

Τεχνικό Έντυπο Ηλεκτροκινητήρων

ΒΑΛΙΑΔΗΣ

Έλληνικοί Ηλεκτροκινητήρες



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόν Τεχνικό αυτόν Όδηγό του Έργουστασίου Ηλεκτροκινητήρων «Βαλιάδης Α.Ε.»:

- Παρουσιάζουμε τις προδιαγραφές κατασκευής των κινητήρων μας και κυρίως αναφερόμαστε στους κινητήρες τής σειράς Κ, δηλαδή σε κινητήρες τριφασικού ρεύματος, βραχυκλωμένου δρομέως, χαμηλής τάσεως.
- Περιγράφουμε αναλυτικά τις κυριώτερες δοκιμές για τους κινητήρες αυτούς, δίνοντας και την διαδικασία δοκιμής τους.
- Παρουσιάζουμε τις έπιπλέον δοκιμές για τους κινητήρες μέσης τάσεως.
- Αναφέρουμε ώρισμένα βασικά μεγέθη στη λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων και τους όρισμούς αυτών κατά τα διεθνή πρότυπα.
- Δίδουμε πληροφορίες για την σωστή έπιλογή των κινητήρων και την μέθοδο έκκίνησής τους.
- Στην τρίτη αυτή έκδοση του Τεχνικού Όδηγού παρουσιάζουμε και την δοκιμή ροπής, δηλαδή την δοκιμή με την όποια χαράσσουμε την καμπύλη ροπής / στροφών.
- Παρουσιάζουμε τó σύστημα δοκιμών ηλεκτροκινητήρων, τó όποιο λειτουργεί στό Έργοστάσιό μας.
- Αναφέρουμε τις μεθόδους ψύξεως κατά IEC 34-6, και τέλος
- Δίδουμε την κατάταξη των κινητήρων αναλόγως τής ροπής έκκίνησεως σύμφωνα με τά IEC 34-12.

Έλπίζουμε ότι με την έκδοση αυτή διευκολύνουμε τους συνεργάτες μας στην έπίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την προδιαγραφή των καταλλήλων ηλεκτροκινητήρων και την σωστή λειτουργία τους.

Τό πρόγραμμα κατασκευής του Έργοστασίου μας περιλαμβάνει, έκτός από τους τριφασικούς ηλεκτροκινητήρες βραχυκλωμένου δρομέως, και ηλεκτροκινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέως, μονοφασικούς ηλεκτροκινητήρες, κινητήρες με φρένο, κινητήρες δύο ταχυτήτων, άντιεκρηκτικούς κινητήρες, κινητήρες κοίλου άξονος, ηλεκτρομειωτήρες, καθώς και άντλητικά συγκροτήματα χαμηλής και ύψηλης πιέσεως.

Έπίσης μπορούμε νά κατασκευάσουμε για τους πελάτες μας κινητήρες ύψηλης τάσεως καθώς και κινητήρες συνεχούς ρεύματος, συνεργαζόμενοι με Εύρωπαϊκό έργοστάσιο κατασκευής.

Άκόμη διαθέτουμε ρυθμιστές στροφών (inverters) καθώς και όμαλους έκκινητές (soft starters) με πλήρη τεχνική ύποστήριξη και άνταλλακτικά.

Και τέλος, στό Έργοστάσιό μας λειτουργεί έπισκευαστική μονάδα κινητήρων χαμηλής και ύψηλης τάσεως, κινητήρων συνεχούς ρεύματος κ.ά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Βασικά μεγέθη

Ίσχύς

Ρεύμα

Συντελεστής ισχύος συνφ

Σημασία του συντελεστού ισχύος

Συντελεστής ισχύος σε μερικά φορτία

Βαθμός απόδοσης

Απώλειες σιδήρου (P_{fe})

Απώλειες μηχανικές (P_{m+v})

Απώλειες Joule

Πρόσθετες απώλειες φορτίου (P_s)

Βαθμός απόδοσης σε μερικά φορτία

Ταχύτητα συγχρονισμού

Όλίσθηση

Ροπή

Ροπή εκκινήσεως – Έλαχίστη ροπή άνατροπής

Ροπή έπιταχύνσεως

Ίσοζύγιο ισχύος

2. Όρισμοί

Όνομαστική λειτουργία

Όνομαστική τιμή

Όνομαστική ισχύς

Φορτίο

Έν κενώ λειτουργία

Στάση (άπενεργοποίηση)

Λειτουργία

Είδος λειτουργίας

Θερμική ισορροπία

Συντελεστής διάρκειας λειτουργίας

Ροπή με άκίνητοποιημένο δρομέα

Ρεύμα με άκίνητοποιημένο δρομέα

Έλαχίστη ροπή εκκινήσεως (pull-up torque)

Μεγίστη ροπή ή ροπή άνατροπής (breakdown torque)

Ψυκτικό μέσο

Συντελεστής άδρανείας (FI)

3. Εΐδη λειτουργίας

4. Συνθήκες λειτουργίας

Ύψόμετρο

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ήλεκτρικές συνθήκες (τροφοδοσία από τό δίκτυο)

Μεταβολές τής τάσεως κατά τήν λειτουργία

5. Βαθμός προστασίας

Συμβολισμός

Χαρακτηριστικοί άριθμοί

Συμπληρωματικά γράμματα

Όπές διαφυγής συμπυκνωμάτων

Έξωτερικοί άνεμιστήρες

6. Μέθοδοι ψύξεως

Συμβολισμοί

Διάταξη κυκλώματος ψύξεως

Μέθοδος κυκλοφορίας

Ψυκτικό μέσον

7. Κλάσεις μονώσεων

Έπιτρεπόμενα όρια αύξήσεως τής θερμοκρασίας

8. Έδραση ήλεκτροκινητήρων

9. Άνοχές

10. Έπιλογή κινητήρος

Κυκλική κίνηση

Κατακόρυφη κίνηση

Γραμμική κίνηση

Άντλίες
Ανεμιστήρες
Ροπή φορτίου
Ροπή αδρανείας

11. Κατάταξη κινητήρων αναλόγως της ροπής έκκινήσεως

Κατηγορία N
Κατηγορία NY
Κατηγορία H
Κατηγορία YH
Έλάχιστες τιμές ροπής κινητήρων κατηγορίας N
Μεγίστη τιμή φαινομένης ισχύος έκκινήσεως
Ροπή αδρανείας φορτίου
Έλάχιστες τιμές ροπής κινητήρων κατηγορίας H

12. Μέθοδοι έκκινήσεως τριφασικών κινητήρων

13. Χρόνος έκκινήσεως

Απώλειες θερμότητας κατά την έκκίνηση

14. Δοκιμές ήλεκτροκινητήρος

Δοκιμή έν κενώ
Σχετικό ρεύμα έν κενώ
Δοκιμή βραχυκυκλώσεως
Προσδιορισμός του ρεύματος έκκινήσεως
Προσδιορισμός του βαθμού αποδόσεως
Προσδιορισμός του βαθμού αποδόσεως με δοκιμή σε χαμηλή τάση
Δοκιμή ροπής έκκινήσεως
Δοκιμή ροπής
Σύστημα δοκιμών ήλεκτροκινητήρων
Ήλεκτρικός πίνακας έκκινήσεως και δοκιμών ήλεκτροκινητήρων
Μηχανή συνεχούς ρεύματος
Ήλεκτρικός πίνακας μηχανής συνεχούς ρεύματος
Τριφασικός αναλυτής ένεργείας
Ήλεκτρονικός ύπολογιστής
Τράπεζα προσδέσεως του ήλεκτροκινητήρος

Δοκιμή μονώσεων
Μέτρηση τῆς ὠμικῆς ἀντιστάσεως
Δοκιμή ἐπιβραδύνσεως
Δοκιμή ὑπερταχύνσεως
Δοκιμή ταλαντώσεων
Διηλεκτρικὴ δοκιμὴ
Διαδικασία τῆς μετρήσεως
Δοκιμὴ αὐξήσεως τῆς θερμοκρασίας
Μέτρηση στάθμης θορύβου

15. Δοκιμὲς ἠλεκτροκινητῶν μέσης τάσεως

Μέτρηση δείκτου πολώσεως
Μέτρηση διηλεκτρικῶν ἀπωλειῶν (εφδ)
Ἡ ἔννοια τῆς εφδ

1. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

§1.1: Ίσχύς

Στους ηλεκτροκινητήρες έννοούμε την μηχανική ισχύ, την αποδοσιμένη στον άξονα. Μονάδα μετρήσεως είναι τα Watt (W). Στην Ελλάδα συνηθίζεται ως μονάδα μετρήσεως ο ίππος (HP).

§1.2: Ρεύμα

Η απορροφούμενη ένταση του ρεύματος από έναν τριφασικό κινητήρα ισούται με

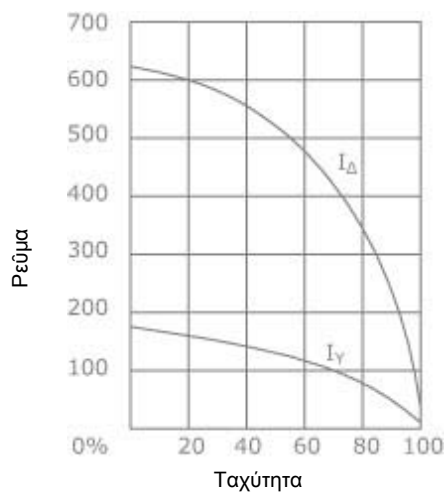
$$I = \frac{P_m}{\sqrt{3} \times U \times n \times \cos \varphi}$$

όπου

- I : απορροφούμενη ένταση ρεύματος σε A
- P_m : αποδοσιμένη ισχύς στον άξονα σε Watt
- U : τάση σε V
- n : βαθμός αποδόσεως
- $\cos \varphi$: συντελεστής ισχύος

Η ένταση του ρεύματος μεταβάλλεται σημαντικά από την εκκίνηση έως την ταχύτητα συγχρονισμού. Κατά την εκκίνηση ή τιμή της εντάσεως είναι σημαντικά αυξημένη εν σχέση με την ονομαστική ένταση του κινητήρος. Το ρεύμα εκκινήσεως κυμαίνεται, αναλόγως του μεγέθους του κινητήρος και της κατασκευής του δρομέως, από 4 έως 7 φορές του ονομαστικού (Σχήμα 1.2.1).

Σχήμα 1.2.1
Η τυπική καμπύλη ρεύματος /στροφών για εν κενώ εκκίνηση κατά τρίγωνο και κατ' άστέρα, για κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέως.



§1.3: Συντελεστής ισχύος $\cos\phi$

Όταν ένα αλλασσόμενο ήμιτονοειδές ρεύμα διέρχεται από ένα κύκλωμα, ή τάση και ή ένταση μεταβάλλονται και οι δύο κατά τον ίδιο ήμιτονοειδή τρόπο. Έκαστη εξ αυτών λαμβάνει, κατά την διάρκεια μίας περιόδου, την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της: ή τάση μεταβάλλεται από $+V$ έως $-V$ (Volt) και ή ένταση από $+I$ έως $-I$ (Ampere). Άλλα γενικώς, ή μέγιστη τάση $+V$ δεν δημιουργείται την ίδια χρονική στιγμή με την μέγιστη ένταση $+I$. Το ίδιο συμβαίνει και με τις ελάχιστες τιμές.

Η τάση μεταβάλλεται κατά την σχέση:

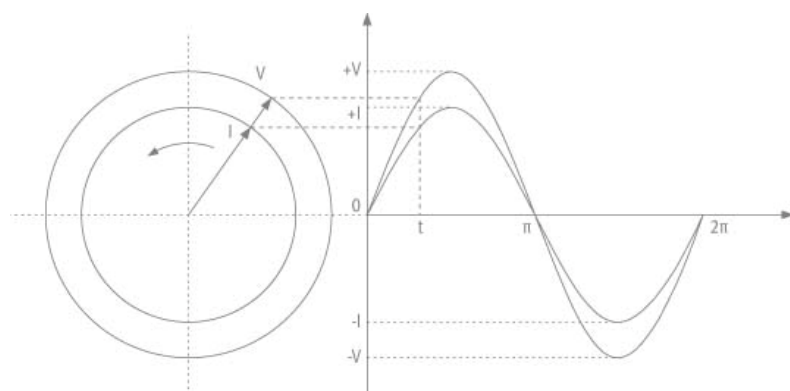
$$v = V \times \sin \omega t$$

ένω ή ένταση κατά την σχέση:

$$i = I \times \sin(\omega t + \phi)$$

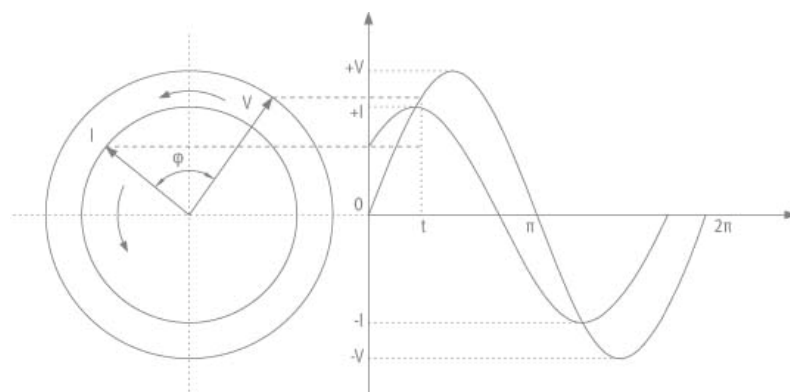
Η γωνία ϕ καλείται γωνία φασικής απόκλισης.

Γενικώς έχουμε τρεις περιπτώσεις:



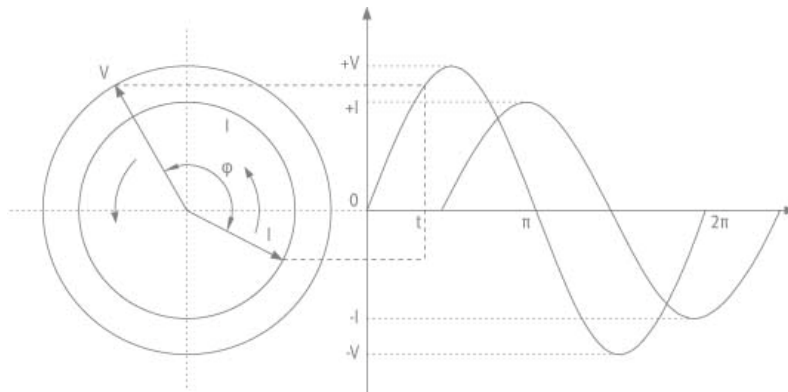
Σχήμα 1.3.1

Όταν ή μέγιστη (και ή ελάχιστη) τιμή της τάσεως συμπίπτει χρονικά με την μέγιστη (και την ελάχιστη) τιμή της έντάσεως, όποτε $\phi = 0$ (Σχήμα 1.3.1). Στην πράξη τέτοιο κύκλωμα συναντάμε σπάνια.



Σχήμα 1.3.2

Όταν το διάνυσμα της έντάσεως προηγείται χρονικά του διανύσματος της τάσεως (Σχήμα 1.3.2). Το κύκλωμα αυτό καλείται χωρητικό. Η ονομασία προκύπτει από την χαρακτηριστική ιδιότητα των πυκνωτών.

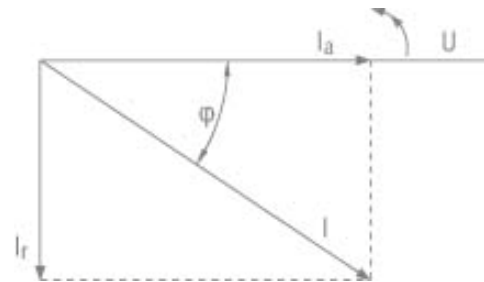


Σχήμα 1.3.3

Όταν το διάνυσμα της έντασης έπεται χρονικά του διανύσματος της τάσεως (Σχήμα 1.3.3). Το κύκλωμα αυτό καλείται έπαγωγικό. Το κύκλωμα του στάτη των άσυγχρόνων έπαγωγικών κινητήρων είναι έπαγωγικό. Η απόκλιση εκφράζεται συνήθως από το συνημίτονο της γωνίας ϕ ($\cos\phi$), το οποίο και καλείται συντελεστής ισχύος.

Σημασία του συντελεστού ισχύος:

Αναλύοντας το άνυσμα της έντασεως σε δύο γεωμετρικές συνιστώσες έχουμε τα μεγέθη I_a και I_r . Το άνυσμα I_a είναι επί του άξονος των τάσεων, ενώ το I_r έχει απόκλιση 90° . Έτσι το I_a είναι η μόνη ένταση που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από τον κινητήρα. Γι' αυτό και καλείται **ένεργος ένταση** και η ισχύς που προκαλεί **ένεργος ισχύς**.



Σχήμα 1.3.4

Στο τριφασικό ρεύμα, αυτή η ισχύς ισούται με

$$P_a = U \times I_a \times \sqrt{3}$$

και έπειδή (βλ. Σχήμα 1.3.4)

$$I_a = I \times \cos\phi$$

προκύπτει

$$P_a = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi$$

Η συνιστώσα I_r της έντασεως καλείται **άεργος ένταση** και προκαλεί μία ισχύ ή όποια χρησιμεύει για την μαγνήτιση, αλλά δεν συμμετέχει στην μετατροπή σε μηχανική ισχύ. Το αποτέλεσμα της I_r καλείται **άεργος ισχύς** (ή **ισχύς μαγνητίσεως**). Στο τριφασικό ρεύμα, αυτή η ισχύς ισούται με

$$P_r = U \times I \times \sqrt{3} \times \sin\phi$$

Άλλα από το δίκτυο, ο κινητήρας απορροφά στην πραγματικότητα μία ένταση I ή όποια πολλαπλασιαζόμενη επί την τάση μᾶς δίνει μία ισχύ την όποία ονομάζουμε **φαινομένη ισχύ**. Εκφράζεται σε VOLTAMPERE (VA) ή σε KILOVOLTAMPERE (KVA). Στο τριφασικό ρεύμα, αυτή η ισχύς ισούται με

$$P = U \times I \times \sqrt{3}$$

Κατά τον σχεδιασμό και την μελέτη τῶν κινητήρων, επιδιώκουμε νὰ πλησιάζη, ὅσο τὸ δυνατόν περισσότερο, ἡ ἐνεργὸς ισχύς τὴν φαινομένη, δηλαδὴ τὸ $\cos\phi$ νὰ πλησιάζη στὴν μονάδα, ἥτοι ἡ γωνία φασικῆς ἀποκλίσεως νὰ εἶναι πολὺ μικρῆ.

Μποροῦμε νὰ βελτιώσουμε τὸν συντελεστὴ ισχύος μιᾶς ἐγκαταστάσεως χρησιμοποιώντας πυκνωτές. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται ἐξ αἰτίας τῆς ιδιότητος τῶν πυκνωτῶν νὰ προκαλοῦν ἀντίθετη γωνία ἀπὸ αὐτὴν τῆς ἐπαγωγικῆς φασικῆς ἀποκλίσεως καὶ ἔτσι νὰ μειώνουν ἢ νὰ μηδενίζουν τὴν γωνία ἐπαγωγικῆς ἀποκλίσεως τῶν κινητήρων.

Ἡ τιμὴ τοῦ συντελεστῆ ισχύος $\cos\phi$ ἐνὸς κινητήρος μεταβάλλεται συναρτήσῃ τοῦ φορτίου. Γενικῶς, αὐξανόμενου τοῦ φορτίου αὐξάνεται καὶ τὸ $\cos\phi$. Στὸν Πίνακα 1.3.1 δίδουμε τὶς τιμὲς τοῦ $\cos\phi$ στὰ μερικὰ φορτία. Οἱ τιμὲς αὐτὲς εἶναι ἐνδεικτικὲς.

Πίνακας 1.3.1: Συντελεστὴς ισχύος σὲ μερικὰ φορτία							
1/2Φ	3/4Φ	4/4Φ	5/4Φ	1/2Φ	3/4Φ	4/4Φ	5/4Φ
0,83	0,88	0,90	0,90	0,65	0,75	0,80	0,81
0,80	0,86	0,89	0,89	0,63	0,74	0,79	0,80
0,78	0,85	0,88	0,88	0,61	0,72	0,78	0,80
0,76	0,84	0,87	0,87	0,59	0,71	0,77	0,79
0,75	0,83	0,86	0,86	0,58	0,70	0,76	0,78
0,73	0,81	0,85	0,86	0,56	0,69	0,75	0,78
0,71	0,80	0,84	0,85	0,55	0,68	0,74	0,77
0,69	0,79	0,83	0,84	0,54	0,67	0,73	0,77
0,67	0,77	0,82	0,83	0,52	0,63	0,72	0,76
0,66	0,76	0,81	0,82	0,50	0,62	0,71	0,76

§1.4: Βαθμὸς Ἀποδόσεως

Ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως ἐνὸς κινητήρος δίδεται ἀπὸ τὴν σχέση

$$n = \frac{P_m}{P_a}$$

ὅπου

n = βαθμὸς ἀποδόσεως ἐκπεφρασμένος ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν

P_m = αποδοσμένη ισχύς στον άξονα του κινητήρος

P_a = απορροφουμένη από το δίκτυο ισχύς, δηλ. ενεργός ισχύς

Έπειδή δε

$$P_a = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$$

έχουμε

$$n = \frac{P_m}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi}$$

Η διαφορά $P_a - P_m$ αντιπροσωπεύει τις απώλειες του κινητήρος. Έχουμε δε τις εξής απώλειες:

- **Απώλειες σιδήρου (P_{fe}):** Οφείλονται στα φαινόμενα μαγνητικής ύστερήσεως και στα ρεύματα Foucault τα όποια δημιουργούνται στα μαγνητικά κυκλώματα του στάτη και του δρομέως.
- **Απώλειες μηχανικές (P_{m+v}):** Οφείλονται στις τριβές στα έδρανα και στην αναγκαία ισχύ που καταναλίσκεται για τον αερισμό του κινητήρος.
- Οι απώλειες σιδήρου και οι μηχανικές απώλειες καλούνται και σταθερές απώλειες έπειδή είναι ανεξάρτητες από το φορτίο.
- **Απώλειες Joule:** Καλούνται έτσι οι απώλειες που δημιουργούνται από το φαινόμενο joule στους ηλεκτρικούς άγωγους του κινητήρος: τύλιγμα του στάτη ($P_{J(st)}$), κλωβός του δρομέως ή τύλιγμα του δρομέως στους δακτυλιοφόρους κινητήρες ($P_{J(rot)}$). Λέγονται λοιπόν **απώλειες χαλκού** και ισούονται με

$$R \times I^2$$

όπου

R = ωμική αντίσταση

I = ένταση ρεύματος

Οι απώλειες Joule του στάτη είναι εύκολο να υπολογιστούν: αρκεί να μετρήσουμε την ωμική αντίσταση κάθε μιάς φάσεως, σε μία δεδομένη θερμοκρασία, καθώς και την ένταση του ρεύματος.

Οι απώλειες Joule του δρομέως υπολογίζονται, σύμφωνα με τα IEC 34-2, από την σχέση

$$P_{J(rot)} = P_{em} \times s$$

όπου

$P_{J(rot)}$: απώλειες Joule του δρομέως.

P_{em} : ισχύς που μεταφέρεται στον δρομέα, δηλ. ή απορροφούμενη από το δίκτυο ισχύς μειωμένη κατά τις απώλειες του στάτη.

s : όλισθηση

Η σχέση αυτή είναι βασική στην λειτουργία των ασύγχρονων επαγωγικών κινητήρων.

Πρόσθετες απώλειες φορτίου (P_s)

Οι απώλειες αυτές δημιουργούνται όταν ο κινητήρας εργάζεται υπό φορτίο, και αναλύονται σε απώλειες σιδήρου και απώλειες από ρεύματα Foucault.

Οι πρόσθετες απώλειες φορτίου υπολογίζονται, βάσει των IEC 34-2 §9.1.3, σε 0,5% της απορροφούμενης ισχύος.

Ο βαθμός αποδόσεως ενός δεδομένου κινητήρος δεν είναι σταθερός. Έξαρτάται από το φορτίο. Γενικώς, καταβάλλεται προσπάθεια ώστε ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως να απαντάται μεταξύ των 3/4 και 4/4 του φορτίου. Στον Πίνακα 1.4.1 δίδουμε τις τιμές του βαθμού αποδόσεως σε μερικά φορτία. Οι τιμές είναι ένδεικτικές.

Πίνακας 1.4.1: Βαθμός αποδόσεως σε μερικά φορτία							
1/2Φ	3/4Φ	4/4Φ	5/4Φ	1/2Φ	3/4Φ	4/4Φ	5/4Φ
93,5	95	95	94,5	79	74	74	72
92,5	94	94	93,5	70	73	73	71
91,5	93	93	92,5	68	72	72	70
91	92	92	91,5	67	71	71	69
90	91	91	90	66	70	70	68
89	90	90	89	65	69	69	67
88	89	89	88	64	67,5	68	66
87	88	88	87	62	66,5	67	65
86	87	87	86	61	65	66	64
85	86	86	85	60	64	65	63
84	85	85	83,5	59	63	64	62
83	84	84	82,5	57	62	63	61
82	83	83	81,5	56	60,5	62	60,5
81	82	82	80,5	55	59,5	61	59,5
80	81	81	79,5	54	58,5	60	58,5
79	80	80	78,5	53	58	59	57
77	79,5	79	77,5	52	57	58	56
75,5	78,5	78	76,5	51	55	57	55
74	77,5	77	75	49	54	56	54
73	76	76	74	47	52	55	53
72	75	75	73	46	51	54	52

§1.5: Ταχύτητα συγχρονισμού

Η ταχύτητα συγχρονισμού ενός κινητήρος είναι ή ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και μετρείται σε αριθμό στροφών ανά πρώτο λεπτό (rpm). Έξαρτάται από την συχνότητα του ρεύματος και από τον αριθμό των ζευγών πόλων κάθε φάσεως στο τύλιγμα του στάτη.

Έκφράζεται από την σχέση

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

όπου

n_s = ταχύτητα συγχρονισμού σε rpm

f = συχνότης του ρεύματος σε Hertz (Hz) δηλ. σε περιόδους ανά sec

p = αριθμός ζευγών πόλων

Από την σχέση αυτή παρατηρούμε ότι οι στροφές ενός κινητήρος δεν εξαρτώνται από την τάση του δικτύου ούτε από τον αριθμό των φάσεων (μονοφασικοί ή τριφασικοί κινητήρες).

Επιλύοντας την ανωτέρω εξίσωση για 50 Hz και 60 Hz έχουμε (Πίνακας 1.5.1):

Πίνακας 1.5.1: Ταχύτητα συγχρονισμού		
Αριθμός πόλων	Στροφές ανά λεπτό δια 50Hz	Στροφές ανά λεπτό δια 60Hz
2	3.000	3.600
4	1.500	1.800
6	1.000	1.200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
14	428	514
16	375	450

Ο κινητήρας αποκτά την ταχύτητα συγχρονισμού όταν δεν αποδίδει ισχύ.

Πρακτικώς μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι στροφές του κινητήρος εν κενώ είναι οι στροφές συγχρονισμού διότι η αποδιδόμενη ισχύς καλύπτει μόνον τις απώλειες εν κενώ.

