

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1572

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΑΪΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν, θα ήθελα να τονίσω τη σπουδαιότερη συμβολή του καθηγητή μου κ.Βασιλείου - Νεκτάριου Χαραλαμπάκου, ο οποίος πίστεψε στο θέμα της παρούσας εργασίας, δίνοντάς μου τις κύριες κατευθυντήριες γραμμές για το πώς αυτή θα κινούνταν στο γενικό της πλαίσιο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στον καθηγητή κ.Αναστάσιο Δροσόπουλο, ο οποίος με βοήθησε αναλαμβάνοντάς με στο τελικό στάδιο παράδοσης της εργασίας μου.

Τέλος, για τη συγγραφή αυτής της εργασίας πιο πολύτιμη από ποτέ υπήρξε η βοήθεια του πατέρα μου, Δημήτρη Βαϊόπουλου, πρώην Μηχανολόγου Υπομηχανικού στην Α.Γ.Ε.Τ. ΗΡΑΚΛΗ Βόλου, ο οποίος με την εμπειρία, τη γνώση και την αμέριστη υπομονή και στήριξή του συνέβαλε στο να γίνει αυτή πραγματικότητα.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη σε εκείνον και στη λοιπή οικογένειά μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του Τεχνολογικού Ιδρύματος Πάτρας. Αναφέρεται στον έλεγχο των ηλεκτρικών μηχανών σε λειτουργία, τη διάγνωση της κατάστασης αυτών (εντοπισμός βλαβών και φθορών) και στην πρόγνωση της εξέλιξης αυτής της κατάστασης. Η κύρια παράμετρος που σχετίζεται με την διάγνωση των ηλεκτρικών βλαβών είναι οι ταλαντώσεις που δημιουργούνται μέσα από τις δονήσεις των μηχανών.

Επίσης, στην εργασία παρουσιάζονται όργανα επιθεώρησης με τα οποία εξετάζονται μεγέθη όπως είναι η ταχύτητα περιστροφής, η θερμοκρασία και η υπέρυθη ακτινοβολία των μηχανών, των μονώσεων και των αγωγών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στη διάγνωση των βλαβών των ηλεκτρικών μηχανών ενώ αυτές βρίσκονται σε κίνηση, καθώς και την διάγνωση της κατάστασης αγωγών και μονώσεων που βρίσκονται σε λειτουργία. Η επιλογή αυτού του τρόπου συντήρησης εφαρμόζεται παγκοσμίως, με θετικά αποτελέσματα λόγω των οφελών που έχουμε σε σχέση με άλλες πολιτικές συντήρησης. Τα οφέλη της διαγνωστικής συντήρησης είναι το κέρδος στην παραγωγικότητα, η βελτιστοποίηση του χρόνου ζωής των μηχανημάτων και η ελαχιστοποίηση των δαπανών συντήρησης.

Τα πρώτα πέντε κεφάλαια της πτυχιακής θα είναι θεωρητικά για την ομαλή κατανόηση του αναγνώστη ως προς την συντήρηση των μηχανών, καθώς και των δονήσεων που προκύπτουν από αυτές. Από το έκτο έως το ένατο κεφάλαιο θα αναπτύσσονται τα βασικά κεφάλαια της πτυχιακής που ασχολούνται με τα χαρακτηριστικά της διαγνωστικής συντήρησης όπως αυτή εφαρμόζεται στην πράξη.

Τα βασικά κεφάλαια της πτυχιακής θα δομηθούν ως εξής:

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο συλλέκτης δονήσεων Eprac 2500, καθώς και αναφορά στο λογισμικό που είναι συμβατό με τον συγκεκριμένο συλλέκτη. Τέλος, γίνεται μια απλή αναφορά του λογισμικού λειτουργίας του υπολογιστή.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται πίνακες όπου αξιολογούνται τα όρια των χαρακτηριστικών των δονήσεων (velocity, frequency, spikeenergy, decibel) σε ιδανικές συνθήκες εργασίας.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι εφαρμογές όπως ακριβώς χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των προγραμμάτων αναλύοντας σε κάθε περίπτωση το φάσμα των συχνοτήτων, αλλά και την ανάλυση των φάσεων όπου αυτές χρειάζονται.

Τέλος, στο ένατο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση ορισμένων συσκευών ελέγχου με την βοήθεια των οποίων εξετάζονται και εμφανίζονται επιπλέον παράμετροι ελέγχων, όπως είναι η ταχύτητα και η θερμοκρασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<u>Κεφάλαιο 1: ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</u>	<u>3</u>
1.1 Ορισμός συντήρησης – Ιστορική αναδρομή.....	3
1.2 Ανάλυση των πολιτικών συντήρησης.....	4
1.2.1 Κατασταλτική Πολιτική Συντήρησης (επέμβαση κατόπιν διακοπής λειτουργίας).....	4
1.2.2 Περιοδική ή Βάσει Χρόνου Συντήρηση (Time Based Maintenance).....	6
1.2.3 Συντήρηση Με Βάση Την Κατάσταση Του Εξοπλισμού (CBM: Condition based maintenance/prognostic maintenance).....	6
1.3 Η εφαρμογή της Συντήρησης με βάση την Κατάσταση του Εξοπλισμού (BCM).....	8
<u>Κεφάλαιο 2: ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (CBM).....</u>	<u>9</u>
2.1 Απλή επιθεώρηση δια των αισθήσεων.....	9
2.2 Επιτήρηση και μετρήσεις με διαγνωστικές μεθοδολογίες.....	9
2.3 Θερμογραφία με υπέρυθρη ακτινοβολία.....	10
2.4 Φθορά λιπαντικών.....	10
2.5 Υπέρηχοι (Ultrasonic).....	12
2.6 Διεισδυτικά υγρά.....	13
2.7 Μαγνητικά σωματίδια.....	14
2.8 Δινορρέυματα (Eddy currents).....	15
2.9 Ραδιογραφία ακτίνων X ή γ (X-ray/ γ-ray Radiography).....	16
<u>Κεφάλαιο 3: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</u>	<u>19</u>
3.1 Εισαγωγή στην Διαγνωστική Συντήρηση – Ταλάντωση.....	19

3.2 Η έννοια της απλής ταλάντωσης και τα βασικά της μεγέθη.....	19
3.3 Χαρακτηριστικές παράμετροι της δόνησης – Ταλάντωσης.....	20
<u>Κεφάλαιο 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</u>	<u>24</u>
4.1 Απλές μετρήσεις δόνησης.....	24
4.2 Καταγραφή στο χρόνο του εύρους της δόνησης (Time chart).....	24
4.3 Ανάλυση τάσης (Trend Analysis).....	24
4.4 Ανάλυση κατά συχνότητα (Spectrum Analysis).....	26
4.5 Spike Energy.....	29
4.6 Ανάλυση φάσεων.....	31
<u>Κεφάλαιο 5: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....</u>	<u>33</u>
<u>Κεφάλαιο 6: ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....</u>	<u>37</u>
6.1 Περιγραφή συλλέκτη δονήσεων ENPAC 2500.....	37
6.1.1 Διάγραμμα του Enpac 2500.....	37
6.1.2 Πλήκτρα λειτουργιών Enpac 2500.....	38
6.1.3 Εξωτερικές συνδέσεις συλλέκτη.....	39
6.1.4 Ενδείξεις κατάστασης συλλέκτη	41
6.2 Παρουσίαση λογισμικού (Software).....	41
6.2.1 Απαιτήσεις Υπολογιστή.....	41
6.2.2 Απαιτήσεις Λογισμικού.....	42
6.3 Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων του λογισμικού.....	43
6.3.1 Πληροφορίες και στοιχεία μηχανής.....	43
6.3.2 Ονομασία μηχανής.....	43

<u>Κεφάλαιο 7: ΠΙΝΑΚΕΣ ΟΡΙΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ</u>	45
<u>Κεφάλαιο 8: ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΣΗ ΜΕΣΟΥ ΔΟΝΗΣΕΩΝ – ΒΛΑΒΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ</u>	50
8.1 Εισαγωγή.....	50
8.2 Βλάβες μηχανών.....	50
8.2.1 Μηχανική Χαλάρωση.....	50
8.2.2 Προβλήματα απευθυγραμμίας αξόνων κινητήρα – κινούμενου μηχανήματος.....	52
8.2.3 Προβλήματα απευθυγραμμίας ρουλεμάν.....	54
8.2.4 Προβλήματα αζυγοσταθμίας.....	56
8.2.5 Λυγισμένος άξονας (βέλος κάμψης άξονα).....	58
8.2.6 Φθορά Εδράνου Ολίσθησης.....	58
8.2.7 Προβλήματα μαντοκίνησης.....	59
8.2.8 Αστοχίες εδράνων κύλισης (ρουλεμάν).....	62
8.2.9 Ηλεκτρικά προβλήματα.....	70
<u>Κεφάλαιο 9: ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΜΟΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΓΩΓΩΝ</u>	80
9.1 Θερμοκάμερα.....	80
9.1.1 Υπέρυθρη κάμερα FLUKE Ti 400 9HZ.....	80
9.1.1.1 Χαρακτηριστικά.....	80
9.1.1.2 Προδιαγραφές.....	81
9.1.1.3 Αξεσουάρ.....	85
9.1.2 Λήψη θερμογραφίας κινητήρα σε λειτουργία.....	85
9.1.3 Μηχανικές βλάβες.....	86
9.1.4 Βλάβες αγωγών και μονώσεων.....	87
9.2 Στροβοσκόπιο.....	88

9.3 Τριφασικός αναλυτής δικτύου.....	91
9.3.1 Τριφασικός αναλυτής δικτύου FLUKE 434/435.....	91
9.3.1.1 Χαρακτηριστικά.....	91
9.3.1.2 Βασικές διαδικασίες και μενού πλοήγησης.....	92
9.3.1.3 Ενδείξεις οθόνης.....	94
9.3.1.4 Συνδέσεις εισόδου (Input Connections).....	97
9.3.1.5 Κυματομορφές και Phasor.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στη διάγνωση των βλαβών των ηλεκτρικών μηχανών ενώ αυτές βρίσκονται σε κίνηση, καθώς και την διάγνωση της κατάστασης αγωγών και μονώσεων που βρίσκονται σε λειτουργία. Ο λόγος που αξίζει να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι ότι η επιλογή αυτού του τρόπου συντήρησης εφαρμόζεται παγκοσμίως, με θετικά αποτελέσματα λόγω των οφελών που έχουμε σε σχέση με άλλες πολιτικές συντήρησης. Τα οφέλη που απορρέουν από την διαγνωστική συντήρηση είναι το κέρδος στην παραγωγικότητα, η βελτιστοποίηση του χρόνου ζωής των μηχανημάτων και η ελαχιστοποίηση των δαπανών συντήρησης.

Τα υπάρχοντα κεφάλαια σε αυτή την πτυχιακή είναι εννέα. Τα πρώτα πέντε είναι θεωρητικά ως προς την ομαλή κατανόηση του αναγνώστη για την συντήρηση των μηχανών, καθώς και των δονήσεων που προκύπτουν από αυτές. Από το έκτο έως το ένατο κεφάλαιο προκύπτουν τα βασικά κεφάλαια της εργασίας που ασχολούνται με τα χαρακτηριστικά της διαγνωστικής συντήρησης, όπως αυτή εφαρμόζεται στην πράξη.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίδεται ο ορισμός της συντήρησης, ενώ παράλληλα γίνεται ιστορική αναδρομή των περιόδων εξέλιξης στον τομέα της συντήρησης σύμφωνα με τον John Moubray (1999). Επίσης γίνεται ανάλυση των πολιτικών της συντήρησης όπως εφαρμόζονται σήμερα, αναφέροντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται διάφοροι μέθοδοι επιθεώρησης μηχανημάτων μη καταστροφικών ελέγχων. Οι μέθοδοι αυτοί αφορούν μηχανήματα ή εξαρτήματα μηχανημάτων σε κατάσταση λειτουργίας η στάσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρεται η βασική θεωρία των ταλαντώσεων που είναι απαραίτητη για την κατανόηση των θεμάτων που αφορούν την διαγνωστική των μηχανημάτων μέσω της δόνησης. Επίσης, αναπτύσσεται η έννοια της απλής ταλάντωσης καθώς και των βασικών μεγεθών αυτής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των βασικών διαγνωστικών μεθόδων μέσου των οποίων ανεξάρτητα ή και σε συνδυασμό μεταξύ τους μπορούμε να φθάσουμε στην διάγνωση της κατάστασης μιας μηχανής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, καταγράφεται η προετοιμασία και η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί από τους επιθεωρητές για την βέλτιστη και επιτυχή μέτρηση των μηχανών, καθώς ορισμένα εξ'αυτών απαιτούνται από το λογισμικό για την διαδικασία των μετρήσεων.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση του συλλέκτη δονήσεων Eprac 2500, καθώς και αναφορά στο λογισμικό που είναι συμβατό με τον συγκεκριμένο συλλέκτη. Επίσης, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά ορισμένων βασικών στοιχείων που χρειάζονται για τον εμπλουτισμό του λογισμικού.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται πίνακες, όπου αξιολογούνται τα όρια των χαρακτηριστικών των δονήσεων (velocity, frequency, spike energy, decibel) σε ιδανικές συνθήκες εργασίας.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζονται όλες οι εφαρμογές όπως ακριβώς χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των προγραμμάτων αναλύοντας σε κάθε περίπτωση το φάσμα των συχνοτήτων, αλλά και την ανάλυση των φάσεων όπου αυτές χρειάζονται.

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση ορισμένων συσκευών ελέγχου με την βοήθεια των οποίων εξετάζονται και εμφανίζονται επιπλέον παράμετροι ελέγχων, όπως είναι η ταχύτητα και η θερμοκρασία.

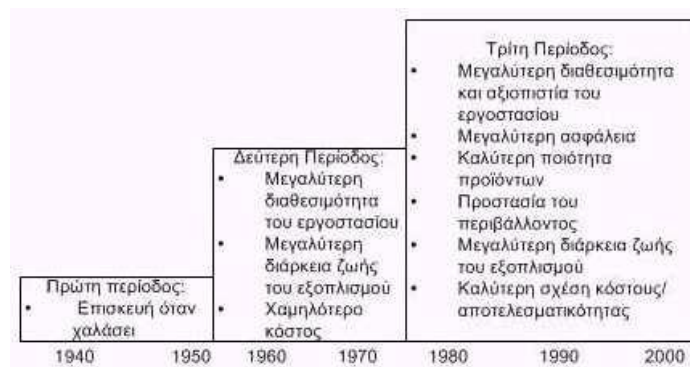
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.1 Ορισμός συντήρησης – Ιστορική αναδρομή

Η Συντήρηση είναι ένα σύνολο δραστηριοτήτων που προορίζονται να διατηρήσουν μια παραγωγική μονάδα σε λειτουργία ή να την επαναφέρουν σε ένα σύνολο συνθηκών που θα είναι ικανή να εκτελεί αυτή την λειτουργία. Περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως ο έλεγχος, οι δοκιμές, οι μετρήσεις, οι αντικαταστάσεις, οι ρυθμίσεις εξαρτημάτων, οι επισκευές και σε μερικές περιπτώσεις οι διοικητικές ενέργειες.

Ο John Moubray (1999) μας περιγράφει τον τομέα της συντήρησης σε τρεις περιόδους.



Διάγραμμα 1.1: Περίοδοι εξέλιξης της συντήρησης

i. Πρώτη περίοδος

Αυτή καλύπτει χρονικά το διάστημα μέχρι τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Την περίοδο αυτή η βιομηχανία βασίζεται περισσότερο στο ανθρώπινο δυναμικό από ότι στις μηχανές, με αποτέλεσμα το κόστος της μη λειτουργίας αυτών να είναι μικρό και η ιδέα της προληπτικής συντήρησης να βρίσκεται σε πολύ χαμηλή προτεραιότητα. Ταυτόχρονα, ο εξοπλισμός είναι απλός και σχεδιασμένος με μεγάλο βαθμό ασφάλειας, γεγονός που τον καθιστά αξιόπιστο και εύκολα επισκευάσιμο. Ως εκ τούτου δεν υπάρχει ανάγκη για ένα συστηματικό πρόγραμμα συντήρησης.

ii. Δεύτερη περίοδος

Ο Δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος ανέτρεψε τις συνθήκες της πρώτης περιόδου με δραματικό τρόπο. Το εργατικό δυναμικό ελαττώθηκε, ενώ ταυτόχρονα η ζήτηση πολεμικών εφοδίων αυξήθηκε κατακόρυφα. Αυτό οδήγησε στη χρήση περισσότερων

μηχανών. Τη δεκαετία του 1950 οι μηχανές ήταν περισσότερες και πιο πολύπλοκες και η βιομηχανία βασιζόταν σε αυτές, με αποτέλεσμα το κόστος μη λειτουργίας να γίνει υψηλότερο. Η αύξουσα πορεία του κόστους οδήγησε στην ανάπτυξη της ιδέας της προληπτικής συντήρησης. Μέχρι και την δεκαετία του 1960 η προληπτική συντήρηση περιοριζόταν στην διενέργεια γενικών επισκευών του εξοπλισμού σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

iii. Τρίτη περίοδος

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί εκατοντάδες νέες τεχνικές και φιλοσοφίες σχετικές με την συντήρηση. Η κλασική μέθοδος της γενικής επιθεώρησης συμπληρώνεται από νέα εργαλεία:

- Εργαλεία υποστήριξης των αποφάσεων, όπως μελέτες κινδύνων και αναλύσεις των αιτιών και των επιπτώσεων των βλαβών
- Νέες τεχνικές συντήρησης όπως η καταγραφή της κατάστασης (condition monitoring)
- Σχεδιασμός του εξοπλισμού με έμφαση στην αξιοπιστία και στην συντηρησιμότητα
- Η αλλαγή της μορφής οργάνωσης προς τη συμμετοχή, την ευελιξία και την ομαδική εργασία

Η σημαντικότερη πρόκληση για το σημερινό στέλεχος του τομέα της συντήρησης είναι όχι μόνο να μάθει τις νέες τεχνικές, αλλά και να αποφασίσει ποιες από αυτές είναι εφαρμόσιμες και αποτελεσματικές στο οργανισμό που εργάζεται. Αν παρθούν οι σωστές αποφάσεις μπορούμε να βελτιώσουμε την λειτουργία των συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα περιορίζουμε το κόστος συντήρησης.

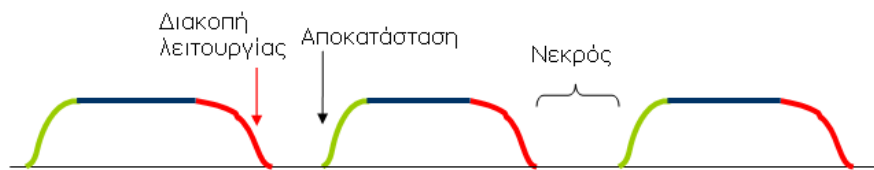
1.2 Ανάλυση των πολιτικών συντήρησης

1.2.1. Κατασταλτική Πολιτική Συντήρησης (επέμβαση κατόπιν διακοπής λειτουργίας)

Μιλούμε για **κατασταλτική συντήρηση** όταν οι μηχανές αφήνονται να λειτουργούν μέχρις ότου μία καταστροφική βλάβη προκαλέσει τη διακοπή τους, οπότε κατ' ανάγκη γίνεται η αποκατάστασή της. Πρόκειται για μία παθητική αντιμετώπιση των γεγονότων. Γι' αυτό δίκαια ονομάστηκε καταστροφική συντήρηση και δεν μπορεί να θεωρηθεί κατ' οποιονδήποτε τρόπο σωστή όταν εφαρμόζεται από αδιαφορία και άγνοια των επιπτώσεων στην παραγωγή. Η νοοτροπία που κρύβεται πίσω απ' αυτή την αντιμετώπιση είναι ότι οι βλάβες είναι μοιραίες και το μόνο που εμείς μπορούμε να κάνουμε είναι να είμαστε σε ετοιμότητα, έτσι ώστε όταν συμβεί το κακό, να αποκαταστήσουμε τη ζημιά γρήγορα «για να ξαναβάλουμε μπροστά τη μονάδα».

Όπως μπορεί να φανταστεί κανείς, αυτή η πολιτική μειονεκτεί για τους εξής λόγους:

- Προκαλεί πολλαπλές στάσεις και νεκρούς χρόνους παραγωγής. Σε μία γραμμή παραγωγής, η διακοπή λειτουργίας ορισμένων μηχανών προκαλεί στάση όλης της γραμμής. Όταν λοιπόν αφήνονται τα μηχανήματα μέχρι αστοχίας, όπως είναι φυσικό, προκύπτουν απώλειες παραγωγής, και σημαντική οικονομική ζημία.
- Η βλάβη μπορεί να συμβεί χωρίς καμιά προειδοποίηση, σε χρόνο που δεν επιτρέπει το σωστό προγραμματισμό και την εξασφάλιση των αναγκαίων ανταλλακτικών και συνεργείων.
- Υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί δευτερογενής βλάβη ακόμη και ολοσχερής καταστροφή.



Διάγραμμα 1.2: Διάγραμμα νεκρών χρόνων παραγωγής

Είναι αξιοσημείωτο όμως, πως αν σε μερίδα του εξοπλισμού κριθεί ότι αυτή η τακτική είναι η ενδεδειγμένη και μόνο εκεί εφαρμοστεί, τότε μιλούμε για την πολιτική «*λειτουργία μέχρι αστοχίας*» (run to failure) που μας δίνει πλεονεκτήματα όπως:

- Απλότητα στη διαχείριση. Κατ'αυτή δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη φροντίδα ή προετοιμασία, αλλά ασχολούμαστε με το πρόβλημα όταν το μηχάνημα έχει ήδη υποστεί μία καταστροφική βλάβη.
- Χαμηλό κόστος. Αυτό ισχύει με τις παρακάτω προϋποθέσεις:
 - i. Η βλάβη να μην έχει δευτερογενείς συνέπειες σε βλάβες μεγαλύτερης σοβαρότητας
 - ii. Να μην προκαλείται διακοπή της παραγωγής
 - iii. Το κόστος αποκατάστασης να είναι χαμηλότερο από το κόστος εφαρμογής άλλων πολιτικών

1.2.2. Περιοδική ή Βάσει Χρόνου Συντήρηση (Time Based Maintenance)

Θέλοντας να αποφύγουμε τυχόν απρόβλεπτες αστοχίες συχνά εφαρμόζουμε την πολιτική να επεμβαίνουμε προληπτικά στον εξοπλισμό, μετά από έναν ορισμένο χρόνο λειτουργίας, επειδή θεωρούμε ότι αυτός δεν μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί αξιόπιστα, δηλαδή χωρίς να βγάλει πρόβλημα. Αυτή η πολιτική της **βάσει χρόνου συντήρησης** βασίζεται στην παραδοχή ότι οι φθορές είναι συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας και επομένως τα εξαρτήματα των μηχανών διαθέτουν έναν προβλέψιμο χρόνο ζωής. Μετά την παρέλευση αυτού του χρόνου θα παρουσιάσουν μεγάλη πιθανότητα να εμφανίσουν βλάβη. Αυτή η πολιτική ονομάστηκε, επίσης, **Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)**.

Παράδειγμα προληπτικής επέμβασης είναι η αντικατάσταση του λιπαντικού ενός βιομηχανικού μειωτήρα μετά από λειτουργία 10000 h για ορυκτέλαια και σταθερή θερμοκρασία λειτουργίας του λιπαντικού με μέση τιμή θερμοκρασίας 70 °C.

Η προληπτική πολιτική εφαρμόζεται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν ο χρόνος μεταξύ αστοχιών είναι αρκετά σταθερός και προβλέψιμος
- Όταν το επιβάλλει η νομοθεσία
- Όταν περιλαμβάνεται ως προϋπόθεση στους όρους εγγύησης
- Όταν μας δίνεται η ευκαιρία, σε μεγάλες μηχανές που ανοίγονται για άλλους λόγους
- Σε τακτικές εργασίες, όπως το γρασάρισμα, οι καθαρισμοί (φύσημα/καθαρισμός ψηκτρών, πτερωτών ψύξης κινητήρων), οι έλεγχοι και οι ρυθμίσεις

Αν η προληπτική πολιτική δεν εφαρμοστεί συνετά, θα οδηγήσει σε σπατάλες από επεμβάσεις που δεν χρειάζονται και από αντικατάσταση ανταλλακτικών που δεν είχαν εξαντλήσει τον κύκλο ζωής τους. Επίσης υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν βλάβες από το λύσιμο και μοντάρισμα του μηχανήματος.

1.2.3. Συντήρηση Με Βάση Την Κατάσταση Του Εξοπλισμού (CBM : Condition based maintenance / prognostic maintenance)

Μπορούμε να την ορίσουμε σαν εκείνη τη στρατηγική κατά την οποία η επέμβαση στον εξοπλισμό και η εκτέλεση επισκευαστικών εργασιών προγραμματίζεται, γνωρίζοντας τη λειτουργική κατάσταση των μηχανημάτων.

Οι δύο κύριες συνιστώσες της συντήρησης **CBM (Condition based maintenance)** είναι η διάγνωση της κατάστασης του εξοπλισμού (diagnostics) και η πρόγνωση της εξέλιξης αυτής της κατάστασης (prognostics).

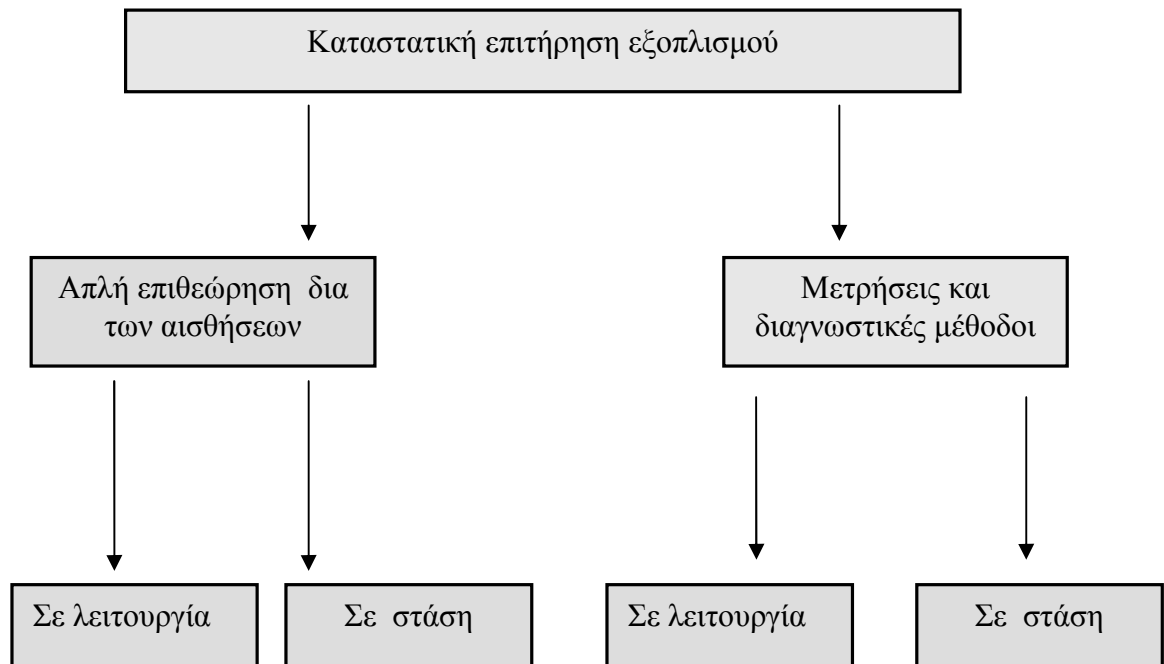
Η διάγνωση πραγματεύεται τον εντοπισμό βλαβών και φθορών όταν η λειτουργία του μηχανήματος δεν είναι φυσιολογική. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακολούθηση (monitoring) των μηχανημάτων, με οπτικούς ελέγχους καθώς επίσης και με μετρήσεις συγκεκριμένων παραμέτρων που αντανακλούν τη λειτουργική κατάστασή τους. Τέτοια μεγέθη μπορεί να είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η δόνηση, ο θόρυβος, ταχύτητα περιστροφής κλπ. Η δόνηση είναι η παράμετρος που κυρίως χρησιμοποιείται και θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στο κεφάλαιο των Ηλεκτρικών Μηχανών.

Με την πρόγνωση επιδιώκεται να προβλεφθεί η μελλοντική κατάσταση του εξοπλισμού και ιδιαίτερα η χρονική στιγμή που θα παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Η δυνατότητα πρόγνωσης της εξέλιξης της βλάβης εξειδικεύει ακόμη περισσότερο την συντήρηση CBM και οδηγεί στην συντήρηση ακριβείας (Precision Maintenance) όπου οι εργασίες συντήρησης προγραμματίζονται και εκτελούνται με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς την αναγκαιότητά τους. Η πολιτική αυτή έχει ονομασθεί επίσης **Προγνωστική Συντήρηση**, εφ' όσον επιτρέπει την εκτίμηση του χρόνου αστοχίας.

Τα οφέλη από την εφαρμογή της CBM είναι πολλά:

- i. Μειώνονται οι νεκροί χρόνοι και επομένως οι απώλειες παραγωγής, αφού οι βλάβες αντιμετωπίζονται έγκαιρα και προγραμματισμένα σε χρόνο που συμφωνεί με το πρόγραμμα της παραγωγής προλαμβάνοντας τις αιφνίδιες αστοχίες.
- ii. Επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής των μηχανημάτων που σαν αποτέλεσμα έχει τη βελτίωση του επιπέδου συντήρησης και την διασφάλιση καλών συνθηκών λειτουργίας. Για παράδειγμα, με τη διατήρηση της δόνησης σε χαμηλά επίπεδα, τα μηχανήματα δουλεύουν υπό ομαλότερες συνθήκες.
- iii. Περιορίζονται οι δαπάνες συντήρησης, επειδή αποφεύγονται οι δευτερογενείς βλάβες, λόγω της έγκαιρης διάγνωσης και οι επεμβάσεις περιορίζονται στο απολύτως απαραίτητο, εφόσον οι προληπτικές εργασίες συντήρησης ελαχιστοποιούνται.

1.3 Η εφαρμογή της Συντήρησης με βάση την Κατάσταση του Εξοπλισμού (BCM)



Διάγραμμα 1.3: Πίνακας διαδικασίας και εφαρμογής της BCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (CBM)

2.1 Απλή επιθεώρηση δια των αισθήσεων

Γίνεται σαφές ότι η απλή παρακολούθηση του εξοπλισμού, εκτελώντας συγκεκριμένα δρομολόγια, έχει να προσφέρει πολλά σε ένα οργανωμένο εργοστάσιο που εφαρμόζει τις αρχές του Σχεδιασμού και Προγραμματισμού. Ωστόσο, οι ανθρώπινες αισθήσεις έχουν περιορισμένη δυνατότητα στην ακριβή διάγνωση και επίσης αδυνατούν να τεκμηριώσουν και να ποσοτικοποιήσουν τα αποτελέσματα. Η άποψη του Επιθεωρητή είναι υποκειμενική. Στην συγκεκριμένη συγγραφή θα ακολουθήσουμε την επιθεώρηση μηχανημάτων με μετρήσεις σε κίνηση με την βοήθεια οργάνων και θα δούμε διάφορες διαγνωστικές μεθόδους μη καταστροφικών ελέγχων.

2.2 Επιτήρηση και μετρήσεις με διαγνωστικές μεθοδολογίες

Θα χρειαστεί να επιστρατεύσουμε μια σειρά από όργανα και διαγνωστικές μεθοδολογίες, ώστε να καταφέρουμε να εντοπίζουμε τις βλάβες πιο έγκαιρα και να διαγνώσουμε το πρόβλημα με περισσότερη ακρίβεια.

Η Διαγνωστική επιστρατεύει μια σειρά από εξειδικευμένες τεχνικές, που βελτιώνουν σημαντικά την ικανότητα στην παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού. Οι κυριότερες γενικές μέθοδοι διάγνωσης απαριθμούνται πιο κάτω και στη συνέχεια θα περιγραφούν αναλυτικά ορισμένες από αυτές, όπως προβλέπεται από την συγκεκριμένη εργασία, με την παρουσίαση αντίστοιχων οργάνων καθώς και διαγνωστικών παραδειγμάτων.

- i. **Η ανάλυση δονήσεων.** Οι μηχανές οι οποίες δεν λειτουργούν φυσιολογικά τις περισσότερες φορές παράγουν δονήσεις και κραδασμούς ή αλλάζει η συνήθης μορφή αυτών των μεγεθών. Η ανάλυση των δονήσεων μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του μηχανήματος αλλά και των εξαρτημάτων του, καθώς κάθε εξάρτημα παρουσιάζει τις δικές του ιδιοσυχνότητες ανάλογα με την γεωμετρία του. Από τα μεγέθη των μετρούμενων δονήσεων υπάρχει η δυνατότητα να γίνει εκτίμηση του μεγέθους της βλάβης και γνωρίζοντας εκ των προτέρων τις ιδιοσυχνότητες του κάθε εξαρτήματος να εντοπιστεί το σημείο της βλάβης. Η λήψη των μετρήσεων γίνεται με την χρήση επιταχυνσιόμετρων και μπορεί να γίνεται περιοδικά με την χρήση φορητών μηχανημάτων ή με μόνιμες διατάξεις που βρίσκονται επί των μηχανών.

- ii. **Ο θόρυβος** που παράγεται από την λειτουργία των μηχανών μπορεί να αξιολογηθεί για την διάγνωση της κατάστασης του μηχανήματος. Όταν μια μηχανή λειτουργεί ομαλά παράγει θόρυβο ενός συγκεκριμένου φάσματος. Με την εμφάνιση και εξέλιξη των βλαβών το φάσμα αυτό αλλάζει ή παρουσιάζονται αιχμές. Γνωρίζοντας το φάσμα συχνοτήτων για τον θόρυβο που παράγεται από κάθε εξάρτημα του μηχανήματος είναι δυνατό να γίνει διάγνωση για το σημείο αλλά και την σοβαρότητα της βλάβης.
- iii. **Η ανάλυση ακουστικής εκπομπής.** Ακουστική εκπομπή είναι απελευθέρωση ενέργειας μέσω ελαστικών κυμάτων λόγω μετατοπίσεων που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της δημιουργίας ρωγμών και της εξέλιξής τους. Η μέτρηση της ακουστικής εκπομπής γίνεται με την χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων που τοποθετούνται στην επιφάνεια του μηχανήματος. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι δυνατό να εντοπιστεί η πηγή της δημιουργίας αυτών των εκπομπών, αλλά και το μέγεθος της βλάβης.
- iv. **Η ανάλυση του ηλεκτρικού σήματος από κινητήρες.** Οι κινητήρες κατά τη λειτουργία τους επηρεάζουν την κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που τους τροφοδοτεί. Οι ίδιοι οι κινητήρες λειτουργώντας σαν μεταλλάκτες μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας όλου του μηχανήματος. Οι αλλαγές στο φορτίο που συνδέεται ο κινητήρας πολλές φορές προέρχονται από την κατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- v. **Παρακολούθηση θερμοκρασίας.** Η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί άμεσα με την χρήση σταθερών θερμομέτρων επί της μηχανής ή φορητών κατά την διαδικασία της επιθεώρησης που κάνει ο επιθεωρητής στην διάρκεια ενός προγραμματισμένου δρομολόγιου ελέγχου.

2.3 Θερμογραφία με υπέρυθρη ακτινοβολία

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποβλέπει την μέτρηση και την ανίχνευση θερμοκρασιών με μέτρηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την μηχανή ή μέρη αυτής. Ευρεία εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου έχει η ανίχνευση Ηλεκτρικών Πινάκων και Δικτύων, Συνδεσμολογιών, Μετασχηματιστών, κινητήρων αλλά και μηχανολογικών εξοπλισμών.

2.4 Φθορά λιπαντικών

Η προληπτική συντήρηση ή αλλιώς *Βάσει χρόνου συντήρηση* ασχολείται βασικά με ελέγχους-αναλύσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των λιπαντικών όπως ιξώδες, ειδικό βάρος, σημεία ανάφλεξης - καύσης - αυτανάφλεξης, αδιάλυτα, χρώμα, περιεκτικότητα σε νερό ή υγρασία, οξύτητα (TAN), στοιχειακή ανάλυση (FTIR), οξειδωση, διαχωρισμός νερού, τέφρας.

