



**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΗΣ ΔΥΝΑΜΟΠΕΔΗΣ ΜΕ
ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ VFD**
Build of a small dynamometer with AC induction motor and VFD driver

Όνομα Σπουδάστριας **ΚΑΛΛΙΤΣΗ ΠΗΝΕΛΟΠΗ**

A.M. 43004

Όνομα Επιβλέποντα Καθηγητή **ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Π. Ράλλη & Θηβών 250, 12244 Αιγάλεω, Αθήνα – Ελλάδα

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως στόχο τον σχεδιασμό και την κατασκευή μια μικρής δυναμοπέδης καθώς επίσης και τον έλεγχο αυτής. Επιπροσθέτως, θα αναλυθούν οι λειτουργίες, επαγωγικών κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, δυναμόμετρων με τη χρήση αυτών των κινητήρων, όπως και η λειτουργία οδηγών VFD (Variable Frequency Drivers) οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον πλήρη έλεγχο του κινητήρα. Τέλος, η δυναμοπέδη θα "συνεργαστεί" με ένα diesel κινητήρα όπου θα δημιουργηθεί ένα πειραματικό δυναμόμετρο, από το οποίο θα ληφθούν μετρήσεις ροπής, ισχύος και ειδικής κατανάλωσης με τους κατάλληλους αισθητήρες και παρελκόμενα.

Abstract

This particular project aims at designing and constructing a small dynamometer as well as controlling it. In addition, the functions of inductive AC motors, dynamometers using these motors will be analyzed, as well as the Variable Frequency Drivers (VFD), which are responsible for the complete control of the engine. Finally, the dynamometer will cooperate with a diesel engine to create an experimental dynamometer from which torque, power and specific power measurements will be taken with the appropriate sensors and accessories.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Θεοδωρακάκο Ανδρέα που με βοήθησε τόσο στην υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας όσο και στην κατανόηση της. Όμως η πτυχιακή αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την βοήθεια των καλών μου φίλων αλλά και συναδέρφων Μιχελή Στέφανο και Τσιρώνη Αλέξανδρο. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες που μας παρείχαν όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Σκοπός.....	5
1.2 Αρχή λειτουργίας δυναμοπέδης.....	5
1.3 Τύποι δυναμοπέδης.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΥΝΑΜΟΠΕΔΗΣ.....	12
2.1 Κινητήρας diesel.....	14
2.2 Ηλεκτροκινητήρας.....	16
2.3 VFD.....	23
2.4 Ηλεκτρολογικά παρελκόμενα.....	26
2.5 Αισθητήρες και μετρητικά όργανα.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ.....	37
3.1 Μέτρα προστασίας.....	37
3.2 Κατασκευή βάσης και τοποθέτηση ηλεκτροκινητήρα.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52

1 Εισαγωγή

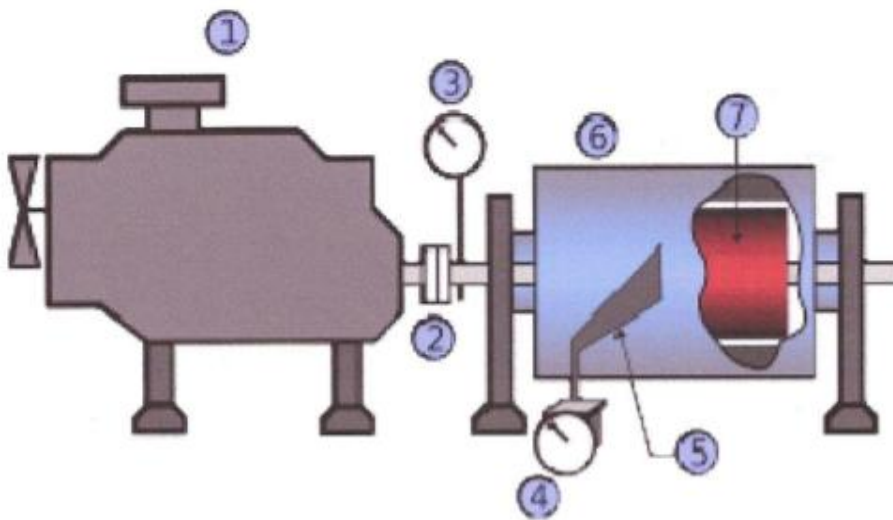
Η πτυχιακή αυτή συνδέεται με την πτυχιακή «Αποκατάσταση λειτουργίας εργαστηριακού κινητήρα Diesel » του συναδέλφου Τσιρώνη Αλέξανδρου, ο οποίος ανακατασκεύασε τον εργαστηριακό κινητήρα diesel που μας παρείχαν ώστε να είναι εφικτή η συνεργασία αυτού με τον ηλεκτροκινητήρα της παρούσας πτυχιακής υπό συνθήκες λειτουργίας. Το αποτέλεσμα συνεργασίας του κινητήρα diesel με τον ηλεκτροκινητήρα θα μας οδηγήσει, με τα κατάλληλα παρελκόμενα, σε μετρήσεις ροπής, ισχύος και ειδικής κατανάλωσης του κινητήρα diesel το οποίο αποτελεί μελλοντική πτυχιακή του συναδέλφου Μιχελή Στέφανου με τίτλο « Μετρήσεις ροπής ισχύος και ειδικής κατανάλωσης σε μικρό κινητήρα Diesel ».

1.1 Σκοπός

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η κατανόηση της αρχής λειτουργίας μιας δυναμοπέδης με τη χρήση ενός ηλεκτροκινητήρα. Για να το πετύχουμε αυτό, ο ηλεκτροκινητήρας θα συνδεθεί με ένα κινητήρα diesel και με τη χρήση κατάλληλης διάταξης θα οδηγηθούμε στην λήψη απαραίτητων μετρήσεων ροπής.

1.2 Αρχή λειτουργίας δυναμοπέδης

Μια δυναμοπέδη απαρτίζεται από μια μονάδα απορρόφησης και ένα μέσο για τη μέτρηση της ροπής και της ταχύτητας περιστροφής. Η μονάδα απορρόφησης αποτελείται από τον ρότορα ο οποίος βρίσκεται εντός κελύφους. Ο κινητήρας υπό δοκιμή συνδέεται με τον ρότορα με την βοήθεια ενός συνδέσμου (coupler) και μπορεί να περιστραφεί με οποιαδήποτε ταχύτητα επιθυμούμε. Ανάμεσα στο κέλυφος και τον ρότορα αναπτύσσεται τριβή είτε με μηχανικό τρόπο, είτε λόγω ύπαρξης ρευστού που περιλαμβάνεται ανάμεσα τους, είτε με ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Προκειμένου να μετρηθεί η ροπή, μπορεί να τοποθετηθεί στο κέλυφος της μονάδας απορρόφησης ένας μοχλοβραχίονας ενώ όλη η μονάδα θα στηρίζεται από μια φλάντζα η οποία της επιτρέπει να περιστρέφεται ελεύθερα και προς τις δυο κατευθύνσεις. Ο μοχλοβραχίονας είναι συνδεδεμένος με το περίβλημα της μονάδας και μία δυναμοκυψέλη (load cell, ζυγαριά κλπ.) έχει τοποθετηθεί στο άκρο του μοχλοβραχίονα έτσι ώστε να μπορεί να μετρήσει την δύναμη που του ασκεί το περίβλημα στην προσπάθεια να περιστραφεί. Η δυναμοκυψέλη μετράει την ροπή στρέψης του κινητήρα, που είναι συνδεδεμένος με την μονάδα απορρόφησης, πολλαπλασιαζόμενη με το μήκος του μοχλοβραχίονα από το κέντρο της μονάδας. Η δυναμοκυψέλη μετράει την κάθετη δύναμη από το κέλυφος και παρέχει ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο με τη χρήση κατάλληλης διάταξης (Arduino) μετατρέπεται σε ροπή. Προσθέτοντας κατάλληλο αισθητήρα για την μέτρηση των στροφών στην υπάρχουσα διάταξη μπορούμε με αυτόν τον τρόπο να υπολογίσουμε την ισχύς και να έχουμε μια πιο αναλυτική εικόνα της λειτουργίας του κινητήρα υπό δοκιμή.



Εικόνα 1.2.1: 1: Κινητήρας υπό δοκιμή, 2: Σύνδεσμος 3: Στροφόμετρο 4: Δυναμοκυψέλη 5: Μοχλοβραχίονας 6: Κέλυφος μονάδας απορρόφησης 7: Ρότορας^{xi}

1.3 Τύποι δυναμοπέδης

Ο τύπος δυναμοπέδης που εξετάζουμε ανήκει στις δυναμοπέδες απορρόφησης ισχύος τα οποία κατηγοριοποιούνται στους εξής:

- Δυναμοπέδη κινητήρα το οποίο συνδέεται άμεσα με τον κινητήρα με τη χρήση κάποιου συνδέσμου (πχ coupler)
- Δυναμομετρική εξέδρα ή δυναμοπέδη πλαισίου, το οποίο μπορεί να μετρά την ροπή και ισχύ του κινητήρα μέσω του συστήματος μετάδοσης κίνησης (πχ. τροχοί οχήματος) χωρίς την αφαίρεση του κινητήρα.