Επίσης ή σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα του κινητήρος εκφράζεται από την σχέση

$$\Omega_s = \frac{2\pi f}{p}$$

όπου

Ω_s = σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα σε rad/sec

f = συχνότης του ρεύματος σε Hertz (Hz)

p = αριθμός ζευγών πόλων

§1.6: Όλίσθηση

Όταν ένας ασύγχρονος κινητήρας αποδίδει μία ισχύ οι στροφές του είναι μικρότερες από τις στροφές του συγχρονισμού. Εάν n_c είναι η ταχύτητα υπό φορτίον, καλούμε **όλίσθηση** s τον λόγο

$$s = \frac{n_s - n_c}{n_s}$$

έκπεφρασμένο επί τοίς εκατόν, και συνεπώς οι στροφές του κινητήρος σε ένα φορτίο είναι

$$n_c = n_s \times (1 - s)$$

Η όλίσθηση ενός κινητήρος δεν είναι σταθερή. Εξαρτάται από το φορτίο και αυξάνεται με αυτό. Επίσης η όλίσθηση δεν είναι η ίδια σε όλους τους κινητήρες. Σε κινητήρες μεγάλης ισχύος είναι μικρή, ενώ σε κινητήρες μικρής ίπποδυναμείας είναι μεγάλη. Πρακτικώς, στο πλήρες φορτίο, η όλίσθηση κυμαίνεται, αναλόγως τής ισχύος, από 0,3% έως 10%.

§1.7.1: Ροπή

Η ροπή ή αποδιδόμενη στον άξονα του κινητήρος ισούται με

$$M = 9,55 \frac{P}{n_c} = 9,55 \frac{P}{n_s(1-s)}$$

όπου

M : ροπή σε Nm

P : αποδιδόμενη ισχύς σε W

n_s : στροφές συγχρονισμού σε rpm

n_c : στροφές υπό φορτίο σε rpm

s : όλίσθηση

Επίσης ή ροπή εκφράζεται από την σχέση

$$M = \frac{P}{\Omega_c} = \frac{P}{\Omega_s(1-s)}$$

όπου

Ω_s : σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα σε rad/sec

Ω_c : γωνιακή ταχύτητα υπό φορτίο σε rad/sec

και έπειδή

$$\Omega_s = \frac{2\pi f}{p}$$

έχουμε

$$M = \frac{P \times p}{2\pi f(1-s)}$$

όπου

p = αριθμός ζευγών πόλων

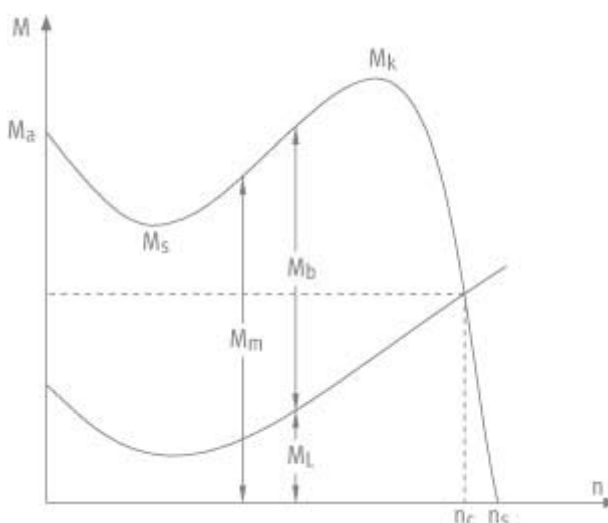
f = συχνότητα του ρεύματος σε Hertz (Hz)

§1.7.2: Ροπή εκκινήσεως – Έλαχίστη ροπή – Ροπή άνατροπής

Η ροπή ενός κινητήρος υπό σταθερή τάση, μεταβάλλεται σημαντικά από την εκκίνηση έως την ταχύτητα συγχρονισμού. Στο Σχήμα 1.7.2 φαίνεται ή τυπική καμπύλη ροπής / στροφών ενός ασύγχρονου έπαγωγικού κινητήρος βραχυκυκλωμένου δρομέως.

Σχήμα 1.7.2:

Η καμπύλη αυτή είναι σημαντική για την λειτουργία των κινητήρων. Κατά την στιγμή τής εκκινήσεως, όταν οι στροφές είναι πρακτικώς μηδέν, ή ροπή του κινητήρος έχει την τιμή M_a και ή ροπή αυτή καλεΐται **ροπή εκκινήσεως** (breakaway torque). Αύξανόμενων των στροφών, ή ροπή μειούται έως την τιμή M_s και ή ροπή αυτή καλεΐται **έλαχίστη ροπή** (pull-up torque). Έν συνέχεια οι στροφές αύξάνονται και ή τιμή τής ροπής αύξάνεται έως την τιμή M_k και ή τιμή αυτή καλεΐται **μεγίστη ροπή** ή **ροπή άνατροπής** (breakdown torque). Τέλος από τó σημείο αυτό ή ροπή μειούται και γίνεται μηδέν στις στροφές συγχρονισμού.



Τό όριο μηχανικής ύπερφορτίσεως ενός κινητήρος καθορίζεται από την ροπή άνατροπής του.

Σύμφωνα με τὰ IEC 34-1 §19.1 οι έπαγωγικοί κινητήρες πρέπει να μπορούν να άποδίδουν

ροπή έως 1,6 φορές της ονομαστικής ροπής τους, υπό ονομαστική τάση και συχνότητα, και επί χρονικό διάστημα 15 sec χωρίς φρενάρισμα ή απότομη πτώση τών στροφών.

Η επιτρεπόμενη τιμή της **ελάχιστης ροπής** τών τριφασικών επαγωγικών κινητήρων καθορίζεται σύμφωνα με τὰ IEC 34-1 §20.1.

- Για κινητήρες ονομαστικής ισχύος < 100kW: 0,5 τής ονομαστικής ροπής και όχι μικρότερη του 50% τής ροπής έκκινήσεως.
- Για κινητήρες ονομαστικής ισχύος ≥ 100kW: 0,3 τής ονομαστικής ροπής και όχι μικρότερη του 50% τής ροπής έκκινήσεως.
- Για μονοφασικούς κινητήρες: 0,3 τής ονομαστικής ροπής (IEC 34-1 §20.2).

§1.7.3: Ροπή έπιταχύνσεως

Στὸ Σχήμα 1.7.2 φαίνεται και ἡ καμπύλη ροπής / στροφών τοῦ φορτίου (M_L). Λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν και τών ἀνοχών (βλ. κεφ. 9. **Άνοχές**), ἡ ροπή έκκινήσεως τοῦ κινητήρος πρέπει νὰ εἶναι σημαντικά μεγαλύτερη τής ἀπαιτουμένης ροπής έκκινήσεως τοῦ φορτίου. Ἡ ροπή τοῦ κινητήρος πρέπει νὰ παραμένει σημαντικά ἀνώτερη τής ροπής τοῦ φορτίου καθ' ὅλην τὴν διάρκεια έπιταχύνσεως τοῦ κινητήρος μέχρι τὶς στροφές λειτουργίας. Οἱ στροφές λειτουργίας ὀρίζονται ἀπὸ τὸ σημεῖο ἐκεῖνο, ὅπου ἡ καμπύλη ροπής τοῦ φορτίου τέμνει τὴν καμπύλη ροπής τοῦ κινητήρος. Τὸ σημεῖο αὐτὸ εἶναι τὸ σημεῖο λειτουργίας τοῦ συστήματος. Ἡ διαφορὰ τών τιμών τών ροπών σὲ κάθε σημεῖο τής καμπύλης ὀνομάζεται **ροπή έπιταχύνσεως** (M_b).

§1.8: Ἴσοζύγιο ισχύος

Ἔστω:

$$\begin{aligned}\text{Ἀπορροφουμένη ισχύς} &= \text{ισχύς εισόδου εἰς τὸν σᾶτη} = P_a \\ \text{Ἴσχύς ἐξόδου ἀπὸ τὸν σᾶτη} &= P_{em} \\ \text{Ἀπώλειες σᾶτου} &= \text{tot } P_{st} \\ \text{Ὀλική ισχύς ἐξόδου ἀπὸ τὸν δρομέα} &= P_{tot} \\ \text{Ὡμικές ἀπώλειες δρομέως (ἀπώλειες joule)} &= P_{J(rot)} \\ \text{Ὀλική ροπή δρομέως} &= M_{tot} \\ \text{Ὡφέλιμος ροπή δρομέως} &= M_{\omega\phi} \\ \text{Στροφές συγχρονισμού} &= n_s \\ \text{Στροφές ὑπὸ φορτίον} &= n_c\end{aligned}$$

Ἡ ἀπορροφουμένη ἐκ τοῦ δικτύου ὑπὸ τοῦ σᾶτου ισχύς, μειουμένη κατὰ τὶς ἀπώλειες ἐντὸς αὐτοῦ, μεταφέρεται στὸν δρομέα.

Έχουμε λοιπόν

$$\begin{array}{l} \text{ισχύς εισόδου} \\ \text{εις τόν στάτη} \end{array} = \begin{array}{l} \text{ισχύς έξόδου} \\ \text{άπό τόν στάτη} \end{array} + \begin{array}{l} \text{άπώλειες} \\ \text{στάτου} \end{array}$$

ήτοι

$$P_a = P_{em} + totP_{st}$$

Η ισχύς έξόδου από τόν στάτη μεταφέρεται έξ ολοκλήρου έπαγωγικά στό κύκλωμα τού δρομέως. Προφανώς έχουμε:

$$\begin{array}{l} \text{ισχύς εισόδου} \\ \text{εις τόν δρομέα} \end{array} = \begin{array}{l} \text{ισχύς έξόδου} \\ \text{άπό τόν στάτη} \end{array} = P_{em}$$

Επίσης

$$\begin{array}{l} \text{όλική ισχύς έξόδου} \\ \text{άπό τόν δρομέα} \end{array} = \begin{array}{l} \text{ισχύς εισόδου} \\ \text{στόν δρομέα} \end{array} - \begin{array}{l} \text{άπώλειες Joule} \\ \text{δρομέα} \end{array}$$

ήτοι

$$P_{tot} = P_{em} - P_{J(rot)}$$

Αυτή ή όλική ισχύς έξόδου από τόν δρομέα μετατρέπεται σέ μηχανική ένέργεια και δημιουργεί τήν όλική ροπή δρομέα. Από αυτήν τήν όλική ροπή, μέρος καταναλίσκεται για τόν άερισμό και τις τριβές και τó υπόλοιπον άποτελεί τήν ώφέλιμο ροπή τήν άποδιδομένη στόν άξονα τού κινητήρος.

Έχουμε λοιπόν

$$M_{tot} = \frac{P_{tot}}{2\pi n_c}$$

Έάν δέν υπάρχουν ώμικές άπώλειες στόν δρομέα, τότε ή ισχύς έξόδου από τόν δρομέα ίσοται μέ τήν ισχύ εισόδου και ό δρομέας στρέφεται μέ τήν σύγχρονη ταχύτητα.

Έχουμε λοιπόν

$$M_{tot} = \frac{\text{Ισχύς Εισόδου Στον Δρομέα}}{2 \times \pi \times n_s}$$

Από τις δύο αυτές έξισώσεις έχουμε

$$\begin{array}{l} \text{Ίσχύς έξόδου} = M_{tot} \times 2 \times \pi \times n_c \\ \text{Ίσχύς εισόδου} = M_{tot} \times 2 \times \pi \times n_s = P_{em} \end{array}$$

Η διαφορά τῶν δύο αὐτῶν ἰσχύων ἰσοῦται μὲ τὶς ὠμικὲς ἀπώλειες τοῦ δρομέως, ἥτοι

$$P_{J(rot)} = M_{tot} \times 2 \times \pi \times (n_s - n_c)$$

Ἀπὸ τὶς δύο τελευταῖες ἐξισώσεις προκύπτει

$$\frac{P_{J(rot)}}{P_{em}} = \frac{M_{tot} \times 2 \times \pi \times (n_s - n_c)}{n_c} = \frac{n_s - n_c}{n_s} = s$$

καὶ

$$P_{J(rot)} = P_{em} \times s$$

Ἔχουμε ἐπίσης

ὀλική ἰσχύς ἐξόδου	=	ἰσχύς εἰσόδου	ἀπώλειες
ἀπὸ τὸν δρομέα	=	$P_{em} - (s \times P_{em})$	χαλκοῦ
	=	$P_{em} \times (1 - s)$	δρομέα

ἥτοι

$$P_{tot} = P_{em} \times (1 - s)$$

Ἀπὸ τὶς δύο αὐτὲς ἐξισώσεις προκύπτει

$$\frac{P_{tot}}{P_{J(rot)}} = \frac{1 - s}{s}$$

2. ΟΡΙΣΜΟΙ

Παραθέτουμε κατωτέρω τους όρισμούς, κατά IEC 34-1, ώρισμένων βασικών έννοιων και μεγεθών.

§2.1. Όνομαστική λειτουργία

Η λειτουργία κατά την οποία το σύνολο των ηλεκτρικών και μηχανικών παραμέτρων της μηχανής (από απόψεως αριθμητικών τιμών και χρόνου εφαρμογής), ταυτίζονται απόλυτως με τα στοιχεία που προσδιορίζονται και έγγυώνται από τον κατασκευαστή και φαίνονται στην πινακίδα των στοιχείων της μηχανής.

§2.2. Όνομαστική τιμή

Η αριθμητική τιμή ενός μεγέθους που περιλαμβάνεται στην όνομαστική λειτουργία.

§2.3. Όνομαστική ισχύς

Η αριθμητική τιμή της ισχύος που περιλαμβάνεται στην όνομαστική λειτουργία. Στους ηλεκτροκινητήρες έννοούμε την μηχανική ισχύ, την αποδιδόμενη στον άξονα. Μονάδα μετρήσεως είναι τα Watts (W). Στην Ελλάδα συνηθίζεται ως μονάδα μετρήσεως ο ίππος (HP).

§2.4. Φορτίο

Το σύνολο των αριθμητικών τιμών των ηλεκτρικών και μηχανικών μεγεθών, που άπαρτίζουν την άπαιτηση από έναν κινητήρα σε μία δεδομένη στιγμή.

§2.5. Έν κενώ λειτουργία

Η λειτουργία της μηχανής υπό όνομαστικές τιμές όλων των παραμέτρων (τάση, συχνότητα κλπ.) αλλά χωρίς καμμία άπαιτηση παροχής ισχύος.

§2.6. Στάση (άπενεργοποίηση)

Η πλήρης άπουσία κινήσεως και κάθε ηλεκτρικής ή μηχανικής τροφοδοσίας.

§2.7. Λειτουργία

Ο τρόπος φορτίσεως ενός κινητήρος, περιλαμβανομένης της έν κενώ λειτουργίας, των στάσεων, καθώς και της χρονικής του περιγραφής (διάρκεια και χρονική διαδοχή).

§2.8. Είδος λειτουργίας

Η συνεχής λειτουργία ή η περιοδική μικρής διάρκειας λειτουργία, με σταθερά φορτία κατά ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

§2.9. Θερμική ισορροπία

Η κατάσταση στην οποία η αύξηση της θερμοκρασίας στα διάφορα μέρη της μηχανής δεν μεταβάλλεται πέραν των 28°C σε χρονικό διάστημα μίας ώρας.

§2.10. Συντελεστής διάρκειας λειτουργίας

Ο λόγος του χρόνου λειτουργίας υπό φορτίον (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου έκκινήσεως και του χρόνου ηλεκτρικής πεδήσεως) προς τον χρόνο ενός κύκλου, εκπεφρασμένος επί τοίς εκατόν.

§2.11. Ροπή με άκίνητοποιημένο δρομέα

Η ελάχιστη ροπή που αναπτύσσει ο κινητήρας, τροφοδοτούμενος με όνομαστική τάση και συχνότητα, ενώ ο δρομέας είναι άκίνητοποιημένος.

§2.12. Ρεύμα με άκίνητοποιημένο δρομέα

Η ένταση του ρεύματος που απορροφά ο κινητήρας, τροφοδοτούμενος με όνομαστική τάση και συχνότητα, ενώ ο δρομέας είναι άκίνητοποιημένος.

§2.13. Έλαχίστη ροπή (pull-up torque)

Η ελάχιστη τιμή της ροπής που αναπτύσσει ο κινητήρας (τροφοδοτούμενος με όνομαστική τάση και συχνότητα) μεταξύ της μηδενικής ταχύτητας και της ταχύτητας που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ροπή.

§2.14. Μεγίστη ροπή ή ροπή ανατροπής (breakdown torque)

Η μέγιστη ροπή λειτουργίας την οποία δύναται να αποδώσει ο κινητήρας, υπό όνομαστική τάση και συχνότητα, εν θερμώ, χωρίς απότομη βύθιση της ταχύτητός του.

§2.15. Ψυκτικό μέσο

Το μέσον (αέριο ή υγρό) με το οποίο μεταφέρεται η θερμότητα.

§2.16. Συντελεστής αδρανείας (FI)

Καλείται ο λόγος

$$FI = \frac{A + B}{A}$$

όπου

- A : ροπή αδρανείας του κινητήρος
- B : ροπή αδρανείας του φορτίου (άναγομένη στις στροφές του κινητήρος)

3. ΕΙΔΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

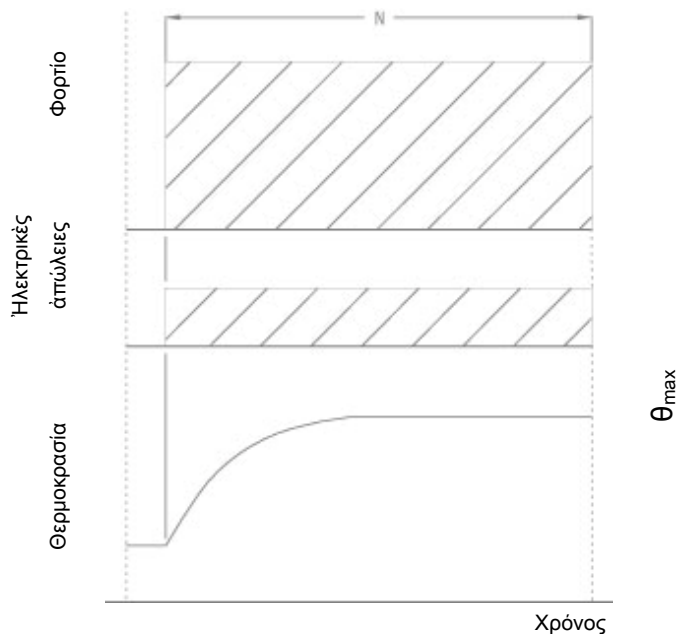
Για να ανταποκριθῆ ὁ κινητήρας στις ἀπαιτήσεις τοῦ χρήστη καὶ νὰ ἐργάζεται ὁμαλά, εἶναι πολὺ σημαντικὴ ἢ σωστὴ προδιαγραφὴ τοῦ εἴδους τῆς λειτουργίας του.

Ἀναφέρουμε τὰ τυποποιημένα εἶδη λειτουργίας (κατὰ IEC 34-1), ποὺ καλύπτουν τὶς περισσότερες περιπτώσεις. Ἡ ἐμπειρία, οἱ γνώσεις καὶ ἡ σωστὴ ἐκτίμηση θὰ βοηθήσουν νὰ περιγράψουμε ὅσο εἶναι δυνατόν πιὸ σωστὰ τὴν λειτουργία ἑνὸς κινητήρος καὶ νὰ τὴν κατατάξουμε σὲ μιὰ ἀπὸ τὶς παρακάτω:

§3.1: Συνεχῆς λειτουργία (S1)

Ὁ κινητήρας ἐργάζεται ὑπὸ σταθερὸ φορτίο, ἐπὶ ἄρκετὸ χρονικὸ διάστημα, ὥστε νὰ ἐπέλθῃ ἡ θερμικὴ ἰσορροπία.

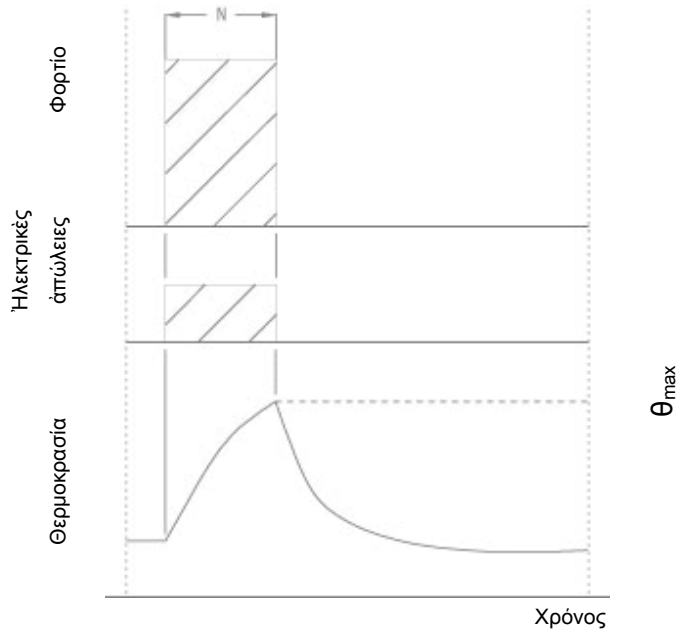
(Σχῆμα 3.1.1)



§3.2: Λειτουργία μικρής διάρκειας (S2)

Ο κινητήρας εργάζεται επί μικρό χρονικό διάστημα, τόσο ώστε δεν αποκαθίσταται ή θερμική ισορροπία, και η διακοπή λειτουργίας είναι τόσο μεγάλη, ώστε η θερμοκρασία του επανέρχεται στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τυποποιημένοι χρόνοι για την διάρκεια λειτουργίας: 10 min, 30 min, 60 min και 90 min.

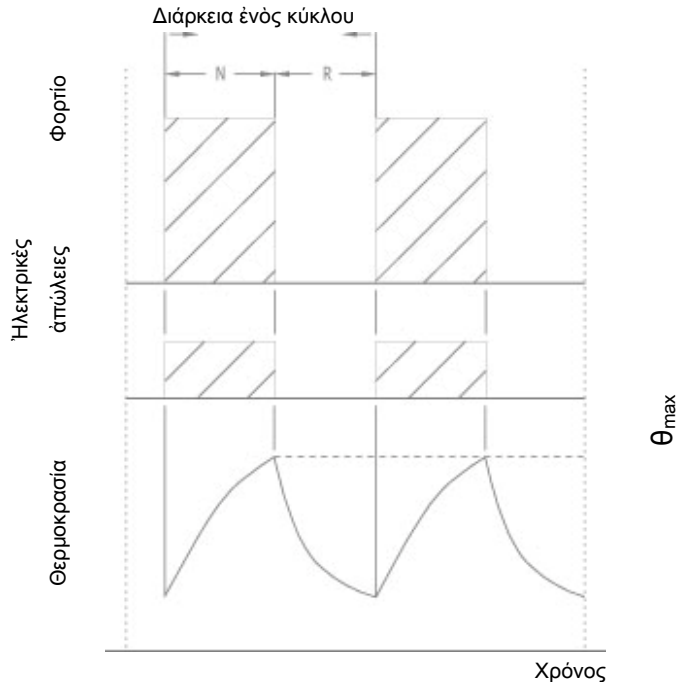
(Σχήμα 3.2.1)



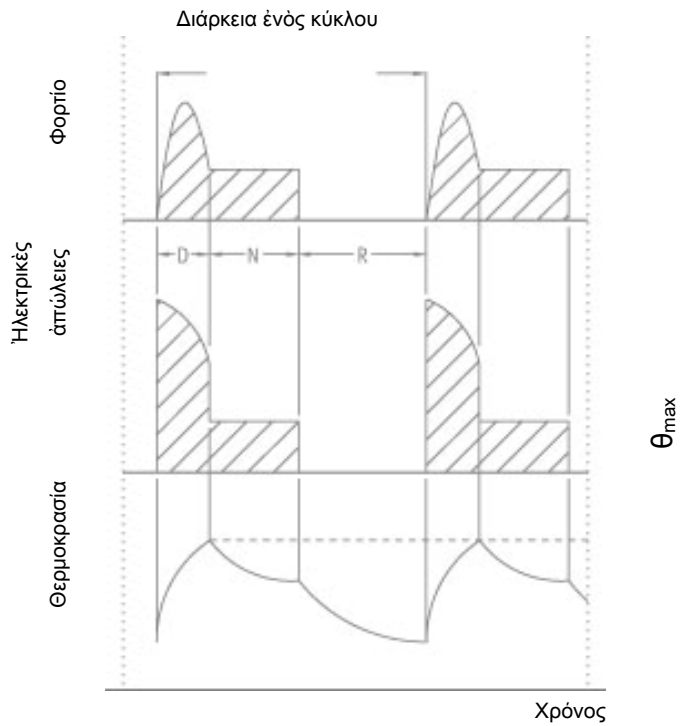
§3.3: Διακοπτόμενη περιοδική λειτουργία (S3)

Ο κινητήρας εκτελεί ίδιους κύκλους φορτίσεων (υπό σταθερό φορτίο) – στάσεων, τέτοιας χρονικής διάρκειας, ώστε δεν φθάνει η θερμοκρασία του την μέγιστη επιτρεπόμενη και το ρεύμα εκκινήσεως δεν επιδρά στην θερμοκρασία. Τυποποιημένες τιμές για τον συντελεστή διάρκειας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.

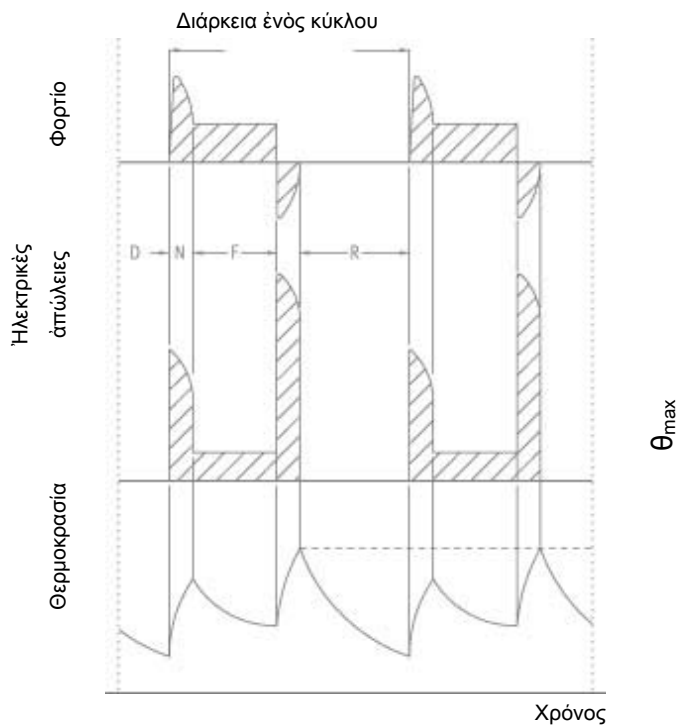
(Σχήμα 3.3.1)



§3.4: Διακοπτομένη περιοδική λειτουργία με επίπτωση των εκκινήσεων (S4)
 Ο κινητήρας εκτελεί ίδιους κύκλους φορτίσεων (υπό σταθερό φορτίο) – στάσεων, και το ρεύμα εκκινήσεως επιδρά επί τής τελικής θερμοκρασίας.
 Τυποποιημένες τιμές για τόν συντελεστή διάρκειας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.
 (Σχήμα 3.4.1)



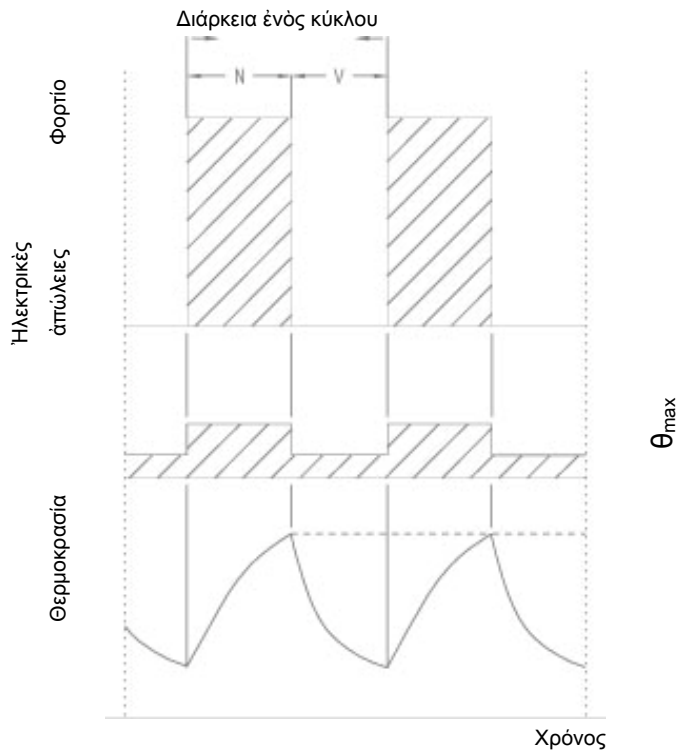
§3.5: Διακοπτομένη περιοδική λειτουργία με επίπτωση των εκκινήσεων και ηλεκτρική πέδηση (S5)
 Λειτουργία όμοια με τήν S4 αλλά και με ηλεκτρική πέδηση.
 (Σχήμα 3.5.1)



§3.6: Συνεχής λειτουργία περιοδικών φορτίσεων (S6)

Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας κύκλους με σταθερό φορτίο και έν κενώ. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως. Τυποποιημένες τιμές για τον συντελεστή διάρκειας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.

