

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1689

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ**

ΚΑΤΣΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΑΜ:6601

ΛΥΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΜ: 6632

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται ο τρόπος εντοπισμού των βλαβών σε ηλεκτρικούς κινητήρες με τη μέθοδο της θερμογραφίας. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιγραφή των ειδών των πιο συνηθισμένων ηλεκτρικών κινητήρων. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των βλαβών που συναντώνται στους κινητήρες και τα μέτρα συντήρησης που λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θερμογραφία είναι η παρατήρηση, μέτρηση και καταγραφή της θερμότητας και της ροής της. Όλα τα σώματα στη γη, με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν (-273°C) εκπέμπουν θερμική ενέργεια στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ποσότητα της θερμότητας που εκπέμπει ένα σώμα είναι άμεσα συγκρίσιμη με τη θερμοκρασία του. Ο άνθρωπος δεν μπορεί να δει με γυμνό μάτι αυτή την ακτινοβολία, αλλά με τη χρήση υπέρυθρων καμερών και της θερμογραφίας μπορεί να δει τη θερμότητα, να παρατηρήσει ανωμαλίες, που με τη σειρά τους θα τον οδηγήσουν να αναγνωρίσει προβλήματα.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται ο τρόπος εντοπισμού των βλαβών σε ηλεκτρικούς κινητήρες με τη μέθοδο της θερμογραφίας. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιγραφή των ειδών των πιο συνηθισμένων ηλεκτρικών κινητήρων. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των βλαβών που συναντώνται στους κινητήρες και τα μέτρα συντήρησης που λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση.

Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο στο οποίο γίνεται αναφορά στις γενικές αρχές της θερμογραφίας και στις εφαρμογές της γενικά και τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφονται τα είδη των βλαβών στους κινητήρες που εντοπίζονται με τη συμβολή της θερμογραφίας, η ερμηνεία των μετρήσεων και η εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων τα οποία βοηθούν σε περαιτέρω βελτίωση της λειτουργίας τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	4
1.1 Αρχή λειτουργίας Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα	4
1.1.1 Εφαρμογές επαγωγικών ηλεκτρικών μηχανών	6
1.2 Μονοφασικοί κινητήρες	11
1.2.1 Μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες	11
1.2.2 Μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη	12
1.3 Σύγχρονοι κινητήρες	13
1.4 Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος	15
1.4.1 Κινητήρες DC ξένης διέγερσης	19
1.4.2 Κινητήρες DC παράλληλης διέγερσης	19
1.4.3 Κινητήρες DC με διέγερση σειράς	20
1.4.4 Κινητήρες DC σύνθετης διέγερσης	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	22
2.1 Συνηθισμένες βλάβες ΑΤΚ και πως αντιμετωπίζονται	24
2.1.1 Διακοπή μιας φάσης του τυλίγματος του στάτη ενός τριφασικού κινητήρα	24
2.1.2 Διακοπή μιας φάσης της τροφοδοσίας ενός τριφασικού κινητήρα	24
2.1.3 α) Η ένταση του ρεύματος του κινητήρα κατά την αφόρτιστη λειτουργία του είναι ίση με αυτή κατά τη λειτουργία υπό φορτίο και	

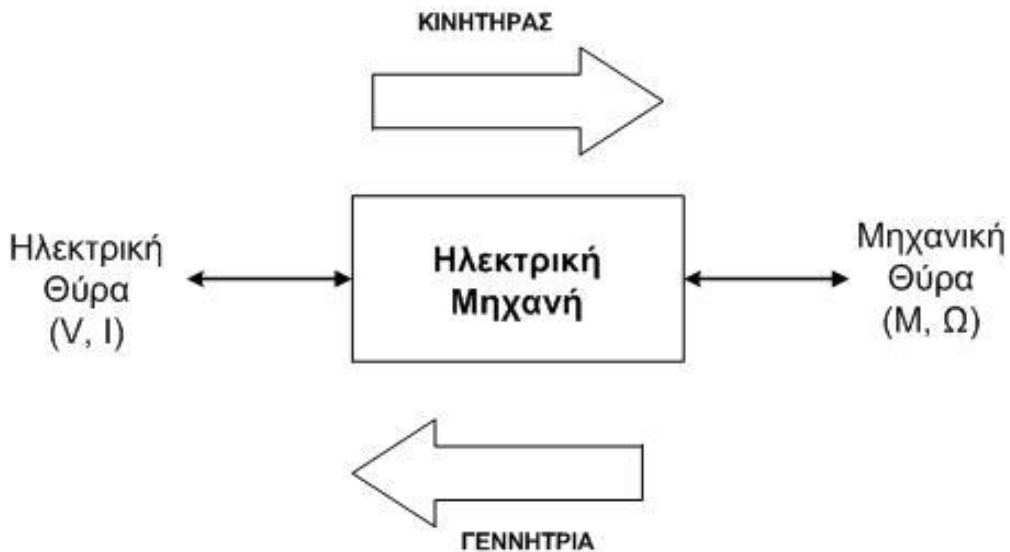
β) Η ένταση του ρεύματος του κινητήρα κατά τη λειτουργία υπό φορτίο είναι διπλάσια από την κανονική	25
2.1.4 α) Ο ρότορας του κινητήρα θερμαίνεται β) Η ταχύτητα του κινητήρα είναι μικρότερη από την κανονική γ) Η ισχύς του κινητήρα είναι μικρότερη από την κανονική.....	25
2.1.5 Σε κινητήρα που εκκινεί με διακόπτη αστέρα-τριγώνου και έχει γυρίσει σε τρίγωνο: α) Η μια φάση του στάτη του κινητήρα είναι θερμότερη από τις άλλες. β) Ο κινητήρας τίθεται σε κίνηση χωρίς φορτίο αλλά με φορτίο σταματάει.....	25
2.1.6 Ο κινητήρας δεν ξεκινάει ούτε εν κενώ, ούτε με φορτίο	25
2.1.7 Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από μεγάλο βύθισμα ταχύτητας.	26
2.1.8 Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από θόρυβο και υπερθέρμανση.	26
2.1.9 Ο κινητήρας εκκινεί κανονικά, αλλά στη συνέχεια παρουσιάζει μεγάλη πτώση στον αριθμό των στροφών του.	26
2.1.10 Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται.....	26
2.1.11 Ο στάτης υπερθερμαίνεται σε ορισμένα του σημεία και η υπερθέρμανση αυτή συνοδεύεται από υπερφόρτιση σε μία εκ των δύο φάσεων, προκαλώντας δυνατό θόρυβο.	27
2.1.12 Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, ακούγεται θόρυβος και ο κινητήρας υπερθερμαίνεται αρκετά, λόγω της τριβής του δρομέα επάνω στο στάτη.	27
2.1.13 Ο κινητήρας παρουσιάζει κραδασμούς κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.	27
2.1.14 Τα ρουλεμάν υπερθερμαίνονται.	27
2.1.15 Πρόβλημα στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών, λόγω υψηλής αδράνειας ή μεγάλου φορτίου στον άξονα του κινητήρα.	28
2.2 Οδηγός βλαβών και αντιμετώπιση	29
2.3 Συντήρηση	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	34

3.1	Ιστορία της θερμογραφίας.....	34
3.2	Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	35
3.3	Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας.....	37
3.3.1	Μεταφορά θερμότητας με αγωγή.....	37
3.3.2	Μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση.....	38
3.3.3	Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία.....	39
3.4	Γιατί έχει τόσο μεγάλη επιτυχία η Θερμογραφία.....	42
3.5	Ποιοτική και ποσοτική θερμογραφία.....	43
3.5.1	Ποιοτική Θερμογραφία.....	43
3.5.2	Ποσοτική Θερμογραφία.....	43
3.5.3	Σύγκριση ποιοτικής και ποσοτικής θερμογραφίας.....	44
3.6	Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας.....	47
3.6.1	Στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις.....	47
3.6.2	Άλλες εφαρμογές ανίχνευσης και επεξεργασίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας.....	47
3.7	Προβλεπτική συντήρηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.....	48
3.8	Επεξεργασία θερμογραφήματος.....	52
3.9	Παράδειγμα Εντύπου Αναφοράς Μέτρησης ΗΛ/κου Εξοπλισμού.....	54
3.10	Παρεχόμενες υπηρεσίες.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	56
	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	56
4.1	Κριτήρια ταξινόμησης.....	56
4.2	Δέλτα Τα (ΔΤ).....	56
4.3	Παράδειγμα κριτηρίου ταξινόμησης.....	57
4.4	Ανάγκη για αρχικά δεδομένα.....	58

4.5	Αρχικά/Βασικά δεδομένα.....	60
4.6	Είδη βλαβών που εντοπίζονται με θερμοκάμερα	60
4.7	Συχνότητα ελέγχου των ηλεκτρικών μηχανών με θερμοκάμερα	61
4.8	Διεθνείς οργανισμοί και standards	61
4.9	Κριτήρια κρίσιμων θερμοκρασιών σε ηλεκτρικές μηχανές σύμφωνα με το Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.....	62
4.10	Διάγραμμα ροής ενεργειών που σχετίζονται με τη θερμογραφία	63
4.11	Η μεθοδολογία του εντοπισμού των βλαβών στους ηλεκτρικούς κινητήρες	64
4.11.1	Εφαρμογές	64
4.11.2	Έλεγχοι στις ηλεκτρικές μηχανές	70
4.12	Θερμική διάγνωση σε ηλεκτρικές μηχανές	75
4.12.1	Τα πιο συνηθισμένα λάθη στις θερμογραφικές μετρήσεις	76
4.12.2	Η επίδραση της απόστασης μεταξύ της θερμοκάμερας και του υπό εξέταση αντικειμένου	78
4.12.3	Η επίδραση της εκπεμπικότητας στις θερμογραφικές μετρήσεις	79
4.12.4	Η εκπεμπικότητα σε διαφορετικό είδος βαφής	79
4.13	Παραδείγματα της πρακτικής χρήσης των θερμογραφικών μετρήσεων στην παραγωγή των ηλεκτρικών μηχανών	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		87

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές (ΣΗΜ) αποτελούνται από ένα σταθερό μέρος, το στάτη (stator) και ένα κινητό μέρος το δρομέα ή ρότορα (rotor). Το σταθερό μέρος φέρει τον πυρήνα του στάτη, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από σιδηρομαγνητικό υλικό, έχει κυκλική διαμόρφωση και στην εσωτερική περιφέρειά του φέρει οδοντώσεις (αυλάκια), μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του στάτη. Το στρεφόμενο μέρος φέρει τον πυρήνα του δρομέα, ο οποίος είναι κυλινδρικής μορφής, είναι κατασκευασμένος από ελάσματα σιδηρομαγνητικού υλικού και φέρει στην περιφέρειά του οδοντώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του δρομέα. Μεταξύ δρομέα και στάτη υφίσταται διάκενο αέρος (air gap), απαραίτητο για τη σχετική κίνηση στάτη και δρομέα. Τα άκρα του τυλίγματος του στάτη, οδηγούνται στο κιβώτιο ακροδεκτών της ΣΗΜ. Η σύνδεση του τυλίγματος του δρομέα με το κιβώτιο ακροδεκτών της μηχανής πραγματοποιείται είτε μέσω συλλέκτη είτε με δακτυλίους και ψήκτρες, οι οποίες είναι τοποθετημένες μέσα σε ψηκτροφορέα.



Σχήμα 1: Χονδρικό διάγραμμα των ηλεκτρικών μηχανών

Οι ΣΗΜ, ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, διακρίνονται στις γεννήτριες και τους κινητήρες. Οι γεννήτριες μετατρέπουν τη μηχανική ισχύ που προσφέρεται στον άξονά τους σε ηλεκτρική ισχύ και οι κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ που προσφέρεται από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μηχανική ισχύ στον άξονά τους. Η μετατροπή της ισχύος από τη μία μορφή στην άλλη πραγματοποιείται από τη διαμεσολάβηση του μαγνητικού πεδίου στη ΣΗΜ. Στις ΣΗΜ πραγματοποιείται το φαινόμενο της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας, το οποίο οφείλεται στην ταυτόχρονη ύπαρξη του μηχανισμού παραγωγής τάσης (λειτουργία γεννήτριας) και του μηχανισμού παραγωγής ροπής (λειτουργία κινητήρα). Ανεξάρτητα από τη λειτουργία μιας ΣΗΜ (γεννήτρια ή κινητήρας), οι μηχανισμοί παραγωγής τάσης και ροπής συνυπάρχουν κατά τη λειτουργία μιας μηχανής. Στις ΣΗΜ, η παραγόμενη ηλεκτρική τάση οφείλεται στο φαινόμενο της επαγωγής (νόμος του Faraday) και η παραγόμενη ροπή βασίζεται στην προσπάθεια ευθυγράμμισης των δύο μαγνητικών πεδίων στη ΣΗΜ, του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη και του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του δρομέα.

Οι ΣΗΜ, ανάλογα με το είδος της ηλεκτρικής τάσης με την οποία τροφοδοτούνται, διακρίνονται στις ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) και στις ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ). Οι μηχανές ΣΡ, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του τυλίγματος διέγερσης, ταξινομούνται σε μηχανές:

- ξένης ή ανεξάρτητης διέγερσης,
- παράλληλης διέγερσης,
- διέγερσης σειράς και
- σύνθετης αθροιστικής ή διαφορικής διέγερσης.

Οι μηχανές ΕΡ, διακρίνονται στις:

- ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές (induction machines),
- σύγχρονες μηχανές (synchronous machines) και
- μηχανές ειδικού τύπου, όπως μονοφασικές κ.λπ.

Οι ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές έχουν στιβαρή κατασκευή και χαμηλό κόστος αγοράς και απαιτούν χαμηλό κόστος συντήρησης. Τα πλεονεκτήματα αυτά και λαμβάνοντας υπόψη τη ραγδαία εξέλιξη των μετατροπέων ηλεκτρικής ισχύος, έχουν καταστήσει τους κινητήρες αυτούς ως την κύρια μηχανή που χρησιμοποιείται σήμερα στις βιομηχανικές εφαρμογές για την παραγωγή της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος. Οι σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές είναι μεγάλης ισχύος και χρησιμοποιούνται συνήθως ως γεννήτριες για την παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης (γεννήτριες δικτύου ΔΕΗ ή ως γεννήτριες σε ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη, H/Z). Αντίθετα, σε

εφαρμογές ανεμογεννητριών χρησιμοποιούνται ασύγχρονες γεννήτριες.

Τα τυλίγματα που συναντώνται στις ΣΗΜ είναι:

- Συγκεντρωμένα τυλίγματα, τοποθετημένα σε έκτυπους μαγνητικούς πόλους που στερεώνονται είτε στο στάτη είτε στο δρομέα.
- Διανεμημένα τυλίγματα, τοποθετημένα μέσα σε οδοντώσεις στο σιδηροπυρήνα του στάτη ή του δρομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

1.1 Αρχή λειτουργίας Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα

Ο ΑΤΚ με βραχυκυκλωμένο το δρομέα (κανονικό ή τύλιγμα κλωβού) και με τα τυλίγματα του στάτη συνδεδεμένα σε ηλεκτρικό δίκτυο, συμπεριφέρεται ως ένας μετασχηματιστής. Το τύλιγμα του στάτη είναι το πρωτεύον και το τύλιγμα του δρομέα το δευτερεύον. Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (ΣΜΠ) επάγει τάσεις στα τυλίγματα του δρομέα, οι οποίες προκαλούν τη ροή ρευμάτων στο κλειστό κύκλωμα του δρομέα. Τα ρεύματα στο δρομέα δημιουργούν με τη σειρά τους ένα δικό τους στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο στρέφεται επίσης με τη σύγχρονη ταχύτητα και με την ίδια φορά περιστροφής με το αντίστοιχο ΣΜΠ του τυλίγματος του στάτη. Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα (ή του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου με το μαγνητικό πεδίο του δρομέα), τα οποία στρέφονται με την ίδια ταχύτητα, δημιουργούν κινούσα ροπή στην κατεύθυνση της φοράς περιστροφής του ΣΜΠ του στάτη.

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ΑΤΚ, ο δρομέας περιστρέφεται με μηχανική ταχύτητα, n_r , μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα, n_s , του ΣΜΠ του στάτη. Η διαφορά αυτή της ταχύτητας ονομάζεται ταχύτητα ολίσθησης και ο λόγος της ταχύτητας ολίσθησης προς τη σύγχρονη ταχύτητα ονομάζεται ολίσθηση.

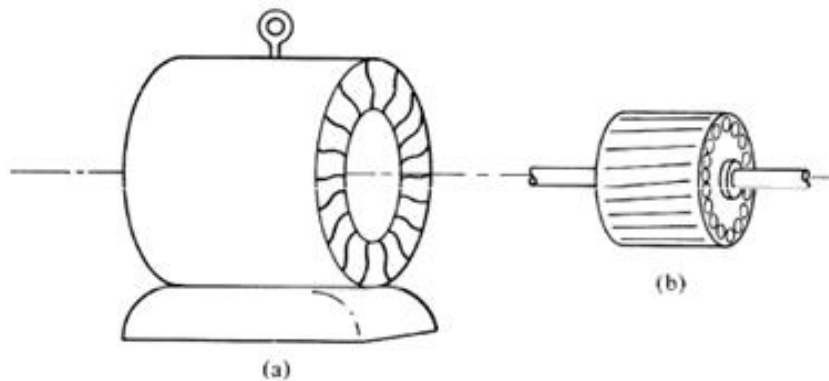
$$n = n_s - n_r$$

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

- Με το δρομέα σε στάση, $s=1$.
- Με την αύξηση του μηχανικού φορτίου, οι στροφές του κινητήρα μειώνονται και αυξάνεται η ολίσθηση. Τα αντίθετα συμβαίνουν με τη μείωση του φορτίου.

Στο Σχ. φαίνονται τα δύο κύρια μέρη του ηλεκτροκινητήρα. Το εξωτερικό μέρος αποτελείται από ένα σωληνωτό κυλινδρικό πλαίσιο, που ονομάζεται **στάτης (stator)**. Στο εσωτερικό μέρος του στάτη και σε κατάλληλα διαμορφωμένα αυλάκια παράλληλα με τον άξονα του, υπάρχουν ηλεκτρικοί αγωγοί, τα τυλίγματα ή περιελίξεις, που καταλήγουν σε ακροκιβώτιο σύνδεσης στο

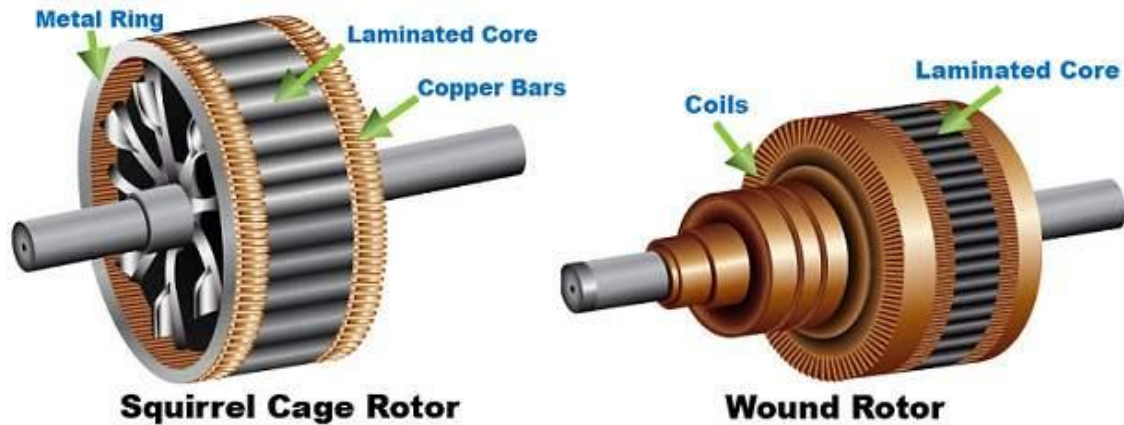
εξωτερικό μέρος. Στην εξωτερική επιφάνεια του στάτη υπάρχουν συνήθως πτερύγια για καλύτερη ψύξη. Στο εσωτερικό του στάτη φωλιάζει ο **δρομέας (rotor)**, ένας σχεδόν συμπαγής κύλινδρος πάνω στον άξονα του κινητήρα, αφήνοντας ένα λεπτό διάκενο αέρα μεταξύ της εξωτερικής του επιφάνειας και της εσωτερικής του στάτη. Ο δρομέας αποτελεί το στρεφόμενο μέρος του κινητήρα. Και ο στάτης και ο δρομέας είναι κατασκευασμένοι από σιδηρομαγνητικό υλικό, έτσι ώστε να παρέχουν κατάλληλο δρόμο για την μαγνητική ροή.



Σχήμα 2:Στάτης και δρομέας ενός ΑΤΚ

Η κατασκευή του δρομέα εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα. Στους περισσότερους επαγωγικούς κινητήρες ο δρομέας αντί για τυλίγματα, έχει έναν ειδικό κλειστό κλωβό, που αποτελείται από ελάσματα χαλκού ή αλουμινίου, τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένες εσοχές. Τα δυο άκρα των ελασμάτων αυτών βραχυκυκλώνονται με κατάλληλους δακτύλιους από το ίδιο υλικό, δημιουργώντας έτσι ένα βραχυκυκλωμένο κλωβό. Ο κινητήρας αυτού του τύπου χαρακτηρίζεται σαν **ασύγχρονος κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel-cage induction motor)**.

Σε άλλους τύπους επαγωγικών κινητήρων, ο δρομέας διαθέτει κανονική τριφασική περιέλιξη, συνδεδεμένη σε αστέρα. Τα τρία ελεύθερα άκρα των πηνίων συνδέονται σε κατάλληλους δακτυλίους πάνω στο δρομέα. Ο τύπος αυτός του επαγωγικού κινητήρα χαρακτηρίζεται σαν **ασύγχρονος κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα (wound rotor induction motor)**. Στους δακτύλιους αυτούς συνδέονται με ψήκτρες κατάλληλες εξωτερικές μεταβλητές αντιστάσεις, επιτρέποντας έτσι τη ρύθμιση της ωμικής αντίστασης του δρομέα. (Σχ. 1.3)



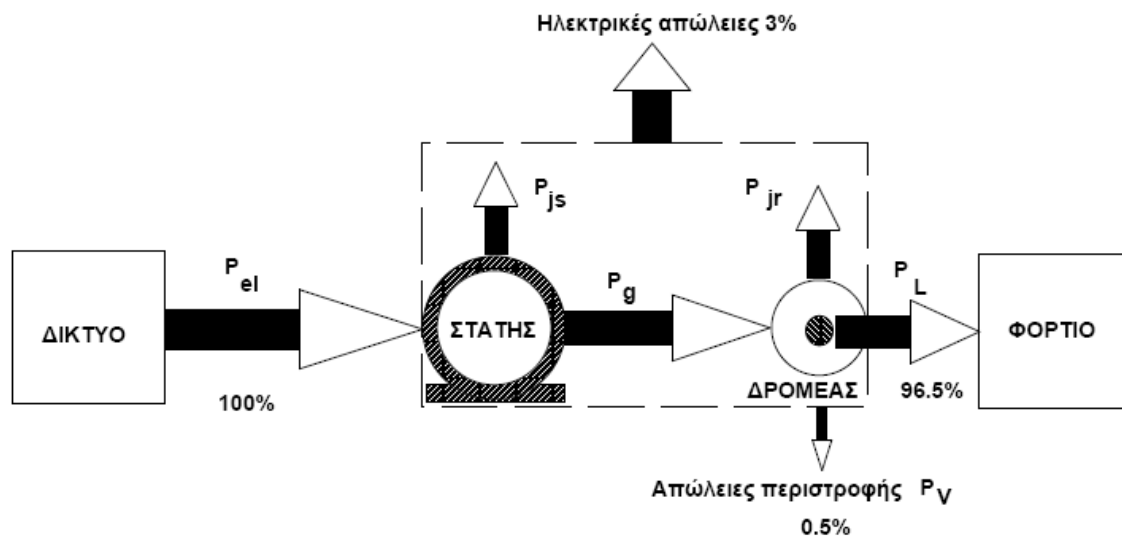
Εικόνα 1: Δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού και δακτυλιοφόρος

1.1.1 Εφαρμογές επαγωγικών ηλεκτρικών μηχανών

Η προηγούμενη ανάλυση στηρίχθηκε στη λειτουργία της επαγωγικής ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα, συσκευής δηλαδή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η εφαρμογή αυτή είναι και η πιο διαδεδομένη. Η επαγωγική ηλεκτρική μηχανή όμως, όπως και κάθε άλλη ηλεκτρική μηχανή, μπορεί να λειτουργήσει αντίστροφα, σαν γεννήτρια, μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική. Επιπλέον μια ιδιαίτερη εφαρμογή του επαγωγικού κινητήρα, είναι η λειτουργία του σαν πέδη. Οι παραπάνω εφαρμογές παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

1.1.1.1 Λειτουργία κινητήρα.

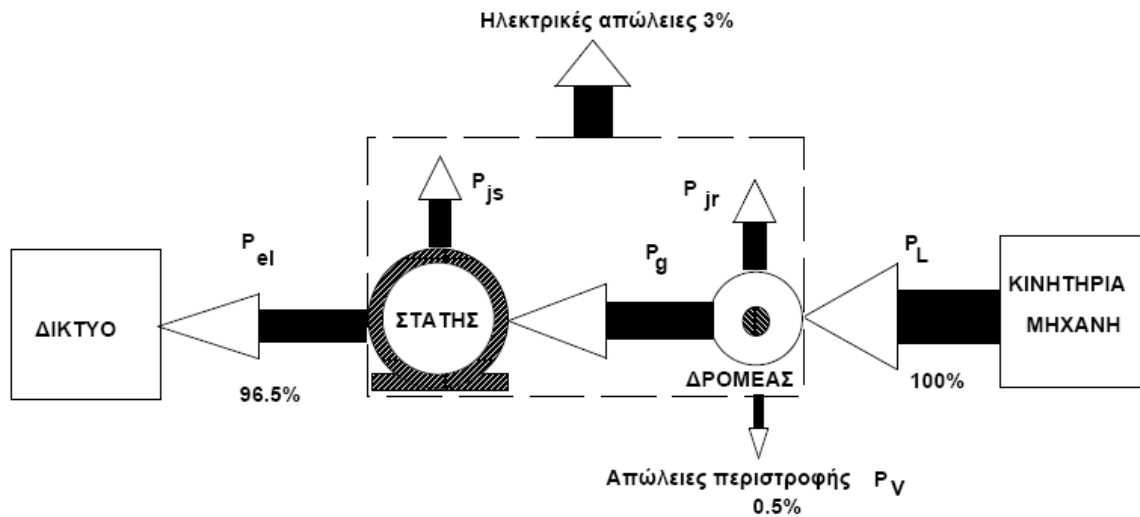
Όταν η επαγωγική μηχανή λειτουργεί σαν κινητήρας, τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ στο στάτη και τη μετατρέπει σε κινητήρια ροπή στον άξονα του δρομέα. Το πεδίο που δημιουργείται από τα τυλίγματα του στάτη στρέφεται στο διάκενο με τη σύγχρονη ταχύτητα, επάγοντας ρεύματα στον ακίνητο βραχυκυκλωμένο δρομέα. Η αλληλεπίδραση των πεδίων στάτη και δρομέα, αναπτύσσει ροπή στο δρομέα, κατά τη φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη και τον αναγκάζει να κινηθεί προς την ίδια κατεύθυνση. Σχεδόν άμεσα ο δρομέας αποκτά την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του, που υπολείπεται της σύγχρονης ω κατά s , όπου s η ολίσθηση του κινητήρα.



Σχήμα 3: Ισοζύγιο ισχύος ασύγχρονου κινητήρα

1.1.1.2 Λειτουργία γεννήτριας.

