



ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρακολούθηση κατάστασης ηλεκτρικών μηχανών πλοίου με μετρήσεις πεδίου

Συγγραφέας:
Τουρνής Κωνσταντίνος

Εξεταστική Επιτροπή:
Αναπληρωτής Καθηγητής Κωνσταντίνος Γυφτάκης
Καθηγητής Ευτύχιος Κουτρούλης
Καθηγητής Παναγιώτη Παναγιώτου (Sheffield University)

Contents

1	Περίληψη	3
2	Εισαγωγή	4
2.1	Επαγωγικοί κινητήρες	4
2.2	Διαγνωστική	4
2.3	Μέθοδοι διάγνωσης σφαλμάτων	8
2.3.1	Ανάλυση Υπογραφής Ρεύματος Κινητήρα	9
2.3.2	Προσέγγιση Διανύσματος Παρκ	10
2.3.3	Μέθοδος αρνητικής ακουλουθιακής Τάσης/Ρεύματος	12
2.3.4	Ανάλυση δονήσεων	15
2.3.5	Μέτρηση ροπής	15
2.3.6	Παρακολούθηση Ακτινικής/Αξονικής μαγνητικής ροής	17
2.3.7	Μέτρηση Ενεργού/΄Αεργου/Φαινόμενης ισχύος	18
2.3.8	Παρακολούθηση ταχύτητας περιστροφής	19
2.3.9	Παρακολούθηση θερμοκρασίας	19
2.3.10	Ανάλυση ακουστικού θορύβου	21
2.4	Σύστημα Κινητήρων πλοίου	22
2.5	Εσφαλμένη διάγνωση	23
2.6	Περαιτέρω γνώσεις και Εργαλεία	25
2.7	Αναγνώριση Βοήθειας	25
3	Ανάλυση Κινητήρων	26
3.1	Συμπιεστής CO ₂	26
3.1.1	Κομπρεσέρ CO ₂ Νο1	27
3.1.2	Κομπρεσέρ CO ₂ Νο2	39
3.2	Κινητήρας Μεταφοράς Ντίζελ	46
3.3	Κινητήρας Εξαγωγής Αερίων Καυστήρα	52
3.4	Κινητήρας Τροφοδοσίας Λέβητα	59
3.5	Κινητήρας Μεταφοράς Καυσίμου	67
3.6	Υδραυλικός Αντλητής Για RoRo	74

3.6.1	Υδραυλικός αντλητής για πλοίο RoRo Νο1	75
3.6.2	Υδραυλικός αντλητής για πλοίο RoRo Νο3	81
3.7	Σύστημα Ψύξης Κύριας Μηχανής Με Νερό	87
3.8	Κινητήρες Αντλίας Αποχέτευσης	95
3.8.1	Κινητήρας Ελέγχου Αντλίας Αποχέτευσης	95
3.8.2	Κινητήρας Αντλίας Επεξεργασίας Αποβλήτων	101
3.9	Κινητήρας Αντλίας Κενού	107
4	Συμπεράσματα	113
5	Μελλοντικές Έρευνες	114
6	Βιβλιογραφία	114

1 Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αναλύει τη χρήση μηχανών σε πλοία με έμφαση στην ανίχνευση και ανάλυση των σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν. Δείχνει τη σημασία της χρήσης της MCSA, της ανάλυσης της μαγνητικής ροής και της EPVA, καθώς και την υπόδειξη συνθηκών που δείχνουν εσφαλμένη διάγνωση. Η μελέτη αυτή εστιάζει στη σημασία της ασφαλούς λειτουργίας των μηχανών και την πρόληψη δυνητικών προβλημάτων και βλαβών που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του πλοίου. Η περιληπτική ανάλυση επικεντρώνεται στη διερεύνηση των διαφόρων τύπων μηχανών που χρησιμοποιούνται στα πλοία και στην ανάλυση των πιθανών αποτυχιών και σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη λειτουργία τους. Μελετώντας τις διάφορες πτυχές της λειτουργίας των μηχανών, η εργασία προσδιορίζει πιθανές πηγές σφαλμάτων, όπως η φυσιολογική φθορά, η κακή συντήρηση, η υπερφόρτωση και οι ανεπαρκείς διαδικασίες λειτουργίας. Με βάση την ανάλυση αυτή, η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της διάγνωσης και της πρόληψης για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των μηχανών και, συνεπώς, του πλοίου συνολικά. Μέσω αυτής της προσέγγισης, επιδιώκεται η βελτίωση της ασφάλειας, η μείωση των κινδύνων και η βελτίωση της απόδοσης των μηχανών στο πλαίσιο της ναυτιλίας.

2 Εισαγωγή

2.1 Επαγωγικοί κινητήρες

Ένας επαγωγικός κινητήρας ή ένας ασύγχρονος κινητήρας είναι ένας ηλεκτροκινητήρας AC, ο οποίος λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια και την μετατρέπει σε μηχανική. Δύο είναι τα βασικά μέρη ενός κινητήρα, ο στάτης(ακίνητο μέρος) και ο δρομέας(κινούμενο μέρος). Το ηλεκτρικό ρεύμα στον δρομέα παράγει ροπή που λαμβάνεται με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή από το μαγνητικό πεδίο της περιέλιξης του στάτη. Ο δρομέας ενός επαγωγικού κινητήρα μπορεί να είναι είτε τύπου wound είτε τύπου squirrel-cage.

Οι τριφασικοί επαγωγικοί κινητήρες με squirrel-cage είναι πιο διαδεδομένοι ειδικά σε βιομηχανίες, επειδή είναι αυτοεκκινούμενοι, αξιόπιστοι και πιο οικονομικοί. Συνήθως, κατασκευάζονται από έναν κύλινδρο χαλύβδινων ελασμάτων, με αγωγούς αλουμινίου ή χαλκού στην επιφάνεια τους.

Κατά τη λειτουργία, η περιέλιξη του μη περιστρεφόμενου στάτη συνδέεται με μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα στον στάτη παράγει ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Η περιέλιξη του δρομέα έχει ρεύμα που προκαλείται από το πεδίο του στάτη, όπως ένας μετασχηματιστής, με τη διαφορά ότι το ρεύμα στον δρομέα μεταβάλλεται με τον ρυθμό περιστροφής του πεδίου του στάτη μείον τον ρυθμό φυσικής περιστροφής. Η αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων στον στάτη και τα ρεύματα στον δρομέα παράγουν μια ροπή στον δρομέα. Ρυθμίζοντας το σχήμα των ράβδων στον δρομέα, τα χαρακτηριστικά της ταχύτητας-ροπής του κινητήρα μπορούν να αλλάξουν, για να ελαχιστοποιηθεί το ρεύμα εκκίνησης ή για να μεγιστοποιηθεί η ροπή σε χαμηλή ταχύτητα.

2.2 Διαγνωστική

Καταρχήν, τα σφάλματα που προκύπτουν σε μία μηχανή, κινητήρα ή γεννήτρια, προκύπτουν εξαιτίας κάποιων συγκεκριμένων λόγων. Πιο συγκεκριμένα, οι κατασκευαστικές διαδικασίες δεν είναι τέλειες και οδηγούν πολλές φορές σε κληρονομημένες ασυμμετρίες στις νέες μηχανές. Φυσικά, δεν γίνεται να μην υπάρχουν ασυμμετρίες σε μία μηχανή, ειδικά σε πειραματικό και on-line επίπεδο.

Κατασκευαστικές ατέλειες:

- **Πορότητα** Η πορότητα εισάγεται αναπόφευκτα κατά τη διαδικασία χύτευσης πρέσσεως και προκαλεί υποβάθμιση στην εκκίνηση και τη λειτουργία. Το επίπεδο και η κατανομή της πορότητας διαφέρουν από δρομέα σε δρομέα και μπορεί να προκαλέσουν σε κινητήρες με ίδιο σχεδιασμό να εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η πορότητα μπορεί να προκληθεί από ανεπαρκή έγχυση αλουμινίου ή διαρροή αλουμινίου κατά τη διαδικασία χύτευσης πρέσσεως.[14]
- **Στατική εκκεντρότητα** Η στατική εκκεντρότητα μπορεί να προέρχεται από την μη τέλεια κυκλική εσωτερική επιφάνεια του στάτη ή από την εσφαλμένη τοποθέτηση και στήριξη του δρομέα μέσα στο στάτη κατά τη συναρμολόγηση. Εάν είναι στιβαρή η σύνδεση δρομέα άξονα, έχει παρατηρηθεί ότι το επίπεδο της στατικής εκκεντρότητας δεν αλλάζει στο χρόνο. Βέβαια, η στατική εκκεντρότητα είναι το πιο συχνό σφάλμα στους κινητήρες. Σφάλμα, που μπορεί να υπάρχει από την κατασκευή του στο εργοστάσιο.
- **Μόνωση λεπτού film** Η μόνωση έχει μεγάλη σημασία, σε ένα κινητήρα. Κάθε φορά ο κινητήρας προσβάλλεται από θερμικές, περιβαλλοντικές, ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις, μειώνοντας έτσι και το προσδόκιμο 'ζωής' του. Οι ικανότητες μόνωσης της λεπτής μεμβράνης μειώνονται, με τη πάροδο του χρόνου, οδηγώντας μια αυξανόμενη ροή ρεύματος που διαπερνά τη λεπτή μεμβράνη και οδηγεί, στο τέλος, σε βραχυκυκλώματα, μεταξύ των στρωφών.[15]

Με βάση λοιπόν το πρόβλημα της μόνωσης, ένας άλλος παράγοντας εμφάνισης σφαλμάτων σε μία μηχανή είναι λόγω της γήρανσης.

Γήρανση (degradation and ageing):

- **Έδρανα με σφαιρίδια** Η πλειοψηφία των εδράνων σε βιομηχανικές μονάδες, εργάζεται υπό μη ιδανικές συνθήκες και υποβάλλονται σε
 - Κούραση
 - Μηχανικό δονητικό παράγοντα περιβάλλοντος
 - Υπερφόρτωση
 - Αποκλιμάκωση
 - Ρύπανση

- Ραβδωμένο ρεύμα
- Διάβρωση
- Λανθασμένη λίπανση

Με αποτέλεσμα, όλες αυτές οι συνθήκες να οδηγούν σε μικρές αστοχίες, που αυτές με τη σειρά τους να μεγαλώνουν σε σοβαρότητα και να επεκτείνονται.[16]

- **Μόνωση** Ο χρόνος ζωής ενός μονωτικού υλικού υπό θερμική καταπόνηση με σταθερή θερμοκρασία T περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση όπου, L_T : ο χρόνος ζωής υπό τη θερμοκρασία T , L_O : 0 ο χρόνος ζωής υπό θερμοκρασία αναφοράς T_O , ενώ η παράμετρος B συνδέεται με την ενέργεια ενεργοποίησης της διαδικασίας γήρανσης[17]

$$L_T(T) = L_O \cdot e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_O}}$$

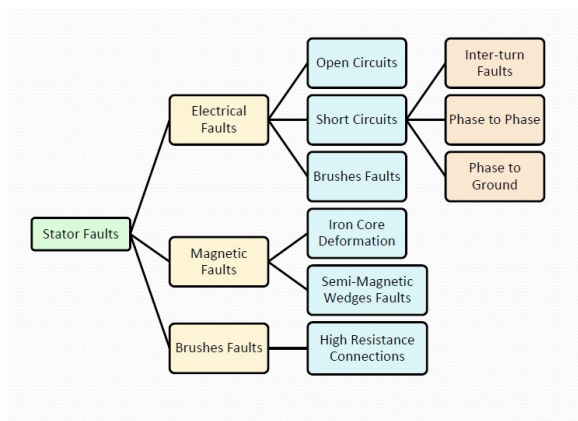
Η θερμομηχανική γήρανση οφείλεται στη διατμητική καταπόνηση μεταξύ της επιφάνειας του αγωγού και της μόνωσης. Αυτή η καταπόνηση εξαρτάται από τη μη ομογενή κατανομή της θερμοκρασίας στον αγωγό όταν υπάρχει μεταβαλλόμενη θερμική καταπόνηση και η οποία προκαλεί διαφορετικά επίπεδα διαστολής μεταξύ του αγωγού και της μόνωσης. Καθώς όσο πιο γρήγορη είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, τόσο λιγότερο ομοιόμορφη είναι η θερμοκρασία στον αγωγό. Έτσι η θερμομηχανική καταπόνηση είναι συνάρτηση της μεταβολής της θερμοκρασίας ως προς το χρόνο v . Λόγω της μηχανικής φύσης αυτής της γήρανσης, ο υπολειπόμενος χρόνος ζωής της μόνωσης υπό σταθερή θερμομηχανική καταπόνηση μοντελοποιείται με τον παρακάτω τύπο, με L_M : ο χρόνος ζωής της μόνωσης υπό σταθερή μεταβολή θερμοκρασίας v , ενώ k και N είναι παράμετροι που καθορίζονται με επιταχυμένα τεστ γήρανσης

$$L_M(v) = (1 + k \cdot |v|)^{-N}$$

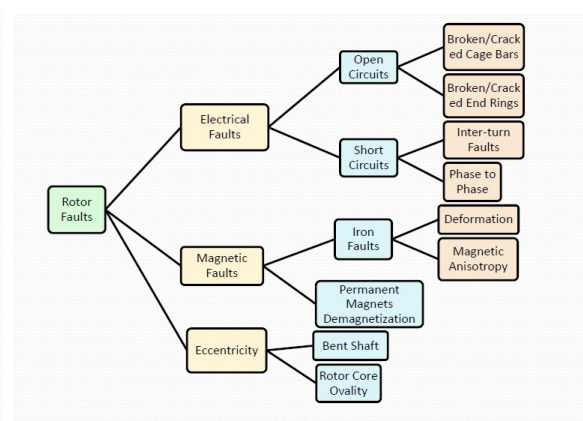
Τελευταίος αν και πιο σημαντικός, είναι φυσικά ο ανθρώπινος παράγοντας. Τα πιο συχνά λάθη και σφάλματα προκύπτουν εξαιτίας του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει

- Επιλογή λανθασμένου τύπου μηχανής ή μεγέθους μηχανής για εργασία που δεν την αντιπροσωπεύει.

- Κακή συντήρηση, προκαλώντας σφάλματα ή επιδείνωση άλλων, μειώνοντας έτσι το προσδόκιμο ζωής του.
- Λανθασμένη λειτουργία
- Ψευδής διάγνωση, καθώς έχει προκύψει ήδη πρόβλημα και παρθεί η γνώμη ενός έμπειρου, μπορεί να γίνει εύκολα μια εσφαλμένη ή πρόχειρη διάγνωση. Με αυτό κατ'επέκταση, να έχει επιβάρυνση όχι μόνο στη λειτουργία της μηχανής(οικονομικό αντίχτυπο), αλλά και την αφαίρεση κάποιας ανθρώπινης ζωής.



(a) Stator Faults



(b) Rotor Faults

Όλα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε πολλά είδη σφαλμάτων, τα οποία κάποια μπορούν να εμφανίσουν μικρά σφάλματα και να επιδεινωθούν ή και σφάλματα ακαριαία. Πιο συγκεκριμένα, το πιο σύνηθες ενδεχόμενο είναι η εκκεντρότητα, ηλεκτρικά σφάλματα δρομέα και σφάλματα σε στάτη.

Η στατική εκκεντρότητα δεν είναι η μόνη που εμφανίζεται σε έναν κινητήρα. Υπάρχει και η πιθανότητα, εμφάνισης και δυναμικής εκκεντρότητας. Βέβαια, μπορεί να εμφανίζονται και οι δύο εκκεντρότητες, αλλιώς μεικτή εκκεντρότητα.

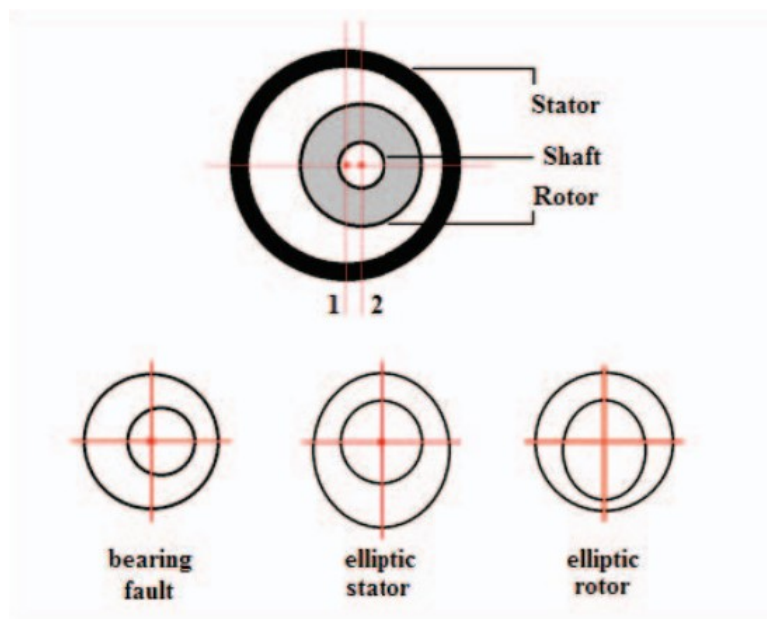


Figure 2: Διατομή του εκκεντρικού κινητήρα και παραδείγματα αιτιών αστοχίας του δρομέα

Ο στάτης είναι κεντραρισμένος στον πρώτο άξονα και ο δρομέας είναι κεντραρισμένος στον δεύτερο άξονα. Σε έναν υγιή μηχανισμό, οι δύο άξονες πρέπει να συμπίπτουν, εάν ο δεύτερος άξονας είναι το κέντρο περιστροφής, τότε προκύπτει η στατική εκκεντρικότητα. Ενώ η δυναμική εκκεντρικότητα εμφανίζεται ως πρόβλημα, όταν ο πρώτος άξονας είναι στο κέντρο περιστροφής. Επιπλέον, το κέντρο περιστροφής μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου άξονα, και τότε προκύπτει η μεικτή εκκεντρικότητα[18].

2.3 Μέθοδοι διάγνωσης σφαλμάτων

Γενικά, η διάγνωση των σφαλμάτων αποτελείται από μία συγκεκριμένη διαδικασία, ανάλογα με το σφάλμα που θέλει να εξεταστεί. Πιο συγκεκριμένα, αν πρέπει να εξεταστεί η διάγνωση μηχανικού σφάλματος, π.χ ρουλεμάν, η MCSA είναι η πιο διαδεδομένη, ενώ αν είναι η διάγνωση στην εκκεντρότητα, τότε η ανάλυση της μαγνητικής ροής είναι η πιο διαδεδομένη. Σε αυτή την εργασία, η ανάλυση γίνεται και στις δύο και προκύπτουν, προφανώς, διαφορετικά αποτελέσματα.

2.3.1 Ανάλυση Υπογραφής Ρεύματος Κινητήρα

Η Ανάλυση της Υπογραφής Ρεύματος του Κινητήρα (MCSA) είναι μια τεχνική παρακολούθησης και διάγνωσης βλαβών σε επαγωγικούς κινητήρες. Βασίζεται στην ανάλυση του φάσματος του ηλεκτρικού ρεύματος που τροφοδοτεί τον κινητήρα και είναι αποτελεσματική στον εντοπισμό διαφόρων ελαττωμάτων, όπως ρουλεμάν, σπασμένων δρομέων και εκκεντρότητα του αέρα. Η MCSA είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για προληπτική συντήρηση, καθώς μπορεί να ανιχνεύσει προβλήματα πριν αυτά εξελιχθούν σε σοβαρές βλάβες. Η τεχνική αυτή αποτελεί βασικό εργαλείο για την αποτίμηση της κατάστασης του κινητήρα και την εκτίμηση της απόδοσής του, βοηθώντας έτσι στη μείωση του κόστους συντήρησης και τη βελτίωση της απόδοσης του εξοπλισμού. Με την ανάπτυξη ευφυών αλγορίθμων και δεικτών ελαττωμάτων, η MCSA γίνεται όλο και πιο αξιόπιστη και αποτελεσματική στην παρακολούθηση της κατάστασης των επαγωγικών κινητήρων.

Η μέθοδος βασίζεται στην παρακολούθηση και καταγραφή του ρεύματος στάτη στη μόνιμη κατάσταση με ακόλουθη την ανάλυσή του φάσματός του, με τη χρήση του Γρήγορος Μετασχηματισμός Φουριέ (FFT).

Με τον FFT δίνεται η δυνατότητα εύρεσης της εκκεντρότητας του κινητήρα. Στον FFT προκύπτουν αρμονικές, που δεν είναι περιττές πολλαπλάσιες της βασικής αρμονικής. Η μεγαλύτερη από αυτές τις αρμονικές, θα ισαπέχει από δυο μικρότερες από αυτήν σε πλάτος, με απόσταση διπλάσια της βασικής (60Hz→120Hz). Ο ακόλουθος τύπος, υπολογίζει την στατική ή δυναμική εκκεντρότητα [37].

$$f_{ecc1} = \left[(R \pm n_d) \cdot \frac{1-s}{p} \pm 2n_{sa} \pm n_{ws} \right] f_s$$

R: αριθμός μπαρών δρομέα

d: δυναμική εκκεντρότητα

sa: κορεσμός

ws: περιελίξεις στάτη

$n_d = 0 \rightarrow$ στατική εκκεντρότητα

Καθώς, μπορεί να βρεθεί και η μεικτή εκκεντρότητα [34, 35]

$$f_{ecc2} = f \pm k \frac{1-s}{p} f_s, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

[36] Εάν υπάρχει μόνο στατική εκκεντρότητα ή καθόλου εκκεντρότητα και δεν υπάρχει κορεσμός τότε ο τύπος μπορεί να δώσει τις private slot harmonics (PSH).

Αν ο αριθμός των αυλακώσεων του δρομέα(=R) ακολουθεί τον τύπο

$$R = 2p[3(m \pm q) \pm r)], m \pm q = 0, 1, 2, 3, \dots, r = 0, 1$$

ανάλογα με τον αριθμό, δίνει και τα κατάλληλα αποτελέσματα. Αν ο αριθμός των αυλακώσεων του δρομέα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των πόλων, τότε ο προηγούμενος τύπος γίνεται αναξιόπιστος, καθώς το φάσμα του ρεύματος δεν προδίδει το σφάλμα καθαρά δυναμικής ή καθαρά στατικής εκκεντρότητας. Μόνο η μεικτή εκκεντρότητα, μπορεί να εντοπιστεί και μόνο όταν το επίπεδο της σοβαρότητας του σφάλματος είναι υψηλό σε αυτού του τύπου τις μηχανές. Αν ο αριθμός των αυλακώσεων του δρομέα είναι περιττός αριθμός, τότε ο τύπος προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ενώ, όταν ο αριθμός των αυλακώσεων του δρομέα είναι άρτιος, αλλά όχι ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των πόλων, ο τύπος προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά μόνο για λειτουργία του κινητήρα υπό χαμηλό φορτίο.

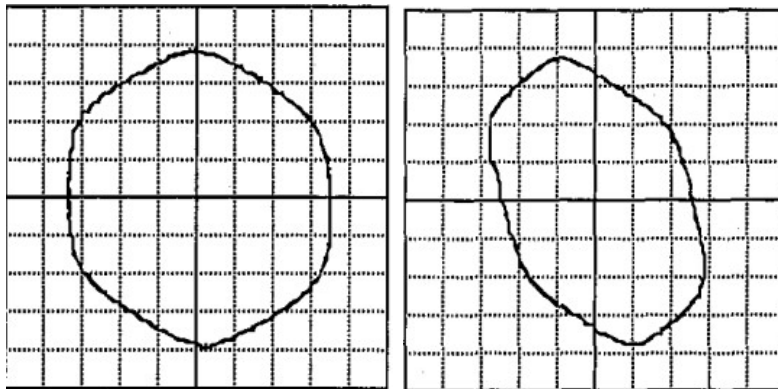
2.3.2 Προσέγγιση Διανύσματος Παρκ

Η μέθοδος Park's Vector Approach(PVA)[19] είναι μια κλασική μέθοδος που εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε τριφασική συσκευή για ανίχνευση ασυμμετριών. Υπολογίζονται οι d και q συνιστώσες του ρεύματος με βάση τους παρακάτω τύπους:

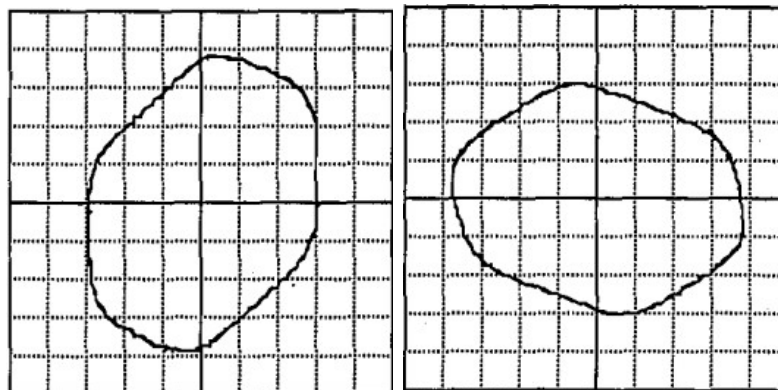
$$i_d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot i_a - \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot i_b - \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot i_c$$

$$i_q = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot i_b - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot i_c$$

Υπό ιδανικές συνθήκες, ο γεωμετρικός τόπος των δύο συνιστωσών είναι ένας κύκλος. Στην περίπτωση εσωτερικού βραχυκυκλώματος δημιουργείται ασυμμετρία μεταξύ των 3 φάσεων παραμορφώνοντας τον γεωμετρικό τόπο. Η κατεύθυνση της παραμόρφωσης μπορεί να ταυτοποιήσει το σφάλμα. Ακολουθούν παραδείγματα για διάφορα βραχυκυκλώματα.



(a) Park Vector's Approach ενός Υγιή Κινητήρα (b) 18 βραχυκυκλωμένες στροφές στην φάση Α

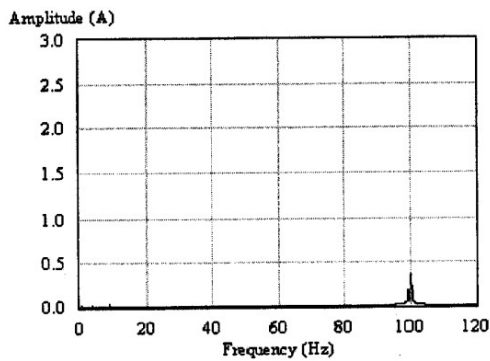


(a) 18 βραχυκυκλωμένες στροφές στην φάση Β (b) 18 βραχυκυκλωμένες στροφές στην φάση C

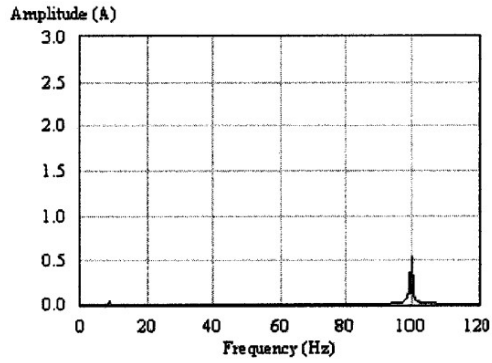
Υπάρχει και η μέθοδος EPVA(extended PVA), η οποία αναπτύχθηκε για να αναβαθμίσει τις διαγνωστικές ικανότητες της PVA με ανώτερη ευαισθησία στη σοβαρότητα του σφάλματος.

$$I_{mod} = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$$

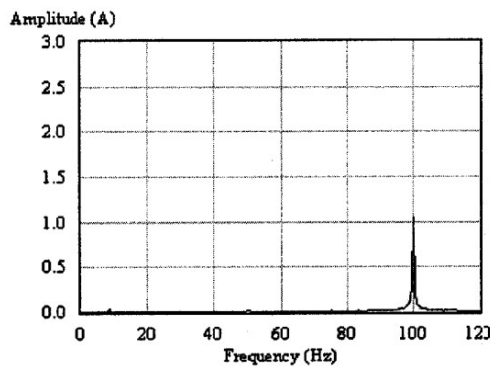
Θεωρητικά, υπό υγιείς συνθήκες τα ρεύματα έχουν διαφορά φάσης 90 μοίρες. Τότε το I_{mod} έχει μόνο DC συνιστώσα. Αντίθετα, αν εμφανιστεί σφάλμα και οδηγήσει σε ασυμμετρία των τριών φάσεων, θα εμφανιστούν ανώτερες αρμονικές, όπως ακολουθεί στη συνέχεια [25].



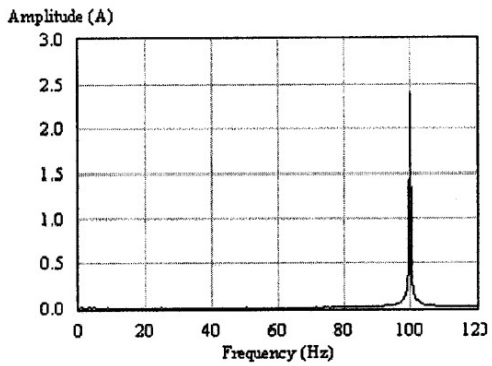
(a) healthy



(b) 3 Shorted Turns in phase A



(a) 12 Shorted Turns in phase A



(b) 16 Shorted Turns in phase A

2.3.3 Μέθοδος αρνητικής ακολουθιακής Τάσης/Ρεύματος

Η παρακολούθηση του αρνητικού ακολουθιακού ρεύματος είναι μια γνωστή εφαρμογή που μπορεί να ανιχνεύσει βλάβες στον στάτη του κινητήρα επαγωγής χρησιμοποιώντας μια απλή τεχνική μέτρησης. Ωστόσο, η τεχνική αυτή είναι ευαίσθητη σε άλλες ασύμμετρες πηγές αρνητικού ακολου-

θιακού ρεύματος, βλάβες ή διαταραχές.

$$\begin{cases} i_{ps} = \frac{i_a + ai_b + a^2i_c}{3} \\ i_{ns} = \frac{i_a + a^2i_b + ai_c}{3} \\ i_{zs} = \frac{i_a + i_b + ai_c}{3} \end{cases}$$

όπου i_a, i_b, i_c τα τρία φασικά ρεύματα, I_{ps}, I_{ns} και I_{zs} τα ρεύματα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας, και το $\alpha = 1 < 120^\circ$.

Υπό υγιείς συνθήκες, το ρεύμα θετικής ακολουθίας είναι ίσο με το φασικό ρεύμα, ενώ τα ρεύματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας είναι μηδέν[31].

Εάν υπάρχουν σφάλματα στο στάτη, τότε υπάρχει ασυμμετρία των 3 φάσεων, καθώς η μία φάση έχει μικρότερη σύνθετη αντίσταση. Έτσι, το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας δεν είναι πια μηδέν.

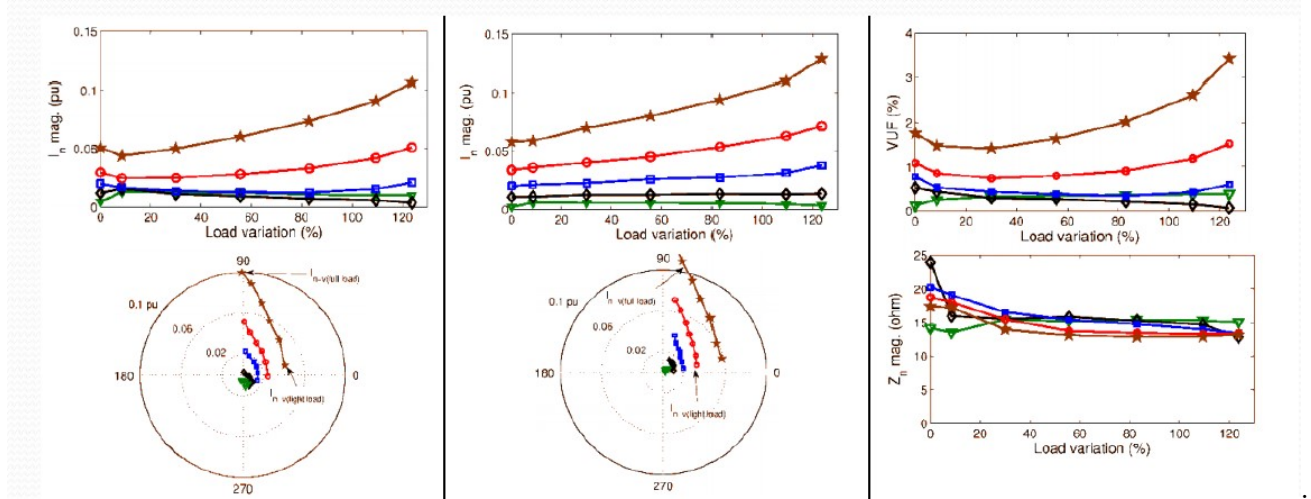


Figure 7: τα πειραματικά αποτελέσματα των ανισορροπιών τάσης σε σχέση με το επίπεδο φορτίου, (α) πριν την εξάλειψη της εγγενούς ασυμμετρίας εμφανίζοντας το μέγεθος (επάνω) και τις πορείες των φασόρων (κάτω), (β) μετά την εξάλειψη της εγγενούς ασυμμετρίας εμφανίζοντας το μέγεθος (επάνω) και τους φασόρους (κάτω), (γ) το παράγοντα ανισορροπίας τάσης (επάνω) και την αρνητική ακολουθιακή αντίσταση (κάτω)

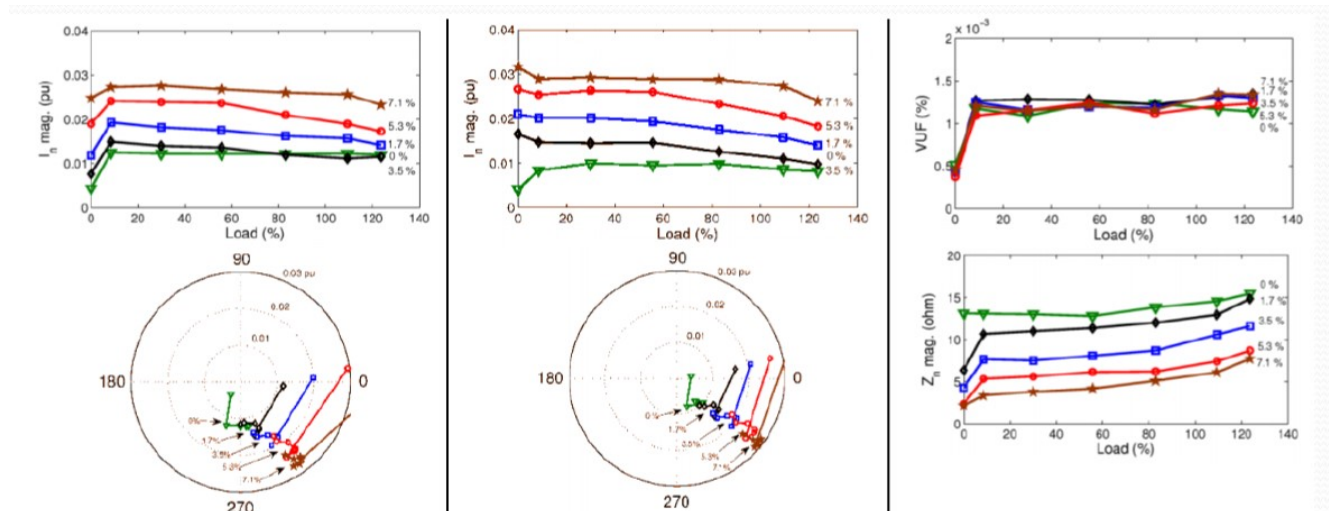


Figure 8: τα πειραματικά αποτελέσματα του ποσοστού στραβωμένων στρωφών (από 1,7% έως 7,1%) με σεβασμό στο επίπεδο φορτίου, (α) πριν από την εξάλειψη της κληρονομικής ασυμμετρίας, εμφανίζοντας το μέγεθος (πάνω) και τις τροχιές φάσματος (κάτω), (β) μετά την εξάλειψη της κληρονομικής ασυμμετρίας, εμφανίζοντας το μέγεθος (πάνω) και το φάσμα (κάτω), (γ) ο παράγοντας ανισοροπίας τάσης (πάνω) και η αρνητική ακολουθία αντίστασης (κάτω)

Υπάρχει μια ομάδα παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία της μεθόδου των συμμετρικών συνιστωσών. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε λανθασμένη εκτίμηση του ρεύματος αρνητικής ακολουθίας και μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα θετικό διαγνωστικό συναγερμό.

- Βαθμονόμηση εξοπλισμού μέτρησης
- Ασυμμετρία τροφοδοσίας
- Κληρονομημένες ασυμμετρίες των τυλιγμάτων
- Θερμοκρασία της μηχανής

2.3.4 Ανάλυση δονήσεων

Η διάγνωση βλαβών σε επαγωγικούς κινητήρες μέσω ανάλυσης δονήσεων είναι μια διαδικασία που βασίζεται στην παρατήρηση των δονήσεων που παράγει ο κινητήρας κατά τη λειτουργία του [41]. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, παρακολουθούνται οι δονήσεις σε διάφορα σημεία του κινητήρα χρησιμοποιώντας αισθητήρες δονήσεων (επιταχυνσιόμετρο το πιο διαδεδομένο). Υπάρχουν και μέθοδοι παρακολούθησης, διάγνωσης και ανάλυσης για την αποτυχία ευθυγράμμισης του καθολικού συνδέσμου του κυλινδρικού πιεστηρίου, αναλύοντας, έτσι, τις αιτίες της αποτυχίας ευθυγράμμισης του. Τα πειράματα δείχνουν ότι το σύστημα παρακολούθησης μπορεί να συλλάβει τα σήματα δόνησης και να συλλέγει τα χαρακτηριστικά δεδομένα έγκαιρα, και το μοντέλο ανάλυσης μπορεί επίσης να διαγνώσει τους τύπους βλαβών με βάση τα χαρακτηριστικά βλαβών ευθυγράμμισης σύνδεσης [40]. Η υπογραφή σφάλματος εμφανίζεται στις $2ksf_s$ συχνότητες.

2.3.5 Μέτρηση ροπής

Η παρακολούθηση του ροπής αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της ροπής που ασκείται σε έναν μηχανικό μηχανισμό κατά τη λειτουργία του. Αυτή η διαδικασία συχνά εφαρμόζεται σε κινητήρες και μηχανές όπου η ροπή είναι ένα κρίσιμο μέτρο απόδοσης ή ασφάλειας. Μέσω της παρακολούθησης της ροπής, μπορούν να ανιχνευθούν ανωμαλίες στη λειτουργία του μηχανισμού, όπως υπερφορτώσεις, φθορές, ή αστοχίες, που μπορεί να υποδηλώνουν προβλήματα λειτουργίας ή υγείας του μηχανισμού. Η παρακολούθηση του ροπής μπορεί να γίνει με τη χρήση αισθητήρων ή τεχνικών ανάλυσης σήματος, και αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την πρόληψη βλαβών, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας μηχανισμών.

Οι υπογραφές σφάλματος εμφανίζονται στις $2ksf_s$ συχνότητες, αλλά διαφέρουν από την ανάλυση δονήσεων στη μεθοδολογία εξαγωγής σήματος. Η μηχανική ροπή μπορεί να μετρηθεί με αισθητήρα ροπής, αλλά η εγκατάσταση ροπόμετρου είναι ακριβή και μη πρακτική. Ο πιο εύκολος τρόπος, είναι απλά υπολογισμός της ροπής μέσω μετρήσεων τάσεων και ρευμάτων [39].

Θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια i_d και i_q , που υπάρχουν στην PVA και θα ακολουθήσει η ίδια δι-

αδικοσία για τον υπολογισμό των τάσεων όπως ακολουθεί.

$$u_{sd} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(u_a - \frac{u_b}{2} - \frac{u_c}{2} \right)$$

$$u_{sq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}u_b}{2} - \frac{\sqrt{3}u_c}{2} \right)$$

Σύμφωνα με το [38], για τον υπολογισμό της ηλεκτρομαγνητικής ροπής χρειάζεται και ο υπολογισμός της μαγνητικής ροής του στάτη και του δρομέα στους d και q άξονες, καθώς και της μαγνητικής ροής του διακένου όπως ακολουθεί.

$$\lambda_{sd} = \int (u_{sd} - R_s i_{sd}) dt, \quad \lambda_{sq} = \int (u_{sq} - R_s i_{sq}) dt$$

$$\lambda_{rd} = L_m i_{sd} + L_r i_{rd}, \quad \lambda_{rq} = L_m i_{sq} + L_r i_{rq}$$

$$\lambda_{md} = \lambda_{sd} - L_{ss} i_{sd} = L_m (i_{sd} + i_{rd}), \quad \lambda_{mq} = \lambda_{sq} - L_{ss} i_{sq} = L_m (i_{sq} + i_{rq})$$

Με L_{ss} η διαρροή επαγωγής στον στάτη, L_m η μαγνητική επαγωγή, και L_r η αυτεπαγωγή του δρομέα. Το ρεύμα δρομέα δε μπορεί να μετρηθεί, καθώς ρέει στον κλωβό όποτε στους τύπους της ροής δρομέα θα πρέπει να αντικατασταθεί, μέσω των τύπων της ροής διακένου.

$$\lambda_{rd} = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{sd} - \sigma L_s i_{sd})$$

$$\lambda_{rq} = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{sq} - \sigma L_s i_{sq})$$

$$\text{όπου } \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$$

Με υπόψη τα προηγούμενα, η ηλεκτρομαγνητική ροπή υπολογίζεται.

$$T_e = p \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot (\lambda_{rd} i_{sq} - \lambda_{rq} i_{sd})$$

Στην συνέχεια, ακολουθούν τα πλάτη του ρεύματος και της μαγνητικής ροπής ανάλογα με την ταχύτητα.

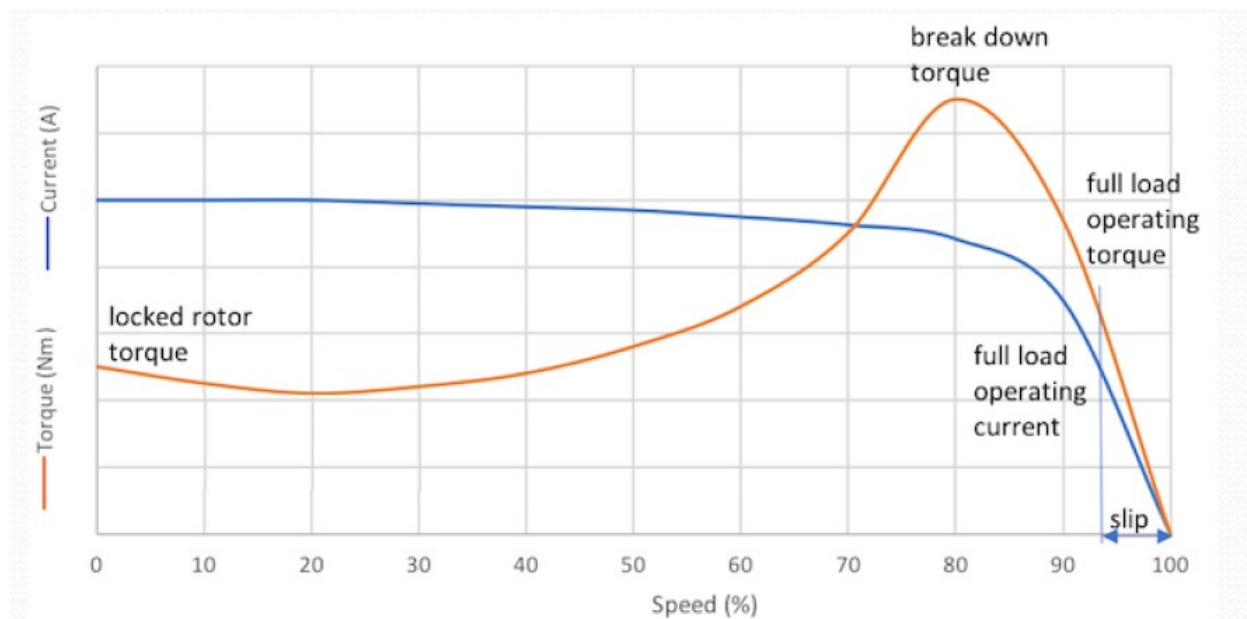


Figure 9: Πλάτη Ρεύματος και Μηχανικής Ροπής σε σχέση με την ταχύτητα

Το ρεύμα δρομέα είναι μέγιστο στην εκκίνηση και διατηρεί υψηλό πλάτος για ένα ευρύ διάστημα ταχυτήτων [42]. Η συχνότητα δρομέα είναι μέγιστη στην εκκίνηση και ίση με του στάτη, δηλαδή $f_r = s f_s$.

2.3.6 Παρακολούθηση Ακτινικής/Αξονικής μαγνητικής ροής

Η παρακολούθηση της μαγνητικού ροής σε κατακόρυφη και οριζόντια κατεύθυνση αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της κατάστασης και της απόδοσης μηχανικών συστημάτων, όπως ηλεκτρικοί κινητήρες και γεννήτριες. Κατά την παρακολούθηση της μαγνητικής ροής, μετρώνται οι μεταβολές της ροής στο εσωτερικό του μηχανικού συστήματος, είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια. Αυτή η παρακολούθηση μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την υγεία και την απόδοση του μηχανισμού, καθώς αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο, που μπορεί να υποδείξουν προβλήματα όπως εκκεντρότητα, φθορά, ή υπερφόρτωση. Η παρακολούθηση αυτή μπορεί να γίνει με τη χρήση αισθητήρων μαγνητικού πεδίου ή άλλων μεθόδων ανίχνευσης, και μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη βλαβών, την παρακολούθηση της λειτουργίας και την αποτελεσματική διαχείριση του εξοπλισμού.

Η μαγνητική ροή, εφόσον παράγεται από το ρεύμα μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά. Μέσω της μαγνητικής ροής είναι δυνατός ο υπολογισμός χαρακτηριστικών σφάλματος σπασμένης μπάρας σε επαγωγικούς κινητήρες.

$$f_{bb} = \left[\frac{k}{p} \cdot (1 - s) \pm s \right] \cdot f_s \quad , \frac{k}{p} \in N$$

Επιπλέον υπογραφές του σφάλματος θα εμφανιστούν σαν πλευρικές των αρμονικών της μηχανικής συχνότητας [26].

$$f_{bb2} = \left(n \pm m \cdot \frac{(1 - s)}{p} \pm 2ks \right) \cdot f_s \quad , n, m, k \in N$$

2.3.7 Μέτρηση Ενεργού/Άεργου/Φαινόμενης ισχύος

Η παρακολούθηση της ενεργού, άεργου και φαινόμενης ισχύος αποτελεί μια σημαντική τεχνική για την αξιολόγηση της λειτουργίας ηλεκτρικών συστημάτων και τη διαχείριση της ενέργειας. Η ενεργή ισχύς αντιπροσωπεύει την πραγματική ενέργεια που μετατρέπεται σε χρήσιμη εργασία, ενώ η άεργου ισχύς αντιπροσωπεύει την ενέργεια που διακυβεύεται από ανενεργά στοιχεία του συστήματος, όπως αντιστάσεις και ανενεργά φορτία. Η φαινομενική ισχύς αντιπροσωπεύει το συνολικό μέγεθος της ισχύος που ρέει μέσα από το σύστημα. Η παρακολούθηση αυτών των τριών τύπων ισχύος μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του συστήματος, την αποτελεσματικότητα της μετατροπής ενέργειας και τη διαχείριση του φορτίου. Αυτή η παρακολούθηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω αισθητήρων ρεύματος και τάσης, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος και τη μείωση των απωλειών ενέργειας [43].

Η εφαρμογή αυτής της διαγνωστικής μεθόδου είναι απλή και απευθείας προς τον στόχο, καθώς απαιτεί μόνο τη δειγματοληψία δύο ρευμάτων και δύο τάσεων γραμμής προς γραμμή και δεν απαιτεί την γνώση κάποιας παραμέτρου του κινητήρα. Στο στάδιο επεξεργασίας του σήματος της εφαρμογής αυτής της μεθόδου, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τον κλασικό μετασχηματισμό Fourier (FFT), αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πιο προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος, εφόσον παρέχουν το πλάτος και τη φάση κάθε φασματικής συνιστώσας που περιέχεται στα δύο ηλεκτρικά σήματα. Επομένως, η προτεινόμενη διαγνωστική μέθοδος μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διάγνωση βλαβών του δρομέα σε βιομηχανικό περιβάλλον [27].

