

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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1609**

**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ**  
**ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΚΑΤΡΙΒΕΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΚΟΡΟΜΙΧΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής που βρίσκεται στη πόλη του Άργους. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα είδη καλωδίων. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται τα μέσα προστασίας των αγωγών (ασφάλειες, μικροαυτόματοι, θερμικά). Κατόπιν, στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια αναλυτική παρουσίαση όλων των φορτίων της εγκατάστασης και της διάταξής τους στους χώρους. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής που βρίσκεται στη πόλη του Άργους. Το πτηνοτροφείο αποτελείται από την μονάδα της αυγοπαραγωγής και το μύλο παρασκευής των ζωοτροφών που χρησιμοποιούνται για την σίτιση των ορνίθων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα είδη καλωδίων (τύποι, διατομές) που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται τα μέσα προστασίας των αγωγών (ασφάλειες, μικροαυτόματοι, θερμικά) που είναι απαραίτητα για την απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης. Κατόπιν, στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια αναλυτική παρουσίαση όλων των φορτίων της εγκατάστασης και της διάταξής τους στους χώρους. Γίνεται έτσι σαφής ο τρόπος συνεργασίας μεταξύ τους και αναλύεται ο τρόπος ομαδοποίησης τους σε επιμέρους ηλεκτρολογικούς πίνακες. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη. Επιλέγονται οι κατάλληλες διατομές και τα συνεργαζόμενα μέσα για κάθε γραμμή με γνώμονα τις αποστάσεις των καλωδίων τροφοδοσίας, τις επικρατούσες θερμοκρασίες καθώς και τον τρόπο εκκίνησης των κινητήρων. Ορισμένοι από τους κινητήρες της εγκατάστασης χρησιμοποιούν για την εκκίνησή τους inverter προκειμένου να μειωθεί το πολύ μεγάλο ρεύμα εκκίνησής τους και οι υπόλοιποι εκκινούν με διακόπτη αστέρα-τριγώνου. Ακολουθεί το πέμπτο κεφάλαιο όπου πραγματοποιείται μελέτη διόρθωσης του συντελεστού ισχύος..

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	3
ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ.....	3
1.1 Αγωγοί.....	3
1.2 Καλώδια.....	4
1.3 Κυκλώματα Διακλάδωσης Ε.Η.Ε.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	9
ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	9
2.1 Προστασία αγωγών από υπερεντάσεις και υπερφορτίσεις .....	9
2.2 Ασφάλειες τήξης.....	9
2.3 Αυτόματοι διακόπτες.....	14
2.4 Επιλογική συνεργασία .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	19
Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	19
3.1 Γενικές Έννοιες.....	19
3.2 Βασικά μέρη Ηλεκτρικών μηχανών .....	21
3.3 Κατηγορίες Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων.....	23
3.4 Τυλίγματα Ηλεκτρικών Μηχανών .....	24
3.5 Κατασκευαστική δομή των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος.....	26
3.6 Η ολίσθηση.....	27
3.7 Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	30
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ .....	30
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα.....	30
4.2 Αρχή λειτουργίας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.....	31
4.2.1 Ανοιχτοκυκλωμένος - Βραχυκυκλωμένος δρομέας.....	31
4.3 Ρυθμιστές στροφών ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	33
4.3.1 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή συστημάτων ρυθμιζόμενης ταχύτητας.....	38
4.3.2 Ενίσχυση ροπής εκκίνησης.....	40
4.3.3 Επιτάχυνση - Επιβράδυνση κινητήρα .....	41
4.3.4 Έλεγχος συχνότητας (έλεγχος πεδίου συχνότητας).....	41
4.3.5 Τοποθέτηση πλάτους αναπήδησης περιοχών (ζώνες συχνότητας).....	42
4.3.6 Τοποθέτηση μέγιστης συχνότητας κινητήρα.....	43
4.4 Λειτουργία οδηγού AC (Inverter) μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (PC).....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	45
ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (Soft Starter) .....	45
5.1 Γενικά.....	45
5.2 Αρχή λειτουργίας.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	51
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ .....	51
6.1 Συντελεστής ισχύος .....	51
6.2 Γενικά.....	53
6.3 Επιμέρους συσκευές κεντρικής αντιστάθμισης .....	56

6.3.1 Ψηφιακός ρυθμιστής αέργου ισχύος.....	56
6.4 Πυκνωτές.....	57
6.5 Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος.....	60
6.6 Καταναλωτές Υψηλής Τάσης.....	61
6.7 Καταναλωτές Μέσης Τάσης.....	62
6.8 Καταναλωτές του Βιομηχανικού και Εμπορικού – τριτογενή τομέα.....	62
6.9 Κατηγορίες φορτίων που συμβάλλουν στην αυξημένη κατανάλωση αέργου ισχύος.....	63
6.9.1 Λειτουργία συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων.....	63
6.9.2 Μη γραμμικά φορτία: Εισαγωγή αρμονικών.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	65
ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ.....	65
7.1 Η δομή του συστήματος.....	66
7.2 Πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα θέρμανσης.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	69
Η ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	69
8.1 Η περιγραφή των φορτίων.....	69
8.2 Έλεγχος πτώσης τάσης και επιλογή ασφαλιστικών μέσων.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής και μεταφέρεται στα κέντρα κατανάλωσης μέσω των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης (ΥΤ). Στα κέντρα κατανάλωσης η ΥΤ υποβιβάζεται (π.χ. από 150 kV) στη ΜΤ (π.χ. στα 20 kV) μέσω μετασχηματιστών υποβιβασμού τάσης. Οι μετασχηματιστές (ΜΣ) με τον αναγκαίο εξοπλισμό τους εγκαθίστανται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, οι οποίοι ονομάζονται υποσταθμοί διανομής και ανήκουν στην επιχείρηση διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ΔΕΗ).

Διακρίνουμε τους υποσταθμούς διανομής ΥΤ/ΜΤ (150 kV/20 kV), όπου η ΥΤ υποβιβάζεται στη ΜΤ και τους υποσταθμούς διανομής ΜΤ/ΧΤ (400 V/230 V, πολική τάση/φασική τάση), όπου η ΜΤ υποβιβάζεται στη ΧΤ.

Ανάλογα με την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ των καταναλωτών, διακρίνουμε τους καταναλωτές ΥΤ, οι οποίοι τροφοδοτούνται από το δίκτυο ΥΤ της ΔΕΗ των 150 (kV), τους καταναλωτές ΜΤ, οι οποίοι τροφοδοτούνται από το δίκτυο ΜΤ της ΔΕΗ των 20 (kV) και τους καταναλωτές ΧΤ, οι οποίοι τροφοδοτούνται από το δίκτυο ΧΤ της ΔΕΗ των 400 (V) / 230 (V), 50 (Hz). Οι καταναλωτές ΥΤ και ΜΤ πρέπει να κατασκευάσουν με δική τους ευθύνη υποσταθμό με ΜΣ υποβιβασμού της ΥΤ ή ΜΤ σε ΧΤ. Οι καταναλωτές ΧΤ διαθέτουν μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος τοποθετείται με ευθύνη της ΔΕΗ στο σημείο παροχέτευσης της εγκατάστασης.

Η ΔΕΗ έχει την υποχρέωση και είναι υπεύθυνη να κατασκευάσει όλες τις αναγκαίες εγκαταστάσεις (υποσταθμοί, εναέρια δίκτυα διανομής ή υπόγεια καλώδια κλπ.), ώστε να φέρει την ηλεκτρική ενέργεια με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τάσης και συχνότητας μέχρι το σημείο παροχέτευσης της εγκατάστασης. Το σημείο παροχέτευσης ή σημείο σύνδεσης της εγκατάστασης με τη ΔΕΗ είναι ο ΜΣ ΜΤ/ΧΤ για καταναλωτές ΜΤ ή ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας για καταναλωτές ΧΤ.

Από το σημείο σύνδεσης, ο καταναλωτής (πελάτης) παραλαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία διανέμεται σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του χώρου του κτιρίου, όπου και καταναλώνεται από τα ηλεκτρικά φορτία της εγκατάστασης (π.χ. ηλεκτρικές μηχανές και λοιπές συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας). Η ηλεκτρική εγκατάσταση (ΗΕ) που απαιτείται για την παραλαβή, διανομή και χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας στο εσωτερικό του κτιρίου, το οποίο ανήκει στον καταναλωτή, ονομάζεται εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση (ΕΗΕ) και είναι ιδιοκτησία του καταναλωτή.

Οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας μεριμνούν μόνοι τους για την εκτέλεση της ΕΗΕ, στην οποία η ΔΕΗ δεν έχει καμία ανάμιξη. Η κάθε ΕΗΕ περιλαμβάνει ένα σύνολο από ηλεκτρολογικά υλικά, τα οποία έχουν επιλεγμένα χαρακτηριστικά και συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους, ώστε να επιτελούν ένα συγκεκριμένο σκοπό.

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων ΧΤ (κάτω από 1kV), οι οποίες περιλαμβάνουν τις εγκαταστάσεις ισχυρών ρευμάτων (εγκαταστάσεις φωτισμού, ρευματοδοτών, κινήσεως) και τις εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων (εγκαταστάσεις κουδουνιών, θυροτηλεφώνων, θυροτηλεοράσεων, κεραιών, επεξεργασίας πληροφοριών κλπ.).
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις για τάσεις άνω του 1(kV), στις οποίες περιλαμβάνονται οι υποσταθμοί ΥΤ/ΜΤ και ΜΤ/ΧΤ.
- Ειδικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, στις οποίες περιλαμβάνονται οι σύγχρονες τεχνολογίες, οι εγκαταστάσεις πυρανίχνευσης κλπ.
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υπαίθριων χώρων.
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αεροδρομίων.
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων.
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χώρων εκρηκτικού περιβάλλοντος.

Η μελέτη και η κατασκευή των ΕΗΕ ΧΤ (<1 kV) γίνεται σύμφωνα με υ964 το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΦΕΚ Αρ. 470, Τεύχος Β/5-3-2004), το οποίο αντικατέστησε τους προηγούμενους Κανονισμούς Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ) (ΦΕΚ Β/59/11-4-1955). Η αντικατάσταση του ΚΕΗΕ με το Πρότυπο HD 384 έγινε και για την ανάγκη εναρμόνισης της χώρας μας προς τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, που διέπουν τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εδώ, θα ασχοληθούμε με τη μελέτη και το σχεδιασμό ΕΗΕ βιομηχανικών καταναλωτών ΧΤ.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ

### 1.1 Αγωγοί

Αγωγός ονομάζεται το αγωγίμο σύρμα, γυμνό ή μονωμένο όταν έχει μονωτικό περίβλημα, που διοχετεύει ηλεκτρικό ρεύμα. Κατασκευάζεται από χαλκό ή αλουμίνιο και κράματά τους.

Πίνακας 1:Χαρακτηριστικά αγψγών χαλκού και αλουμινίου	
ΧΑΛΚΟΣ (συνήθως) – Cu (ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ)	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ – Al (ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΗ)
Μεγαλύτερη αγωγιμότητα ( $\rho_{Cu}=0,017\Omega \cdot mm^2/m$ , $\rho_{Al}=0,028\Omega \cdot mm^2/m$ )	Μικρότερο βάρος ( $\epsilon_{Cu}=8,9Kg/dm^3$ , $\epsilon_{Al}=2,7Kg/dm^3$ )
Συγκολλάται (κασσιτεροκόλληση)	Αντοχή στην σκουριά
<b>ΑΚΡΙΒΟΤΕΡΟ</b>	<b>ΦΘΗΝΟΤΕΡΟ</b>

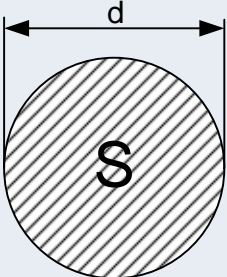
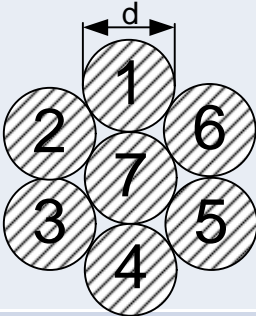
Αν ο αγωγός είναι από Al, τότε για την ίδια ηλεκτρική ισχύ χρειαζόμαστε μεγαλύτερη διατομή αγωγού (μικρότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα του Al σε σχέση με το Cu)  $S_{Al} = 1,8 S_{Cu}$  ,  $B_{Al} = 0,558 B_{Cu}$  ,  $d_{Al} = 1,34 d_{Cu}$

Οι αγωγοί διακρίνονται ως:

- Μονόκλωνοι Λιγότερο εύκαμπτοι και με διατομή μέχρι 16 mm<sup>2</sup>.
- Πολύκλωνοι ή και Λεπτοπολύκλωνοι
- Περισσότερο εύκαμπτοι. και με διατομή από 16 mm<sup>2</sup> και πάνω.



**Πίνακας 2:Υπολογισμός Διατομής Αγωγών**

ΜΟΝΟΚΛΩΝΟΣ	ΠΟΛΥΚΛΩΝΟΣ
	
$S = \frac{\rho d^2}{4}$	$S = \frac{\rho d^2}{4} n$

### 1.2 Καλώδια

Καλώδιο είναι κάθε απλός μονωμένος αγωγός ή σύστημα τέτοιων αγωγών με κοινή προστατευτική επένδυση (ελαστική, πλαστική, μεταλλική κ.α.), η οποία προστατεύει τους αγωγούς από μηχανικές καταπονήσεις και άλλες επιδράσεις π.χ. Υγρασία. Τα καλώδια διακρίνονται σε:

- Μονοπολικά: Ένας μονωμένος αγωγός
- Πολυπολικά: Πολλοί μονωμένοι αγωγοί (διπολικό, τριπολικό, τετραπολικό,..., πολυπολικό).

**Πίνακας 3: Είδη Μόνωσης Καλωδίων**

Υλικό (σύμβολο)	Μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία	Μέγιστη βραχυχρόνια επιτρεπόμενη θερμοκρασία (βραχυκύκλωμα)
Συνθετικό ελαστομερές (R)	60°C	200°C
PVC (V)	70°C	170°C
Σιλικόνη (S)	180°C	400°C

Οι αγωγοί και τα καλώδια που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι τυποποιημένα τόσο ως προς το μέγεθος της διατομής τους όσο και ως προς τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά και τη χρήση για την οποία προορίζονται. Μέχρι πρόσφατα τα καλώδια που υπήρχαν στο εμπόριο ακολουθούσαν τα γερμανικά πρότυπα VDE. Τώρα υπάρχουν αγωγοί και καλώδια εναρμονισμένα κατά CENELEC

**Πίνακας 4:κωδικοί καλωδίων κατά CENELEC και VDE**

Νέος τύπος (CENELEC)	Παλιός τύπος (VDE)
H07V-K	NYAF
H07V-U	NYA(re)
H07V-R	NYA(rm)
A05VV-U	NYM(re)
A05VV-R	NYM(rm)
H05VV-F	NYMHY
H03VV-F	NYLHY(rd)
H03VH-H	NYFAZ
H05RR-F	NMH
H07RN-F	NSHou
J1VV-U	NYY(re)
J1VV-R	NYY(rm)
J1VV-S	NYY(sm)
A05VVH3-U	NYIFY

**Πίνακας 5:Χαρακτηριστικά των καλωδίων**

Ομάδα χαρακτηριστικών	Περιγραφή	Τιμές
Γενικά χαρακτηριστικά	Συσχετισμός με πρότυπα	<b>H:</b> E.E., <b>A:</b> CENELEC, <b>J:</b> IEC
	Ονομαστική τάση ( $V_{\phi}/V_{\pi}$ )	<b>03:</b> 300/300V, <b>05:</b> 300/500V, <b>07:</b> 450/750V, <b>1:</b> 600/1000V

Προστασία και διάταξη αγωγών	Υλικό μόνωσης	<b>V</b> :PVC, <b>R</b> :Ελαστομερές, <b>S</b> :Σιλικόνη
	Υλικό μανδύα	<b>V</b> :PVC, <b>R</b> :Ελαστομερές, <b>N</b> :Νεοπρένιο
	Κατασκευή	<b>H</b> :Πλακέ ανοιγόμενο, <b>H2</b> :Πλακέ μη ανοιγόμενο, <b>D<sub>s</sub></b> :Με κορδόνια κενών
Στοιχεία αγωγών	Κλώνοι	<b>U</b> :μονόκλωνος, <b>R</b> :Πολύκλωνος, <b>K</b> :Λεπτοπολύκλωνος
	Αριθμός αγωγών	<b>1,2,3,4,5,6...</b>
	Αγωγός προστασίας	<b>X</b> :Χωρίς, <b>G</b> :Με αγωγό προστ.
	Διατομή	σε mm <sup>2</sup>
Εξωτερική εμφάνιση	Χρώμα	<b>BK</b> :Μαύρο, <b>BN</b> :Καφέ, <b>RD</b> :Κόκκινο, <b>BU</b> :Μπλέ, <b>YE</b> :Κίτρι

Οι κωδικοί τύποι δείχνουν την τυποποίηση που έχει χρησιμοποιηθεί, το είδος του μανδύα, τη μόνωση, το είδος και τον αριθμό των αγωγών και άλλες κατασκευαστικές ιδιομορφίες: Π.χ.: H05V-U1.5 H= Τυποποίηση κατά CENELEC 05= Ονομαστική φασική τάση/ πολική τάση 300/500 V V= Μόνωση μανδύα PVC U= Ένας αγωγός 1.5= Διατομή 1.5 mm<sup>2</sup>

Τα καλώδια εσωτερικών εγκαταστάσεων κατασκευάζονται με χάλκινους αγωγούς δύσκαμπτους (μονόκλωνους ή πολύκλωνους) όταν προορίζονται για μόνιμη εγκατάσταση ή εύκαμπτους (λεπτοπολύκλωνους) όταν προορίζονται για εγκαταστάσεις όπου απαιτείται κινητικότητα των καλωδίων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλο πλήθος τύπων καλωδίων, για τους οποίους περισσότερες πληροφορίες παρέχουν οι κατάλογοι των βιομηχανιών παραγωγής τους.

### **1.3 Κυκλώματα Διακλάδωσης Ε.Η.Ε.**

Τα ηλεκτρικά φορτία μιας βιομηχανικής εγκατάστασης είναι: του γενικού και τοπικού φωτισμού, των ρευματοδοτών, των κινητήρων και του φορητού και σταθερού βιομηχανικού ηλεκτρικού εξοπλισμού. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό του αριθμού των ανεξάρτητων κυκλωμάτων ΕΗΕ είναι το πλήθος, το είδος και η ισχύς των καταναλώσεων, καθώς και η θέση των φορτίων της ΗΕ στις κατόψεις του κτιρίου.

Τα ηλεκτρικά φορτία ΕΗΕ ομαδοποιούνται ως φορτία φωτισμού, ρευματοδοτών, κίνησης και κάθε είδος φορτίου τροφοδοτείται από ανεξάρτητο κύκλωμα διακλάδωσης. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται η απομόνωση ενός πιθανού σφάλματος σε κάποιο κύκλωμα και ο περιορισμός των επιδράσεων αυτού του σφάλματος στα υπόλοιπα ανεξάρτητα κυκλώματα.

#### **Τρόποι Εγκατάστασης**

Οι τρόποι εγκατάστασης των γραμμών των κυκλωμάτων διακλάδωσης είναι οι εξής:

- Τοποθέτηση πάνω σε τοίχο μέσα σε σωλήνες.
- Απευθείας τοποθέτηση πάνω σε τοίχο με στηρίγματα.
- Απευθείας τοποθέτηση καλωδίου ή σωλήνα μέσα σε επίχρισμα (σουβάς) μονωμένου ή μη μονωμένου τοίχου.
- Απευθείας τοποθέτηση καλωδίων πάνω σε σχάρα.
- Απευθείας τοποθέτηση καλωδίων μέσα σε χαλυβδοσωλήνες πάνω σε δάπεδο.
- Εναέρια εγκατάσταση με στήριξη ή όχι σε χαλύβδινο συρματόσχοινο. •Απευθείας εγκατάσταση καλωδίων μέσα στο έδαφος ή μέσα σε σωλήνες πλαστικούς, μεταλλικούς ή τσιμεντένιους για λόγους προστασίας.
- Εγκατάσταση μέσα στο νερό, π.χ. για την τροφοδοσία υπόγειων αντλιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

#### 2.1 Προστασία αγωγών από υπερεντάσεις και υπερφορτίσεις

**Υπερφόρτιση** ενός κυκλώματος είναι η αύξηση του ρεύματος κανονικής λειτουργίας του μέχρι και 40 % για κάποιο χρονικό διάστημα, χωρίς να εμφανίζεται σφάλμα μόνωσης στους αγωγούς τροφοδοσίας.

**Βραχυκύκλωμα** είναι η αύξηση του ρεύματος σε πολύ υψηλή τιμή, εξαιτίας του μηδενισμού της σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος. Η δυσμενέστερη περίπτωση είναι όταν ενεργός αγωγός έρχεται σε άμεση επαφή με άλλο ενεργό αγωγό ή με τον ουδέτερο αγωγό ή με τον αγωγό προστασίας του κυκλώματος. Το βραχυκύκλωμα αυτό προκαλεί τη μεγαλύτερη ένταση ρεύματος στο κύκλωμα, άρα και τη μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση των μονώσεων των αγωγών.

Τα ηλεκτρικά κυκλώματα πρέπει να προστατεύονται με διατάξεις αυτόματης διακοπής της τροφοδότησης σε περίπτωση υπερφορτίσεων ή βραχυκυκλωμάτων. Οι διατάξεις προστασίας που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα Χαμηλής Τάσης είναι:

- Οι ασφάλειες τήξης
- Οι αυτόματοι διακόπτες

#### 2.2 Ασφάλειες τήξης

Στις ασφάλειες τήξης η **διακοπή του κυκλώματος προκαλείται από την τήξη ενός χάλκινου** σύρματος ή ταινίας, που βρίσκεται μέσα σε σκόνη χαλαζία, που ονομάζεται «τηκτό» ή «νήμα». Αυτό έχει υπολογιστεί ώστε να αντέχει το ονομαστικό ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί. Αν περάσει ρεύμα μεγαλύτερο τότε ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα, που προσδιορίζεται από τις καμπύλες χρόνου ενεργοποίησης-ρεύματος βραχυκύκλωσης ή υπερφόρτισης, λιώνει το νήμα και διακόπτεται το κύκλωμα τροφοδοσίας.

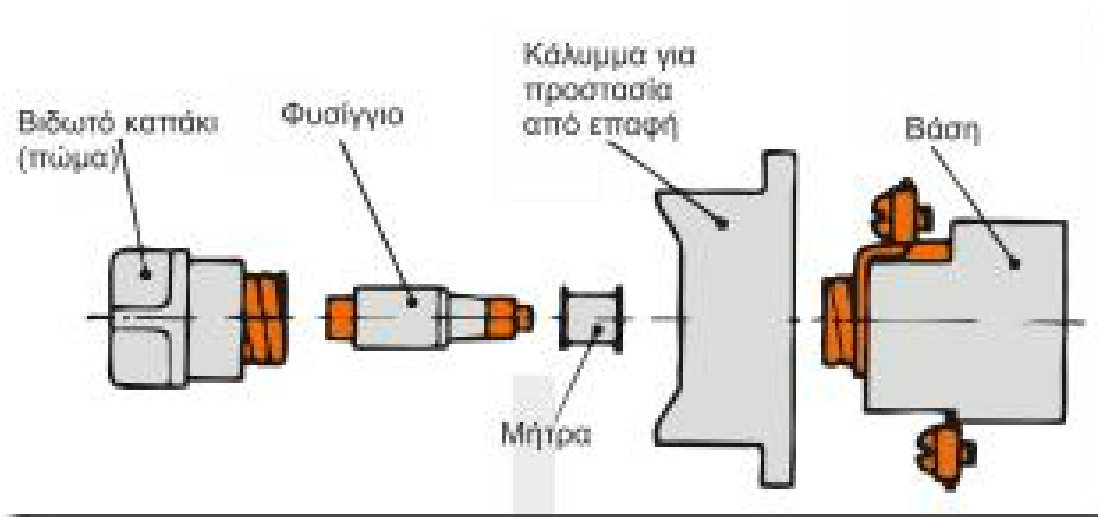
Κατασκευαστικά οι ασφάλειες τήξης αποτελούνται από τέσσερα μέρη:

**Πώμα:** Βιδώνεται στην ασφαλειοθήκη και έτσι συγκρατεί το φυσίγγι στη θέση του.

**Φυσίγγι:** Περιέχει το νήμα και ένα χρωματισμένο δείκτη με χρώμα ανάλογο του ονομαστικού ρεύματος της ασφάλειας. Ο δείκτης μένει στη θέση του όσο το νήμα δεν έχει καεί. Το φυσίγγι κατασκευάζεται από πορσελάνη και στο εσωτερικό φέρει άμμο χαλαζία

**Μήτρα:** Τοποθετείται ανάμεσα στο φυσίγγι και την βάση. Έχει συγκεκριμένη εσωτερική διάμετρο, αντίστοιχη για κάθε φυσίγγιο. Σκοπός της είναι να εμποδίζεται η τοποθέτηση φυσιγγίου μεγαλύτερου ονομαστικού ρεύματος σε βάση που προορίζεται για μικρότερο ρεύμα.