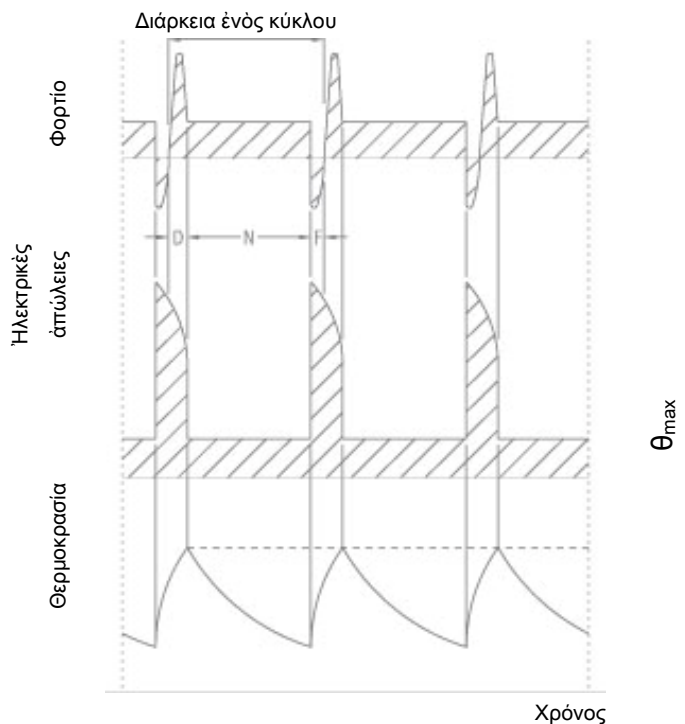
(Σχήμα 3.6.1)



§3.7: Συνεχής λειτουργία περιοδικών ηλεκτρικών πεδήσεων (S7)

Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας κύκλους με σταθερό φορτίο και ηλεκτρική πέδηση. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως. Συντελεστής διάρκειας λειτουργίας 1.

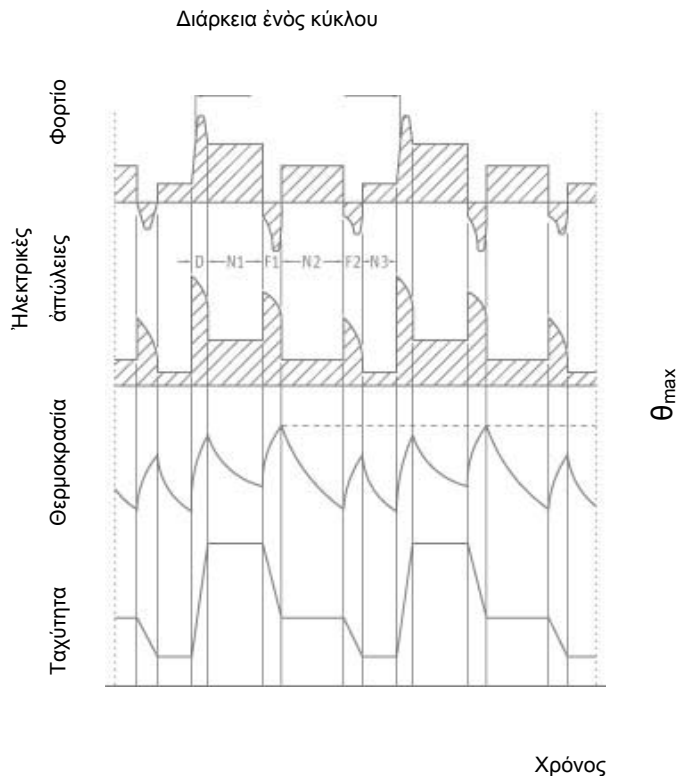
(Σχήμα 3.7.1)



§3.8: Συνεχής λειτουργία περιοδικών αλλαγών στροφών και φορτίου (S8)

Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας ίδιους κύκλους, καθένας από τους οποίους αποτελείται από μία περίοδο με σταθερό φορτίο και μία ώρισμένη ταχύτητα περιστροφής, ακολουθούμενη από μία ή περισσότερες περιόδους λειτουργίας σε διαφορετικά σταθερά φορτία και διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως.

(Σχήμα 3.8.1)



Στα είδη λειτουργίας S3, S4 και S6 ή τυποποιημένη περίοδος (χρονική διάρκεια του κύκλου λειτουργίας) είναι 10 min.

Στα είδη λειτουργίας S4, S5, S7 και S8 πρέπει να δίδεται και ο συντελεστής αδρανείας (FI).

Οι συμβολισμοί των διαφόρων ειδών λειτουργίας, κατά IEC, δίδονται κατωτέρω με διάφορα παραδείγματα:

- S1
- S2 60 min
- S3 25%
- S4 25%, 10 εκκιν. ανά ώρα, FI = 2
- S5 25%, 30 εκκιν. ανά ώρα, FI = 4
- S6 40%
- S7 30 περίοδοι ανά ώρα, FI = 5
- S8 24 kW, 740 rpm, 40%, FI = 10 και
60 kW, 1.450 rpm, 60%, FI = 10

Έάν στην πινακίδα δέν άναγράφεται συμβολισμός είδους λειτουργίας, τότε ή λειτουργία είναι S1.

Τά διάφορα είδη λειτουργίας μπορούμε τελικά νά τά κατατάξουμε στις έξης τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Συνεχής μεγίστη λειτουργία κατά την όποία ό κινητήρας άποδίδει συνεχώς τό πλήρες φορτίο.
2. Μικρής διαρκείας λειτουργία κατά την όποία ό κινητήρας εργάζεται για μία περιορισμένη περίοδο, έκκινώντας πάντα άπό την ψυχρά κατάσταση.
3. Κυκλική λειτουργία κατά την όποία ό κινητήρας έκτελεί κύκλους φορτίσεων με έκκινήσεις που έπηρεάζουν την τελική του θερμοκρασία.

4. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οί τυποποιημένοι κινητήρες μπορούν να εργασθούν στις κατωτέρω συνθήκες, σύμφωνα με τα IEC 34-1 §11 και §12. Βέβαια, κατόπιν ειδικής παραγγελίας, είναι δυνατή ή κατασκευή κινητήρων που να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές συνθήκες.

§4.1. Ύψομετρο

Το ύψομετρο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 1.000 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

§4.2. Θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος και συγκεκριμένα η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου πρέπει να είναι έως 40°C.

Εάν ένας κινητήρας προορίζεται να εργασθή σε ύψομετρο μεγαλύτερο των 1.000 m πρέπει αντίστοιχα η θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι μικρότερη των 40°C.

Ανάλογα με την κλάση μονώσεως της περιελίξεως, τα IEC 34-1 §16 δίνουν τα εξής ανώτερα όρια της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για λειτουργία σε ύψομετρα μεγαλύτερα των 1.000 m:

Ύψομετρο	Θερμοκρασίες περιβάλλοντος (°C)				
	Κλάση μονώσεως				
	A	E	B	F	H
1.000 m	40	40	40	40	40
2.000 m	34	33	32	30	28
3.000 m	28	26	24	20	15
4.000 m	22	19	16	10	5

§4.3. Ηλεκτρικές συνθήκες (τροφοδοσία από το Δίκτυο)

Βάσει των IEC 34-1 §12, οί κινητήρες είναι κατάλληλοι να εργασθούν σε τριφασικά δίκτυα 50 Hz ή 60 Hz και οί τάσεις τροφοδοσίας πρέπει πρακτικώς να είναι ήμιτονοειδείς και να αποτελούν ένα συμμετρικό σύστημα. Οί προδιαγραφές αυτές επεξηγώντας τους δύο αυτούς όρους προσδιορίζουν ότι:

1. Μία τάση, που εφαρμόζεται σε ένα κινητήρα στο ονομαστικό του φορτίο, θα θεωρηθεί πρακτικώς ήμιτονοειδής, όταν η διαφορά μεταξύ της στιγμιαίας τιμής της και της στιγμιαίας τιμής της κυρίας συνιστώσας της (της βασικής αρμονικής), δεν υπερβαίνει το 5% του εύρους της τελευταίας.
2. Ένα πολυφασικό σύστημα τάσεων θεωρείται πρακτικά συμμετρικό, εάν η τάση της αρνητικής συνιστώσας διαφέρει μέχρι 1% από την τάση της κυρίας συνιστώσας, επί μεγάλο χρονικό διάστημα, (ή το πολύ 1,5% επί μικρό χρόνο) και εάν η τάση της συνιστώσας της μηδενικής ακολουθίας δεν υπερβαίνει το 1% της τάσεως της θετικής ακολουθίας.

Σε περίπτωση ταυτόχρονης υπερβάσεως των ανωτέρω ορίων στο πλήρες φορτίο, τα επιτρεπόμενα όρια αύξησεως της θερμοκρασίας αυξάνονται κατά 10°C.

Μεταβολές της τάσεως κατά την λειτουργία

Σύμφωνα με τα IEC 34-1 §12.3 η επιτρεπόμενη διακύμανση της τάσεως είναι 65% της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσεως από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα.

Σε περίπτωση συνεχούς λειτουργίας στα άκροτατα αυτά όρια στο πλήρες φορτίο, τα επιτρεπόμενα όρια αύξησεως της θερμοκρασίας αυξάνονται κατά 10°C.

5. ΒΑΘΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ο βαθμός προστασίας των περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών προδιαγράφεται από τα IEC 34-5, τα όποια μᾶς ὀρίζουν:

1. Τὴν προστασία τοῦ ἀνθρώπου ἔναντι ἐπαφῆς μὲ μέρη ὑπὸ τάση ἢ κινούμενα μέρη, ἔκτὸς ἀπὸ τὸ ἄκρο τοῦ ἄξονα.
2. Τὴν προστασία τῆς μηχανῆς ἔναντι εἰσχωρήσεως ξένων στερεῶν σωμάτων.
3. Τὴν προστασία τῆς μηχανῆς ἔναντι εἰσχωρήσεως ὕδατος.
4. Τὸν κωδικοποιημένο χαρακτηρισμὸ τῶν διαφόρων βαθμῶν προστασίας, καὶ τέλος
5. Τὶς δοκιμὲς γιὰ τὴν πιστοποίηση τοῦ βαθμοῦ προστασίας.

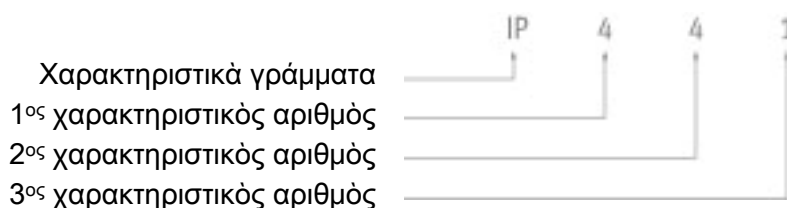
Οἱ προδιαγραφές αὐτές δὲν ὀρίζουν βαθμοὺς προστασίας ἔναντι μηχανικῶν βλαβῶν τῆς μηχανῆς, ἢ ἔναντι συνθηκῶν ὑγρασίας (ποῦ ἔχει προέλθει π.χ. ἀπὸ συμπύκνωση), ἢ ἔναντι ὀξειδωτικῶν ἀτμῶν, ἢ μούχλας, ἢ ζυυφίων. Ἐπίσης οἱ προδιαγραφές αὐτές δὲν ἀναφέρονται σὲ προστασία γιὰ τὴν χρήση τῆς μηχανῆς σὲ ἐκρηκτικὴ ἀτμόσφαιρα.

Ἐξωτερικὰ περιφράγματα, τὰ ὀποῖα τοποθετοῦνται γιὰ τὴν προστασία τῶν ἀνθρώπων, δὲν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν στὸν βαθμὸ προστασίας.

Συμβολισμὸς

Ὁ κωδικὸς ποῦ χαρακτηρίζει τὸν βαθμὸ προστασίας ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰ γράμματα IP συνοδευόμενα ἀπὸ τρεῖς χαρακτηριστικὸς ἀριθμοὺς. Ὁ πρῶτος χαρακτηριστικὸς ἀριθμὸς συμβολίζει τὴν προστασία τῶν ἀνθρώπων καὶ τὴν προστασία τῆς μηχανῆς ἔναντι εἰσχωρήσεως ξένων στερεῶν σωμάτων. Ὁ δεῦτερος χαρακτηριστικὸς ἀριθμὸς συμβολίζει τὴν προστασία τῆς μηχανῆς ἔναντι εἰσχωρήσεως ὕδατος. Ὁ τρίτος χαρακτηριστικὸς ἀριθμὸς συμβολίζει τὴν μηχανικὴ προστασία τῆς μηχανῆς.

Σχῆμα 5.1: Παράδειγμα κωδικοῦ χαρακτηρισμοῦ



Στους κατωτέρω πίνακες έπεξηγούνται οι τρείς αυτοί χαρακτηριστικοί αριθμοί.

Πίνακας 5.1: 1 ^{ος} χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 50 mm
2	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 12 mm
3	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 2,5 mm
4	Προστασία έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου έως 1 mm
5	Προστασία έναντι σκόνης

Πίνακας 5.2: 2 ^{ος} χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι κατακόρυφης πτώσεως ύδατος σε σταγόνες
2	Προστασία έναντι κατακόρυφης πτώσεως ύδατος σε σταγόνες με τον κινητήρα σε οποιαδήποτε γωνιακή απόκλιση έως 15°
3	Προστασία έναντι ψεκασμού ύδατος υπό γωνία έως 60° από την κατακόρυφο
4	Προστασία έναντι ψεκασμού ύδατος από όλες τις κατευθύνσεις
5	Προστασία έναντι έκτοξεύσεως ύδατος από όλες τις κατευθύνσεις
6	Προστασία έναντι πτώσεως θαλασσίων κυμάτων ή ισχυρά έκτοξευομένων ποσοτήτων ύδατος
7	Προστασία έναντι βυθίσεως / έμβαπτίσεως τής μηχανής εντός ύδατος υπό ώρισμένη πίεση και για ώρισμένο χρόνο
8	Προστασία έναντι μονίμου έμβαπτίσεως εντός ύδατος υπό συνθήκες που προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή. Έννοείται ότι ή μηχανή είναι έρμητικά στεγανή. Πάντως σε όρισμένες περιπτώσεις τò νερό μπορεί να εισέλθη, αλλά κατά τρόπον ώστε να μην προκαλέση τήν καταστροφή τής μηχανής.

Πίνακας 5.3: 3 ^{ος} χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,225 J (150 gr / 15 cm)
2	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,375 J (250 gr / 15 cm)

3	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,500 J (250 gr / 20 cm)
5	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 2 J (500 gr / 40 cm)
7	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 6 J (1,5 Kgr / 40 cm)
9	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 20 J (5 Kgr / 40 cm)

Οι πιο συνηθισμένοι βαθμοί προστασίας των ηλεκτροκινητήρων είναι οι εξής:

Πίνακας 5.4: Συνήθεις βαθμοί προστασίας ηλεκτροκινητήρων		
1	IP 23	<p>Ο κινητήρας είναι έσωτερικώς αεριζόμενος.</p> <p>Έχει προστασία έναντι έπαφών με τα δάχτυλα και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου μεγαλύτερης από 12mm.</p> <p>Έχει προστασία έναντι ραντισμού ύδατος υπό γωνία μικρότερη ή ίση 60° από την κατακόρυφο.</p>
2	IP 44	<p>Ο κινητήρας είναι έξωτερικώς αεριζόμενος.</p> <p>προστασία έναντι έπαφών με εργαλεία, σύρματα και παρόμοια αντικείμενα καθώς και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου από 1 mm.</p> <p>Έχει προστασία έναντι ψεκασμού ύδατος προς όλες τις κατευθύνσεις.</p>
3	IP 54	<p>Ο κινητήρας είναι έξωτερικώς αεριζόμενος.</p> <p>Έχει πλήρη προστασία έναντι έπαφών και προστασία έναντι σκόνης.</p> <p>Έναντι ύδατος έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 44.</p>
4	IP 55	<p>Ο κινητήρας είναι έξωτερικώς αεριζόμενος.</p> <p>Έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 54, έναντι έπαφών και ξένων σωμάτων.</p> <p>Έχει προστασία έναντι έκτοξεύσεως ύδατος από όλες τις κατευθύνσεις.</p>

Όταν μας ενδιαφέρει να ορίσουμε τον βαθμό προστασίας μόνον όσον αφορά στην προστασία έναντι ύδατος ή μόνον έναντι έπαφών, τότε ένας χαρακτηριστικός αριθμός αρκεί, ο παραλειπόμενος αριθμός πρέπει να συμπληρωθεί με το γράμμα X. π.χ. IPX5 ή IP2X.

Συμπληρωματικά γράμματα

Πρόσθετες πληροφορίες περι τής προστασίας, πέραν τών ανωτέρω, υποδηλώνονται με συμπληρωματικό γράμμα που ακολουθεί τόν δεύτερο χαρακτηριστικό αριθμό.

Σε ειδικές εφαρμογές, (όπως σε μηχανές με ψύξη άνοιχτού κυκλώματος εγκατεστημένες σε καταστρώματα πλοίων με θυρίδες εισόδου και έξόδου αέρος κλειστές σε περίοδο στάσεως), οί χαρακτηριστικοί αριθμοί μπορεί να ακολουθούνται από ένα γράμμα τò όποιο προσδιορίζει εάν ή προστασία έναντι βλαβερών αποτελεσμάτων από είσροή νερού είναι έπαρκής ή έχει δοκιμαστή. Με τò γράμμα S υποδηλώνεται ότι ή δοκιμή έγινε εν στάσει (μηχανή εκτός λειτουργίας) ενώ με τò γράμμα M υποδηλώνεται ότι ή δοκιμή έγινε με τήν μηχανή εν λειτουργία. Στις περιπτώσεις αυτές ó βαθμός προστασίας αναγράφεται IP55S και IP20M αντίστοιχως. Ή απουσία τών γραμμάτων S και M θα υποδηλώνη ότι ó αναφερόμενος βαθμός προστασίας καλύπτει όλες τīs όμαλές συνθήκες λειτουργίας.

Γιά αερόψυκτες μηχανές άνοιχτού τύπου, κατάλληλες γιά ειδικές κλιματολογικές συνθήκες και έφοδιασμένες με πρόσθετα μέτρα προστασίας, θα πρέπει να αναγράφεται τò γράμμα W.

Όπες διαφυγής συμπυκνωμάτων

Σε έξωτερικώς αεριζόμενους κινητήρες, πολλές φορές στο κάτω μέρος του κελύφους, υπάρχουν δύο όπες γιά τήν διαφυγή τών συμπυκνωμάτων τών υδρατμών. Ανάλογα με τόν σχεδιασμό του κινητήρος οί όπες αυτές προβλέπεται να είναι μονίμως άνοικτες ή να είναι άνοικτες μόνον κατά τήν λειτουργία και να κλείνονται όταν ó κινητήρας είναι εν στάσει. Όταν ó κινητήρας έχει προστασία IP3X ή IP4X οί όπες διαφυγής πρέπει να ανταποκρίνονται σε προστασία IP2X. Όταν ó κινητήρας έχει προστασία IP5X οί όπες διαφυγής πρέπει να ανταποκρίνονται σε προστασία IP4X.

Έξωτερικοί άνεμιστήρες

Οί άνεμιστήρες, που βρίσκονται εκτός του κελύφους του ήλεκτροκινητήρος, πρέπει να προστατεύονται έναντι έπαφών, μέσω προφυλακτήρος με πλέγμα (σίτα). Οί όπες του πλέγματος πρέπει να μην διαπερνώνται από σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης τών 50mm γιά βαθμό προστασίας του κινητήρος IP1X. Γιά μεγαλύτερο βαθμό προστασίας (IP2X έως IP5X) τò πλέγμα δέν πρέπει να διαπερνάται από δάκτυλο.

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΞΕΩΣ

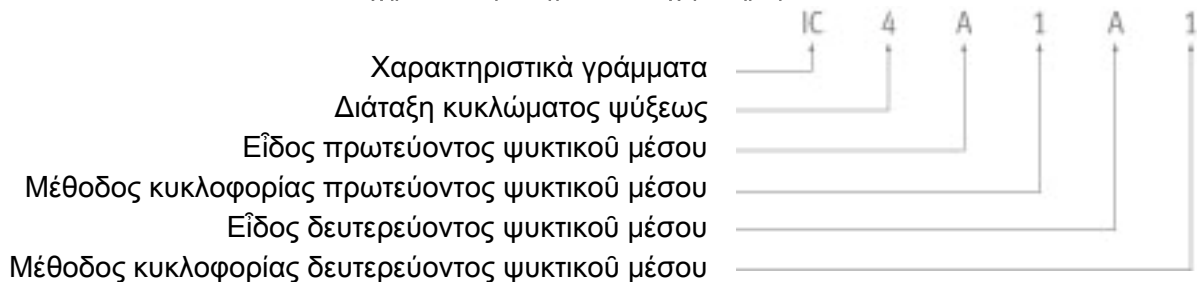
Οι μέθοδοι ψύξεως των περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών προδιαγράφονται από τα IEC34-6 τα όποια μᾶς καθορίζουν:

1. Τὴν διάταξη τοῦ κυκλώματος ψύξεως (πρῶτος χαρακτηριστικός ἀριθμός).
2. Τὸ εἶδος τοῦ πρωτεύοντος ψυκτικοῦ μέσου (πρῶτο χαρακτηριστικὸ γράμμα).
3. Τὴ μέθοδο κυκλοφορίας τοῦ πρωτεύοντος ψυκτικοῦ μέσου (δεύτερος χαρακτηριστικός ἀριθμός).
4. Τὸ εἶδος τῆς κυκλοφορίας τοῦ δευτερεύοντος ψυκτικοῦ μέσου (δεύτερο χαρακτηριστικὸ γράμμα).
5. Τὴ μέθοδο κυκλοφορίας τοῦ δευτερεύοντος ψυκτικοῦ μέσου (τρίτος χαρακτηριστικός ἀριθμός).

Συμβολισμός

Ὁ κωδικὸς ποὺ χαρακτηρίζει τὴν μέθοδο ψύξεως ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰ γράμματα IC συνοδευόμενα ἀπὸ τρεῖς χαρακτηριστικούς ἀριθμούς καὶ δύο ἐπιπλέον γράμματα.

Σχῆμα 6.1: Παράδειγμα κωδικοῦ χαρακτηρισμοῦ



Τὸ γράμμα A, τὸ ὁποῖο δείχνει ὅτι τὸ εἶδος τοῦ ψυκτικοῦ μέσου εἶναι ὁ ἀέρας, μπορεῖ νὰ παραλειφθῆ, καὶ ἔτσι ὁ χαρακτηριστικὸς κωδικὸς παριστάνεται μὲ IC411.

Οἱ κινητῆρες τῆς σειρᾶς K, KM καὶ KD ἔχουν μέθοδο ψύξεως IC411.

Πίνακας 6.1: Διάταξη του κυκλώματος ψύξεως		
Χαρακτηριστικός αριθμός	Σύντομη περιγραφή	Όρισμός
0	Έλεύθερη κυκλοφορία	Το ψυκτικό μέσον εισέρχεται και εξέρχεται από την μηχανή ελεύθερως, προέρχεται από το περιβάλλον της μηχανής και επιστρέφει σε αυτό.
1	Μηχανή με σύστημα αναρροφήσεως του ψυκτικού μέσου	Το ψυκτικό μέσον δέν λαμβάνεται από το περιβάλλον της μηχανής, οδηγείται εντός αυτής μέσω του συστήματος αναρροφήσεως και εξέρχεται ελεύθερως εις το περιβάλλον της.
2	Μηχανή με σύστημα καταθλίψεως του ψυκτικού μέσου	Το ψυκτικό μέσον λαμβάνεται από το περιβάλλον της μηχανής ελεύθερως αναρροφούμενο από αυτήν και εξέρχεται μέσω του συστήματος καταθλίψεως εις περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής.
3	Μηχανή με δύο συστήματα (αναρροφήσεως και καταθλίψεως)	Το ψυκτικό μέσον λαμβάνεται από περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής, οδηγείται εντός αυτής μέσω του συστήματος αναρροφήσεως και εξέρχεται μέσω του συστήματος καταθλίψεως εις περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής.
4	Μηχανή ψυχομένη δια της έπιφανείας της χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει αυτήν	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον, το οποίο είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή και διατρέχει την έπιφάνειά της. Η τελευταία μπορεί να είναι λεία ή να διαθέτη πτερύγια.
5	Ένσωματωμένος έναλλάκτης θερμότητας (χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή)	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον που περιβάλλει την μηχανή, εντός έναλλάκτου θερμότητας τοποθετημένου έπάνω της, σχηματίζοντας ένιαίο σώμα με αυτήν.
6	Έναλλάκτης θερμότητας επί της μηχανής (χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή)	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον που περιβάλλει την μηχανή, εντός έναλλάκτου θερμότητας ανεξαρτήτου, αλλά συναρμολογημένου επί της μηχανής.
7	Ένσωματωμένος έναλλάκτης θερμότητας (μή χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή)	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον που δέν είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή, εντός έναλλάκτου θερμότητας τοποθετημένου έπάνω της, σχηματίζοντας ένιαίο σώμα με αυτήν.
8	Έναλλάκτης θερμότητας επί της μηχανής (μή χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή)	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον που δέν είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή, εντός έναλλάκτου θερμότητας ανεξαρτήτου αλλά συναρμολογημένου επί της μηχανής.
9	Ξεχωριστός έναλλάκτης θερμότητας (χρησιμοποιώντας ή όχι το μέσον που περιβάλλει την μηχανή)	Το πρωτεύον ψυκτικό μέσον κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσον, εντός ανεξαρτήτου έναλλάκτου θερμότητας που τοποθετείται ξεχωριστά από την μηχανή.