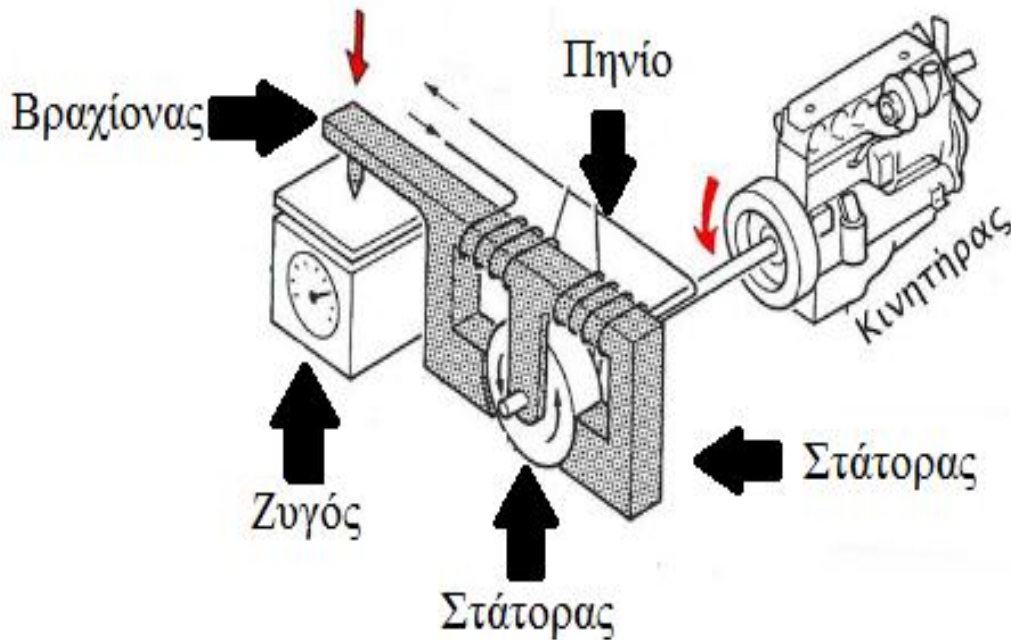


Εικόνα 1.3.1: Δυναμοπέδη πλαισίου

Όσο αναφορά τον τύπο της μονάδας απορρόφησης οι δυναμοπέδες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω πιο δημοφιλής κατηγορίες:

- **Ηλεκτρομαγνητικών δινορρευμάτων**

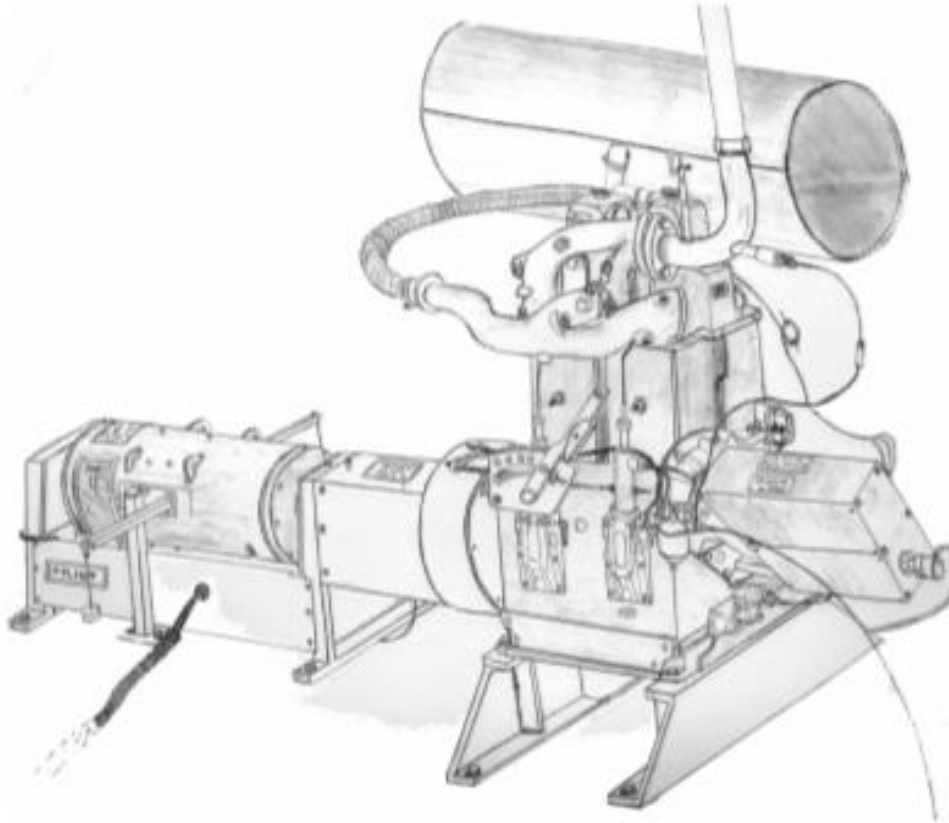
Είναι δυναμοπέδες οι οποίες για να προκαλέσουν αντίσταση στην περιστροφή, απαρτίζονται από έναν ηλεκτρικά αγώγιμο άξονα, ο οποίος περιστρέφεται εντός μαγνητικού πεδίου. Οι δυναμοπέδες ηλεκτρομαγνητικών δινορρευμάτων χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες δυναμοπέδες πλαισίου. Οι συγκεκριμένες δυναμοπέδες έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το φορτίο με γρήγορο ρυθμό. Αυτός ο τύπος δυναμοπέδης, είναι συνήθως αερόψυκτα, εκτός εξειδικευμένων περιστάσεων που χρησιμοποιείται υδρόψυκτο σύστημα. Επίσης το υλικό κατασκευής του άξονα που περιέχουν είναι χυτοσίδηρος, χαλκός, ή αλουμίνιο.



Εικόνα 1.3.2: Δυναμοπέδη ηλεκτρικών δινορρευμάτων^{xxii}

- **Δυναμοπέδη ηλεκτροκινητήρα - γεννήτριας**

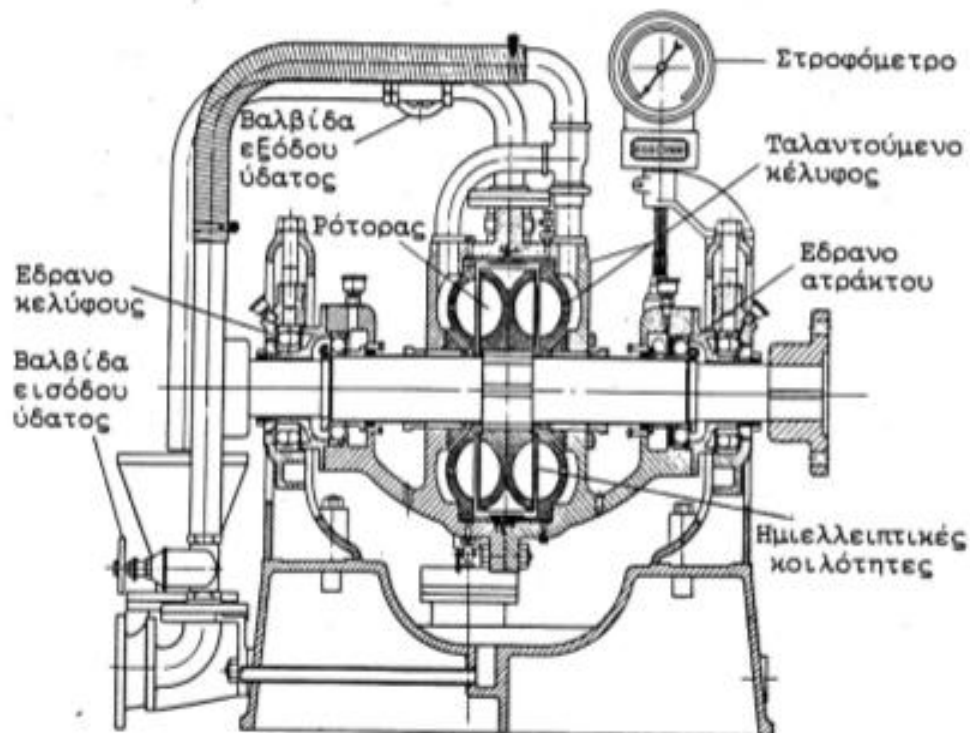
Η δυναμοπέδη αυτή έχει την ιδιότητα να μεταβάλλει τη ταχύτητα την οποία περιστρέφεται. Η συγκεκριμένη μπορεί να αποτελείται είτε από ένα ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, είτε από εναλλασσόμενου. Και στις δυο περιπτώσεις μπορεί να λειτουργεί ως γεννήτρια που την κινεί ο κινητήρα προς δοκιμή ή σαν ηλεκτροκινητήρας που πραγματοποιεί το ξεκίνημα αυτού. Ένας ηλεκτροκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος έχει μια μονάδα έλεγχου η οποία είναι μεταβλητής συχνότητας, ενώ ένας ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος, έχει ως μονάδα ελέγχου μια συνεχή κίνηση. Σε κάποιες περιπτώσεις η διάταξη αυτή έχει τη δυνατότητα να παρέχει ηλεκτρική ισχύ στο δίκτυο είτε να την καταναλώσει σε κάποια αντίσταση. Το συγκεκριμένο είδος δυναμοπέδης είναι από τα πιο πολυέξοδα και περίπλοκα είδη δυναμοπέδης.