**Ασφαλειοθήκη ή βάση:** Στερεώνεται πάνω στον πίνακα και στο εσωτερικό της εφαρμόζεται το υσίγγιο. Ο αγωγός παροχής συνδέεται στη μήτρα.



**Εικόνα 1: Τα μέρη μιας ασφάλειας τήξεως**

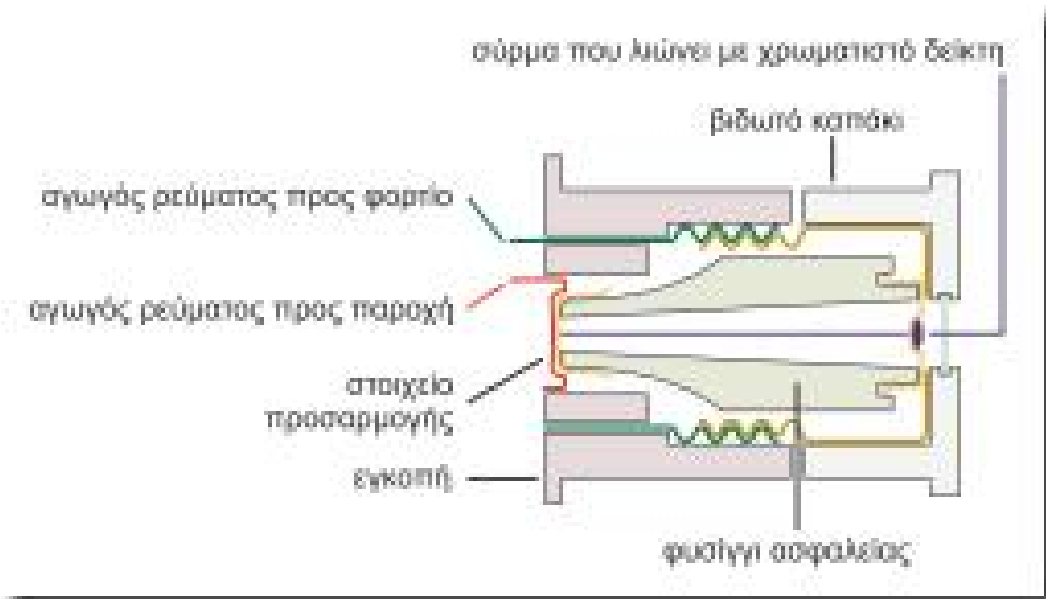
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των ασφαλειών τήξης είναι:

1. το ονομαστικό ρεύμα διακοπής. Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος για να μη καταπονηθεί η μόνωση του αγωγού. Τυποποιημένες εντάσεις 1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125A
2. η ονομαστική τάση λειτουργίας (π.χ 500 V)
3. οι χαρακτηριστικές καμπύλες χρόνου- ρεύματος από τις οποίες προκύπτουν οι χρόνοι στους οποίους επέρχεται η τήξη του σύρματος για διάφορες τιμές υπερέντασης. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες χρόνου-ρεύματος των μέσων διακοπής και

4. η ικανότητα διακοπής, δηλαδή το μέγιστο ρεύμα σε kA που μπορούν να διακόψουν χωρίς βλάβη.

Η ασφάλεια μπαίνει πάντα στον αγωγό της φάσης, στην αρχή του κυκλώματος που προστατεύει. Δεν επιτρέπεται να τοποθετηθεί στον αγωγό προστασίας (γείωσης) ή στον ουδέτερο.

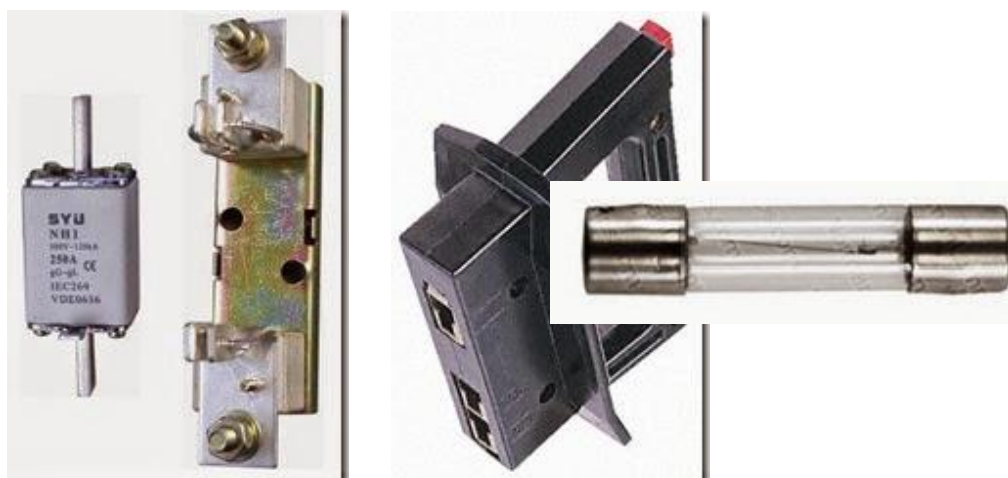
Εικ  
όνα  
2:  
Ηλε  
κτρ  
ολο  
γικ  
ή  
σύν  
δεσ  
η  
μια  
ς  
ασφ  
άλει  
ας  
τήξ  
εως



Οι τύποι των ασφαλειών τήξης είναι:

- Ασφάλειες **Diazed** ή τύπου D. Μεγάλες βιδωτές ασφάλειες με μέγιστο ρεύμα διακοπής 50 kA.
- Ασφάλειες Neozed ή τύπου DO. Μικρές βιδωτές ασφάλειες με μέγιστο ρεύμα διακοπής 25 kA. Οι ασφάλειες NEOZED είναι καταλληλότερες, αφού οι διαστάσεις των βάσεων τους ταιριάζουν με το μέγεθος (κατά DIN) των μικροαυτομάτων (πλάτος 18 mm ) που τοποθετούνται στις ράγες πινάκων.
- **Μαχαιρωτές** ασφάλειες NH (Niederspannung-Hochleistungssicherungen) ή HRC (High Rupture Capacity). Πρόκειται για ασφάλειες ισχύος Χαμηλής Τάσης με ικανότητα μέγιστου ρεύματος διακοπής 100 kA.





**Εικόνα 3: Μαχαιρωτές ασφάλειες**

- **Μικροασφάλειες** συσκευών τύπου G. Πρόκειται για μικρές κυλινδρικές ασφάλειες προστασίας συσκευών.

**Εικόνα 4: Μικροαφάλεια**

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων, όταν τα αναμενόμενα ρεύματα σφάλματος δεν ξεπερνούν τα 50 kA χρησιμοποιούνται ασφάλειες τύπου D και D0. Όταν το ρεύμα σφάλματος είναι μεγαλύτερο των 50 kA χρησιμοποιούνται μαχαιρωτές ασφάλειες τύπου NH. Οι ασφάλειες τήξης χαρακτηρίζονται με δύο γράμματα.

- το πρώτο γράμμα δηλώνει την περιοχή ρευμάτων προστασίας των γραμμών της εγκατάστασης.
- το δεύτερο γράμμα υποδηλώνει το είδος της εγκατάστασης

**Πίνακας 6: Συμβολισμός ασφαλειών τήξης**

1°	G	πλήρης προστασία σε όλη την περιοχή ρευμάτων
	A	μερική προστασία, διακόπτουν ρεύματα με τιμές μόνο πάνω ένα καθορισμένο πολλαπλάσιο της ονομαστικής έντασης. Παρέχουν προστασία μόνο έναντι βραχυκυκλωμάτων.
2°	L	γραμμές, καλώδια
	G	γενική χρήση
	M	Κινητήρες
	R	Ημιαγωγοί
	B	εγκαταστάσεις ορυχείων
	Tr	Μετασχηματιστές

Παραδείγματα :

- § aG: πλήρης προστασία στη γενική χρήση
- § gL: πλήρης προστασία για γραμμές. εξασφαλίζουν προστασία των γραμμών τόσο σε υπερφόρτιση όσο και σε βραχυκυκλώματα
- § aM: μερική προστασία για υψηλά ρεύματα για κινητήρες. Λειτουργούν σε υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης αλλά δεν διακόπτουν τον κινητήρα κατά την εκκίνησή του, όπου για σύντομο χρονικό διάστημα, απορροφά μεγαλύτερη ένταση ρεύματος από την ονομαστική του.

#### Πίνακας 7: Μέγεθος και χαρακτηριστικά ασφαλειών τήξης

Μέγεθος φυσιγγίων ασφαλείας DIAZED	Μέγεθος βάσεων ασφαλείας NEOZED	Ονομαστικό ρεύμα σε A	Αναγνωριστικό χρώμα
D II (E27)	D01 (E14)	2	Ροζ
>>	>>	4	Καφέ
>>	>>	6	Πράσινο
>>	>>	10	Κόκκινο
>>	>>	16	Γκρι

>>	D02 (E18)	20	Μπλε
>>	>>	25	Κίτρινο
D III (E33)	>>	35	Μαύρο
>>	>>	50	Άσπρο
>>	>>	63	Χρυσό
D IV	D03	80	Ασημί
>>	>>	100	Κόκκινο

Τοποθετούνται:

- § Στην αρχή κάθε ηλεκτρικής γραμμής μετά από τους διακόπτες
- § Στη διακλάδωση αγωγών με μικρότερη διατομή
- § Σε κεντρικές διακλαδώσεις

Δεν τοποθετούνται:

- § Σε αγωγούς γείωσης
- § Στον ουδέτερο αγωγό
- § Σε διακλαδώσεις εναέριων αγωγών και υπόγειων καλωδίων

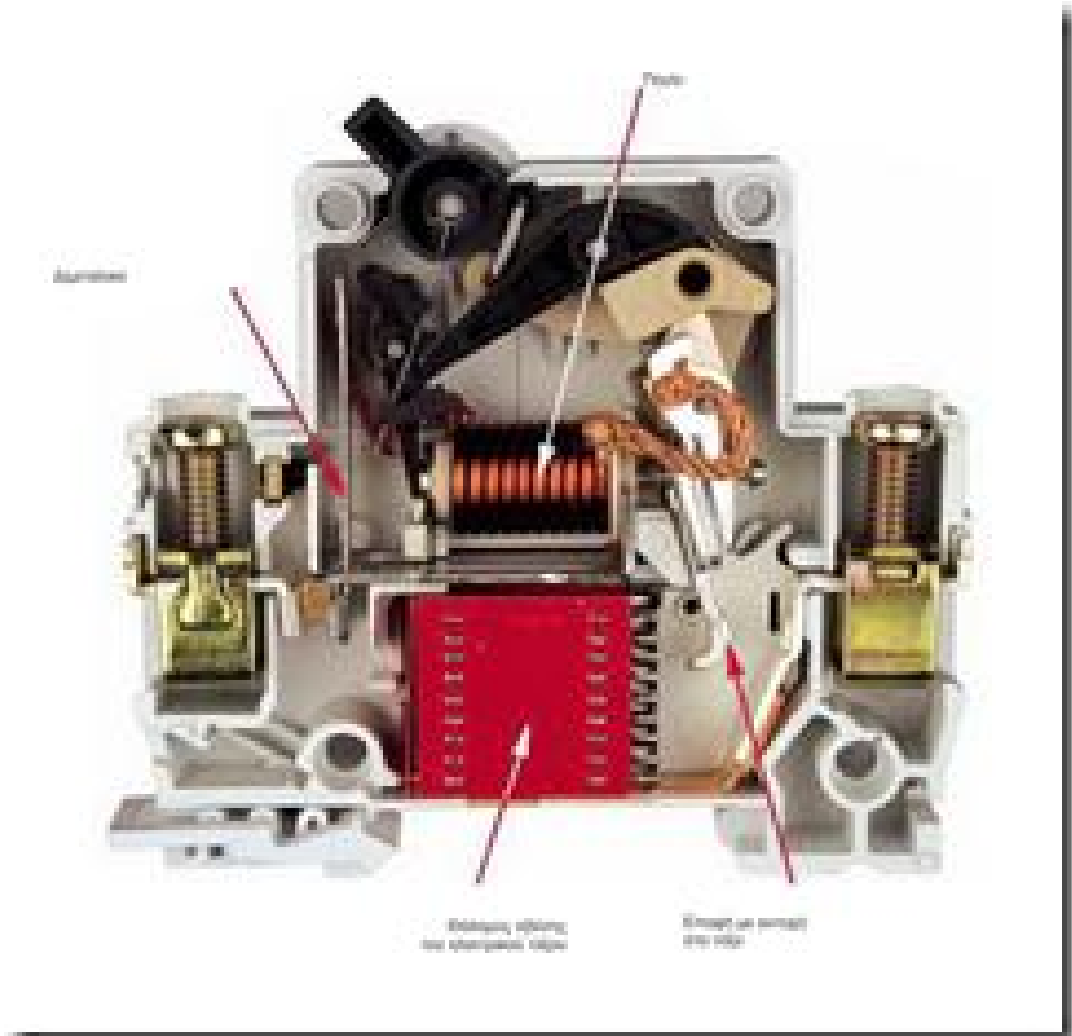
### 2.3 Αυτόματοι διακόπτες

Οι αυτόματοι διακόπτες είναι διακόπτες ισχύος που ανοίγουν αυτόματα το κύκλωμα που προστατεύουν, όταν το ρεύμα υπερβεί μια ορισμένη τιμή, εντός καθορισμένου χρόνου.

Κυριότερα είδη αυτόματων διακοπών είναι:

- § μικροαυτόματοι γραμμών (Miniature Circuit Breakers)
- § αυτόματοι προστασίας συσκευών
- § διακόπτες ισχύος
- § αυτόματοι διακόπτες κινητήρων

Η προστασία αγωγών και καλωδίων στις ΕΗΕ επιτυγχάνεται συνήθως με μικροαυτόματους διακόπτες. Οι μικροαυτόματοι ονομάζονται και αυτόματες ασφάλειες. Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην δεκαετία του 1960, η πρώτη τους εφαρμογή ήταν η αντικατάσταση των ασφαλειών τήξης στους οικιακούς πίνακες.



**Εικόνα 5: Εσωτερικό μικροαυτόματου**

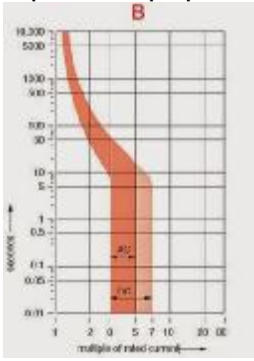
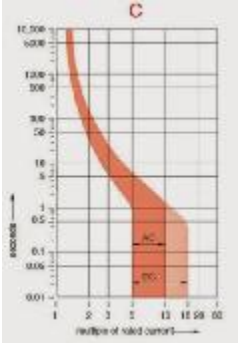
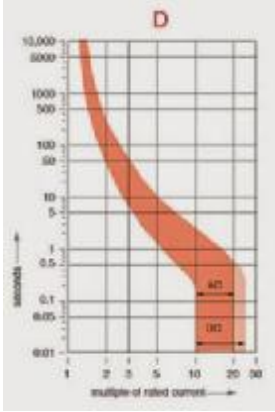
Οι αυτόματοι διακόπτες αποτελούνται:

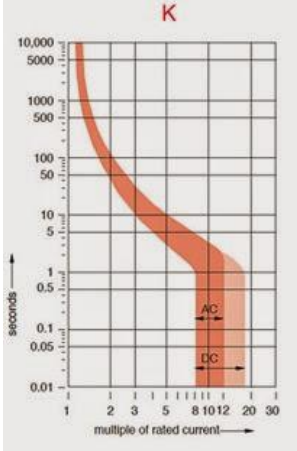
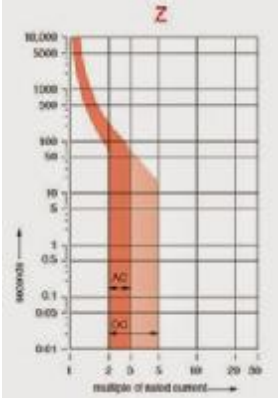
- § από τις επαφές με το θάλαμο σβέσης του ηλεκτρικού τόξου, που δημιουργείται κατά το άνοιγμα των επαφών
- § το θερμικό στοιχείο προστατεύει μια γραμμή ή συσκευή από παρατεταμένη υπερφόρτιση, η οποία μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας.
- § το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο ή στοιχείο ακαριαίας λειτουργίας, προστατεύει τη γραμμή ή συσκευή από υπερβολική μηχανική

και θερμική καταπόνηση, που προκαλείται από ισχυρά ρεύματα βραχυκύκλωσης.

Οι μικροαυτόματοι διατίθενται σε διαφορετικές χαρακτηριστικές χρόνου διακοπής-ρεύματος.

**Πίνακας 8:Χαρακτηριστικά μεγέθη μικροαυτόματων**

Χαρακτηριστική	B	C	D
εφαρμογές	<p>γραμμές φωτισμού και ωμικά φορτία</p> 	<p>ωμικά και ελαφρώς επαγωγικά φορτία</p> 	<p>γραμμές διανομής βιομηχανικών εγκ. με πολύ υψηλά κρουστικά ρεύματα (επαγωγικά-χωρητικά)</p> 
Θερμικό στοιχείο (αντίδραση)	Αργή 1,13 -1,14 Iov	Αργή 1,13 -1,14 Iov	Αργή 1,13 -1,14 Iov
Μαγνητικό στοιχείο (αντίδραση)	Γρήγορη 3,00 -5,00 Iov	Μέση 5,00-10,00Iov	Πολύ αργή 10-20 Iov

Χαρακτηριστική	<p><b>K</b></p> 	<p><b>Z</b></p> 
εφαρμογές	κινητήρες, λαμπτήρες & ηλεκτρονικό μπάλαστ, κλιματιστικά	Ημιαγωγοί, ιδιαίτερα ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές
Θερμικό στοιχείο (αντίδραση)	Γρήγορη 1,05 -1,2 I <sub>ov</sub>	Γρήγορη 1,05 -1,2 I <sub>ov</sub>
Μαγνητικό στοιχείο (αντίδραση)	Αργή 10-14 I <sub>ov</sub>	Πολύ Γρήγορη 2,00 -3,00 I <sub>ov</sub>

Στον οριζόντιο άξονα προσδιορίζουμε το πολλαπλάσιο της ονομαστικής έντασης του μικροαυτόματου. Στο σημείο αυτό χαράζουμε κάθετη στον οριζόντιο άξονα. Από το σημείο τομής της με τη χαρακτηριστική χαράσσουμε παράλληλη στον οριζόντιο, η οποία προσδιορίζει το χρόνο διακοπής στον κατακόρυφο άξονα

## 2.4 Επιλογική συνεργασία

Επιλογική συνεργασία δύο ή περισσότερων διαδοχικών διακοπτικών μέσων επιτυγχάνεται όταν σε περίπτωση σφάλματος

επεμβαίνει και αποζεύει το πλησιέστερο προς το σφάλμα διακοπτικό μέσο. Εάν αυτό αποτύχει, τότε πρέπει να αναλάβει τη διακοπή του κυκλώματος το επόμενο μέσο προστασίας κοκ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### 3.1 Γενικές Έννοιες

Όλες οι ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές και διατάξεις περιλαμβάνουν κυκλώματα ηλεκτρικών στοιχείων. Η θεωρία κυκλωμάτων αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη της ηλεκτρικής τεχνολογίας και περιλαμβάνει μεθόδους ανάλυσης και σχεδιασμού ηλεκτρικών κυκλωμάτων κάθε τύπου. Η θεωρία κυκλωμάτων στηρίζεται στον ηλεκτρισμό, που είναι μέρος της Φυσικής.

Τα κυκλώματα αποτελούνται από στοιχεία. Τα στοιχεία κυκλωμάτων χωρίζονται σε δυο κατηγορίες στα **ενεργά** και στα **παθητικά**. Τα ενεργά στοιχεία είναι ικανά να παρέχουν ενέργεια, ενώ τα παθητικά δεν μπορούν να παράγουν ενέργεια, αλλά καταναλώνουν ή αποθηκεύουν. Τα παθητικά στοιχεία είναι για παράδειγμα ο αντιστάτης, ο πυκνωτής και το πηνίο καθώς επίσης και ο μετασχηματιστής, που είναι στοιχείο τεσσάρων ακροδεκτών. Τα ενεργά στοιχεία περιλαμβάνουν τις μπαταρίες, γεννήτριες και μοντέλα τρανζίστορ.

Η επίλυση των κυκλωμάτων σκοπό έχει να υπολογίσει τάσεις ή/και ρεύματα σε δοσμένα στοιχεία του κυκλώματος. Πρώτη και πολύ σημαντική εργασία για την επίλυση ενός κυκλώματος είναι ο ορισμός της πολικότητας (φοράς) του ρεύματος και της τάσης αναφοράς σε κάθε στοιχείο του κυκλώματος ή αλλιώς του συστήματος αναφοράς του κυκλώματος.

Τα πρότυπα των φυσικών κυκλωμάτων είναι δύο ειδών, τα **συγκεντρωμένα** και τα **κατανεμημένα**. Τα συγκεντρωμένα κυκλώματα αποτελούνται από την διασύνδεση συγκεντρωμένων ηλεκτρικών στοιχείων, όπως ο αντιστάτης, ο πυκνωτής, το πηνίο και ο μετασχηματιστής. Οι νόμοι του Kirchhoff ισχύουν μόνο για τα συγκεντρωμένα κυκλώματα. Αυτός ο περιορισμός απορρέει από το γεγονός ότι οι νόμοι του Kirchhoff είναι προσέγγιση των εξισώσεων Maxwell, που είναι οι γενικές εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Οι **νόμοι του Kirchhoff** είναι δύο: Ο νόμος των ρευμάτων και ο νόμος των τάσεων και εκφράζουν την αρχή της διατήρησης του φορτίου και της ενέργειας αντίστοιχα. Ο νόμος των ρευμάτων του Kirchhoff έχει την παρακάτω μορφή: Σε κάθε κύκλωμα συγκεντρωμένων στοιχείων, κάθε χρονική στιγμή το αλγεβρικό άθροισμα των τιμών των ρευμάτων σε ένα κόμβο είναι μηδέν. Ο



νόμος των τάσεων του Kirchhoff διατυπώνεται ως εξής: Σε κάθε κύκλωμα συγκεντρωμένων στοιχείων, κάθε χρονική στιγμή, το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων σ' ένα βρόχο κυκλώματος είναι μηδέν.

Το ηλεκτρικό φορτίο έχει δύο χαρακτηριστικά: την ποσότητα που μετριέται σε Coulombs (Cb) και το πρόσημο ή την πολικότητα. Το φορτίο που μεταφέρει ένα ηλεκτρόνιο είναι  $q_e = -1.60 \cdot 10^{-19} \text{Cb}$  και έχει αρνητική πολικότητα.

Ρεύμα είναι η διέλευση φορτίου από μία δοσμένη διατομή σε δοσμένο χρόνο. Αν η μεταφορά του φορτίου  $\Delta q$  γίνεται σε χρόνο  $\Delta t$ , τότε το μέσο ρεύμα είναι  $I = \Delta q / \Delta t$ . Το ρεύμα μετράται σε Amperes (A) που ισοδυναμεί με τη μεταφορά ενός Cb ανά δευτερόλεπτο (s).

$$1 \text{ A} = 1 \text{ Cb} / \text{s}$$

Το ηλεκτρικό μέγεθος που σχετίζεται με την μεταβολή της δυναμικής ενέργειας, ονομάζεται διαφορά δυναμικού ή τάση, και μετριέται σε Volts (V). Η σχέση που ορίζει την τάση  $u$ , αν ένα φορτίο  $dq$  προσφέρει ενέργεια  $dw$  όταν κινηθεί από ένα σημείο  $a$  σε ένα σημείο  $b$  είναι οι εξής:

$$u = dw/dq$$

Αν εκφράσουμε την ενέργεια σε joules (J), τότε η μονάδα της τάσης δίνεται από την σχέση:

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J} / \text{Cb}$$

Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται σαν ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας και ορίζεται από την σχέση:

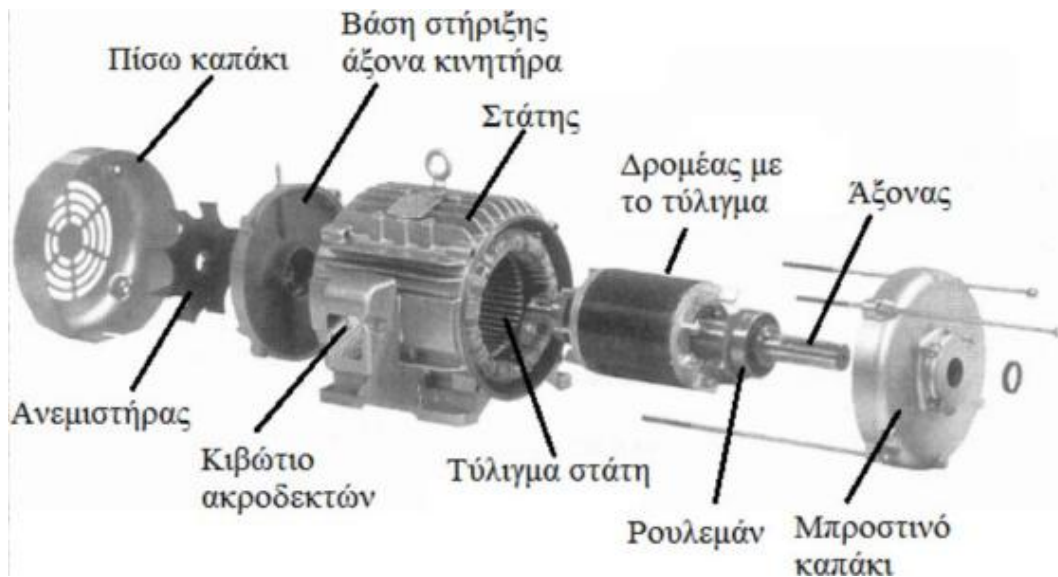
$$p = dw/dt$$

Η ηλεκτρική ισχύς μετρούμενη σε Watts (W) που καταναλώνεται ή παράγεται από ένα στοιχείο κυκλώματος είναι απλά το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα.

$$p = u \cdot i$$

$$\text{Άρα } 1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$$

### 3.2 Βασικά μέρη Ηλεκτρικών μηχανών



Εικόνα 6: Βασικά μέρη ηλεκτρικής μηχανής.