Οι βασικές διαγνωστικές μέθοδοι είναι:

- i. Έλεγχος επιπέδου καθαρότητας (μικροσκόπιο, σάρωση)**
Καταντή γίνεται καταμέτρηση και ταξινόμηση σωματιδίων ως προς τον αριθμό και το μέγεθος, σύμφωνα με τα διεθνή συστήματα ISO, NAS, ASTM.
- ii. Φασματοσκοπικές μετρήσεις μεταλλικών στοιχείων φθοράς <math><10\mu\text{m}</math>**
Καταντή γίνεται παρακολούθηση του ρυθμού φθοράς και διάβρωσης, εντοπισμός μολυντών, ανάλωση προσθέτων.
- iii. Αναλυτική φερρογραφία (όργανα μεταλλογραφικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)**
Καταντή γίνεται απεικόνιση όλων των σωματιδίων, αλλά είναι χρονοβόρα και έχει υψηλό κόστος ανά δείγμα μέτρησης.
- iv. Οπτική απεικόνιση σωματιδίων (Laser Net Fines technology)**
Καταντή γίνεται απεικόνιση του περιγράμματος (σχήματος) μεγάλων $>20\mu\text{m}$ αλλά και μικρότερων σωματιδίων. Η απεικόνιση γίνεται με την βοήθεια δέσμης λεπτών ακτίνων laser, ενώ τα δε σωματίδια συγκρίνονται και κατατάσσονται με την βοήθεια Η/Υ με βάση δεδομένων εικόνων. Η μέθοδος είναι αξιόπιστη, ταχύτατη και οικονομική με μεγάλη εφαρμογή στην βιομηχανία σήμερα.



Εικόνα 2.1: Διαδικασία λήψης εικόνων σωματιδίων

HMS Οπτική απεικόνιση σωματιδίων
(LaserNet fines technology)

- Το περίγραμμα (σκιά) κάθε σωματιδίου
- συγκρίνεται με τη βοήθεια Η/Υ και ειδικού λογισμικού επεξεργασίας εικόνων, με χιλιάδες αποθηκευμένες πρότυπες μορφές,
- όλα δε καταμετρούνται και κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος και την αιτία δημιουργίας ή την προέλευση τους !

Κοπή			
Ολίσθηση			
Κόπωση			
Τνες			
Οξείδια			
Σταγόνες νερού			

Σχήμα 9. Παραδείγματα κατάταξης σωματιδίων

Νοέμβριος 2014

Αναλύσεις Απαιτητών
Χ. Αποστολίδης

65

Εικόνα 2.2: Διαδικασία ταύτισης ευρημάτων μέσω Η/Υ

2.5 Υπέρηχοι (Ultrasonic)

Η Τεχνική αυτή στηρίζεται στη διάδοση ακουστικών κυμάτων υπερηχητικών συχνοτήτων ($>20\text{KHz}$) εντός υλικών, γνωστής ακουστικής διαπερατότητας (Συνδυασμός πυκνότητας σώματος και ελαστικής διαπερατότητας). Η τεχνική αυτή επιτρέπει τον ταχύ και αξιόπιστο εντοπισμό εσωτερικών ατελειών (πόρων, εγκλεισμάτων ή ρωγμών) του υλικού, όταν αυτές είναι κάθετες στη διεύθυνση διάδοσης των ακουστικών κυμάτων. Οι υπέρηχοι παράγονται με το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (Curie, 1880) ή το φαινόμενο μαγνητο-συστολής (Magneto-strictive, Joule 1847).

Στη μέθοδο υπερήχων χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο: Όταν εφαρμόζεται (εναλλασσόμενη) ηλεκτρική τάση σε ένα στοιχείο (κρύσταλλο) τότε αυτό διαστέλλεται και συστέλλεται, παράγοντας δόνηση υψηλής συχνότητας (άρα λειτουργεί ως πομπός).

Όταν, αντίστροφα, το στοιχείο δέχεται κύματα πίεσης (υπέρηχο), παράγεται ηλεκτρική τάση (άρα το στοιχείο λειτουργεί σαν δέκτης).

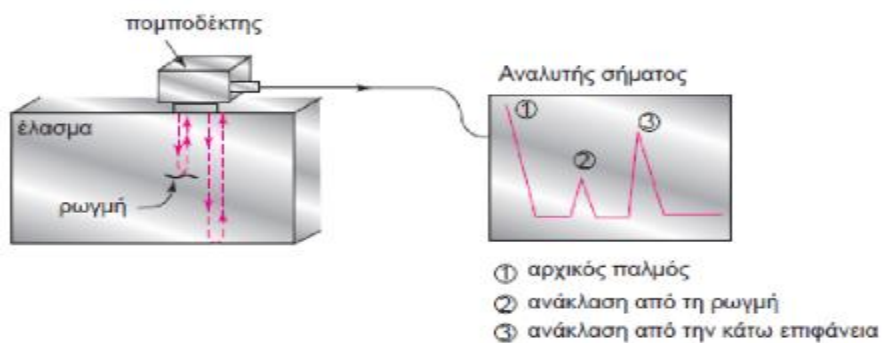
Τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία συνήθως αποκαλούνται και κρύσταλλοι. Οι κρύσταλλοι είναι 3 ειδών κυρίως: οι κρύσταλλοι χαλαζία (quartz), τα Πολωμένα κεραμικά (polarized ceramics) και τα στοιχεία από Lithium Sulphate. Μεγαλύτερη πρακτική εφαρμογή σήμερα βρίσκουν τα πολωμένα κεραμικά καθότι παρουσιάζουν εξαιρετικές ιδιότητες πομπού, αν και γηράσκουν γρηγορότερα και γίνονται ψαθυρά σε σχέση με τους κρυστάλλους χαλαζία.

Κεφαλές υπερήχων: Ο κρύσταλλος τοποθετείται σε κατάλληλο περίβλημα και σε απόλυτη επαφή με υλικό υποστήριξης (backing material) για να επιτυγχάνεται μικρή διάρκεια παλμού. Το υλικό υποστήριξης είναι συνήθως epoxy (πλαστικό με ισχυρή απορρόφηση). Μπροστά από τον κρύσταλλο υπάρχει ακρυλικό υλικό (Perspex)

προκειμένου να διαφυλάσσεται ο κρύσταλλος από τριβή, φθορά ή σπάσιμο. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι ακουστικά κύματα υπερηχητικών κυμάτων μπορούν να δημιουργηθούν από απόσταση σε υποεπιφανειακή περιοχή, σε υλικά με την χρήση πηγών παλμικού laser με διάρκεια παλμού της τάξης των ns. Πλεονέκτημα της νέας τεχνολογίας είναι η επίτευξη μετρήσεων σωμάτων υψηλών θερμοκρασιών επειδή η πηγή της διέγερσης βρίσκεται σε απόσταση από το εξεταζόμενο σώμα.



Εικόνα 2.3: Έλεγχος με υπερήχους

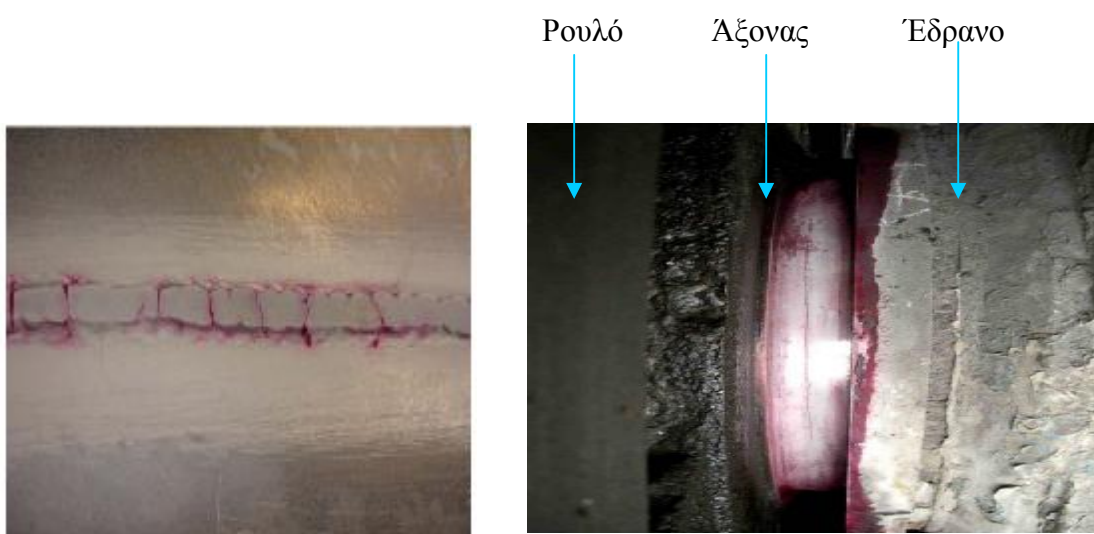


Εικόνα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση ελέγχου με υπέρηχους

2.6 Διεισδυτικά υγρά

Τα διεισδυτικά υγρά χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό επιφανειακών ρωγμών σε στερεά και μη πορώδη υλικά από μέταλλο, γυαλί, κεραμικά υλικά, πλαστικά και καουτσούκ. Στην τεχνική αυτή εκμεταλλευόμαστε την ικανότητα υγρών υψηλής επιφανειακής τάσης να διεισδύουν σε επιφανειακά ελαττώματα (πόρους και μικρορωγμές), μέσω τριχοειδών φαινομένων.

Η διαδικασία ελέγχου έχει ως εξής: Το υπό εξέταση αντικείμενο καθαρίζεται πολύ καλά με σπρέι διαλυτικού υγρού για την απομάκρυνση βιομηχανικών καταλοίπων ή από ξένα σώματα, ενώ για άλλα υγρά αρκεί ο ψεκάσμος με νερό. Μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού και αφού εξατμιστεί το διαλυτικό, η επιφάνεια του εξεταζόμενου αντικειμένου καλύπτεται με λεπτό στρώμα διεισδυτικού υγρού για χρονικό διάστημα ώστε να ολοκληρωθεί η διείσδυση του (χρήση σπρέι για καλύτερη διείσδυση). Στην συνέχεια η περίσσεια του υγρού απομακρύνεται από την επιφάνεια με υγρό πανί διαλυτικού ή νερού. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο η εξεταζόμενη επιφάνεια καλύπτεται με κατάλληλη σκόνη (σπρέι), τον «εμφανιστή», ο οποίος, ενεργώντας ως σφουγγάρι, προκαλεί εκρόφηση του υγρού που έχει διεισδύσει στην επιφανειακή ατέλεια. Το εκροφούμενο υγρό αφήνει στην επιφάνεια το ίχνος του χρώματος που έχει το διεισδυτικό υγρό που βάλαμε μετά τον καθαρισμό του προς εξέταση αντικειμένου.



Εικόνα 2.5: Ανίχνευση Ρωγμών Συγκόλλησης

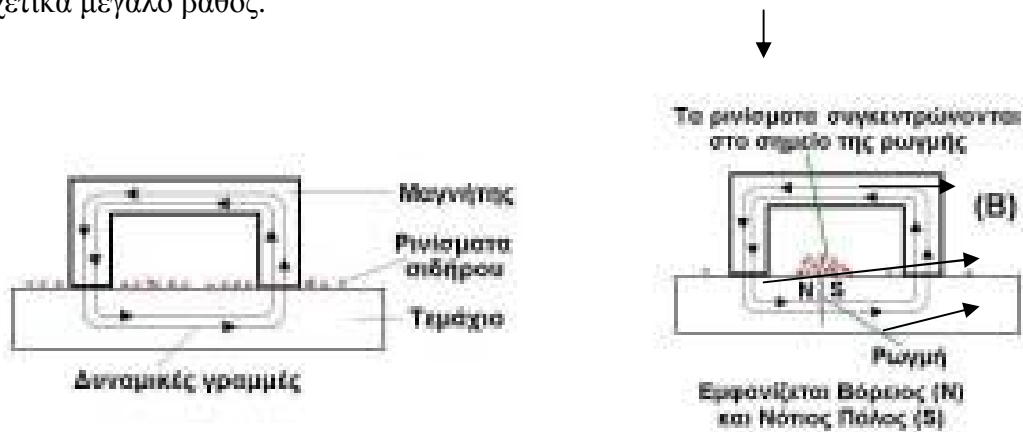
Εικόνα 2.6: Ρωγή σε άξονα ρουλού κύλισης υψικαμίνου

2.7 Μαγνητικά σωματίδια

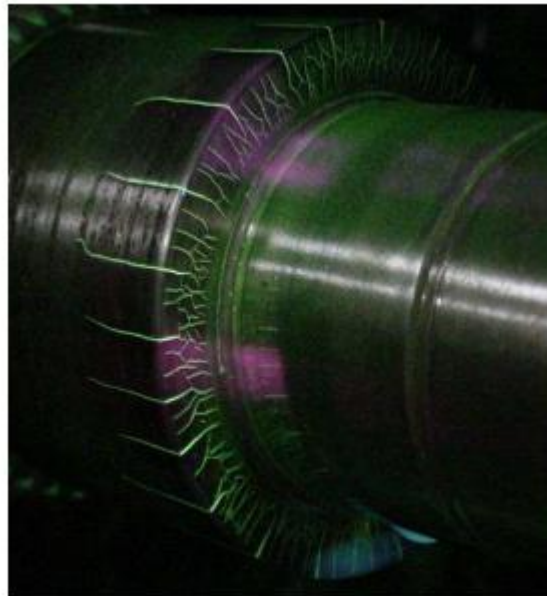
Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων είναι μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους Μη Καταστροφικών Ελέγχων για τον εντοπισμό ρωγμών σε αντικείμενα κατασκευασμένα από σιδηρομαγνητικά υλικά. Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή ότι οι γραμμές της μαγνητικής ροής που διαπερνά ένα σιδηρομαγνητικό «διαρρέουν» από το εσωτερικό του υλικού προς το περιβάλλον, όταν διέρχονται από περιοχές όπου αλλάζει η συνέχεια του υλικού, όπως είναι οι ρωγμές. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως διαρροή της μαγνητικής ροής, οφείλεται στο γεγονός της διαφορετικής μαγνητικής διαπερατότητας, αυτής του αέρα με αυτή των σιδηρομαγνητικών υλικών.

Η διαδικασία ελέγχου έχει ως εξής: Επικαλύπτουμε την επιφάνεια του αντικειμένου με σκόνη σιδήρου σε λεπτό διαμερισμό και ταυτόχρονα εφαρμόζουμε μαγνητικό πεδίο. Τα σωματίδια της σκόνης προσανατολίζονται σύμφωνα με τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου. Οι επιφανειακές ατέλειες του υλικού ή υποεπιφανειακές μικρού βάθους, προκαλούν διαρροή των μαγνητικών γραμμών, δημιουργώντας τοπικά μαγνητικά δίπολα, τα οποία έλκουν τα μαγνητικά σωματίδια.

Με την τεχνική αυτή είναι αδύνατο να ανιχνευτούν ατέλειες που βρίσκονται σε σχετικά μεγάλο βάθος.



Εικόνα 2.7: Σχηματική αναπαράσταση ανίχνευσης ρήγματος με μαγνητικά σωματίδια

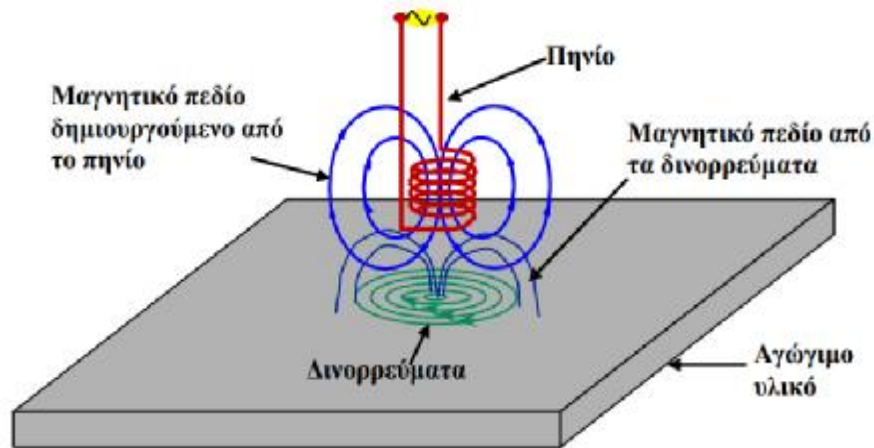


Εικόνα 2.8: Έλεγχος άξονα γεννήτριας με την μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων

2.8 Δινορρεύματα (Eddy currents)

Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος μεταλλικών υλικών με δινορρεύματα στηρίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και ύλης. Το προς εξέταση ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό τοποθετείται μέσα σε πηνίο (ή κοντά σ' αυτό), στο οποίο εφαρμόζεται εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργώντας έτσι στο εσωτερικό του πηνίου χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Το τελευταίο επάγει στο εσωτερικό του εξεταζόμενου υλικού ρεύμα ίδιας συχνότητας με αυτή της μεταβολής του πεδίου. Τα επαγωγικά αυτά ρεύματα δημιουργούν δευτερογενές μαγνητικό πεδίο, το οποίο αλληλεπιδρά με το αρχικό μαγνητικό πεδίο του πηνίου. Με τον τρόπο αυτό ανιχνεύονται αλλαγές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα ή τη μαγνητική

διαπερατότητα, λόγω της παρουσίας του εξεταζόμενου υλικού που έχει διαφορετική χημική σύσταση, μικροδομή και ιδιότητες.



Εικόνα 2.9: Δινορρέυματα επαγόμενα σε αγώγιμο υλικό από χρονικά μεταβαλλόμενο Μαγνητικό πεδίο



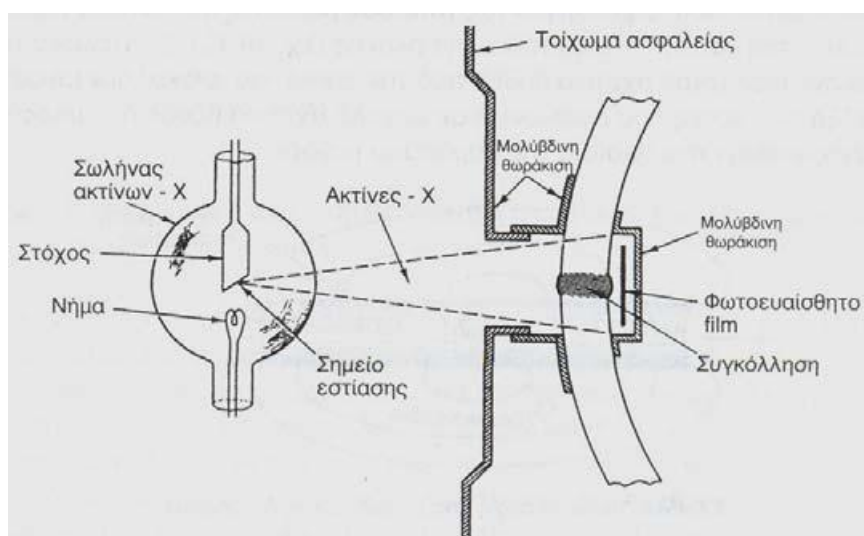
Εικόνα 2.10: Συσκευή ελέγχου με δινορρέυματα

2.9 Ραδιογραφία ακτίνων X ή γ (X-ray/ γ -ray Radiography)

Στην περίπτωση των ραδιογραφικών ελέγχων υλικών χρησιμοποιείται πηγή ακτίνων X ή γ (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία), οι οποίες λόγω του μικρού μήκους κύματός τους εμφανίζουν υψηλή διεισδυτική ικανότητα, ενώ ένα μικρό ποσοστό τους απορροφάται από το υλικό. Αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού, το πάχος του και φυσικά το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

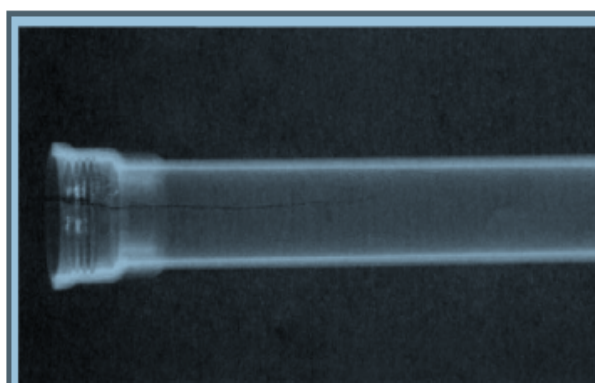
Συγκρινόμενες μεταξύ τους οι ακτίνες γ έχουν μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα από τις ακτίνες X. Οι ακτίνες X έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία, αλλά οι ακτίνες γ είναι κατάλληλες για ραδιογραφίες αντικειμένων μεγάλου πάχους λόγω μεγαλύτερης διεισδυτικής ικανότητας. Το μήκος κύματος των ακτίνων γ είναι $\lambda=0,1\text{nm}$, ενώ το εύρος του μήκους κύματος των ακτίνων X είναι $10^{-3}<\lambda<10\text{nm}$.

Μόλις η ακτινοβολία προσπέσει στην επιφάνεια του υλικού και διέλθει από την μάζα του, ανιχνεύεται στο πίσω μέρος του προς έλεγχο υλικού, όπου και αποτυπώνεται σε φωτοευαίσθητη επιφάνεια (φίλμ).



Εικόνα 2.11: Σχηματική αναπαράσταση ανίχνευσης ραδιογραφικού ελέγχου με ακτίνες X

Η χρήση της ραδιογραφίας επιτρέπει τον εντοπισμό των ασυνεχειών και αλλαγών στη δομή και τη σύνθεση ενός αντικειμένου, εφόσον αυτές επηρεάζουν τον συντελεστή απορρόφησης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Έτσι μπορούμε να ανιχνεύσουμε ρήγματα ή ασυνέχειες εντός του αντικειμένου. Στο εσωτερικό ενός αντικειμένου η παρουσία της ρωγμής θα εμφανιστεί στο φιλμ ως μαύρη γραμμή, καθώς το κενό δεν προκαλεί καμιά εξασθένηση της ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.12: Ανίχνευση ρήματος με ραδιογραφία

Αντίθετα σε περιπτώσεις εγκλεισμάτων που είναι εν γένει μεγαλύτερης πυκνότητας, οι αντίστοιχες περιοχές τους στο φιλμ καταγράφονται ως φωτεινότερα σημεία.



Εικόνα 2.13: Ανίχνευση εγκλεισμάτων με ραδιογραφία

Ανάλογα από την πυκνότητα της αποτύπωσης στο φωτογραφικό φιλμ γίνεται και ο εντοπισμός της θέσης, αλλά και το είδος του ελαττώματος. Ο ραδιογραφικός έλεγχος χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον έλεγχο χυτών αντικειμένων, σφυρήλατων και συγκολλημένων κατασκευών. Χαρακτηριστική εφαρμογή αποτελεί επίσης ο έλεγχος των αποσκευών και των οχημάτων που πραγματοποιείται αντίστοιχα στα αεροδρόμια και στα τελωνεία.

Γενικότερα οι έλεγχοι με ακτινοβολία γ αποφεύγονται, καθώς η εκπομπή της ακτινοβολίας γ από τα ραδιενεργά υλικά (χρήση φυσικής ραδιενεργής πηγής συνήθως ράδιο (Ra), είτε από τεχνητή, συνήθως ^{60}Co) είναι συνεχείς. Σε αντίθεση η ακτινοβολία X υπάρχει όσο λειτουργεί ο καθοδικός σωλήνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

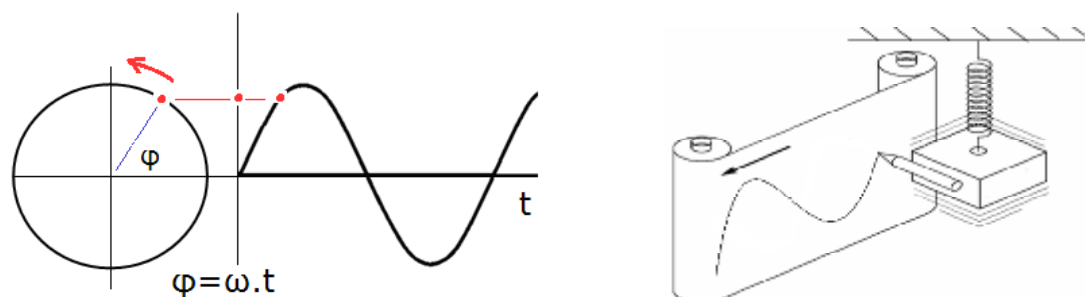
3.1 Εισαγωγή στην Διαγνωστική Συντήρηση - Ταλάντωση

Όταν αναφερόμαστε στην ανάλυση της δόνησης, της ακουστικής εκπομπής και του θορύβου εισερχόμαστε σε βασικά φαινόμενα της ταλάντωσης.

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται η βασική θεωρία ταλαντώσεων, καθώς κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση των θεμάτων που αφορούν τη διαγνωστική των μηχανών. Ειδικότερα, έννοιες που σχετίζονται με τη μέτρηση της δόνησης είναι αναγκαίο να κατανοηθούν, πριν γίνει αναφορά στην πρακτική χρήση τους για τη διάγνωση μηχανικών βλαβών.

3.2 Η έννοια της απλής ταλάντωσης και τα βασικά της μεγέθη

Η συγκεκριμένη κίνηση είναι η πλέον απλή μορφή δόνησης, που ονομάζεται απλή αρμονική ταλάντωση και απεικονίζεται με την ημιτονοειδή καμπύλη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση ημιτονοειδούς καμπύλης

Είναι η κίνηση που θα εκτελέσει το ίχνος πάνω στον κατακόρυφο άξονα ενός σημείου, που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα στην περιφέρεια ενός κύκλου. Για να γίνει αυτό εύκολα κατανοητό, ας φανταστούμε μία μάζα αναρτημένη από σταθερό σημείο μέσω ενός ελατηρίου, η οποία αφήνεται να ταλαντωθεί ελεύθερα. Μια γραφίδα προσαρτημένη πάνω στη μάζα γράφει πάνω σε χάρτινη ταινία που κινείται με σταθερή ταχύτητα. Η κίνηση που θα εκτελέσει η μάζα είναι απλή αρμονική ταλάντωση και η γραφίδα θα χαράζει πάνω στην ταινία την ημιτονοειδή καμπύλη που αναπαριστά την κίνηση.

Γενικότερα, μια ταλαντευτική κίνηση αναπαρίσταται με τη γραφική της παράσταση, που ονομάζεται επίσης κυματομορφή ή χρονικό σήμα της ταλάντωσης. Είναι η καμπύλη που δείχνει κάθε χρονική στιγμή σε ποιά θέση βρίσκεται το δονούμενο

σημείο και είναι πολύ χρήσιμη στην κατανόηση της κίνησης του δονούμενου αντικειμένου.

Ο οριζόντιος άξονας της κυματομορφής παριστάνει το χρόνο, ενώ ο κατακόρυφος τη θέση του δονούμενου σημείου για κάθε χρονική στιγμή. Μία δόνηση δεν είναι πάντα απλή αρμονική αλλά μπορεί να είναι πολύ πιο σύνθετη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η δόνηση που παριστάνεται από την κυματομορφή του σχήματος.



Διάγραμμα 3.1: Μορφή σύνθετης κυματομορφής μιας δόνησης

Όπως θα εξηγηθεί αργότερα, μια δόνηση, όσο σύνθετη κι αν είναι, μπορεί να αναλυθεί σε πολλές απλές αρμονικές ταλαντώσεις διαφορετικών συχνοτήτων. Έτσι, η μελέτη αυτής της απλής μορφής αποτελεί τη βάση για την κατανόηση οποιασδήποτε σύνθετης μορφής ταλάντωσης.

3.3 Χαρακτηριστικές παράμετροι της δόνησης - Ταλάντωσης

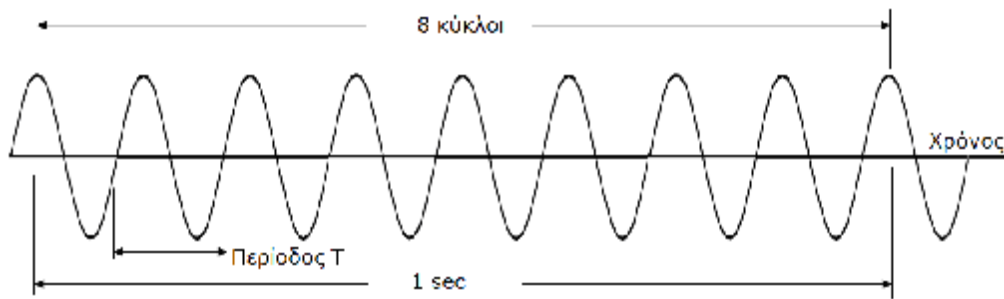
Θα μελετήσουμε τα μεγέθη ή παραμέτρους που χαρακτηρίζουν μία απλή αρμονική ταλάντωση. Αυτό είναι αρκετό επειδή, όπως ήδη αναφέρθηκε, οποιαδήποτε ταλαντευτική κίνηση, μπορεί να αναλυθεί σε ένα σύνολο απλών ταλαντώσεων. Η μελέτη των σύνθετων δονήσεων και η ανάλυσή τους σε απλές είναι ένα θέμα που θα αναπτυχθεί εκτενώς, καθώς προσφέρει αξιόλογες μεθόδους στη διάγνωση βλαβών.

Για να ορίσουμε μία απλή αρμονική ταλάντωση αρκεί να ορίσουμε τη συχνότητα και την ένταση ή το πλάτος της ταλάντωσης.

i. Συχνότητα:

Επειδή η ταλάντωση είναι μια κίνηση που επαναλαμβάνεται, έχει δηλαδή περιοδικότητα, χαρακτηρίζεται από το ρυθμό με τον οποίο εκτελεί τους επαναλαμβανόμενους κύκλους. Ο ρυθμός αυτός ονομάζεται συχνότητα της δόνησης. Κατά έναν πιο ακριβή ορισμό, η συχνότητα αντιπροσωπεύει τον αριθμό των κύκλων ταλάντωσης που ενεργούνται στη μονάδα του χρόνου, συγκεκριμένα σε 1 λεπτό ή σε 1 δευτερόλεπτο.

Η διάρκεια ενός κύκλου ταλάντωσης ονομάζεται περίοδος.



Διάγραμμα 3.2: Σχηματική παράσταση συχνότητας οχτώ κύκλων

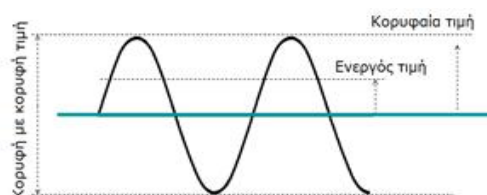
Η συχνότητα f μετράται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (cycles per second), σε συντομία **cps** ή **Hz**. Στο παράδειγμα του παραπάνω σχήματος, είναι $f = 8$ cps. Μία εναλλακτική μονάδα μέτρησης είναι οι κύκλοι ανά λεπτό (cycles per minute), σε συντομία **cpm**. Η σχέση μεταξύ των δύο μονάδων είναι $1\text{cps}=60\text{cpm}$. Στην Διαγνωστική των μηχανών προτιμάται η μονάδα **CPM** (κύκλοι ανά λεπτό), καθώς αυτή συνδέεται άμεσα με τη συνήθη μονάδα περιστροφικής ταχύτητας **RPM** (στροφές ανά λεπτό).

Η περίοδος T είναι η διάρκεια ενός πλήρους κύκλου ταλάντωσης και η σχέση της με την συχνότητα είναι: $T=1/f$ και $f=1/T$.

Η συχνότητα αποτελεί μια χρήσιμη παράμετρο στη διαγνωστική, διότι μας πληροφορεί για την προέλευση της δόνησης και μας βοηθά στον εντοπισμό του προβληματικού εξαρτήματος. Ας πάρουμε σαν παράδειγμα έναν βιομηχανικό φυσητήρα που περιστρέφεται με 2.500 RPM και οδηγείται μέσω μαντοκίνησης από έναν κινητήρα που περιστρέφεται με 1.480 RPM. Ας υποθέσουμε ότι μετρούμε παρά φύση υψηλή δόνηση στο φυσητήρα και ακόμη υψηλότερη στον κινητήρα. Από αυτό το στοιχείο δεν μπορούμε να καταλάβουμε πού βρίσκεται το πρόβλημα. Κατόπιν, με τα ειδικά όργανα διάγνωσης διαπιστώνουμε ότι η συχνότητα της δόνησης και στις δύο μηχανές είναι 2.500 CPM. Αυτό το στοιχείο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δόνηση προέρχεται απ' τον φυσητήρα, παρόλο που το εύρος είναι μεγαλύτερο στον κινητήρα.

ii. Πλάτος δόνησης:

Είναι η παράμετρος που χαρακτηρίζει την ένταση της δόνησης. Πιο συγκεκριμένα, το εύρος ή το πλάτος δόνησης μετρά τη διαδρομή που διανύει το δονούμενο αντικείμενο ως προς το σημείο αναφοράς.



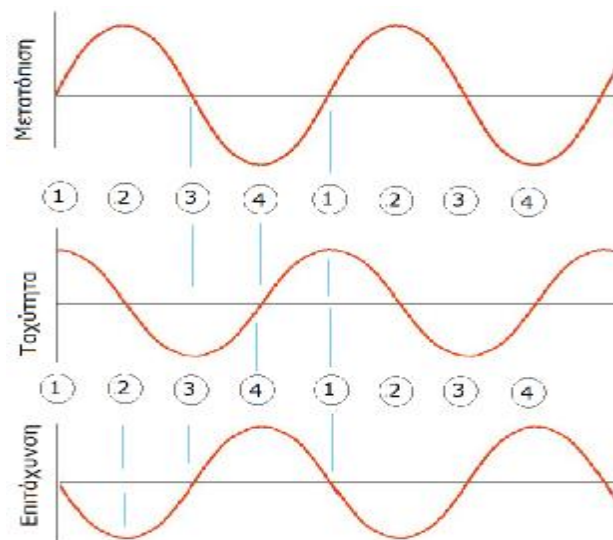
Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα πλάτους ή εύρους της δόνησης

Το εύρος μπορεί να εκφρασθεί κατά τρεις τρόπους:

- **Κορυφαία τιμή (p)** είναι η μέγιστη τιμή ή πιο απλά η μέγιστη διαδρομή από τη θέση ηρεμίας.
- **Κορυφή προς κορυφή τιμή (p-p)** είναι η πλήρης διαδρομή του δονούμενου αντικειμένου.
- **Ενεργός τιμή (RMS)**. Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει το σταθερό πλάτος που περιέχει την ίδια ενέργεια με το δονητικό σήμα.

Στην απλή αρμονική ταλάντωση οι σχέσεις μεταξύ των παραπάνω μεγεθών είναι: $X_{\text{peak}}=1.414 \cdot X_{\text{rms}}$, $X_{\text{p-p}}=2 \cdot X_{\text{p}}$. Σε σύνθετες δονήσεις, δεν ισχύει η παραπάνω σχέση και συχνά χρειάζεται η μέτρηση και των δύο τιμών για να υπάρξει πιο σαφής εικόνα της δόνησης.

Το πλάτος ταλάντωσης μπορεί να μετρηθεί και σε μονάδες **ταχύτητας** (που είναι ο ρυθμός μεταβολής της μετατόπισης). Παρατηρούμε ότι κατά την ταλαντευτική κίνηση, η ταχύτητα δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται κι αυτή μέσα στον κύκλο της περιόδου:



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα μεγεθών μέτρησης της ταλάντωσης

Αν η κίνηση ακολουθεί την ημιτονοειδή μορφή, τότε και η στιγμιαία τιμή της ταχύτητας ακολουθεί την ίδια μορφή. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ταχύτητα γίνεται μέγιστη κατά τη διέλευση της μάζας από τη θέση ηρεμίας (στιγμή 1), μηδενίζεται καθώς το δονούμενο σώμα αγγίζει το άνω άκρο (2), κατόπιν αυξάνεται καθώς το σώμα επιστρέφει, αποκτά τη μέγιστη τιμή κατά τη διέλευση από τη θέση ηρεμίας (στιγμή 3), κ.ο.κ.

Η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι το **mm/sec**. Το πλάτος της ταχύτητας δόνησης μετράται με την μέγιστη (**peak**) ή την ενεργό (**rms**) τιμή της. Όταν μετρούμε την

ενεργό τιμή, σημειώνουμε «**mm/sec rms**», ενώ όταν μετρούμε τη μέγιστη «**mm/sec peak**».

Τέλος, το εύρος μπορεί να μετρηθεί σαν **επιτάχυνση** (που είναι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας) με μονάδα μέτρησης το **mm/sec²** ή το **g**. Η επιτάχυνση γίνεται μέγιστη στα σημεία αλλαγής της φοράς κίνησης, δηλαδή στα ακρότατα σημεία της κίνησης κατά τις χρονικές στιγμές 2 και 4. Η μέγιστη αυτή τιμή είναι το μέτρο της επιτάχυνσης. Η ενεργός τιμή προκύπτει από τη σχέση **$A_{rms} \approx 0,707 A_{peak}$** .