Εξετάζεται στη συνέχεια η περίπτωση που ο άξονας ενός επαγωγικού κινητήρα συνδέεται σε μια κινητήρια μηχανή. Η μηχανή αυτή μπορεί να είναι τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας που στρέφονται από τον άνεμο, μια νηζελομηχανή, ή ακόμη και ένα όχημα που κινείται σε μια κατηφόρα. Ο στάτης του κινητήρα συνδέεται σε ένα τριφασικό δίκτυο. Ο άξονας του κινητήρα, υπό την επίδραση της κινητήριας μηχανής, επιταχύνεται και αρχίζει να περιστρέφεται με μηχανική ταχύτητα μεγαλύτερη της σύγχρονης. Τη στιγμή που η ταχύτητα περιστροφής ξεπερνά τη σύγχρονη ταχύτητα, το στρεφόμενο πεδίο του στάτη αναπτύσσει μια αρνητική ροπή που τείνει να φρενάρει την κίνηση του άξονα, εμποδίζοντας έτσι την παραπέρα επιτάχυνσή του. Η ροπή αυτή χαρακτηρίζεται σαν **ηλεκτρομαγνητική πέδηση** καθώς λειτουργεί σαν πέδη, με μόνη διαφορά ότι η ισχύς δεν μετατρέπεται σε θερμότητα, αλλά επιστρέφει σαν ηλεκτρική ισχύς στο δίκτυο. Άρα, ένας επαγωγικός κινητήρας, ο οποίος υπό την επίδραση μιας κινητήριας ροπής επιταχύνεται και περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη της σύγχρονης λειτουργεί σαν γεννήτρια, μετατρέποντας τη μηχανική ισχύ που εισέρχεται στον άξονά του σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία επιστρέφει στο δίκτυο μέσα από το στάτη. Μια τέτοια μηχανή ονομάζεται **ασύγχρονη γεννήτρια**.



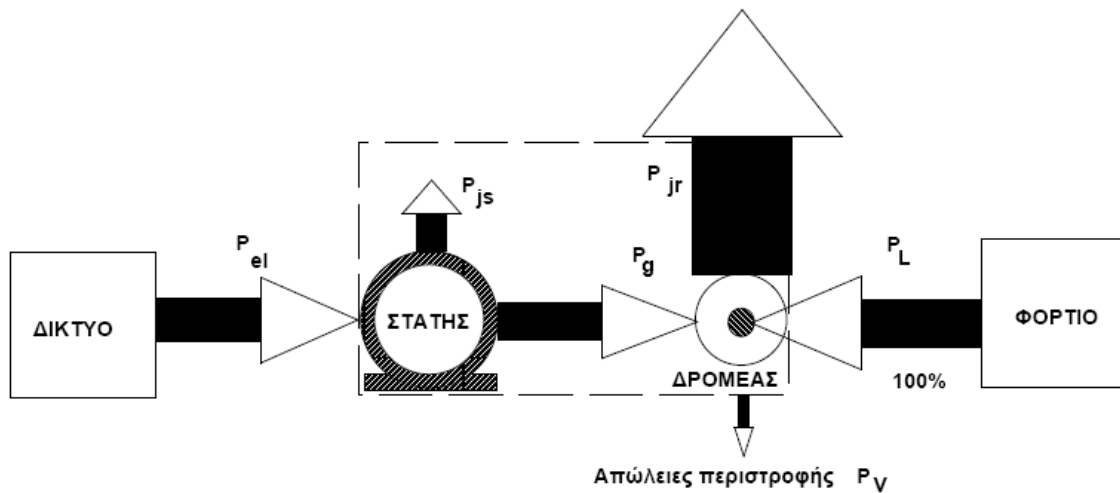
Σχήμα 4: Ισοζύγιο ισχύος ασύγχρονης γεννήτριας

1.1.1.3 Λειτουργία πέδης.

Σε ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές, ο επαγωγικός κινητήρας και το φορτίο του πρέπει να φρενάρουν απότομα. Αυτό μπορεί να γίνει εάν ο κινητήρας αναγκαστεί να αλλάξει τη φορά περιστροφής του μέχρι την ακινητοποίηση του φορτίου και να σταματήσει να περιστρέφεται πριν αρχίσει να γυρίζει το φορτίο αντίστροφα. Η λειτουργία αυτή του επαγωγικού κινητήρα χαρακτηρίζεται σαν **πέδηση**. Για την αντιστροφή της φοράς περιστροφής του κινητήρα, αρκεί να αντιστραφεί η φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη, κάτι το οποίο συμβαίνει με την εναλλαγή δύο φάσεων της τροφοδοσίας. Αποδεικνύεται εύκολα ότι στην περίπτωση αυτή προκύπτει ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων που περιστρέφεται αντίστροφα από το αρχικό.

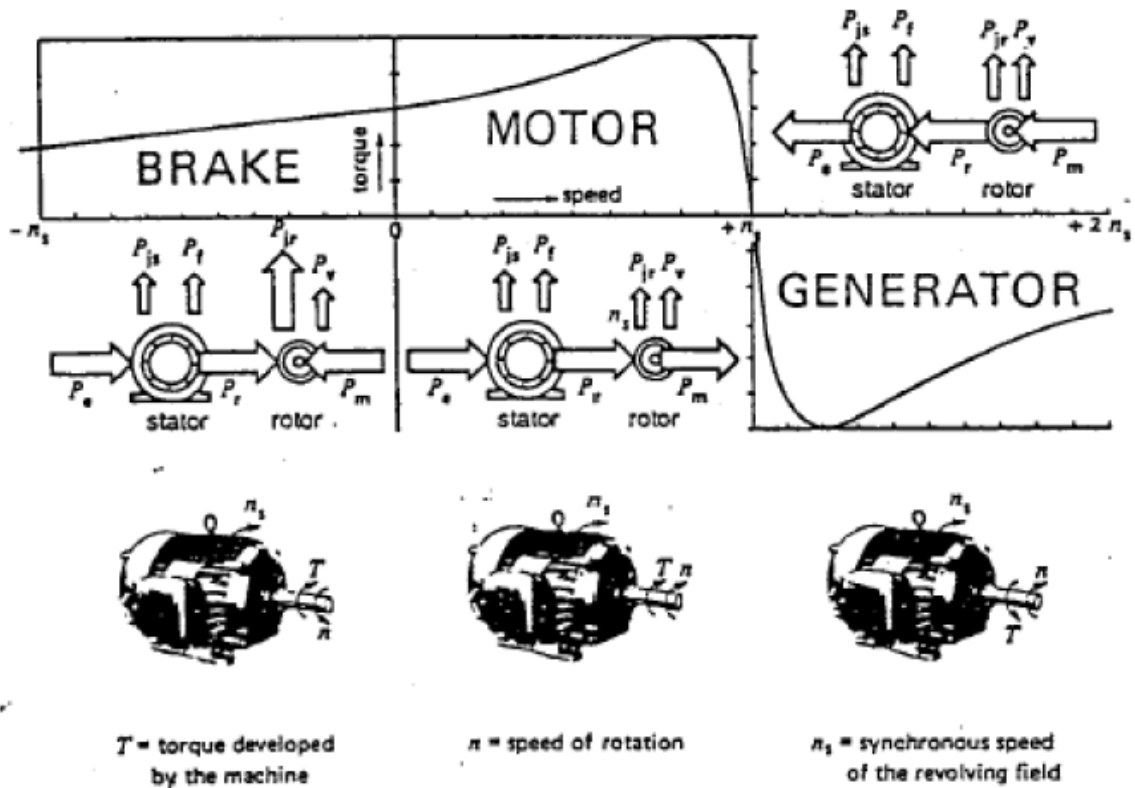
Κατά την πέδηση, ο επαγωγικός κινητήρας απορροφά κινητική ενέργεια από το περιστρεφόμενο φορτίο και τη μετατρέπει σε θερμότητα που εκλύεται από το δρομέα. Έτσι η ταχύτητα περιστροφής του φορτίου μειώνεται. Ο δρομέας όμως απορροφά ισχύ P_g από το δίκτυο μέσα από το διάκενο. Η ισχύς αυτή μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα στο δρομέα. Συνεπώς κατά τη λειτουργία πέδης, ο δρομέας εμφανίζει απώλειες I^2R που είναι πολύ μεγάλες, μεγαλύτερες και από εκείνες που εμφανίζονται όταν έχουμε μπλοκάρισμα του δρομέα κατά την εκκίνηση. Γενικά, η ενέργεια που εκλύεται σαν θερμότητα από τον δρομέα κατά την πέδηση από τις ονομαστικές στροφές μέχρι την ακινητοποίηση, είναι περίπου τριπλάσια της αρχικής κινητικής ενέργειας όλων των περιστρεφόμενων μερών. Συνεπώς η συχνή πέδηση του

επαγωγικού κινητήρα μπορεί να οδηγήσει εύκολα στην καταστροφή από υπερθέρμανση των τυλιγμάτων του δρομέα ή και του στάτη.



Σχήμα 5: Ισοζύγιο ισχύος κατά την πέδηση επαγωγικού κινητήρα.

Οι τρεις λειτουργικές καταστάσεις που περιγράφηκαν προσδιορίζουν τη συνολική χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας της ασύγχρονης μηχανής, όπως αυτή φαίνεται στο Σχ. 1.11. Στην καμπύλη αυτή φαίνεται ότι οι διάφορες καταστάσεις μπορούν να διαδέχονται ομαλά η μια την άλλη. Συνοψίζοντας, σαν γενική παρατήρηση, ισχύει ότι ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται με την ίδια φορά με το στρεφόμενο πεδίο όταν η μηχανή λειτουργεί σαν κινητήρας ή σαν γεννήτρια. Στην περίπτωση του κινητήρα όμως, η ταχύτητα του είναι λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη (θετική ολίσθηση), ενώ στην περίπτωση της γεννήτριας λίγο μεγαλύτερη από την σύγχρονη (αρνητική ολίσθηση). Τέλος κατά τη λειτουργία πέδης, ο άξονας στρέφεται με αντίθετη φορά από εκείνη του στρεφόμενου πεδίου.



Σχήμα 6: Λειτουργικές καταστάσεις και γενική χαρακτηριστική επαγωγικού κινητήρα.

1.2 Μονοφασικοί κινητήρες

1.2.1 Μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες

Κινητήρες με ισχύ από 2 HP και κάτω ή και με κλασματική ιπποδύναμη είναι μονοφασικοί καθώς προβλέπεται να λειτουργούν και σε χώρους μονοφασικών καταναλωτών. Οι **μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες** μπορούν να λειτουργήσουν εξίσου αποδοτικά με τους πολυφασικούς, δεν αναπτύσσουν όμως ροπή εκκίνησης, καθώς αυτή προκαλείται από το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο των πολυφασικών ρευμάτων. Για την εκκίνηση των μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων χρησιμοποιείται ένα δεύτερο τύλιγμα στο στάτη. Το τύλιγμα αυτό συνδέεται σε σειρά με έναν πυκνωτή ή μία μεγάλη αντίσταση. Έτσι μετατοπίζεται το ρεύμα του τυλίγματος αυτού σε σχέση με το αρχικό τύλιγμα και ο κινητήρας εκκινεί σαν ένας κινητήρας 2 φάσεων. Ο πυκνωτής αυτός, που είναι ένας μικρός μεταλλικός κύλινδρος και βρίσκεται συνήθως στο εξωτερικό του κινητήρα, αποσυνδέεται με τη βοήθεια ενός φυγοκεντρικού διακόπτη όταν ο κινητήρας φθάσει στο 60% περίπου της ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής. Οι φυγοκεντρικοί αυτοί διακόπτες και οι εξωτερικοί πυκνωτές εκκίνησης παρουσιάζουν τα περισσότερα προβλήματα βλαβών στους μονοφασικούς ασύγχρονους κινητήρες. Για τη βελτίωση της καμπύλης $T-n$ των μονοφασικών κινητήρων, χρησιμοποιείται συχνά και ένας δεύτερος πυκνωτής, που λέγεται πυκνωτής λειτουργίας και παραμένει συνδεδεμένος όσο λειτουργεί ο κινητήρας.



Εικόνα 2: Μονοφασικός Κινητήρας

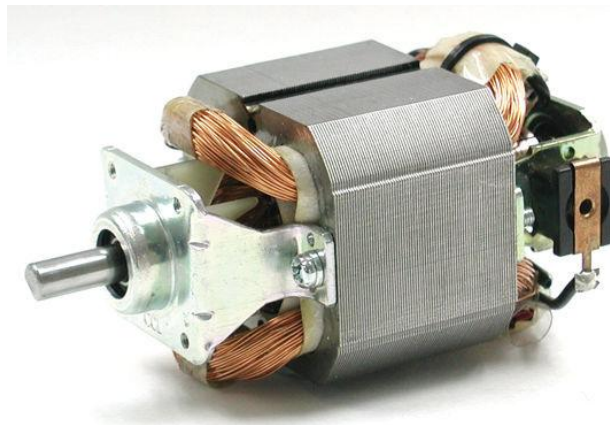
1.2.2 Μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη

Οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη διακρίνονται σε:

- Κινητήρες σειράς
- Κινητήρες universal
- Κινητήρες αντίδρασης

Οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς κατασκευάζονται για μεγάλες σχετικά ισχύεις και τάσεις, έχουν καλή προσαρμογή στις μεταβολές του φορτίου και λειτουργούν συνήθως με μικρότερες συχνότητες. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση ηλεκτρικών οχημάτων και βαρούλκων, στα ανυψωτικά μηχανήματα κλπ. Η χρήση τους (στην ηλεκτρική έλξη κυρίως) με μειωμένη συχνότητα, όπως π.χ. 16 2/3 Hz στην Ευρώπη και 25Hz στην Αμερική οφείλεται στο γεγονός ότι στην εκκίνηση ή σε χαμηλές στροφές λειτουργούν με πολύ καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης

Οι κινητήρες Universal, που είναι παραλλαγή των κινητήρων σειράς, κατασκευάζονται για ισχύεις μέχρι 0.5 kW και λειτουργούν το ίδιο καλά τόσο στο Ε.Ρ , όσο και στο Σ.Ρ.(όπου και έχουν ταχύτητα κατά 15% μεγαλύτερη). Έχουν πολύ μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (από 3000 μέχρι 8000στρ/λ) και δίνουν μεγάλη ροπή, γιαυτό χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου το μικρό βάρος και η μεγάλη ροπή είναι απαραίτητα, όπως π.χ. ηλεκτρικές σκούπες, ηλεκτρικά τρυπάνια, δισκοπρίονα, μηχανές προβολής, ραπτομηχανές κ.α. Χρησιμοποιούνται επίσης στη βιομηχανία και στην υφαντουργία.



Εικόνα 3:Κινητήρας Universal

Οι κινητήρες αντίδρασης κατασκευάζονται για ισχύεις από 0.5 μέχρι 15HP, σε διάφορες παραλλαγές και τύπους. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η μεγάλη δυνατότητα ρύθμισης στροφών. Έχουν όμως και πολλά μειονεκτήματα, όπως μεγάλο θόρυβο κατά τη λειτουργία

τους, συχνή ανάγκη συντήρησης και μεγάλη εξάρτηση των στροφών από το φορτίο. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε περιορισμένες εφαρμογές, όπως π.χ. τα μηχανικά εργαλεία, οι αεροσυμπίεστες, οι αντλίες βενζίνης και βαθέων φρεάτων και οι εργαλειομηχανές

1.3 Σύγχρονοι κινητήρες

Οι **σύγχρονοι κινητήρες** (*synchronous motors*) είναι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος, οι οποίοι έχουν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό να περιστρέφονται με την σύγχρονη ταχύτητά τους (6.6), η οποία για ένα ζεύγος πόλων είναι 3000 rpm στα 50 Hz. Οι σύγχρονοι κινητήρες μπορεί να είναι μεγάλης ισχύος τριφασικοί ή μονοφασικοί κλασματικής ιπποδύναμης για εφαρμογές όπου απαιτείται απόλυτα σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως ηλεκτρικά ρολόγια, πικάπ κλπ.

Οι μεγάλοι 3φασικοί κινητήρες αναπτύσσουν ένα περιστρεφόμενο πεδίο στον στάτη ακριβώς, όπως οι επαγωγικοί. Διαθέτουν όμως περιελίξεις στο δρομέα, οι οποίες τροφοδοτούνται με συνεχή τάση, την **τάση διέγερσης**. Δημιουργείται έτσι ένα σταθερό πεδίο στον δρομέα, σαν να ήταν ένας μόνιμος μαγνήτης. Η αλληλεπίδραση αυτών των δυο πεδίων δημιουργεί ροπή στον άξονα του κινητήρα.

Ο επαγωγικός, ή ασύγχρονος, κινητήρας προσαρμόζεται στις μεταβολές του φορτίου με μικρή μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του. Έτσι η αύξηση του φορτίου οδηγεί σε μία επιβράδυνση, αύξηση της ολίσθησης, του ρεύματος του στάτη και της ροπής στον άξονα. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες $T-n$ δείχνουν παραστατικά την διαδικασία αυτή. Αντίθετα ο σύγχρονος κινητήρας διατηρεί τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου στον άξονά του, όσο αυτές παραμένουν μέσα στα πλαίσια της λειτουργίας τους.

Για να γίνει κατανοητή η διαδικασία προσαρμογής του σύγχρονου κινητήρα στις μεταβολές του φορτίου, θα χρησιμοποιηθεί ένα ανάλογο παράδειγμα. Έστω ότι 2 μικροί μαγνήτες βρίσκονται στις 2 πλευρές ενός τζαμιού. Η μετακίνηση του ενός μαγνήτη αναγκάζει τον άλλο να τον ακολουθήσει με κάποια μικρή καθυστέρηση. Εάν ο δεύτερος μαγνήτης κατά την πορεία του συναντήσει υποστρώματα με διαφορετικούς συντελεστές τριβής, θα πλησιάσει περισσότερο ή θα απομακρυνθεί από τον πρώτο, κινούμενος όμως συνεχώς σύμφωνα με την κίνηση του πρώτου.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τον σύγχρονο κινητήρα. Μόλις ο δρομέας αποκτήσει τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, το πεδίο του στάτη που γυρίζει μέσα στο διάκενο, συμπαρασύρει τον

δρομέα, ο οποίος λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνήτης. Η καθυστέρηση ανάμεσα στο πεδίο του στάτη και στον περιστρεφόμενο με την ίδια ταχύτητα άξονα του μαγνήτη του δρομέα ονομάζεται **γωνία φορτίου (load angle)**. Τα 2 πεδία είναι ακλόνητα συμπλεγμένα. Τυχόν μεταβολές του φορτίου προκαλούν αύξηση ή μείωση της γωνίας φορτίου, χωρίς να επηρεάσουν την κοινή ταχύτητα περιστροφής των 2 πεδίων.

Η γωνία φορτίου μπορεί να μεταβληθεί αρκετά. Υπάρχει όμως ένα όριο πέρα από το οποίο δεν είναι πλέον δυνατή η αύξηση της ροπής του σύγχρονου κινητήρα και αυτός θα επιβραδυνθεί και θα σταματήσει. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται σαν **απώλεια συγχρονισμού** και σε μεγάλους σύγχρονους κινητήρες είναι ιδιαίτερα οδυνηρό προκαλώντας τεράστια ρεύματα σφάλματος και ενεργοποίηση των συστημάτων προστασίας.

Ο σύγχρονος κινητήρας δεν έχει ροπή εκκίνησης και δεν μπορεί να παράγει ροπή παρά μόνο όταν περιστρέφεται στη σύγχρονη ταχύτητα. Για το λόγο αυτό οι μεγάλοι σύγχρονοι κινητήρες εκκινούν σαν ασύγχρονοι με τη βοήθεια ειδικού κλωβού στο δρομέα. Λειτουργώντας σαν ασύγχρονοι επιταχύνονται μέχρι τη σύγχρονη ταχύτητα. Τότε συνδέεται η συνεχής τάση στο τύλιγμα του δρομέα, εμπλέκεται το φορτίο και ο κινητήρας λειτουργεί πλέον σαν σύγχρονος.

Με τις ειδικές απαιτήσεις της εκκίνησης, την ανάγκη για συνεχή τάση στο δρομέα και το υψηλό κόστος, οι σύγχρονοι κινητήρες δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στη βιομηχανία, εκτός από τις περιπτώσεις όπου η σταθερή ταχύτητα περιστροφής είναι απαραίτητη. Παρόλα αυτά οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Με κατάλληλη ρύθμιση της συνεχούς τάσης του δρομέα, ένας σύγχρονος κινητήρας αλλάζει την κατανάλωση αέργου ισχύος ή μπορεί ακόμη και να παράγει άεργη ισχύ σαν ένας πυκνωτής. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία του χαρακτηρίζεται σαν λειτουργία **στρεφόμενου πυκνωτή (synchronous condenser)**.

Όλοι οι τύποι των κινητήρων μπορούν, θεωρητικά, να λειτουργήσουν σαν γεννήτριες, δηλαδή με εφαρμογή κάποιας κινητήριας ροπής στον άξονα να παράγουν ηλεκτρική ισχύ στα τυλίγματα του στάτη. Η πιο χαρακτηριστική κατηγορία τέτοιων μηχανών είναι οι σύγχρονες, που αποτελούν τις γεννήτριες σε όλους τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν και σαν γεννήτριες συνεχούς ρεύματος κατά την πέδηση σε συστήματα ηλεκτρικής έλξης, ενώ η μηχανή των ανεμογεννητριών είναι, όπως προαναφέρθηκε, ασύγχρονη γεννήτρια.

1.4 Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος

Μια μηχανή συνεχούς ρεύματος, όπως και κάθε ηλεκτρική μηχανή, αποτελείται από το στρεφόμενο τμήμα, το οποίο ονομάζεται δρομέας και το ακίνητο τμήμα που ονομάζεται στάτης. Ο στάτης της πραγματικής μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από το κέλυφος, το ζύγωμα (*yoke*), τους κύριους και τους βοηθητικούς πόλους και το ψηκτροφορέα με τις ψήκτρες. Ακόμη, στο στάτη υπάρχουν το τύλιγμα διέγερσης, το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων και το τύλιγμα αντιστάθμισης. Η πλήρης σχηματική δομή μιας τετραπολικής μηχανής συνεχούς ρεύματος εικονίζεται στο Σχ. 2.9. Η φυσική κατασκευαστική δομή των μηχανών συνεχούς ρεύματος παρουσιάζεται στο Σχ. 2.10.

Το κέλυφος είναι το εξωτερικό περίβλημα της μηχανής, το οποίο στο κάτω τμήμα του είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να αποτελεί τη βάση στήριξης της μηχανής. Το ζύγωμα, με κυλινδρικό σχήμα, αποτελεί τον κορμό της μηχανής. Το ζύγωμα στηρίζεται στο κέλυφος και κατασκευάζεται συνήθως από χάλυβα. Πάνω στο ζύγωμα τοποθετούνται οι μαγνητικοί πόλοι. Οι κύριοι πόλοι είναι αυτοί που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο της μηχανής.

Οι κύριοι πόλοι αποτελούνται από τον *πυρήνα* και το *πέδιλο*. Πέδιλο ονομάζεται το ειδικά διαμορφωμένο άκρο των πόλων στην πλευρά του δρομέα, το οποίο έχει ως σκοπό τη δημιουργία ομοιόμορφου πεδίου στο *διάκενο* (*air gap*), μεταξύ των πόλων και της επιφάνειας του δρομέα. Οι κύριοι πόλοι κατασκευάζονται αποκλειστικά από ελάσματα για τη μείωση των απωλειών από τα δινορεύματα. Τα δινορεύματα προκαλούνται από τις διακυμάνσεις της ροής στους πόλους, καθώς η επιφάνεια του δρομέα εξαιτίας των αυλακώσεων της δεν είναι ομοιόμορφη. Στους κύριους πόλους τυλίγονται τα πηνία του τυλίγματος διέγερσης. Τα επιμέρους πηνία κάθε κύριου πόλου συνδέονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι το τύλιγμα διέγερσης με δύο άκρα. Το τύλιγμα διέγερσης διαρρέετε από συνεχές ρεύμα, προκαλώντας το κύριο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Στις σύγχρονες εφαρμογές των μηχανών συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται από μετατροπείς ισχύος, με αποτέλεσμα το ρεύμα διέγερσης να περιέχει αρμονικές συνιστώσες υψηλών συχνοτήτων. Αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος για την κατασκευή εκτός από τους κύριους πόλους και του ζυγώματος από ελάσματα.

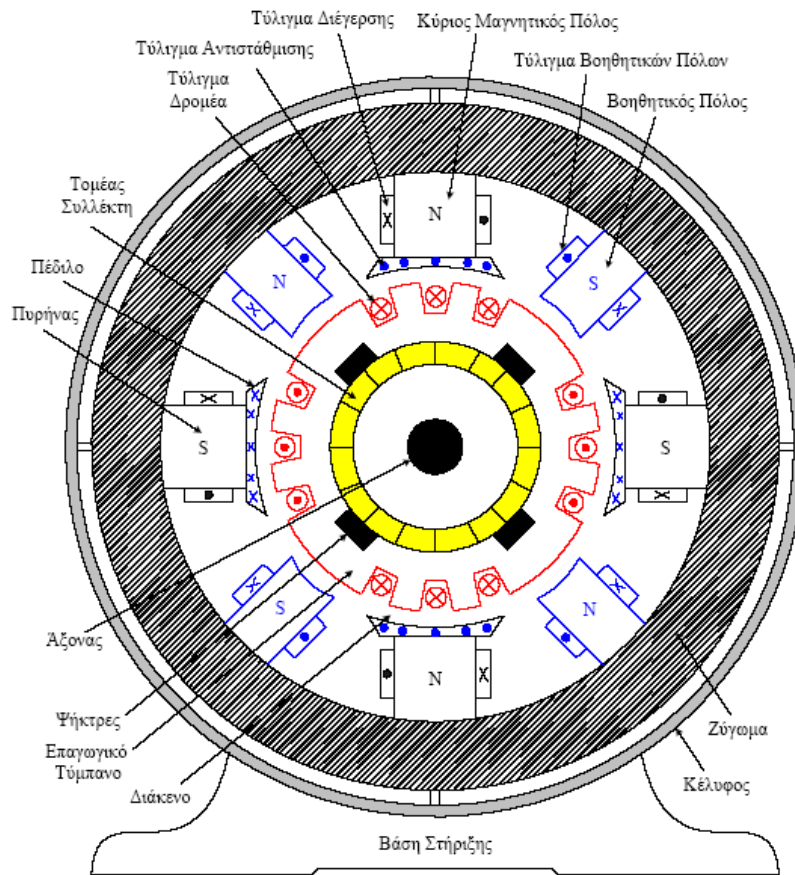
Οι βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται μεταξύ των κύριων πόλων. Οι βοηθητικοί πόλοι όλο και συχνότερα κατασκευάζονται από ελάσματα, όπως και οι κύριοι μαγνητικοί πόλοι. Τα πηνία που τοποθετούνται σε κάθε βοηθητικό πόλο συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους, σχηματίζοντας το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων.