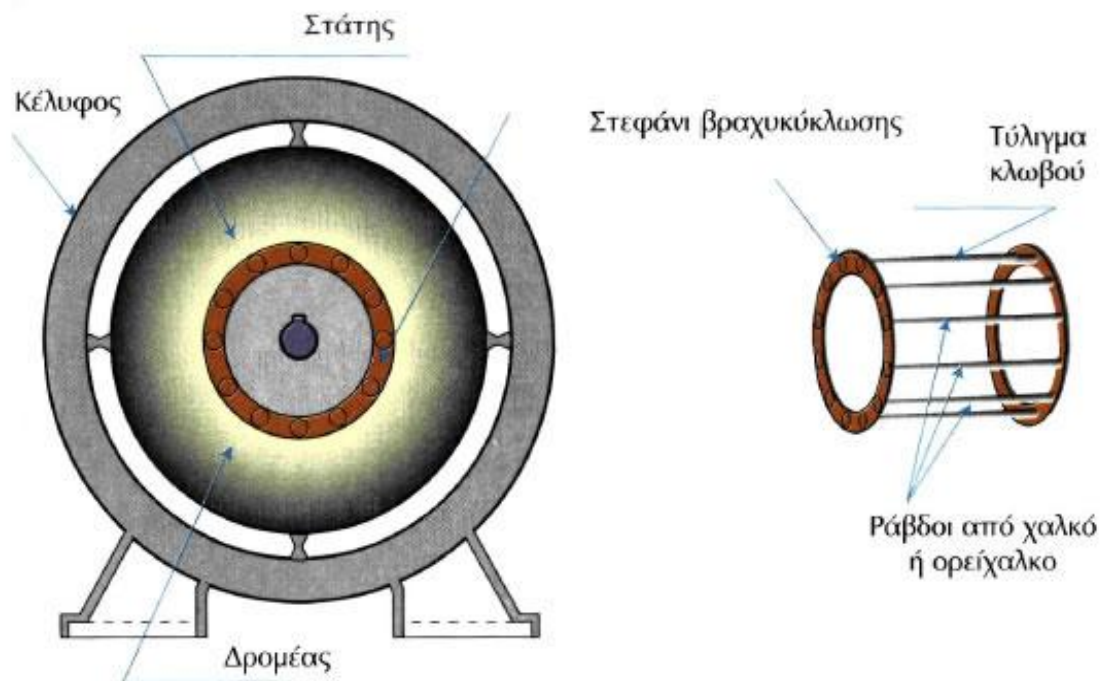
Μια Ηλεκτρική Μηχανή έχει τρία βασικά μέρη :

- i. Το **σταθερό μέρος** που αποτελείται από τον **πυρήνα του στάτη** και τον **πυρήνα του δρομέα**, οι οποίοι κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικά υλικά, είτε συμπαγή είτε υπό μορφή ελασμάτων, για την ελάττωση της μαγνητικής αντίστασης των δρόμων της μαγνητικής ροής, για την ελάττωση των απωλειών από τα δινορεύματα. Καθώς επίσης και τα τυλίγματα.
- ii. Τα **μαγνητικά πεδία** του στάτη και του δρομέα, που παράγονται από κατάλληλα τοποθετημένα τυλίγματα συγκεντρωμένα ή διανεμημένα.
- iii. Ο **αριθμός των πόλων** των τυλιγμάτων είναι πάντα άρτιος.

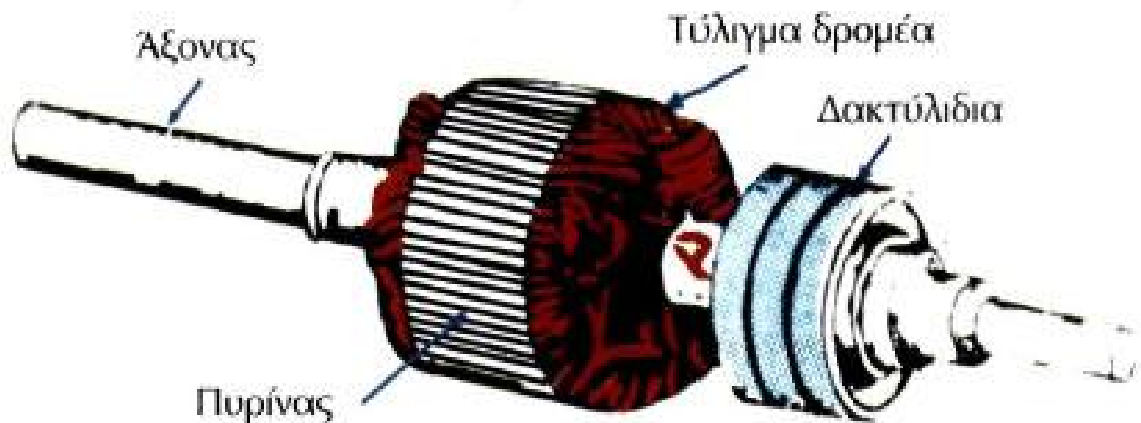
Η ονομασία Επαγωγικοί Κινητήρες προήλθε από το γεγονός ότι η τάση στον δρομέα, η οποία παράγει το ρεύμα διέγερσης και στην συνέχεια το πεδία του δρομέα, επάγεται στα τυλίγματά του, χωρίς να προσφέρεται από κάποια εξωτερική ηλεκτρική πηγή. Αν σταθούμε σε αυτή την ιδιότητά του, μπορούμε πολύ εύκολα να πούμε πώς ένας επαγωγικός κινητήρας θεωρείται και σαν ένας μετασχηματιστής με στρεφόμενο το δευτερεύον τύλιγμα. Οι στάτες από έναν επαγωγικό κινητήρα και μιας σύγχρονης γεννήτριας, έχουν ακριβώς την ίδια δομή. Στον αντίποδα, ανάλογα με τον τύπο

δρομέα (ο οποίος κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω δινορευμάτων), οι επαγωγικοί κινητήρες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες : σε αυτούς με **βραχυκυκλωμένο κλωβό** (ο πιο κοινός τύπος) και σε αυτούς με **δακτυλιοφόρο δρομέα**.

Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού φέρει αυλάκια στην επιφάνεια του, μέσα στα οποία είναι τοποθετημένες αγωγίμες ράβδοι. Τα άκρα των τελευταίων βραχυκυκλώνονται μέσω των λεγόμενων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Οι Δακτυλιοφόροι δρομείς φέρουν τριφασικό τύλιγμα αντίστοιχο με αυτό του στάτη. Οι φάσεις τους συνδέονται κατά κανόνα σε αστέρα και τα τρία ελεύθερα άκρα των αγωγών συνδέονται σε ισάριθμους δακτυλίους, με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Η διάταξη αυτή έχει το προφανές χαρακτηριστικό ότι επιτρέπει τη σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα.



**Εικόνα 7: Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.**



**Εικόνα 8: Δρακτυλιοφόρος δρομέας.**

### **3.3 Κατηγορίες Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων.**

**Κινητήρες τυλιγμένου δρομέα :** Στους κινητήρες τυλιγμένου δρομέα, υπάρχει η δυνατότητα μέσω ψηκτρών, να παρεμβάλουμε εξωτερικά και να προσθέσουμε ωμική αντίσταση σε σειρά σε κάθε φάση του δρομέα.

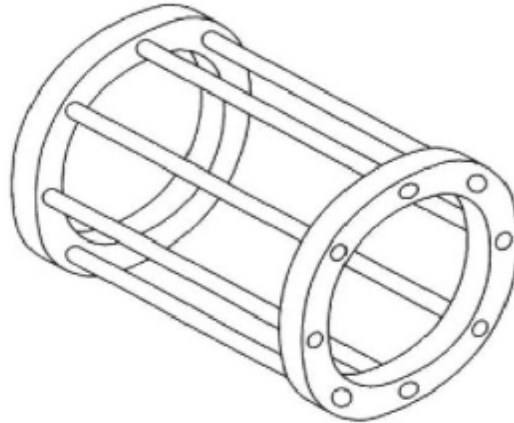
- i. Ο δρομέας έχει τριφασικά τυλίγματα περίπου σαν και αυτά του στάτη.
- ii. Η συνδεσμολογία του είναι πάντα σε αστέρα.
- iii. Τα τρία άκρα του καταλήγουν σε “δακτυλίδια”.
- iv. Το κύκλωμα είναι ανοικτό και οι συνδέσεις μπορούν να γίνουν μέσω συλλεκτών πάνω στα δακτυλίδια.

Η χρήση ενός κινητήρα τυλιγμένου δρομέα γίνεται κυρίως σε μεγάλες ισχύεις.

Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή τύπου κλωβού :

- i. Ο πυρήνας του αποτελείται από δυναμοελάσματα και αγωγίμες ράβδους (αλουμινίου) τοποθετημένες σε ειδικά αυλάκια. Κάθε αυλάκι περιέχει έναν συμπαγή αγωγό.
- ii. Η τοποθέτηση των ράβδων γίνεται ομοιόμορφα στην περιφέρεια του δρομέα.
- iii. Η επιφάνεια του δρομέα καλύπτεται από ένα στρώμα οξειδίου, που λειτουργεί ως μονωτικό υλικό για την αποφυγή

δινόρευμάτων.



**Εικόνα 9: Βραχυκυκλωμένος κλωβός.**

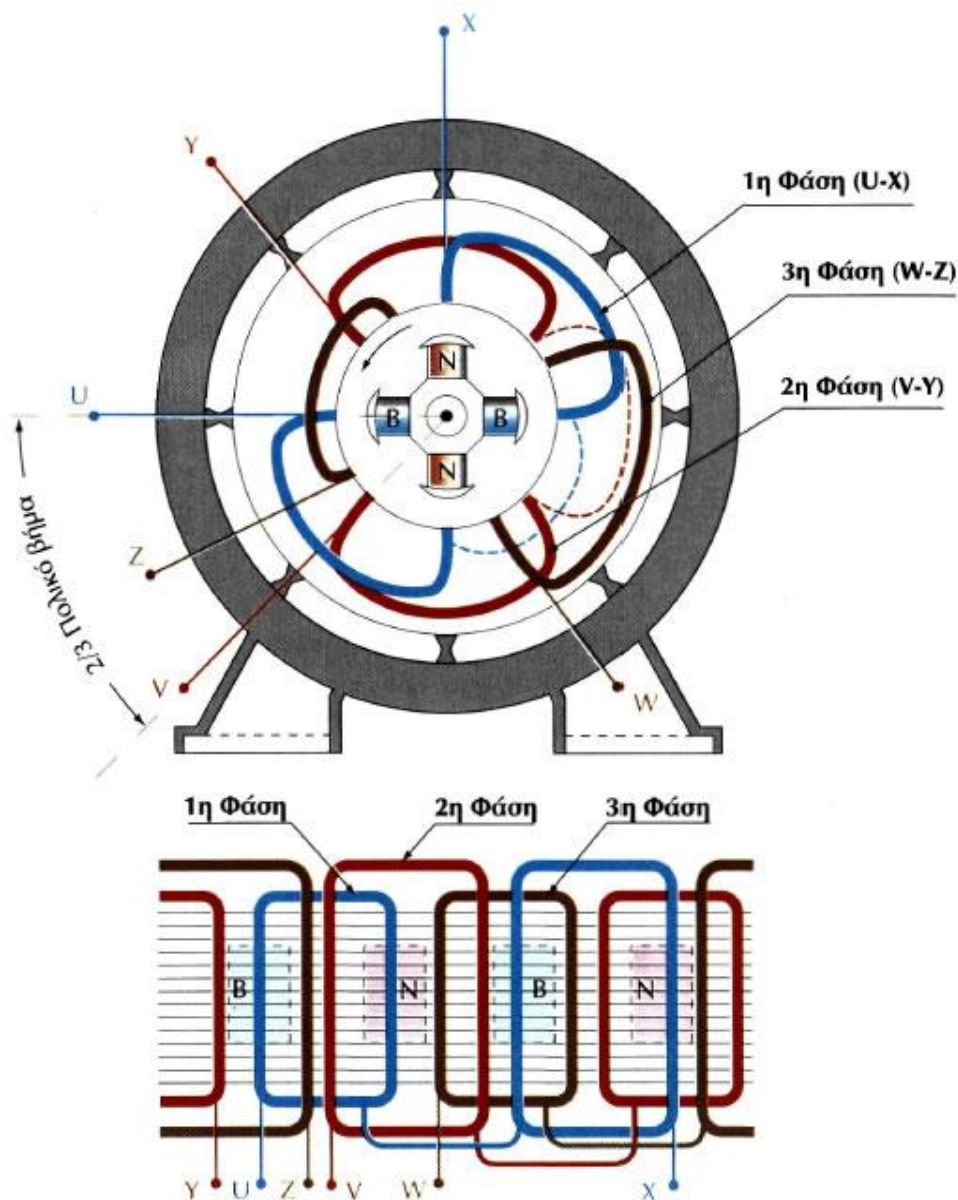
Αν και οι κινητήρες τυλιγμένου δρομέα, παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία για τον έλεγχο της ροπής και των στροφών, οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, λόγω χαμηλότερου κόστους, μικρότερου όγκου και στιβαρότερης κατασκευής, προτιμούνται περισσότερο στις συνηθισμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Σε περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλές ροπές κατά την εκκίνηση, μπορεί να γίνει χρήση δρομέα διπλού κλωβού.

### **3.4 Τυλίγματα Ηλεκτρικών Μηχανών**

Αναλόγως με το είδος της Ηλεκτρικής Μηχανής, τα τυλίγματα τροφοδοτούνται με Συνεχές ρεύμα ή Εναλλασσόμενο ρεύμα. Σκοπός των τυλιγμάτων είναι η δημιουργία και η κατάλληλη διαμόρφωση (μορφή και μέγεθος) των μαγνητικών πεδίων.

Οι πόλοι σε κάθε τύλιγμα, απέχουν μεταξύ τους ίσες αποστάσεις (πολικό βήμα) περί την περιφέρεια του διακένου.

Ένα ζεύγος πόλων σε μια Ρ-πολική μηχανή, καλύπτει ένα κύκλο διανομής της πυκνότητας μαγνητικής ροής γύρω από την περιφέρεια του διακένου και ισοδυναμεί με ηλεκτρικές μοίρες. Η συστατική μονάδα ενός τυλιγματος είναι το πηνίο το οποίο αποτελείται από Ν ελίγματα συνδεδεμένα σε σειρά.



**Εικόνα 10: Τυλίγματα φάσεων ηλεκτρικών μηχανών.**

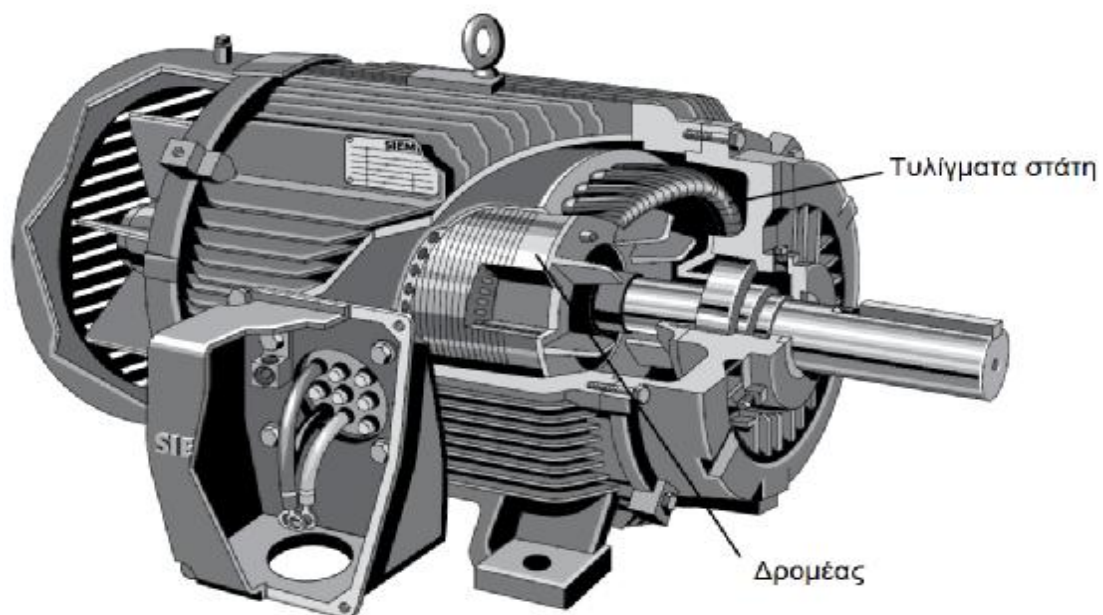
Το ενεργό μήκος του πηνίου που αντιστοιχεί στα μήκη των αγωγών των κλάδων που βρίσκονται υπό την επενέργεια του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου. Η απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών του πηνίου είναι ένα πολικό βήμα ή 180 ηλεκτρικές μοίρες, με αποτέλεσμα οι επαγόμενες τάσεις και ροπές στους δύο κλάδους

του τυλίγματος να είναι ίσες σε μέγεθος και να δρουν αθροιστικά.

Τα διανεμημένα τυλίγματα των ηλεκτρικών μηχανών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα βροχοειδή και τα κυματοειδή και τα οποία συνήθως είναι απλής ή διπλής στρώσης.

### 3.5 Κατασκευαστική δομή των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος.

Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα, πάνω στον οποίο στηρίζονται οι μαγνητικοί πόλοι. Οι μαγνητικοί πόλοι προεξέχουν από το κυλινδρικό ζύγωμα και ονομάζονται έκτυποι πόλοι (salient poles). Το τύλιγμα της διέγερσης, που φέρουν οι πόλοι του στάτη, τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και παράγει ένα σταθερό και ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο. Το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται σε αυλακώσεις, στον κυλινδρικό δρομέα.



**Εικόνα 11: Μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος.**

Στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, με έμφαση τις σύγχρονες γεννήτριες, οι ρόλοι του στάτη και του δρομέα είναι αντεστραμμένοι, σε σχέση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Η

μορφή του δρομέα αλλάζει δραστικά, ανάλογα με το είδος της μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο δρομέας των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να έχει κυλινδρική δομή με αυλακώσεις, εντός των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα. Εναλλακτικά, ο δρομέας μπορεί να έχει πόλους οι οποίοι να προεξέχουν (salient pole rotor), όπως οι πόλοι του στάτη στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Στην κατασκευαστική δομή του δρομέα των επαγωγικών κινητήρων, θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στη συνέχεια. Αντίθετα από το δρομέα, ο στάτης όλων των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος έχει την ίδια κατασκευαστική δομή. Ο στάτης είναι μια κυλινδρική δομή από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους. Στο εσωτερικό του φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του στάτη. Στη συνέχεια θεωρούμε ότι το τύλιγμα του στάτη είναι τριφασικό, οπότε η μηχανή χαρακτηρίζεται ως τριφασική. Όταν το τριφασικό τύλιγμα του στάτη διαρρέεται από ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, αναπτύσσεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Εκτός από τις τριφασικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, υπάρχουν οι μονοφασικές και οι διφασικές. Οι μηχανές αυτές φέρουν στο στάτη μονοφασικό ή διφασικό τύλιγμα αντίστοιχα. Η χρήση τους είναι περιορισμένη, σε σχέση με τις τριφασικές μηχανές, εξαιτίας των λειτουργικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

### 3.6 Η ολίσθηση.

Η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη, εξαρτάται από τη συχνότητα των ρευμάτων τροφοδοσίας  $f$  και τον αριθμό των πόλων  $P$ , ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα  $n_s$  και ορίζεται από την παρακάτω σχέση σε rpm.

$$ME\Delta_s = \frac{N_s}{P} \frac{3}{2} I_{ms} \cos \left\{ \omega_e t - \frac{P}{2} \phi_s \right\}$$

Στον επαγωγικό κινητήρα, η ανάπτυξη της ροπής οφείλεται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα. Όμως, το πεδίο του δρομέα οφείλεται στις τάσεις εξ επαγωγής, οι οποίες αναπτύσσονται στο δρομέα μόνο όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ του δρομέα και του στρεφόμενου πεδίου. Επομένως, η ταχύτητα του δρομέα δεν μπορεί να είναι ίση με τη σύγχρονη, καθώς τότε δεν θα επάγονταν τάσεις στο δρομέα, με συνέπεια το ρεύμα και η ροή του δρομέα να ήταν μηδενικά. Έτσι, η ροπή θα μηδενίζονταν και η ταχύτητα του κινητήρα θα μειώνονταν



σε μια τιμή μικρότερη από τη σύγχρονη. Η διαφορά της ταχύτητας του δρομέα  $n_r$  από τη σύγχρονη  $n_s$  ονομάζεται ταχύτητα ολίσθησης (slip speed) και ορίζεται από τη σχέση

Η ποσοστιαία διαφορά της ταχύτητας του κινητήρα από τη σύγχρονη ταχύτητα ονομάζεται ολίσθηση (slip)

Όταν ο κινητήρας είναι ακίνητος, η ολίσθηση είναι ίση με τη μονάδα ( $s = 1$ ). Αν ο δρομέας στρέφονταν με τη σύγχρονη ταχύτητα, η ολίσθηση θα ήταν μηδέν ( $s = 0$ ). Από την Εξ. (5.18) προκύπτει η παρακάτω σχέση της ταχύτητας του κινητήρα, ως συνάρτηση της σύγχρονης ταχύτητας και της ολίσθησης

Η ονομασία ασύγχρονος κινητήρας, προέρχεται από τη διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη, η οποία είναι ανάλογη με τη ροπή του φορτίου.

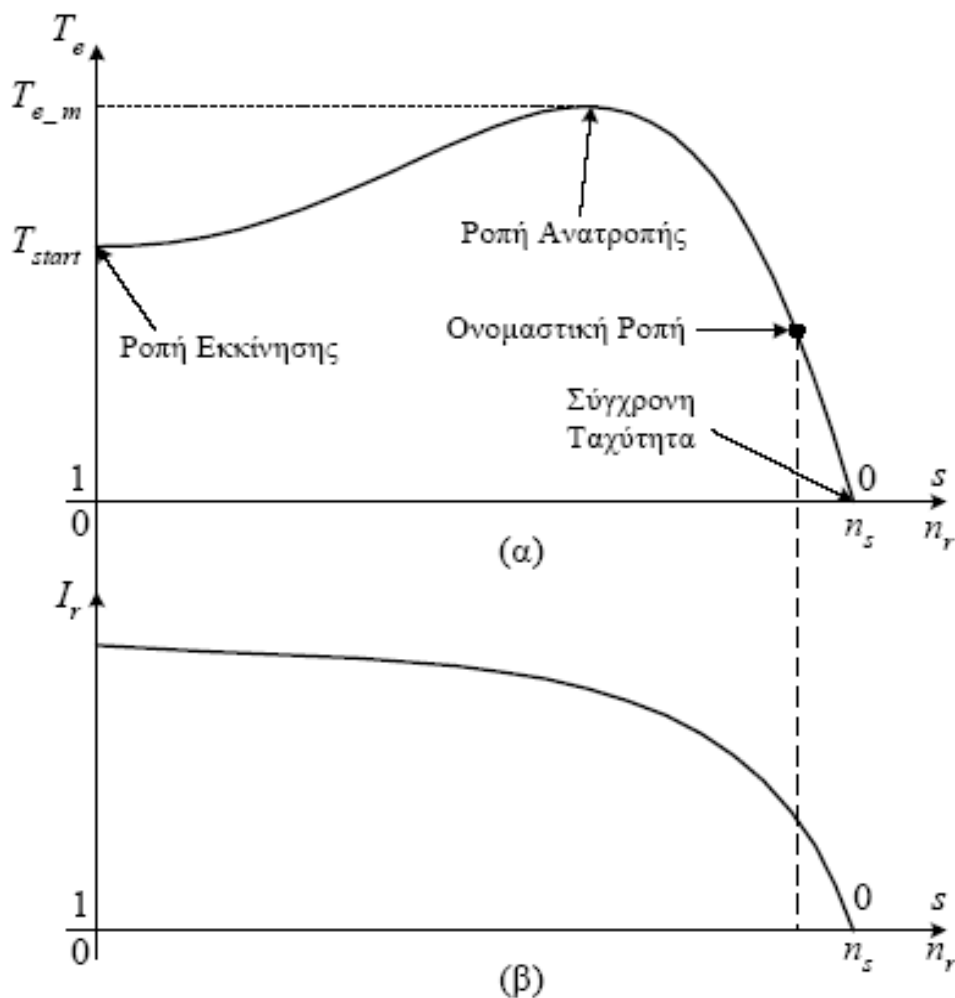
### 3.7 Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής.

