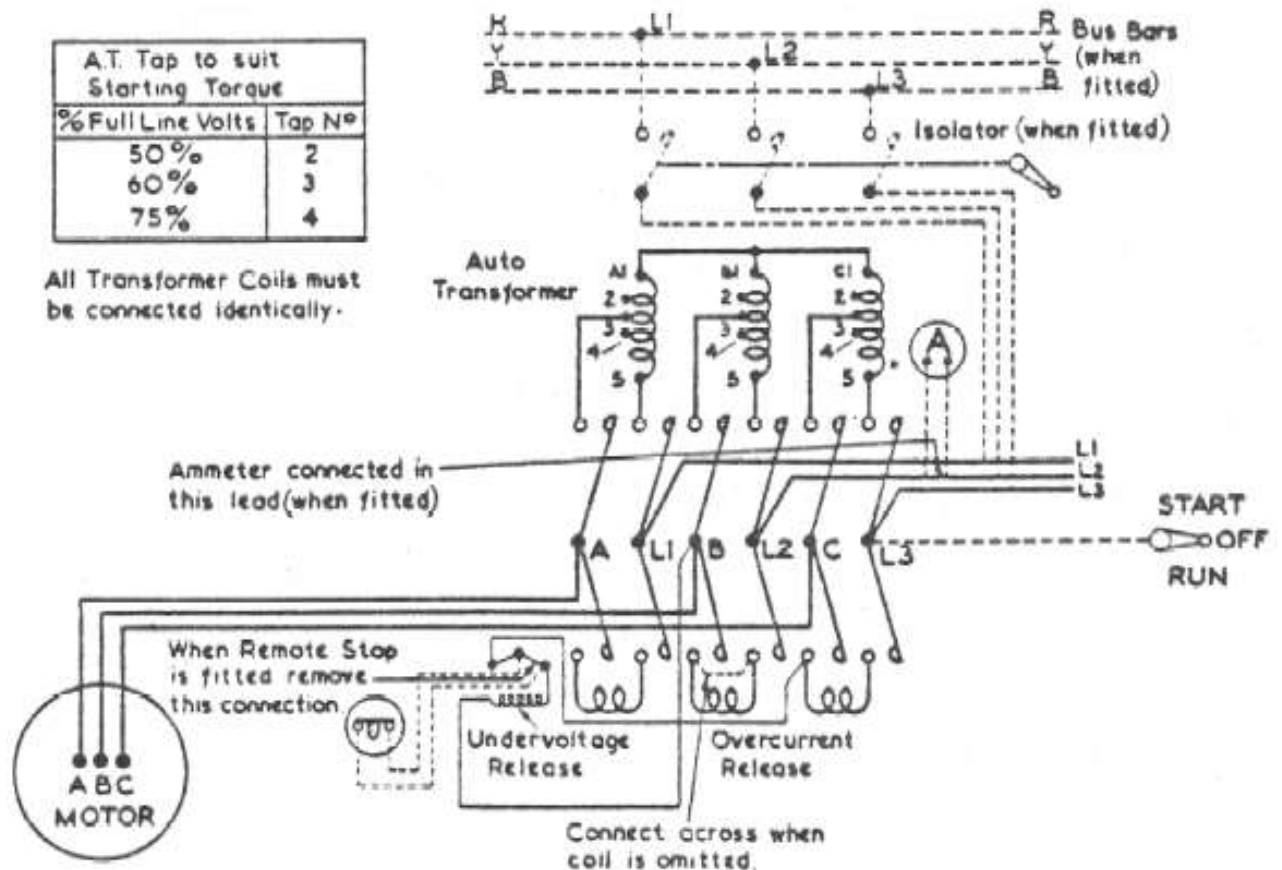
- Σε πολλές περιπτώσεις είναι εφοδιασμένος με κατάλληλη διάταξη αυτοματισμού (π.χ. θερμικό ρελέ) για την αυτόματη μετάβαση στη συνδεσμολογία τριγώνου μετά την πάροδο συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος (1-10 sec) από την εκκίνηση του κινητήρα



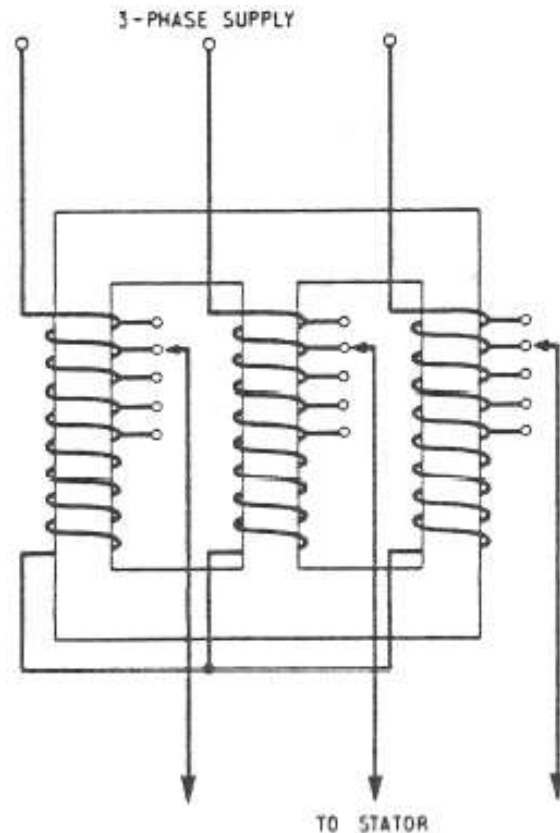
Σχήμα 20: Εκκινητής απευθείας συνδέσεως

## 2.12.2 Εκκινητής με αυτομετασχηματιστή

- Χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του ρεύματος εκκίνησης στο επιθυμητό επίπεδο
- Αποτελεί ακριβότερη λύση από τον εκκινητή αστέρα-τριγώνου, αλλά κατάλληλη σε περιπτώσεις κινητήρων όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στα άκρα των περιελίξεων του στάτη (άρα και η δυνατότητα αλλαγής της συνδεσμολογίας τροφοδοσίας τους)



Σχήμα 21: Εκκινητής με αυτομετασχηματιστή



**Σχήμα 22: Αυτομετασχηματιστής**

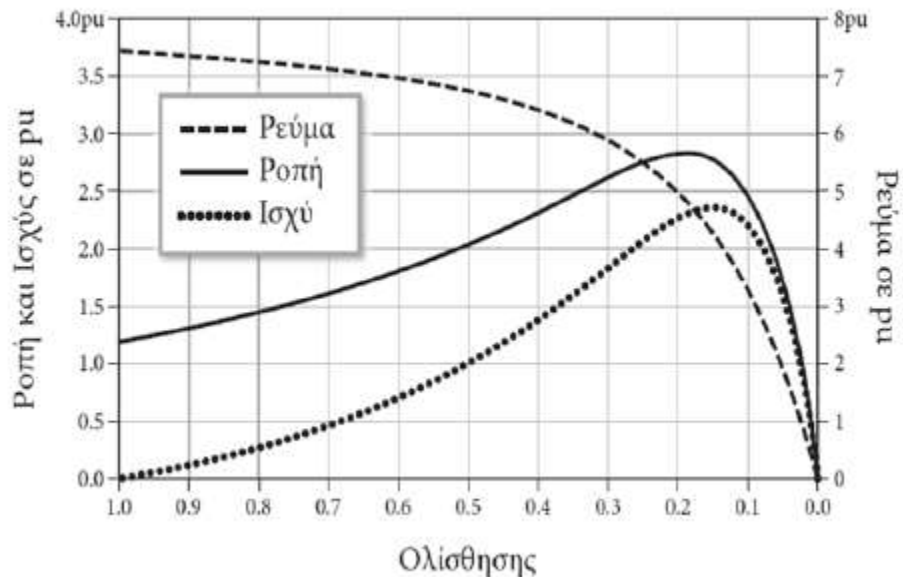
- Ο αυτομετασχηματιστής συνδέεται με το δίκτυο τροφοδοσίας.
- Κατά την εκκίνηση, ο κινητήρας τροφοδοτείται με τάση ίση με 40-80% της τάσης δικτύου, μέσω κατάλληλων συρόμενων επαφών κατά μήκος των τυλιγμάτων. Όταν η ταχύτητά του έχει αυξηθεί αρκετά, ο κινητήρας συνδέεται κατευθείαν με το δίκτυο
- Στη λήψη 60% η ροπή εκκίνησης είναι περίπου ίση με εκείνη που αντιστοιχεί σε εκκινήτη αστέρα-τριγώνου (όπου  $V_{\phi} = 0,58 \cdot V_{\pi}$ )
- Οι τυπικοί αυτομετασχηματιστές δεν είναι σχεδιασμένοι για παρατεταμένη χρήση (συχνές εκκινήσεις) αλλά για δύο εκκινήσεις διάρκειας μερικών δευτερολέπτων ανά ώρα - για συχνότερη λειτουργία πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτομετασχηματιστές ειδικού τύπου



## 2.13 Προβλήματα κινητήρων

Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Προβλήματα από σφάλματα εντός της μηχανής ηλεκτρικά ή μηχανικά.
  - Αυτά περιλαμβάνουν βραχυκυκλώματα τυλιγμάτων (πάντα στο τέλος περιλαμβάνουν τη γη), καταστροφές τριβέων (ρουλεμάν) και επερχόμενους κινδύνους από υπερθέρμανση τυλιγμάτων και φθορές τριβέων. Το πρόβλημα για τα συστήματα προστασίας τους είναι ότι τα ρεύματα βραχυκυκλωμάτων πρέπει να διακριθούν από τα ρεύματα εκκίνησης των κινητήρων, που είναι εξίσου μεγάλα.



**Σχήμα 23: Ρεύμα, ισχύς και ροπή επαγωγικού κινητήρα, συναρτήσεως της ολίσθησης από την εκκίνηση του μέχρι την κανονική λειτουργία**

- Επίσης κάποια φορτία μπορούν να προκαλέσουν απώλεια στήριξης του κινητήρα, μία κατάσταση που δημιουργεί ρεύματα όμοια με την εκκίνηση. Για να την αντιμετωπίσουμε πρέπει ή να μεταβάλλουμε το μηχανικό φορτίο ή να αποσυνδέσουμε τον κινητήρα πριν η μεγάλη θερμοκρασία φθείρει τη μόνωση. Αυτό σημαίνει ότι η προστασία πρέπει να επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση του κινητήρα αλλά και να τον προφυλάσσει ακόμα και

από προσωρινές «κανονικές» φορτίσεις, που μπορούν να του προκαλέσουν ζημιές.

- Η φθορά απλών τριβών που χρησιμοποιούν οι κινητήρες μέχρι 500 hp δεν ανακαλύπτεται πριν τη μηχανική καταστροφή, οπότε η προστασία πρέπει να αποσυνδέσει τον κινητήρα πολύ γρήγορα.
- Για μεγαλύτερους κινητήρες που οι τριβείς τους λιπαίνονται με λάδι υπό πίεση (από ξεχωριστά συστήματα), η παρακολούθηση της θερμοκρασίας λαδιού μπορεί να μας προειδοποιήσει για φθορές, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει κάποια τιμή.

## 2. Προβλήματα από σφάλματα εκτός της μηχανής.

Αυτά τα προβλήματα επηρεάζουν την απόδοση των κινητήρων και είναι αιτία για άμεσα ή επερχόμενα σφάλματα των κινητήρων, γι αυτό απαιτούν παρακολούθηση και πιθανή ενεργοποίησή της προστασίας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

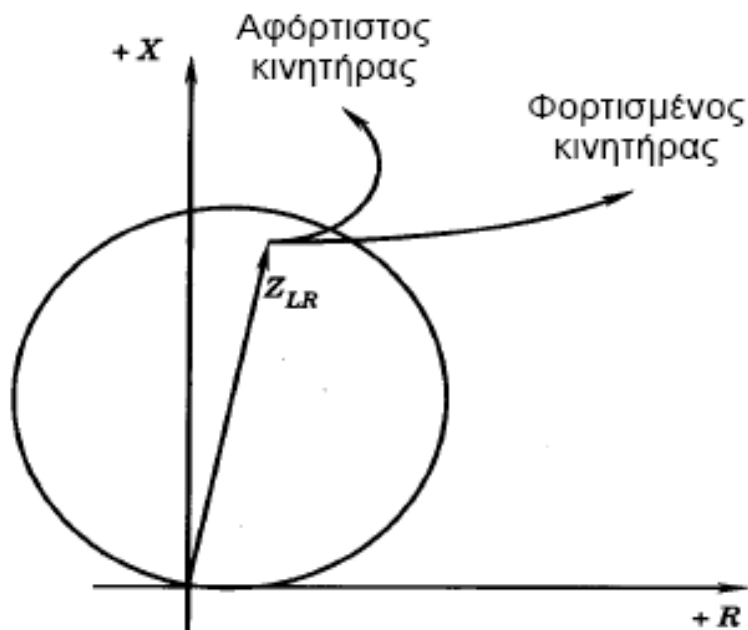
- Ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας με ακραία περίπτωση την απώλεια μίας φάσης.
  - Η ασυμμετρία των τάσεων προκαλεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, που οδηγούν σε πολύ μικρή ροπή και η σημαντικότερη επίδρασή τους είναι η αύξηση των θερμικών απωλειών του δρομέα .
  - Μία ασυμμετρία των τάσεων κατά 10% μειώνει την ονομαστική ισχύ εξόδου στο 55% και πρέπει να παρακολουθείται για να αποτρέπεται μακροχρόνια υπερθέρμανση των κινητήρων.
- Ελαττωμένη συχνότητα συστήματος. :Σε αυτήν την περίπτωση ο επαγωγικός κινητήρας στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα, αποδίδει μικρότερη ισχύ στο φορτίο, απορροφά μεγαλύτερη άεργο ισχύ και περιορίζεται η απόδοση του συστήματος ψύξεως του, που συνήθως εξαρτάται από την ταχύτητά του, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτή η κατάσταση δεν προκαλεί υποχρεωτικά ζημιά στον κινητήρα, αλλά μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στο φορτίο του.
- Απώλεια στήριξης του κινητήρα. Αυτό συμβαίνει όταν το φορτίο ξεπεράσει τη ροπή που μπορεί να δώσει ο κινητήρας, είτε κατά την εκκίνηση είτε όταν περιστρέφεται. Απώλεια στήριξης επίσης μπορεί να συμβεί όταν χάσουμε μια φάση, οπότε μειώνεται σημαντικά η αναπτυσσόμενη από τον κινητήρα ροπή. Κατά την απώλεια στήριξης το ρεύμα αυξάνεται πέντε με οκτώ φορές περισσότερο από το κανονικό πλήρες ρεύμα φορτίου και η προστασία πρέπει

γρήγορα να αποσυνδέσει τον κινητήρα για να μην υποστεί μόνιμες καταστροφές.

## 2.14 Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων

- **Προστασία φασικών βραχυκυκλωμάτων.** Παρόλο που τα φασικά βραχυκυκλώματα γρήγορα εξελίσσονται σε βραχυκύκλωμα γης, η πρακτική είναι να υπάρχει και προστασία για φασικά βραχυκυκλώματα. Για μετρίου μεγέθους κινητήρες χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι υπερέντασης, στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης και ασφάλειες, αλλά η επιλογή των χαρακτηριστικών τους και η ρύθμισή τους είναι δύσκολη. Το επίπεδο επιλογής των ηλεκτρονόμων υπερέντασης ρυθμίζεται να είναι περίπου τέσσερις φορές το ονομαστικό ρεύμα, αλλά με αρκετή καθυστέρηση ώστε να μη λειτουργούν κατά την εκκίνηση. Το επίπεδο επιλογής των στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης του κινητήρα, αλλά μικρότερο από το φασικό ρεύμα βραχυκυκλώματος. Η χαρακτηριστική της ασφάλειας πρέπει να είναι πάνω από την καμπύλη του ρεύματος εκκίνησης του κινητήρα και όσο το δυνατόν πλησιέστερα σε αυτήν. Λόγω των προηγούμενων δυσκολιών σε μεγάλους κινητήρες χρησιμοποιείται διαφορική προστασία ρεύματος σε κάθε φάση, με επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου 10% του πλήρες ρεύματος φορτίου.
- **Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης.** Αυτή η προστασία περιλαμβάνεται σε όλους τους κινητήρες και επειδή έχουν συνδεδεμένα τα τυλίγματά τους σε αγείο αστέρα η προστασία γίνεται από στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπερέντασης, που τοποθετούνται στον αγωγό γείωσης του αστέρα του μετασχηματιστή που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Το επίπεδο επιλογής τους είναι περίπου 20% του πλήρες ρεύματος φορτίου. Για να αποφύγουμε ενεργοποίηση κατά την εκκίνηση του κινητήρα λόγω άνισου κόρου των μετασχηματιστών ρεύματος χρησιμοποιούμε ρυθμίσεις που οδηγούν όλους τους μετασχηματιστές ρεύματος σε ομοιόμορφο μεγάλο κόρο ή χρησιμοποιούμε αντίσταση σταθεροποίησης στον ηλεκτρονόμο.
- Προστασία κατά την απώλεια στήριξης. Ένας τυπικός επαγωγικός κινητήρας μπορεί να δεχθεί το ρεύμα κατά την απώλεια στήριξης για περίπου 20 s, οπότε αν η πλήρη εκκίνηση του κινητήρα διαρκεί μέχρι περίπου 10s υπάρχει περιθώριο ώστε ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης να μην

ενεργοποιείται στην εκκίνηση αλλά στην απώλεια στήριξης. Αν δεν υπάρχει το προαναφερθέν χρησιμοποιείται ένας διμεταλλικός θερμικός ηλεκτρονόμος με χαρακτηριστική  $I^2t$ , ώστε να ενεργοποιείται περίπου στο χρόνο που μπορεί να ανεχθεί ο κινητήρας το ρεύμα απώλειας στήριξης. Για τη προστασία της απώλειας στήριξης κατά την εκκίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μηο ηλεκτρονόμος απόστασης με χρονοδιακόπτη.