Πίνακας 6.2: Μέθοδος κυκλοφορίας		
Χαρακτηριστικός αριθμός	Σύντομη περιγραφή	Όρισμός
0	Έλεύθερη μεταγωγή	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου γίνεται μόνο λόγω τής διαφοράς θερμοκρασίας. Ο αερισμός που προέρχεται από τον δρομέα είναι άμελητέος.
1	Αυτόκυκλοφορία	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής τής μηχανής και πρέχεται είτε μόνον από τον δρομέα, είτε από διάταξη (εξάρτημα) συναρμολογημένη επί του δρομέως.
2, 3, 4		Δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί.
5	Ανεξάρτητη διάταξη	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από ανεξάρτητη διάταξη τής οποίας η ισχύς δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής τής μηχανής.
6	Ανεξάρτητη διάταξη συναρμολογημένη επί τής μηχανής	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από ανεξάρτητη διάταξη συναρμολογημένη επί τής μηχανής, τής οποίας η ισχύς δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής τής μηχανής.
7	Ξεχωριστή και ανεξάρτητη διάταξη ή κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου υπό πίεση	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται είτε από ανεξάρτητη διάταξη, ηλεκτρική ή μηχανική, μη συναρμολογημένη επί τής μηχανής, είτε δια πίεσεώς του.
8	Σχετική κυκλοφορία	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από σχετική κίνηση μεταξύ αυτού και τής μηχανής ή αντίστροφως.
9	Άλλες μέθοδοι	Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με μεθόδους άλλες από τις ανωτέρω περιγραφόμενες, που πρέπει να περιγράφονται αναλυτικώς.

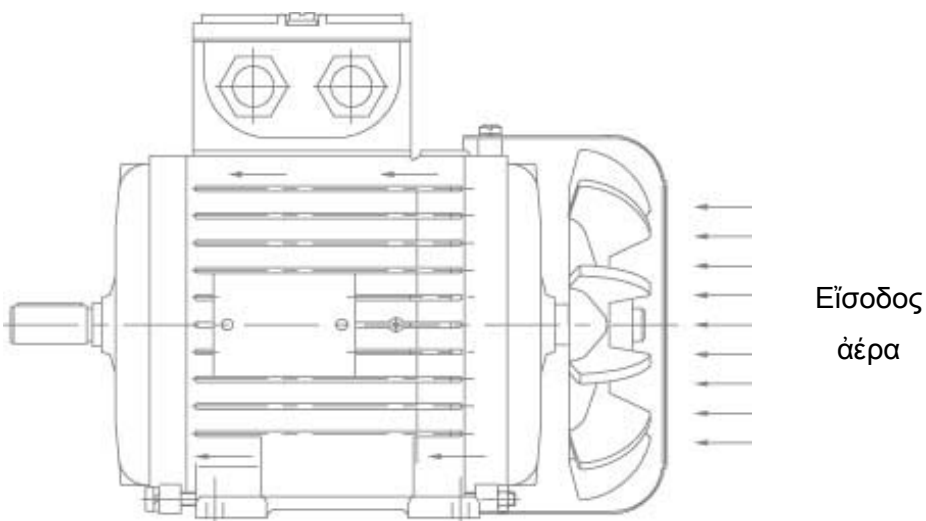
Πίνακας 6.3: Ψυκτικό μέσον	
Χαρακτηριστικό γράμμα	Είδος ψυκτικού μέσου
A	Άερας
F	Φρέον
H	Υδρογόνο
N	Άζωτο
C	Διοξείδιο του άνθρακος
W	Υδωρ
U	Έλαιον
S	Οιοδήποτε άλλο ρευστό (πρέπει να προσδιορίζεται ιδιαιτέρως)
Y	Το μέσον ψύξεως δεν έχει επιλεγεί (χρησιμοποιήθηκε προσωρινά)

Παραθέτουμε τρεις χαρακτηριστικές μεθόδους ψύξεως:

Σχήμα 6.2

IC 411

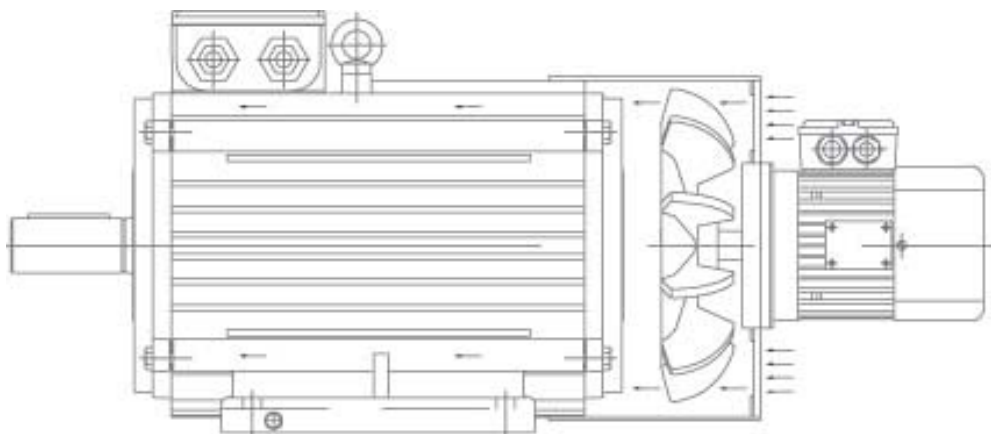
Κινητήρας στεγανός.
Κέλυφος με πτερύγια.
Άνεμιστήρας εξωτερικός συναρμολογημένος επί του άξονος.



Σχήμα 6.3

IC 416

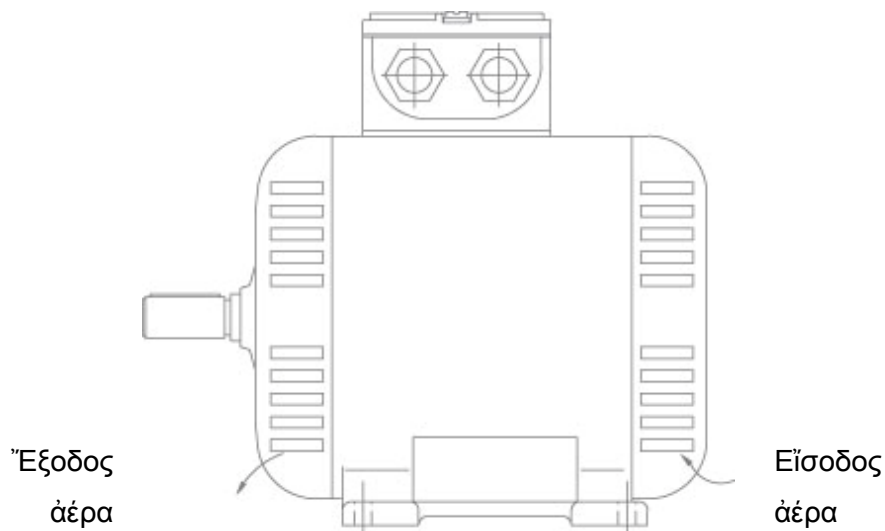
Κινητήρας στεγανός.
Κέλυφος με πτερύγια.
Ανεξάρτητος άνεμιστήρας συναρμολογημένος ἐπὶ τοῦ κινητήρος.



Σχήμα 6.4

IC 01

Κινητήρας βαθμοῦ προστασίας IP23.
Άνεμιστήρας ἐσωτερικὸς.



7. ΚΛΑΣΕΙΣ ΜΟΝΩΣΕΩΝ

Έπιτρεπόμενα όρια αύξησης της θερμοκρασίας

Σύμφωνα με τα IEC 34-1 §16 τα ανώτατα έπιτρεπόμενα όρια αύξησης της θερμοκρασίας, αναλόγως με την κλάση μονώσεως, έχουν ως εξής:

Πίνακας 7.1		
Κλάση μονώσεως	Μεγίστη έπιτρεπόμενη αύξηση θερμοκρασίας °C	Τελική θερμοκρασία σε περιβάλλον 40°C
A	60	100
E	70	110
B	80	120
F	100	140
H	125	165

Η μέτρηση της υπερυψώσεως της θερμοκρασίας γίνεται με την μέθοδο μετρήσεως της ώμικης αντίστασεως σύμφωνα με τα IEC 34-1 πίνακας I (βλ. Κεφ. 14 και 15, Δοκιμές).

Έάν ένας κινητήρας εργάζεται μονίμως σε περιβάλλον θερμοκρασίας μικρότερης των 30°C, τότε η έπιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας αύξάνεται κατά 10°C (IEC 34-1 §16.3.1).

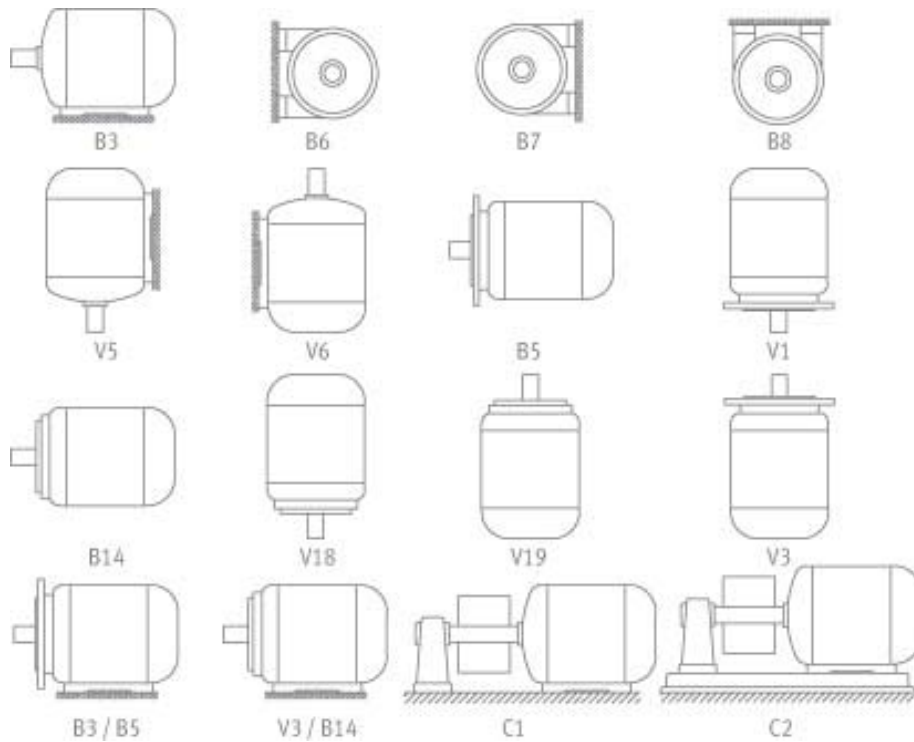
Έάν ένας κινητήρας εργάζεται μονίμως σε περιβάλλον θερμοκρασίας μεταξύ των 30°C και των 40°C, τότε η έπιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας αύξάνεται κατά την διαφορά αυτή (IEC 34-1 §16.3.2).

Έάν ένας κινητήρας εργάζεται σε περιβάλλον θερμοκρασίας μεταξύ των 40°C και των 60°C, τότε η έπιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας μειούται κατά την διαφορά αυτή (IEC 34-1 §16.3.3).

Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος άνω των 60°C τα IEC δέν προβλέπουν ανώτατα όρια υπερυψώσεως της θερμοκρασίας και αυτά πρέπει να καθορίζωνται με συμφωνία κατασκευαστή – άγοραστή (IEC 34-1 §16.3.4).

8. ΕΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι κυριώτερες μορφές έδράσεως τών κινητήρων φαίνονται στο Σχήμα 8.1. Οι συμβολισμοί είναι κατά DIN 42950/1964.



Σχήμα 8.1

Η αντιστοιχία των συμβολισμών αυτών με τα IEC έχει ως εξής (Πίνακας 8.1):

DIN	IEC	IEC	DIN	IEC	IEC
42950	Code II	Code I	42950	Code II	Code I
B3	IM 1001	IM B3	V3	IM3031	IM V3
V5	IM 1011	IM V5	B14	IM3601	IM B14
V6	IM 1031	IM V6	V18	IM3611	IM V18
B6	IM 1051	IM B6	V19	IM3631	IM V19
B7	IM 1061	IM B7	B10	IM4001	IM B10
B8	IM 1071	IM B8	V10	IM4011	IM V10
B15	IM1201	IM B15	V14	IM4031	IM V14
B3/B5	IM 2001	IM B35	V18	IM4131	IM V18
B3/B14	IM 2101	IM B34	B9	IM9101	IM B9
B17	IM 2202		V8	IM9111	IMV8
B5	IM3001	IMB5	V9	IM9131	IMV9
V1	IM3011	IMV1			

9. ΑΝΟΧΕΣ

Σύμφωνα με τὰ IEC 34-1 §26 οί έπιτρεπόμενες άνοχές στα τεχνικά χαρακτηριστικά τών κινητήρων έχουν ώς έξής:

Πίνακας 9.1: Έπιτρεπόμενες άνοχές

Μέγεθος	Άνοχή
1 Βαθμός άποδόσεως	
α. Για κινητήρες ισχύος ≤ 50 kW	- 15% του (1 - η)
β. Για κινητήρες ισχύος > 50 kW	- 10% του (1 - η)
2 Συντελεστής ισχύος (συνφ)	- (1/6) του (1 - συνφ) min 0,02 max 0,07
3 Όλίσθηση	$\pm 20\%$
4 Ρεϋμα έκκινήσεως	+ 20%
5 Ροπή έκκινήσεως	- 15% έως + 25%
6 Έλαχίστη ροπή έκκινήσεως	- 15%
7 Ροπή άνατροπής	- 10%
8 Ροπή άδρανείας	$\pm 10\%$

10. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΙΝΗΤΗΡΟΣ

Η ισχύς, ή ροπή και οι στροφές του φορτίου που απαιτούνται από έναν κινητήρα όταν εργάζεται σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ακριβώς προσδιορισμένες.

Παραθέτουμε ώρισμένες μορφές λειτουργίας δίδοντας τις κύριες σχέσεις προσδιορισμού των μεγεθών αυτών.

§10.1 Κυκλική Κίνηση

Στην κυκλική κίνηση ή απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται από την σχέση

$$P = \frac{M \times n}{9,55 \times 1000}$$

όπου

- P : ισχύς σε kW
- M : απαιτούμενη ροπή σε Nm
- n : στροφές του φορτίου ανά λεπτό (rpm)

και αντίστοιχως:

$$M = \frac{9,55 \times P \times 1000}{n}$$

Εάν χρησιμοποιούμε ιμάντες μεταδόσεως κινήσεως ή μειωτήρα στροφών, ή ροπή πρέπει να αναφέρεται στις στροφές του κινητήρος

$$M_1 = M_2 \frac{n_2}{n_1}$$

όπου

- M₁ : ροπή στον άξονα του κινητήρος
- M₂ : ροπή στον άξονα του φορτίου
- n₁ : στροφές κινητήρος
- n₂ : στροφές φορτίου

§10.2 Κατακόρυφη κίνηση

Όταν σώμα μάζας m κινείται κατακόρυφα προς τα άνω με ταχύτητα v , η απαιτούμενη ισχύς ισούται με

$$P = \frac{m \times g \times v}{1000}$$

όπου

- P : ισχύς εις kW
- m : μάζα εις Kg
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 m/s²
- v : ταχύτητα σε m/s

§10.3 Γραμμική κίνηση

Στη γραμμική κίνηση ή ισοδύναμη ροπή υπολογίζεται από την σχέση

$$M = \frac{9,55 \times F \times v}{n}$$

όπου

- M : ροπή σε Nm
- F : δύναμη σε N
- v : ταχύτητα σε m/s
- n : στροφές ανά λεπτό (rpm)

§10.4 Άντλίες

Στις άντλίες η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρος είναι:

$$P = \frac{Q \times H \times \gamma}{270}$$

όπου

- P : ισχύς σε HP
- Q : παροχή σε m³/h
- H : μανομετρικό ύψος σε m
- γ : ειδικό βάρος του υγρού σε Kg/dm³

§10.5 Άνεμιστήρες

Στους άνεμιστήρες ή απαιτούμενη ισχύς είναι:

$$P = \frac{V \times p}{102}$$

όπου

- P : Ίσχύς σε kW
- p : Πίεση έξόδου σε kg/m²
- V : Παροχή σε m³/s

Σημείωση: Σε όλες τις ανωτέρω σχέσεις πρέπει το άποτέλεσμα να διαιρηθεί διά του βαθμού αποδόσεως του αντιστοίχου μηχανήματος π.χ. ή απαιτούμενη ισχύς δια μία αντλία παροχής 10 m³/h σε μανομετρικό ύψος 50 m και με βαθμό αποδόσεως της αντλίας 61% υπολογίζεται σε

$$P = \frac{10 \times 50}{270 \times 0,61} = 3HP$$

§10.6 Ροπή φορτίου

Εκτός της ισχύος που πρέπει να προσδιορίζουμε, βασικής σημασίας είναι και ο καθορισμός της ροπής (έν σχέσει με τις στροφές) κατά την έκκίνηση του φορτίου. Γενικά μπορούμε να κατατάξουμε τα διάφορα φορτία σε τέσσερις κατηγορίες αναφορικά με την μεταβολή της ροπής και της ισχύος έν σχέσει με τις στροφές:

1. Ή ροπή παραμένει πρακτικά σταθερή ή δε ισχύς αύξάνεται αναλόγως της ταχύτητας. Είναι οι περιπτώσεις άνυψωτικών μηχανημάτων, παλινδρομικών άντλιών, άεροσυμπιεστών σταθερής πίεσεως, φυσητήρων, μεταφορικών ταινιών κ.ά.
2. Ή ροπή αύξάνεται αναλόγως της ταχύτητας, ή δε ισχύς αναλόγως του τετραγώνου του λόγου τών στροφών.
3. Ή ροπή αύξάνεται αναλόγως του τετραγώνου του λόγου της ταχύτητας ή δε ισχύς αναλόγως του κύβου του λόγου τών στροφών. Είναι ή περίπτωση τών φυγοκεντρικών άντλιών, τών άνεμιστήρων, κ.ά. Έτσι π.χ. σε έναν άνεμιστήρα που περιστρέφεται με 1000 rpm και έχει ένα κινητήρα 2 HP, εάν θέλουμε να αύξήσουμε τις στροφές του (για να αυξηθ ή παροχή του άερα) και του δώσουμε π.χ. 1300 rpm, ή απαιτούμενη ισχύς είναι:

$$P = 2 \times \frac{1300^3}{1000^3} = 4,4HP$$

4. Ἡ ροπή μειώνεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα τῆς ταχύτητος ἐνῶ ἡ ἰσχύς παραμένει σταθερή.
Εἶναι ἡ περίπτωση τῶν τυλιχτικῶν μηχανῶν κ.ἄ.

§10.7 Ροπή ἀδρανείας

Ἐπίσης προκειμένου νὰ προσδιοριστοῦν οἱ συνθήκες ἐκκινήσεως καὶ πεδήσεως τοῦ κινητήρος, πρέπει νὰ εἶναι γνωστὴ ἡ ροπή ἀδρανείας τοῦ φορτίου καὶ τοῦ συνδέσμου (κόπλερ) ἢ τῆς τροχαλίας.

Ἐὰν ἔχουμε σύνθετα σώματα ποὺ ἀπαρτίζουν ἓνα ὁλόκληρο στρεπτό, ἡ ροπή προσδιορίζεται συνήθως μὲ τὴν μέθοδο τῆς δοκιμῆς ἐπιβραδύνσεως.

Σὲ ἐπιπλέον περιπτώσεις ἡ ροπή ἀδρανείας προσδιορίζεται ἀπὸ τὸ βάρος G (ἢ μὲ ὑπολογισμό μετρώντας τὶς διαστάσεις καὶ γνωρίζοντας τὸ εἰδικὸ βάρος) καὶ ἀπὸ τὴν **διάμετρο περιστροφῆς** D . Ἡ **διάμετρος περιστροφῆς** D , ὑπολογίζεται ἀπὸ τὴν γεωμετρικὴ διάμετρο καὶ εἶναι:

Σὲ ἄξονα διαμέτρου d

$$D = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

καὶ ἡ ροπή ἀδρανείας

$$J = \frac{m \times d^2}{8}$$

ὅπου

J : ροπή ἀδρανείας σὲ kgm^2

d : διάμετρος σὲ m

m : μάζα σὲ kg

Σὲ κυκλικὸ δακτύλιο ἐξωτερικῆς διαμέτρου d_1 καὶ ἐσωτερικῆς d_2

$$D = \frac{\sqrt{d_1^2 + d_2^2}}{2}$$

καὶ ἡ ροπή ἀδρανείας

$$J = m \frac{d_1^2 + d_2^2}{8}$$

ὅπου

J : ροπή ἀδρανείας σὲ kgm^2

d_1, d_2 : διάμετροι σὲ m

m : μάζα σὲ kg

Ὅπως καὶ στὴν περίπτωση τῆς ροπῆς, ἔτσι καὶ ἡ ροπή ἀδρανείας ἀνάγεται στὶς στροφές τοῦ κινητήρος. Ἔχουμε λοιπὸν

$$J_{\phi\kappa} = J_{\phi} \frac{n_{\phi}^2}{n_{\kappa}^2}$$

όπου

- $J_{\phi\kappa}$: ροπή αδρανείας φορτίου άνηγμένη στις στροφές του κινητήρος
- J_{ϕ} : ροπή αδρανείας φορτίου
- n_{ϕ} : στροφές φορτίου
- n_{κ} : στροφές κινητήρος

Συνεπώς ή συνολική ροπή αδρανείας, ή αναγόμενη στον άξονα του κινητήρος είναι

$$\Sigma J = J_m + J_{\phi\kappa}$$

όπου

- J_m : ροπή αδρανείας κινητήρος

Τέλος σε περίπτωση κινουμένων μαζών κατά εύθύγραμμη κίνηση, ή ισοδύναμη ροπή αδρανείας αναγόμενη στον άξονα του κινητήρος προκύπτει από την σχέση

$$J = \frac{m}{39,48} \times \frac{(60 \times v)^2}{n^2}$$

όπου

- J : ροπή αδρανείας φορτίου αναγόμενη στον άξονα του κινητήρος σε kgm^2
- m : μάζα σε kg
- v : ταχύτητα σε m/s
- n : στροφές του κινητήρος rpm

11. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ

Συμφώνως πρὸς τὰ IEC 34-12 οἱ τριφασικοὶ κινητῆρες βραχυκυκλωμένου δρομέως μιᾶς ταχύτητος, συνεχοῦς λειτουργίας S1, χαμηλῆς τάσεως (ἕως 690 V), ἀπὸ πλευρᾶς ροπῆς ἐκκινήσεως, κατατάσσονται εἰς τὶς ἑξῆς κατηγορίας:

1. Κατηγορία N: Εἰς αὐτὴν ἀνήκουν οἱ τυποποιημένοι διπολικοί, τετραπολικοί, ἑξαπολικοὶ καὶ ὀκταπολικοὶ κινητῆρες ἰσχύος ἀπὸ 0,4 ἕως 630 kW, 50 Hz ἢ 60 Hz, σχεδιασμένοι δι' ἀπ' εὐθείας ἐκκίνησιν.
2. Κατηγορία NY: Εἶναι ὅμοιοι μὲ τοὺς ἀνωτέρω κινητῆρες τῆς κατηγορίας N, ἀλλὰ εἶναι σχεδιασμένοι διὰ ἐκκίνηση ἀστέρος – τριγώνου. Κατὰ τὴν ἐκκίνησιν κατὰ ἀστέρα, οἱ ἐλάχιστες τιμὲς διὰ τὴν ροπὴν ἐκκινήσεως καὶ τὴν ἐλαχίστη ροπή πρέπει νὰ ἀντιστοιχοῦν στὸ 25% τῶν τιμῶν τοῦ πίνακος 11.1.
3. Κατηγορία H: Κινητῆρες τετραπολικοί, ἑξαπολικοί, ὀκταπολικοί, ὑψηλῆς ροπῆς, σχεδιασμένοι διὰ ἀπ' εὐθείας ἐκκίνησιν, ἰσχύος ἀπὸ 0,4 ἕως 160 kW, 60 Hz.
4. Κατηγορία HY: Εἶναι ὅμοιοι μὲ τοὺς ἀνωτέρω κινητῆρες τῆς H, ἀλλὰ εἶναι σχεδιασμένοι διὰ ἐκκίνηση ἀστέρος – τριγώνου. Κατὰ τὴν ἐκκίνησιν κατὰ ἀστέρα, οἱ ἐλάχιστες τιμὲς διὰ τὴν ροπὴν ἐκκινήσεως καὶ τὴν ἐλαχίστη ροπή πρέπει νὰ ἀντιστοιχοῦν στὸ 25% τῶν τιμῶν τοῦ πίνακος 11.4.

Οἱ κατηγορίες αὐτές δὲν εἶναι ὑποχρεωτικὲς διὰ τοὺς κατασκευαστὰς ἠλεκτροκινητῶν καὶ ἡ ἐπιλογή μιᾶς ἐξ αὐτῶν εἶναι θέμα συμφωνίας τοῦ κατασκευαστοῦ μὲ τὸν πελάτη.

Διὰ εἰδικὲς κατασκευὲς πιθανὸν νὰ χρειάζεται κινητῆρας μὲ διαφορετικὲς προδιαγραφές.

Οἱ τιμὲς τῆς ροπῆς καὶ τῆς φαινομένης ἰσχύος ποὺ δίδονται στοὺς κατωτέρω πίνακες εἶναι τα προδιαγραφόμενα ὅρια ἀπὸ τὸ IEC 34-12 καὶ εἶναι ἄνευ ἀνοχῶν. Ἀντιθέτως οἱ τιμὲς ποὺ ἐμφανίζονται στοὺς καταλόγους τῶν διαφόρων ἐργοστασίων ἀκολουθοῦν τὶς ἀνοχές τῶν IEC 34-1 ὅπως ἐμφανίζονται στὸ **Κεφάλαιο 9. Ανοχές**.

Τὰ IEC 34-12 προσδιορίζουν τὶς ἐλάχιστες ἐπιτρεπόμενες τιμὲς τῆς ροπῆς ἐκκινήσεως διὰ τοὺς κινητῆρες τῶν ἀνωτέρω κατηγοριῶν καὶ συγκεκριμένα τῶν τιμῶν:

- M_a : ροπή ἐκκινήσεως
 M_s : ἐλαχίστη ροπή
 M_k : ροπή ἀνατροπῆς

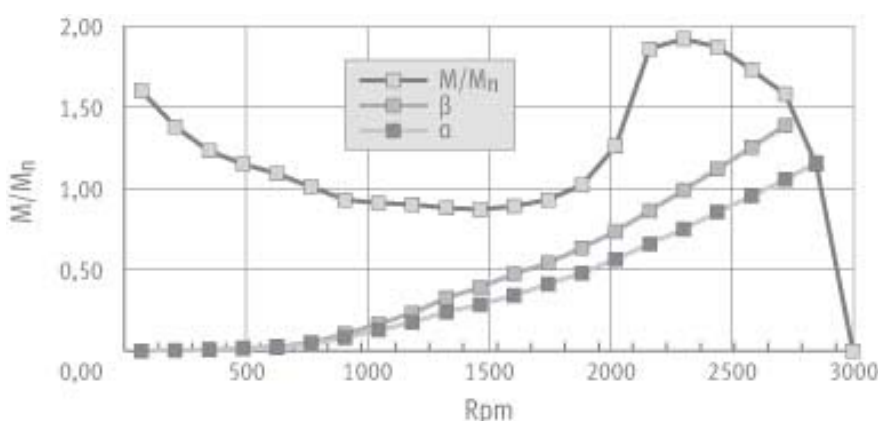
Συγκεκριμένα προβλέπουν:

Κατηγορία N

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες σχετικές τιμές, υπό ονομαστική τάση και συχνότητα είναι αυτές που εμφανίζονται στον πίνακα 11.1. Δεν δίδεται ανοχή στις τιμές αυτές. Μεγαλύτερες τιμές, βεβαίως, επιτρέπονται.