Η ροπή που αναπτύσσει ένας επαγωγικός κινητήρας μεταβάλλεται με την ταχύτητα, με τον τρόπο που εικονίζεται στην **εικόνα 18α**.

Προκειμένου να ερμηνεύσουμε τη χαρακτηριστική αυτή, θεωρούμε ότι ο κινητήρας λειτουργεί αρχικά χωρίς φορτίο (Εικόνα 18 α.) Τότε, η ταχύτητα του κινητήρα είναι περίπου ίση με τη σύγχρονη. Το μαγνητικό πεδίο του στάτη  $B_{sr}$  παράγεται από το ρεύμα  $I_s$ . Το ολικό μαγνητικό πεδίο  $B_m$  είναι ανάλογο με το ρεύμα μαγνήτισης  $I_m$ . Το ρεύμα μαγνήτισης εξαρτάται από την τάση  $E$ , όταν ο κινητήρας είναι ακόρεστος. Επειδή η πτώση τάσης στη σύνθετη αντίσταση του στάτη είναι πολύ μικρή, η τάση  $E$  είναι σταθερή και περίπου ίση με την τάση τροφοδοσίας  $V$ . Επομένως, το ολικό μαγνητικό πεδίο στο διάκενο του κινητήρα είναι σταθερό και ανεξάρτητο από τη ροπή του φορτίου. Η τάση που επάγεται στο τύλιγμα του δρομέα  $E_r$  είναι πολύ μικρή, εξαιτίας της μικρής ολίσθησης.

Έτσι, το ρεύμα του δρομέα  $I_r$  και το πεδίο που αυτό αναπτύσσει  $B_{rs}$ , είναι μικρά. Επειδή η συχνότητα των επαγόμενων τάσεων είναι μικρή, η αντίδραση του δρομέα είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ωμική του αντίσταση και η διαφορά φάσης μεταξύ  $I_r$  και  $E_r$  είναι ελάχιστη. Μολονότι το ρεύμα του δρομέα είναι πολύ μικρό στη λειτουργία χωρίς φορτίο, το ρεύμα τροφοδοσίας του στάτη είναι αρκετά μεγάλο, καθώς παρέχει το ρεύμα μαγνήτισης.

Όταν η ροπή του φορτίου αυξηθεί στην ονομαστική τιμή, η ταχύτητα του κινητήρα μειώνεται και η ολίσθηση αυξάνει. Έτσι, η τάση που επάγεται στο δρομέα αυξάνεται. Η αυξημένη τάση  $E_r$  προκαλεί την αύξηση του ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου στο δρομέα. Ταυτόχρονα, η αύξηση της συχνότητας στο δρομέα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διαφορά φάσης μεταξύ των  $E_r$  και  $I_r$  (Εικόνα 19β). Η αύξηση του πεδίου  $B_{rs}$  τείνει να αυξήσει την αναπτυσσόμενη ροπή. Αντίθετα, η αύξηση της γωνίας  $\delta$ , η οποία είναι μεγαλύτερη από  $90^\circ$ , τείνει να μειώσει τη ροπή. Καθώς η επίδραση του πεδίου είναι μεγαλύτερη από την επίδραση της γωνίας, η ροπή αυξάνεται.



**Εικόνα 12: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας(α)**

**Μεταβολή του ρεύματος δρομέα με την ταχύτητα(β)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

#### 4.1 Γενικά χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα.

Ο τύπος κινητήρα που συναντάμε συχνότερα είναι αυτός του ασύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα. Η απλουστευμένη κατασκευή του, σε συνδυασμό με την εύκολη χρήση του, είναι οι βασικότεροι λόγοι που τον κατατάσσουν στην πρώτη επιλογή. Μιλώντας για ευκολία στην λειτουργία του, πρέπει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι ο εν λόγω κινητήρας δεν παρουσιάζει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης, καθώς οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στην διέγερσή του. Αυτό είναι και η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Όταν τροφοδοτούμε με ισχύ μόνο το κύκλωμα του στάτη, ο επαγωγικός κινητήρας ονομάζεται και μηχανή απλής διέγερσης (singly excited), σε αντιδιαστολή με τις σύγχρονες μηχανές που ονομάζονται μηχανές διπλής διέγερσης (doubly excited).

Προς απομυθοποίηση του αξίζει να κάνουμε το απλό σχόλιο, πως ο επαγωγικός κινητήρας δεν είναι κάτι άλλο παρά 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.

## 4.2 Αρχή λειτουργίας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

Όταν τροφοδοτούμε το τύλιγμα του στάτη με ένα τριφασικό συμμετρικό σύστημα τάσεων, δημιουργείται στο διάκενο της μηχανής ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

$$n_s = 120 \frac{f_1}{P} \quad \omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = \frac{2}{P} 2\pi f_1 = \frac{2}{P} \omega_1$$

Όπως προαναφερθήκαμε, η συμπεριφορά του ασύγχρονου κινητήρα είναι όμοια με αυτή ενός μετασχηματιστή, στο μαγνητικό κύκλωμα του οποίου παρεμβάλλεται και κάποιο διάκενο αέρος. Οι επαγόμενες τάσεις στα τυλίγματα του ακινητοποιημένου δρομέα, οι οποίες σε αντίθεση με τον μετασχηματιστή δεν οφείλονται στην χρονική μεταβολή της μαγνητικής ροής, αλλά στο στρεφόμενο κύμα σταθερού μεγέθους της μαγνητικής ροής στο διάκενο, έχουν την ίδια συχνότητα με εκείνη των τάσεων τροφοδοσία των τυλιγμάτων του στάτη.

### 4.2.1 Ανοιχτοκυκλωμένος - Βραχυκυκλωμένος δρομέας.

**Ανοιχτοκυκλωμένος δρομέας :** Τα ρεύματα των τυλιγμάτων του στάτη αποτελούν ταυτόχρονα και τα ρεύματα διέγερσης του κινητήρα και είναι υπεύθυνα για την εγκατάσταση της απαιτούμενης μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής.

**Βραχυκυκλωμένος δρομέας :** Λόγω των επαγόμενων Η.Ε.Δ. θα κυκλοφορήσουν ρεύματα στον δρομέα, της ίδιας συχνότητας με την συχνότητα των τάσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη. Τα ρεύματα αυτά στον δρομέα, θα δημιουργήσουν και αυτά με την σειρά τους ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στον δρομέα, στρεφόμενο επίσης με την σύγχρονη ταχύτητα και με την ίδια φορά περιστροφής με το αντίστοιχο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος του στάτη. Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα ή του συνισταμένου μαγνητικού πεδίου με το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, δημιουργούν κινούσα ροπή στην κατεύθυνση της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη.

Στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, ο δρομέας στρέφεται με ταχύτητα  $n_r$ , μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας  $n_s$ .

**Ολίσθηση :** Ο λόγος της σχετικής ταχύτητας του πεδίου ως προς τον δρομέα προς την σύγχρονη ταχύτητα.

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

**Συχνότητα ολίσθησης :** Η συχνότητα  $f_2$  των επαγόμενων τάσεων στα τυλίγματα του δρομέα, συνδέεται με την συχνότητα  $f_1$  του δικτύου.

$$f_2 = \frac{P}{2} \frac{(n_s - n_r)}{60} = \frac{P}{2} s \frac{n_s}{60} = sf_1$$

Η επαγόμενη Η.Ε.Δ. στα τυλίγματα του δρομέα κατά την λειτουργία ( $n_r < n_s$ ).

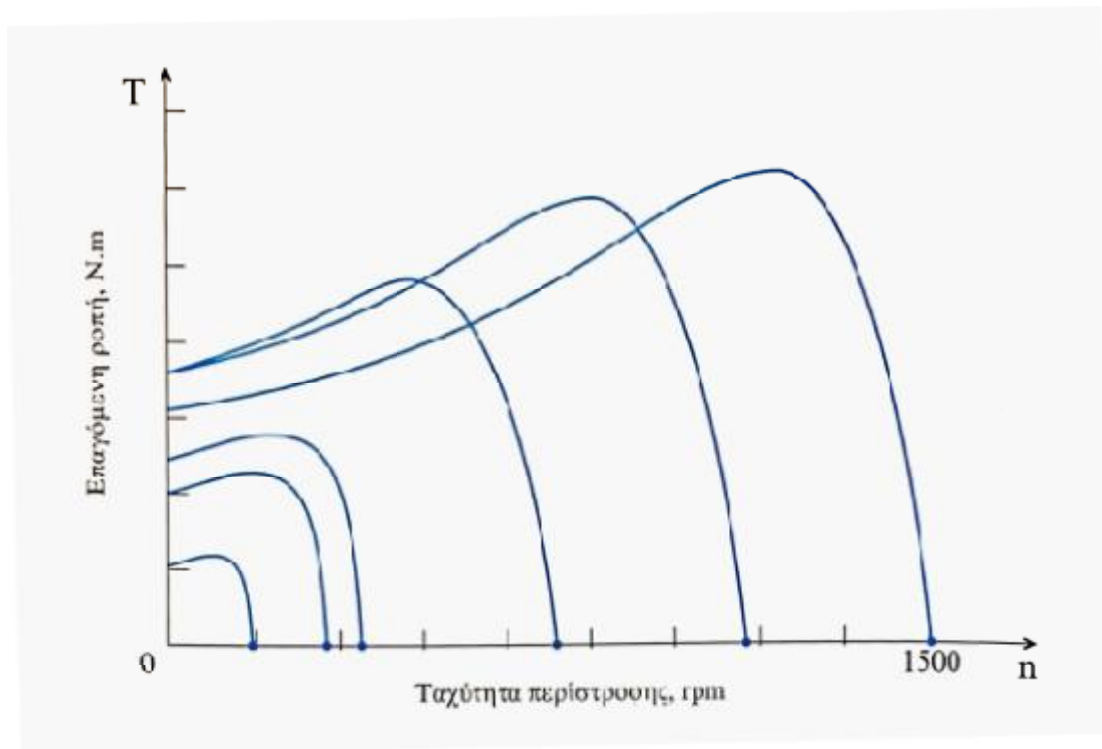
**Μηχανική ροπή :** Απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή μη μηδενικής μέσης ροπής σε έναν κινητήρα, είναι να μην υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ των δύο αλληλεπιδρώντων μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα. Δηλαδή, τα δύο μαγνητικά πεδία είτε θα είναι ακίνητα στο χώρο (μηχανές συνεχούς ρεύματος), είτε θα κινούνται με την ίδια ταχύτητα (μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος). Το μέγεθος της παραγόμενης ροπής, είναι ανάλογο του γινομένου των μεγεθών των δύο πεδίων καθώς και της μεταξύ τους γωνίας.

$$\tau = - \left( \frac{P}{2} \right) \frac{\mu_o \pi D l}{2g} F_{s,m} F_{r,m} \sin \theta$$

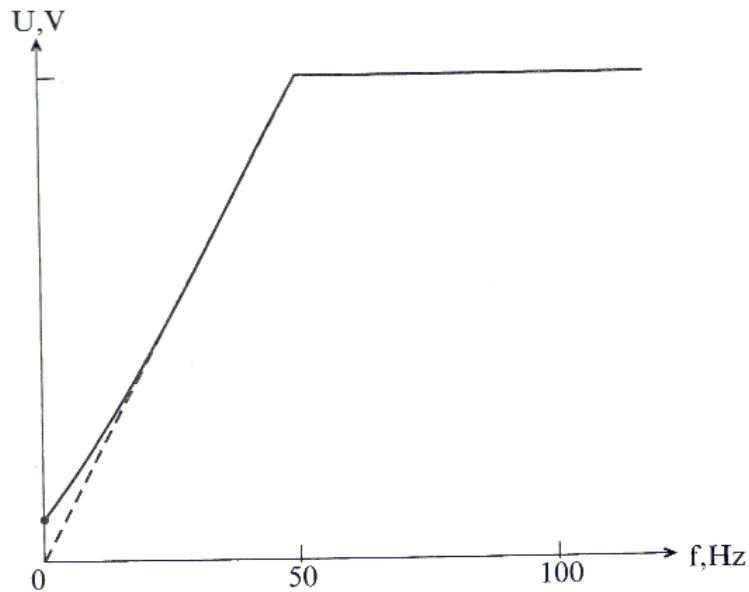
Το πρόσημο (-) δηλώνει ότι, η ροπή ενεργεί προς την κατεύθυνση μείωσης της γωνίας των δύο πεδίων και την ευθυγράμμιση τους.

### 4.3 Ρυθμιστές στροφών ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα στις ονομαστικές συνθήκες είναι γνωστή ως βασική ταχύτητα. Μια προσεκτικά σχεδιασμένη συσκευή οδήγησης επαγωγικού κινητήρα με μεταβλητή συχνότητα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευέλικτη. Η ρύθμιση της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα μπορεί να ξεκινά από ένα μικρό εύρος τιμών, και να φτάνει σε τιμές διπλάσιες της βασικής ταχύτητας. Όμως, είναι σημαντικό να καθορίσουμε κάποια όρια για την τάση και την ροπή του κινητήρα κατά τη μεταβολή της ταχύτητάς του, ώστε η λειτουργία του να είναι ασφαλής.



**Εικόνα 13: Ρύθμιση της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα με μεταβολή της συχνότητας. Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για ταχύτητες κάτω από την βασική. (Βασική ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm/m).**



**Εικόνα 14: Χαρακτηριστική ευθεία μεταβολής της τάσης στους ακροδέκτες του κινητήρα όταν μεταβάλλεται η συχνότητα του ρεύματος.**

Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητες μικρότερες της βασικής, θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στον στάτη του κινητήρα να περιορίζεται, με σκοπό να είναι ασφαλής η λειτουργία του. Η τάση εισόδου στο στάτη θα πρέπει να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της ταχύτητας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται υποβιβασμός της τάσης. Αν δεν ακολουθηθεί αυτή η διαδικασία, ο χάλυβας του στάτη οδηγείται σε κορεσμό και το ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα μπορεί να πάρει εξαιρετικά μεγάλες τιμές.

Για να γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα του υποβιβασμού της τάσης, ας σημειωθεί ότι ο επαγωγικός κινητήρας είναι βασικά ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Όπως σε κάθε μετασχηματιστή, η μαγνητική ροή στον πυρήνα ενός επαγωγικού κινητήρα, υπολογίζεται από τον νόμο του Faraday.

Ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday μας λέει ότι, η επαγόμενη ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα ισούται με το αντίθετο του ρυθμού μεταβολής, της διερχόμενης από το κύκλωμα, μαγνητικής ροής.

Αν έχουμε ένα πηνίο με  $N$  σπείρες και η ροή που περνά από κάθε σπείρα μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό, τότε η επαγόμενη ΗΕΔ δίνεται από την σχέση :

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} N$$

Η παραπάνω σχέση μας δίνει τη μέση τιμή της ΗΕΔ στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$ . Μόνο στην περίπτωση που ο ρυθμός  $\Delta\Phi/\Delta t$  δεν εξαρτάται από το πόσο μεγάλη είναι η χρονική διάρκεια  $\Delta t$  (δηλαδή αν η σχέση της ροής με τον χρόνο είναι γραμμική), η παραπάνω σχέση μας δίνει και την στιγμιαία τιμή της ΗΕΔ, η οποία προφανώς είναι σταθερή με το χρόνο. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε στην γενική περίπτωση την στιγμιαία τιμή της επαγόμενης ΗΕΔ, τότε το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  πρέπει να είναι πολύ μικρό. Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση δηλώνει ότι, αν η ροή αυξάνεται, η επαγόμενη ΗΕΔ έχει θετική τιμή.

Με βάση τα παραπάνω έχουμε :

$$\varphi = \frac{1}{N} \int U(t) \cdot dt \Rightarrow \varphi = \frac{1}{N} \int V_M \cdot \eta \mu \omega t \cdot dt \Rightarrow$$

$$\varphi = \frac{V_M}{\omega \cdot N} \cdot \sigma \upsilon \nu \omega t \quad \Rightarrow \quad \varphi = \frac{V_M}{2\pi f \cdot N} \cdot \sigma \upsilon \nu \omega t$$

Επειδή η συχνότητα  $f$  στην παραπάνω σχέση, εμφανίζεται στον παρονομαστή, αν μειωθεί κατά 10% και το πλάτος της τάσης του στάτη παραμείνει σταθερό, η μαγνητική ροή στον πυρήνα του κινητήρα αυξάνεται περίπου κατά 10% και το ρεύμα μαγνήτισης στο εσωτερικό του αυξάνεται επίσης. Στην ακόρεστη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης του κινητήρα η αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης θα είναι και αυτή περίπου ίση με 10%.

Όμως, στην κορεσμένη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης η αύξηση της μαγνητικής ροής κατά 10% απαιτεί πολύ μεγαλύτερη αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης. Οι επαγωγικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται με σκοπό να λειτουργήσουν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης και έτσι η αύξηση της μαγνητικής ροής, που οφείλεται στην μείωση της συχνότητας, προκαλεί σοβαρή αύξηση στο ρεύμα μαγνήτισης.

Στην πράξη, στους οδηγούς AC, η τάση που εφαρμόζεται στο



στάτη του κινητήρα ελαττώνεται σε ποσοστό ανάλογο με τη μείωση της συχνότητας, με σκοπό την αποφυγή εξαιρετικά μεγάλων ρευμάτων μαγνήτισης, κάθε φορά που η συχνότητα μειώνεται κάτω από την ονομαστική τιμή της. Αφού η εφαρμοζόμενη τάση  $V_m$  εμφανίζεται στον αριθμητή και η ηλεκτρική συχνότητα  $f$  στον παρονομαστή της, τα αποτελέσματα της μεταβολής τους εξουδετερώνονται μεταξύ τους, ώστε το ρεύμα μαγνήτισης να παραμένει ανεπηρέαστο.

Όταν το πλάτος της τάσης που εφαρμόζεται σε έναν επαγωγικό κινητήρα μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα σε ταχύτητες μικρότερες από την βασική, η μαγνητική ροή του κινητήρα παραμένει σχεδόν σταθερή. Έτσι η μέγιστη ροπή που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας παραμένει σχετικά υψηλή.

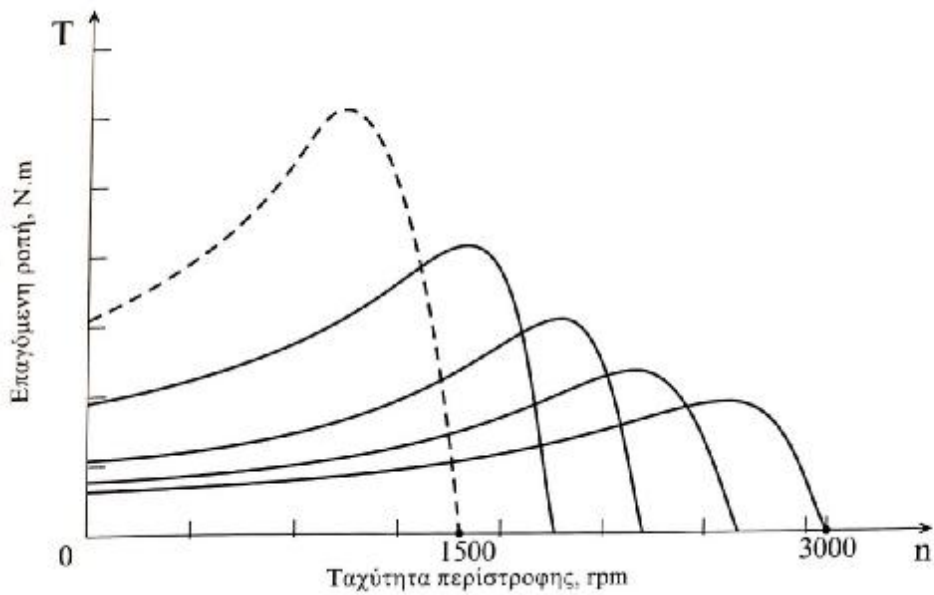
Όμως, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς του κινητήρα θα πρέπει και αυτή να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της συχνότητας, ώστε το κύκλωμα του στάτη να προστατεύεται από υπερθέρμανση.

Η ισχύς με την οποία τροφοδοτείται ένας τριφασικός κινητήρα δίνεται από την σχέση :

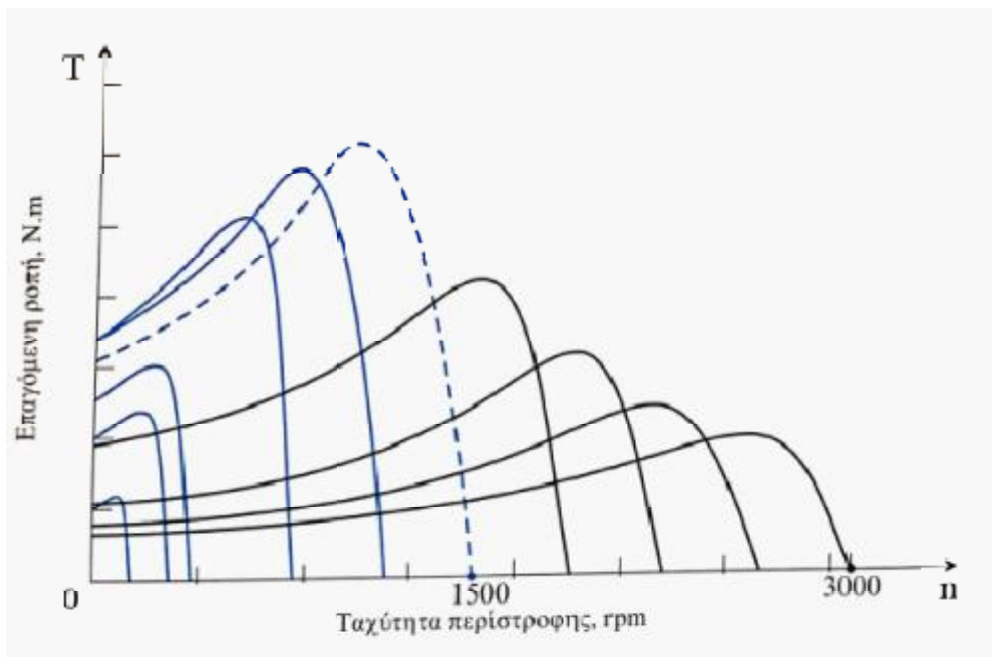
$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Αν η τάση  $U$  μειωθεί, θα πρέπει να μειωθεί και η μέγιστη ισχύς  $P$ , διαφορετικά το ρεύμα στο εσωτερικό του κινητήρα θα πάρει τόσο μεγάλες τιμές, που ο κινητήρας θα υπερθερμανθεί.

Όταν η συχνότητα το ρεύματος που εφαρμόζεται στον κινητήρα ξεπεράσει την ονομαστική συχνότητα, η τάση στο στάτη θα πρέπει να παραμείνει σταθερή. Αν και κάτω από αυτές τις συνθήκες οι περιορισμοί που αναφέραμε για τον κορεσμό του στάτη επιτρέπουν την αύξηση τάσης πάνω από την ονομαστική τιμή, η τάση συγκρατείται σε αυτή την τιμή με σκοπό την προστασία του κινητήρα.



**Εικόνα 15:** Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας σε έναν επαγωγικό κινητήρα για ταχύτητες πάνω από την βασική, στις οποίες η τάση στο στάτη παραμένει σταθερή.



**Εικόνα16:** Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα, όπου η τάση στο στάτη μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα για ταχύτητες κάτω από την βασική ταχύτητα και παραμένει σταθερή για ταχύτητες πάνω από την βασική.

Όσο η ηλεκτρική συχνότητα αυξάνεται πάνω από την συχνότητα που αντιστοιχεί στη βασική ταχύτητα, ο αριθμητής της σχέσης αυτής γίνεται παρονομαστής της σχέσης (α). Όμως, επειδή, ο αριθμητής της σχέσης αυτής για τιμές συχνότητας πάνω από την ονομαστική παραμένει σταθερός, η προκαλούμενη μαγνητική ροή στην μηχανή θα μειώνεται και μαζί της θα μειώνεται η μέγιστη ροπή του κινητήρα.

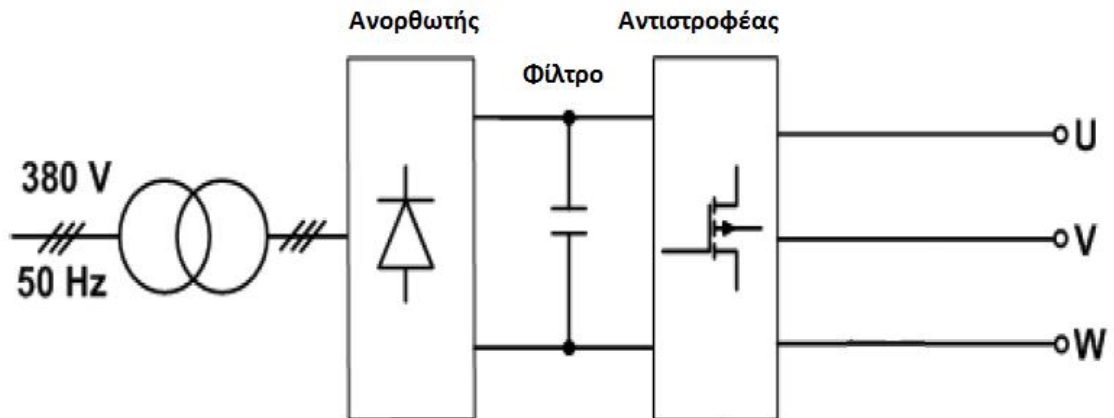
#### **4.3.1 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή συστημάτων ρυθμιζόμενης ταχύτητας.**

Στην πράξη, τα συστήματα που χρησιμοποιούμε για την ρύθμιση της ταχύτητας των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, μπορεί να είναι απλά (ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρων, συμπιεστών, αντλιών κλπ) ή μπορεί να είναι σύνθετα υψηλών αποδόσεων, για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιφερειακά υπολογιστών, σε εργαλειομηχανές, στη ρομποτική κλπ.