**Σχήμα 24: Χαρακτηριστική μηο ηλεκτρονόμου για προστασία κινητήρα κατά την απώλεια στήριξης**

- **Προστασία υπερφόρτισης.** Σχεδιάζεται για να αποτρέπει την υπερθέρμανση κατά την παρατεταμένη υπερφόρτιση του κινητήρα. Για την πραγματοποίησή της σε όχι πολύ σημαντικούς κινητήρες χρησιμοποιείται η μέθοδος έμμεσης μέτρησης της θερμοκρασίας. Για μεγαλύτερους κινητήρες χρησιμοποιείται η άμεση μέτρηση της θερμοκρασίας με τη γέφυρα Wheatstone.
- **Προστασία υπότασης.** Ελάττωση της τάσης τροφοδοσίας προκαλεί μείωση της ταχύτητας περιστροφής και αύξηση του ρεύματος. Η προστασία υπότασης εφαρμόζεται τουλάχιστον σε μια φάση για μικρούς κινητήρες και σε όλες τις φάσεις για κινητήρες μεγαλύτερους από 1500 hp. Παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπότασης αντίστροφου χρόνου, αν και εφεδρική προστασία παρέχεται από ηλεκτρονόμους υπερέντασης και υπερφόρτισης. Σε κρίσιμες υποτάσεις ο

κινητήρας πρέπει να αποσυνδέεται αμέσως. Προστασία υπότασης παρέχεται επίσης από όλες τις διατάξεις ελέγχου (με αντιστροφείς πηγής τάσης) επαγωγικών κινητήρων.

- Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας. Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας μπορεί να παρέχεται από ένα τριφασικό ηλεκτρονόμο τάσης απαγωγικού δίσκου. Αυτός εμποδίζει την εκκίνηση του κινητήρα με ασύμμετρες τάσεις, αλλά δεν τον προστατεύει από την υπερθέρμανση, όταν η ασυμμετρία των τάσεων συμβεί κατά τη λειτουργία του. Επειδή η ασυμμετρία των τάσεων προκαλεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, ένας στιγμιαίος ηλεκτρονόμος υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας παρέχει μέγιστη ευαισθησία σε ασυμμετρία τάσεων.

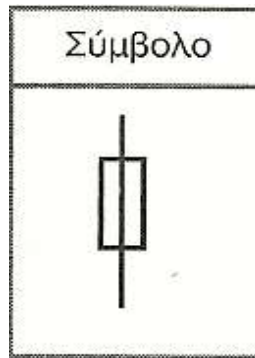
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

---

#### 3.1 Ασφάλειες Τήξεως

Ασφάλεια τήξεως είναι το όργανο προστατεύει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος διακόπτοντας αυτόματα το κύκλωμα με σκοπό να αποφύγουμε καταπονήσεις από υπερθέρμανση ή ακόμη και καταστροφές. Ειδικότερα, η ασφάλεια προστατεύει τον εξοπλισμό που ακολουθεί όπως αγωγούς, συσκευές, διακόπτες.



**Σχήμα25: Το σύμβολο της ασφάλειας τήξεως**

Οι ασφάλειες τήξης είναι η παλαιότερη και ίσως η πιο αξιόπιστη μέθοδος προστασίας των κυκλωμάτων και των συσκευών από εντάσεις ρεύματος που είναι μεγαλύτερες της επιτρεπόμενης τιμής. Τις ασφάλειες χαρακτηρίζει η ικανότητα διακοπής ισχυρών ρευμάτων.

Η λειτουργία των ασφαλείων τήξης στηρίζεται στο φαινόμενο Joule, δηλαδή στη θέρμανση που μπορεί να φθάσει μέχρι και στην τήξη ενός λεπτού συρματιδίου ή ταινίας (Τηκτό) που βρίσκεται μέσα στο φυσίγγι της ασφάλειας.

Η διακοπή του κυκλώματος επιχειρείται αρχικά μέσω της τήξης ενός χάλκινου ή αργυρού σύρματος ή ταινίας (τηκτό), μέσα σε σκόνη χαλαζία (quartz sand)

Η οριστική απόξευση του κυκλώματος επιτυγχάνεται μετά τη σβέση του τόξου. Η σβέση του τόξου πραγματοποιείται από τη σκόνη χαλαζία:

- Το τηκτό λιώνει, εξατμίζεται και στη συνέχεια συμπυκνώνεται πάνω στο χαλαζία (pre-arcing time, melting time) – αμέσως δημιουργείται τόξο
- Ο χαλαζίας λιώνει και στη συνέχεια στερεοποιείται στο μέρος που υπήρχε το τηκτό, εισάγοντας αφ' ενός μεγάλη αντίσταση στο κύκλωμα και σβήνοντας αφ' ετέρου το τόξο (arcing time).

Μια ασφάλεια τήξης δρα ως περιοριστής, όχι μόνο του ρεύματος σφάλματος αλλά και του χρόνου διέλευσης αυτού του ρεύματος.

Το κατά πόσο μια ασφάλεια τήξης περιορίζει την ένταση του σφάλματος και το χρόνο διάρκειάς του, εξαρτάται από τη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ασφάλειας και την αξιοπιστία της.

Ο χρόνος πού χρειάζεται μία ασφάλεια για να διακόψει την τροφοδοσία, εξαρτάται από το μέγεθος της υπερεντάσεως και από τον τύπο της ασφάλειας. Γενικά σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η διακοπή γίνεται σε μερικά εκατοστά του δευτερολέπτου, ενώ σε περίπτωση υπερεντάσεως σε μερικά δευτερόλεπτα ή και λεπτά.

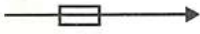
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά με βάση τα οποία γίνεται η επιλογή μιας ασφάλειας είναι:

1. η **ονομαστική τάση** (π.χ 500 V)
  2. η **ονομαστική ένταση**: είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος για να μη καταπονηθεί η μόνωση του αγωγού.
  3. **Οι χαρακτηριστικές καμπύλες χρόνου τήξεως-έντασης** από τις οποίες προκύπτουν οι χρόνοι στους οποίους επέρχεται η τήξη του τηκτού για διάφορες τιμές υπερέντασης.
  4. **Την ικανότητα διακοπής**, δηλαδή το μέγιστο ρεύμα [kA] που μπορούν να διακόψουν υπό ορισμένη τάση χωρίς βλάβη.
- **Σύνδεση ασφαλειών:**

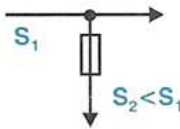


## Τοποθέτηση ασφαλειών:

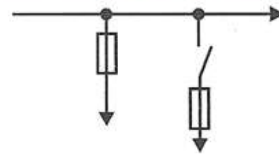
α) Στην αρχή κάθε ηλεκτρικής γραμμής



β) Σε διακλαδώσεις αγωγών με μικρότερη διατομή



γ) Σε κεντρικές διακλαδώσεις ή σε διακλαδώσεις που φέρουν διακόπτες



Με κριτήριο τη λειτουργική τους συμπεριφορά οι ασφάλειες διακρίνονται σε κατηγορίες που χαρακτηρίζονται από δύο γράμματα.

- Το πρώτο γράμμα συμβολίζει την περιοχή της χαρακτηριστικής χρόνου-έντασης για την οποία προορίζονται να προσφέρουν προστασία και μπορεί να είναι:
  - g: (general fuses), πλήρης προστασία, δηλ. ικανές να διακόπτουν ρεύματα από την μικρότερη τιμή για την οποία τήκεται η ασφάλεια μέχρι την ονομαστική ικανότητα διακοπής. Με άλλα λόγια, παρέχουν προστασία τόσο έναντι υπερφορτίσεων όσο και έναντι βραχυκυκλωμάτων.
  - a: (accompanied fuses), μερική προστασία, δηλ. ικανές να διακόπτουν ρεύματα με τιμές μόνο πάνω ένα καθορισμένο πολλαπλάσιο της ονομαστικής έντασης. Με άλλα λόγια, παρέχουν προστασία μόνο έναντι βραχυκυκλωμάτων.
- Το δεύτερο γράμμα συμβολίζει το στοιχείο της εγκατάστασης στο οποίο προσφέρουν προστασία και μπορεί να είναι:
  - L (κατά IEC G)= γραμμές (Line),
  - M=κινητήρες (Motor),
  - S=διακόπτες(Switch),
  - R = ανορθωτές (Rectifier)
- Οι πιο συνηθισμένες από τις παραπάνω κατηγορίες είναι οι κατηγορίες:
  - gL: για προστασία γραμμών τόσο σε υπερφόρτιση όσο και σε βραχυκύκλωμα
  - aM: για προστασία κινητήρων σε βραχυκύκλωμα (οι ασφάλειες, για διάφορους λόγους, δεν προστατεύουν τους κινητήρες έναντι υπερφορτίσεως. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται θερμικά).



### 3.1.1 Είδη ασφαλειών τήξης




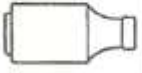

Υπάρχουν δύο είδη ασφαλειών:

- Κοχλιωτές (βιδωτές): Αποτελούνται από:
  - Το **φυσίγγι** (ασφάλεια) , που είναι κατασκευασμένο από πορσελάνη και περιέχει το νήμα (τηκτό) και ένα ενδεικτικό χρωματιστό δίσκο, ο οποίος πέφτει, όταν η ασφάλεια καεί.
  - Την βάση της ασφάλειας ή **ασφαλειοθήκη**. Είναι το εξάρτημα που στερεώνεται πάνω στον πίνακα και μέσα σ' αυτό τοποθετείται το φυσίγγι
  - Την **μήτρα**. Είναι μικρό πορσελάνινο εξάρτημα που τοποθετείται στο βάθος της ασφαλειοθήκης και εξασφαλίζει ότι δεν θα τοποθετηθεί , από λάθος, μεγαλύτερη ασφάλεια από την κατάλληλη για την γραμμή.
  - Το **πώμα**. Είναι πορσελάνινο , βιδώνει πάνω στην ασφαλειοθήκη και συγκρατεί το φυσίγγι. Στο πάνω μέρος του έχει γυαλί, για να φαίνεται αν έχει καεί το φυσίγγι.

Κάθε φυσίγγι χαρακτηρίζεται από το ονομαστικό ρεύμα του, που καθορίζει έως πόσα Ampere μπορούν να περάσουν από το τηκτό του. Για κάθε μέγεθος υπάρχει και ένα χαρακτηριστικό χρώμα πάνω στον ενδεικτικό δίσκο.

- Diazed ή τύπου D. Έχουν ονομαστική ένταση έως και 200 A και ικανότητα ρεύματος διακοπής έως και 50 kA.

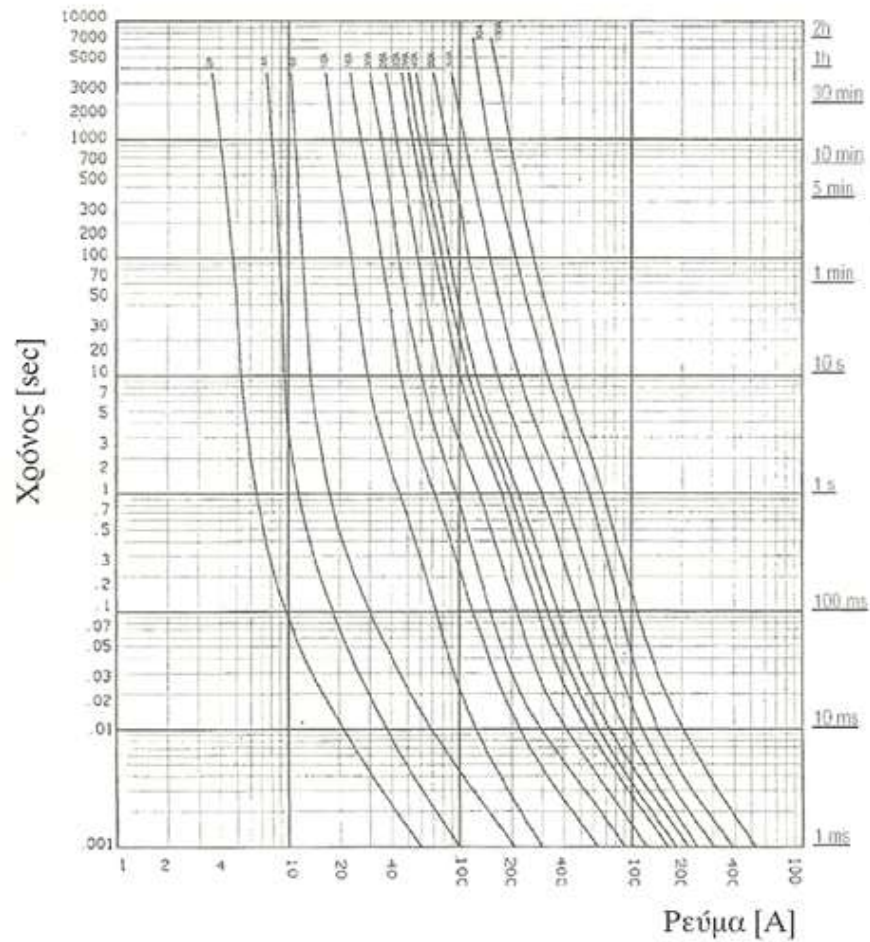
Μεγέθη τηκτών ασφαλειών DIAZED

Μέγεθος		Ονομαστικό ρεύμα [A]
DI		2
		4
		6
		10
		16
		20
		25
DII		2
		4
		6
		10
		16
		20
		25
DIII		35
		50
		63
DIV		80
		100



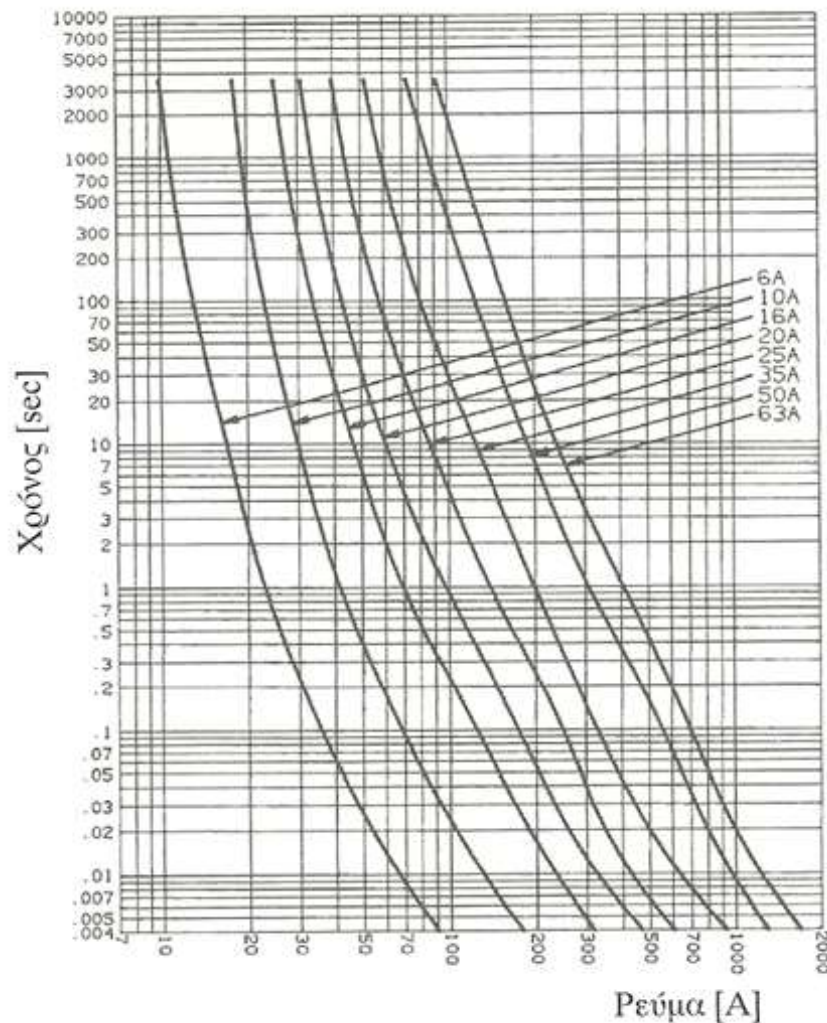
Ασφάλειες τήξης τύπου D (Diazed).

Σχήμα26: Τύποι τηκτών ασφαλειών



**Σχήμα 27: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασφαλειών DIAZED 2 έως 100A**

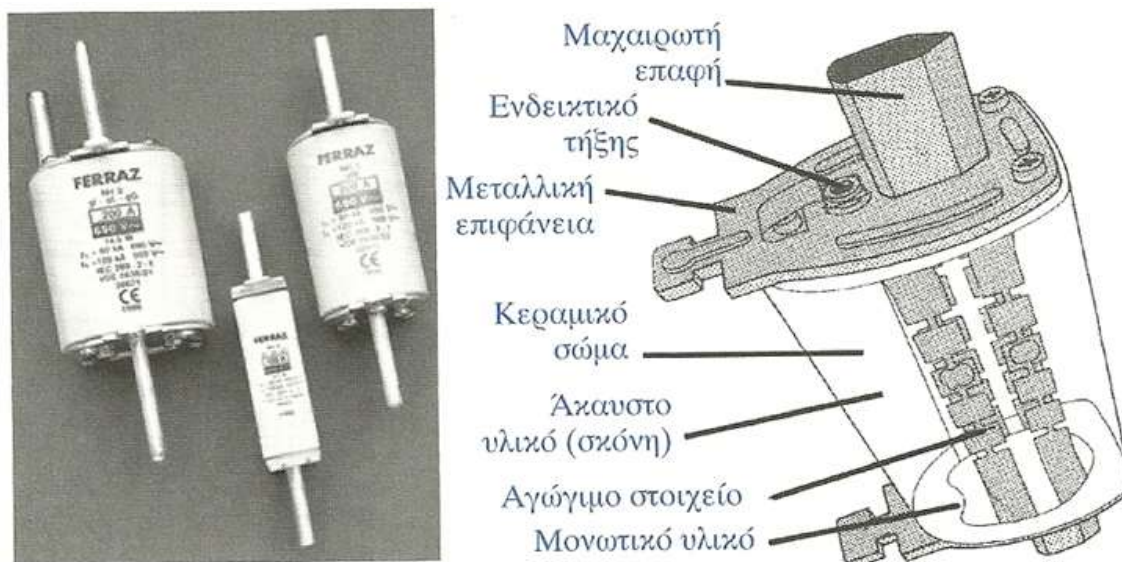
- Neozed ή τύπου D0 με διαστάσεις μικρότερες εκείνων του τύπου D: Έχουν ονομαστική ένταση έως και 200 A και ικανότητα ρεύματος διακοπής έως και 25 kA.