2.3.8 Παρακολούθηση ταχύτητας περιστροφής

Η παρακολούθηση της ταχύτητας είναι μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ή του μηχανολογικού συστήματος. Η παρακολούθηση της ταχύτητας επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος και τη διαπίστωση πιθανών προβλημάτων, όπως αστοχίες στην ταχύτητα, υπερβολική φόρτωση ή αστοχίες στον έλεγχο του κινητήρα. Η παρακολούθηση της ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί μέσω αισθητήρων οι οποίοι μετρούν την περιστροφική ταχύτητα του άξονα του κινητήρα ή του μηχανολογικού συστήματος. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος και την εκτέλεση απαραίτητων ενεργειών συντήρησης.

Πιο συγκεκριμένα, όταν προκύπτουν προκλήσεις, με τις υπάρχουσες τεχνικές διάγνωση σφάλματος σε ρουλεμάν, που βασίζονται σε σήματα δόνησης ή ρεύματος στάτη, ερευνάται η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην ανίχνευση και διάγνωση βλαβών των ρουλεμάν σε ηλεκτρικές μηχανές. Η προτεινόμενη μέθοδος διάγνωσης βλαβών ρουλεμάν βασισμένη στην ταχύτητα περιστροφής (RSB-BFD) υποθέτει μεταβλητές συνθήκες ταχύτητας περιστροφής και χρησιμοποιεί μόνο μετρήσεις ταχύτητας περιστροφής. Καθώς τα σήματα ταχύτητας είναι αξιόπιστα και εύκολα προσβάσιμα σε σύγκριση με τα σήματα δόνησης, αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι επωφελής από άποψη χαμηλού κόστους, απλότητας και αξιοπιστίας. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ανάλυση στο πεδίο συχνοτήτων του σήματος ταχύτητας, δείχνει ότι δεν υπάρχει σημαντική διάκριση μεταξύ διαφορετικών βλαβών των ρουλεμάν, που είναι ο κύριος λόγος, γιατί το RSB-BFD δεν έχει χρησιμοποιηθεί. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, προτείνεται η Απόλυτη Αξία-Βασισμένη Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (AVPCA), στην οποία η κλασική Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA), μια καλά γνωστή μέθοδος εξαγωγής χαρακτηριστικών, τροποποιείται για να υπολογίζει τις βάσεις PCA. [28].

2.3.9 Παρακολούθηση θερμοκρασίας

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας είναι μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας λειτουργίας του εξοπλισμού. Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης του εξοπλισμού και τη διαπίστωση πιθανών προβλημάτων, όπως υπερθέρμανση, υποθέρμανση ή αστοχίες στην ρύθμιση του συστή-

ματος ψύξης. Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας, μπορεί να επιτευχθεί, μέσω αισθητήρων θερμοκρασίας, που τοποθετούνται σε στρατηγικά σημεία του εξοπλισμού ή μέσω θερμοκρασίας εξωτερικής επιφάνειας. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή της λειτουργίας του εξοπλισμού, την πρόληψη πιθανών βλαβών και την εκτέλεση απαραίτητων ενεργειών συντήρησης.

Ένας κινητήρας, θα πρέπει να απενεργοποιηθεί, αμέσως, όταν επιτευχθεί το θερμικό όριο. Η θερμοκρασία των στρωφών του στάτη πρέπει να παρακολουθείται για λόγους θερμικής προστασίας. Όσον αφορά τη θερμική προστασία του δρομέα, η εξωτερική μπάρα του δρομέα ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου σχίουρου εκτελεί τη λειτουργία της εκκίνησης του φορτίου, επομένως χρειάζεται προστασία από ζημιές. Επαναλαμβανόμενες υπερβολικές θερμικές πιέσεις μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές στις μπάρες του δρομέα, στα κυκλικά δαχτυλίδια των συσκευών και στις κολλητές συνδέσεις μεταξύ τους. Κατά τη λειτουργία, υπερβολικοί ανεξισορροπημένοι (αρνητικής ακολουθίας) ρεύματα μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολικές θερμοκρασίες στον δρομέα του κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα ανεξισορροπημένα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας μειώνουν τη διαθέσιμη ροπή επιτάχυνσης και, συνεπώς, επεκτείνουν τον χρόνο επιτάχυνσης και κατ'επέκταση στη συμβολή της υπερθέρμανσης του κινητήρα.

Η θερμική προστασία αποτελεί θεμελιώδη προστασία για τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Υπάρχουν, κυρίως, δύο ρεύματα εργασίας στον τομέα της εκτίμησης της θερμοκρασίας του κινητήρα: α) η τεχνική βάσει εισαγωγής σήματος, και β) η τεχνική βασισμένη στο μοντέλο. Και τα δύο ρεύματα εργασίας οδηγούν, είτε στην εκτίμηση της αντίστασης του στάτη, είτε της αντίστασης/αυτεπαγωγής του δρομέα, η οποία συνδέεται επιπλέον με την αντίστοιχη εκτίμηση της θερμοκρασίας του στάτη ή του δρομέα. Επομένως, και οι δύο προσεγγίσεις θερμοκρασίας βασίζονται στην εκτίμηση της αντίστασης [29].

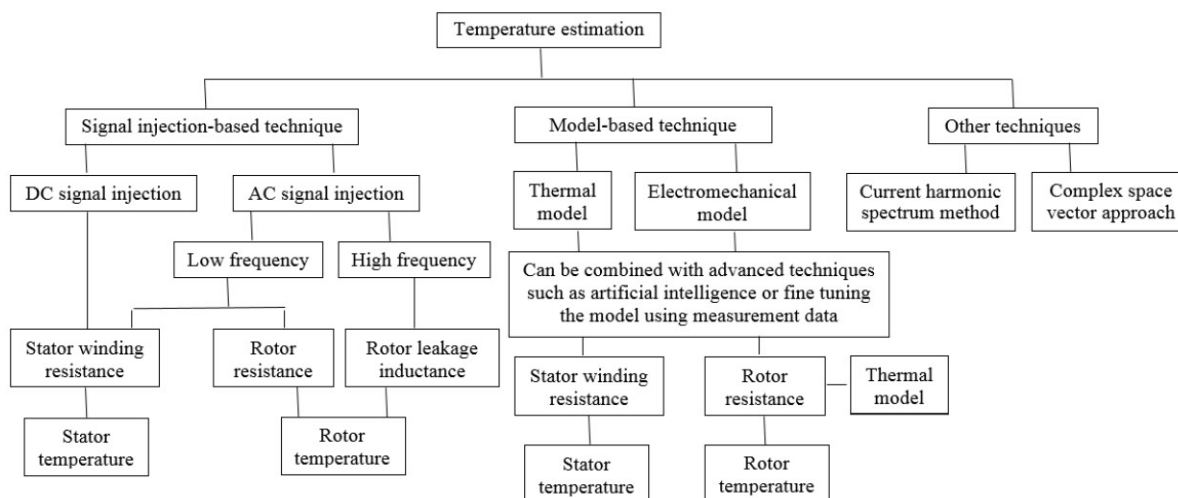
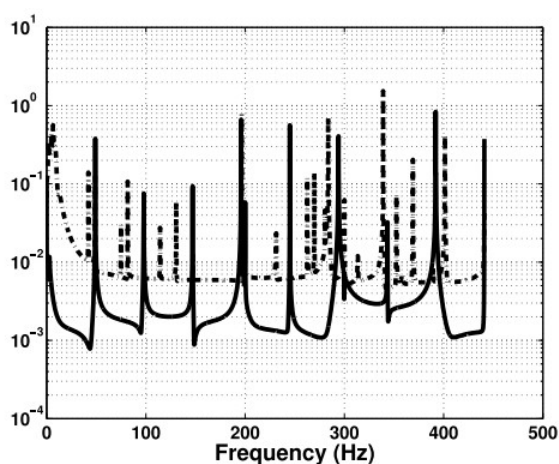


Figure 10: Σύνοψη τεχνικών εκτίμησης θερμοκρασίας κινητήρα

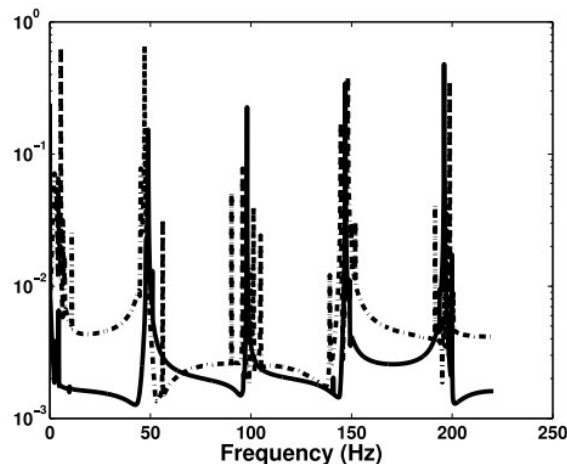
2.3.10 Ανάλυση ακουστικού θορύβου

Η ανάλυση του ακουστικού θορύβου είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του επιπέδου θορύβου που παράγεται από μηχανικές συσκευές και εξοπλισμό. Η παρακολούθηση του ακουστικού θορύβου μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας του εξοπλισμού και την ανίχνευση ενδεχόμενων προβλημάτων. Η ανάλυση του ακουστικού θορύβου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση αισθητήρων θορύβου που τοποθετούνται κοντά στον εξοπλισμό ή σε περιοχές που επηρεάζονται από τον θόρυβο. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να αναλυθούν για να ανιχνευθούν τυχόν ανωμαλίες στη λειτουργία του εξοπλισμού ή για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων που λαμβάνονται για τη μείωση του θορύβου. Η ανάλυση του ακουστικού θορύβου είναι σημαντική για τη διασφάλιση της ασφάλειας, τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την αύξηση της απόδοσης του εξοπλισμού.

Ο ακουστικός θόρυβος παράγει πολύτιμες πληροφορίες για τον εντοπισμό των βλαβών σε ρουλεμάν. Στο [30], διερευνήθηκαν οι μέθοδοι ακουστικού θορύβου, πίεσης ήχου και έντασης ήχου για τον εντοπισμό ελαττωμάτων σε ρουλεμάν με κυλινδρικά στοιχεία. Στις μελέτες που εξετάστηκαν, τα ακουστικά πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εξαιρετικά καθαρά δωμάτια, δηλαδή σε μη αντηχούντα και απαλλαγμένα από θόρυβο περιβάλλοντα.



(a) Ακουστικός θόρυβος Υγιή κατάσταση(-), Σφάλμα Ρουλεμάν(+)



(b) Ακουστικός θόρυβος Υγιή κατάσταση(-), Σφάλμα Μπάρας(+)

2.4 Σύστημα Κινητήρων πλοίου

Ο επαγωγικός κινητήρας αποτελεί έναν από τους ιδανικούς υποψήφιους για κινητήρες κίνησης σε εφαρμογές πλοίων λόγω των προηγμένων εξελίξεων στην τεχνολογία επαγωγικών κινητήρων τα τελευταία χρόνια. Η Converteam ανήκει στους ηγέτες της βιομηχανίας στην ανάπτυξη επαγωγικών κινητήρων με τον προηγμένο επαγωγικό κινητήρα της, ή AIM. Ο AIM είναι ένας πολυφασικός, ανθεκτικός στους κραδασμούς και υψηλής πυκνότητας ροπής επαγωγικός κινητήρας. Σχεδιάστηκε ειδικά για την εκκίνηση μετατροπών, πράγμα που επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία και βελτιστοποίηση του ηλεκτρομαγνητικού σχεδιασμού. Αυτό, από τη σειρά, δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης και του συντελεστή ισχύος, ενώ επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερου απόστασης αέρα για να παρέχεται καλή αντοχή σε κραδασμούς [22].

Η χρήση ηλεκτρικών συστημάτων προώθησης πλοίων (ESP) με μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί μια νέα προσέγγιση στο σχεδιασμό του αυτόνομου ηλεκτρικού δικτύου διανομής πλοίου με υψηλή τάση και την επιλογή κατάλληλων γεννητριών και κινητήρων. Είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι συστάσεις των κατατακτηριών κοινωνιών (Μητρώα Ναυτιλίας) και του Διεθνούς Ναυτικού Οργανισμού (IMO). Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες των μεμονωμένων συστατικών και συναρμολογήσεων, η ισοδυναμία των ικανοτήτων των πηγών ενέργειας και των καταναλωτών σε περιορισμένο μήκος δικτύου, τη μεγάλη ποικιλία των αλλαγών στο φορτίο και τα

λειτουργικά καθεστώτα του πλοίου. Η διαθεσιμότητα μετατροπών ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει την ποιότητα της ηλεκτροδότησης εντός του πλοίου. Η επιλογή κινητήρα προωστήρα εξαρτάται από τον τύπο και την ισχύ των μετατροπών, τη μέθοδο ψύξης, την περιστροφική ταχύτητα της ελικοειδούς και τις θαλάσσιες ιδιότητες του πλοίου.

Οι μειονεκτήματα των μηχανών με συλλέκτη DC οδήγησαν στην αποκλειστική χρήση υψηλής τάσης κινητήρα AC (Ασύρματα Ρεύμα) στα σύγχρονα ESP [23].

- Σε σχέση με την ανάγκη για μείωση των διαστάσεων και του βάρους του κύριου ESP, οι βασικοί ηλεκτρομαγνητικοί φορτίσεις όπως η μαγνητική επαγωγή στο εσωτερικό του αέρα και η γραμμική ισχύς του ρεύματος πρέπει να αυξηθούν κατά 10%. Αυτό απαιτεί βελτιωμένο αερισμό με αυξημένη χρήση ενεργών υλικών. Λόγω της χαμηλής ταχύτητας πρέπει να χρησιμοποιηθεί "ανεξάρτητος" αερισμός.
- Χρήση ενεργά και τα υλικά κατασκευής πρέπει να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά τους γιατί θα επιτευχθεί αύξηση της αποδοτικότητας (λόγω της μείωσης του βάρους του κινητήρα και της μείωσης των απωλειών στα ενεργά υλικά).
- Υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις για την ποιότητα της μόνωσης των μηχανημάτων - πρέπει να έχει την απαραίτητη αντοχή σε θερμότητα, υγρασία και διάβρωση, διότι το εργοστάσιο λειτουργεί στη θάλασσα.
- Οι αυξημένες εργασιακές φορτίσεις απαιτούν ενισχυμένη θερμική προστασία των πηνίων, η οποία παρέχεται με αισθητήρες που τοποθετούνται σε κρίσιμα σημεία.
- Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην ασφάλεια του προσωπικού κατά τη συντήρηση των μηχανημάτων και σε σχέση με τη γείωση των περιβλημάτων, των άξονων και των ρουλεμάν τους.

2.5 Εσφαλμένη διάγνωση

Οι ψευδείς ενδείξεις μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την πραγματική κατάσταση του κινητήρα και τη διάγνωση της MCSA, όπως περιλαμβάνεται στον ακόλουθο πίνακα. Μια ψευδής θετική (FP) ένδειξη (ψευδές συναγερμός) αναφέρεται στην περίπτωση όπου δίνεται συναγερμός βλάβης για έναν υγιή δρομέα. Μια ψευδής θετική ένδειξη μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητο έλεγχο του κινητήρα και/ή διακοπή της λειτουργίας του και της διαδικασίας. Το κόστος μόνο για έλεγχο ενός κινητήρα

με μια ψευδή θετική ενδειξη είναι συνήθως δεκάδες χιλιάδες δολάρια, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η απώλεια παραγωγής (εάν δεν υπάρχουν σε αναμονή ή ανταλλακτικοί κινητήρες). Το κόστος είναι υψηλότερο για μεγαλύτερους κινητήρες, λόγω της δυσκολίας χειρισμού του βάρους τους. Παρά το υψηλό κόστος του ελέγχου, οι κινητήρες ελέγχονται εάν δίνονται ενδείξεις βλάβης, καθώς το κόστος της εξαναγκαστικής διακοπής μπορεί να είναι τάξεις μεγέθους υψηλότερο από αυτό του ελέγχου/επισκευής.

	Αποτέλεσμα Διάγνωσης	
Πραγματική κατάσταση μηχανής	Υγιής	Εσφαλμένη
Υγιής		<ul style="list-style-type: none"> Αξονικές οδοί ψύξης στο δρομέα Θέματα μαγνητικής ανισοτροπίας Πορότητα Αριθμός λεπίδων ανεμιστήρα Ταλαντώσεις ροπής φορτίου
Εσφαλμένη	<ul style="list-style-type: none"> Μη κοντινές μπάρες Βλάβη στον εξωτερικό κλουβί σε διπλό κλουβωτό στροφείο Μεταβολή φορτίου Εσφαλμένη εκτίμηση ταχύτητας 	

Figure 12: ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΤΩΝ ΨΕΥΔΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΩΝ ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ

Οι τυπικές ρίζες που οδηγούν σε ψευδείς ενδείξεις βλάβης του δρομέα στο πεδίο με την MCSA, έχουν περιγραφεί και αναλυθεί λεπτομερώς με βάση περιστατικά μελέτης και μετρήσεις που διενεργήθηκαν σε μεσαίου τάσης κινητήρες στο [33]. Οδηγίες για την ερμηνεία των δεδομένων της MCSA και την εκτέλεση εναλλακτικών εμπορικά διαθέσιμων δοκιμών, ήταν αυτά που παρέχονται κατευθυντήριες οδηγίες για την αναγνώριση ψευδών ενδείξεων από την οπτική γωνία των μηχανικών στον τομέα. Η αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών δοκιμών για ορισμένες ψευδείς ενδείξεις περιγράφεται βασιζόμενη στην κατανόηση της αιτίας τους και των συνθηκών διέγερσης κατά τη δοκιμή.

2.6 Περαιτέρω γνώσεις και Εργαλεία

Για την ανάλυση στοιχείων των κινητήρων και την διάγνωση των σφαλμάτων, που κατέχουν έγινε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, χρειάστηκαν εργαλεία για την μέτρηση του ρεύματος και της μαγνητικής ροής. Μέσω της PicoScope, χρησιμοποιήθηκε α) ένας παλμογράφος για την καταχώρηση των τιμών, β) Αμπερόμετρα για την μέτρηση του ρεύματος της κάθε φάσης την ίδια χρονική στιγμή, γ) Ένα πηνίο, ως αισθητήρας για την μέτρηση της μαγνητικής ροής. Οι τιμές αποθηκεύτηκαν σε ένα Excel, όπου με τη σειρά τους χρησιμοποιήθηκαν σε κώδικα MATLAB, για να γίνει η κατάλληλη διάγνωση.

2.7 Αναγνώριση Βοήθειας

Εδώ αξίζει να σημειωθεί, ότι για την ολοκλήρωση αυτής της έρευνας βοήθησε αρκετά η εταιρεία Stamco Ship Management. Καθώς, προσφέρθηκε να με προσκαλέσει σε τρίμηνη πρακτική και αγόρασε τα εργαλεία, που χρειάστηκαν στην μέτρηση των τιμών.

Μεγάλη ευγνωμοσύνη στον αναπληρωτή καθηγητή Κωνσταντίνο Γυφτάκη, καθώς είχε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της εργασίας. Πρόσφερε τις κατάλληλες γνώσεις και βοήθεια, κατά τη διάρκεια της διάγνωσης. Ωστόσο, και τους καθηγητές, Ευτύχιο Κουτρούλη και Παναγιώτη Παναγιώτου για τις διορθώσεις στην τελική διάγνωση.

3 Ανάλυση Κινητήρων

3.1 Συμπιεστής CO₂

Ένας κομπρεσέρ διοξειδίου του άνθρακα (CO₂ Compressor) σε ένα πλοίο λειτουργεί για τη συμπίεση του CO₂, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες διεργασίες και εφαρμογές. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη συμπίεση του CO₂ για αποθήκευση ή μεταφορά, όπως για παράδειγμα σε συστήματα ψύξης ή κλιματισμού. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει πίεση για εφαρμογές στο πλοίο, όπως για τη λειτουργία εξοπλισμού ή τον έλεγχο του συστήματος. Η λειτουργία του κινητήρα εξαρτάται από τις ανάγκες του πλοίου και τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται.

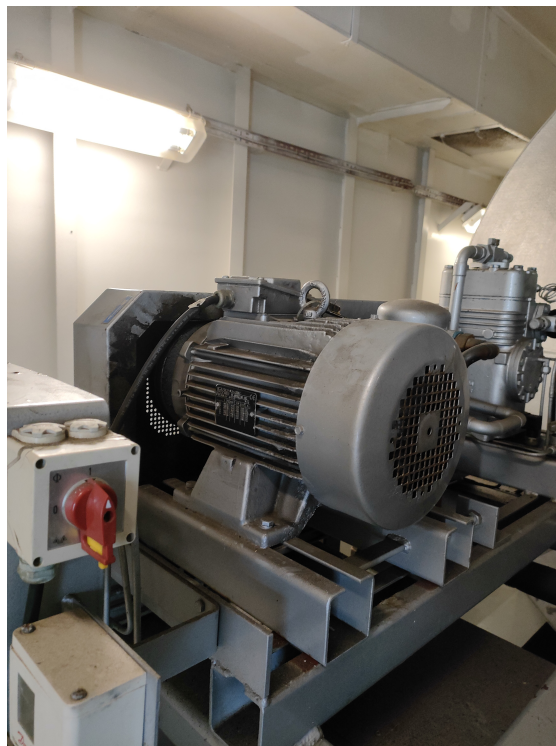


Figure 13: CO₂ Compressor motor

3.1.1 Κομπρεσέρ CO2 Νο1

	V	Hz	min ⁻¹	kW	cosφ	A
Δ	380	50	1430	5.50	0.86	11.7
Δ	400	50	1440	5.50	0.84	11.2
Δ	690	50	1440	5.50	0.84	6.50
Δ	440	60	1725	6.60	0.88	11.9
Δ	450	60	1730	6.60	0.87	11.7
Δ	460	60	1735	6.60	0.85	11.5

Figure 14: Label CO2

Σύμφωνα με το Label του κινητήρα και τη χρήση του, λειτουργεί στα 440V σε συνδεσμολογία Τριγώνου. Ο κινητήρας είναι τετραπολικός, σύμφωνα με τον τύπο:

$$n_s = \frac{60 * f_s}{p}, f_s = 60Hz, n_s = 1800rpm$$

Για τον υπολογισμό της μεικτής εκκεντρότητας, ισχύει ότι

$$f_{ecc2L} = f_s - \frac{k f_r}{p}$$

$$f_{ecc2H} = f_s + \frac{k f_r}{p}$$

Εφόσον είναι τετραπολικός θα πρέπει να είναι κοντά στις συχνότητες.

$$f_{ecc2L} = f_s - \frac{k f_r}{p} \approx 30 Hz$$

$$f_{ecc2H} = f_s + \frac{k f_r}{p} \approx 90 Hz$$

Με $k=1$ και $f_r = \frac{1-s}{p} * f_s$ υπολογίστηκε η ολίσθηση στον συγκεκριμένο κινητήρα ως $s = 0.01$.

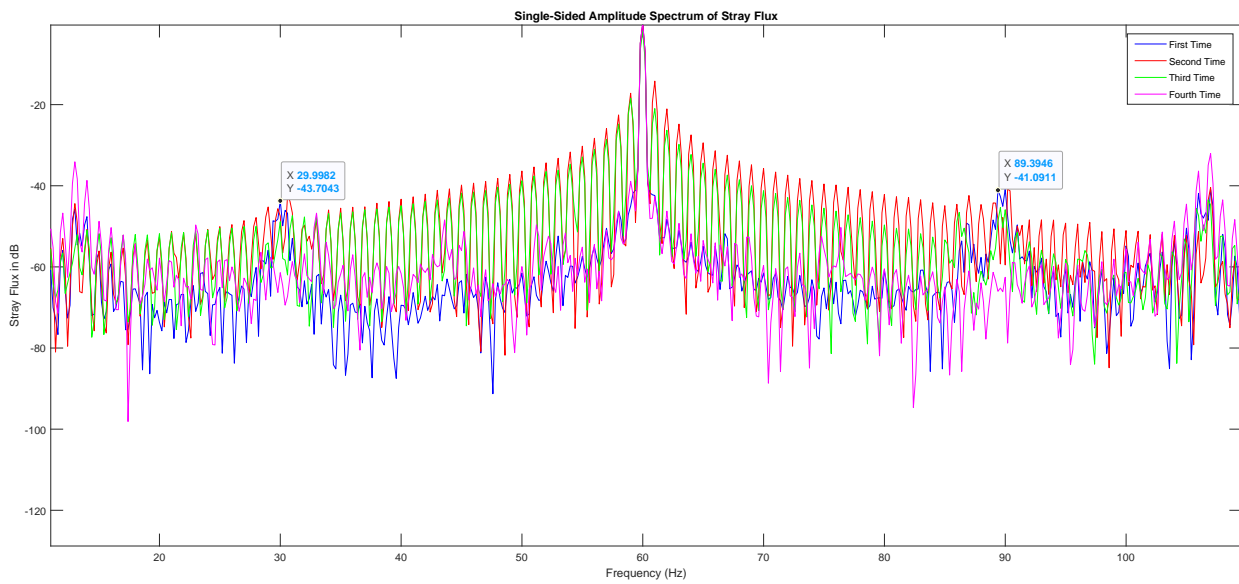


Figure 15: Αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας CO2 Compressor No1

Για την εύρεση της μεγαλύτερης RSH χρησιμοποιήθηκε η μαγνητική ροή, καθώς το πλάτος της εκκεντρότητας είναι μεγαλύτερο σε σχέση με των αρμονικών του ρεύματος.

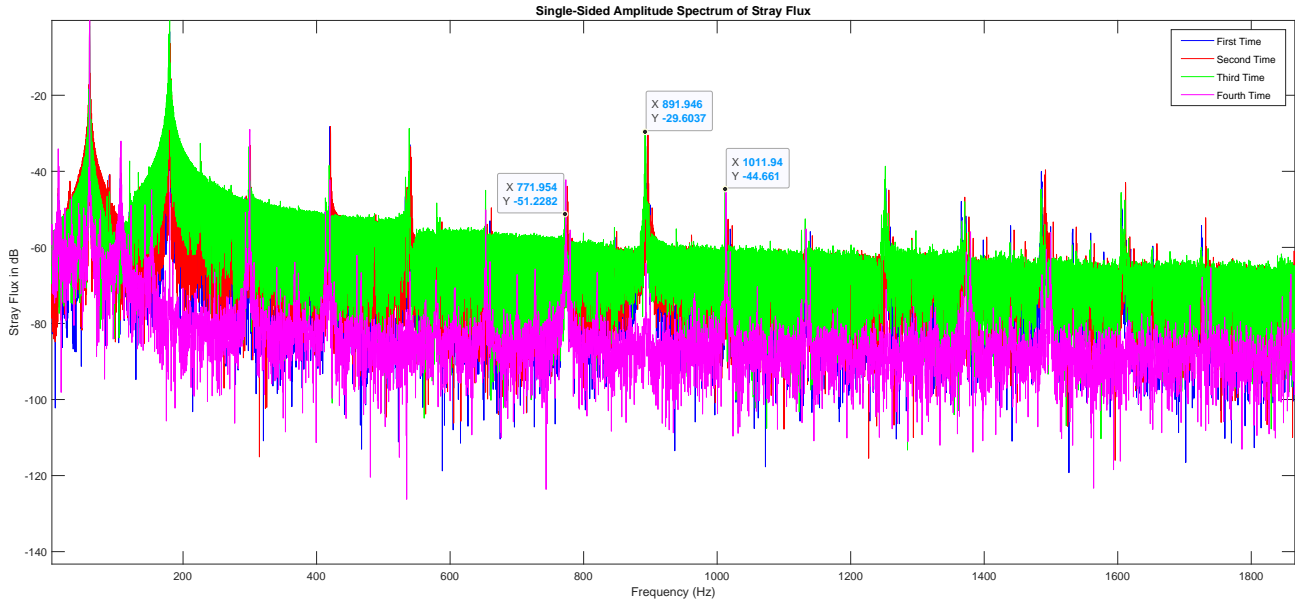


Figure 16: RSH αρμονικές της μαγνητικής ροής

Χρησιμοποιώντας και τον τύπο για τις PSH:

$$f_{PSH} = \left[(R \pm n_d) \cdot \frac{1-s}{p} \pm 2n_{sa} \pm n_{ws} \right] f_s \quad (1)$$

Με $n_{sa} = 0$ και $n_{ws} = 1$, $n_d = 0$ οι μπάρες δρομέα είναι $R = 28$.

Ο αριθμός αυτών των μπαρών ανήκει στην R_{UPSH} , οπότε εμφανίζει PSH . Οι F_{PSH} είναι οι $F_{PSH_L} = 773.354Hz$ και $F_{PSH_H} = 893.146Hz$.

Ακολουθούν οι κυματομορφές των τριών φάσεων μέχρι και την εμφάνιση της τρίτης αρμονικής.

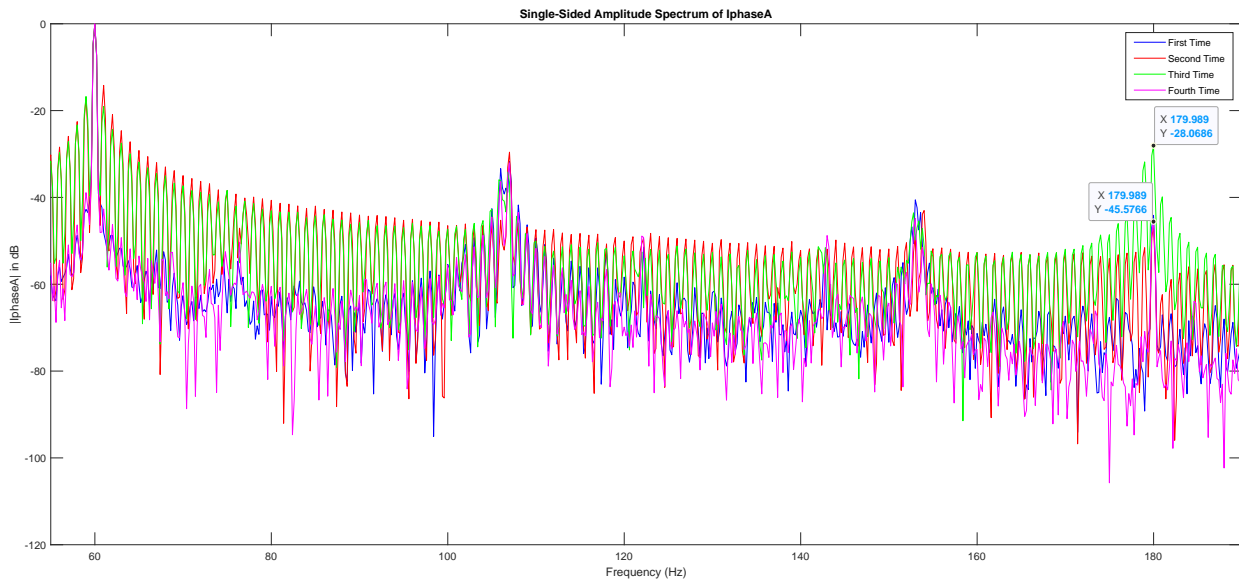


Figure 17: Τρίτη Αρμονική στη πρώτη φάση ρεύματος

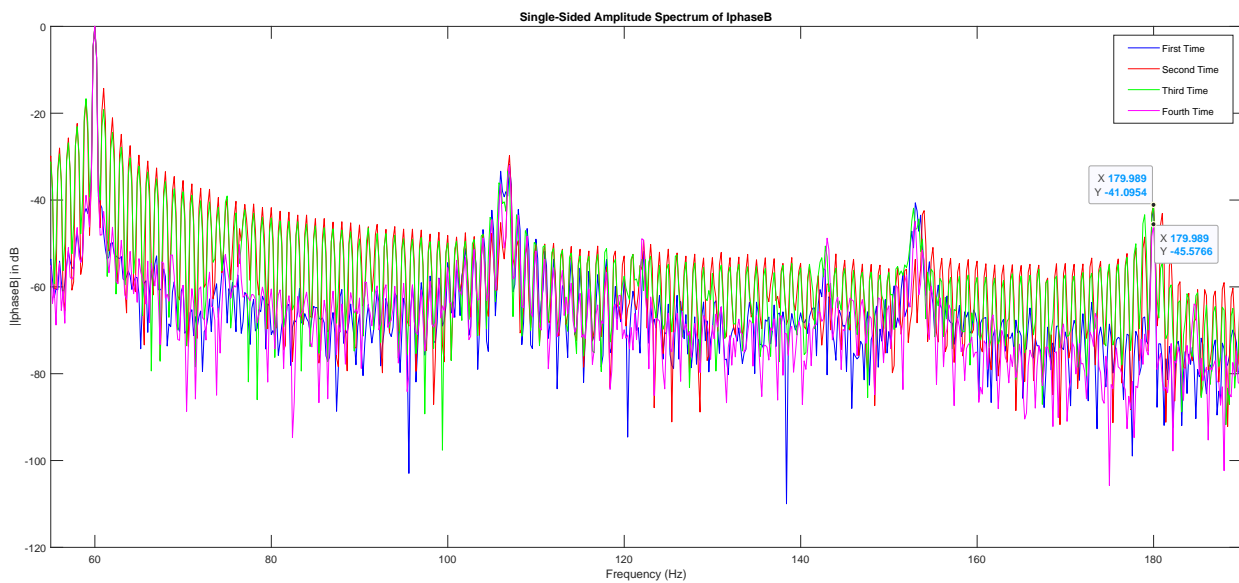


Figure 18: Τρίτη Αρμονική στη δεύτερη φάση ρεύματος

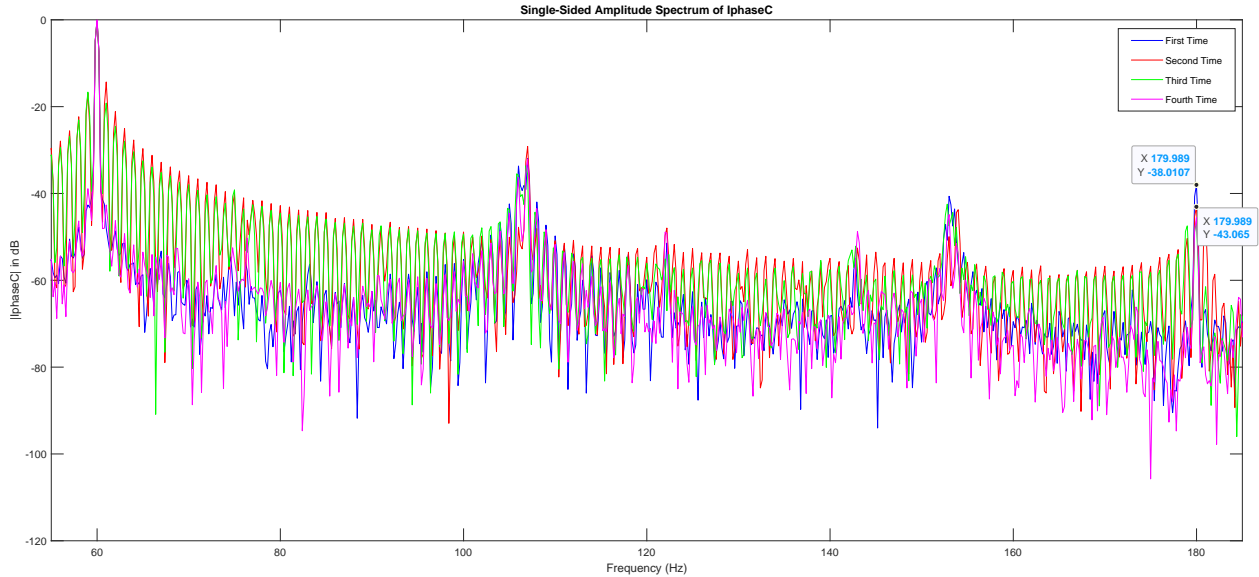


Figure 19: Τρίτη Αρμονική στη τρίτη φάση ρεύματος

Η τρίτη αρμονική όπως αναμενόταν θα έπρεπε να είναι χαμηλή σε όλες τις φάσεις, καθώς στην τρίτη αρμονική τα τρία ρεύματα φάσεων αλληλοαναιρούνται μεταξύ τους (ίσο ρεύμα στάτη). Ωστόσο, παρατηρείται στην πρώτη φάση, αύξηση της τρίτης αρμονικής μόνο στην τρίτη μέτρηση, κάτι το οποίο δηλώνει ασυμμετρία μεταξύ των ρευμάτων. Για τη σωστή εξακρίβωση, υπολογίζονται οι rms τιμές, καθώς και τα φάσματα των ρευμάτων στην τρίτη και την τέταρτη μέτρηση.

Table 1: Rms values

<i>Iphase</i>	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>	<i>fourth</i>
A	6.32	6.66	3.83	6.71
B	6.43	6.69	6.34	6.87
C	6.55	6.50	6.10	6.60

Παρατηρείται έντονη διαφορά των rms τιμών από την ονομαστική κάθε φορά, το οποίο είναι λογικό καθώς δεν λειτουργεί ο κινητήρας στην ονομαστική ταχύτητα.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται τα ρεύματα της κάθε φάσης στην τρίτη και τέταρτη μέτρηση. Παρατηρείται, ότι το πλάτος της πρώτης φάσης στην τρίτη μέτρηση είναι πιο μικρό σε σχέση με την τελευταία μέτρηση figure 5(a).

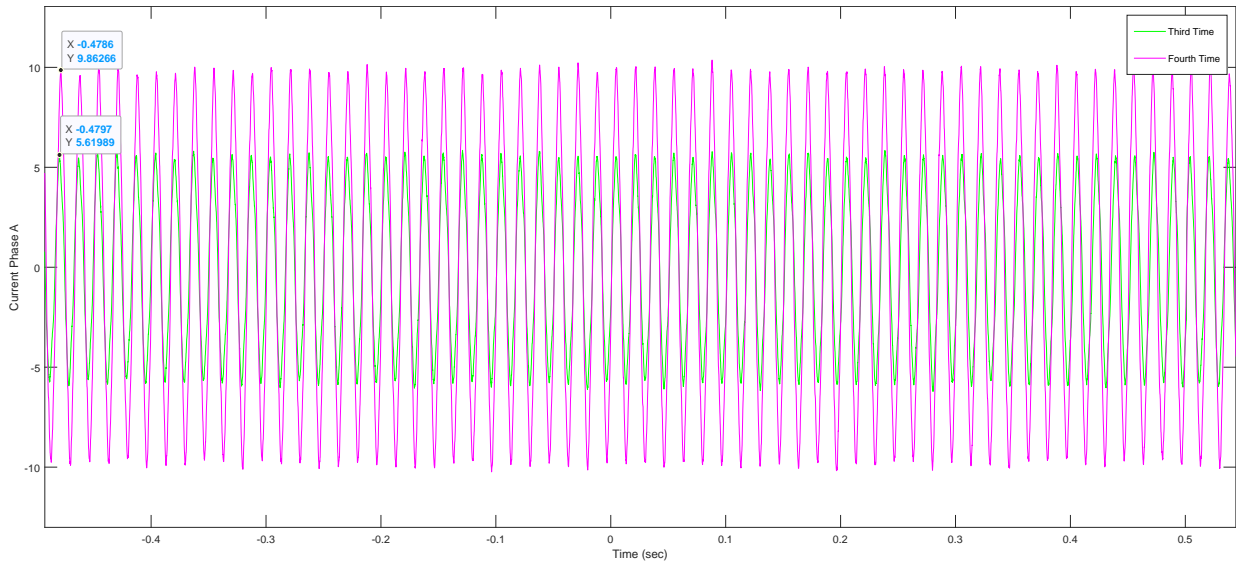


Figure 20: Τρίτη Αρμονική στη τρίτη φάση ρεύματος

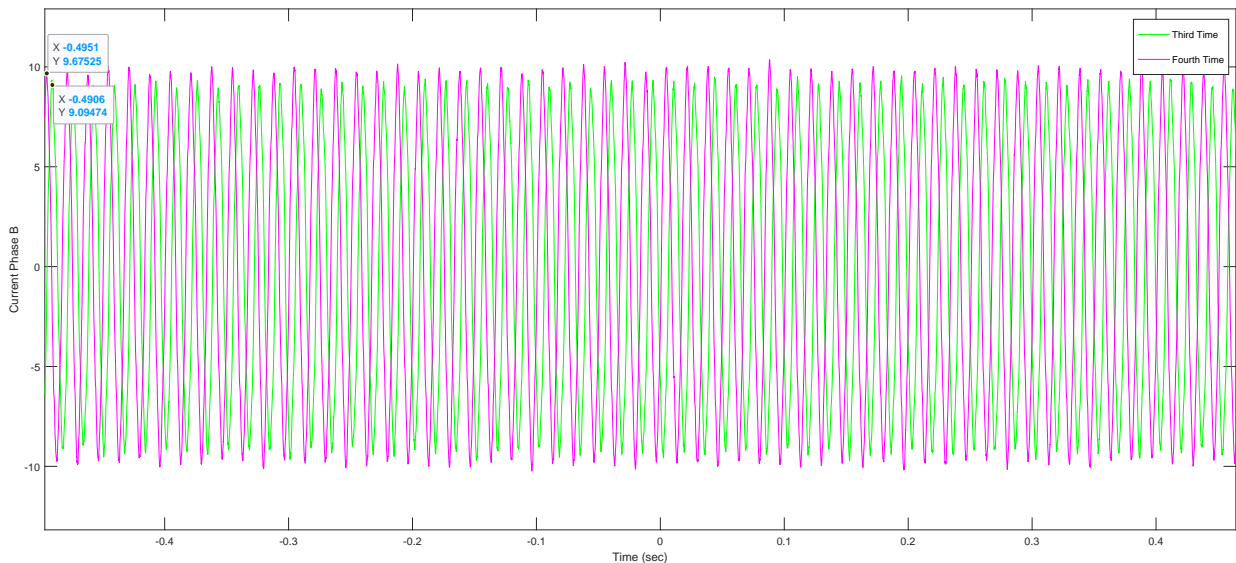


Figure 21: Τρίτη Αρμονική στη τρίτη φάση ρεύματος

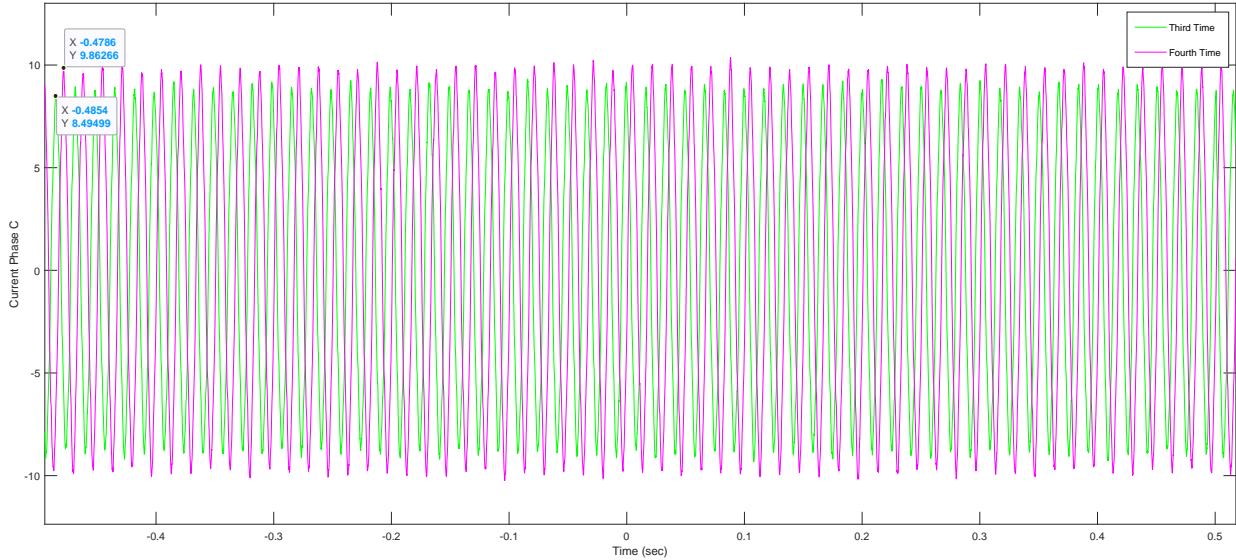


Figure 22: Τρίτη Αρμονική στη τρίτη φάση ρεύματος

Αυτή η έντονη διαφορά του πλάτους που προκύπτει στην τρίτη μέτρηση, προκύπτει από διαταραχές στο Δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, διαφορετικοί παράγοντες μπορούν να δημιουργήσουν διαταραχές στο δίκτυο, όπως ασυμμετρίες στις τάσεις των φάσεων, διακυμάνσεις στη συχνότητα του δικτύου, παρουσία υψηλών αρμονικών λόγω της χρήσης μη γραμμικών φορτίων και άλλα. Αυτές οι διαταραχές μπορούν να επηρεάσουν το σχήμα του ρεύματος που καταναλώνει ο κινητήρας, περιλαμβανομένης της τρίτης αρμονικής.

Στη συνέχεια, γίνεται η διαδικασία υπολογισμού εύρεσης συχνοτήτων σπασμένης μπάρας, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$f_{bb} = \left[\frac{k}{p} \cdot (1 - s) \pm s \right] \cdot f_s \quad , \quad \frac{k}{p} \varepsilon N \quad (2)$$

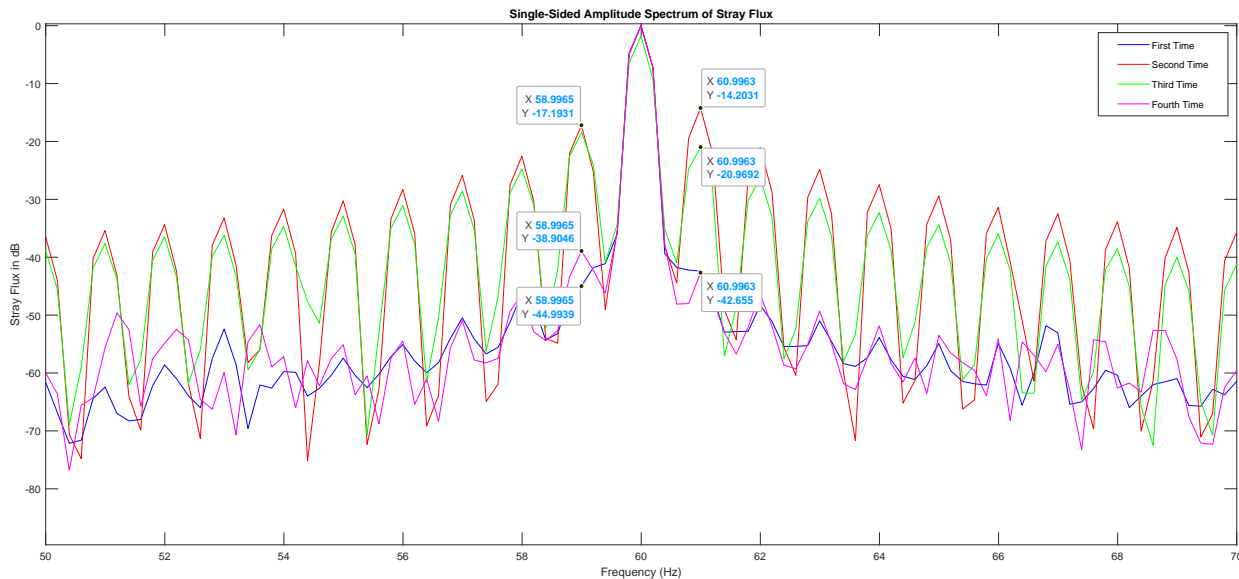


Figure 23: Αρμονικές που εμφανίζουν σπασμένες μπάρες

Εμφανίζονται όντως αρμονικές κοντά στις συχνότητες σπασμένης μπάρας. Στην πρώτη μέτρηση φυσικά δεν εμφανίζει καμία αρμονική που να ξεπερνάει τα 40dB, οπότε να είναι και υγιής. Στη δεύτερη και στην τρίτη όμως υπάρχει τεράστια διαφορά, καθώς οι αρμονικές είναι κοντά στα 15dB. Αν δεν είχε γίνει η τελευταία μέτρηση θα ήταν σίγουρο σφάλμα σπασμένης μπάρας και θα έπρεπε να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες αντικατάστασης του κινητήρα ή αν γίνεται των μπαρών. Η τελευταία μέτρηση δείχνει, χωρίς να έχει γίνει κάποια συντήρηση (π.χ. αλλαγή bearing) ή αλλαγή του κινητήρα ή μέρος του συστήματος συμπίεσης CO₂, να επανέρχονται οι αρμονικές στην υγιή κατάσταση.