Ο μετατροπέας μεταβλητής συχνότητας, που περιβάλλεται ανάμεσα στο δίκτυο και στον επαγωγικό κινητήρα, θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω βασικές απαιτήσεις :

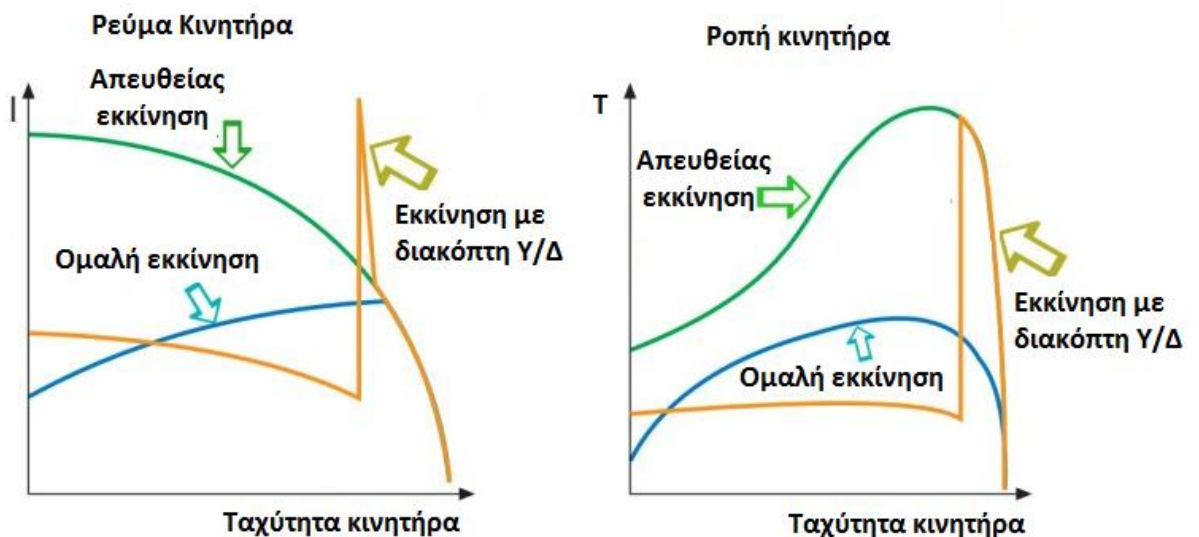
- i. Να μπορεί να ρυθμίζει τη συχνότητα του ρεύματος, σύμφωνα με την επιθυμητή ταχύτητα εξόδου.
- ii. Να μπορεί να ρυθμίζει το πλάτος της τάσης εξόδου, ώστε στην περιοχή σταθερής ροπής, να διατηρείται σταθερή η ροή διακένου.
- iii. Να μπορεί να παρέχει διαρκώς το ονομαστικό ρεύμα σε κάθε συχνότητα.

Η βασική αρχή του συστήματος διατυπώνεται στην εικόνα 25



**Εικόνα 17: Αναπαράσταση σχήματος βασικού συστήματος μετατροπέα μεταβλητή τάσης και συχνότητας.**

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται η διαφορά στο ρεύμα και στη ροπή ενός κινητήρα χρησιμοποιώντας ομαλό εκκίνητη σε σχέση με την απευθείας εκκίνηση και την εκκίνηση χρησιμοποιώντας διακόπτη αστέρα-τριγώνου



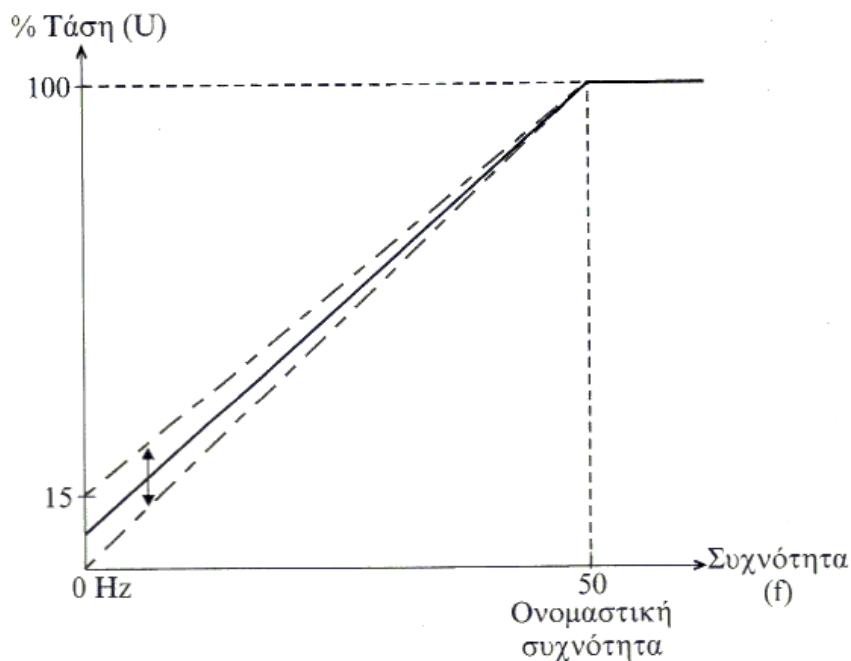
**Εικόνα 18:Ροπή και ρεύμα εκκίνησης με χρήση ομαλού εκκίνητη και σύγκριση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους εκκίνησης**

#### 4.3.2 Ενίσχυση ροπής εκκίνησης.

Επειδή οι τύποι των μηχανικών φορτίων που εφαρμόζονται σε έναν επαγωγικό κινητήρα, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, η συσκευή οδήγησης AC, έχει την δυνατότητα να παράγει ποικιλία καμπυλών τάσης-συχνότητας από τις οποίες μπορεί να επιλεγεί η πιο κατάλληλη, με σκοπό η ροπή του κινητήρα να ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη ροπή φορτίου.

Αν δώσουμε παράμετρο στον οδηγό, για υπερβολική ενίσχυση, ο κινητήρας μπορεί να τραβήξει υπερβολικό ρεύμα και να έχουμε πιθανή υπερφόρτωση του οδηγού.

Οι συσκευές οδήγησης (οδηγοί AC) επαγωγικού κινητήρα, διαθέτουν συστήματα προστασίας από υπερφορτίσεις, ισχυρά στιγμιαία ρεύματα (βραχυκυκλώματα), καταστάσεις είτε υπέρτασης είτε υπότασης είτε διακοπής μιας εκ των φάσεων τροφοδοσίας.



Εικόνα 19: Χαρακτηριστική ευθεία ενίσχυσης ροπής

### 4.3.3 Επιτάχυνση - Επιβράδυνση κινητήρα

Όταν η ταχύτητα του κινητήρα, θα πρέπει να μεταβληθεί, η συσκευή οδήγησης που τον ελέγχει, θα πρέπει να μεταβάλει τη συχνότητα, ώστε η ταχύτητα να πάρει τη νέα τιμή της.

Ο ρυθμός αύξησης της συχνότητας (επιτάχυνση) ή ο ρυθμός μείωσης (επιβράδυνση), μπορούν να καθοριστούν από τον οδηγό, τοποθετώντας την κατάλληλη παράμετρο.

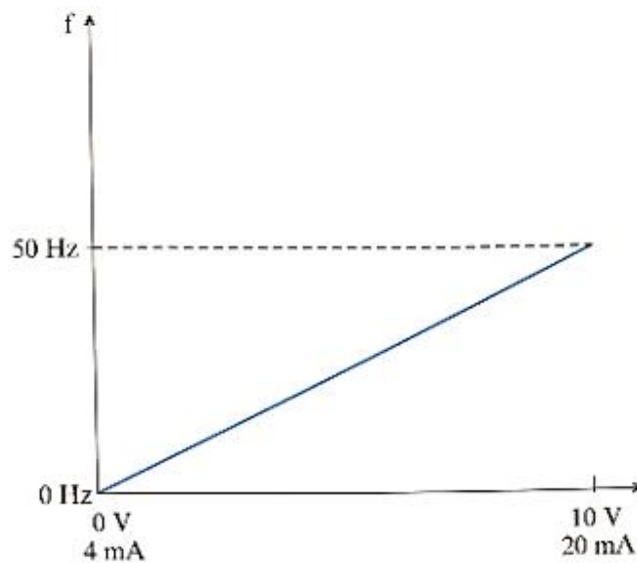
- i. Στην πράξη, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε την πιο αργή επιτάχυνση ή επιβράδυνση που είναι αποδεκτή για την εργασία μας.
- ii. Τοποθετώντας στον οδηγό AC μια πολύ γρήγορα επιτάχυνση, μπορεί να προκαλέσουμε υπερφόρτωση. Ο οδηγός, έχει την δυνατότητα να αντικαταστήσει αυτόματα τη γρήγορη επιτάχυνση ή επιβράδυνση, με μια πιο αργή.
- iii. Τοποθετώντας στον οδηγό AC την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε να έχουμε αντί της επιβράδυνσης, το ελεύθερο σταμάτημα του κινητήρα.
- iv. Τοποθετώντας στον οδηγό AC την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε να έχουμε επιτάχυνση ή επιβράδυνση με βάση μια προκαθορισμένη καμπύλη μεταβολής (ομαλή επιτάχυνση ή επιβράδυνση).

### 4.3.4 Έλεγχος συχνότητας (έλεγχος πεδίου συχνότητας).

Τοποθετώντας μια ελάχιστη και μια μέγιστη συχνότητα με την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε ανάμεσα στα δύο αυτά σημεία, να έχουμε μια γραμμική μεταβολή της συχνότητας.

- **Λειτουργία με μειωμένο φορτίο** : Δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό AC, μπορούμε σε λειτουργία με μειωμένο φορτίο, να έχουμε μείωση του θορύβου και των απωλειών.
- **Ελεγχόμενη εκκίνηση** : Για εφαρμογές με ειδικά φορτία, μπορούμε δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό AC, να έχουμε μια ομαλότερη εκκίνηση (ράμπα εκκίνησης).

**Ελεγχόμενο σταμάτημα** : Για εφαρμογές με ειδικά φορτία, μπορούμε δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό

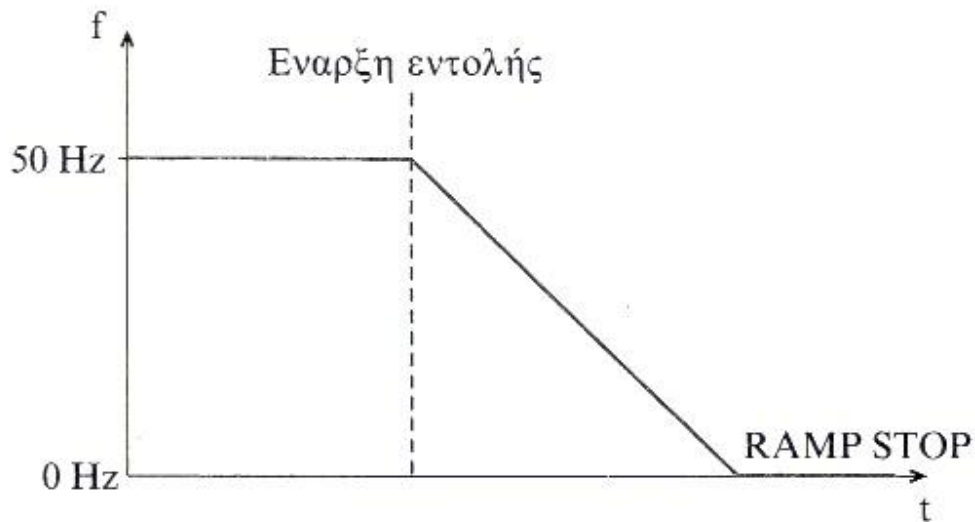


**Εικόνα 20: Σημείο ελάχιστης συχνότητας 0 Hz, σημείο μέγιστης συχνότητας 50 Hz.**

Με κατάλληλη παράμετρο μπορούμε να έχουμε ελεύθερο σταμάτημα ή σταμάτημα (φρενάρισμα) με συνεχές ρεύμα (DC).

#### **4.3.5 Τοποθέτηση πλάτους αναπήδησης περιοχών (ζώνες συχνότητας).**

Μπορούμε να κρατάμε εκτός περιοχές συχνοτήτων (γύρω από τα σημεία λειτουργίας), για να αποφεύγουμε συντονισμούς των φυσικών μηχανικών συστημάτων.



**Εικόνα 21: Ομαλό σταμάτημα (ράμπα)**

#### **4.3.6 Τοποθέτηση μέγιστης συχνότητας κινητήρα**

Η συχνότητα αυτή μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική συχνότητα του κινητήρα. Παράδειγμα για ονομαστική συχνότητα κινητήρα 50 Hz μπορούμε να έχουμε μέγιστη συχνότητα 75 ή 100 Hz. Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη τάσης/συχνότητας μετά τα 50 Hz είναι ευθεία γραμμή.

Μια από τις συνηθισμένες εφαρμογές του οδηγού AC (converter frequency), είναι ο έλεγχος της πίεσης αντλητικού συγκροτήματος, που να παρέχει σε μας ακριβή και γρήγορα αποτελέσματα.

Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε κατάλληλο αισθητήρα πίεσης.



#### **4.4 Λειτουργία οδηγού AC (Inverter) μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (PC).**

Υπάρχουν μοντέλα οδηγών AC, που είναι εξοπλισμένα με ειδικό συνδέτη (Interface) για να μπορούν να επικοινωνούν μέσω ειδικού προγράμματος με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στην περίπτωση αυτή έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθούμε στην οθόνη του PC τη λειτουργία του κινητήρα, τη θερμοκρασία του, το ρεύμα που απορροφά κλπ. Μπορούμε μέσω πληκτρολογίου να δίνουμε αριθμητικές τιμές (παραμέτροι) για τις περιοχές λειτουργίας του συστήματος αντί των προσαρμογών με το ποτενσιόμετρο.

Στους οδηγούς AC με δυνατότητα σύνδεσης με PC μπορούμε να αποθηκεύουμε στη μνήμη τα σετ των παραμέτρων και να τα επαναφέρουμε για χρήση σε άλλες περιοχές λειτουργίας και σε άλλες εφαρμογές.

Όταν έχουμε σύνδεση δύο κινητήρων στον ίδιο οδηγό AC (διαδοχική εκκίνηση), έχουμε τη δυνατότητα μέσω του PC να δίνουμε διαφορετικά στοιχεία (παραμέτρους) για κάθε κινητήρα.

Τέλος εκτός από την παρακολούθηση των βασικών λειτουργιών του κινητήρα έχουμε την δυνατότητα εκκίνησης και σταματήματος μέσω του πληκτρολογίου του PC.

Το κοστολόγιο για τις περιπτώσεις σύνδεσης και ελέγχου οδηγού AC και κινητήρων μέσω PC είναι αρκετά μεγαλύτερο από εκείνο της σύνδεσης μέσω ποτενσιόμετρου ή τοπικού πληκτρολογίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (Soft Starter)

#### 5.1 Γενικά.

Τα ηλεκτρονικά ισχύος (ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινητές και ρυθμιστές στροφών) αρχίζουν να υιοθετούνται όλο και περισσότερο σε διάφορους τομείς της βιομηχανικής, της βιοτεχνικής και της αγροτικής παραγωγής.

Οι ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινητές είναι η πρωτοπορία της τεχνικής στον τομέα της εκκίνησης του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η χρησιμοποίησή τους ενδείκνυται όταν :

- i. Η εκκίνηση με πλήρη τάση (κλασικοί τρόποι εκκίνησης) δεν είναι δυνατή.
- ii. Πρέπει να περιοριστεί η πτώση τάσης της γραμμής τροφοδοσίας, μέσα στα καθορισμένα και επιτρεπτά όρια.
- iii. Πρέπει να αποφευχθούν γρήγορες και απότομες αλλαγές ταχύτητας κατά την εκκίνηση.
- iv. Πρέπει να μην υπάρξουν τα μεταβατικά φαινόμενα που δημιουργούνται στο δίκτυο και στον κινητήρα με τον κλασικό εκκινητή.
- v. Πρέπει να αποφευχθεί η υπερβολική φθορά στα μηχανικά μέρη που μεταδίδουν την κίνηση όπως οι ηλεκτρομειωτήρες, οι αλυσίδες, οι ιμάντες κλπ.

Οι σπουδαιότερες λειτουργίες των Ηλεκτρονικών Ομαλών Εκκινητών είναι :

- i. Ομαλή εκκίνηση.
- ii. Περιορισμός ρεύματος εκκίνησης.
- iii. Εξοικονόμηση ενέργειας σε λειτουργία με μερικό φορτίο.
- iv. Ομαλή στάση.
- v. Πέδηση με συνεχές ρεύμα.
- vi. Ειδικό πρόγραμμα εκκίνησης και σταματήματος αντλιών για την αποφυγή των υδραυλικών πληγμάτων.

Χάρη στις πολλαπλές τους δυνατότητες ρύθμισης και τις ενσωματωμένες τους λειτουργίες, μπορούν να τοποθετηθούν πρακτικά, σχεδόν παντού, όπως για παράδειγμα :

- i. Ανεμιστήρες.
- ii. Αντλίες.
- iii. Συμπιεστές.
- iv. Μεταφορικές ταινίες.
- v. Μύλους, σπαστήρες.
- vi. Μηχανές ακονίσματος.
- vii. Πριόνια.
- viii. Αναδευτήρες.
- ix. Πρέσες, κλπ.

## 5.2 Αρχή λειτουργίας.

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

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

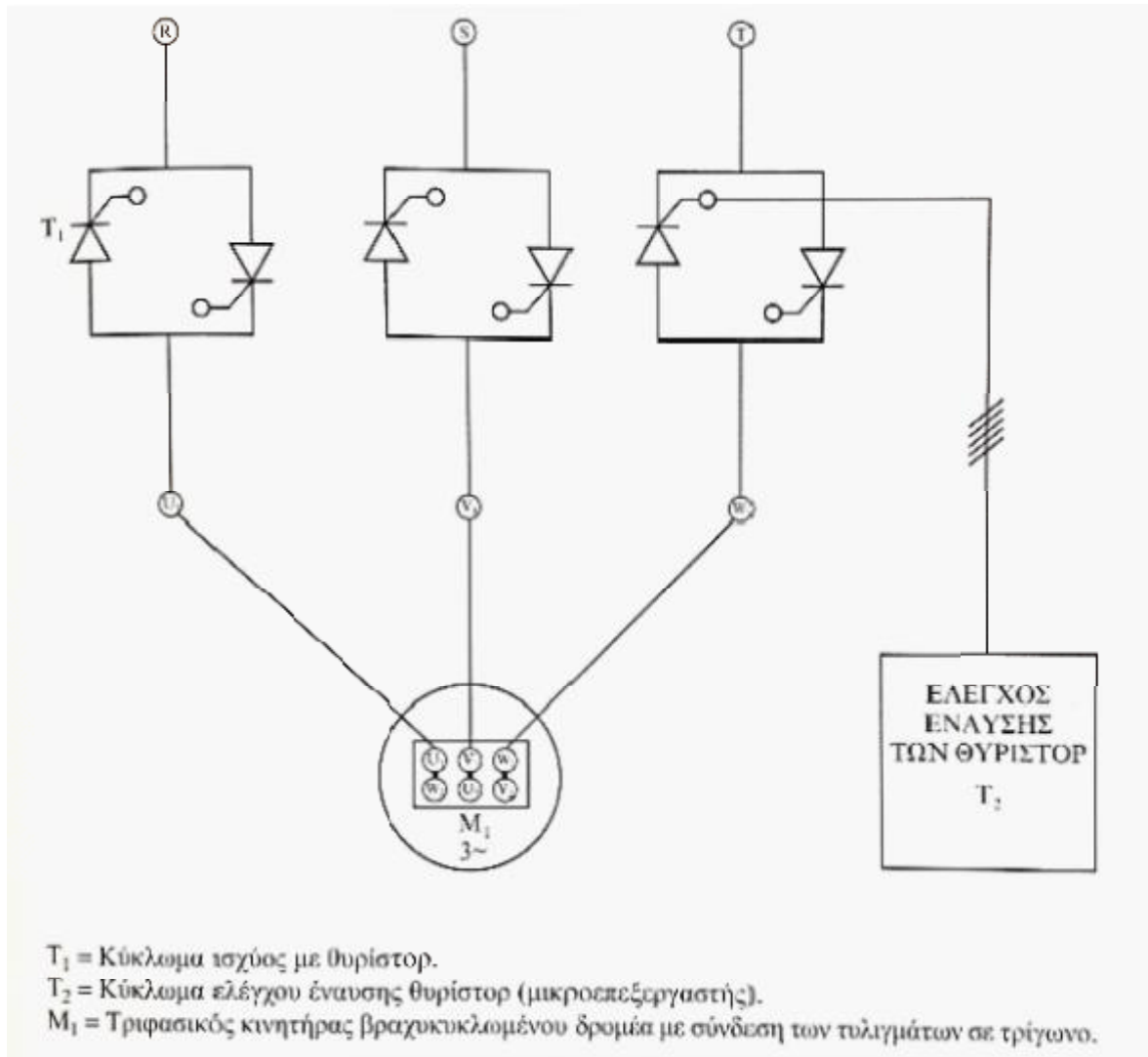
Στην επιβράδυνση το ρεύμα του κινητήρα είναι συνάρτηση της ροπής του φορτίου και του επιλεγόμενου χρόνου επιβράδυνσης.

Οι ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινητές, αποτελούνται

- i. Από το κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ.
- ii. Από το κύκλωμα ελέγχου με θυρίστορ.

Ο εκκινητής ψαλιδίζει την τάση του δικτύου ελέγχοντας τη γωνία έναυσης των θυριστόρ. Με αυτό τον τρόπο ελέγχει το ύψος της τάσης που εφαρμόζεται στις άκρες του κινητήρα τη στιγμή της εκκίνησης.

Η γωνία έναυσης των θυριστόρ ελέγχεται από έναν μικροεπεξεργαστή, ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει όλες τις παραμέτρους του κινητήρα. Ο επεξεργαστής συνεχίζει να παρακολουθεί τον κινητήρα και μετά το στάδιο της εκκίνησης.



**Εικόνα 22:  $T_1$  = Κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ,  $T_2$ = Κύκλωμα ελέγχου έναυσης θυρίστορ μικροεπεξεργαστής),  $M_1$ = Τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα με σύνδεση των τυλιγμάτων σε τρίγωνο.**

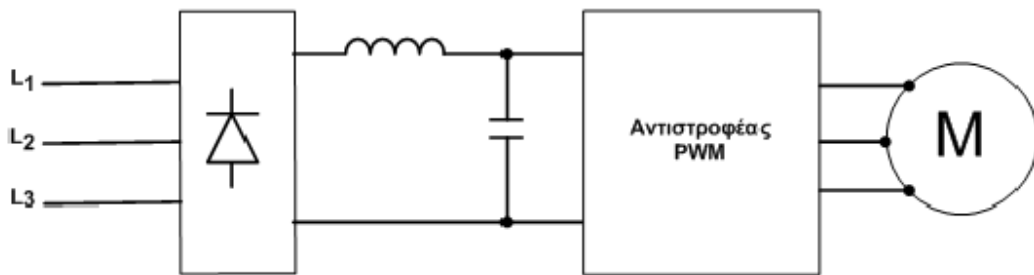
Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει τη γωνία ανάμεσα στην τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα, δηλαδή ελέγχει τον συντελεστή ισχύος (συνφ) του κινητήρα. Όταν έχουμε μείωση του φορτίου, επομένως και μείωση του συνφ του κινητήρα, ο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

Όλα τα συστήματα που κάνουν ψαλιδισμό τάσης του δικτύου, προκαλούν σε αυτό αρμονικές. Τα soft starter πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε, να μη δημιουργούνται ή να ελαχιστοποιούνται τα αρμονικά ρεύματα από την αρχή.