**Σχήμα 28: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασφαλειών NEOZED 6 έως 63A**

- Μαχαιρωτές ή χαμηλής τάσεως υψηλής ικανότητας διακοπής ή τύπου NH: Αποτελούνται από το σώμα κατασκευασμένο από πορσελάνη μέσα στο οποίο υπάρχει το τηκτό σε άμμο για τη σβέση του τόξου. Φέρει δυο μεταλλικά στελέχη που αποτελούν τους ακροδέκτες της. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές που απαιτούν τυποποιημένες ονομαστικές εντάσεις μεγαλύτερες από εκείνες των κοχλιωτών ασφαλειών. Υπάρχουν σε διάφορα τυποποιημένα μεγέθη σε σχέση με τις διαστάσεις τους όπως φαίνονται στον διπλανό ΠΙΝΑΚΑ. Επομένως εκτός από την ονομαστική ένταση πρέπει να προσδιορίζεται και το μέγεθος. Έχουν επίσης μεγαλύτερη

ικανότητα διακοπής εκείνης των κοχλιωτών ασφαλειών (50-100 kA)



**Εικόνα 4: Μαχαιρωτή ασφάλεια**

<b>Πίνακας 1: Τυποποιημένα μεγέθη μαχαιρωτών ασφαλειών</b>	
<b>ΜΕΓΕΘΟΣ</b>	<b>ΟΝΟΜ. ΕΝΤΑΣΗ [A]</b>
	<b>ΑΠΟ - ΜΕΧΡΙ</b>
<b>00</b>	<b>6-100</b>
<b>0</b>	<b>6-160</b>
<b>1</b>	<b>80-250</b>
<b>2</b>	<b>200-400</b>
<b>3</b>	<b>315-630</b>
<b>4</b>	<b>500-1000</b>
<b>4α</b>	<b>500-1250</b>

- Μικρές γυάλινες , τύπου G:Χρησιμοποιούνται για την προστασία συσκευών μικρής ισχύος και το τηκτό βρίσκεται μέσα γυάλινο σωλήνα.

### 3.2 Αυτόματοι Διακόπτες

Οι αυτόματοι διακόπτες ή αυτόματες ασφάλειες έχουν διαφορετική κατασκευή από τις ασφάλειες τήξεως, αλλά και αυτές, διακόπτουν την τροφοδοσία σε περίπτωση υπερεντάσεως ή βραχυκυκλώματος, με παρόμοιο τρόπο.

Μετά την διακοπή όμως, δεν χρειάζεται να τις αντικαταστήσουμε, αλλά απλώς να σηκώσουμε το χειριστήριο και να αποκατασταθεί η τροφοδοσία (αφού βέβαια επισκευάσουμε ή απομονώσουμε την συσκευή που προκάλεσε το βραχυκύκλωμα) .

Οι πιο γνωστές αυτόματες ασφάλειες E.H.E. είναι :

- Οι **πωματοαυτόματοι μεγίστου**.
- Οι **αυτόματοι ασφαλειοδιακόπτες** τύπου **W**, **WL**, και **SL**.

Οι αυτόματοι διακόπτες είναι **Διακόπτες Ισχύος (ΔΙ)** που ανοίγουν αυτόματα το κύκλωμα σε προκαθορισμένο χρόνο αν το ρεύμα του κυκλώματος που προστατεύουν υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή.

Προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα και αποτελούνται από:

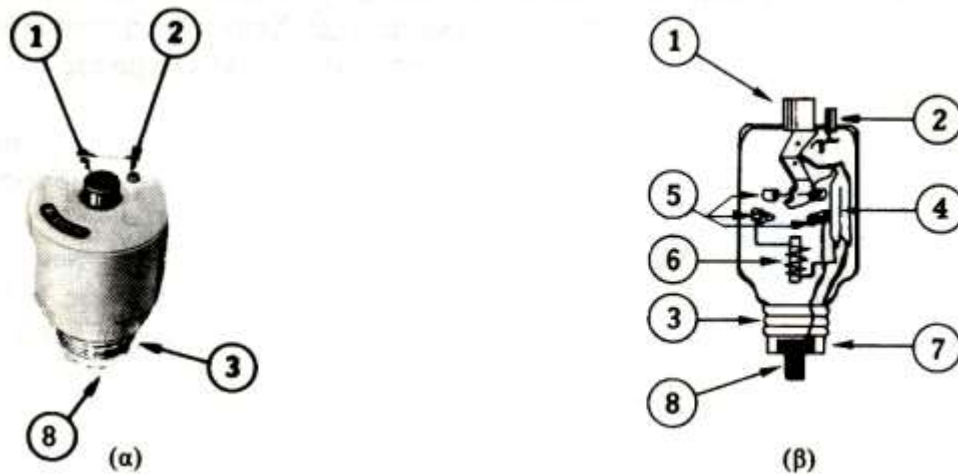
- Ένα **ΔΙ**
- Ένα θερμικό στοιχείο ή έναν **HN** που δίνει εντολή στο **ΔΙ** να ανοίξει (υπερφόρτιση) χρόνος απόκρισης: δευτερόλεπτα – λεπτά (ανάλογα με το ρεύμα)
- Ένα **HM** στοιχείο που δίνει εντολή στο **ΔΙ** να ανοίξει ακαριαία (βραχυκύκλωμα) χρόνος απόκρισης: 10-100 ms, όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή  $\cong 2 - 15 \text{ IN}$

Οι αυτόματοι διακόπτες μπορούν να συνδεθούν με **HN** υπότασης ή υπέρτασης για την προστασία κινητήρων

Ανάλογα με τη συσκευή που προστατεύουν, διακρίνονται σε:

- Αυτόματοι διακόπτες γραμμών και συσκευών (μικροαυτόματοι)
- Αυτόματοι διακόπτες κινητήρων
- Αυτόματοι διακόπτες ισχύος για εγκαταστάσεις διανομής

### 3.2.1 Πωματοαυτόματος Μεγίστου



(α) : Αντιπροσωπευτικός τύπος.      (β) : Εσωτερική συνδεσμολογία.

① : Κύριο κουμπί του πωματοαυτόματου.

② : Κουμπί (μπουτόν) ελέγχου ή δευτερεύον κουμπί του πωματοαυτόματου.

③ : Μεταλλικό σπείρωμα.

④ : Θερμικό στοιχείο.

⑤ : Επαφές.

⑥ : Ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο.

⑦ : Μονωτικό στοιχείο (πορσελάνη).

⑧ : Μεταλλικό άκρο (επαφή).

#### Εικόνα 5: Πωματοαυτόματος μεγίστου

- Ο **πωματοαυτόματος** μεγίστου είναι αυτόματος διακόπτης αέρα και χρησιμοποιείται κυρίως στους πίνακες φωτισμού.
- Ο διακόπτης αυτός αντικαθιστά τις ασφάλειες. Στην πράξη είναι γνωστός και ως **μικροαυτόματος** ή **αυτόματη ασφάλεια**.
- Στην προηγούμενη εικόνα φαίνεται ένας πολύ κοινός τύπος τέτοιου διακόπτη του εμπορίου αυτού, γνωστός και ως **πωματοαυτόματος**.
- Το ρεύμα εισέρχεται από το μεταλλικό άκρο (8) και με τη βοήθεια του συνδετικού αγωγού οδηγείται στις επαφές (5). Όταν οι επαφές είναι κλειστές, το ρεύμα περνάει μέσα από αυτές, μέσα από τον ηλεκτρομαγνήτη (6) και μέσα από το

- θερμικό στοιχείο (4) και με τη βοήθεια του μεταλλικού σπειρώματος (3), οδηγείται στους καταναλωτές.
- Το μεταλλικό σπείρωμα εσωτερικά είναι μονωμένο με το μονωτικό (7). Έτσι ο αγωγός που συνδέεται στο άκρο (8) δεν έρχεται σε επαφή με το σπείρωμα.
  - Όταν οι επαφές (5) είναι κλειστές, τότε ο πιεστικός διακόπτης (button) (1) είναι πιεσμένος μέσα στο **μικροαυτόματο**. Αν στο κύκλωμα που εξυπηρετεί ο **μικροαυτόματος** εμφανιστεί κάποια υπέρταση, τότε υπερθερμαίνεται το θερμικό στοιχείο και με κατάλληλο μηχανισμό εκτινάσσει το πιεστικό διακόπτη (button) (1) προς τα έξω. Έτσι ανοίγουν οι επαφές (5) και διακόπτεται το κύκλωμα.
  - Αν στο ίδιο κύκλωμα εμφανιστεί κάποιο βραχυκύκλωμα, τότε διεγείρεται ο ηλεκτρομαγνήτης (6) και με κατάλληλο μηχανισμό ανοίγουν και πάλι οι επαφές κι έτσι διακόπτεται το κύκλωμα.
  - Με τη βοήθεια του σπειρώματος (3) στερεώνεται ο **πωματοαυτόματος** επάνω στον πίνακα. Ο πιεστικός διακόπτης (button) (2) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ή τη συντήρηση του κυκλώματος. Στην πράξη συνίσταται να ξεβιδώνεται ο **πωματοαυτόματος** για κάθε συντήρηση, εκτός από την περίπτωση αντικατάστασης λυχνιών. Πιέζοντας το κουμπί (2) πρέπει να εκτινάσσεται προς τα έξω πιεστικός διακόπτης (button) (1). Αν αυτό δε συμβεί, τότε ο **πωματοαυτόματος** παρουσιάζει βλάβη.
  - Ο **πωματοαυτόματος** προστατεύει ένα κύκλωμα φωτισμού, όταν αυτό διαρέεται από ρεύμα βραχυκύκλωσης κατά 1,6 φορές μεγαλύτερο της ονομαστικής του έντασης. Επίσης προστατεύει και από ρεύματα βραχυκύκλωσης μικρότερης έντασης, αλλά μεγαλύτερης διάρκειας.

### 3.3 Αυτόματοι Ασφαλειοδιακόπτες

- Οι αυτόματοι ασφαλειοδιακόπτες τύπου **W**, **WL**, και **SL**.
- Αποτελούνται από ένα **ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο (ρελέ)** και από ένα **διμεταλλικό στοιχείο (θερμικό)**.
- Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο κάνει διακοπή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος πολύ γρήγορα (εκατοστά ή και χιλιοστά του δευτερολέπτου),

ενώ



- Το διμεταλλικό διακόπτει σε περίπτωση υπερεντάσεως με καθυστέρηση μερικών δευτερολέπτων ή και λεπτών, ανάλογα με την υπερένταση.
- Οι αυτόματες ασφάλειες στερεώνονται στην ράγα του πίνακα διανομής, από μία για κάθε μερικό κύκλωμα. Αντέχουν για 20.000 ζεύξεις - αποζεύξεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως διακόπτες των κυκλωμάτων, αλλά για περιορισμένο αριθμό χρήσεων.
- Επειδή υπάρχει η μικρή πιθανότητα να κολλήσουν και να μην παρέχουν προστασία για πολύ μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος (3000 A και πάνω), πρέπει να τοποθετούμε ως γενική ασφάλεια του πίνακα μία ασφάλεια τήξεως και όχι αυτόματη ασφάλεια.

### 3.4 Μικροαυτόματοι διακόπτες

- Οι συνηθέστερες ανεπιθύμητες καταστάσεις που επιβαρύνουν τα κυκλώματα μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης είναι η υπερφόρτιση και το βραχυκύκλωμα.
- Υπερφόρτιση ενός κυκλώματος υπάρχει όταν το ρεύμα που διέρχεται από αυτό έχει τιμή μεγαλύτερη από αυτήν για την οποία το κύκλωμα έχει σχεδιαστεί. Υπερφόρτιση μπορεί να προκληθεί από την κακή κατάσταση μιας συσκευής, ή από τη χρήση μιας συσκευής με ισχύ μεγαλύτερη από αυτήν που το κύκλωμα μπορεί να προσφέρει.
- Βραχυκύκλωμα έχουμε στην περίπτωση της άμεσης επαφής δύο σημείων ενός κυκλώματος που έχουν μεταξύ τους διαφορετικό δυναμικό (π.χ. επαφή της φάση με τον ουδέτερο στην περίπτωση μίας γραμμής τροφοδοσίας εναλλασσόμενου ρεύματος). Στο βραχυκύκλωμα το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα, φτάνει σε εξαιρετικά μεγάλες τιμές.
- Συνέπεια αυτών των ανεπιθύμητων καταστάσεων, είναι η μείωση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης, η καταστροφή συσκευών ή μηχανημάτων, ενώ μπορεί να προκληθεί μέχρι και ολική καταστροφή της εγκατάστασης από πυρκαγιά λόγω υπερθέρμανσης.
- Η προστασία των αγωγών από υπερεντάσεις μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μικροαυτόματων διακοπών οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι τόσο με θερμικό στοιχείο για την προστασία από υπερφορτίσεις όσο και με μαγνητικό στοιχείο για την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων.

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι:

A) η ονομαστική τιμή έντασης του ρεύματος : καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή του ρεύματος μέχρι την οποία ο μικροαυτόματος δεν ενεργοποιείται

B) η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος χρόνου: καθορίζει την συμπεριφορά του σε περίπτωση υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος



**Εικόνα 6:Τυπικός Μικροαυτόματος**

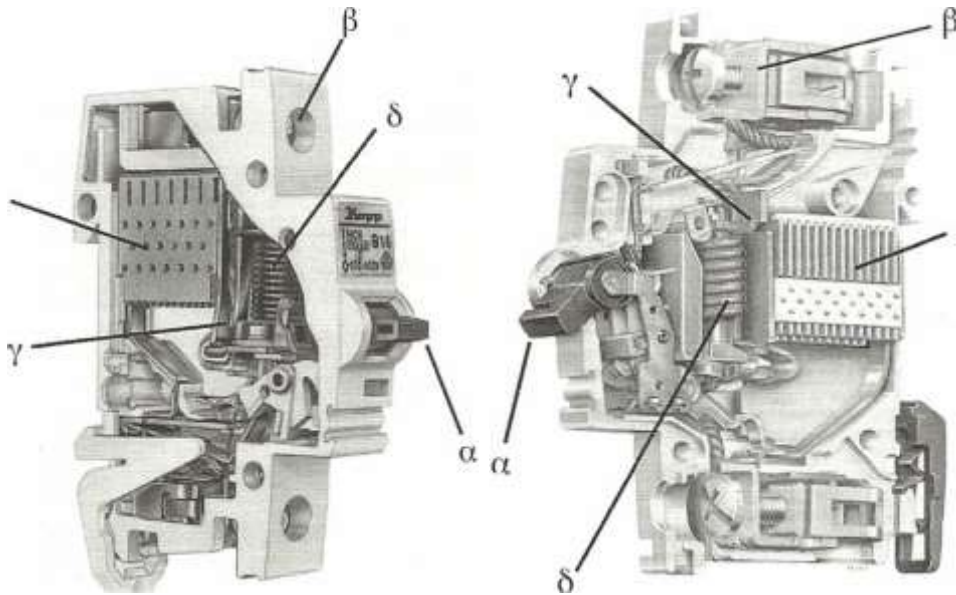
Κάθε μικροαυτόματος περιέχει:

A) κυρίως διακόπτη: επαφές, θάλαμος σβέσης τόξου

B) θερμικό στοιχείο: Είναι ένα διμεταλλικό στοιχείο. Τα δύο επαπτόμενα μέταλλα έχουν διαφορετικό θερμικό συντελεστή. Υπό την επίδραση της αυξημένης θερμοκρασίας, λόγω σφάλματος, διαστέλλονται με διαφορετικό ρυθμό με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να σταματήσει η επαφή τους. Το θερμικό στοιχείο ενεργοποιείται όταν έχουμε υπερφόρτιση

Γ) μαγνητικό στοιχείο: Είναι ένας μικρός ηλεκτρομαγνήτης. Όταν το ρεύμα, λόγω σφάλματος ξεπεράσει κάποια κρίσιμη τιμή, ο σπλισμός του ηλεκτρομαγνήτη έλκεται με αποτέλεσμα να ανοίξουν οι επαφές

του. Το μαγνητικό στοιχείο ενεργοποιείται όταν έχουμε βραχυκύκλωμα.



**Εικόνα 7: Δομή μικροαυτόματου διακόπτη.**

**α. Μοχλός χειρισμού**

**β. Ακροδέκτες σύνδεσης**

**γ. Θερμικό στοιχείο**

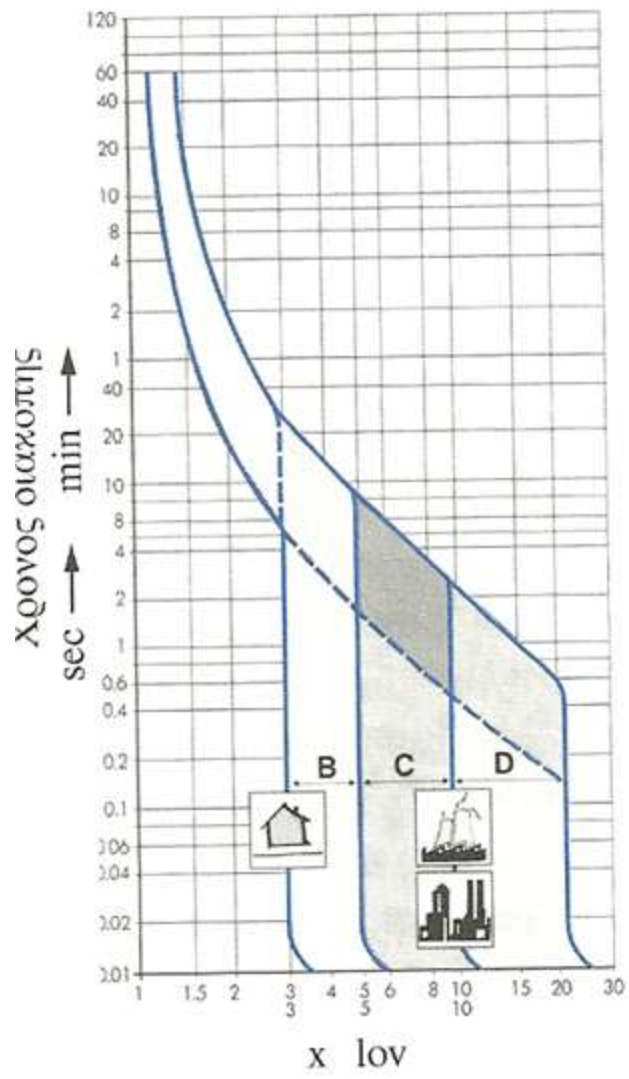
**δ. Μαγνητικό στοιχείο**

Η συμπεριφορά ενός μικροαυτόματου διακόπτη ισχύος περιγράφεται από τις χαρακτηριστικές λειτουργίας ρεύματος χρόνου:

Χαρακτηριστική B: καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα ωμικών φορτίων και γραμμών φωτισμού.

Χαρακτηριστική C: καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα κυκλώματα με ωμικά και ελαφρώς επαγωγικά φορτία.