Υπάρχουν διάφορα ενδεχόμενα για την σωστή αξιολόγηση του ζητήματος. Πιο συγκεκριμένα,

- Η ύπαρξη μαγνητικής ασυμμετρίας, μπορεί να προκαλέσει αύξηση των f_{bb} . Μπορεί να αυξηθεί είτε (i) εάν ο αριθμός των αξονικών αεραγωγών και των πόλων είναι πανομοιότυπος, προκαλώντας, έτσι, η μαγνητική αντίσταση του μονοπατιού του ρεύματος να αλλάζει ανάλογα με την αντίστοιχη θέση μεταξύ του δρομέα και του περιστρεφόμενου πεδίου. (ii) Είτε λόγω της μη ιδανικής μαγνητική ανισοτροπίας του πυρήνα του δρομέα. (iii) Είτε λόγω της ελλειπτικής μορφής του πυρήνα του δρομέα [6]-[11]. Αυτές, όμως, θα έδειχναν μόνιμα τη εμφάνιση αρμονικών σπασμένης μπάρας. Φυσικά, ο συγκεκριμένος κινητήρας δεν υπάρχει περίπτωση

να έχει αξονικούς αεραγωγούς, λόγω του μεγέθους του(είναι συνηθισμένο σε μεγαλύτερους κινητήρες). .

- Όταν υπάρχουν χαμηλές συχνότητες ταλαντώσεων φορτίου λόγω μείωσης ταχύτητας συζεύξεων ή ταλαντώσεις ροπής φορτίου παράγουν συνιστώσες σπασμένης μπάρας εμφανίζοντας, έτσι, ενδείξεις λανθασμένου σφάλματος [2],[3],[4]. Ο πιο εύκολος τρόπος να διακριθούν οι συναγερμοί βλάβης του δρομέα και οι δονήσεις του φορτίου σε πραγματικό χρόνο είναι να συγκριθούν τα αποτελέσματα της MCSA κάτω από δύο διαφορετικές συνθήκες φορτίου [5]. Η μεταβολή του f_{brb} στις τελευταίες μετρήσεις έχει μεγάλη διαφορά, καθώς και σε κάθε μέτρηση με την προηγούμενη.
- Ανησυχίες για την πορότητα μπορεί να επιδεινώσει την απόδοση και τα χαρακτηριστικά ροπής και να εισάγει δονήσεις. Εάν η πορότητα δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη, εισάγει ηλεκτρική ασυμμετρία στον ροτόρα και δημιουργεί τα στοιχεία f_{brb} που παράγουν ψευδείς συναγερμούς βλάβης. Αυτή είναι μια πολύ συνηθισμένη αιτία ψευδών συναγερμών σε μηχανές με δρομείς από χυτό αλουμίνιο.

Από τα παραπάνω ενδεχόμενα, χωρίς να έχει ανοίξει ακόμα ο κινητήρας και με τα δεδομένα που διαθέτουμε, το πιο πιθανό είναι να υπάρχουν χαμηλές συχνότητες ταλαντώσεων φορτίου. Το αποτέλεσμα είναι πιθανό να προκύπτει από τις δονήσεις που δέχεται ο κινητήρας εν κινήσει του πλοίου.

Υπάρχουν αρμονικές που δεν είναι πολλαπλάσιες της βασικής αρμονικής (12.9992, 106.994), και μάλιστα έχουν κοντά την ίδια απόσταση της βασικής. Αυτό σημαίνει ότι ο κινητήρας λειτουργεί σε διαφορετική ταχύτητα. Ακόμη, φαίνεται ότι στις συγκεκριμένες συχνότητες είναι μεγαλύτερο το πλάτος τους στις φάσεις του ρεύματος. Κάτι το οποίο δείχνει ότι μπορεί να είναι μηχανικό σφάλμα. Βέβαια, αν δεν είναι σωστή η ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα του φορτίου μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο μηχανικό στρες.

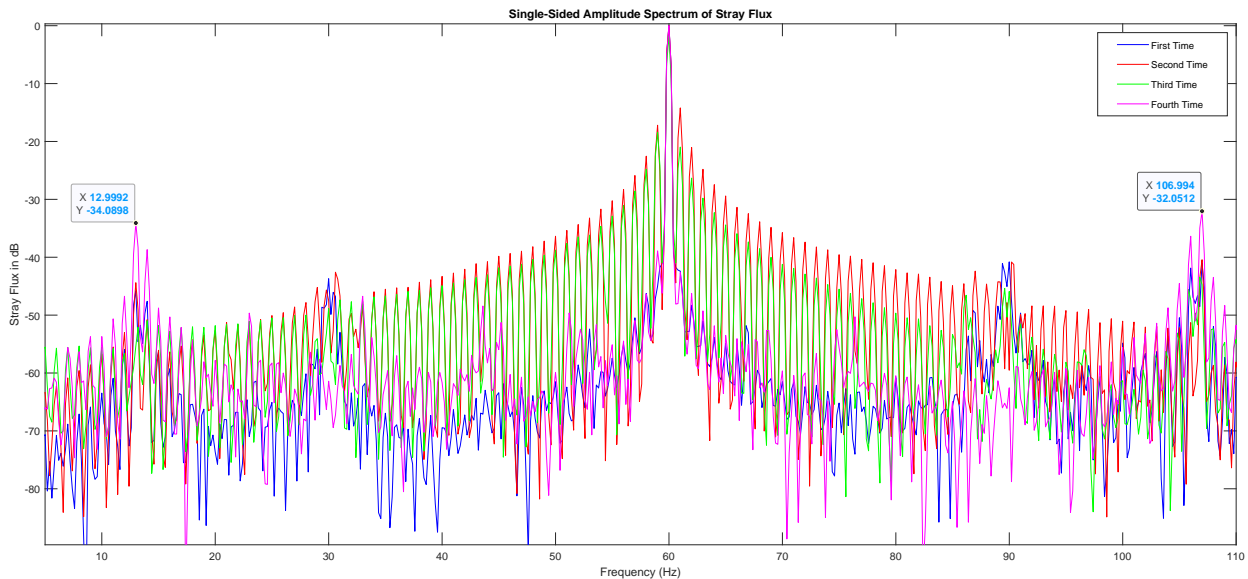


Figure 24: Συχνότητες που εμφανίζουν μηχανικά σφάλματα στη μαγνητική ροή

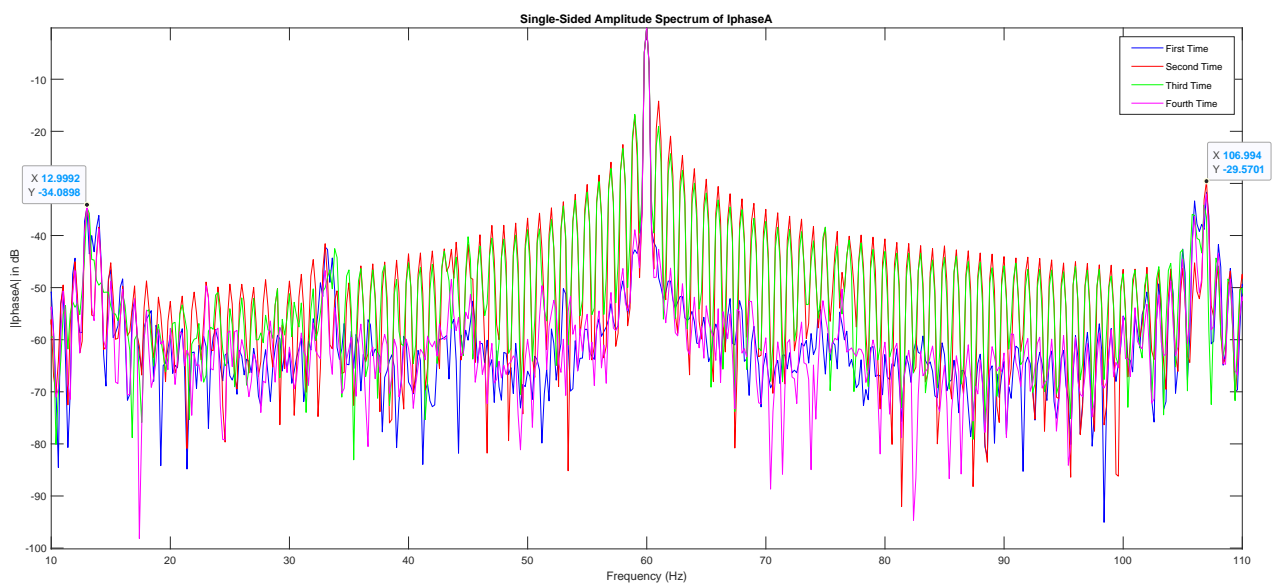


Figure 25: Συχνότητες που εμφανίζουν μηχανικά σφάλματα στο ρεύμα

Σύμφωνα, με την προηγούμενη παρατήρηση είναι πολύ πιθανό να μην υπάρχει σωστή ευθυγράμμιση του άξονα. Πιο συγκεκριμένα:

- Είτε από περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υγρασία, η υγρασία ή η έκθεση σε ακατάλληλα

χημικά, μπορεί να επιταχύνουν τη διάβρωση και την υποβάθμιση των συστατικών, οδηγώντας στη μη ευθυγράμμιση.

- Οι εγκαταστάσεις στον εξωτερικό χώρο μπορεί να είναι ευάλωτες σε δονήσεις που προκαλούνται από τον άνεμο ή τη σεισμική δραστηριότητα, που μπορεί να συμβάλει στην ευθυγράμμιση.
- Είτε η φθορά και η αποσύνθεση των συστατικών με την πάροδο του χρόνου μπορεί να συμβάλει στην ευθυγράμμιση του άξονα. Συστατικά όπως τα ρουλεμάν, οι συζεύκτες ή οι άξονες μπορεί να υποστούν φθορά.
- Η μη σωστή ευθυγράμμιση κατά την αρχική εγκατάσταση

Η μη σωστή ευθυγράμμιση του άξονα, όμως, δεν μπορεί να είναι ως ενδεχόμενο σφάλματος, καθώς θα έδειχνε μόνιμα αύξηση των συχνοτήτων σπασμένης μπάρας, ενώ υπάρχει περίοδος υγειούς συνθήκης.

Η ζήτηση για CO₂ μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις του πλοίου. Κατά ορισμένες φάσεις λειτουργίας, όπως η φόρτωση ή η εκφόρτωση εμπορεύματος, η ζήτηση για CO₂ μπορεί να αλλάξει, επηρεάζοντας το φορτίο στον συμπιεστή.

Εν κατακλείδι, την ώρα της μέτρησης υπήρξαν διαταραχές στο Δίκτυο την τρίτη μέτρηση σίγουρα, και γενικά υπήρχαν χαμηλές συχνότητες ταλαντώσεων φορτίου, λόγω μείωσης ταχύτητας συζεύξεων ή ταλαντώσεις ροπής φορτίου. Από προσωπική άποψη, το σύστημα του κινητήρα υπέστει κάποιες ταλαντώσεις, λόγω δονήσεων που είχε το πλοίο εν κινήσει, με αποτέλεσμα να υπάρχει και διαταραχή στη ροπή[13].

Βέβαια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της EPVA για εξακρίβωση των προηγούμενων αποτελεσμάτων.

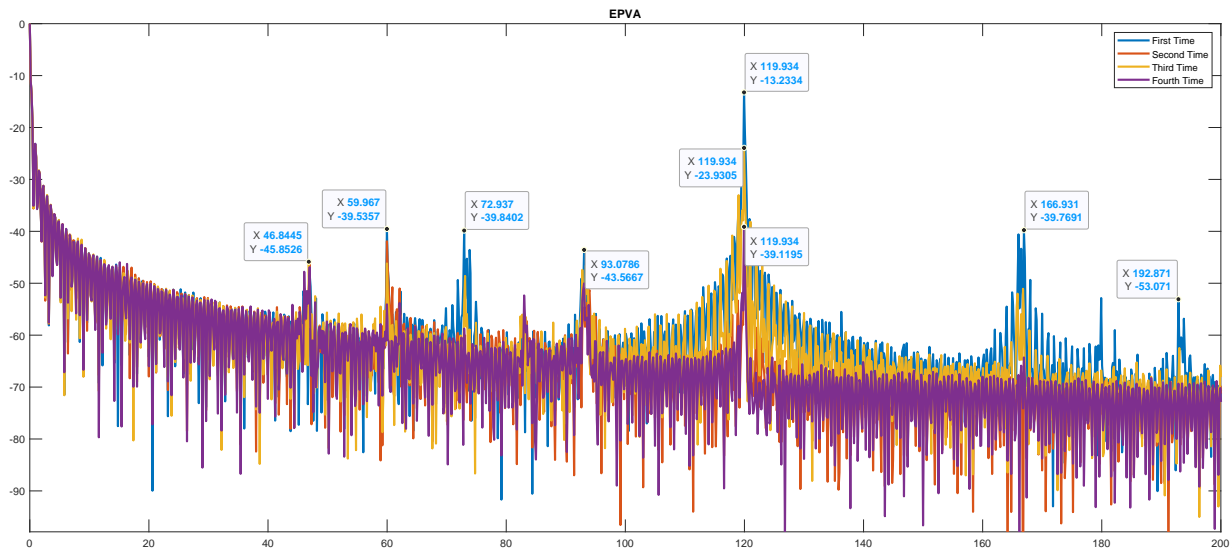


Figure 26: Extended Park's Vector Approach

Γενικά, παρατηρούνται πολλές αρμονικές και με μεγάλα πλάτη. Τα περισσότερα αποτελούν μηχανικού σφάλματος που είναι όμοια με του επόμενου κινητήρα, γι'αυτό και αναλύονται σε αυτόν. Στον CO2 No1 θα δωθεί έμφαση στα 119.934Hz, αρμονική που ισοδυναμεί με την 3η αρμονική και στην MCSA. Παρατηρείται ότι το πλάτος ειδικά μεταξύ τρίτης και τέταρτης μέτρησης, όντως, έχει τεράστια διαφορά επιβεβαιώνοντας, έτσι, την τριφασική ασυμμετρία που προαναφέρθηκε.

3.1.2 Κομπρεσέρ CO2 No2

Ο συγκεκριμένος κινητήρας, έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με τον προηγούμενο. Με ίδιο αριθμό μπαρών $R=28$, ολίσθηση $s = 0.01$. Ο συγκεκριμένος κινητήρας δεν εμφανίζει βέβαια αύξηση τρίτης αρμονικής όπως φαίνεται και στις ακόλουθες κυματομορφές, σε καμία μέτρηση.

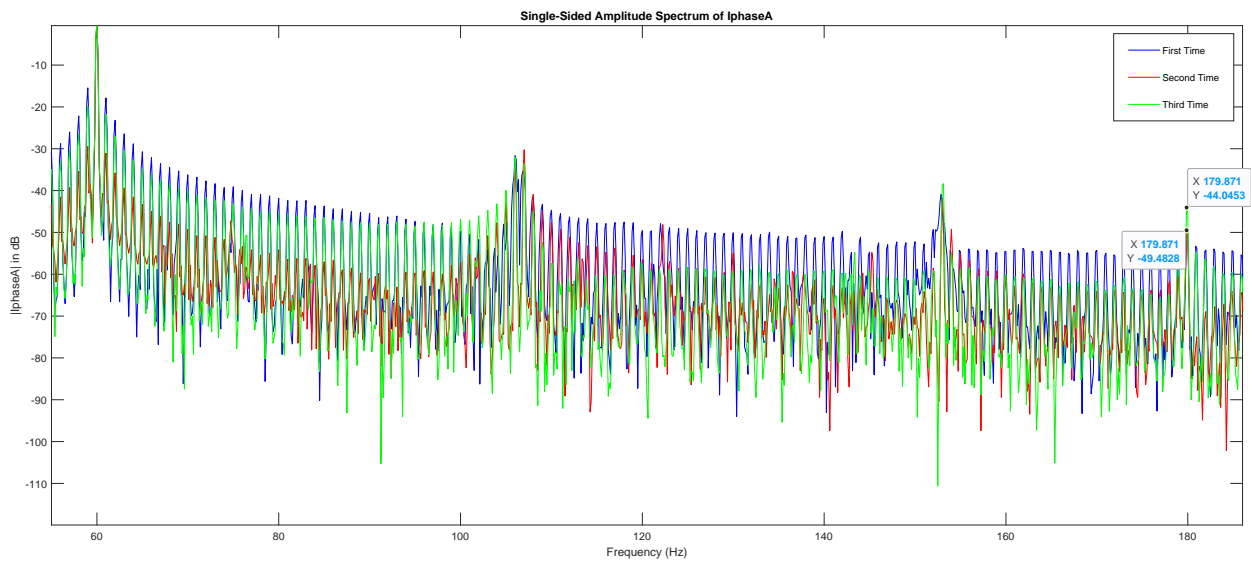


Figure 27: Κυματομορφή πρώτης φάσης ρεύματος σε dB

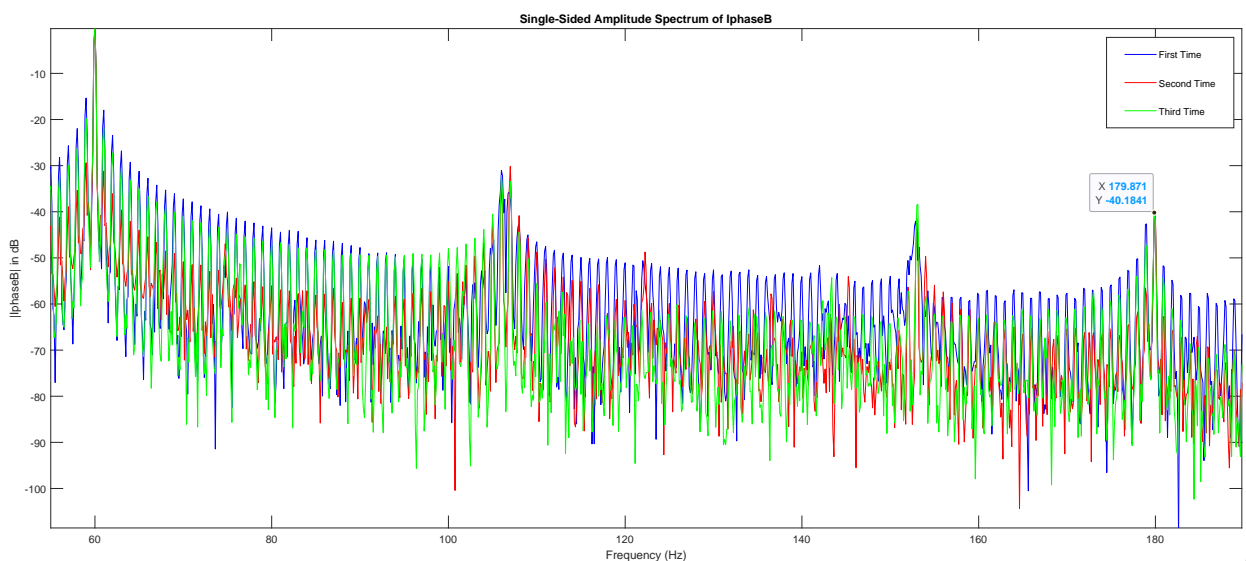


Figure 28: Κυματομορφή δεύτερης φάσης ρεύματος σε dB

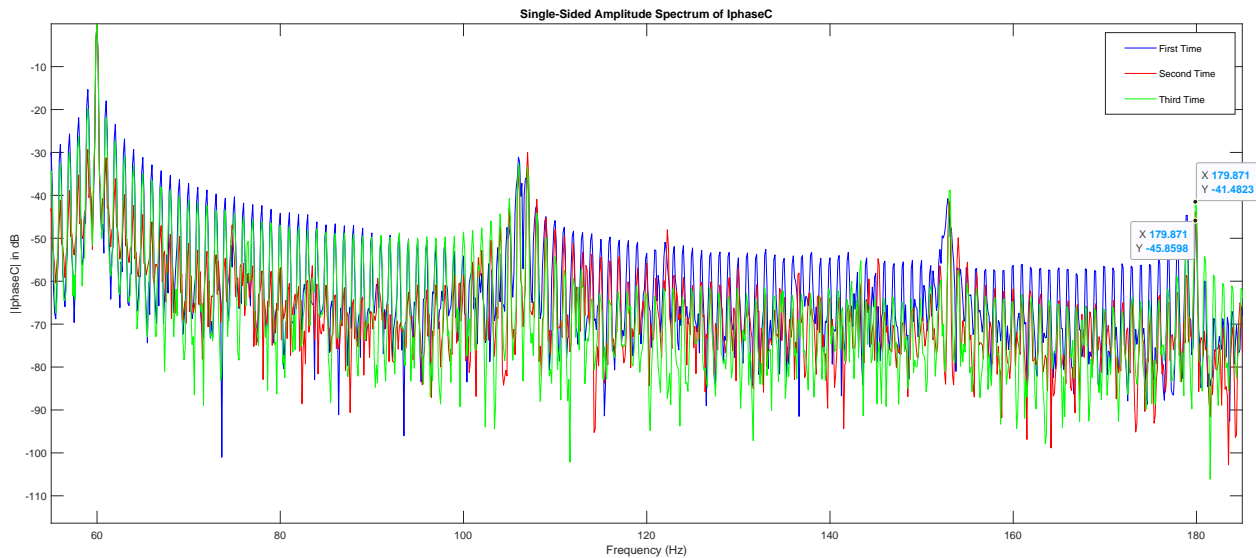


Figure 29: Κυματομορφή τρίτης φάσης ρεύματος σε dB

Η τρίτη αρμονική είναι όντως πολύ χαμηλή όπως αναμένεται. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται και οι RMS τιμές των ρευμάτων.

Table 2: Rms values

I_{phase}	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>
A	7.19	6.93	6.79
B	7.21	6.87	6.96
C	7.11	6.76	6.69

Οι τιμές είναι κοντά μεταξύ τους και είναι λογικό, εφόσον κάθε φορά η τρίτη αρμονική σε κάθε μέτρηση είναι πολύ χαμηλή.

Παρ'όλα αυτά, παρατηρούνται κοινές αρμονικές και στους δύο κινητήρες. Αρμονικές σε συχνότητες που δεν έχουν σχέση με την βασική.

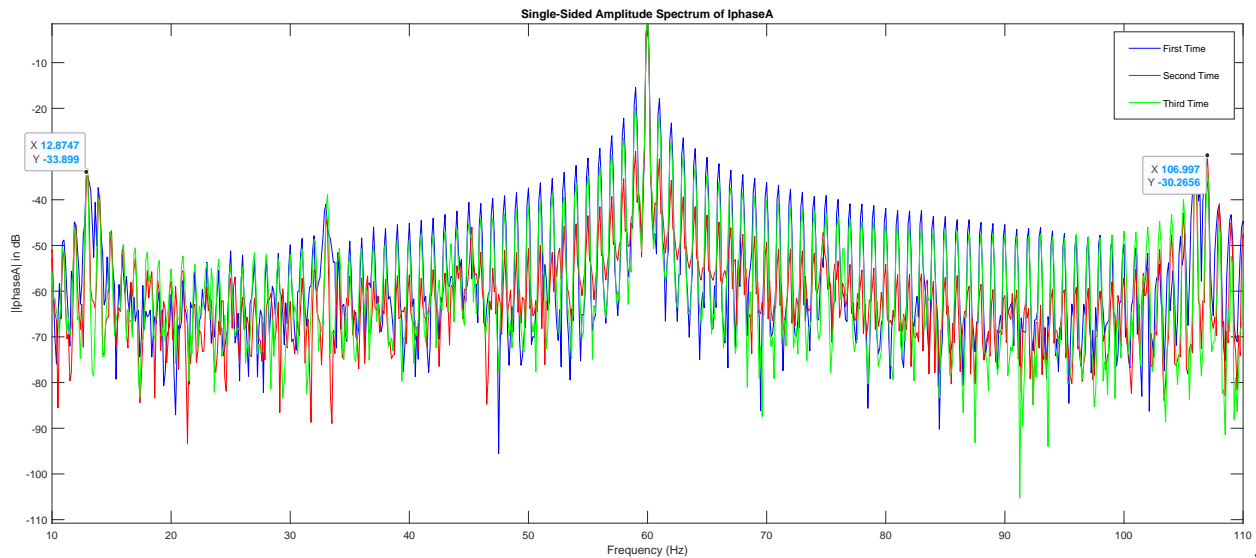


Figure 30: Αρμονικές μηχανικού σφάλματος

Θα γίνει ανάλυση στην δεύτερη μέτρηση του δεύτερου κινητήρα που είναι πιο εμφανή τα δεδομένα, αν και ισχύει και για τους δύο κινητήρες.

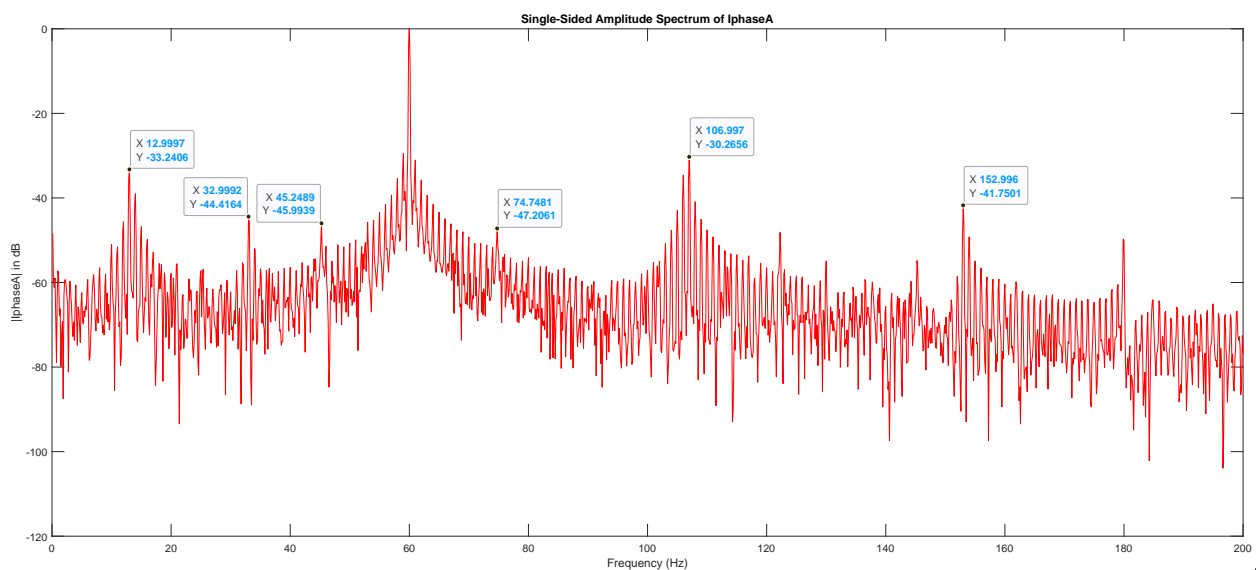


Figure 31: Αρμονικές μηχανικού σφάλματος

Η πρώτη μεγάλη αρμονική εμφανίζεται αριστερά της βασικής στα 45.25Hz, που είναι $f_s - f_o$, $f_o = 14.75Hz$. Αν προστεθεί αυτή η τιμή f_o με την βασική και στα δεξιά της εμφανίζεται ψηλή αρμονική

στα 74.75Hz. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθεί ο πίνακας με όλες τις αρμονικές και τα πλάτη τους.

Table 3: MCSA αρμονικές και πλάτη

$f_s - 3f_o$	$f_s - 2f_o$	$f_s - f_o$
-33.24	-44.4	-45.99
$f_s + f_o$	$f_s + 3f_o$	
-47.2	-30.27	

Αυτές οι αρμονικές, δεν είναι ούτε εμφάνισης σπασμένης μπάρας, ούτε εκκεντρότητας, είναι μηχανικού σφάλματος. Το πρώτο μηχανικό σφάλμα που έρχεται στο μυαλό είναι, το σφάλμα στα ρουλεμαν [12]. Οι ιδιότητες του μηχανικού συστήματος είναι άγνωστες και περιλαμβάνουν πολλούς διαφορετικούς τύπους ρουλεμάν, κυρίως: ρουλεμάν κινητήρα, ρουλεμάν άξονα και ρουλεμάν αντλίας. Γι'αυτό, θα υπολογιστεί σε ποιο σημείο υπάρχει το σφάλμα.

$$f_{bearings} = f_s \pm m \cdot f_{i,o,c} \quad (3)$$

με $m = 1, 2, 3, \dots$ και $f_{i,o}$ και f_c :

$$f_{i,o} = \frac{N_b}{2} \cdot f_r \left[1 \pm \frac{D_b}{D_c} \cdot \cos\beta \right] \quad (4)$$

$$f_c = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{D_b}{D_c} \cdot \cos\beta \right] \quad (5)$$

με N_b ο αριθμός των μάλων του ρουλεμάν, f_r η μηχανική συχνότητα του δρομέα, D_b η διάμετρος της μπάλας, D_c η διάμετρος στο ερμάρι και β η κλίση της κάθε μπάλας.

Σύμφωνα με το [12], προκύπτουν κάποιες ιδανικές τιμές για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων, και προκύπτει:

$$\begin{cases} f_o = 0.4N_b f_r \\ f_i = 0.6N_b f_r \\ f_c = 0.4f_r \end{cases}$$

Για $6 < N_b < 12$, τότε προκύπτουν οι παρακάτω συχνότητες για διαφορετικό N_b .

Table 4: Υπογραφές Βλαβών των Ρουλεμάν (Hz)

<i>balls</i>	6	7	8	9	10	11	12
$ f_s - f_o $	11.28	23.16	35.04	46.92	58.8	70.68	82.56
$ f_s + f_o $	134.28	143.16	155.04	166.92	178.8	190.68	202.56
$ f_s - f_i $	46.92	64.74	82.56	100.38	118.2	136.02	153.84
$ f_s + f_i $	166.92	184.74	202.56	220.38	238.2	256.02	273.84
$ f_s - f_c $	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12
$ f_s + f_c $	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88

Ο κύριος σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η ταύτιση των σφαλμάτων στις πιο ψηλές αρμονικές. Με βάση τον παραπάνω πίνακα για $f_s \pm f_o$ και $N_b = 8$, οι τιμές είναι αρκετά κοντά με τις ψηλές αρμονικές στα 32.99Hz και 152.99Hz. Ακόμη, και για $f_s \pm f_c$ είναι κοντά οι τιμές στις 45.25 και 74.75. Εφόσον, οι τιμές των εξισώσεων δεν είναι ακριβείς, είναι πολύ πιθανόν να είναι αυτές που αντιστοιχούν στον πίνακα. Με βάση το [12], ο κινητήρας έχει σίγουρα σφάλμα στην εξωτερική διαδρομή του ρουλεμάν, καθώς και στον θεμελιώδη κλωβό.

Βέβαια, παρατηρείται ένα μεγάλο πλάτος στις αρμονικές με συχνότητα 12.99 και 106.99. Εφόσον και αυτές οι συχνότητες δεν είναι πολλαπλάσιες της βασικής ή δεν είναι στις f_{bb} , πρέπει να είναι και αυτές μηχανικού σφάλματος. Ωστόσο, δεν αποτελούν κάποια τιμή του προηγούμενου πίνακα. Το [32] μας παροτρύνει σε σφάλμα στις εσωτερικές μπάλες του ρουλεμάν. Γενικά ισχύει ότι

$$f_{charact-OR,IR,cage,ball}^{\pm} = |vf_s \pm kf_{OR,IR,cage,ball}|$$

$$\text{Με } f_{ball} = \frac{D_c}{D_b} \cdot f_r \left[1 \pm \frac{D_b^2}{D_c^2} \cdot \cos^2 \beta \right]$$

Επειδή δεν υπάρχουν ιδανικές τιμές για f_{ball} , όπως οι προηγούμενες, εμπειρικά οι συχνότητες αυτές αποτελούν σφάλμα μπάλας ρουλεμάν.

Ακολουθεί η κυματομορφή του κινητήρα στις συχνότητες που εμφανίζουν σπασμένη μπάρα.

Εδώ αξίζει, να σημειωθεί, για να εξακριβωθεί και η εκτίμηση του προηγούμενου κινητήρα, ότι οι μετρήσεις με υψηλές αρμονικές στις συχνότητες σπασμένης μπάρας, ήταν όταν το πλοίο ήταν εν κινήσει. Καθώς, και όλες οι μετρήσεις του δεύτερου κινητήρα ήταν εν κινήσει. Πιο συγκεκριμένα,

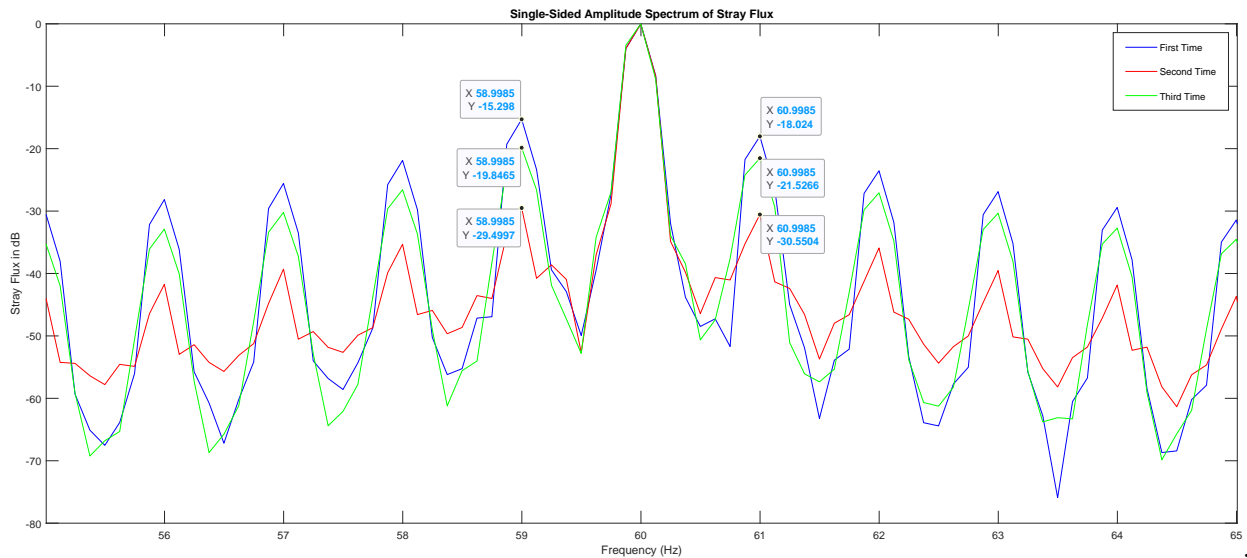


Figure 32: Συχνότητες εμφάνισης σπασμένης μπάρας

οι πρώτες μετρήσεις και των δύο ήταν την ίδια μέρα, αλλά ο πρώτος κινητήρας μετρήθηκε στο λιμάνι, ενώ ο δεύτερος εν πλω.

Μια πολύ καλή μέθοδος για να επιβεβαιωθεί εάν υπάρχει εμφάνιση σπασμένης μπάρας ή μηχανικού σφάλματος, είναι η EPVA. Η EPVA αποτελεί μία διαδεδομένη μέθοδος διάγνωσης σφάλματος, ειδικά στην περίπτωση λανθασμένων σφαλμάτων όπως στον συγκεκριμένο κινητήρα [24].

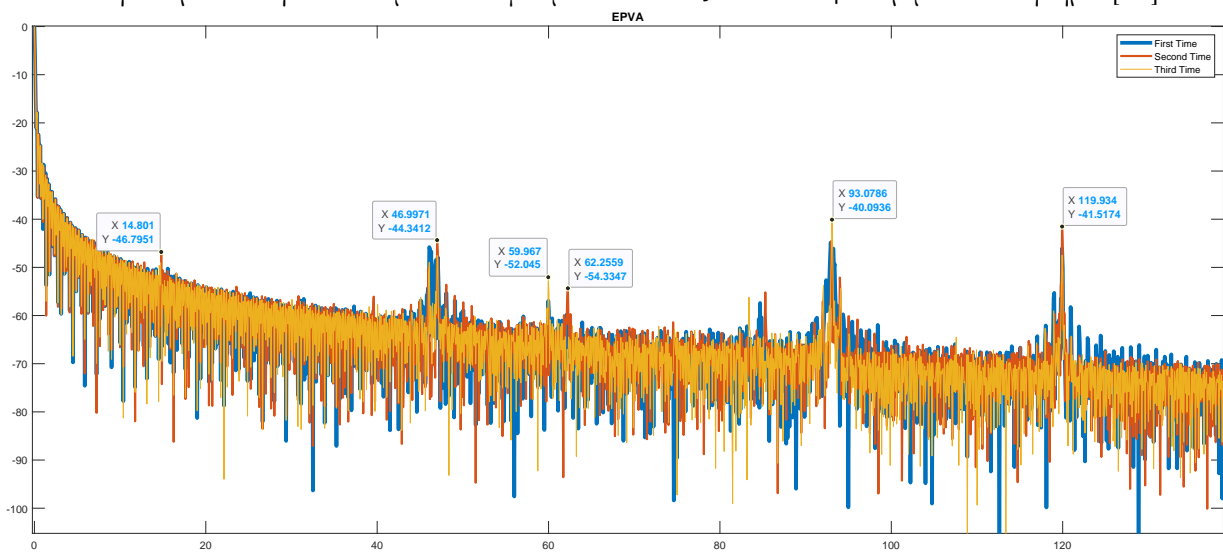


Figure 33: Extended Park's Vector Approach

Οι αρμονικές της EPVA αντιστοιχούν σε αυτές του MCSA, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Table 5: EPVA - MCSA (Hz)

<i>EPVA</i>	<i>MCSA</i>
14.8	74.8
46.9	106.9
59.9	119.9
93.08	152.9
119.9	179.9

Όπως παρατηρείται, η EPVA επιβεβαιώνει τις αυξημένες αρμονικές από τα σφάλματα του ρουλεμάν. Σε αντίθεση, με τον πρώτο κινητήρα δεν παρατηρείται αύξηση στα 119.9, με αποτέλεσμα να μην επιβεβαιώνει την τριφασική συμμετρία. Ωστόσο, στα 14.8 να εμφανίζει όντως σφάλμα βασικού κλωβού σε αντίθεση με τον προηγούμενο.



(a) Rotor Of CO2 Compressor



(b) Motor Bearing

Ο κινητήρας, όπως φαίνεται, έχει δεχτεί αρκετή ζημιά στην εξωτερική διαδρομή και στον θεμελιώδη κλωβό, και πολύ πιθανό και εσωτερικά στις μπάλες, επιβεβαιώνοντας, έτσι, τις προηγούμενες διαγνωστικές μεθόδους. Βέβαια, ανοίγωντας τον κινητήρα παρατηρείται ότι ο δρομέας δεν είναι από χαλκό, αλλά από αλουμίνιο. Αυτό, ίσως αποτελεί βασικός παράγοντας εμφάνισης πορότητας. Με αποτέλεσμα, οι αυξημένες αρμονικές εμφάνισης σπασμένης μπάρας δρομέα να μην είναι μόνο από τις δονήσεις, αλλά και λόγω πορότητας.

3.2 Κινητήρας Μεταφοράς Ντίζελ

Ο κινητήρας μεταφοράς ντίζελ (Diesel Oil Transfer Pump) είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ντίζελ από τους αποθηκευτικούς χώρους προς τους κινητήρες που λειτουργούν με ντίζελ σε ένα πλοίο. Λειτουργεί με τη χρήση ενός ηλεκτρικού ή πετρελαιοκινητήρα που κινεί έναν άξονα με έναν ή περισσότερους κυκλοφορητές. Ο κυκλοφορητής δημιουργεί ροή, η οποία μεταφέρει το ντίζελ μέσω σωλήνων από τους αποθηκευτικούς χώρους προς τους κινητήρες. Ο κινητήρας αυτός είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία των κινητήρων που λειτουργούν με ντίζελ και τη διασφάλιση της σταθερής παροχής καυσίμου για την κίνηση του πλοίου.



Figure 35: Diesel Oil Transfer Pump

Table 6: Ονομαστικές τιμές κινητήρα

<i>Amperes</i>	<i>RPM</i>	<i>Voltage</i>	<i>PF</i>	<i>Power</i>
12A	1680	440V	0.8	6.6kW

Με την ίδια διαδικασία, που χρησιμοποιήθηκε στον πρώτο κινητήρα η ολίσθηση είναι $s = 0.01$. Ακολουθεί ο FFT της μαγνητικής ροής στις αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας.

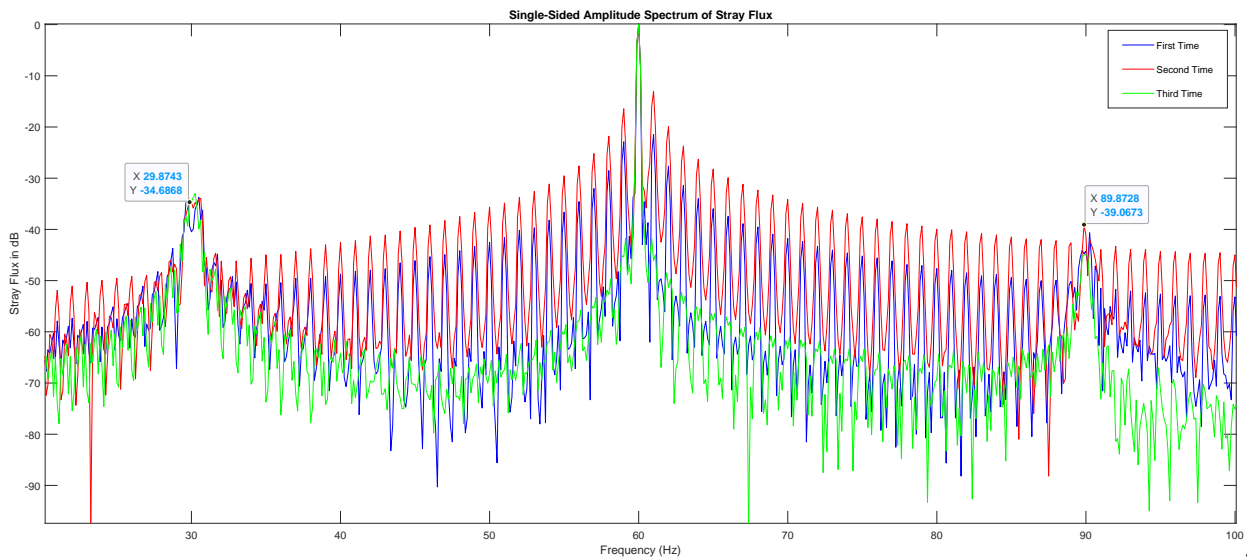


Figure 36: Κυματομορφές με αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας

Στη συνέχεια, υπολογίζονται ο αριθμός των μπαρών R , με τη χρήση των RSH τιμών όπως φαίνονται.

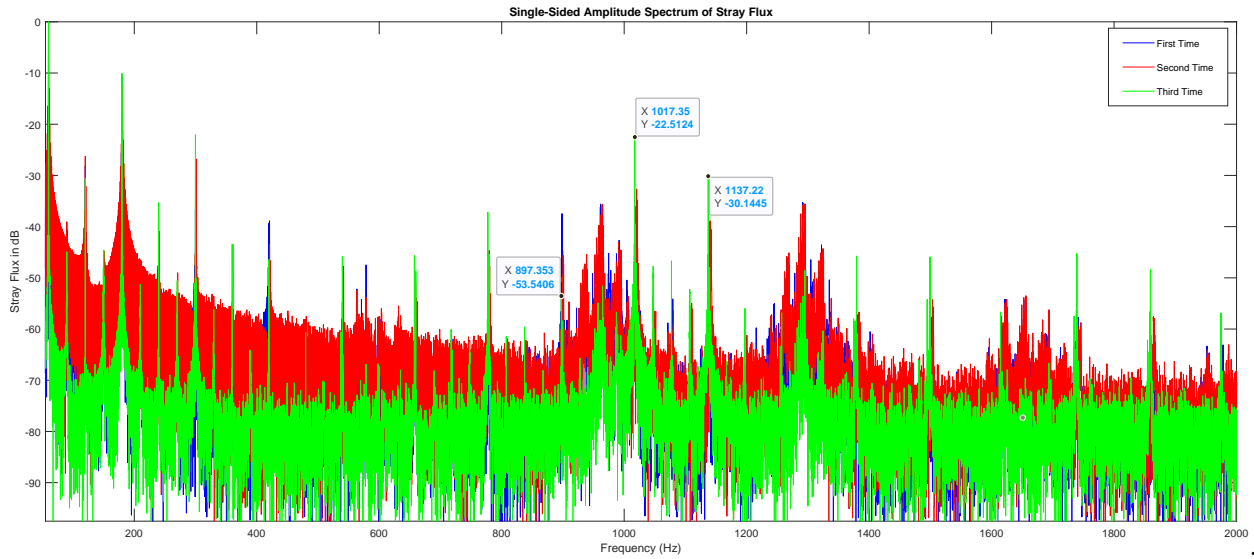


Figure 37: Αρμονικές RSH

Με την εξίσωση (1), ο αριθμός των μπαρών είναι $R = 32$, αριθμός που ανήκει στις R_{UPSH} .