Επίσης, διά τους κινητήρες της κατηγορίας αυτής ορίζεται ότι η ροπή σε οποιαδήποτε ταχύτητα μεταξύ του μηδέν και των στροφών όπου εμφανίζεται η ροπή άνατροπής, πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,3 φορές της τιμής που λαμβάνεται από μία καμπύλη ροπής ευθέως ανάλογης του τετραγώνου των στροφών και καθίσταται ίση με την ονομαστική ροπή στην ονομαστική ταχύτητα. Ο όρος αυτός διευκρινίζεται με το κατωτέρω παράδειγμα:

Είς το σχήμα 11.1 εμφανίζεται η καμπύλη της ροπής έκκινήσεως ενός κινητήρος κατασκευής του Έργου στασίου μας ισχύος 250 kW / 3.000 rpm και οι καμπύλες α και β.



Σχήμα 11.1

Η καμπύλη α αρχίζει από το 0 και καταλήγει στο 1 στις ονομαστικές στροφές του κινητήρος, μεταβάλλεται δε ευθέως ανάλογα προς το τετράγωνο της ταχύτητας. Οι τιμές της καμπύλης β, είναι τιμές της α, πολλαπλασιασμένες επί τον συντελεστή 1,3. Ο συντελεστής 1,3 έχει επιλεγεί λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι κατά την διάρκεια της επίταχύνσεως του κινητήρος, έχουμε συνήθως μία πτώση τάσεως της τάξεως του 10%. Βάσει λοιπόν της προδιαγραφής αυτής, η καμπύλη της ροπής έκκινήσεως, πρέπει να εύρίσκεται καθ' όλην την διάρκεια της έκκινήσεως, υψηλότερα της καμπύλης β.

Επίσης τα IEC 34-12 προδιαγράφουν την μέγιστη φαινόμενη ισχύ κατά την εκκίνηση, δηλαδή με τον δρομέα ακινητοποιημένον. Ο λόγος της απορροφουμένης κατά την εκκίνηση φαινομένης ισχύος εις KVA, προς την ονομαστική ισχύ εις kW, συμβολίζεται με S1 και πρέπει να μην είναι

μεγαλύτερος από τις τιμές που δίδονται εις τόν Πίνακα 11.2. Οί τιμές του πίνακος αυτού ισχύουν για όλους τους κινητήρες ανεξαρτήτως αριθμού πόλων.

Τέλος δια τους κινητήρες τής κατηγορίας N τὰ IEC 34-12 §6, προδιαγράφουν ότι πρέπει να μπορούν να επιτελέσουν δύο διαδοχικές εκκινήσεις από την ψυχρά κατάσταση (με στάση μεταξύ των δύο) και μία εκκίνηση από την θερμή κατάσταση μετά από λειτουργία υπό τις ονομαστικές συνθήκες. Τὰ ανωτέρω πρέπει να πληροί ο κινητήρας υπό τις έξης προϋποθέσεις:

1. Η ροπή αντίστασεως του φορτίου να είναι ανάλογος του τετραγώνου των στροφών.
2. Η ροπή αντίστασεως του φορτίου να είναι ίση με την ονομαστική ροπή του κινητήρος στις ονομαστικές στροφές.
3. Η ροπή αδρανείας του φορτίου να είναι ίση με τις τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 11.3.

Έν πάση περιπτώσει, μία επί πλέον εκκίνηση επιτρέπεται, μόνο εάν ή θερμοκρασία του κινητήρος δέν υπερβαίνει την τιμή εις την όποιαν ίσορροπεί κατά την λειτουργίαν υπό ονομαστικές συνθήκες. Τὰ IEC 34-12 συνιστούν να περιορίζεται κατά τὸ δυνατόν ὁ ἀριθμὸς ἐκκινήσεων διότι μειούται ή διάρκεια ζωής του κινητήρος.

Κατηγορία NY

Άναφέραμε ήδη τις τιμές των σχετικών ροπών. Έξυπακούεται ότι ή ροπή αντίστασεως του φορτίου πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ροπή του κινητήρος κατ' άστέρα, δια να έπιταχυνθ ή τὸ σύστημα εις την έπιθυμητή ταχύτητα.

Κατηγορία H

Έδω οί ελάχιστες έπιτρεπόμενες σχετικές τιμές, υπό ονομαστικήν τάσιν και συχνότητα, είναι αυτές που έμφαίνονται στον πίνακα 11.4. Δέν δίδεται άνοχή στις τιμές αυτές. Μεγαλύτερες τιμές, βεβαίως, έπιτρέπονται.

Ο λόγος τής άπορροφουμένης κατά την εκκίνηση φαινομένης ισχύος εις KVA, πρὸς την ονομαστική ισχύ εις kW συμβολίζεται με S1 και πρέπει να μην είναι μεγαλύτερος από τις τιμές που δίδονται εις τόν πίνακα 11.2. Οί τιμές του πίνακος αυτού ισχύουν για όλους τους κινητήρες ανεξαρτήτως αριθμού πόλων.

Τέλος δια τους κινητήρες τής κατηγορίας H τὰ IEC 34-12 §10, προδιαγράφουν ότι πρέπει να μπορούν να επιτελέσουν δύο διαδοχικές εκκινήσεις από την ψυχρά κατάσταση (με στάση

μεταξύ των δύο) και μία εκκίνηση από την θερμή κατάσταση μετά από λειτουργία υπό τās όνομαστικάς συνθήκας.

Τὰ άνωτέρω πρέπει νά πληροί ό κινητήρας υπό τις έξής προϋποθέσεις:

1. Η ροπή άντιστάσεως του φορτίου νά είναι σταθερά, άνεξάρτητη των στροφών και ίση με την όνομαστική ροπή.
2. Η ροπή άδρανείας του φορτίου νά είναι ίση με τó 50% των τιμών που άναφέρονται στον πίνακα 11.3.

Έν πάση περιπτώσει, μία έπί πλέον εκκίνηση έπιτρέπεται, μόνον έάν ή θερμοκρασία του κινητήρος δέν ύπερβαίνει την τιμή εις την όποίαν ίσορροπεί κατά την λειτουργίαν υπό όνομαστικές συνθήκας. Τά IEC 34-12 συνιστούν νά περιορίζεται κατά τó δυνατόν ό άριθμός εκκινήσεων διότι μειούται ή διάρκεια ζωής του κινητήρος.

Κατηγορία ΗΥ

Άναφέραμε ήδη τις τιμές των σχετικών ροπών. Έξυπακούεται ότι ή ροπή άντιστάσεως του φορτίου πρέπει νά είναι μικρότερη άπό την άντίστοιχη ροπή του κινητήρος κατ' άστέρα, δια νά έπιταχυνθί τó σύστημα εις την έπιθυμητή ταχύτητα.

Πίνακας 11.1: Έλάχιστες τιμές ροπής κινητήρων κατηγορίας N												
Ίσχύς (kW)	Άριθμός πόλων											
	2			4			6			8		
	M _α	M _ς	M _κ	M _α	M _ς	M _κ	M _α	M _ς	M _κ	M _α	M _ς	M _κ
>0,4≤0,63	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
>0,63≤1,0	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
>1,0≤1,6	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
>1,6≤2,5	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
>2,5≤4,0	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
>4,0≤6,3	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
>6,3≤10	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
>10≤16	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>16≤25	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>25≤40	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>40≤63	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
>63≤100	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
>100≤160	0,9	0,7	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6

>160≤250	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
>250≤400	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
>400≤630	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6

Ο Πίνακας 11.1 αναφέρει τις σχετικές (ως προς την ονομαστική ροπή) τιμές των ροπών ήτοι: της ροπής έκκινήσεως M_a , της ελαχίστης ροπής M_s και της ροπής ανατροπής M_k .

Πίνακας 11.2: Μεγίστη τιμή φαινομένης ισχύος έκκινήσεως	
Ίσχύς (kW)	S1
>0,4≤6,3	13
>6,3≤25	12
>25≤100	11
>100≤630	10

Στόν Πίνακα 11.2, S1 είναι ο λόγος της φαινομένης ισχύος έκκινήσεως εις kVA προς την ονομαστικήν ισχύ εις kW.

Πίνακας 11.3: Ροπή αδρανείας φορτίου				
Ίσχύς (kW)	2	4	6	8
	(kgm ²)	(kgm ²)	(kgm ²)	(kgm ²)
0,4	0,018	0,099	0,273	0,561
0,63	0,026	0,149	0,411	0,845
1,0	0,040	0,226	0,624	1,28
1,6	0,061	0,345	0,952	1,95
2,5	0,091	0,516	1,42	2,92
4,0	0,139	0,788	2,17	4,46
6,3	0,210	1,19	3,27	6,71
10	0,318	1,80	4,95	10,2
16	0,485	2,74	7,56	15,5
25	0,725	4,10	11,3	23,2
40	1,11	6,26	17,2	35,4
63	1,67	9,42	26,0	53,3
100	2,52	14,3	39,3	80,8
160	3,85	21,8	60,1	123
250	5,76	32,6	89,7	184
400	8,79	49,7	137	281
630	13,2	74,8	206	423

Ο Πίνακας 11.3 δίδει τις τιμές της ροπής αδρανείας κατά τον τύπο mr^2 ή $md^2/4$ όπου

- m : μάζα σε kg
- r : ακτίνα περιστροφής
- d : διάμετρος περιστροφής
(βλ. §10.7)

Δια ένδιαμέσους ισχείς, η ροπή αδρανείας του φορτίου πρέπει να υπολογισθή από την κάτωθι σχέση, η οποία έχει εφαρμοσθεί και δια τις τιμές του Πίνακα 11.3:

$$J = 0,04 \times P^{0,9} \times p^{2,5} \text{ (kgm}^2\text{)}$$

όπου

- J : ροπή αδρανείας σε kg m²
- P : ονομαστική ισχύς σε kW
- p : αριθμός ζευγών πόλων

Πίνακας 11.4: Ελάχιστες τιμές ροπής κατηγορίας H									
Ίσχύς (kW)	Αριθμός πόλων								
	4			6			8		
	M _α	M _ς	M _κ	M _α	M _ς	M _κ	M _α	M _ς	M _κ
>0,4≤0,63	3,0	2,1	2,1	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
>0,63≤1,0	2,85	1,95	2,0	2,5	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
>1,0≤1,6	2,85	1,95	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
>1,6≤2,5	2,7	1,8	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
>2,5≤4,0	2,55	1,8	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
>4,0≤6,3	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
>6,3≤10	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
>10≤16	2,25	1,65	2,0	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
>16≤25	2,1	1,5	1,9	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
>25≤40	2,0	1,5	1,9	2,0	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
>40≤63	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
>63≤100	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
>100≤160	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9

Ο Πίνακας 11.4 αναφέρει τις σχετικές (ως προς την ονομαστική ροπή) τιμές των ροπών ήτοι: της ροπής εκκινήσεως M_a , της ελάχιστης ροπής M_s και της ροπής ανατροπής M_k .

Σύμφωνα με τα IEC 34-12, δια των κινητήρας της κατηγορίας H, πρέπει:

- Η σχετική τιμή της ροπής εκκινήσεως M_a , να είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη της αντιστοίχου δια κινητήρας της κατηγορίας N, αλλά όχι μικρότερα του 2.
- Η σχετική τιμή της ελάχιστης ροπής M_s να είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη της αντιστοίχου δια κινητήρας της κατηγορίας N, αλλά όχι μικρότερα του 1,4.
- Η σχετική τιμή της ροπής ανατροπής M_k να είναι ίση της αντιστοίχου δια κινητήρας της κατηγορίας N, αλλά όχι μικρότερα του 1,9 και όχι μικρότερα της ελάχιστης ροπής.

12. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκκινήσεως των ασύγχρονων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέως. Οι κυριώτερες από αυτές είναι:

Απ' ευθείας εκκίνηση

1. Έκκίνηση αστέρος – τριγώνου
2. Έκκίνηση μέσω ωμικών αντιστάσεων εν σειρά με τον στάτη
3. Έκκίνηση μέσω στραγγαλιστικών πηνίων εν σειρά με τον στάτη
4. Έκκίνηση μέσω αυτομετασχηματιστού
5. Έκκίνηση μέσω ομαλού εκκινητού (soft starter)

Πρέπει να σημειωθεί πως ή ροπή και τὸ ρεύμα ἑνὸς κινητήρος παραμένουν σταθερὰ ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὸν τρόπο ἐκκίνησής του.

Οἱ πλέον συνήθεις καὶ διαδεδομένες μέθοδοι για κινητήρες μικρῆς καὶ μέσης ἰσχύος εἶναι ἡ ἀπ' ευθείας ἐκκίνηση καὶ ἡ ἐκκίνηση ἀστέρος – τριγώνου.

Γιὰ τοὺς ασύγχρονους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα προτιμᾶται, ὅπου αὐτό εἶναι δυνατόν, ἡ ἀπ' ευθείας ἐκκίνηση. Ἐὰν ὅμως ὑπάρχουν λόγοι νὰ διατηρηθῆ τὸ ἀπορροφούμενο ρεύμα σὲ χαμηλὰ ἐπίπεδα, τότε συνιστᾶται ἡ χρήση τῆς ἐκκινήσεως κατ' ἀστέρα – τρίγωνο. Μὲ τὴν μέθοδο αὐτή, τὸ ρεύμα ἐκκινήσεως γίνεται 25% ἕως 30% τοῦ ἀντιστοίχου τῆς ἀπ' ευθείας ἐκκινήσεως. Ἀντίστοιχη μείωση ὅμως ἔχουμε καὶ στὴ ροπή ἐκκινήσεως τοῦ κινητήρος. Γι' αὐτό, προϋπόθεση χρήσεως αὐτῆς τῆς μεθόδου, εἶναι ἡ ὕπαρξη χαμηλῶν σχετικὰ ἀπαιτήσεων σὲ ροπή ἐκκινήσεως. Κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐκκινήσεως καὶ ὅταν ὁ κινητήρας συνδέεται κατ' ἀστέρα, ἡ ἀποδιδόμενη ροπή θὰ πρέπει νὰ εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ροπή τοῦ φορτίου. Ἡ ἀλλαγὴ ἀπὸ ἀστέρα σὲ τρίγωνο δὲν πρέπει νὰ πραγματοποιηθῆ πρὶν ὁ κινητήρας ἀποκτήσῃ τὶς ὀνομαστικὲς στροφῆς λειτουργίας.

Προκειμένου νὰ ἀποφασίσουμε τὸν τρόπο ἐκκινήσεως ἑνὸς κινητήρος θὰ πρέπει νὰ ἐξετάσουμε τὰ ἀκόλουθα:

1. Ἴσχύ καὶ ταχύτητα τοῦ φορτίου
2. Ἀπαιτούμενη ταχύτητα κινητήρος
3. Ροπή φορτίου συναρτῆσει τῆς ταχύτητας
4. Συνολικὴ ροπή ἀδρανείας

5. Άριθμὸ ἐκκινήσεων ἀνὰ μονάδα χρόνου
6. Συντελεστὴ λειτουργίας

Γιὰ κινητῆρες διπλῶν στροφῶν οἱ παραπάνω πληροφορίες πρέπει νὰ λαμβάνωνται καὶ γιὰ τὶς δύο ταχύτητες περιστροφῆς.

Ὁ ὀμαλὸς ἐκκινητῆς (soft starter) εἶναι μία ἠλεκτρονικὴ συσκευὴ ποὺ ἐπιτρέπει τὸν ἔλεγχο τῆς διαδικασίας ἐκκινήσεως τοῦ κινητῆρος. Ἀνάλογα μὲ τὴν ροπή τοῦ φορτίου, μπορούμε νὰ προσαρμόσουμε τὴν τάση στὸν κινητήρα καὶ νὰ ἐπιτύχουμε τὴν βέλτιστη ἐκκίνηση, τόσο ἀπὸ ἀπόψεως ροπῆς, ὅσο καὶ ἀπὸ ἀπόψεως ἐντάσεως ρεύματος. Ἔνα ἐπίσης βασικὸ πλεονέκτημα τοῦ ὀμαλοῦ ἐκκινητοῦ εἶναι ἡ ἀποφυγὴ μεγάλων ρευμάτων ὅπως συμβαίνει στὴν ἐκκίνηση Υ/Δ καὶ εἰδικὰ κατὰ τὴν ἀλλαγὴ ἀπὸ Υ σὲ Δ. Πράγματι κατὰ τὴν μεταγωγὴ αὐτῆ, σὲ ὅλες τὶς περιπτώσεις, ἔχουμε αἰχμὴ ρεύματος, ἢ ὁποῖα ἐνίοτε διεγείρει τὸ μαγνητικὸ ὑπερεντάσεως τοῦ διακόπτη, μὲ συνέπεια τὴν στάση τοῦ κινητῆρος. Κατὰ τὴν ἐκκίνηση μέσω ὀμαλοῦ ἐκκινητοῦ, οἱ αἰχμὲς αὐτὲς τοῦ ρεύματος δὲν ὑπάρχουν, καθ' ὅσον ὁ κινητήρας ἐκκινεῖ ἀπ' εὐθείας, ἀλλὰ μὲ χαμηλὴ τάση ποὺ αὐξάνεται προοδευτικά.

13. ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ

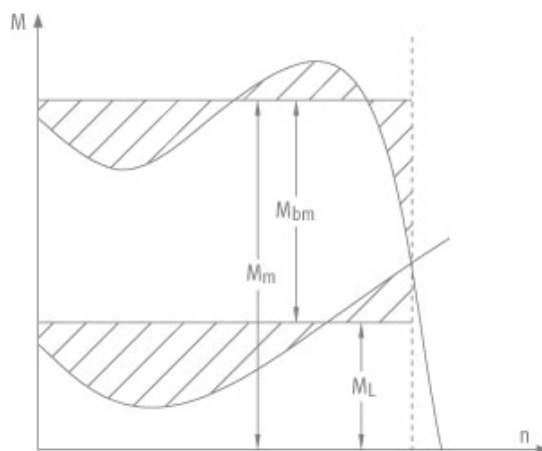
Ο χρόνος εκκινήσεως ενός κινητήρος προσδιορίζεται από την σχέση

$$t_a = \frac{n \times \Sigma J}{9,55 \times M_{b(m)}}$$

όπου

- t_a : χρόνος εκκινήσεως σε sec
- ΣJ : συνολική ροπή αδρανείας των περιστρεφόμενων μαζών σε kgm^2
- n : στροφές ανά λεπτό
- $M_{b(m)}$: μέση τιμή τής ροπής έπιταχύνσεως σε Nm

Η μέση τιμή τής ροπής έπιταχύνσεως μπορεί να βρεθί με μεγάλη προσέγγιση όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.1.



Σχήμα 13.1

Η συνολική ροπή αδρανείας των περιστρεφόμενων μαζών περιλαμβάνει την ροπή αδρανείας του δρομέα και του φορτίου καθώς επίσης και του συνδέσμου ή τής τροχαλίας.

Έάν ο χρόνος εκκινήσεως του κινητήρος είναι μεγαλύτερος από 10 sec, πρέπει να έρευνηθί κατά πόσον αυτό είναι έπιτρεπτό, λαμβανομένης ύπ' όψιν τής αύξήσεως τής θερμοκρασίας του κινητήρος. Είδικός ύπολογισμός και κατασκευή απαιτείται για κινητήρες με μεγάλο άριθμό εκκινήσεων σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Εάν ή ροπή αδρανείας του φορτίου ή ή ροπή στρέψεως του δεν επιτρέπουν σωστή εκκίνηση του κινητήρος, πρέπει να επιλεγεί μεγαλύτερος κινητήρας έστω και αν δεν έκμεταλλευόμαστε πλήρως την όνομαστική του ισχύ. Εναλλακτικώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλο τύπο κινητήρος (π.χ. δακτυλιοφόρου δρομέα) ή φυγοκεντρικό κόπλερ.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ό χρόνος εκκινήσεως των τετραπολικών κινητήρων χωρίς φορτίο κυμαίνεται από 0,03 έως 1,5 sec ανάλογως του μεγέθους. Ό χρόνος αυτός όμως (τής έν κενώ εκκινήσεως) δεν αποτελεί κριτήριο τής θερμικής έπιβαρύνσεως του κινητήρος κατά την υπό φορτίο εκκίνησή του.

Απώλειες θερμότητας κατά την εκκίνηση

Εκτός τής περιπτώσεως τής έν κενώ εκκινήσεως, οί απώλειες θερμότητας ένός κινητήρος, είναι ύψηλότερες κατά την εκκίνηση με άστέρα – τρίγωνο. Τοúτο συμβαίνει γιατί ό κινητήρας με την εκκίνηση Υ/Δ αναπτύσσει μικρότερη ροπή εκκινήσεως και συνεπώς ό χρόνος εκκινήσεως είναι μεγαλύτερος.

Κατά την έν κενώ εκκίνηση, οί απώλειες του δρομέως είναι πρακτικώς ίσες με τó έργο έπιταχύνσεως. Τοúτο ίσούται με την κινητική ενέργεια την όποία έχει άποκτήσει ό δρομέας όταν έχει τίς πλήρεις στροφές του.

Έχουμε λοιπόν:

$$W = J \times \frac{\omega^2}{2} = J \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{2 \times \pi \times n}{60} \right)^2$$

όπου

- W : κινητική ενέργεια σε J
- J : ροπή αδρανείας σε kgm²
- ω : γωνιακή ταχύτητα σε rad/sec
- n : στροφές σε rpm

Από την άνωτέρω σχέση φαίνεται ότι στην περίπτωση τής έν κενώ εκκινήσεως, οί απώλειες του δρομέα έξαρτώνται από την ροπή αδρανείας του και τó τετράγωνο των στροφών συγχρονισμού. Είναι άνεξάρτητες από τόν τρόπο εκκινήσεως, την ροπή έπιταχύνσεως και την κατασκευή του δρομέα (π.χ. άπλου ή διπλου κλωβού).

Αντιθέτως, κατά την εκκίνηση υπό φορτίο, ύπαισέρχεται ό παράγων τής ροπής εκκινήσεως και κατά συνέπεια έπηρεάζει σημαντικά ό τύπος του δρομέα.

14. ΔΟΚΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

§14.1: Δοκιμή έν κενώ

Μία από τις πλέον ένημερωτικές δοκιμές είναι ή δοκιμή έν κενώ, ή όποία μάς δίνει:

- τις άπώλειες σιδήρου,
- τις μηχανικές άπώλειες (τριβών και άνεμιστήρα),
- τó ρεύμα έν κενώ και
- τó συνφ έν κενώ

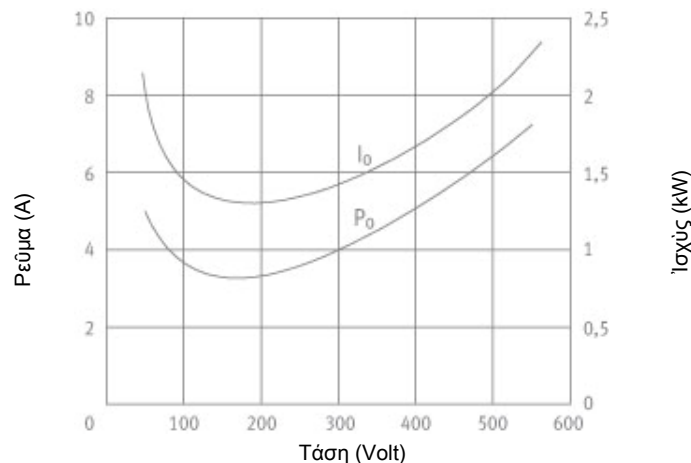
Έπί πλέον κατά την δοκιμή αύτή έμφανίζονται όποιαδήποτε τυχόν μηχανική άτέλεια, θόρυβος, λανθασμένη σύνδεση ή άλλη άνωμαλία.

Η δοκιμή πραγματοποιείται με σύνδεση του κινητήρος σε δίκτυο όνομαστικής συχνότητας και ρυθμιζόμενης τάσεως και συνδέονται όργανα μετρήσεως τάσεως, ρεύματος και ισχύος.

Όταν ό κινητήρας περιστραφή επί άρκετό διάστημα, προκειμένου νά έλέγξουμε εάν ύπάρχει καταπόνηση στα ρουλμάν, αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας περίπου έως 15-20% άνω της όνομαστικής και μετράμε την άπορροφούμενη ένταση του ρεύματος και την ισχύ.

Οι διάφορες μετρήσεις αρχίζουν από τις ύψηλές τιμές της τάσεως.

Στό Σχήμα 14.1.1 έμφανίζονται τυπικές καμπύλες δοκιμής κινητήρος έν κενώ.



Σχήμα 14.1.1

Στην όνομαστική τάση, τó σχετικό ρεύμα έν κενώ (I_0/I_n), κυμαίνεται σημαντικά και έξαρτάται από τó μέγεθος του κινητήρος και τόν άριθμό στροφών. Παραθέτουμε τόν Πίνακα 14.1.1 με τó σχετικό ρεύμα έν κενώ των διάφόρων τύπων ήλεκτροκινητήρων τριφασικού ρεύματος. Τά στοιχεία είναι ένδεικτικά.

Πίνακας 14.1.1: Σχετικό ρεύμα έν κενώ				
Ίσχύς (kW)	Άριθμός πόλων			
	2	4	6	8
0,1-1	75-60	85-65	80-75	75-70
1-10	50-35	65-45	75-60	65-55
10-100	35-20	40-25	50-25	50-30

Οί αριθμοί δεικνύουν τὸ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν τοῦ ὀνομαστικοῦ ρεύματος.

Ὁ συντελεστὴς ἰσχύος συνφ εἶναι πολὺ χαμηλὸς κατὰ τὴν έν κενῶ λειτουργία. Τοῦτο ἐξηγεῖται ἀπὸ τὸ ὅτι οἱ δύο συνιστώσες τοῦ ρεύματος I_{0r} (ἄεργος συνιστώσα γιὰ τὴν μαγνήτιση) καὶ I_{0a} (ἐνεργὸς συνιστώσα γιὰ τὶς ἀπώλειες) διαφέρουν σημαντικὰ σὲ εὐρος. Συνήθως τὸ I_{0r} εἶναι 5-10 φορές μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ I_{0a} καθ' ὅσον τὸ I_{0a} καλύπτει μόνον τὶς ἀπώλειες σιδήρου καὶ τὶς μηχανικὲς ἀπώλειες.

Ὅσο μειοῦται ἡ τάση, ἡ ἀπορροφούμενη ἰσχύς καὶ τὸ ρεῦμα μειοῦνται ἐπίσης, ἐπειδὴ ἡ μαγνητικὴ ροὴ (ἡ ὁποία εἶναι ἀνάλογη τῆς τάσεως) μειοῦται καὶ αὐτὴ ταυτοχρόνως.