Στη σημασία των βοηθητικών πόλων, όπως και του τυλίγματος αντιστάθμισης, το οποίο τοποθετείται στα πέδιλα των κύριων πόλων, θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

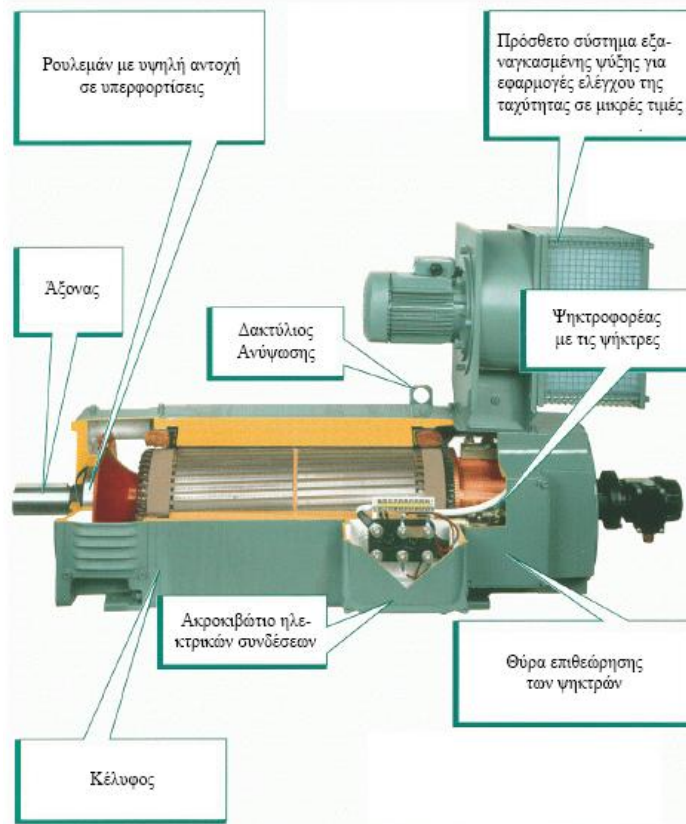
Οι ψήκτρες είναι κατασκευασμένες από άνθρακα, ή από μείγμα άνθρακα και γραφίτη. Διαθέτουν μεγάλη αγωγιμότητα και είναι πολύ πιο μαλακές από τους τομείς του συλλέκτη, έτσι ώστε ο συλλέκτης να φθείρεται ελάχιστα. Οι ψήκτρες είναι τοποθετημένες μέσα στις ψηκτροθήκες και πιέζονται στο συλλέκτη από ελατήρια που βρίσκονται στις ψηκτροθήκες. Η πίεση που ασκούν οι ψήκτρες στο συλλέκτη πρέπει να επιλέγεται με ακρίβεια. Αν η πίεση είναι πολύ μεγάλη η φθορά των ψηκτρών αλλά και του συλλέκτη είναι αυξημένη. Αν η πίεση είναι μικρή, οι ψήκτρες δεν διατηρούν συνεχώς την επαφή τους με το συλλέκτη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σπινθηρισμών, με καταστροφικά αποτελέσματα και για τα δύο μέρη. Επιπλέον, για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των ψηκτρών, η μηχανή δεν πρέπει να λειτουργεί χωρίς φορτίο.

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράγει ή να απορροφήσει μια μηχανή συνεχούς ρεύματος, όπως και κάθε ηλεκτρική μηχανή, περιορίζεται από τη μόνωση των τυλιγμάτων της. Αν καταστραφεί η μόνωση των τυλιγμάτων, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, η μηχανή βραχυκυκλώνεται. Αν και η επισκευή της μηχανής είναι συνήθως δυνατή, είναι αρκετά δαπανηρή. Για να αποφύγουμε την καταστροφή της μόνωσης των τυλιγμάτων, η θερμοκρασία τους πρέπει να διατηρείται μικρότερη από μια μέγιστη τιμή. Η τιμή αυτή εξαρτάται από το υλικό μόνωσης των τυλιγμάτων. Οι οργανισμοί τυποποίησης των διάφορων χωρών έχουν ορίσει μια σειρά από κλάσεις μόνωσης για της μηχανές συνεχούς ρεύματος, όπως και για τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, ανάλογα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στις ΗΠΑ η NEMA (*National*

Electrical Manufacturers Association), για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχει ορίσει τη κλάση μόνωσης A με μέγιστη θερμοκρασία 70°C, τη κλάση B με 100°C, την F με 130°C και την κλάση H με μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας τους 155°C.



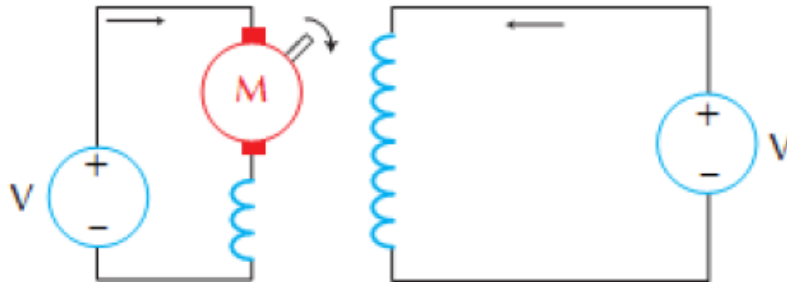
Σχήμα 7: Σχηματική παράσταση της κατασκευαστικής δομής της τετραπολικής μηχανής συνεχούς ρεύματος



Εικόνα 4:Τυπική κατασκευαστική δομή των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Μηχανή της Leroy-Somer

1.4.1 Κινητήρες DC ξένης διέγερσης

Το τύλιγμα των πόλων τροφοδοτείται από ξένη πηγή διαφορετική από αυτή του δρομέα. Οι κινητήρες αυτοί επιτρέπουν ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής σε μεγάλα όρια.

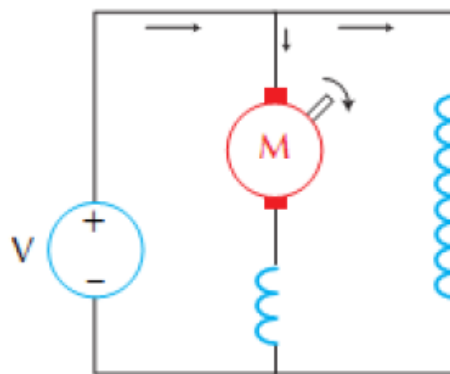


Σχήμα 8: Ηλεκτρολογικό σχέδιο κινητήρα DC ξένης διέγερσης

1.4.2 Κινητήρες DC παράλληλης διέγερσης

Το τύλιγμα των πόλων τροφοδοτείται από την ίδια πηγή με την οποία τροφοδοτείται και ο δρομέας.

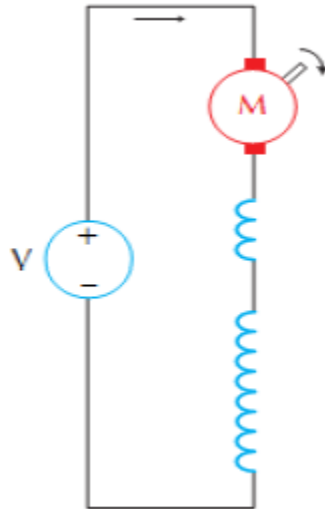
Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν μικρή πτώση της ταχύτητας περιστροφής καθώς αυξάνεται το φορτίο και χρησιμοποιούνται σε ανάλογες εφαρμογές.



Σχήμα 9: Ηλεκτρολογικό σχέδιο κινητήρα DC παράλληλης διέγερσης

1.4.3 Κινητήρες DC με διέγερση σειράς

Το τύλιγμα των πόλων συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα και αποτελείται από λίγες σπείρες χοντρού σύρματος. Η ροπή στους κινητήρες αυτούς είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ρεύματος και για το λόγο αυτό είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε μεγάλα φορτία καθώς επίσης και σε ηλεκτρικά οχήματα.

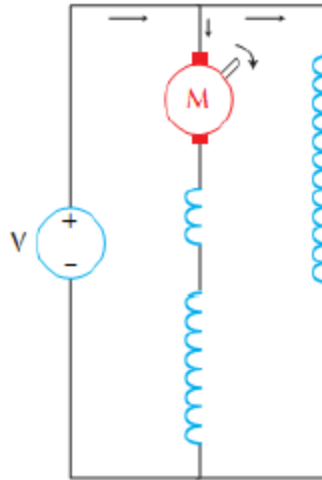


Σχήμα 10: Ηλεκτρολογικό σχέδιο κινητήρα DC διέγερσης σειράς

1.4.4 Κινητήρες DC σύνθετης διέγερσης

Το τύλιγμα των πόλων αποτελείται από ένα τύλιγμα σειράς και είναι παράλληλο τύλιγμα.

Τα χαρακτηριστικά των κινητήρων αυτών είναι συνδυασμός των χαρακτηριστικών των κινητήρων σειράς και των κινητήρων παράλληλης διέγερσης.



Σχήμα 11: Ηλεκτρολογικό σχέδιο κινητήρα DC σύνθετης διέγερσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η τεράστια ποικιλία τύπων, μεγεθών και ποιοτήτων κινητήρων που είναι διαθέσιμη στην αγορά, κάνει ιδιαίτερα σύνθετο το πρόβλημα της επιλογής του κατάλληλου κινητήρα για μια εφαρμογή. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή είναι:

- Διαθέσιμη τάση και συχνότητα.
- Ροπή (ή αντίστοιχα ισχύς) και ταχύτητα περιστροφής που απαιτούνται.
- Μορφή του κύκλου εργασίας του κινητήρα.
- Χαρακτηριστικά περιβάλλοντος εγκατάστασης, (υγρασία, σκόνη, θερμοκρασία, εκρηκτικό περιβάλλον κλπ). Ειδικές προδιαγραφές, γνωστές σαν δείκτης IP ΧΥ διέπουν τη προστασία από είσοδο ξένων σωμάτων ή επαφής με το ανθρώπινο σώμα (δείκτης Χ) και την προστασία από είσοδο νερού (δείκτης Υ), όπως αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο. Ειδικές προδιαγραφές απαιτούνται για κινητήρες που θα λειτουργήσουν σε ειδικά επικίνδυνα περιβάλλοντα (εκρηκτικά κλπ).
- Χαρακτηριστικά τοποθέτησης, δηλαδή διαστάσεις κινητήρα, τρόπος έδρασης κλπ.
- Δυνατότητες συντήρησης.
- Τύποι κινητήρων που ήδη χρησιμοποιούνται και συντηρούνται στη μονάδα.
- Αξιοπιστία προμηθευτών.

Η προμήθεια του κινητηρίου συστήματος εξετάζεται στο σύνολο και περιλαμβάνει και τις απαραίτητες συσκευές ελέγχου και προστασίας (εκκινητές, θερμικά κλπ.). Εξετάζεται η σκοπιμότητα και δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος ελέγχου με μεταβλητή συχνότητα.

Σε σχέση με τη διαστασιολόγηση ένας κινητήρας γενικά επιλέγεται με ονομαστική ισχύ ίση με το μέγιστο φορτίο που έχει να αντιμετωπίσει. Πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το γεγονός, ότι όταν ο κινητήρας φορτίζεται ελαφρά υποφέρει και από απόδοση και από συντελεστή ισχύος, ενώ εμφανίζει υψηλά ρεύματα εκκίνησης και απαιτεί συνεπώς μεγαλύτερες διατομές αγωγών τροφοδοσίας και μεγαλύτερα μέσα προστασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους εγκατάστασης και την επιδείνωση του συνολικού συντελεστή απόδοσης. Αντίθετα, σύμφωνα με τους κανονισμούς της IEC και VDE οι κινητήρες μπορούν να υπερφορτωθούν σε ποσοστό 150% του ονομαστικού τους ρεύματος για χρόνους της τάξης των 2 min υπό ονομαστική τάση και συχνότητα, εάν δεν ορίζεται διαφορετικά από τον κατασκευαστή.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στους κινητήρες είναι η υπερθέρμανση, που μπορεί να προκαλέσει καταστροφή της μόνωσης των περιελίξεων. Κατάλληλες διατάξεις προστασίας (θερμικά) προβλέπονται για τους κινητήρες. Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις συχνών εκκινήσεων επιλέγονται συνήθως μεγαλύτεροι κινητήρες.

Η σωστή συντήρηση των κινητήρων είναι κυρίως πρόβλημα σωστού προγραμματισμού. Οι μικροί κινητήρες έχουν αυτολίπαντα ρουλεμάν ή κουζινέτα και δεν απαιτούν πρόσθετη λίπανση, εφόσον λειτουργούν σε περιβάλλον που συμφωνεί με τις προδιαγραφές τους. Οι μεγάλοι κινητήρες απαιτούν λίπανση σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η σκόνη, η βρωμιά, η υγρασία βλάπτουν γενικά. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη σωστή λειτουργία του συστήματος ψύξης. Οι επαγωγικοί κινητήρες επιδέχονται εύκολα επισκευές, όπως περιελίξεις, ρουλεμάν κλπ. Οι δακτυλιοφόροι κινητήρες απαιτούν συστηματικό έλεγχο στις ψήκτρες και τους συλλέκτες τους.

2.1 Συνηθισμένες βλάβες ΑΤΚ και πως αντιμετωπίζονται

2.1.1 Διακοπή μιας φάσης του τυλίγματος του στάτη ενός τριφασικού κινητήρα

α) Αν τα τυλίγματα του στάτη έχουν συνδεθεί κατά αστέρα και η διακοπή της φάσεως γίνει κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αυτός θα εξακολουθήσει να εργάζεται αλλά με μειωμένη ισχύ στα $2/3$ της ονομαστικής, με συνέπεια να μην σηκώσει το φορτίο του, να σταματήσει ή να απορροφήσει υπερβολικό ρεύμα και να θερμανθεί. Μετά το σταμάτημα ο κινητήρας δεν μπορεί να ξανατεθεί σε κίνηση

β) Αν τα τυλίγματα του στάτη έχουν συνδεθεί κατά τρίγωνο και η διακοπή της φάσεως γίνει κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αυτός θα εξακολουθήσει να εργάζεται ως μονοφασικός με ισχύ ίση με τα $2/3$ της ονομαστικής. Μετά το σταμάτημα ο κινητήρας μπορεί να ξανατεθεί σε κίνηση χωρίς φορτίο ή με μικρό φορτίο

2.1.2 Διακοπή μιας φάσης της τροφοδοσίας ενός τριφασικού κινητήρα

α) Αν τα τυλίγματα του στάτη έχουν συνδεθεί κατά αστέρα και η διακοπή της φάσεως γίνει κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αυτός θα εξακολουθήσει να εργάζεται αλλά με μειωμένη ισχύ στα $2/3$ της ονομαστικής, με συνέπεια να μην σηκώσει το φορτίο του, να σταματήσει ή να απορροφήσει υπερβολικό ρεύμα και να θερμανθεί. Μετά το σταμάτημα ο κινητήρας δεν μπορεί να ξανατεθεί σε κίνηση

β) Αν τα τυλίγματα του στάτη έχουν συνδεθεί κατά τρίγωνο και η διακοπή της φάσεως γίνει κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αυτός θα εξακολουθήσει να εργάζεται ως μονοφασικός με ισχύ ίση με τα $1/3$ της ονομαστικής και θα σταματήσει. Μετά το σταμάτημα ο κινητήρας δεν μπορεί να ξανατεθεί σε κίνηση

- 2.1.3 α) Η ένταση του ρεύματος του κινητήρα κατά την αφόρτιστη λειτουργία του είναι ίση με αυτή κατά τη λειτουργία υπό φορτίο και**
β) Η ένταση του ρεύματος του κινητήρα κατά τη λειτουργία υπό φορτίο είναι διπλάσια από την κανονική

Η πιθανή αιτία είναι ότι ο δίσκος του ρότορα έχει μετακινηθεί κατά το χύσιμο του αλουμινίου ή κατά τη λειτουργία του κινητήρα με αποτέλεσμα να έχει διακοπή η ηλεκτρική ένωση μεταξύ των δύο στεφανιών βραχυκύκλωσης

- 2.1.4 α) Ο ρότορας του κινητήρα θερμαίνεται**
β) Η ταχύτητα του κινητήρα είναι μικρότερη από την κανονική
γ) Η ισχύς του κινητήρα είναι μικρότερη από την κανονική

Η επαφή των ράβδων του ρότορα με τις στεφάνες είναι ελαττωματική

- 2.1.5 Σε κινητήρα που εκκινεί με διακόπτη αστέρα-τριγώνου και έχει γυρίσει σε τρίγωνο:**
α) Η μια φάση του στάτη του κινητήρα είναι θερμότερη από τις άλλες.
β) Ο κινητήρας τίθεται σε κίνηση χωρίς φορτίο αλλά με φορτίο σταματάει

Η συνδεσμολογία του διακόπτη αστέρα-τριγώνου είναι εσφαλμένη

- 2.1.6 Ο κινητήρας δεν ξεκινάει ούτε εν κενώ, ούτε με φορτίο**

α) Οι ακροδέκτες τροφοδοτούνται με τη τάση του δικτύου.

β) Η τάση τροφοδοσίας του δικτύου είναι μικρότερη από την ονομαστική.

γ) Μία από τις φάσεις του τριφασικού τυλίγματος του στάτη είναι κομμένη.

δ) Η ροπή του φορτίου είναι μεγαλύτερη από τη ροπή εκκίνησης του κινητήρα.

2.1.7 Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από μεγάλο βύθισμα ταχύτητας.

Σε αυτήν τη περίπτωση οι μπάρες του επαγωγικού τυλίγματος του δρομέα έχουν κοπεί ή αποκολληθεί από τα δακτυλίδια βραχυκύκλωσης.

2.1.8 Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από θόρυβο και υπερθέρμανση.

Σε αυτήν τη περίπτωση μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι τα έδρανα(ρουλεμάν) πάνω στα οποία στηρίζεται και περιστρέφεται ο άξονας του κινητήρα, είναι φθαρμένα. Θα πρέπει να αντικατασταθούν άμεσα.

2.1.9 Ο κινητήρας εκκινεί κανονικά, αλλά στη συνέχεια παρουσιάζει μεγάλη πτώση στον αριθμό των στροφών του.

Σε αυτήν τη περίπτωση, μετράω πολύ χαμηλή τη τάση τροφοδοσίας του δικτύου, επάνω στους ακροδέκτες του κινητήρα, λόγω της εμφάνισης μεγάλης πτώσης τάσης επάνω στα καλώδια τροφοδοσίας του κινητήρα.

2.1.10 Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται.

Σε αυτήν τη περίπτωση η υπερθέρμανση του κινητήρα μπορεί να οφείλεται είτε στη πολύ υψηλή τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, προκαλώντας απώλειες σιδήρου ή χαλκού, είτε στην αύξηση του φορτίου που οδηγεί ο κινητήρας(υπερφόρτωση του κινητήρα). Γι'αυτούς τους λόγους θα πρέπει, είτε να επαναφέρουμε τη τάση τροφοδοσίας στην ονομαστική της τιμή, είτε να ελέγξουμε και να ρυθμίσουμε το φορτίο του κινητήρα. Όμως, ο βασικότερος λόγος για τον οποίο ο κινητήρας πάντοτε υπερθερμαίνεται, είναι η απουσία της μιας εκ των τριών φάσεων τροφοδοσίας του κινητήρα. Αυτό συνήθως σημαίνει,καμένη ασφάλεια στη γραμμή παροχής αυτής της φάσης. Θα πρέπει να την αντικαταστήσουμε άμεσα. Τέλος, η υπερθέρμανση του κινητήρα θα μπορούσε να οφείλεται ακόμη και στον ελλειπή αερισμό (ψύξη)του κινητήρα ή στο υπερβολικό τέντωμα του ιμάντα της τροχαλίας (εάν υπάρχει). Σε καμία περίπτωση, βέβαια, δεν δικαιολογείται το

να προκαλέσει ο ίδιος ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης, υπερθέρμανση στον κινητήρα λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας πάνω στο ακροκιβώτιο

2.1.11 Ο στάτης υπερθερμαίνεται σε ορισμένα του σημεία και η υπερθέρμανση αυτή συνοδεύεται από υπερφόρτιση σε μία εκ των δύο φάσεων, προκαλώντας δυνατό θόρυβο.

Στη περίπτωση αυτή, έχουμε εσωτερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στάτη. Θα πρέπει να αντικατασταθεί άμεσα.

2.1.12 Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, ακούγεται θόρυβος και ο κινητήρας υπερθερμαίνεται αρκετά, λόγω της τριβής του δρομέα επάνω στο στάτη.

Στην περίπτωση αυτή, το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα δεν είναι ομοιόμορφο. Παρουσιάζονται ρωγμές είτε στα ρουλεμάν του άξονα του δρομέα, είτε στα καλύμματα του κινητήρα ή ακόμη και κάποια κλίση στον ίδιο τον άξονα. Αυτά, θα πρέπει να αντικατασταθούν και να ρυθμιστούν άμεσα.

2.1.13 Ο κινητήρας παρουσιάζει κραδασμούς κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Σε αυτήν τη περίπτωση, συνήθως, υπάρχει εσφαλμένη ευθυγράμμιση του άξονα του δρομέα, λόγω κακής στήριξης ή ανώμαλης επιφάνειας του εδάφους. Θα πρέπει γίνει σωστή στερέωση της βάσης. Επίσης, οι κραδασμοί είναι δυνατόν να προέρχονται από τη μηχανή(φορτίο) που οδηγεί ο κινητήρας. Αυτό αποδεικνύεται έμπρακτα, εάν αποδεσμεύσουμε το φορτίο από τον άξονα του κινητήρα. Εάν παραμένει το πρόβλημα, θα πρέπει να ελέγξουμε το φορτίο.

2.1.14 Τα ρουλεμάν υπερθερμαίνονται.

Σε περίπτωση που υπάρχει αρκετό γράσο, αυτό θα πρέπει να αφαιρείται. Εάν η βαλβίδα λιπαντικού δεν λειτουργεί σωστά και τα έδρανα έχουν υποστεί φθορά, θα πρέπει άμεσα να αντικατασταθούν. Σε περίπτωση που το λιπαντικό είναι βρώμικο ή στα ρουλεμάν έχει εισχωρήσει σκόνη ή ξένο σώμα, θα πρέπει να προβούμε σε καθαρισμό αυτών. Τέλος, εάν ο ιμάντας της τροχαλίας είναι πολύ σφιγμένος ή το φορτίο που ο

οδηγεί ο κινητήρας δεν είναι καλά κεντραρισμένο, θα πρέπει να προβούμε σε άμεση ρύθμιση αυτών.

2.1.15 Πρόβλημα στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών, λόγω υψηλής αδράνειας ή μεγάλου φορτίου στον άξονα του κινητήρα.

Σε αυτήν τη περίπτωση μπορούμε είτε να μειώσουμε το φορτίο είτε να αντικαταστήσουμε τον ρυθμιστή στροφών με έναν μεγαλύτερο. Βέβαια, σε περίπτωση που ενεργοποιείται κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του κινητήρα, το σύστημα προστασίας ,θα πρέπει να γίνει έλεγχος για τυχόν βραχυκύκλωμα στην έξοδο. Αντιθέτως εάν το σύστημα προστασίας ενεργοποιείται κατά την ομαλή λειτουργία του ρυθμιστή, θα πρέπει να μειώσουμε το φορτίο στον άξονα του κινητήρα ή το μήκος των καλωδίων εξόδου. Δεν αποκλείεται, βέβαια, να έχει υποστεί βλάβη και η βαθμίδα ανόρθωσης του ίδιου του ρυθμιστή στροφών.

2.2 Οδηγός βλαβών και αντιμετώπιση

	Ο κινητήρας δεν ξεκινά	
	Δύσκολη εκκίνηση κινητήρα	
	Ηχηρός θόρυβος κατά τη διάρκεια της εκκίνησης	
	Ηχηρός θόρυβος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας	
	Βουητό στον ρυθμό της διπλής συχνότητας διολίσθησης	
	Υπερθέρμανση στο ρελαντί	
	Μεγάλη υπερθέρμανση όταν θέλετε να έχετε πλήρη απόδοση	
	Μεγάλη υπερθέρμανση μεμονωμένων τμημάτων περιέλιξης	
	Πιθανή αιτία βλάβης	Βοηθητικά μέτρα
● ● ●	Υπερφόρτωση	Μείωση φόρτισης
●	Διακοπή μίας φάσης στην τροφοδοσία	Ελεγχος διακόπτη και τροφοδοσίας
● ● ●	Διακοπή μίας φάσης στην τροφοδοσία μετά την έναρξη λειτουργίας	Ελεγχος διακόπτη και τροφοδοσίας
●	Τάση δικτύου πολύ χαμηλή, συχνότητα πολύ υψηλή	Ελεγχος καταστασεος δικτυου
●	Τάση δικτύου πολύ υψηλή, συχνότητα πολύ χαμηλή	Ελεγχος καταστασεος δικτυου
● ● ● ●	Σφάλμα συρμάτωσης περιέλιξης	Ελεγχος συρμάτωσης περιέλιξης
● ● ●	Βλάβη στην περιέλιξη	Ελεγχος αντίστασης περιέλιξης και μόνωσης, Επισκευή στη φίρμα Bockwoldt
● ● ●	Βλάβη στις φάσεις	Ελεγχος αντίστασης περιέλιξης και μόνωσης, Επισκευή στη φίρμα Bockwoldt
●	Διακοπή στον κλωβό βραχυκύκλωσης	Επισκευή στη φίρμα Bockwoldt

Ενδεικτικός θόρυβος ότι κάποιο τμήμα „βρίσκει“

Υπερθέρμανση

Εντονοι κραδασμοί

Υπερθέρμανση εδράνου

Θόρυβοι στο έδρανο

Πιθανή αιτία βλάβης

Βοηθητικά μέτρα

• Τρόχισμα κινούμενων τμημάτων

Ελεγχος προβληματικών τμημάτων, επαναρύθμιση

• Μειωμένη είσοδος αέρα

Ελεγχος εισόδων αέρα

• Σφάλμα ζυγοστάθμισης δρομέα

Λύσιμο του δρομέα, επαναζυγοστάθμιση

• Ο δρομέας δεν είναι στρογγυλός, ο άξονας έχει στραβώσει

Λύσιμο του δρομέα, ελάτε σε επαφή με τον κατασκευαστή

• Ελαττωματική ευθυγράμμιση

Ευθυγράμμιση μηχανής, έλεγχος συμπλέκτη

• Σφάλμα ζυγοστάθμισης της συνδεδεμένης μηχανής

Επαναζυγοστάθμιση συνδεδεμένης μηχανής

• Η συνδεδεμένη μηχανή κλωτσάει

Ελεγχος συνδεδεμένης μηχανής

• Ανήσυχος μηχανισμός μετάδοσης

Ελεγχος μηχανισμού και ρύθμιση

• Ταλάντωση βάσης (θεμελίου)

Βελτίωση ακαμψίας θεμελίου

• Παραμόρφωση θεμελίου

Εύρεση αιτίας, επέμβαση και νέα ευθυγράμμιση μηχανής

• Πολύ γράσο στα έδρανα

Αφαίρεση του γράσου που περισσεύει

• Θερμοκρασία ψυκτικού υγρού υπερβαίνει τους 40 °C

Λιπανση τον ρουλεμαν με ειδικογραφζο

• Τρόχισμα δακτυλίου V ή Γ

Αντικατάσταση δακτυλίου V ή Γ, τήρηση καθωρισμένης απόστασης συναρμολόγησης

• • Ανεπαρκές γρασάρισμα

Γρασάρισμα σύμφωνα με τους κανονισμούς

• • Τα έδρανα έχουν διαβρωθεί

Αντικατάσταση εδράνων

• • Τα έδρανα έχουν λίγο „αέρα“

Τοποθέτηση εδράνων με περισσότερο „αέρα“

• Τα έδρανα έχουν πολύ „αέρα“

Τοποθέτηση εδράνων με λιγότερο „αέρα“

• Ιχνη ραβδώσεων στην τροχιά

Αντικατάσταση εδράνων

• Αυλακώσεις

Αντικατάσταση εδράνων

• Υποφορτισμένα ρουλεμάν εδράνου

Αλλαγή έδρασης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή

• Οσυμπλέκτης πιέζει ή τραβάει

Νέα ευθυγράμμιση μηχανής

• Ο ιμάντας είναι πολύ τεντωμένος

Ρύθμιση ιμάντα σύμφωνα με τους κανονισμούς

• • Το έδρανο έχει στραβώσει ή δεν κινείται

Ελεγχος διάτρησης εδράνου, ελάτε σε επαφή με τον κατασκευαστή

2.3 Συντήρηση

Όσον αφορά τη συντήρηση του κινητήρα, αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Έλεγχος στα έδρανα για τυχόν εμφάνιση σκουριάς , έλλειψης γράσου ή ακόμη και φθοράς αυτών.
2. Έλεγχος για τυχόν εμφάνιση σκουριάς πάνω στον ίδιο τον κινητήρα, από τον οποίο θα πρέπει να αφαιρείται άμεσα.
3. Έλεγχος στη γείωση του κινητήρα.
4. Έλεγχος για τυχόν υγρασία πάνω στα τυλίγματα του στάτη. Στη περίπτωση της μη αποδεκτής υγρασίας, πρέπει να ακολουθείται η διαδικασία στεγνώματος του κινητήρα.
5. Έλεγχος στη σωστή ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα της οδηγούμενης μηχανής. Μειώνουμε κατά αυτόν τον τρόπο τους κραδασμούς ή τις πιέσεις στον άξονα, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης ή της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.
6. Έλεγχος στη ζυγοστάθμιση της τροχαλίας που είναι εφαρμοσμένη πάνω στον άξονα του κινητήρα. Στη περίπτωση που έχουμε κίνηση με ιμάντα ελέγχουμε το τέντωμα του ιμάντα.
7. Έλεγχος για πιθανή ύπαρξη σκόνης ή ξένων σωμάτων εντός του κινητήρα.
8. Έλεγχος στην αντίσταση της μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη με τη χρήση του οργάνου Μέγγερ, αλλά και στην αντίσταση που θα πρέπει να υπάρχει μεταξύ τυλιγμάτων και γης.
9. Έλεγχος στη σύσφιξη των ακροδεκτών των αγωγών πάνω στο ακροκιβώτιο, όπου καταλήγουν τα έξι άκρα των τυλιγμάτων του στάτη.