Συγκρίνοντας τα τρία παραπάνω μεγέθη μέτρησης, θα λέγαμε ότι η μετατόπιση μας δίνει μια πιο άμεση εικόνα της κίνησης του μετρούμενου σημείου και συνδέεται άμεσα με την παραμόρφωση της κατασκευής στα σημεία σχετικής κίνησης. Επίσης, έχει αποδειχθεί θεωρητικά και έχει επιβεβαιωθεί στην πράξη, ότι η μετατόπιση δίνει έμφαση στις χαμηλότερες συχνότητες, γι' αυτό προσφέρεται για την περιοχή από 60 cpm έως 600 cpm.

Έχει αποδειχθεί επίσης, ότι η ταχύτητα, σαν παράμετρος μέτρησης, καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή συχνοτήτων, τυπικά την περιοχή από 600 cpm έως 60 kcpm και ότι συνδέεται άμεσα με το βαθμό δυναμικής μηχανικής καταπόνησης και κόπωσης των υλικών. Αυτός είναι ο λόγος που δικαιολογεί την ταχύτητα σαν την επικρατέστερη παράμετρο μέτρησης της δόνησης.

Τέλος, η επιτάχυνση αναδεικνύει την υψηλή περιοχή συχνοτήτων και προσφέρεται για συχνότητες άνω των 60 kcpm ή 1 kHz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Απλές μετρήσεις δόνησης

Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν έχει επιστημονικό ενδιαφέρον με βάση την διαγνωστική. Η χρήση απλών συσκευών μέσου των οποίων χρησιμοποιούμε για την απλή μέτρηση της δόνησης μας διευκολύνει στο να βγάλουμε γρήγορα συμπεράσματα αν ένα μηχάνημα λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

Η χρήση τέτοιων απλών συσκευών εκτός του εύρους της δόνησης μας είναι χρήσιμες και για την μέτρηση των db (Ντεσιμπέλ) σε χώρους εργασίας αλλά και σε χώρους συστοιχιών ορισμένων μηχανημάτων (π.χ Σταθμοί αέρος με την παρουσία πολλών κομπρεσέρ).

4.2 Καταγραφή στο χρόνο του εύρους της δόνησης (Time chart)

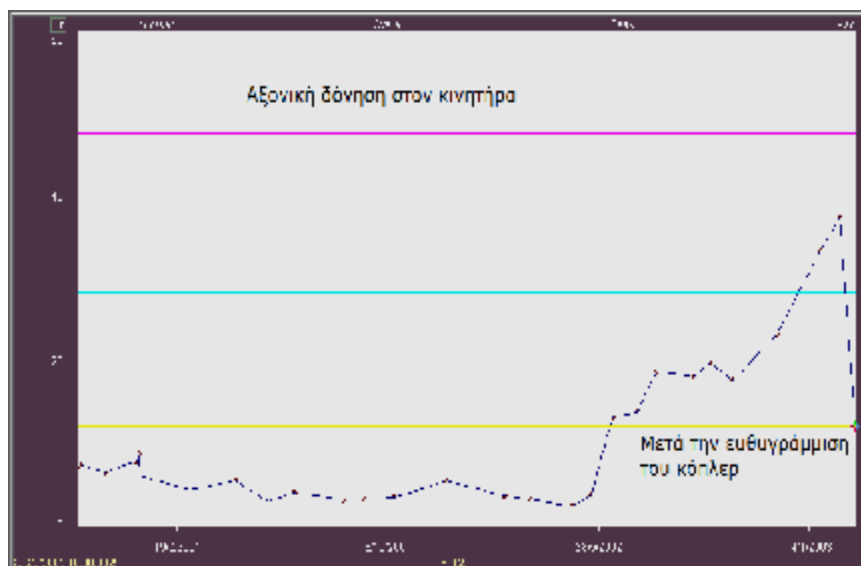
Κατ' αυτή τα δεδομένα του εύρους της δόνησης ή μιας συνιστώσας καταγράφονται ως συνάρτηση του χρόνου επάνω σε μια ταινία. Με τον τρόπο αυτό δεν χάνονται πληροφορίες, αλλά το μεγάλο πλήθος των μετρήσεων καθιστά δύσκολη την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Συνήθως τα δεδομένα επεξεργάζονται εκτενέστερα χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους ή κύρια χαρακτηριστικά του γραφήματος που προκύπτει, όπως οι μέγιστες τιμές, ο συντελεστής διασποράς, η τυπική απόκλιση, η κυρτότητα, η συμμετρία και τα υπόλοιπα στατιστικά μεγέθη.

4.3 Ανάλυση τάσης (Trend Analysis)

Η συγκεκριμένη διαγνωστική μέθοδος ονομάζεται και *ανάλυση τάσης της δόνησης*. Είναι μια συγκριτική μέθοδος μέσου της οποίας παρακολουθούμε την κατάσταση του μηχανήματος σε βάθος χρόνου ως αναφορά το μέγεθος της δόνησης ή των συχνοτήτων συγκεκριμένου σημείου μέτρησης της μηχανής. Κατά την μέθοδο αυτή το μεγάλο πλήθος μετρήσεων καθιστά δύσκολη την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Είναι μια στατιστική μέθοδος μέσου της οποίας εξετάζονται βασικά χαρακτηριστικά του γραφήματος, όπως μέγιστες τιμές, τυπική απόκλιση, συμμετρία και άλλα στατιστικά μεγέθη.

i. Ιστορικό μέτρησης μιας αξονικής δόνησης ενός κινητήρα (Trend vibration)

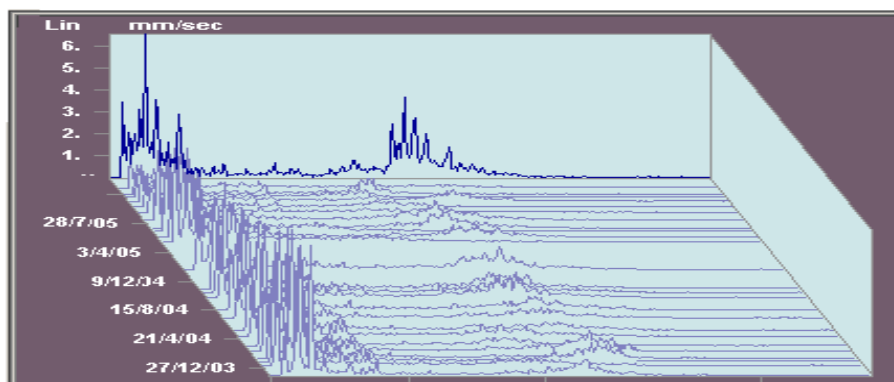
Κατά την μέθοδο αυτή τα αποτελέσματα της μέτρησης παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα κατά το οποίο ο οριζόντιος άξονας μας δείχνει τον χρόνο ημερολογιακά και ο κάθετος το εύρος της δόνησης.



Διάγραμμα 4.1: Ιστορικό μέτρησης αξονικής δόνησης κινητήρα

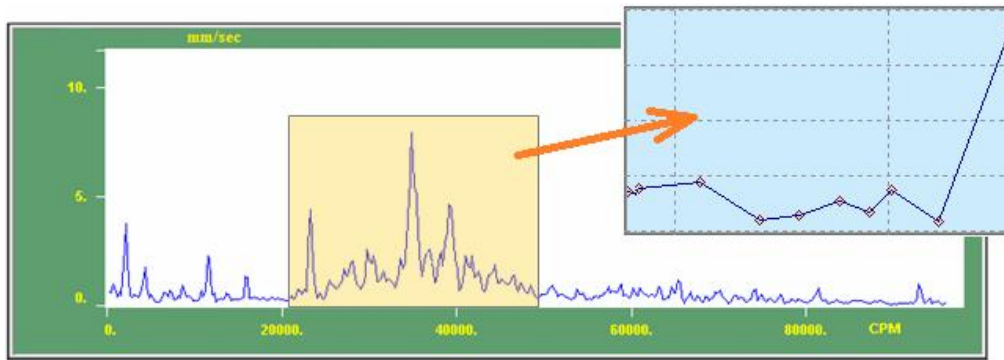
ii. Ιστορικό μέτρησης συχνότητας σημείου μηχανής (waterfall plot)

Κατά την μέθοδο αυτή τα αποτελέσματα της μέτρησης παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα κατά το οποίο ο οριζόντιος άξονας μας δείχνει την συχνότητα σε Hz, ο κάθετος το εύρος της δόνησης σε mm/s και το βάθος στον χρόνο των μετρήσεων ημερολογιακά.



Διάγραμμα 4.2: Ιστορικό μέτρησης συχνότητας (waterfall plot)

Στο παρακάτω σχήμα συνδυαστικά μπορούμε να δούμε ακόμη μια ανάλυση τάσης στην περιοχή των συχνοτήτων μίας και μοναδικής μέτρησης:



Διάγραμμα 4.3: Ανάλυση τάσης σε συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων

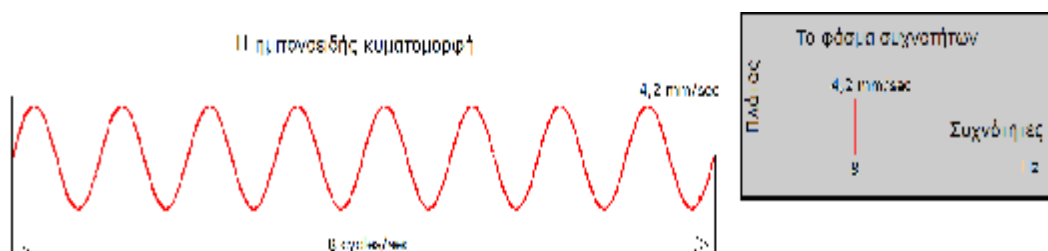
Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διαγνωστικής μεθόδου είναι ο γρηγορότερος τρόπος ελέγχου από άποψη παραγωγικής εργασίας ενός αναλυτή-επιθεωρητή, όταν αυτός έχει να ελέγξει μετρήσεις που θα προκύψουν από ένα πρόγραμμα μέτρησης 15-20 μηχανημάτων με μέσω όρο 10 μετρήσεις ανά μηχανήμα. Βλέποντας την τάση της δόνησης ή των συχνοτήτων να είναι σταθερή ή αυξάνουσα σε βάθος χρόνου έχει το πλεονέκτημα να επιμείνει δίνοντας προτεραιότητα στον έλεγχο με μεγαλύτερη προσοχή και να αναλύσει εμπεριστατωμένα το συγκεκριμένο σημείο όπως και θα αναπτύξουμε με την παρακάτω μεθοδολογία.

4.4 Ανάλυση κατά συχνότητα (Spectrum Analysis)

Το πλέον δυναμικό εργαλείο διάγνωσης ηλεκτρομηχανικών προβλημάτων του περιστροφικού εξοπλισμού, είναι αναμφισβήτητα το φάσμα συχνοτήτων. Το φάσμα παράγεται από το δείγμα του χρονικού σήματος της δόνησης και κατέχει την ιδιότητα να αναδεικνύει τα περιοδικά φαινόμενα που ενυπάρχουν σ' αυτό. Κάθε απλή αρμονική κίνηση, που υπάρχει στο δονητικό σήμα θα εμφανισθεί στο φάσμα σαν μια ξεχωριστή συνιστώσα συχνότητα.

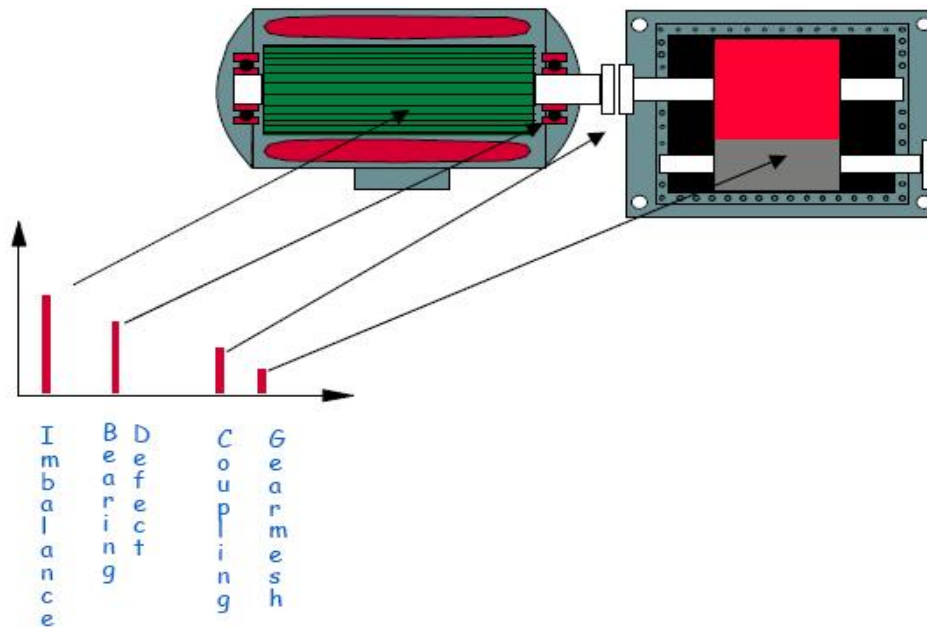
Το φάσμα παρουσιάζεται σαν ένα διάγραμμα με την κλίμακα συχνοτήτων στον οριζόντιο άξονα και το πλάτος δόνησης, υπό κλίμακα, στον κατακόρυφο άξονα. Μια απλή αρμονική ταλάντωση, που παριστάνεται με την ημιτονοειδή κυματομορφή, θα αποτυπωθεί στο φάσμα με μια γραμμή, της οποίας η θέση στον οριζόντιο άξονα προσδιορίζει τη συχνότητα της δόνησης, το δε ύψος της, το πλάτος δόνησης.

Στο παρακάτω παράδειγμα, η απλή δόνηση πλάτους 4,2mm/sec και συχνότητας 8 κύκλων στο δευτερόλεπτο (Hz), θα εμφανισθεί στο φάσμα σαν μια γραμμή ύψους 4,2 στη θέση 8Hz.



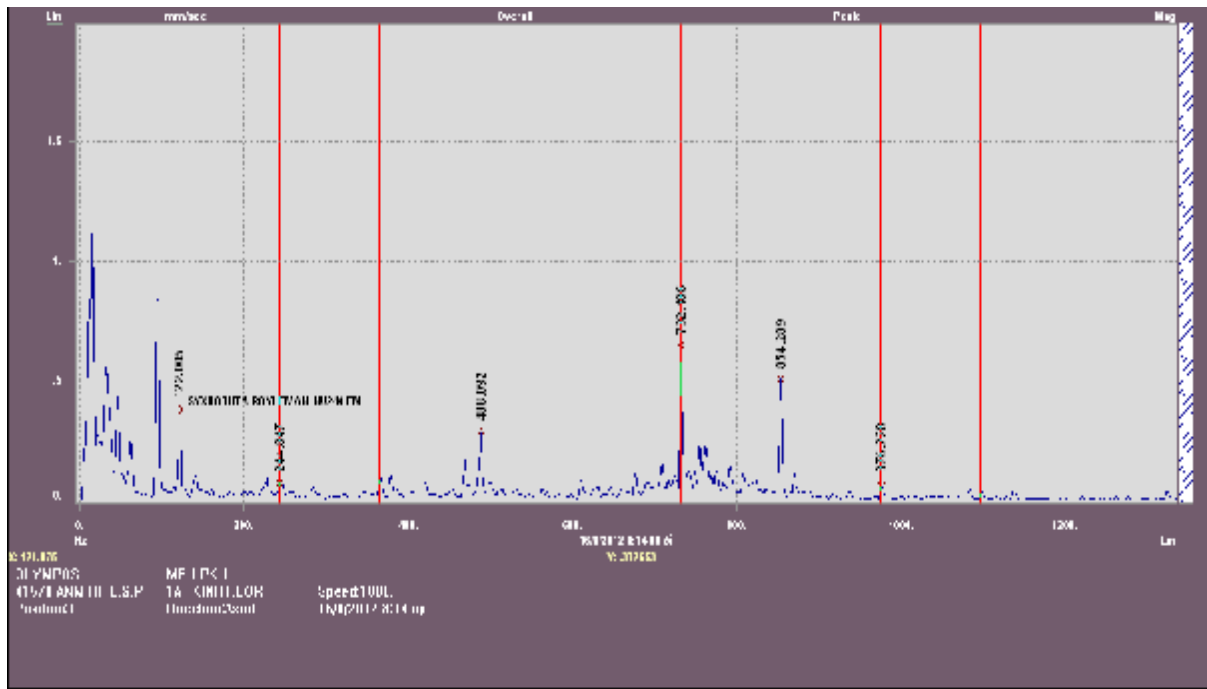
Διάγραμμα 4.4: Αποτύπωση ημιτονοειδής κυματομορφής σε φάσμα

Η ανάλυση κατά συχνότητα, όταν εφαρμοστεί στο σήμα της δόνησης, αποκαλύπτει όλες τις συχνότητες που εκπέμπει το μηχάνημα, δίνοντας μας έτσι πληροφορίες για το καθένα από τα σημεία που παράγει δόνησης.



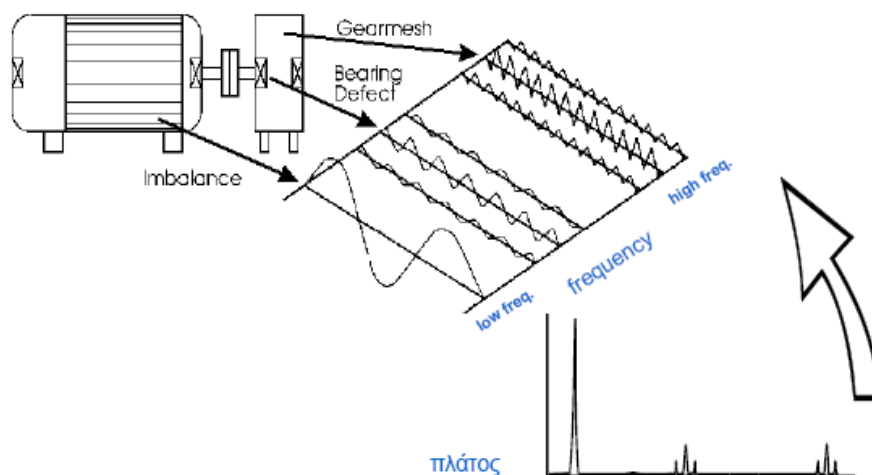
Εικόνα 4.1: Αποτύπωση ενός φάσματος συχνοτήτων κινητήρα – μειωτήρα

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι το φάσμα συχνοτήτων, το οποίο περιέχει όλες τις συνιστώσες της δόνησης. Το φάσμα παρουσιάζεται σαν ένα διάγραμμα με την κλίμακα συχνοτήτων στον οριζόντιο άξονα και τα εύρη (Amplitude-Μετατόπιση ή Velocity-Ταχύτητα ή Acceleration-Επιτάχυνση) σε κλίμακα στον κατακόρυφο άξονα.



Διάγραμμα 4.5: Πραγματικό φάσμα υψηλών συχνοτήτων ανίχνευσης ρουλεμάν

Βασική προϋπόθεση για την ανάγνωση - ανάλυση ενός φάσματος και ιδιαίτερα των συνιστωσών του είναι η γνώση των χαρακτηριστικών συχνοτήτων της μηχανής (ταχύτητα περιστροφής, συχνότητες περιστροφής ρουλεμάν, ηλεκτρικές συχνότητες). Έχοντας υπόψη ότι τα δεδομένα αφορούν ταλαντώσεις που έχουν καταγραφεί στο πεδίο του χρόνου, αυτά μεταφέρονται στο πεδίο των συχνοτήτων συνήθως με μετασχηματισμό Fourier, όπως ενδεικτικά φαίνεται στην παρακάτω παράσταση.



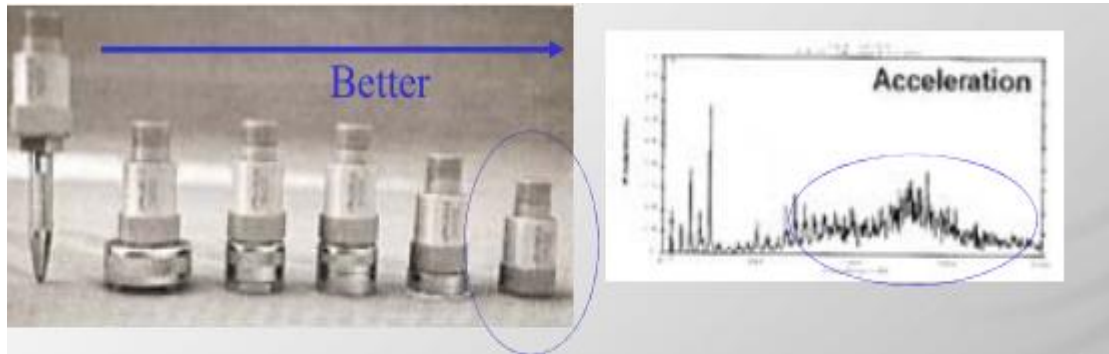
Εικόνα 4.2: Διαδικασία μετατροπής με μετασχηματισμό Fourier ταλάντωσης σε φάσμα

Η Ανάλυση κατά Fourier είναι μια μέθοδος που μετατρέπει σε ψηφιακά σήματα, τα αναλογικά σήματα των δονήσεων που συλλέγονται από τους αισθητήρες λήψης. Η μετατροπή γίνεται μέσω ενός Αναлого-Ψηφιακού μετατροπέα. Διάφοροι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα με περισσότερο χρησιμοποιούμενο τον γρήγορο μετασχηματισμό Fourier (FFT – Fast Fourier Transformation). Επειδή το φάσμα FFT είναι ψηφιακής μορφής, η ακρίβειά του εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ γειτονικών συχνοτήτων που μπορεί να διακρίνει το φάσμα. Για να πετύχουμε το καλύτερο γραφικό αποτέλεσμα ενός φάσματος FFT πρέπει να καθορίσουμε και τις ανάλογες παραμέτρους αυτού. Συγκεκριμένα:

- i. Μέγεθος μέτρησης: Εύρος (Amplitude), Ταχύτητα (Velocity), Επιτάχυνση (Acceleration)
- ii. Fmax: Το εύρος των συχνοτήτων των ταλαντώσεων που θα αναλυθούν. Μονάδες συχνότητας: CPM or Hz
- iii. Αριθμός – No. γραμμών ανάλυσης (No of lines of resolution): Η ακρίβεια και η απόσταση μεταξύ γειτονικών συχνοτήτων που μπορεί να διακρίνει το φάσμα που ονομάζεται και διακριτότητα (resolution). Αν πχ έχουμε ένα φάσμα με Fmax=120000 cpm και No.400 γραμμές ανάλυσης, τότε η διακριτότητα του φάσματος είναι $f = F_{max}/No = 300$ cpm ή 5Hz.
- iv. No. of spectra averages: Είναι μια παράμετρος κατά την οποία βγαίνει ο μέσος όρος των FFT φασμάτων που συλλέγονται, ώστε να μειωθεί η επίδραση τυχαίων φαινομένων και έτσι έχουμε ένα φάσμα απαλλαγμένο από τυχαίες εξάρσεις στο οποίο υπερिशύουν οι σταθερές συνιστώσες. Το πλεονέκτημα αυτής της παραμέτρου είναι ότι αν υπάρχουν τυχαίες συνιστώσες εξουδετερώνονται, ενώ αντίθετα ενισχύονται οι συνιστώσες που επαναλαμβάνονται συστηματικά.

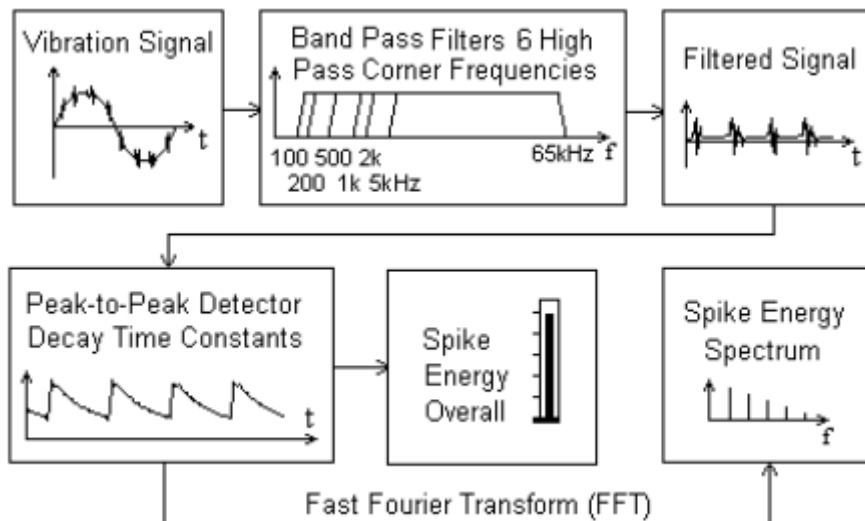
4.5 Spike Energy

Το Spike Energy (S.E) έχει χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για την παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων και την διαγνωστική των βλαβών. Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους φιλτράρει και ανιχνεύει υψηλές συχνότητες. Για την μέτρηση του S.E. γίνεται χρήση επιταχυνσιομέτρων που να ανιχνεύουν την ενέργεια της δόνησης πάνω σε ένα προκαθορισμένο υψηλό φάσμα συχνοτήτων. Οι κεφαλές πρόσφυσης των επιταχυνσιομέτρων προτείνεται να είναι μεγάλης επιφάνειας ή μαγνητικές και όχι σημειακές για καλύτερα αποτελέσματα μέτρησης.



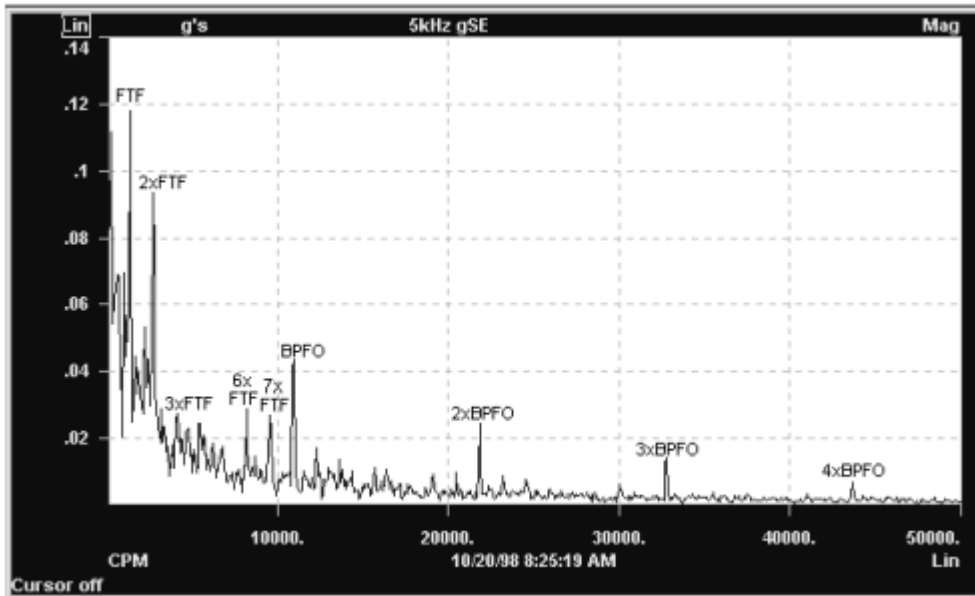
Εικόνα 4.3: Επιταχυνσιόμετρα υψηλών συχνοτήτων

Τα σήματα της δόνησης που λαμβάνονται φιλτράρονται από φίλτρα διέλευσης ζωνών συχνοτήτων. Υπάρχουν έξι (6) επιλέξιμες συχνότητες υψηλής διέλευσης 100Hz, 200Hz, 500Hz και 5000Hz. Η συχνότητα των 65000Hz είναι το ανώτερο όριο του εύρους του S.E.



Εικόνα 4.4: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας του σήματος Spike Energy

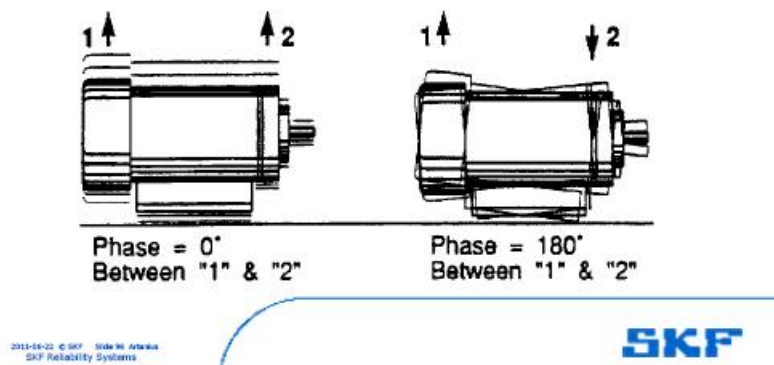
Σκοπός της χρήσης των υψηλών συχνοτήτων είναι να διαχωρίζονται τα σήματα των χαμηλών συχνοτήτων, τα οποία φανερώνουν διαγνωστικά φαινόμενα, όπως χαλαρότητα, κακή ευθυγράμμιση, αζυγοσταθμία, με εκείνα των υψηλών συχνοτήτων. Η μορφή του S.E από κορυφή σε κορυφή έχει πριονωτή μορφή.



Διάγραμμα 4.6: Φάσμα του Spike Energy μιας αντλίας
 FTF: Συχνότητα περιστροφής κλωβού ρουλεμάν της αντλίας
 BPFO: Συχνότητα διεύλεσης σφαιρών στον εξωτερικό δακτύλιο ρουλεμάν

4.6 Ανάλυση φάσεων

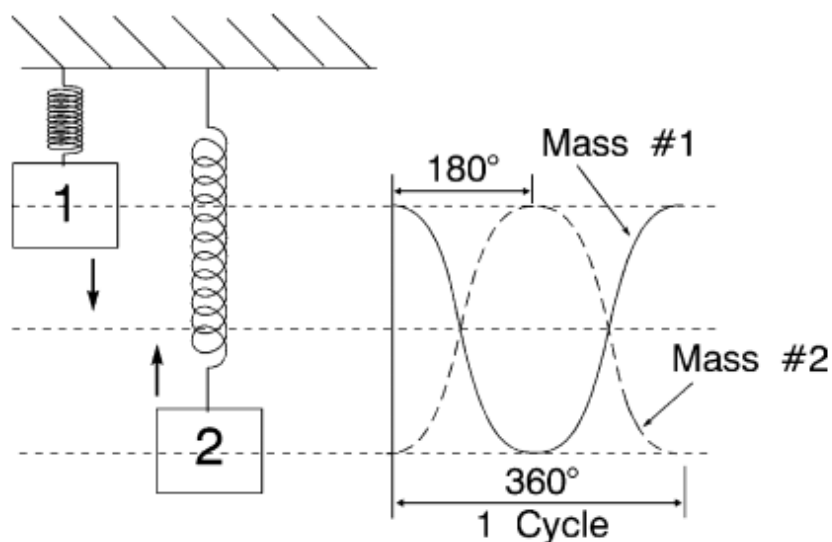
Η φάση της δόνησης είναι η παράμετρος που ορίζει την θέση του ταλαντευόμενου σημείου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το παρακάτω σχήμα μας δεικνύει πως η φάση σχετίζεται με την δόνηση ενός μηχανήματος:



Εικόνα 4.5: Δόνηση κινητήρων με διαφορετικές φάσεις 0 και 180 μοίρες

Το αριστερό σκίτσο μας δίνει διαφορά φάσεων 0 μοίρες για τα σημεία 1 και 2 σε κατάσταση κίνησης του κινητήρα, ενώ στο δεξιό σκίτσο για τα ίδια σημεία σε κατάσταση κίνησης μας δείχνει για την ίδια χρονική στιγμή και με την ίδια συχνότητα περιστροφής να βρίσκονται εκτός φάσης και με διαφορά 180 μοίρες.

Στην ανάλυση των δονήσεων έχει νόημα σαν διαφορά φάσης σε σχέση με κάποιο άλλο σημείο που δονείται στην ίδια συχνότητα. Η διαφορά φάσης ορίζεται και σαν χρονική διαφορά μιας ημιτονοειδούς ταλαντευτικής κίνησης σε σχέση με μια άλλη της ίδιας συχνότητας. Μετράται σε μονάδες γωνίας, όπου μια πλήρη περίοδος αντιστοιχεί σε 360° .



Εικόνα 4.6: Μάζα 1 και μάζα 2 κινούνται με διαφορά φάσης 180 μοίρες.

Το πλάτος και η συχνότητα παρέχουν 80% ακρίβεια κατά την διάγνωση ή την ανάλυση. Με την πρόσθεση της φάσης η ακρίβεια γίνεται περισσότερη ειδικότερα στις δονήσεις χαμηλών συχνοτήτων.

Χρησιμοποιείται ως εργαλείο ανάλυσης για τον διαχωρισμό προβλημάτων όπως αζυγοσταθμία, βέλος κάμψης, χαλαρότητα, σφάλμα ευθυγράμμισης, συντονισμός, που συμβαίνουν στο $1 \times \text{rpm}$.

Για την Ανάλυση της φάσης γίνεται χρήση ταχομέτρου (στροβοσκόπιου ή οπτικού αισθητήρα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Για την σωστότερη οργάνωση και για την καλύτερη κατανόηση θα ήταν ορθό να καταγράψουμε βήμα - βήμα την διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί από τους επιθεωρητές για την βέλτιστη και επιτυχή μέτρηση των μηχανών.

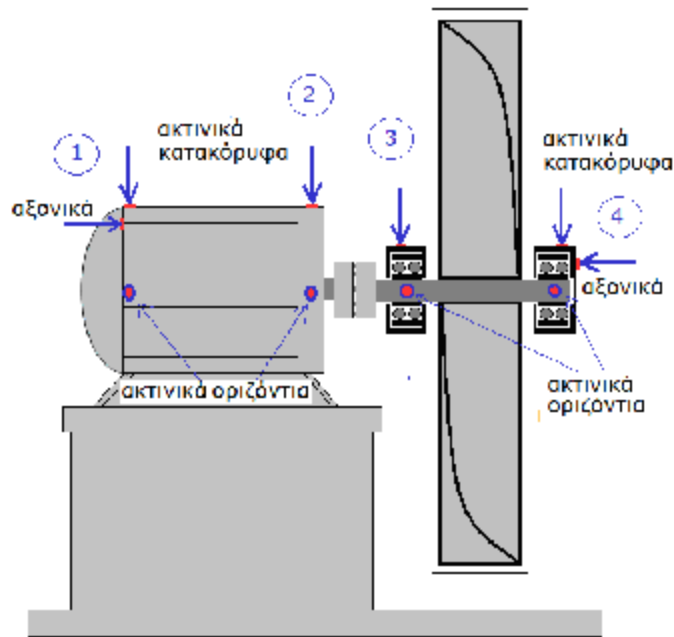
Βήμα 1ο: Αναγνώριση μηχανής. Η μηχανή πρέπει να έχει ένα όνομα. Στην προκειμένη περίπτωση ο κώδικας πρέπει να είναι ένας αριθμός ή συνδυασμός αριθμών και ονόματος. Ο αριθμός αναγράφεται σε εμφανές σημείο επί του μηχανήματος.

Βήμα 2ο: Κωδικοποίηση μηχανής. Κατ' αυτή για κάθε μηχανήμα πρέπει να υπάρχει ένας και μοναδικός αριθμός. Ο αριθμός αυτός ενδείκνυται να είναι πενταψήφιος για κάθε μηχανήμα, π.χ. 41-1-01. Τα δύο πρώτα στοιχεία να αλλάζουν ανάλογα με την γραμμή παραγωγής (αν το εργοστάσιο έχει δύο γραμμές παραγωγής η μία γραμμή παίρνει τον αριθμό 41 και η δεύτερη τον αριθμό 42).

Το τρίτο ψηφίο μας κατονομάζει μία συγκεκριμένη ομάδα μηχανημάτων ανάλογα με την σειρά παραγωγής π.χ. Αποθήκευση Α' Υλών (1) - Τροφοδοσία (2) - Επεξεργασία Α' υλών (3) - Μεταφορά (4) - Αποθήκευση τελικού προϊόντος (5). Τα δύο τελευταία ψηφία θα αναφέρονται σε ένα και μοναδικό μηχανήμα με αύξουσα αρίθμηση ανάλογα της σειράς παραγωγής 01,02,03 έως το 99.

Η κωδικοποίηση μιας μηχανής και ο τρόπος αναφοράς των μηχανημάτων δεν είναι δεσμευτικός καθώς αλλάζει από εργοστάσιο σε εργοστάσιο.