Ἡ καμπύλη ἰσχύος (ὡς πρὸς τὴν τάση) εἶναι περίπου παραβολικὴ σὲ τιμὲς τῆς τάσεως πλησίον τῆς ὀνομαστικῆς, καθ' ὅσον οἱ ἀπώλειες σιδήρου εἶναι ἀνάλογες πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς μαγνητικῆς ροῆς καὶ συνεπῶς καὶ τῆς τάσεως.

Ὁ συντελεστὴς ἰσχύος συνφ αὐξάνεται μειουμένης τῆς τάσεως ἀφοῦ τὸ I_{0r} (ἡ ἄεργος συνιστώσα) μειοῦται ταχύτερα ἀπὸ τὸ I_{0a} . Τοῦτο πράγματι εἶναι δυνατόν νὰ αὐξηθῆ γιὰ νὰ καλύψῃ τὶς μηχανικὲς ἀπώλειες, ποὺ εἶναι πρακτικῶς ἀναλλοίωτες, καὶ ἀπαιτοῦν μία μεγαλύτερη συνιστώσα ρεύματος γιὰ νὰ τὶς ἀντισταθμίσει στὶς χαμηλότερες τάσεις.

Ὅταν μειώσουμε τὴν τάση π.χ. στὸ 25% τῆς ὀνομαστικῆς, τὸ ρεῦμα έν κενῶ εἶναι μικρὸ καθὼς ἐπίσης καὶ οἱ ἀπώλειες σιδήρου. Οἱ στροφές τοῦ κινητήρος ἔχουν ἐλάχιστα μειωθεῖ, ὅμως οἱ τριβές καὶ ὁ ἀερισμὸς ἀκόμα διατηροῦνται καὶ ἀπαιτεῖται καὶ ἓνα σημαντικό ρεῦμα I_{0a} νὰ ἀντισταθμίσει τὸ ἀντίστοιχο, μικρὸ μὲν, ἀλλὰ αὐξανόμενο ρεῦμα τοῦ δρομέα, τὸ ὁποῖο ἐπενεργεῖ μὲ τὴν ἤδη μειωμένη μαγνητικὴ ροὴ καὶ κρατεῖ τὸν κινητήρα σὲ περιστροφή. Ἔτσι ἐξηγεῖται ἡ αὐξηση τοῦ συνφ ὅταν τροφοδοτοῦμε τὸν κινητήρα μὲ μειωμένη τάση.

Παραθέτουμε τὶς μετρήσεις έν κενῶ ἑνὸς κινητήρος κατασκευῆς τοῦ Ἐργοστασίου μας, ἰσχύος 315 kW, 1500 rpm, B3, IP54 (Πίνακας 14.1.2).

Κατ' ἀρχὴν μετροῦμε τὴν ὠμικὴ ἀντίσταση σὲ θερμοκρασία περιβάλλοντος (19°C) καὶ βρίσκουμε $R_0 = 0,00776 \Omega$.

Ἐν συνεχείᾳ, παρέχουμε στὸν κινητήρα τάσεις καὶ λαμβάνουμε τὶς ἀκόλουθες μετρήσεις:

Πίνακας 14.1.2: Μετρήσεις έν κενώ κινητήρος 315 kW, 1500 rpm, Β3, IP54							
U ₀	I ₀₍₁₎	I ₀₍₂₎	I ₀₍₃₎	I ₀	P ₀	P _{0(cu)}	P ₀ -P _{0(cu)}
V	A	A	A	A	W	W	W
399	239,3	240,5	239,3	239,7	9375	446,7	8,928
380	208	209	208	208,3	8475	339	8,136
361,5	171,7	172,3	171,7	171,9	7650	230,6	7,419
330,9	141,8	143,5	141,8	142,4	7200	158,2	7,042
301,5	115,6	116	115,6	115,7	6300	104,9	6,195
271,5	100,1	100,4	100,1	100,2	6000	78,6	5,921
241	85,9	86	85,9	85,9	5450	57,7	5,392
211,2	74,5	74,6	74,5	74,5	5138	43,4	5,095
189,7	66,6	66,8	66,6	66,7	4950	34,7	4,915
170,5	60	60,3	60	60,1	4750	28,2	4,722
148,6	53,2	53,4	53,2	53,3	4550	22,2	4,528
127	47,4	47,2	47,4	47,3	4375	17,5	4,358

όπου

U₀ : ή παρεχόμενη τάση

I₀₍₁₎, I₀₍₂₎, I₀₍₃₎ : ή άπορροφούμενη ένταση σέ κάθε φάση

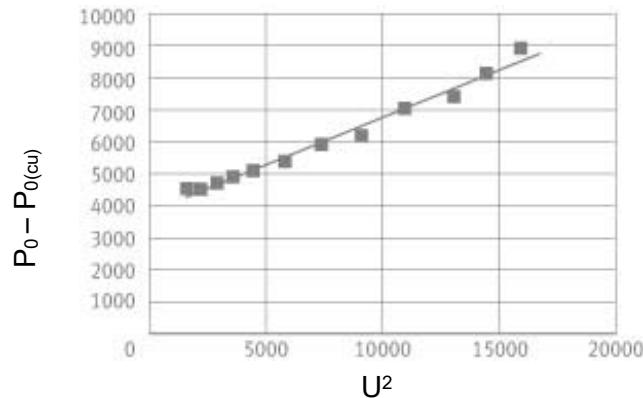
I₀ : ή άπορροφούμενη ένταση έν κενώ, δηλ. ό μέσος όρος τών I₀₍₁₎, I₀₍₂₎, I₀₍₃₎

P₀ : ή άπορροφούμενη ίσχύς δηλ. τó σύνολο τών άπωλειών

P_{0(cu)} : οί ώμικές άπώλειες, δηλ. 3RI_φ², και έπειδή ό κινητήρας είναι συνδεδεμένος κατά Δ, έχουμε I_φ = √3 × I₀, άρα P_{0(cu)} = RI².

P₀ - P_{0(cu)} : ή διαφορά αύτή μās δίνει τις άπώλειες σιδήρου και τις μηχανικές άπώλειες.

Σχεδιάζουμε την καμπύλη $P_0 - P_{0(cu)}$ ως προς U^2 (Σχήμα 14.1.2) ή όποια είναι περίπου ευθεία.



Σχήμα 14.1.2

Προεκτείνουμε την ευθεία αυτή μέχρι να τμήση τον άξονα των $P_0 - P_{0(cu)}$ δηλαδή διά $U_0 = 0$ και βρίσκουμε τις μηχανικές απώλειες καθ' όσον βέβαια για $U_0 = 0$ δεν υπάρχουν πλέον απώλειες σιδήρου. Στην συγκεκριμένη αυτή δοκιμή λαμβάνουμε $P_{m+v} = 3838W$.

Στην ονομαστική τάση οι απώλειες είναι 8475 W και οι ωμικές απώλειες 339 W. Άρα οι απώλειες σιδήρου στην ονομαστική τάση είναι: $P_{fe} = P_0 - (P_{0(cu)} + P_{m+v}) = 8475 - (339 + 3838) = 4298 W$.

§14.2: Δοκιμή βραχυκυκλώσεως

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται παρέχοντας στον στάτη αύξανόμενη τάση υπό κανονική συχνότητα, έχοντας ακινητοποιημένον τον δρομέα και μετρώντας την απορροφούμενη ένταση και την ισχύ.

Με την δοκιμή αυτή δεν εμφανίζονται τυχόν μηχανικά ελαττώματα, αλλά αποσκοπούμε:

- Στην εύρεση του ρεύματος εκκινήσεως
- Στην εύρεση των απωλειών κατά την βραχυκύκλωση
- Στον έλεγχο ισορροπίας των ρευμάτων

Η θέση στην οποία έχει ακινητοποιηθεί ο δρομέας πιθανόν να επηρεάζει την ένταση του ρεύματος και προς τούτο πρέπει να αλλάζουμε την θέση αυτή ούτως ώστε να πάρουμε τον μέσον όρο της απορροφούμενης έντάσεως του ρεύματος.

Η παρεχόμενη τάση είναι χαμηλή προς αποφυγή υψηλών ρευμάτων.

Ἡ ἀπορροφούμενη ἰσχύς στὴν βραχυκύκλωση ὀφείλεται ἀποκλειστικά σχεδὸν στὶς ὠμικὲς ἀπώλειες $I^2 \times R$ (ἀπώλειες Joule). Τοῦτο ἐξηγεῖται ἐκ τοῦ ὅτι ἡ μαγνητικὴ ροὴ κατὰ τὴν βραχυκύκλωση μειοῦται καὶ ἔτσι μειοῦνται καὶ οἱ ἀπώλειες σιδήρου, ἐνῶ δὲν ὑπάρχουν βεβαίως καὶ μηχανικὲς ἀπώλειες. Συνεπῶς ἡ καμπύλη τῆς ἰσχύος ὡς πρὸς τὴν τάση εἶναι παραβολικὴ.

Προσδιορισμὸς τοῦ ρεύματος ἐκκινήσεως

Ἐὰν οἱ παράμετροι τῆς βραχυκυκλώσεως σὲ ἓναν ἀσύγχρονο κινητήρα θεωρηθοῦν σταθεροὶ καθ' ὅλην τὴν διάρκειά τῆς ἐκκινήσεως, τότε ἡ καμπύλη τοῦ ρεύματος βραχυκυκλώσεως ὡς πρὸς τὴν τάση εἶναι εὐθεῖα. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἔχουμε μὲ ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση

$$I_{cc(n)} = I_{cc} \times \frac{U_n}{U_{cc}}$$

καὶ

$$P_{cc(n)} = P_{cc} \times \frac{U_n^2}{U_{cc}^2}$$

ὅπου

$I_{cc(n)}$ = ρεῦμα βραχυκυκλώσεως (ἐκκινήσεως) ὑπὸ ὀνομαστικὴ τάση

I_{cc} = ρεῦμα βραχυκυκλώσεως στὴν τάση δοκιμῆς

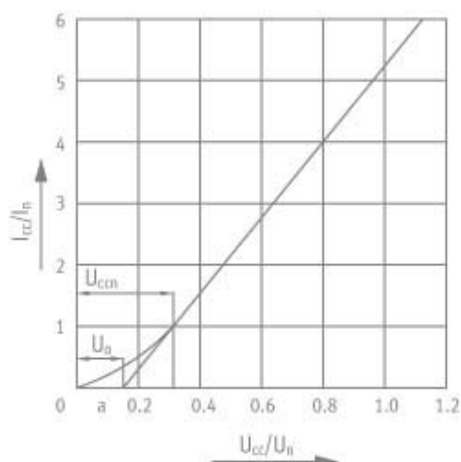
U_n = ὀνομαστικὴ τάση

U_{cc} = τάση δοκιμῆς

$P_{cc(n)}$ = ἰσχύς βραχυκυκλώσεως ὑπὸ ὀνομαστικὴ τάση

P_{cc} = ἰσχύς βραχυκυκλώσεως στὴν τάση δοκιμῆς

Στην πράξη όμως ή καμπύλη του ρεύματος βραχυκυκλώσεως ως προς την τάση δεν είναι ευθεία. Η απόκλιση είναι εμφανής σε τάσεις όπου το $I_{cc} < I_n$. Αντιθέτως, σε μεγαλύτερες τάσεις, όπου το $I_{cc} > I_n$, ή καμπύλη γίνεται πρακτικώς ευθεία. Διά τούτο ο πλέον ακριβής τρόπος προσδιορισμού του ρεύματος είναι ο ακόλουθος (Σχήμα 14.2.1):



Σχήμα 14.2.1

Δοκιμάζουμε τον κινητήρα σε τάσεις βραχυκυκλώσεως τέτοιες ώστε να έχουμε ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{cc} μεταξύ του I_n και $2,5 \times I_n$. Στο τμήμα αυτό ή καμπύλη μπορεί να θεωρηθῆ ευθεία. Προεκτείνοντας την ευθεία αυτή έως την τιμήν της τάσεως $U_{cc} = U_n$ βρίσκουμε το $I_{cc(n)}$. Τò ἴδιο ἀποτέλεσμα μπορούμε να ἔχουμε με ὑπολογισμό. Ἀρκεί πρὸς τούτο να προεκτείνουμε τὸ εὐθύγραμμο τμήμα τῆς καμπύλης μέχρι να τμήση τὸν ἄξονα τῶν U , ἔστω στὸ σημεῖο a . Ἡ ἀντίστοιχη τάση ἔστω U_0 . Ἔχουμε λοιπὸν:

$$I_{cc(n)} = I_{cc} \times \frac{U_n - U_0}{U_{cc} - U_0}$$

καὶ

$$P_{cc(n)} = P_{cc} \times \frac{(U_n - U_0)^2}{(U_{cc} - U_0)^2}$$

ὅπου

U_{cc} = τάση βραχυκυκλώσεως σὲ σημεῖο ὅπου ἡ καμπύλη θεωρεῖται ευθεία, δηλαδή ἐκεῖ ὅπου ἔχουμε $I_{cc} > 2 \times I_n$.

Ὡς πρὸς τὴν ἰσορροπία τῶν ρευμάτων, ἀποδεκτὴ θεωρεῖται μία διαφορὰ $\leq 5\%$.

Γνωρίζοντας τὸ ρεύμα βραχυκυκλώσεως καὶ τὴν ἰσχύ βραχυκυκλώσεως, εὐρίσκουμε εὐκόλα τὸ συνφ_{cc}.

§14.3: Προσδιορισμός του βαθμού απόδοσης

Ο ύπολογισμός του βαθμού απόδοσης βασίζεται στον προσδιορισμό των συνολικών απωλειών. Ο κινητήρας συνδέεται με πένδη και τροφοδοτείται με όνομαστική τάση και συχνότητα. Κατά την δοκιμή μετρούμε την τάση, την ένταση του ρεύματος, την απορροφούμενη ισχύ και τις στροφές.

Πρέπει να έχουν προηγηθεί ή μέτρηση της ωμικής αντίστασης και ή δοκιμή εν κενώ.

Συμφώνως προς τα IEC 34-2 §5 κατά τον ύπολογισμό του βαθμού απόδοσης πρέπει να λαμβάνεται ή ωμική αντίσταση του τυλίγματος σε θερμοκρασία 75°C για κινητήρες με κλάση μονώσεως A, E ή B, και 115°C για κινητήρες με κλάση μονώσεως F ή H. Έτσι, σε κινητήρα με κλάση F, εάν ή ωμική αντίσταση εν ψυχρώ (π.χ. στους 19°C) είναι 0,007338 Ω, στον ύπολογισμό του βαθμού απόδοσης πρέπει να ληφθή υπ' όψιν θερμοκρασία τυλίγματος 115°C, δηλ. R = 0,010112 Ω.

Παραθέτουμε τις μετρήσεις για τον προσδιορισμό του βαθμού απόδοσης ενός κινητήρος του εργοστασίου μας ισχύος 315 kW 1500 rpm (Πίνακας 14.3.1).

U	V	380	380	380	380	380
I ₁	A	830	705	594	460	320
I ₂	A	832	707	594	460	321
I ₃	A	833	706	595	461	321
I	A	832	706	594	460	321
P _α	W	467400	396000	332700	249300	153000
P _{J(st)}	W	6994,1	5040,1	3571,8	2142,8	1038,7
P _{fe}	W	4298	4298	4298	4298	4298
Συνολ. P _{st}	W	11292	9338	7870	6441	5337
P _{em}	W	456108	386662	324830	242859	147663
s	%	2,2	1,871	1,471	1,2	0,73
P _{J(rot)}	W	10035,4	7234,1	4776,9	2913,7	1077,8
P _s	W	2337	1980	1663,5	1246,5	765
P _{m+v}	W	3838,1	3838,1	3838,1	3838,1	3838,1
Συνολ. P	W	27503	22390	18148	14439	11018
P _m	W	439898	373610	314552	234861	141983
n	%	94,12%	94,35%	94,55%	94,21%	92,80%
cosφ		0,85	0,85	0,85	0,82	0,73
M	N _m	2869,6	2423,9	2032,4	1513,4	910,6

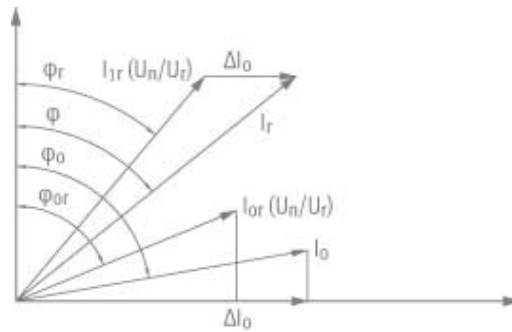
όπου

U	=	ή παρεχόμενη τάση (σε περίπτωση δοκιμής παραλαβής πρέπει να είναι ή ονομαστική)
I_1, I_2, I_3	=	ή απορροφούμενη ένταση από κάθε φάση
I	=	ή απορροφούμενη ένταση δηλ. ο μέσος όρος των I_1, I_2, I_3
P_α	=	ή απορροφούμενη ισχύς
$P_{J(st)}$	=	απώλειες Joule στάτη δηλ. $R \times I^2$
P_{fe}	=	απώλειες σιδήρου (έχουν βρεθεί από την δοκιμή εν κενώ).
Συνολ. P_{st}	=	συνολικές απώλειες στάτη (δηλ. $P_{J(st)} + P_{fe}$)
P_{em}	=	ή ισχύς που μεταφέρεται στον δρομέα (δηλ. $P_\alpha - \text{Συνολ. } P_{st}$)
s	=	ολίσθηση
$P_{J(rot)}$	=	απώλειες Joule δρομέα (δηλ. $P_{em} \times s$)
P_s	=	πρόσθετες απώλειες (δηλ. $0,005 P_\alpha$)
P_{m+v}	=	απώλειες τριβών και αερισμού (έχουν βρεθεί από την δοκιμή εν κενώ)
Συνολ. P	=	σύνολο απωλειών (δηλ. $P_{J(st)} + P_{fe} + P_{J(rot)} + P_s + P_{m+v}$)
P_m	=	άποδιδόμενη στον άξονα ισχύς (δηλ. $P_\alpha - \text{Συνολ. } P$)
n	=	βαθμός αποδόσεως (δηλ. P_m / P_α)
cosφ	=	συντελεστής ισχύος δηλ. $P_\alpha / (\sqrt{3} UI)$
M	=	ροπή (δηλ. $9,55 \times P_m/v$) όπου v οί στροφές

Προσδιορισμός του βαθμού αποδόσεως με δοκιμή σε χαμηλή τάση

Σύμφωνα με τα IEC 34-2 §9.1.2.3 μπορούμε να υπολογίσουμε τον βαθμό αποδόσεως δοκιμάζοντας τον κινητήρα σε χαμηλή τάση.

Όταν μειώνουμε την τάση τροφοδοσίας, διατηρώντας τις στροφές σταθερές, ή απορροφούμενη ένταση μειούται σχεδόν αναλόγως της τάσεως και ή απορροφουμένη ισχύς σχεδόν αναλόγως του τετραγώνου της τάσεως. Έτσι όταν ή τάση μειωθή στο μισό της ονομαστικής, ή ένταση του ρεύματος θα είναι περίπου ή μισή και ή ισχύς περίπου τὸ ἕνα τέταρτο των τιμών που θα είχαμε στην ονομαστική τάση.



Σχήμα 14.3.1

Δοκιμάζουμε κατ' αρχήν τόν κινητήρα έν κενώ στην όνομαστική τάση και βρίσκουμε τó I_0 . Κατόπιν δοκιμάζουμε τόν κινητήρα στην χαμηλή τάση U_r και βρίσκουμε τó ρεύμα έν κενώ $I_{0(r)}$. Φορτώνουμε τόν κινητήρα σέ αύτην τήν μειωμένη τάση U_r και μετρούμε τήν άπορροφούμενη ισχύ $P_{1(r)}$, τήν άπορροφούμενη ένταση $I_{1(r)}$ και τήν όλίσθηση s . Τό άνυσμα του ρεύματος I_1 ύπό φορτίο στην όνομαστική τάση ύπολογίζεται με τήν κατασκευή του διαγράμματος έντάσεων (Σχήμα 14.3.1) με τόν ακόλουθο τρόπο:

Στό άνυσμα του ρεύματος $I_{1(r)}$ πολλαπλασιασμένο με τόν λόγο U_n/U_r προσθέτουμε τó άνυσμα ΔI_0 :

$$\Delta I_0 = I_0 \times \sin \varphi - I_{0(r)} \times \frac{U_n}{U_r} \times \sin \varphi_{0(r)}$$

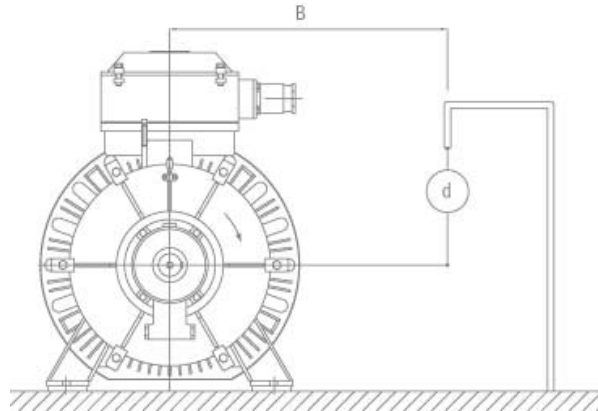
Τό άνυσμα που προκύπτει δείχνει τήν άπορροφούμενη ένταση στην όνομαστική τάση U_n όταν ή άπορροφούμενη ισχύς είναι

$$P_1 = P_{1(r)} \times \left(\frac{U_n}{U_r} \right)^2$$

Γνωρίζοντας πλέον τήν άπορροφούμενη ένταση I_1 , τήν άπορροφούμενη ισχύ P_1 και τήν όλίσθηση s (μετρηθείσα σέ χαμηλή τάση U_r) μπορούμε νά ύπολογίσουμε τις άπώλειες και συνεπώς και τόν βαθμό άποδόσεως.

§14.4: Δοκιμή ροπής έκκινήσεως

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται με την χρήση ενός βραχίονα· το ένα άκρο του βραχίονα στερεώνεται στον άξονα του κινητήρα και το άλλο άκρο του εφαρμόζεται σε ένα δυναμόμετρο (Σχήμα 14.4.1).



Σχήμα 14.4.1

Τροφοδοτούμε τον κινητήρα με χαμηλή τάση U_r και μετρούμε την ένδειξη T επί του δυναμομέτρου. Η ροπή έκκινήσεως του κινητήρα ισούται με

$$M_{\alpha} = B \times T \times \frac{U_n^2}{U_r^2}$$

όπου

- M_{α} = ροπή έκκινήσεως σε kgm^2
- U_n = όνομαστική τάση
- U_r = τάση δοκιμής
- B = μήκος βραχίονα σε m
- T = ένδειξη δυναμόμετρου σε kg

Η ροπή έκκινήσεως μπορεί να υπολογισθί και από την δοκιμή βραχυκυκλώσεως. Πράγματι κατά την δοκιμή αυτή προσδιορίζουμε την απορροφούμενη ισχύ, την απορροφούμενη ένταση και μετρούμε την ωμική αντίσταση του στάτη. Έπειδή δε γνωρίζουμε ότι:

$$\frac{P_{tot}}{P_{J(rot)}} = \frac{1-s}{s}$$

και

$$M_{tot} = \frac{P_{tot} \times p}{2 \times \pi \times f \times (1-s)}$$

καταλήγουμε ότι

$$M_{tot} = \frac{P_{J(rot)} \times p}{2 \times \pi \times f \times s}$$

Κατά την εκκίνηση $s = 1$, συνεπώς

$$M_a = \frac{P_{J(rot)} \times p}{2 \times \pi \times f}$$

όπου

- M_a = ροπή εκκινήσεως σε Nm
- p = αριθμός ζευγών πόλων
- $P_{J(rot)}$ = ώμικες απώλειες δρομέα κατά την εκκίνηση
- f = συχνότητα ρεύματος σε Hz

Κατά την εκκίνηση όλη ή απορροφούμενη ισχύς μετατρέπεται σε ώμικες απώλειες του στάτη και του δρομέα επειδή δεν υπάρχουν μηχανικές απώλειες και οι απώλειες σιδήρου είναι άμελητές. Συνεπώς η ισχύς βραχυκυκλώσεως ισούται με

$$P_{cc(n)} = P_{st} + P_{J(rot)}$$

όπου

- $P_{cc(n)}$ = ισχύς βραχυκυκλώσεως
- P_{st} = ώμικες απώλειες στάτη κατά την εκκίνηση
- $P_{J(rot)}$ = ώμικες απώλειες δρομέα κατά την εκκίνηση

Οι ώμικες απώλειες του στάτη κατά την εκκίνηση υπολογίζονται εύκολα έφ' όσον γνωρίζουμε το ρεύμα εκκινήσεως και την ώμικη αντίσταση.

Σημειώνουμε ότι η δοκιμή βραχυκυκλώσεως πρέπει να γίνεται πολύ γρήγορα για να μην υπερφορτώνεται επί πολύ ο κινητήρας. Επίσης εάν ο κινητήρας είναι συνδεδεσμένος κατά

τρίγωνο, μετρούμε την ωμική αντίσταση μεταξύ δύο άκροδεκτών μετά το τέλος της δοκιμής βραχυκυκλώσεως και η τιμή που βρίσκουμε είναι

$$R_{cc} \approx R_{\phi} / 1,5$$

Παραθέτουμε τις μετρήσεις δοκιμής βραχυκυκλώσεως κινητήρος κατασκευής του έργου μας ισχύος 150 HP, τετραπολικού 50 Hz, 380 V (Πίνακας 14.4.1). Κατά την δοκιμή ο κινητήρας είναι συνδεδεσμένος κατά Δ.

Πίνακας 14.4.1: Μετρήσεις δοκιμής βραχυκυκλώσεως					
U _{cc}	I _{cc(1)}	I _{cc(2)}	I _{cc(3)}	I _{cc}	P _{cc}
273.0	824.0	838.0	829.2	830.5	112.500
262.8	773.8	784.4	780.0	779.4	102.500
256.4	743.1	750.6	748.1	747.3	93.500
250.8	713.1	725.0	718.8	719.2	88.750
232.4	637.5	643.8	640.0	640.4	68.750
216.0	571.9	581.3	580.0	577.7	56.250
208.4	528.1	537.5	537.5	534.4	49.500
131.4	236.9	243.8	241.2	240.6	10.250
126.3	218.8	225.0	223.4	222.4	9.087
120.8	200.0	206.3	204.7	203.6	7.500
116.3	184.4	190.0	187.5	187.5	6.750

όπου

U_{cc} = τάση δοκιμής βραχυκυκλώσεως (V)

I_{cc(1)}, I_{cc(2)}, I_{cc(3)} = ρεύμα βραχυκυκλώσεως (έκκινήσεως) ανά φάση στην τάση δοκιμής (A)

I_{cc} = ρεύμα βραχυκυκλώσεως (έκκινήσεως) στην τάση δοκιμής (A) δηλαδή ο μέσος όρος των I_{cc(1)}, I_{cc(2)}, I_{cc(3)}

P_{cc} = ισχύς βραχυκυκλώσεως στην τάση δοκιμής (W)

Μετρούμε την αντίσταση και βρίσκουμε R_{cc} = 0,03620 Ω.