10. Έλεγχος στα καλύμματα (καπάκια) του κινητήρα αλλά και στον εξαερισμό του χώρου στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο κινητήρας.
11. Έλεγχος στη ταχύτητα κραδασμών του κινητήρα. Η ταχύτητα κραδασμών στη σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 4,5mm/sec.
12. Έλεγχος στη θερμοκρασία των διαφόρων τμημάτων του κινητήρα, όπως είναι τα τυλίγματα και τα έδρανα, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης αλλά και της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.
13. Καθαρισμός των καναλιών αερισμού του κινητήρα, αλλά και του πλέγματος του καλύμματος του ανεμιστήρα ψύξης.
14. Οι ψήκτρες των δακτυλιοφόρων κινητήρων πρέπει να αντικαθίστανται όταν το ύψος της ψήκτρας έχει μειωθεί κατά 60%. Εάν π.χ το αρχικό ύψος της ψήκτρας είναι 40mm αυτή πρέπει να αντικατασταθεί όταν το ύψος της φτάσει στα 16mm.
15. Στους κινητήρες μεγάλης ισχύος είναι σκόπιμο να διατηρούμε κατάσταση ωρών λειτουργίας και αριθμού εκκινήσεων.
16. Αν ο κινητήρας τεθεί σε λειτουργία ύστερα από την πάροδο 3 ετών από την ημερομηνία παράδοσης από τον κατασκευαστή θα πρέπει να γίνει υποχρεωτικά αλλαγή του γράσου εδράνων χωρίς δεύτερο έλεγχο. Σε κινητήρες με καλυμμένα ή στεγανά έδρανα μετά από ένα χρονικό διάστημα αποθήκευσης 4 ετών θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση των παλιών εδράνων με νέα ίδιου τύπου. Η ποιότητα του λιπαντικού επιτρέπει υπό κανονικές συνθήκες καταπόνησης και περιβάλλοντος μία λειτουργία του κινητήρα περίπου 10.000 ωρών στον διπολικό τύπο και 20.000 ωρών στον πολυπολικό χωρίς ανανέωση του λιπαντικού και εφόσον δεν έχει συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό. Η κατάσταση του λιπαντικού θα πρέπει όμως να ελέγχεται κατά καιρούς και πριν από την εξάντληση του ορίου.

Ανεξάρτητα από τις ώρες λειτουργίας, θα πρέπει, για έδρανα μόνιμης λίπανσης, λόγω της μείωσης της ικανότητας λίπανσης, να αντικαθίστανται τα έδρανα ή το γράσο έπειτα από περίπου 3 χρόνια.

Η επαναλίπανση των εδράνων γίνεται με λιπαντικό από το ίδιο είδος και αφού αυτά προηγουμένως καθαριστούν καλά με το κατάλληλο διαλυτικό. Ο αναφερόμενος αριθμός ωρών λειτουργίας ισχύει μόνον για λειτουργία κινητήρων με ονομαστικό αριθμό στροφών.

Στη λειτουργία με μετατροπέα, λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης του κινητήρα, τα αναγραφόμενα διαστήματα λίπανσης πρέπει να μειώνονται κατά 25% περίπου. Σε περίπτωση που υπάρχει μετατροπέας συχνότητας και κατά τη λειτουργία του κινητήρα γίνεται υπέρβαση του ονομαστικού αριθμού στροφών του κινητήρα, τότε η προθεσμία επαναλίπανσης μειώνεται κατά την αντίστροφη περίπου αναλογία ως προς την αύξηση του αριθμού στροφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ

3.1 Ιστορία της θερμογραφίας

Πριν από 200 χρόνια, κανείς δεν μπορούσε να φανταστεί την ύπαρξη του υπέρυθρου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ανακάλυψη έγινε συμπτωματικά το 1800 κατά τη διάρκεια έρευνας πάνω σε ένα καινούργιο οπτικό υλικό. Ο Sir Frederick William Herschel (1738–1822), Βασιλικός Αστρονόμος του Βασιλιά Γεωργίου του III της Αγγλίας και ήδη διάσημος για την ανακάλυψη του πλανήτη Ουρανού, αναζητούσε ένα υλικό οπτικού φίλτρου που θα μείωνε τη φωτεινότητα της εικόνας του ήλιου στα τηλεσκόπια κατά την παρατήρηση της ηλιακής επιφάνειας. Καθώς δοκίμαζε διάφορα δείγματα έγχρωμου γυαλιού, τα οποία έδιναν παρόμοιες μειώσεις της φωτεινότητας, εντυπωσιάστηκε όταν ανακάλυψε ότι μερικά από τα δείγματα άφηναν να περάσει ελάχιστη από τη θερμότητα του ήλιου, ενώ άλλα άφηναν να περάσει τόσο πολλή θερμότητα που κινδύνευε το μάτι μετά από ελάχιστα λεπτά παρατήρησης. Ο Herschel οδήγησε λοιπόν το ηλιακό φως με ένα γυάλινο πρίσμα για να δημιουργήσει ένα φάσμα των ορατών χρωμάτων και στη συνέχεια μέτρησε τη θερμοκρασία του κάθε χρώματος. Όπως μετρούσε τις θερμοκρασίες για το ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και ερυθρό φως, διαπίστωσε ότι οι θερμοκρασίες των χρωμάτων αυξάνονταν από το ιώδες προς το ερυθρό. Μετακινώντας το θερμόμετρο στη σκοτεινή περιοχή πέρα από το ερυθρό άκρο του φάσματος, με έκπληξη διαπίστωσε ότι στην περιοχή αυτή η θερμοκρασία συνέχιζε να αυξάνει. Εντόπισε το σημείο μεγιστοποίησης της θερμοκρασίας, το οποίο βρισκόταν αρκετά πέρα από το ερυθρό άκρο του φάσματος, στην περιοχή που σήμερα είναι γνωστή ως «υπέρυθρα μήκη κύματος». Ο Herschel ονόμασε το νέο αυτό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος «θερμομετρικό φάσμα» και την ακτινοβολία «σκοτεινή θερμότητα» ή «αόρατες ακτίνες» γιατί δεν φαινόταν με γυμνό μάτι. Η επινόηση του όρου «υπέρυθρες» δεν αποδίδεται στον Herschel. Ο όρος αυτός άρχισε να εμφανίζεται σε έντυπες εκδόσεις σχεδόν 75 χρόνια αργότερα και εξακολουθεί ακόμη και σήμερα να αγνοείται το όνομα εκείνου που τον καθιέρωσε. Το 1830, ο Ιταλός ερευνητής Macedonio Melloni (1798–1854) συνέχισε την έρευνα του Sir William Herschel και ανακάλυψε ότι κρύσταλλοι ορυκτού άλατος παρήγαγαν διαθλάσεις του θερμικού φάσματος. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στην προτυποποίηση της έρευνας του υπέρυθρου. Το 1840, ο Sir John Herschel (1792–1871), γιος του Sir William, κατάφερε για πρώτη φορά να λάβει μια πρωτόγονη καταγραφή της θερμικής

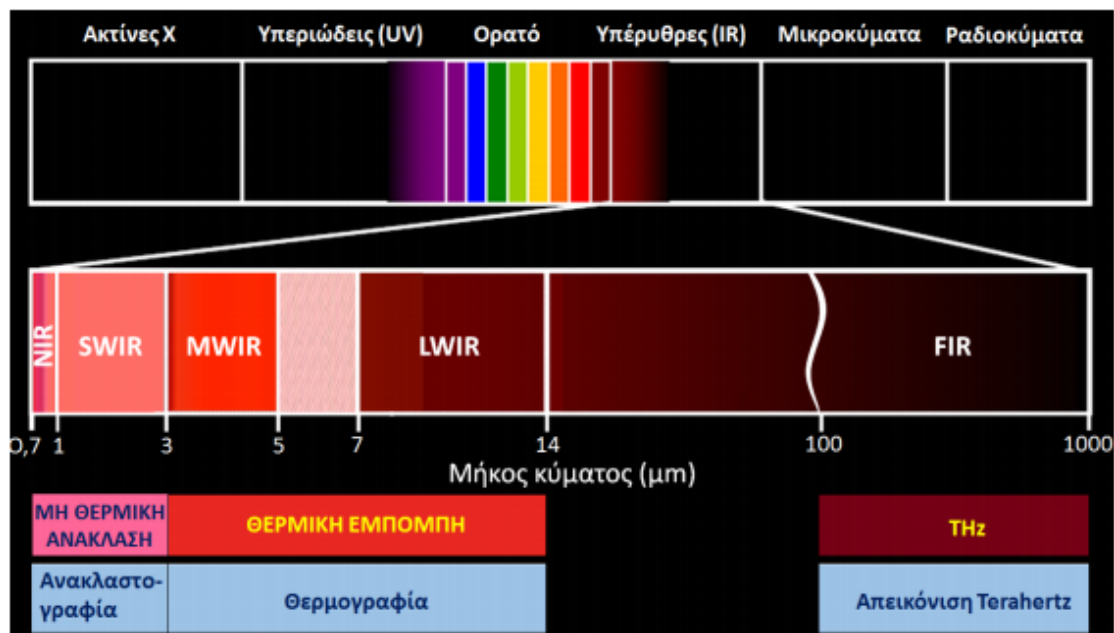
φωτογραφίας σε χαρτί, που την ονόμασε «θερμογράφημα». Η επόμενη σημαντική επιστημονική επιτυχία στον τομέα της υπέρυθρης ακτινοβολίας έγινε το 1880, όταν ο Samuel Pierpont Langley (1834–1906) ανακάλυψε το βολόμετρο (bolometer), που επέτρεψε στους ερευνητές να μετρήσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τότε, το 1892, ο Sir James Dewar εισήγαγε τη χρήση υγροποιημένων αερίων για την αύξηση της ευαισθησίας των ανιχνευτών υπέρυθρου. Κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο, επιστήμονες άρχισαν να ανακαλύπτουν τις στρατιωτικές εφαρμογές της ανίχνευσης υπέρυθρου και της θερμογραφίας, έτσι η σχετική έρευνα θεωρήθηκε ως διαβαθμισμένη και παρέμεινε με τη μορφή αυτή έως το τέλος του πολέμου. Μετά τον πόλεμο, η έρευνα για ειρηνικές εφαρμογές της τεχνολογίας άρχισε και πάλι και την περίοδο ανάμεσα στους δυο παγκόσμιους πολέμους έγινε η επόμενη σημαντική ανακάλυψη. Το 1935, η Γερμανική εταιρεία AEG (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft – Εταιρεία Γενικού Ηλεκτρισμού) ανακάλυψε την τεχνολογία της νυχτερινής όρασης. Αυτή η εξέλιξη είχε προφανείς στρατιωτικές εφαρμογές, συνεπώς η τεχνολογία διαβαθμίστηκε και πάλι τόσο από τον Γερμανικό άξονα όσο και από τις συμμαχικές δυνάμεις, και παρέμεινε έτσι μέχρι το 1955. Κατά τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1960, η τεχνολογία της θερμογραφίας άρχισε να βρίσκει μη στρατιωτικές εφαρμογές. Οι πρώτες θερμοκάμερες ήταν ογκώδεις, ανακριβείς και ακριβές, και χρησιμοποιούταν μόνο από τις μεγαλύτερες εταιρείες. Όμως, μέχρι τη δεκαετία του 1990, η τεχνολογία προχώρησε αρκετά και οι θερμικές κάμερες νέας γενιάς έγιναν μικρότερες, πολύ αξιόπιστες, και πολύ μικρότερου κόστους .

3.2 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε ζώνες διαφορετικών μηκών κύματος, οι οποίες διακρίνονται μεταξύ τους ανάλογα με την ακτινοβολία που παράγουν. Όλοι οι τύποι ακτινοβολίας που αντιστοιχούν στις διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτίνες Χ, υπεριώδεις – UV, ορατό φως, υπέρυθρες – IR , μικροκύματα, ραδιοκύματα) διέπονται από τους ίδιους φυσικούς νόμους και οι μόνες τους διαφορές είναι εκείνες που οφείλονται στο διαφορετικό τους μήκος κύματος. Όπως φαίνεται στην εικόνα 6, η θερμογραφία αξιοποιεί τη ζώνη της υπέρυθρης ακτινοβολίας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Στην πλευρά των μικρότερων μηκών κύματος, το σύνορο της ζώνης των υπέρυθρων βρίσκεται στο όριο του ορατού φάσματος, στο βαθύ κόκκινο. Στην πλευρά των μεγαλύτερων μηκών κύματος, η ζώνη των υπέρυθρων συγχωνεύεται με τα μήκη κύματος της ζώνης των μικροκυμάτων, της τάξης του χιλιοστού. Η ζώνη των υπέρυθρων συχνά υποδιαιρείται σε πέντε μικρότερες ζώνες, τα

όρια των οποίων έχουν επίσης επιλεγεί με αυθαίρετο τρόπο. Αυτές είναι: η ζώνη των εγγύς υπερέρυθρων (Near Infrared – NIR) με μήκη κύματος 0,7–1 μm , η ζώνη υπερέρυθρων βραχείας μήκους κύματος (Short Wave Infrared – SWIR) με μήκη κύματος 1–3 μm , η ζώνη υπερέρυθρων μεσαίου μήκους κύματος (Medium Wave Infrared – MWIR) με μήκη κύματος 3–5 μm , η ζώνη υπερέρυθρων μακρού μήκους κύματος (Long Wave Infrared – LWIR) με μήκη κύματος 7–14 μm , και η ζώνη των μακρινών υπερέρυθρων (Far Infrared – FIR) με μήκη κύματος 100–1000 μm . Οι ζώνες NIR και SWIR περιλαμβάνουν τις μη θερμικές ανακλάσεις. Η ανακλαστογραφία υπερέρυθρου μικρού μήκους κύματος είναι η μέθοδος που βασίζεται στην καταγραφή της ανακλώμενης μη θερμικής ακτινοβολίας στο NIR και SWIR. Στη ζώνη FIR τα μήκη κύματος είναι της τάξης των Terahertz (THz) και η απεικόνιση Terahertz είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί τέτοια μήκη κύματος. Τέλος, η κλασική υπέρυθη θερμογραφία περιλαμβάνει τις ζώνες, όπου συμβαίνει θερμική εκπομπή (MWIR και LWIR).



Εικόνα 5: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: Ακτίνες Χ, Υπεριώδεις (UV), Ορατό φως, Υπέρυθρες (IR), Μικροκύματα, Ραδιοκύματα. Ζώνη υπερέρυθρων: Εγγύς (NIR), Βραχεία μήκη κύματος (SWIR), Μεσαία μήκη κύματος (MWIR), Μακρά μήκη κύματος (LWIR), Μακρινές (FIR)

Το υπέρυθρο φως απορροφάται από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της γης. Η απορρόφηση από τα μόρια αυτά παρουσιάζεται σε ορισμένες ζώνες μηκών κύματος. Η ζώνη από 5-7 μm (βλ. Σχ.) είναι ένα παράθυρο

χαμηλής ατμοσφαιρικής διαπερατότητας για την υπέρυθρη ακτινοβολία.

3.3 Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας

Για την κατανόηση της θερμογραφίας είναι σημαντική η γνώση των μηχανισμών διάδοσης της θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να διαδοθεί από ένα θερμό σε ένα ψυχρό σώμα με αγωγή (conduction), με θερμική μεταβίβαση (convection), ή με ακτινοβολία (radiation). Στο Σχήμα 12 παρουσιάζονται οι τρεις τρόποι διάδοσης της θερμότητας για ένα υλικό.



Σχήμα 12: Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας για ένα υλικό.

3.3.1 Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

Η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή μέσω της μάζας των σωμάτων. Η δυσκολία μεταφοράς της θερμότητας μέσω ενός σώματος εξαρτάται από την αγωγιμότητά του. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι δείκτης της ικανότητας μεταφοράς θερμότητας ενός υλικού μέσω της μάζας του. Καλοί αγωγοί της θερμότητας είναι για παράδειγμα τα μέταλλα, ενώ τα πλαστικά, το ξύλο και ο αέρας είναι, αντίθετα, κακοί αγωγοί της θερμότητας. Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή έχει ως συνέπεια την απώλεια θερμότητας από ένα δοκίμιο 13. Η ποσότητα της θερμότητας, Q , που μεταφέρεται με αγωγή ακολουθεί το νόμο του Fourier:

$$Q = \frac{k}{d} F (t_1 - t_2) a$$

όπου:

k = θερμική αγωγιμότητα (thermal conductivity) του υλικού

F = εμβαδόν της επιφάνειας του δοκιμίου

t_1 = θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου

t_2 = θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου

d = πάχος του υλικού

a = χρόνος ροής της θερμότητας

Η εξίσωση, μαζί με το νόμο της διατήρησης της ενέργειας, οδηγεί στην παραβολική εξίσωση διάχυσης της θερμότητας, η οποία με απουσία εσωτερικών πηγών θερμότητας έχει τη μορφή:

$$\nabla^2 T - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

όπου,

α : είναι η θερμική διαχυτικότητα (thermal diffusivity), η οποία σχετίζεται με την θερμική αγωγιμότητα, k , με τη σχέση $k = \rho \cdot c \cdot \alpha$, όπου,

ρ : είναι η πυκνότητα και

c : είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα (specific heat capacity) ή ειδική θερμότητα (specific heat).

3.3.2 Μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση

Η θερμότητα σε ένα ρευστό μεταφέρεται μέσω της μάζας του, με την κίνηση της. Αν η κίνηση γίνεται σε μέσο, όπου υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές (ο κρύος αέρας κινείται προς τα κάτω, ενώ ο ζεστός αέρας κινείται προς τα πάνω) ονομάζουμε την κίνηση αυτή φυσική διάχυση, όταν όμως η κίνηση γίνεται βεβιασμένα (π.χ. με χρήση ανεμιστήρων, κλπ.) την ονομάζουμε βίαιη διάχυση. Η μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση είναι ένα μακροσκοπικό φαινόμενο και παρατηρείται κατά την διάχυση των ρευστών. Η διαφορά πυκνοτήτων διαφόρων ρευστών προκαλεί φυσική διάχυση. Αντίστοιχα, η μηχανική ανάμειξη προκαλεί

βεβιασμένη διάχυση. Μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση παρατηρείται και μεταξύ ρευστού και στερεού σώματος.

3.3.3 Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται, τον συντελεστή εκπομπής τους, και άλλες παραμέτρους. Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται στη γη αποκλειστικά με αυτόν τον τρόπο. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και δεν απαιτείται η παρουσία ενός ενδιάμεσου υλικού. Όταν θερμική ακτινοβολία προσπέσει σε ένα σώμα, ή θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί ή θα μεταφερθεί. Η θερμότητα που απορροφάται εμφανίζεται ως αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Θερμική ακτινοβολία είναι ο ρυθμός με τον οποίο ενέργεια εκπέμπεται από ένα σώμα ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας στην οποία αυτό βρίσκεται. Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα που βρίσκονται πάνω από μηδέν βαθμούς Kelvin ($K = ^\circ C + 273$). Όσο αυξάνει η θερμοκρασία ενός σώματος, τόσο περισσότερη ενέργεια ακτινοβολείται. Για την περιγραφή των χαρακτηριστικών της θερμικής ακτινοβολίας από πραγματικές επιφάνειες, είναι χρήσιμο να συγκρίνουμε την επιφάνεια με το μέλαν σώμα (black body).

Το μέλαν σώμα είναι μια ιδανική επιφάνεια που απορροφά τέλεια τη θερμότητα, άρα και εκπέμπει τέλεια τη θερμότητα. Είναι λοιπόν ένα πρότυπο με το οποίο πρέπει να συγκριθούν οι ιδιότητες ακτινοβολίας μιας επιφάνειας. Ο νόμος μετατόπισης του Wien δίνει τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και μήκους κύματος της επιφάνειας ενός μέλανος σώματος:

$$\lambda_{max}T = C$$

όπου, $C = 2897,6 \mu m \cdot K$ (σταθερά).

Σύμφωνα με το νόμο του Wien, η μέγιστη φασματική ισχύς εκπομπής μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ποσότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας, W , που εκπέμπεται από ένα σώμα όταν σε αυτό προσπίπτει ακτινοβολία ακολουθεί το νόμο Stefan – Boltzmann

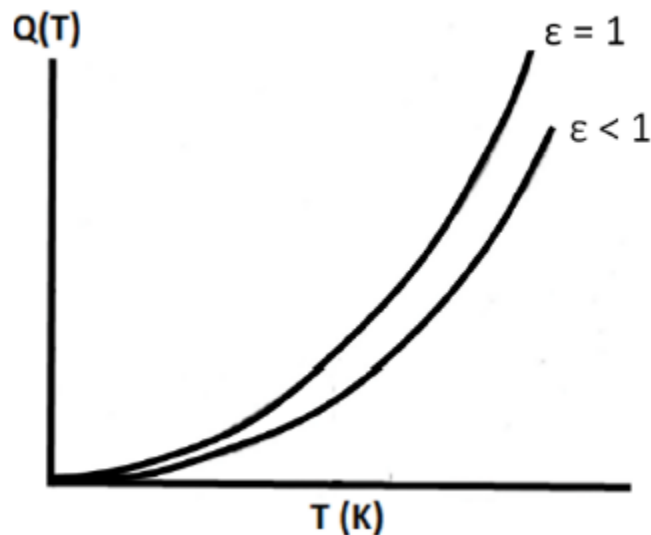
$$W(T) = \varepsilon \sigma T^4$$

όπου: W = εκπεμπόμενη ενέργεια [W/m^2]

ε = συντελεστής εκπομπής ή εκπεμπτικότητα (emissivity) του υλικού [αδιάστατο]

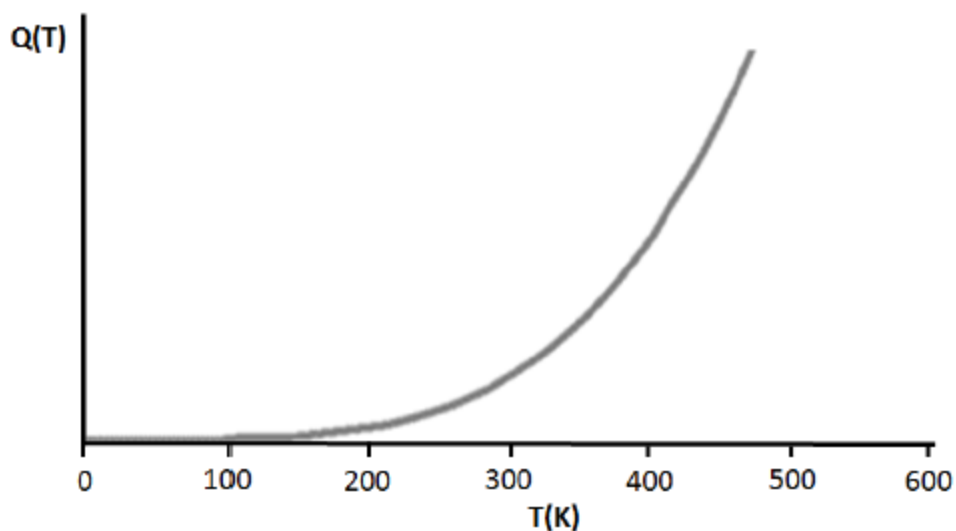
σ = σταθερά Stefan – Boltzmann [$5,67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$]

T = απόλυτη θερμοκρασία [K]



Σχήμα 13: Σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία, την εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία και τον συντελεστή εκπομπής.

Ο συντελεστής εκπομπής είναι ιδιότητα του υλικού και ισούται με τη μονάδα για το μέλαν σώμα (επειδή εκπέμπει κατά 100% τη θερμότητα). Η σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία για το μέλαν σώμα φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 14: Σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία για τα μέλαν σώμα.

Συνεπώς, με βάση την εξίσωση (4.4), η θερμοκρασία της επιφάνειας ενός αντικειμένου μπορεί να υπολογιστεί αν μετρηθεί η εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια (δηλ. των υπερύθρων). Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας θα πρέπει να γίνεται διόρθωση λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος 14, διότι η θερμοκρασία ενός αντικειμένου που μετράμε με τη μέθοδο της θερμογραφίας βρίσκεται συνήθως μικρότερη της πραγματικής θερμοκρασίας, κι αυτό οφείλεται στο συντελεστή εκπομπής του αντικειμένου. Αν η φαινόμενη μέτρηση θερμοκρασίας ενός αντικειμένου με μια θερμική κάμερα είναι T_k , η ακτινοβολία από την επιφάνεια του αντικειμένου εμπεριέχει την εκπομπή θερμότητας από το αντικείμενο, καθώς και την ανάκλαση από την επιφάνεια σύμφωνα με τη σχέση: $W(T_k) = \epsilon(T_k)W(T_k) + (1 - \epsilon(T_k))W(T_s)$ (4.5) όπου: W = εκπεμπόμενη ενέργεια σύμφωνα με το νόμο Stefan – Boltzmann [W/m^2] T_k = φαινόμενη θερμοκρασία της επιφάνειας [K] T_s = πραγματική θερμοκρασία της επιφάνειας [K] ϵ = συντελεστής εκπομπής [αδιάστατο] Με βάση το νόμο του Planck, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν καμπύλες της ενέργειας εκπομπής συναρτήσει της συχνότητας ή του μήκους κύματος για δεδομένη θερμοκρασία. Ο νόμος του Planck περιγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα σε θερμική ισορροπία για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Στο Σχήμα 14, φαίνεται η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα για διαφορετικές θερμοκρασίες. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του σώματος,

τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ενέργειας. Το μήκος κύματος στο οποίο η ενέργεια κορυφώνεται γίνεται ολοένα και βραχύτερο με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε χαμηλές θερμοκρασίες το σύνολο της ενέργειας βρίσκεται στα μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμοκρασία πάνω από το *απόλυτο μηδέν* (-273,15 Celsius) εκπέμπει θερμική υπέρυθη ακτινοβολία. Θερμογραφία είναι η επιστήμη της ανάλυσης των θερμικών δεδομένων που συλλέγονται από ειδικές θερμικές κάμερες, οι οποίες ανιχνεύουν θερμική ακτινοβολία και την απεικονίζουν σε ραδιομετρικές εικόνες. Με την Θερμογραφία δεν μετράται απ'ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας, αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. Έτσι οι υπό επιφανειακές ανωμαλίες στο υλικό, δημιουργούν τοπικές διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία προκαλούμενες από τους διαφορετικούς βαθμούς θερμικής μεταφοράς στις ζώνες που υπάρχουν ατέλειες. Στις μέρες μας, η επιστήμη της θερμογραφίας λόγω της επιτυχίας που έχει, χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία, σε κτιριακές & οικιακές εφαρμογές, στην ναυτιλία και σε πολλές ακόμα εφαρμογές, όπου τα θερμικά πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων.