Βήμα 3ο: Επισήμανση με ανεξίτηλο “τικ” των σημείων μέτρησης επί του μηχανήματος (Εικόνα 5.1). Η επιλογή του σημείου να βρίσκεται σε στιβαρά σημεία της μηχανής και σε σημεία πλησίον ή σε επαφή με εδράσεις αξόνων (έδρανα κύλισης).



Εικόνα 5.1: Ανεμιστήρας με επισήμανση σημείων μέτρησης

Ανά σημείο προβλέπονται από δύο έως τρεις μετρήσεις οριζόντια και κατακόρυφα ακτινικά, καθώς και αξονικά. Τα τελευταία χρόνια ειδικά σε μεγάλους κινητήρες καθώς και μειωτήρες, τα σημεία μέτρησης υποδεικνύονται από τους κατασκευαστές σημειακά επί του μηχανήματος ή αναφέρονται στα εγχειρίδια του κατασκευαστή.

Βήμα 4ο: Τα σημεία μέτρησης για την τάξη αλλά και για αποφυγή λαθών αριθμούνται από τον κινητήρα προς το κινούμενο μηχανήμα (Εικόνα 5.1). Έτσι αποφεύγονται λάθη στην περίπτωση που ο επιθεωρητής αλλάξει ή επιλέξει να κάνει κάποια μέτρηση την στιγμή που ο συνάδελφός του, υπεύθυνος του τμήματος, είναι απών.

Οι μετρήσεις ανάλογα με την μορφή που θα έχουν χαρακτηρίζονται ως εξής:

π.χ. για την θέση 1 στην Εικόνα 5.1:

Ακτινική οριζόντια μέτρηση : 1H (Horizon)

Ακτινική κατακόρυφη μέτρηση : 1V (Vertical)

Αξονική μέτρηση: 1A (Axial)

Η Χρήση των χαρακτήρων H, V, A προτιμούνται, λόγου του προγράμματος που είναι στην αγγλική γλώσσα.

Βήμα 5ο: Διαγνωστικός πίνακας μηχανήματος. Ο πίνακας περιέχει στοιχεία της μηχανής, που χρειάζονται για τις πληροφορίες που πρέπει να έχει ο αναλυτής έτσι ώστε η ανάλυση των φασμάτων στον άξονα των συχνοτήτων να γίνεται γρήγορα και υπεύθυνα.

Τα στοιχεία που περιέχει ο πίνακας είναι: η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η ταχύτητα περιστροφής του κινούμενου μηχανήματος, αν έχουμε ιμαντοκίνηση με τροχαλίες διαφορετικών διαμέτρων, η ταχύτητα των ενδιάμεσων αξόνων μειωτήρων σε σχέση πάντα με των αριθμό οδόντων σύμπλεξης των γραναζοκιβωτίων, των συχνοτήτων περιστροφής των στοιχείων κύλισης των ρουλεμάν και άλλα.

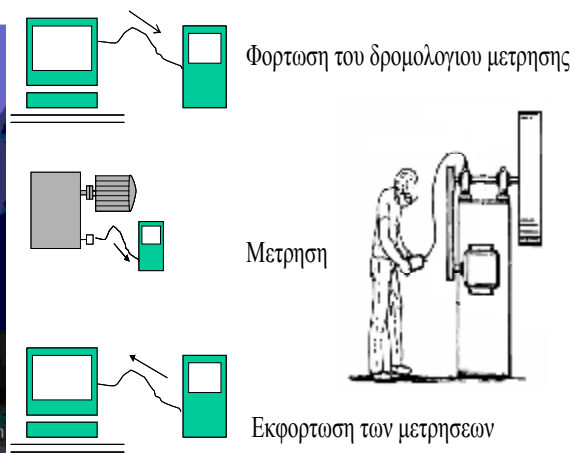
Ονομασία Εταιρίας: Τμ. Επιθεώρησης	
ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ	
Κωδικός	41123
Περιγραφή	Φυσητήρας air-slide μεταφοράς Φαρίνας
Θέση	Απαγωγή φαρίνας παραγωγής Μύλου Φαρίνας
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ..... ΤΥΠΟΣ.....	
ΙΣΧΥΣKW ΣΤΟΦΕΣ (RPM) ΚΙΝΗΤΗΡΑ...3000... ΜΗΧΑΝΗΣ...3000...	
Συχνότητα (CPM)	Προέλευση της συνιστώσας
	A. Συχνότητες περιστροφής
3000	RPM Κινητήρα
.....	RPM 1 ^{ου} άξονα κινούμενου μηχανήματος
.....	RPM 2 ^{ου} άξονα κιν. μηχ. (περίπτωση μειωτών)
.....
.....	RPM Τελευταίου άξονα
B. Εμπλοκές οδόντων – Αριθμός πτερυγίων	
	Z_π
	Z_κ
Γ. Συχνότητες ρουλεμάν εδράνων (ολίσθησης ή κύλισης)	
Θέση	Τύπος Ρουλεμάν
	BPFI
	BPFO
	BSF
	FTF
	Ημερ.
1,2	6306 2RS
3,4	6307
Δ. Λοιπά στοιχεία (τύπος κόπλερ, Συχνότητες μάντων κ.α.)	

Πίνακας 5.1: Διαγνωστικός Πίνακας Μηχανήματος

Βήμα 6^ο: Περιοδική μέτρηση μηχανής. Η περιοδική μέτρηση μιας μηχανής ή ομάδας μηχανών περιλαμβάνει μετρήσεις περιστροφικών μηχανών σε λειτουργία. Η περιοδική μέτρηση πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα ανάλογα με την κρισιμότητα του κάθε μηχανήματος, αλλά και την συνεχή ή όχι λειτουργία του σε σχέση με την παραγωγική διαδικασία της μονάδας παραγωγής. Η επίτευξη των μετρήσεων γίνεται με την βοήθεια ειδικού λογισμικού που είναι εγκατεστημένο σε υπολογιστή και με την χρήση φορητής συσκευής που λέγεται συλλέκτης και είναι συμβατός με το λογισμικό του υπολογιστή. Ο τεχνίτης φορτώνει από τον υπολογιστή το μηχανήμα ή το δρομολόγιο μετρήσεων στον συλλέκτη, και ακολούθως συλλέγει τις μετρήσεις. Κατόπιν μεταφέρει τα αποτελέσματα των μετρήσεων καλωδιακά στον υπολογιστή, όπου βρίσκεται εγκατεστημένο το λογισμικό επιτήρησης και αξιολόγησης τους. Ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.2: Μέτρηση μηχανής



Εικόνα 5.3: Διαδικασία Φόρτωσης δρομολογίου - Μέτρησης – Εκφόρτωσης Μετρήσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

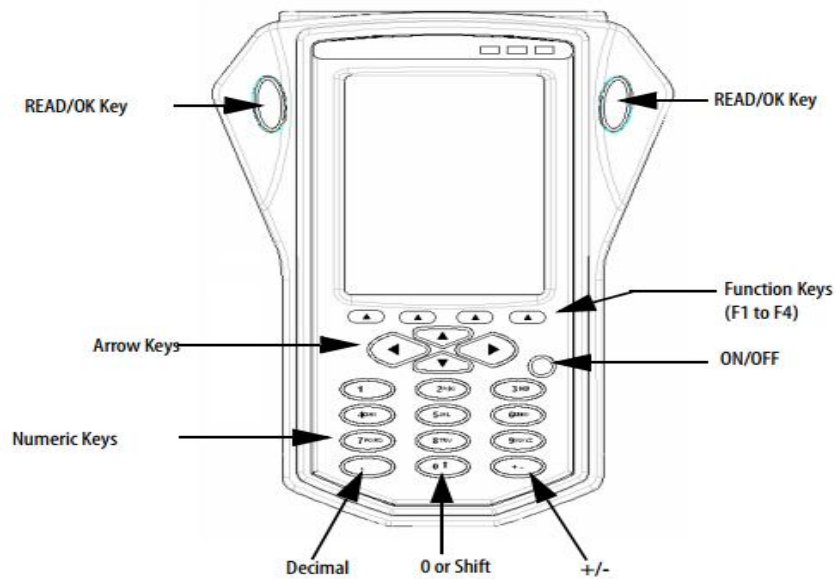
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε έναν φορητό συλλέκτη δεδομένων που να είναι συμβατός με ένα συγκεκριμένο λογισμικό για την συλλογή των τάσεων, αλλά και της ανάλυσης των μηχανών, καθώς και τον εμπλουτισμό με δεδομένα που χρειάζεται το λογισμικό.

6.1 Περιγραφή συλλέκτη δονήσεων ENPAC 2500

Εδώ θα περιγράψουμε τις λειτουργίες των πλήκτρων, τις συνδέσεις των εξαρτημάτων και τις ενδείξεις της κατάστασης του συλλέκτη.

6.1.1 Διάγραμμα του Enpac 2500



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα του Enpac 2500

6.1.2 Πλήκτρα λειτουργιών Eprac 2500

Το πλήκτρο READ/OK ξεκινά την συλλογή δεδομένων για το τρέχων σημείο της μέτρησης ή αποδέχεται το τρέχων σημείο της μέτρησης. Υπάρχουν δύο πλήκτρα έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιείτε είτε με το δεξί είτε με το αριστερό χέρι.



Εικόνα 6.2: Eprac 2500

Κάτω από την οθόνη υπάρχουν τέσσερα πλήκτρα που αναφέρονται ως F1,F2,F3,F4 (Βλέπε **Εικόνα 6.1**). Τα πλήκτρα αυτά αλλάζουν ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο συλλέκτης. Ο συλλέκτης δείχνει την τρέχουσα λειτουργία των συγκεκριμένων πλήκτρων στην οθόνη πάνω από κάθε πλήκτρο. Όταν δεν εμφανίζεται ένδειξη ή κείμενο πάνω από το πλήκτρο τότε αυτό είναι ανενεργό (**Εικόνα 6.2**).

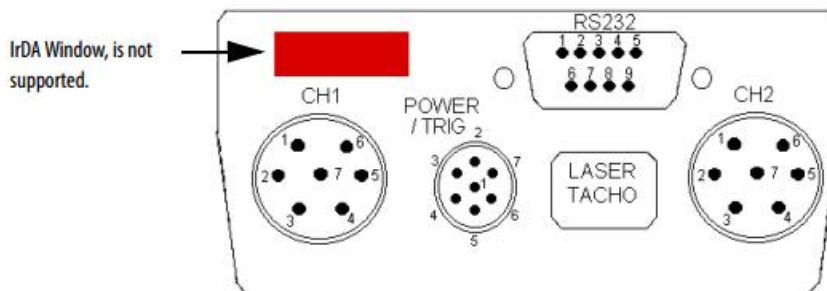
Τα πλήκτρα Arrow keys:

- *Πάνω βέλος:* Μεταφέρει τον συλλέκτη στην προηγούμενη κατηγορία/κατάσταση ή έχει δυνατότητες σε επιλογή στο μενού της αρχικής οθόνης.
- *Κάτω βέλος:* Μεταφέρει τον συλλέκτη στην επόμενη κατηγορία/κατάσταση ή έχει δυνατότητες στην επιλογή του μενού της αρχικής οθόνης. Επί πλέον όταν ανοίγουμε την λίστα των μηχανημάτων που έχουμε ήδη φορτώσει μπορούμε με τα επάνω/κάτω βέλη να μεταφερθούμε σε οποιοδήποτε μηχάνημα ανεξάρτητα με την σειρά που έχουν στην ομάδα να τα επιλέξουμε για να μπούμε στην διαδικασία της μέτρησης.

- *Αριστερό βέλος:* Δείχνει την πληροφορία της προηγούμενης ένδειξης στην οθόνη αν υπάρχει πάνω από μία πληροφορία.
- *Δεξί βέλος:* Δείχνει την πληροφορία της επόμενης ένδειξης στην οθόνη αν υπάρχει πάνω από μία πληροφορία.
- *ON / OFF:* Το πλήκτρο ON/OFF ενεργοποιεί και απενεργοποιεί τον συλλέκτη. Για να απενεργοποιήσουμε τον συλλέκτη πατάμε συνεχόμενα το πλήκτρο για ένα δευτερόλεπτο.
- *Αριθμητικά πλήκτρα:* Τα αριθμητικά πλήκτρα μας επιτρέπουν να εισάγουμε αριθμητικές πληροφορίες ή να μετακινηθούμε στην κατάλληλη επιλογή στο κύριο μενού του συλλέκτη. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα γραφής πληροφοριών για το μηχάνημα ή το σημείο που μετρείται εκείνη την στιγμή, αφού πάνω από τα σημεία F1 έως F4 και επί της οθόνης εμφανίζεται ο χαρακτηρισμός NOTES.
- *Decimal key:* Το δεκαδικό πλήκτρο μας επιτρέπει να δούμε το στάτους της μπαταρίας ή να αλλάξουμε σε δεκαδικό το αριθμητικό πεδίο.
- *+/- key:* Το πλήκτρο +/- μας επιτρέπει να επεκτείνουμε ή να συμπιέζουμε ότι βλέπουμε στην οθόνη του συλλέκτη. Πρακτικά είναι χρήσιμο όταν κατά την διαδικασία της μέτρησης θέλουμε να εξετάσουμε κάποιο φάσμα που ήδη έχουμε συλλέξει κατά την διαδικασία των μετρήσεων, όταν τούτο κρίνεται κατά την άποψη του τεχνίτη-επιθεωρητή ως κρίσιμο και επείγον πριν ακόμη γίνει η εκφόρτωση των δεδομένων στον υπολογιστή.
- *0 or Shift:* Το συγκεκριμένο πλήκτρο σε αριθμητικό πεδίο λειτουργεί σαν μηδέν, ενώ σε ορισμένες οθόνες που δεν εμφανίζουν τη λειτουργία βοήθειας, πατώντας Shift (0) παρέχει πρόσβαση και στην Βοήθεια.

6.1.3 Εξωτερικές συνδέσεις συλλέκτη

Οι εξωτερικές συνδέσεις του συλλέκτη βρίσκονται στο επάνω μέρος του, όπως απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 6.3: Επάνω μέρος συλλέκτη Enpac 2500

CH1/CH2: Σύνδεσμοι LEMO μέσω των οποίων γίνονται οι εισοδοί σήματος στον συλλέκτη που λαμβάνουμε με την βοήθεια των επιταχυνσιομέτρων και της αντίστοιχης καλωδίωσης κατά την διαδικασία της λήψης δεδομένων (μέτρησης).

POWER / TRIG: Η υποδοχή συνδέεται α) με εξωτερικό τροφοδοτικό για την φόρτωση της εσωτερικής μπαταρίας του συλλέκτη ή β) με USB όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τον συλλέκτη για άλλα εξωτερικά γεγονότα, όπως για την χρήση του σαν στροφόμετρο (συλλογή ταχυτήτων λειτουργίας μηχανημάτων), αλλά και για εφαρμογές εξισορρόπησης (ζυγοστάθμιση).

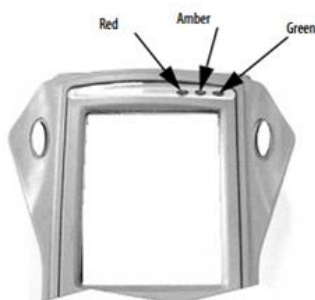


Εικόνα 6.4: POWER / TRIG Enpac 2500

RS232: Η επαφή RS232 χρησιμοποιείται για την μεταφορά των πληροφοριών από το Enpac στον υπολογιστή (εκφόρτωση προγράμματος - λίστας μετρήσεων) και αντιστρόφως (φόρτωση προγράμματος - λίστας μετρήσεων).

LASER TACHO: Όταν γίνεται χρήση του συλλέκτη σαν όργανο ζυγοστάθμισης.

6.1.4 Ενδείξεις κατάστασης συλλέκτη



Εικόνα 6.5: Ενδείξεις LED στο επάνω μέρος του Eprac 2500

RED: Όταν γίνεται σύνδεση με το τροφοδοτικό, ο λαμπτήρας πρέπει να μην αναβοσβήνει, διαφορετικά υπάρχει πρόβλημα στην μπαταρία. Όταν ο λαμπτήρας είναι συνέχεια αναμένος, το Eprac είναι συνδεδεμένο με το τροφοδοτικό και φορτίζει την μπαταρία.

AMBER: Η απόκτηση του υποσυστήματος είναι τακτοποιημένη.

GREEN: Το σήμα εισαγωγής είναι σταθερό και οι πληροφορίες έχουν ήδη συλλεχτεί.

Επίπλέον κατά την διαδικασία της μέτρησης το amber και το green αναβοσβήνουν.

6.2 Παρουσίαση λογισμικού (Software)

Ο Συλλέκτης Eprac 2500, καθώς και άλλες εκδόσεις αυτού είναι συμβατοί με το κορυφαίο λογισμικό για vibrodiagnostics *Emonitor Odyssey* που είναι διαθέσιμο από την Rockwell Automation®.

Το λογισμικό έχει τις εξής απαιτήσεις σε σχέση με τον υπολογιστή αλλά και την λειτουργία του λογισμικού:

6.2.1 Απαιτήσεις Υπολογιστή:

- Ταχύτητα υπολογιστή 2,4 GHz ή ταχύτερος με επεξεργαστή διπλού πυρήνα

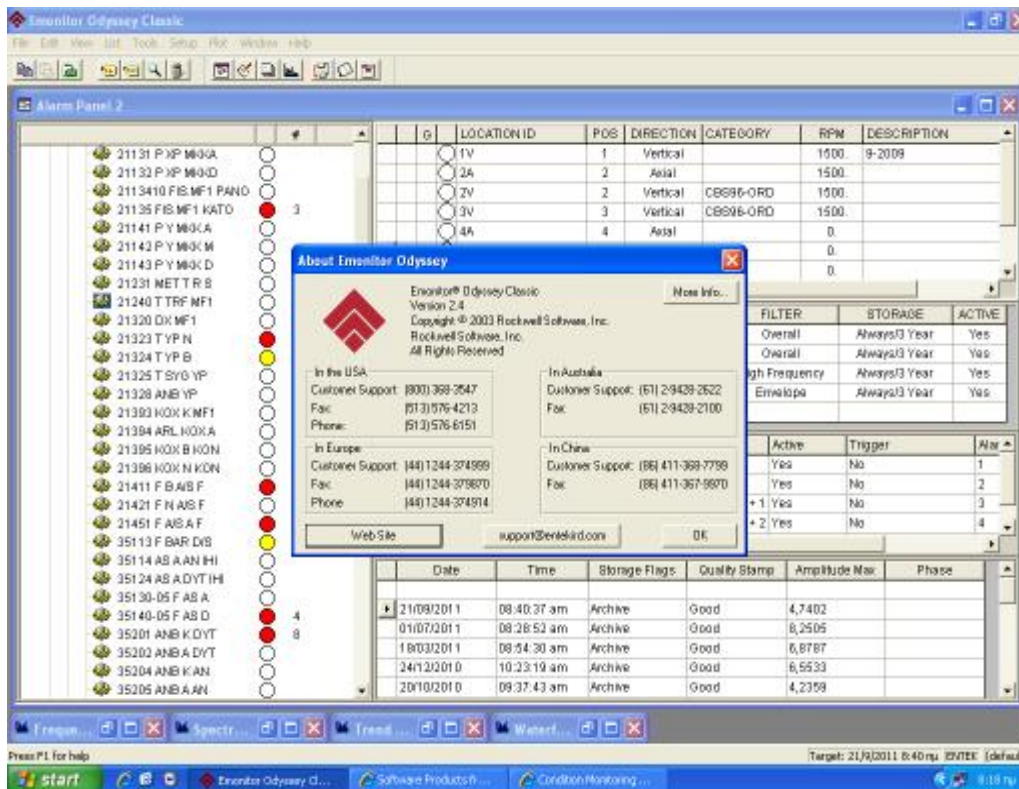
- CD-ROM ή DVD drive
- 4 GB RAM ή και περισσότερη ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής
- 3GB ελεύθερου χώρου στον σκληρό δίσκο ή περισσότερο, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Επί πλέον 100 GB ελεύθερου χώρου στον σκληρό δίσκο για τα δεδομένα, εκτός και αν ο SQL server θα είναι σε ξεχωριστό υπολογιστή
- Η κάρτα γραφικών να έχει ελάχιστη ικανή ανάλυση 1024x768 pixels
- Πληκτρολόγιο και συσκευή κατάδειξης (ποντίκι)
- Κάρτα δικτύου

6.2.2. Απαιτήσεις Λογισμικού:

Ένα από τα ακόλουθα λειτουργικά συστήματα των Windows:

- Windows 7 Professional 32-bit ή 64-bit
- Windows Server 2008 Standard 32-bit ή 64-bit
- Windows Server 2008 R2 64-bit
- Windows Vista Business 32-bit (με Service Pack 1 ή νεότερη έκδοση)
- Windows XP Professional 32-bit (με Service Pack 2 ή νεότερη έκδοση)
- Windows Server 2003 32-bit (με Service Pack 2 ή νεότερη έκδοση)
- Microsoft Internet Explorer πρόγραμμα περιήγησης στο Web, έκδοση 6.0 ή νεότερη έκδοση (έκδοση 7.0 συνιστάται για τα λειτουργικά συστήματα Windows Vista)
- Factory Talk Services Platform 2.10.00 ή υψηλότερη
- RSLinx Classic Lite έκδοση 2.53 ή υψηλότερη
- RSLinx Enterprise έκδοση 5.00 ή υψηλότερη
- RSLogix 5000 Σύγκριση έκδοση χρησιμότητας 3.20 ή υψηλότερη
- Εγκατάσταση Drive Executive Lite της Rockwell Automation
- Μια από τις ακόλουθες εκδόσεις του Microsoft SQL Server:
 - Microsoft SQL Server 2005 με Service Pack 1 ή νεότερη έκδοση (προτείνεται το πιο πρόσφατο service pack)
 - Microsoft SQL Server 2008 με Service Pack 1 ή νεότερη έκδοση (προτείνεται το πιο πρόσφατο service pack)

Η Microsoft Corporation συνιστά τη χρήση ενός συστήματος RAID-5 για υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα SQL Server 2005 ή SQL Server 2008.



Εικόνα 6.6: Παρουσίαση της έκδοσης 2.4 του λογισμικού Emonitor της Rockwell Automation

6.3 Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων του λογισμικού

6.3.1. Πληροφορίες και στοιχεία μηχανής

- Συχνότητες περιστροφής μηχανής
- Πληροφορίες για ρουλεμάν, τροχαλίες (διάμετροι – ταχύτητες - μάντες)
- Στοιχεία συνδέσμων μετάδοσης κίνησης
- Αριθμός μπαρών ρότορα
- Λεπτομέρειες μοντάζ μηχανή
- Σταθερές alarms κατά ISO
- Πρότυπο αναφοράς για της τιμές συναγερμού

6.3.2. Ονομασία μηχανής

Κάθε μηχανή πρέπει να έχει ένα όνομα. Η χρήση του ονόματος από μόνη της δεν είναι σημαντική, απλά διευκολύνει αυτόν που κάνει την χρήση των δεδομένων να γνωρίζει τι είδος μηχανήμα είναι αυτό που επεξεργάζεται κατά την ανάλυση. Επειδή το πρόγραμμα δεν

υποστηρίζεται από την Ελληνική γλώσσα έχει επικρατήσει τα μηχανήματα να γράφονται στα αγγλικά. Παράδειγμα, ο κινητήρας σαν MTR (motor) ή ο ανεμιστήρας σαν FAN. Λόγω της μεγάλης βάσης δεδομένων έχει επικρατήσει κάθε όνομα να συνδέεται παράλληλα και με ένα κωδικό αριθμό.

Η επόμενη κίνηση για την βάση των δεδομένων είναι η αρίθμηση των εδράσεων ξεκινώντας πάντοτε από το πίσω έδρανο του κινητήρα, μέχρι και της τελευταίας έδρασης της κινούμενης μηχανής. Οι εδράσεις είναι αριθμημένες με τους αριθμούς 1,2,3,4,... Στην βάση δεδομένων όμως στον υπολογιστή έχουν μπροστά τους το μηδέν -0- δηλαδή 01,02,03,04,...για την αποφυγή τυχών προβλημάτων που έχουν παρουσιαστεί με τους υπολογιστές επειδή χρησιμοποιούν το δυαδικό σύστημα.

Για όλα τα σημεία μέτρησης η βάση δεδομένων εμπλουτίζεται με την μορφή και τον αριθμό των μετρήσεων που λαμβάνουμε για κάθε σημείο. Η αξιολόγηση των μορφών μέτρησης κάθε σημείου έδρασης και κατόπιν η κωδικοποίηση των σημείων μέτρησης με τα χαρακτηριστικά HORIZON (H), VERTICAL (V), AXIAL (A) είναι μία από τις βασικές κινήσεις εμπλουτισμού, με δεδομένα για την λειτουργία του λογισμικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΙΝΑΚΕΣ ΟΡΙΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Η αξιολόγηση των μετρήσεων δόνησης και ακόμη περισσότερο η διάγνωση, δεν είναι δυνατό να βασισθεί σε κανόνες ή πίνακες που έχουν γενική ισχύ, αφού εκεί δεν λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα γνωρίσματα του συγκεκριμένου μηχανήματος και οι επιδράσεις του φορτίου και του τρόπου στήριξης. Μπορούμε, όμως, μέσω των πινάκων να δημιουργήσουμε τις μπάρες alarms για κάθε μηχανήμα στο πρόγραμμα του monitor, έτσι ώστε τα μηχανήματα που έχουν ενδείξεις πάνω από τις μπάρες - γραμμές alarms να ελέγχονται κατά προτεραιότητα σε σχέση με τα άλλα μηχανήματα που έχουμε στην ομάδα και ήδη έχουμε μετρήσει. Επί πλέον μας δίνεται η δυνατότητα, ανοίγοντας το πρόγραμμα όλων των μηχανημάτων να έχουμε την καλύτερη δυνατή εικόνα όλων των μηχανημάτων ή συγκεκριμένων σημείων αυτών, που βρίσκονται σε προτεραιότητα επανεξέτασης.

A) Επιτρεπτές δονήσεις κατά ISO 2372

Το πρότυπο κατά ISO 2372 (αντίστοιχο του BS 5765), προσφέρει ένα μέσο εκτίμησης της σοβαρότητας της δόνησης όταν δεν διατίθενται ειδικότερα κριτήρια αξιολόγησης.

Ο κανονισμός αυτός ταξινομεί τα μηχανήματα σε 6 κλάσεις ανάλογα με το είδος, το μέγεθος και τον τρόπο έδρασης. Για κάθε κλάση ορίζονται 4 περιοχές που χαρακτηρίζονται σαν A: "καλή", B: "αποδεκτή", C: "ακόμη αποδεκτή" και D: "μη αποδεκτή".

Κλάσεις					
mm/s, ρk	I	II	III	IV	V/VI
0,40	A	A	A	A	A
0,64					
1,00					
1,58	B	B	B	B	B
2,54					
3,96	C	C	C	C	C
6,37					
10,00	D	D	D	D	D
15,80					
25,40					
39,60					
63,70					

Πίνακας 7.1: Πίνακας επιτρεπτών ορίων ταχύτητας δόνησης

Κλάση I: Ηλεκτρικοί κινητήρες μέχρι 15 KW.

Κλάση II: Μηχανές μέσου μεγέθους, χωρίς ειδική θεμελίωση, σταθερά πακτωμένες ή μηχανές μέχρι 300 KW με ειδική θεμελίωση. Τυπικό παράδειγμα είναι η ηλεκτρική μηχανή ισχύος 75 KW.

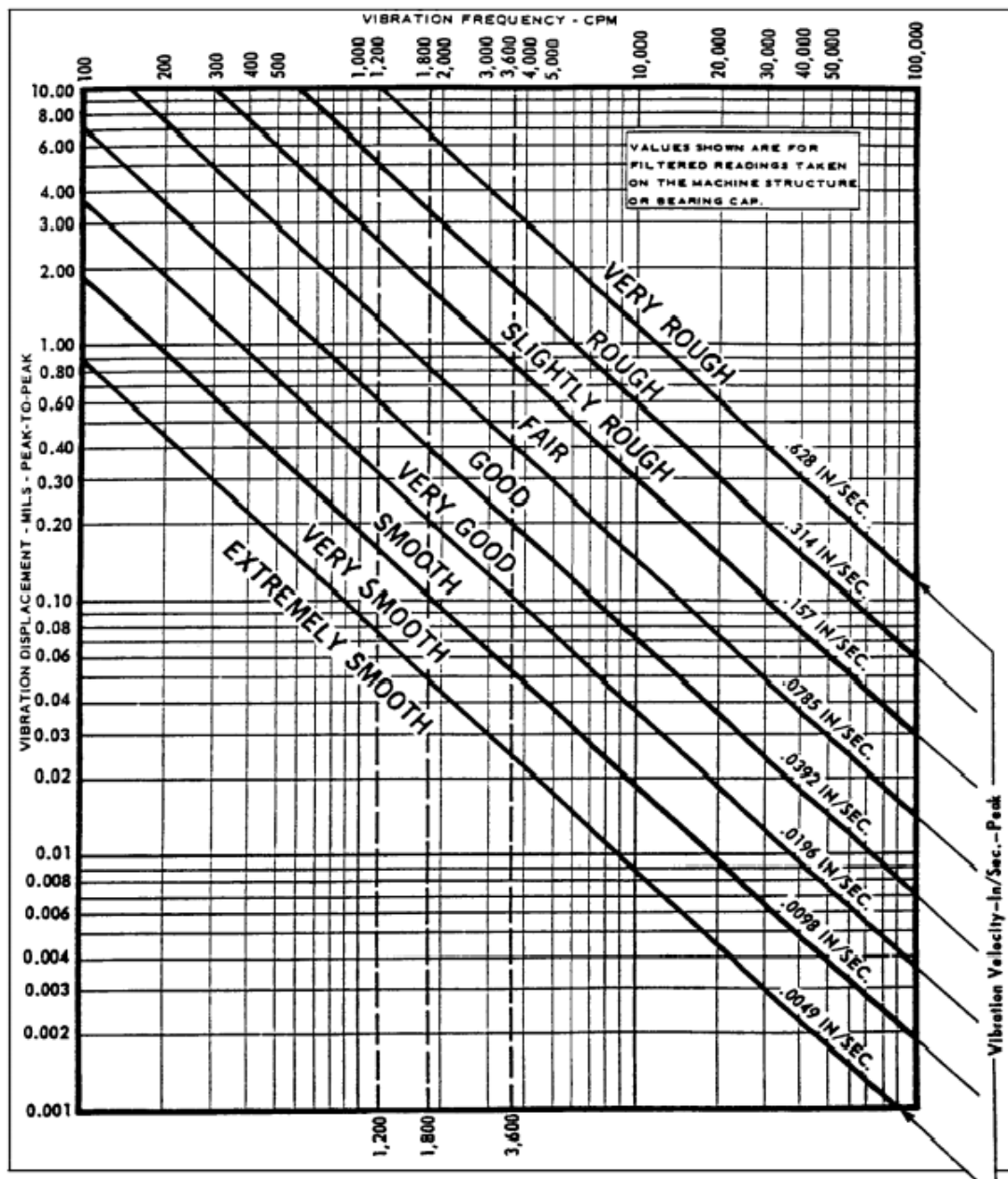
Κλάση III: Μεγάλοι κινητήρες ή αλλά μηχανήματα με περιστρεφόμενες μάζες, εδρασμένα σε στιβαρή και βαριά θεμελίωση, τα οποία είναι σχετικά δύσκαμπτα κατά την διεύθυνση μέτρησης της δόνησης.

Κλάση IV: Μεγάλοι κινητήρες ή αλλά μηχανήματα με περιστρεφόμενες μάζες, εδρασμένα σε θεμελίωση η οποία είναι σχετικά εύκαμπτη κατά την διεύθυνση μέτρησης της δόνησης. Π.χ. στροβιλογεννήτριες πάνω σε μαλακές βάσεις.

Κλάση V: Μηχανήματα και μηχανικά συστήματα μετάδοσης κίνησης με αδρανειακές μάζες μη επιδεχόμενες ζυγοστάθμιση, λόγω παλινδρομικής κίνησης τους, εδρασμένα σε θεμελίωση που είναι δύσκαμπτη κατά την διεύθυνση μέτρησης της δόνησης.

Κλάση VI: Μηχανήματα και μηχανικά συστήματα μετάδοσης κίνησης με αδρανειακές μάζες μη επιδεχόμενες ζυγοστάθμιση, λόγω παλινδρομικής κίνησης τους, εδρασμένα σε θεμελίωση που είναι εύκαμπτη κατά την διεύθυνση μέτρησης της δόνησης. Τυπικά παραδείγματα είναι οι παλινδρομικοί θραυστήρες, δονούμενα κοσκινά.

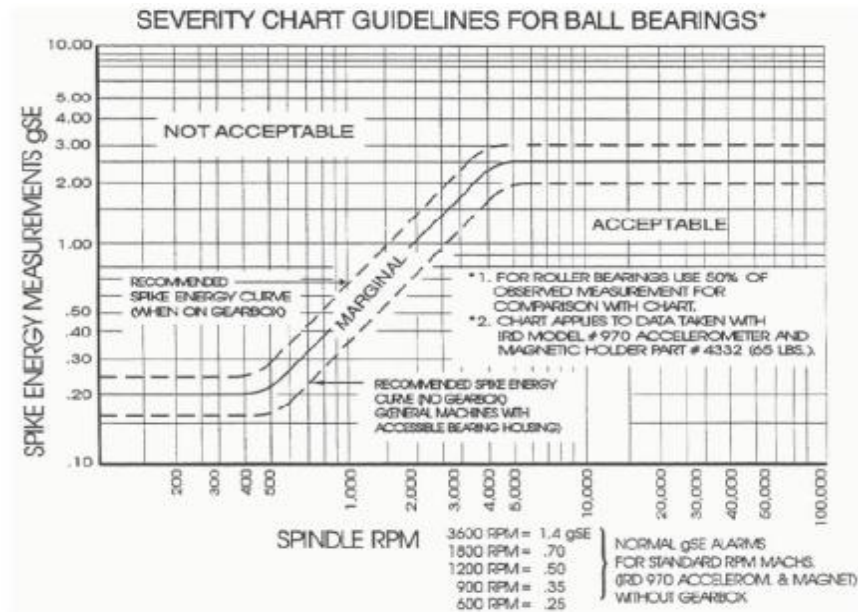
Β) Διάγραμμα ορίων ταχύτητας δόνησης



Διάγραμμα 7.1: Διάγραμμα ορίων ταχύτητας δόνησης σε συνάρτηση με την μετατόπιση και την συχνότητα περιστροφής για οριζόντια περιστροφικά μηχανήματα

Γ) Αυστηρότατο γράφημα ορίων spike energy για ρουλεμάν

Οι τρεις γραμμές εντός του διαγράμματος είναι οι κατευθυντήριες γραμμές που μας δείχνουν την δεκτή, την οριακή ή την μη αποδεκτή τιμή του s.e.