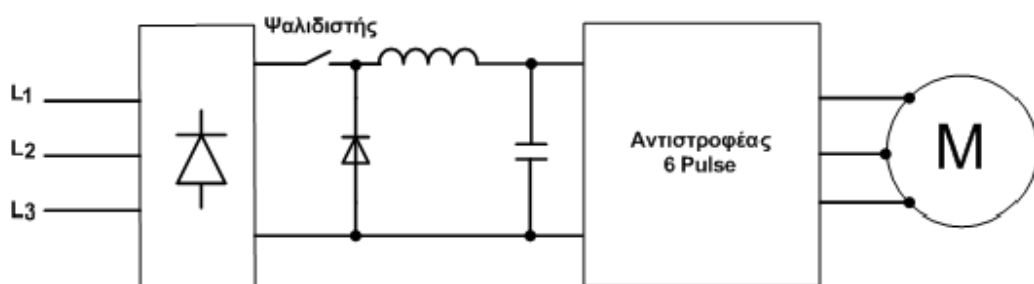
Από άποψη κυκλωμάτων ισχύος, τρεις δυνατές κυκλωματικές τοπολογίες μπορεί κανείς να συναντήσει. Στην εικόνα 35α φαίνεται ο ρυθμιστής στροφών με την αποκλειστική σχεδόν χρήση στα κινητήρια συστήματα μικρής και μεσαίας ισχύος. Η είσοδος μπορεί να είναι 1Φ ή 3Φ δίκτυο (σταθερή συχνότητα και τάση) και η έξοδος 3Φ (μεταβλητή συχνότητα και τάση). Η συνεχής τάση στην είσοδο του αντιστροφέα τάσης παραμένει σταθερή. Ελέγχοντας τον αντιστροφέα με τις τεχνικές Διαμόρφωσης Εύρους Παλμού (**Pulse Width Modulation**) επιτυγχάνουμε μέσα στον ίδιο τον αντιστροφέα τη διατήρηση του λόγου  $V/f$ , μεταβάλλοντας ταυτόχρονα και την τάση και την συχνότητα εξόδου. Λόγω του μη ελεγχόμενου ανορθωτή, η ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση είναι αδύνατη. Πλεονεκτεί όμως, γιατί το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας είναι σχεδόν απαλλαγμένο από αρμονικό περιεχόμενο (λιγότερος θόρυβος και θέρμανση) και έχει μικρότερο κόστος (μία ελεγχόμενη διάταξη ισχύος).

Στην εικόνα 35β ο ψαλιδιστής της τάσης (chopper) μεταβάλλει την συνεχή τάση στην είσοδο (και έμμεσα στην έξοδο) του αντιστροφέα και ο αντιστροφέας ελέγχει μόνο τη συχνότητα. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος ελέγχου του αντιστροφέα είναι γνωστή σαν «μέθοδος 6 παλμών, 6 pulse» ή «τετραγωνικών παλμών, square wave» και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης της τάσης κατά την αντιστροφή της (από DC σε AC). Ο ρυθμιστής στροφών αυτού του τύπου έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή.

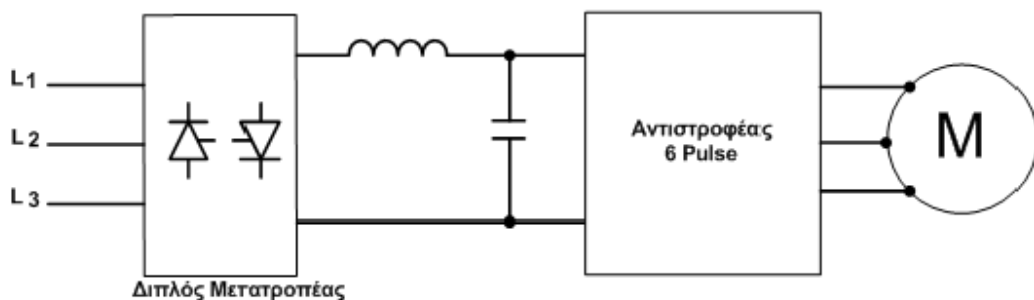
Τέλος, στην εικόνα 35γ η τάση μεταβάλλεται από τον διπλό πλήρως ελεγχόμενο μετατροπέα και η συχνότητα από τον αντιστροφέα 6 παλμών. Πλεονέκτημα αυτού του ρυθμιστή είναι ότι επιτρέπει πέδηση με ανάκτηση της ενέργειας, ενώ μειονεκτεί, γιατί λειτουργεί με μικρό συντελεστή ισχύος στις μικρές ταχύτητες (μικρή συχνότητα → μικρή τάση → μεγάλη γωνία έναυσης). Το ρυθμιστή στροφών αυτού του τύπου συναντάμε σε κινητήρια συστήματα μεγάλης ισχύος για να εκμεταλλευόμαστε την αναγεννητική πέδηση.



(α) Σταθερή DC και αντιστροφέας PWM



(β) Μεταβλητή DC και αντιστροφέας 6 Pulse

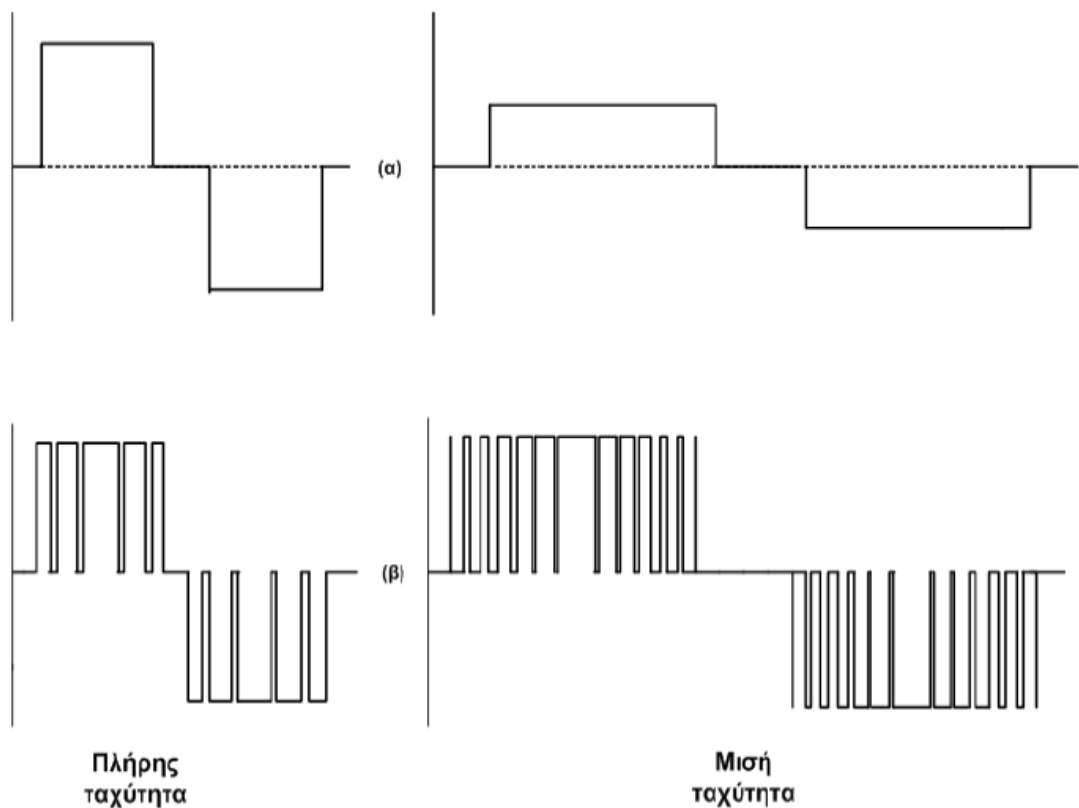


(γ) Μεταβλητή DC και αντιστροφέας 6 Pulse

### Εικόνα 23: Διάφοροι τύποι ρυθμιστών στροφών επαγωγικών κινητήρων

Αναφορικά με τους ρυθμιστές στροφών, που προαναφέραμε, είναι πολύ χρήσιμο να υπενθυμίσουμε τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η σταθερή σχέση τάσης προς συχνότητα ( $V/f$ ). Στην εικόνα 36 φαίνονται οι δύο διαφορετικές μέθοδοι ελέγχου και ειδικότερα το πώς η βασική τάση ελαττώνεται στο μισό, όταν και η συχνότητα έχει τη μισή τιμή της βασικής συχνότητας. Οι αντιστροφείς 6 παλμών απαιτούν να υπάρχει μεταβλητή τάση (DC) στην είσοδο, σε αντίθεση με τους αντιστροφείς PWM, που η συνεχής τάση στην είσοδο παραμένει σταθερή. Στους αντιστροφείς PWM η μεταβολή της τάσης (AC) στην έξοδο προκαλείται μέσα στον ίδιο τον αντιστροφέα με την τεχνική του ψαλιδισμού. Μία ακόμα σημαντική διαφορά στους δύο

προαναφερθέντες τύπους αντιστροφών είναι η συχνότητα λειτουργίας των ημιαγωγικών διακοπών (διακοπτική συχνότητα), σε σχέση με τη συχνότητα εξόδου. Στους μεν αντιστροφείς 6 Pulse η διακοπτική συχνότητα είναι ίδια με αυτή της εξόδου, ενώ στους αντιστροφείς PWM η διακοπτική συχνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα εξόδου. Η παραπάνω βασική διαφοροποίηση φαίνεται εύκολα με την παρατήρηση των παρακάτω κυματομορφών.



**Εικόνα 24: Τύποι αντιστροφών τάσης. α) 6 παλμών. β) PWM**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

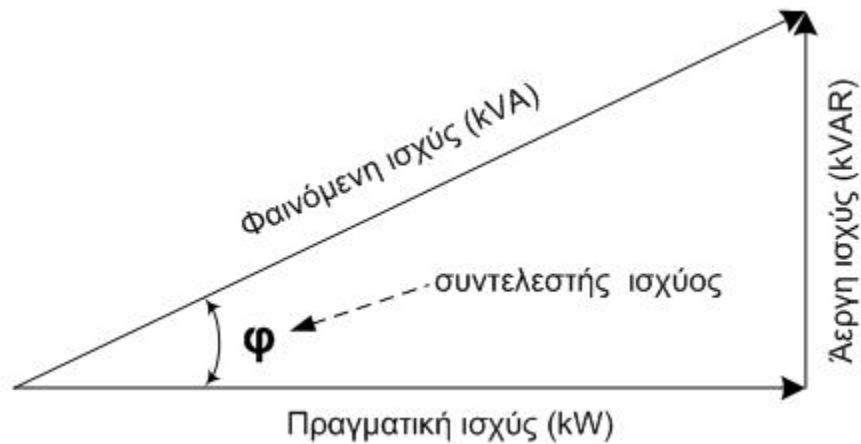
#### 6.1 Συντελεστής ισχύος

Κατά τη σχεδίαση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης και ειδικότερα αν πρόκειται για βιομηχανική εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει πλήθος συσκευών και μηχανημάτων πρέπει να ληφθεί σοβαρή μέριμνα για το συντελεστή ισχύος που αυτή εμφανίζει όταν τροφοδοτηθεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο συντελεστής ισχύος εκφράζει το ποσοστό εκμετάλλευσης της απορροφούμενης ισχύος από ένα δίκτυο και τη μετατροπή της σε ωφέλιμη για τον καταναλωτή ενέργεια.

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα υπάρχουν τρία είδη διαφορετικών ισχύων, η ενεργός, η άεργος και η φαινόμενη. Η ενεργός ισχύς: είναι το ποσό της ισχύος το οποίο καταναλώνεται για την παραγωγή έργου και μετράται σε Watt. Η άεργος ισχύς οφείλεται στο ότι οι ηλεκτρικές μηχανές για την λειτουργία τους απαιτούν τη δημιουργία ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η απαιτούμενη για την δημιουργία αυτού του πεδίου ισχύς δεν αποδίδει ωφέλιμο έργο και μετράται σε Var. Η φαινόμενη ισχύς είναι το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα. Πρόκειται ουσιαστικά για τη συνολικά απορροφούμενη ισχύ από το δίκτυο τροφοδοσίας της οποίας ένα μέρος μετατρέπεται σε ενεργό ισχύ και το υπόλοιπο σε άεργο ισχύ που δεν παράγει ωφέλιμο έργο και η οποία κάποια στιγμή αποδίδεται πάλι στο δίκτυο τροφοδοσίας. Η φαινόμενη ισχύς μετράται σε VA.

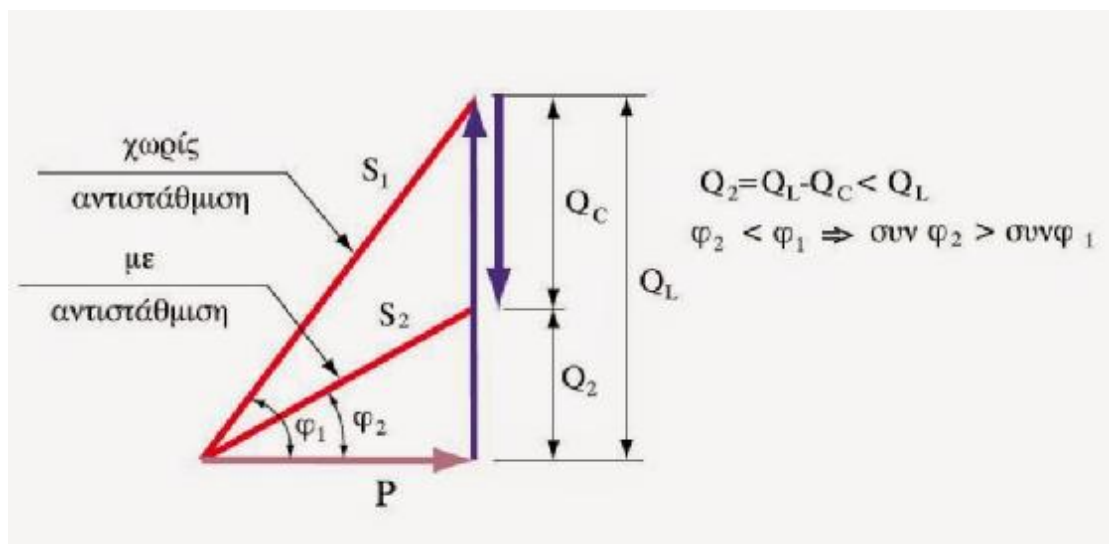
Η γωνία μεταξύ φαινόμενης και ενεργού ισχύος συμβολίζεται με το γράμμα  $\varphi$ . το συνημίτονο της γωνίας  $\varphi$  ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Με βάση το τρίγωνο παρατηρούμε ότι η ενεργός τιμή μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με το συντελεστή ισχύος. Όσο η τιμή του  $\cos\varphi$  πλησιάζει το 1 τόσο η τιμή της ενεργού ισχύος μεγαλώνει. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία  $\varphi$  τόσο μεγαλύτερη είναι και η άεργος ισχύς που απορροφάται και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερο το συνολικό απορροφούμενο ρεύμα.





**Εικόνα 25: Ο υπολογισμός του συντελεστή ισχύος (συνθ)**

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση κύρια επιδίωξη μας είναι να κρατάμε τη τιμή του συντελεστή ισχύος όσο το δυνατόν κοντά στην μονάδα. Καθώς η συμπεριφορά των καταναλώσεων είναι κατά πλειοψηφία επαγωγική για την αντιστάθμιση χρησιμοποιούμε καταναλώσεις με χωρητική συμπεριφορά μεγιστοποιώντας με αυτό τον τρόπο την τιμή του συντελεστή ισχύος που παρουσιάζει η εγκατάσταση. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται διόρθωση του συντελεστή ισχύος. Στην ουσία με τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος επιδιώκουμε να ελαττώσουμε όσο γίνεται περισσότερο την άεργο ισχύ και να μπορούμε συνεπώς να εκμεταλλευτούμε όλη την ισχύ που μπορεί η πηγή να μας προσφέρει.



**Εικόνα 26: Αντιστάθμιση άεργου ισχύος**

Επιτυγχάνοντας τιμή του συντελεστή ισχύος πλησίον της μονάδας περιορίζουμε το άεργο απορροφούμενο από την εγκατάσταση ρεύμα στο λιγότερο δυνατό και συνεπώς

αποφεύγουμε την άσκοπη καταπόνηση της εγκατάστασης με ρεύμα το οποίο δεν παράγει ωφέλιμο έργο.

## 6.2 Γενικά.

Ο ευκολότερος και ίσως ο αμεσότερος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ορθολογική χρήση των συσκευών, η χρήση συσκευών υψηλής ενεργειακής κλάσης καθώς και η ενεργειακή απόδοση των εγκαταστάσεων. Όλα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε μερική αλλά άμεση εξοικονόμηση ενέργειας. Η συνηθέστερη μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας που αφορά όμως μόνο τους καταναλωτές μέσης τάσης είναι η αντιστάθμιση της εγκατάστασης.

Τα ηλεκτρικά φορτία χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- Ωμικά: Όλες η συσκευές που έχουν αντιστάσεις όπως ηλεκτρικές κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά σίδερα κλπ. Τα ωμικά δεν χρησιμοποιούν άεργο ισχύ επειδή το ρεύμα είναι συμφασικό με την τάση. Σαν ωμικά φορτία χαρακτηρίζονται από τη ΔΕΗ όλοι οι οικιακοί καταναλωτές.
- Χωρητικά: Σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες, πυκνωτές. Τα χωρητικά φορτία παράγουν άεργο επειδή το ρεύμα προηγείται της τάσης.
- Επαγωγικά: Τα επαγωγικά φορτία είναι καταναλωτές άεργου ισχύος επειδή η τάση προηγείται του ρεύματος. Τέτοιες συσκευές είναι ψυγεία, κλιματιστικά, ασύγχρονοι κινητήρες, φωτιστικά εκκένωσης αέριων, μετασχηματιστές κλπ.

Τα φορτία αυτά βρίσκονται στο σύνολο των εμπορικών καταστημάτων και βιοτεχνιών – βιομηχανιών.

Όλα τα επαγωγικά φορτία για να λειτουργήσουν χρειάζονται 2 είδη ισχύος. Την ενεργό ισχύ (KW) και την άεργο ισχύ (KVA<sub>r</sub>). Η άεργος ισχύς είναι μη παραγωγική, αλλά χρησιμοποιείται από τα επαγωγικά φορτία για να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, χωρίς το οποίο η κινητήρες δεν μπορούν να ξεκινήσουν και να λειτουργήσουν παράγοντας το έργο για το οποίο τους έχουμε προμηθευτεί.

Ο συντελεστής ισχύος ορίζεται ως το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζουν η τάση και το ρεύμα. (συνφ). Το συνφ παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο μικρότερο είναι το συνφ, τόσο μικρότερη είναι η φαινόμενη ισχύς για τις ίδιες τιμές ρεύματος και τάσης. Ακόμη, για δεδομένη τάση και ισχύ, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα αυξάνεται για μικρά συνφ και ελαττώνεται για μεγάλα συνφ. Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από τη

συγκρότηση του κυκλώματος και μπορεί να βελτιωθεί.

Ένας τρόπος εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Σκοπός της αντιστάθμισης είναι η μείωση της άεργου ισχύος που απορροφά μια ηλεκτρική εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, μέσω αύξησης της χωρητικής άεργης ισχύος, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει όσο το δυνατόν την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει τη μονάδα.

Το συνφ στην πράξη είναι επαγωγικό. Οι καταναλωτές παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο επαγωγική συμπεριφορά. Οι καταναλωτές που εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά και έχουν χαμηλό συνφ είναι :

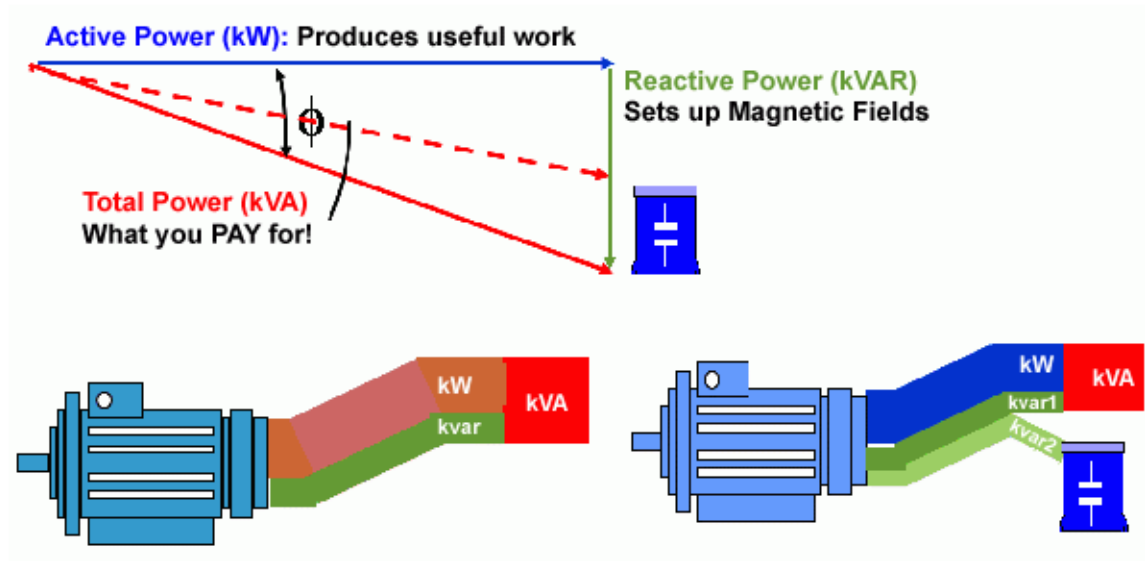
- i. Οι κινητήρες Ε.Ρ.
- ii. Οι μετασχηματιστές.
- iii. Όλα τα είδη λαμπτήρων φθορισμού.
- iv. Τα ηλεκτρονικά ισχύος.

Το συνφ στους παραπάνω καταναλωτές κυμαίνεται από 0.5 έως 0.7 περίπου. Όσο πιο χαμηλό είναι το συνφ, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιβάρυνση των δικτύων με άεργη ισχύ. Αποτέλεσμα αυτής της επιβάρυνσης, είναι η αύξηση του συνολικού ρεύματος και η επιφόρτιση των γραμμών μεταφοράς, χωρίς καμία αύξηση της πραγματικής ισχύος.

Για να περιορίσουμε την άεργη ισχύ, τοποθετούμε παράλληλα προς την κατανάλωση πυκνωτές. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αντιστάθμιση. Όταν οι πυκνωτές συνδέονται στην κεντρική παροχή της εγκατάστασης έχουμε βελτίωση του συνφ ολόκληρης της εγκατάστασης και η διαδικασία αυτή ονομάζεται **κεντρική αντιστάθμιση**.

Με την αντιστάθμιση έχουμε μείωση της άεργης ισχύος, ενώ η πραγματική ισχύς παραμένει αμετάβλητη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού ρεύματος γραμμών του δικτύου. Όταν μειώνεται η άεργη ισχύς, τα δίκτυα μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερη πραγματική ισχύ, με την ίδια διατομή αγωγών.

Η αύξηση του συντελεστή ισχύος (συνφ) σε μηνιαία βάση επιβάλλεται για να έχουμε χαμηλό λογαριασμό κατανάλωσης. Η μείωση γίνεται αισθητή για τιμές συνφ > 0,85. Όταν η διόρθωση γίνεται για τιμές μεγαλύτερες του 0,95 θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για το υπερβολικό κόστος που προκύπτει από τους πυκνωτές.



**Εικόνα 27: Σχηματική αναπαράσταση οικονομίας με χρήση αντιστάθμισης**

Η κεντρική αντιστάθμιση αφορά τη βελτίωση του συνφ ολόκληρης της εγκατάστασης και γίνεται σε ξεχωριστό πεδίο στον γενικό πίνακα. Με τη βοήθεια των οργάνων παρακολούθησης και του προγραμματιστή, παρεμβάλλονται κάθε φορά τόσοι πυκνωτές, όσοι είναι απαραίτητοι για τη βελτίωση του συνφ στην επιθυμητή τιμή.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος (με στόχο την επίτευξη  $\cos(\phi) > 0.95$ ), παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής και στον καταναλωτή:

- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής -διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία και τη σημαντική μείωση απωλειών ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Μείωση της χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης που εμφανίζεται στα βιομηχανικά τιμολόγια πελατών μέσης τάσεως της ΔΕΗ, με αποτέλεσμα μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο παροχής (από το μετρητή της ΔΕΗ μιας εγκατάστασης μέχρι τη συστοιχία των πυκνωτών) λόγω της μείωσης του απορροφούμενου ρεύματος.

## 6.3 Επιμέρους συσκευές κεντρικής αντιστάθμισης

### 6.3.1 Ψηφιακός ρυθμιστής αέργου ισχύος.

Ο ψηφιακός ρυθμιστής είναι σχεδιασμένος να εξασφαλίζει το βέλτιστο συντελεστή ισχύος στην εγκατάσταση και μια ίση χρήση των συστοιχιών πυκνωτών και των επαφών διακοπής.

Ο ψηφιακός ρυθμιστής πρέπει να περιλαμβάνει :

- i. Κύκλωμα ελέγχου με μικροεπεξεργαστή με υψηλή απόδοση.
- ii. Ακριβές σύστημα μέτρησης ακόμη και παρουσία αρμονικών.
- iii. Εύκολη εγκατάσταση.
- iv. Διπλή βοηθητική τάση τροφοδοσίας.
- v. Είσοδο μέτρησης ρεύματος.
- vi. Είσοδο μέτρησης τάσης.
- vii. Μέτρηση ρεύματος RMS, ακόμη και παρουσία αρμονικών.
- viii. Αυτόματη “έξυπνη” ρύθμιση.
- ix. Ρυθμιζόμενη ευαισθησία (χρονική ολοκλήρωση).
- x. Το ίδιο βήμα καθυστέρησης αποσύνδεσης (ρυθμιζόμενο).
- xi. Ίση χρησιμοποίηση των βημάτων (αυτόματη αποθήκευση του αριθμού χειρισμού των ρελέ και του χρόνου λειτουργίας κάθε συστοιχίας πυκνωτών).
- xii. Γραμμή παρακολούθησης : συντελεστή ισχύος, ρεύμα και συχνότητα



Εικόνα 28 : Ψηφιακός ρυθμιστής αέργου ισχύος.

**Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακού ρυθμιστή αέργου ισχύος (Στοιχεία κατασκευαστή)**

a/a	Ονομασία χαρακτηριστικού	Τιμές - Στοιχεία
1	ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ	
	Τάση τροφοδοσίας:	110-127/220-240 V AC (Διπλή τάση)
	Όρια λειτουργίας:	-15 % +10 %
	Κατανάλωση:	10 VA
	Συχνότητα:	50 Hz
2	ΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	
	Εύρος τάσης:	80-500 V AC
	Είσοδος ισχύος:	1,2 W
	Συχνότητα:	50- Hz
3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ	
	Ονομαστική ένταση:	5 A (δευτερεύον Μ/Σ έντασης 5 A)
	Ικανότητα υπερφόρτισης:	+20 %
	Κορυφή υπερφόρτισης:	10 Ie για 20 msec
	Είσοδος ισχύος:	1 VA
4	ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	
	Εύρος συντελεστή ισχύος:	0,85 επαγωγικό έως 0,95 χωρητικό
	Εύρος μέτρησης έντασης:	5-100 % Ie
	Εύρος ευαισθησίας:	5-600 sec/βήμα
	Καθυστέρηση επανασύνδεσης:	20-400 sec
	Διαμόρφωση βημάτων:	ελεύθερη
5	ΡΕΛΕ ΕΞΟΔΟΥ	
	Βήματα:	5, 7, 14 (ανάλογα με τον τύπο της μονάδας)
	Ικανότητα επαφής:	5 A - 250 V AC (περιλαμβάνει φίλτρο RC)
6	ΔΙΑΦΟΡΑ	
	Θερμοκρασία λειτουργίας:	0 έως 55 °C
	Βαθμός προστασίας:	IP41 (χωρίς κάλυμμα) IP54 (με κάλυμμα)
	Βάρος 5 και 7 βημάτων:	920 gr
	Βάρος 14 βημάτων:	1040 gr

## 6.4 Πυκνωτές.

Υπάρχουν σετ πυκνωτών με καθορισμένη χωρητικότητα και άεργη ισχύ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι :

- i. Ονομαστική τάση : 230/400/415/550 V.
- ii. Ονομαστική συχνότητα : 50 Hz.
- iii. Περιοχή θερμοκρασίας : -25/+50 βαθμούς κελσίου.
- iv. Ανοχή χωρητικότητας : -5% +10%.
- v. Μέγιστη τάση λειτουργίας :  $1,10 \cdot U_n$ .
- vi. Μέγιστη ένταση λειτουργίας :  $1,31 \cdot I_n$ .
- vii. Τύπος συνδεσμολογίας : τρίγωνο ( $\Delta$ ).
- viii. Standards : CEI-EN60831

**Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά στοιχεία πυκνωτών βελτίωσης συνφ.**

α/α	Άεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικ ότητα (μF)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
1	2,50	230	6,28	150	-
2	5,00	230	12,56	300	-
3	7,50	230	18,89	450	-
4	10,00	230	25,12	600	-
5	15,00	230	37,68	900	-
6	20,00	230	50,25	1200	-
7	25,00	230	62,82	1500	-
8	2,50	400	3,60	50	-
9	5,00	400	7,20	100	-
10	7,50	400	10,80	150	-
11	10,00	400	14,40	200	-
12	12,50	400	18,00	250	-
13	15,00	400	21,60	300	-
14	20,00	400	28,90	400	-
15	25,00	400	36,12	500	-
16	30,00	400	43,35	600	-
17	40,00	400	57,80	800	-
18	50,00	400	72,50	1000	-
19	60,00	400	86,70	1200	-
20	70,00	400	101,0	-	10,20,20,20
21	80,00	400	115,4	-	20,20,20,20
22	90,00	400	130,0	-	10,20,20,40

α/α	Άεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικ ότητα (μF)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
23	100,0	400	144,3	-	20,20,20,40
24	110,0	400	158,3	-	10,20,40,40
25	120,0	400	173,2	-	20,20,40,40
26	125,0	400	180,4	-	25,20,40,40
27	137,5	400	198,7	-	12,5,25,50,50
28	150,0	400	216,5	-	25,25,50,50
29	175,0	400	252,0	-	25,25,50,50
30	200,0	400	288,0	-	25,25,50,50,50
31	225,0	400	324,0	-	25,50,50,50,50
32	250,0	400	360,0	-	50,50,50,50,50
33	275,0	400	369,0	-	25,50,50,50,50,50
34	300,0	400	433,0	-	50,50,50,50,50,50
35	325,0	400	469,0	-	25,50,50,50,50,50,50
36	350,0	400	505,0	-	50,50,50,50,50,50,50
37	400,0	400	578,0	-	50,50,50,50,50,50,50,50
38	450,0	400	648,0	-	50,50,50,50,50,50,50,50,50



α/α	Άεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικ ότητα (μF)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
39	500,	400	720		50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50

## 6.5 Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος

Η άεργος ισχύς είναι μη παραγωγική ισχύς, η οποία είναι αναγκαία αφενός για τη λειτουργία ορισμένων ευρέως διαδεδομένων φορτίων, και αφετέρου για τη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε φορτίο που περιλαμβάνει εξοπλισμό η λειτουργία του οποίου απαιτεί τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων εμφανίζει κατανάλωση άεργου ισχύος, δηλαδή έχει «επαγωγική συμπεριφορά». Οι ασύγχρονοι (επαγωγικοί) κινητήρες και οι εφαρμογές τους στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα (συστήματα μετάδοσης κίνησης, αντλητικά συστήματα, κλιματιστικά μηχανήματα, ψυγεία, πλυντήρια κλπ) είναι το πιο κλασσικό παράδειγμα.

Ο βαθμός κατανάλωσης άεργου ισχύος από τα φορτία εκφράζεται με το μέγεθος «Συντελεστής Ισχύος (cosφ)», το οποίο αντιστοιχεί στο λόγο της κατανάλωσης ενεργού ισχύος προς τη «φαινόμενη» ισχύ του φορτίου, η οποία είναι το γεωμετρικό άθροισμα της ενεργού και της άεργου ισχύος του φορτίου.

Ένα «καλό» φορτίο παρουσιάζει τιμές του Συντελεστή Ισχύος (cosφ) κοντά στη μονάδα ενώ ένα «κακό» φορτίο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές. Για παράδειγμα, ένα φορτίο ενεργού ισχύος 100 kW καταναλώνει 48,4 / 32,8 / 14 kVAr άεργου ισχύος εάν ο Συντελεστής Ισχύος του είναι 0,90 / 0,95 / 0,99 αντίστοιχα.

Η συσχέτιση άεργου ισχύος και ικανότητας μεταφοράς ενεργού ισχύος, είναι ένα θέμα το οποίο δεν έχει γίνει απόλυτα κατανοητό. Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να φορτίζονται στη σωστή τάση ώστε να καθίσταται δυνατή η μεταφορά της παραγωγικής ισχύος («ενεργού ισχύος») από τους σταθμούς παραγωγής προς την κατανάλωση, με τις ελάχιστες δυνατές ενεργές (ωμικές) και άεργες (επαγωγικές) απώλειες. Η τάση των δικτύων αυτών, η

οποία σχετίζεται άμεσα με τη ροή της αέργου ισχύος, πρέπει να διατηρείται εντός αυστηρά προκαθορισμένων ορίων διακύμανσης (+/- 5%), και μάλιστα υπό συνθήκες διαρκούς μεταβολής των φορτίων, για λόγους καλής λειτουργίας του εξοπλισμού.

Σε καταστάσεις, υψηλής κατανάλωσης ενεργού και αέργου ισχύος, η λειτουργία των δικτύων γίνεται οριακή, καθώς τα περιθώρια ελέγχου της ροής αέργου ισχύος στενεύουν, με αποτέλεσμα να υφίσταται κίνδυνος black out.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της αέργου ισχύος είναι ότι δεν μεταφέρεται εύκολα. Οι απώλειες μεταφοράς αέργου ισχύος δύνανται να συνιστούν υψηλό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης, ενώ προκύπτουν και πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος.

Εντούτοις, σημαντικό πλεονέκτημα της αέργου ισχύος έναντι της ενεργού είναι ότι δύναται να παράγεται εύκολα σε τοπικό επίπεδο, κοντά στα σημεία κατανάλωσής της, από συσκευές οι οποίες δεν απαιτούν κατά κανόνα κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και δεν έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον.

## 6.6 Καταναλωτές Υψηλής Τάσης

Ο αριθμός των καταναλωτών ΥΤ του ελληνικού Συστήματος είναι περιορισμένος. Λόγω όμως του μεγάλου μεγέθους της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές αυτούς, παρέχονται σημαντικά κίνητρα για τον ετεροχρονισμό της ζήτησής τους με την αιχμή του Συστήματος, ήτοι για τη μείωση της κατανάλωσής τους κατά τις ώρες μεγάλης ζήτησης από τα λοιπά φορτία του Συστήματος.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος (άρθρο 15), κάθε Πελάτης που συνδέεται με το Σύστημα (ΥΤ) οφείλει να διασφαλίζει ότι για φόρτιση μεγαλύτερη του 50% της μέγιστης ικανότητας τροφοδότησης, ο Συντελεστής Ισχύος του στο σημείο σύνδεσης παραμένει εντός του εύρους τιμών 0,90 επαγωγικό έως 1,00. Για το 2005, υπήρχε η πρόβλεψη [1] ότι οι Πελάτες ΥΤ θα καταναλώνουν κατά την ώρα θερινής αιχμής του 2005 περίπου 81,4 Mvar περισσότερο από την κατανάλωση αέργου ισχύος που ορίζεται ως άνω όριο βάσει της κατανάλωσης ενεργού ισχύος τους.

Με αυστηρότερα – υψηλότερα όρια στην επιτρεπόμενη τιμή του Συντελεστή Ισχύος για τους καταναλωτές ΥΤ, υπάρχει μεγάλο περιθώριο μείωσης της αέργου ισχύος. Από τα σχετικά στοιχεία προκύπτει ότι με Τιμές Κατωφλίου Συντελεστή Ισχύος (συν φ) = 0,9 / 0,95 / 0,99 επέρχεται βελτίωση της αέργου Ισχύος = 81,4 / 217,7 / 413,9 Mvar αντίστοιχα. Η αναμενόμενη αυτή μείωση

ζήτησης άεργου ισχύος συνεπάγεται σημαντικά μεγαλύτερη μείωση της αναγκαίας παραγωγής άεργου ισχύος από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής του Συστήματος, π.χ. σε συνθήκες κανονικής λειτουργία του Συστήματος αναμένεται μείωση της παραγωγής άεργου ισχύος 100 / 280 / 490 Mvar αντίστοιχα.

## 6.7 Καταναλωτές Μέσης Τάσης

Μεγάλοι καταναλωτές, όπως βιομηχανίες, νοσοκομεία, κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία κ.λ.π., συνδέονται κατά κανόνα στη Μέση Τάση.

Αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος από 30%, μειώνεται η χρέωση ισχύος κατά  $50 \cdot (1 - MA/MZ)$  % όπου MZ η καταγραφής μέγιστη ζήτηση ισχύος και MA η μέγιστη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής. Αυτό αποτελεί ένα οικονομικό κίνητρο για τον καταναλωτή Μέσης Τάσης ώστε:

- Να διορθώνει-βελτιώνει το Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ), αφού η χρεωστέα Ζήτηση ισχύος (XZ) εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα από αυτόν.
- Να μειώνει ή / και να μετατοπίζει τη Μέγιστη Ζήτησης εκτός ωρών αιχμής.

## 6.8 Καταναλωτές του Βιομηχανικού και Εμπορικού – τριτογενή τομέα.

Ο εμπορικός τομέας χρήζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω της υψηλής απόλυτης τιμής της κατανάλωσης αλλά και του ρυθμού αύξησης κατά την τελευταία δεκαετία. Οι μεγάλες εμπορικές αλυσίδες, έχουν την τεχνική υποδομή και ενδιαφέρονται, σε γενικές γραμμές, για την ενεργειακή κατανάλωση των εγκαταστάσεών τους.

Η εμπειρία δείχνει ότι το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως σε μικρά καταστήματα, όπου συνυπάρχουν अपαράδεκτα υψηλά επίπεδα φωτισμού με μέσης ή κακής ποιότητας φωτιστικά συστήματα, πλήρης κλιματισμός με τις εισόδους των καταστημάτων να παραμένουν μόνιμα ανοικτές. Οι σχεδιαστές τέτοιων εγκαταστάσεων, ενδιαφέρονται για την προσέλκυση πελατών, την παρουσίαση των προϊόντων και συνήθως αγνοούν την παράμετρο ενεργειακής κατανάλωσης.

## 6.9 Κατηγορίες φορτίων που συμβάλλουν στην αυξημένη κατανάλωση αέργου ισχύος

### 6.9.1 Λειτουργία συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων.

Τα κύρια προβλήματα της λειτουργίας των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων είναι οι συχνές εκκινήσεις και η αδυναμία προσαρμογής του κινητήρα στην καμπύλη του φορτίου κατά τη λειτουργία του. Η παρούσα κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

α) Τα σύγχρονα, πιστοποιημένα και υψηλού κόστους κτήσης, «επώνυμα» κλιματιστικά μηχανήματα ρυθμίζουν το ρεύμα εκκίνησης με inverter και συνήθως προσαρμόζουν τη λειτουργία του κινητήρα ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Το πρόβλημα των εν λόγω κλιματιστικών μηχανημάτων δεν είναι κυρίως η χαμηλή τιμή του Συντελεστή Ισχύος, αλλά η εισαγωγή αρμονικών στο δίκτυο με αντίστοιχη υποβάθμιση της ποιότητας τάσης.

β) Τα παλαιού τύπου κλιματιστικά μηχανήματα (χωρίς inverter) και γενικότερα «ανώνυμες» συσκευές, συνήθως χαμηλού κόστους κτήσης και χωρίς οποιαδήποτε τυποποίηση, συνήθως λειτουργούν με χαμηλή τιμή του Συντελεστή Ισχύος (από 0,55 έως 0,8).

Για παράδειγμα, μια τυπική επώνυμη μονάδα 18000 BTU έχει ισχύ  $P=1850W$  με Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) περίπου ίσο με 0,9 για τάση λειτουργίας  $U=230V$  μονοφασικό και ασφαρίζεται με μικροαυτόματο 16A. Εάν μία τέτοια μονάδα λειτουργεί 14 ώρες ημερησίως στη θερινή περίοδο σε ένα χώρο με μέτριες θερμικές απώλειες (όχι συχνά ανοιγο-κλεισίματα παραθύρων και θυρών κλπ) αναμένονται 8-10 εκκινήσεις συνολικά, στην διάρκεια των οποίων το φορτίο δεν είναι σταθερό. Συνεπώς έχουμε:

α) Σημαντικό αριθμό εκκινήσεων στη διάρκεια των οποίων το ρεύμα εκκίνησης είναι πολλαπλάσιο του αντίστοιχου κανονικής λειτουργίας και προκαλεί τοπική πτώση τάσης στο δίκτυο.

β) Κατά την εκκίνηση (αρχικά στις χαμηλές στροφές περιστροφής κινητήρα) η τιμή του Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) είναι ιδιαίτερα χαμηλή.

γ) Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του μηχανήματος, χωρίς δυνατότητα προσαρμογής των στροφών του κινητήρα στην καμπύλη του φορτίου, έχουμε χαμηλό συντελεστή ισχύος για φόρτιση μικρότερη του 100% (ιδανική συνθήκη). Ενδεικτικά για φόρτιση 100% έχουμε Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) =0,9, για φόρτιση 75% έχουμε Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) =0,87, για φόρτιση 50% Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) =0,78 και για φόρτιση 25% Συντελεστή Ισχύος ( $\cos\phi$ ) =0,6.

Τα ίδια προβλήματα παρουσιάζουν μηχανήματα που λειτουργούν με ασύγχρονους (επαγωγικούς) κινητήρες π.χ. για οικιακής καταναλώσεως ψυγεία και αντίστοιχα ψυκτικές μονάδες μεγαλύτερης ισχύος ή κεντρικές κλιματιστικές μονάδες.

### **6.9.2 Μη γραμμικά φορτία: Εισαγωγή αρμονικών.**

Η ύπαρξη διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος (inverters, soft starters κλπ), ανορθωτικών διατάξεων AC-DC και γενικότερα η ύπαρξη μη γραμμικών φορτίων επηρεάζει και αλλοιώνει την ημιτονοειδή μορφή της τάσης. Αποτελέσματα της αλλοίωσης αυτής είναι η δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο και η μη αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αρμονικές που εγχέονται στο δίκτυο επηρεάζουν τον υπόλοιπο εξοπλισμό δημιουργώντας τα ακόλουθα προβλήματα:

α) αυξημένες απώλειες

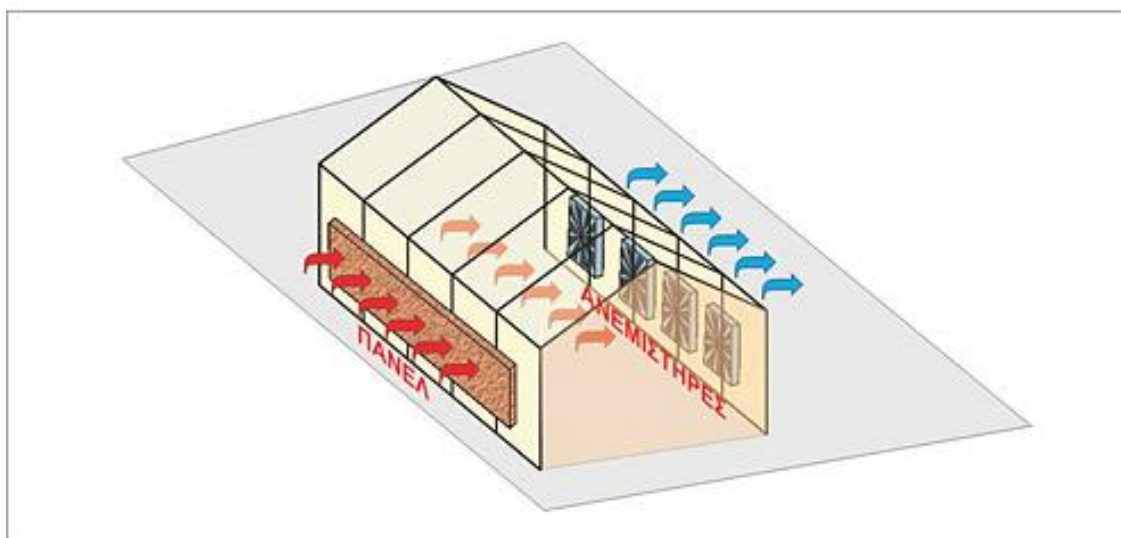
β) θέρμανση κινητήρων, καλωδίων και μετασχηματιστών

γ) παρεμβολές σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό και ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις. Είναι σκόπιμο το ζήτημα αυτό να μελετηθεί εκτενώς, με στόχο τη λήψη μέτρων αναφορικά με την πιστοποίηση του εξοπλισμού και την εφαρμογή των σχετικών προτύπων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ

Η λειτουργία του συστήματος δροσισμού υγρής παρειάς βασίζεται στους ανεμιστήρες και στο πάνελ. Το πάνελ αποτελείται από πεπιεσμένο χαρτί εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες το οποίο στην μία πλευρά του εφαρμόζεται ειδικός διανομέας νερού έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κάλυψη από νερό. Οι εξαεριστήρες τοποθετούνται στην μικρότερη πλαϊνή πλευρά και στην απέναντι πλευρά τα πάνελ.



**Εικόνα 29: Η ροή του αέρα μέσω του συστήματος υγρής παρειάς**

Κατά την λειτουργία των εξαεριστήρων δημιουργείται υποπίεση έτσι ώστε να εξαναγκάσει τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει από το υγρό πάνελ που βρίσκεται στην αντικρινή πλευρά. Με αυτό το τρόπο ο αέρας υγροποιείται, ψύχεται και διαπερνά από το εσωτερικό μέρος του θερμοκηπίου. Για την αποτελεσματικότητα του συστήματος απαιτείται:

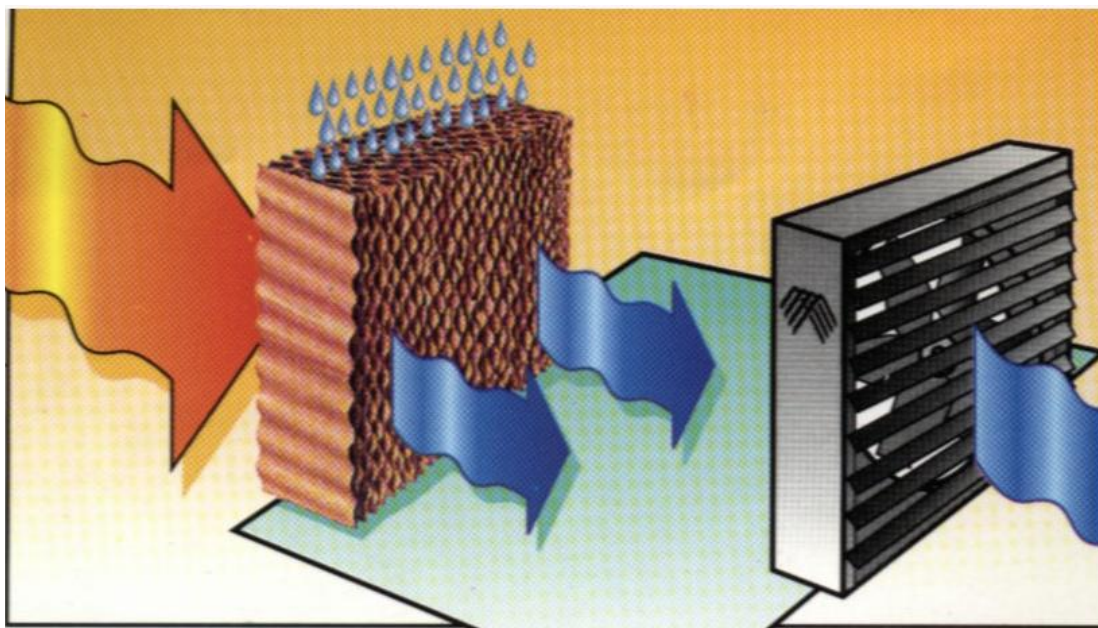
- Ο χώρος να είναι στεγανός κατά την λειτουργία του συστήματος και τα παράθυρα οροφής να είναι κλειστά
- Οι ανεμιστήρες πρέπει να έχουν μεγάλη παροχή χωρίς να δημιουργούν μεγάλες ταχύτητες αέρα στο χώρο
- Το πάνελ θα πρέπει να είναι εμποτισμένο κατάλληλα για να έχει μεγάλη αντοχή ενώ η πλέξη του χαρτιού να είναι με διαφορετικές γωνίες για να έχει και υψηλή αποδοτικότητα εξάτμισης αλλά και χαμηλή πτώση πίεσης

- Να υπάρχει ομοιόμορφη διαβροχή του πάνελ και ανάλογα με την ποιότητα του νερού να υπάρχει σύστημα ανανέωσης με φρέσκο νερό για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του πάνελ
- Να υπάρχει κατάλληλος αυτοματισμός για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας

## 7.1 Η δομή του συστήματος

Τα βασικά μέρη τα οποία απαρτίζουν το σύστημα είναι τα εξής:

- Οι «πλάκες» (panels) εκπομπής ψύξης- θέρμανσης. Τα **panels εκπομπής** ανάλογα με τις ανάγκες μας, μετατρέπονται τον **χειμώνα σε θερμαινόμενες επιφάνειες** ενώ το **καλοκαίρι σε ψυχόμενες επιφάνειες**. Τα panels «εκπομπής» είναι προκατασκευασμένες πλάκες οι οποίες αποτελούνται από μια πλάκα πυράντοχης γυψοσανίδας πάχους 15mm και από μια πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης class1 υψηλής πυκνότητας ( $30\text{kg/m}^3$ ). Μέσα στην **γυψοσανίδα υπάρχει ενσωματωμένο υδραυλικό κύκλωμα**, αποτελούμενο από πλέγμα πλαστικού σωλήνα  $\Phi 6 \times 1$  ανεπτυγμένο κάθετα προς τον μεγάλο άξονα της πλάκας. Το υδραυλικό κύκλωμα αναπτύσσεται με τρόπο ώστε να διαιρείται σε πέντε αυτόνομα κυκλώματα  $120\text{cm} \times 53\text{cm}$  παράλληλης κυκλοφορίας, επιτυγχάνοντας πλήρη εξισορρόπηση του συστήματος. Στο κύκλωμα αυτό κυκλοφορεί το θερμαινόμενο νερό του λέβητα (θέρμανση) ή το ψυχόμενο νερό του ψύκτη (ψύξη). Δηλαδή τα **panel εγκαθίστανται για κοινή χρήση ψύξης και θέρμανσης.**



### Εικόνα 30: Πάνελ εκπομπής

- Το σύστημα ύγρυνσης – αφύγρυνσης. Το σύστημα ύγρυνσης-αφύγρυνσης είναι υπεύθυνο για την εξασφάλιση των ιδανικών συνθηκών περιβάλλοντος (υγρασίας) στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου.
- Το σύστημα ελέγχου και αυτοματισμού. Το σύστημα ελέγχου και αυτοματισμού παρακολουθεί μονίμως τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του χώρου και αντίστοιχα ρυθμίζει την λειτουργία του λέβητα ή ψύκτη καθώς και του αφυγραντήρα, για την επίτευξη των συνθηκών που έχουν επιλεγεί σε κάθε μια προεπιλεγμένη ζώνη.