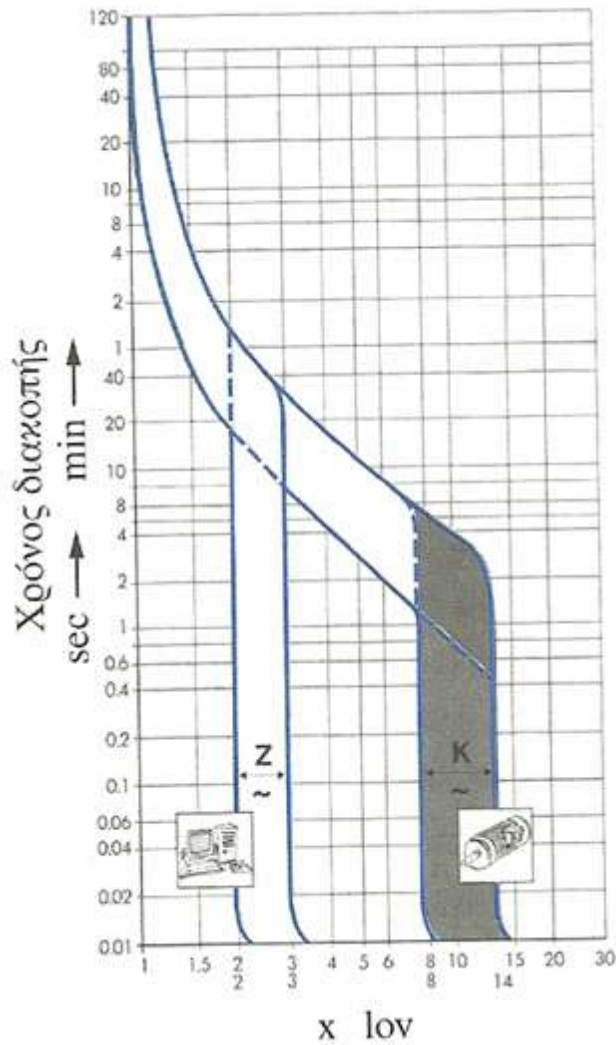
Χαρακτηριστική D: καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα φορτία ισχυρά επαγωγικά και φορτία με υψηλά ρεύματα εκκίνησης.



**Σχήμα 29: Χαρακτηριστικές καμπύλες B,C,D**

Χαρακτηριστική K: είναι κατάλληλοι για την προστασία καλωδίων και εξοπλισμού. Εξαιτίας της αργής αντίδρασης του μαγνητικού στοιχείου, επιτυγχάνεται προστασία κυκλωμάτων τροφοδοσίας κινητήρων, λαμπτήρων χαμηλής τάσης, ηλεκτρονικών μπάλαστ, κλιματιστικών, μετασχηματιστών κ.λ.π.

Χαρακτηριστική Z: είναι κατάλληλοι για την προστασία διατάξεων ημιαγωγών και κυκλωμάτων μετασχηματισμού τάσης.



**Σχήμα 30: Χαρακτηριστικές καμπύλες Z,K**

- Οι μικροαυτόματοι τοποθετούνται στο πίνακα διανομής και είναι σχεδιασμένοι για στήριξη σε ράγα.
- Διακρίνονται σε μονοπολικούς ή τριπολικούς.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες διατάξεις που μανδαλώνονται στο πλάι τους:

A) βοηθητική επαφή για σήμανση διακοπής του ουδέτερου

B) βοηθητική επαφή για σήμανση απόζευξης λόγω υπερφόρτισης, διαρροής προς γη ή βραχυκύκλωμα

Γ) βοηθητική επαφή για διάταξη πηνίου έλλειψης τάσης

Δ) βοηθητική επαφή για εξ' αποστάσεως απόζευξη του μικροαυτόματου.

### 3.5 Το θερμικό και το θερμομαγνητικό ως μέθοδοι προστασίας μοτέρ



**Εικόνα 8:Θερμικό κινητήρα. "Κουμπώνει" στο αντίστοιχο ρελέ.**

Τα μοτέρ μπορούν να προστατευθούν από υπερφόρτιση, από υπερβολικό ρεύμα, ή από απώλεια μιας φάσης (αν πρόκειται για τριφασικά), με θερμικό ή θερμομαγνητικό στοιχείο προστασίας. Το θερμικό κάνει μια εξομοίωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσει ο κινητήρας χρησιμοποιώντας διμεταλλικά στοιχεία.

Δύο μέταλλα, με διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής, είναι κολλημένα μεταξύ τους και όταν ζεσταίνονται, από το ρεύμα που πάει στο μοτέρ και περνάει από μέσα τους, το ένα από τα δυο διαστέλλεται περισσότερο. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μετακίνηση της επαφής προς την μεριά του μετάλλου με τον μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής.



**Εικόνα 9:Θερμομαγνητικό κινητήρα**

Τρία ανεξάρτητα διμεταλλικά, ένα για κάθε φάση, ελέγχουν δυο ανεξάρτητες επαφές με ρυθμιζόμενη απόσταση ενεργοποίησης και επομένως θερμοκρασίας του μοτέρ. Η απόσταση διαστολής που οι επαφές αλλάζουν κατάσταση "μεταφράζεται" σε ένταση ρεύματος σε αμπέρ που είναι και το μέγεθος που ρυθμίζουμε.

Το θερμικό πωλείται ανά περιοχή έντασης ρεύματος π.χ. αυτό της φωτογραφίας είναι για μοτέρ απ 0,63 έως 1 Α.Το θερμικό συνεργάζεται πάντα με το αντίστοιχο ρελέ, ίδιας φίρμας, στο οποίο "κουμπώνει".

Οι επαφές που αλλάζουν κατάσταση έχουν τα νούμερα 95 - 96 για την Ν.Σ. (κλειστή αν η θερμοκρασία είναι εντός ορίων) και 97 - 98 για την Ν.Ο. ( ανοιχτή αν η θερμοκρασία είναι εντός ορίων).

Η 95 - 96 είναι η επαφή που θα συνδεθεί σε σειρά με το stop του κινητήρα και η 97 - 98 είναι αυτή που "ανάβει" το κόκκινο λαμπάκι ένδειξης πεσμένου θερμικού.

Το reset του θερμικού γίνεται πατώντας το μπλε κουμπάκι ενώ με το κόκκινο κάνουμε δοκιμή των επαφών. Με το διακοπτάκι test κάνουμε μόνιμη "πτώση" του θερμικού.



**Εικόνα 10: :Κουτί θερμομαγνητικού μαζί με το set στεγανοποίησης που πωλείται ξεχωριστά.**

Το διακοπτάκι H, από την λέξη Hand, το χρησιμοποιούμε αν θέλουμε το reset να γίνεται πατώντας αναγκαστικά το πλήκτρο reset ή αυτόματα μετά την πτώση της θερμοκρασίας του μοτέρ.

Το θερμομαγνητικό κάνει την ίδια δουλειά με το θερμικό αλλά δεν απαιτεί την ύπαρξη ρελέ για τον έλεγχο του μοτέρ η οποία γίνεται από τα πλήκτρα start και stop που διαθέτει.

Οι αντίστοιχες επαφές 95 - 96 και 97 - 98 δεν είναι στο κύριο σώμα του αλλά πωλούνται ξεχωριστά και κουμπώνουν στα πλάγια του θερμομαγνητικού.

Η κύρια διαφορά του με το θερμικό είναι η άμεση διακοπή της τροφοδοσίας του ρεύματος χωρίς να απαιτείται κύκλωμα αυτοματισμού.

Αν θέλουμε να προστατέψουμε μονοφασικό μοτέρ καλό είναι να περάσουμε σε σειρά το ρεύμα λειτουργίας του και από τις τρεις επαφές του θερμικού ή του θερμομαγνητικού.



### 3.6 Θερμομαγνητικοί διακόπτες προστασίας κινητήρων

Το θερμομαγνητικό κάνει την ίδια δουλειά με το θερμικό αλλά δεν απαιτεί την ύπαρξη ρελέ για τον έλεγχο του μοτέρ η οποία γίνεται από τα πλήκτρα start και stop που διαθέτει.



**Εικόνα 11:θερμομαγνητικός Διακόπτης Κινητήρα**

Οι αντίστοιχες επαφές 95 – 96 και 97 – 98 δεν είναι στο κύριο σώμα του αλλά πωλούνται ξεχωριστά και κουμπώνουν στα πλάγια του θερμομαγνητικού. Η κύρια διαφορά του με το θερμικό είναι η άμεση διακοπή της τροφοδοσίας του ρεύματος χωρίς να απαιτείται κύκλωμα αυτοματισμού.

Αν θέλουμε να προστατέψουμε μονοφασικό μοτέρ καλό είναι να περάσουμε σε σειρά το ρεύμα λειτουργίας του και από τις τρεις επαφές του θερμομαγνητικού.

Ένας θερμομαγνητικός διακόπτης είναι καλό να υπάρχει πάντοτε για κάθε κινητήρα γιατί το κόστος επί την πιθανότητα της βλάβης του κινητήρα ξεπερνά κατά μερικά πολλαπλάσια το κόστος του θερμομαγνητικού στοιχείου

Προστατεύει έναντι υπερφορτίσεων, μέσω θερμικού (ρυθμίσιμο), και έναντι βραχυκυκλωμάτων, μέσω μαγνητικού. Η ενεργοποίηση γίνεται χειροκίνητα.

Η απόζευξη γίνεται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα μέσω της δράσης του θερμομαγνητικού (σε περίπτωση σφάλματος) ή μέσω πηνίων εργασίας και έλλειψης τάσης.

### **3.7 Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις**

#### **3.7.1 Ορισμός, αίτια και μετάδοση κρουστικών υπερτάσεων**

Με τον όρο κρουστικές υπερτάσεις, εννοούμε τις απότομες αυξήσεις της απόλυτης τιμής του δυναμικού, η διάρκεια των οποίων κυμαίνεται από εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου ( $10^{-6}$ s) μέχρι κάποια χιλιοστά του δευτερολέπτου ( $10^{-3}$ s). Η αύξηση της απόλυτης τιμής του δυναμικού κυμαίνεται από μερικά Volts, μέχρι χιλιάδες Volts.

#### **3.7.2 Δημιουργία κρουστικών υπερτάσεων**

Τα αίτια δημιουργίας κρουστικών υπερτάσεων είναι είτε φυσικά, είτε τεχνητά. Φυσικές πηγές είναι οι κεραυνοί (lightning electromagnetic pulses ή LEMP), τόσο μεταξύ νέφους και γης, όσο και μεταξύ νεφών, και οι διάφορες ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (electrostatic discharges ή ESD). Τεχνητές πηγές είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα που αναπτύσσουν κρουστικές υπερτάσεις, είτε από χειρισμούς διακοπών, είτε από βραχυκυκλώματα (switching electromagnetic pulses ή SEMP).

Τα κρουστικά κύματα δημιουργούν ρεύματα με πολύ μεγάλη ένταση, ικανά να καταστρέψουν κάθε μορφής ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και να βλάψουν την ανθρώπινη ζωή. Τα ρεύματα αυτά περνάνε μέσα στις συσκευές και στις εγκαταστάσεις διαμέσου των καλωδίων ισχύος, των τηλεφωνικών καλωδίων, των κεραιών, των γειώσεων, των δικτύων ύδρευσης, θέρμανσης, ψύξης, αερισμού κλπ. Ακόμα και αν ο κεραυνός πέσει εκατοντάδες μέτρα μακριά από μια κατασκευή, η σχετικά υψηλή ιδιοσυχνότητα του παραγόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του επιτρέπει να ταξιδεύσει σε μεγάλη απόσταση και πιθανότατα να προσβάλλει τη συγκεκριμένη κατασκευή μέσω κάποιων από τους παραπάνω «δρόμους». Ένας κεραυνός λοιπόν μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στα ηλεκτρικά μέρη μιας κατασκευής ακόμα και αν πέσει ένα χιλιόμετρο μακριά. Η απόσταση που μπορεί να πλήξει μία κατασκευή, είναι συνάρτηση της έντασής του.

Ο τρόπος που ένας κεραυνός επιδρά μπορεί να είναι είτε επαγωγικός, είτε ωμικός, είτε χωρητικός, είτε κάποιος συνδυασμός αυτών, όπως εξηγείται παρακάτω. Υπάρχει, φυσικά, και η ακραία

περίπτωση να πέσει απευθείας πάνω σε κάποια καλώδια ή σωλήνες που καταλήγουν στο συγκεκριμένο κτίριο.

Δύο διαφορετικές περιπτώσεις επαγωγικών επιδράσεων έχουν παρατηρηθεί. Όταν ένας κεραυνός πέσει σε ένα κτίριο που έχει αντικεραυνική προστασία, το ρεύμα του θα διοχετευθεί μέσω του αγωγού καθόδου στη γη. Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο όμως που θα δημιουργηθεί γύρω από τον αγωγό, μπορεί να μεταφέρει επαγωγικά φορτία στις διάφορες καλωδιώσεις του κτιρίου ή ακόμα και σε γειτονικά κτίσματα. Στη δεύτερη περίπτωση, αποφορτίσεις κεραυνών στην ύπαιθρο φορτίζουν επαγωγικά, καλώδια ηλεκτρικής παροχής, μεταφοράς δεδομένων ή τηλεφωνικά και μέσω αυτών εισχωρούν μέσα σε κατασκευές προκαλώντας φθορές στα ηλεκτρικά τους μέρη.

Οι ωμικές επιδράσεις είναι ένας άλλος τρόπος μετάδοσης κρουστικών ρευμάτων και πλήττουν, τόσο υπόγειες, όσο και υπέργειες ή εναέριες γραμμές και σωληνώσεις. Συναντάται και ως γαλβανικό φαινόμενο. Όταν ένας κεραυνός πλήξει ακόμα και το έδαφος σε κοντινή κατασκευή, το κεραυνικό ρεύμα που διαχέεται ψάχνει διόδους εκτόνωσης μέσα στη γη. Επειδή ακολουθείται πάντα η ευκολότερη δίοδος, δηλαδή με την μικρότερη ωμική αντίσταση, ένα ποσοστό του ρεύματος θα περάσει μέσα στα κοντινά κτίσματα, είτε διαμέσου των ηλεκτροδίων της γείωσης των κατασκευών, είτε διαμέσου διαφόρων μεταλλικών σωληνώσεων (ύδρευση, αποχέτευση κλπ.). Η μόνωση των καλωδίων έχει μεγαλύτερη αντίσταση από ότι το έδαφος, αλλά λόγω μεγάλης διαφοράς δυναμικού μεταξύ γης και μονωμένων μερών, η μόνωση αυτή διασπάται και η υπέρταση διοχετεύεται στους αγωγούς καταστρέφοντας ηλεκτρονικές συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο. Ακόμα περισσότερο, όταν αυτό το κτίριο συνδέεται ηλεκτρικά με άλλα κτίρια, λόγω της διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται στην άκρες των γραμμών, το ρεύμα θα συνεχίσει την πορεία του καταστρέφοντας και συσκευές γειτονικών κτιρίων.

Όσον αφορά τις χωρητικές επιδράσεις, αυτές δημιουργούνται όταν ένα νέφος χάσει απότομα το ηλεκτρικό του φορτίο, με συνέπεια τα δίκτυα που βρίσκονται κάτω από αυτό, να χάσουν και αυτά χωρητικά το φορτίο τους. Ως αποτέλεσμα αυτού, αναπτύσσονται οδεύοντα κύματα προς τις δύο κατευθύνσεις. Αν μάλιστα τα δίκτυα αυτά είναι μεγάλου μήκους και καλά μονωμένα χειροτερεύει η κατάσταση, καθώς το κύμα αντανακλάται και μεγαλώνει αλλά και δεν μπορεί να αποφορτιστεί. Σε περίπτωση λοιπόν, που το δυναμικό του δικτύου φτάσει σε τιμή μεγαλύτερη της αντοχής των ηλεκτρικών μονώσεων των συσκευών που υπάρχουν στα άκρα του, αυτές θα καταστραφούν.

Τέλος, υπερτάσεις δημιουργούνται και από χειρισμούς διακοπών ισχύος, μαγνητική ζεύξη μετασχηματιστών ισχύος, βραχυκυκλώματα και ζεύξη-απόζευξη συστοιχιών πυκνωτών, κυρίως διότι τα ρεύματα που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των φαινομένων αυτών αποκτούν κρουστική μορφή με δραματικές συνέπειες στη μονωτική ικανότητα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Όπως είναι γνωστό, το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο στο οποίο αποθηκεύεται ενέργεια. Αν αυτό το ρεύμα διακοπεί ξαφνικά, η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου απελευθερώνεται. Στην προσπάθειά της να αναλωθεί, παίρνει τη μορφή ενός κρουστικού κύματος. Όσο περισσότερη, φυσικά, είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, τόσο μεγαλύτερο και το κύμα. Μεγάλα ρεύματα και μεγάλα μήκη αγωγών δυσχεραίνουν την κατάσταση. Αυτός είναι και ο λόγος που επαγωγικά φορτία όπως κινητήρες ή μετασχηματιστές, αποτελούν συχνά αιτίες δημιουργίας κρουστικών υπερτάσεων.

### **3.8 Προβλήματα λόγω κρουστικών υπερτάσεων και τρόποι προστασίας–Απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων**

Πολλά είναι τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η είσοδος ενός κρουστικού κύματος στα δίκτυα μιας κατασκευής, από απλά μέχρι ανεπανόρθωτα.

- **Απώλειες μνήμης:** αν και δεν έχουμε μόνιμη ζημία, παρατηρούνται συχνά απώλειες μνήμης, «πάγωμα» οθονών, αδικαιολόγητη επανεκκίνηση ηλεκτρονικών συσκευών, κλπ. χωρίς μόνιμες ή ανεπανόρθωτες βλάβες. Συνήθης αιτία απώλειας εργατοωρών, και κίνδυνος δυσάρεστων καταστάσεων σε περιπτώσεις ευαίσθητου και σημαντικού λογισμικού (π.χ. τράπεζες).
- **Βαθμιαία φθορά:** μακροπρόθεσμη έκθεση σε κρουστικά κύματα μικρής έντασης, οδηγεί σε μερική φθορά ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μικραίνοντας τη διάρκεια ζωής και αυξάνοντας την πιθανότητα αστοχίας υλικού ή καταστροφής.
- **Ολική καταστροφή:** κρουστικά κύματα μπορούν να καταστρέψουν συσκευές, ηλεκτρονικά κυκλώματα, οθόνες ακόμα και σε σημείο που να είναι αδύνατη η επισκευή τους. Αυτό συμβαίνει όταν διασπαστεί το μονωτικό μέσο της συσκευής. Σπινθήρες, τόξα ή εκρήξεις μπορεί να αποτελέσουν εστίες φωτιάς και απαρχή επικίνδυνων καταστάσεων όπως ηλεκτρικά σοκ κλπ. Ο κίνδυνος είναι ακόμα μεγαλύτερος σε περιπτώσεις που σε μια κατασκευή περιέχονται εύφλεκτα ή εκρηκτικά υλικά ή υπάρχει μεγάλη πυκνότητα ανθρώπων.