Διάγραμμα 7.2: Αυστηρότατο γράφημα ορίων spike energy για ρουλεμάν

Δ) Πίνακας ορίων Spike Energy και decibel σε σχέση με την ταχύτητα της δόνησης

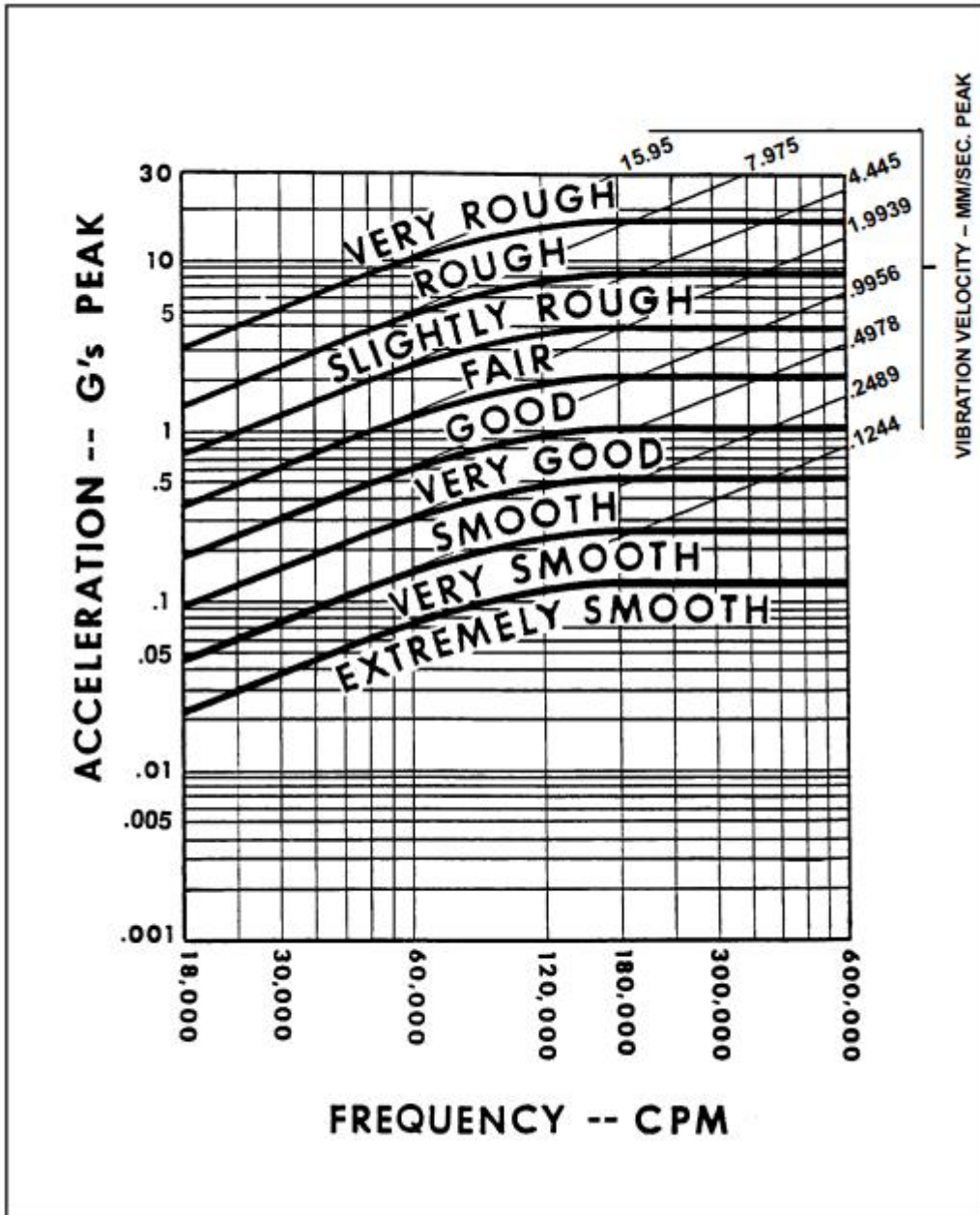
Unfiltered Vibration Velocity	Shock Pulse & Acoustic Emission	Microlog HFD	IRD Spike Energy [Ⓢ]	Severity Level and Alarm Status
MM/SEC PEAK	Db	g	gSE	
38 +	50+	5.0+	3.0+	Danger (Shutdown)
19 - 37.9	40 - 49	3.0 - 4.99	1.50 - 2.99	Very Rough (Alert)
10 - 18.9	30 - 39	1.50 - 2.99	.80 - 1.49	Rough (Alert)
5 - 9.9	20 - 29	.75 - 1.49	.40 - .79	Fair (Acceptable)
2.7 - 4.9	10 - 19	.30 - .74	.20 - .39	Good (Acceptable)
0.25 - 2.69	1 - 9	.01 - .29	.01 - .19	Smooth (Acceptable)

① Provided by Charles Berggren of Monsanto

② Spike Energy Amplitudes measured using an IRD 970 accelerometer outfitted with IRD's 2-pole, 65 lb. magnet.

Πίνακας 7.2: Πίνακας ορίων Spike Energy και decibel σε σχέση με την ταχύτητα της δόνησης

Ε) Διάγραμμα δόνησης (παλμών) επιτάχυνσης και ταχύτητας σε συνδυασμό με την συχνότητα για οριζόντιες περιστρεφόμενες μηχανές



Διάγραμμα 7.3: Διάγραμμα δόνησης (παλμών) επιτάχυνσης και ταχύτητας σε συνδυασμό με την συχνότητα για οριζόντιες περιστρεφόμενες μηχανές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΣΗ ΜΕΣΟΥ ΔΟΝΗΣΕΩΝ - ΒΛΑΒΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

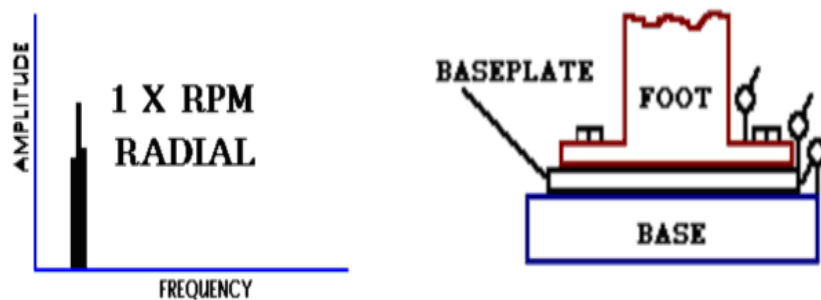
8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα παρουσιάσουμε τις βλάβες των μηχανών σαν εφαρμογή, δηλαδή όπως ακριβώς χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των προγραμμάτων. Βλέποντας κάθε εφαρμογή θα υποδεικνύεται ακριβώς η βλάβη αναλύοντας πρωτίστως το φάσμα των συχνοτήτων που προκύπτει. Προϋπόθεση αυτής της διαδικασίας είναι η γνώση ορισμένων σταθερών της μηχανής, όπως η ταχύτητα περιστροφής, οι συχνότητες περιστροφής των στοιχείων κύλισης (ρουλεμάν), ηλεκτρικές συχνότητες κ.α.

8.2 Βλάβες μηχανών

8.2.1 Μηχανική Χαλάρωση

A. Όταν αυτή προκαλείται από δομική χαλάρωση στο πάτημα του μηχανήματος



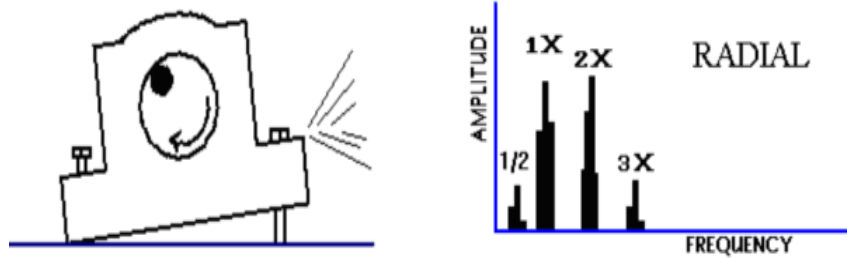
Εικόνα 8.1: Φάσμα μηχανικής χαλάρωσης και δομική έδραση μηχανής

Στην περίπτωση αυτή στο φάσμα των συχνοτήτων έχουμε την εμφάνιση μίας αρμονικής 1 x CPM (γνωρίζοντας ότι 1 x RPM = 1 x CPM).

Η ανάλυση των φάσεων εμφανίζει περίπου 180° διαφορά φάσης στην κάθετη κατεύθυνση μεταξύ των πλακών έδρασης του μηχανήματος. Στην περίπτωση αυτή είναι υποχρεωτική η ανάλυση των φάσεων γιατί το φάσμα είναι ίδιο με το φάσμα της

αζυγοσταθμίας. Στρέβλωση της βάσης θα δημιουργήσει επίσης πρόβλημα «μαλακού ποδιού» («Soft foot» problems).

B. Όταν αυτή προκαλείται από την χαλάρωση των βιδών της βάσης μηχανής ή του εδράνου



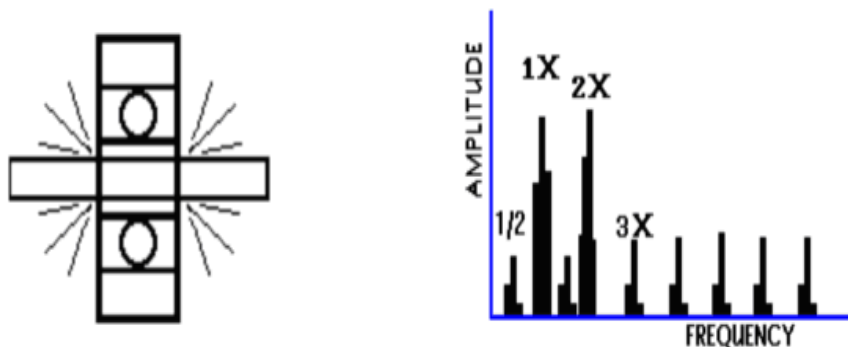
Εικόνα 8.2: Χαλάρωση βιδών βάσης μηχανής κ φάσμα χαλάρωσης βιδών μηχανής

Στην περίπτωση αυτή στο φάσμα των συχνοτήτων έχουμε την εμφάνιση των αρμονικών 0,5, 1, 2 και 3 x CPM.

Στην περίπτωση αυτή αν πραγματικά δεν υπάρχει πρόβλημα με χαλάρωση βιδών της βάσης γίνεται έλεγχος για ρηγματωμένη βάση έδρασης του μηχανήματος.

Ίδιο φάσμα παρατηρείται στις ίδιες χαμηλές συχνότητες όταν έχουμε πρόβλημα χαλαρού ρουλεμάν ή ρουλεμάν μεγάλων διακένων, όταν το πρόβλημα είναι ακόμη στην γένεση του πριν δώσει ακόμη εμφανή σημάδια της παρακάτω περίπτωσης.

C. Όταν αυτή προκαλείται από μεγάλα διακένα των ρουλεμάν ή από χαλαρό κωνικό δακτύλιο ρουλεμάν ή χαλαρές πτερωτές κινητήρων ή ανεμιστήρων



Εικόνα 8.3: Χαλαρότητα διακένων άξονα και ρουλεμάν και φάσμα διακένων των παραπάνω περιπτώσεων (C)

Στην περίπτωση αυτή, στο φάσμα των συχνοτήτων έχουμε την εμφάνιση των αρμονικών 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 7 x CPM. Παρατηρούμε ότι μετά την δεύτερη αρμονική το εύρος των υπολοίπων είναι μικρότερο και σχεδόν της ίδιας τιμής.

Αν το φαινόμενο συνεχιστεί χρονικά, ειδικά στα ρουλεμάν, το φάσμα θα αρχίσει να αλλάζει στην περιοχή πάνω από τα 30 KCPM έως 120 KCPM. Στην περίπτωση αυτή η μηχανή αρχίζει να παρουσιάζει προβλήματα αστοχίας των ρουλεμάν. Η φάση στην περίπτωση αυτή είναι ασταθής.

8.2.2 Προβλήματα απευθυγραμμίας αξόνων κινητήρα – κινούμενου μηχανήματος

Οι πιο συνηθισμένες βλάβες στρεφόμενων μηχανών είναι η κακή ευθυγραμμία ή αλλιώς απευθυγραμμία, η οποία εμφανίζεται στο σημείο σύνδεσης των αξόνων μεταξύ του κινητήριου και κινούμενου μηχανήματος.

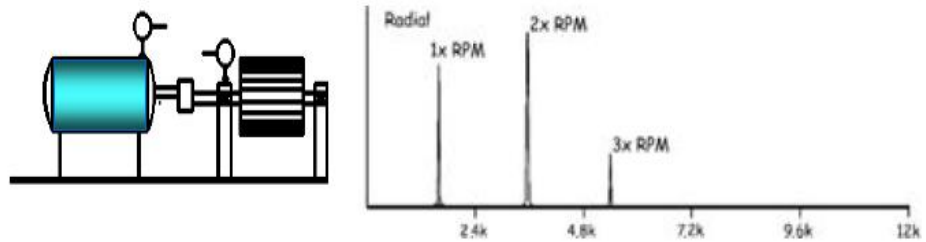
Οι μηχανικοί σύνδεσμοι (coupling) κατασκευαστικά και με βάση προδιαγραφών επιτρέπουν μικρά ποσά απευθυγραμμίας, δεδομένου ότι η τέλεια ευθυγράμμιση είναι κάτι το αδύνατο. Τα ποσά της απευθυγραμμίας που βάση προδιαγραφών επιτρέπονται, εξαρτώνται από το μέγεθος του κόμπλερ, καθώς και από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου – κινούμενου μηχανήματος.

Η κακή ευθυγράμμιση έχει δύο μορφές την παράλληλη και την γωνιακή.



Εικόνα 8.4: Παράλληλη Απευθυγραμμία **Εικόνα 8.5:** Γωνιακή Απευθυγραμμία

A. Παράλληλη απευθυγραμμία



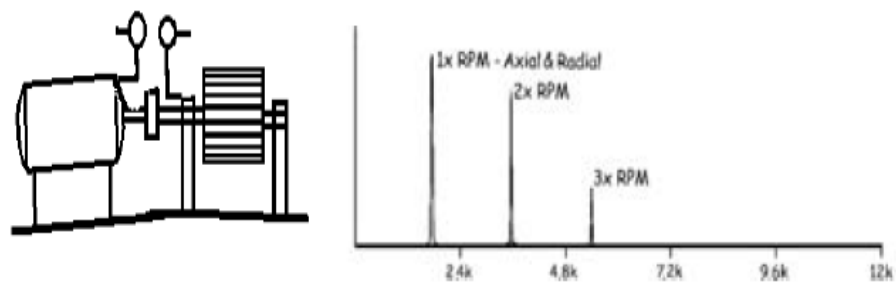
Εικόνα 8.6: Παράλληλη απευθυγραμμία και φάσμα συνδέσμου κινητήρα-μηχανήματος

Στην περίπτωση αυτή, στο φάσμα των συχνοτήτων έχουμε την εμφάνιση των αρμονικών 1, 2 και συχνά υπάρχει peak και στο 3 x CPM στην ακτινική διεύθυνση.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε το 2 x CPM να είναι μεγαλύτερο από το 1 x CPM. Οι αξονικές μετρήσεις κατά την παράλληλη απευθυγραμμία υπάρχει περίπτωση να δώσουν ανάλογο φάσμα αλλά με πολύ μικρό εύρος. Η μέτρηση της φάσης κατά την ακτινική διεύθυνση μας δίνει διαφορά φάσης 180° .

Ο τύπος των μηχανικών συνδέσμων μπορεί να επηρεάσει το σχήμα του φάσματος, αλλά και το εύρος των peak στα αντίστοιχα CPM. Πολλάκις δημιουργεί προβλήματα στους μηχανικούς συνδέσμους των μηχανών, αλλά και στις εκατέρωθεν του συνδέσμου εδράσεις.

B. Γωνιακή απευθυγραμμία



Εικόνα 8.7: Γωνιακή απευθυγραμμία και φάσμα συνδέσμου κινητήρα-μηχανήματος

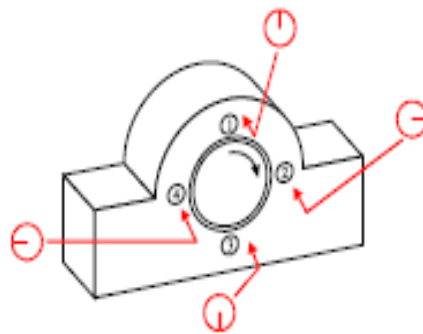
Στην περίπτωση αυτή, στο φάσμα των συχνοτήτων έχουμε την εμφάνιση των αρμονικών 1, 2 και συχνά υπάρχει peak και στο 3 x CPM στην αξονική διεύθυνση.

Οι ακτινικές μετρήσεις κατά την γωνιακή απευθυγραμμία υπάρχει περίπτωση να δώσουν ανάλογο φάσμα αλλά με πολύ μικρό εύρος. Η μέτρηση της φάσης κατά την αξονική διεύθυνση μας δίνει διαφορά φάσης 180°.

Πολλάκις δημιουργεί προβλήματα στους μηχανικούς συνδέσμους των μηχανών, αλλά και στις εκατέρωθεν του συνδέσμου εδράσεις.

8.2.3 Προβλήματα απευθυγραμμίας ρουλεμάν

Εκτός της απευθυγραμμίας του κόμπλερ που είδαμε πιο πάνω, καλό θα ήταν να εξετάσουμε το πως συμπεριφέρονται και τι παρατηρούμε κατά την απευθυγραμμία δύο εδράνων σε ένα άξονα.



Σχήμα 8.1: Έδρανο κύλισης μηχανής

Παρατηρώντας στο Σχήμα 8.1, τα σημεία 3 και 4 μπορεί να μας δώσουν απευθυγραμμισμένα ρουλεμάν αν τα έδρανα έχουν υψομετρική ή αξονική μετατόπιση σε σχέση με τον άξονα. Στην περίπτωση αυτή τα ρουλεμάν εντός των εδράνων έχουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά, καθ'ότι τα στοιχεία κύλισης θα φορτίσουν τον εξωτερικό δακτύλιο σε αντιδιαμετρικές θέσεις. Το αποτέλεσμα αυτής της απευθυγραμμίας θα είναι η μεταφορά μιας μόνιμης ροπής που θα έχει την τάση να επαναφέρει τον εξωτερικό δακτύλιο σε ευθυγραμμία με τον άξονα. Αυτή η ροπή ασκείται φυσικά μέσω μιας μόνιμης επιφανειακής πίεσης που μεταφέρεται από τον έναν στον άλλον δακτύλιο μέσω των στοιχείων κύλισης.

Σε μια τέτοια κατάσταση παρατηρείται σημειακή φθορά των ρουλεμάν σε δύο αντιδιαμετρικές θέσεις του εξωτερικού δακτυλίου και συνολική φθορά στον εσωτερικό δακτύλιο.

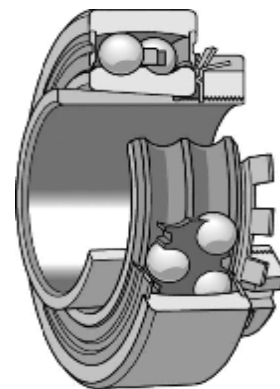
Πρακτικά, το πρόβλημα των μικροαπευθυγραμμιών αποφεύγεται με την εφαρμογή τοποθέτησης ρουλεμάν που επιτρέπουν γωνιακά σφάλματα (μεγάλης πλευρικής ή ακτινικής απόκλισης). Τέτοια ρουλεμάν είναι τα βαρελοειδή διπλής σειράς με κυλινδρική ή κωνική οπή ή με σφικτήρα

συνάρμοσης, καθώς και τα δίσφαιρα αυτορρυθμιστά διπλής σειράς με κυλινδρική ή κωνική οπή ή με σφικτήρα συνάρμοσης.

Π.χ:

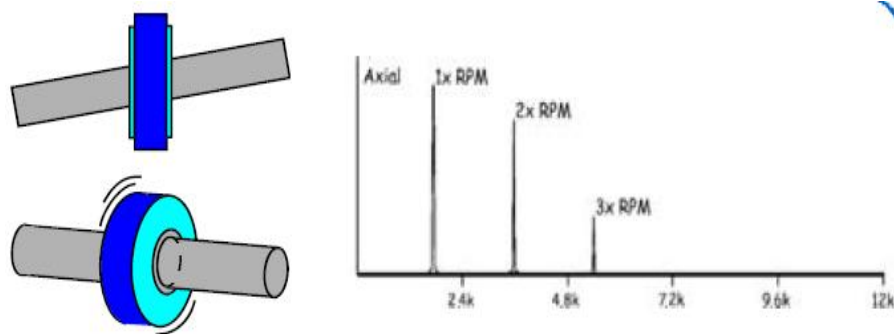


Εικόνα 8.8: Βαρελοειδές διπλής σειράς κυλινδρικής οπής



Εικόνα 8.9: Αυτορρυθμιστό διπλής σειράς με σφικτήρα συνάρμοσης

Το φάσμα των συχνοτήτων που προκύπτει κατά την απευθυγραμμία των ρουλεμάν που βρίσκονται στον ίδιο άξονα έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 8.10: Σκίτσα απευθυγραμμίας ρουλεμάν με άξονα και φάσμα έδρασης απευθυγραμμισμένων ρουλεμάν

Τα συμπτώματα των δονήσεων είναι παρόμοια με την γωνιακή απευθυγραμμία, δηλαδή εμφανίζεται η 1^η, η 2^η και η 3^η αρμονική της ταχύτητας περιστροφής.

Η διαφορά φάσης που παρατηρείται στην περίπτωση αυτή είναι 180° στο οριζόντιο, αλλά και στο κατακόρυφο επίπεδο.

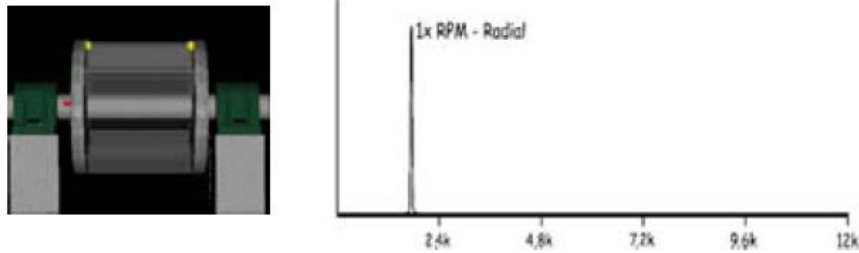
Προσπάθεια για ευθυγράμμιση του κόμπλερ δεν θα διορθώσει το πρόβλημα λόγω της στρεπτικής κίνησης.

Η καταλληλότερη διαγνωστική κίνηση για την περίπτωση αυτή είναι:

- i. Η μέτρηση να γίνει αξονικά.
- ii. Στο φάσμα των συχνοτήτων να είναι εμφανή η $1^{\text{η}}$, η $2^{\text{η}}$ και η $3^{\text{η}}$ αρμονική της ταχύτητας περιστροφής.
- iii. Να γίνει έλεγχος και ανάλυση του φάσματος από 40 KCPM έως 120KCPM υψηλής περιοχής συχνοτήτων των ρουλεμάν λόγω της φόρτισης των στοιχείων κύλισης στους εξωτερικούς δακτυλίους των ρουλεμάν.
- iv. Ανάλυση φάσεων.

8.2.4 Προβλήματα αζυγοσταθμίας

A. Στατική αζυγοσταθμία

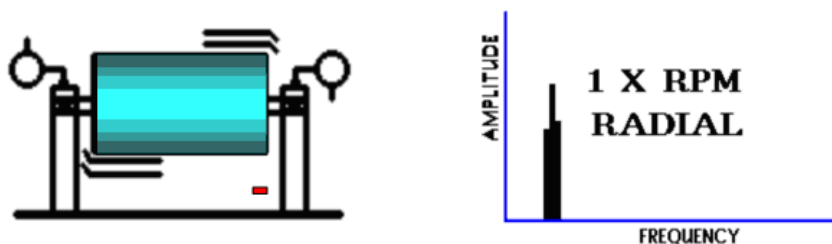


Εικόνα 8.11: Στατική αζυγοσταθμία και φάσμα συχνότητας αζυγοσταθμίας

Στην περίπτωση αυτή στο φάσμα των συχνοτήτων κυριαρχεί η πρώτη αρμονική, δηλαδή έχουμε peak στην ταχύτητα περιστροφής 1 x RPM μετρούμενη ακτινικά και το πλάτος της αυξάνεται με το τετράγωνο της ταχύτητας. Η δύναμη από την αζυγοσταθμία θα είναι σταθερή και σε φάση. Τα έδρανα δονούνται με μικρή ή μηδενική διαφορά φάσης.

Αν αλλάξουμε τον αισθητήρα μέτρησης κατά 90° , στο έδρανο παρατηρείται αλλαγή φάσης κατά 90° . Η διόρθωση γίνεται με την τοποθέτηση ανάλογου αντίβαρου σε ένα επίπεδο.

B. Αζυγοσταθμία ζεύγους

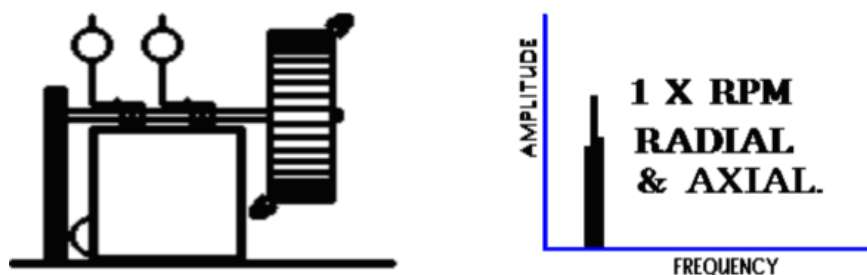


Εικόνα 8.12: Αζυγοσταθμία ζεύγους και φάσμα συχνότητας αζυγοσταθμίας

Και εδώ στο φάσμα των συχνοτήτων κυριαρχεί η πρώτη αρμονική, δηλαδή έχουμε peak στην ταχύτητα περιστροφής 1 x RPM. Το πλάτος ποικίλει ανάλογα με το τετράγωνο της αύξησης της ταχύτητας. Προκαλεί τόσο αξονικές όσο και ακτινικές δονήσεις.

Παρατηρείται σημαντική διαφορά φάσης μεταξύ των εδράνων στις 180° . Η εξισορρόπηση του φαινομένου αυτής της αζυγοσταθμίας απαιτεί διόρθωση σε δύο επίπεδα.

C. Αζυγοσταθμία ανεμιστήρα τύπου προβόλου

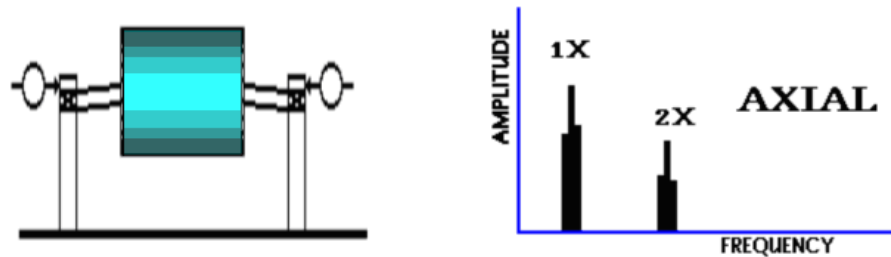


Εικόνα 8.13: Ανεμιστήρας προβόλου και φάσμα συχνότητας αζυγοσταθμίας

Στην εμφάνιση του φάσματος των συχνοτήτων, και εδώ κυριαρχεί η 1 x RPM, στις μετρήσεις που γίνονται τόσο ακτινικά όσο και αξονικά. Το πλάτος ποικίλει ανάλογα με το τετράγωνο της αύξησης της ταχύτητας. Οι αξονικές μετρήσεις έχουν την τάση να είναι της ίδιας φάσης, ενώ αντίθετα η μετρούμενη φάση ακτινικά παρουσιάζεται ασταθής.

Στους προβόλους, συνήθως όταν παρουσιάζεται το φαινόμενο της αζυγοσταθμίας, εκτός από το φαινόμενο της αζυγοσταθμίας ζεύγους παρατηρείται και δυναμική αζυγοσταθμία, καθεμία από τις οποίες ενδέχεται να απαιτεί διορθώσεις.

8.2.5 Λυγισμένος άξονας (βέλος κάμψης άξονα)



Εικόνα 8.14: Αμφιέριστη έδραση λυγισμένου άξονα και φάσμα συχνότητας

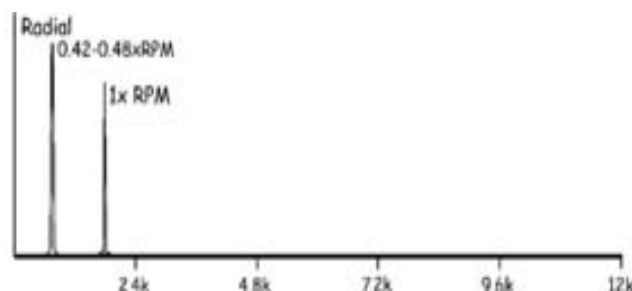
Προβλήματα που σχετίζονται με βέλος κάμψης άξονα προκαλούν υψηλά επίπεδα ταλαντώσεων στην αξονική διεύθυνση. Στο φάσμα των συχνοτήτων παρατηρείται το 1 x RPM και 2 x RPM.

Το φάσμα είναι παρόμοιο με αυτό του γωνιακού σφάλματος ευθυγράμμισης. Η διαφορά φάσης στην αξονική διεύθυνση θα τείνει προς 180° ή 0° .

Οι 2 x RPM κυριαρχούν όταν ο άξονας έχει λυγίσει κοντά στο άκρο του. Προσοχή: μετρήσεις φάσης αξονικά που γίνονται στο έδρανο δείχνουν πρόβλημα ευθυγράμμισης εντός του εδράνου (cocked bearing).

8.2.6 Φθορά Εδράνου Ολίσθησης

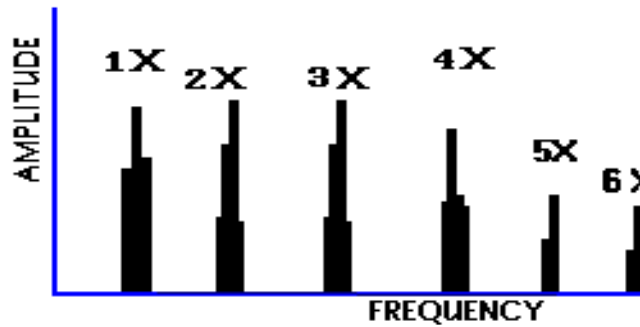
A. Φθορά εδράνου ολίσθησης - 1^ο στάδιο



Διάγραμμα 8.1: Φάσμα 1^{ου} σταδίου φθοράς εδράνου ολίσθησης

Παρατηρείται υψηλό πλάτος peak στο 1 x RPM, συγχρόνως έχουμε ταλάντωση και εμφάνιση peak στο 0,4 - 0,5 x RPM.

B. Φθορά εδράνου ολίσθησης - 2^ο στάδιο με μεγάλα διάκενα



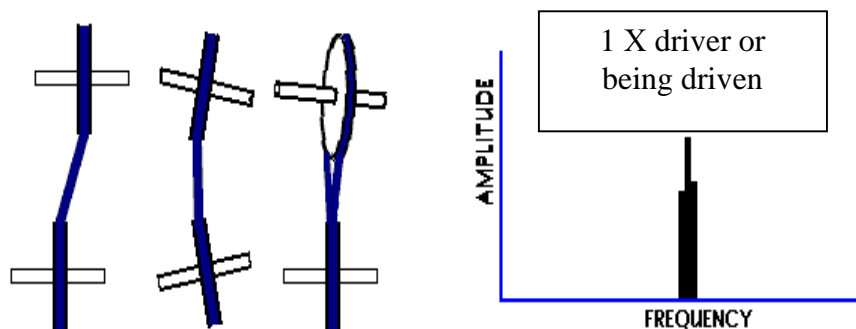
Διάγραμμα 8.2: Φάσμα 2^ο σταδίου φθοράς εδράνου ολίσθησης

Για προχωρημένα στάδια φθοράς του εδράνου (κουζινέτου) έχουμε φάσμα με μια μεγάλη ομάδα αρμονικών της ταχύτητας περιστροφής από 1 x RPM έως και 6 x RPM.

Όταν δε παρατηρηθεί στο φάσμα μικρό σφάλμα ζυγοστάθμισης ή ευθυγράμμισης με υψηλές αρμονικές του 1 x RPM, τότε το έδρανο θα έχει μεγάλα ακτινικά διάκενα.

8.2.7 Προβλήματα μαντοκίνησης

A. Σφάλμα ευθυγράμμισης

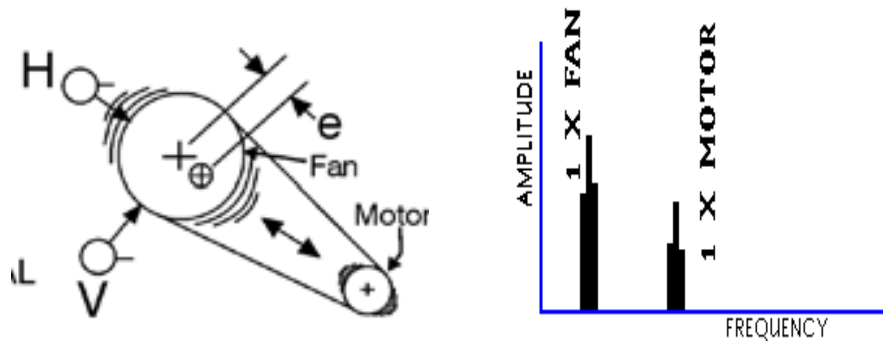


Εικόνα 8.15: Μορφές απευθυγραμμίας μάντων και φάσμα συχνότητας

Η κακή ευθυγράμμιση των τροχαλιών παράγει υψηλή δόνηση κατά την αξονική διεύθυνση, κυρίως στην περιοχή στο 1 x RPM.

Συχνά η υψηλότερη δόνηση για τον κινητήρα θα είναι το 1 x RPM του ανεμιστήρα ή του κινούμενου μηχανήματος ή και το αντίστροφο. Βέβαια το ποιο από τα δύο 1 x peak είναι μεγαλύτερο εξαρτάται από το πώς λαμβάνονται τα δεδομένα, δηλαδή σε ποιο σημείο έγινε η μέτρηση, η σχετική μάζα, αλλά και η ακαμψία του πλαισίου.

B. Έκκεντρες τροχαλίες

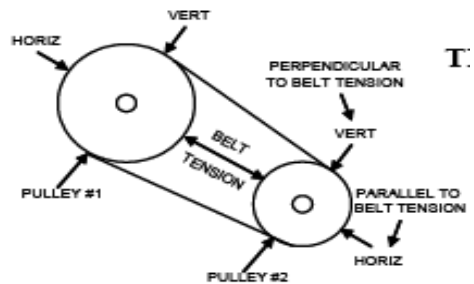
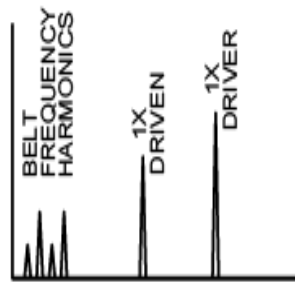


Εικόνα 8.16: Έκκεντρη τροχαλία και φάσμα συχνότητας

Η έκκεντρη τροχαλία θα δώσει την μεγαλύτερη σε μέγεθος ταλάντωση στο 1 x RPM σε σύγκριση με την άλλη (στην περίπτωση του σχήματος, η τροχαλία του ανεμιστήρα).

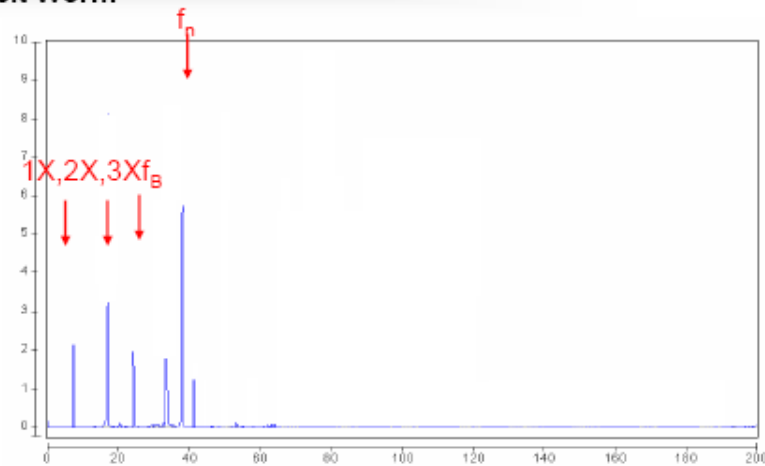
Η συγκεκριμένη μέτρηση γίνεται με διεύθυνση παράλληλα με τους μάντες. Η έκκεντρη τροχαλία με μέτρηση της φάσης κάθετα και οριζόντια δείχνει διαφορά φάσης 0 ή 180°.

C. Φθορά μάντων



Διάγραμμα 8.3: Φάσμα φθοράς μάντων **Εικόνα 8.17:** Σχηματική παράσταση τυπικής μαντοκίνησης

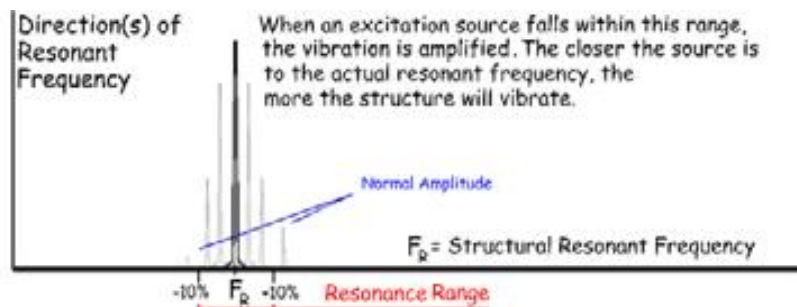
Belt Worn:



Διάγραμμα 8.4: Αποτύπωση συχνοτήτων των ιμάντων

Στο φάσμα όταν προκύπτει φθορά ιμάντων διακρίνουμε τις δύο κυρίαρχες συχνότητες στο $1 \times \text{RPM}$ του κινητήριου και του κινούμενου μηχανήματος. Επίσης η συχνότητα του ιμάντα f_B και οι πρώτες δυο (2) ή ακόμη και τρεις (3) αρμονικές είναι ορατές στο φάσμα. Η $2 \times f_B$ συνήθως είναι η κυρίαρχη συχνότητα στο φάσμα.