Εικόνα 1.3.3: Δυναμοπέδη ηλεκτροκινητήρα - γεννήτρια^{xii}

- **Υδραυλική δυναμοπέδη**

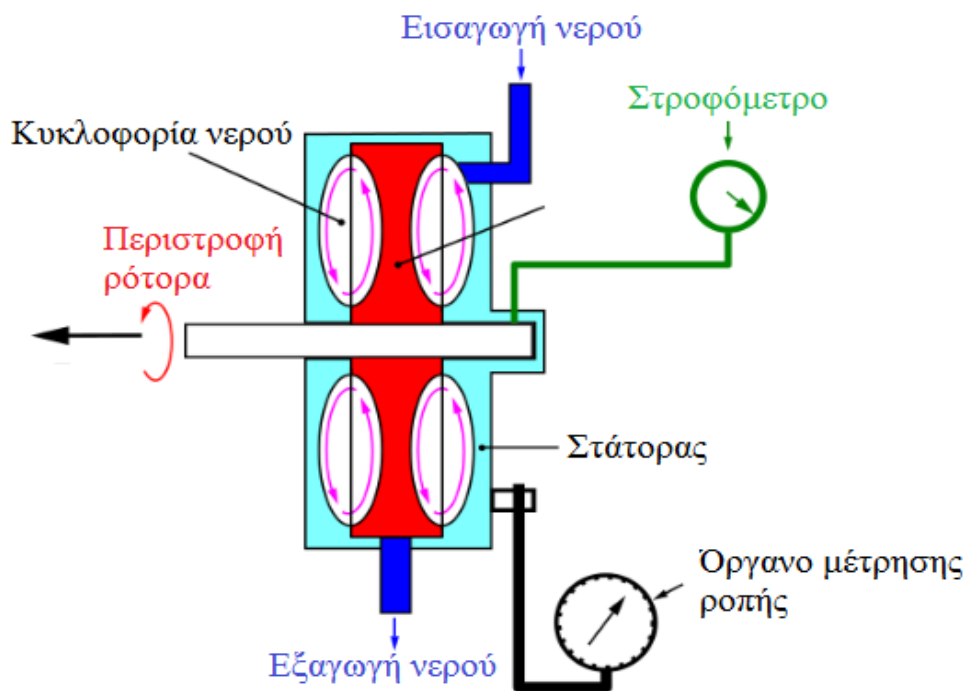
Η υδραυλική δυναμοπέδη αποτελείται από μια δεξαμενή η οποία περιέχει λιπαντικό υγρό, μια υδραυλική αντλία και σωληνώσεις που ενώνουν τα δύο μέρη μεταξύ τους. Στο δίκτυο των σωληνώσεων υπάρχει μια ρυθμιστική βαλβίδα και ένα μανόμετρο το οποίο βρίσκεται ανάμεσα από την αντλία και την βαλβίδα. Το λιπαντικό υγρό που χρησιμοποιείται είναι συνήθως υδραυλικό λάδι, αλλά πλέον χρησιμοποιούνται λάδια νεότερη τεχνολογίας. Στη δυναμοπέδη αυτή, ο κινητήρας ρυθμίζεται στον αριθμό στροφών που απαιτείται, και η βαλβίδα που αναφέραμε κλείνει σταδιακά. Μειώνοντας τη παροχή, το φορτίο στη πέδη αυξάνεται. Εν αντιθέσει από τις άλλες διατάξεις, γνωρίζοντας την υδραυλική πίεση, τον αριθμό στροφών και την ογκομετρική παροχή μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ. Το πλεονέκτημα της υδραυλικής δυναμοπέδης είναι η άμεση δυνατότητα αλλαγής φορτίου η οποία ξεπερνά αυτή της δυναμοπέδης ηλεκτρομαγνητικών δινορρευμάτων. Επιπλέον τα βασικά μειονεκτήματα είναι η απαίτηση μεγάλου όγκου ζεστού λαδιού με μεγάλες πιέσεις και την ύπαρξη δοχείου πετρελαίου.



Εικόνα 1.3.4: Υδραυλικό δυναμόμετρο^{xiii}

- **Υδραυλική πέδη με χρήση νερού**

Κατά κύριο λόγο κατασκευαστήκαν για τους ναυτικούς κινητήρες καθώς τα χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή δύναμη ισχύς, το μικρό μέγεθος τους, το μικρό τους βάρος αλλά και το χαμηλό τους σχετικά κόστος. Ένα από τα μειονεκτήματα τους είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε να σταθεροποιηθεί η ποσότητα του φορτίου τους και η σταθερότητα συγκεκριμένης παροχής νερού για ψύξη. Προστίθεται νερό μέχρι την σταθεροποίηση των στροφών σε σχέση με το φορτίο, ενώ το νερό που εξατμίζεται λόγω θερμοκρασιών συμπληρώνεται. Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά μια υδραυλική πέδη με χρήση νερού.



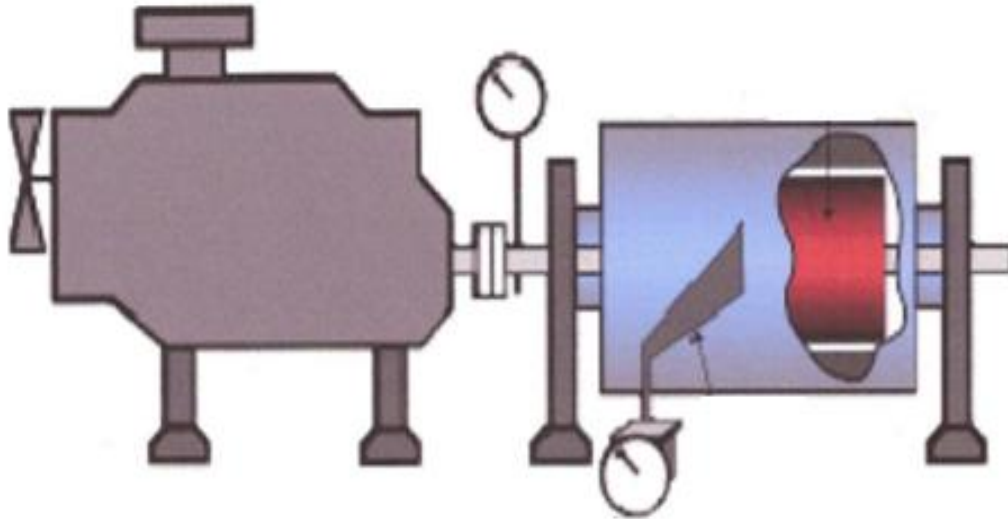
Εικόνα 1.3.5: Υδραυλική πέδη με χρήση νερού^{xiii}

2 Κατασκευή δυναμοπέδης

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης πτυχιακής επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε έναν τριφασικό ηλεκτροκινητήρα και με τη χρήση διαφόρων παρελκόμενων που θα αναπτύξουμε παρακάτω, να δημιουργήσουμε μια διάταξη δυναμοπέδης ηλεκτροκινητήρα - γεννήτριας της οποίας ο τρόπος λειτουργίας της έχει αναφερθεί αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η μείωση της ταχύτητας ενός ηλεκτροκινητήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας ονομάζεται πέδηση. Κατά τη διαδικασία της πέδησης ο κινητήρας μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια από το φορτίο σε ηλεκτρική, δηλαδή λειτουργεί ως γεννήτρια. Η πέδηση μπορεί να διεξαχθεί με διάφορους τρόπους:

- Δυναμική πέδηση: Στη διαδικασία αυτή, ο στάτης συνδέεται με πηγή συνεχής τάσης, εφόσον έχει διακοπεί η σύνδεσή του με το τριφασικό δίκτυο. Η δυναμική πέδηση μετατρέπει τον κινητήρα σε ασύγχρονη γεννήτρια και ο δρομέας απορροφά όλη την ενέργεια. Επίσης, με τη μεταβολή των τιμών της συνεχούς τάσης, γίνεται εφικτό να ελεγχθεί και η ροπή της πέδησης.
- Πέδηση με αντιστροφή φορά του μαγνητικού πεδίου: Σε αυτή τη μέθοδο ο κινητήρας λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνητική πέδη. Αυτό επιτυγχάνεται αντιστρέφοντας τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου με την αντιμετάθεση δυο φάσεων τροφοδότησης του στάτη.
- Μηχανική πέδηση: Η μέθοδος γίνεται με ειδικές σιαγόνες που εφαρμόζονται περί το άξονα της μηχανής.
- Ελεύθερη πέδηση: Ο κινητήρας αποσυνδέεται από το ρεύμα και χωρίς καμία καταπόνηση μετά από αρκετό χρόνο σταματάει.
- Ομαλή πέδηση: Χρησιμοποιείται για την αποφυγή απότομης διακοπής λειτουργίας της μηχανής κόβοντας σταδιακά την τάση τροφοδοσίας.ⁱ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήσαμε για να κατασκευάσουμε αυτή τη διάταξη.