## 7.2 Πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα θέρμανσης

1. Ανταποκρίνεται **άριστα** τόσο στις **ανάγκες** μας για **θέρμανση** όσο και για **ψύξη** χωρίς κανέναν απολύτως συμβιβασμό.
2. Εξασφαλίζει τις **υγιεινότερες συνθήκες θέρμανσης και ψύξης** στον χώρο μας (σύστημα αφύγρυνσης κ.τ.λ).
3. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης δαπέδου (ενδοδαπέδια εγκατάσταση) **προσφέρει ψύξη του χώρου και όχι δροσισμό** και αυτό γιατί η θερμοκρασία νερού για ψύξη κυμαίνεται μεταξύ 16-22<sup>0</sup>C.
4. Πλήρης **εκμετάλλευση του χώρου** εξαιτίας της **απουσίας των θερμαντικών σωμάτων**.
5. Η **εγκατάσταση** είναι **απλή, εύκολη και γρήγορη** χωρίς την να απαιτείται η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού και ειδικών εργαλείων.
6. Είναι το **πλέον αποδοτικό σύστημα ψύξης-θέρμανσης** εξαιτίας του **μεγάλου πλεονεκτήματος** που διαθέτει το οποίο είναι: **Το εξισορροπημένο υδραυλικό κύκλωμα και η μηδενική απόσταση του γραμμικού συλλέκτη από αυτό.** Χάρη σε αυτό επιτυγχάνεται η πολύ χαμηλή αδράνεια του συστήματος και η πολύ υψηλή απόδοση τόσο στην ψύξη όσο και στην θέρμανση.
7. Το σύστημα PLANTERM είναι **οικονομικότερο σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης** αλλά και με τα **συστήματα δαπέδου** και αυτό οφείλεται στο ότι επιτυγχάνονται άμεσα και με ελάχιστες απώλειες οι απαιτούμενες συνθήκες θέρμανσης - ψύξης - ύγρυνσης.
8. Ο σχεδιασμός του PLANTERM αντίθετα με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης δαπέδου δεν απαιτεί στενά όρια στην θερμοκρασία του νερού. Το PLANTERM λειτουργεί σε θερμοκρασίες νερού από 25° C έως και 60° C. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το σύστημα διαθέτει μεγάλες μονωμένες επιφάνειες με μικρή θερμοχωρητικότητα νερού, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι **λειτουργεί σε χαμηλές**



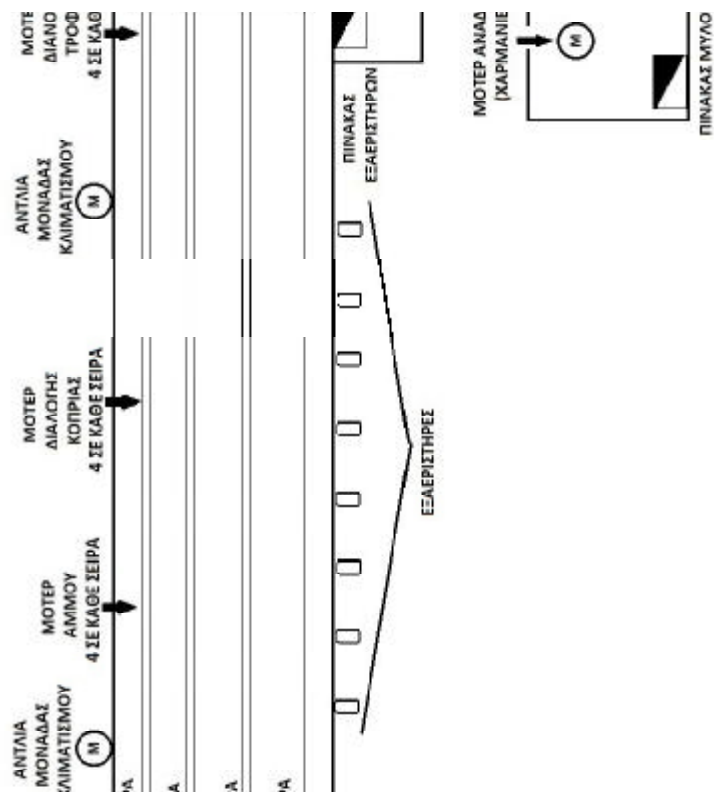
**θερμοκρασίες νερού τον χειμώνα** 35°C και όχι 80°C όπως τα κοινά καλοριφέρ) και σε θερμοκρασίες 16-22°C το καλοκαίρι, επιτυγχάνεται η αίσθηση της θερμικής απόλαυσης με μειωμένη κατανάλωση καυσίμων. Δηλαδή επειδή η ψύξη και **θέρμανση κατανέμεται ισομερώς σε όλο τον χώρο**, ο θερμοστάτης ρυθμίζεται σε 1ο έως 2ο C χαμηλότερα από τις παραδοσιακές λύσεις ψύξης-θέρμανσης. Η παρουσία και ο έλεγχος των **υγραντήρων-αφυγραντήρων** καθώς και το γεγονός ότι το σύστημα λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν ξηραίνεται η ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια εξασφαλίζονται **ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος**. Επιπροσθέτως όσον αφορά την θέρμανση, επειδή δεν δημιουργούνται ρεύματα αέρος, αποτρέπεται η διασπορά σκόνης και καπνού, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται το μαύρισμα των τοίχων. Όσον αφορά την ψύξη, επειδή ο αέρας κινείται με φυσική και όχι βεβιασμένη κυκλοφορία και χωρίς την ύπαρξη θυρίδων δεν δημιουργούνται συνθήκες ανάπτυξης μικρο-οργανισμών (νόσος των λεγεωνάριων).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

# Η ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

### 8.1 Η περιγραφή των φορτίων

Στην εικόνα 31 διακρίνεται μια κάτοψη του πτηνοτροφείου με τα ηλεκτρικά φορτία



Εικόνα 31: Η κάτοψη του πτηνοτροφείου

Ακολουθεί ένας πίνακας με τα στοιχεία των φορτίων

**Πίνακας 11:Τα στοιχεία των ηλεκτρικών φορτίων**

<b>ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟ</b>				
<b>ΦΟΡΤΙΟ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ/ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ</b>	<b>ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ</b>	<b>Cosφ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ</b>				
3 αντλίες μονάδας κλιματισμού	1.2HP/0.9kW/1Φ	0.8	0.85	INVERTER
8 εξαεριστήρες	1,5HP/1.119kW/3Φ	0.87	0.85	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΡΟΦΗΣ</b>				
4×4 μοτέρ διανομής τροφής	4HP/2.984kW/3Φ	0.89	0.87	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
2×4 μοτέρ διαλογής κοπριάς	3HP/2.238kW/3Φ	0.89	0.86	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
2 μοτέρ (κοχλίες) απομάκρυνσης κοπριάς	3HP/2.238kW /3Φ	0.9	0.9	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
<b>ΠΙΝΑΚΑΣΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΤΑΙΝΙΩΝ ΑΥΓΩΝ</b>				
10 μοτέρ αυγοδιαλογής	4HP/2.984kW/3Φ	0.88	0.9	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
4×4 μοτέρ άμμου	3HP/2.238kW /3Φ	0.89	0.86	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΨΥΓΕΙΟΥ</b>				
Ψυγείο	7,5 HP/5.595kW/3Φ	0.9	0.92	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΥΛΟΥ</b>				
Σπαστήρας	15 HP/11.19kW/3Φ	0.83	0.88	ΜΕΣΩ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΑΣΤΕΡΑ - ΤΡΙΓΩΝΟΥ
Αναδευτήρας	20 HP/14.92kW/3Φ	0.85	0.89	ΜΕΣΩ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΑΣΤΕΡΑ - ΤΡΙΓΩΝΟΥ

Για την επιλογή των διατομών χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας

**Πίνακας 12: Διατομές καλωδίων Χ.Τ**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Μονωτικό	χαρτί-μάζα						PVC <sup>3)</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> JIVV						NYKY			N(A)XSY		
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	18	137	118	106	177	130	139	173	
35	140	168	203	139	166	199	174	145	131	45	169	145	131	218	160	170	212	
50	169	203	246	168	200	239	212	176	159	76	206	176	159	266	195	208	258	
70	212	255	310	213	251	299	269	224	202	24	261	224	202	338	247	265	328	
95	259	312	278	262	306	361	331	273	244	71	321	271	244	416	305	326	404	
120	299	364	439	304	354	412	386	314	282	114	374	314	282	487	355	381	471	
150	343	415	500	350	403	463	442	361	324	161	428	361	324	559	407	438	541	
185	397	479	575	402	462	522	511	412	371	212	494	412	371	648	469	507	626	
240	467	570	678	474	545	594	612	484	436	284	590	484	436	779	551	606	749	
300	533	654	772	542	619	657	707	—	481	349	678	—	492	902	638	697	864	
400	611	783	912	628	726	734	359	—	560	457	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	

Για θερμοκρασία 20°C χρησιμοποιήθηκε συντελεστής διόρθωσης από τον παρακάτω πίνακα

**Πίνακας 13: Συντελεστές Θερμοκρασίας**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Κατασκευή καλωδίου	μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας	μέγιστη επιτρεπόμενη ανήγηση θερμοκρασίας	Συντελεστές διόρθωσης, για θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C								
			10	15	20	25	30	35	40	45	50
Δικτ. πολ. 2Χ, (XLPE)	°C 90	°K -	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Πολυκαθ. 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

Οι διακόπτες ισχύος επιλέχθηκαν με βάση τον πίνακα 14

**Πίνακας 14: Τυποποιημένες τιμές αυτόματων διακοπών ισχύος**

Τύπος <sup>4)</sup>	Ονομαστικό ρεύμα διακόπτη προστασίας (A)	Περιοχή ρύθμισης θερμικού (A)	Ρεύμα διέγερσης <sup>1)</sup> ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου (A)	Μέγιστη ασφάλεια <sup>2)</sup> DIAZED (380V)	Μέγιστη ασφάλεια <sup>3)</sup> NH (380V)
1	0,16	0,1-0,16	1,28	x	x
	0,25	0,16-0,25	2,0	x	x
	0,4	0,25-0,4	3,6	x	x
	0,63	0,4-0,63	6,3	x	x
	1	0,63-1	10	x	x
	1,6	1-1,6	16	x	x
	2,5	1,6-2,5	25	x	x
	4	2,5-4	48	35	40
	6,3	4-6,3	75	35	40
	10	6,3-10	120	35	40
	16	10-16	192	35	40
	3,2	2-3,2	38	25	32
	5	3,2-5	60	35	40
	8	5-8	96	35	40
12,5	8-12,5	150	35	40	
3	1,6	1-1,6	19	x	x
	2,5	1,6-2,5	30	x	x
	4	2,5-4	48	x	x
	6,3	4-6,3	75	x	x
	10	6,3-10	120		
	16	10-16	192	80	100
42	25	16-25	300	80	125
	16	10-16	192	x	x
	25	16-25	300	x	x
	32	22-32	390	–	160
	40	28-40	480	–	160
	50	36-50	600	–	160
52	63	45-63	720	–	160
	40	32-40	600	–	315
	50	40-50	600	–	315
	63	50-63	760	–	315
	80	63-80	960	–	315
61, 62	100	80-100	1200	–	315
	100	80-100	1000	–	500
	125	100-125	1250	–	500
	160	125-150	1600	–	500
	200	160-200	2000	–	500
71, 72	250	200-250	2500	–	500
	250	200-250	2500	–	500
	250	200-250	2500	–	800
	315	250-315	3150	–	800
	400	315-400	4000	–	800
71, 72	500	400-500	5000	–	800
	630	500-630	6000	–	800

## 8.2 Έλεγχος πτώσης τάσης και επιλογή αφαιριστικών μέσων

Στη χαμηλή τάση το αποδεκτό όριο πτώσης τάσης είναι 4% , δηλαδή πρέπει  $\Delta V \leq 0,04 \times 230 = 9.2$  Volt. Με βάση αυτό το όριο πραγματοποιήθηκε η μελέτη της πτώσης τάσης σε όλες τις γραμμές

### Πίνακας Κλιματισμού

#### · 3 Αντλίες Κλιματισμού

$$n = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \Rightarrow P_{IN} = \frac{P_{OUT}}{n} \Rightarrow U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{P_{OUT}}{n} \Rightarrow I = \frac{P_{OUT}}{n \cdot U \cdot \cos \varphi} \Rightarrow$$

$$I = \frac{900}{0.8 \cdot 230 \cdot 0.85} \Rightarrow I = 5.75A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$\circ \quad I = \frac{5.75}{1.12} = 5.13A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A**
- **Θερμικό: 5.75A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται τρεις αντιστάσεις για τις τρεις αντλίες, διότι απέχουν διαφορετική απόσταση η κάθε μία από τον πίνακα

#### Αντλία σε απόσταση 50 μέτρων

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0.357 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.357 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.4284 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} \cdot \cos \varphi = 5.13 \cdot 0,4284 \cdot 0,85 = 1.87V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

Αντλία σε απόσταση 30 μέτρων

$$R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215\Omega$$

$$R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} = R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0.258\Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} \cdot \cos \varphi = 5.13 \cdot 0,258 \cdot 0,85 = 1.125V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

Αντλία σε απόσταση 50 μέτρων

$$R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0.07143\Omega$$

$$R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} = R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.07143\Omega \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0.086\Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} \cdot \cos \varphi = 5.13 \cdot 0,086 \cdot 0,85 = 0.375V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

## · 8 Εξαεριστήρες

$$I_{\Pi.} = \frac{1119}{0.87 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} \Rightarrow I_{\Pi.} = 2.184A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$\circ \quad I = \frac{2.184}{1.12} = 1.95A$$



Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 2.5A**
- **Θερμικό: 2.2A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa,20^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ\text{C}} = R_{\kappa,20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^\circ\text{C}} \cdot \cos \varphi = 1.95 \cdot 0.258 \cdot 0.85 = 0.42\text{V} < 9.2\text{Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή  **$2.5\text{mm}^2$**

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

$$I_{\text{ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ}} = 3 \cdot 5.13 \angle -31.78 + 8 \cdot 1.95 \angle -31.78 = 31 \angle -31.78\text{A}$$

## **ΑΣΦΑΛΕΙΑ 35A**

## **ΔΙΑΤΟΜΗ $6\text{mm}^2$**

## Πίνακας Διανομής τροφής και Συλλογής κοπριάς

### · 16 Μοτέρ Διανομής Τροφής

$$n = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \Rightarrow P_{IN} = \frac{P_{OUT}}{n} \Rightarrow \sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot I_{\Pi} \cdot \cos \varphi = \frac{P_{OUT}}{n} \Rightarrow I_{\Pi} = \frac{P_{OUT}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{\Pi} = \frac{2984}{0.89 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.87} \Rightarrow I_{\Pi} = 5.56A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C** (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)

$$\circ \quad I = \frac{5.56}{1.12} = 4.96A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A**
- **Θερμικό: 5.6A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^{\circ}C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{κ,70^{\circ}C} = R_{κ,20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^{\circ}C} \cdot \cos \varphi = 4.96 \cdot 0.258 \cdot 0.87 = 1.11V < 9.2\text{Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

· **8 Μοτέρ Διαλογής Κοπριάς**

$$I_{π.} = \frac{2238}{0.89 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} \Rightarrow I_{π.} = 4.22A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

○  $I = \frac{4.22}{1.12} = 3.77A$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A**
- **Θερμικό: 4.2A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 3.77 \cdot 0.258 \cdot 0.86 = 0.83V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

· **2 Μοτέρ Απομάκρυνσης Κοπριάς**

$$I_{π.} = \frac{2238}{0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} \Rightarrow I_{π.} = 4A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$\circ \quad I = \frac{4}{1.12} = 3.57A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 4A**
- **Θερμικό: 4A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 3.57 \cdot 0.258 \cdot 0.9 = 0.83V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή  $2.5\text{mm}^2$

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΚΟΠΡΙΑΣ**

$$I_{\text{ΤΡΟΦΗΣ-ΚΟΠΡΙΑΣ}} = 16 \cdot 4.96 \angle -29.54 + 8 \cdot 3.77 \angle -30.68 + 2 \cdot 3.57 \angle -25.34 \\ = 116.634 \angle -29.57A$$

**ΑΣΦΑΛΕΙΑ 125A**

**ΔΙΑΤΟΜΗ  $35\text{mm}^2$**

## Πίνακας Αυγοδιαλογής και Απομάκρυνσης Άμμου

### · 10 Μοτέρ Αυγοδιαλογής

$$I_{\Pi.} = \frac{2984}{0.88 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} \Rightarrow I_{\Pi.} = 5.44A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$I = \frac{5.44}{1.12} = 4.85A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A**
- **Θερμικό: 5.4A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ C} = R_{\kappa,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 4.85 \cdot 0.258 \cdot 0.9 = 1.126V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

### · 16 Μοτέρ Άμμου

$$I_{\Pi.} = \frac{2238}{0.89 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} \Rightarrow I_{\Pi.} = 4.22A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία

**20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

○  $I = \frac{4.22}{1.12} = 3.77A$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A**
- **Θερμικό: 4.2A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0.215 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.215 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.258 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 3.77 \cdot 0.258 \cdot 0.86 = 0.83V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΓΟΔΙΑΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΜΜΟΥ**

$$I_{\text{ΑΥΓΟΔΙΑΛΟΓΗΣ-ΑΜΜΟΥ}} = 10 \cdot 4.85 \text{ ✗ } -25.34 + 16 \cdot 3.77 \text{ ✗ } -30.68 = 108.7 \text{ ✗ } -28.3A$$

**ΑΣΦΑΛΕΙΑ 125A**

**ΔΙΑΤΟΜΗ 35mm<sup>2</sup>**

## Πίνακας Ψυγείου

### · Ψυγείο

$$I_{π.} = \frac{5595}{0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} \Rightarrow I_{π.} = 9.75A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$I = \frac{9.75}{1.12} = 8.7A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- ο **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 10A**
- ο **Θερμικό: 9.75A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0.0357 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.0357 \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) = 0.04284 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 8.7 \cdot 0.04284 \cdot 0.92 = 0.34V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΨΥΓΕΙΟΥ

$$I_{\Psi\Upsilon\Gamma\text{ΕΙΟΥ}} = 8.7 \neq -23A$$

### ΑΣΦΑΛΕΙΑ 10A

### ΔΙΑΤΟΜΗ 2.5mm<sup>2</sup>

## Πίνακας Μύλου

### · Σπαστήρας

$$I_{π.} = \frac{11190}{0.83 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.88} \Rightarrow I_{π.} = 22.11A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

$$I = \frac{22.11}{1.12} = 19.74A$$

Ο σπαστήρας εκκινεί με διακόπτη αστέρα – τριγώνου, οπότε το ρεύμα περιορίζεται

$$I = \frac{I_{ΣΠΑΣΤΗΡΑ}}{\sqrt{3}} = \frac{19.74}{\sqrt{3}} = 11.4A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 12.5A**
- **Θερμικό: 11.4A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0.035715 \Omega$$

$$R_{κ,70^\circ C} = R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.035715 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) \\ = 0.042858 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 11.4 \cdot 0.042858 \cdot 0.88 = 0.43V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**



· **Αναδευτήρας**

$$I_{\Pi} = \frac{14920}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.89} \Rightarrow I_{\Pi} = 28.466A$$

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης που δίνεται στον πίνακα 13 του χρησιμοποιούμενου καλωδίου για θερμοκρασία **20°C (σταθερή θερμοκρασία μέσα στο πτηνοτροφείο καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου)**

○  $I = \frac{28.466}{1.12} = 25.4A$

Ο αναδευτήρας εκκινεί με διακόπτη αστέρα – τριγώνου, οπότε το ρεύμα περιορίζεται

$$I = \frac{I_{\Sigma\text{ΠΑΣΤΗΡΑ}}}{\sqrt{3}} = \frac{25.4}{\sqrt{3}} = 14.66A$$

Από πίνακα 14 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 16A**
- **Θερμικό: 14.6A**

Από τον πίνακα 12 παρατηρούμε ότι είναι κατάλληλη η διατομή  $q=1.5\text{mm}^2$  η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί διότι στους κινητήρες χρησιμοποιείται διατομή  $2.5\text{mm}^2$  ή μεγαλύτερη.

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 2.5} = 7.143 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 7.143 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0.035715 \Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ C} = R_{\kappa,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 0.035715 \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 0.042858 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 14.66 \cdot 0.042858 \cdot 0.89 = 0.55V < 9.2 \text{ Volt}$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **2.5mm<sup>2</sup>**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΥΛΟΥ

$$I_{\text{ΜΥΛΟΥ}} = 11.4 \text{ } \neq -28.36 + 14.66 \text{ } \neq -27.127 = 26 \text{ } \neq -27.66\text{A}$$

### ΑΣΦΑΛΕΙΑ 25A

### ΔΙΑΤΟΜΗ 6mm<sup>2</sup>

## ΟΛΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

$$\begin{aligned} I_{\text{ΟΛ}} &= I_{\text{ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ}} + I_{\text{ΤΡΟΦΗΣ-ΚΟΠΡΙΑΣ}} + I_{\text{ΑΥΓΟΔΙΑΛΟΓΗΣ-ΑΜΜΟΥ}} + I_{\text{ΨΥΓΕΙΟΥ}} \\ &+ I_{\text{ΜΥΛΟΥ}} = 31 \text{ } \neq -31.78 + 116.634 \text{ } \neq -29.57 + 108.7 \\ &\neq -28.3 + 8.7 \text{ } \neq -23 + 26 \text{ } \neq -27.66 = 290.93 \text{ } \neq -28.96\text{A} \end{aligned}$$

### ΓΕΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ 315A

### ΔΙΑΤΟΜΗ 150mm<sup>2</sup>

Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της παραπάνω μελέτης

Πίνακας 15: Τα αποτελέσματα της μελέτης

ΦΟΡΤΙΟ	ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ	ΔΙΑΤΟΜΗ
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ</b>		
3 αντλίες μονάδας κλιματισμού	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A Ρύθμιση Θερμικού 5.75A	2.5mm <sup>2</sup>
8 εξαεριστήρες	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 2.5A Ρύθμιση Θερμικού 2.2A	2.5mm <sup>2</sup>
Γραμμή πίνακα	Ασφάλεια 35A	6 mm <sup>2</sup>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΚΟΠΡΙΑΣ</b>		
4×4 μοτέρ διανομής τροφής	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A Ρύθμιση Θερμικού 5.56A	2.5mm <sup>2</sup>
2×4 μοτέρ διαλογής κοπριάς	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A Ρύθμιση Θερμικού 4.22A	2.5mm <sup>2</sup>
2 μοτέρ (κοχλίες) απομάκρυνσης κοπριάς	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 4A Ρύθμιση Θερμικού 4A	2.5mm <sup>2</sup>
Γραμμή πίνακα	Ασφάλεια 125A	35 mm <sup>2</sup>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΓΟΔΙΑΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΜΜΟΥ</b>		

10 μοτέρ αυγοδιαλογής	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A Ρύθμιση Θερμικού 5.44A	2.5mm <sup>2</sup>
4×4 μοτέρ άμμου	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 6.3A Ρύθμιση Θερμικού 4.22A	2.5mm <sup>2</sup>
Γραμμή πίνακα	Ασφάλεια 125A	35 mm <sup>2</sup>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΨΥΓΕΙΟΥ</b>		
Ψυγείο	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 12.5A Ρύθμιση Θερμικού 9.7A	2.5mm <sup>2</sup>
Γραμμή πίνακα	Ασφάλεια 10A	2.5 mm <sup>2</sup>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΥΛΟΥ</b>		
Σπαστήρας	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 12.5A Ρύθμιση Θερμικού 11.4A	2.5mm <sup>2</sup>
Αναδευτήρας	Θερμομαγνητικός Διακόπτης 16A Ρύθμιση Θερμικού 14.66A	2.5mm <sup>2</sup>
Γραμμή πίνακα	Ασφάλεια 25A	6 mm <sup>2</sup>
<b>ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ</b>	Ασφάλεια 315A	150 mm <sup>2</sup>

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΜΠΙΤΖΙΩΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ: ΚΙΝΗΣΗ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2η ΕΚΔΟΣΗ, 2015
- ΠΕΤΡΟΣ ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΣ, «ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2005
- <http://www.elemko.gr/documents/sap.asp>
- <https://www.agroenergy.gr/categories/%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B6%CF%89%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%85%CF%80%CE%BF%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CF%89%CE%BD>
- <https://johnalifragis.wordpress.com/2013/08/29/54-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%B1/>
- <http://technicaldrawing.mouroutsos.net/designs/electrical/elements/>
- <http://slideplayer.gr/slide/11168931/>