Ακολουθούν οι κυματομορφές των τριών ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

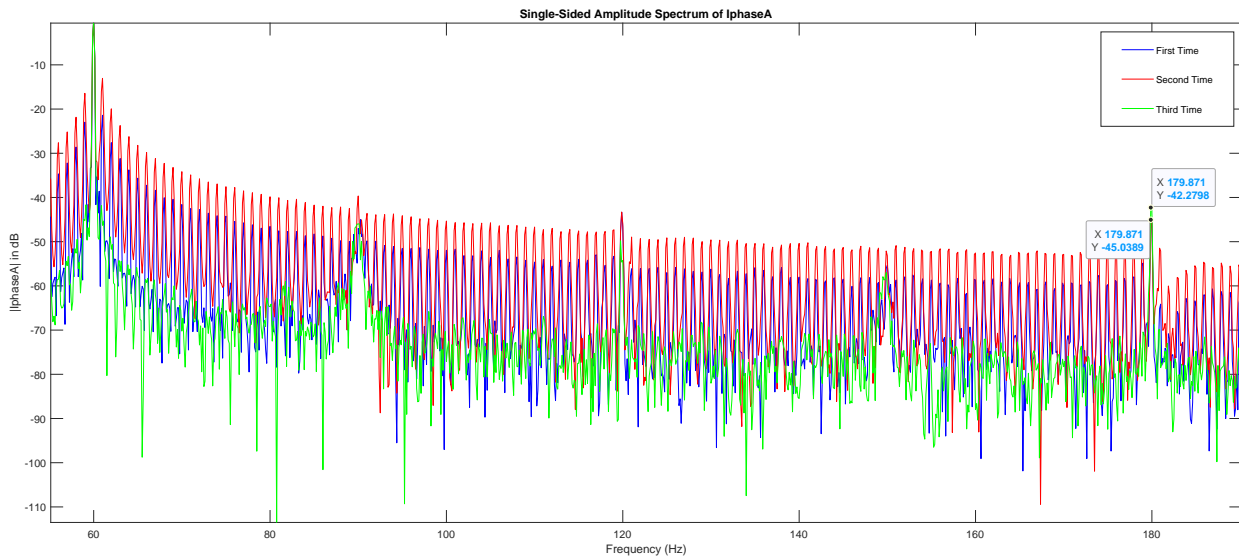


Figure 38: Κυματομορφές μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονική 1η φάση

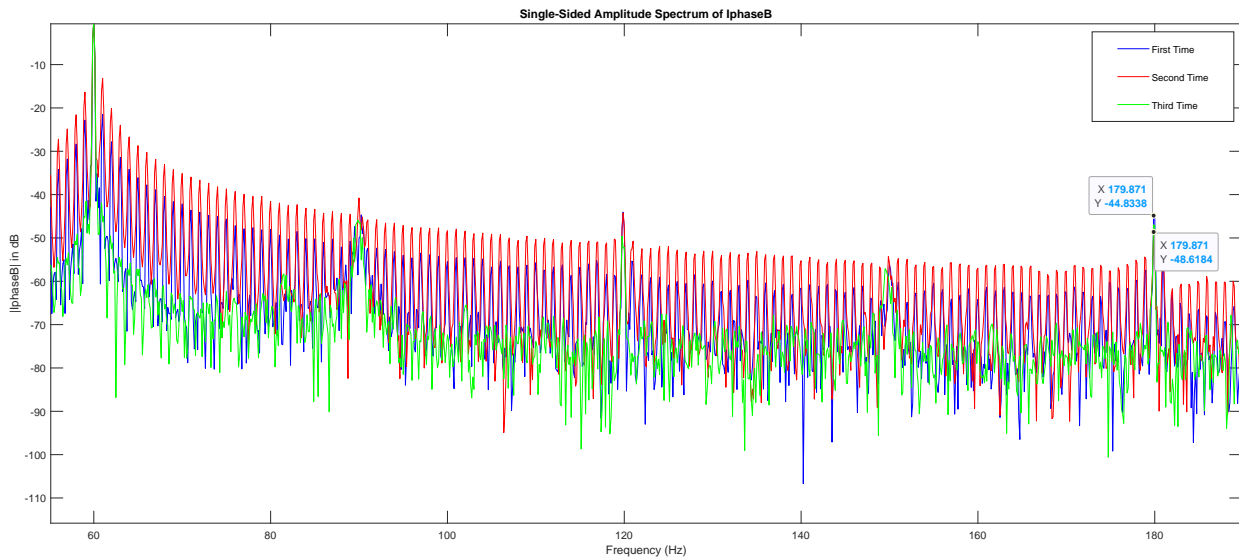


Figure 39: Κυματομορφές μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονικής 2η φάση

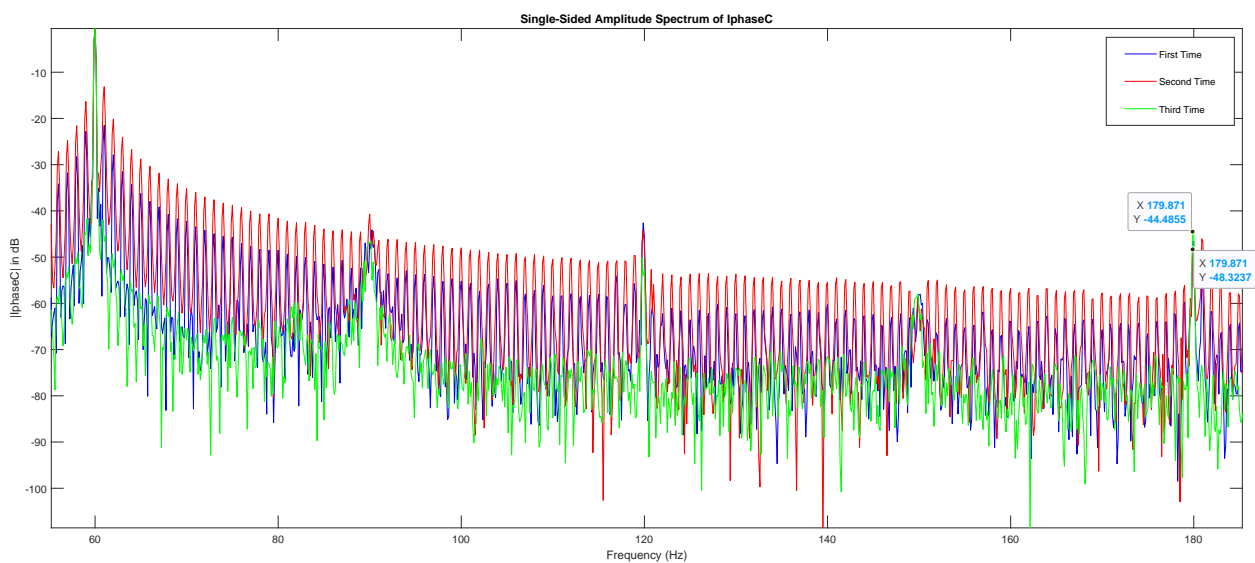


Figure 40: Κυματομορφές μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονικής 3η φάση

Σε όλες τις κυματομορφές, φαίνεται ότι η τρίτη αρμονική είναι χαμηλή σε κάθε μέτρηση, όπως και θα ήταν λογικό, γιατί σε ένα υγιές, συμμετρικό σύστημα κινητήρα, η τρίτη αρμονική τείνει να είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα, οι rms τιμές της κάθε μέτρησης, για κάθε φάση ρεύματος.

Table 7: Rms τιμές

<i>Iphase</i>	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>
A	6.05	6.14	5.81
B	5.85	6.06	6.16
C	5.75	5.76	6.31

Οι τιμές είναι κοντά μεταξύ τους και είναι ικανοποιητικό, καθώς είναι ένδειξη συμμετρίας. Προφανώς, υπάρχει έντονη διαφορά των rms από την ονομαστική, αφού και αυτός ο κινητήρας δεν λειτουργεί στην ονομαστική ταχύτητα.

Στην ακόλουθη κυματομορφή, εμφανίζονται οι αρμονικές κοντά στην βασική.

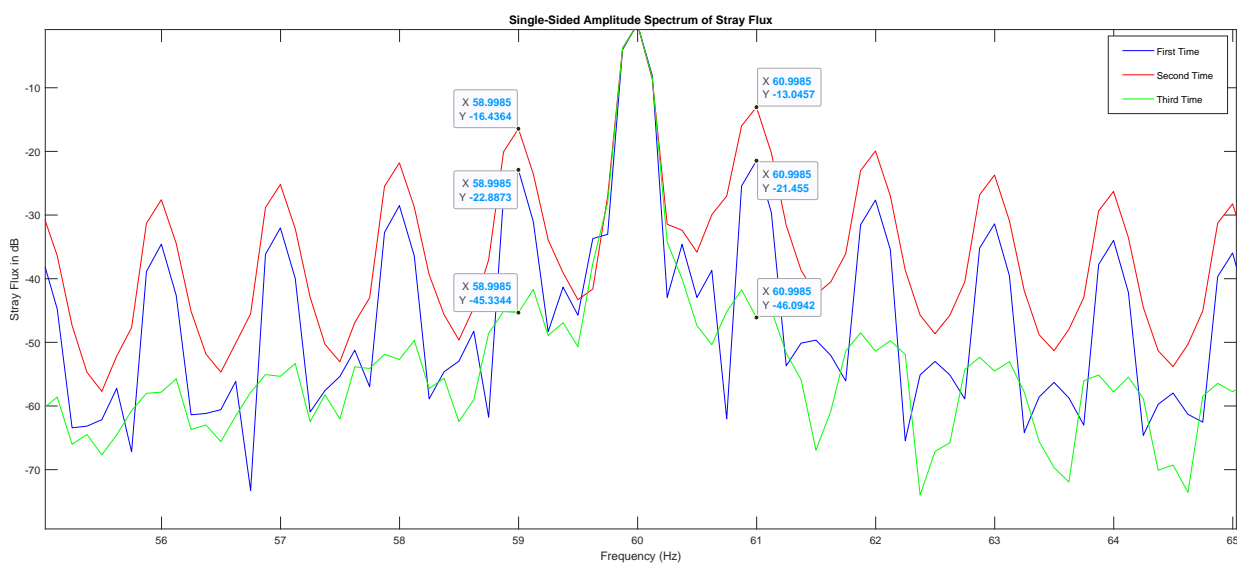


Figure 41: Αρμονικές κοντά στην βασική

Εδώ παρατηρείται ότι παρόλο που οι δύο πρώτες μετρήσεις εμφανίζουν μεγάλο πλάτος στις συχνότητες σπασμένης μπάρας. Η τελευταία μέτρηση, αποδεικνύει ότι δεν είναι σφάλμα σπασμένης μπάρας, αλλά πρόβλημα που προέκυψε εξαιτίας κάποιων ταλαντώσεων στο σύστημα. Είναι σημειωμένο στο ημερολόγιο του ηλεκτρολόγου, ότι είχε γίνει συντήρηση στον κινητήρα λίγο πριν την τελευταία μέτρηση. Δεν έγινε όμως κάποια αλλαγή bearing ή στις μπάρες. Ίσως αξίζει να σημειωθεί, ότι γενικά ο κινητήρας μετρήθηκε μόνο όταν το πλοίο ήταν στο λιμάνι, αλλά στην τελευταία μέτρηση

δεν γινόταν κάποια εκφόρτωση ή φόρτωση, που θα μπορούσε ίσως να επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος.

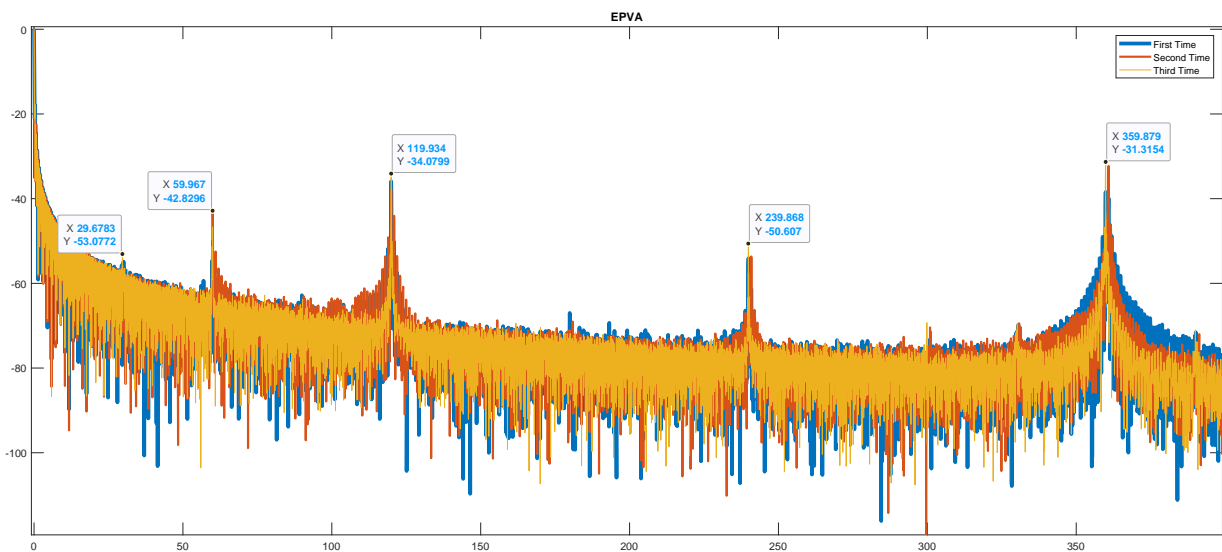


Figure 42: Extended Park's Vector Approach

Όπως παρατηρείται, εκτός από τις περιττές πολλαπλάσιες της βασικής και την μηχανική συχνότητα δεν εμφανίζεται κάποια άλλη. Καθώς, ούτε διαφορά πλάτους σε κάθε μέτρηση της τρίτης αρμονικής. Γεγονός, που δηλώνει μια υγιή μηχανή.

3.3 Κινητήρας Εξαγωγής Αερίων Καυστήρα

Ο κινητήρας εξαγωγής αερίων (Exhaust Gas For Boiler) είναι υπεύθυνος για την απόβλητη ατμοσφαιρικών αερίων από τον κινητήρα στο σύστημα θέρμανσης ή στη μονάδα παραγωγής ατμού στο πλοίο. Αυτό το αέριο, γνωστό και ως εξατμίσεις, περνάει μέσω ενός συνδυασμού σωληνώσεων και διαφόρων εξαρτημάτων που μπορεί να περιλαμβάνουν φίλτρα, αντλίες και θερμαντικές συσκευές. Στη μονάδα παραγωγής ατμού, οι εξατμίσεις χρησιμοποιούνται για να θερμάνουν το νερό και να δημιουργήσουν ατμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές εντός του πλοίου. Επιπλέον, οι εξατμίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του πλοίου σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών. Ο κινητήρας αυτός είναι κρίσιμης σημασίας για την απομάκρυνση των εξατμίσεων με ασφάλεια και τη χρήση τους για ενέργειες θέρμανσης και παραγωγής ατμού στο πλοίο.

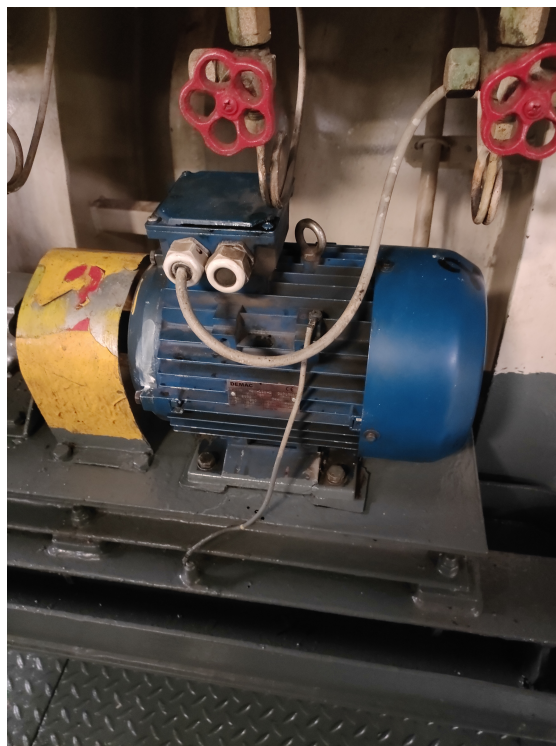


Figure 43: Exhaust Gas For Boiler

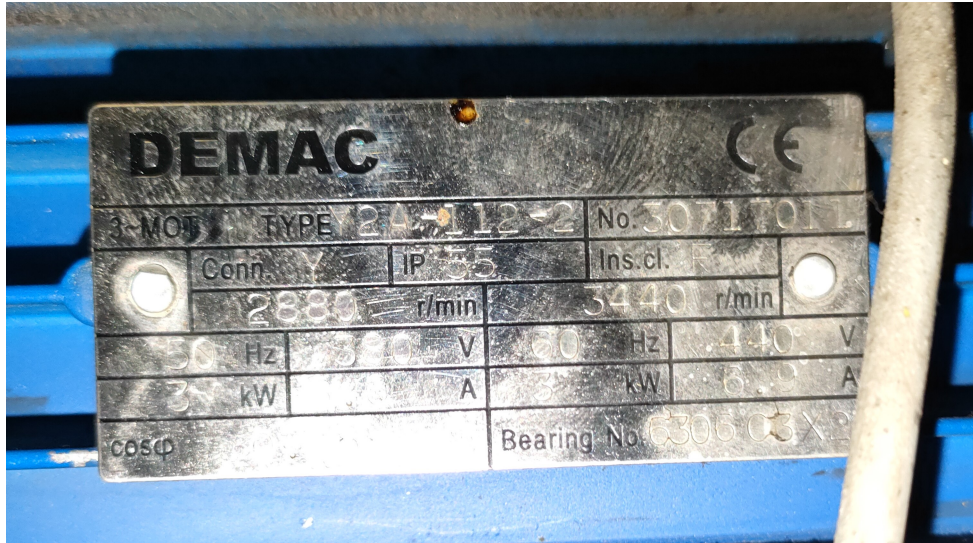


Figure 44: Label Exhaust Gas For Boiler

Με την βοήθεια της κυματομορφής της μαγνητικής ροής, θα υπολογιστεί αρχικά η ολίσθηση και έπειτα οι μπάρες του δρομέα. Για τον εντοπισμό των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας χρησιμοποιείται η δεύτερη μέτρηση, καθώς δεν έχει σημασία εφόσον είναι ίδιος ο κινητήρας και είναι πιο ορατές σε αυτήν.

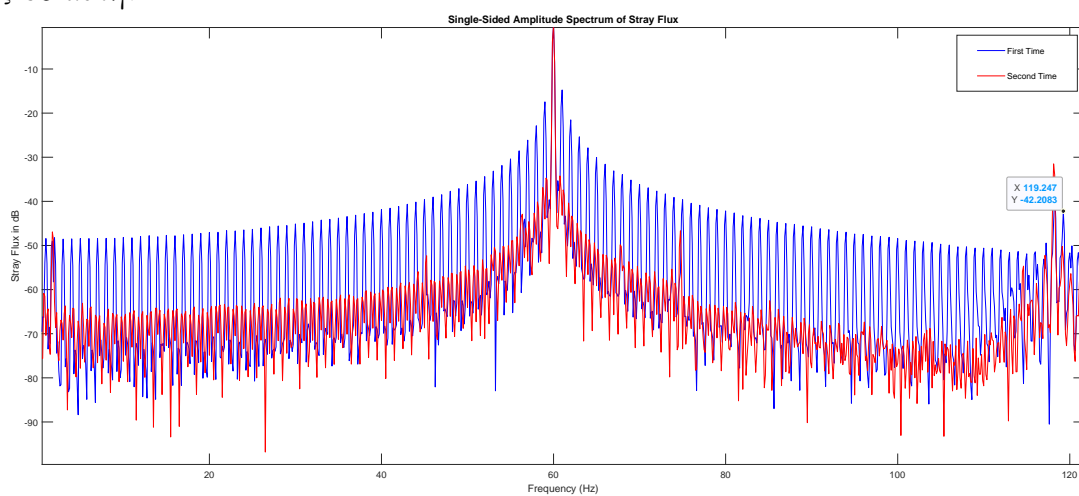


Figure 45: Μεικτή εκκεντρότητα Exhaust Gas For Boiler

Πιο συγκεκριμένα, η ολίσθηση είναι $s = 0.01$. Με την βοήθεια της κυματοπμορφής της μαγνητικής ροής και της εξίσωσης (1) θα βρεθούν οι RSH αρμονικές και θα κριθούν αν ανήκουν στις PSH.

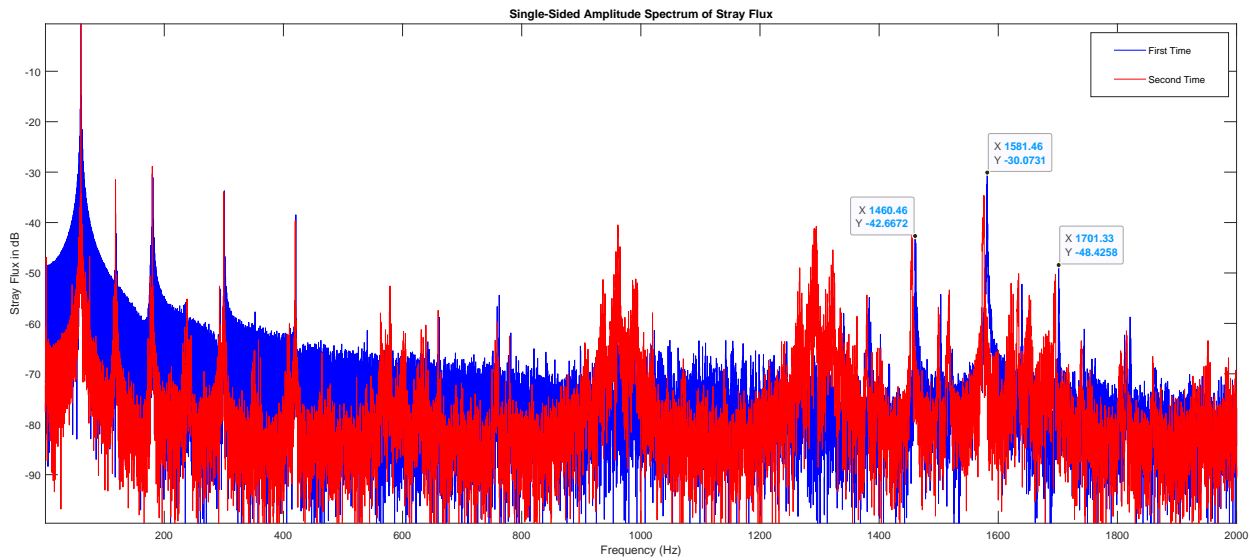


Figure 46: RSH Exhaust Gas For Boile

Ο κινητήρας σε σχέση με τους υπόλοιπους είναι διπολικός και με την εξίσωση (1), ο κινητήρας αποτελείται από $R = 26$ μπάρες. Ο αριθμός αυτός αποτελεί για διπολικούς κινητήρες στις R_{LPSH} , οπότε ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές με $f_{eccH} = 1581.46$ Hz.

Θα γίνει μία αξιολόγηση της συγκεκριμένης μηχανής, ενώ ήδη εξασφαλίζεται η απάντηση του ποίου σφάλματος υπάρχει. Πιο συγκεκριμένα, ο κινητήρας υπέφερε από έντονες μηχανικές δονήσεις, επηρεάζοντας, έτσι την ομαλή περιστροφή του άξονα του κινητήρα. Κάτι το οποίο έγινε αντιληπτό, πριν γίνουν οι μετρήσεις στον κινητήρα. Θα γίνουν παρατηρήσεις, που προέκυψαν σύμφωνα με αυτήν την αλλαγή.

Αρχικά, ακολουθούν οι κυματομορφές των ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

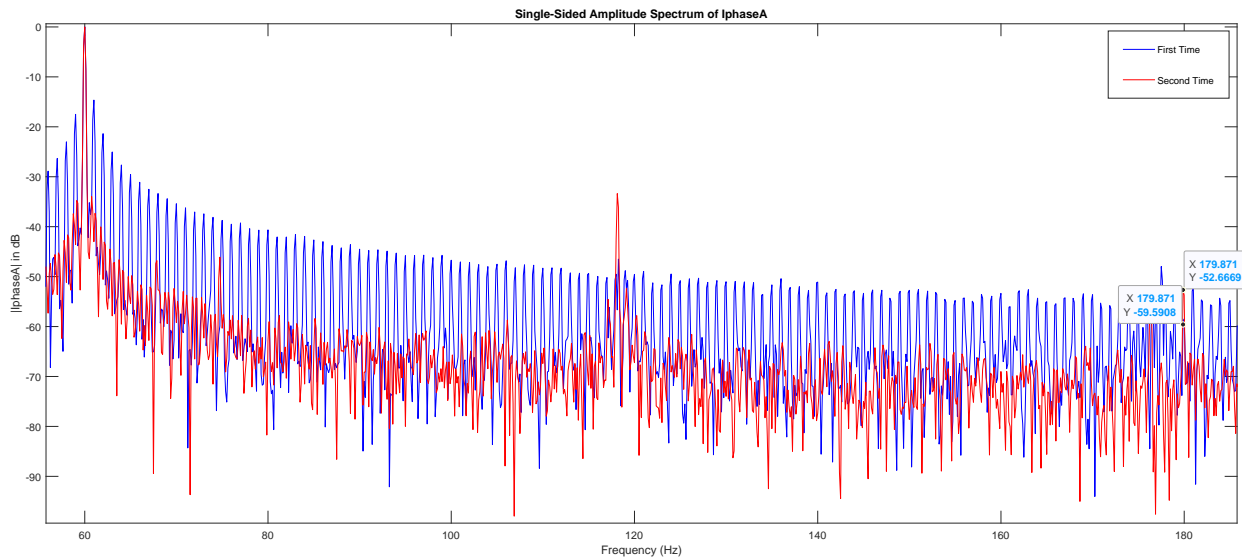


Figure 47: Κυματομορφή Πρώτης φάσης ρεύματος

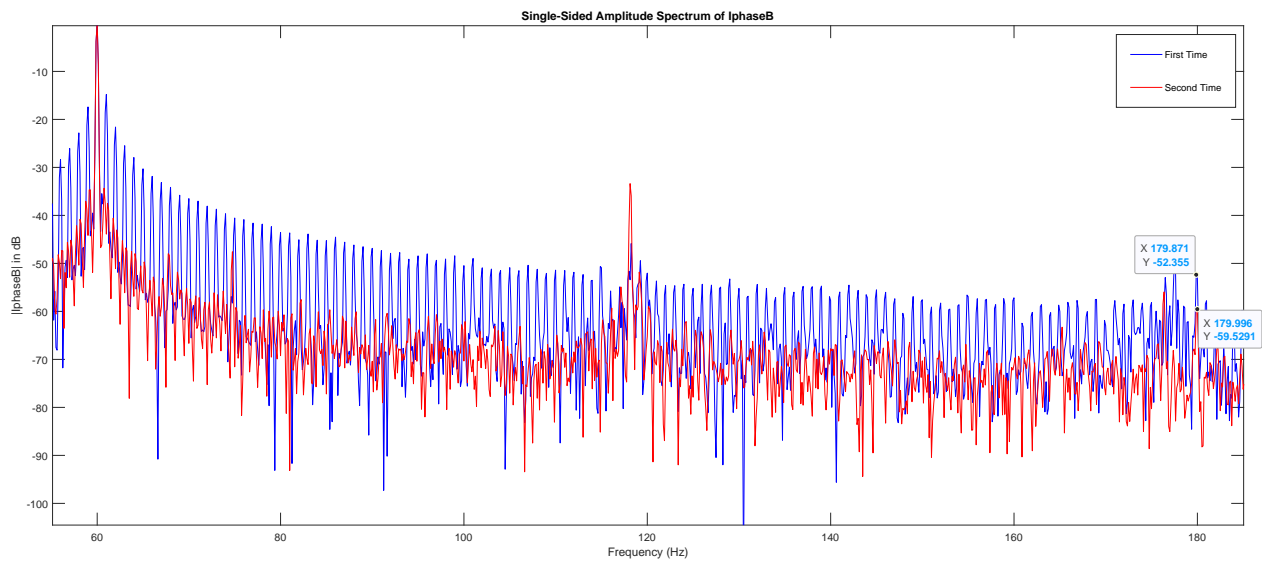


Figure 48: Κυματομορφή Δεύτερης φάσης ρεύματος

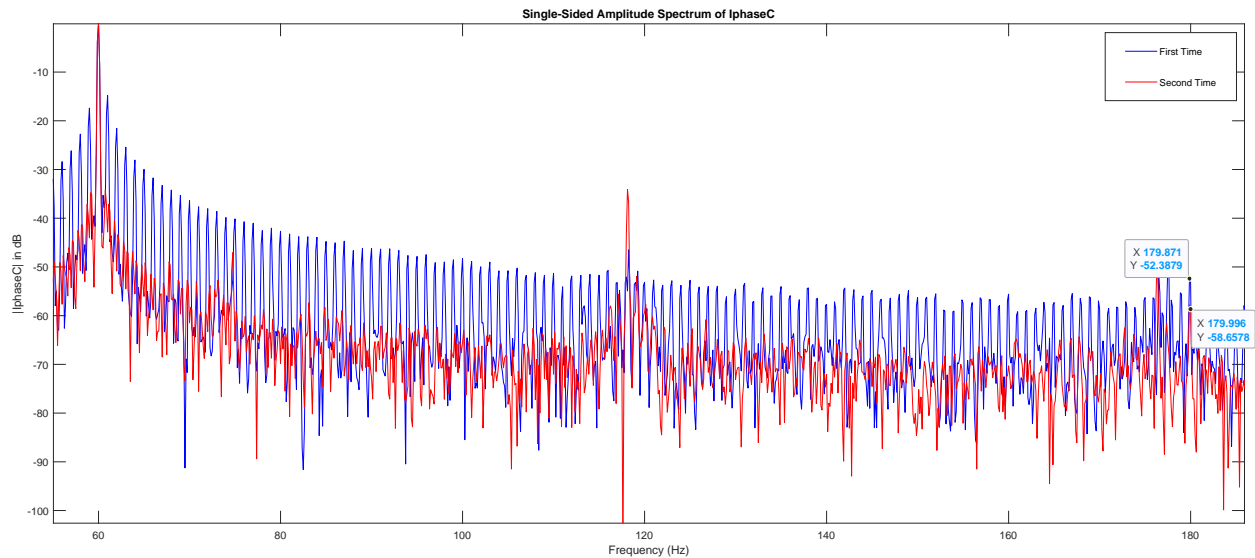


Figure 49: Κυματομορφή Τρίτης φάσης ρεύματος

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι αρκετά χαμηλή, οπότε δεν εμφανίζεται σίγουρα κάποια διαταραχή στο δίκτυο. Άρα η διάγνωση κάποιου σφάλματος μέσω της τρίτης αρμονικής δεν είναι αρκετή.

Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην μαγνητική ροή.

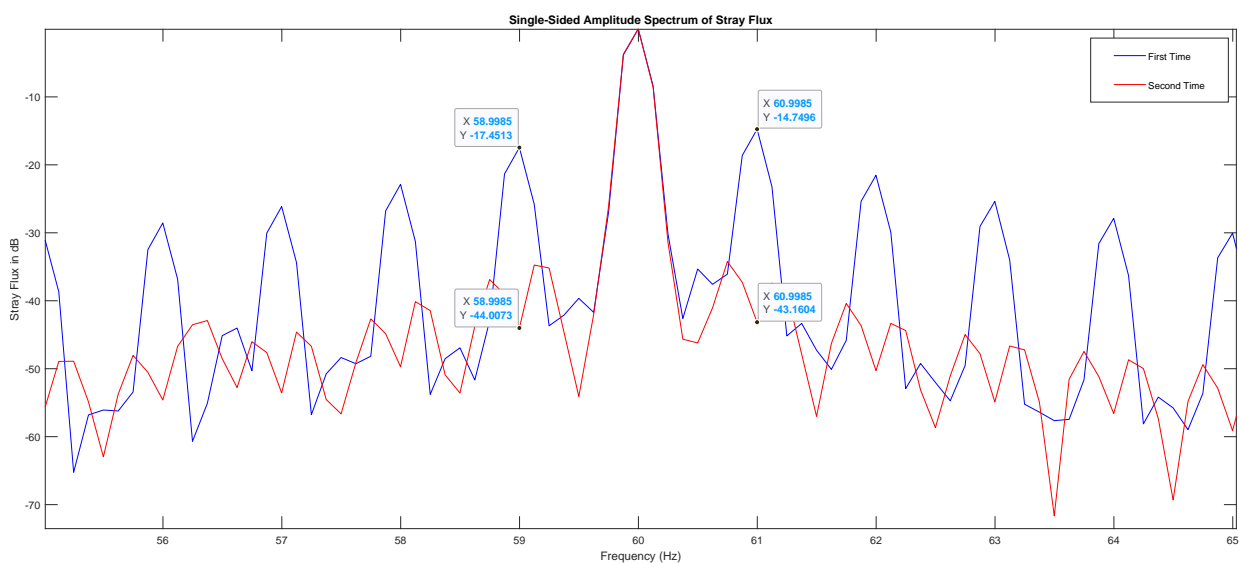


Figure 50: Αρμονικές κοντά στην βασική

Παρατηρείται, μεγάλη διαφορά στις συχνότητες εμφάνισης σπασμένης μπάρας, μετά την αλλαγή των ρουλεμαν. Οι ταλαντώσεις που υπήρχαν στο σύστημα του κινητήρα φαίνεται να επηρεάζαν έντονα τις αρμονικές.

Γενικά, είναι εύκολο να διακρίνει κανείς ότι η αλλαγή των ρουλεμαν βοηθάει στην μείωση των αρμονικών στο φάσμα του ηλεκτρικού ρεύματος του κινητήρα ή και στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τα υγιή ρουλεμαν συμβάλλουν σε πιο ομαλή λειτουργία του κινητήρα, μειώνοντας τις μηχανικές διαταραχές και το περιεχόμενο των αρμονικών στα ηλεκτρικά σήματα. Καθώς, μπορούν να οδηγήσουν και σε μια πιο σταθερή λειτουργία του κινητήρα, χαρακτηριζόμενη από συνεκτικά πρότυπα ρεύματος και ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Αυτή η σταθερότητα υποδεικνύει μειωμένο μηχανικό άγχος στα συστατικά του κινητήρα και βελτιωμένη συνολική απόδοση.

Τέλος, γίνεται αντιληπτό στο μάτι, στην δεύτερη μέτρηση κάποιες αρμονικές να είναι πιο ψηλές από τις υπόλοιπες. Κάτι το οποίο δεν φαίνεται με τις υψηλές αρμονικές τις πρώτης μέτρησης. Γίνεται η σύγκριση του πλάτους μεταξύ ρεύματος και μαγνητικής ροής στις ίδιες συχνότητες και, παρόλα αυτά, εμφανίζονται σχεδόν στο ίδιο πλάτος.

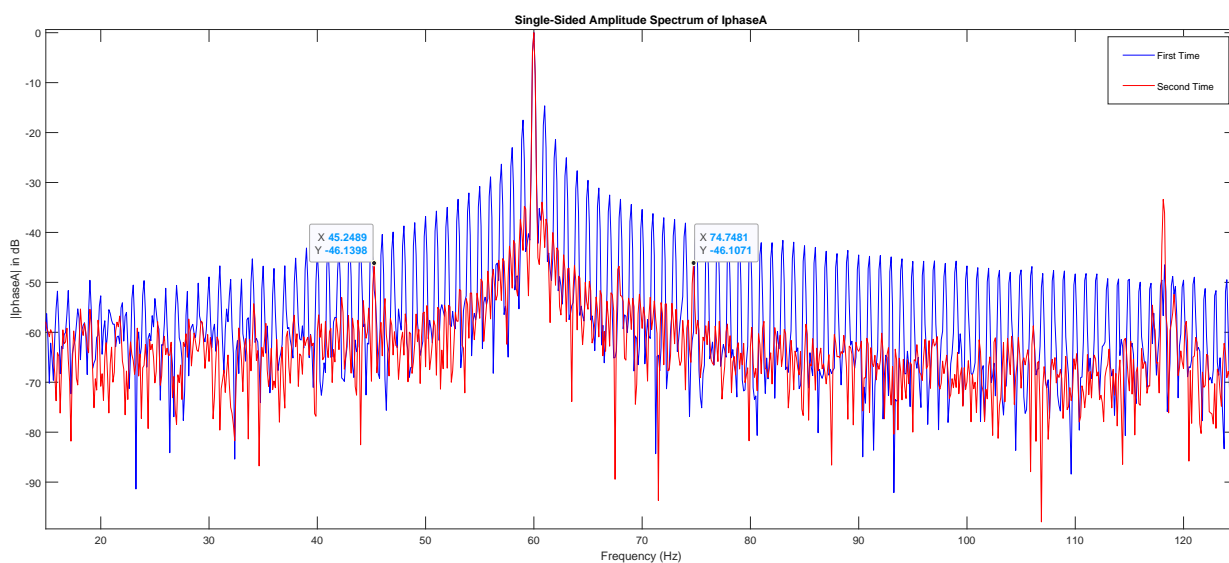


Figure 51: Αρμονικές για μηχανικά σφάλματα στη κυματομορφή ρεύματος

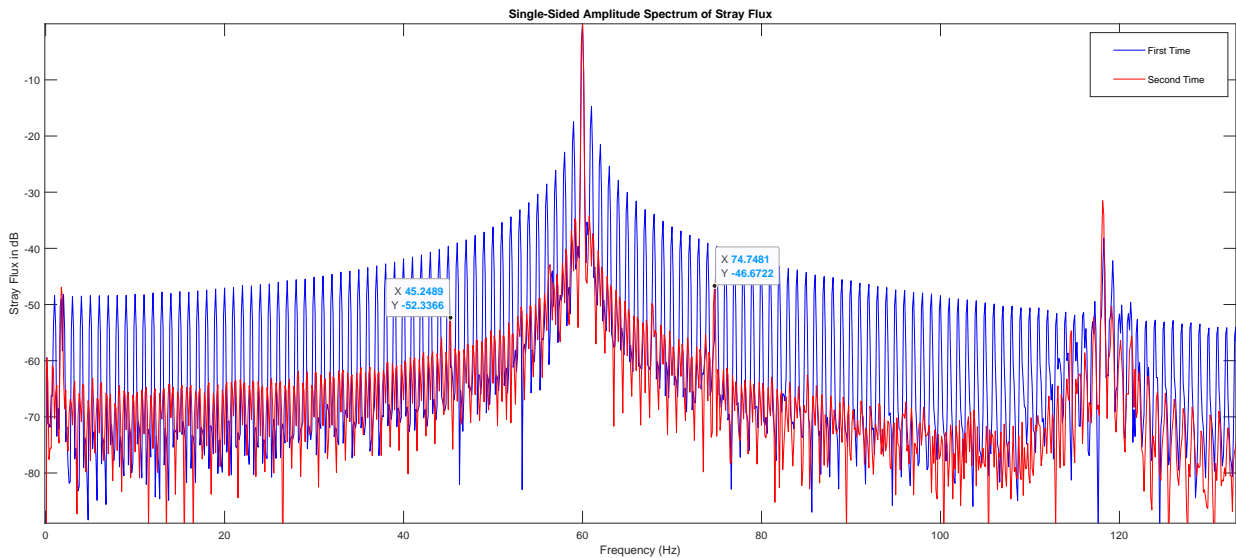


Figure 52: Αρμονικές για μηχανικά σφάλματα στη κυματομορφή μαγνητικής ροής

Παρ'όλο, που έγινε η αλλαγή των ρουλεμάν, παρατηρείται ούτε πριν εμφάνιζε αρμονικές μηχανικού σφάλματος. Αφού έγινε η αλλαγή του ρουλεμάν, οι αρμονικές απλά εμφανίζονται πιο χαμηλές. Φυσικά στη δεύτερη μέτρηση υπάρχουν αρμονικές που ισαπέχουν από τη βασική, αλλά δεν είναι σφάλμα ρουλεμάν. Από προσωπική γνώμη, εφόσον ο κινητήρας, πριν την αλλαγή, έκανε έντονο θόρυβο, τότε οφείλεται από την μη σωστή ευθυγράμμιση στον άξονα, κάτι που μπορεί να προκαλέσει υπερβολική δόνηση και θόρυβο, καθώς τα περιστρεφόμενα μέρη τρίβονται μεταξύ τους.

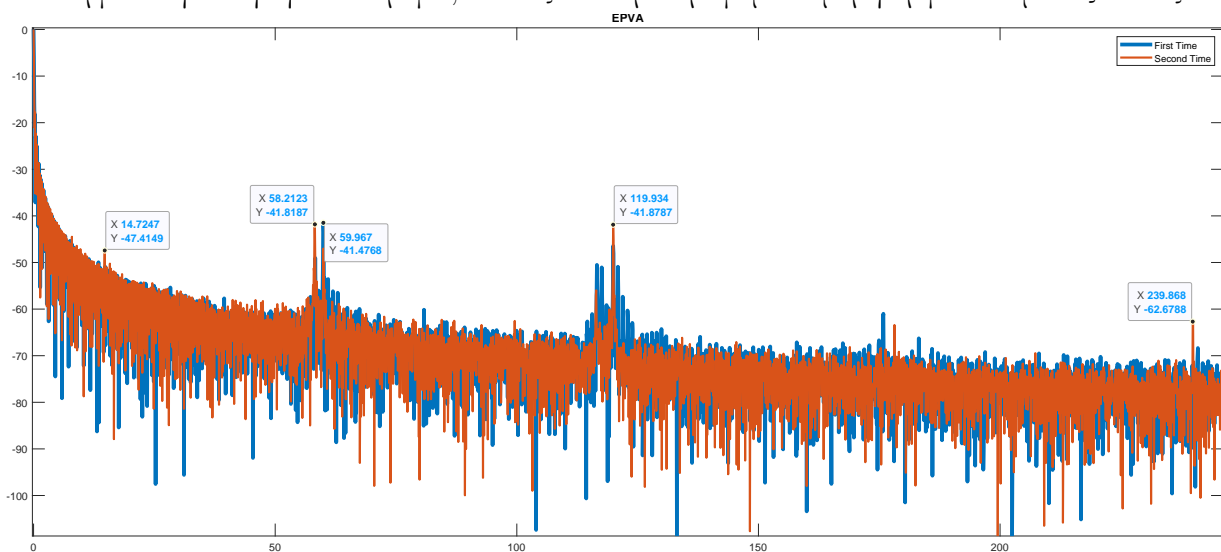


Figure 53: Extended Park's Vector Approach

Δεν εμφανίζονται όντως μηχανικά σφάλματα. Βέβαια, παρατηρούνται αύξηση πλαϊνών αρμονικών της μηχανικής συχνότητας και της 3ης αρμονικής. Η αρμονική κοντά στα 14.73Hz είναι μεικτής εκκεντρότητας.

3.4 Κινητήρας Τροφοδοσίας Λέβητα

Ο κινητήρας τροφοδοσίας για τον λέβητα (Feed Pump For Boiler) είναι υπεύθυνος για την παροχή νερού στον λέβητα προκειμένου να δημιουργηθεί ατμός για τις εφαρμογές θέρμανσης και κίνησης στο πλοίο. Αυτός ο κινητήρας είναι συνήθως συνδεδεμένος με ένα σύστημα αντλίας και διάφορες σωληνώσεις που διευκολύνουν τη μεταφορά του νερού από τον αποθετήρα νερού προς τον λέβητα. Η λειτουργία του κινητήρα τροφοδοσίας είναι κρίσιμη για τη σταθερή και αποτελεσματική λειτουργία του λέβητα, καθώς η παροχή νερού πρέπει να είναι σταθερή και επαρκής για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και παραγωγής ατμού στο πλοίο.



Figure 54: Feed Pump For Boiler

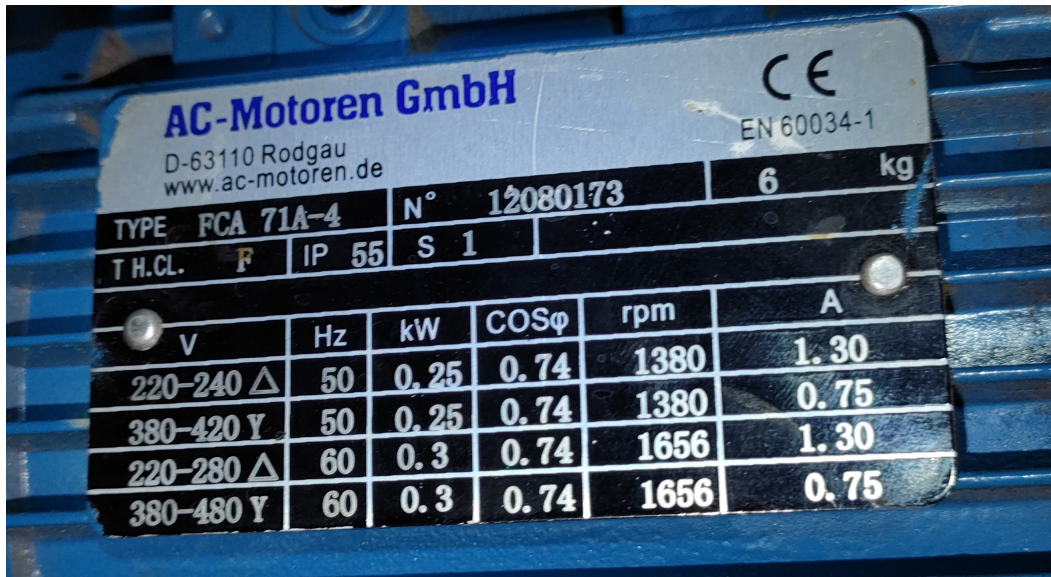


Figure 55: Μεικτή Εκκεντρότητα Feed Pump For Boiler

Η Ολίσθηση υπολογίζεται σύμφωνα με την εικόνα που ακολουθεί στην μικρή εκκεντρότητα, και με τη βοήθεια της οι RSH αρμονικές. Για τον εντοπισμό των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας χρησιμοποιείται η κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

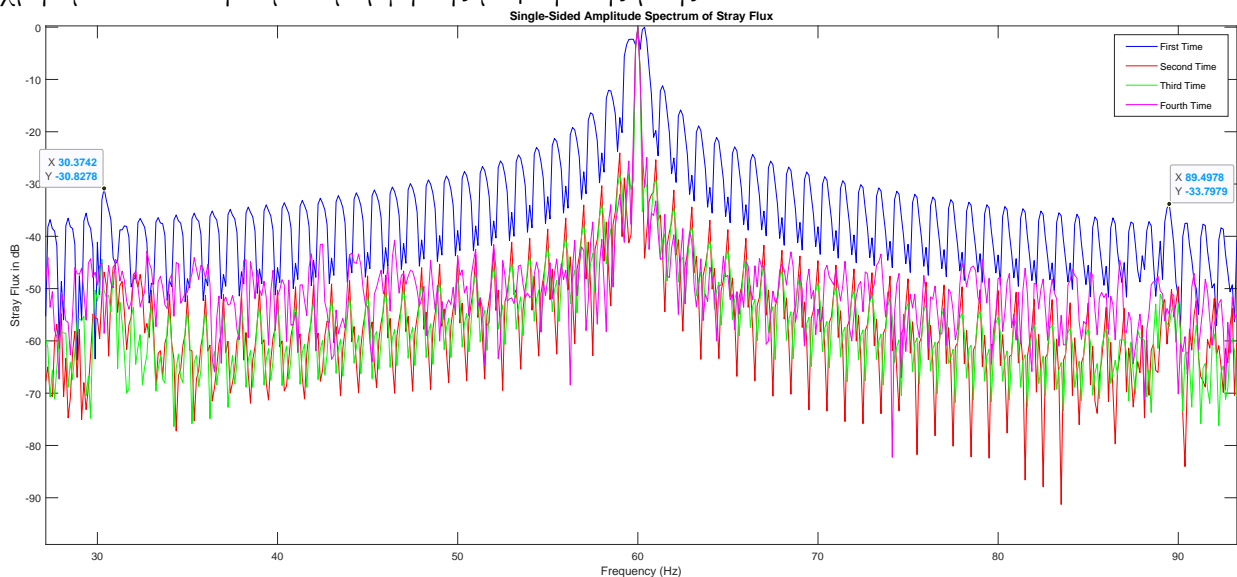


Figure 56: Μεικτή Εκκεντρότητα Feed Pump For Boiler

Ο κινητήρας είναι τετραπολικός, οπότε είναι λογικό να εμφανίζει μεικτή εκκεντρότητα, κοντά στις $f_s \pm \frac{f_s}{2}$. Με αυτό υπόψη, η ολίσθηση του κινητήρα είναι $s = 0.01$.