Εικόνα 2.1: Διάταξη ηλεκτροκινητήρα - γεννήτριας^{xi}

Για την κατασκευή αυτής της διάταξης εκτός από τον ηλεκτροκινητήρα θα χρειαστούμε:

- Κινητήρα diesel προς εξέταση
- VFD
- Ηλεκτρολογικά παρελκόμενα
- Αισθητήρες και μετρητικά όργανα

2.1 Κινητήρας diesel

Ένα από τα κύρια μέρη που θα χρειαστούμε για την υλοποίηση αυτής της διάταξης είναι ένας κινητήρας. Ο κινητήρας που μας παρείχε το εργαστήριο είναι ένας diesel κινητήρας Lister Petter σειράς AA1, ο οποίος ανακατασκευάστηκε για τις ανάγκες αυτής της πτυχιακής. Ο συγκεκριμένος κινητήρας κατά της διάρκεια αυτής της πτυχιακής θα συνδεθεί στη δυναμοπέδη προκειμένου να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις, ροπής ισχύος καθώς και ειδικής κατανάλωσης.



Εικόνα 2.1.1: Κινητήρας diesel Lister Petter AA1

Τα χαρακτηριστικά αυτού του κινητήρα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ - LISTER PITTER AA1	
Κωδικός	AA1
Αριθμός Κυλίνδρων	1
Έγχυση Καυσίμου	Έγχυση Μέσο Αεροκυψέλης
Διάμετρος Κυλίνδρου	69,85 mm (ονομαστική)
Διατομή Κυλίνδρου	57,15
Επιφάνια Εμβόλου	38,32 cm ²
Συνολικός Κυβισμός Κινητήρα	219 cm ³
Σχέση Συμπίεσης	17:1
Μέγιστη Ισχύ Κινητήρα	2,6 KW (3.5bhp) at 3600rpm
Ελαχίστη Ταχύτητα Εμβόλου Στις 3600 σ.α.λ	6,85 m/sec
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τελική Ωθηση Στον Στρόφαλο	54 kg
Μηχανική Απόδοση	59%
Θερμική Απόδοση	25%
Χωρητικότητα Ελαιολεκάνης	1,9 liters
Όγκος Μεταξύ Των Σημαδιών Του Δίκτη Στάθμης Λαδιού	0,65 liters
Πίεση Λαδιού Στο Ρελαντί (Σε Θερμοκρασία Λειτουργίας)	0,8 bar
Πίεση Λαδιού Ελάχιστη (Σε Λειτουργία)	2,8 – 4,0 bar
Ρύθμιση Βαλβίδας Εκτόνωσης Πίεσης	3,0 – 3,3 bar
Πίεση Εγχοτήρα	183,0 bar
Περιορισμός Εισαγωγής Αέρα	20,5 mm Hg
Αρνητική Πίεση Στην Εξαγωγή	18,7 mm Hg
Ρελαντί	1200 σ.λ.α

Πίνακας 2.1.2: Χαρακτηριστικά κινητήρα diesel υπό δοκιμή.^{xxiii}

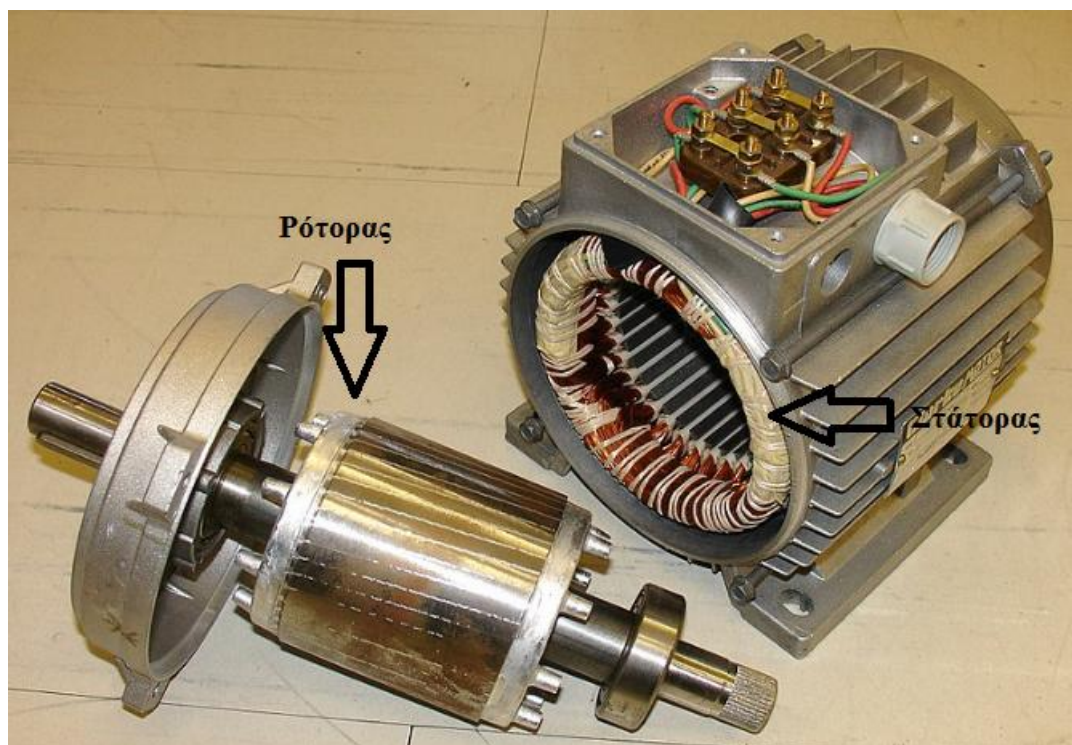
Έχοντας λάβει υπόψη τα άνωθεν χαρακτηριστικά μπορούμε να προχωρήσουμε στην κατάλληλη επιλογή ενός ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος θα μπορεί να συνεργαστεί ιδανικά με τις απαιτήσεις τους συγκεκριμένου κινητήρα diesel.

2.2 Ηλεκτροκινητήρας

Προκειμένου να κατανοήσουμε τον λόγο τον οποίο χρησιμοποιούμε ηλεκτροκινητήρα στην διάταξη θα πρέπει πρώτα να αντιληφθούμε την αρχή λειτουργίας του.

Το 1800 ο Nicola Tesla εφηύρε τον τριφασικό εναλλασσόμενο κινητήρα (AC motor). Η εφεύρεσή του αποτελείται από δυο κύρια μέρη, τον στάτορα και τον ρότορα.

- Ο στάτορας είναι το εξωτερικό τμήμα του κινητήρα το οποίο είναι φτιαγμένο από πολλές περιελίξεις από λεπτό χάλκινο καλώδιο. Σε έναν τριφασικό κινητήρα υπάρχουν περιελίξεις οι οποίες τους δίνεται ενέργεια από την Α φάση, περιελίξεις από την Β φάση και περιελίξεις από τη Γ φάση.
- Ο ρότορας βρίσκεται στο κέντρο του κινητήρα και είναι το τμήμα το οποίο περιστρέφεται όταν ο κινητήρας είναι ενεργός. Ο ρότορας είναι επίσης ενωμένος με τον άξονα που συνδέει τον κινητήρα με οτιδήποτε κινεί.



Εικόνα 2.2.1: Στάτορα και ρότορας ηλεκτροκινητήρα^{xiv}

Η αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτροκινητήρα βασίζεται στη δύναμη Laplace, η οποία διατυπώνεται ως εξής: "Όταν ένας αγωγός από τον οποίο διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, ασκείται πάνω του δύναμη ίση με:

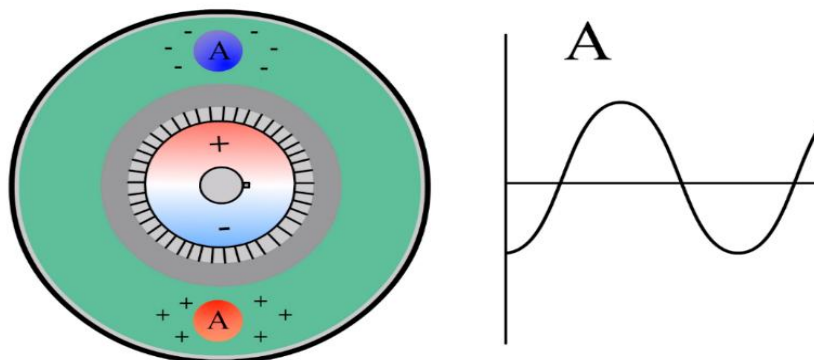
$$F = I \cdot \lambda \cdot B \cdot \eta \mu \phi$$

όπου,

- ✓ I : ένταση του ρεύματος
- ✓ λ: μήκος αγωγού
- ✓ B: ένταση μαγνητικού πεδίου
- ✓ φ: η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών.ⁱⁱⁱ

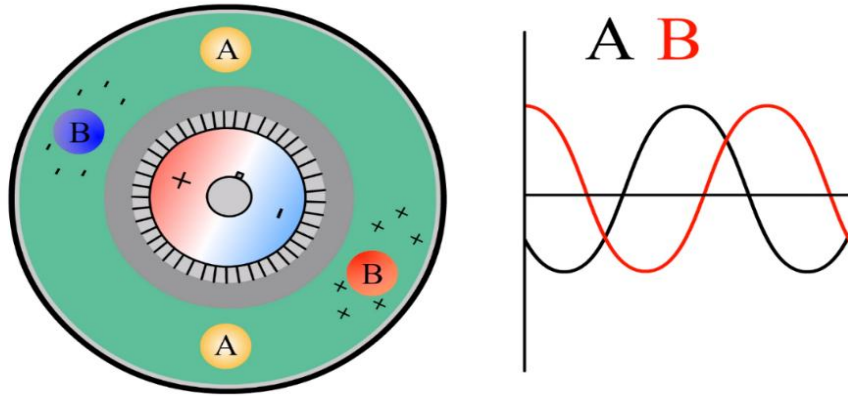
Για την καλύτερη κατανόηση του πως λειτουργεί ο κινητήρας πρέπει να κοιτάξουμε στο εσωτερικό του.