3.4 Γιατί έχει τόσο μεγάλη επιτυχία η Θερμογραφία

1. Δεν χρειάζεται να έρθει σε επαφή ο εξοπλισμός με το επιθεωρούμενο αντικείμενο – απομακρυσμένη διάγνωση.
 - Ο χρήστης δεν διατρέχει κανένα κίνδυνο
 - Δεν επηρεάζει καθόλου την κανονική λειτουργία του επιθεωρούμενου αντικειμένου.
2. Η απεικόνιση γίνεται σε 2 διαστάσεις:
 - Είναι εφικτή η σύγκριση διαφορετικών περιοχών του στόχου
 - Η εικόνα επιτρέπει την πλήρη ανάλυση του επιθεωρούμενου στόχου.
 - Θερμικά πρότυπα μπορούν να απεικονιστούν και να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση
3. Η επιθεώρηση γίνεται σε πραγματικό χρόνο:
 - Επιτρέπει την γρήγορη ανάλυση σταθερών στόχων
 - Επιτρέπει την επιθεώρηση κινούμενων αντικειμένων
 - Ανιχνεύει σε πραγματικό χρόνο την αλλαγή θερμικών προτύπων.

3.5 Ποιοτική και ποσοτική θερμογραφία

Η ανάλυση μιας εικόνας θερμογραφίας έχει δύο διαφορετικές αρχές. Αυτό που κάνει τη θερμογραφία ένα πραγματικά μοναδικό και χρήσιμο εργαλείο είναι κυρίως η εικόνα. Το γεγονός ότι μπορούμε να δούμε σχέδια και να προσδιορίσουμε την τοποθεσία μιας ανωμαλίας είναι πολύ σημαντικό. Μια απλή ανάγνωση θερμοκρασίας από μόνη της δεν μας δίνει τόσες πληροφορίες. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συζητήσουμε πότε και γιατί μια μέτρηση θερμοκρασίας μπορεί να χρειαστεί και πως μπορεί να φανεί χρήσιμη.

3.5.1 Ποιοτική Θερμογραφία

Η ποιοτική θερμογραφία βασίζεται στην ανάλυση θερμικών σχεδίων για την αποκάλυψη της ύπαρξης και τοποθεσίας ανωμαλιών, και την αξιολόγησή τους.

Με την ποιοτική θερμογραφία, χρησιμοποιούμε την εικόνα για να εντοπίσουμε και να αξιολογήσουμε πιθανά προβλήματα. Εάν δεν τα εντοπίσουμε, δεν έχουμε κάνει τη δουλειά μας, οπότε αυτό είναι πολύ σημαντικό. Αυτός είναι και ο λόγος που επιμένουμε τόσο πολύ σε αυτό το εγχειρίδιο στην κατανόηση της αξιολόγησης των εικόνων.

Κάνουμε ποιοτική ανάλυση όλη την ώρα. Οτιδήποτε βλέπουμε είναι ποιοτικά αναλυμένο, έστω και για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου. Εάν κάτι είναι ξεκάθαρα κανονικό απλά προχωράμε. Εάν κάτι είναι ύποπτο αναλύουμε πιο προσεκτικά. Μερικές φορές, αλλά όχι πάντα, προχωράμε σε ποσοτική ανάλυση.

3.5.2 Ποσοτική Θερμογραφία

Η ποσοτική θερμογραφία χρησιμοποιεί την μέτρηση θερμοκρασίας σαν κριτήριο για να καθορίσει την σοβαρότητα μιας ανωμαλίας με σκοπό να δημιουργήσει προτεραιότητες επιδιόρθωσης.

Όταν εντοπίζεται μια ανωμαλία θα θέλαμε να γνωρίζουμε πόσο σοβαρή είναι. Συνήθως δεν έχουμε αρκετούς πόρους για την άμεση αντιμετώπιση κάθε προβλήματος που έχουμε εντοπίσει. Εάν ήταν αυτό το θέμα η ποιοτική θερμογραφία από μόνη της θα επαρκούσε, και η καταμέτρηση θερμοκρασίας θα ήταν περιττή.

Θέλουμε να ταξινομούμε τα προβλήματα ώστε να τα αντιμετωπίζουμε με σειρά προτεραιότητας ως προς την διαδικασία παραγωγής και της ασφάλειας των ανθρώπων και του εξοπλισμού. Πρέπει να σημειώσουμε, για την αποφυγή παρεξηγήσεων, ότι

επειδή κάτι δεν είναι στην κορυφή της λίστας δεν σημαίνει ότι μπορεί να αγνοηθεί!

Η ποσοτική θερμογραφία παρέχει διάφορα αυστηρά κριτήρια για τον καθορισμό της σοβαρότητας ενός προβλήματος. Άλλα κριτήρια περιλαμβάνουν: φορτίο, εξοπλισμό, κρισιμότητα, ασφάλεια και περιβαλλοντολογικούς παράγοντες όπως ταχύτητα ανέμου.

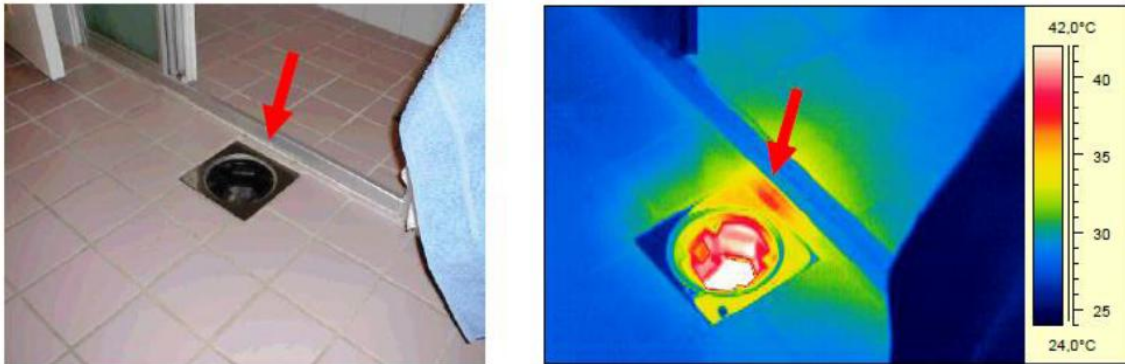
3.5.3 Σύγκριση ποιοτικής και ποσοτικής θερμογραφίας

Εδώ είναι μια γρήγορη σύγκριση χαρακτηριστικών των δύο αρχών.

- Ποιοτική
 - Ανάλυση ΣΧΕΔΙΩΝ στην εικόνα
 - Εύρεση EAN υπάρχει ανωμαλία
 - Εύρεση ΠΟΥ εντοπίζεται
 - Εμφανής θερμοκρασία μόνο
 - Συνήθως γίνεται πρώτη
- Ποσοτική
 - Χρησιμοποιείτε για την βοήθεια ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ σοβαρότητας της ανωμαλίας
 - Περιλαμβάνει μέτρηση θερμοκρασίας
 - Γίνεται προσαρμογή.
 - Δεν είναι και τόσο σχετική.

Παρακάτω θα δείξουμε μερικά παραδείγματα ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης.

Παράδειγμα 1: Ποσοτική

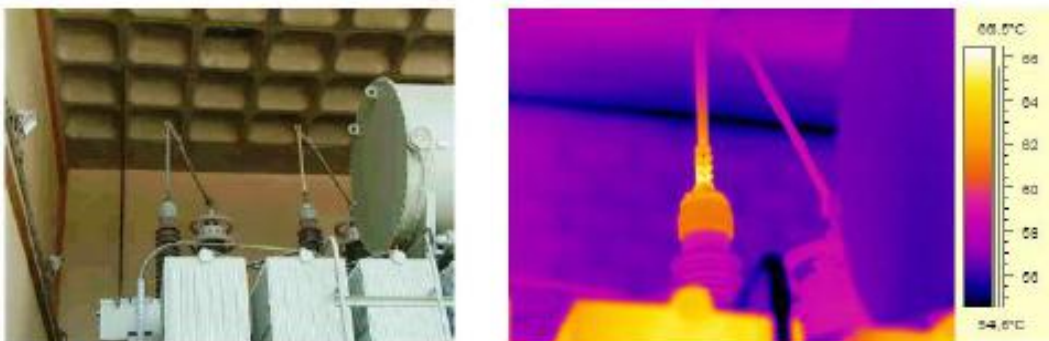


Εικόνα 6: Πάτωμα τουαλέτας με υποψία διαρροής νερού

Στην πρώτη περίπτωση παρακολουθούμε ένα πάτωμα μπάνιου. Θέλουμε να απαντήσουμε στο ερώτημα: ΥΠΑΡΧΕΙ διαρροή στο πάτωμα του μπάνιου? Και αν υπάρχει ΠΟΥ είναι? Αναλύουμε το σχέδιο και βλέπουμε ότι είναι ύποπτο. Αυτό είναι σχετικό η θερμοκρασία της διαρροής νερού όμως δεν είναι σχετική! Τα πραγματικά επίπεδα θερμοκρασίας της διαρροής νερού δεν είναι τόσο ενδιαφέροντα, γιατί δεν παίρνουμε πληροφορίες για να κατατάξουμε το πρόβλημα. Σε αυτό το παράδειγμα, μόνο η ποιοτική ανάλυση είναι σχετική.

Παράδειγμα 2: Ποιοτική

Στην δεύτερη περίπτωση, και η ποιοτική και η ποσοτική θα αποδειχθούν σχετικές. Οι πρώτες ερωτήσεις είναι : ΥΠΑΡΧΕΙ ζεστή σύνδεση στο μετασχηματιστή? Αν υπάρχει ΠΟΥ είναι?

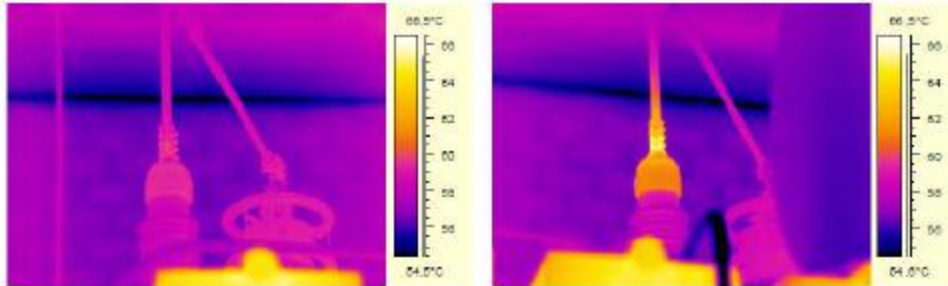


Εικόνα 7: Σύνδεση μετασχηματιστή με ύποπτο θερμικό σχέδιο

Το σχέδιο που βλέπουμε στην σύνδεση είναι σχετική. Η σύνδεση είναι ζεστή και έχει θερμοκή κλίση κατά μήκος του αγωγού. Αυτό το σχέδιο από μόνο του είναι ύποπτο.

Παράδειγμα 3: Ποιοτική

Για να αναλύσουμε περαιτέρω το πρόβλημα, το συγκρίνουμε με την διπλανή φάση.

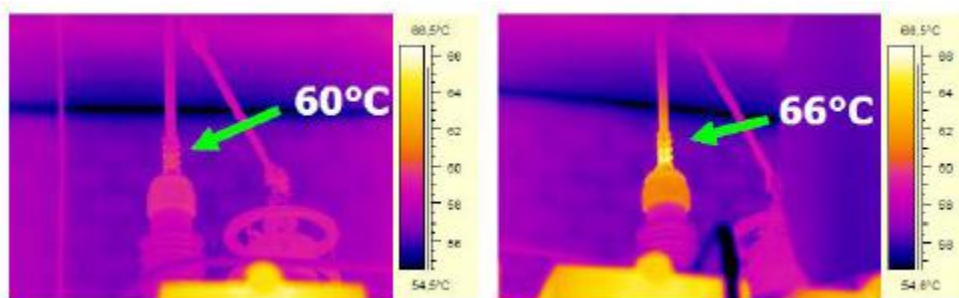


Εικόνα 8: Σύγκριση κανονικά συστατικά

Βλέπουμε ότι τα σχέδια είναι εντελώς διαφορετικά στις δύο συνδέσεις, που διαπιστώνει την υποψία μας περαιτέρω. Η δροσερή σύνδεση δεν έχει ύποπτο σχέδιο, και συμπεραίνουμε ότι είναι κανονική. Το φορτίο σε αυτή την περίπτωση είναι κοντά στο 100%.

Παράδειγμα 4: Ποσοτική

Ακόμα θέλουμε να απαντήσουμε στην ερώτηση: Πόσο άσχημα είναι? Πότε χρειάζεται επισκευή? Εκεί έρχεται η ποσοτική ανάλυση. Οι θερμοκρασίες της ζεστής σύνδεσης συγκρινόμενες με την υποτιθέμενη 'κανονική', σχετίζονται!



Εικόνα 9: Θερμοκρασίες μετρημένες και στις δύο συνδέσεις.

3.6 Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας

3.6.1 Στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας είναι απαραίτητες, για την αξιοπιστία τους, την ασφάλεια και την αποφυγή ξαφνικών βλαβών (brakedowns). Στις περιπτώσεις, όπου δεν είναι εφικτό το αισθητήριο του μετρητικού οργάνου να έλθει σε επαφή με το επιθυμητό σημείο, που θέλουμε να μετρήσουμε, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την υπέρυθη θερμογραφία.

Συνήθως την υπέρυθη θερμογραφία την εφαρμόζουμε για να πάρουμε μετρήσεις από τμήματα του εξοπλισμού που :

- Βρίσκονται υπό τάση ηλεκτρικού ρεύματος.
- Κινούνται, περιστρέφονται ή δονούνται (άξονες, έδρανα, κινητήρες κ.λπ.).
- Η θερμοκρασία παρουσιάζει ανομοιόμορφη κατανομή και απότομες αλλαγές (καυστήρες, εναλλάκτες θερμότητας, τύμπανα ξήρανσης κ.λπ.).
- Υπάρχουν στερεά υγρά και αέρια σε υψηλές θερμοκρασίες (λέβητες, φλογοθάλαμοι, καπνοδόχοι, δίκτυο ατμού, δεξαμενές, αεραγωγοί κ.λπ.).
- Βρίσκονται σε σημεία, που δεν μπορούμε να τα πλησιάσουμε (κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, σε μεγάλο ύψος, όπως μεγάλες δεξαμενές, υπόγεια δίκτυα, μονώσεις σωληνώσεων και δεξαμενών κ.λπ.).

3.6.2 Άλλες εφαρμογές ανίχνευσης και επεξεργασίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας

- Στα κτίρια για ανίχνευση:
 - σημείων των δομικών στοιχείων, όπου υπάρχουν απώλειες θερμότητας και καταστροφή της μόνωσης,
 - διαρροών σε σωληνώσεις, που βρίσκονται εντός δαπέδων και τοίχων,
 - σημείων υγρασίας και διαρροών στις στέγες.
- Στη διαστημική τεχνολογία, όπου δορυφόροι καταγράφουν και επεξεργάζονται την εκπεμπόμενη και την ανακλώμενη ακτινοβολία από πλανήτες, γαλαξίες, κομήτες και δίνουν ακριβείς εικόνες από την επιφάνειά τους.
- Στην αεροναυπηγική, για ανίχνευση βλαβών στα διάφορα συστήματα των αεροσκαφών, ανίχνευση υγρασίας και πάγου στα πτερύγια ελέγχου των αεροσκαφών σε εσωτερικά σημεία που δεν είναι ορατά. • Στις δυνάμεις καταστολής (αστυνομία-στρατός), για ανίχνευση και

εντοπισμό τρομοκρατών, εχθρικών στόχων και ιδίως την νύκτα.

- Στην ανεύρεση εγκλωβισμένων ανθρώπων (σε δάση, σε πυρκαγιές κτιρίων κ.λπ.).
- Σε περιβαλλοντολογικές εφαρμογές, όπως εντοπισμό και έλεγχο διαρροών λιπαντικών, χημικών ουσιών, πετρελαίου, εντοπισμό και έλεγχο πυρκαγιών από αέρα, παρακολούθηση μετεωρολογικών φαινομένων κ.λπ.
- Στην Ιατρική, για εκτίμηση τραυμάτων, για διάγνωση και εκτίμηση διαφόρων ασθενειών (αρθρίτιδα, καρκίνων μαστού κ.λπ.), για τον έλεγχο διακύμανσης της θερμοκρασίας στα διάφορα μέρη του ανθρωπίνου σώματος κ.λπ. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το φίδι κροταλίας έχει αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, με τους οποίους μπορεί να ανιχνεύσει ζώα για την τροφή του, τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και είναι κρυμμένα από φυσικά εμπόδια, ακόμα και στο σκοτάδι.

3.7 Προβλεπτική συντήρηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

Η Θερμογραφία υπερύθρων εξελίσσεται στο πλέον αξιόπιστο διαγνωστικό εργαλείο, που χρησιμοποιείται στην προβλεπτική συντήρηση (predictive maintenance) του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Με αυτή τη μέθοδο μπορεί να ελεγχθεί γρήγορα και αποτελεσματικά, εξοπλισμός εσωτερικού χώρου (όπως μετασχηματιστές, χειριστήρια μηχανών, πίνακες υποδιανομών, διακόπτες, ασφαλειοδιακόπτες, ρελέ, ακροδέκτες, πηνία, κινητήρες κ.λπ.), αλλά και εξωτερικού χώρου (όπως υποσταθμοί, μηχανισμοί παρεμβολής, μετασχηματιστές, εναέρια δίκτυα κ.λπ.).

Κάθε τμήμα του εξοπλισμού, που μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια, πριν υποστεί βλάβη, παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενη θερμοκρασία, που δεν είναι ορατή από το ανθρώπινο μάτι. Μέσω της θερμογραφίας υπερύθρων ανιχνεύουμε τα σημεία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, που πρόκειται να δημιουργηθεί βλάβη, τα οποία δεν ανιχνεύονται με άλλο τρόπο, έτσι μπορούμε προγραμματίζοντας να προβούμε έγκαιρα σε διορθωτικές ενέργειες πριν το τελικό στάδιο της βλάβης και την ολοκληρωτική καταστροφή του εξοπλισμού.

Μια βλάβη σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό έχει τα παρακάτω αποτελέσματα :

- Ξαφνικό σταμάτημα παραγωγικής διαδικασίας.

- Κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος σε εργαζόμενους.
- Κίνδυνος πρόκλησης βραχυκυκλώματος και πυρκαγιάς με περαιτέρω απώλειες περιουσιακών στοιχείων.
- Αντικατάσταση τμήματος του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της θερμογραφίας υπερύθρων, είναι ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνται, ενώ ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός είναι υπό φορτίο (πλήρη λειτουργία), χωρίς το διαγνωστικό όργανο (κάμερα υπερύθρων) να έλθει σε επαφή με τον εξοπλισμό. Μπορούμε λοιπόν, εύκολα και άμεσα, να ελέγξουμε τμηματικά όλο τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό υπό φορτίο, από ασφαλή απόσταση και με ασφαλή τρόπο να κάνουμε την διάγνωση μέσω του θερμογραφήματος. Από τον έλεγχο αυτό θα προκύψουν ότι πρέπει να επισκευαστούν μόνο αυτά τα σημεία του εξοπλισμού που υπάρχει πιθανότητα μελλοντικής βλάβης.

Με τη χρήση της θερμογραφίας υπερύθρων σαν διαγνωστικό εργαλείο της προβλεπτικής συντήρησης του ηλεκτρικού εξοπλισμού, καταργούμε τους παραδοσιακούς τρόπους συντήρησής του, με σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης, αύξηση της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας του και το κυριότερο αποφυγή κινδύνου πρόκλησης ατυχήματος σε ανθρώπινο δυναμικό και σε εξοπλισμούς. Για παράδειγμα, η συστηματική σύσφιξη όλων των ακροδεκτών μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, αφ' ενός απαιτεί μεγάλο αριθμό εργατωρών, αφ' ετέρου μπορεί να καταλήξει σε καταστροφή των ακροδεκτών (λόγω της υπερβολικής ροπής σύσφιξης). Αποτέλεσμα αυτού είναι το πολύ μεγάλο κόστος συντήρησης για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, χωρίς όμως να έχουμε επιτύχει αύξηση της αξιοπιστίας του. Επειδή η αύξηση του βαθμού επικινδυνότητας σχετίζεται με τις ανιχνευθείσες ανόδους της θερμοκρασίας, με τη χρήση της θερμογραφίας υπερύθρων μπορούμε να διαβαθμίσουμε τον κίνδυνο βλάβης στα συγκεκριμένα σημεία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και να προγραμματίσουμε το χρονικό περιθώριο επέμβασης για επίλυση των προβλημάτων, πριν από τη δημιουργία απωλειών του εξοπλισμού και διακοπή της λειτουργίας του. Τα προβλήματα, που παρατηρούνται στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό τα οποία μπορούν να εξελιχθούν σε βλάβη είναι τα παρακάτω :

α) Χαλαρές συνδέσεις (σε ακροδέκτες, ασφάλειες κ.λπ.), που οφείλονται σε μικρότερη ροπή σύσφιξης από αυτή που απαιτείται. Σε αυτή την περίπτωση μειώνεται το εμβαδόν επιφανείας στο οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να διαρρεύσει και παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης επαφής. Αυτό προκύπτει και από τη σχέση :

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} [\sigma\epsilon \Omega]$$

όπου :

R: η ηλεκτρική αντίσταση [σε Ω]

ρ : η ειδική αντίσταση σε [σε Ω mm² / m]

ℓ : το μήκος του αγωγού [σε m]

S: η διατομή του αγωγού [σε mm²]

Όταν η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται, η παραγόμενη θερμότητα από ένα σώμα αυξάνεται και κατά συνέπεια και η θερμοκρασία.

Αυτό προκύπτει και από τη σχέση :

$$Q = 0.24 \cdot R \cdot I \cdot t [\sigma\epsilon cal]$$

όπου :

Q: η παραγόμενη θερμότητα [σε cal]

R: η ηλεκτρική αντίσταση [σε Ω]

I: η ένταση του ηλεκτρ. ρεύματος [σε A]

t: ο χρόνος [σε sec]

Αν μια χαλαρή σύνδεση παραμείνει, τότε θα παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, με καταστροφή της σύνδεσης και του εξοπλισμού, που βρίσκεται κοντά στη σύνδεση. Το αποτέλεσμα θα είναι (εκτός του σταματήματος της παραγωγικής διαδικασίας) η πρόκληση βραχυκυκλώματος και ηλεκτρικού τόξου, με άμεσο κίνδυνο ανάπτυξης πυρκαγιάς και ηλεκτροπληξίας των ανθρώπων, που βρίσκονται κοντά στο σημείο αυτό.

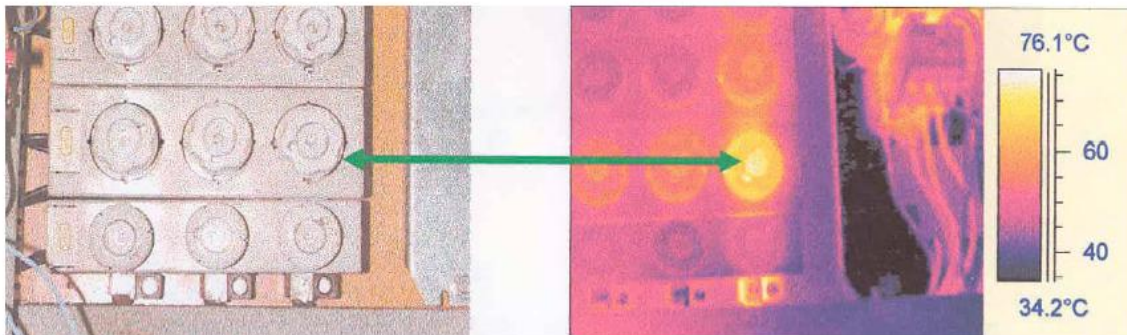
β) Οξειδωση που δημιουργείται στο σημείο σύνδεσης. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης, ανάλογα με το μέγεθος της οξειδωσης. Αν η οξειδωση συνεχιστεί, θα παρατηρηθεί υπερβολική αύξηση και της θερμοκρασίας, με τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

γ) Υπερφορτωμένο κύκλωμα, που δημιουργείται όταν έχει τοποθετηθεί αγωγός μικρότερου διαμετρήματος από αυτόν που έχει σχεδιαστεί, ή όταν κάποια συσκευή του κυκλώματος (π.χ. ηλεκτροκινητήρας) παρουσιάζει υπερφόρτωση. Στην περίπτωση ενός υπερφορτωμένου κυκλώματος θα έχουμε αύξηση της

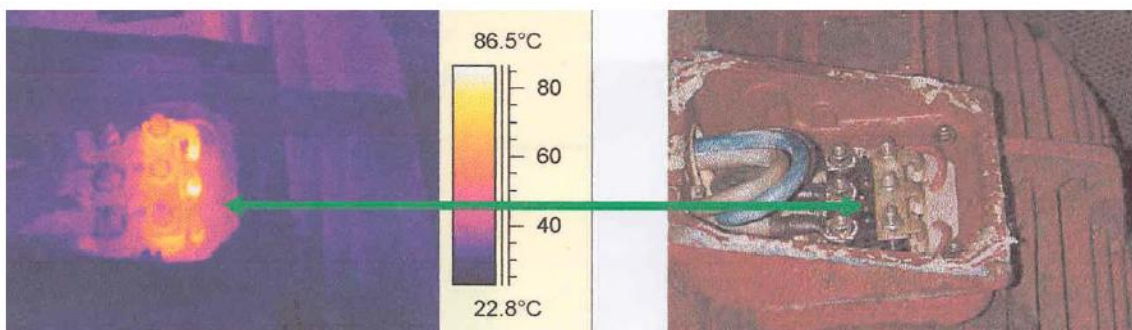
ηλεκτρικής αντίστασης και κατά συνέπεια αύξηση της θερμοκρασίας. Αν το φαινόμενο αυτό συνεχιστεί θα παρατηρηθεί αλλοίωση και σταδιακή καταστροφή της μόνωσης του αγωγού, με αποτέλεσμα, την πρόκληση βραχυκυκλώματος και ηλεκτρικού τόξου με τους γνωστούς συνεπακόλουθους κινδύνους.

δ) Κακή ποιότητα – γήρανση υλικών κατασκευής και μόνωσης των στοιχείων του εξοπλισμού (διακοπών, ρελέ, θερμικών, πηνίων κ.λπ.) που προκαλούν σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας με τα γνωστά αποτελέσματα.