D. Συντονισμός



Διάγραμμα 8.5: Φάσμα συχνοτήτων συντονισμού μηχανής

Κατά την ιμαντοκίνηση μπορεί να εμφανισθεί το φαινόμενο του συντονισμού. Συντονισμό έχουμε όταν μια δύναμη (διέγερσης) έχει συχνότητα κοντινή με την ιδιοσυχνότητα του μηχανήματος ή μέρους αυτού, με αποτέλεσμα να προκαλείται δραματική ενίσχυση του πλάτους της ταλάντωσης, που μπορεί να επιφέρει πρόωρη καταστροφική αστοχία. Όσο πιο κοντά στην ιδιοσυχνότητα του διεγέρτη, τόσο μεγαλύτερο πλάτος ταλάντωσης προκύπτει.

Η αποφυγή τέτοιων φαινομένων ειδικά για τις ιμαντοκινήσεις μας οδηγούν σε διορθωτικές κινήσεις επέμβασης επί του μηχανήματος, όπως της μεταβολής της τάσης των ιμάντων, του πάχους αυτών, αλλά και αλλαγή της απόστασης μεταξύ των τροχαλιών (μήκος ιμάντων).

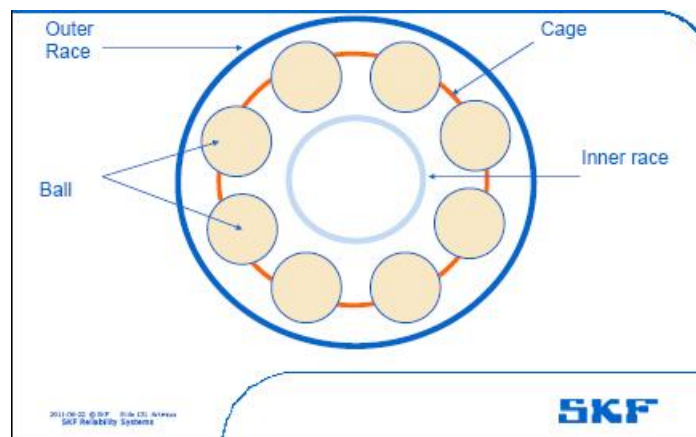
Το φαινόμενο του συντονισμού μπορεί επίσης να εμφανισθεί σε μεγάλους ανεμιστήρες όταν αυτοί είναι μεταβλητών στροφών για να εξυπηρετούν καθαρά παραγωγικά προβλήματα και η βάση τους εδράζεται σε πλαίσιο ελατηρίων.

8.2.8 Αστοχίες εδράνων κύλισης (ρουλεμάν)

Εισαγωγή

Κατά την εξέλιξη της σύγχρονης Τεχνικής η εκμετάλλευση του φαινομένου της κύλισης οδήγησε εκτός των άλλων και στην κατασκευή των εδράνων κύλισης (ρουλεμαν ή ρουλεμάν).

Τα έδρανα κύλισης γενικά αποτελούνται από δύο δακτυλίους (Εξωτερικός Δακτύλιος Outer Race και Εσωτερικός Δακτύλιος Inner Race) που είναι έτσι διαμορφωμένοι, ώστε μεταξύ τους να κυλίσουν σε συγκεκριμένες τροχιές τα σώματα κύλισης (ball). Τα σώματα κύλισης μπορούν να έχουν μορφή σφαίρας, κυλίνδρου, βαρελοειδούς κυλίνδρου, κόλουρου κώνου, βαρελοειδούς κόλουρου κώνου ή βελόνας και συγκρατούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους με την βοήθεια ενός κλωβού Cage ή αλλιώς σφαιροθήκη όταν τα σώματα κύλισης έχουν σφαιρική μορφή.



Εικόνα 8.18: Σχηματική παράσταση ρουλεμάν και σημεία πιθανών αστοχιών

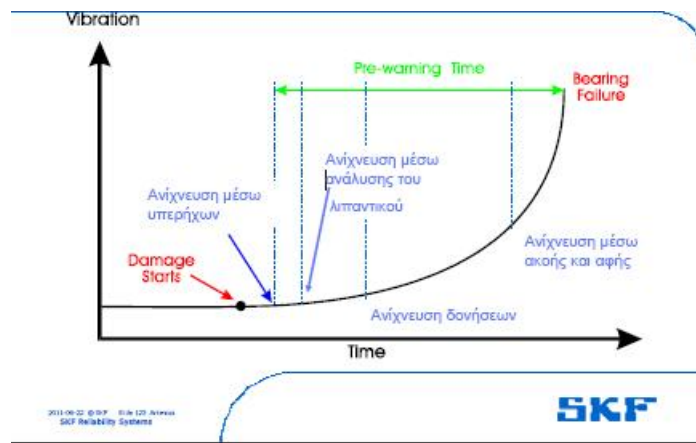
Η εφαρμογή των ρουλεμάν στην τεχνολογία της κίνησης σε σχέση με τα έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα) είναι κυρίαρχη λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, όπως:

1. Έχουν πολύ χαμηλό συντελεστή τριβής κατά την εκκίνηση. Εκκίνηση και στάση χωρίς φθορά.
2. Δεν έχουν ανάγκη συντήρησης και η απαιτούμενη ποσότητα λιπαντικού λειτουργίας τους είναι ελάχιστη.
3. Για την ίδια διάμετρο του στροφέα (άξονα) και το ίδιο πλάτος εδράνου έχουν μεγαλύτερο επιτρεπόμενο φορτίο.
4. Δεν έχουν ανάγκη λειτουργίας προσαρμογής (run-in).
5. Το υλικό, η σκληρότητα επιφάνειας και η τραχύτητα επιφάνειας του στροφέα δεν επηρεάζουν την αντοχή τους.
6. Χαμηλότερο κόστος κατασκευής σε μικρές διαμέτρους στροφέων.

Η ονομαστική διάρκεια ζωής των ρουλεμάν που φορτίζονται με δυναμική καταπόνηση εξαρτάται βασικά από την ταχύτητα περιστροφής τους και από το φορτίο τους. Το τέλος της πραγματικής διάρκειας ζωής ενός ρουλεμάν επισημαίνεται με την εμφάνιση του συμπτώματος της κόπωσης του υλικού που είναι οι εκκοιλάνσεις που δημιουργούνται συνήθως στην αύλακα κύλισης του εσωτερικού δακτυλίου.

Για την αποφυγή βλαβών και τις αιτίες τους, οι οποίες επιφέρουν μικρότερη διάρκεια ζωής αλλά και αιφνίδιες βλάβες στα ρουλεμάν, έχουμε παρατηρήσει ότι συνήθως οφείλονται στους παρακάτω λόγους:

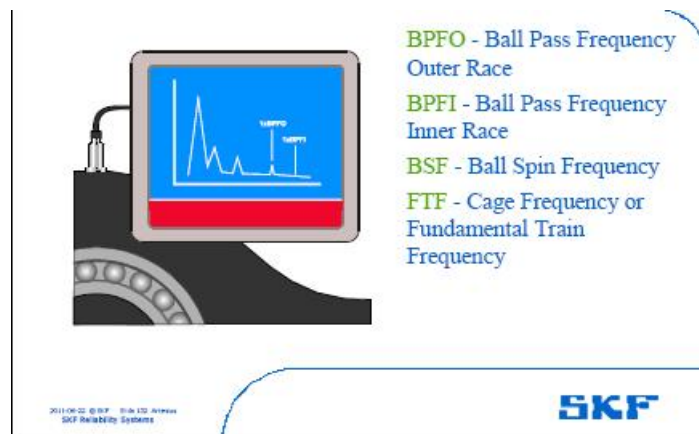
- Σε κακή εκτίμηση του φορτίου του ή σε ανυπολόγιστες υπερφόρτωσης του.
- Σε κακή συναρμολόγηση που έχει σαν αποτέλεσμα τη λειτουργία του εδράνου με μικρότερη από την σωστή ακτινική ή αξονική χάρη.
- Σε άτεχνη τοποθέτηση που να τραυματίσει τις επιφάνειες των μερών από τις οποίες αποτελείται ένα ρουλεμάν.
- Σε κακή εκτίμηση των συνθηκών λειτουργίας του, όπως π.χ. της θερμοκρασίας.
- Σε κακή λίπανση (μεγάλη ή μικρή ποσότητα λιπαντικού, καθώς και η ύπαρξη ξένων σωματιδίων εντός του λιπαντικού).
- Σε κακή λειτουργία ή φθορά των στοιχείων στεγανοποίησης του εδράνου.
- Σε υπερβολικό φορτίο λόγω λειτουργικού σφάλματος της μηχανής, όπως ευθυγραμμίας, αζυγοσταθμίας, βέλους κάμψης τα οποία και αναπτύξαμε στο παρών κεφάλαιο. Τα λειτουργικά σφάλματα που δύνανται να προκύψουν από τα ανωτέρω φαινόμενα αντιμετωπίζονται από την διαγνωστική μέσου του εύρους της μετατόπισης (amplitude) και της ταχύτητας (velocity), που όπως είδαμε είναι φάσματα χαμηλών συχνοτήτων.



Διάγραμμα 8.6: Συνήθης ρυθμός καταστροφής ενός ρουλεμάν

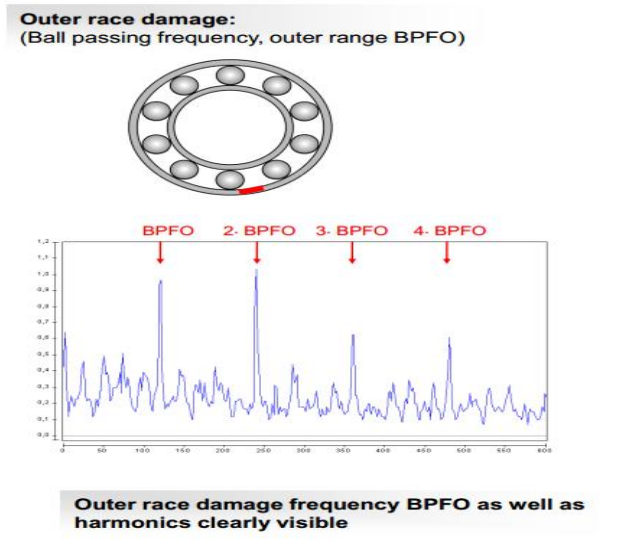
Για την ορθότερη και σε βάθος ανάλυση των δονήσεων, ειδικά για τα ρουλεμάν, εκτός της μετατόπισης και της ταχύτητας, πρέπει να αναφερθούμε και στην έννοια της επιτάχυνσης, καθότι σαν μέγεθος εξετάζει και έχει την δυνατότητα να μας εμφανίζει συχνότητες στην περιοχή από 60 Kcrpm και πάνω από 120Kcrpm (τις λεγόμενες υπερηχητικές περιοχές).

Κατά την ανάλυση και για τα σφάλματα που εμφανίζονται σε ένα ρουλεμάν, εκτός της θεμελιώδης συχνότητας, δηλαδή της συχνότητας περιστροφής του άξονα, έχουμε και την εμφάνιση των παρακάτω συχνοτήτων των ειδικών στοιχείων που αποτελούν το ρουλεμάν:



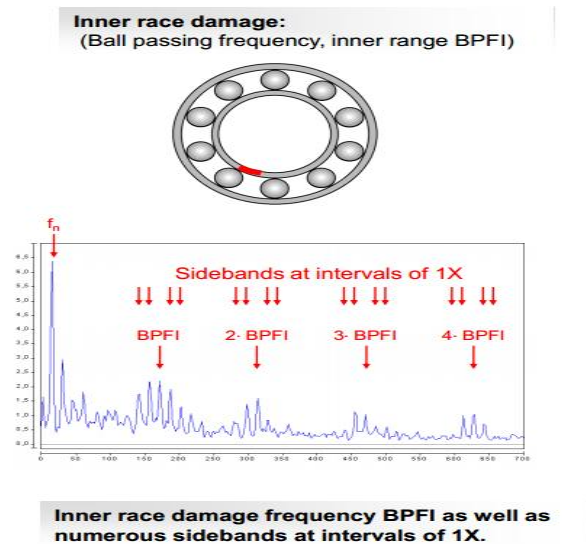
Εικόνα 8.19: Εμφάνιση συχνοτήτων σφάλματος στοιχείων ρουλεμάν

- **BPFO:** Συχνότητα περιστροφής σώματος κύλισης (ball) στον εξωτερικό δακτύλιο



Διάγραμμα 8.7: Αστοχία εξωτερικού δακτυλίου και ανάλυση αρμονικών φάσματος

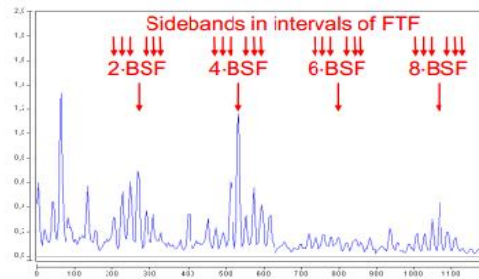
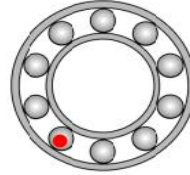
- **BPFI:** Συχνότητα περιστροφής σώματος κύλισης (ball) στον εσωτερικό δακτύλιο



Διάγραμμα 8.8: Αστοχία εσωτερικού δακτυλίου και ανάλυση αρμονικών φάσματος

- **BSF:** Συχνότητα περιστροφής των σωμάτων κύλισης (ball)

Rolling element damage:
(Ball spin frequency BSF)

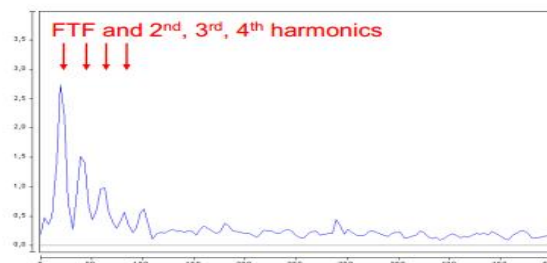
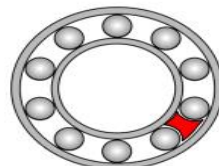


Rolling elements rollover frequency BSF with harmonics as well as sidebands in intervals of FTF

Διάγραμμα 8.9: Αστοχία σώματος κύλισης και ανάλυση αρμονικών φάσματος

- **FTF:** Συχνότητα περιστροφής του κλωβού


Cage damage:
(Fundamental train frequency FTF)



Cage rotation frequency FTF and harmonics visible

Διάγραμμα 8.10: Αστοχία κλωβού και ανάλυση αρμονικών φάσματος

Η εύρεση των ως άνω συχνοτήτων συνδέεται με τους εξής τύπους:

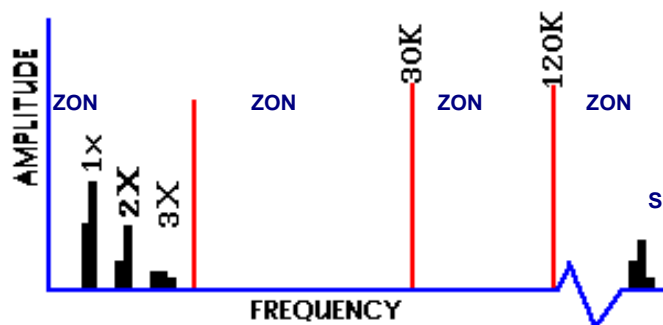
$BPFO = f_{outer} = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \phi \right) (\alpha)$		<p>Συχνότητα διέλευσης σφαιρών στον εξωτερικό δακτύλιο (BallPass Frequency Outer race)</p>
$BPFI = f_{inner} = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \phi \right) (\beta)$		<p>Συχνότητα διέλευσης σφαιρών στον εσωτερικό δακτύλιο (BallPass Frequency Inner)</p>
$BSF = f_{ball} = f_r \frac{PD}{BD} \left[1 - \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \phi \right)^2 \right] (\gamma)$		<p>Συχνότητα περιστροφής σφαιρών (Ball Spin Frequency)</p>
$FTF = f_{cage} = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \phi \right) (\delta)$ <p style="text-align: center;">- Cage)</p>		<p>Συχνότητα περιστροφής κλωβού (Fundamental Train Frequency)</p>

Εικόνα 8.20: Πίνακας εύρεσης συχνοτήτων BPFO, BPFI, BSF, FTF ρουλεμάν

Όπου:

- f_r : θεμελιώδης συχνότητα ή συχνότητα περιστροφής άξονα σε rpm ή Hz
- n : αριθμός (σύνολο) στοιχείων κύλισης
- BD : διάμετρος στοιχείου (ball) κύλισης σε mm
- PD : διάμετρος βήματος του τροχαίου στοιχείου κύλισης σε mm
- $\text{Cos}\phi$: γωνία επαφής στοιχείου κύλισης

A. 1^ο Στάδιο αστοχίας ρουλεμάν

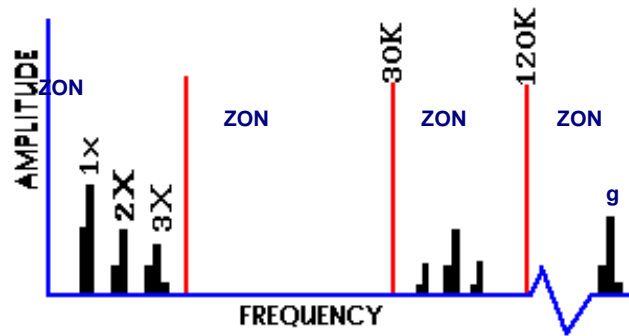


Διάγραμμα 8.11: Φάσμα 1^ο σταδίου αστοχίας ρουλεμάν

Κατά το πρώτο στάδιο αστοχίας των ρουλεμάν παρατηρούμε στην περιοχή των συχνοτήτων πάνω από τα 120 Kcpm τις πρώτες ενδείξεις (υπερηχητική περιοχή - Ζώνη D). Αυτές οι συχνότητες

εκτιμώνται από το spike Energy gSE. Η τιμή του gSE για το πρώτο στάδιο εμφανίζεται περίπου στο 0,25 gSE.

B. 2^ο Στάδιο αστοχίας ρουλεμάν



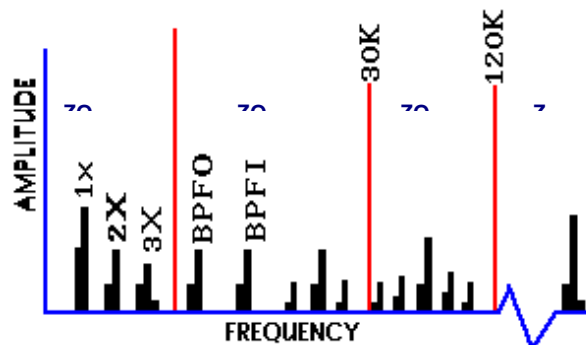
Διάγραμμα 8.12: Φάσμα 2^ο σταδίου αστοχίας ρουλεμάν

Κατά το δεύτερο στάδιο αστοχίας των ρουλεμάν παρατηρούμε τις πρώτες ενδείξεις εμφάνισης συχνοτήτων στην περιοχή από 30 Kcpm μέχρι 120 Kcpm (Ζώνη C).

Η εμφάνιση αυτών των συχνοτήτων στην συγκεκριμένη περιοχή μας δίνει την πληροφορία μικρών φθορών στον εσωτερικό και εξωτερικό δακτύλιο των ρουλεμάν. Όταν οι σφαίρες (Ball) του ρουλεμάν περνούν πάνω από τις μικρές φθορές που μπορεί να είναι και εγχοπές, δημιουργούν αντήχηση στην συγκεκριμένη περιοχή.

Στο τέλος του δεύτερου σταδίου εμφανίζονται παράπλευρες συχνότητες πάνω και κάτω από τις φυσικές συχνότητες. Εδώ η τιμή του spike energy μπορεί να φθάσει και στα 0,5 gSE.

C. 3^ο Στάδιο αστοχίας ρουλεμάν



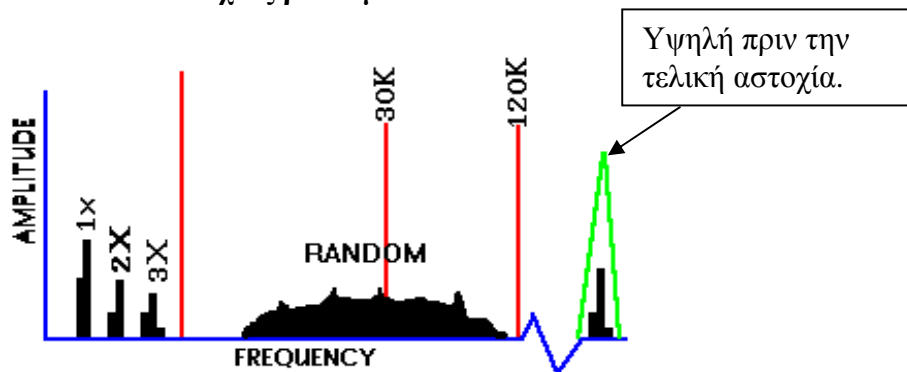
Διάγραμμα 8.13: Φάσμα 3^ο σταδίου αστοχίας ρουλεμάν

Κατά το τρίτο στάδιο αστοχίας των ρουλεμάν η μορφή του φάσματός των συχνοτήτων έχει τελείως διαφορετική μορφή. Σε πρώτο χρόνο στη Ζώνη D (άνω των 120 Kcpm) έχουμε τάσεις ανοδικές των υπάρχοντων συχνοτήτων, ενώ στη Ζώνη C έχει αυξηθεί ο αριθμός των παράπλευρων (Sidebands) συχνοτήτων πάνω και κάτω από τις φυσικές συχνότητες.

Στη ζώνη B έχουμε την εμφάνιση των BPFO και BRFI συχνοτήτων των στοιχείων του ρουλεμάν. Σε δεύτερο χρόνο στην περιοχή της ζώνης B οι ως άνω συχνότητες ανάλογα με την κατάσταση του ρουλεμάν αλλάζουν: στις μεν BPFO παρατηρούμε την ύπαρξη αρμονικών, ενώ στις BRFI παρατηρούμε την ύπαρξη αρμονικών με την παρουσία παράπλευρων συχνοτήτων σε πολλές από αυτές. Σε βάθος χρόνου αν συνεχισθεί και η φθορά των σφαιρών του ρουλεμάν λόγω των χτύπων που υφίστανται στην επαφή τους με τους φθαρμένους δακτυλίους, τότε έχουμε και την εμφάνιση των BSF συχνοτήτων.

Παρατηρείται επί πλέον μικρή αύξηση ως προς το πλάτος των αρμονικών της συχνότητας περιστροφής της μηχανής

D. 4^ο Στάδιο αστοχίας ρουλεμάν



Διάγραμμα 8.14: Φάσμα 4^{ου} σταδίου αστοχίας ρουλεμάν

Την χρονική στιγμή κατά την οποία έχουμε την μορφή αυτή του φάσματος, η οποία παρατηρείται κατά το 4^ο στάδιο αστοχίας του ρουλεμάν, επιλογή μας είναι η άμεση αντικατάσταση του ρουλεμάν. Τη δεδομένη χρονική στιγμή έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του και αύξηση του θορύβου λειτουργίας του, καθότι τα σημειακά σφάλματα των μερών των στοιχείων του ρουλεμάν έχουν αυξηθεί με την δημιουργία αυλακώσεων και την εμφάνιση μεγαλύτερων εγχοπών. Στο φάσμα παρατηρούμε στις περιοχές των ζωνών B και C οι διακριτές συχνότητες BPFO - BRFI να εξαφανίζονται και να αντικαθίστανται από τυχαίες και μεγάλου εύρους δονήσεις που έχουν την μορφή ενός συνεχόμενου θορύβου. Οι κορυφές του συνεχή θορύβου στην περιοχή του spike energy μπορεί και να μειωθούν.

Πριν την τελική αστοχία η 1 x αυξάνεται, καθώς και οι αρμονικές αυτής λόγω του φαινομένου της χαλαρότητας των στοιχείων του ρουλεμάν.

Λίγο πριν την αστοχία το g_{SE} της ζώνης D μπορεί να αυξηθεί φθάνοντας σε υψηλά επίπεδα.

8.2.9 Ηλεκτρικά προβλήματα

Εισαγωγή

Ο εντοπισμός των προβλημάτων στις ηλεκτρικές μηχανές μέσω των δονήσεων, απαιτεί την γνώση των συχνοτήτων, όπως αυτές υπολογίζονται και διερευνώνται για την επίλυση προβλημάτων ηλεκτρικής φύσης.

Οι συχνότητες αυτές είναι:

- Rotor speed: N_R
- Electrical line frequency: $F_L =$ Συχνότητα δικτύου 50Hz/3000cpm or 60Hz/3600 cpm
- No. of poles: P
- Rotor Bar Pass Frequency (RBPF) : $F_B =$ No. of rotor bars x Rotor speed
- Synchronous speed: $N_S = 2 \times F_L / P$
- Slip frequency: $F_S = N_S - N_R$ (N_R : Πραγματική ταχύτητα ρότορα την οποία μετράμε την χρονική στιγμή της μέτρησης - Actual speed)
- Pole pass frequency: $F_P = F_S \times P$

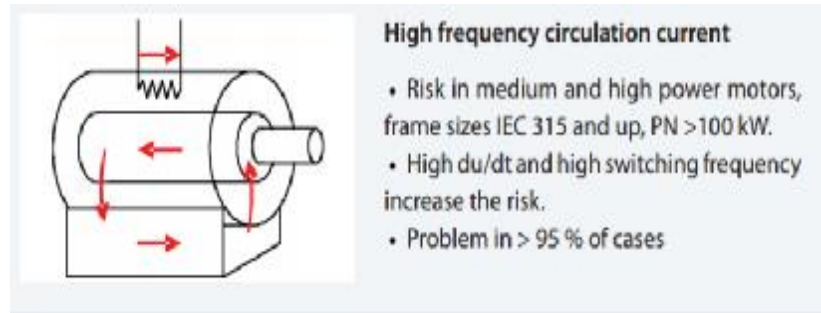
A. Πέρασμα του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τα έδρανα κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Μία από τις αστοχίες των ρουλεμάν των ηλεκτρικών μηχανών που δεν αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο 8.2.8, καθότι δεν έχει σχέση με κάποιους από τους παράγοντες αστοχιών όπως αυτές αναπτύχθηκαν στη συγκεκριμένη παράγραφο, αλλά σαν αστοχία εξαρτάται καθαρά από ηλεκτρικούς παράγοντες είναι και η παρούσα.

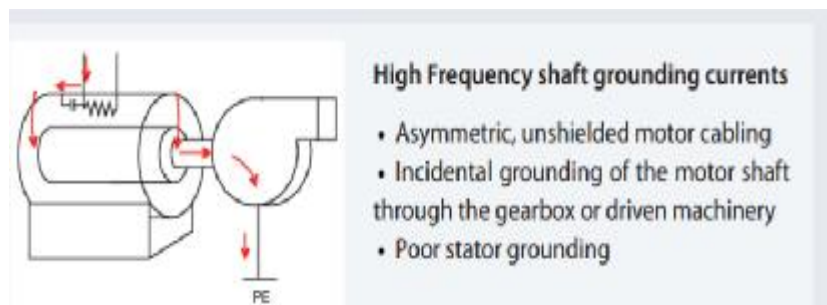
Το πέρασμα του ηλεκτρικού ρεύματος από το ένα δακτυλίδι (Inner race) στο άλλο (Outer race) μέσω των στοιχείων του ρουλεμάν κυλινδρικών ή σφαιρικών (ball) επιφέρει τη λεγόμενη ηλεκτρική διάβρωση των ρουλεμάν. Τα επιβλαβή στοιχεία, τα οποία διαβρώνουν τα ρουλεμάν κινητήρων με ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη από 100KW, είναι από κυκλοφορία ρευμάτων υψηλής συχνότητας, καθώς και υψηλής συχνότητας ρεύματα γείωσης

άξονα. Για μικρότερους κινητήρες διάβρωση των ρουλεμάν μπορεί να επιφέρουν χωρητικά ρεύματα εκφόρτωσης.

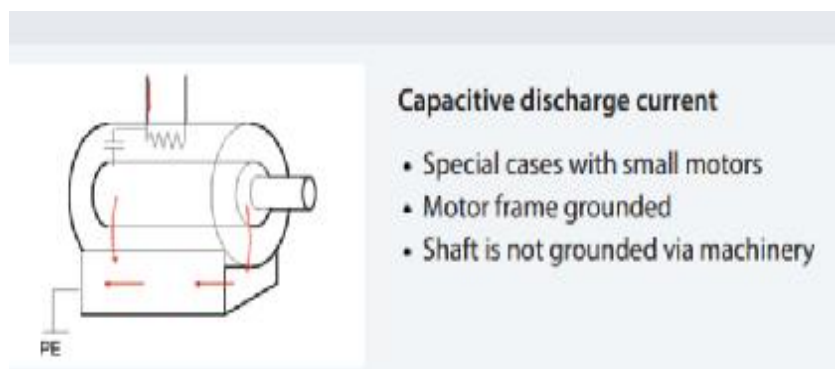
- Παρουσίαση επιβλαβών στοιχείων διάβρωσης ρουλεμάν ηλεκτρικών μηχανών



Εικόνα 8.21: Ρεύμα κυκλοφορίας υψηλής συχνότητας



Εικόνα 8.22: Ρεύμα γείωσης άξονα υψηλής συχνότητας

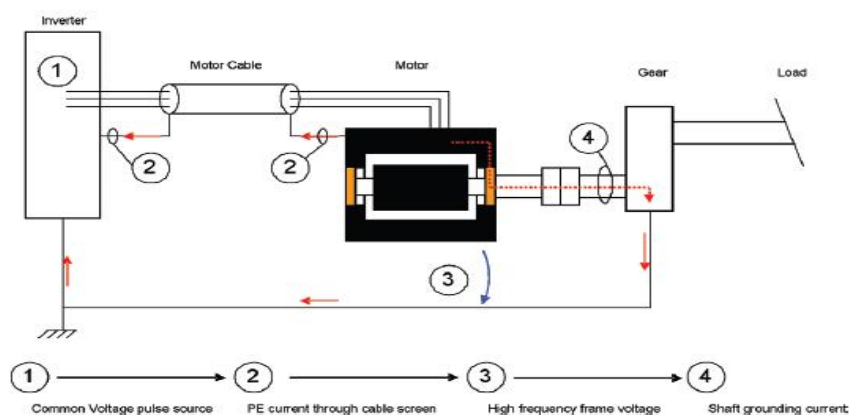


Εικόνα 8.23: Ρεύμα ικανότητας εκκένωσης

- **Παρουσίαση αποτροπής ρευμάτων υψηλής συχνότητας που διέρχονται από τα ρουλεμάν κινητήρων**

Για μονάδες εξοπλισμένες με sinus filter, δεν μπορούμε να λάβουμε υπόψη μας συγκεκριμένες ενέργειες όσο αφορά την κυκλοφορία ρευμάτων υψηλών συχνοτήτων. Σε άλλες περιπτώσεις, τα περισσότερα λάθη απλά αφορούν θέματα εγκατάστασης:

- **Αγωγός (cable):** Για καλώδια κινητήρων πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα θωρακισμένο καλώδιο τριών φάσεων. Ποτέ δεν πρέπει να τοποθετούνται μονοφασικά ή μη θωρακισμένα καλώδια. Η θωράκιση δίνει στα πιθανά ρεύματα που βρίσκονται σε κατάσταση κοινής λειτουργίας ένα καθορισμένο τρόπο επιστροφής στην πηγή (μετατροπέα – converter) χωρίς να διέρχονται μέσα από τα ρουλεμάν.
- **Du/dt:** Οι σύγχρονοι μετατροπείς (converters) παράγουν υψηλό du/dt. Γι'αυτό το λόγο συνιστάται ο μετατροπέας να εξοπλίζεται με φίλτρο du/dt στην έξοδο, με σκοπό την αποτροπή της κυκλοφορίας ρευμάτων υψηλών συχνοτήτων. Μετατροπείς συχνοτήτων με ισχύ μικρότερη των 100 kW συνήθως δεν χρειάζεται να εξοπλίζονται με φίλτρο du/dt, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε κινητήρες με ισχύ πάνω από την τιμή αυτή.
- **Παρακάμπτοντας την πορεία του ρεύματος:** Μονώνοντας το ρουλεμάν, η πορεία του ρεύματος διακόπτεται. Πρέπει να είναι σίγουρο ότι το ρεύμα δεν ακολουθεί άλλο δρόμο προς το έδαφος μέσω του φορτισμένου ρουλεμάν. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το θωρακισμένο καλώδιο κινητήρα είναι απαραίτητο για την παροχή προκαθορισμένων διαδρομών ρεύματος.



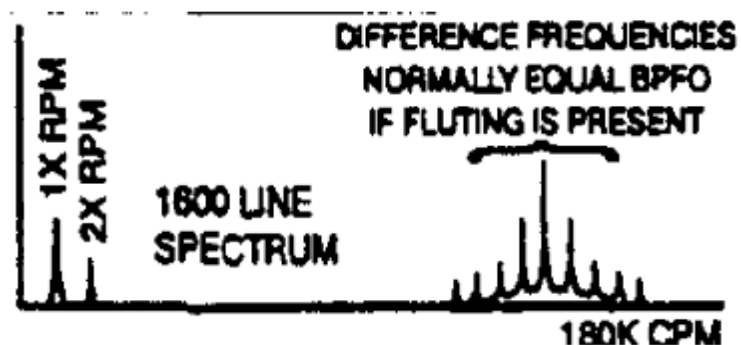
Εικόνα 8.24: Σχηματική παράσταση παράκαμψης πορείας ρευμάτων κινητήρων

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε την ύπαρξη ειδικών στροφέων (ρουλεμάν) που η εξωτερική πλευρά του εσωτερικού δακτυλίου (οπή) και η εξωτερική πλευρά του εξωτερικού δακτυλίου τους έχουν ειδική μόνωση (οξειδίο του αλουμινίου), ώστε να εμποδίζουν την διέλευση αυτών των ρευμάτων από και προς τον άξονα. Η SKF έχει κατασκευάσει τέτοιου είδους ρουλεμάν που φέρουν την ονομασία INSOCOAT. Η μονωτική επίστρωση καλύπτεται επί πλέον με μια ρητίνη για την προστασία από νερό και υγρασίες.

Η βασική επίστρωση μπορεί να αντέξει σε τάση έως 1000 V DC. Εργαστηριακές μελέτες έχουν δείξει ότι η ηλεκτρική βλάβη συμβαίνει πάνω από 3000 V DC.

Τα μονωμένα έδρανα είναι σαφώς οικονομικότερη λύση σε σχέση με άλλες μεθόδους μόνωσης. Οι μονωτικές ιδιότητες των συγκεκριμένων εδράνων βελτιώνουν την αξιοπιστία των μηχανών αυξάνοντας τον χρόνο λειτουργίας τους (uptime), εξαλείφοντας σχεδόν το πρόβλημα της ηλεκτρικής διάβρωσης.

Στην περίπτωση, τώρα, κατά την οποία παρατηρείται διαφυγή ρευμάτων μέσα από τα έδρανα του κινητήρα και οδηγούμαστε σε αστοχία μέσω του φαινομένου της ηλεκτρικής διάβρωσης, κατά την διάρκεια της μέτρησης που λαμβάνουμε, το φάσμα το οποίο μας παρουσιάζεται κατά την λήψη του έχει την παρακάτω μορφή:



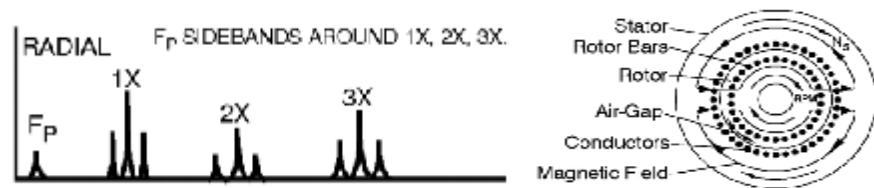
Διάγραμμα 8.15: Φάσμα αστόχιας ηλεκτρικής διάβρωσης ρουλεμάν κινητήρα

Χαρακτηριστικό για το συγκεκριμένο φάσμα είναι ότι η περιοχή των συχνοτήτων πρέπει να έχει άνοιγμα τουλάχιστον μέχρι 180 KCPM με 1800 Lines για την καλύτερη ανίχνευση των κορυφών BPFO (Συχνότητες των στοιχείων του ρουλεμάν -ball- στον εξωτερικό δακτύλιο).

Οι ως άνω συχνότητες εμφανίζονται με επίκεντρο από 100 έως 150 KCPM.