Όταν η Α φάση εισέρχεται στις περιελίξεις μέσα στον κινητήρα, η ηλεκτρική ροή προκαλεί ένα ζευγάρι περιελίξεων να γίνει θετικό και το αντίθετο ζευγάρι περιελίξεων να γίνει αρνητικό. Τοιουτοτρόπως δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάμεσά τους.



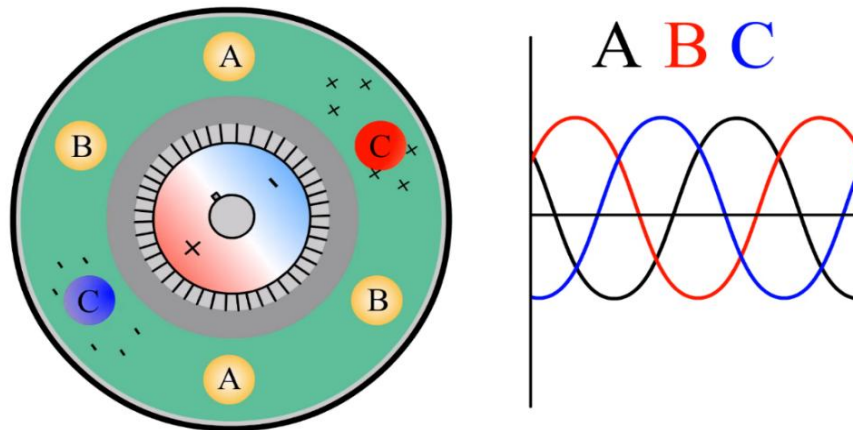
Εικόνα 2.2.3: Σχηματική απεικόνιση φάσης A^{xv}

Στην αριστερή πλευρά διακρίνεται το ημιτονοειδές κύμα σε απεικόνιση της ισχύος που εισέρχεται στον κινητήρα. Όταν η θετική πλευρά της καμπύλης είναι στην μέγιστη τιμή, τότε οι περιελίξεις σε αυτή την πλευρά γίνονται θετικά φορτισμένες και η αντίθετη πλευρά αρνητικά. Όταν το αρνητικό κύμα είναι στη μέγιστη τιμή του τότε η πολικότητα μέσα στον κινητήρα αντιστρέφεται. Ο ρότορας στο κέντρο είναι επίσης μαγνητικά φορτισμένος και προσπαθεί να ευθυγραμμιστεί με το μαγνητικό πεδίο που παρέχεται από το στάτορα. Λειτουργώντας όμως με μόνο μια φάση κάνει την περιστροφή του κινητήρα ασταθή. Για αυτό προσθέτουμε την Β φάση.



Εικόνα 2.2.4: Σχηματική απεικόνιση φάση B^{xy}

Καθώς η A φάση "χάνει δύναμη" η B φάση "αποκτά δύναμη" και συνεχίζει να κινεί το μαγνητικό πεδίο. Για να εξομαλυνθεί εντελώς η περιστροφή του κινητήρα προστίθεται η Γ φάση που γεμίζει τα κενά στα οποία η A και η B φάση "χάνουν δύναμη".



Εικόνα 2.2.5: Σχηματική απεικόνιση φάση C^{xy}

Έτσι καθώς η ισχύς εισέρχεται στον κινητήρα συνεχόμενα, οι εναλλαγές της ημιτονοειδούς καμπύλης προκαλούν την περιστροφή του μαγνητικού πεδίου. Όσο πιο γρήγορα οι ημιτονοειδές καμπύλες εισέρχονται στον κινητήρα τόσο πιο γρήγορα περιστρέφεται το μαγνητικό πεδίο και αντίστροφα.

Αφού κατανοήσαμε πως λειτουργεί στο εσωτερικό του ένα ηλεκτροκινητήρας, θα αναλύσουμε τις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται. Οι ηλεκτρικές μηχανές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- στις ηλεκτρικές γεννήτριες (δυναμοπέδη)
- στους ηλεκτροκινητήρες.

Οι ηλεκτρικές γεννήτριες ή αλλιώς δυναμοπέδες είναι μηχανές οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να μετατρέψουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αντίθετα, οι ηλεκτροκινητήρες είναι μηχανές οι οποίες θα παραλάβουν ηλεκτρική ενέργεια και θα τη μετατρέψουν σε μηχανική. Σημειωτέων, βάση κατασκευής ένα μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι μια δυναμοπέδη μπορεί να λειτουργήσει και ως ηλεκτροκινητήρας και αντίστροφα, ένας ηλεκτροκινητήρας μπορεί να λειτουργήσει και ως δυναμοπέδη.

Οι ηλεκτροκινητήρες ανάλογα με το ρεύμα το οποίο τους παρέχεται διακρίνονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος και σε κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, όταν τροφοδοτούνται με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα αντίστοιχα.

Πολύ γενικά, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν ως αρχή λειτουργίας τους το εξής, αγωγός που βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ρεύμα, θα αναπτυχθεί σε αυτόν δύναμη η οποία τείνει να τον κινήσει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση.

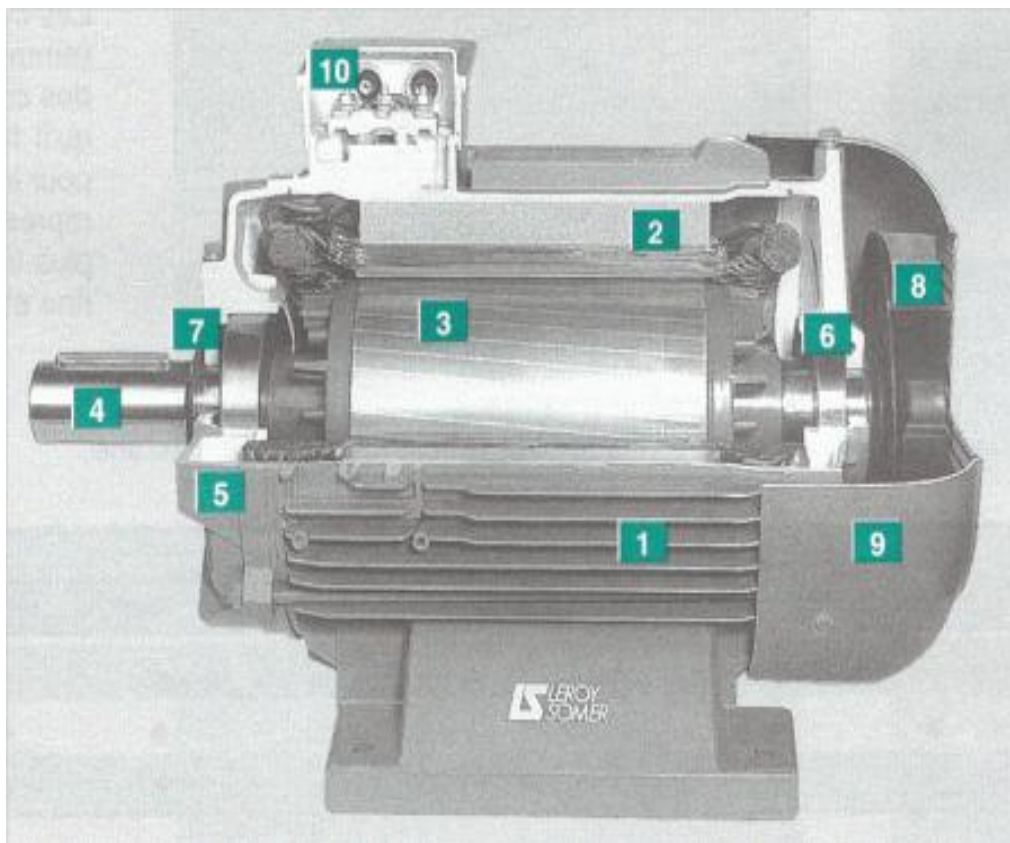
Για τους κινητήρες εναλλασσόμενου είναι διαφορετική η αρχή λειτουργίας τους και έχει ως εξής, όταν προσδοθεί ένα τριφασικό ρεύμα στον στάση ενός κινητήρα τότε θα δημιουργηθεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του και αντίστροφα όταν εφαρμοστεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του κινητήρα τότε θα παραχθεί τριφασικό ρεύμα στα τυλίγματα του στάτη.