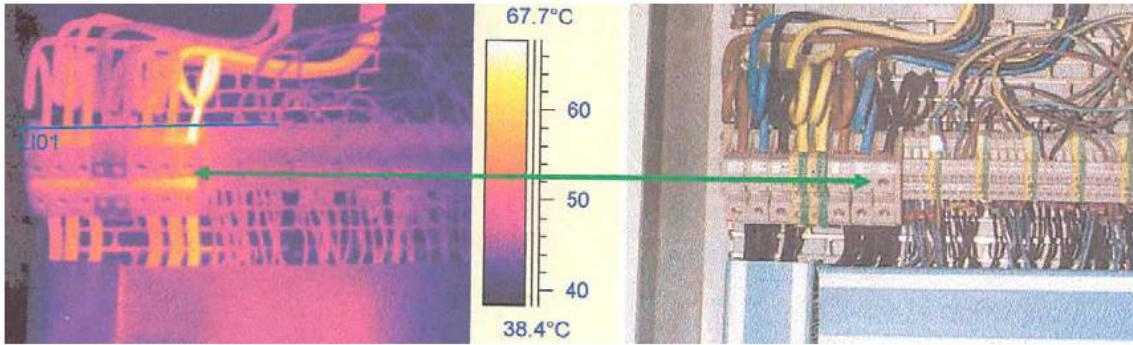
ε) Μείωση της διηλεκτρικής σταθεράς του μονωτικού υλικού των τυλιγμάτων στους μετασχηματιστές και τους κινητήρες. Συνέπεια αυτού του φαινομένου, η υπερθέρμανση των στοιχείων αυτών. Με τη θερμογραφία υπερύθρων ανιχνεύουμε εύκολα και έγκαιρα το πρόβλημα, πριν δημιουργηθεί η βλάβη με απώλεια του συγκεκριμένου εξοπλισμού, που έχει υψηλό κόστος και με ξαφνικό σταμάτημα της παραγωγικής διαδικασίας. Στη συνέχεια, παραθέτουμε, σε φωτογραφία (όπως είναι ορατή με το ανθρώπινο μάτι) και σε θερμογράφημα, τμήματα ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα.



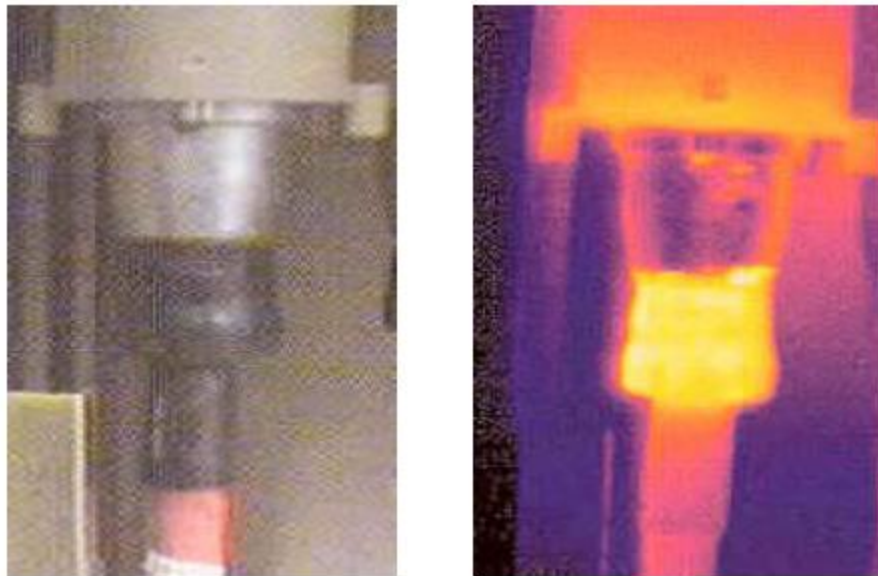
Εικόνα 10: Πρόβλημα στην ένωση (επαφή) ανάμεσα στην ασφάλεια και στη βάση της (ασφαλειοθήκη)



Εικόνα 11: Όχι σωστή διάταξη στα τυλίγματα του μοτέρ.



Εικόνα 12: Πρόβλημα σύσφιγξης του ακροδέκτη



Εικόνα 13: Υπάρχει πρόβλημα στη σύνδεση αγωγού με το φως

3.8 Επεξεργασία θερμογραφήματος

Το θερμογράφημα, που είναι η θερμική ψηφιακή απεικόνιση ενός αντικειμένου αποτελείται από pixels. Αυτά περιέχουν το χρώμα, που είναι ανάλογο της θερμοκρασίας της στοιχειώδους επιφάνειας του αντικειμένου, στην οποία αντιστοιχεί. Η αντιστοίχιση των χρωμάτων γίνεται αυτόματα από το ηλεκτρονικό σύστημα της κάμερας, έτσι ώστε στο θερμογράφημα να είναι εύκολα αντιληπτή η θερμοκρασιακή κατανομή στη επιφάνεια του αντικειμένου.

Οι τιμές της θερμοκρασίας προκύπτουν έμμεσα από την εφαρμογή αλγορίθμων στις μετρούμενες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας. Οι εξελιγμένες κάμερες μπορούν να επεξεργαστούν το

θερμογράφημα με τη βοήθεια του ενσωματωμένου λογισμικού που διαθέτουν. Έτσι, μπορούμε επιτόπου στο σημείο μέτρησης να βγάλουμε σωστά συμπεράσματα. Επίσης, οι κάμερες αυτές έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης πολλών μετρήσεων (θερμογραφήματων) και εύκολης μεταφοράς τους σε Η/Υ, για περαιτέρω επεξεργασία για επιστημονικά τεκμηριωμένες αναφορές. Μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρουν τα διάφορα λογισμικά στην επεξεργασία του θερμογραφήματος είναι

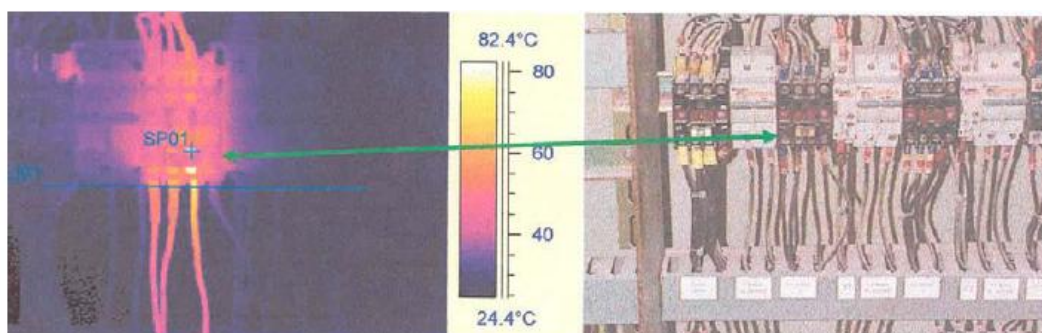
- Σημειακή μέτρηση θερμοκρασίας
- Μέτρηση θερμοκρασίας κατά μήκος γραμμής σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Απεικονίζεται σε διάγραμμα το θερμοκρασιακό προφίλ κατά μήκος της γραμμής.
- Μέτρηση θερμοκρασίας σε καθορισμένη περιοχή ορθογωνικού ή κυκλικού σχήματος. Μπορούν να βγουν αριθμητικές τιμές της θερμοκρασίας όπως μέγιστη, ελάχιστη, μέση τιμή για κάθε περιοχή
- Ισοθερμοκρασιακή κατανομή. Βρίσκονται και επισημαίνονται οι περιοχές της επιφάνειας, που έχουν την ίδια θερμοκρασία
- Ιστορικό αρχείο αναφορών μετρήσεων, σε επιλεγμένες επιφάνειες κρίσιμου εξοπλισμού, για σύγκριση και παρακολούθηση της εξέλιξης της βλάβης

Ανάλογα με τη σοβαρότητα του προβλήματος έχει καθοριστεί διαβάθμιση του κινδύνου, που στις αναφορές μετρήσεων, παριστάνεται με χρωματιστά τετράγωνα που εξηγούνται παρακάτω

- **Μικρός κίνδυνος** : Πολύ μικρή πιθανότητα για πρόκληση βλάβης στο άμεσο χρονικό διάστημα. Να γίνει προγραμματισμός για επισκευή-αντικατάσταση στην **ετήσια προγραμματισμένη συντήρηση**
- **Ενδιάμεσος κίνδυνος** : Να προγραμματιστούν διορθωτικές παρεμβάσεις (επισκευή-αντικατάσταση) **εντός ενός μηνός**
- **Κίνδυνος για πρόκληση βλάβης σε σύντομο χρονικό διάστημα** : Πρέπει να γίνουν οι ενέργειες, για αντικατάσταση των στοιχείων, που βρέθηκε υψηλή θερμοκρασία (από 800 C έως 1250 C) **εντός δύο έως τεσσάρων ημερών**
- **Άμεσος κίνδυνος (να προκληθεί σοβαρή βλάβη)** : Πρέπει να γίνουν, **το συντομότερο δυνατόν**, παρεμβάσεις για αντικατάσταση των τμημάτων του εξοπλισμού, που παρουσιάζουν πολύ υψηλή θερμοκρασία. (άνω των 1250 C).

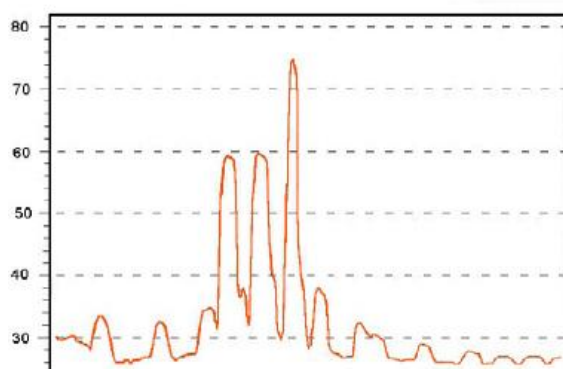
3.9 Παράδειγμα Εντύπου Αναφοράς Μέτρησης ΗΛ/κου Εξοπλισμού

Κτίριο της εγκατάστασης	Εξοπλισμός	Στοιχείο
Λεβητοστάσιο	Κεντρικός πίνακας λέβητα	Ασφαλειοδιακόπτης 8Α



Θερμογράφημα

Φωτογραφία



Θερμοκρασιακό προφίλ: Ο άξονας x είναι ανάλογος με το μήκος της γραμμής LI01

Πληροφορίες Μέτρησης	
Ημερομηνία	
Ωρα	
Όνομα αρχείου	
Τύπος κάμερας	
Φακός κάμερας	
Παράμετροι αντικειμένου	Τιμή
Συντελεστής εκπομπής ε	0.98
Σημεία Μέτρησης	Τιμή
SP01	92.0 ⁰ C
LI01 max	75.1 ⁰ C
LI01 min	25.9 ⁰ C

Δεδομένα που σχετίζονται με το θερμογράφημα

Εικόνα 14:Στοιχεία Επιχείρησης

Σημαντική θέρμανση του αγωγού στο κάτω μέρος της δεξιάς πλευράς του διακόπτη. Ωστόσο, η κύρια αιτία είναι εσωτερικά του διακόπτη (SP01 στους +920 C). Η θερμοκρασία παρατηρείται ανάμεσα της σταθερής επαφής και της κινούμενης επαφής της φάσεως αυτής στο κάτω μέρος του διακόπτη. Πρόβλημα σύσφιξης.

Διαβάθμιση κινδύνου : ■

Συστάσεις – υποδείξεις / Χρονικά περιθώρια :

Αντικαταστήστε τον διακόπτη. Η παρέμβαση να γίνει εντός τριών (3) ημερών

Διορθωτικές ενέργειες από την επιχείρηση :

Ενέργειες-συντηρήσεις	Ημερομηνία	Ονοματεπώνυμο	Υπογραφή

3.10 Παρεχόμενες υπηρεσίες

- Παρεχόμενες υπηρεσίες σε Βιομηχανίες:
 1. Επιθεώρηση Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων
 2. Επιθεώρηση Μηχανολογικού Εξοπλισμού
 3. Ενεργειακή Επιθεώρηση κτιρίων για θερμικές απώλειες
- **Παρεχόμενες υπηρεσίες σε Κτίρια:**
 1. Επιθεώρηση Ηλεκτρολογικών Πινάκων
 2. Επιθεώρηση Θερμομόνωσης για απώλειες
 3. Έλεγχος υδραυλικών εγκαταστάσεων για διαρροές
 4. Έλεγχος για εντοπισμό υγρασίας σε τοίχους και ταρατσες
 5. Επιθεώρηση λειτουργίας υποδαπέδιας θέρμανσης
- **Παρεχόμενες υπηρεσίες σε Σκάφη Αναψυχής:**
 1. Επιθεώρηση ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων του σκάφους
 2. Επιθεώρηση σκάφους για εντοπισμό υγρασία (όσμωση κλπ.)
 3. Επιθεώρηση υφάλων για εντοπισμό κρυφών ζημιών, αποκολλήσεων πολυεστέρα, ανωμαλιών στην κατασκευή
 4. Επιθεώρηση κατάστασης σκάφους για αγορά ή πώληση.
- **Παρεχόμενες υπηρεσίες σε Φωτοβολταϊκά:**
 1. Επιθεώρηση λειτουργίας Φωτοβολταϊκού συστήματος για εντοπισμό ζεστών σημείων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

4.1 Κριτήρια ταξινόμησης

Χρησιμοποιώντας κριτήρια ταξινόμησης μας προσφέρεται μια συστηματική προσέγγιση στις προτεραιότητες επιδιόρθωσης. Αν ταξινομήσουμε τις ανωμαλίες που βρίσκουμε, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε τις σοβαρότερες πρώτα. Όποτε χρησιμοποιείται κριτήρια ταξινόμησης σε μία αναφορά τα κριτήρια πρέπει να παρατίθενται και να επεξηγούνται στο γενικό τμήμα της αναφοράς ώστε ο χρήστης της αναφοράς να μπορεί να παραπέμπει σε αυτά.

Πολλά κριτήρια ταξινόμησης εκδίδονται από διάφορους οργανισμούς. Τα κριτήρια διαφέρουν από βιομηχανία σε βιομηχανία, χώρα σε χώρα, και τύπο συστατικών (ηλεκτρικό, μηχανικό κτλ). Κάποια είναι έγγραφα με πνευματικά δικαιώματα που πρέπει να αγοραστούν. Τα κριτήρια πρέπει να ταιριάζουν με τους πόρους που έχετε για την επιδιόρθωση των προβλημάτων. Πρέπει να δημιουργούν μια λογική κατανομή ανωμαλιών που βρίσκετε ανάμεσα στις κατηγορίες που ορίζεται. Δεν είναι πολύ χρήσιμο πχ αν όλα τα προβλήματα εμπίπτουν στην επείγουσα κατηγορία.

Δύο πράγματα πρέπει να εκπληρώνουν τα καλά κριτήρια ταξινόμησης.

- Πρέπει να είναι διαχειρίσιμα πχ περιγραφή της δράσης που χρειάζεται σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- Πρέπει να περιγράφουν υπό ποιες συνθήκες και για ποιο εξοπλισμό είναι έγκυρα

4.2 Δέλτα Τα (ΔΤ)

Το Δέλτα Τ είναι μια διαφορά μέτρησης θερμοκρασίας μεταξύ της κανονικής θερμοκρασίας του στοιχείου με την ανωμαλία, και κάποιας αναφοράς θερμοκρασίας. Η μέτρηση Δέλτα Τ χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε πόσο έχει αλλάξει η ανωμαλία σε σχέση με το 'κανονικό'. Αυτό το ονομάζουμε συγκρίσιμη ποσοτική μέτρηση.

Πρέπει να γίνει μια αναφορά για το τι εννοούμε 'κανονικό'. Κάποιες φορές το παίρνουμε από τα χαρακτηριστικά των κατασκευαστών ή από ιστορικά δεδομένα. Στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό η σημείωση είναι συχνά το αντίστοιχο συστατικό σε μια άλλη φάση, με την προϋπόθεση ότι το φορτίο παραμένει το ίδιο. Η




υπόθεση που γίνεται είναι ότι το σχετικό στοιχείο έχει τη θερμοκρασία που θα είχε το προβληματικό στοιχείο εάν ήταν εντάξει.

4.3 Παράδειγμα κριτηρίου ταξινόμησης

Αυτό το παράδειγμα κριτηρίου καθορίζει τρεις τύπους ανωμαλιών. Για δύο από αυτούς η υποψία μας είναι αρχικά ισχυρή για να μας κινήσει την προσοχή είτε για επιδιόρθωση είτε για κάποιου είδους έρευνα είτε για κάποια προσωρινή αντιμετώπιση. Η τρίτη ανωμαλία είναι μια υποψία λιγότερο δυνατή και για αυτό αποφασίζουμε να επιστρέψουμε και να επανελέγξουμε για να δούμε αν η ύποπτη ανωμαλία έχει αναπτυχθεί σε κάτι πιο σοβαρό.

Δεν κουβεντιάζουμε για κανέναν εξωτερικό παράγοντα ή ρεαλιστική σκέψη για αυτή την απλή συζήτηση. Τα στοιχεία μετρούνται και συγκρίνονται χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο που αναπτύχθηκε σε μια περίοδο μελέτης 'κανονικών λειτουργικών θερμοκρασιών' ή ενός συστατικού κάτω από ίδιες συνθήκες που παρουσιάζει ένα 'κανονικό σχέδιο'.

Ρεαλιστικά μιλώντας, σε πολλές περιπτώσεις ένα συγκεκριμένο σύνολο κριτηρίων ταξινόμησης πρέπει να εξελιχθεί για μια συγκεκριμένη εφαρμογή ή μια συγκεκριμένη εταιρία, σύμφωνα με τις ανάγκες αξιοπιστίας τους ή ακόμα και ένα συγκεκριμένο μηχάνημα ή εξοπλισμός. Κανένα παγκόσμιο σύνολο κριτηρίων δε μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει.

	Κλάση "Α" – Μια πολύ σοβαρή ανωμαλία, η οποία χρήζει άμεσης προσοχής Π.χ.: Απόλυτη θερμοκρασία άνω των 80°C ή ΔΤ άνω των 30K
	Κλάση "Β" – Μια σοβαρή ανωμαλία, η οποία χρήζει προσοχής το συντομότερο δυνατόν Π.χ.: ΔΤ μεταξύ 5-30K
	Κλάση "C" – Μια ανωμαλία, η οποία χρήζει παρακολούθησης και ελέγχου στο νωρίτερα βολικό χρόνο Π.χ.: ΔΤ μέχρι 5K

Εικόνα 15: Παράδειγμα εσφαλμένων κριτηρίων ταξινόμησης

Αυτά τα κριτήρια υποτίθεται ότι είναι έγκυρα για γυμνά μεταλλικά στοιχεία σε εξωτερικούς ηλεκτρικούς υποσταθμούς υψηλής τάσης ή για άλλες καλά αεριζόμενες περιοχές.

Πάντα πρέπει να συγκρίνουμε με κάτι! σε πολλές περιπτώσεις κάνουμε συγκρίσεις χωρίς να το σκεφτούμε πολύ. Στην ηλεκτρική θερμογραφία μπορεί να συγκρίνουμε φάσεις μεταξύ τους, μια ζεστή σύνδεση με το καλώδιο απομακρυσμένο ή την εισερχόμενη γραμμή με την εξερχόμενη.

Σε εφαρμογές μόνωσης (κτίρια, πυρίμαχα) οι τοίχοι πρέπει να είναι ίδιοι ή τουλάχιστον να έχουν ένα αναμενόμενο σχέδιο. Αν ένα συγκεκριμένο σημείο διαχωρίζεται από το κανονικό σχέδιο, ανησυχούμε.

Κάποιες φορές μπορεί να στεκόμαστε και να αναρωτιόμαστε τι συμβαίνει. Είναι το στοιχείο κανονικό ή έχει ανωμαλία? Χωρίς τίποτα χειροπιαστό να συγκρίνουμε και χωρίς πείρα με τον τύπο του στοιχείου είναι δύσκολο να πούμε.

4.4 Ανάγκη για αρχικά δεδομένα

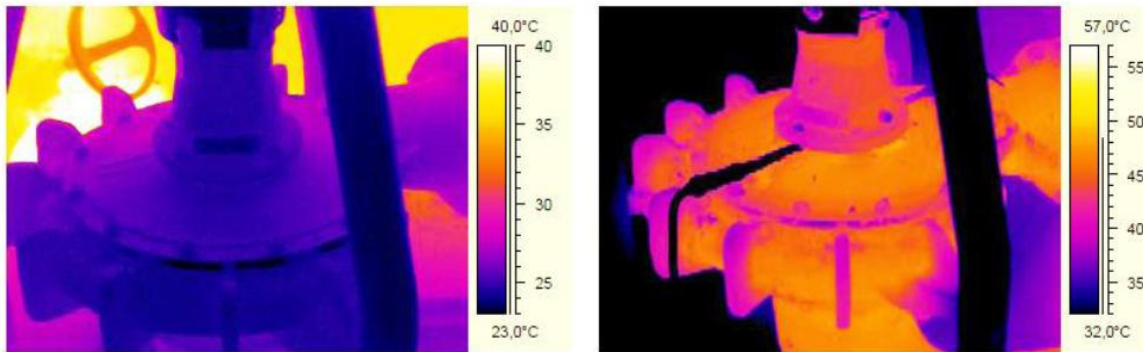
Εδώ είναι ένα παράδειγμα όπου μπορούμε να εφαρμόσουμε αυτόν τον τρόπο λογικής.

Αυτό το ρουλεμάν της αντλίας φαίνεται ύποπτο. Έχει θερμική κλίση πάνω του και μια θερμοκρασία 57°C. Αλλά είναι αυτό όντως κακό? Η ποσοτική μέτρηση χρειάζεται να συγκριθεί με κάτι. Το σχέδιο πιθανώς να είναι κανονικό, εάν το υγρό που αντλείται ψύχει το περίβλημα του ρουλεμάν καλύτερα, στο πιο χαμηλό σημείο.



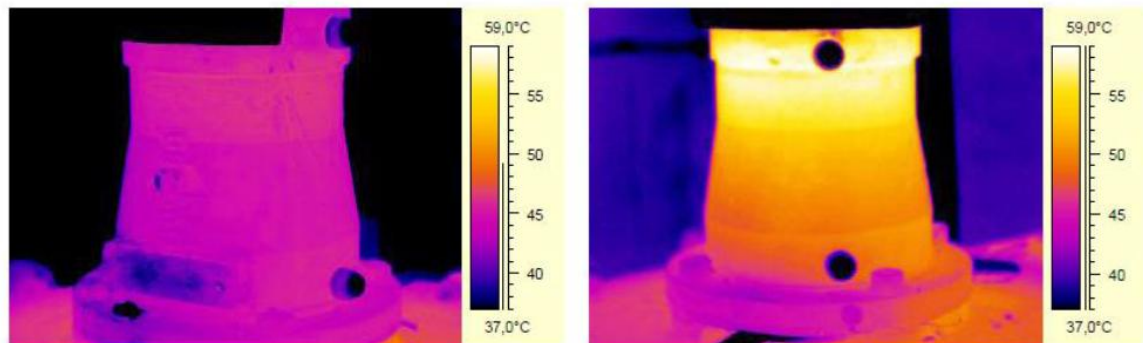
Εικόνα 16: Φωτογραφία και θερμική εικόνα ύποπτου ρουλεμάν αντλίας

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν άλλες δυο αντλίες για να τις συγκρίνουμε. Μοιάζουν κάπως έτσι.



Εικόνα 17: Αντλίες για σύγκριση. Μια σβηστή και μια που λειτουργεί κανονικά

Η αριστερή είναι ξεκάθαρα κλειστή, συνεπώς η δεξιά πρέπει να λειτουργεί. Ας συγκρίνουμε λοιπόν το περίβλημα του ρουλεμάν της δεξιάς αντλίας χειρός με αυτό της ύποπτης



Εικόνα 18: Περίβλημα ρουλεμάν κανονικής αντλίας και ελαττωματικής

Τώρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μια ανωμαλία στην ύποπτη αντλία. Επειδή και το σχέδιο και το επίπεδο απόλυτης θερμοκρασίας είναι διαφορετικά. Εάν το φορτίο είναι ίδιο και οι θερμοκρασίες επίσης θα πρέπει να είναι ίσες. Εάν το φορτίο είναι διαφορετικό, το σχέδιο είναι και πάλι επαρκής απόδειξη ότι κάτι είναι λάθος με την αντλία που υποπτευόμαστε.

Σε αυτή την περίπτωση είχαμε δυο αντλίες που λειτουργούσαν η μία δίπλα στην άλλη υπό ίδιες συνθήκες φορτίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις εκμεταλλευόμαστε αυτό το πλεονέκτημα. Αλλά αν δεν είμαστε τόσο τυχεροί ώστε να έχουμε παρόμοια αντικείμενα το ένα δίπλα στο άλλο, χρειαζόμαστε ιστορικά δεδομένα.

4.5 Αρχικά/Βασικά δεδομένα

Τα ιστορικά δεδομένα είναι αυτά που αποκαλούμε βασικά στοιχεία – δεδομένα. Τα βασικά στοιχεία πρέπει να είναι συστηματικά και σταθερά συγκεντρωμένα ξεκινώντας από την ακριβή έναρξη του προγράμματος συντήρησης της θερμογραφίας.

Η ιδανική κατάσταση είναι να έχουμε καινούριο ή επισκευασμένο εγκατεστημένο εξοπλισμό για τη συλλογή βασικών δεδομένων. Αναμένουμε τον περισσότερο εξοπλισμό να λειτουργεί κανονικά και με αυτό θέλουμε να συγκρίνουμε αργότερα. Αλλά, είναι πολύ πιο συχνό απ' αυτό που περιμένουν οι περισσότεροι άνθρωποι, να έχουμε προβλήματα με καινούριο εγκατεστημένο εξοπλισμό. Έτσι η μελέτη βασικών στοιχείων μπορεί να λειτουργήσει και σαν ένα είδους τεστ του καινούριου εξοπλισμού. Συστήνουμε τη θερμογραφία ως ένα βασικό μέρος τεστ αποδοχής του εξοπλισμού.

Όταν συλλέγεις βασικά δεδομένα είναι σημαντικό να καταγράφονται και όλες οι σχετικές πληροφορίες όπως ταχύτητα του ανέμου, θερμοκρασία αέρα, ηλιακή θερμότητα, συνθήκες φορτίου κτλ. Όλα αυτά εξαρτώνται από τον τύπο του συστατικού και πού εγκαταστάθηκε.

Σε εφαρμογές ρουτίνας η βασική στοιχειοθέτηση γίνεται αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας. Θα είστε πάντα ικανοί να ανατρέξετε πίσω σε προηγούμενα δεδομένα.