- **Έμμεσες συνέπειες:** όλα τα παραπάνω οδηγούν σε αδυναμία εργασίας, κόστος αντικατάστασης και επισκευής, απώλεια παραγωγικού χρόνου, καθυστερήσεις και απώλειες πελατών, αναγκαιότητα υπερωριών, περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις λόγω κακής λειτουργίας ή υπολειτουργίας κλπ.

### 3.9 Απαγωγί κρουστικών υπερτάσεων

Αναφέραμε νωρίτερα ότι οι κρουστικές υπερτάσεις μπορούν να περάσουν μέσα στα ηλεκτρικά κυκλώματα είτε μέσα από την ηλεκτρική παροχή, συμπεριλαμβανομένου και του αγωγού γειώσεως, είτε μέσα από τις τηλεφωνικές γραμμές, τις γραμμές μεταφοράς δεδομένων και τις γραμμές μεταφοράς αναλογικών σημάτων (από κεραία τηλεόρασης, κάμερα παρακολούθησης κλπ.) και γενικά μέσα από οποιοδήποτε ηλεκτρικά αγωγίμο δίκτυο. Οι απαγωγί κρουστικών υπερτάσεων (surge protection devices ή SPDs), που συχνά θα συναντηθούν και ως αλεξικέραυνα ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, είναι οι συσκευές αυτές που τοποθετούνται πριν από τα μηχανήματα που θέλουμε να προστατεύσουμε ή σε συγκεκριμένα σημεία μέσα στο δίκτυο, με στόχο να μειώσουν το κρουστικό κύμα άμεσα σε μεγέθη ακίνδυνα.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής: ο κάθε απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων, SPD, χαρακτηρίζεται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του, από μία πολύ υψηλή αντίσταση μεταξύ των άκρων του. Όταν στο δίκτυο που είναι συνδεδεμένος εφαρμοστεί μία κρουστική τάση με τιμή μεγαλύτερη από την τάση διάσπασης του SPD, βραχυκυκλώνει τα άκρα του σε χρόνο της τάξης ns, μειώνοντας έτσι τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των ηλεκτρικά μονωμένων αγωγών και μεταξύ των γειωμένων μερών, σε στάθμη που πρέπει να είναι χαμηλότερη της διηλεκτρικής αντοχής των μονωτικών της εγκατάστασης, όπως αυτή ορίζεται στο Διεθνές πρότυπο IEC 60664-1 (Πίνακας 1). Η τάση αυτή ονομάζεται τάση προστασίας ( $U_p$ ) και είναι το βασικότερο κριτήριο επιλογής του SPD. Θα αναφερθούμε σε αυτήν εκτενέστερα στη συνέχεια. Όταν η τάση του δικτύου επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα, ο απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων, SPD, αυτόματα επανέρχεται στην αρχική φυσιολογική του θέση, χωρίς την ανάγκη διακοπής της παροχής του ηλεκτρικού δικτύου, αντικατάσταση τηκτών, ή επαναοπλισμού αυτόματων διακοπών.

Βέβαια, υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να τηρηθούν για την επιτυχία της προστασίας, και οι σημαντικότερες είναι οι ακόλουθες:

- **Συμβατότητα με το σύστημα:** να μη προκαλεί λειτουργικά προβλήματα στις συσκευές που προστατεύει, όπως π.χ. να διατηρεί τις ιδιότητές του υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας των συσκευών ώστε να μη γειώνει τους ενεργούς αγωγούς.
- **Σωστή επιλογή στάθμης προστασίας:** η τάση προστασίας,  $U_P$ , λειτουργίας του SPD, πρέπει να είναι μικρότερη της στάθμης μόνωσης της συσκευής που προστατεύει. Αν για παράδειγμα πρέπει να προστατευθεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα με διηλεκτρική αντοχή 800V, ο απαγωγός κρουστικής υπέρτασης θα πρέπει να χαρακτηρίζεται με  $U_P < 800V$ , ή ακόμη χαμηλότερη, έτσι ώστε να προστατευθεί η συσκευή επαρκώς και να υπάρχει και ένα όριο ασφαλείας.
- **Βιωσιμότητα:** για αξιόπιστη μακράς διάρκειας λειτουργία, το SPD που θα επιλεγεί πρέπει να μπορεί να αντέξει το μεγαλύτερο κρουστικό ρεύμα  $I_{imp}$  ή  $I_{max}$  που αναμένεται στο συγκεκριμένο σημείο εγκατάστασής του και υπολογίζεται με βάση την αναγκαία στάθμη προστασίας, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

### 3.10 Χαρακτηριστικοί παράμετροι επιλογής

Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψη τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες του συστήματος στο οποίο τοποθετούνται.

Πιο αναλυτικά οι παράμετροι που παίζουν ρόλο στην επιλογή τους είναι οι εξής:

- **Χαρακτηριστικά δικτύου:** Για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με το δίκτυο είναι αναγκαία η γνώση των τριών επόμενων παραμέτρων. Η Ονομαστική τάση λειτουργίας (Voltage rating,  $U_N$ , ή Continuous operating voltage,  $U_C$ ) καθορίζεται με βάση την ονομαστική τάση της ηλεκτρικής γραμμής. Η μέγιστη τάση λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές κυμαίνεται περίπου στο +15% της ονομαστικής τιμής. Για τα Ελληνικά δεδομένα, όπως και για ολόκληρη την Ευρώπη, σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ονομαστική τάση λειτουργίας για όλα τα δίκτυα χαμηλής τάσης είναι 230/400V. Για τα ασθενή ρεύματα (π.χ. σήματα data) ονομαστική τάση είναι η θετική ή αρνητική τιμή κορυφής του σήματος (Voltage peak value,  $U_{pk}$ ). Το Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, (Continuous operating current,  $I_C$ ), ενδιαφέρει μόνο στην περίπτωση που ο απαγωγός συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο. Τέλος, ανάλογα με τη Συχνότητα λειτουργίας,  $f$ , του δικτύου, επιλέγεται και ο απαγωγός που λειτουργεί στην ανάλογη συχνότητα.

- **Τάση εκφόρτισης ή Παραμένουσα τάση (Residual voltage,  $U_{res}$ ):** είναι η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του απαγωγού κρουστικών υπερτάσεων κατά τη διάρκεια της διέλευσης του ονομαστικού ρεύματος εκφόρτισης, το οποίο ορίζεται παρακάτω. Η μέγιστη παραμένουσα τάση (Voltage limiting) είναι αυτή που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης που μπορεί να αντέξει ο συγκεκριμένος απαγωγός. Στην περίπτωση απαγωγού τύπου σπινθηριστή η παραμένουσα τάση ισούται με την Τάση διάσπασης (Sparkover voltage), την τάση δηλαδή στην οποία έχουμε έναρξη του σπινθήρα. Όπως γίνεται σαφές, όσο μικρότερη είναι η τάση προστασίας ενός απαγωγού τόσο το καλύτερο, και τόσο πιο ευαίσθητες συσκευές μπορεί να προστατεύσει.
- **Τάση προστασίας (Voltage protection level,  $U_P$ ):** η συγκεκριμένη παράμετρος χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά του απαγωγού και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη παραμένουσα τάση ή την τάση διάσπασης. Η χρησιμότητα της παραμέτρου αυτής είναι ίσως η σημαντικότερη όλων, καθώς μεγαλύτερη τάση προστασίας από αυτή που αντέχει η υπό προστασία συσκευή, θα οδηγήσει σε ανεπαρκή προστασία της και ενδεχόμενη καταστροφή της.
- **Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης (Maximum discharge current,  $I_{max}$  ή Maximum impulse current,  $I_{imp}$ ):** είναι το μεγαλύτερο ρεύμα εκφόρτισης που διέρχεται μέσα από το αλεξικέραυνο δικτύου τουλάχιστον για μία φορά, χωρίς αυτό να καταστραφεί. Με βάση αυτή τη μεταβλητή εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα του απαγωγού. Το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή κρούσης του κύματος. Όταν λέμε μορφή κρούσης (Impulse wave shape) εννοούμε το πηλίκο του χρόνου που φτάνει το ρεύμα στη μέγιστη τιμή του, προς το χρόνο που πέφτει στο μισό της μέγιστης τιμής. Ο λόγος που χρησιμοποιείται είναι το γεγονός ότι κάθε κρουστικό κύμα έχει απρόβλεπτη μορφή κρούσης και συνεπώς τα μεγέθη δεν είναι συγκρίσιμα. Εισάγοντας αυτή την παράμετρο είμαστε πιο ακριβής στον καθορισμό του  $I_{max}$  της αντικεραυνικής συσκευής. Για παράδειγμα, ένας απαγωγός στο οποίο εφαρμόζεται κρούση μορφής 8/20 $\mu$ s έχει ικανότητα  $I_{max}=5kA$ . Στον ίδιο απαγωγό αν εφαρμοστεί κρούση μορφής 4/10 $\mu$ s για παράδειγμα, έχει ικανότητα  $I_{max}=65kA$ . Η μορφή κρούσης καθορίζεται από τα Διεθνή πρότυπα IEC σε 8/20 $\mu$ s, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις για τη μέτρηση του  $I_{max}$  φτάνει και σε διάρκεια τα 10ms (IEC 61643-1). Από εδώ και στο εξής ότι τιμές έντασης και αν αναφέρονται, ως μορφή κρούσης θα εννοείται η 8/20 $\mu$ s.
- **Ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης (Nominal discharge current,  $I_n$ ):** Έτσι ονομάζεται το ρεύμα αυτό που μπορεί να

αντιμετωπιστεί από τον απαγωγό για τουλάχιστον είκοσι φορές, χωρίς αυτός να παρουσιάσει δυσλειτουργία. Όταν για παράδειγμα λέμε ότι ο συγκεκριμένος απαγωγός έχει  $I_{max}=40kA$  και  $I_n=15kA$ , ρεύματος 8/20 $\mu s$  εννοούμε ότι μπορεί να αντεπεξέλθει χωρίς να καταστραφεί σε ρεύμα 40kA τουλάχιστον μία φορά και σε ρεύμα 15kA τουλάχιστον για είκοσι φορές, πάντα μορφής 8/20 $\mu s$ .

- **Υπέρταση μεγάλης διάρκειας του ηλεκτρικού πεδίου διανομής,  $U_{TON}$ :** μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να συνεκτιμάται κατά την επιλογή του απαγωγού, κυρίως στα ενεργειακά συστήματα, είναι οι υπερτάσεις του συστήματος μακράς διάρκειας  $U_{TON}$ , με χρονική διάρκεια  $0,05 < t < 10s$ . Οι τάσεις αυτές λόγω της διάρκειάς τους δεν έχουν κρουστική μορφή και ο απαγωγός υπερτάσεων, αν λειτουργήσει για να τις μειώσει υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί, καθώς καταπονείται για μεγάλη χρονική διάρκεια από το ρεύμα του συστήματος που ρέει μέσα σε αυτόν. Στατιστικά, έχει αποδειχθεί ότι σε απομονωμένα δίκτυα η καταστροφή των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων από αυτό το αίτιο, είναι συνηθέστερη από ότι η καταστροφή τους από ένα κεραυνικό ρεύμα. Το Διεθνές πρότυπο IEC της σειράς 60364 συνιστά στις εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να κατασκευάζουν δίκτυα που οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας να μην υπερβαίνουν την τιμή  $1,5 \times U_N + 750V$  για χρόνο  $0,05 < t < 5s$ , και την τιμή  $1,5 \times U_N V$  για χρόνο  $5 < t < 10s$ . Η επιλογή του κατάλληλου απαγωγού κρουστικών υπερτάσεων θα πρέπει να γίνεται με το κριτήριο να λειτουργεί σε τάσεις μεγαλύτερες της  $U_{TON}$ , όπως αυτή ορίζεται από το IEC 60364. Αν και αναφέρθηκε, δηλαδή, ότι όσο μικρότερη είναι η τάση προστασίας τόσο το καλύτερο, οι ελάχιστες τιμές της  $U_p$  περιορίζονται από την  $U_{TON}$ .
- **Χρόνος απόκρισης (Time Response,  $t_R$ ):** είναι ο χρόνος που απαιτείται μέχρις ότου να ενεργοποιηθεί η λειτουργία του απαγωγού. Είναι πολύ βασική παράμετρος, καθώς πρέπει να λειτουργήσει πριν περάσει το κύμα και κάνει τη ζημιά και πρέπει να είναι μικρότερος των 25 ns ( $25 \times 10^{-9}$ ). Αυτός είναι και ο λόγος που οι σταθεροποιητές τάσης (UPS) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αντικεραυνική προστασία, καθώς ο χρόνος απόκρισής τους είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερος (της τάξης των ms,  $10^{-3}$ ). Αντιθέτως, κινδυνεύουν και οι ίδιοι από τα κρουστικά κύματα και χρειάζονται προστασία.

Υπάρχουν και άλλες μεταβλητές που παίζουν ρόλο στην επιλογή του σωστού απαγωγού, όπως η ισχύς λειτουργίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, το μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας κλπ. που δεν χρήζουν



ανάλυσης τη συγκεκριμένη στιγμή, καθώς ο ρόλος τους είναι σημαντικός μεν, πολύ λεπτομερειακός δε.

### 3.11 Είδη απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων

Ανάλογα με το τι συσκευή θέλουμε να προστατεύσουμε και από ποια σημεία εισόδου του κύματος, υπάρχουν και οι αντίστοιχοι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων. Οι απαγωγοί που συνηθέστερα συναντώνται είναι οι εξής: Οι απαγωγοί μέσης τάσης έχουν σκοπό να προστατεύσουν έναν υποσταθμό ή γενικότερα ένα δίκτυο μέσης τάσης από κρουστικά κύματα ερχόμενα από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η ονομαστική τάση λειτουργίας τους είναι συνήθως για τη χώρα μας 21kV και τοποθετούνται παράλληλα με το δίκτυο, ένας σε κάθε φάση (συνολικά τρεις για τριφασικό ρεύμα). Αποτελούν την πρώτη βαθμίδα προστασίας, και χωρίζονται σε πορσελάνης και πολυμερίου(polymer). Οι απαγωγοί χαμηλής τάσης για συστήματα TN-S, όπως αυτό της ΔΕΗ (εκτός από το ιστορικό κέντρο της Αθήνας που έχει σύστημα TT και στο οποίο χρησιμοποιούνται πάλι οι ίδιοι απαγωγοί), τοποθετούνται στον κεντρικό πίνακα και παράλληλα στην κάθε φάση του ρεύματος αλλά και στον ουδέτερο (συνολικά τέσσερα για τριφασικό ρεύμα, δύο για μονοφασικό). Όποτε κρίνεται σκόπιμο τοποθετούνται απαγωγοί και στους υποπίνακες ως επιπλέον ζώνες προστασίας, αλλά και ακριβώς πριν από μία συσκευή. Επαναλαμβάνεται σε αυτό το σημείο ότι οι συγκεκριμένοι απαγωγοί δεν πρέπει κατά την απαγωγή των κρουστικών υπερτάσεων να διακόπτουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο μηδενίζοντας την τάση του δικτύου, αλλά να συνεχίζεται η ομαλή τροφοδοσία του, έστω και με μεγαλύτερη τάση, μέσα στα πλαίσια της αντοχής των μονωτικών των συσκευών που τροφοδοτούνται από το δίκτυο, όπως αυτές ορίζονται στο IEC 60664-1 (Πίνακας 1 ).

**Πίνακας 2: Αντοχή των μονωτικών των συσκευών από το δίκτυο, όπως αυτές ορίζονται στο IEC 60664-1**

Δυναμικό μεταξύ φάσης και ουδέτερου, εξαγόμενο από τις ονομαστικές τάσεις λειτουργίας a.c. ή d.c. (Volts)	Διηλεκτρική αντοχή συσκευής, $U_s$ (Volts)			
	II	II	III	IV
50	330	500	800	1500
100	500	800	1500	2500
150	800	1500	2500	4000

300	1500	2500	4000	6000
600	2500	4000	6000	8000
1000	4000	6000	8000	12000

Οι κεραιές των τηλεοράσεων συλλαμβάνουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο των κεραυνών και δια μέσου του ομοαξονικού καλωδίου διοχετεύουν την υπέρταση στις συνδεδεμένες συσκευές προκαλώντας την καταστροφή τους. Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων κεραιών προστατεύουν τους δέκτες από αυτές τις υπερτάσεις διοχετεύοντάς τις στη γείωση. Το κύκλωμα προστασίας του απαγωγού δεν πρέπει να επηρεάζει την καλή λειτουργία των συσκευών, ούτε να προκαλεί απώλεια της ισχύος και εξασθένηση του σήματος που συλλαμβάνει η συσκευή, για αυτό και πρέπει να είναι ανάλογης ισχύος και συχνότητας. Ανάλογοι απαγωγοί υπάρχουν και για πομπούς – δέκτες χαμηλής ισχύος και συχνοτήτων από VHF ως UHF (κάμερες παρακολούθησης κλπ.).

(\* ) Οι παραπάνω αναφερόμενες κατηγορίες συσκευής του Πίνακα 1 ορίζονται ως εξής:

Κατηγορία IV : υλικά, διατάξεις ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, όπως καλώδια, τηκτές ασφάλειες, κιλοβατωρόμετρα.

Κατηγορία III : διατάξεις μόνιμα συνδεδεμένες στην ηλεκτρική εγκατάσταση των οποίων η αξιοπιστία λειτουργίας τους διέπεται από ειδικές απαιτήσεις όπως διακόπτες, κινητήρες και γενικά συσκευές και μηχανήματα βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Κατηγορία II : διατάξεις και συσκευές οικιακής χρήσης μόνιμα συνδεδεμένες στην ηλεκτρική εγκατάσταση, φορητές συσκευές και εργαλεία.

Κατηγορία I : σε αυτή ανήκουν οι ηλεκτρονικές συσκευές και γενικά κάθε ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων τηλεμετρίας και τηλεχειρισμών προστατεύουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα και διατάξεις από κρουστικά ρεύματα που εισέρχονται από τις γραμμές μεταφοράς δεδομένων ή σημάτων. Οι απαγωγοί αυτοί εγκαθίστανται σε σειρά με το δίκτυο και κοντά στις υπό προστασία συσκευές, επιτρέποντας τη διέλευση όλων των σημάτων και δεδομένων. Πρέπει να είναι συμβατοί με το δίκτυο και να μην προκαλούν παρεμβολές, επιδράσεις ή εξασθενίσεις στα σήματα. Σε περίπτωση καταστροφής τους βραχυκυκλώνουν με τη γείωση ώστε να γίνει αντιληπτή η απώλειά τους και να προστατεύσουν το σύστημα μέχρι την αντικατάστασή τους.