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- στους σύγχρονους κινητήρες, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να έχουν σταθερή σχέση της συχνότητας του ρεύματος που τους παρέχεται με την ταχύτητα περιστροφής
- στους ασύγχρονους ή επαγωγικούς κινητήρες, στους οποίους η σχέση ανάμεσα στη συχνότητα του ρεύματος που προσδίδεται σε αυτόν και την ταχύτητα περιστροφής δεν είναι σταθερή.ⁱⁱⁱ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά μέρη ενός ηλεκτροκινητήρα αριθμημένα με βάση την εικόνα που ακολουθεί.

1. Πτερύγια ψύξης του στάτη
2. Ελάσματα του στάτη και το τύλιγμα
3. Ρότορας
4. Άξονας
5. Κέλυφος
6. Ρουλεμάν
7. Ρουλεμάν
8. Ανεμιστήρας
9. Κέλυφος
10. Κιβώτιο ηλεκτρικής σύνδεσης^{iv}



Εικόνα 2.2.2: Τομή τριφασικού επαγωγικού κινητήρα^{iv}

Η ροπή παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα όσο και στην σύνδεση του με τον κινητήρα Diesel.

Η ροπή εκκίνησης είναι πρακτικά οι μηδενικές στροφές που έχει ο κινητήρας μέχρι να αρχίσει λειτουργεί. Όταν αυξάνονται οι στροφές τότε αυξάνεται και η ροπή μέχρι την μέγιστη τιμή της η οποία ονομάζεται μέγιστη ροπή ή ροπή ανατροπής.

Η ροπή μειώνεται ραγδαία μέχρι να γίνει μηδέν όταν ο κινητήρας φθάσει στην σύγχρονη ταχύτητα η οποία είναι:

$$n_s = \frac{60 f}{p} \quad \text{v} \quad (2.1)$$

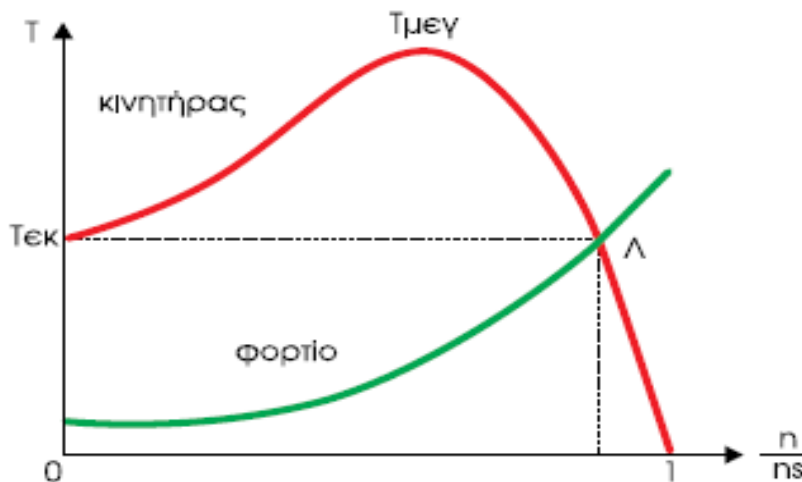
όπου:

n_s σύγχρονη ταχύτητα σε στροφές ανά λεπτό

f: συχνότητα σε Hz

p: ζεύγη μαγνητικών πόλων.

Για την ροπή επιτάχυνσης η οποία είναι η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου εμφανίζεται σαν καμπύλη στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχ. 2.2.1: Καμπύλη ροπής- ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.^{vi}

Η τομή των δυο καμπυλών, το σημείο Λ ονομάζεται **σημείο λειτουργίας Λ**, διότι από αυτό καθορίζονται η ταχύτητα λειτουργίας και η ροπή λειτουργίας του κινητήρα. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η ροπή εκκίνηση για να πραγματοποιηθεί η εκκίνηση πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από την ροπή του φορτίου. Επίσης, παρατηρείται ότι στη διάρκεια επιτάχυνσης του κινητήρα η ροπή του φορτίου πρέπει να είναι μικρότερη από τη ροπή του κινητήρα, έως ότου φτάσει στο σημείο λειτουργίας.^{vii}

Εφόσον κατανοήσαμε την αρχή λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο τύπος κινητήρα που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε είναι ένας επαγωγικός κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος με ισχύ παρόμοια με αυτή του κινητήρα diesel τον οποίο μας παρείχε το εργαστήριο.

Με βάση όσα αναφέραμε παραπάνω ο ηλεκτροκινητήρας που επιλέξαμε είναι ο MS 100L-2 , επαγωγικός εναλλασσόμενου ρεύματος, ισχύος 3 kw (ή αλλιώς 4 ίππους), ο οποίος λειτουργεί με τάση 380V και συχνότητα 50Hz. Ακόμα θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος ηλεκτροκινητήρας είναι διπολικός, κατασκευασμένος από αλουμίνιο, μεγέθους 100 λίτρων και αποδοτικότητας IE1 όπως αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα χαρακτηριστικών.^{viii}

Μέγεθος Model	Ισχύς Output		Φόρτιση 100% load				Φόρτιση 75% load		Φόρτιση 50% load		Χαρακτηριστικά Εκκίνησης		
			Ρεύμα 400V	Στροφές	Απόδοση	cosφ	Απόδοση	cosφ	Απόδοση	cosφ	Ms/Mr	Is/In	Mmax/Mn
	Current (A)	Speed (r/min)	Eff (%)	Power Factor	Eff (%)	Power Factor	Eff (%)	Power Factor	Tstart/Tn	Ist/In	Tmax/Tn		
MS100L-2	3.0	4	6.31	2870	82.6	0.87	81.0	0.86	79.3	0.86	2.2	7.5	2.3



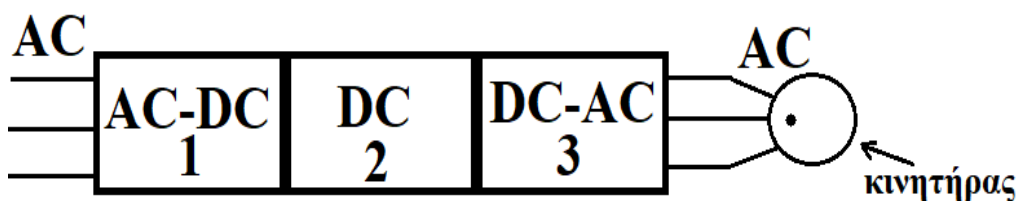
Εικόνα 2.2.1.: Ηλεκτροκινητήρας MS 100L-2^{viii}

2.3 VFD

Προκειμένου ο ηλεκτροκινητήρας που επιλέξαμε να λειτουργήσει ως δυναμοπέδη πρέπει να είναι ικανός να μεταβάλει τις στροφές του ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Για να το πετύχουμε αυτό θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε έναν οδηγό μεταβλητής συχνότητας, όμως πριν αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του παρόντος VFD που επιλέξαμε θα πρέπει να εξετάσουμε και να κατανοήσουμε την αρχή λειτουργίας του.

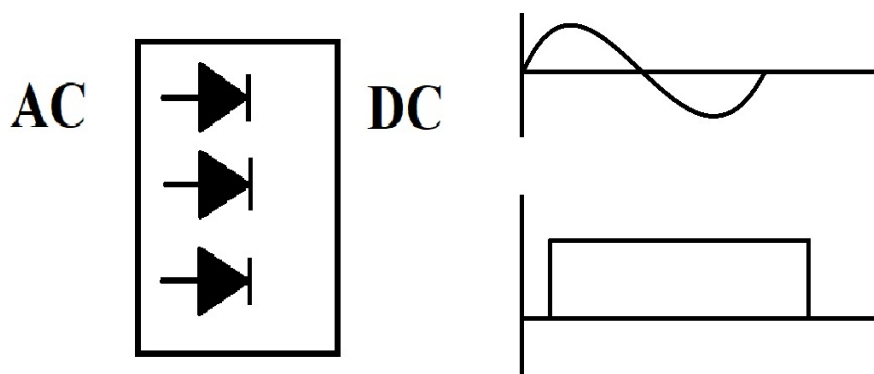
Ο Nicola Tesla προσπάθησε να βρει τον τρόπο που θα έκανε τον κινητήρα να περιστρέφεται με την μικρότερη ταχύτητα στα 50Hz. Αν μπορούσαμε να “τεντώσουμε” αυτά τα ημιτονοειδή κύματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο του ηλεκτροκινητήρα έτσι ώστε να εισέρχονται λιγότερα κύματα ανά δευτερόλεπτο στον κινητήρα και να μειώνεται η συχνότητα της ισχύος, τότε το μαγνητικό πεδίο θα περιστρέφεται πιο αργά.

Μέσα στο VFD υπάρχουν τρία κύρια μέρη. Το εναλλασσόμενο ρεύμα από το δίκτυο εισέρχεται στο VFD και μετατρέπεται από εναλλασσόμενο σε συνεχές, έπειτα το συνεχές συνεχίζει την πορεία του μέσα στον VFD και τέλος μετατρέπεται ξανά σε εναλλασσόμενο. Αυτά τα 3 κομμάτια ονομάζονται: Μετατροπέας, δρομολογητής συνεχούς ρεύματος (DC bus), και αντιστροφείας.