4.6 Είδη βλαβών που εντοπίζονται με θερμοκάμερα

- Αύξηση της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων σε κινητήρες
- Θερμά σημεία (hot spots) πάνω στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό της μηχανής (πλακέτες, PLC, αισθητήρες)
- Εντοπισμός διαρροών σε σφραγισμένα δοχεία ή εντοπισμός εσφαλμένων απομονώσεων(π.χ. μονωτικά λάδια μετασχηματιστή)
- Εσφαλμένες συνδέσεις (π.χ. στα ακροκιβώτια)
- Φθορές στις μονώσεις κάθε φάσης
- Φθορές στο στάτη και στο δρομέα

4.7 Συχνότητα ελέγχου των ηλεκτρικών μηχανών με θερμοκάμερα

Equipment type	Frequency of inspection
High voltage substations	1-3 years
Transformers	annually
440 V Motor Control Centers Air conditioned	6-12 months
Non-air conditioned or older	4-6 months
Electrical distribution equipment	4-6 months
Large motors*	annually
Smaller motors	4-6 months
<i>*Assumes vibration analysis, MCA, and lub analysis are also being used.</i>	

4.8 Διεθνείς οργανισμοί και standards

- NETA: International Electrical Testing Association
- Mil-STD: Military Standard
- Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment

4.9 Κριτήρια κρίσιμων θερμοκρασιών σε ηλεκτρικές μηχανές σύμφωνα με το Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment

AC Motors, Field Windings

1.00 SF, class A	40/60/100
1.00 SF, class B	40/80/120
1.00 SF, class F	40/105/145
1.00 SF, class H	40/125/165
1.15 SF, class B	40/90/130
1.15 SF, class F	40/115/155

DC Motors and Generators, Windings

1.00 SF, class A	40/70/110
1.00 SF, class B	40/100/140
1.00 SF, class F	40/130/170
1.00 SF, class H	40/155/195
1.25 SF, (2hr), class B	40/80/120
1.25 SF, (2hr), class F	40/110/150

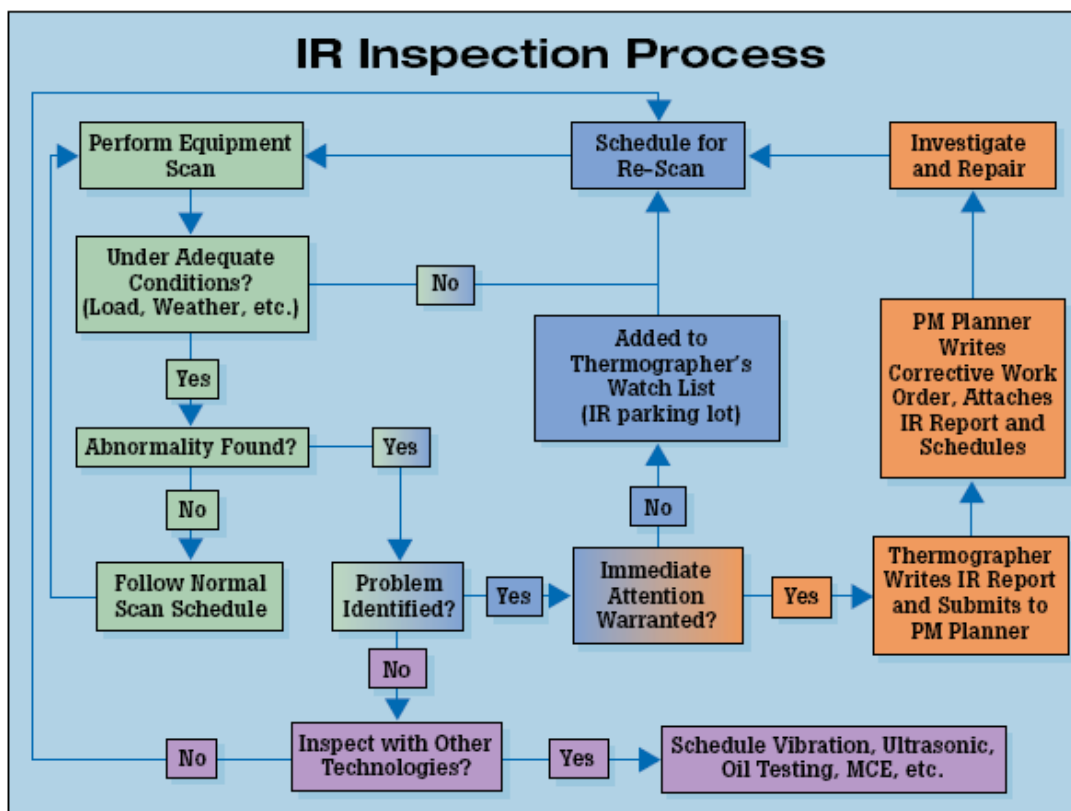
Cylindrical Rotor Synchronous Generators, Air Cooled, Casing

Class B	40/70/110
Class F	40/90/130
Class H	40/110/150

Transformers, Distribution and Power

Dry type, class 105, windings	30/55/85
Dry type, class 150, windings	30/80/110
Dry type, class 185, windings	30/115/145
Dry type, class 220, windings	30/150/180
Oil cooled, 55°C rise, casing	30/55/85
Oil cooled, 65°C rise, casing	30/65/95

4.10 Διάγραμμα ροής ενεργειών που σχετίζονται με τη θερμογραφία



Εικόνα 19: Ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά το θερμογραφικό έλεγχο

4.11 Η μεθοδολογία του εντοπισμού των βλαβών στους ηλεκτρικούς κινητήρες

Ο χειριστής της θερμοκάμερας πρέπει να είναι σε θέση να κατανοεί τι ακριβώς σημαίνει η ανάκλαση που καταγράφεται, να είναι ικανός να ρυθμίζει γενικά τη συσκευή και να είναι γνώστης του τρόπου ρύθμισης της συσκευής ειδικά για κάθε μέτρηση. Επίσης είναι σημαντική η κατανόηση του περιβάλλοντος χώρου. Για παράδειγμα αν το υπό εξέταση δοκίμιο (συσκευή ή εγκατάσταση) είχε υποβληθεί σε απευθείας έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία, ακόμα και μετά από πολλή ώρα σε σκιά, θα συνεχίζει να ακτινοβολεί και αυτό δεν θα οφείλεται σε βλάβη.

Εκτός αυτού, οι υπό εξέταση επιφάνειες δίνουν άλλα αποτελέσματα υπό διαφορετική γωνία και φωτισμό. Ο χειριστής θα πρέπει να εστιάζει υπό διαφορετικές γωνίες προκειμένου να αποφανθεί αν υπάρχει πρόβλημα. Αυτό διότι, για παράδειγμα, η ανάκλαση από έναν λαμπτήρα φθορισμού σε μία λεία επιφάνεια μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση προβλήματος που στην πραγματικότητα δεν υπάρχει. Εξίσου σημαντικό είναι να κατανοήσει κανείς ότι η υπέρυθη ακτινοβολία «βλέπει» μόνο την επιφανειακή θερμοκρασία. Για παράδειγμα δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθεί μια χαλαρή σύνδεση πίσω από μια μεταλλική πόρτα. Ο αέρας ανάμεσα στην κάμερα και στην πόρτα, δρα ως μονωτής. Αν παρ'ολ'αυτά παρατηρηθεί μια χαλαρή σύνδεση πίσω από την πόρτα, αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα έχει ξεπεράσει το σημείο του επείγοντος.

4.11.1 Εφαρμογές

Η πιο κοινή εφαρμογή της θερμογραφίας στους ηλεκτρικούς κινητήρες, είναι στο ηλεκτρικό κύκλωμά τους και συγκεκριμένα στις συνδέσεις και στα ηλεκτρικά εξαρτήματά τους. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να ολοκληρωθεί είτε με απευθείας έλεγχο από το χειριστή ο οποίος θα φοράει την κατάλληλη στολή προστασίας είτε από απόσταση μέσω υπέρυθρων παραθύρων. Τα υπέρυθρα αυτά παράθυρα παρόλο που έχουν ένα αρχικό κόστος εγκατάστασης, κάνουν οικονομία στο χρόνο επιθεώρησης διότι δεν χρειάζεται η άμεση προσπέλαση του χώρου (η μέτρηση πραγματοποιείται από απόσταση) και το σημαντικότερο, προστατεύουν το ανθρώπινο δυναμικό από την άμεση επαφή και τον κίνδυνο ατυχήματος

Η πιο κοινή μέθοδος προκειμένου να αξιολογηθεί ο εκάστοτε εξοπλισμός, είναι η σύγκρισή του με την επικρατούσα θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτή είναι μια εξειδικευμένη προσέγγιση μιας και δεν εξασφαλίζει την ακρίβεια της μέτρησης, απλά ένα σωστό

συσχετισμό μεταξύ του υπό εξέταση δοκιμίου και του περιβάλλοντος ή μεταξύ παρόμοιων δοκιμίων. Υπάρχουν πολλά βιομηχανικά πρότυπα για την ακρίβεια του συσχετισμού μεταξύ της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του δοκιμαζόμενου δοκιμίου. Αυτά φαίνονται στους παρακάτω πίνακες

Πίνακας 1: NETA specification

Προτεραιότητα	Συσχετισμός μεταξύ παρόμοιων δοκιμίων και φορτίων	Συσχετισμός με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος	Σύσταση για λαμβανόμενα μέτρα
4	1-3°C	1-10°C	Απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση
3	4-15°C	11-20°C	Επισκευή εν ευθέτω χρόνω
2		21-40°C	Παρακολούθηση μέχρι την επισκευή
1	>15°C	>40°C	Άμεση διόρθωση

Πίνακας 2:Mil-STD-2194

Προτεραιότητα	Συσχετισμός με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος	Σύσταση για λαμβανόμενα μέτρα
4	10-25°C	Επισκευή εν ευθέτω χρόνω
3	25-40°C	Πιθανή βλάβη αν δεν επισκευασθεί
2	40-70°C	Σίγουρη βλάβη αν δεν επισκευασθεί
1	>70°C	Σίγουρη βλάβη

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω υπάρχουν κάποιες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιθεώρηση των ηλεκτρικών συστημάτων. Αυτές είναι η γωνία λήψης της φωτογραφίας, οι ανακλάσεις των επιφανειών και το φορτίο λειτουργίας του συστήματος.

Το τελευταίο είναι εξαιρετικά σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς την ενέργεια που σπαταλιέται από μια χαλαρή ή χαλασμένη σύνδεση και η οποία ενέργεια εξαρτάται από την ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαπερνά. Είτε είναι το σύστημα συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος, η ενέργεια βασίζεται στο νόμο του Joule, δηλαδή $I^2 \cdot R$, οπότε η ενέργεια εξαρτάται από το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος που διαπερνά μια αντίσταση. Έτσι, για παράδειγμα αν έχουμε μια αντίσταση 0.1 ohms και περνάει μέσα από αυτή ρεύμα εντάσεως 100 Amps, θα παραχθεί 1kW άχρηστης ενέργειας (θερμότητας).

Η λήψη μετρήσεων σε παρόμοια δοκίμια όταν είναι πολύ φορτισμένα, θα δώσει αποτελέσματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τα ανώτατα όρια βλάβης σε χαλαρές συνδέσεις. Για το σκοπό αυτό καλό είναι ο χειριστής της θερμοκάμερας να χρησιμοποιεί και ένα αμπερόμετρο, ώστε να χρησιμοποιούνται πιο συνδυασμένα και σωστά τα αποτελέσματα.

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα σφαλμάτων

Identification



Section	Line #3
Equipment	Annodizer Buss
Additional information	Top
Date	4/3/2007
Time	9:11:25 AM

Phase A	Phase B	Phase C

Fault description



Fault	#4 Connection
Object parameter	Value
Emissivity	0.98
Object distance	6.0 ft
Label	Value
SP01	166.9°C
AR01 : max	166.9°C
AR01 : max-min	119.9°C

Εικόνα 20: Χαλαρή σύνδεση καλωδίων

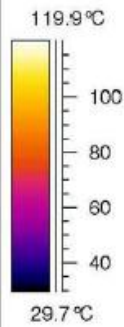
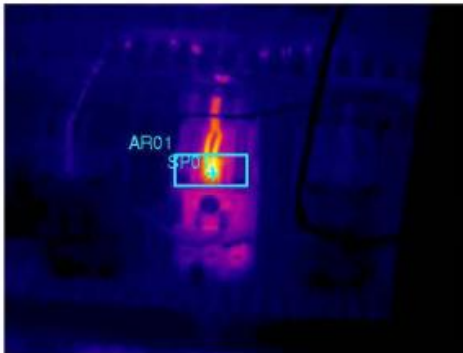
Identification



Section	Production Floor
Equipment	Machine #47
Additional information	Control Panel
Date	5/10/2005
Time	8:52:37 AM

Phase A	Phase B	Phase C

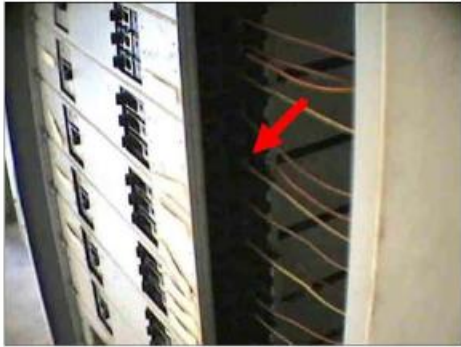
Fault description



Fault	Contactor B Phase
Object parameter	Value
Emissivity	0.96
Object distance	6.0 ft
Label	Value
SP01	126.4°C
AR01 : max	126.4°C
AR01 : max-min	90.1°C

Εικόνα 21: Υπερφόρτιση σε μία φάση ενός κινητήρα

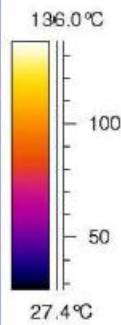
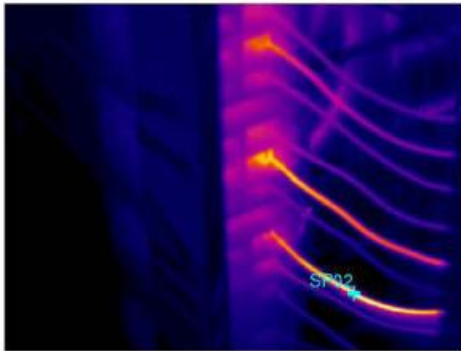
Identification



Section	Production Floor
Equipment	MDP-800
Additional information	Warehouse Lites
Date	5/10/2005
Time	7:25:17 AM

Phase A	Phase B	Phase C

Fault description



Fault	B Phase
Object parameter	Value
Emissivity	0.96
Object distance	6.0 ft
Label	Value
SP02	138.2°C

Εικόνα 22: Χαλαρή σύνδεση διακόπτη ισχύος για φωτισμό

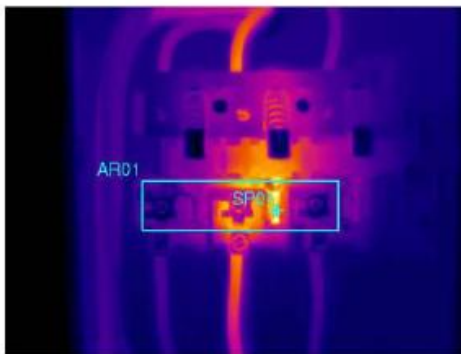
Identification



Section	42nd Floor
Equipment	#2 Elevator
Additional information	Disconnect
Date	7/15/2008
Time	9:18:54 AM

Phase A	Phase B	Phase C

Fault description



Fault	B Phase
Object parameter	Value
Emissivity	0.96
Object distance	6.0 ft
Ambient temperature	24.3°C
Label	Value
SP01	103.6°C
AR01 : max	103.6°C
AR01 : max-min	65.8°C

Εικόνα 23: Χαλαρή σύνδεση διακόπτη σε ανελκυστήρα

4.11.2 Έλεγχοι στις ηλεκτρικές μηχανές

Είναι δυνατόν οι ηλεκτρικές μηχανές να ελεγχθούν με υπέρυθη ακτινοβολία. Είναι όμως πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν βλάβες στο στάτη. Προβλήματα στα ρουλεμάν, στα έδρανα, στις συνδέσεις είναι δυνατόν να ανιχνευθούν και είναι δυνατόν να επιτευχθεί συσχετισμός μεταξύ της επιφανειακής και της θερμοκρασίας λειτουργίας. Επίσης σημασία έχει και το χρώμα βαφής του κινητήρα



Εικόνα 24:Θερμική φωτογραφία ενός κινητήρα

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η θερμική φωτογραφία ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Πρόκειται για έναν κινητήρα αερόψυκτο κλειστού τύπου (TEFC -Totally Enclosed Fan Cooled). Όπως φαίνεται στη φωτογραφία, η άσπρη περιοχή στο κέντρο υποδεικνύει μεγάλη θερμότητα, ενώ το πορτοκαλί που υπάρχει σε όλο τον υπόλοιπο κινητήρα υποδεικνύει απλά θερμότητα λόγω της λειτουργίας. Το άσπρο χρώμα παρατηρείται εκεί όπου υπάρχει ο πυρήνας του κινητήρα. Η διαφορά στο χρώμα (ιώδες) στην αριστερή πλευρά σημαίνει ότι εκεί υπάρχει απαγωγός θερμότητας. Σαν συμπέρασμα, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα, όσον αφορά τη λειτουργία αυτού του κινητήρα και οι διαφορές στη θερμοκρασία είναι αναμενόμενες και στα σημεία που πρέπει. Η θερμογραφία εδώ λοιπόν δημιουργεί απλά μια πολύχρωμη εικόνα.

Τα ρουλεμάν και ο άξονας του κινητήρα ξεχωρίζουν από το πιο σκούρο χρώμα και μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν (δεξιά και αριστερά).

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης των ρουλεμάν και του άξονα και σε άλλες μηχανές πέραν των ηλεκτρικών. Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό να

λαμβάνουμε υπόψη την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται η εκάστοτε μηχανή έτσι ώστε να ερμηνεύονται κατάλληλα τα αποτελέσματα της θερμικής απεικόνισης

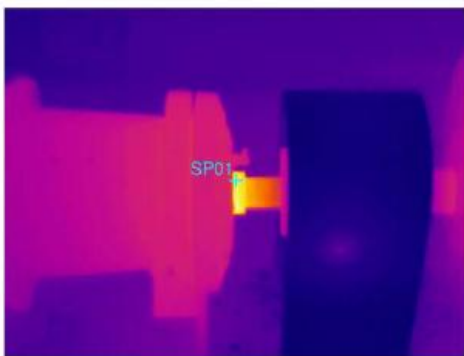
Identification



Section	Penthouse
Equipment	Hot Water Pump
Additional information	Mtr & Pmp
Date	10/14/2008
Time	10:21:04 AM

Phase A	Phase B	Phase C

Fault description



Fault	Pump Bearing
Object parameter	Value
Emissivity	0.95
Object distance	6.0 ft
Ambient temperature	23.1°C
Label	Value
SP01	49.1°C

Εικόνα 25: Άξονας αντλίας

Όσον αφορά τις μηχανές συνεχούς ρεύματος, η θερμογραφία δίνει τη δυνατότητα να αξιολογηθεί η κατάσταση των ψηκτρών. Από την κατασκευή τους, οι ψήκτρες θα έπρεπε να είναι θερμότερες και να αποδίδουν θερμότητα προς το περιβάλλον. Αν παρατηρηθεί ψήκτρα λιγότερο θερμή σε σχέση με τον υπόλοιπο κινητήρα, τότε πρέπει να ελεγχθεί για να διαπιστωθεί αν κολλάει περισσότερο από ότι πρέπει στον ψηκτροφορέα ή αν τα ελατήρια πίεσης έχουν χαλαρώσει

Όταν η αιτία της υψηλής θερμοκρασίας είναι βρωμιά ή σκουριά και σταματάει η ηλεκτροδότηση του κινητήρα, η θερμοκρασία θα πέσει αμέσως. Σε περίπτωση όμως ελαττωματικού ελάσματος ή σπασμένης ράβδου ρότορα, η θερμοκρασία θα πέσει σταδιακά.

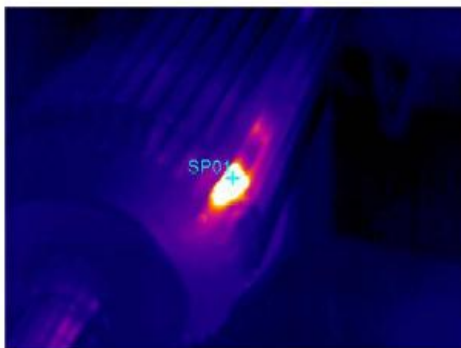
Identification



Section	Room
Equipment	
Additional information	
Date	9/30/2013
Time	2:12:45 PM

A Phase	B Phase	C Phase

Fault description



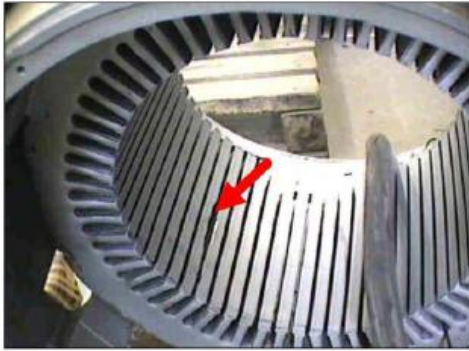
Fault	
-------	--

Object parameter	Value
Emissivity	0.96
Object distance	6.0 ft
Label	Value
SP01	>223.4°C

Εικόνα 26: Σπασμένο έλασμα ρότορα, όπου η θερμοκρασία έχει ανέλθει στους 223°C

Με το που εντοπίζεται ένα σφάλμα μέσω θερμικής κάμερας, είναι σχετικά εύκολο να προσδιορισθεί αν είναι κάτι εύκολο να διορθωθεί όπως για παράδειγμα πρόβλημα στη μόνωση ή στην κόλληση ή θα πρέπει να αντικατασταθεί η ράβδος του ρότορα.

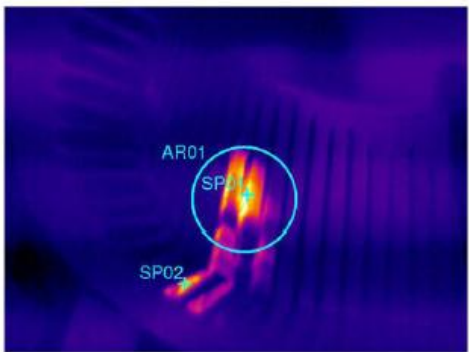
Identification



Section	Borg Warner
Equipment	200hp Stator
Additional information	O326739
Date	8/15/2013
Time	9:34:12 AM

A Phase	B Phase	C Phase

Fault description



Fault	
-------	--

Object parameter	Value
Emissivity	0.96
Object distance	6.0 ft
Label	Value
SP02	35.7°C
SP01	37.0°C
AR01 : max	37.3°C
AR01 : max-min	16.3°C

Εικόνα 27: Έλεγχος στάτη

Όπως φαίνεται στην εικόνα, υπάρχει ένα ελάττωμα στον πυρήνα. Όταν εντοπίζονται προβλήματα στον πυρήνα, ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας θα καθορίσει αν το πρόβλημα είναι σοβαρό ή όχι.

Ένας επίσης παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διεξαγωγή της θερμογραφίας στους πυρήνες και στους ρότορες, είναι η επίδραση του μαγνητικού πεδίου στον υπέρυθρο αισθητήρα. Σε μερικές περιπτώσεις θα προκαλέσει παρεμβολές.



Εικόνα 28 :Θερμογραφικός έλεγχος για εντοπισμό ελαττωματικών μονώσεων

4.12 Θερμική διάγνωση σε ηλεκτρικές μηχανές

Στις μέρες μας οι θερμικές φωτογραφίες μετατρέπονται εύκολα σε ψηφιακή μορφή και έτσι απεικονίζεται πολύ εύκολα ένας θερμικός χάρτης του υπό μέτρηση αντικειμένου. Ο θερμικός αυτός χάρτης μπορεί να εύκολα να διαβαστεί και να ληφθεί μια ακριβής εικόνα σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας μιας και κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε διαφορετική θερμοκρασία. Βέβαια ο θερμικός αυτός χάρτης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την αντιστοιχία στα χρώματα αλλά το αποτέλεσμα μπορεί εύκολα να ερμηνευτεί σε κάθε περίπτωση. Το κύριο πλεονέκτημα της μέτρησης με θερμοκάμερα είναι ότι η μέτρηση μπορεί να διεξαχθεί χωρίς να διακοπεί η λειτουργία του εξαρτήματος και κατ'επέκταση ολης της εγκατάστασης.

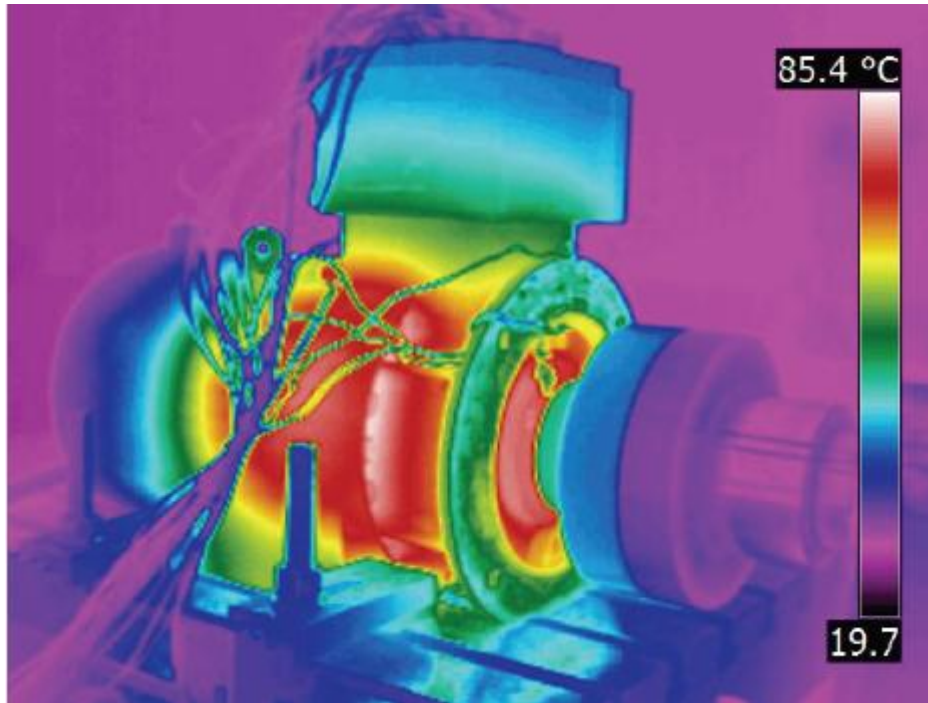


Εικόνα 29:Υπό δοκιμή κινητήρας

4.12.1 Τα πιο συνηθισμένα λάθη στις θερμογραφικές μετρήσεις

Προκειμένου να μετρηθεί με ακρίβεια η διάχυση της θερμότητας στο σώμα των ηλεκτρικών μηχανών, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός μεταξύ κανονικών πηγών πρόκλησης θερμότητας και παρεμβολών που πάντα υπάρχουν από το περιβάλλον εργασίας. Για να γίνει αυτό αυτόματα, στην κάμερα πρέπει να περαστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία
- Η απόσταση μεταξύ του εξεταζόμενου αντικειμένου και της κάμερας
- Η σχετική υγρασία
- Η εκπεμπικότητα του μετρούμενου αντικειμένου



Εικόνα 30:Θερμική εικόνα με παραμέτρους σωστά ρυθμισμένες

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στα αποτελέσματα της θερμογραφίας

Η μη σωστή ρύθμιση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στις παραμέτρους της κάμερας, δεν έχει και πολύ μεγάλη επίδραση στα λαμβανόμενα αποτελέσματα. Αλλαγή της θερμοκρασίας κατά 11°C, έχει πολύ μικρή επίδραση στις λαμβανόμενες μετρήσεις. Για παράδειγμα, μια αλλαγή κατά 0.7 °C προκαλεί μεταβολή λιγότερο από 1% στη μέτρηση, όπως εξάλλου φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 3: Η επίδραση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στις θερμογραφικές μετρήσεις

	$\vartheta_{min} [^{\circ}C]$	$\vartheta_{max} [^{\circ}C]$	$\vartheta_{ATM.TEMP} [^{\circ}C]$
Σωστές Παράμετροι	25.9	84.2	22
Λανθασμένες Παράμετροι	27.1	84.9	11

4.12.2 Η επίδραση της απόστασης μεταξύ της θερμοκάμερας και του υπό εξέταση αντικειμένου

Η επιλογή της κατάλληλης απόστασης μεταξύ του μετρούμενου δοκιμίου και της φακού της κάμερας έχει μεγάλη επίδραση στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων όταν έχουμε να κάνουμε με μικρά δοκίμια. Αν η απόσταση είναι λανθασμένη, τότε μικρά σημεία στο αντικείμενο μπορεί να μην ανιχνευθούν, αλλά τα γενικά αποτελέσματα δεν θα διαφοροποιηθούν πολύ. Μια διαφορά στην απόσταση κατά 2 μέτρα, προκαλεί μια διαφορά στην ένδειξη της θερμότητας κατά 0.1°C (πίνακας 2)

Πίνακας 4: η επίδραση της απόστασης στη μετρούμενη θερμοκρασία

	ϑ_{min} [°C]	ϑ_{max} [°C]	Απόσταση [m]
Σωστές Παράμετροι	25.9	84.2	2.0
Λανθασμένες Παράμετροι	25.9	84.1	1.0