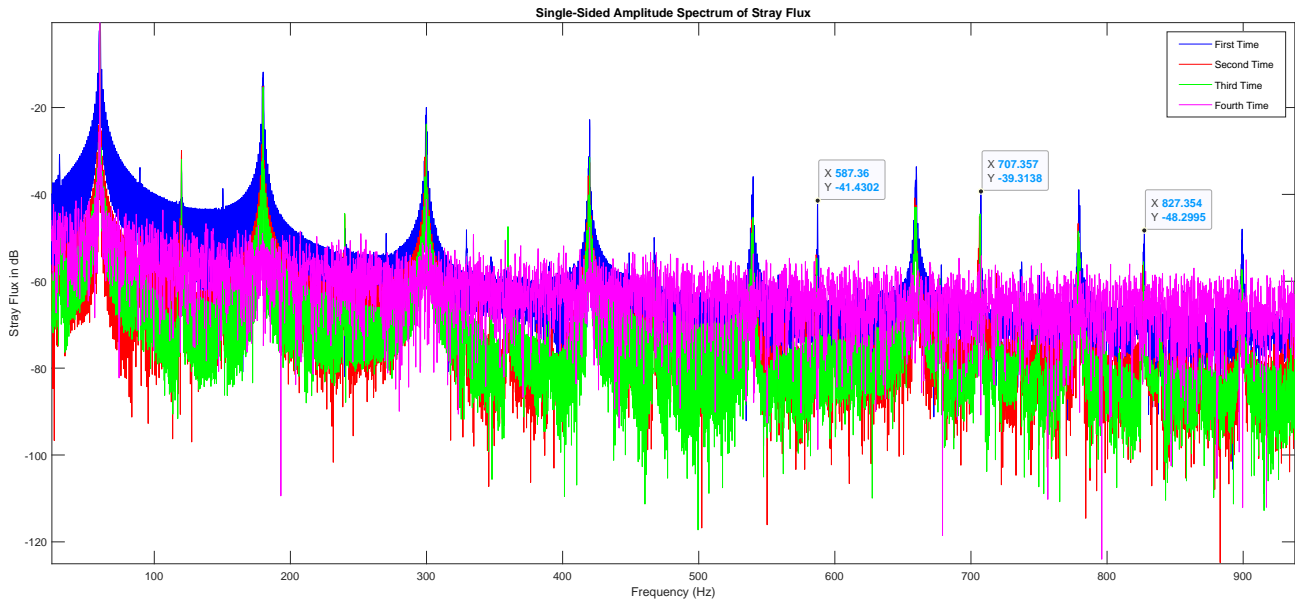


Figure 57: RSH Feed Pump For Boiler

Έτσι με την εξίσωση (1) θα βρεθούν οι μπάρες του δρομέα και θα κριθούν αν οι RSH ανήκουν στις PSH. Με αυτό υπόψη, ο κινητήρας αποτελείται από $R = 22$ μπάρες. Ο αριθμός αυτός δεν αποτελεί για τετραπολικούς κινητήρες σε καμία από τις R_{LPSH} , R_{UPSH} , $R_{BOTHPSH}$ οπότε ο κινητήρας δεν εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι κυματομορφές των ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

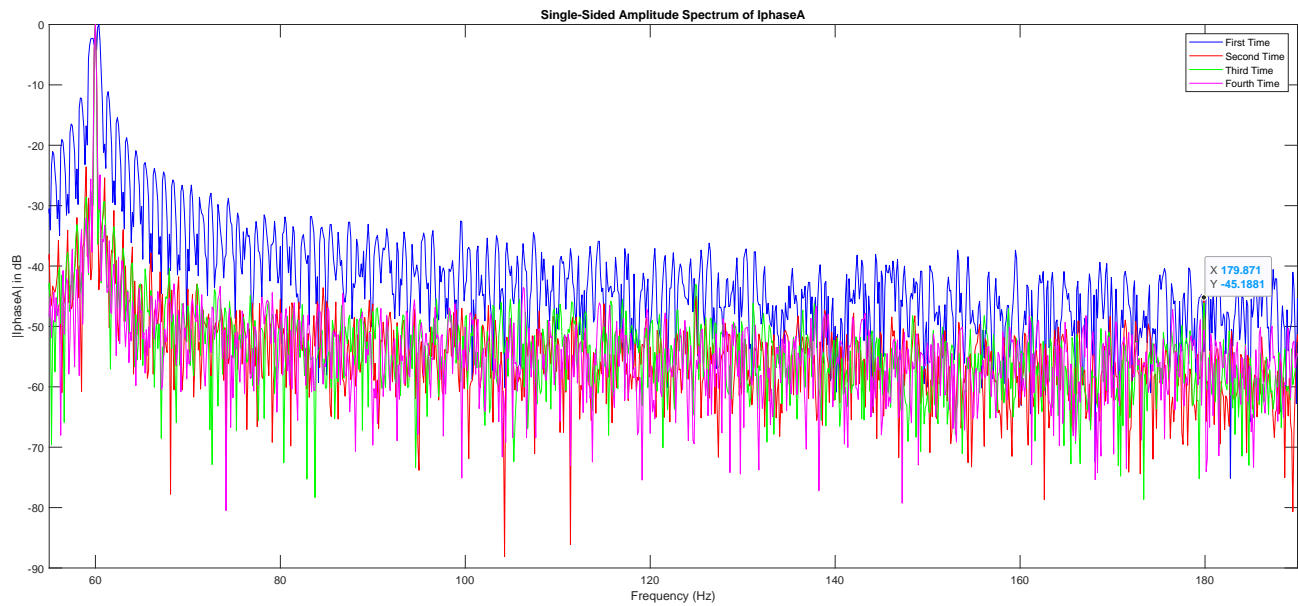


Figure 58: Κυματομορφή Πρώτης φάσης ρεύματος

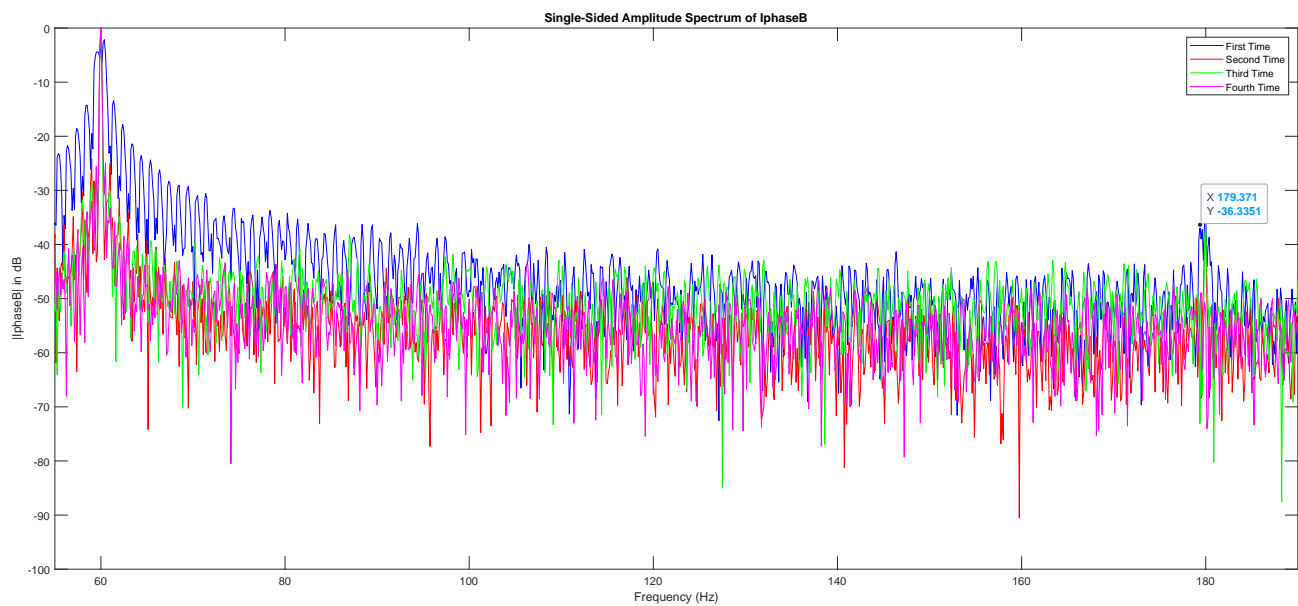


Figure 59: Κυματομορφή Δεύτερης φάσης ρεύματος

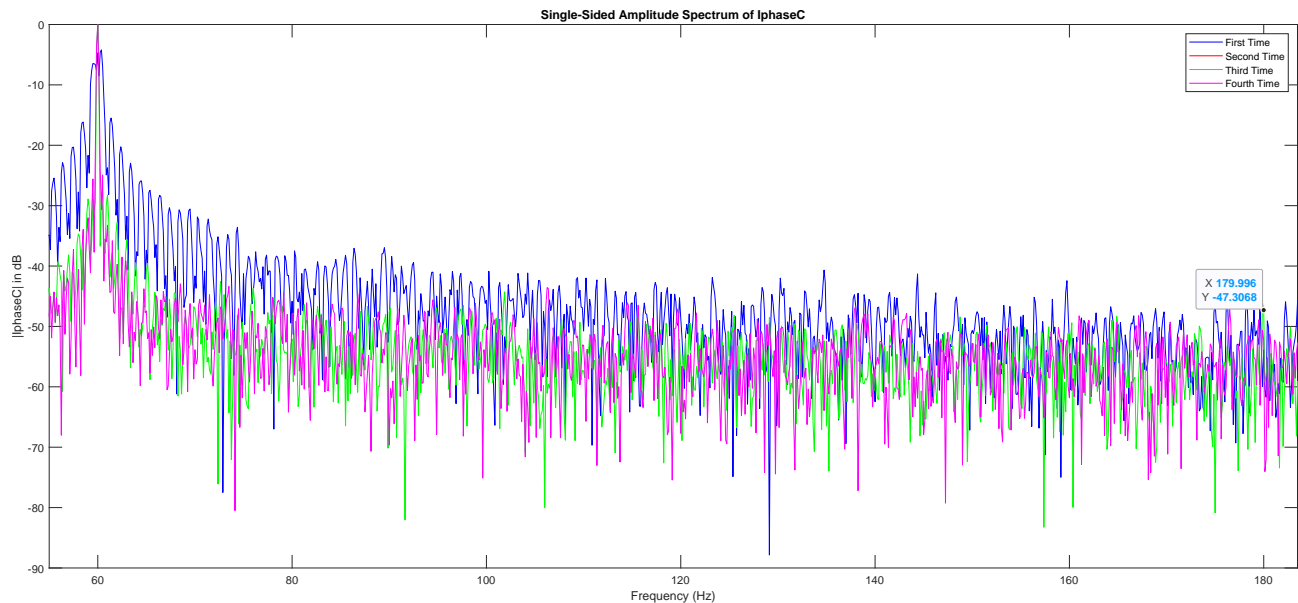


Figure 60: Κυματομορφή Τρίτης φάσης ρεύματος

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι αρκετά χαμηλή και πολύ κοντά μεταξύ τους, σε κάθε μέτρηση, αν και στην τρίτη μέτρηση παρατηρείται αύξηση στη δεύτερη φάση. Ακολουθούν οι rms τιμές των ρευμάτων, για τυχών ασυμμετρία μεταξύ των ρευμάτων.

Table 8: Rms τιμές

<i>Iphase</i>	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>	<i>fourth</i>
A	0.05	0.05	0.06	0.07
B	0.08	0.05	0.01	0.07
C	0.07	0.07	0.05	0.07

Φαίνεται, και στον πίνακα οι τιμές των rms να είναι πολύ πιο μικρές από την ονομαστική, αλλά είναι κοντά μεταξύ τους. Ακολουθούν, τα φάσματα των ρευμάτων την τρίτη και τέταρτη φορά.

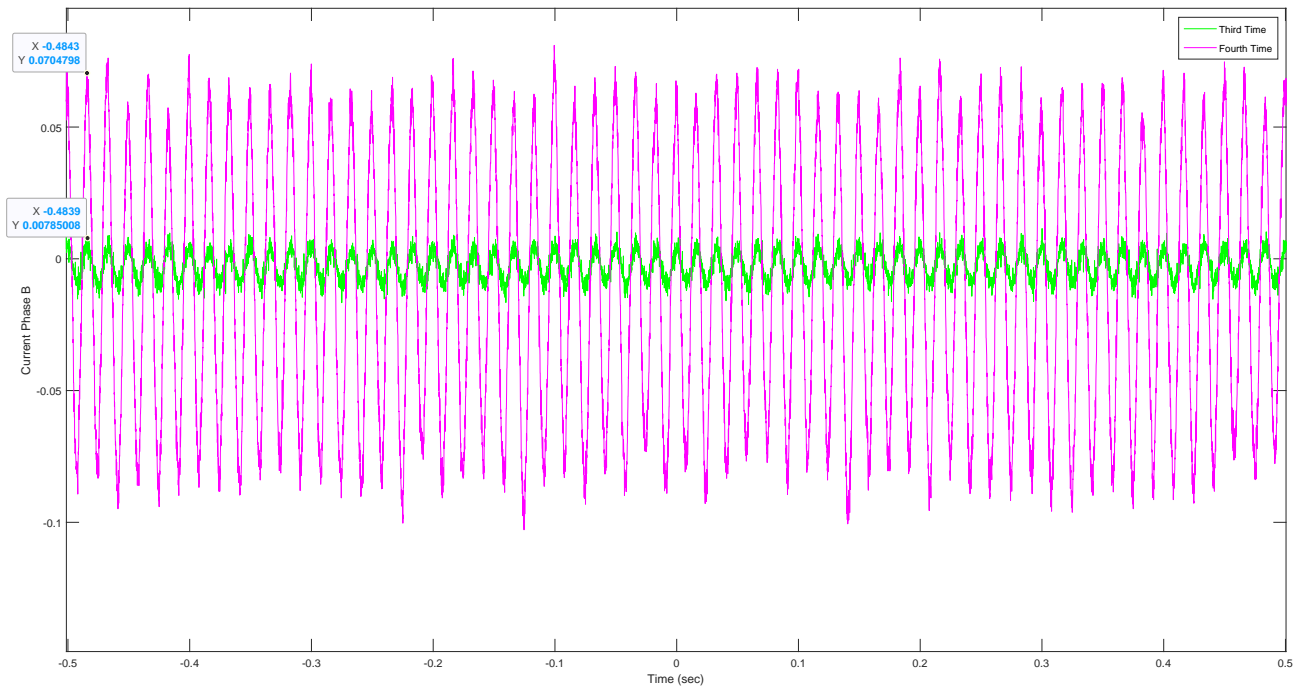


Figure 61: Πλάτη τρίτης και τέταρτης μέτρησης ρεύματος

Φαίνεται, ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ στα πλάτη των ρευμάτων. Παρ'όλα αυτά, το ρεύμα επανέρχεται σε σταθερό πλάτος. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι στην μέτρηση με το πιο χαμηλό πλάτος υπήρχε διατάραξη στο Δίκτυο.

Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

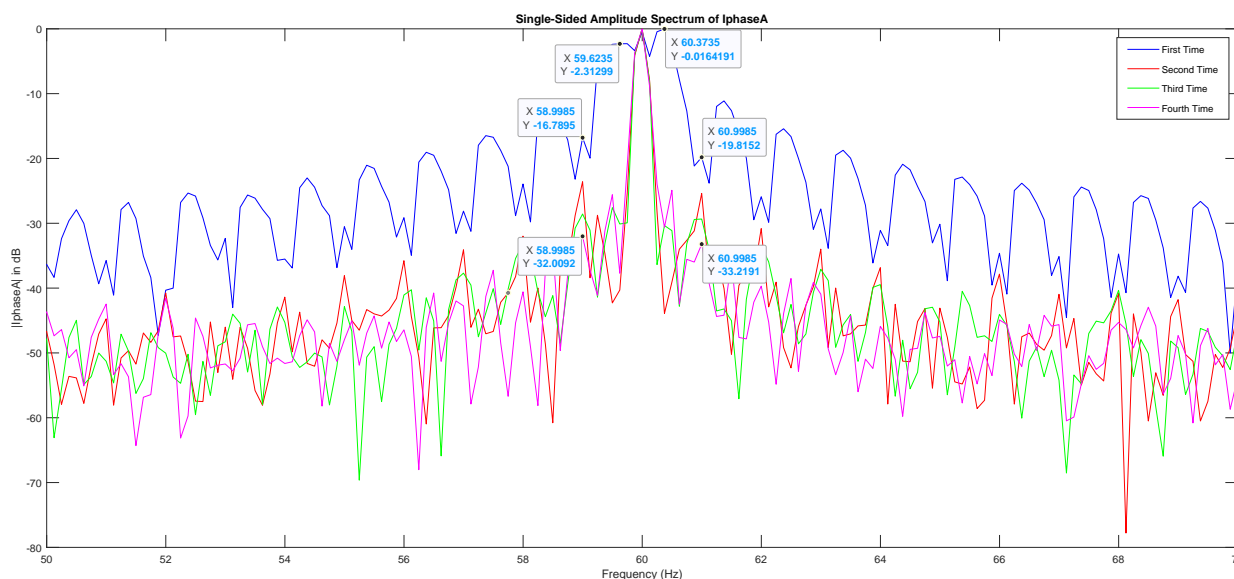


Figure 62: Αρμονικές που συνήθως εμφανίζουν σπασμένη μπάρα

Εδώ όντως εμφανίζονται αρμονικές δίπλα στην βασική. Άξιο απορίας είναι οι αρμονικές στην πρώτη μέτρηση. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζονται σε συχνότητες που είναι κοντά στις συχνότητες σπασμένης μπάρας, αλλά δεν είναι. Στις συχνότητες που δείχνουν σφάλμα σπασμένης μπάρας σε κάθε μέτρηση είναι τα πλάτη 5-10dB πάνω από το φυσιολογικό, αλλά φαίνεται ότι κάθε φορά μειώνονται τα πλάτη. Άρα από αυτό γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι σφάλμα σπασμένης μπάρας, καθώς θα έπρεπε να αυξάνεται όλο και πιο πολύ σε κάθε μέτρηση. Όσον αφορά, τις αρμονικές δίπλα στην βασική στην πρώτη μέτρηση(59.6235, 60.3735). Σύμφωνα, με [13] μια γενική διακύμανση ροπής στην θεμελιώδη συχνότητα γύρω από μια σταθερή ροπή παράγει μια αύξηση των πλευρικών αρμονικών. Κάτι, το οποίο μπορεί να γίνει όταν εναλλάσσουν οι συχνότητες ταλαντώσεων φορτίου. Τέλος, θα γίνει και η ανάλυση για τυχόν μηχανικών σφαλμάτων, συγκρίνοντας τα πλάτη ανάμεσα σε κυματομορφή ρεύματος και μαγνητικής ροής.

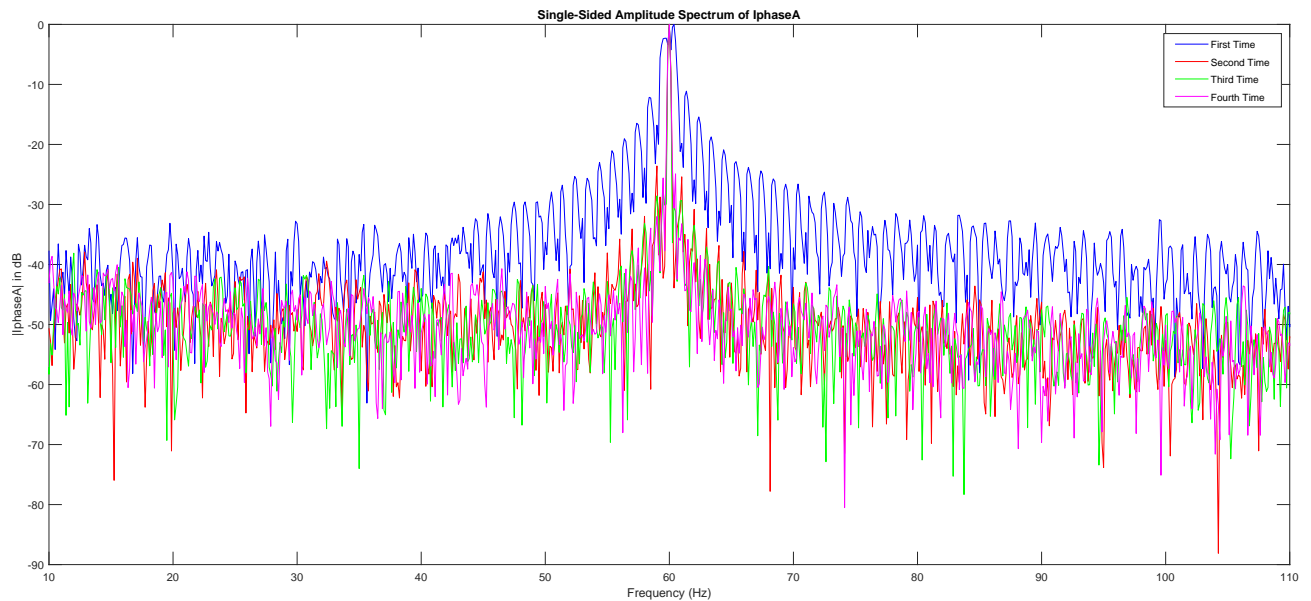


Figure 63: Συχνότητες που εμφανίζουν μηχανικά σφάλματα στο ρεύμα

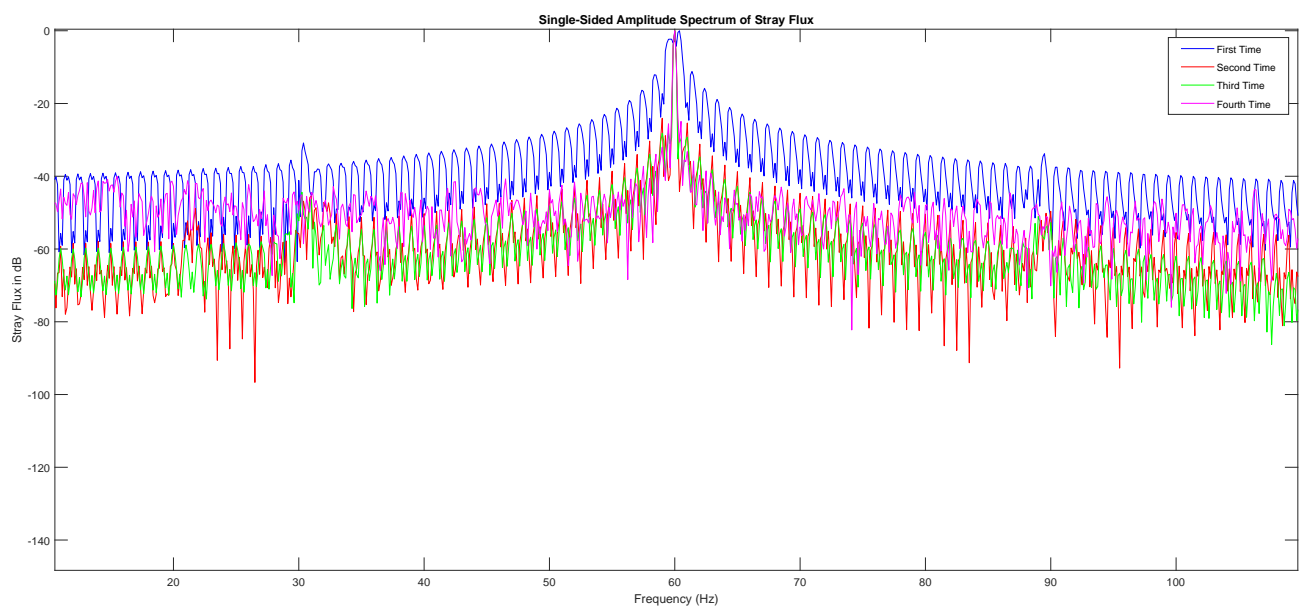


Figure 64: Συχνότητες που εμφανίζουν μηχανικά σφάλματα στη μαγνητική ροή

Παρατηρείται, ότι δεν υπάρχει κάποια αρμονική μηχανικού σφάλματος. Θα φαινόταν σίγουρα η διαφορά στα πλάτη των ίδιων συχνοτήτων, μεταξύ ρεύματος και μαγνητικής ροής. Καθώς, στην

συνέχεια, δεν εμφανίζονται αρμονικές που ισαπέχουν από την βασική.

Συνοπτικά, με τη χρήση της μεθόδου EPVA επιβεβαιώνονται οι προηγούμενες δηλώσεις. Με το μόνο σφάλμα ως την διαταραχή στο Δίκτυο, καθώς και στην EPVA, υπάρχει διαφορά πλάτους στην 3η αρμονική.

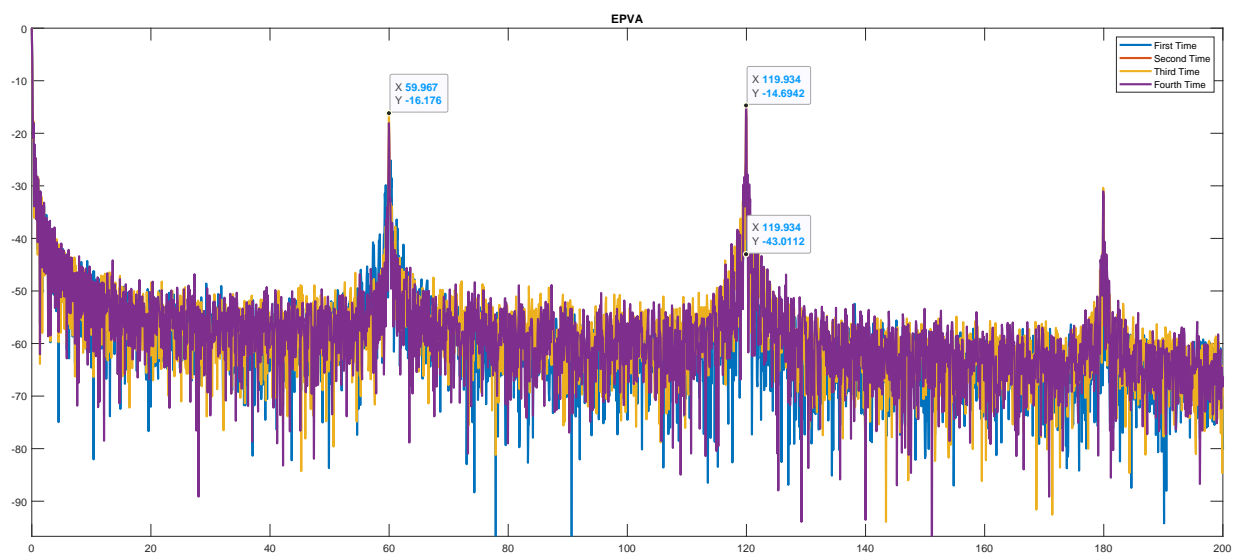


Figure 65: Extended Park's Vector Approach

3.5 Κινητήρας Μεταφοράς Καυσίμου

Ο κινητήρας μεταφοράς καυσίμου (Fuel Oil Transfer Pump) είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά καυσίμου από τους αποθηκευτικούς δοχείους προς τους κινητήρες και άλλα συστήματα καύσης στο πλοίο. Συνήθως λειτουργεί μέσω ενός συστήματος αντλίας και σωληνώσεων που μεταφέρουν το καύσιμο στα απαιτούμενα σημεία. Η λειτουργία του είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της συνεχούς παροχής καυσίμου προς τους κινητήρες, εξασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία τους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου. Επιπλέον, η αποτελεσματική λειτουργία αυτού του κινητήρα συμβάλλει στη μείωση των κινδύνων διακοπής λειτουργίας λόγω έλλειψης καυσίμου και στην αποφυγή πιθανών προβλημάτων καύσης ή καταστροφών στο πλοίο.



Figure 66: Fuel Oil transfer Pump

Table 9: Ονομαστικές τιμές κινητήρα

<i>Amperes</i>	<i>RPM</i>	<i>Voltage</i>	<i>PF</i>	<i>Power</i>
26A	870	440V	0.8	13kW

Υπολογίζεται αρχικά η ολίσθηση και με τη βοήθεια της οι RSH αρμονικές. Για τον εντοπισμό των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας χρησιμοποιείται η κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

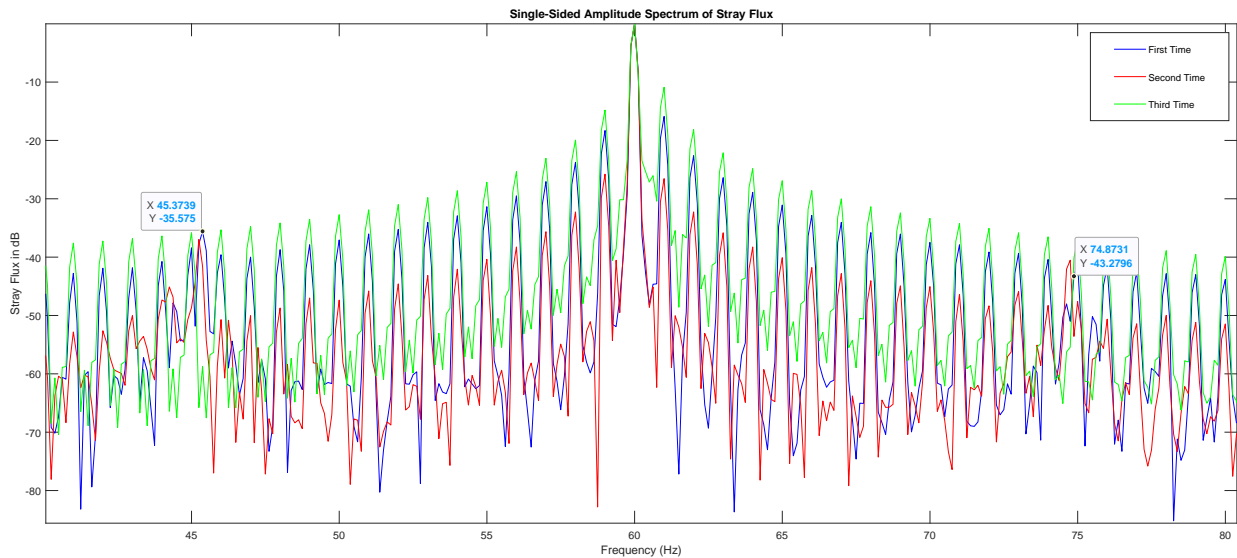


Figure 67: Μεικτή Εκκεντρότητα Feed Pump For Boiler

Ο κινητήρας είναι οκταπολικός, οπότε είναι λογικό να εμφανίζει μεικτή εκκεντρότητα, κοντά στις $f_s \pm \frac{f_s}{4}$. Με αυτό υπόψη, η ολίσθηση του κινητήρα είναι $s = 0.01$. Έτσι με την εξίσωση (1) θα βρεθούν οι μπάρες του δρομέα και θα κριθούν αν οι RSH ανήκουν στις PSH.

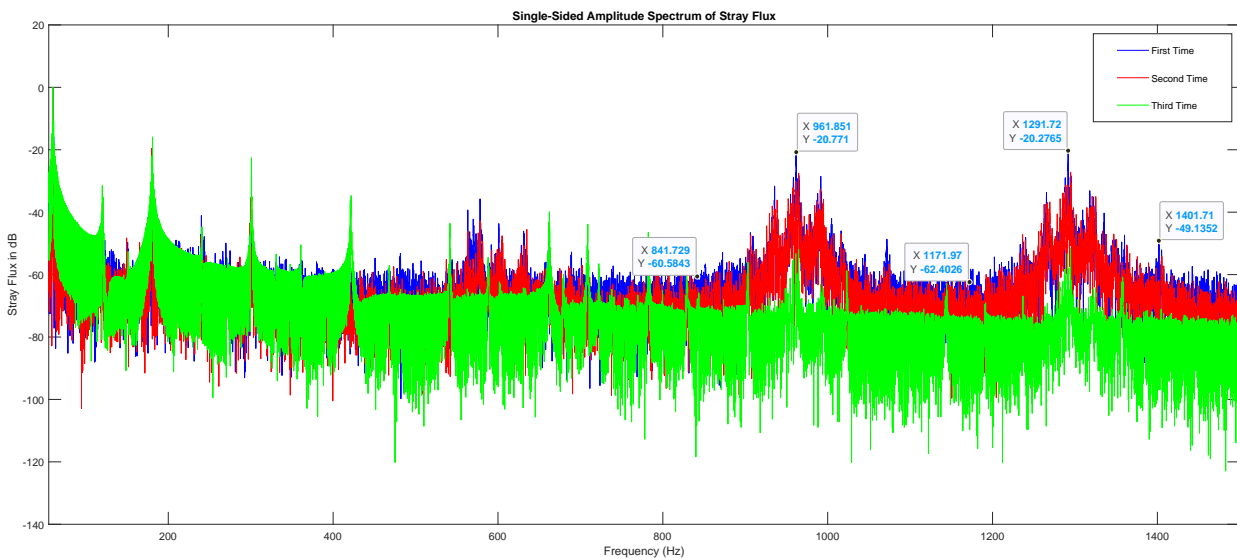


Figure 68: Αρμονικές RSH

Με την εξίσωση (1) και για $f_{eccH} = 961.851\text{Hz}$, ο κινητήρας αποτελείται από $R = 61$ μπάρες. Ο αριθμός αυτός δεν αποτελεί για οκταπολικούς κινητήρες σε καμία από τις R_{LPSH} , R_{HPSH} , $R_{BOTHPSH}$ οπότε ο κινητήρας δεν εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι κυματομορφές των ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

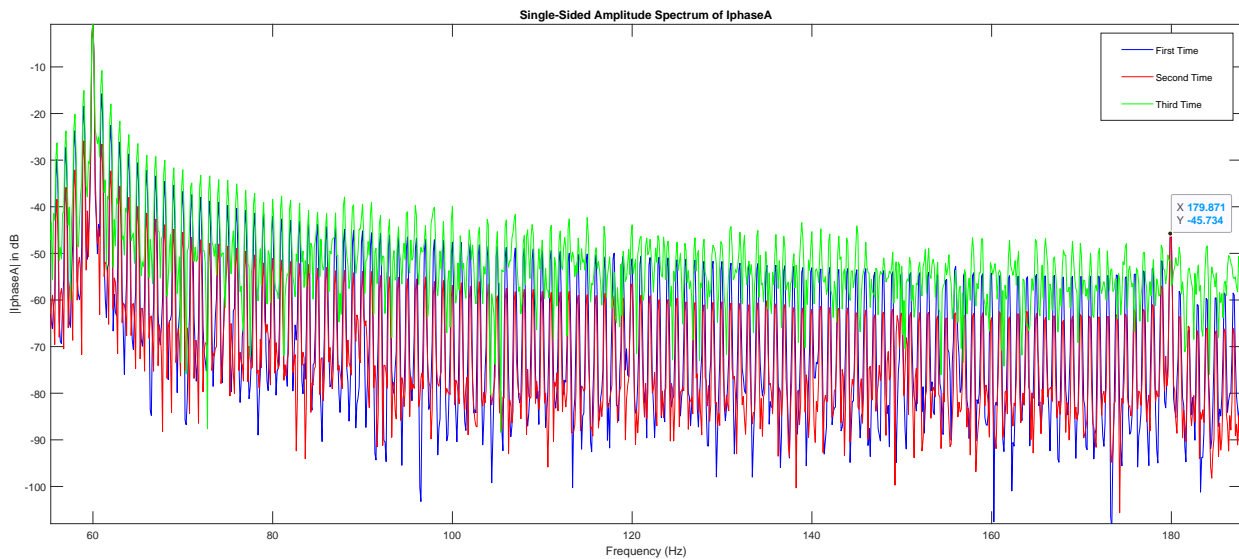


Figure 69: Κυματομορφή μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονικής

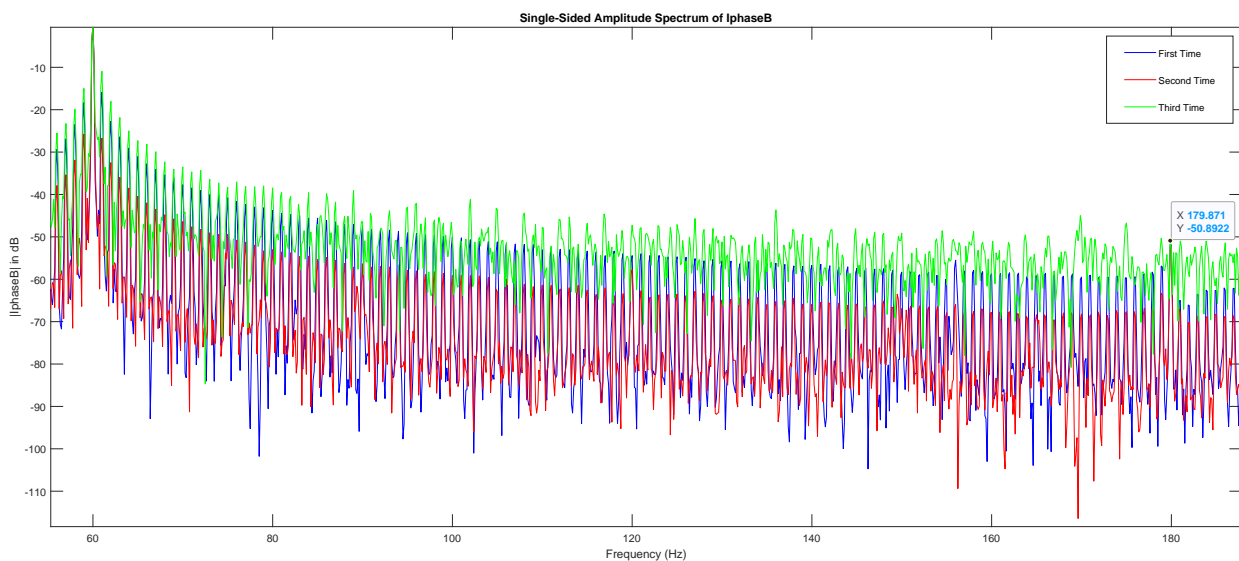


Figure 70: Κυματομορφή μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονικής

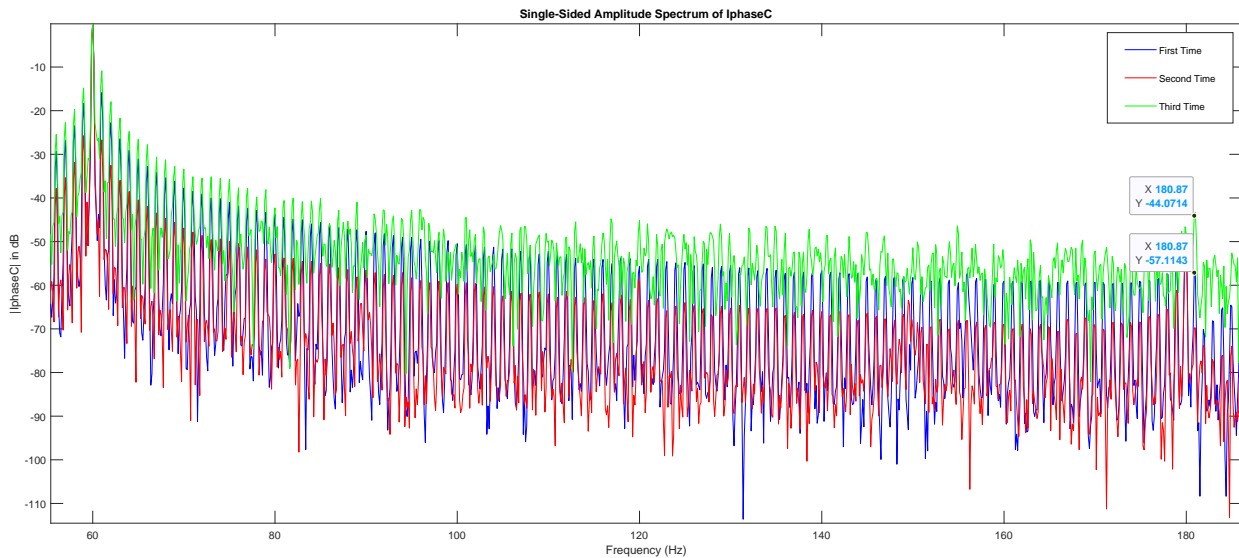


Figure 71: Κυματομορφή μεταξύ βασικής και τρίτης αρμονικής

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι αρκετά χαμηλή και πολύ κοντα μεταξύ τους, σε κάθε μέτρηση, οπότε δεν εμφανίζεται σίγουρα κάποια διαταραχή στο δίκτυο. Για μεγαλύτερη εξασκρίβωση θα υπολογιστούν και οι rms τιμές των ρευμάτων.

Table 10: Rms τιμές

I_{phase}	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>
A	17.74	15.62	15.61
B	17.92	15.48	15.62
C	18.16	15.16	15.21

Φαίνεται, και στον πίνακα οι τιμές των rms να είναι κοντά μεταξύ τους, ώστε να εξακριβώνεται να μην υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο.

Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

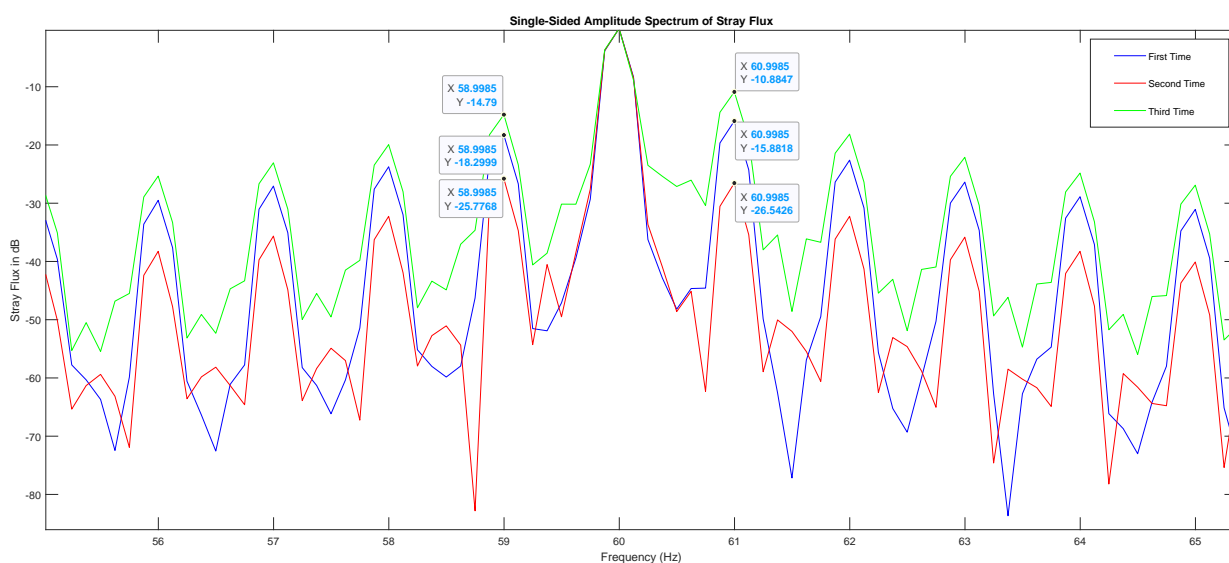


Figure 72: Αρμονικές κοντά στη βασική

Δυστυχώς, στις αρμονικές που εμφανίζονται σπασμένες μπάρες είναι πολύ ψηλά κάθε φορά. Αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως σφάλμα σπασμένης μπάρας και να χρειαζόταν επιδιόρθωση ο κινητήρας ή αλλαγή οι μπάρες του. Οι μετρήσεις, όμως, μπορεί να θεωρηθούν και αναξιόπιστες στον συγκεκριμένο κινητήρα, καθώς οι μετρήσεις του ήταν μόνο εν κινήσει πλοίου. Κάτι, το οποίο αν έχει σχέση με την παρατήρηση που έγινε στον CO2 compressor No2, τότε μπορεί απλά να έχει σχέση με τις ταλαντώσεις στον κινητήρα εν ώρα κινήσει, ή ακόμη και εξαιτίας των δονήσεων που υπέστει το πλοίο, εφόσον ο κινητήρας βρίσκεται στο κάτω μέρος του πλοίου ανάμεσα σε τόσες ενεργές μηχανές.

Τέλος, θα γίνει και η ανάλυση για τυχόν μηχανικών σφαλμάτων, συγκρίνοντας τα πλάτη ανάμεσα σε κυματομορφή ρεύματος και μαγνητικής ροής.

Παρατηρείται, ότι δεν υπάρχει κάποια αρμονική μηχανικού σφάλματος. Θα φαινόταν σίγουρα στην κυματομορφή του ρεύματος. Η μόνη διαφορά είναι στην αύξηση δύο αρμονικών στην μαγνητική

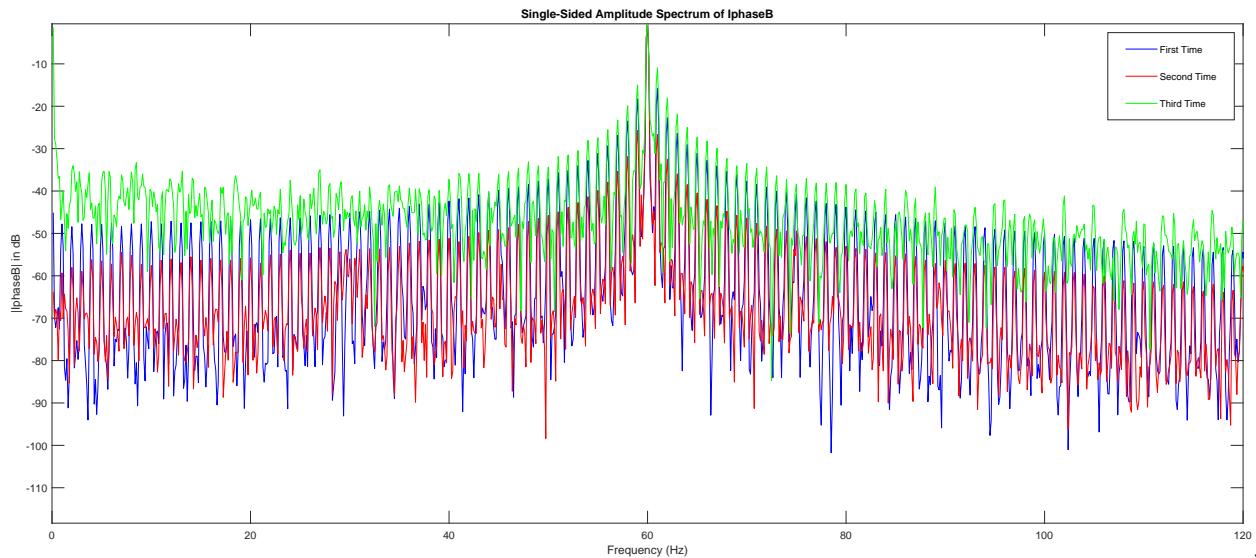


Figure 73: Αρμονικές που εμφανίζουν μηχανικό σφάλμα στο ρεύμα

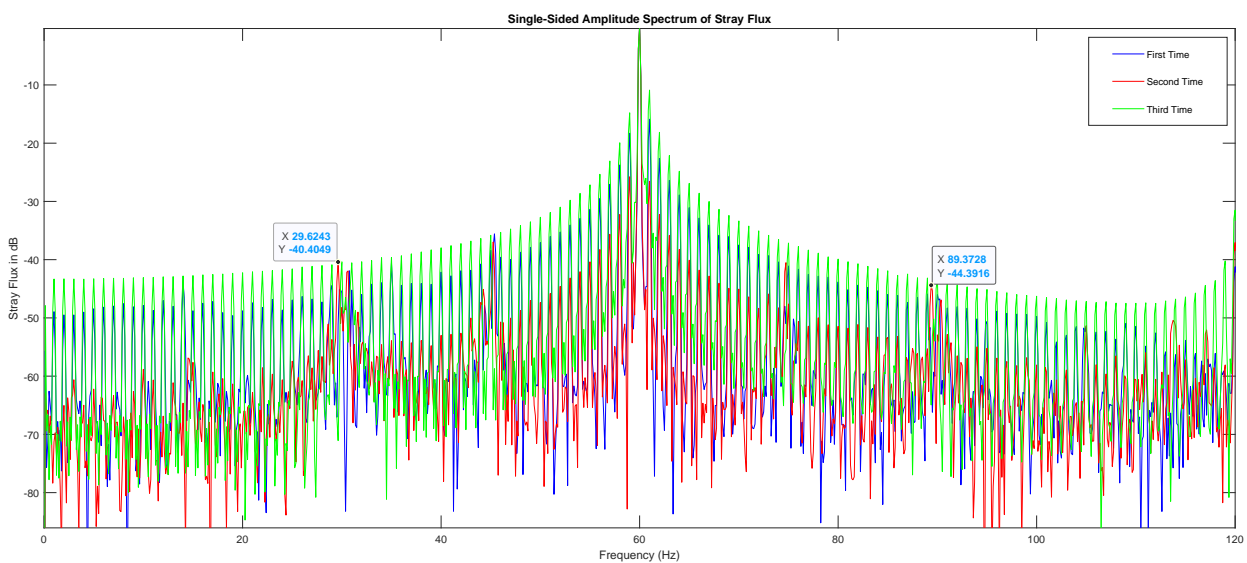


Figure 74: Αρμονικές που εμφανίζουν μηχανικό σφάλμα στη μαγνητική ροή

ροή. Για να μην υπάρχει σε κανένα από τα ρεύματα είναι αρμονικές δυναμικής εκκεντρότητας.

Με την μέθοδο EPVA, οι αρμονικές που προκύπτουν είναι παρόμοιες με αυτές της Diesel Oil Transfer Pump, γεγονός που δηλώνει μια υγιή μηχανή.

3.6 Υδραυλικός Αντλητής Για RoRo

Ο υδραυλικός αντλητής για το RoRo (Hydraulic Pump For RoRo, Roll-on/Roll-off) πλοίο είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία υδραυλικής πίεσης που απαιτείται για τη λειτουργία των συστημάτων φόρτωσης και εκφόρτωσης του πλοίου. Κατά τη λειτουργία του, ο υδραυλικός αντλητής μεταφέρει υγρό υδραυλικό μέσω σωλήνων και βαλβίδων προς τους κινητήρες των μηχανημάτων, όπως πλατφόρμες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την ασφαλή και αποτελεσματική μεταφορά εμπορευμάτων προς και από το πλοίο, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία των διαδικασιών, κατά τη διάρκεια των λιμενικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, ο υδραυλικός αντλητής είναι σημαντικός για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα μετακίνησης προϊόντων, καθώς ο χρόνος είναι κρίσιμος, και η αποτελεσματική λειτουργία ουσιώδης, για τη διατήρηση του πλοίου σε καλή λειτουργική κατάσταση.

3.6.1 Υδραυλικός αντλητής για πλοίο RoRo No1

Οι μετρήσεις του κινητήρα έγιναν κατόπιν εργασίας του. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον το πλοίο δεν είχε αρκετά αμάξια στους ορόφους του, ανεβοκατέβαινε η εσωτερική ράμπα των ορόφων για να έχει φορτίο ο κινητήρας. Η διαδικασία αυτή, έγινε μόνο εν κινήσει του πλοίου, καθώς ήταν αδύνατο όσο ήταν το πλοίο στο λιμάνι και γινόταν η εισαγωγή ή η εξαγωγή των αμαξιών.