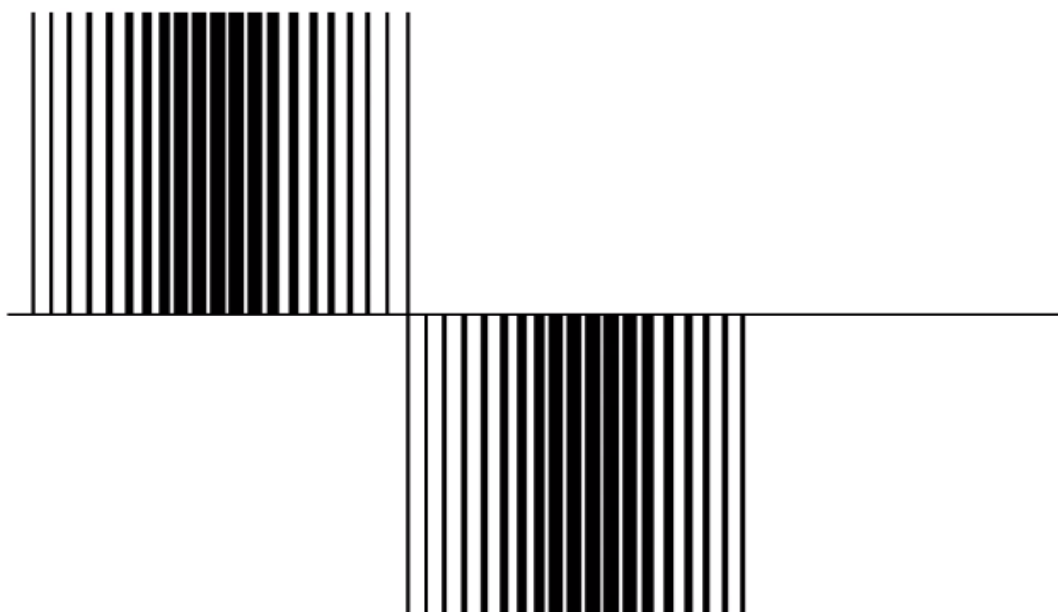
Εικόνα 2.3.1: Τα κύρια μέρη του VFD

- Στον μετατροπέα εισέρχεται καθαρό εναλλασσόμενο ρεύμα από την παροχή του δικτύου. Μέσα στο μετατροπέα υπάρχουν διόδους οι οποίες κόβουν το εναλλασσόμενο ρεύμα και το εξάγουν σε συνεχές ρεύμα. Χρησιμοποιούν πυκνωτές μέσα στο VFD για να εξομαλύνουν το συνεχές ρεύμα ώστε το σήμα όταν είναι ανοιχτό να είναι επίπεδο μέχρι να κλείσει.

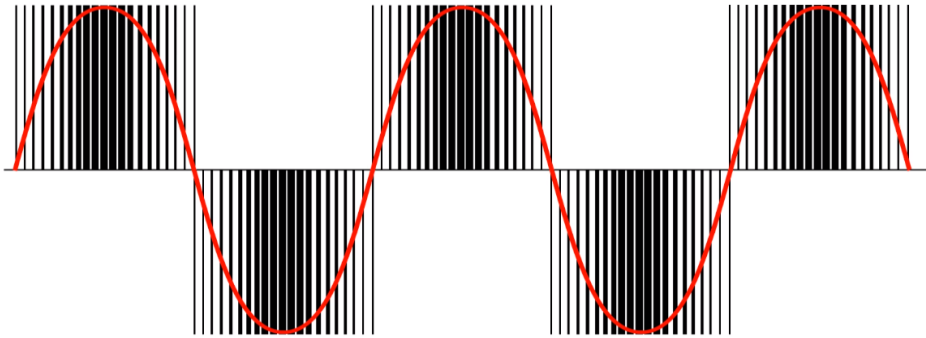


Εικόνα 2.3.2: Διεργασία μέσα στον μετατροπέα

- Μετά το συνεχές ρεύμα πηγαίνει στον δρομολογητή συνεχούς ρεύματος ο οποίος το ωθεί να περάσει από τον αντιστροφέα.
- Μέσα στον αντιστροφέα υπάρχουν μικρές ηλεκτρικές πλάκες οι οποίες αποκαλούνται Μεμονωμένες Πηγές Διπολικής Κρυσταλλολυχνίας (Insulated Gate Bipolar Transistors ή IGBTs) οι οποίες λειτουργούν ως ενεργοποιητές που παίρνουν το συνεχές ρεύμα και το εκτοξεύουν σαν μικρές "εκρήξεις". Οι IGBTs εκτοξεύουν "εκρήξεις" συνέχεια, πρώτα μικρές και σταδιακά αυξανόμενες σε διάρκεια μέχρι να γίνει η αντίστροφη διαδικασία και να αρχίσουν να μειώνονται ξανά. Στην συνέχεια αλλάζει η πολικότητα και ξανά το ίδιο. Το γράφημα αρχίζει να μοιάζει σαν ημιτονοειδές καμπύλη. Με τα κενά ανάμεσα στις "εκρήξεις" του συνεχούς ρεύματος, η ωφέλιμη ενέργεια γίνεται μέση και παίρνει σχήμα όπως στην εικόνα παρακάτω.



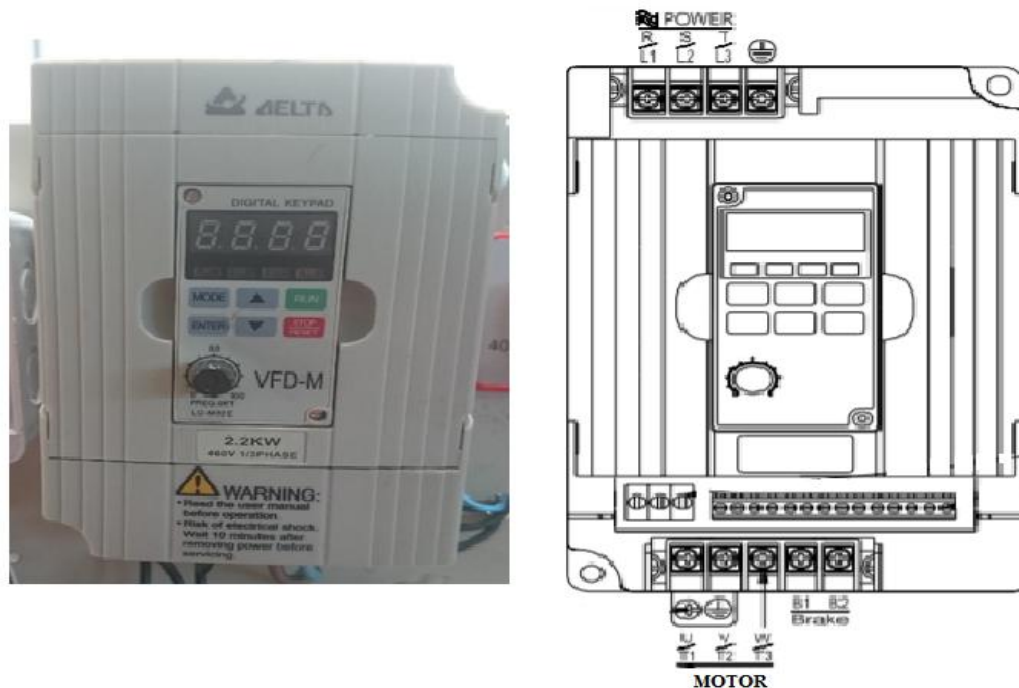
Εικόνα 2.3.3: σχηματική απεικόνιση εκρήξεων μέσα στον αντιστροφέα ^{3v}



Εικόνα 2.3.4: Σχηματική απεικόνιση μέσης ωφέλιμης ενέργειας^{xv}

Δεν είναι τέλειο το σχήμα αλλά είναι αρκετά κοντά στο εναλλασσόμενο ρεύμα έτσι ώστε να μην μπορεί να αναγνωρίσει ο κινητήρας τη διαφορά. Αν τα IGBTs μπορούν να ελέγχουν πόσο συχνά και με πόση διάρκεια γυρίζει ο κινητήρας, τότε μπορούν να μεγαλώσουν τα κενά που έχουν τα σήματα μεταξύ τους ή να μικρύνουν, ώστε να αλλάξει η συχνότητα της αναπαράστασης του εναλλασσόμενου ρεύματος σε ημιτονοειδές σήμα. Τέλος, αυτό το σήμα που εξέρχεται από τον αντιστροφέα, αποκαλείται Διαμορφωτής Πλάτους Παλμού (Pulse Width Modulation ή PWM). Συμπεραίνουμε λοιπόν από τα παραπάνω ότι αλλάζοντας τη συχνότητα που παρέχεται στον κινητήρα, θα αλλάξει η ταχύτητα περιστροφής του.