Τέλος, για να προστατεύσουμε τηλεφωνικές συσκευές ή ψηφιακά κέντρα από την είσοδο κρουστικών υπερτάσεων διαμέσου του δικτύου του ΟΤΕ, χρησιμοποιούμε ειδικούς απαγωγούς που τοποθετούνται σε σειρά με το τηλεφωνικό δίκτυο και υπάρχουν είτε ημιαγωγικού τύπου, είτε τύπου σπινθηριστή.

### **3.11.1 Ζώνες προστασίας**

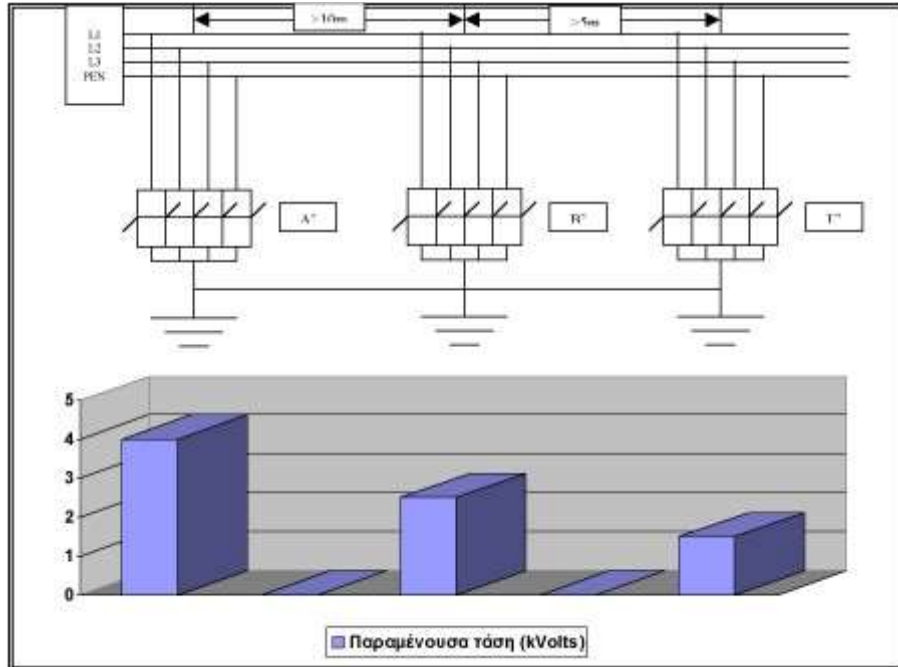
Σύμφωνα με το Διεθνές πρότυπο IEC 61312-1, η πληρέστερη προστασία ενός δικτύου από κρουστικές υπερτάσεις επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό του σε ζώνες προστασίας. Ως πρώτη ζώνη τοποθετούμε απαγωγούς που έχουν την ικανότητα να αντεπεξέρχονται σε κρουστικά ρεύματα μεγάλης έντασης και ενέργειας. Στις υπόλοιπες ζώνες χρησιμοποιούνται μικρότεροι απαγωγοί, καθώς το κυρίως κρουστικό κύμα έχει ήδη «κοπεί» στην πρώτη ζώνη, που στόχο έχουν να μειώσουν βαθμιαία την παραμένουσα τάση στα επιθυμητά όρια. Ο διαχωρισμός του δικτύου σε αυτές τις ζώνες γίνεται με βάση τις εξής παραμέτρους: Τη διηλεκτρική αντοχή των συσκευών που θέλουμε να προστατεύσουμε. Βασιζόμενοι στον Πίνακα 1 και ανάλογα με την ευαισθησία της κάθε συσκευής, την προστατεύουμε με τις ανάλογες ζώνες προστασίας. Το συνολικό μήκος του δικτύου. Ένα κρουστικό κύμα, ανακλώμενο μέσα σε καλωδιώσεις μεγάλου μήκους έχει τη δυνατότητα να μεγαλώσει ξανά (μπορεί να διπλασιαστεί σε απόσταση δέκα μέτρων) και να προκαλέσει καταστροφές ακόμα και με την παρουσία προστασίας στην είσοδο της εγκατάστασης.

**Πίνακας 3: .Όσο αυστηρότερη η στάθμη προστασίας, τόσο αυξάνει και η πρόληψη έναντι μεγάλων κεραυνικών ρευμάτων**

Απαιτούμενη προστασίας	στάθμη	Μέγιστο ρεύμα κορυφής κεραυνού I(kA)
Στάθμη I		200
Στάθμη II		150
Στάθμη III		100
Στάθμη IV		100

Τη στάθμη προστασίας της κατασκευής. Όσο πιο προβληματική είναι μια ενδεχόμενη διακοπή λειτουργίας και όσο ακριβότερο είναι το κόστος των υπό προστασία συσκευών, τόσο πιο λεπτομερειακή είναι και η προστασία. Για τον υπολογισμό της στάθμης προστασίας μπορούμε να ανατρέξουμε στο Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1412. Κατόπιν, και ανάλογα με τη στάθμη προστασίας, βασιζόμενοι στο Διεθνές πρότυπο IEC 61024-1-1, αποφασίζουμε πιο πρέπει να πάρουμε ως μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης στους υπολογισμούς μας για τον υπολογισμό του καταμερισμού του κεραυνικού ρεύματος (Πίνακας 2 ).

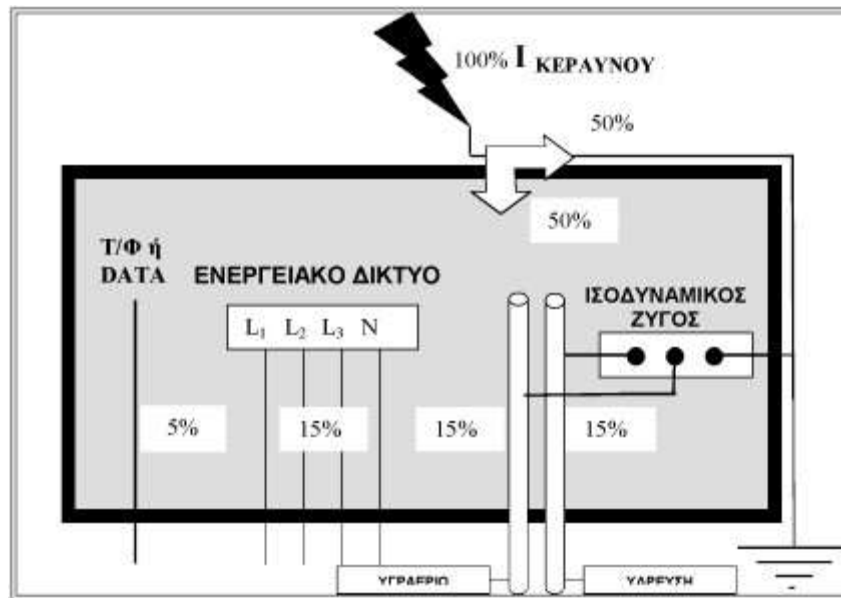
Το αναμενόμενο μέγεθος του κεραυνικού ρεύματος. Υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η τάξη μεγέθους του κεραυνικού ρεύματος σε ένα δεδομένο σημείο του δικτύου. Με δεδομένη τη γνώση του πώς καταμερίζεται το ρεύμα του κεραυνού στις διάφορες καλωδιώσεις και σωληνώσεις του κτιρίου, το υπολογιζόμενο μέγεθος εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως το αν η περιοχή έχει προϊστορία μεγάλης κεραυνικής δραστηριότητας, αλλά και το αν ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου κινδυνεύει από άμεσο ή έμμεσο χτύπημα.



**Σχήμα 31.Αναγκαίες αποστάσεις μεταξύ βαθμίδων προστασίας και πτώση της παραμένουσας τάσης ανά βαθμίδα προστασίας.**

Στο Σχήμα 1 φαίνεται πώς μειώνεται βαθμιαία η παραμένουσα τάση ανά ζώνη προστασίας, φτάνοντας έτσι σε επίπεδα ακίνδυνα για τις υπό προστασία συσκευές. Παράλληλα, τονίζεται η αναγκαία απόσταση μεταξύ των διαφόρων ζωνών, έτσι ώστε να εξαλειφθεί η περίπτωση μια δευτερεύουσα ζώνη να λειτουργήσει πριν την προηγούμενη.

### 3.11.2 Μέγεθος και καταμερισμός κεραυνικού ρεύματος



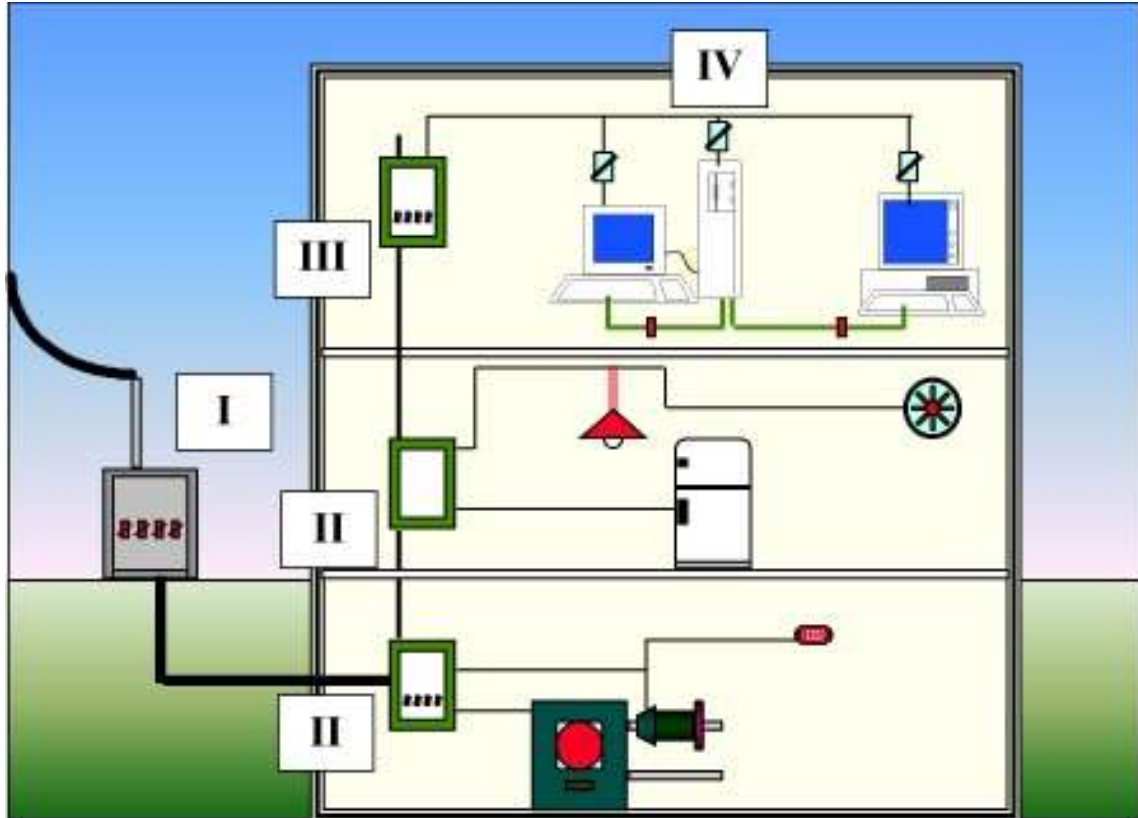
Σχήμα 32. Καταμερισμός του κεραυνικού ρεύματος σε μία κατασκευή.

Υπάρχει η εντύπωση ότι όσο μεγαλύτερο κεραυνικό ρεύμα μπορεί να αντέξει ένας απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων, τόσο το καλύτερο. Αυτό είναι σωστό μόνο με την προϋπόθεση ότι, πρώτον, τα μεγέθη που ακούγονται πλησιάζουν την πραγματικότητα και δεν υφίστανται για λόγους εντυπωσιασμού και μόνο, και δεύτερον, ότι η παραμένουσα τάση που αφήνει να περάσει στις συγκεκριμένες τιμές ρεύματος, είναι μικρότερη από τη διηλεκτρική αντοχή των συσκευών που πρέπει να προστατεύσει. Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό κάτι που συχνά δε λαμβάνεται υπόψη. Πρωτεύον στόχος του απαγωγού είναι να προστατεύσει τις ηλεκτρικές συσκευές και κατά δεύτερον να «αυτοπροστατευτεί». Αν ένας απαγωγός καταστραφεί από ένα κρουστικό ρεύμα και όλες οι υπόλοιπες συσκευές δεν πάθουν τίποτα, θεωρείται επιτυχία και όχι αποτυχία.

Σύμφωνα με το Διεθνές πρότυπο IEC 61312-1, σελίδα 19, λοιπόν, εάν ένας κεραυνός πέσει σε ένα κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, το μισό ρεύμα του θα διοχετευτεί στη γη διαμέσου της προστασίας αυτής και το άλλο μισό θα ψάξει να βρει δρόμο προς τη γη διαμέσου των διαφόρων σωληνώσεων και καλωδίων της κατασκευής, όπως η ύδρευση, ο αγωγός υγραερίου και της ηλεκτρικής παροχής (Σχήμα 2). Θεωρείται ότι το ρεύμα κατανέμεται ισομερώς μεταξύ όλων αυτών των διόδων προς τη γείωση, εκτός από το καλώδιο του τηλεφώνου από το οποίο περνά λιγότερο από το 5% του ρεύματος και, τις περισσότερες φορές, κατά συνθήκη αγνοείται χωρίς πολύ μεγάλη απόκλιση.

Ας πάρουμε για παράδειγμα την περίπτωση πτώσης ενός κεραυνού 200kA, ενός πολύ μεγάλου κεραυνικού πλήγματος, που είναι και μια πολύ σπάνια περίπτωση (από τη στιγμή που θα πέσει ένας κεραυνός η πιθανότητα να είναι τόσο μεγάλος είναι μικρότερη από 1%). Σύμφωνα με το Σχήμα 2 λοιπόν, τα 100 kA θα διοχετευτούν απευθείας στη γη δια μέσου της εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, ενώ τα υπόλοιπα 100kA θα διανεμηθούν ισομερώς στο εσωτερικό δίκτυο του κτιρίου, και συγκεκριμένα στο ενεργειακό δίκτυο, στο δίκτυο νερού και στο δίκτυο υγραερίου (αν υπάρχει). Συνεπώς, το ρεύμα σε καθένα από αυτά δεν θα ξεπεράσει τα 30 kA. Κατά προέκταση, το κρουστικό ρεύμα που θα περάσει από την κάθε φάση και τον ουδέτερο, με την προϋπόθεση ότι έχουμε τριφασικό ρεύμα, δε θα ξεπεράσει τα 7,5kA (30kAx4). Μια πιο αναλυτική μέθοδος υπολογισμού του καταμερισμού του κεραυνικού ρεύματος μπορεί να βρεθεί στο Διεθνές πρότυπο 61024-1-2, παράγραφος 2.7.2, που βασίζεται στην ειδική αντίσταση εδάφους όπου γειώνεται ο κάθε αγωγός. Τοποθετώντας πολύ μεγαλύτερους απαγωγούς, χωρίς να προσέξουμε την παραμένουσα τάση που αφήνουν και το τι ακριβώς χρειαζόμαστε στη συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου, πέρα του ότι είναι ένα ανώφελο οικονομικό κόστος, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η προστασία μας να είναι ελλιπής.

Στην περίπτωση που οι αποστάσεις μέσα στο κτίριο είναι μεγάλες και ταυτόχρονα απαιτείται μέγιστος βαθμός προστασίας, όπως προαναφέρθηκε, συνιστάται η τοποθέτηση απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων και στους υποπίνακες της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, δημιουργώντας κάποιες ζώνες προστασίας. Έτσι, κάθε συσκευή προστατεύεται όσο ακριβώς χρειάζεται, χωρίς ελλείψεις και ανακρίβειες, αλλά και χωρίς υπερβολές.