Figure 75: Hydraulic Pump For RoRo No1

Table 11: Ονομαστικές τιμές κινητήρα

<i>Amperes</i>	<i>RPM</i>	<i>Voltage</i>	<i>PF</i>	<i>Power</i>
52.32A	1760	440V	0.8	34.5kW

Εντοπίζεται αρχικά η ολίσθηση s, μέσω της βοήθειας των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

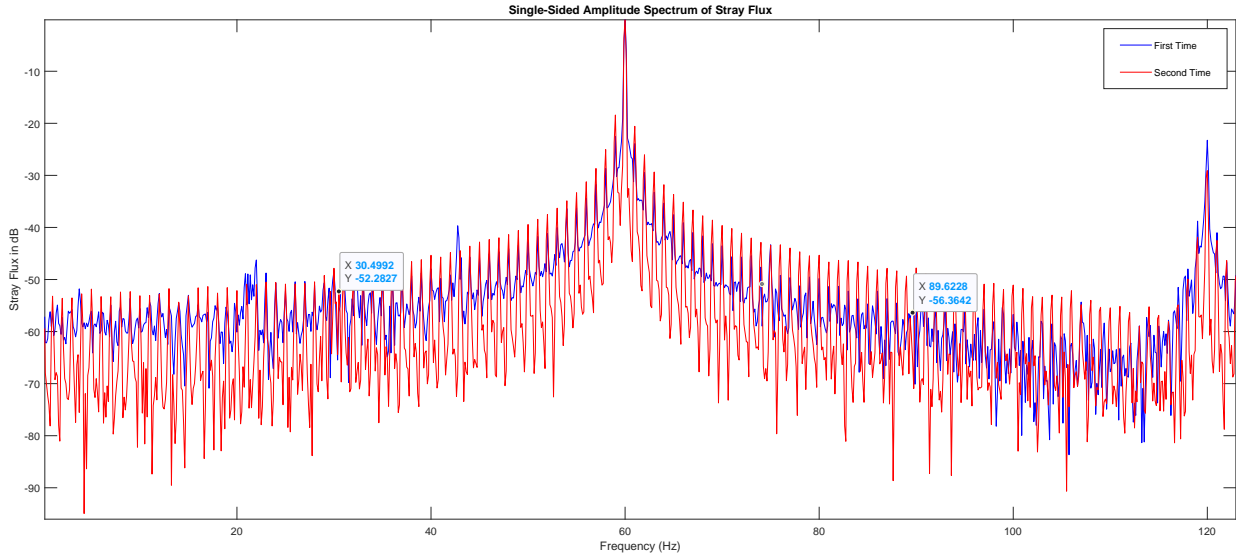


Figure 76: Μεικτή εκκεντρότητα Hydraulic Pump For RoRo

Σε αυτόν τον κινητήρα δεν φαίνονται έντονα οι αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας. Παρ'όλα αυτά σύμφωνα με τη θεωρία οι αρμονικές πρέπει να εμφανίζονται κοντά στις $f_s \pm \frac{f_s}{2}$, καθώς ο κινητήρας είναι τετραπολικός. Βέβαια για εξακρίβωση χρησιμοποιείται και η εξίσωση των f_{bb} , εφόσον γίνονται ορατές οι συχνότητες εμφάνισης σπασμένης μπάρας. Με αυτό υπόψη, η ολίσθηση του κινητήρα είναι $s = 0.01$. Έτσι με την εξίσωση (1) θα βρεθούν οι μπάρες του δρομέα και θα κριθούν αν οι RSH ανήκουν στις PSH.

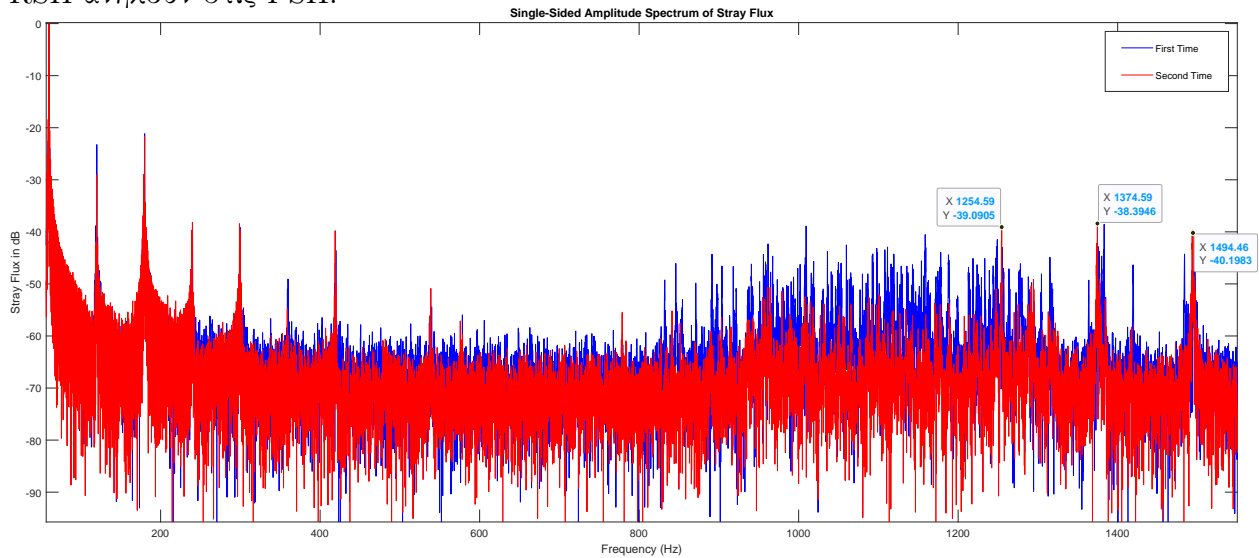


Figure 77: RSH Hydraulic Pump For RoRo

Ο κινητήρας είναι τετραπολικός και με την εξίσωση (1) και για $f_{eccH} = 1374.59Hz$, ο κινητήρας αποτελείται από $R = 44$ μπάρες. Ο αριθμός αυτός αποτελεί για τετραπολικούς κινητήρες στις R_{UPSH} , οπότε ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι κυματομορφές των ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

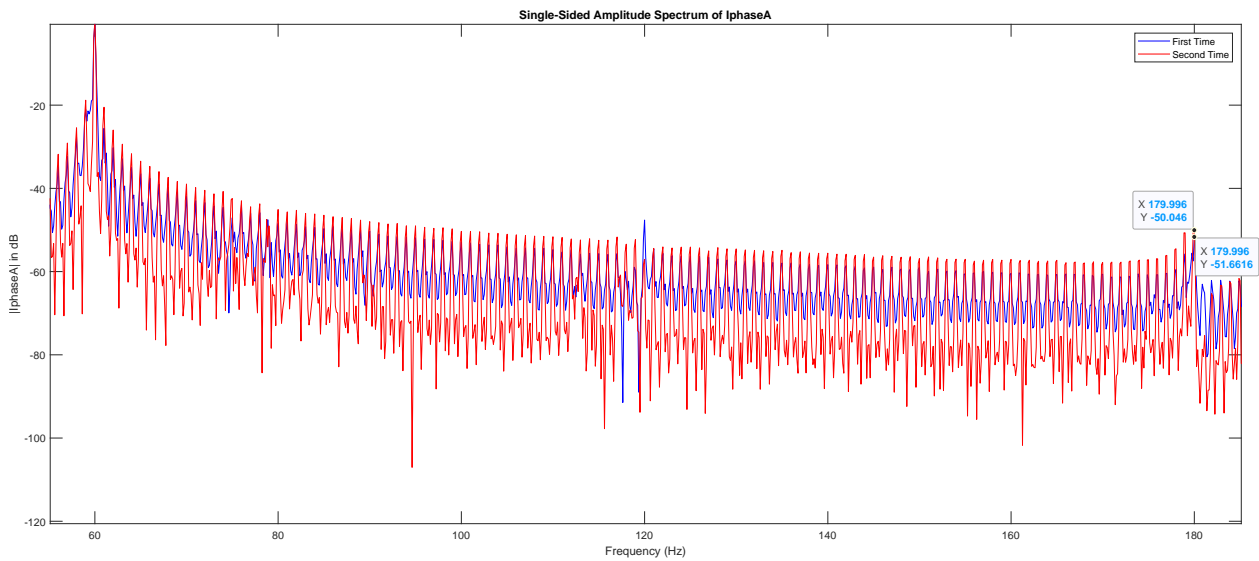


Figure 78: Κυματομορφή Πρώτης φάσης ρεύματος

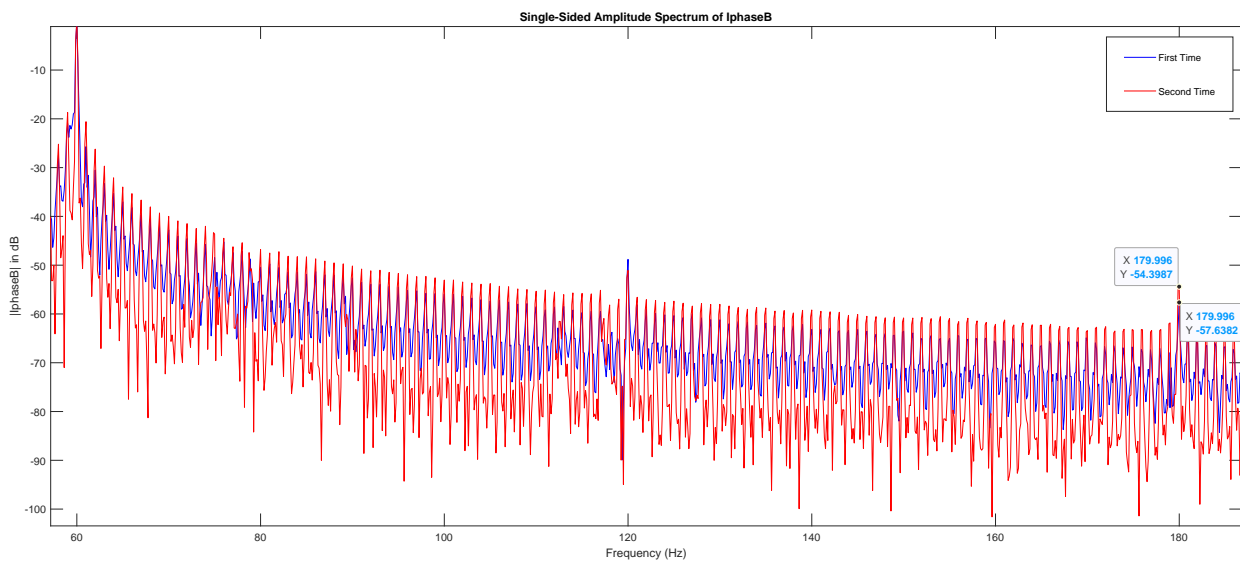


Figure 79: Κυματομορφή Δεύτερης φάσης ρεύματος

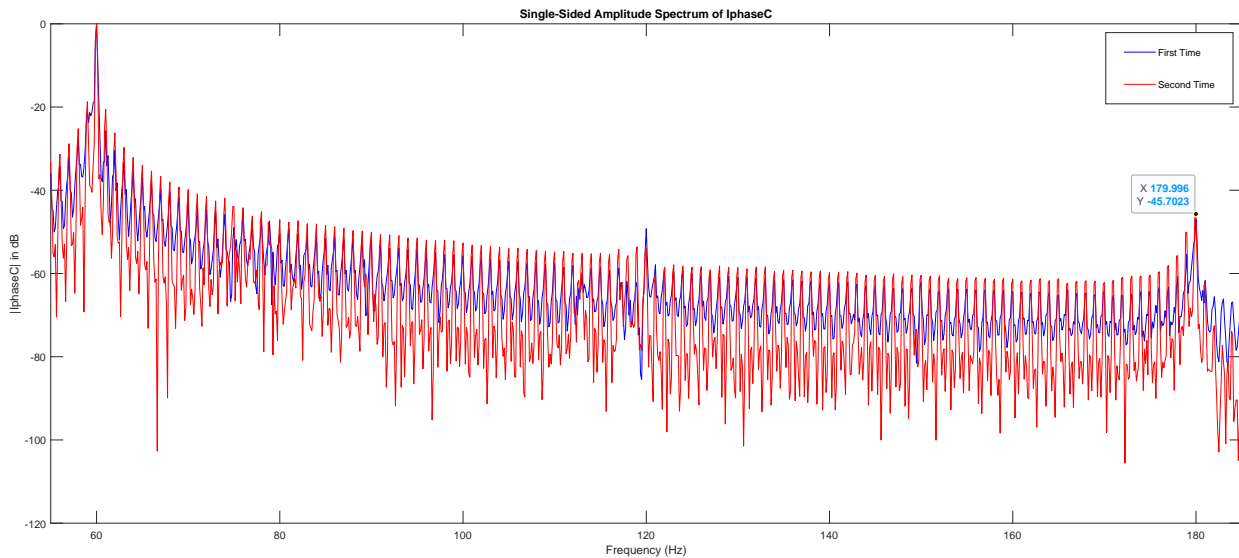


Figure 80: Κυματομορφή Τρίτης φάσης ρεύματος

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι αρκετά χαμηλή και πολύ κοντά μεταξύ τους, σε κάθε μέτρηση, οπότε δεν εμφανίζεται σίγουρα κάποια διαταραχή στο δίκτυο. Για μεγαλύτερη εξακρίβωση θα υπολογιστούν και οι rms τιμές των ρευμάτων.

Table 12: Rms τιμές

I_{phase}	$first$	$second$
A	22.71	20.70
B	21.76	21.22
C	22.89	20.87

Φαίνεται, και στον πίνακα οι τιμές των rms να είναι κοντά μεταξύ τους, ώστε να εξακριβώνεται να μην υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο.

Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

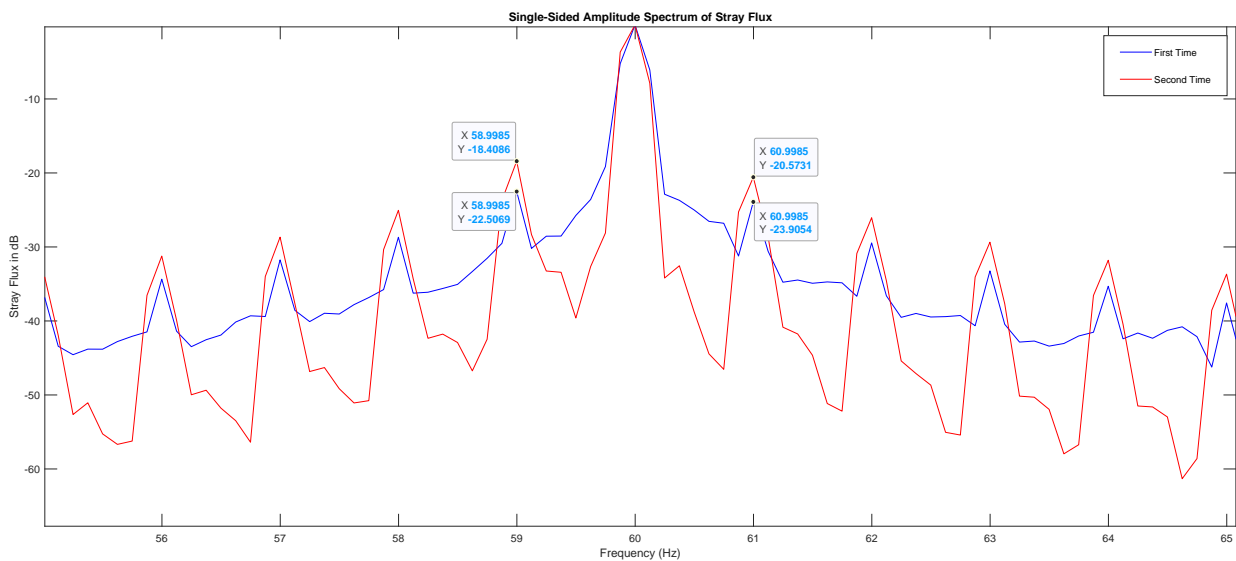


Figure 81: Αρμονικές κοντά στην βασική

Δυστυχώς, στις αρμονικές που εμφανίζονται σπασμένες μπάρες είναι πολύ ψηλά κάθε φορά. Αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως σφάλμα σπασμένης μπάρας και να χρειαζόταν επιδιόρθωση ο κινητήρας ή αλλαγή οι μπάρες του. Οι μετρήσεις, όμως, μπορεί να θεωρηθούν και αναξιόπιστες στον, καθώς οι μετρήσεις του ήταν μόνο εν κινήσει πλοίου. Το πλάτος των αρμονικών, μπορεί να έχει σχέση με τις ταλαντώσεις στον κινητήρα εν ώρα κινήσει πλοίου.

Τέλος, θα γίνει και η ανάλυση για τυχόν μηχανικών σφαλμάτων, συγκρίνοντας τα πλάτη ανάμεσα σε κυματομορφή ρεύματος και μαγνητικής ροής.

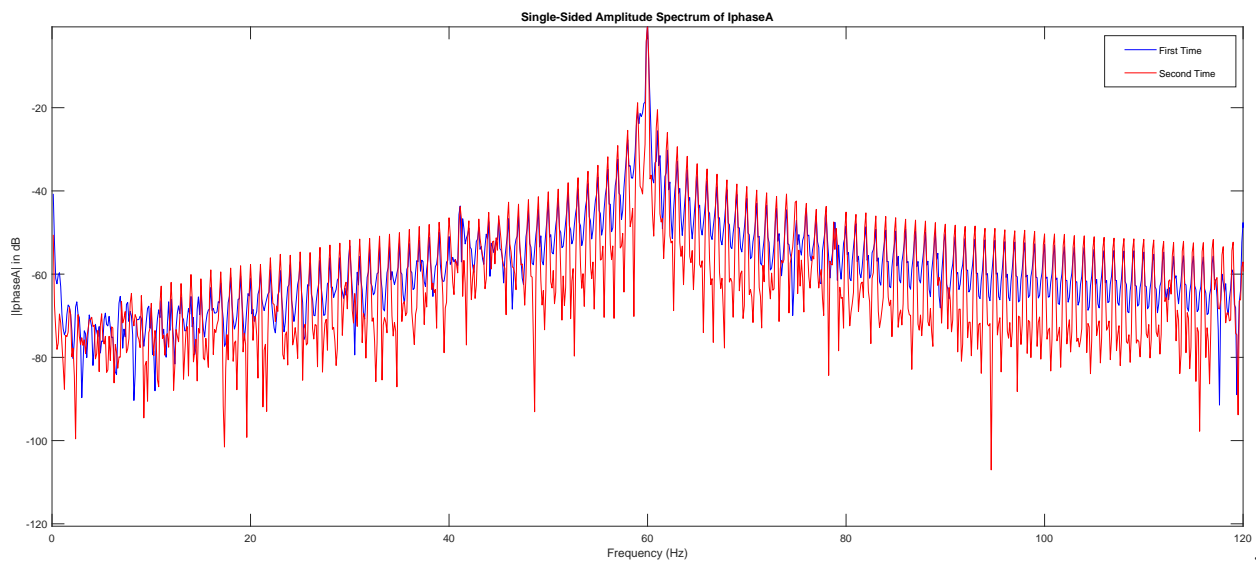


Figure 82: Κυματομορφή ρεύματος για μηχανικά σφάλματα

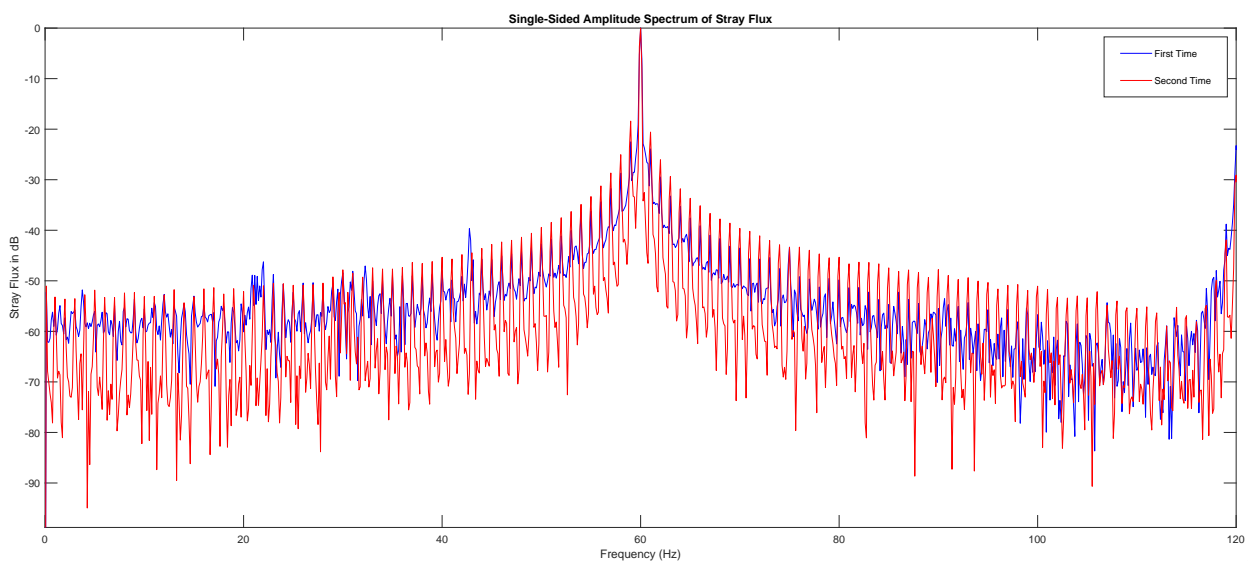


Figure 83: Κυματομορφή μαγνητικής ροής για μηχανικά σφάλματα

Παρατηρείται, ότι δεν υπάρχει κάποια αρμονική μηχανικού σφάλματος. Θα φαινόταν σίγουρα στην κυματομορφή του ρεύματος. Με την EPVA, όντως τα αποτελέσματα της εμφανίζουν μια υγιή μηχανή, όπως την Diesel Oil Pump.

3.6.2 Υδραυλικός αντλητής για πλοίο RoRo No3

Ο συγκεκριμένος κινητήρας, σε αντίθεση με τον προηγούμενο, που λειτουργούσε μόνο εν κινήσει του πλοίου. Μόνο στην πρώτη μέτρηση το πλοίο ήταν σε λιμάνι.



Figure 84: Hydraulic Pump For RoRo No3

Table 13: Ονομαστικές τιμές κινητήρα

<i>Amperes</i>	<i>RPM</i>	<i>Voltage</i>	<i>PF</i>	<i>Power</i>
8.01A	1780	440V	0.82	4.8kW

Εντοπίζεται η ολίσθηση $s = 0.01$, μέσω της βοήθειας των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

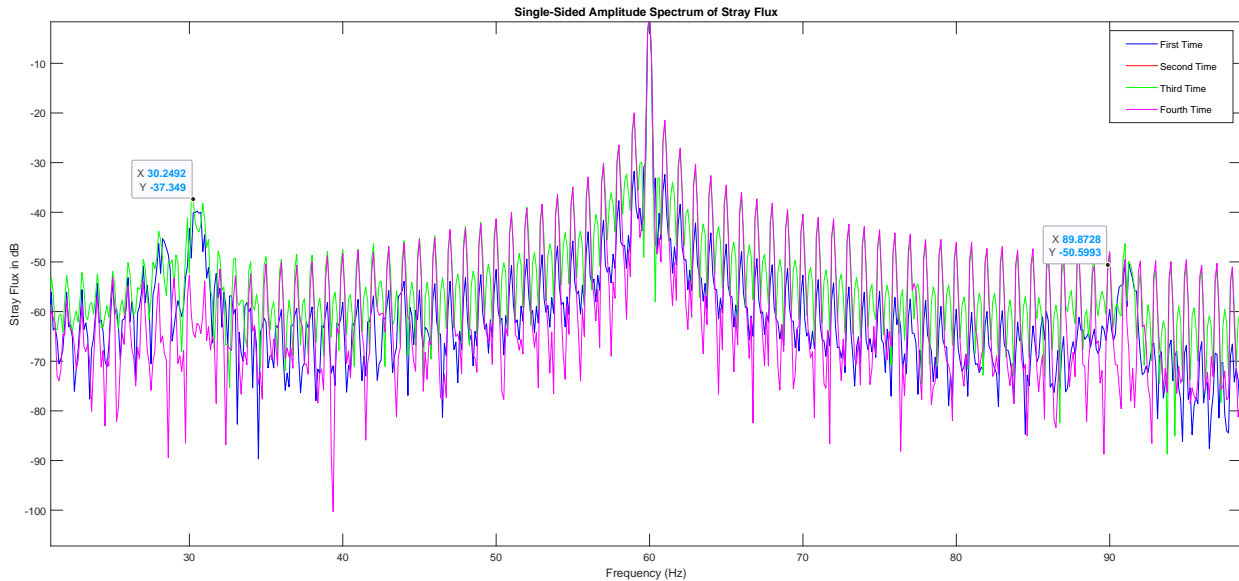


Figure 85: Mixed Eccentricity Hydraulic Pump For RoRo No3

Σε αυτόν τον κινητήρα δεν φαίνονται έντονα οι αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας. Παρ'όλα αυτά σύμφωνα με τη θεωρία οι αρμονικές πρέπει να εμφανίζονται κοντά στις $f_s \pm \frac{f_s}{2}$, καθώς ο κινητήρας είναι τετραπολικός. Με ολίσθηση $s = 0.01$ και με εξίσωση (1), υπολογίζονται οι μπάρες του δρομέα και θα κοιτούν αν οι RSH ανήκουν στις PSH.

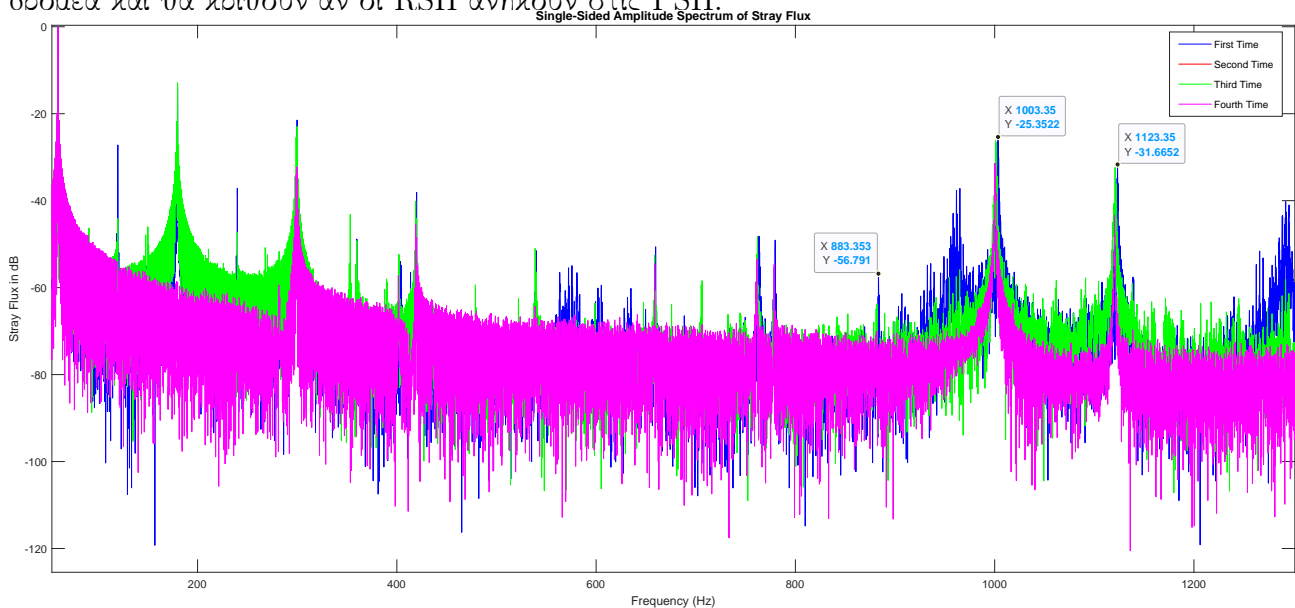


Figure 86: RSH αρμονικές για HPNo3

Ο κινητήρας είναι τετραπολικός και με την εξίσωση (1) και για $f_{eccH} = 1000.35Hz$, ο κινητήρας αποτελείται από $R = 32$ μάρκες. Ο αριθμός αυτός αποτελεί για τετραπολικούς κινητήρες στις R_{UPSH} , οπότε ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές.

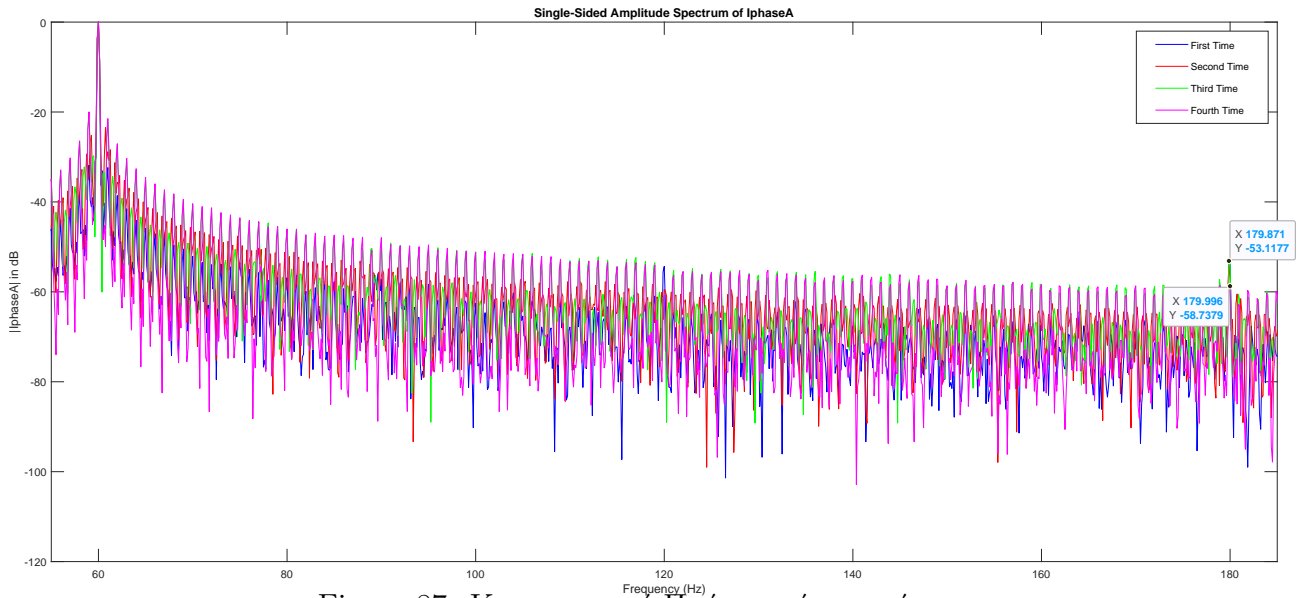


Figure 87: Κυματομορφή Πρώτης φάσης ρεύματος

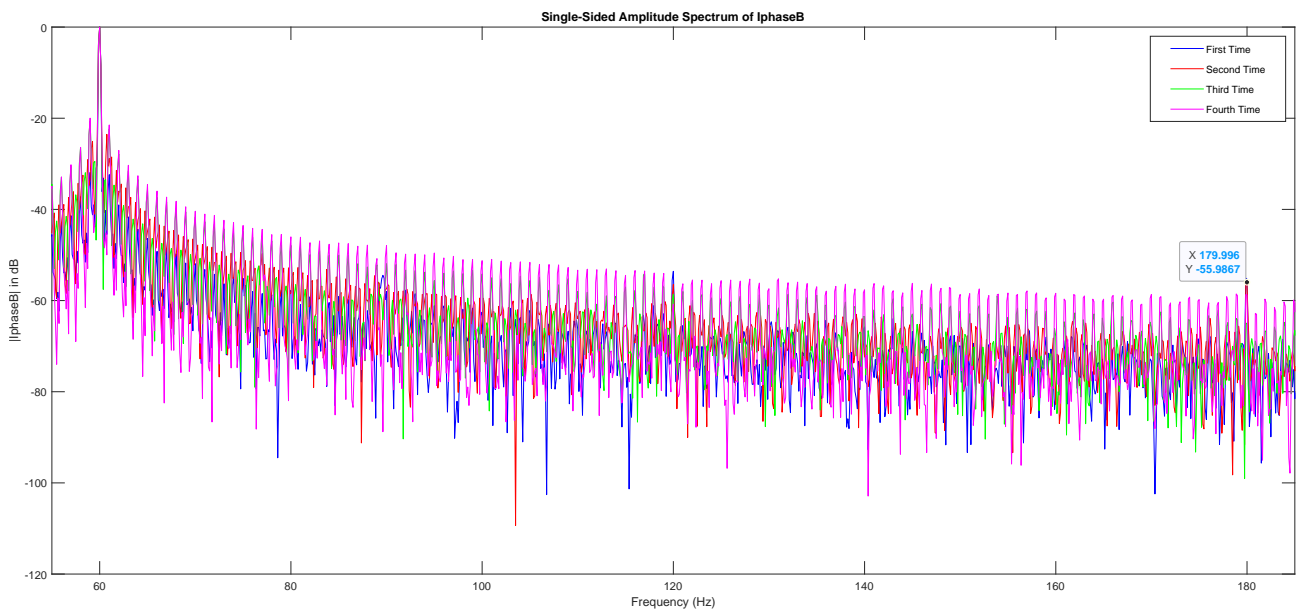


Figure 88: Κυματομορφή Δεύτερης φάσης ρεύματος

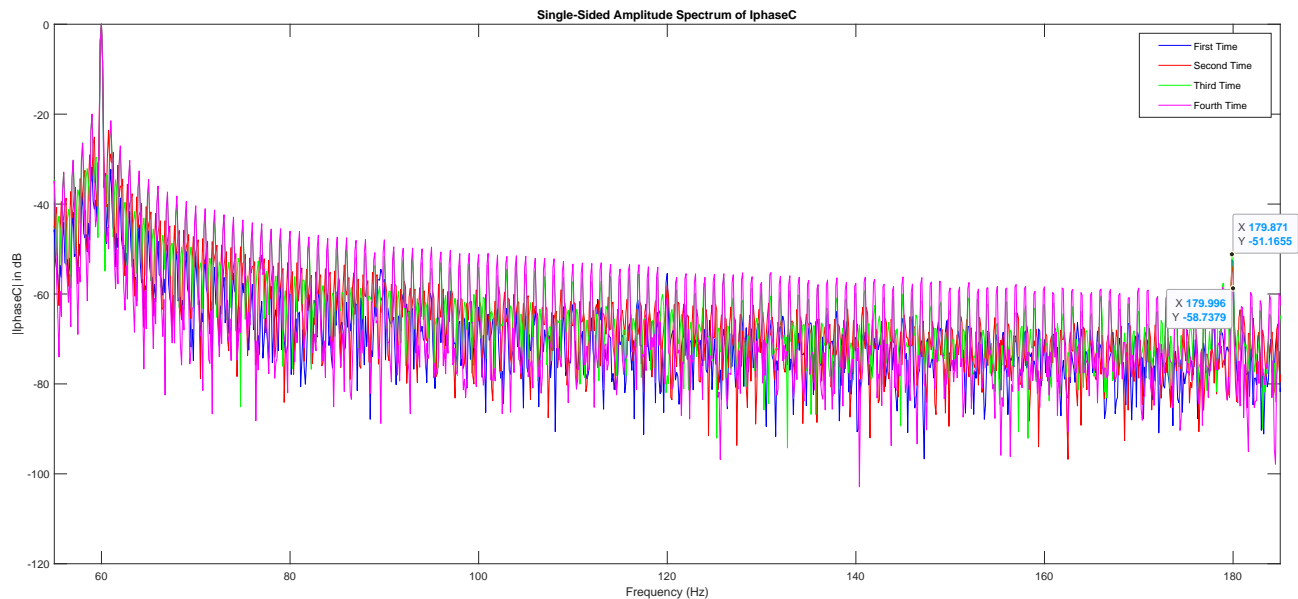


Figure 89: Κυματομορφή Τρίτης φάσης ρεύματος

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι αρκετά χαμηλή και πολύ κοντά μεταξύ τους, σε κάθε μέτρηση, οπότε δεν εμφανίζεται σίγουρα κάποια διαταραχή στο δίκτυο. Για μεγαλύτερη εξασκρίβωση θα υπολογιστούν και οι rms τιμές των ρευμάτων.

Table 14: Rms values

<i>Iphase</i>	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>	<i>fourth</i>
A	4.59	5.04	4.99	5.11
B	4.67	4.91	5.00	5.18
C	4.64	5.07	5.03	5.14

Οι τιμές των rms είναι κοντά μεταξύ τους, οπότε δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο.

Γίνεται η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

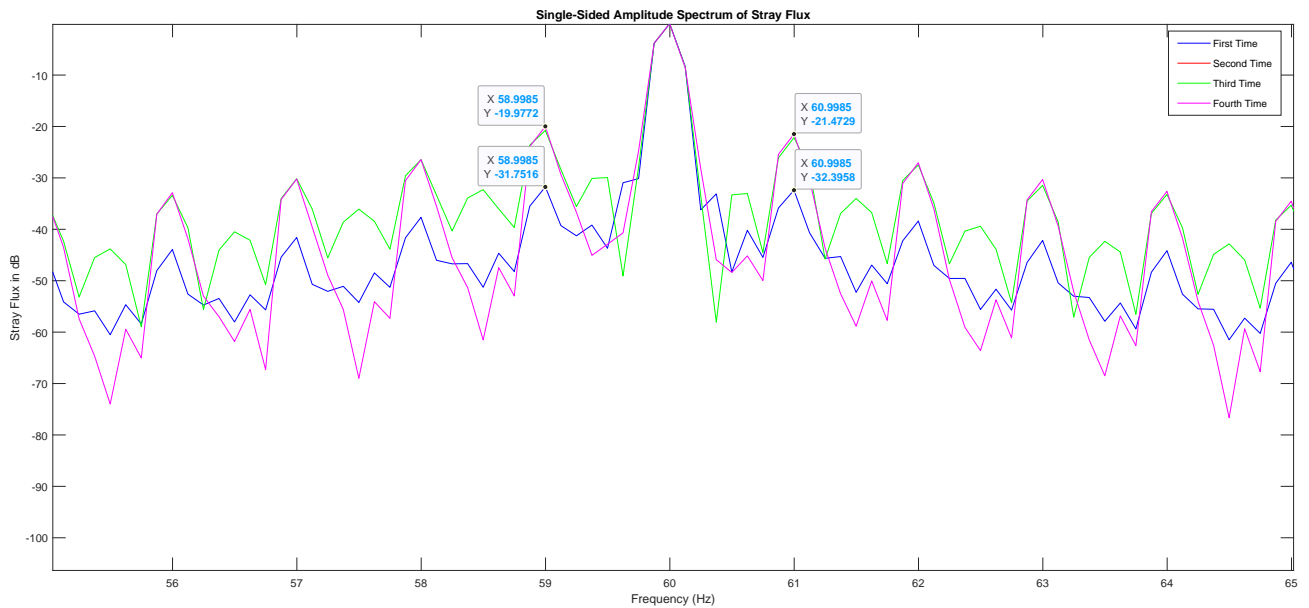


Figure 90: Αρμονικές κοντά στην βασική

Σε αυτόν τον κινητήρα εμφανίζεται ότι μόνο στην πρώτη μέτρηση χαμηλά οι συχνότητες σπασμένης μπάρας. Οι άλλες μετρήσεις έχουν μεγαλύτερα πλάτη. Αυτό ίσως έχει πάλι σημασία με τις δονήσεις του πλοίου όσο είναι εν κινήσει.

Τέλος, θα γίνει και η ανάλυση για τυχόν μηχανικών σφαλμάτων, συγκρίνοντας τα πλάτη ανάμεσα σε κυματομορφή ρεύματος και μαγνητικής ροής.

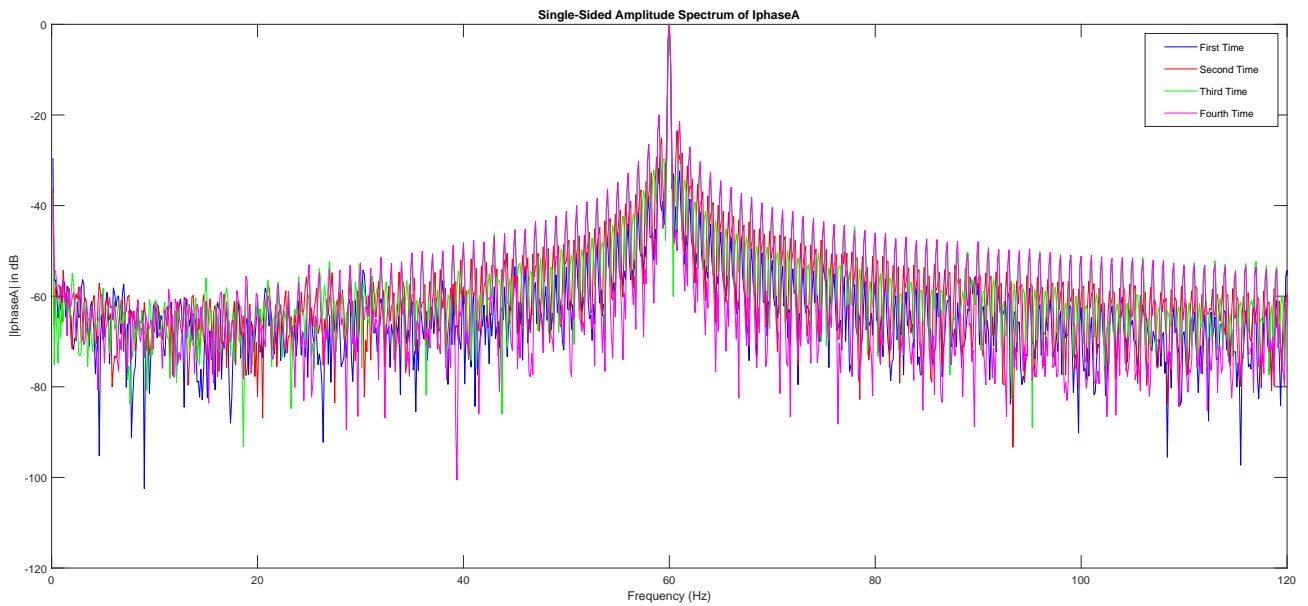


Figure 91: Κυματομορφή ρεύματος για μηχανικά σφάλματα

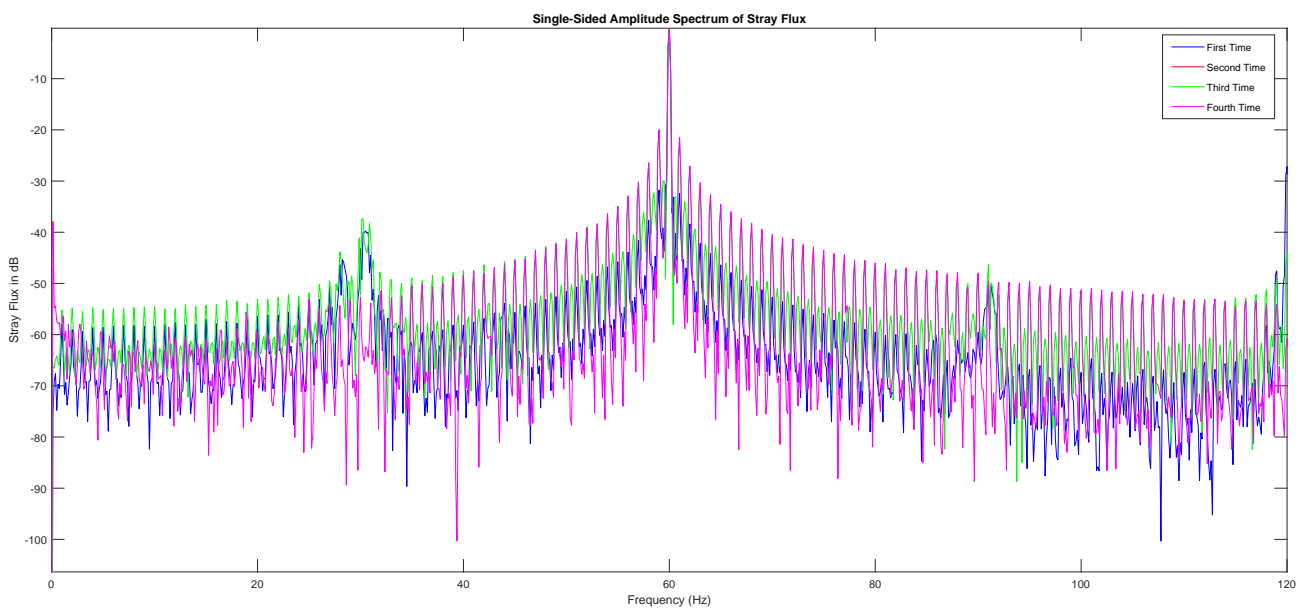


Figure 92: Κυματομορφή μαγνητικής ροής για μηχανικά σφάλματα

Δεν εμφανίζεται κάποια αρμονική μηχανικού σφάλματος, καθώς θα ήταν και πιο εμφανείς οι διαφορές των αρμονικών μεταξύ ρεύματος και μαγνητικής ροής, όπως και στην μέθοδο της EPVA.

3.7 Σύστημα Ψύξης Κύριας Μηχανής Με Νερό

Η κύρια μηχανή του πλοίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και για την κίνηση του πλοίου. Κατά τη λειτουργία της, ο κινητήρας παράγει θερμότητα που πρέπει να διαχέεται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Το σύστημα ψύξης με νερό, γνωστό και ως "Jacket Cooling", χρησιμοποιείται για να απομακρύνει τη θερμότητα από τα εξωτερικά μέρη του κινητήρα. Το νερό κυκλοφορεί γύρω από τον κινητήρα, αφαιρώντας τη θερμότητα και απομακρύνοντάς την από το σύστημα ψύξης. Στη συνέχεια, το καύσιμο νερό επιστρέφει σε μια ψυκτική μονάδα όπου κατευθύνεται πίσω στον κύκλο ψύξης. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του κινητήρα σε ασφαλές επίπεδο και να αποφευχθεί η υπερθέρμανση που μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον κινητήρα.



Figure 93: Main Engine Fresh Water Cooling(Jacket)

Ο κινητήρας, είναι ήδη γνωστό, ότι είχε γίνει πλήρη συντήρηση του. Είχε γίνει εσωτερικός καθαρισμός, καθώς και στην αντλία, αλλά καμία αλλαγή στο bearing.

Table 15: Ονομαστικές τιμές κινητήρα

<i>Amperes</i>	<i>RPM</i>	<i>Voltage</i>	<i>PF</i>	<i>Power</i>
33A	1750	440V	0.81	18kW

Υπολογίζεται αρχικά η ολίσθηση και με τη βοήθεια της οι RSH αρμονικές. Για τον εντοπισμό των αρμονικών μεικτής εκκεντρότητας χρησιμοποιείται η κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

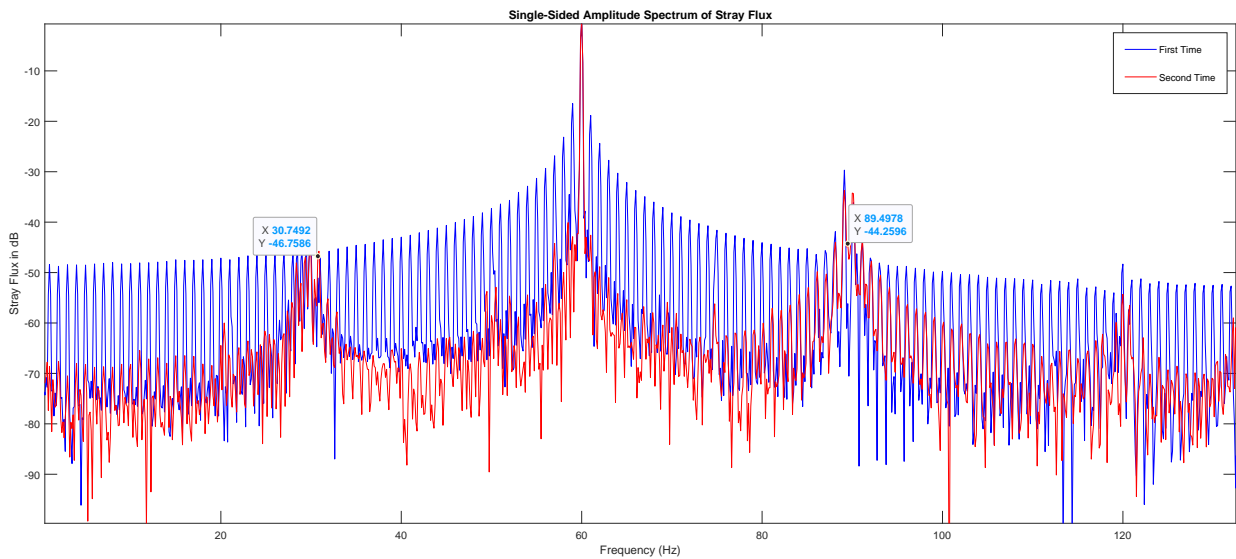


Figure 94: Μεικτή εκκεντρότητα M.E F.W Cooling(Jacket)

Ο κινητήρας είναι τετραπολικός, οπότε είναι λογικό να εμφανίζει μεικτή εκκεντρότητα, κοντά στις $f_s \pm \frac{f_s}{2}$. Καθώς, δεν είναι βέβαια ορατές οι σωστές αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας και έχοντας τις συχνότητες σπασμένης μπάρας. Από την εξίσωση f_{bb} , η ολίσθηση του κινητήρα είναι $s = 0.01$. Στην συνέχεια, χρησιμοποιείται η εξίσωση (1) για να βρεθούν οι μπάρες του δρομέα και να κριθούν αν οι RSH ανήκουν στις PSH.