B. Προβλήματα ρότορα

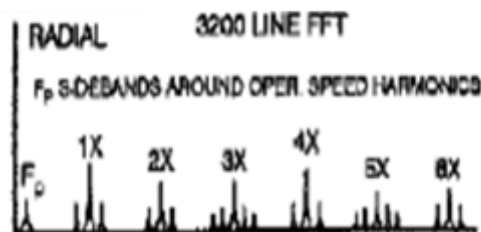
- **Προβλήματα στις μπάρες του ρότορα (σπασμένες ή ραγισμένες μπάρες ρότορα)**



Εικόνα 8.25: Διάγραμμα συχνοτήτων σπασμένων ή ραγισμένων μπαρών ρότορα και τομή κινητήρα

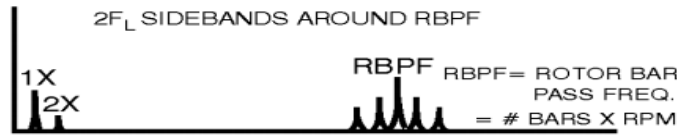
Η μέτρηση που συνιστάται για τη διάγνωση αυτού του προβλήματος είναι ακτινική (radial). Κατ'αρχή εμφανίζεται η συχνότητα «περάσματος» πόλων F_p. Παράλληλα έχουμε την εμφάνιση τριών αρμονικών της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα, ενώ ταυτόχρονα παρατηρούνται δεξιά και αριστερά των αρμονικών της περιστροφής παράπλευρες συχνότητες σε απόσταση ίση με την συχνότητα F_p. $F_p = F_s \times P = (N_s - N_r) \times P$.

Το παρακάτω διάγραμμα φάσματος μας δείχνει σε πλήρη ανάλυση την μορφή του, όταν έχουμε να διαγνώσουμε το φαινόμενο των ραγισμένων μπαρών του ρότορα (cracked rotor bars).



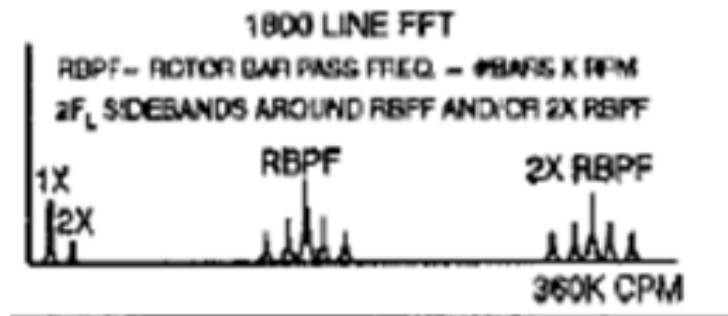
Διάγραμμα 8.16: Φάσμα ραγισμένων μπαρών ρότορα

- Χαλαρότητα στις μπάρες του ρότορα



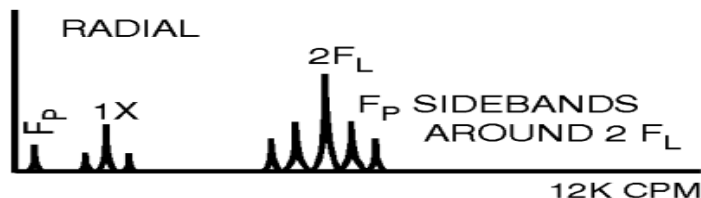
Διάγραμμα 8.17: Φάσμα χαλαρότητας μπαρών ρότορα

Η μέτρηση που συνιστάται για τη διάγνωση αυτού του προβλήματος είναι ακτινική (radial). Στο φάσμα των συχνοτήτων εμφανίζεται η 1 x και η 2 x αρμονικές συχνότητες περιστροφής, καθώς και η συχνότητα “περάσματος” μπαρών ρότορα (RBPF). Στη συχνότητα F_B εμφανίζονται παράπλευρες ίσες με $2F_L$ της συχνότητας του δικτύου. Συχνά προκαλεί υψηλή δόνηση στην 2 x RBPF και μικρότερη στην 1 x RBPF, όπως ακριβώς φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα φάσματος.



Διάγραμμα 8.18: Φάσμα χαλαρότητας μπαρών ρότορα

- Έκκεντρος ρότορας (ανομοιόμορφο διάκενο μεταξύ ρότορα και στάτη)

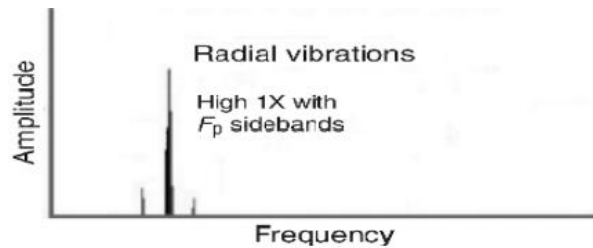


Διάγραμμα 8.19: Φάσμα έκκεντρου ρότορα

Οι έκκεντροι ρότορες προκαλούν μεταβλητό στρεφόμενο διάκενο αέρος, το οποίο οδηγεί σε παλμική δόνηση. Το δε φάσμα μας

παρουσιάζει δόνηση στη συχνότητα $2F_L$, ενώ περίξ της συγκεκριμένης συχνότητας εμφανίζονται παράπλευρες pole pass frequency F_p . Στο φάσμα των συχνοτήτων διακριτό είναι η $1 \times$ rpm με παράπλευρες F_p . Για την καλύτερη ανάλυση - διάβασμα του συγκεκριμένου φάσματος, έτσι ώστε να μπορούμε να δούμε τις συχνότητες $2F_L$ και τις αντίστοιχες sidebands, πρέπει να κάνουμε μεγέθυνση (zoom) του φάσματος. Επίσης, δεν αποκλείεται στο φάσμα η ύπαρξη της χαμηλής συχνότητας F_p από μόνη της.

· **Αζυγοσταθμία ρότορα**



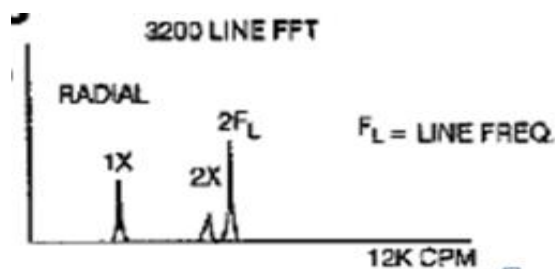
Διάγραμμα 8.20: Φάσμα αζυγοσταθμίας ρότορα

Στην περίπτωση κατά την οποία έχουμε στροφέα με crack ή μία σπασμένη μπάρα εμφανίζεται πρόβλημα αζυγοσταθμίας. Το φάσμα δεν διαφέρει από αυτό που γνωρίσαμε και που αναπτύξαμε στο κεφάλαιο περί αζυγοσταθμίας, δηλαδή αυξημένη τιμή πλάτους κραδασμών στην $1^{\text{η}}$ αρμονική περιστροφής του ρότορα, αλλά εδώ έχουμε επί πλέον και την εμφάνιση παράπλευρων συχνοτήτων F_p (Pole Pass frequency) στην $1 \times$ rpm του ρότορα.

C. Προβλήματα στάτη

· **Εκκεντρότητα στάτη**

Η εκκεντρότητα του στάτη δημιουργεί υψηλές δονήσεις (κορυφές συχνότητας) στην τιμή $2 \times F_L$, ενώ εμφανίζονται η $1^{\text{η}}$ και $2^{\text{η}}$ αρμονική της συχνότητας περιστροφής της μηχανής.



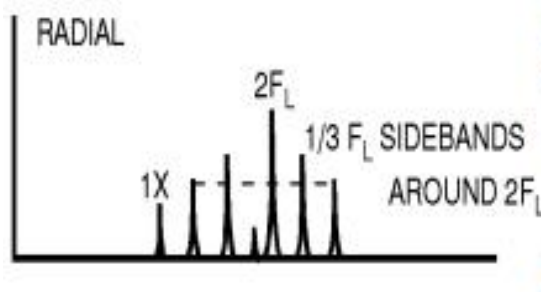
Διάγραμμα 8.21: Φάσμα εκκεντρότητας στάτη

Η χαλαρή έδραση του στάτη ή και η αδυναμία στήριξης αυτού δημιουργούν υψηλές δονήσεις στις συχνότητες $2 \times F_L$, καθώς και στις $1 \times$ και $2 \times$ RPM. Επίσης, στην περίπτωση που έχουμε βραχυκυκλωμένα ελάσματα στάτη προκαλείται άνιση τοπική θέρμανση, η οποία σταδιακά ανεβαίνει και μπορεί να δημιουργήσει στρέβλωση στον στάτη, άρα και εκκεντρότητα αυτού. Η εκκεντρότητα αυτή του στάτη λόγω υπερθέρμανσης προκαλεί άνισο διάκενο αέρα (air gap) μεταξύ του ρότορα και του στάτη, με αποτέλεσμα να έχουμε δόνηση και μάλιστα προς συγκεκριμένη κατεύθυνση. Το διάκενο του αέρα (air gap) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% για τους επαγωγικούς κινητήρες και το 10% για τους σύγχρονους κινητήρες.

D. Προβλήματα φάσης

Προβλήματα φάσης έχουμε όταν μια από τις φάσεις έχουν χαλαρή σύνδεση ή σπασμένη. Στο φάσμα των συχνοτήτων παρατηρείται υψηλή κορυφή δόνησης στην συχνότητα $2 \times F_L$, ενώ εμφανής είναι και οι συχνότητες $1 \times$ και $2 \times$ RPM.

Παρατηρούμε, επίσης, παράπλευρες δεξιά και αριστερά της $2F_L$ ίσες με το $1/3$ της συχνότητας του δικτύου $1/3F_L$.



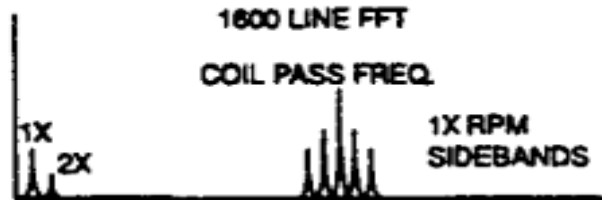
Διάγραμμα 8.22: Φάσμα συχνοτήτων χαλαρής ή σπασμένης φάσης

Η δόνηση στην περίπτωση αυτή είναι πολύ υψηλή και πολλές φορές σταδιακά, αν δεν γίνει αντιληπτή, μπορεί να ξεπεράσει και τα 25mm/sec.

E. Προβλήματα σύγχρονων κινητήρων

Σε σύγχρονους κινητήρες δημιουργείται υψηλή δόνηση όταν έχουμε χαλαρά πηνία στον στάτη. Οι κορυφές της δόνησης εμφανίζονται στην συχνότητα περάσματος πηνίου (Coil Pass Frequency - CPF) και που ισούται με τον αριθμό των πηνίων του στάτη επί RPM κινητήρα. Στο παρακάτω διάγραμμα που

αποτυπώνει το συγκεκριμένο πρόβλημα των σύγχρονων κινητήρων παρατηρούμε ότι η συχνότητα CPF εμφανίζει παράπλευρες συχνότητες ίσες με 1 x RPM.

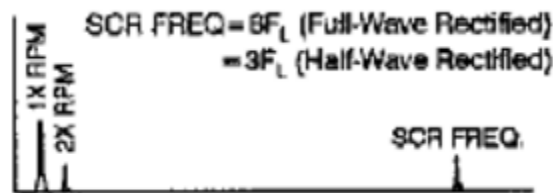


Διάγραμμα 8.23: Φάσμα συχνοτήτων χαλαρών πηνίων στο στάτη

Επίσης, μπορεί να παρατηρηθούν στο φάσμα των συχνοτήτων και υψηλές κορυφές σε συχνότητες από 60000CPM έως 90000CPM, συνοδευόμενες πάντοτε από πλευρικές ζώνες ίσες με 2 x F_L . Για την καλύτερη μέτρηση και την ευκολότερη ανάλυση των δονήσεων στην περίπτωση των σύγχρονων κινητήρων πρέπει το φάσμα συχνοτήτων που θα προκύπτει από τη μέτρηση του κάθε εδράνου του κινητήρα να είναι τουλάχιστον 90000CPM.

F. Προβλήματα στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος D.C.

Πριν αναφερθούμε στην ανάλυση των φασμάτων με δόνηση μέσου των οποίων φαίνονται πολλά προβλήματα στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (D.C.) αλλά και αυτοματισμών, καλό θα ήταν πρώτα να δούμε ένα κανονικό φάσμα κινητήρων συνεχούς ρεύματος με φυσικές συχνότητες, όπως αυτές θα φαίνονται όταν ο κινητήρας εργάζεται κανονικά και χωρίς πρόβλημα.



Διάγραμμα 8.24: Κανονικό διάγραμμα φάσματος δόνησης κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Οι μεν κινητήρες με ανορθωτή πλήρους κύματος παράγουν ένα σήμα SCR FREQ=6 x F_L ($6F_L=360\text{Hz}=21600\text{CPM}$), ενώ οι κινητήρες με ανορθωτή μισού κύματος παράγουν ένα σήμα SCR FREQ= 3 x F_L ($3 x F_L=180\text{Hz}=10800\text{CPM}$). Το σήμα (το ύψος του Peak) στη συχνότητα FSCR μπορεί να προσεγγίσει την τιμή των 2-2,5 mm/sec χωρίς να υποδηλώνεται κάποιο πρόβλημα. Στο

παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την παντελή απουσία κορυφών ίσων με F_L ή πολλαπλάσια αυτής.

- **Σπασμένες περιελίξεις οπλισμού ή κακή ρύθμιση του συστήματος ή προβλήματα γείωσης**

Όταν στο φάσμα της δόνησης D.C. κινητήρων κυριαρχούν υψηλά επίπεδα συχνοτήτων SCR και $2 \times SCR$, καθώς και ύπαρξη της F_L συχνότητας, τότε το συγκεκριμένο φάσμα υποδηλώνει είτε σπασμένες περιελίξεις κινητήρα, είτε λανθασμένη ρύθμιση του ηλεκτρικού συστήματος έλεγχου. Η σωστή ρύθμιση του ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου, αν υφίστανται τέτοια προβλήματα και μόνο, μπορεί να μειώσει τις δονήσεις στα SCR $2 \times SCR$. Οι σπασμένες περιελίξεις μπορεί να επιφέρουν υψηλά εύρη δονήσεων της τάξης των 25,4mm/sec στην $1 \times SCR$ και 1mm/sec στη $2 \times SCR$.



Διάγραμμα 8.25: Φάσμα συχνοτήτων σπασμένων περιελίξεων ή κακής ρύθμισης συστήματος ή προβλημάτων γείωσης

- **Ελαττωματικά SCR, βραχυκυκλωμένες κάρτες ελέγχου (firing card, comparator card) και χαλαρές συνδέσεις**

Τα προβλήματα αυτά δημιουργούν αισθητές κορυφές εύρους δόνησης σε διάφορους συνδυασμούς της F_L συχνότητας του δικτύου, καθώς και στην SCR συχνότητα. Βασικά, ένα κακό SCR μπορεί να προκαλέσει υψηλά επίπεδα δόνησης σε F_L και έως $5 \times F_L$ συχνότητες. Αυτό που θέλουμε να πούμε βλέποντας αυτό το φάσμα είναι ότι κανένα F_L , $2F_L$, $4F_L$ ή $5F_L$ δεν πρέπει να υπάρχει σε φάσμα D.C. κινητήρων.



Διάγραμμα 8.26: Φάσμα συχνοτήτων ελαττωματικών SCR, καρτών ελέγχου και χαλαρών συνδέσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΜΟΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΓΩΓΩΝ

9.1 Θερμοκάμερα

9.1.1 Υπέρυθρη κάμερα FLUKE Ti 400 9HZ



Εικόνα 9.1: Υπέρυθρη κάμερα FLUKE Ti 400 9HZ

9.1.1.1 Χαρακτηριστικά

- Εντοπίζει και γνωστοποιεί τυχόν θέματα γρηγορότερα με την πατενταρισμένη Fluke IR-Fusion® τεχνολογία με τη λειτουργία AutoBlend™.
- Προσφέρει ταχύτερη επικοινωνία, χάρη στην ασύρματη μεταφορά εικόνων απευθείας στον υπολογιστή ή σε συσκευή Apple, iPhone ή iPad.
- Καταγράφει έως 5 πρόσθετες μετρήσεις με το σύστημα CNX™ Wireless.
- Δίνει τη δυνατότητα χρήσης ενός μόνο χεριού στο περιβάλλον εργασίας του χρήστη, για μεγαλύτερη ευκολία.
- Περιλαμβάνει ανθεκτική, υψηλής ανάλυσης 640x480, χωριτική οθόνη αφής για γρήγορη πλοήγηση στο μενού.
- Αποτυπώνει επιπρόσθετες ψηφιακές εικόνες για να δείξει τη θέση ή επιπλέον λεπτομέρειες του χώρου, με τη βοήθεια του συστήματος σχολιασμού IR-PhotoNotes™.
- Προσφέρει πιο προηγμένες επιλογές εξόδου οθόνης για τη λήψη λεπτομερειών μέσω μετάδοσης (streaming) βίντεο σε υπολογιστή ή σε οθόνη υψηλής ευκρίνειας (USB και HDMI).

- Η ηχογράφηση φωνής και σχολιασμού που περιλαμβάνει δίνει τη δυνατότητα οι επιπλέον πληροφορίες να αποθηκεύονται με το αρχείο εικόνων.
- Διαθέτει προαιρετικούς, εναλλάξιμους φακούς για μεγαλύτερη ευελιξία σε πρόσθετες εφαρμογές.
- Περιλαμβάνει επαναφορτιζόμενες, αντικαταστάσιμες, έξυπνες μπαταρίες με οθόνη LED για να δείχνει τα επίπεδα φόρτισης, για εξαιρετική ευελιξία.
- Διαθέτει όριο μέτρησης υψηλής θερμοκρασίας μέχρι και 1200 °C.
- Προσφέρει 5 MP βιομηχανικής απόδοσης ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, για ποιότητα εικόνας υψηλής ευκρίνειας.
- Συμπεριλαμβάνει λογισμικό ανάλυσης και αναφοράς SmartView® και SmartView εφαρμογή για κινητά.

9.1.1.2 Προδιαγραφές

Θερμοκρασία	
Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας (δεν βαθμονομούνται κάτω από -10 °C)	-20 °C έως +1200 °C (-4 °F έως +2192 °F)
Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας	± 2 °C ή 2% (στους 25 °C ονομαστική, όποιο από τα δύο είναι μεγαλύτερο)
Διόρθωση συντελεστή εκπομπής στην οθόνη	Ναι (με βάση αριθμό και πίνακα)
Αντιστάθμιση θερμοκρασίας αντανακλώμενου φόντου στην οθόνη	Ναι
Διόρθωση μετάδοσης στην οθόνη	Ναι
Απόδοση Απεικόνισης	
Συχνότητα λήψης εικόνας	9Hz ή 60Hz ρυθμό ανανέωσης, ανάλογα με το μοντέλο
Τύπος ανιχνευτή	Συστοιχία εστιακού επιπέδου, ψυχόμενο μικροβολόμετρο, 320 x 240 pixels
Θερμική ευαισθησία (NETD)	≤ 0,05 °C σε 30 °C θερμοκρασία στόχου (50 mK)
Σύνολο εικονοστοιχείων (pixels)	76.800
Υπέρυθρη φασματική ζώνη	7,5 μm έως 14 μm (μακρά κύματα)
Οπτική φωτογραφική μηχανή (ορατό φως)	Βιομηχανική απόδοση 5,0 megapixel
Πρότυπο Τύπου Υπερύθρων Φακού	
Οπτικό πεδίο	24° x 17°
Χωρική ανάλυση (IFOV)	1.31 mRad
Ελάχιστη απόσταση εστίασης	15 cm (περίπου 6 in)
Μηχανισμός Εστίασης	

LaserSharp™ σύστημα αυτόματης εστίασης	Ναι
Σύνθετη χειροκίνητη εστίαση	Ναι
Παρουσίαση εικόνας	
Παλέτες	
Πρότυπο	Ironbow, Μπλε-Κόκκινο, Υψηλή Αντίθεση, Κεχριμπάρι (Amber), Κεχριμπάρι Ανεστραμμένο (Amber Inverted), Ζεστό Μέταλλο (Hot Metal), Κλίμακα του γκρι, Κλίμακα του γκρι Ανεστραμμένη (Inverted)
Ultra Αντίθεση™	Ironbow Ultra, Μπλε-Κόκκινο Ultra, Υψηλή Αντίθεση Ultra, Κεχριμπάρι (Amber) Ultra, Κεχριμπάρι Ανεστραμμένη (Amber Inverted) Ultra, Ζεστό Μέταλλο (Hot Metal) Ultra, Κλίμακα του γκρι Ultra, Κλίμακα του γκρι Ανεστραμμένη (Inverted) Ultra
Επίπεδο και διάρκεια	Ομαλή αυτόματη κλιμάκωση και χειροκίνητη κλιμάκωση επιπέδου και της διάρκειας
Γρήγορη αυτόματη εναλλαγή μεταξύ χειροκίνητων και αυτόματων λειτουργιών	Ναι
Γρήγορη αυτόματη διαβάθμιση σε χειροκίνητη λειτουργία	Ναι
Ελάχιστη διάρκεια (σε χειροκίνητη λειτουργία)	2.0 °C (3.6 °F)
Ελάχιστη διάρκεια (σε αυτόματη λειτουργία)	3.0 °C (5.4 °F)
IR-Fusion® Πληροφορίες	
Picture-in-Picture (PIP)	Ναι
Πλήρης οθόνη υπερέθρων	Ναι
Κατάσταση AutoBlend™	Ναι
Συναγερμοί χρωμάτων (συναγερμοί θερμοκρασίας)	Υψηλή θερμοκρασία, χαμηλή θερμοκρασία, και ισοθερμική (επιλέγει ο χρήστης)
Καταγραφή Εικόνας και Αποθήκευση Δεδομένων	
Καταγραφή εικόνας, αξιολόγηση, μηχανισμός αποθήκευσης	Λήψη εικόνας με το ένα χέρι, αξιολόγηση, και ικανότητα αποθήκευσης
Μέσο αποθήκευσης	Micro SD Κάρτα Μνήμης, on-board flash μνήμη, ικανότητα αποθήκευσης σε USB, άμεση λήψη μέσω σύνδεσης USB σε υπολογιστή
Μορφές αρχείων	Μη-ραδιομετρική (.bmp) ή (.jpeg) ή πλήρως ραδιομετρική (.is2)
	Δεν απαιτείται ανάλυση λογισμικού για μη-ραδιομετρικά (.bmp και .jpg) αρχεία

Εξαγωγή μορφών αρχείων w/SmartView® λογισμικού	BMP, DIB, GIF, JPE, JFIF, JPEG, JPG, PNG, TIF και TIFF
Επανεξέταση μνήμης	Πλοήγηση thumbnail προβολής και επιλογή επανεξέτασης
Άλλα Χαρακτηριστικά Εξοικονόμησης Χρόνου και Παραγωγικότητας	
Έκφραση σχολιασμού	60 δευτερόλεπτα μέγιστος χρόνος εγγραφής ανά εικόνα - δεκτική αναπαραγωγή στο σύστημα απεικόνισης
IR-PhotoNotes™	Ναι
Wi-Fi συνδεσιμότητα	Ναι, σε HY, iPhone, iPad και WiFi στο LAN*
Κείμενο σχολιασμού	Ναι
Εγγραφή βίντεο	Πρότυπη και ραδιομετρική
Αναμετάδοση (streaming) βίντεο	Μέσω USB σε HY και HDMI σε οθόνη συμβατή με HDMI θύρα
CNX ασύρματο σύστημα	Ναι
Cardinal πυξίδα	Ναι
Αυτόματη καταγραφή (θερμοκρασία και μεσοδιάστημα)	Ναι
Τηλεχειριστήριο και λειτουργία (για ειδικές και προηγμένες εφαρμογές)	Ναι
Γενικές προδιαγραφές	
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10 °C έως +50 °C (14 °F έως 122 °F)
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-20 °C έως +50 °C (-4 °F έως 122 °F) χωρίς μπαταρίες
Σχετική υγρασία	10% έως 95% χωρίς συμπύκνωση
Ανθεκτική οθόνη αφής (χωρητική)	8,9 εκατοστά (3,5 in) χρώμα διαγώνιου τοπίου VGA (640 x 480) οθόνη LCD με οπίσθιο φωτισμό
Έλεγχοι και προσαρμογές	Κλίμακα θερμοκρασίας επιλέξιμη από το χρήστη (°C / °F)
	Επιλογή γλώσσας
	Ώρα/Ημερομηνία
	Επιλογή Εκπομπής
	Αντιστάθμιση θερμοκρασίας φόντου
	Διόρθωση μετάδοσης
	Συναγερμοί χρωμάτων
	Επιλογή γραφικών πληροφοριών οθόνης
Λογισμικό	SmartView® και SmartView εφαρμογή κινητού – περιλαμβάνεται πλήρη ανάλυση και λογισμικό αναφοράς

Μπαταρίες	Δύο πακέτα επαναφορτιζόμενων, έξυπνων, ιόντων λιθίου μπαταριών, με LED οθόνη πέντε επιπέδων, για να δείχνει το επίπεδο φόρτισης (όλα τα μοντέλα)
Διάρκεια ζωής μπαταρίας	Τέσσερις ⁺ ώρες συνεχούς χρήσης ανά μπαταρία (δεσμεύει το 50% της φωτεινότητας της οθόνης LCD και μέσης χρήσης)
Χρόνος φόρτισης μπαταρίας	2,5 ώρες για πλήρη φόρτιση
Φορτιστής μπαταρίας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)	Διπολικός φορτιστής μπαταρίας εναλλασσόμενου ρεύματος (110 V AC έως 220 V AC, 50/60 Hz) (περιλαμβάνεται), ή φόρτιση in-imager. Περιλαμβάνονται AC μετασχηματιστές. Προαιρετικά φορτιστής-προσαρμογέας αυτοκινήτου 12 V του αυτοκινήτου. Όλα τα μοντέλα
Εναλλασσόμενη (AC) λειτουργία	Λειτουργία εναλλασσόμενου ρεύματος με το συμπεριλαμβανόμενο τροφοδοτικό (110 V AC έως 220 V AC, 50/60 Hz). Περιλαμβάνονται AC μετασχηματιστές.
Εξοικονόμηση ενέργειας	Ο χρήστης επιλέγει τις λειτουργίες αναμονής και τερματισμού
Πρότυπα ασφαλείας	UL 61010-1:2012 CAN/CSA-C22.2 No.61010-1-12 IEC 61010-1 3 ^η έκδοση
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα	EN 61326-1: 2006 IEC 61326-1: 2005
C Tick	IEC / EN 61326-1
ΗΠΑ FCC	CFR 47, μέρος 15 Τμήμα Β Τάξη Β
Δόνηση	0,03 g ² / Hz (3,8 grms), 2,5g IEC 68-2-6
Σοκ	25 g, IEC 68-2-29
Πτώση	Σχεδιασμένο να αντέχει 2 m (6,5 πόδια) με τυπικούς φακούς
Διαστάσεις (Μ x Π x Υ)	27,7 cm x 12,2 cm x 16,7 cm (10,9 in x 4,8 in x σε 6,5 in)
Βάρος (με μπαταρία)	1.04 Kg (2,3 lb)
Αξιολόγηση περιβλήματος	IP54 (προστατεύεται από τη σκόνη, περιορισμένη είσοδος - προστασία από ψεκάσμο νερού από όλες τις κατευθύνσεις)
Εγγύηση	Δύο χρόνια, διαθέσιμες και εκτεταμένες εγγυήσεις
Συνιστώμενος κύκλος προσαρμογής	Δύο χρόνια (με την προϋπόθεση κανονικής λειτουργίας και φυσιολογικής γήρανσης)

Υποστηριζόμενες γλώσσες	Τσέχικα, Ολλανδικά, Αγγλικά, Φιλανδικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ουγγαρέζικα, Ιταλικά, Ιαπωνικά, Κορεάτικα, Πολωνικά, Πορτογαλικά, Ρωσικά, Απλοποιημένα Κινέζικα, Ισπανικά, Σουηδικά, Παραδοσιακά Κινέζικα, και Τούρκικα
--------------------------------	---

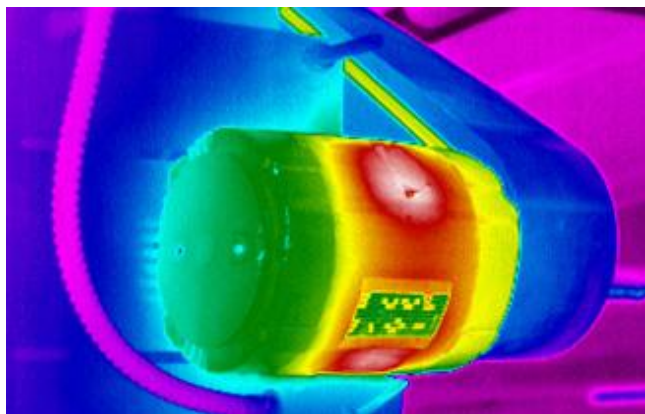
Πίνακας 9.1: Προδιαγραφές υπέρυθρης κάμερας FLUKE Ti 400 9HZ

9.1.1.3 Αξεσουάρ

Η υπέρυθρη κάμερα FLUKE Ti 400 9HZ περιλαμβάνει τα εξής:

- Θερμική απεικόνιση με πρότυπο υπέρυθρο φακό
- AC τροφοδοτικό και φορτιστή μπαταρίας
- Δύο ανθετικά πακέτα μπαταριών ιόντων λιθίου
- 3 μέτρα καλώδιο USB
- 3 μέτρα καλώδιο HDMI
- Λογισμικό SmartView® με απεριόριστες δωρεάν αναβαθμίσεις
- Ανθεκτική, σκληρή θήκη μεταφοράς
- Μαλακή τσάντα μεταφοράς
- Ρυθμιζόμενο λουρί για το χέρι
- Έντυπο εγχειρίδιο χρήστη (σε 5 γλώσσες)
- Εγχειρίδιο χρήστη σε CD μορφή
- Κάρτα εγγύησης εγγραφής

9.1.2 Λήψη θερμογραφίας κινητήρα σε λειτουργία

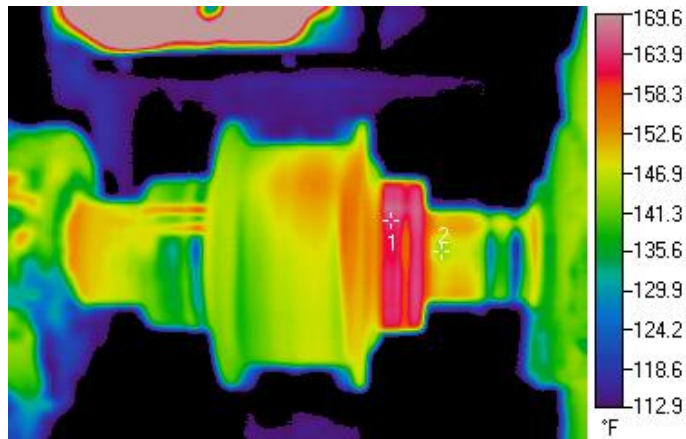


Εικόνα 9.2: Θερμογραφία κινητήρα σε λειτουργία

9.1.3 Μηχανικές βλάβες

Εύρεση φθαρμένου συνδέσμου μετάδοσης κίνησης ηλεκτρικής μηχανής σε κίνηση με θερμοκάμερα

- Έλεγχος μηχανικού συνδέσμου σε κίνηση ηλεκτρικής μηχανής ύστερα από περιοδικό έλεγχο επιθεώρησης



Εικόνα 9.3: Θερμογραφία φθαρμένου συνδέσμου με θερμοκάμερα

Κατά την διαδικασία της κίνησης σε συνθήκες παραγωγής, ακόμη και αν το περιβάλλον είναι επιβαρημένο από θερμικές ακτινοβολίες, οι λειτουργικές δυνατότητες της μηχανής δεν επηρεάζονται σημειακά, η ένδειξη παρουσιάζει θερμοκρασία 76,4 °C στον σύνδεσμο μετάδοσης κίνησης, ενώ οι συνθήκες λειτουργίας δεν πρέπει να ξεπερνούν τις 45-50 °C.

- Στάση μηχανής και έλεγχος μηχανικού συνδέσμου



Εικόνα 9.4: Φθαρμένος σύνδεσμος

- **Αποτελέσματα ελέγχου**

Διεπιστώθηκε απώλεια λιπαντικού στον σύνδεσμο, με αποτέλεσμα να αναπτυχτεί θερμοκρασία μεταξύ των μεταλλικών μερών του συνδέσμου, καθώς και μεγάλο διάκενο μεταξύ των συνδέσμων κινητήρα – μηχανής.

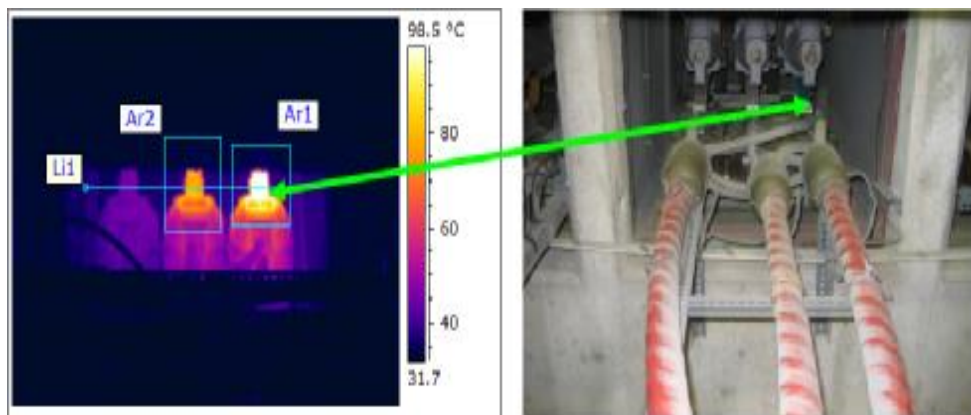
- **Επέμβαση αποκατάστασης: Καθαρισμός εξαρτήματος - Έλεγχος ευθυγραμμίας – Επανατοποθέτηση λιπαντικού - Κλείσιμο συνδέσμου**

Για την συγκεκριμένη περίπτωση η χρήση της θερμοκάμερας σαν όργανο Διαγνωστικής Συντήρησης μας προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα:

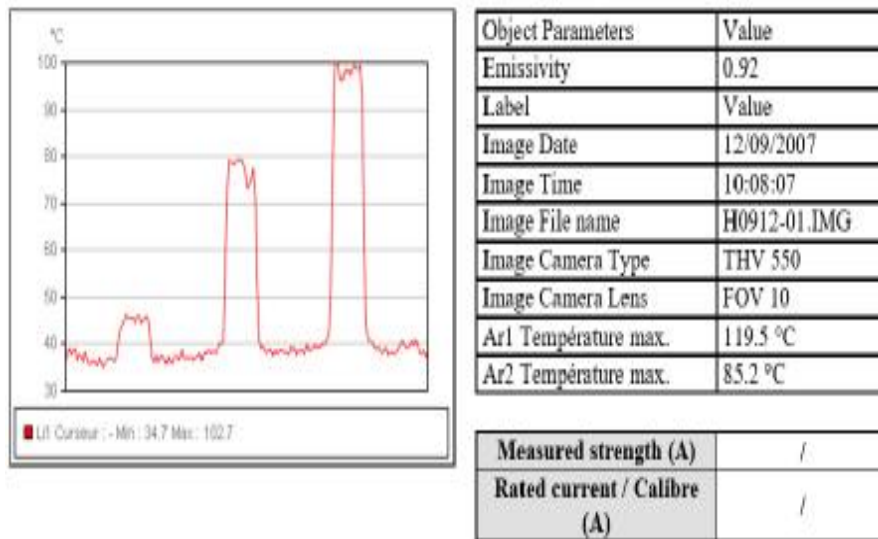
- i. Αποφεύγονται δευτερογενείς βλάβες λόγω έγκαιρης διάγνωσης του αρχικού προβλήματος (όπως καταστροφή συνδέσμου, ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών που ως αποτέλεσμα θα είχαν την υπερθέρμανση των ρουλεμάν του κινητήρα, ακόμη και την στρέβλωση του άξονα του ρότορα κ.λ.π.).
- ii. Έτσι αποτρέπεται ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς και δεν σπαταλάτε χρήμα και χρόνο από άστοχες επεμβάσεις.
- iii. Η επισκευή μπορεί να προγραμματιστεί στον κατάλληλο χρόνο και να γίνουν όλες οι απαραίτητες προετοιμασίες (όπως επιλογή κατάλληλου συνεργείου για την αντικατάσταση του συνδέσμου - ευθυγράμμιση αξόνων).
- iv. Έτσι αποφεύγονται χρονικά απώλειες της παραγωγικής διαδικασίας.