Σχήμα 33. Η λογική των ζωνών προστασίας από κρουστικές υπερτάσεις σε μια κατασκευή. Κάθε συσκευή προστατεύεται με βάση τη διηλεκτρική της αντοχή, φτάνοντας μέχρι και στην τέταρτη στάθμη προστασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Η ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

#### 4.1 Περιγραφή της γραμμής

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση φαίνονται παρακάτω

- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 152 \text{ m}$ ,  $P = 30 \text{ PS}$ , βαθμός απόδοσης 0,87, συντελεστής ισχύος 0,85, σε απόσταση 100m από τον κεντρικό πίνακα
- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 190 \text{ m}$ ,  $P = 50 \text{ PS}$ , βαθμός απόδοσης 0,85, συντελεστής ισχύος 0,85, σε απόσταση 50m από τον κεντρικό πίνακα
- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία,  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 200 \text{ m}$ ,  $P = 60 \text{ PS}$ , βαθμός απόδοσης 0,88, συντελεστής ισχύος 0,85, άμεσα συνδεδεμένο με τον κεντρικό πίνακα

**Πίνακας 3:Περί μέγιστων επιτρεπόμενων εντάσεων και διατομών**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Μονωτικό	χαρτί-μάζα						PVC <sup>2)</sup>						δικτυωμένο PE					
Μεταλλικός μανδύας	μόλυβδος			αλουμίνιο			—						μόλυβδος			—		
κωδικός π.χ.	N(A)KBA	N(A)KA		N(A)KLEY			N(A)YY;N(A)YCWY <sup>1)</sup> JVV						NYKY		N(A)ZXSX			
Κανονισμός καλωδίων	VDE 0255						VDE 0271 IEC 502						DIN57265 VDE0265		VDE 0273 IEC 502			
επιτρεπόμενη θερμοκρασία	80°C						70°C						90°C					
Διάταξη	4) ⊖⊖	⊖⊖	⊖⊖⊖	4) ⊖⊖	⊖⊖	⊖⊖⊖	2) ⊖	⊖	4) ⊖⊖	⊖⊖	⊖⊖⊖	⊖	4) ⊖⊖	2) ⊖	4) ⊖⊖	⊖⊖	⊖⊖⊖	
Όνομαστική διατομή χαλκού mm <sup>2)</sup>	Φόρτιση σε Ampère																	
1,5	—	—	—	—	—	—	26	20	18,5	20	25	20	18,5	32	24	25	32	
2,5	—	—	—	—	—	—	35	27	25	27	34	27	25	43	32	34	42	
4	—	—	—	—	—	—	46	37	34	37	45	37	34	57	42	44	56	
6	—	—	—	—	—	—	58	48	43	48	57	48	43	72	53	57	71	
10	—	—	—	—	—	—	79	66	60	66	78	66	60	99	73	77	96	
16	—	—	—	—	—	—	105	89	80	89	103	89	80	131	96	102	128	
25	114	138	167	114	136	163	140	118	106	118	137	118	106	177	130	139	173	
35	140	168	203	139	166	199	174	145	131	145	169	145	131	218	160	170	212	
50	169	203	246	168	200	239	212	176	159	176	206	176	159	266	195	208	258	
70	212	255	310	213	251	299	269	224	202	224	261	224	202	338	247	265	328	
95	259	312	278	262	306	361	331	271	244	271	321	271	244	416	305	326	404	
120	299	364	439	304	354	412	386	314	282	314	374	314	282	487	355	381	471	
150	343	415	500	350	403	463	442	361	324	361	428	361	324	559	407	438	541	
185	397	479	575	402	462	522	511	412	371	412	494	412	371	648	469	507	626	
240	467	570	678	474	545	594	612	484	436	484	590	484	436	779	551	606	749	
300	533	654	772	542	619	657	707	—	481	549	678	—	492	902	638	697	864	
400	611	783	912	628	726	734	359	—	560	657	817	—	563	1270	746	816	1918	
500	—	893	1023	—	809	786	1000	—	—	749	940	—	—	1246	—	933	1173	
Όνομ. διατ. αλουμ. mm <sup>2)</sup>	Φόρτιση σε Ampère																	
25	89	—	—	88	—	—	128	91	83	—	—	—	—	1371	100	—	—	
35	108	130	157	107	128	154	145	113	102	113	131	—	—	68	122	131	163	
50	131	157	191	130	155	186	176	138	124	138	160	—	—	206	147	161	200	
70	165	198	240	166	195	234	224	174	158	174	202	—	—	262	1892	205	254	
95	201	243	294	203	238	284	271	210	190	210	249	—	—	323	32	253	313	
120	233	283	343	237	277	328	314	274	220	244	291	—	—	377	270	296	366	
150	267	323	390	272	316	370	361	281	252	281	33	—	—	433	308	341	420	
185	310	374	450	314	363	421	412	320	289	320	384	—	—	502	357	395	486	
240	366	447	535	372	432	489	484	378	339	378	460	—	—	605	435	475	585	
300	420	515	613	428	494	548	548	—	377	433	530	—	—	699	501	548	675	
400	488	623	733	503	589	627	666	—	444	523	642	—	—	830	592	647	798	
500	—	718	833	—	669	687	776	—	—	603	744	—	—	966	—	749	926	

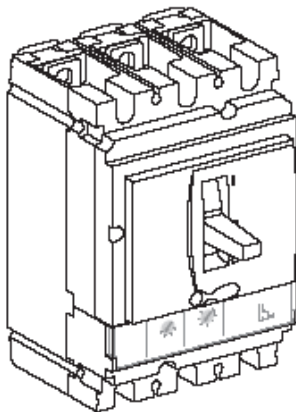
**Πίνακας 4: Θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30 °C., συντελεστές διόρθωσης**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Κατασκευή καλωδίου	μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας	μέγιστη επιτρεπόμενη ανήγωση θερμοκρασίας	Συντελεστές διόρθωσης, για θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C								
			10	15	20	25	30	35	40	45	50
Δικτ. πολ. 2Χ, (XLPE)	°C	°K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	1,15	1,12	1,08	1,04	1,0	0,96	0,91	0,87	0,82
Πολυαθ. 2Υ, PE Πολυβιν. Υ, V	70	-	1,22	1,17	1,12	1,07	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71
μάζα-χαρτί περιζωμένα καλ. 0,6/1-3,6/6 kV	80	55	1,05	1,05	1,05	1,05	1,0	0,95	0,89	0,84	0,77
6/10 kV	65	35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,93	0,85	0,76	0,65
μονοπολικά τριών μανδύων Höchstädter 0,6/1-3,6/6kV	80	55	1,05	1,05	1,05	1,05	1,0	0,95	0,89	0,84	0,77
6/10 kV	70	45	1,06	1,06	1,06	1,06	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71
12/20kV	65	35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,93	0,85	0,76	0,65
18/30kV	60	30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,91	0,82	0,71	0,58

**Πίνακας 5: Αυτόματοι θερμομαγνητικοί διακόπτες προστασίας κινητήρων, MS – Τυποποιημένες Τιμές**

**Compact NSX100**

Με θερμομαγνητική μονάδα ελέγχου TM-D



**Compact NSX100B (Icu = 25 kA σε τάση 380/415 V)**

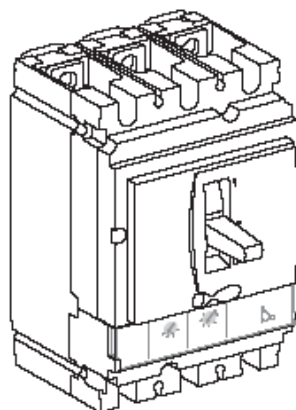
Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο
TM16D	16	11 - 16	190
TM25D	25	18 - 25	300
TM32D	32	22 - 32	400
TM40D	40	28 - 40	500
TM50D	50	35 - 50	500
TM63D	63	44 - 63	500
TM80D	80	56 - 80	640
TM100D	100	70 - 100	800

**Compact NSX100F (Icu = 36 kA σε τάση 380/415 V)**

Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο
TM16D	16	11 - 16	190
TM25D	25	18 - 25	300
TM32D	32	22 - 32	400
TM40D	40	28 - 40	500
TM50D	50	35 - 50	500
TM63D	63	44 - 63	500
TM80D	80	56 - 80	640
TM100D	100	70 - 100	800

**Compact NSX160**

Με θερμομαγνητική μονάδα ελέγχου TM-D



**Compact NSX160B (Icu = 25 kA σε τάση 380/415 V)**

Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο
TM80D	80	56 - 80	640
TM100D	100	70 - 100	800
TM125D	125	88 - 125	1.250
TM160D	160	112 - 160	1.250

**Compact NSX160F (Icu = 36 kA σε τάση 380/415 V)**

Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο
TM80D	80	56 - 80	640
TM100D	100	70 - 100	800
TM125D	125	88 - 125	1.250
TM160D	160	112 - 160	1.250

## 4.2 Η ηλεκτρολογική μελέτη της εγκατάστασης

- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία, Q = 30 m<sup>3</sup>/h, H = 152 m, P = 30 PS, βαθμός απόδοσης 0,87, συντελεστής ισχύος 0,85, σε απόσταση 100m από τον κεντρικό πίνακα

Μετατροπή της ισχύος της μηχανής σε kW

$$P = 0.746 \times 30 = 22.38 \cong 22kW$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{22}{0.87} \Rightarrow P_{in} = 25.3 kW$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{25300}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 42.96A$$

Προσαυξάνεται το ρεύμα κατά 25% επειδή το φορτίο είναι κινητήρας.

$$I = I \cdot 1,25 = 42.96 \cdot 1,25 = 53.7A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 4 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **35°C**

$$I = \frac{53.7}{0,94} = 57.13A$$

Από τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=10\text{mm}^2$ .

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 10} = 1,876 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$R_{\kappa,20^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \ell = 1,876 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,1876\Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ\text{C}} = R_{\kappa,20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) =$$

$$0,1876 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0,22512\Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}C} \cdot \cos \varphi = 57.13 \cdot 0,22512 \cdot 0,85 = 10,93V$$

Πρέπει  $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2Volt$  ΔΕΝ Ισχύει, οπότε επαναλαμβάνεται ο υπολογισμός για την επόμενη διατομή, δηλαδή για  $q=16mm^2$

$$R_{20^{\circ}C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 16} = 1,116 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$R_{\kappa,20^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \cdot \ell = 1,116 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,1116\Omega$$

$$R_{\kappa,70^{\circ}C} = R_{\kappa,20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) =$$

$$0,1116 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0,13392\Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}C} \cdot \cos \varphi = 57.13 \cdot 0,13392 \cdot 0,85 = 6.5V$$

Πρέπει  $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2Volt$  ΙΣΧΥΕΙ, οπότε επιλέγεται διατομή  $q=16mm^2$

Άρα

- Διατομή  $16mm^2$
- Αυτόματος διακόπτης ισχύος 63A με ρύθμιση θερμικού στα 57.1A

- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία, Q = 40 m<sup>3</sup>/h, H = 190 m, P = 50 PS, βαθμός απόδοσης 0,85, συντελεστής ισχύος 0,85, σε απόσταση 50m από τον κεντρικό πίνακα

Μετατροπή της ισχύος της μηχανής σε kW

$$P = 0.746 \times 50 = 37.3 \cong 37kW$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{37}{0.85} \Rightarrow P_{in} = 43.5 kW$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{43500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 73.87A$$

Προσαυξάνεται το ρεύμα κατά 25% επειδή το φορτίο είναι κινητήρας.

$$I = I \cdot 1,25 = 73.87 \cdot 1,25 = 92.33A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 4 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **35°C**

$$I = \frac{92.33}{0,94} = 98.22A$$

Από τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή q=25mm<sup>2</sup>.

$$R_{20^{\circ}C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 25} = 714.286 \cdot 10^{-6} \Omega$$

$$R_{κ,20^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \cdot \ell = 714.286 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0.0714 \Omega$$

$$R_{κ,70^{\circ}C} = R_{κ,20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) =$$

$$0.0714 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0.08568 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{k,70^{\circ}C} \cdot \cos \varphi = 98.22 \cdot 0,08568 \cdot 0,85 = 7.15V$$

Πρέπει  $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2Volt$  ΙΣΧΥΕΙ, οπότε επιλέγεται διατομή  $q=25mm^2$

Άρα

- Διατομή  $25mm^2$
- Αυτόματος διακόπτης ισχύος 100A με ρύθμιση θερμικού στα 98.2A

- Υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα με στοιχεία, Q = 50 m<sup>3</sup>/h, H = 200 m, P= 60 PS, βαθμός απόδοσης 0,88, συντελεστής ισχύος 0,85, άμεσα συνδεδεμένο με τον κεντρικό πίνακα

Μετατροπή της ισχύος της μηχανής σε kW

$$P = 0.746 \times 60 = 44.76 \cong 45kW$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{45}{0.88} \Rightarrow P_{in} = 51 kW$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{51000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 86.6A$$

Προσαυξάνεται το ρεύμα κατά 25% επειδή το φορτίο είναι κινητήρας.

$$I = I \cdot 1,25 = 86.6 \cdot 1,25 = 108.25A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 4 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **35°C**

$$I = \frac{108.25}{0,94} = 115.16A$$



Από τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=35\text{mm}^2$ .

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 35} = 510.2.286 \cdot 10^{-6} \Omega$$

$$R_{\kappa,20^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \ell = 510.2 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0.051 \Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ\text{C}} = R_{\kappa,20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.051 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0.0612 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^\circ\text{C}} \cdot \cos \varphi = 115.16 \cdot 0.0612 \cdot 0,85 = 5.99 \text{V}$$

Πρέπει  $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2 \text{Volt}$  ΙΣΧΥΕΙ, οπότε επιλέγεται διατομή  $q=35\text{mm}^2$

Άρα

- Διατομή  $35\text{mm}^2$
- Αυτόματος διακόπτης ισχύος 125A με ρύθμιση θερμικού στα 115.2A

- **Γενικός πίνακας αντλιοστασίου**

Στο γενικό πίνακα καταλήγουν οι παροχές των τριών αντλιοστασίων, οπότε εκεί αθροίζονται τα τρία επιμέρους ρεύματα

$$I_{0A} = I_1 + I_2 + I_3 =$$

$$57.13 \text{ A} - 31.8 \text{ A} + 98.22 \text{ A} - 31.8 \text{ A} + 115.16 \text{ A} - 31.8 \text{ A} \Rightarrow$$

$$I_{0A} = 270.51 \text{ A} - 31.8 \text{ A}$$

**ΓΕΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ 250A**

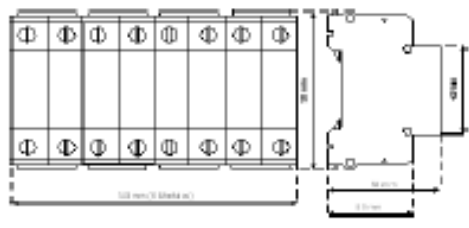

**ΔΙΑΤΟΜΗ 75mm<sup>2</sup>**

**ΑΠΑΓΩΓΟΣ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ Trige Tron 35T1 4p (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1)**

**ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΣΤΡΟΦΩΝ Ip5A (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2)**

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

## ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΠΑΓΩΓΟΥ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ

<b>ΑΠΑΓΩΓΟΙ ΚΕΡΑΥΝΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ "Trige tron 35T1 4p" ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ T1+T2</b>	
<b>Ενδεικτικός Κωδικός ΕΛΕΜΚΟ : 68 54 201</b>	
<b>Γενικά</b>	
Τριφασικοί απαγωγοί κεραυνικών ρευμάτων ημιαγωγικού τύπου κατασκευασμένοι από βαρέως τύπου ημιαγωγούς οξειδίου του ψευδαργύρου σύνθετης στάθμης προστασίας T1+T2, κατάλληλοι για την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρικών συσκευιών εγκατεστημένων σε περιοχές εκτεθειμένες σε κεραυνούς. Ικανοί να παρέχουν πρωτεύουσα και δευτερεύουσα προστασία σε ηλεκτρικά συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία IV έως και κατηγορία II σύμφωνα με το IEC 60364-4-44. Εγκαθίστανται στον κεντρικό πίνακα παραγωγής από το δίκτυο διανομής 230/400V, 50Hz. Οι Απαγωγοί θα πρέπει να έχουν περάσει με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές Class I (10/350μs) και Class II (8/20μs) όπως ορίζονται από τα Πρότυπα EN 61643-11 και IEC 61643-1.	
<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά</b>	
Αριθμός Πόλων	4
Σύνδεση μεταξύ πόλων	L <sub>1</sub> – N, L <sub>2</sub> – N, L <sub>3</sub> – N & N – PE
Ονομαστική τάση δικτύου, U <sub>n</sub>	230/400V, 50Hz
Μέγιστη τάση λειτουργίας, U <sub>c</sub>	275V, 50Hz / 350V DC
Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας, U <sub>max</sub>	400V, 50Hz / 520V DC
I <sub>imp</sub> , "class I" test, (10/350μs), 4 πόλοι / 1 πόλος	140kA / 35kA
I <sub>imp</sub> , "class II" test, (8/20μs), 1 πόλος	200kA
I <sub>c</sub> , "class II" test, (8/20μs), 1 πόλος	20kA
U <sub>sp</sub> (σε I <sub>c</sub> )	<1.9kV
Ανοχή σε TOV (3+1)	1453V, 50Hz
Κύριο κύκλωμα	Ημιαγωγός (L-N) + σπινθηριστής (N-PE)
Χρόνος απόκρισης, t <sub>a</sub>	<25ns (Ημιαγωγός), <100ns (σπινθηριστής)
Ικανότητα σε βραχυκύκλωμα, I <sub>b</sub>	25kA / 50Hz
Προστασία με τηκτή ασφάλεια	≤125A gL/gG
Διάταξη θερμικής απόξευσης	NAI
Διαστάσεις (mm)	90 x 64 x 140 mm
Οπτική ένδειξη καλής λειτουργίας	NAI
Υποδοχή ακροδεκτών	Έως 35 mm <sup>2</sup>
Υλικό κατασκευής περιβλήματος	Polycarbonate halogen free
Στάθμη προστασίας περιβλήματος	IP20
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C ÷ +80°C
Στήριξη σε ράγα	DIN-3 (TS-35/EN50022)
Πρότυπα	EN 61643-11, IEC 61643-1
<b>Ενδεικτικός Κωδικός απαγωγού με βοηθητικές επαφές</b>	<b>68 54 200</b>
Υποδοχή ακροδεκτών βοηθητικών επαφών	1,5 mm <sup>2</sup>
<b>Σχέδιο</b>	<b>Φωτογραφία</b>
	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

# ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΣΤΡΟΦΩΝ



**ΒΑΣΙΛΑΔΗΣ**  
Ελληνικοί Ηλεκτροκινητήρες

### Οι Ρυθμιστές Στροφών της Σειράς iP5A



Οι ρυθμιστές στροφών της σειράς iP5A καλύπτουν ισχύεις από 0.75kW έως 160kW και αποτελούν την ιδανική λύση για τον έλεγχο των στροφών σε εφαρμογές φυγοκεντρικών φορτίων, όπως οι αντλίες και οι ανεμιστήρες.

Οι ρυθμιστές στροφών της σειράς iP5A διαθέτουν, μεταξύ άλλων:

- 8 εισόδους - 6 εξόδους (ψηφιακές) / 1 είσοδο παλμών (A και B) / 2 εισόδους - 2 εξόδους (αναλογικές) / 1 είσοδο NTC ή PTC.
- Ενσωματωμένη δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας RS485.
- Εύκολο προγραμματισμό των παραμέτρων τους μέσω ψηφιακού χειριστηρίου το οποίο περιλαμβάνει οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) 32 χαρακτήρων και 10 πλήκτρα λειτουργίας.
- 8 ανεξάρτητες ράμπες επιτάχυνσης – επιβράδυνσης και βήματα ταχυτήτων.
- Ειδικά προγράμματα για την εξοικονόμηση ενέργειας σε εφαρμογές αντλιών & ανεμιστήρων.
- Ειδικά προγράμματα για τον έλεγχο πολλαπλών αντλιών.
- Αυτόματη επανεκκίνηση μετά από διακοπή σφάλματος ή τάσεως.
- Αυτόματη αντιμετώπιση υπερφόρτισης χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας.
- Ελεγχόμενοι ανεμιστήρες ψύξης (>30kW).
- Ενσωματωμένο ρυθμιζόμενο ηλεκτρονικό θερμικό για την προστασία του ηλεκτροκινητήρα
- Υπερπήδηση έως και τριών συχνοτήτων συντονισμού.
- Δυνατότητα χρήσης έως και 2 ενσωματωμένων κλειστών βρόχων PID.
- Ειδικό λογισμικό για την αύξηση της ικανότητας ισχύος του ρυθμιστή όταν το φορτίο είναι αντλία ή ανεμιστήρας το οποίο οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους αγοράς.



### Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Σειράς iP5A

Τύπος		SV055 iP5A-4	SV075 iP5A-4	SV110 iP5A-4	SV150 iP5A-4	SV185 iS5-4	SV220 iS5-4	SV300 iS5-4	SV370 iS5-4
Ισχύς Κινητήρα	HP	7.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40	50
	kW	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37
Εξόδος	Ρεύμα [A]	12	16	24	30	39	45	61	75
	Καλώδιο	4 mm <sup>2</sup>		6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>		16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	
	Συχνότητα	0.5 - 120 Hz							
	Τάση	3 Ø 0 – Τάση εισόδου							
Είσοδος	Συχνότητα	50 - 60 (±5%) Hz							
	Τάση	3 Ø 380 - 440 (±10%) Volt							
	Ασφάλεια	20 Amp	30 Amp	40 Amp		60 Amp	80 Amp	100 Amp	
	Καλώδιο	4 mm <sup>2</sup>		6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>		16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	
Μέθοδος Ελέγχου		Διανυσματικός έλεγχος με PWM (Sensorless Vector Control)							
Ανάλυση Ρύθμισης		0.01 Hz							
Ακρίβεια Συχνότητας Εξόδου		±0.01% της μέγιστης ορισθείσας συχνότητας (με ψηφιακή ρύθμιση) ±0.1% της μέγιστης ορισθείσας συχνότητας (με αναλογική ρύθμιση)							
Δυνατότητα Υπερφόρτισης		120% για 1 λεπτό							
Ρύθμιση Συχνότητας		Αναλογική: 0 - 10 V / 4 - 20 mA / ποτενσιόμετρο / είσοδος παλμών Ψηφιακή: Ψηφιακό χειριστήριο							
Χρόνος Επιτάχυνσης & Επιβράδυνσης		0.1 - 6000 Δευτερόλεπτα							
Ροπή Πεδήσεως		Έως 100 % (απαιτείται πρόσθετη μονάδα πεδήσεως)							
Προστασίες		Υπέρταση, Υπόταση, Υπερένταση, Υπερθέρμανση Ρυθμιστή στροφών, Υπερθέρμανση Κινητήρα, Διαρροή ρεύματος προς τη γη, Κάψιμο ασφάλειας και Σφάλμα κάρτας ελέγχου							
Προστασία Κελύφους		IP20							
Συνθήκες Λειτουργίας	Θερμοκρ. Περιβάλ.	-10 °C ÷ +40 °C (Fs≥25kHz) -10 °C ÷ +45 °C (Fs≤4kHz)							
	Υγρασία	Έως 90 %							
	Υψόμετρο	Έως 1000 m							
	Ψύξη	Με ενσωματωμένο ανεμιστήρα							

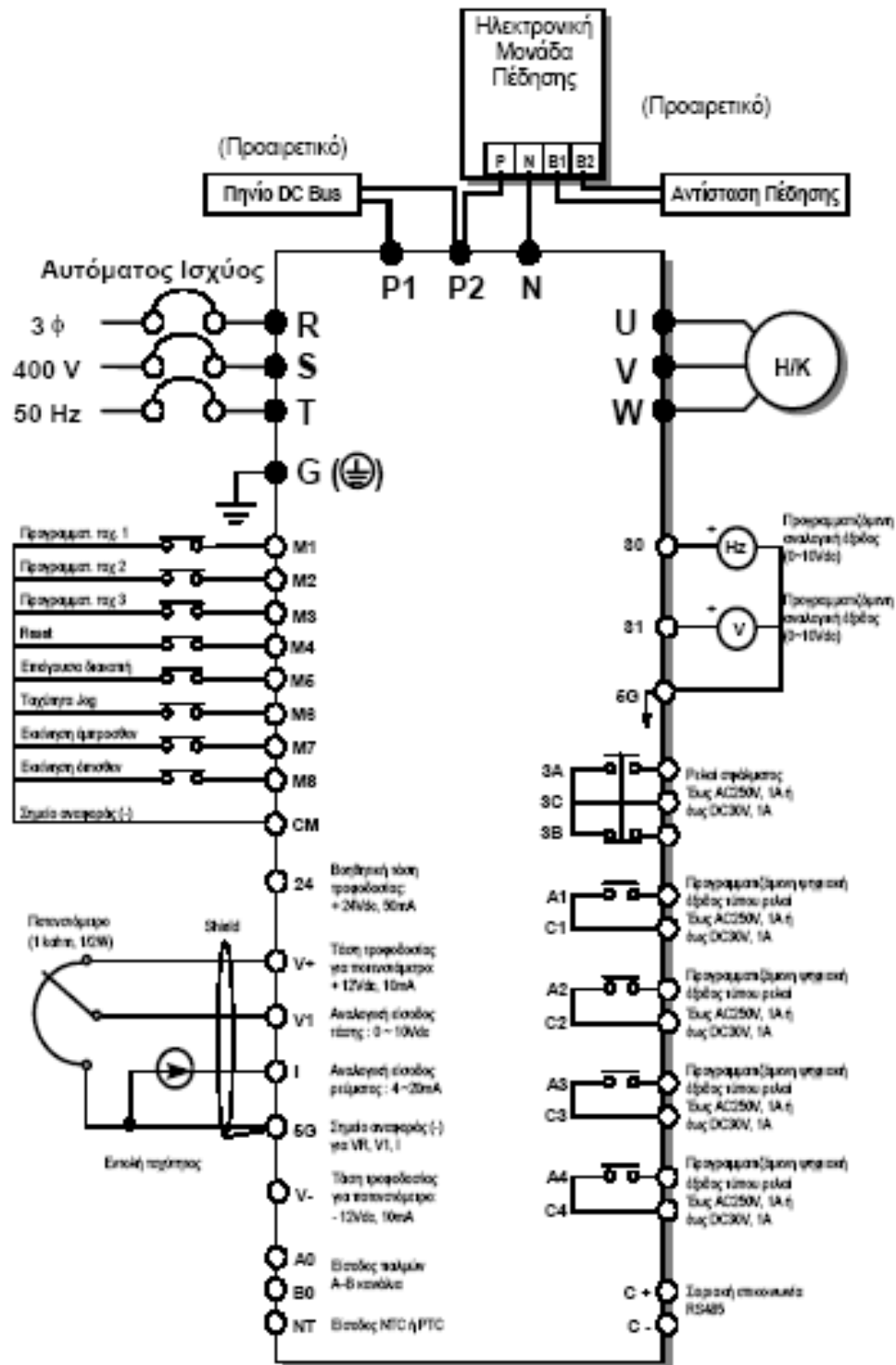


### Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Σειράς iP5A

Τύπος		SV450 iP5A-4	SV550 iP5A -4	SV750 iP5A -4	SV900 iP5A -4	SV1100 iP5A -4	SV1320 iP5A -4	SV1600 iP5A -4
Ισχύς Κινητήρα	HP	60	75	100	125	150	180	220
	kW	45	55	75	150	180	220	270
Έξοδος	Ρεύμα [A]	91	110	152	183 A	223 A	264 A	325 A
	Καλώδιο	35 mm <sup>2</sup>		50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>
	Συχνότητα	0.5 - 120 Hz						
	Τάση	3 Ø 0 – Τάση εισόδου						
Είσοδος	Συχνότητα	50 - 60 (±5%) Hz						
	Τάση	3 Ø 380 - 440 (±10%) Volt						
	Ασφάλεια	100 Amp	160 Amp		250 Amp		400 Amp	
	Καλώδιο	35 mm <sup>2</sup>		50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>
Μέθοδος Ελέγχου	Διανυσματικός έλεγχος με PWM (Sensorless Vector Control)							
Ανάλυση Ρύθμισης	0.01 Hz							
Ακρίβεια Συχνότητας Εξόδου	±0.01% της μέγιστης ορισθείσας συχνότητας (με ψηφιακή ρύθμιση) ±0.1% της μέγιστης ορισθείσας συχνότητας (με αναλογική ρύθμιση)							
Δυνατότητα Υπερφόρτισης	120% για 1 λεπτό							
Ρύθμιση Συχνότητας	Αναλογική: 0 - 10 V / 4 - 20 mA / ποτενσιόμετρο /είσοδος παλμών Ψηφιακή: Ψηφιακό χειριστήριο							
Χρόνος Επιτάχυνσης & Επιβράδυνσης	0.1 - 6000 Δευτερόλεπτα							
Ροπή Πεδήσεως	Έως 100 % (απαιτείται πρόσθετη μονάδα πεδήσεως)							
Προστασίες	Υπέρταση, Υπόταση, Υπερένταση, Υπερθέρμανση Ρυθμιστή στροφών, Υπερθέρμανση Κινητήρα, Διαρροή ρεύματος προς τη γη, Κάπνισμο ασφάλειας και Σφάλμα κάρτας ελέγχου							
Προστασία Κελύφους	IP20							
Συνθήκες Λειτουργίας	Θερμοκρ. Περιβάλ.	-10 °C ÷ +40 °C (Fs≥24kHz) -10 °C ÷ +45 °C (Fs≤3kHz)						
	Υγρασία	Έως 90 %						
	Υψόμετρο	Έως 1000 m						
	Ψύξη	Με ενσωματωμένο ανεμιστήρα						



## Σχέδιο Καλωδιώσεων της Σειράς iP5A





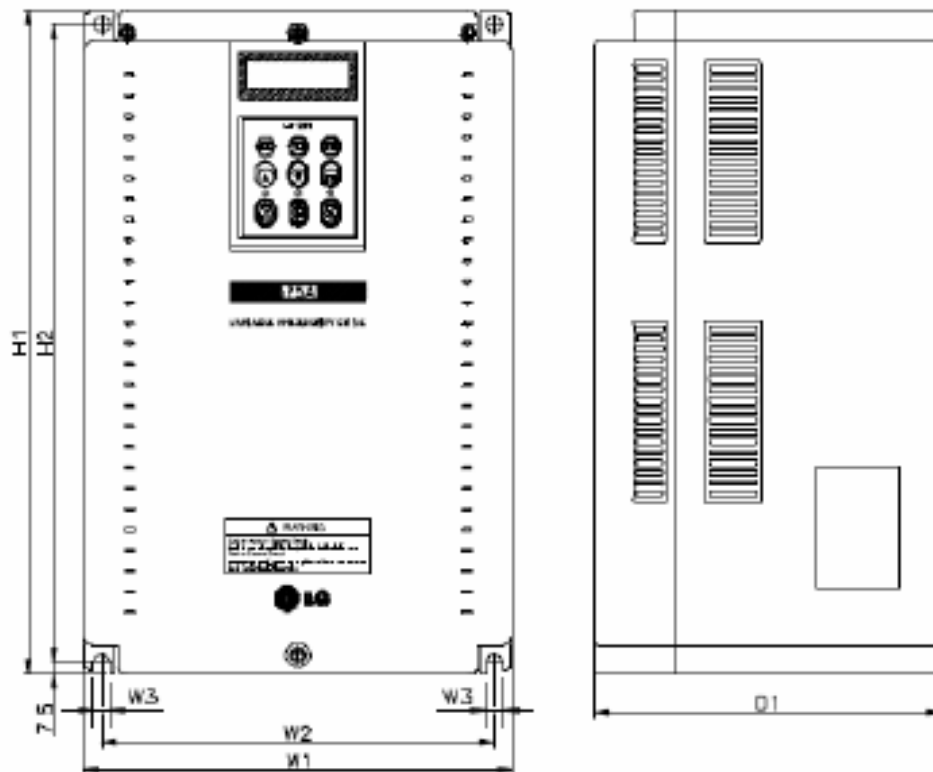
## Περιγραφή Ακροδεκτών της Σειράς iP5A

	Συμβολισμός	Λειτουργία
<i>Ακροδέκτες Ισχύος</i>	R, S, T	Τριφασικοί ακροδέκτες εισόδου (σύνδεση με το δίκτυο)
	U, V, W	Τριφασικοί ακροδέκτες εξόδου (σύνδεση με τον κινητήρα)
	P1, P2	Ακροδέκτες σύνδεσης εξωτερικού πηνίου εξομάλυνσης
	P2, N	Ακροδέκτες σύνδεσης ηλεκτρονικής μονάδας πέδησης
	G	Ακροδέκτης γείωσης (σύνδεση με γείωση δικτύου Δ.Ε.Η.)
<i>Ακροδέκτες Ελέγχου</i>	V+	Τάση τροφοδοσίας ποτενσιόμετρου ρύθμισης ταχύτητας +12Vdc
	V-	Τάση τροφοδοσίας ποτενσιόμετρου ρύθμισης ταχύτητας -12Vdc
	V1	Είσοδος για ρύθμιση ταχύτητας μέσω πηγής τάσης -10/0-10Vdc
	I	Είσοδος για ρύθμιση ταχύτητας μέσω πηγής ρεύματος (4-20mA)
	A0	Είσοδος παλμών για ρύθμιση ταχύτητας (κανάλι Α, 0-100kHz)
	B0	Είσοδος παλμών για ρύθμιση ταχύτητας (κανάλι Β, 0-100kHz)
	NT	Είσοδος NTC ή PTC
	S0	Αναλογική έξοδος 0-10Vdc για τη μέτρηση της ταχύτητας
	S1	Αναλογική έξοδος 0-10Vdc για τη μέτρηση της τάσης
	5G	Σημείο αναφοράς (-) MONO για τα παραπάνω 9 σήματα
	M1, M2, M3	Είσοδοι ενεργοποίησης προκαθορισμένων ταχυτήτων
	M4	Είσοδος επανεκκίνησης κατόπιν διακοπής λόγω σφάλματος
	M5	Είσοδος επείγουσας εντολής σταματήματος του κινητήρα
	M6	Είσοδος για την ενεργοποίηση της ταχύτητας «JOG»
	M7	Είσοδος για εκκίνηση με ορθή φορά περιστροφής
	M8	Είσοδος για εκκίνηση με ανάστροφη φορά περιστροφής
	C+ / C-	Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας RS485
	24	Βοηθητική τροφοδοσίας 24Vdc/50mA
	CM	Σημείο αναφοράς (-) MONO για τα παραπάνω 11 σήματα
	30A-30C	Ψηφιακή έξοδος σφάλματος τύπου ρελαί (N.O.)
	30B-30C	Ψηφιακή έξοδος σφάλματος τύπου ρελαί (N.C.)
	A1-C1	Προγραμματιζόμενη ψηφιακή έξοδος τύπου ρελαί
A2-C2	Προγραμματιζόμενη ψηφιακή έξοδος τύπου ρελαί	
A3-C3	Προγραμματιζόμενη ψηφιακή έξοδος τύπου ρελαί	
A4-C4	Προγραμματιζόμενη ψηφιακή έξοδος τύπου ρελαί	





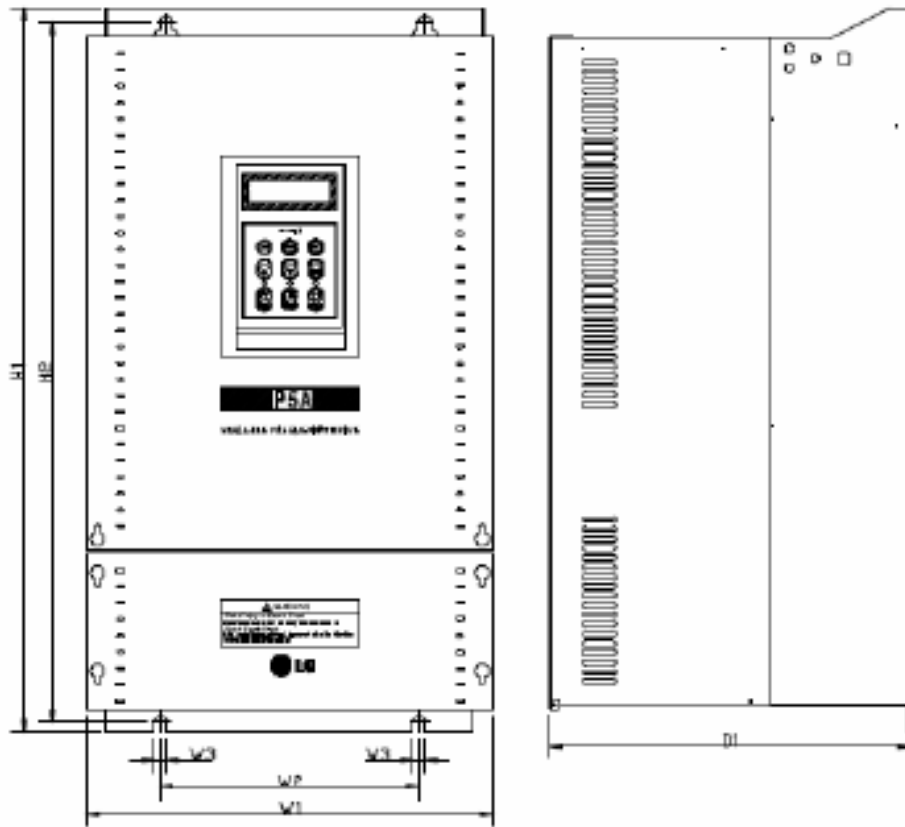
### Διαστασιολόγιο της Σειράς iP5A



Τύπος	W1	W2	H1	H2	D1	kg
SV055iP5A-4	150	130	284	269	157	5
SV075iP5A-4	200	180	284	269	182	6
SV110iP5A-4						
SV150iP5A-4	250	230	385	370	201	13
SV185iP5A-4						
SV220iP5A-4	304	284	460	445	234	20
SV300iP5A-4						



### Διαστασιολόγιο της Σειράς iP5A



Τύπος	W1	W2	H1	H2	D1	kg
SV370iP5A-4	300	190	534	515	266	27
SV450iP5A-4						
SV550iP5A-4	300	190	534	515	293	29
SV750iP5A-4	370	220	610	587	338	43
SV900iP5A-4						
SV1110iP5A-4	510	381	769	744	423	101
SV1320iP5A-4						
SV1600iP5A-4	510	381	844	820	423	114

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- », Ν. Α. Βοβός, , «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ν. Α. Βοβός, Εκδόσεις Ζήτη.
- <http://industrialhistoryhk.org/peak-tram-ward-leonard-installed1926/>
- [http://users.ntua.gr/manias/HLKTRIKOS%20ELE\\_TRIFASIKO\\_U%20ENAL\\_KIN.html](http://users.ntua.gr/manias/HLKTRIKOS%20ELE_TRIFASIKO_U%20ENAL_KIN.html)
- <http://www.electricaltechnology.org/2015/06/thyristor-silicon-controlled-rectifier-scr.html>
- <http://thinkelectronics.org/understanding-power-electronicspower-bjt/>
- [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1273173](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273173)
- <http://www.electronicshub.org/gate-turn-off-thyristor/>
- [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE686/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%CE%A3%CE%97%CE%95\\_2010\\_%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1\\_10.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE686/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%CE%A3%CE%97%CE%95_2010_%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_10.pdf)
- <https://greekelectrician.blogspot.gr/2012/09/thermalprotection.html>
- <https://johnalifragis.wordpress.com/2015/09/14/%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE>

E%AF-  
%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%80%CF  
%84%CE%B5%CF%82-  
%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%  
83%CE%AF-2/

- <http://www.elemko.gr/Documents/arresters.asp>
- <https://www.slideshare.net/ajaybalar31/3-ph-induction-motor-ppt>