Η επίδραση της υγρασίας στις θερμογραφικές μετρήσεις

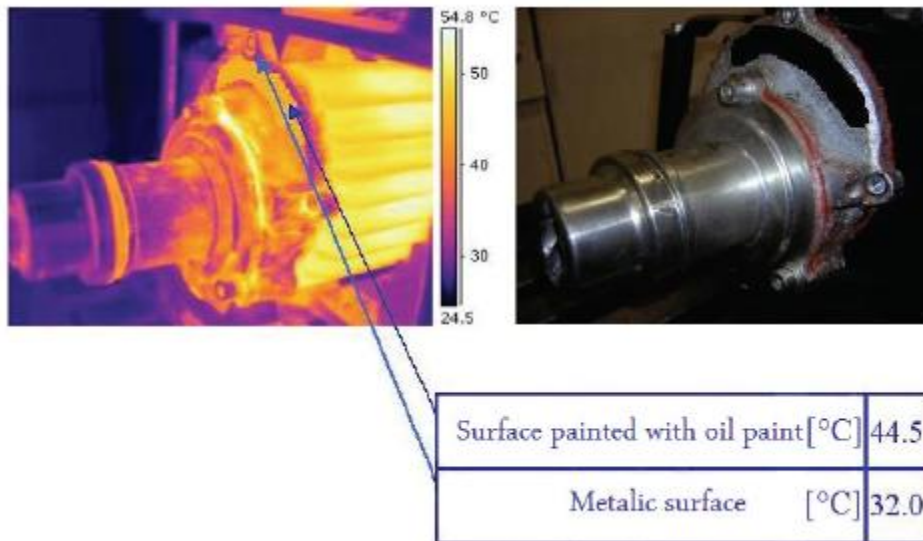
Η λανθασμένη υγρασία έχει επίσης πολύ μικρή επιρροή στις θερμογραφικές μετρήσεις, όπως φαίνεται και στον επόμενο πίνακα

Πίνακας 5: Η επίδραση της υγρασίας στις θερμογραφικές μετρήσεις

	ϑ_{min} [°C]	ϑ_{max} [°C]	Υγρασία [%]
Σωστές Παράμετροι	25.9	84.2	50
Λανθασμένες Παράμετροι	25.9	84.1	25

4.12.3 Η επίδραση της εκπεμπικότητας στις θερμογραφικές μετρήσεις

Η εκπεμπικότητα του υπό εξέταση αντικειμένου αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο και πρέπει να ρυθμιστεί σωστά. Με απλά λόγια η εκπεμπικότητα αποτελεί ένα μέτρο της ποσότητας της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο, σε σχέση με την ακτινοβολία που εκλύεται από το μέλαν σώμα. Συνήθως η εκπεμπικότητα των επιφανειών κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.1 και 0.95. Μια πολύ λεία επιφάνεια έχει εκπεμπικότητα 0.1, ενώ μια οξειδωμένη ή βαμμένη επιφάνεια έχει πολύ πιο αυξημένη εκπεμπικότητα. Οι βαφές λαδιού (λαδομπογιά), ανεξαρτήτως χρώματος, έχει εκπεμπικότητα πάνω από 0.9 στο φάσμα των υπεριώθρων. Ένα παράδειγμα ακολουθεί: Ένα κομμάτι μιας μηχανής βάρθηκε με λαδομπογιά γνωστής εκπεμπικότητας και η κάμερα κατέγραψε μια θερμοκρασία 44.5 °C που είναι 12.5 °C υψηλότερη από τη θερμοκρασία της άβαφης επιφάνειας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα

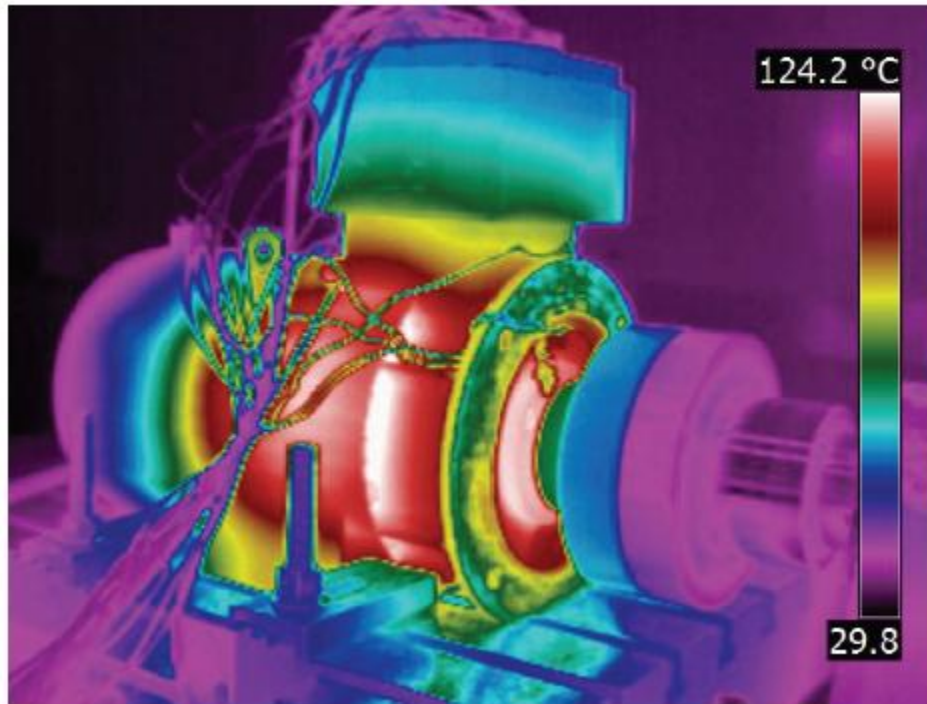


Εικόνα 31: διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ βαμμένης και άβαφης εικόνας

4.12.4 Η εκπεμπικότητα σε διαφορετικό είδος βαφής

Ο καθορισμός του σωστού συντελεστή εκπεμπικότητας είναι πολύ εύκολη διαδικασία. Τοποθετούμε ένα κομμάτι κολλητικής ταινίας με γνωστό συντελεστή πάνω σε μια ηλεκτρική μηχανή. Στη συνέχεια θερμαίνουμε ομοιόμορφα τη μηχανή κατά τουλάχιστον 20°K. Στη συνέχεια μετράμε τη μηχανή με θερμοκάμερα η οποία είναι ρυθμισμένη στον θερμοκρασιακό συντελεστή της κολλητικής

ταινίας. η θερμική απεικόνιση θα πρέπει να δίνει τη θερμοκρασία της κολλητικής ταινίας. Στη συνέχεια στοχεύουμε την κάμερα σε μέρος της μηχανής χωρίς την ταινία και αλλάζουμε το θερμοκρασιακό συντελεστή της κάμερας μέχρι να επιτύχουμε θερμοκρασία σε αυτό το μέρος της μηχανής, ίδια με το προηγούμενο κομμάτι που είχε την συγκολλητική ταινία.



Εικόνα 32: Τα αποτελέσματα ενός λανθασμένου προσδιορισμού του συντελεστή εκπεμπικότητας

Όταν η εκπεμπικότητα ρυθμίζεται λανθασμένα, η θερμοκρασία του υπό δοκιμή αντικειμένου είναι περίπου 35.0 °C υψηλότερη σε σχέση με τη σωστή ρύθμιση, όπως φαίνεται στην εικόνα 32 και στον πίνακα 6

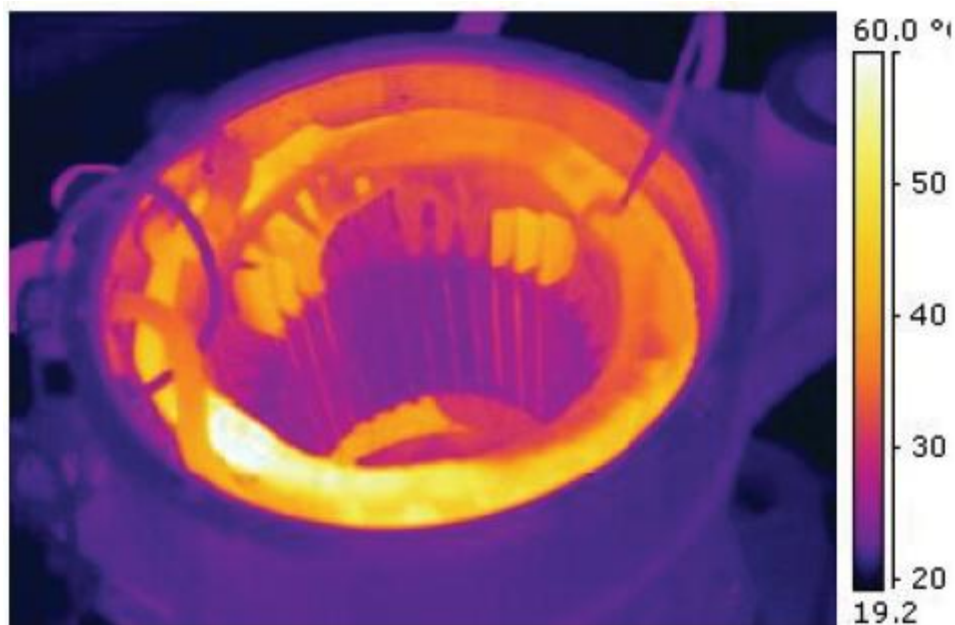
Πίνακας 6: Η επίδραση του λανθασμένου καθορισμού του συντελεστή εκπεμπικότητας

	ϑ_{min} [°C]	ϑ_{max} [°C]	Εκπεμπικότητα
Σωστές Παράμετροι	25.9	84.2	0.9
Λανθασμένες Παράμετροι	29.8	129.2	0.45

4.13 Παραδείγματα της πρακτικής χρήσης των θερμογραφικών μετρήσεων στην παραγωγή των ηλεκτρικών μηχανών

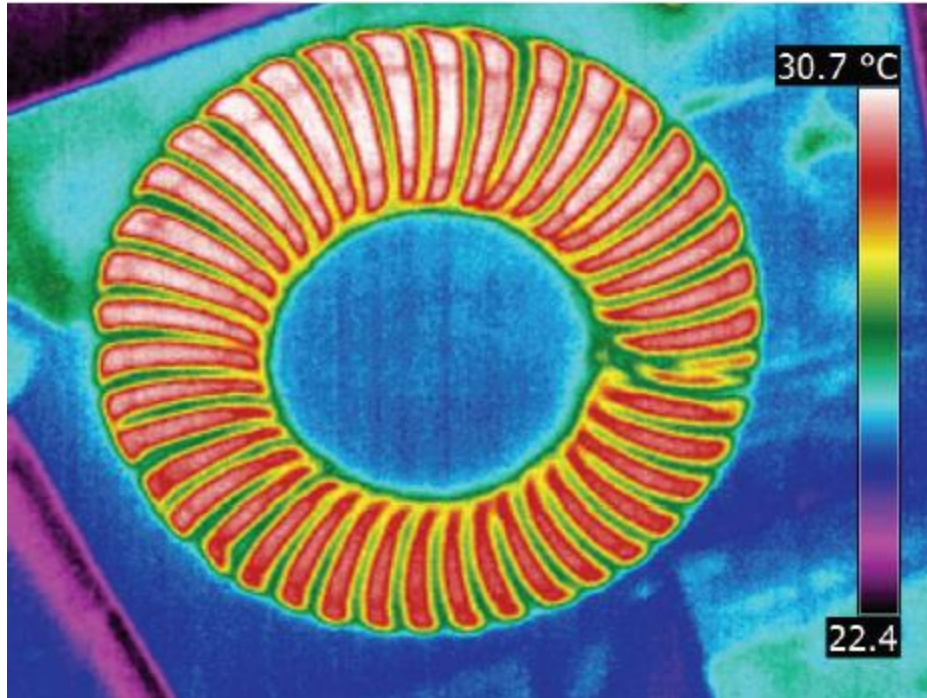
Οι θερμικές δοκιμές χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση και είναι δυνατόν να διεξαχθούν σε διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών μηχανών. Ένα παράδειγμα μέτρησης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα

Δοκιμή για τη σύνδεση των τυλιγμάτων



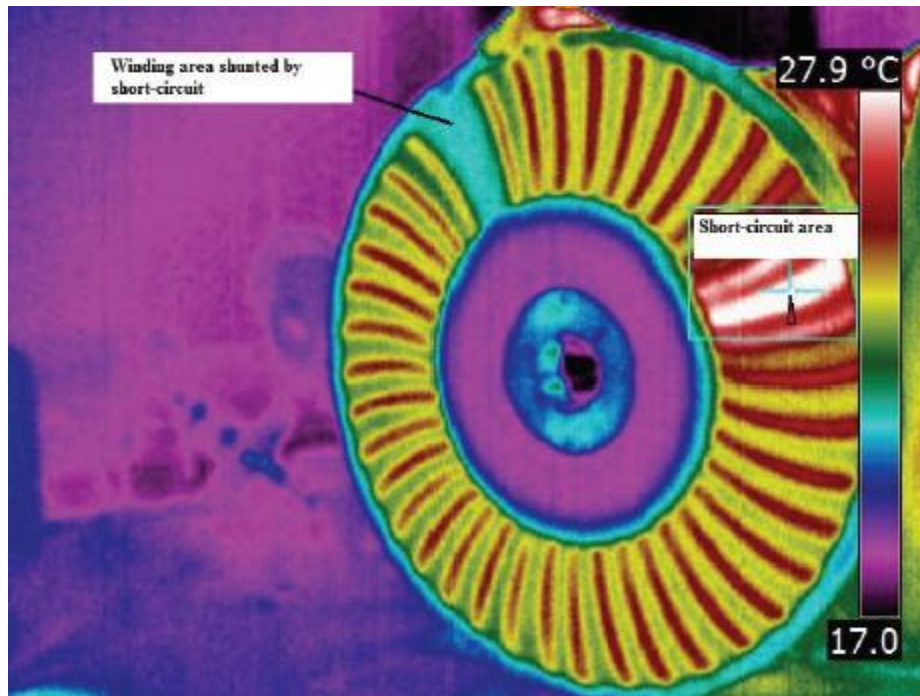
Εικόνα 33: Δοκιμή για τη σύνδεση των τυλιγμάτων

Η μέτρηση αυτή διεξάγεται παρατηρώντας το κύκλωμα με ρεύμα να το διαπερνά. Το ρεύμα δεν ξεπερνά την ονομαστική τιμή του κινητήρα. Παρατηρείται θέρμανση των τυλιγμάτων. Με τη τροφοδοσία των φάσεων, μπορεί να φανεί η σωστή τοποθέτηση των τυλιγμάτων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 34.



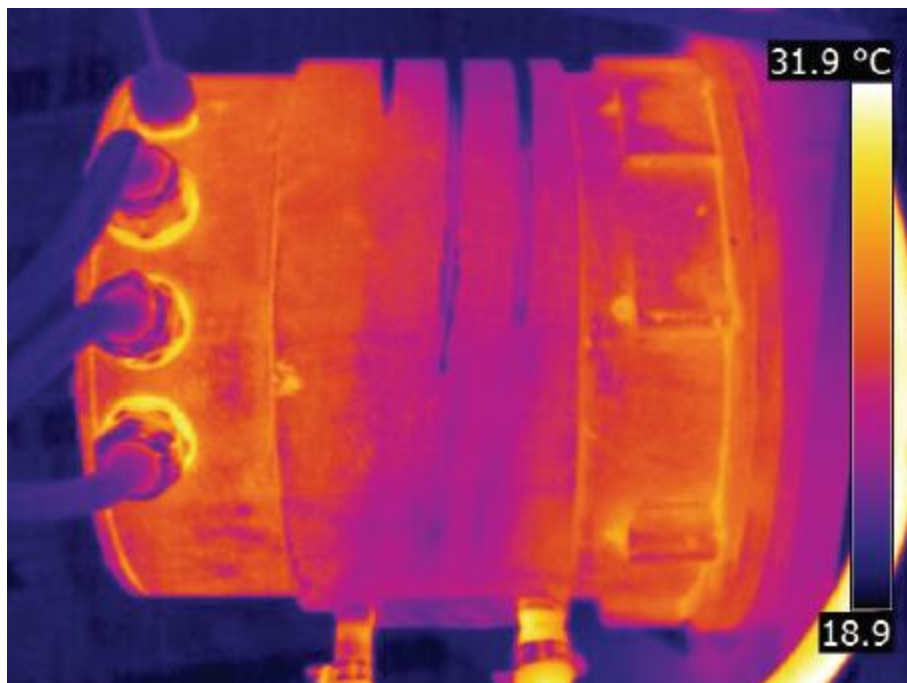
Εικόνα 34: Δοκιμή συνέχειας τυλιγμάτων

Η δοκιμή αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό βραχυκυκλώματος μεταξύ των τυλιγμάτων. Η περιοχή του βραχυκυκλώματος χαρακτηρίζεται από υψηλότερη θερμοκρασία. Η θερμική φωτογραφία επίσης δείχνει το μέρος του βραχυκυκλώματος να έχει ασυνέχεια



Εικόνα 35: Εντοπισμός βραχυκυκλώματος

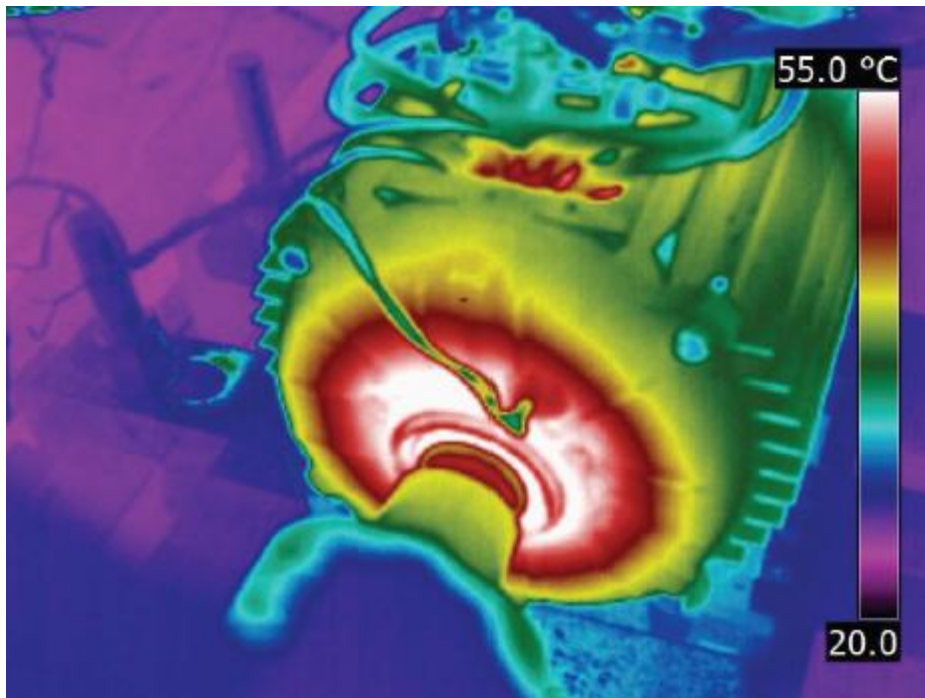
Δοκιμή απαγωγών θερμότητας



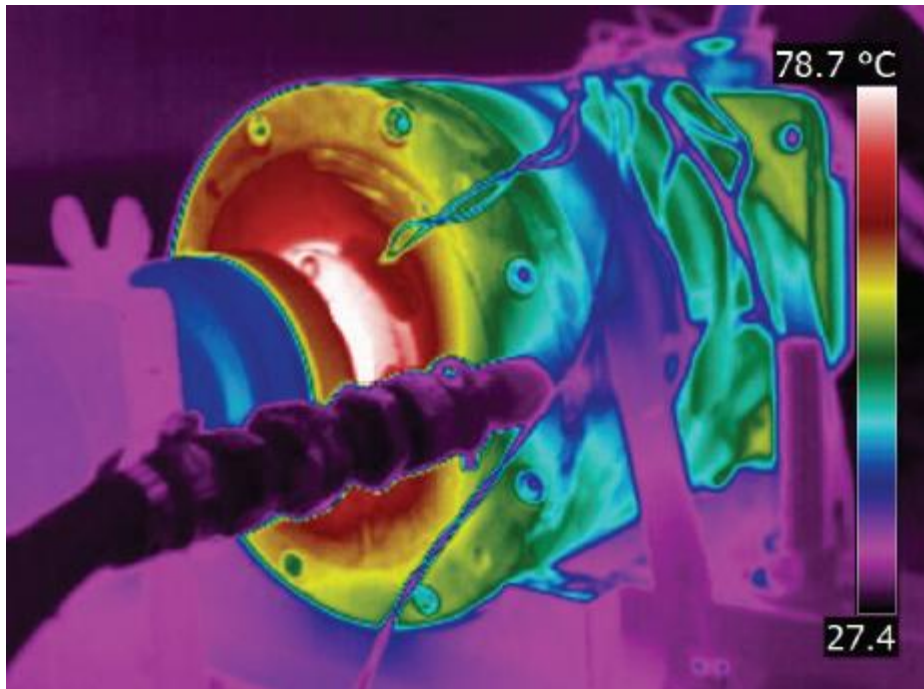
Εικόνα 36: δοκιμή απαγωγών θερμότητας

Η δοκιμή αυτή είναι σημαντική στις υγρόψηκτες ηλεκτρικές μηχανές. Υπάρχει κίνδυνος εγκλωβισμού αέρα ή δημιουργίας φυσαλίδων σε τέτοιου είδους μηχανές με συνέπεια να μην είναι αποδοτική η απαγωγή της θερμότητας και να δυσλειτουργεί και ο θερμοστάτης και η αντλία κυκλοφορίας.

Εκτίμηση της θερμικής κατάστασης των ρουλεμάν και των συνδέσεων



Εικόνα 37: Θέρμανση των ρουλεμάν



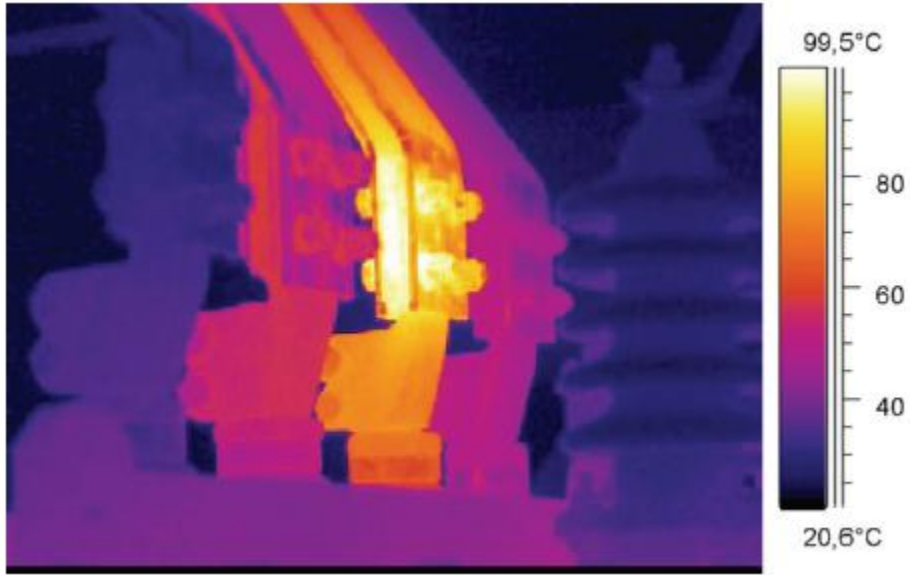
Εικόνα 38:Θέρμανση των ρουλεμάν

Η υπερθέρμανση των ρουλεμάν στις ηλεκτρικές μηχανές μπορεί να οφείλεται σε

- Αστοχία λιπαντικού
- Πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή στάθμη λιπαντικού
- Πολύ σφικτή σύνδεση του ρουλεμαν
- Άνιση επιφάνεια έδρασης
- Γήρανση των καλυμμάτων
- Μη ισορροπημένος ρότορας
- Κραδασμοί
- Ρεύματα στο στάτη

Δοκιμή για έλεγχο των ηλεκτρολογικών συνδέσεων

Η λανθασμένη σύνδεση των καλωδίων ή ο χαλαρός τερματισμός τους μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση ή βλάβη. Τα προβλήματα αυτά συνήθως προκαλούνται από υλικά χαμηλής ποιότητας, χαλαρές συνδέσεις, διάβρωση, οξείδωση, βλάβη ή μόλυνση της επιφάνειας σύνδεσης.



Εικόνα 39: Υπερθέρμανση στις τελικές συνδέσεις

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://courseware.mech.ntua.gr/ml23327/lecture_pdfs/Machine_Dynamics_II_Notes.pdf

http://courseware.mech.ntua.gr/ml23327/lecture_pdfs/DSL_DynII_Condition_Monitoring.pdf

http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/5149/karathanosd_analysis.pdf?sequence=3

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1835/1/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ%20ΕΡΓΑΣΙΑ.pdf>

http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10030/06_Electrical_installations_books/02/05.pdf

http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10030/06_Electrical_installations_books/02/06.pdf

https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=JDSp3hCo9sUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=electric+motor+faults+diagnosis&ots=di1rQAsbTU&sig=-fdbUOM3EaYAz4XN8eLuyZThBeA&redir_esc=y#v=onepage&q=electric%20motor%20faults%20diagnosis&f=false

<https://www.infraredinspectionsllc.com/contactus.html>

<https://www.igrodry.com/pl/termocamere-ira-ce-da-sapere/>

<http://www.ivm.gr>

<http://thermocam.gr/ελεγχος-μηχανολογικου-εξοπλισμου/>

<http://thermografia.gr/θερμογραφία-στα-κτίρια/>

<https://www.iristem.gr/CE3AB450.el.aspx>

<http://euditi.gr/thermography/>

<https://www.slideshare.net/nickstiv/ss-62832900>

<http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2670/ΤΕΧΝΙΚΟ%20ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ%20ΧΡΗΣΗΣ%20ΤΗΣ%20ΜΕΘΟΔΟΥ%20ΤΗΣ%20ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ%20Πλήρης.pdf?sequence=1>

<http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/1061/Drakopoulos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/6168/4/00_master_document-KOY.pdf

http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/8197/1/DT_2017-0162.pdf

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/3342/1/PHD%20Tsopelas.pdf>

<http://pe.org.pl/articles/2011/10/66.pdf>

<https://www.hanover.com/risksolutions/thermographic-testing-electrical-equipment.html>

http://www.mouser.com/pdfdocs/2435910_6251_ENG_C_W.PDF

http://www.lirkorea.com/Landinstruments.net%20Website/infrared/downloads/pdf/thermography_guide.pdf

http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/2435559_6003_ENG_B_w.pdf

<http://www.motordoc.org/wp-content/uploads/2014/05/Infrared-Analysis-of-Electrical-Machines-and-Controls.pdf>

<http://www.fluke.com/fluke/inen/solutions/thermal-imaging/thermal-imaging-electrical-systems>

<http://www.maintworld.com/Applications/IR-Thermography-in-Maintenance>

<http://www.motordoc.org/wp-content/uploads/2013/11/ElectricalIRStd.pdf>

<http://www.motordoc.org/wp-content/uploads/2013/11/MIL-Std-2194-infrared.pdf>

<http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2670/ΤΕΧΝΙΚΟ%20ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ%20ΧΡΗΣΗΣ%20ΤΗΣ%20ΜΕΘΟΔΟΥ%20ΤΗΣ%20ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ%20Πλήρης.pdf?sequence=1>

<http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/1061/Drakopoulos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/6168/4/00_master_document-KOY.pdf

<http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/8197/1/DT2017-0162.pdf>

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/3342/1/PHD%20Tsopelas.pdf>

<http://1iek-peiraia.att.sch.gr/10-ilektrikes%20mixanes.pdf>

http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/Gennitries_S.R.pdf

http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/Hlektrikes_Michanes_S.R.pdf

http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/ΗλεκτρικέςΜηχανές_ΕπαγωγικοίΚινητήρες.pdf

<http://alexander.ee.auth.gr:8083/eTHMMY/archive/106/customStore/elecmach.pdf>

https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/HL148/ΘΕΩΡΙΑ%20-%20ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ%20ΜΗΧΑΝΕΣ%20I/2-ΜΗΧΑΝΕΣ%20I%20-%20DC%20-%20ΘΕΩΡΙΑ_NEW.pdf