9.1.4 Βλάβες αγωγών και μονώσεων

Αγωγοί ρεύματος μετασχηματιστή υποσταθμού 150KV



Εικόνα 9.5: Θερμογραφία αγωγών ρεύματος μετασχηματιστή



Εικόνα 9.6: Αποτύπωση θερμογραφίας αγωγών ρεύματος μετασχηματιστή

Κατά την διαδικασία της θερμογράφισης παρουσιάστηκε υπερθέρμανση δύο φάσεων στο σημείο σύνδεσης των αγωγών με τον μετασχηματιστή στα σημεία ar2 και ar1. Πρόταση: Παρέμβαση εντός δύο -2- ημερών. Γίνεται αντικατάσταση στα υπέρθερμα - οξειδωμένα και ελαττωματικά μέρη της σύνδεσης και αφού καθαριστούν καλά τα εξαρτήματα γίνεται σύσφιξη των συνδέσμων.

9.2 Στροβοσκόπιο

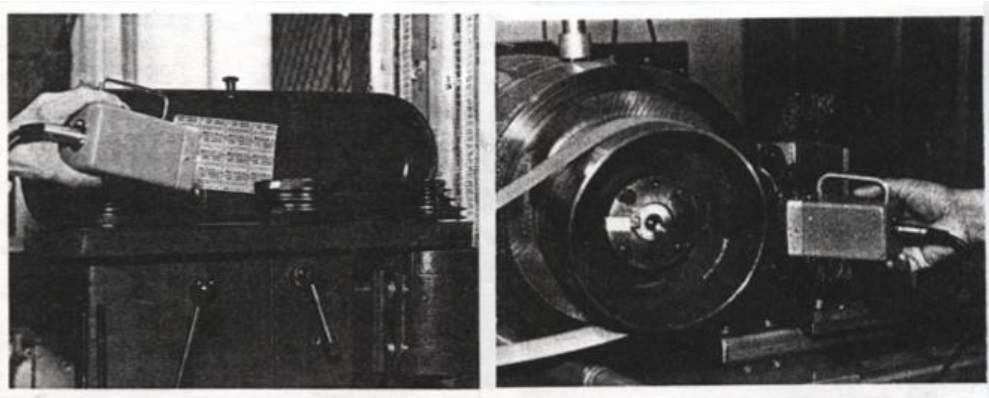
Η χρήση του στροβοσκοπίου στην διαγνωστική ανάλυση

Οι συλλέκτες δονήσεων (όπως και το Eprac 2500, που παρουσιάστηκε στο 6^ο κεφάλαιο) είναι συνήθως εξοπλισμένοι με στροβοσκόπιο, καθώς δύνανται, εκτός από την συλλογή των δονήσεων, να κάνουν ζυγοστάθμιση περιστρεφόμενων μηχανικών εξαρτημάτων μηχανών. Το στροβοσκόπιο μπορεί να βρεθεί στην αγορά και σαν αυτόνομο όργανο και όχι αναγκαστικά σαν παρελκόμενο εξάρτημα κάποιου άλλου οργάνου. Το όργανο αυτό έχει την ικανότητα να αναβοσβήνει με την συχνότητα του παλμού που το διεγείρει και η οποία μπορεί να φτάνει σε πολύ υψηλές τιμές. Το στροβοσκόπιο μπορεί να διεγείρεται είτε από το σήμα της δόνησης είτε από ιδιαίτερο ταλαντωτή του οποίου μπορεί να ρυθμίζεται η συχνότητα.

· Παρατήρηση περιστρεφόμενων εξαρτημάτων

Όταν η διέγερση δίνεται από τον ρυθμιζόμενο ταλαντωτή, μπορεί να γίνει ακινητοποίηση οπτικά του ρότορα και παρατήρηση για όσο χρονικό διάστημα αυτός περιστρέφεται. Προϋπόθεση αυτής της ενέργειας είναι η ρύθμιση της συχνότητας αφής του στροβοσκοπίου, έτσι ώστε αυτή να είναι ίση με την

περιστροφική ταχύτητα του ρότορα. Αν, στη συνέχεια, γίνει παρατήρηση του ρότορα σε περιστροφή αλλά αργά, ώστε να υπάρχει μια πλήρη εικόνα του τι συμβαίνει κατά την λειτουργία του, τότε γίνεται αλλαγή της συχνότητας αφής έτσι ώστε να είναι διαφορετική από την συχνότητα περιστροφής του άξονα ή του περιστρεφόμενου σώματος το οποίο παρατηρείται.



Εικόνα 9.7: Χρήση του στροβοσκοπίου για την παρατήρηση περιστρεφόμενων μερών μηχανής και τον εντοπισμό της πηγής της δόνησης

Παραδείγματα προβλημάτων που μπορούν να διαγνωστούν με τον τρόπο αυτό είναι:

- ανώμαλη λειτουργία ψηκτρών κινητήρα σε κίνηση
- ταλάντωση του άξονα
- ρωγμές που εκδηλώνονται κατά την λειτουργία
- αποσαφήνιση εφαρμογής τροχαλίας με άξονα

· **Μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής**

Με την βοήθεια του στροβοσκοπίου υπολογίζεται και η περιστροφική ταχύτητα του άξονα. Έχοντας "παγώσει" τον άξονα, η περιστροφική ταχύτητα θα είναι όση με την συχνότητα αφής του στροβοσκοπίου.

Για να έρθει σε πέρας μια τέτοια μέτρηση πρέπει να συντονιστεί, καταρχήν, ο αναλυτής σε μια συχνότητα υψηλότερη από την περιοχή όπου πιθανά βρίσκεται η ζητούμενη ταχύτητα και κατόπιν ο χρήστης θα κατεβαίνει μέχρις ότου παρατηρήσει τον άξονα να περιστρέφεται όλο και πιο αργά μέχρις ότου ακινητοποιηθεί πλήρως. Η συχνότητα που θα διαβάσει εκείνη τη στιγμή στον αναλυτή είναι και η περιστροφική ταχύτητα του άξονα. Κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι ο άξονας παγώνει ακόμη και όταν η συχνότητα αφής δεν είναι όσες οι στροφές του αλλά είναι υποπολλαπλάσιο των στρόφων, π.χ. το μισό. Για να αποφευχθεί το λάθος, θα γίνει ρύθμιση στη διπλάσια συχνότητα και θα παρατηρηθεί ξανά ο ρότορας. Αν η μέτρηση ήταν σωστή, ο ρότορας θα παγώσει μεν, αλλά θα φαίνεται διπλός, δηλαδή κάποια χαρακτηριστικά σημεία του θα φαίνονται σε δύο αντιδιαμετρικές θέσεις.

Χαρακτηριστικό σημείο ελέγχου στην περίπτωση αυτή είναι το σημείο της σφηνώσεως του εξαρτήματος του συνδέσμου.

· Προσδιορισμός της πηγής της δόνησης

Η αναγνώριση της συχνότητας με την οποία δονείται ένα μηχάνημα, ή μιας συνιστώσας που συναντάται στο φάσμα είναι βασικής σημασίας για την διάγνωση. Έχει ήδη γίνει σαφές ότι για να εντοπισθεί το προβληματικό εξάρτημα πρέπει να γίνει γνωστή η συχνότητα της δόνησης και κατόπιν σύγκριση με τις χαρακτηριστικές συχνότητες του μηχανήματος.

Αν, π.χ. σε μια κοινή βάση εδράζονται πολλά μηχανήματα που λειτουργούν με τις ίδιες στροφές, δεν είναι δυνατό να εντοπιστεί το προβληματικό μηχάνημα απλώς προσδιορίζοντας την συχνότητα δόνησης. Το στροβοσκόπιο δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εντοπίσει το προβληματικό εξάρτημα ή μηχάνημα με βεβαιότητα, όπως θα φανεί στη συνέχεια. Ας ληφθεί, καταρχήν, υπόψη ότι τα περισσότερα προβλήματα των περιστροφικών μηχανημάτων συνοδεύονται από δόνηση της οποίας η συχνότητα είναι ίση ή ακέραιο πολλαπλάσιο της ταχύτητας με την οποία περιστρέφεται το προβληματικό εξάρτημα. Αν επομένως το στροβοσκόπιο οδηγηθεί με την δόνηση που έχει συχνότητα 1xRPM, και κατά συνέπεια ο ρυθμός αφής του στροβοσκοπίου γίνει ίσος με τις στροφές του ρότορα, τότε είναι φυσικό ο ρότορας να εμφανίσει ακίνητος κάτω από το φως του στροβοσκοπίου και το μαρκάρισμα μια φόρα.

Με το στροβοσκόπιο μπορεί να επαληθευθεί επίσης η αρμονική σχέση μεταξύ δυο συχνοτήτων, δηλαδή αν μια συχνότητα είναι ακριβές πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο μιας άλλης συχνότητας, κάτι που έχει μεγάλη χρησιμότητα στην διαγνωστική ανάλυση. Παρατηρώντας το φάσμα ο χρήστης μπορεί να δει καταρχήν ποιες συνιστώσες μοιάζουν να είναι αρμόνικες των στρόφων. Όμως, λόγω της περιορισμένης διακριτικότητας (resolution) του άξονα συχνοτήτων, δεν είναι δυνατό να είναι βέβαιος αν μια συχνότητα είναι πράγματι διπλάσια ή τριπλάσια κ.λπ. των στρόφων και όχι μια συχνότητα πλησίον των παραπάνω αρμόνικων.

Με την βοήθεια του στροβοσκοπίου και έχοντας συντονίσει τον αναλυτή στην υπόψη συχνότητα, θα παρατηρηθεί η ακινησία του ρότορα και το μαρκάρισμα να επαναλαμβάνεται συμμετρικά τόσες φορές όση είναι και η τάξη της.

Στη γενικότερη περίπτωση που ο χρήστης θέλει να εντοπίσει το προβληματικό εξάρτημα ενός μηχανήματος ή το προβληματικό μηχάνημα ανάμεσα σε γειτονικά μηχανήματα, θα συντονίσει τον αναλυτή στην συχνότητα της συνιστώσας που τον ενδιαφέρει, έτσι ώστε από το φίλτρο του αναλυτή να διέρχεται μονό αυτή η συχνότητα. Το σήμα από την έξοδο του φίλτρου οδηγεί το στροβοσκόπιο σε μια συχνότητα «αναβοσβησίματος» ίση με την συχνότητα της δόνησης. Παρατηρώντας, τώρα, τα διάφορα περιστρεφόμενα σημεία του μηχανήματος θα εντοπίσει την πηγή της δόνησης σε εκείνο που θα φανεί "παγωμένο" κάτω από το φως του στροβοσκοπίου. Αν το μαρκάρισμα που έχει χαράξει στον άξονα εμφανίσει μια φόρα, τότε η υπόψη συχνότητα

είναι ίση με την περιστροφική ταχύτητα. Αν το μαρκάρισμα εμφανίσει διπλό ή τριπλό, πρόκειται για την δεύτερη ή τρίτη αρμονική, και ούτω καθεξής.

Παράδειγμα:

Ένα περιστατικό που έχει ενδιαφέρον να εξιστορηθεί και που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, συνέβη σε έναν μεγάλο μειωτήρα περιστροφικού σφαιρόμυλου. Εκεί συναντήθηκε μια συχνότητα δόνησης περίπου 5200CPM, που εκλαμβάνεται σαν την συχνότητα εμπλοκής της 3ης και τελικής βαθμίδας. Λόγο των χαμηλών στρόφων του αξονα εξόδου δεν ήταν δυνατό να επιβεβαιωθεί η προέλευση της δόνησης με την βοήθεια του στροβοσκοπίου. Επιθεωρώντας την τρίτη βαθμίδα δεν διαπιστώθηκε κάποια σημάδια φθοράς. Φωτίζοντας κατόπιν με το στροβοσκόπιο τον αξονα εισόδου παρατηρήθηκε με έκπληξη ότι αυτός φαινόταν παγωμένος. Εκτιμήθηκε ότι η συχνότητα των 5200CPM ήταν το 1/4 της συχνότητας εμπλοκής που ήταν περίπου 21000CPM. Επιθεωρώντας τον μειωτή, διαπιστώθηκε ότι η δόνηση προερχόταν πράγματι από την 1η βαθμίδα, της οποίας και τα δυο γρανάζια παρουσίαζαν φθορά σε κάθε τέταρτο δόντη.

9.3 Τριφασικός αναλυτής δικτύου



Εικόνα 9.8: Τριφασικός αναλυτής δικτύου FLUKE 434/435

9.3.1 Τριφασικός αναλυτής δικτύου FLUKE 434/435

9.3.1.1 Χαρακτηριστικά

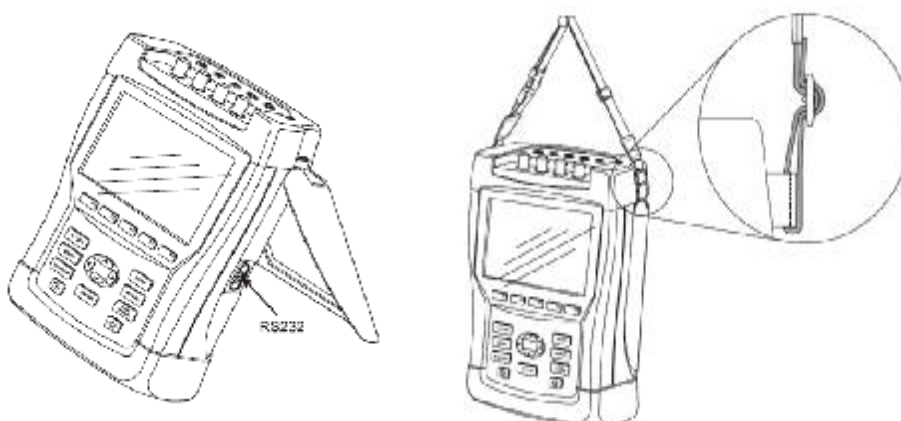
Με τη χρήση του τριφασικού αναλυτή δικτύου μας δίνεται η δυνατότητα για ένα εκταταμένο σετ μετρήσεων, με στόχο τον έλεγχο συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Από τις μετρήσεις αυτές, κάποιες μας δίνουν μια γενική εικόνα της απόδοσης του συστήματος ενέργειας, ενώ κάποιες άλλες μια πιο λεπτομερέστερη και συγκεκριμένη εικόνα.

9.3.1.2 Βασικές διαδικασίες και μενού πλοήγησης

1. Η στάση κλίσης της συσκευής και το λουρί συγκράτησης
2. Η τροφοδοσία του αναλυτή
3. Η ρύθμιση της φωτεινότητας
4. Το κλείδωμα του πληκτρολογίου
5. Το μενού πλοήγησης
6. Η ρύθμιση της αντίθεσης
7. Η επαναφορά εργοστασιακών ρυθμίσεων

Πιο συγκεκριμένα:

1. Η στάση κλίσης της συσκευής και το λουρί συγκράτησης:



Εικόνα 9.9: Ρυθμιστής κλίσης συσκευής και προσαρμογή λουριού συγκράτησης

2. Η τροφοδοσία του αναλυτή:

Η τροφοδοσία του αναλυτή γίνεται με την ενσωματωμένη επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου NiMH, που προσφέρει δυνατότητα τροφοδότησης μεγαλύτερης των 6 ωρών σε περίπτωση πλήρης φόρτισης.

Η φόρτιση διαρκεί 4 ώρες, όταν ο αναλυτής είναι κλειστός.

Για να μην υπάρξει φθορά της μπαταρίας, συνιστάται η φόρτισή της τουλάχιστον δύο (2) φορές το χρόνο.

Η οθόνη του αναλυτή κλείνει από μόνη της σε περίπτωση που δεν πατηθεί κάποιο πλήκτρο για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (το οποίο το ορίζει ο χρήστης) και επανέρχεται σε

λειτουργία όταν πατηθεί κάποιο πλήκτρο, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας.

Το πλήκτρο με το οποίο η συσκευή τίθεται εντός ή εκτός λειτουργίας είναι το:



3. Η ρύθμιση της φωτεινότητας:

Το πλήκτρο για τη ρύθμιση της φωτεινότητας είναι το:



Πατώντας το για περισσότερο από 5 δευτερόλεπτα αυξάνεται η φωτεινότητα της οθόνης του αναλυτή, προσφέροντας στο χρήστη καλύτερη ορατότητα στο φως του ηλίου.






4. Το κλείδωμα του πληκτρολογίου:




Πατώντας το πλήκτρο ENTER για 5 δευτερόλεπτα συνεχόμενα ο χρήστης κλειδώνει και ξεκλειδώνει το πληκτρολόγιο της συσκευής.

5. Το μενού πλοήγησης:



	Εμφανίζεται το μενού ρυθμίσεων
	Εμφανίζεται το υπομενού προσιμότητες
	Επιλογή εκτυπωτή
	Εμφανίζεται το υπομενού του εκτυπωτή

	Επιλογή ρυθμού μετάδοσης
	Προσαρμογή ταχύτητας μετάδοσης
	Επιλογή του κατάλληλου τύπου εκτυπωτή
	Επιβεβαίωση της επιλογής
	Πατώντας αυτό το πλήκτρο εμφανίζεται το υπομενού προτιμήσεις. Από εδώ πραγματοποιούνται σχεδόν όλες οι ρυθμίσεις της συσκευής.

6. Η ρύθμιση της αντίθεσης:

	Ρύθμιση της αντίθεσης των χρωμάτων
---	------------------------------------

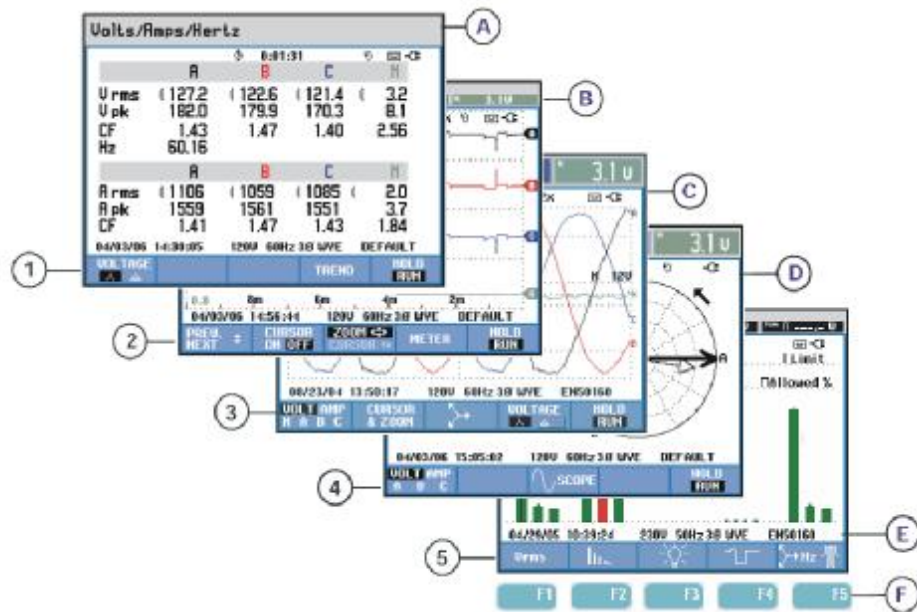
7. Η επαναφορά εργοστασιακών ρυθμίσεων

	Με το πλήκτρο αυτό επαναφέρονται οι εργοστασιακές ρυθμίσεις
	Επιβεβαίωση επαναφοράς των εργοστασιακών ρυθμίσεων

9.3.1.3 Ενδείξεις οθόνης

Γενικά παρατηρούνται στον αναλυτή πέντε διαφορετικοί τύποι οθόνης, που έχουν ως σκοπό την παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο.

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται αυτοί οι πέντε διαφορετικοί τύποι (αριθμοί 1 έως 5), καθώς και τα κοινά χαρακτηριστικά A έως F, τα οποία εξηγούνται παρακάτω.



Εικόνα 9.10: Τα 5 είδη τύπων οθόνης του αναλυτή

• **Τύποι οθόνης:**

1. Οθόνη μετρήσεων
2. Οθόνη τάσης
3. Οθόνη κυματομορφών
4. Οθόνη Phasor
5. Οθόνη γραφημάτων

• **Κοινά χαρακτηριστικά στις οθόνες:**

- A. **Τρόπος μέτρησης**, όπου ο ενεργός τρόπος μέτρησης παρουσιάζεται στην οθόνη.
- B. **Μέτρηση μεταβλητών**, όπου υπάρχουν διαφορετικά χρώματα ανά φάση για την τάση ή το ρεύμα. Όταν στον κέρσορα (cursor) είναι επιλεγμένη η ένδειξη «ON», οι τιμές που βρίσκονται στον κέρσορα παρουσιάζονται.
- C. **Κατάσταση δεικτών**, όπου τα σύμβολα στην παρακάτω εικόνα μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη του αναλυτή, παρουσιάζοντας έτσι την κατάσταση της συσκευής και των μετρήσεων.

35: Ένδειξη πως το διάστημα ολοκλήρωσης 150/180 κύκλων (χρόνος 3 δευτερολέπτων) είναι ενεργοποιημένο (50/60Hz). Χωρίς κάποια ένδειξη το διάστημα ολοκλήρωσης θα είναι 10/12 κύκλοι (50/60Hz).

9999:59:59 Χρονόμετρο μέτρησης (ώρες - λεπτά - δευτερόλεπτα)

Q2x Οριζόντια μεγένθυση

U Ασταθής μέτρηση

F Επιστημαίνει ότι μία ή περισσότερες μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες. Αυτή η λειτουργία βασίζεται στο πρότυπο IEC 61000-4-30.

☒ Αποθήκευση των μετρήσεων

↔ Εναλλαγή μεταξύ φάσεων

☒ Ένδειξη μπαταρίας

⏻ Κλείδωμα πληκτρολογίου. Πατώντας ENTER για 5 δευτερόλεπτα ξεκλειδώνει.

Εικόνα 9.11: Σύμβολα οθόνης αναλυτή

D. Κύρια περιοχή μετρήσεων

E. **Γραμμή κατάστασης**, όπου φαίνονται οι πληροφορίες που εμφανίζονται στην τρέχουσα οθόνη.

F. **Περιοχή Softkey**, όπου εμφανίζονται με λευκό φόντο οι λειτουργίες Softkey που μπορούν να επιλεγούν με τα πλήκτρα F1 έως F5, με γκρι φόντο οι μη διαθέσιμες εκείνη την περίοδο λειτουργίες, ενώ οι ενεργές επιλογές τονίζονται με μαύρο.

Χρώματα φάσης:

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαφορετικών φάσεων παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα.

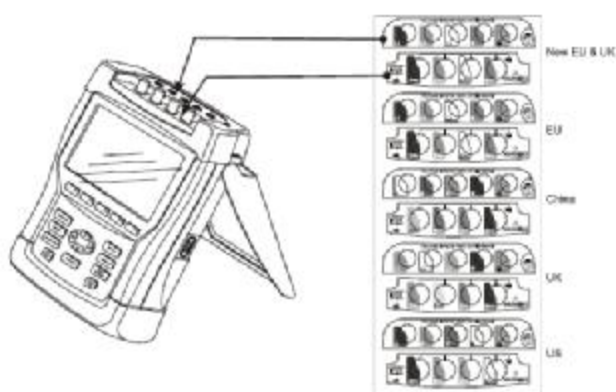
Σε συγκεκριμένη φάση, εάν η τάση και το ρεύμα επιδεικνύονται ταυτόχρονα, το χρώμα της τάσης έχει πιο σκούρο τόνο από το ρεύμα, που παρουσιάζεται με έναν πιο ελαφρύ. Από τα πλήκτρα «SETUP» και «F4 – USER PREF.» μπορεί ο χρήστης να επιλέξει μόνος του το σύνολο των χρωμάτων φάσης.

9.3.1.4 Συνδέσεις εισόδου (Input Connections)

Στο υποκεφάλαιο αυτό εξηγούνται οι συνδέσεις εισόδου και πως γίνονται, αφού πρώτα γίνει έλεγχος στην καλωδίωση αν η συχνότητα και η τάση είναι ονομαστική.

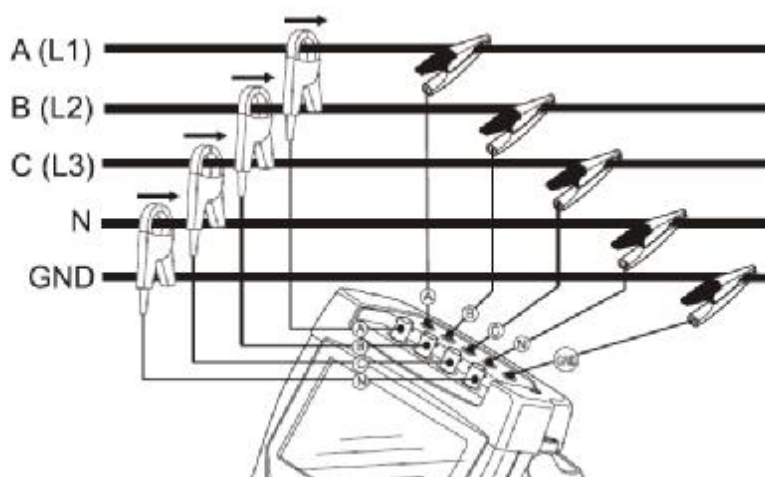
Ο αναλυτής έχει 4 BNS – inputs για το ρεύμα και 5 banana – inputs για την τάση.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα αυτοκόλλητα που αντιστοιχούν στους κώδικες καλωδίωσης που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ, στον Καναδά, στην Ευρώπη και στην Κίνα, και που πρέπει να τοποθετούνται σύμφωνα με τους τοπικούς κώδικες καλωδίωσης στις εισόδους ρεύματος και τάσης.



Εικόνα 9.12: Σωστή σύνδεση του οργάνου στην τοποθεσία μέτρησης

Σε ένα τριφασικό σύστημα, οι συνδέσεις πραγματοποιούνται όπως στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 9.13: Σύνδεση του αναλυτή σε ένα τριφασικό σύστημα

Αρχικά, τοποθετούνται οι ακροδέκτες ρεύματος γύρω από τους αγωγούς της φάσης A (L1), B (L2), C (L3) και N (ουδέτερος). Οι ακροδέκτες μαρκάρονται με ένα βέλος που δείχνει τη σωστή πολικότητα του σήματος.

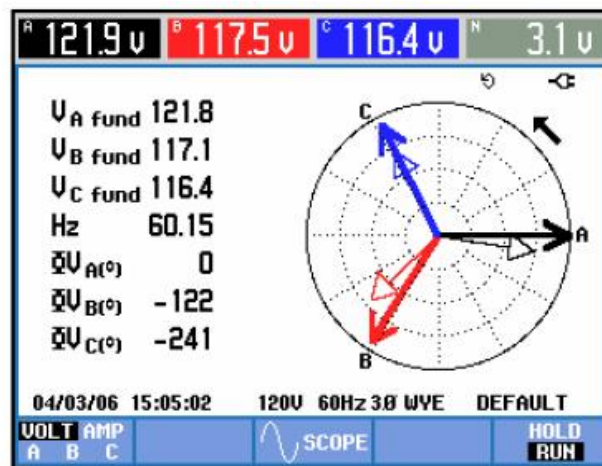
Στη συνέχεια, γίνονται οι συνδέσεις τάσης. Πρώτα τοποθετείται η γείωση (Ground) και μετά διαδοχικά τα N, A (L1), B (L2), C (L3).

Για μετρήσεις μίας φάσης (μονοφασικές) χρησιμοποιείται η είσοδος ρεύματος A (L1) και για την τάση οι εισοδοί A (L1), N (ουδέτερος) και γείωση (Ground).

Η είσοδος A (L1) είναι η φάση αναφοράς για όλες τις μετρήσεις.

Για τον έλεγχο της σωστής σύνδεσης των ακροδεκτών τάσης και των σφικτήρων ρεύματος χρησιμοποιούνται οι ενδείξεις για την κυματομορφή και για το Phasor στο παλμογράφημα.

Στο διανυσματικό διάγραμμα οι τάσεις και τα ρεύματα A (L1), B (L2) και C (L3) πρέπει να εμφανίζονται στη σειρά κατά τη δεξιόστροφη κατεύθυνση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



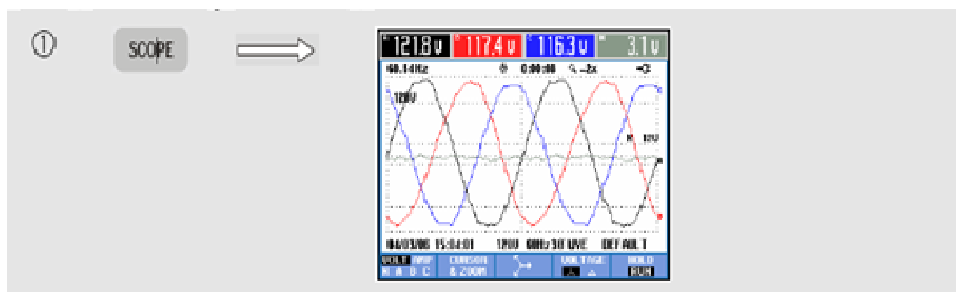
Εικόνα 9.14: Διανυσματικό διάγραμμα για έναν σωστά συνδεδεμένο αναλυτή

9.3.1.5 Κυματομορφές και Phasor

Η λειτουργία του παλμογράφου δίνει τις τάσεις και τα ρεύματα στο σύστημα ισχύος που εξετάζεται μέσω κυματομορφών ή διανυσματικών διαγραμμάτων. Επιπλέον, απεικονίζονται αριθμητικές τιμές, όπως η φασική τάση, το φασικό ρεύμα, η συχνότητα και οι φωνίες φάσης μεταξύ ρευμάτων και τάσεων.

- **Κυματομορφές:**

Οι κυματομορφές τάσης ή/και ρεύματος εμφανίζονται με το πλήκτρο scope.



Εικόνα 9.15: Ενδεικτική οθόνη λειτουργίας κυματομορφής

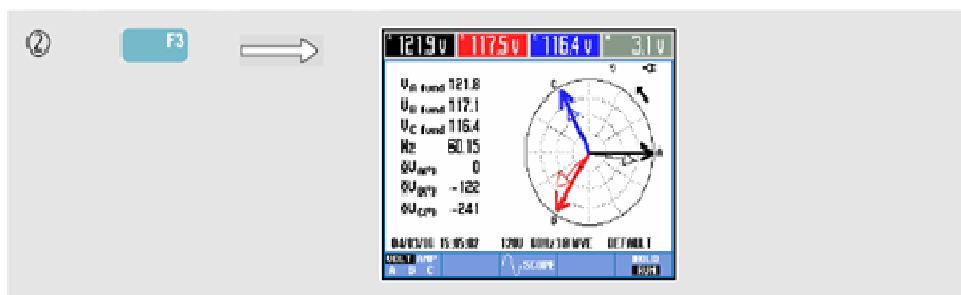
Στο πάνω μέρος της οθόνης παροσιάζονται οι ενεργές τιμές τάσης/ρεύματος. Με τις εργοστασιακές ρυθμίσεις απεικονίζονται 2 περίοδοι και η τάση αναφοράς στο κανάλι A (L1) αρχίζει από τα 0 Volts.

Διαθέσιμα πλήκτρα λειτουργιών:

- F1** Επιλέγουμε το σετ κυματομορφών που θα δείχνει τάση η ρεύμα σε όλες τις φάσεις ή τάση και ρεύμα ανά φάση.
- F2** Λειτουργία κέρσορα ή ζουμ.
- F3** Αλλαγή στην οθόνη phasor.
- F4** Εναλλαγή σε φασικές ή πολικές τιμές.
- F5** «Πάγωμα» ή συνεχής ενημέρωση της οθόνης με τις μετρήσεις.

- **Οθόνη Phasor:**

Πατώντας το πλήκτρο F3 εμφανίζεται η οθόνη phasor, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9.16: Ενδεικτική οθόνη λειτουργίας Phasor

- F1
Επιλογή των πρόσθετων στοιχείων που επιδεικνύονται: όλες οι τάσεις, όλα τα ρεύματα, ή τάση και ρεύμα κάθε φάσης
- F3
Επιστροφή στην οθόνη κυματομορφών.
- F5
«Πάγωμα» ή συνεχής ενημέρωση της οθόνης με τις μετρήσεις

Προσοχή: Εάν η τάση δεν παρουσιάζει (απαλή) ημιτονοειδή μορφή αλλά παρουσιάζει διακύμανση, ίσως θα πρέπει να γίνει έλεγχος για παρουσία αρμονικών. Οι ενεργές τιμές τάσης και συχνότητας πρέπει να είναι κοντά στις ονομαστικές τιμές τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λεωνίδας Ρεσβάνης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, «*PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS*» (1990), Τόμος 1, Μηχανική απόδοση στα Ελληνικά
2. Σωτήριος Νατσιάβας, Καθηγητής Α.Π.Θ, «*ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ*» (2001)
3. Β.Ν. Λεώπουλος, Καθηγητής Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής έρευνας Ε.Μ.Π., «*Συντήρηση Βιομηχανικού εξοπλισμού - Παρόν και μέλλον στην Ελληνική Βιομηχανία*», 3^ο Συνέδριο Βιομηχανίας «Ελληνική βιομηχανία: προς την οικονομία της γνώσης» (3-5 Ιουλίου 2006), Αθήνα
4. Μιχάλης Κ. Κωτούζας, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Κέντρο Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου, Βόλος
5. <http://triblab.tejpir.gr/files/Heat%20Treatments/Part%20B%20Failure%20Analysis.pdf> - Δρ. Πανδώρα Ψυλλάκη, Τμήμα Μηχανολογίας ΣΤΕΦ/ΤΕΙ Πειραιά, «*Αστοχία Υλικών Και Κριτήρια Επιλογής Τους Για Μηχανολογικές Εφαρμογές*» (Μάρτιος 2013)
6. Ροβέρτος Γραικούσης, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, «*Στοιχεία Μηχανών II Στοιχεία περιστροφικής κινήσεως*» (1983)
7. FAG: ΓΕΝΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΡΟΥΛΕΜΑΝ (Κατάλογος 41510GR)
8. Ιωάννης Μανόπουλος, Μηχαν /Ηλεκτρ. Μηχανικός Α.ΓΕ.Τ ΗΡΑΚΛΗΣ, «*Διαγνωστική συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού και τεχνικές ανάλυσης των δονήσεων*» (2000)
9. Ιωάννης Μανόπουλος, Μηχαν. /Ηλεκτρ. Μηχανικός Α.ΓΕ.Τ. ΗΡΑΚΛΗΣ, «*Εισαγωγή στην “ Συντήρηση Βάση Κατάστασης” και τις διαγνωστικές τεχνικές*», Hellenic Maintenance Society (Ελληνική Εταιρία Τεχνολογίας και Διοίκησης Συντήρησης) (Μάρτιος 2013)
10. SKF Vibration Training: *Condition Monitoring Vibration Analysis*, (2012) Βόλος

11. Χαρ. Αποστολίδης, Μ/Η Ε.Μ.Π. – Μέλος Διοικητικού Συμβουλίου Η.Μ.Σ., «Αναλύσεις Λιπαντικών - Συμβουλή Στην Αποτελεσματική Συντήρηση», Hellenic Maintenance Society (Ελληνική Εταιρία Τεχνολογίας και Διοίκησης Συντήρησης) (2013)
12. https://library.e.abb.com/public/63851c12adb74ab9c1257b350030730e/Motor%20bearings_reprint%20from%20Global%20Cement%20Magazine_3BHS%20260%20042%20ZAB%20E01.pdf - Motor bearings - Reprint from Global Cement Magazine, ABB Motor Bearings (Οκτώβριος 2007)
13. <http://documents.mx/documents/skf-tech-associates-of-charlotte.html>
James Berry, Αντιπρόεδρος του Charlotte North Carolina, *Illustrated Vibration Diagnostic Chart*, SKF Συνέδριο Τεχνολογίας (Μάιος 2000), California
14. www.efftek.co.uk/Diagchrt.pps Vibration Diagnostics Chart - Efftek Diagnostic Engineers
15. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/gmsi10-um002_-en-e.pdf ENPAC 2500 Data Collector User Manual, Allen - Bradley – Rockwell Software
16. http://courseware.mech.ntua.gr/ml23327/lecture_pdfs/Machine_Dynamics_II_Notes.pdf «Διαγνωστική Βλαβών Στρεφόμενου Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού – Πρόχειρες Σημειώσεις», Εργαστήριο Δυναμικής και Κατασκευών, Τομέας ΜΚ&ΑΕ, Σχολή Μηχανολόγων ΕΠΙΜ (2010-2011) Αθήνα
17. SKF Spectrum Analysis (αρχείο .ppt) (2012)
18. Νικόλαος Τρουλάκης, Διατριβή: «Μέθοδος Ανάλυσης Κραδασμών (Vibration Analysis) και Αποτελέσματα Εφαρμογής σε Περιστροφικά Μηχανήματα Πλοίων» (Χανιά 2012)