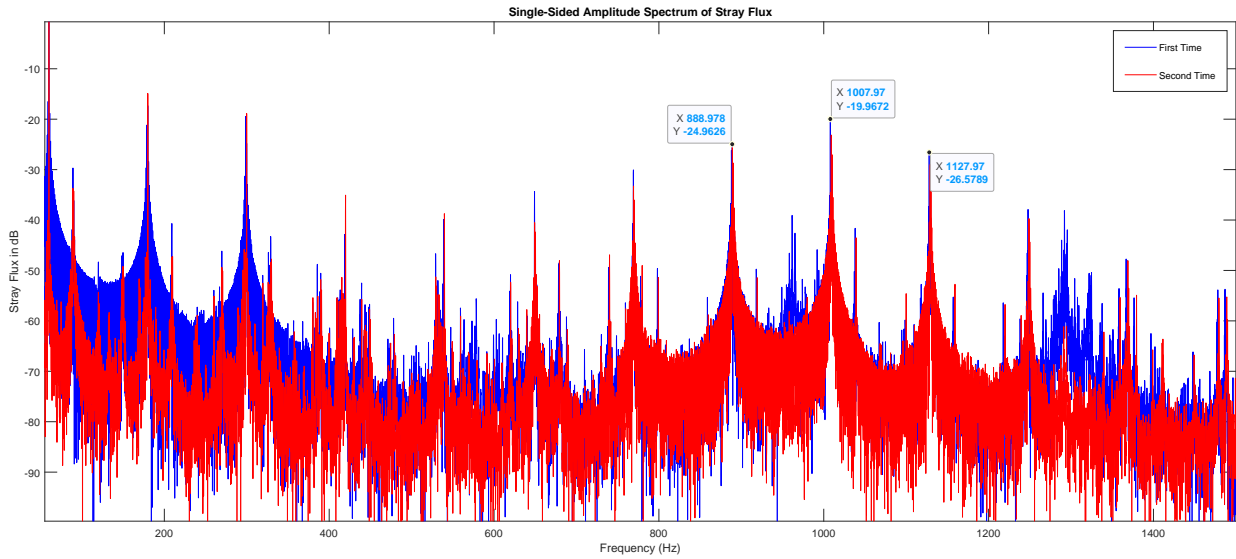


Figure 95: RSH M.E F.W Cooling(Jacket)

Άρα για $f_{eccH} = 1007.97Hz$, ο κινητήρας αποτελείται από $R = 32$ μάρκες. Ο αριθμός αυτός αποτελεί για τετραπολικούς κινητήρες τις R_{UPSH} , οπότε ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι κυματομορφές των ρευμάτων μέχρι και την τρίτη αρμονική.

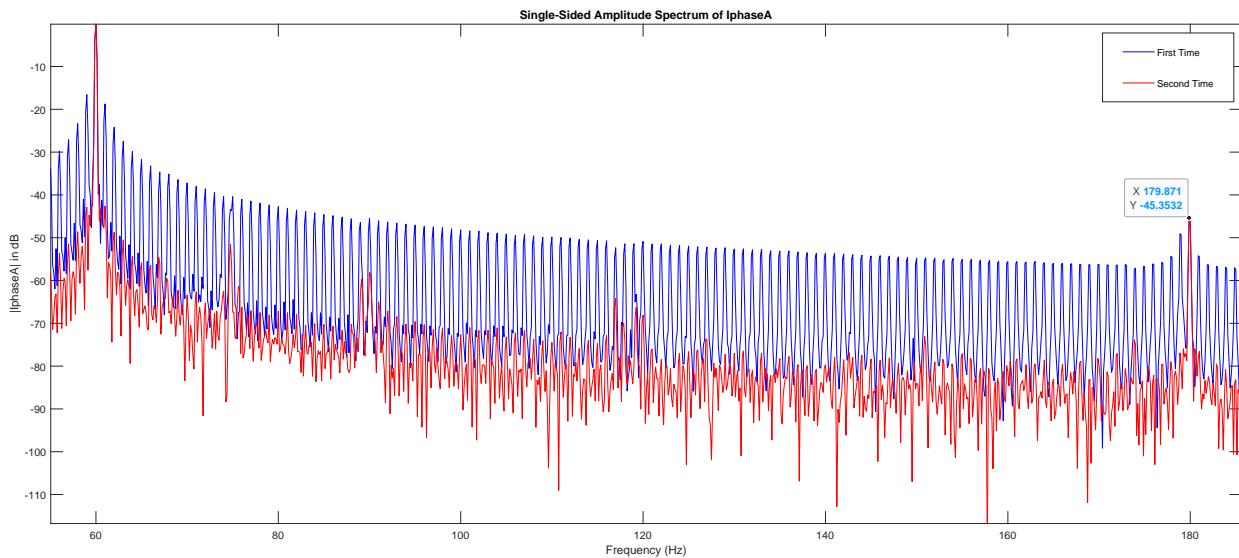


Figure 96: Κυματομορφή Πρώτης φάσης ρεύματος

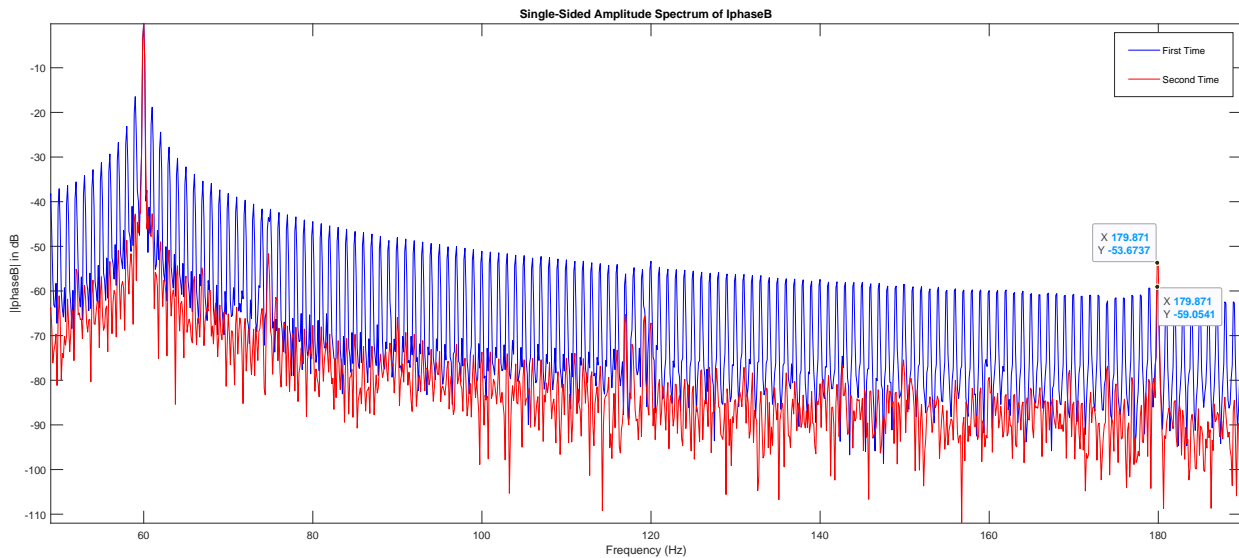


Figure 97: Κυματομορφή Δεύτερης φάσης ρεύματος

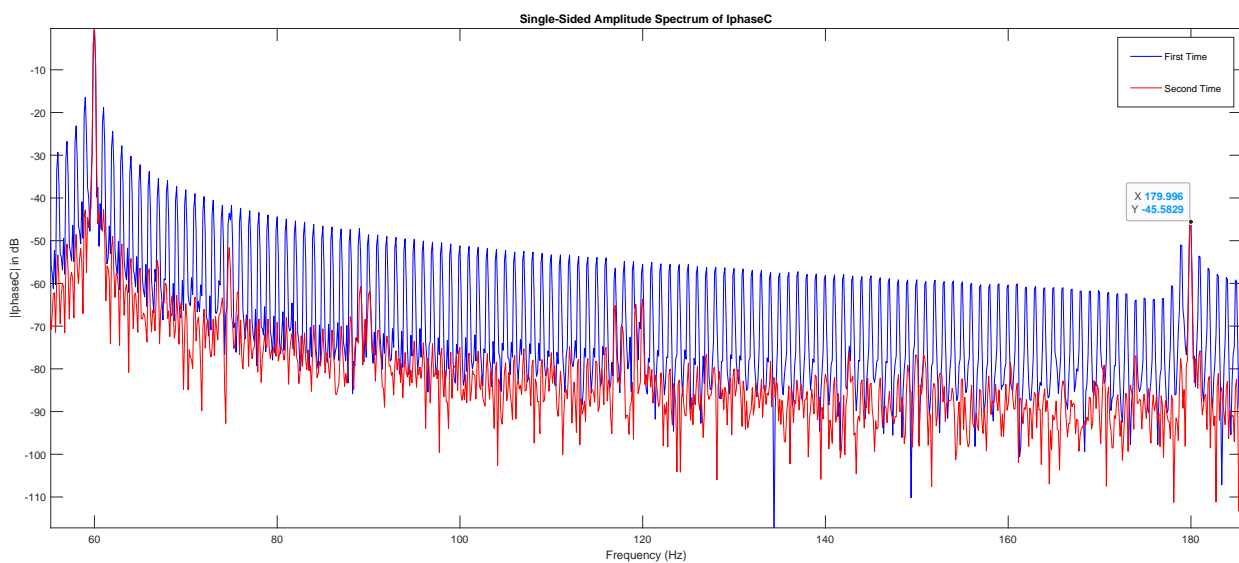


Figure 98: Κυματομορφή Τρίτης φάσης ρεύματος

Παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις η τρίτη αρμονική είναι χαμηλή και πολύ κοντά μεταξύ τους σε κάθε μέτρηση, οπότε δεν εμφανίζεται σίγουρα κάποια διαταραχή στο δίκτυο. Για μεγαλύτερη εξακρίβωση θα υπολογιστούν και οι rms τιμές των ρευμάτων.

Table 16: Rms τιμές

I_{phase}	$first$	$second$
A	27.10	27.16
B	27.48	27.18
C	27.85	27.05

Φαίνεται, και στον πίνακα οι τιμές των rms να είναι κοντά μεταξύ τους, ώστε να εξακριβώνεται να μην υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο. Είναι βέβαια πιο μεγάλες οι τιμές των rms τιμών σε σχέση με την rms της ονομαστικής του ρεύματος.

Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση των συχνοτήτων πλάι της βασικής στην κυματομορφή της μαγνητικής ροής.

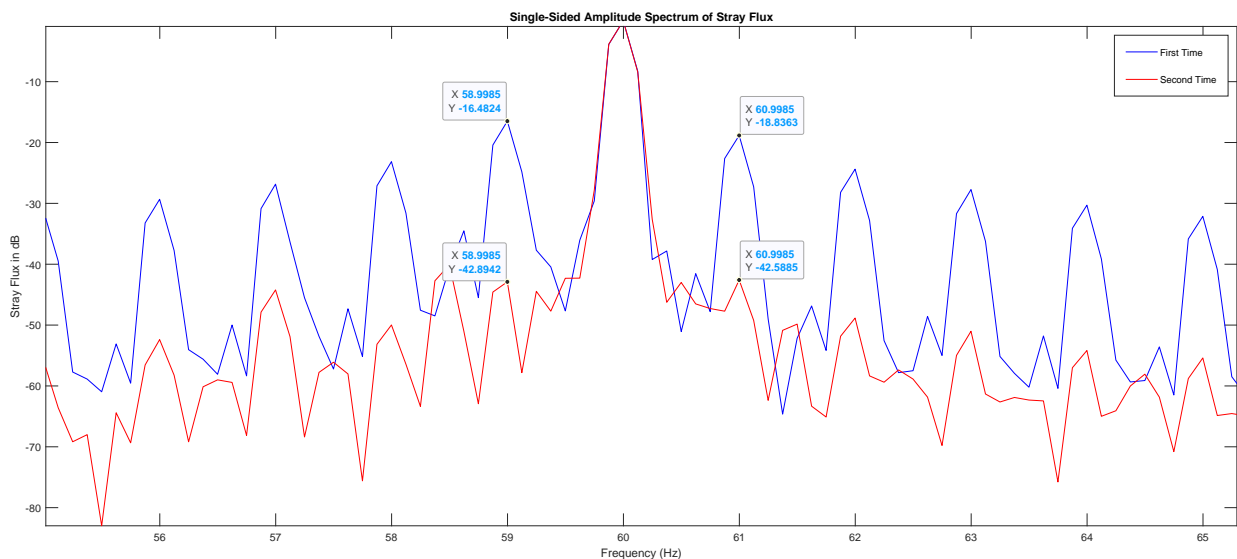


Figure 99: Αρμονικές κοντά στην βασική

Φαίνεται τεράστια διαφορά πριν και μετά τη συντήρηση. Η περίοδος μεταξύ των δύο μετρήσεων είναι δεκαπέντε μέρες. Μετά τον καθαρισμό και την συντήρηση του κινητήρα, ενώ οι αρμονικές στις συχνότητες σπασμένης μπάρας είναι πολύ ψηλά. Η δεύτερη μέτρηση δείχνει μία υγιέστατη μηχανή.

Τέλος, θα γίνει και η ανάλυση για μηχανικά σφάλματα, συγκρίνοντας τα πλάτη ανάμεσα σε κυ-

ματομορφή ρεύματος και μαγνητικής ροής.

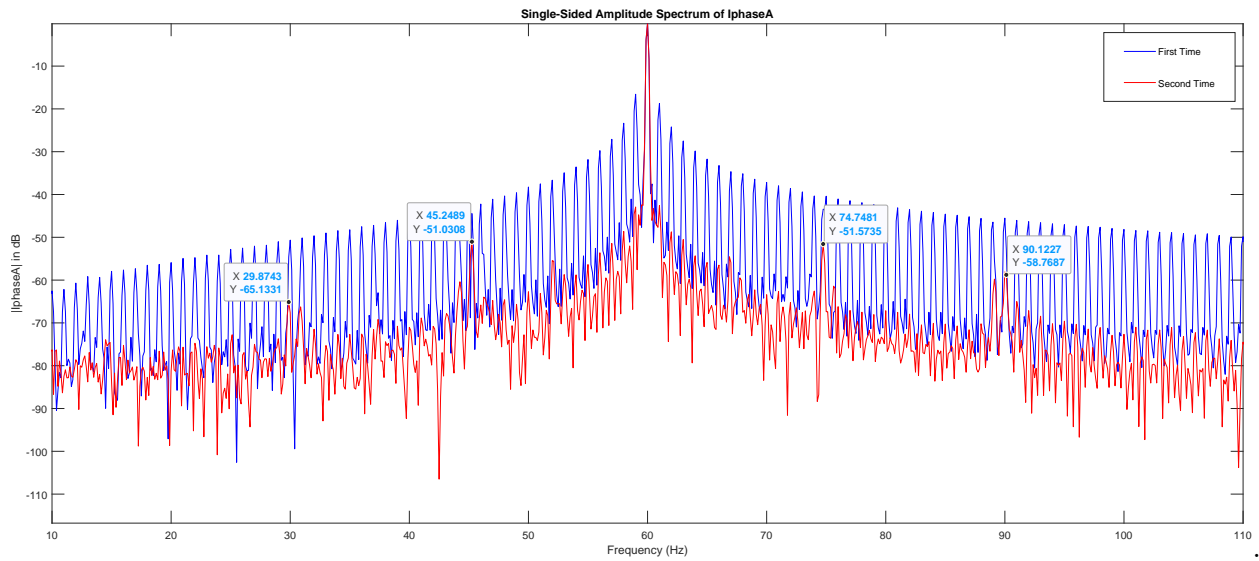


Figure 100: Κυματομορφή ρεύματος για μηχανικά σφάλματα

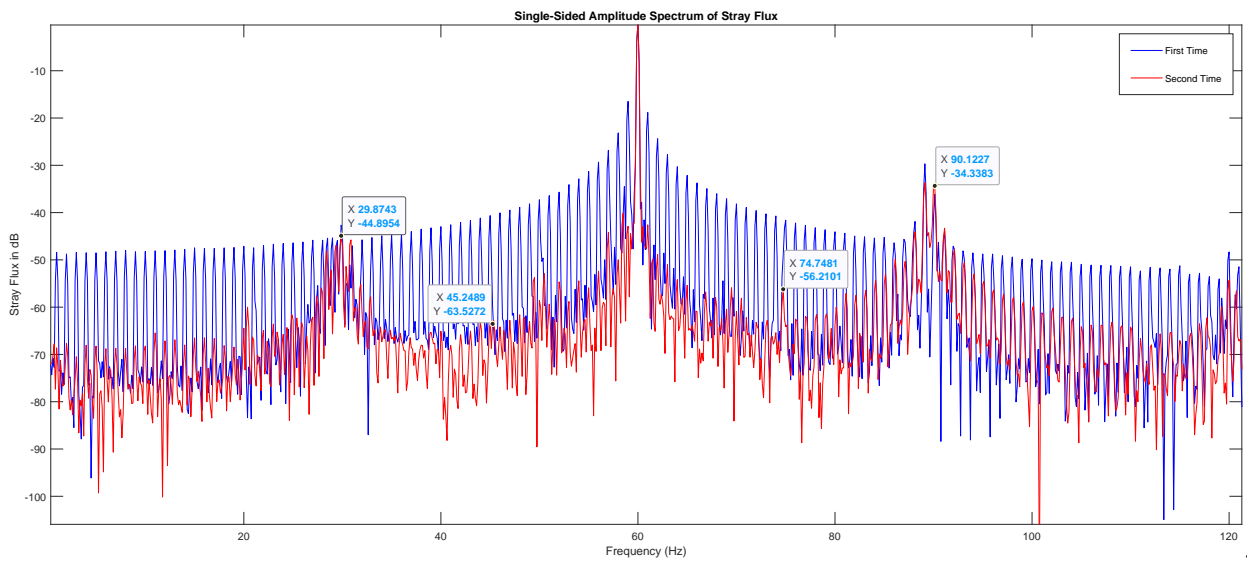


Figure 101: Κυματομορφή μαγνητικής ροής για μηχανικά σφάλματα

Οι αρμονικές, αυτές δεν είναι εκκεντρότητας ούτε κάποιας σπασμένης μπάρας. Άρα το πρώτο πράγμα που έρχεται στο μυαλό είναι κάποιου μηχανικού σφάλματος. Πρώτα, φαίνεται ότι οι αρμονικές έχουν την ίδια απόσταση από την βασική αριστερά και δεξιά της. Αν χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις (3), (4), (5), προκύπτει η εξίσωση, και με τη σειρά του ο επόμενος πίνακας.

$$\begin{cases} f_o = 0.4N_b f_r \\ f_i = 0.6N_b f_r \\ f_c = 0.4f_r \end{cases}$$

Για $6 < N_b < 12$, τότε προκύπτουν οι παρακάτω συχνότητες για διαφορετικό N_b .

Table 17: Υπογραφές Βλαβών των Ρουλεμάν (Hz)

<i>balls</i>	6	7	8	9	10	11	12
$ f_s - f_o $	11.28	23.16	35.04	46.92	58.8	70.68	82.56
$ f_s + f_o $	134.28	143.16	155.04	166.92	178.8	190.68	202.56
$ f_s - f_i $	46.92	64.74	82.56	100.38	118.2	136.02	153.84
$ f_s + f_i $	166.92	184.74	202.56	220.38	238.2	256.02	273.84
$ f_s - f_c $	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12	48.12
$ f_s + f_c $	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88	71.88

Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται ορατό από τον πίνακα, ότι με τις ιδανικές τιμές της εξίσωσης να προκύπτουν σφάλματα μόνο στον θεμελιώδες κλωβό.

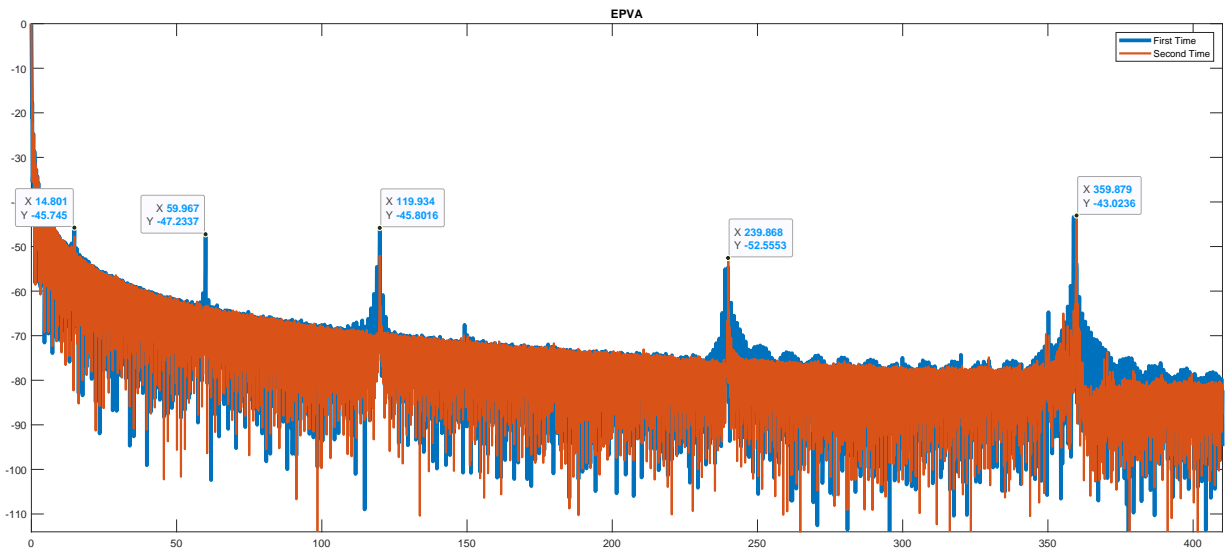


Figure 102: Extended Park's Vector Approach

Στην EPVA παρατηρείται όντως μια μικρή αρμονική στα 14.8Hz, που είναι ανάλογη της 74.8 στην MCSA. Ταυτόχρονα, όμως, παρατηρούνται μειωμένα τα πλάτη των πλαϊνών αρμονικών των περιττών πολλαπλάσιων της βασικής.

3.8 Κινητήρες Αντλίας Αποχέτευσης

3.8.1 Κινητήρας Ελέγχου Αντλίας Αποχέτευσης

Ο κινητήρας ελέγχου αντλίας φυσητήρα αποχέτευσης (Sewage Control Blower Pump) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του συστήματος αποχέτευσης στο πλοίο. Κατά τη λειτουργία του, η αντλία φυσητήρα παράγει αέρα ή αέριο που χρησιμοποιείται για να επιταχύνει τη μεταφορά αποβλήτων από το σύστημα αποχέτευσης προς την επεξεργασία ή απόρριψη. Αυτός ο κινητήρας είναι σημαντικός για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος αποχέτευσης και την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων στο πλοίο, προσφέροντας έτσι ασφάλεια και υγιεινή στους επιβάτες και το πλήρωμα.



Figure 103: Sewage Control Blower Pump

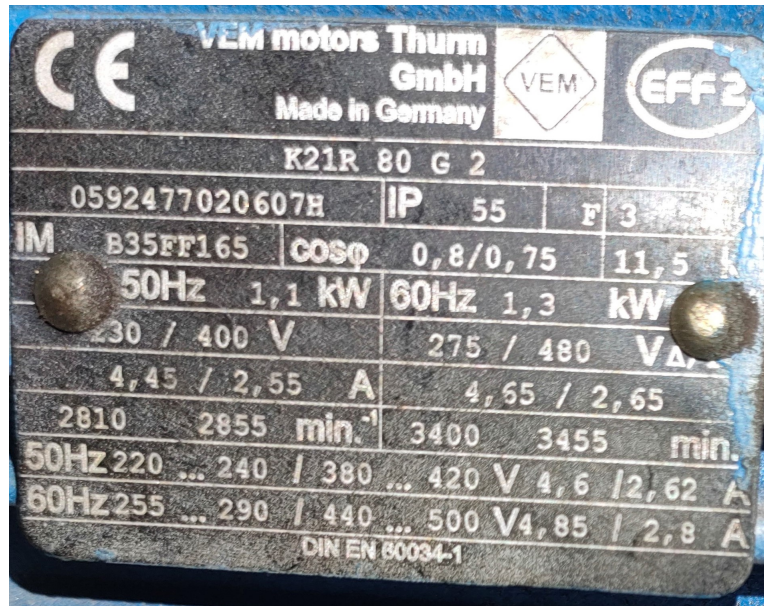


Figure 104: Label Sewage Control Blower Pump

Σύμφωνα με το Label του κινητήρα και τη χρήση του, λειτουργεί στα 440V σε συνδεσμολογία αστέρα. Ο κινητήρας είναι διπολικός, με υπόψη τον ακόλουθο τύπο:

$$n_s = \frac{60 * f_s}{p}, f_s = 60Hz, n_s = 3600rpm$$

Για τον υπολογισμό της μεικτής εκκεντρότητας, εφόσον είναι διπολικός θα πρέπει να είναι κοντά στις συχνότητες, $f_{ecc2L} = f_s - \frac{f_s}{p} \approx 0Hz$ και $f_{ecc2H} = f_s + \frac{f_s}{p} \approx 120Hz$.

Άρα η μεικτή εκκεντρότητα θα είναι για $f_{ecc2H} = 119.872Hz$, η ολίσθηση είναι $s = 0.01$. Για εξακρίβωση της τιμής, εφόσον είναι γνωστή η $f_{bb} = 58.9985Hz$, η ολίσθηση υπολογίζεται όντως 0.01.

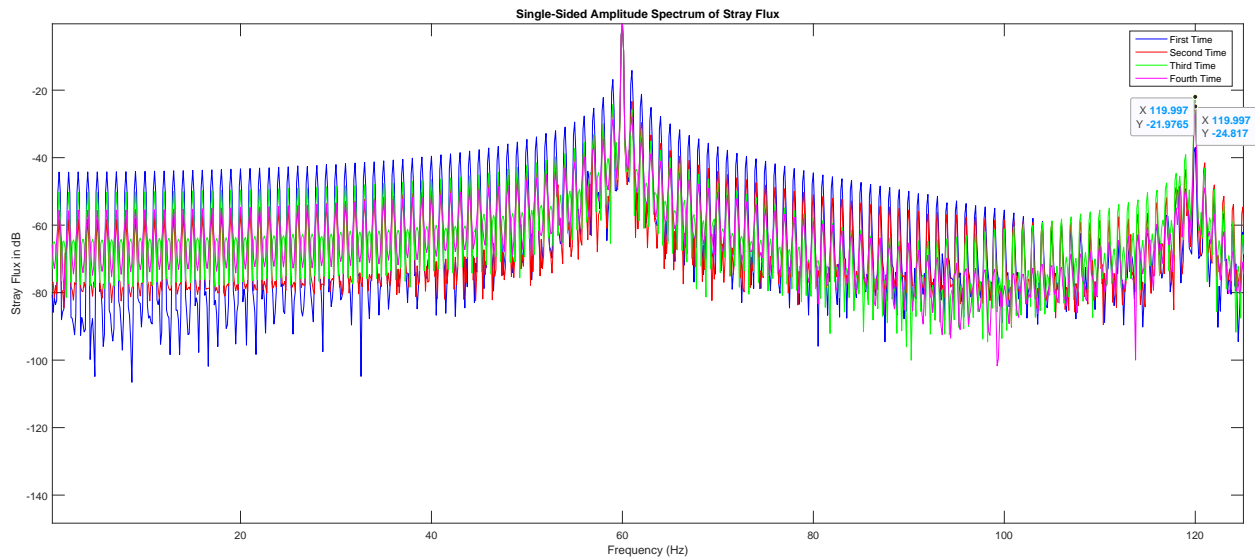


Figure 105: Μεικτή εκκεντρότητα για Sewage Control Blower Pump

Ακολουθεί η κυματομορφή της μαγνητικής ροής για σωστό υπολογισμό των RSH αρμονικών, και πιθανή ύπαρξη PSH.

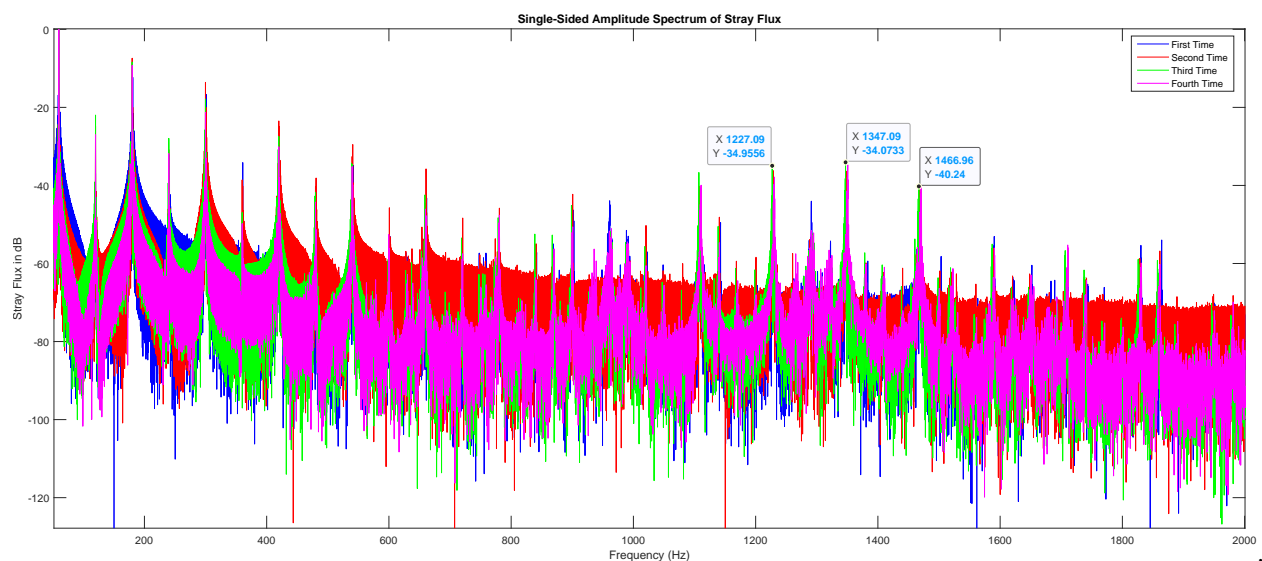


Figure 106: RSH αρμονικές της μαγνητικής ροής

Έτσι με τη χρήση της εξίσωσης (1), οι μπάρες του δρομέα είναι $R = 22$. Ο αριθμός αυτός ανήκει στις R_{UPSH} . Άρα ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται οι κυματομορφές των τριών φάσεων ρεύματος μέχρι και την τρίτη αρμονική.

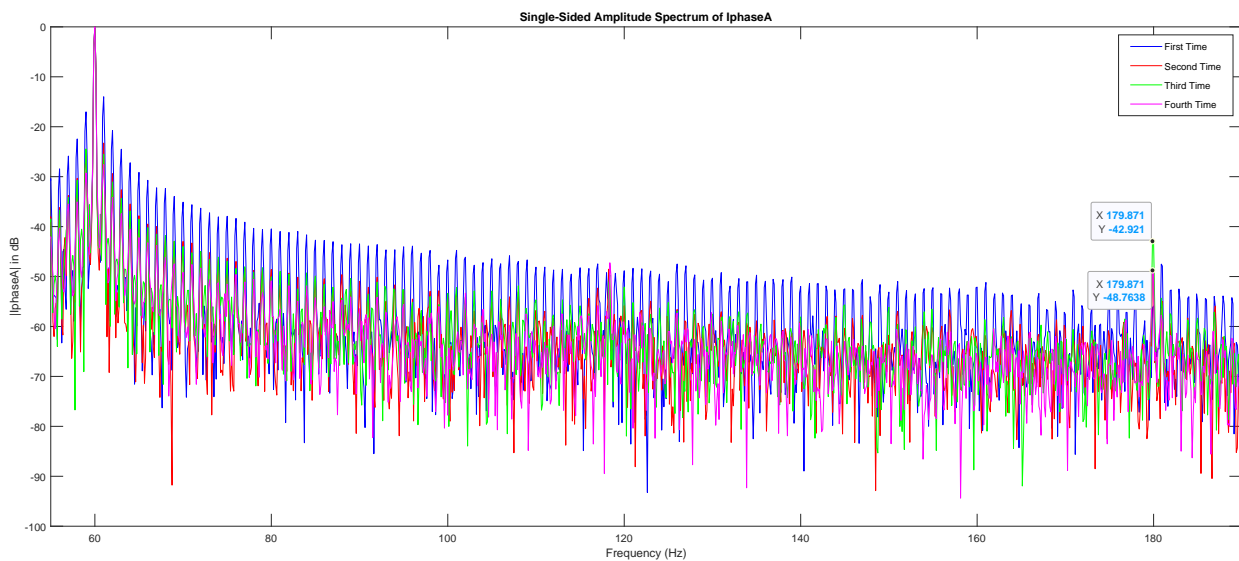


Figure 107: Κυματομορφή πρώτης φάσης ρεύματος σε dB

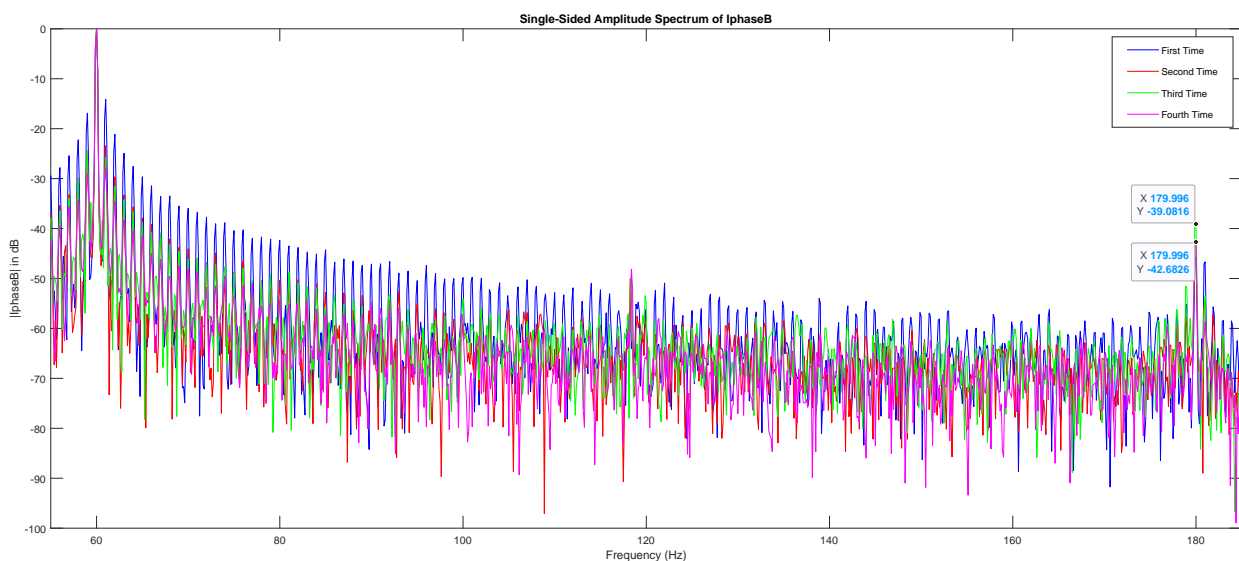


Figure 108: Κυματομορφή δεύτερης φάσης ρεύματος σε dB

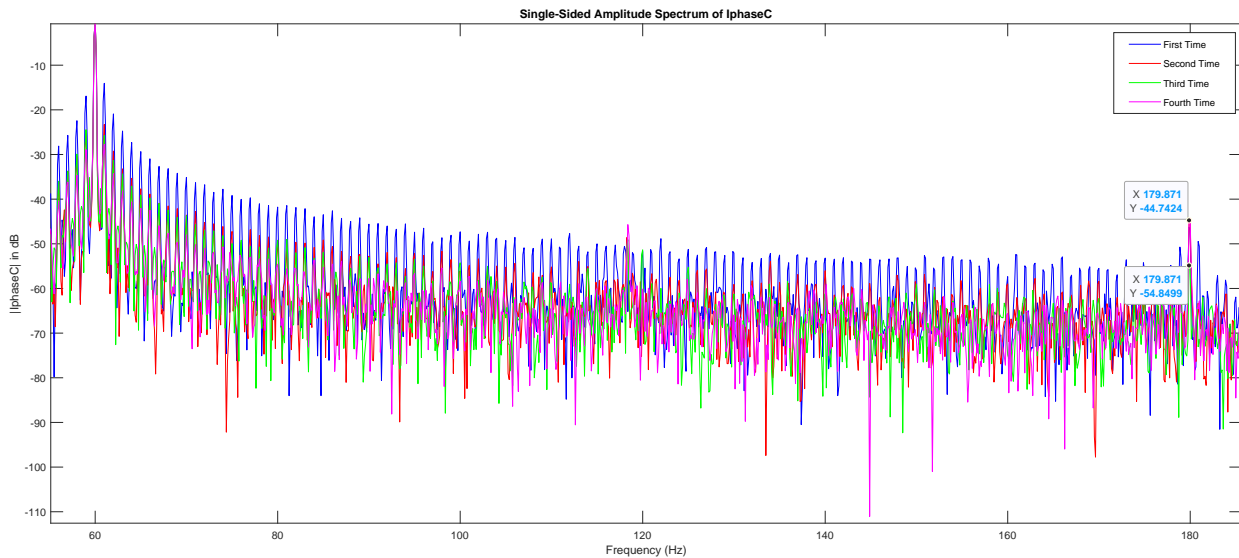


Figure 109: Κυματομορφή τρίτης φάσης ρεύματος σε dB

Η τρίτη αρμονική αναμένεται να είναι χαμηλή σε όλες τις φάσεις, που όντως είναι σε πλάτη κάτω των 45dB. Ο κινητήρας σίγουρα δεν λειτουργεί στην ονομαστική ταχύτητα. Για εξακρίβωση, υπολογίζονται οι rms τιμές.

Table 18: Rms values

I_{phase}	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>	<i>fourth</i>
A	1.90	1.90	1.80	1.90
B	2.19	2.19	1.91	2.19
C	1.91	2.01	2.01	1.91

Οι Rms τιμές είναι σε κάθε μέτρηση πολύ κοντά μεταξύ τους. Κάτι, το οποίο οδηγεί σε συμμετρία μεταξύ των φάσεων, και σίγουρα καμιά επιρροή από εξωτερικούς παράγοντες, όπως το Δίκτυο.

Επόμενη διάγνωση είναι για αξιολόγηση τυχών σπασμένων μπαρών δρομέα. Ακολουθούν οι αρμονικές, που συχνά εμφανίζουν σφάλμα σπασμένης μπάρας.

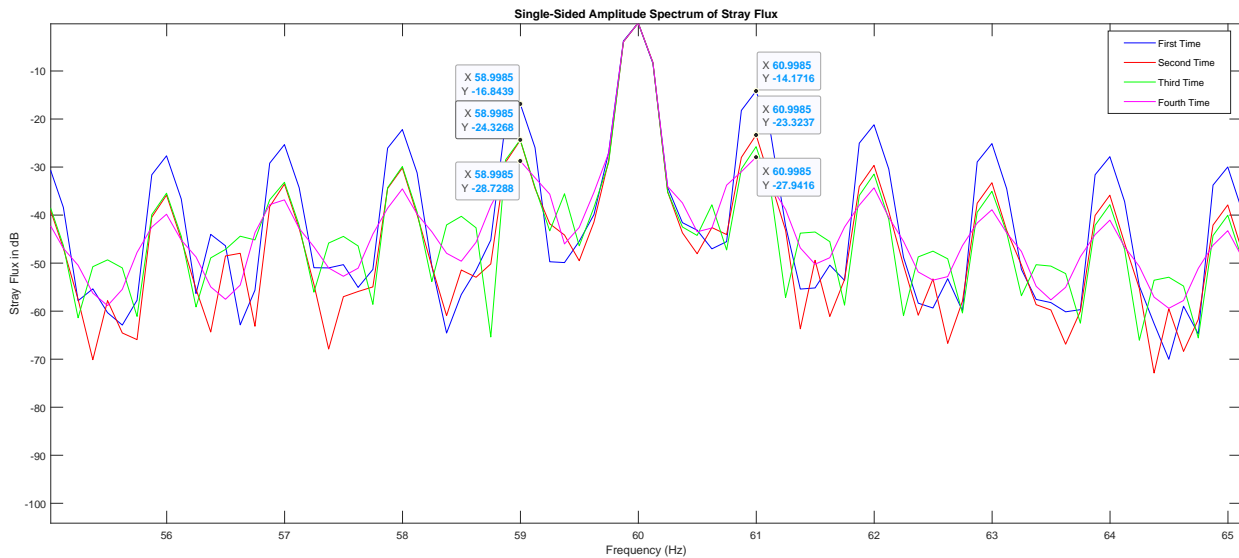


Figure 110: Αρμονικές που συνήθως εμφανίζουν σπασμένη μπάρα

Εμφανίζονται όντως αρμονικές κοντά στις συχνότητες σπασμένης μπάρας. Στην πρώτη μέτρηση φυσικά φαίνονται πολύ ψηλές οι αρμονικές. Αυτό, θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα μιας σπασμένης μπάρας. Ο συγκεκριμένος κινητήρας, πρέπει εν ώρα λειτουργίας να ανοίγει η βάνα του για την απελευθέρωση αέρα. Ωστόσο, στην 1η μέτρηση δεν έγινε η συγκεκριμένη ενέργεια, και αυτό ίσως να αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αύξηση των αρμονικών. Στην EPVA, σίγουρα δεν εμφανίζει σπασμένη μπάρα ή κάποιο μηχανικό σφάλμα, εκτός από την αύξηση πλάτους των πολλαπλάσιων αρμονικών της βασικής.

3.8.2 Κινητήρας Αντλίας Επεξεργασίας Αποβλήτων

Ο κινητήρας αντλίας επεξεργασίας αποβλήτων (Sewage Discharge Treatment Pump), χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων στο πλοίο. Κατά τη λειτουργία του, η αντλία επεξεργασίας αποβλήτων εκπομπής αναρροφά τα απόβλητα από τα αποχετευτικά συστήματα και τα μεταφέρει σε μια μονάδα επεξεργασίας ή αποθήκευσης. Εκεί, τα απόβλητα υποβάλλονται σε διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας, όπως φίλτρα, απολύμανση ή άλλες χημικές διαδικασίες, προκειμένου να απομακρυνθούν οι ρυπαντές και να εξασφαλιστεί η ασφαλής εκπομπή τους στο περιβάλλον. Αυτός ο κινητήρας είναι κρίσιμος για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς περιβαλλοντικής προστασίας και την εξασφάλιση της υγιεινής και της ασφάλειας στο πλοίο.



Figure 111: Sewage Discharge Treatment Pump

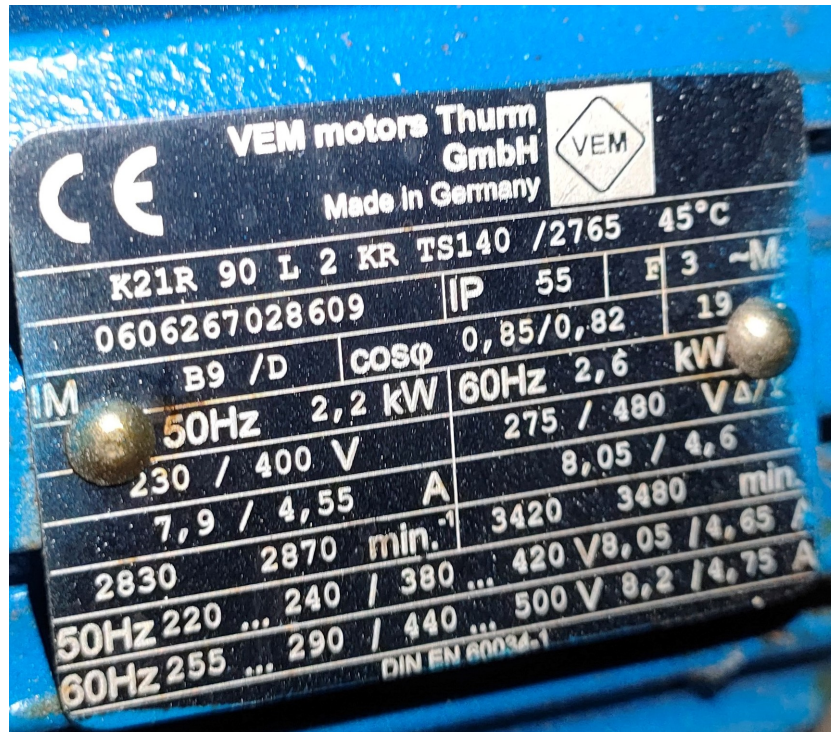


Figure 112: Label Sewage Discharge Treatment Pump

Σύμφωνα με το Label του κινητήρα, λειτουργεί στα 440V σε συνδεσμολογία αστέρα. Ο κινητήρας είναι διπολικός, με υπόψη τον ακόλουθο τύπο:

$$n_s = \frac{60 * f_s}{p}, f_s = 60Hz, n_s = 3600rpm$$

Ο κινητήρας είναι διπολικός η μεικτή εκκεντρότητα θα πρέπει να είναι κοντά στις συχνότητες, $f_{ecc2L} = f_s - \frac{f_s}{p} \approx 0Hz$ και $f_{ecc2H} = f_s + \frac{f_s}{p} \approx 120Hz$.

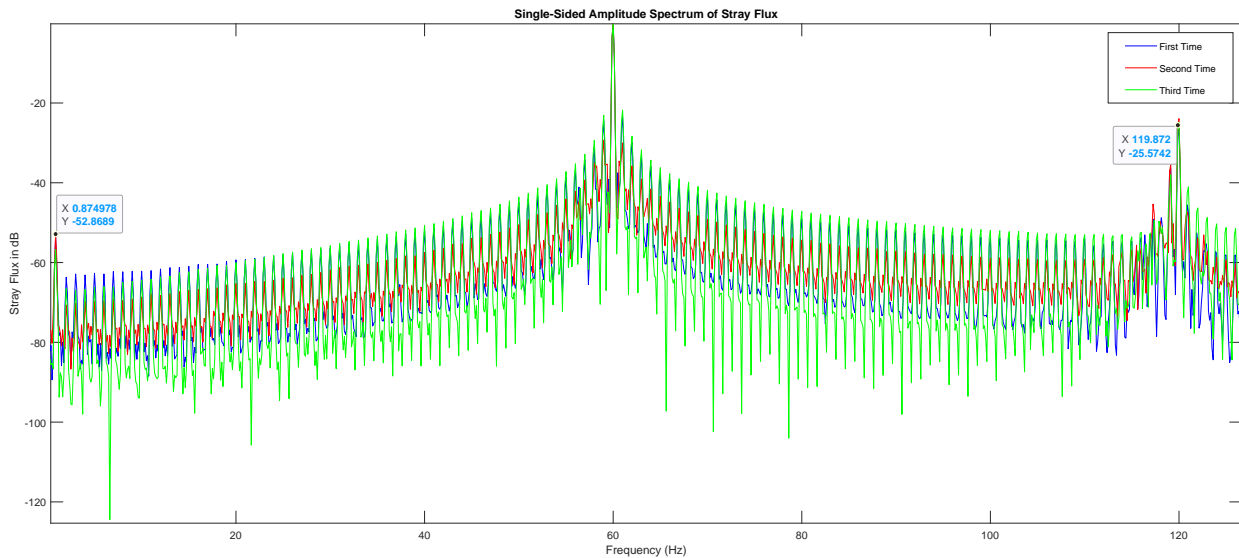


Figure 113: Πλάτος του φάσματος της μαγνητικής ροής σε dB μεταξύ των συχνοτήτων μεικτής εκκεντρότητας

Η διαδικασία, φαίνεται ότι είναι ίδια όπως με τον προηγούμενο κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, η μεικτή εκκεντρότητα θα είναι για $f_{ecc2}H = 119.872Hz$, η ολίσθηση είναι $s = 0.01$. Για εξακρίβωση της τιμής, εφόσον είναι γνωστή η $f_{bb} = 58.9985Hz$, η ολίσθηση υπολογίζεται όντως 0.01.