Σχεδιάζουμε την καμπύλη I_{cc} ως προς U_{cc} και βρίσκουμε ότι

$$U_0 = 107,48 \text{ V}$$

Άρα:

$$I_{cc(n)} = 830,5 \times \frac{380 - 107,48}{273 - 107,48} = 1367 \text{ A}$$

και το σχετικό ρεύμα εκκίνησης

$$\frac{I_{cc(n)}}{I_n} = \frac{1367}{205} = 6,6$$

Η ισχύς βραχυκυκλώσεως είναι

$$P_{cc(n)} = 112500 \times \frac{(380 - 107,48)^2}{(273 - 107,48)^2} = 305164 \text{ W}$$

Και ο συντελεστής ισχύος κατά την βραχυκύκλωση (έκκίνηση)

$$\sigma_{\text{υν}\phi_{cc(n)}} = \frac{305164}{\sqrt{3} \times 380 \times 1367} = 0,33$$

Ωμικές απώλειες στάτη κατά την εκκίνηση

$$P_{st} = 1,5 \times 0,03620 \times 1367^2 = 101470 \text{ W}$$

Άρα οι ωμικές απώλειες δρομέα κατά την εκκίνηση

$$P_{J(\text{rot})} = 305164 - 101470 = 203694 \text{ W}$$

Άρα ο κινητήρας έχει ροπή εκκίνησης

$$M_a = \frac{2 \times 203694}{314} = 1297 \text{ N}_m$$

και σχετική ροπή έκκινήσεως

$$\frac{M_a}{M_n} = \frac{1297}{707} = 1,9$$

§14.5: Δοκιμή ροπής

Με την δοκιμή αυτή χαράσσουμε την καμπύλη τής ροπής ως προς τις στροφές και συγκεκριμένα από την εκκίνηση έως την ταχύτητα συγχρονισμού (ή ροπή έκκινήσεως προσδιορίζεται από την δοκιμή που περιγράφουμε στην Παράγραφο 14.4).

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται υπερφορτίζοντας τον ηλεκτροκινητήρα μέσω καταλλήλου πέδης, ούτως ώστε να περιστραφή σε διάφορες ταχύτητες από 0 στρ./λεπτό έως τις όνομαστικές του.

Ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτείται συνήθως σε χαμηλή τάση (προς αποφυγήν υψηλών ρευμάτων) υπό όνομαστική συχνότητα.

Σε κάθε ταχύτητα μετρούμε την αποδιδόμενη ροπή στον άξονα του κινητήρος, την παρεχόμενη τάση και την απορροφούμενη ένταση I.

Η δοκιμή τής ροπής μᾶς δίνει:

- την καμπύλη ροπής/στροφών,
- την μέγιστη ροπή (ροπή άνατροπής) και
- την ελάχιστη ροπή.

Στή συνήθη περίπτωση όπου η δοκιμή πραγματοποιείται σε χαμηλή τάση, η ροπή στην όνομαστική τάση βρίσκεται με ικανοποιητική προσέγγιση από την εξίσωση:

$$M_1 = M_2 \times \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2$$

όπου

M_1 = ροπή υπό όνομαστική τάση

U_1 = όνομαστική τάση

M_2 = ροπή στην τάση δοκιμής

U_2 = τάση δοκιμής

Η ανωτέρω εξίσωση όμως δεν ισχύει για τις πολύ μικρές ταχύτητες περιστροφής (<200 στρ./λεπτό) και έχει αποδειχθεί ότι η πλέον προσεγγιστική τιμή δίδεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$M_1 = M_2 \times \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2$$

όπου

M_1 = ροπή υπό όνομαστική τάση

I_1 = ρεύμα έκκινήσεως του ηλεκτροκινητήρος σε όνομαστική τάση

M_2 = ροπή στην τάση δοκιμής

I_2 = απορροφούμενη ένταση στην τάση δοκιμής

Σύστημα Δοκιμών Ηλεκτροκινητήρων

Το σύστημα δοκιμών ηλεκτροκινητήρων έναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από την εταιρεία μας, αποτελείται από τα ακόλουθα κύρια μέρη:

1. Ηλεκτρικό πίνακα παροχής ισχύος για τον υπό δοκιμή ηλεκτροκινητήρα
2. Μηχανή συνεχούς ρεύματος για την πέδηση του κινητήρος
3. Ηλεκτρικό πίνακας για την παροχή ισχύος και τον έλεγχο της μηχανής συνεχούς ρεύματος
4. Τριφασικό αναλυτή ενέργειας για την μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών
5. Ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον έλεγχο της πέδης και την συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων
6. Ειδική τράπεζα προσδέσεως του προς δοκιμή ηλεκτροκινητήρος

Ηλεκτρικός πίνακας έκκινήσεως και δοκιμών ηλεκτροκινητήρων

Ο ηλεκτρικός πίνακας, από τον οποίο τροφοδοτείται ο προς δοκιμή ηλεκτροκινητήρας, διαθέτει έναν αυτόμετασχηματιστή πολλαπλών λήψεων, ισχύος 400 kVA. Έτσι, με την βοήθεια ηλεκτρονόμων ισχύος, που επίσης διαθέτει ο πίνακας, είναι δυνατή η τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρος με τάση από 80 V και κλιμακωτά μέχρι 430 V. Μέσω αυτού του πίνακος, πραγματοποιούμε και την δοκιμή εν κενώ.

Μηχανή συνεχούς ρεύματος

Για τον ρόλο της πέδης (σύστημα φορτίσεως) έχει επιλεγεί μία μηχανή συνεχούς ρεύματος καταλλήλου ισχύος. Η μηχανή αυτή, η οποία συνδέεται μέσω ελαστικού συνδέσμου με τον προς δοκιμή κινητήρα, διαθέτει ανεξάρτητη διέγερση, ώστε ο έλεγχός της να είναι ακριβέστερος και απλούστερος, και ανεξάρτητη ψύξη, ώστε να είναι δυνατή η όνομαστική της λειτουργία σε πολύ χαμηλές στροφές για παρατεταμένο χρόνο. Όταν φορτίζουμε έναν ηλεκτροκινητήρα έναλλασσόμενου ρεύματος, η μηχανή συνεχούς ρεύματος λειτουργεί ως γεννήτρια και έτσι η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και επιστρέφει στο δίκτυο τροφοδοσίας.

Ήλεκτρικός πίνακας μηχανής συνεχούς ρεύματος

Ο ήλεκτρικός πίνακας τής μηχανής συνεχούς ρεύματος βασίζεται σε έναν ηλεκτρονικό έλεγκτή ισχύος ύψηλης τεχνολογίας. Με τήν βοήθεια αυτού ελέγχεται ή ροή ισχύος από τήν μηχανή στο δίκτυο και επιτυγχάνεται κάθε φορά τò επιθυμητò ποσοστò πεδήσεως του υπό δοκιμή κινητήρος.

Ο έλεγκτής διαθέτει επίσης ένσωματωμένο κλειστò βρόχο στροφών. Έτσι καθίσταται δυνατή ή καταγραφή τής συμπεριφορᾶς του υπό δοκιμήν κινητήρος σε διάφορες ταχύτητες. Αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου νὰ προσδιορισθῆ ή καμπύλη ροπῆς / στροφών του κινητήρος.

Τέλος ó έλεγκτής τής μηχανής συνεχούς ρεύματος έχει τήν δυνατότητα νὰ μᾶς ενημερώνη για τήν ροπή στòn ἄξονά της. Αυτό γίνεται ύπολογιστικῶς από τόν μικροεπεξεργαστή του έλεγκτή αφού προηγουμένως τόν ἔχουμε ενημερώσει για τὰ χαρακτηριστικά τής μηχανής που χρησιμοποιεῖται. Αυτό είναι πολὺ σημαντικό διότι διαφορετικά για τήν μέτρηση τής ροπῆς θὰ χρειαζόταν αἰσθητήρια ροπῆς τὰ ὁποῖα εἶναι καὶ εὐαίσθητα καὶ πολὺ ὑψηλοῦ κόστους.

Τριφασικός ἀναλυτής ἐνέργειας

Ο τριφασικός ἀναλυτής ἐνέργειας ἀναλαμβάνει τήν καταγραφή ὄλων τῶν ηλεκτρικῶν μεγεθῶν του υπό δοκιμήν κινητήρος (τάση καὶ ρεύμα τροφοδοσίας, ἀπορροφούμενη ισχύ καὶ συντελεστή ισχύος). Διαθέτει επίσης ὀθόνη ὑγρῶν κρυστάλλων για τήν παρουσίαση τῶν μετρήσεων ἀλλὰ καὶ ἐκτυπωτὴ για τήν ἐκτύπωσή τους. Τέλος ἔχει τήν δυνατότητα σειριακῆς ἐπικοινωνίας (RS232) με ήλεκτρονικό ὑπολογιστή για τήν ἀποθήκευση τῶν μετρήσεων καὶ τήν περαιτέρω ἐπεξεργασία τους. Ο τριφασικός ἀναλυτής ισχύος εἶναι ἐγκαταστημένος στὸν ήλεκτρικὸ πίνακα τροφοδοσίας του υπό δοκιμή ήλεκτροκινητήρος.

Ήλεκτρονικός Ὑπολογιστής

Μέσω του ήλεκτρονικοῦ ὑπολογιστή ἐπικοινωνοῦμε με τόν έλεγκτή τής μηχανής συνεχούς ρεύματος καὶ καθορίζουμε τίς στροφές του ήλεκτροκινητήρος. Ἡ χρήση του ήλεκτρονικοῦ ὑπολογιστή κρίνεται ἀπαραίτητη διότι ἐξασφαλίζει τήν γρήγορη σάρωση τῶν στροφῶν του ήλεκτροκινητήρος ἀπὸ μηδέν ἕως τίς ὀνομαστικές του, προκειμένου νὰ χαραχθῆ ή καμπύλη ροπῆς / στροφῶν. Τὰ περισσότερα σημεῖα αὐτῆς τής καμπύλης ἀποτελοῦν μὴ ἐπιτρεπτὰ σημεῖα λειτουργίας για τόν ήλεκτροκινητήρα καὶ ή παρατεταμένη λειτουργία του σε αὐτὰ μπορεῖ νὰ τόν καταστρέψη. Αὐτὸς εἶναι καὶ ὁ λόγος που ή δοκιμή ροπῆς πρέπει νὰ γίνεῖ μέσα σε ὅσο τὸ δυνατόν μικρότερο χρόνο.

Τέλος ὁ ήλεκτρονικός ὑπολογιστής χρησιμοποιεῖται καὶ για τήν ἐπεξεργασία τῶν μετρήσεων, τήν χάραξη τῶν ἀπαραίτητων γραφημάτων καὶ τήν ἀποθήκευση τῶν ἀποτελεσμάτων.

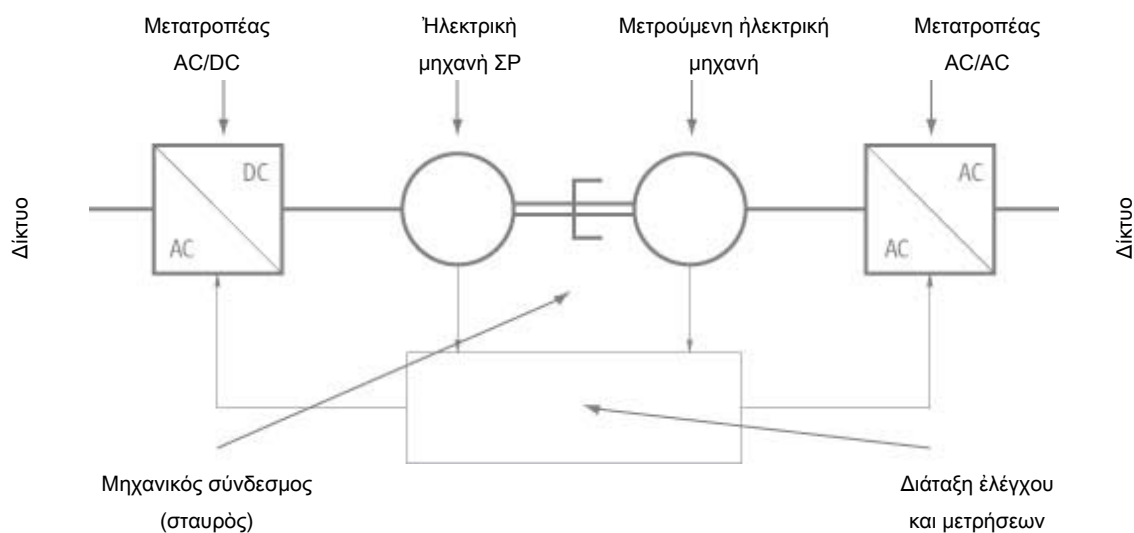
Τράπεζα προσδέσεως του ηλεκτροκινητήρος

Τέλος έχουμε κατασκευάσει ειδική τράπεζα επί της οποίας προσδένεται εύκολα ο προς δοκιμήν κινητήρας, ανεξαρτήτως του μεγέθους του. Τουτό επιτυγχάνεται με την δυνατότητα της τραπέζης να κινείται πάνω κάτω, ούτως ώστε ανεξαρτήτως του μεγέθους να εύθυγραμμίζεται ο άξονας του κινητήρος με τον άξονα της μηχανής συνεχούς ρεύματος. Επί της τραπέζης ο κινητήρας στερεοῦται με κατάλληλους σφιγκτήρες.

Με τὸ σύστημα αὐτὸ τῶν δοκιμῶν μπορούμε βεβαίως νὰ δοκιμάσουμε τοὺς κινητήρες ὑπὸ πλήρες φορτίον και νὰ προσδιορίσουμε και τὸν βαθμὸ ἀποδόσεως.

Ἐπίσης ἀκίνητοποιῶντας τὸν δρομέα μπορούμε νὰ μετρήσουμε και τὴν ροπή ἐκκινήσεως.

Ἡ γενικὴ ἀποψη τοῦ συστήματος δοκιμῶν ηλεκτροκινητήρων ἐναλλασσόμενου ρεύματος, με ὅλα τὰ μέρη τὰ ὁποῖα ἀναλύθηκαν παραπάνω φαίνεται στὸ Σχῆμα 14.5.1.



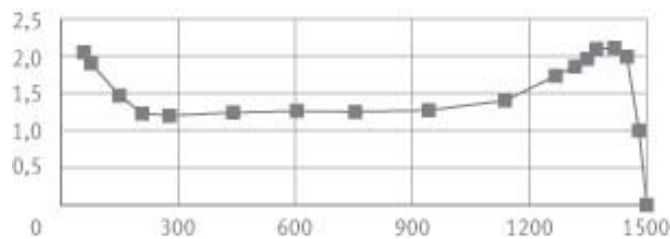
Σχῆμα 14.5.1

Στὸν πίνακα 14.5.1 παραθέτουμε τὶς μετρήσεις τῆς δοκιμῆς ροπῆς ἠλεκτροκινητήρος κατασκευῆς τοῦ Ἔργουστασίου μας ἰσχύος 132 kW, 150 rpm, 380 V.

Πίνακας 14.5.1: Μετρήσεις δοκιμῆς ροπῆς				
I	n	M222V	M380V	M/Mn
-	0	-	-	1,91
772	59	350	1469	1,72
769	115	320	1354	1,59
763	150	281	1208	1,41

756	208	350	1025	1,20
751	278	365	1069	1,25
725	441	361	1058	1,24
706	604	367	1075	1,26
684	753	364	1067	1,25
656	942	369	1081	1,27
628	1137	409	1198	1,40
602	1234	504	1477	1,73
544	1316	543	1591	1,86
503	1359	600	1758	2,06
494	1371	609	1784	2,09
459	1387	616	1805	2,11
400	1417	580	1699	1,99
350	1450	437	1280	1,50
-	1480	-	-	1,00
-	1500	-	-	0,00

Στο Σχήμα 14.5.2 παρατίθεται ή αντίστοιχη καμπύλη ροπής / στροφών του ίδιου ήλεκτροκινητήρος.



Σχήμα 14.5.2

Καμπύλη ροπής /στροφών

Η δοκιμή έγινε σε τάση 222 V και δια την άναγωγή τής ροπής στην όνομαστική τάση τών 380 V χρησιμοποιήθηκαν οι έξιςώσεις που αναφέραμε ανωτέρω.

§14.6: Δοκιμή Μονώσεων

Με την δοκιμή μονώσεων (Megger test) μετρούμε την αντίσταση μεταξύ των φάσεων και μεταξύ κάθε φάσεως και του σώματος (γής). Το χρησιμοποιούμενο όργανο είναι το Megger. Διά κινητήρες χαμηλής τάσεως 380/440 V συνιστάται Megger 500 V, ενώ διά κινητήρες ύψηλης τάσεως 6K V συνιστάται Megger 1000 V ή 2500 V.

Έαν ο κινητήρας έχει 6 άκρα ή μέτρηση γίνεται μεταξύ των φάσεων και μεταξύ κάθε φάσεως και του σώματος.

Έαν ο κινητήρας έχει 3 άκρα (έσωτερική συνδεσμολογία Υ ή Δ) ή μέτρηση γίνεται μεταξύ των τριών συνδεδεμένων φάσεων και του σώματος.

Κατά την παραλαβή των κινητήρων οι μετρήσεις μονώσεως διεξάγονται πρό και άμέσως μετά τις δοκιμές διηλεκτρικής άντοχής.

Αποδεκτή θεωρείται η μέτρηση εάν

$$R = \frac{20 \times U}{1000 \pm 2P}$$

όπου

R = αντίσταση σε ΜΩ

P = όνομαστική ισχύς σε kW

U = όνομαστική τάση σε V

Η δοκιμή μονώσεων πρέπει να γίνεται σε όλους ανεξαιρέτως τους κινητήρες πριν τεθούν σε λειτουργία και κυρίως σε κινητήρες που έχουν παραμείνει επί μακρόν άχρησιμοποίητοι.

§14.7: Μέτρηση τής ώμικης αντίστασεως

Για την μέτρηση τής ώμικης αντίστασεως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γέφυρα Wheatstone ή μιὰ πηγή χαμηλής συνεχούς τάσεως και να μετρήσουμε τὸ ρεύμα, ὅποτε $R = V/I$. Έαν ὁ κινητήρας ἔχει 6 ἄκρα μετράμε τὴν ἀντίσταση ἐκάστης φάσεως. Σὲ περίπτωση 3 ἄκρων (έσωτερική συνδεσμολογία ἀστέρα) μετρούμε τὴν ἀντίσταση 2 φάσεων. Οἱ μετρούμενες τιμές δὲν πρέπει νὰ ἀποκλίνουν περισσότερο ἀπὸ 3%.

Η μέτρηση τής ώμικης αντίστασεως γίνεται ἐν ψυχρῶ. Για τὸν ὑπολογισμό τοῦ βαθμοῦ ἀποδόσεως πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ἡ ὡμικὴ ἀντίσταση στὴν ἀνώτατη ἐπιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας στοὺς πλήρεις φορτίο.

Γνωρίζοντας τὴν ὡμικὴ ἀντίσταση ἐν ψυχρῶ, μπορούμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ὡμικὴ ἀντίσταση ἐν θερμῶ, σύμφωνα μὲ τὴν σχέση

$$\frac{t_2 + 235}{t_1 + 235} = \frac{R_2}{R_1}$$

όπου

t_1 = θερμοκρασία μετρήσεως έν ψυχρώ σέ °C

t_2 = μεγίστη έπιτρεπομένη θερμοκρασία σέ °C

R_1 = ώμική αντίσταση έν ψυχρώ

R_2 = ώμική αντίσταση έν θερμώ

Άπό τήν σχέση αυτή, μπορούμε νά ύπολογίσουμε τήν αύξηση τής θερμοκρασίας του τυλίγματος. Έχουμε λοιπόν:

$$\Delta_t = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (235 + t_1) + (t_1 - t_a)$$

όπου

Δ_t = αύξηση τής θερμοκρασίας

t_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τò τέλος τής δοκιμής

§14.8: Δοκιμή έπιβραδύνσεως

Μέ τήν δοκιμή αυτή, ή όποία πρακτικώς γίνεται μόνον σέ κινητήρες μεγάλης ισχύος, μετρούμε τήν ροπή αδρανείας. Προϋπόθεση είναι νά γνωρίζουμε τις μηχανικές άπώλειες του κινητήρος, δηλαδή νά έχη προηγηθή ή δοκιμή έν κενώ.

Σύμφωνα μέ τὰ IEC 34-2 §15, ή ροπή αδρανείας ίσοϋται μέ

$$J = \frac{45600 \times Pt}{\delta \times n^2}$$

όπου

J = ροπή αδρανείας σέ kgm²

P = μηχανικές άπώλειες σέ kW

n = όνομαστικές στροφές σέ rpm

t = χρόνος έπιβραδύνσεως σέ sec άπό
ταχύτητα $n \times (1 + \delta)$ σέ $n \times (1 - \delta)$

§14.9: Δοκιμή ύπερταχύνσεως

Η δοκιμή αυτή, σύμφωνα μέ τὰ IEC 34-2 §21, κανονικά δέν θεωρείται άπαραίτητη, αλλά μπορεί νά γίνη εάν συμφωνηθή μεταξύ άγοραστοϋ – πωλητοϋ κατά τήν παραγγελία. Για τούς άσύγχρονους έπαγωγικούς κινητήρες, τὰ IEC 34-1 εις τόν πίνακα IX, προβλέπουν ταχύτητα για τήν δοκιμή ύπερταχύνσεως, 1,2 τής ταχύτητας συγχρονισμού επί δύο λεπτά.

Η δοκιμή θεωρείται έπιτυχής, εάν μετά τὸ τέλος της, δὲν παρατηρηθοῦν μόνιμες παραμορφώσεις ἢ ἄλλες ἀνωμαλίες ποὺ νὰ μποροῦν νὰ ἐμποδίσουν τὴν κανονικὴ λειτουργία τοῦ κινητήρος.

§14.10: Δοκιμὴ ταλαντώσεων

Κατὰ τὴν δοκιμὴ αὐτὴ ὁ κινητήρας λειτουργεῖ σὲ ὀνομαστικὴ τάση καὶ συχνότητα, καὶ μετροῦμε τὶς ταλαντώσεις σὲ 5 προκαθορισμένα σημεῖα σὲ ἄξονες XYZ.

Σύμφωνα μὲ τὰ πρότυπα ISO 2954 καὶ τὰ DIN 45 666 τὸ χρησιμοποιούμενο ὄργανο μετρήσεως πρέπει νὰ μετᾷ τὶς μηχανικὲς ταλαντώσεις σὲ ἓνα πεδίο συχνοτήτων ἀπὸ 10 ἕως 1000 Hz.

Σύμφωνα μὲ τὰ πρότυπα ISO 2373 καὶ τὰ VDI 2056 οἱ μηχανὲς κατατάσσονται σὲ 6 κατηγορίες ἀναλόγως τῆς σημασίας ποὺ ἔχει γιὰ αὐτὲς τὸ μέγεθος τῶν ταλαντώσεων.

Γιὰ τοὺς κινητήρες τὰ πρότυπα ISO 2373 καὶ τὰ DIN 45 666 δίδουν τὰ ἐξῆς ὅρια ταλαντώσεων ἀναλόγως τοῦ μεγέθους (Πίνακας 14.10.1):

Πίνακας 14.10.1: Ὅρια ταλαντώσεως				
Κατηγορία	Ταχύτητα (rpm)	Ὅρια ταλαντώσεως (σὲ 10 ἕως 1000 Hz) ἐκπεφρασμένα σὲ mm/s ἀνὰ μέγεθος κινητήρος		
		80 - 132	160 - 225	250 - 315
N (κανονικὴ)	600 - 1800	1,8	2,8	4,5
	1800 - 3600			
R (βελτιωμένη)	600 - 1800	0,71	1,12	1,8
	1800- 3600	1,12	1,8	2,8
S (εἰδική)	600 - 1800	0,45	0,71	1,12
	1800- 3600	0,71	1,12	1,8

§14.11: Διηλεκτρικὴ δοκιμὴ

Μὲ τὴν διηλεκτρικὴ δοκιμὴ ἢ δοκιμὴ ὑψηλῆς τάσεως, διαπιστώνουμε τὴν ἀντοχὴ τοῦ μονωτικοῦ ὑλικοῦ ποὺ παρεμβάλλεται μεταξὺ τοῦ τυλίγματος καὶ τοῦ σώματος (γῆς). Ἡ δοκιμὴ πραγματοποιεῖται γιὰ κάθε φάση ξεχωριστὰ ἐὰν ὁ κινητήρας ἔχη 6 ἄκρα, ἢ γιὰ ὅλες τὶς φάσεις μαζί, ἐὰν ὁ κινητήρας ἔχη 3 ἄκρα (τὰ ὁποῖα γεφυρώνουμε προσωρινὰ γιὰ τὴν μέτρηση καὶ μόνο).

Σύμφωνα μὲ τὸ IEC 34-1 (κεφ. 6) ἡ τάση δοκιμῆς δίδεται ἀπὸ τὴν σχέση:

$U_{\text{δοκ}} = 1000 \text{ Volt} + 2U_n$, όπου U_n ή ονομαστική τάση λειτουργίας του κινητήρος. Η τάση αυτή εφαρμόζεται για χρονικό διάστημα ενός λεπτού.

Η διηλεκτρική δοκιμή γίνεται στο έργοστάσιο του κατασκευαστή και δεν επαναλαμβάνεται. Σε απαίτηση του πελάτη δύναται να γίνη εφαρμόζοντας το 80% τής συνολικής ($2U_n + 11000 \text{ Volt}$) επί 1 λεπτό.

Σε περίπτωση μερικής αντικατάστασης του τυλίγματος τότε η εφαρμοζόμενη τάση διηλεκτρικής άντοχής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 75% τής συνολικής ($2U_n + 11000 \text{ Volt}$) επί 1 λεπτό, αφού ἔχη κλιβανισθή και αποξηρανθή ὄλο τὸ τύλιγμα.

Η τάση δοκιμῆς για κινητήρες που παραλαμβάνονται μετά από διαδικασία συντηρήσεως είναι $1,5U_n$ με ελάχιστη τιμή τὰ 1000 Volt. Ο χρόνος εφαρμογῆς παραμένει 1 min.