Ακολουθεί η κυματομορφή της μαγνητικής ροής για σωστό υπολογισμό των RSH αρμονικών, και πιθανή ύπαρξη PSH.

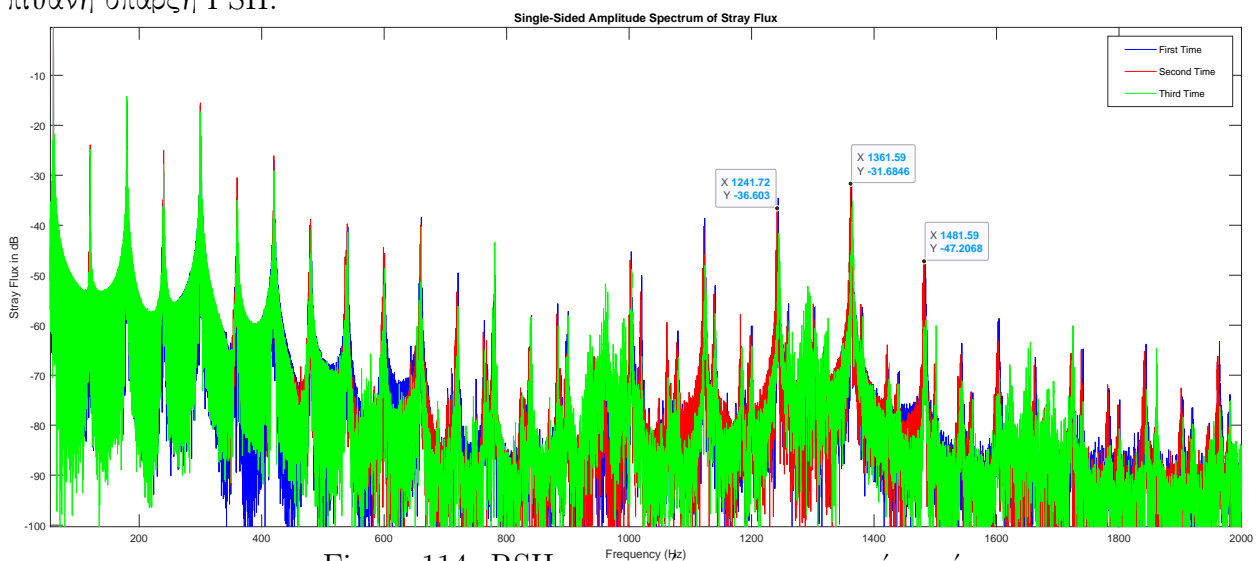


Figure 114: RSH αρμονικές της μαγνητικής ροής

Έτσι με τη χρήση της εξίσωσης (1), οι μπάρες του δρομέα είναι $R = 22$. Ο αριθμός αυτός είναι περιττός, οπότε ο κινητήρας δεν εμφανίζει PSH αρμονικές.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται οι κυματομορφές των τριών φάσεων ρεύματος μέχρι και την τρίτη αρμονική.

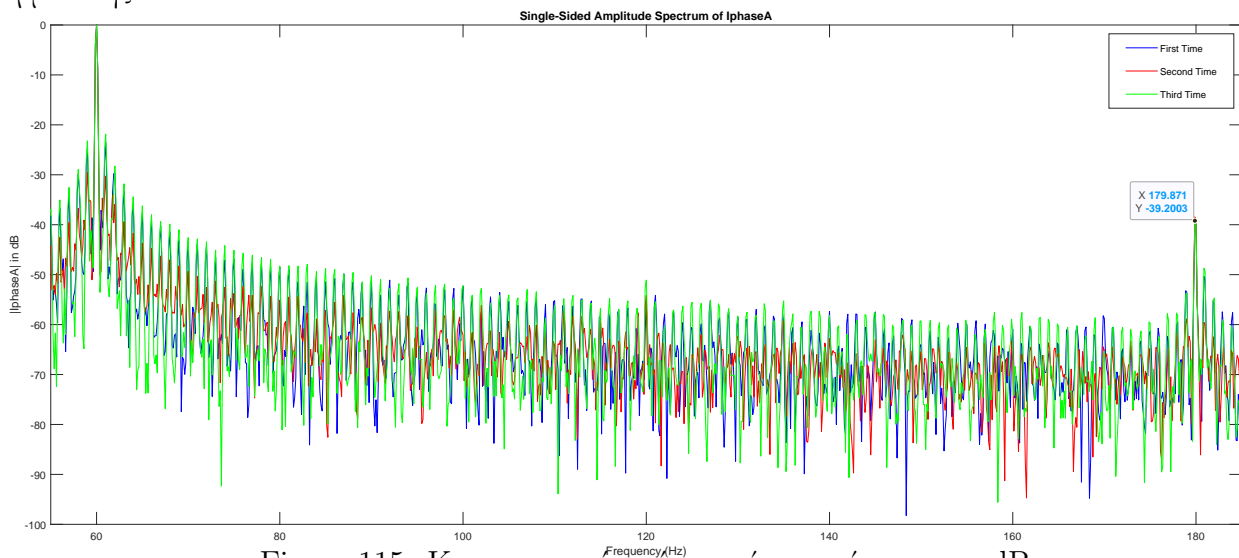


Figure 115: Κυματομορφή πρώτης φάσης ρεύματος σε dB

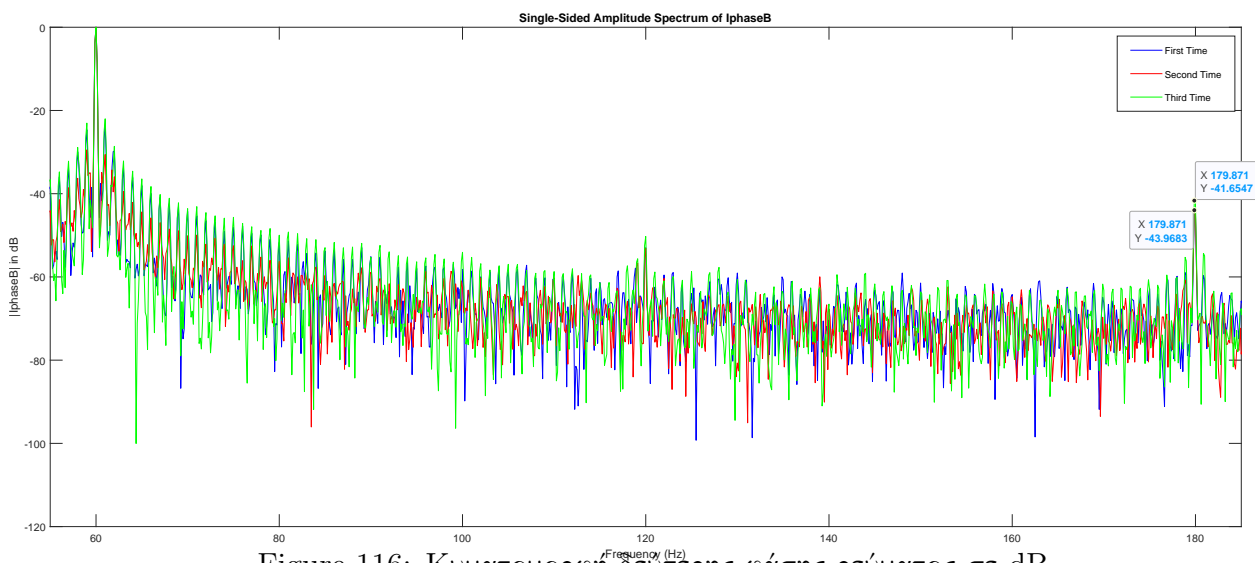


Figure 116: Κυματομορφή δεύτερης φάσης ρεύματος σε dB

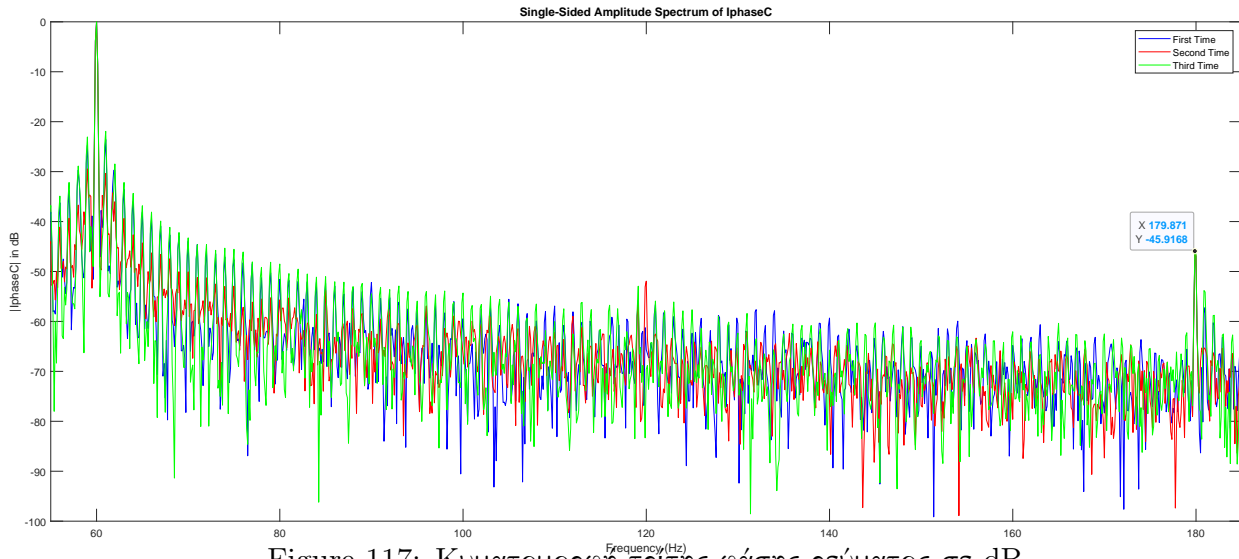


Figure 117: Κυματομορφή τρίτης φάσης ρεύματος σε dB

Η τρίτη αρμονική αναμένεται να είναι χαμηλή σε όλες τις φάσεις. Ο κινητήρας σίγουρα δεν λειτουργεί στην ονομαστική ταχύτητα. Για εξακρίβωση, υπολογίζονται οι rms τιμές.

Table 19: Rms values

I_{phase}	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>
A	3.04	3.03	2.98
B	2.91	2.89	2.95
C	2.76	2.76	2.76

Οι Rms τιμές είναι σε κάθε μέτρηση πολύ κοντά μεταξύ τους. Κάτι, το οποίο εμφανίζει συμμετρία μεταξύ των φάσεων, και σίγουρα δεν υπάρχει καμιά επιρροή από εξωτερικούς παράγοντες, όπως μεταβολή στο Δίκτυο.

Επόμενη διάγνωση είναι για αξιολόγηση τυχών σπασμένων μπαρών δρομέα.

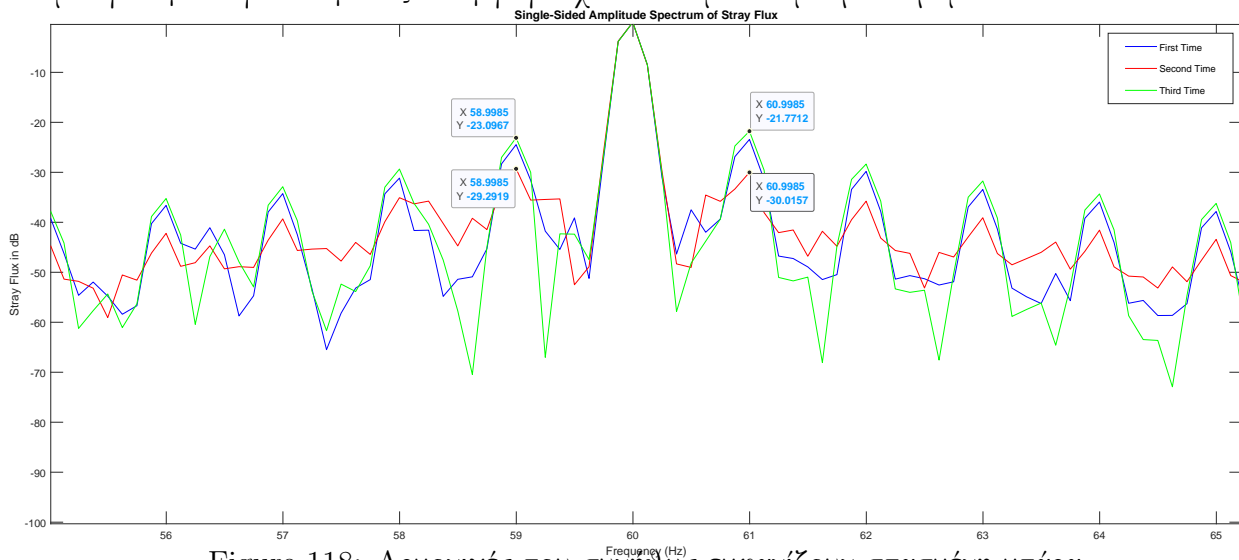


Figure 118: Αρμονικές που συνήθως εμφανίζουν σπασμένη μπάρα

Εμφανίζονται όντως αρμονικές κοντά στις συχνότητες σπασμένης μπάρας. Όπως και στον προηγούμενο κινητήρα υπάρχουν εναλλαγές στα πλάτη των αρμονικών. Με αποτέλεσμα, την ίδια διάγνωση με τον προηγούμενο κινητήρα.

Με την μέθοδο EPVA, οι αρμονικές που προκύπτουν είναι παρόμοιες με αυτές της Diesel Oil Transfer Pump, γεγονός που δηλώνει μια υγιή μηχανή.

3.9 Κινητήρας Αντλίας Κενού

Ο κινητήρας της αντλίας κενού (Vacuum Pump No1) σε ένα πλοίο μπορεί να εκτελέσει πολλές λειτουργίες. Καταρχάς, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση νερού από τους δεξαμενές ρυθμίσεων, βοηθώντας έτσι στη σταθεροποίηση και στο κατακόρυφο πλάνο του πλοίου. Επίσης, χρησιμοποιείται για τη φόρτωση ή την εκφόρτωση φορτίου, καθώς δημιουργεί αρνητική πίεση για τη μεταφορά υλικών μέσω σωλήνων ή σωληνώσεων. Σε περιπτώσεις εκτός βυθού, χρησιμοποιείται επίσης για την αφαίρεση νερού που συγκεντρώνεται στον πυθμένα του πλοίου, συμβάλλοντας στην αποφυγή πλημμυρισμού και στη διατήρηση της σταθερότητας.



Figure 119: Vacuum Pump

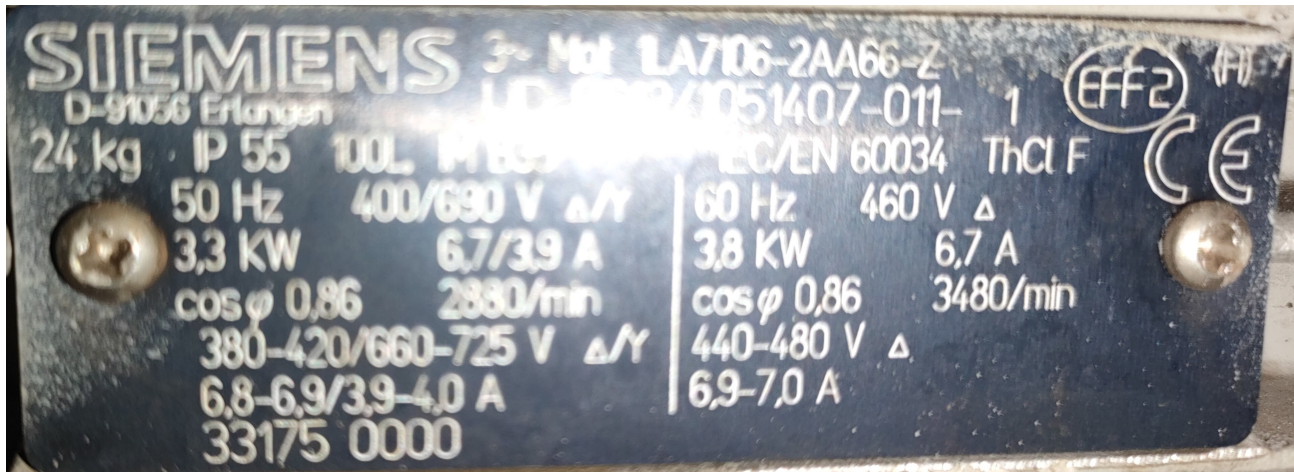


Figure 120: Label Vacuum Pump

Σύμφωνα με το Label του κινητήρα και τη χρήση του, λειτουργεί στα 440V σε συνδεσμολογία αστέρα. Ο κινητήρας είναι διπολικός, με υπόψη τον ακόλουθο τύπο:

$$n_s = \frac{60 * f_s}{p}, f_s = 60Hz, n_s = 3600rpm$$

Για τον υπολογισμό της μεικτής εκκεντρότητας, εφόσον είναι διπολικός θα πρέπει να είναι κοντά στις συχνότητες, $f_{ecc2L} = f_s - \frac{f_s}{p} \approx 0Hz$ και $f_{ecc2H} = f_s + \frac{f_s}{p} \approx 120Hz$.

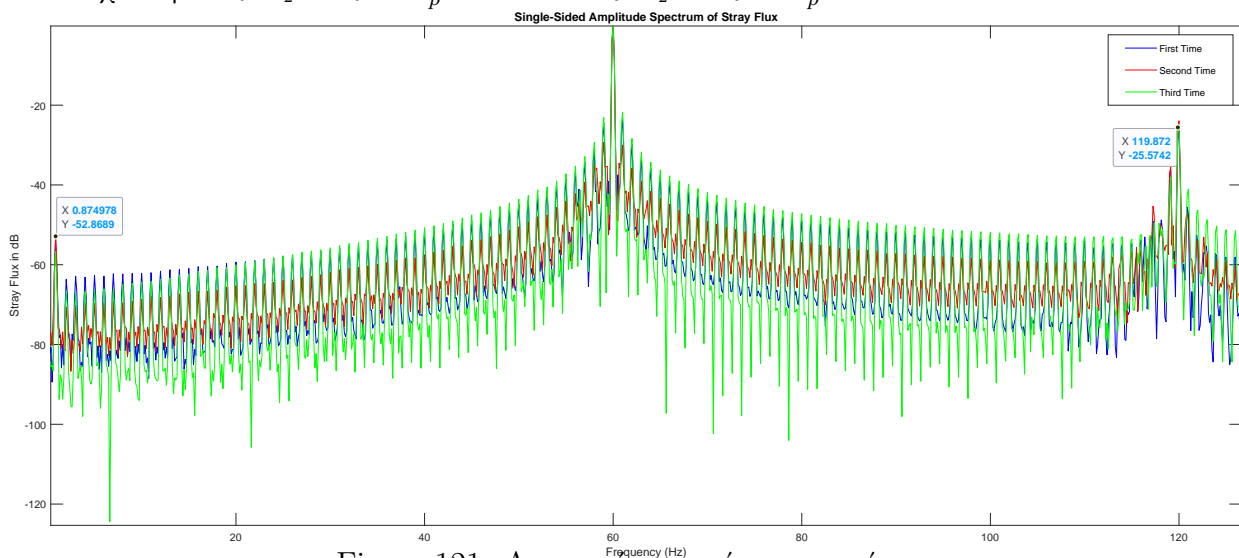


Figure 121: Αρμονικές μεικτής εκκεντρότητας

Άρα η μεικτή εκκεντρότητα θα είναι για $f_{ecc2}H = 119.872Hz$, η ολίσθηση είναι $s = 0.01$. Για εξακρίβωση της τιμής, εφόσον είναι γνωστή η $f_{bb} = 58.9985Hz$, η ολίσθηση υπολογίζεται όντως 0.01.

Ακολουθεί η κυματομορφή της μαγνητικής ροής για σωστό υπολογισμό των RSH αρμονικών, και πιθανή ύπαρξη PSH.

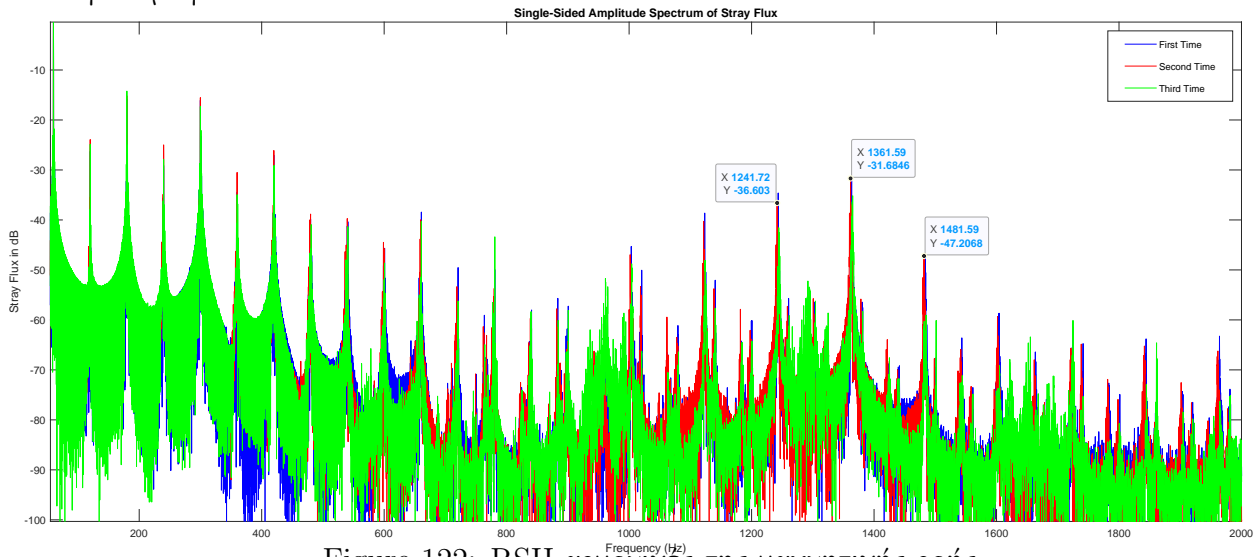


Figure 122: RSH αρμονικές της μαγνητικής ροής

Έτσι με τη χρήση της εξίσωσης (1), οι μπάρες του δρομέα είναι $R = 20$. Ο αριθμός αυτός για διπολικούς κινητήρες ανήκει στις R_{LPSH} , οπότε ο κινητήρας εμφανίζει PSH αρμονικές με $f_{PSHH} = 1330.76Hz$ και $f_{PSHL} = 1210.8Hz$.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται οι κυματομορφές των τριών φάσεων ρεύματος μέχρι και την τρίτη αρμονική.

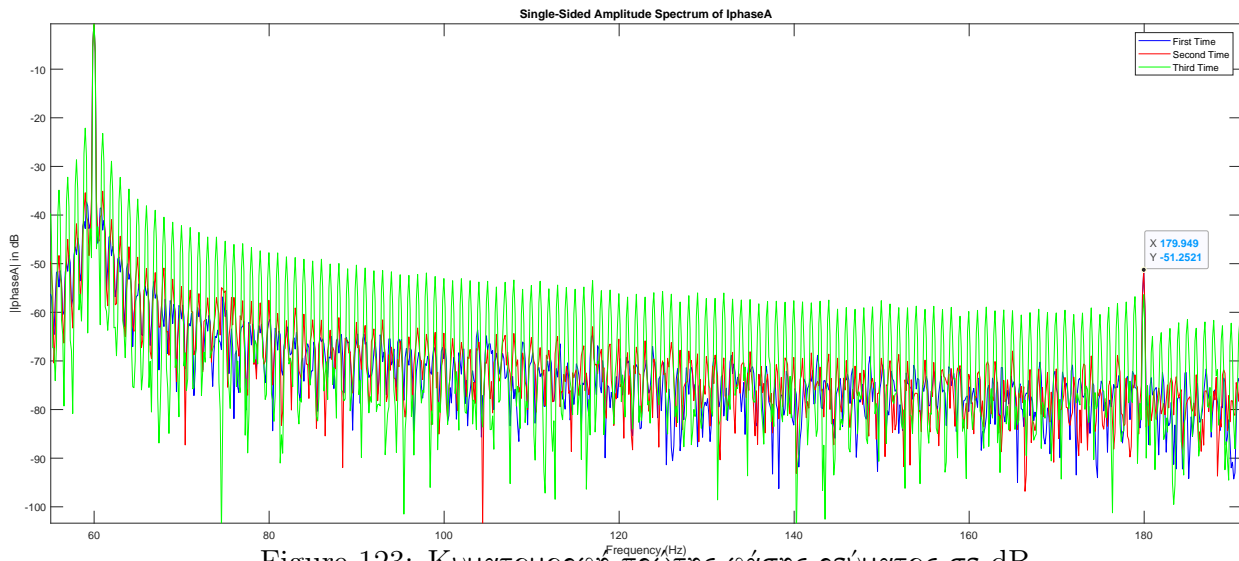


Figure 123: Κυματομορφή πρώτης φάσης ρεύματος σε dB

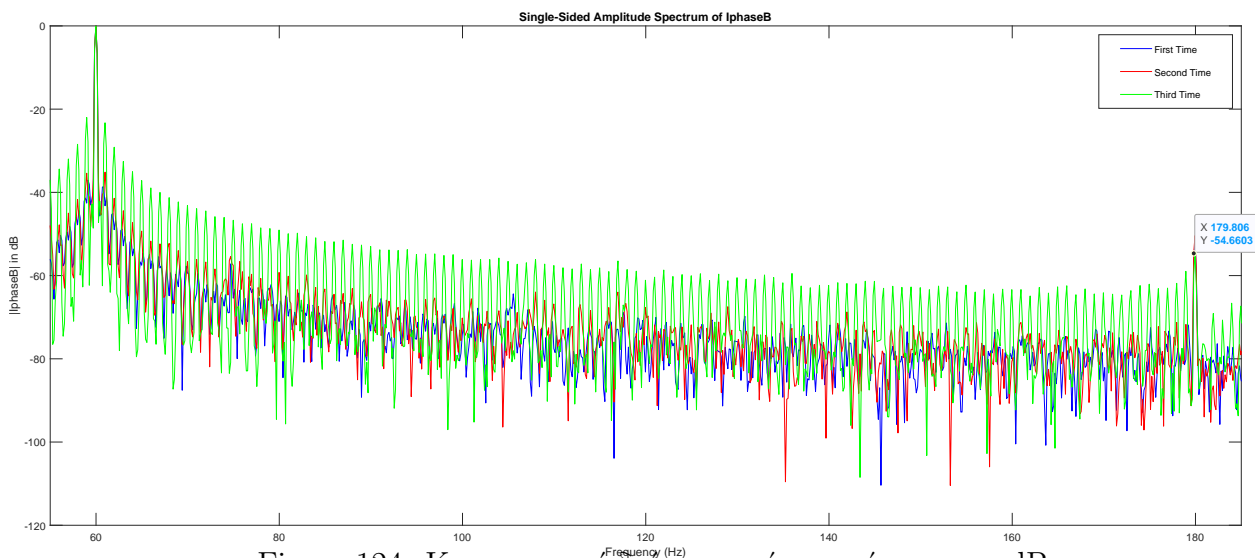


Figure 124: Κυματομορφή δεύτερης φάσης ρεύματος σε dB

Η τρίτη αρμονική όπως αναμένεται είναι χαμηλή σε όλες τις φάσεις, σε πλάτη κάτω των 50dB. Ο κινητήρας σίγουρα δεν λειτουργεί στην ονομαστική ταχύτητα. Υπολογίζονται οι rms τιμές, για διαφορές μεταξύ των μετρήσεων.

Οι Rms τιμές είναι σε κάθε μέτρηση πολύ κοντά μεταξύ τους. Κάτι, το οποίο οδηγεί σε συμμετρία μεταξύ των φάσεων, και σίγουρα καμιά επιρροή από εξωτερικούς παράγοντες, όπως το Δίκτυο.

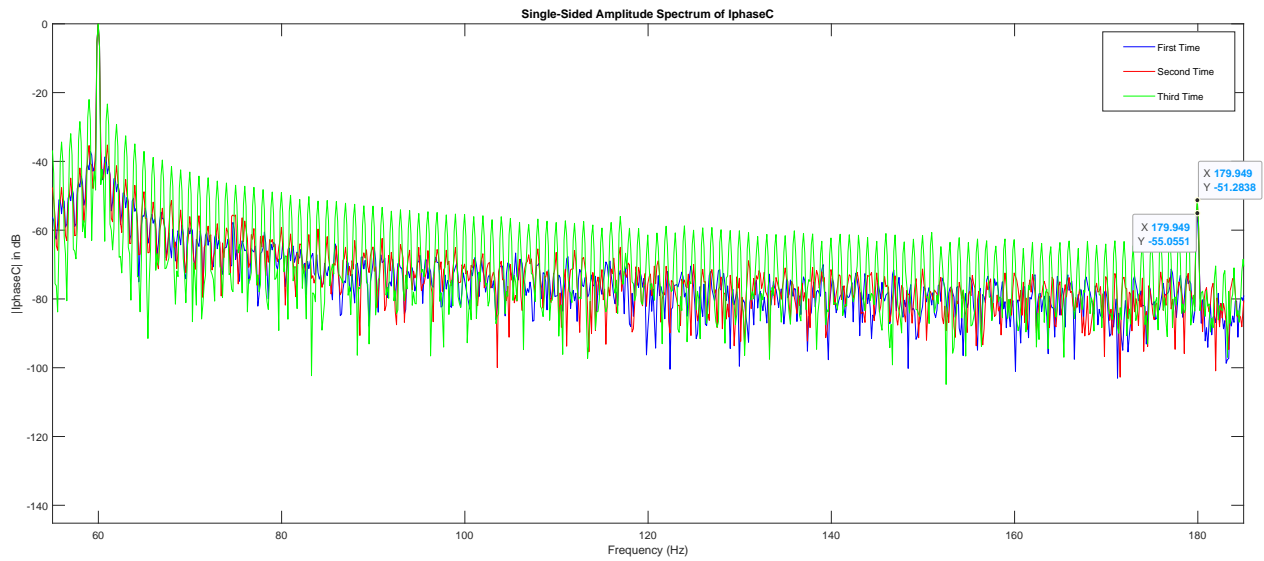


Figure 125: Κυματομορφή τρίτης φάσης ρεύματος σε dB

Table 20: Rms values

I_{phase}	<i>first</i>	<i>second</i>	<i>third</i>
A	7.15	7.26	7.32
B	7.09	7.34	7.27
C	7.27	7.42	7.46

Επόμενη διάγνωση είναι για αξιολόγηση τυχών σπασμένες μπάρες. Ακολουθούν οι αρμονικές στις συχνότητες εμφάνισης σπασμένης μπάρας.

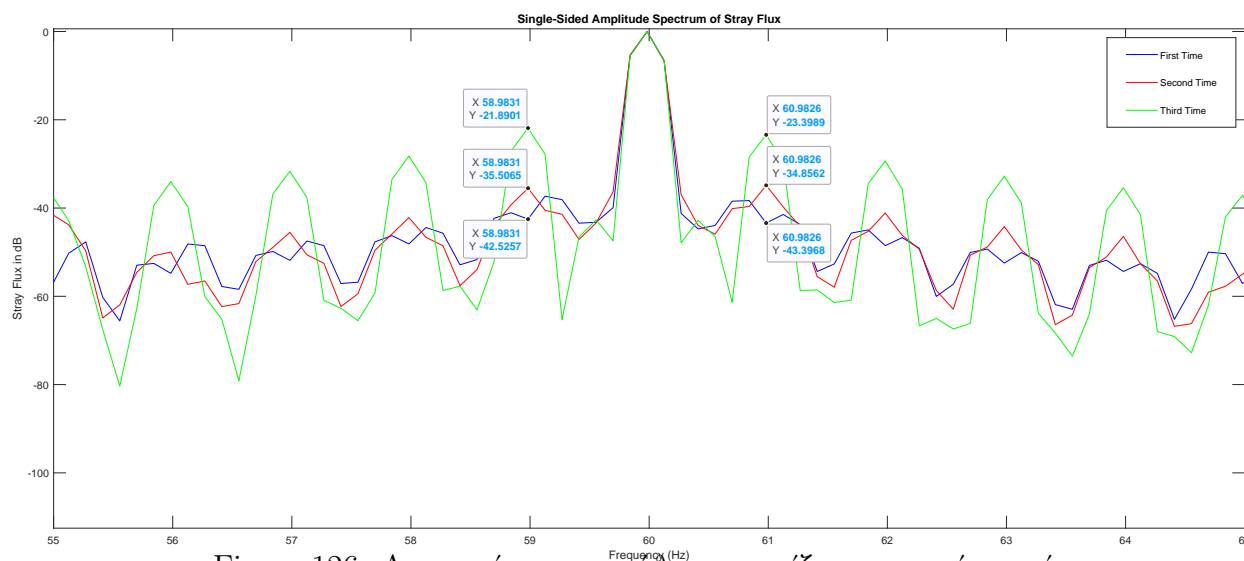


Figure 126: Αρμονικές που συνήθως εμφανίζουν σπασμένη μπάρα

Η λειτουργία του κινητήρα είναι να απελευθερώνει αέρα ή άλλων αερίων από συστήματα HVAC (θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού). Για αυτό το λόγο, κάθε φορά πρέπει να απελευθερώνεται το αέριο με την χρήση μίας βάννας που συνδέεται στην αντλία του. Στην τρίτη μέτρηση, δεν έγινε η απελευθέρωση του αερίου. Αυτό, ίσως να επιβαρύνει την λειτουργία του κινητήρα, και κατ'επέκταση στις μπάρες του δρομέα, καθώς εμφανίζεται έντονη αύξηση των αμοιωνών. Ενώ, στις πρώτες δύο μετρήσεις εμφανίζονται αρμονικές με πολύ μικρά πλάτη στις συχνότητες εμφάνισης σπασμένης μπάρας.

Με την μέθοδο EPVA, οι αρμονικές που προκύπτουν είναι παρόμοιες με αυτές της Diesel Oil Transfer Pump, γεγονός που δηλώνει μια υγιή μηχανή.

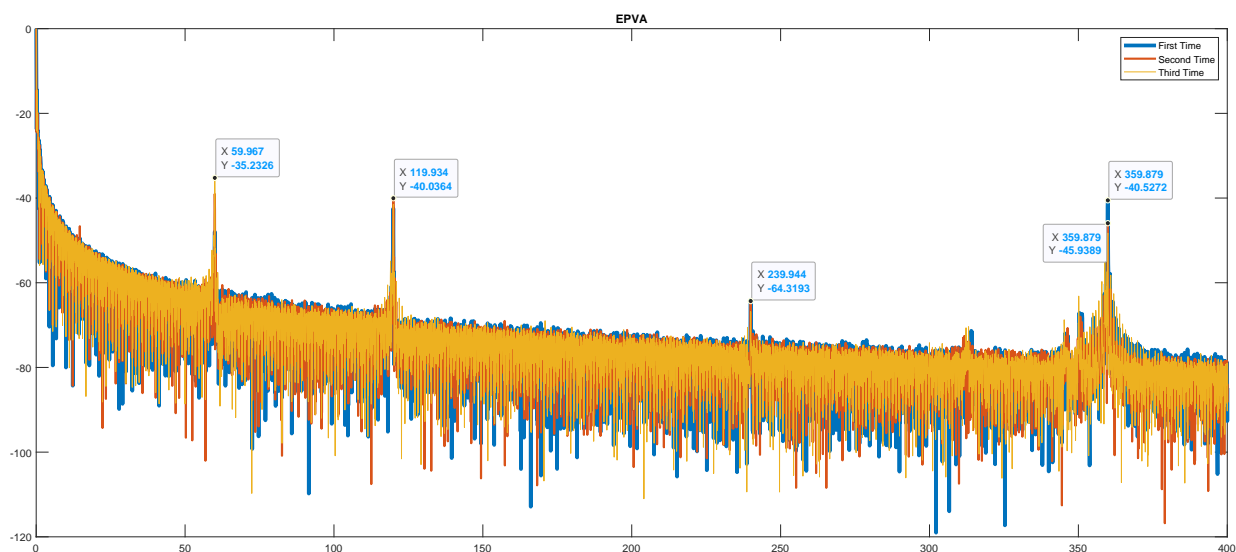


Figure 127: Extended Park's Vector Approach

4 Συμπεράσματα

Σε αυτή την έρευνα, διάφορες τεχνικές διάγνωσης βλαβών εφαρμόστηκαν για να διακριθεί η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την ανίχνευση τους. Παρατηρήθηκε, ότι κάποιες μέθοδοι, δεν είναι απόλυτα ακριβείς, δίνοντας έτσι την άποψη εσφαλμένης άποψης για βλάβη, ενώ δεν υπάρχει ή υπάρχει σε διαφορετικό σημείο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η Ανάλυση της Υπογραφής του Ρεύματος του Κινητήρα (MCSA) παρήγαγε ενδιαφέρουσες ενδείξεις. Ωστόσο, η MCSA δίνει αποτελέσματα κυρίως για μηχανικά σφάλματα.

Η ανάλυση του FFT της μαγνητικής ροής από την άλλη, δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την MCSA. Ωστόσο, είναι πιο εύκολο να βρεθεί η μεικτή εκκεντρότητα και κατεπέκταση τη μηχανική συχνότητα, προσφέροντας μεγαλύτερη βοήθεια στην διάγνωση.

Η EPVA ήταν αρκετά κατατοπιστική και εξακρίβωσε τυχόν θεωρίες στην διάγνωση. Οι αρμονικές της ήταν πιο σαφείς από τις προηγούμενες, ειδικά στις πλαϊνές της βασικής, που εύκολα θα γινόταν λανθασμένη αξιολόγηση, για σφάλμα σπασμένης μπάρας.

Γενικά, σε μία διάγνωση θα ήταν πιο σοφό να χρησιμοποιούνται πάνω από δύο μεθόδους. Εκτός, αν είναι δυνατή η χρήση εργαλείων (oscillometer, ροπόμετρο, κτλ.), κάτι το οποίο δεν συνεισφέρει

οικονομικά.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι στις περισσότερες μετρήσεις αντιμετωπίστηκε το ίδιο πρόβλημα, οι ταλαντώσεις της ροπής φορτίου. Στις πρώτες δύο μέθοδοι ειδικά οι συχνότητες που εμφάνιζαν την αλλαγή στη ροπή ήταν πολύ κοντά με τις συχνότητες της εμφάνισης σπασμένης μπάρας. Αν δεν υπήρχαν σε διαφορετική ημερομηνία μετρήσεις ή η τρίτη μέθοδος για εξακρίβωση, σίγουρα θα ήταν διαφορετικό το αποτέλεσμα. Ωστόσο, μπορεί όπως είδαμε και στον CO2 Compressor, ένα μέρος των κινητήρων να είναι από χυτό αλουμίνιο, και να εμφανίζεται και η πορότητα.

5 Μελλοντικές Έρευνες

Οι μηχανές του πλοίου λειτουργούν σε δύσκολες συγκυρίες (δονήσεις πλοίου, καιρικές συνθήκες). Στο μέλλον θα ήταν σοφό να γίνει μία διάγνωση εν πλω με εργαλεία, καθώς και η χρήση νέων μεθόδων διάγνωσης. Οι γνώσεις που μπορεί να προσφέρουν στην ανάλυση των μηχανών, θα εξελίσσουν τον τρόπο διάγνωσης και αναγνώρισης σφαλμάτων. Το πλοίο ως ένα εργοστάσιο στη θάλασσα, θα του είναι κρίσιμη η ανάγνωση της κατάστασης της κάθε μηχανής. Η μελλοντική γνώση που θα προσφέρει, θα έχει τεράστια σημασία όχι μόνο στον οικονομικό τομέα, αλλά και στην ασφάλεια των επιβατών και του πληρώματος.

6 Βιβλιογραφία

- [1] Reliable Detection of Induction Motor Rotor Faults under the Rotor Axial Air Duct Influence
- [2] S. Lee et al., "Identification of false rotor fault indications produced by on-line MCSA for medium voltage induction machines," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 52, no.1, pp. 729-738, Jan./Feb. 2016.
- [3] W.T. Thomson, "On-line current monitoring – the influence of mechanical loads or a unique rotor design on the diagnosis of broken rotor bars in induction motors," Proc. of ICEM, pp. 1236-1240, 1992.
- [4] M. Drif, A.J.M. Cardoso, "Discriminating the simultaneous occurrence of three-phase induction motor rotor faults and mechanical load oscillations by the instantaneous active and reactive

power media signature analyses," IEEE Trans. on Ind. Elec., vol. 59, no. 3, pp. 1630-1639, March 2012.

[5] I.M. Culbert, and W. Rhodes, "Using current signature analysis technology to reliably detect cage winding defects in squirrel-cage induction motors," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 43, no.2, pp.422-428, Mar./Apr. 2007.

[6] C. Hargis, B.G. Gaydon, and K. Kamash, "The detection of rotor defects in induction motors," Proc. IEE Int. Conf. Elec. Mach. Design and Appl., pp. 216–220, 1982.

[7] G.B. Kliman, R.A. Koegl, J. Stein, R.D. Endicott, M.W. Madden, "Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors," IEEE Trans. on Ener. Conv., vol. 3, no. 4, pp. 873-879, Dec 1988.

[8] A. Bellini, et al., "On-field experience with on-line diagnosis of large induction motors cage failures using MCSA," IEEE Trans. on Ind. Appl., pp. 1045-1053, vol. 38, no. 4, July/Aug. 2002.

[9] S. Lee, J. Hong, S.B. Lee, E. Wiedenbrug, M. Teska, and H. Kim, "Evaluation of the Influence of Rotor Axial Air Duct Design on Condition Monitoring of Induction Motors," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 49, no. 5, Sept./Oct. 2013.

[10] B.D. Evans, "Induction motor case histories: a focus on electrically related phenomena," Proc. of Vibration Institute Annual Meeting, 2009.

[11] S. Shin, J. Kim, S.B. Lee, and C. Lim, "Evaluation of the Influence of Rotor Magnetic Anisotropy on Condition Monitoring of 2 Pole Induction Motors," Proc. of IEEE ECCE, Sept. 2014.

[12] Konstantinos N. Gyftakis, Panagiotis A. Panagiotou, Dimitrios Spyrakis "Detection of Simultaneous Mechanical Faults in 6 kV Pumping Induction Motors Using Combined MCSA and Stray Flux Methods"

[13] G. Salles, F. Filippetti, C. Tassoni, G. Crellet, and G. Franceschini, "Monitoring of induction motor load by neural network techniques," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 15, no. 4, pp. 762-768, July 2000.

- [14] J. Yun and S. B. Lee, "Influence of Aluminium Die Cast Rotor Porosity on the Efficiency of Induction Machines", IEEE Trans Magn Vol 54 No 11 2018
- [15] M. Sumislawska K. N. Gyftakis, D. F. Kavanagh, M. McCulloch, K. J. Burnham and D. A. Howey, "The Impact of Thermal Degradation on Properties of Electrical Machine Winding Insulation Material", IEEE Trans Ind Appl Vol 52 No 4 pp 2951 2960 2016.
- [16] H. A. Toliyat S. Nadi S. Choi and H. Meshgin Kelk, "Electric Machines Modelling Condition Monitoring and Fault Diagnosis", CRC Press, 2013
- [17] C. Sciascera M. Galea P. Giangrande and C. Gerada, "Lifetime consumption and degradation analysis of the winding insulation of electrical machines", 8 th IET PEMD, Glasgow, UK, 2016.
- [18] A. Polat Y. D. Ertuğrul L. T. Ergene, "Static, dynamic and mixed eccentricity of induction motor", 2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives
- [19] A. J. M. Cardoso, S. M. A. Cruz and D. S. B. Fonseca, "Inter turn Stator Winding Fault Diagnosis in Three Phase Induction Motors by Park's Vector Approach", IEEE Trans Ener Conv Vol 14 No 3 pp 595 598 Sep 1999
- [20] S. M. A. Cruz and A. J. Cardoso, "Stator Winding Fault Diagnosis in Three Phase Synchronous and Asynchronous Motors, by the Extended Park's Vector Approach", IEEE Trans Ind Appl Vol 37 No 5 pp 1227 1233 Sep .. /Oct 2001
- [21] Kai Ni, Lujia Xie, Yihua Hu, "Cost Effective Electric Ship Energy Regulation System Based on Asynchronized Synchronous Motor", 2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles, International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)
- [22] Thongam, J. S. Tarbouchi, M. Okou, A. F. Bouchard, D. Beguenane, "Trends in naval ship propulsion drive motor technology" IEEE 2013 IEEE Electrical Power Energy Conference (EPEC) - Halifax, NS, Canada (2013.08.21-2013.08.23).
- [23] Dimitrov, Lyubomir Kanturska, Stefka (2017). "Features in the selection and operation

of AC motors for electric propulsion system in ship", 2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA).

[24] Silva, J.L.H. Cardoso, A.J.M. (2005), "Bearing failures diagnosis in three-phase induction motors by extended Park's vector approach", IEEE 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. - Raleigh, NC, USA (2005.11.6-2005.11.6)

[25] S. M. A. Cruz and A. J. M. Cardoso, "Stator Winding Fault Diagnosis in Three Phase Synchronous and Asynchronous Motors, by the Extended Park's Vector Approach", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol 37 No 5 pp 1227-1233 Sep./Oct. 2001

[26] K. N. Gyftakis, P. A. Panagiotou and S. B. Lee, "The Role of the Mechanical Speed Frequency on the Induction Motor Fault Detection via the Stray Flux", IEEE SDEMPED 2019

[27] Cruz, S.M.A. (2012), "An Active-Reactive Power Method for the Diagnosis of Rotor Faults in Three-Phase Induction Motors Operating Under Time-Varying Load Conditions".

[28] Hamadache, Moussa, Lee, Dongik (2015) "Rotor Speed-based Bearing Fault Diagnosis (RSB-BFD) under Variable Speed and Constant Load", IEEE Transactions on Industrial Electronics.

[29] Liang, Xiaodong (2017). "Temperature estimation and vibration monitoring for induction motors", 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC) - Saskatoon, SK, Canada

[31] S. Bakhri, N. Ertugrul, W. L. Soong, "Practical issues on negative sequence current monitoring for condition monitoring in induction motors", 22 nd Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC) 2012.

[32] Remus Pusca, Raphael Romary, Nouredine Bessous, Salim Sbaa, "Comparative Study between Two Diagnostic Techniques Dedicated to the Mechanical Fault Detection in Induction Motors", 2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)

[33] S. B. Lee et al, "Identification of false rotor fault indications produced by online MCSA for medium voltage induction machines", IEEE Trans Ind Appl 2015

[34] S. Nandi, R. Bharadwaj and H. A. Toliyat, "Performance analysis of a three-phase induction motor under incipient mixed eccentricity condition," IEEE Trans. Ener. Conv. Vol. 17, No.

3, pp. 392-399, Sep. 2002.

[35] D. G. Dorrell, W. T. Thomson and S. Roach, "Analysis of air-gap flux, current, vibration signals as a function of the combination of static and dynamic air-gap eccentricity in 3-phase induction motors," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 33, No. 1, pp. 24-34, 1997.

[36] Gyftakis, Konstantinos N., Kappatou, Joya C. (2013). A Novel and Effective Method of Static Eccentricity Diagnosis in Three-Phase PSH Induction Motors. IEEE Transactions on Energy Conversion

[37] A. Stavrou, H. Sedding and J. Penman, "Current Monitoring for detecting inter-turn short circuits in induction motors", IEEE Trans. Ener. Conv., Vol. 16, No. 1, pp. 32-37, 2001.

[38] Goktas, Taner, Arkan, Muslum, Zafarani, Mohsen, Akin, Bilal (2015). 2015 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC) - Separation harmonics for detecting broken bar fault in case of load torque oscillation.

[39] Stopa, Marcelo Martins, Cardoso Filho, Braz de Jesus 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) - Load Torque Signature Analysis: An alternative to MCSA to detect faults in motor driven loads.

[40] Junshuo Wang, Lei Chen, Yu Wang, Lijun Wei, (2020). Vibration analysis and fault diagnosis of coupling misalignment . 2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering

[41] Wu, Husheng; Yan, Qian; Ling, Xiaodong. 2017 3rd International Conference on Information Management (ICIM) - Survey on fault diagnosis of diesel engine based on vibration signal.

[42] B, Parvathi Sangeetha, Hemamalini, S (2018). Rational-Dilation Wavelet Transform based Torque Estimation from Acoustic signals for Fault Diagnosis in a Three Phase Induction Motor. IEEE Transactions on Industrial Informatics

[43] Drif, M., Cardoso, A.J.M. (2006). IEEE International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006. Airgap eccentricity fault diagnosis, in three-phase induction motors, by the complex apparent power signature analysis.