Διαδικασία τής μετρήσεως

1. Ἐὰν ὁ κινητήρας ἔχη 6 ἄκρα, ἀποσυνδέουμε τὶς γέφυρες τοῦ ἀστέρα ἢ τοῦ τριγώνου, ἐφ' ὅσον ὑπάρχουν.
 - ἐπισημαίνουμε τὰ 2 ἄκρα τῆς φάσεως πού θὰ μετρήσουμε
 - τὰ ὑπόλοιπα 4 ἄκρα καὶ τὸ σῶμα τοῦ κινητήρος συνδέονται με τὸν ἀγωγὸ γειώσεως τοῦ δικτύου
 - γειώνουμε τὰ θερμοστοιχεῖα Pt100 ἢ τὰ Ptc (thermistors) μονίμως κατὰ τὴν διάρκεια τῶν δοκιμῶν
 - συνδέουμε τὸν ἕναν πόλο τῆς συσκευῆς στὸ ἓνα ἄκρο τῆς ὑπὸ δοκιμὴ φάσεως καὶ τὸν ἄλλον πόλο τῆς στὸ σῶμα τοῦ κινητήρος. Τὸ ἄλλο ἄκρο τῆς ὑπὸ δοκιμὴ φάσεως παραμένει ἐλεύθερο
 - θέτουμε τὴν συσκευὴ σὲ λειτουργία καὶ αὐξάνουμε σταδιακὰ τὴν ἐφαρμοζόμενη τάση. Ἡ ἀρχικὰ ἐπιβαλλόμενη τάση δὲν πρέπει νὰ ξεπερνᾷ τὸ 50% τῆς τάσεως δοκιμῆς. Ἀνυψώνουμε τὴν τάση τῆς συσκευῆς σταδιακὰ μέχρι τὴν τελικὴ τῆς τιμὴ σὲ χρόνο ὄχι μικρότερο τῶν 10 sec
 - ἡ τάση δοκιμῆς θὰ πρέπει νὰ ἐφαρμοσθῆ ἐπὶ 1 min
 - μετὰ τὴν παρέλευση τοῦ λεπτοῦ μειώνουμε σταδιακὰ μέχρι μηδενισμοῦ τὴν τάση καὶ διακόπτουμε τὴν λειτουργία τῆς συσκευῆς
 - ἐκφορτίζουμε (ἀπὸ τυχὸν παραμένοντα στατικὸ ἠλεκτρισμὸ) καὶ επαναλαμβάνουμε τὴν δοκιμὴ διαδοχικὰ καὶ στὶς ἄλλες δύο φάσεις, με τὴν ἴδια διαδικασία
2. Ἐὰν ὁ κινητήρας ἔχη 3 ἄκρα (ἑσωτερικὴ συνδεσμολογία ἀστέρα ἢ τριγώνου) γεφυρώνουμε τοὺς τρεῖς ἀκροδέκτες καὶ τοποθετοῦμε τὸν ἕναν πόλο τῆς συσκευῆς στὴ γέφυρα καὶ τὸν ἄλλο στὸ σῶμα, καὶ στὴν συνέχεια ἀκολουθοῦμε τὴν ἴδια διαδικασία μία μόνο φορά.

§14.12: Δοκιμή αύξησης της θερμοκρασίας

Ο κινητήρας συνδέεται με πέδη και εργάζεται στο πλήρες φορτίο με όνομαστική τάση και συχνότητα. Μετά πάροδο αρκετού χρόνου (περίπου 3 - 4 ώρων) μετρούμε την ωμική αντίσταση κάθε φάσεως και από την αύξηση της τιμής της υπολογίζουμε την αύξηση της θερμοκρασίας του τυλίγματος βάσει της σχέσεως

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (235 + t_1) + (t_1 - t_a)$$

όπου

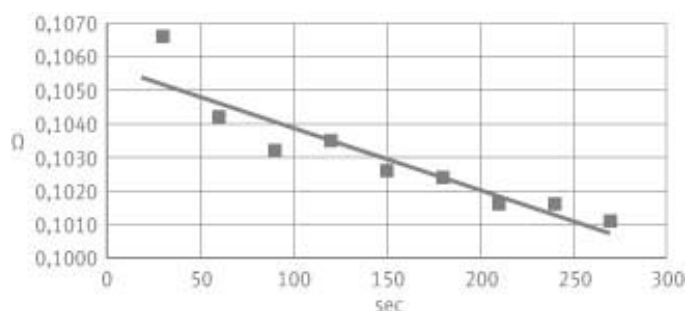
- t_1 = θερμοκρασία εν ψυχρώ σε °C
- R_1 = ωμική αντίσταση εν ψυχρώ
- R_2 = ωμική αντίσταση εν θερμώ
- Δt = αύξηση της θερμοκρασίας
- t_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τὸ τέλος τῆς δοκιμῆς

Άκριβέστερα αποτελέσματα λαμβάνουμε με την ἑξῆς μέθοδο: Μετά τὸ τέλος τῆς δοκιμῆς μετρούμε την ωμική αντίσταση ἀνά τακτὰ χρονικὰ διαστήματα (π.χ. 30 sec) και χαράσσουμε την καμπύλη μεταβολῆς της ὡς πρὸς τὸν χρόνο. Προεκτείνοντας την καμπύλη ἕως $t = 0$ εὐρίσκουμε την ωμική αντίσταση ἀκριβῶς τὴν στιγμή τῆς στάσεως.

Στον Πίνακα 14.12.1 παραθέτουμε τίς μετρήσεις τῆς ὡμικῆς ἀντιστάσεως κινητήρος τοῦ ἔργοστασίου μας ἰσχύος 55 kW, 75 HP, 1500 rpm, κλάσεως μονώσεως F.

Πίνακας 14.12.1	
Χρόνος (sec)	Ωμική αντίσταση (Ω)
30	0,1066
60	0,1042
90	0,1032
120	0,1035
150	0,1026
180	0,1024
210	0,1016
240	0,1016
270	0,1011

Χαράσσουμε την καμπύλη R ως προς t και προεκτείνοντάς την έως t = 0 εύρισκουμε R = 0,1058 Ω (Σχήμα 14.12.1):



Σχήμα 14.12.1

Γνωρίζουμε ότι η ωμική αντίσταση έν ψυχρώ είναι 0,082 Ω σέ θερμοκρασία περιβάλλοντος 12°C και η θερμοκρασία περιβάλλοντος στό τέλος τής δοκιμής είναι 14°C. Έφαρμόζοντας τήν άνωτέρω σχέση βρίσκουμε:

$$\Delta t = \frac{0,1058 - 0,082}{0,082} \times (235 + 12) + (12 - 14)$$

και

$$\Delta t = 70^{\circ}\text{C}$$

Κατά τήν διάρκεια τής δοκιμής αύτής μετρούμε και τήν θερμοκρασία στήν θέση τών τριβέων (ρουλμάν) και βρίσκουμε τήν ύπερθέρμανσή τους Δθ_ρ.

Έπίσης μετρούμε και τήν θερμοκρασία επί του κελύφους κατά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. κάθε μία ώρα), στό πιό δυσμενές, από άπόψεως άερισμού, σημείο, και βρίσκουμε τήν αύξηση τής θερμοκρασίας επί του κελύφους Δθ_κ. Η μέτρηση αύτη μās έπιτρέπει νά ύπολογίσουμε τήν **σταθερά χρόνου θερμάνσεως T** του κινητήρος.

Έάν θεωρήσουμε τόν κινητήρα ως ένα όμοιογενές σώμα, ή αύξηση τής θερμοκρασίας του στό κέλυφος δίδεται από τήν σχέση

$$\Delta \theta = \Delta \theta_{\max} \times (1 - e^{-t/T}) + \Delta \theta_0 \times e^{-t/T}$$

όπου

- Δθ = αύξηση τής θερμοκρασίας του κελύφους μετά χρόνο λειτουργίας t
- Δθ_{max} = μέγιστη αύξηση τής θερμοκρασίας του κελύφους
- t = χρόνος λειτουργίας
- Δθ₀ = αύξηση τής θερμοκρασίας του κελύφους πριν τήν άρχή μετρήσεως
- T = σταθερά χρόνου θερμάνσεως (= mc/Αλ)
- m = μάζα του κινητήρος

- c = μέση ειδική θερμότητα του κινητήρος, θεωρουμένου ως όμοιογενές σώμα
- A = επιφάνεια ψύξης
- λ = συντελεστής μεταδόσεως τής θερμότητας

Στην περίπτωση όπου η προηγούμενη αύξηση τής θερμοκρασίας $\Delta\theta_0 = 0$, δηλαδή εάν ο κινητήρας ξεκινήσει από την ψυχράν κατάσταση, η σχέση γίνεται

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{\max} \times (1 - e^{-t/T})$$

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι σε χρόνο λειτουργίας $t = T$, ή αύξηση τής θερμοκρασίας του κελύφους είναι $\Delta\theta = 0,633 \Delta\theta_{\max}$ και σε χρόνο $t = 3T$, έχουμε $\Delta\theta = 0,95 \Delta\theta_{\max}$.

Η σταθερά T υπολογίζεται από την μέτρηση τής $\Delta\theta_k$ σε δύο χρονικά διαστήματα π.χ. σε μία ώρα από την αρχή τής δοκιμής και σε δύο ώρες. Στόν κινητήρα αυτόν των 55 kW, 75 HP, 1500 rpm, οί μετρήσεις τής θερμοκρασίας επί του κελύφους μᾶς ἔδωσαν ότι σε μία ώρα $\Delta\theta_k = 20^\circ\text{C}$ και σε δύο ώρες $\Delta\theta_k = 26^\circ\text{C}$. Συνεπώς έχουμε

$$20 = \Delta\theta_{\max} \times (1 - e^{-1/T})$$

και

$$26 = \Delta\theta_{\max} \times (1 - e^{-2/T})$$

ἄρα

$$\frac{26}{20} = \frac{\Delta\theta_{\max} \times (1 - e^{-2/T})}{\Delta\theta_{\max} \times (1 - e^{-1/T})}$$

και

$$\frac{26}{20} = \frac{(1 + e^{-1/T}) \times (1 - e^{-1/T})}{1 - e^{-1/T}}$$

και

$$1,3 = 1 + e^{-1/T}$$

και

$$e^{-1/T} = 1,3 - 1 = 0,3$$

και

$$e^{1/T} = 1/0,3 = 3,33$$

και

$$\frac{1}{T} = 2,3 \times \log 3,33 = 2,3 \times 0,52 = 1,2$$

ἄρα

$$T = 0,83 \text{ ὥρες}$$

δηλαδή

T = 50 min

§14.13: Μέτρηση στάθμης θορύβου

Συμφώνως προς τα IEC 34-9 ή δοκιμή αυτή πρέπει να γίνεται υπό τις εξής συνθήκες:

1. Ο κινητήρας να λειτουργή εν κενώ υπό ονομαστική τάση και συχνότητα
2. Ο κινητήρας πρέπει να είναι τοποθετημένος οριζόντια εάν είναι μορφής έδράσεως B3 και κατακόρυφα εάν είναι V1
3. Η τάση τροφοδοσίας να πληροί τις προϋποθέσεις των IEC 34-1 §12 (βλ. τροφοδοσία από δίκτυο). Σημειώνουμε ότι η αύξηση της τάσεως (και του ρεύματος) καθώς και η παραμόρφωση της κυματομορφής και η ασυμμετρία του δικτύου αυξάνουν τον θόρυβο και τις ταλαντώσεις.

Τα ακουστικά μεγέθη χαρακτηρίζονται από:

1. την ακουστική ισχύ
2. την ακουστική πίεση

Τα IEC 34-9 προδιαγράφουν τα ανώτατα όρια της ακουστικής ισχύος του θορύβου, αναλόγως της ισχύος, των στροφών και του βαθμού προστασίας του κινητήρος. Στον Πίνακα 14.13.1 παραθέτουμε τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια της ακουστικής ισχύος για κινητήρες ισχύος από 1 έως 550 kW βαθμού προστασίας IP44 έως IP55.

Πίνακας 14.13.1						
Όνομαστικές στροφές	n≤960	960<n≤1320	1320<n≤1900	1900<n≤2360	2360<n≤3150	3150<n≤3750
Όνομαστική ισχύς P _n (kW)	Μεγίστη ακουστική ισχύς L _w εις dB(A)					
1≤P _n ≤1,1	73	76	78	81	84	88
1.1<P _n ≤2,2	74	78	82	85	88	91
2.2<P _n ≤5,5	78	82	86	90	93	95
5.5<P _n ≤11	82	85	90	93	97	98
11<P _n ≤22	86	88	94	97	100	100
22<P _n ≤37	90	91	98	100	102	102
37<P _n ≤55	93	94	100	102	104	104
55<P _n ≤110	96	98	103	104	106	106
110<P _n ≤220	99	102	106	107	109	110
220<P _n ≤550	102	105	108	109	111	113

Οι τιμές του Πίνακα 14.13.1 αναφέρουν μονάδες στάθμης θορύβου dB(A). Η μονάδα dB ως μονάδα ακουστικής ισχύος, ορίζεται ως ο λόγος

$$10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

όπου

P = ακουστική ισχύς του κινητήρος σε W

P_0 = ακουστική ισχύς αναφοράς που ισούται με 10^{-12} W

Συνεπώς εάν η στάθμη θορύβου ενός κινητήρος είναι 50 dB, ή παρεχομένη ακουστική ισχύς ισούται με

$$50 = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{10^{-12}} \right)$$

και

$$P = 0,001 \text{ W}$$

Στην μονάδα dB(A) ή ένδειξη (A) αναφέρεται στην ευαισθησία του ανθρώπου στην ένταση κάθε ήχου. Οι διάφοροι ήχοι έχουν καταταγεί σε καμπύλες **Ίσης υποκειμενικής εντάσεως** ανάλογα με την διαφορά της εντάσεως του ήχου που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος εν σχέσει με την πραγματική (απόλυτο) ένταση αυτού. Υπάρχουν διάφορες τέτοιες καμπύλες A, B, C, D, E. Η καμπύλη που έχει επικρατήσει σήμερα και χρησιμοποιείται ως μέτρο υπολογισμού του επιπέδου θορύβου είναι η καμπύλη A και γι' αυτό αναφέρεται ως μονάδα το dB(A).

Τα IEC προδιαγράφουν τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια της ακουστικής ισχύος καθ' όσον αυτή χαρακτηρίζει την έκπεμπόμενη ενέργεια και είναι ανεξάρτητη από την μετρούμενη επιφάνεια και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Στην πράξη όμως μετρούμε την ακουστική πίεση p . Η ακουστική πίεση μετράται και αυτή σε dB(A). Η μονάδα της ακουστικής πίεσεως ορίζεται ως ο λόγος

$$20 \times \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

όπου

p = ακουστική πίεση σε N/m^2

p_0 = ακουστική πίεση αναφοράς που ισούται με 2×10^{-5} N/m^2

Τα IEC δέν προδιαγράφουν τρόπο μετρήσεως της ακουστικής πίεσεως. Συμφώνως με τα VDE 0530 μετράται σε απόσταση 1 m από τον κινητήρα. Αν υπολογίσουμε την θεωρητική επιφάνεια που περικλείει τον κινητήρα σε απόσταση 1 m, μπορούμε να υπολογίσουμε την ακουστική πίεση που αντιστοιχεί στην ακουστική ισχύ την προδιαγραφόμενη από τα IEC.

Στόν Πίνακα 14.13.2 παραθέτουμε τὰ ἀνώτατα ὄρια τῆς ἀκουστικῆς πιέσεως σὲ dB(A) ὅπως ὑπολογίσθηκαν βάσει τῶν προτεινομένων ὁρίων τῶν IEC, σὲ ἀπόσταση 1 m ἀπὸ τὸν κινητήρα.

Πίνακας 14.13.2						
Ὄνομαστικὲς στροφές	n≤960	960<n≤1320	1320<n≤1900	1900<n≤2360	2360<n≤3150	3150<n≤3750
Ὄνομαστικὴ ἰσχύς P _n (kW)	Μεγίστη ἀκουστικὴ ἰσχύς L _w εἰς dB(A)					
1≤P _n ≤1.1	62	65	67	70	73	77
1.1<P _n ≤2.2	63	67	71	74	77	80
2.2<P _n ≤5.5	67	71	75	79	82	84
5.5<P _n ≤11	71	74	79	82	86	87
11<P _n ≤22	75	77	83	86	89	89
22<P _n ≤37	79	80	87	89	91	91
37<P _n ≤55	82	83	89	91	93	93
55<P _n ≤110	85	87	92	93	95	95
110<P _n ≤220	88	91	95	96	98	99
220<P _n ≤550	91	94	97	98	100	102

15. ΔΟΚΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Εἰς τοὺς κινητῆρες μέσης τάσεως, ἐκτὸς ἀπὸ τὶς προηγούμενες δοκιμές, πραγματοποιοῦμε ἀκόμη τὶς ἐξῆς εἰδικές μετρήσεις:

§15.1. Μέτρηση δείκτη πολώσεως

Μὲ τὴν μέτρηση τοῦ δείκτη πολώσεως προσδιορίζουμε κατὰ πόσον εἶναι ξηρὸ ἓνα τύλιγμα τοποθετημένο στὸν στάτη.

Διὰ τὴν μέτρηση χρησιμοποιοῦμε Megger 1000 ἢ 2500 V, ἀδιαλείπτου παροχῆς. Ἡ τάση ἐφαρμόζεται μεταξὺ τοῦ τυλίγματος καὶ τοῦ σώματος τῆς μηχανῆς, ἐπὶ χρονικὸ διάστημα 10 min.

Καταγράφουμε τὶς μετρήσεις τῆς ἀντιστάσεως σὲ ΜΩ στὰ 30 sec καὶ μετὰ κάθε ἓνα λεπτό, ἀπὸ τὸ πρῶτο ἕως τὸ δέκατο. Ὁ λόγος τῆς τιμῆς τῆς ἀντιστάσεως σὲ ΜΩ στὸ δέκατο λεπτό ὡς πρὸς τὴν τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως σὲ ΜΩ στὸ πρῶτο λεπτό μᾶς δίδει τὸν δείκτη πολώσεως (ἢ συντελεστὴ ξηρότητος).

Ὁ λόγος τῆς τιμῆς τῆς ἀντιστάσεως σὲ ΜΩ στὸ πρῶτο λεπτό ὡς πρὸς τὴν τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως σὲ ΜΩ στὰ 30 sec καλεῖται λόγος διηλεκτρικῆς ἀπορροφῆσεως καὶ εἶναι καὶ αὐτὸς χρήσιμο πληροφοριακὸ στοιχεῖο γιὰ τὴν μόνωση τῆς περιελίξεως.

Κατὰ τὶς μετρήσεις αὐτὲς παρατηροῦμε ὅτι ἡ ἀντίσταση μόνωσης αὐξάνεται συναρτῆσει τοῦ χρόνου. Τοῦτο ἐξηγεῖται ἐκ τοῦ ὅτι τὰ ἰόντα τοῦ μονωτικοῦ ὑλικοῦ, τὰ ὁποῖα εἶναι δίπολα, εὐρίσκονται ἐν ἀταξία πρὶν τὴν παροχὴ συνεχοῦς τάσεως τοῦ Megger. Μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου τὰ δίπολα ἀρχίζουν νὰ εὐθυγραμμίζονται (δηλ. νὰ πολώνωνται). Ἡ πόλωση αὐτῆ τῶν διπόλων αὐξάνει τὴν ὠμικὴ ἀντίσταση τοῦ ὑλικοῦ. Ἡ παρουσία ὑγρασίας στὸ μονωτικὸ ὑλικὸ δυσχεραίνει τὴν εὐθυγράμμιση τῶν διπόλων καὶ ἔχει ὡς συνέπεια τὴν ἀμελητέα ἢ μηδενικὴ αὐξηση τῆς ὠμικῆς ἀντιστάσεως. Συνεπῶς ἡ τιμὴ τοῦ δείκτη πολώσεως θὰ εἶναι μικρὴ.

Στὸν Πίνακα 15.1.1 παραθέτουμε τὶς μετρήσεις χρόνου / ἀντιστάσεως σὲ κινητῆρα ἰσχύος 430 kW, 1000 rpm, 6000 V τὸν ὁποῖον ἀναπεριελίξαμε εἰς τὸ Ἔργοστάσιό μας:

Πίνακας 15.1.1	
Χρόνος (min)	Ἀντίσταση (ΜΩ)
0,5	3500
1	6000
2	10300

3	13500
4	16000
5	18000
6	20000
7	21500
8	23000
9	24000
10	25000

Ο δείκτης πολώσεως ισούται με

$$25000/6000 = 4,1$$

και ο συντελεστής διηλεκτρικής απορροφήσεως ισούται με

$$6000/3500 = 1,7$$

Από τις τιμές των δύο αυτών συντελεστών λαμβάνουμε πληροφορίες ως προς την ποιότητα και την κατάσταση της μονώσεως. Είς τον Πίνακα 15.1.2 εμφανίζονται οι τιμές των δύο αυτών συντελεστών με το αντίστοιχο συμπέρασμα. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από την πείρα και είναι οι τιμές που δέχεται η Δ.Ε.Η. (βλ. «Δοκιμαί και μετρήσεις ηλεκτρικών μονώσεων» υπό Ευδοκίμου Μουσλόγλου).

Πίνακας 15.1.2		
Κατάσταση μονώσεως	Συντελεστής διηλεκτρικής απορροφήσεως	Δείκτης πολώσεως
Έπικίνδυνη	<1	<1
Πτωχή	<1,1	<1,5
Προβληματική	1,1-1,25	1,5-2
Μέτρια	1,25-1,4	2-3
Καλή	1,4-1,6	3-4
Έξαιρετη	>1,7	>4

§15.2. Μέτρηση διηλεκτρικών απωλειών (εφδ)

Με τις μετρήσεις διηλεκτρικών απωλειών ή μετρήσεις της εφδ, ελέγχουμε την ποιότητα της μονώσεως και κατά πόσον εντός του μονωτικού υλικού, που περιβάλλει τις σπείρες του

τυλίγματος, υπάρχουν θύλακες αέρος. Η ύπαρξη αυτών των θυλάκων δημιουργεί έκκενώσεις ηλεκτρικού ρεύματος με συνέπεια σταδιακή καταστροφή του μονωτικού υλικού και συνεπώς του τυλίγματος.

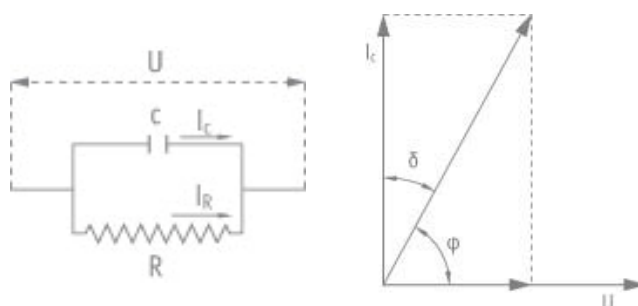
Η έννοια της εφδ

Όλα τα μονωτικά υλικά, όταν βρεθούν σε ένα αλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο, διαρρέονται από ένα ρεύμα, το οποίο προκαλεί τις διηλεκτρικές απώλειες. Επίσης, εάν στερεό μονωτικό δεν είναι τελείως ομοιογενές και περιέχει μικρές φυσαλίδες αέρος ή κάποιου αερίου (πράγμα το οποίο είναι ή συνήθως περίπτωση) δημιουργούνται έκκενώσεις εις το έσωτερικό αυτών, με αποτέλεσμα την έκλυση ενέργειας.

Οι απώλειες αυτές συντελούν εις την αύξηση της θερμοκρασίας και εάν είναι αρκετά υψηλές, μπορεί να οδηγήσουν ή στην τοπική καταστροφή του μονωτικού ή σε χημική διάβρωση της μονώσεως.

Από απόψεως ηλεκτρικής συμπεριφοράς, κάθε μονωτικό που τοποθετείται μεταξύ δύο αγωγίμων υλικών, στα όποια εφαρμόζεται ένα αλλασσόμενη ήμιτονοειδής τάση, είναι ισοδύναμο με έναν τέλειο πυκνωτή (χωρίς απώλειες) εν παραλλήλω με μία ωμική αντίσταση.

Το ρεύμα το οποίο διαρρέει το σύστημα του μονωτικού υλικού, παρουσιάζει μία γωνία φασικής απόκλισεως με την τάση, την γωνία ϕ (βλ. Σχήμα 15.2.1).



Σχήμα 15.2.1

Η συμπληρωματική της γωνίας αυτής, ή γωνία δ , καλείται γωνία απωλειών. Όσο μεγαλύτερη είναι ή δ , τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες.

Η εφαπτομένη της γωνίας αυτής, ή εφδ, καλείται **συντελεστής διηλεκτρικών απωλειών** και δίδεται από την σχέση:

$$\tan \delta = \frac{\text{ένεργος ένταση}}{\text{αεργος ένταση}} = \frac{\text{ένεργος ισχύς}}{\text{αεργος ισχύς}}$$

Η εφδ μετράται συνήθως με την γέφυρα Schering, και η τιμή της είναι ανεξάρτητη του σχήματος και των διαστάσεων του προς μέτρηση αντικειμένου. Χαρακτηρίζει έξ' ἴσου καλά ένα άπλο μονωτικό, ένα σύστημα μονωτικών υλικών, μία σπείρα ενός κινητήρος καθώς και μία πλήρη μηχανή.

Οί τιμές τής εφδ σε ένα συγκεκριμένο μονωτικό ή σε ένα κινητήρα επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες:

- συχνότητα
- θερμοκρασία
- υγρασία
- ένταση του πεδίου

Οί μετρήσεις τής εφδ βάσει του VDE0530, πραγματοποιούνται σε κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος ισχύος μεγαλύτερης των 5000 kW. Όμως η Δ.Ε.Η. άπαιτεί την μέτρηση και σε κινητήρες πολύ μικρότερης ίπποδυνάμεως καθώς και σε έπισκευές κινητήρων επίσης μικρής ίπποδυνάμεως.

Οί μετρήσεις όπως αναφέραμε γίνονται με γέφυρα Schering, παρέχοντας ρυθμιζόμενη τάση μεταξύ του τυλίγματος και του σώματος του κινητήρος, και καταγράφουμε τις τιμές τής εφδ. Οί τιμές τής τάσεως αρχίζουν από 0,2 τής όνομαστικής και μετά διαδοχικά ανά 0,1 τής όνομαστικής.

Οί μέγιστες έπιτρεπόμενες τιμές τής εφδ, σύμφωνα με τα VDE0530, έμφαίνονται εις τόν Πίνακα 15.2.1:

Πίνακας 15.2.1				
εφδ _{0,2}	$\frac{1}{2} \times (\text{εφδ}_{0,6} - \text{εφδ}_{0,2})$		$\Delta \tan \delta$ ανά διαστήματα $0,2U_n$	
	95% τών δοκιμών	ύπόλοιπο 5% τών δοκιμών	95% τών δοκιμών	ύπόλοιπο 5% τών δοκιμών
40×10^{-3}	$2,5 \times 10^{-3}$	3×10^{-3}	5×10^{-3}	6×10^{-3}

Παραθέτουμε τις μετρήσεις της εφδ σε κινητήρα ισχύος 460kW, 1000rpm, 6000V, τόν όποιον αναπεριελίξαμε εις τὸ ἐργοστάσιό μας:

Πίνακας 15.2.2			
α/α	U/U _n	Τάση (V)	tanδ
1	0,2	1,200	0,0081
2	0,4	2,400	0,0083
3	0,6	3,600	0,0086
4	0,8	4,800	0,0125
5	1,0	6,000	0,0156

Ἀπὸ τὶς μετρήσεις αὐτὲς παρατηροῦμε ὅτι:

1. $\text{εφδ}_{0,2} = 0,0081 = 8,1 \times 10^{-3} < 40 \times 10^{-3}$
2. $\frac{1}{2} \times (\text{tan}\delta_{0,6} - \text{tan}\delta_{0,2}) = \frac{1}{2} \times (0,0086 - 0,0081) = \frac{1}{2} \times 0,0005 = 0,00025 = 0,25 \times 10^{-3} < 2,5 \times 10^{-3}$
3. $\text{Max } \Delta\text{tan}\delta$ (ἀνὰ διαστήματα μετρήσεως $0,2 \times U_n$) = $\text{εφδ}_{0,8} - \text{εφδ}_{0,6} = 0,0125 - 0,0086 = 3,9 \times 10^{-3} < 5 \times 10^{-3}$



ΑΘΗΝΑ

Γρ. Λαμπράκη 10
141 23 Λυκόβρυση
Τηλ.: 210 28 17 217
Fax: 210 28 14 277

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΒΙ.ΠΕ. Σίνδου, Ο.Τ. 48Β, 15η οδός
570 22 Σίνδος
Τηλ.: 231 07 96 646
Fax: 231 07 96 645

www.valiadis.gr