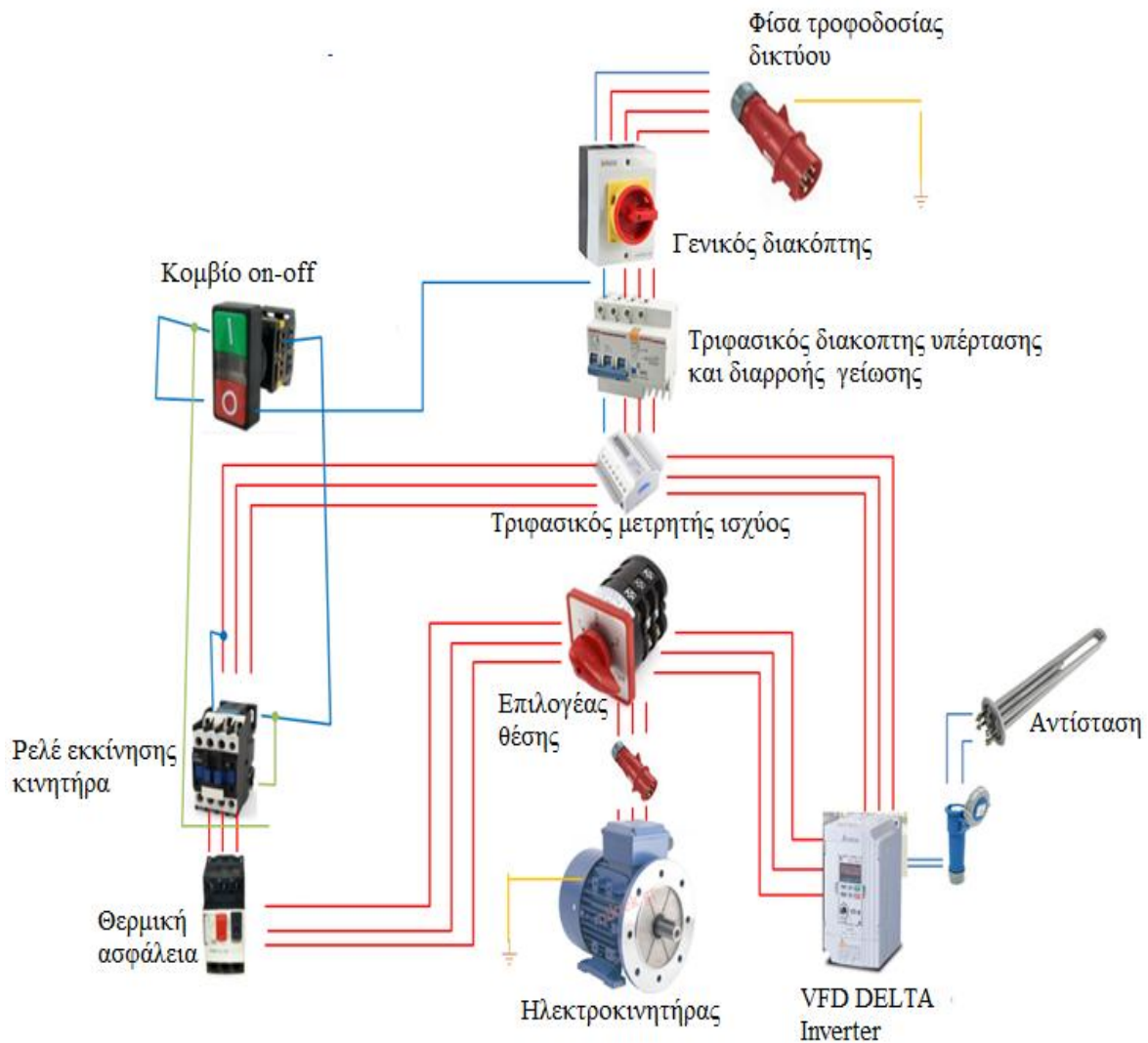
Εφόσον αναλύσαμε πως λειτουργεί ο VFD και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα που έχουμε επιλέξει, καταλήγουμε στην επιλογή του DELTA VFD022M43B 2.2kW.



Εικόνα 2.3.5: DELTA VFD-M^{xvi}

2.4 Ηλεκτρολογικά παρελκόμενα

Έχοντας καταλήξει στην επιλογή του κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα και VFD για τον συγκεκριμένο κινητήρα diesel που μας παρείχαν το μόνο που μένει είναι να επιλέξουμε τα απαραίτητα ηλεκτρολογικά παρελκόμενα προκειμένου να λειτουργήσει σωστά η διάταξη της δυναμοπέδη.



Εικόνα 2.4.1: Σκαρίφημα συνδεσμολογίας διάταξης.

Παραπάνω παρουσιάζεται σκαρίφημα συνδεσμολογίας του πίνακα. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα παρελκόμενα και θα αναφέρουμε λίγες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους.

- **Επιλογέας θέσης (διακόπτης)**

Ο επιλογέας θέσης είναι ο διακόπτης που χρησιμοποιήσαμε για να μπορούμε να επιλέγουμε αν ο ηλεκτροκινητήρας θα λειτουργεί απευθείας με ρεύμα δικτύου ή με ρεύμα μέσω του VFD.



Εικόνα 2.4.2: Επιλογέας θέσης (διακόπτης)

- **Θερμική ασφάλεια (Thermal Relay)**

Η θερμική ασφάλεια είναι υπεύθυνη για την προστασίας του κυκλώματος σε περίπτωση υπερθέρμανσης του συστήματος. Η συγκεκριμένη είναι μάρκας Schneider τύπου GV2ME14, 6-10A



Εικόνα 2.4.3: Θερμική ασφάλεια (Thermal Relay)

- **Ρελέ εκκίνησης κινητήρα**

Το ρελέ εκκίνησης είναι ακόμα ένα στοιχείο που συμβάλει στην εκκίνηση του ηλεκτροκινητήρα και λειτουργεί όπως ένα κοινό ρελέ. Το συγκεκριμένο είναι ένα NO (normally open) ρελέ 32A τύπου CJX2.



Εικόνα 2.4.4: Ρελέ εκκίνησης κινητήρα

- **Τριφασική ασφάλεια**

Η ασφάλεια αυτή έχει δύο χαρακτηριστικά, πρώτον όταν υπάρχει διαρροή στο κύκλωμα διακόπτει την τροφοδοσία μέσα σε χρόνο 0,1 δευτερολέπτων προστατεύοντας αυτόματα τον εξοπλισμό και δεύτερον προστατεύει το κύκλωμα από ρεύμα διαφορετικής συχνότητας από αυτές που λειτουργεί ο εξοπλισμός μας.



Εικόνα 2.4.5: Τριφασική ασφάλεια

- **Γενικός διακόπτης κυκλώματος**

Γενικός διακόπτης κυκλώματος είναι αυτός που δίνει την επιλογή παροχής ρεύματος στο πίνακα.



Εικόνα 2.4.6: Γενικός διακόπτης ρεύματος

- **On-Off Κομβίο**

Κομβίο άμεσης διακοπής παροχής ρεύματος από το δίκτυο παροχής στον ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 2.4.7: On-Off Κομβίο^{ix}

- **Μετρητής ισχύος**

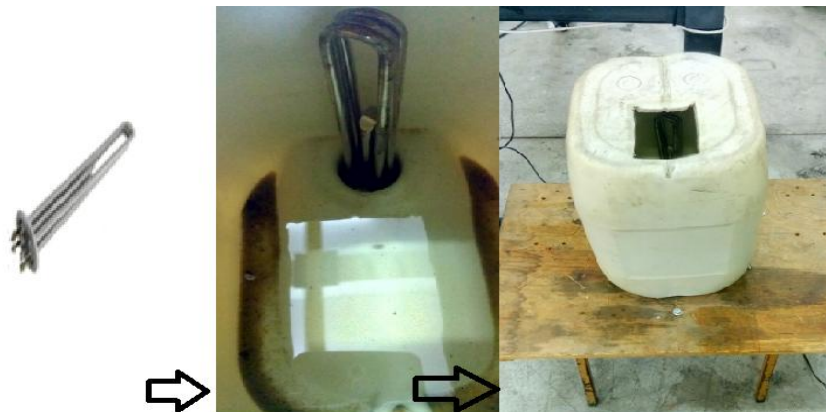
Ο μετρητής ισχύος είναι μια συσκευή που μας δείχνει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Ο συγκεκριμένος μετρητής είναι τριφασικός 3x 10(100)A, 50Hz, 400kWh τύπου XTM i250SA-U.



Εικόνα 2.4.8: Μετρητής ισχύος

- **Αντίσταση**

Στο σύστημα που κατασκευάζουμε ο diesel κινητήρας θα συνδεθεί με τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος θα περιστρέφεται με περισσότερες στροφές σε σχέση με τον ηλεκτροκινητήρα με αποτέλεσμα να τον παρασύρει, πράγμα το οποίο τον αναγκάζει να λειτουργεί ως πέδη και κατά συνέπεια να παράγει ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί. Για αυτό το λόγο εγκαταστήσαμε μια αδιάβροχη αντίσταση η οποία τοποθετήθηκε και προσαρμόστηκε σε δεξαμενή με νερό προκειμένου να αποφευχθεί η υπερθέρμανση αυτής. Ο VFD που θα χρησιμοποιήσουμε αναφέρει στο manual ότι η ελάχιστη αντίσταση που θα πρέπει να συνδεθεί είναι 145Ω. Για αυτό το λόγο, η αντίσταση που επιλέξαμε είναι τριφασική 380V, 6W, αποτελούμενη από τρεις αντιστάσεις 72Ω η κάθε μια. Συνδέοντας τες σε σειρά μεταξύ τους, αποτελούν μια ολική αντίσταση 216Ω, η οποία είναι αρκετή για τις ανάγκες του VFD.



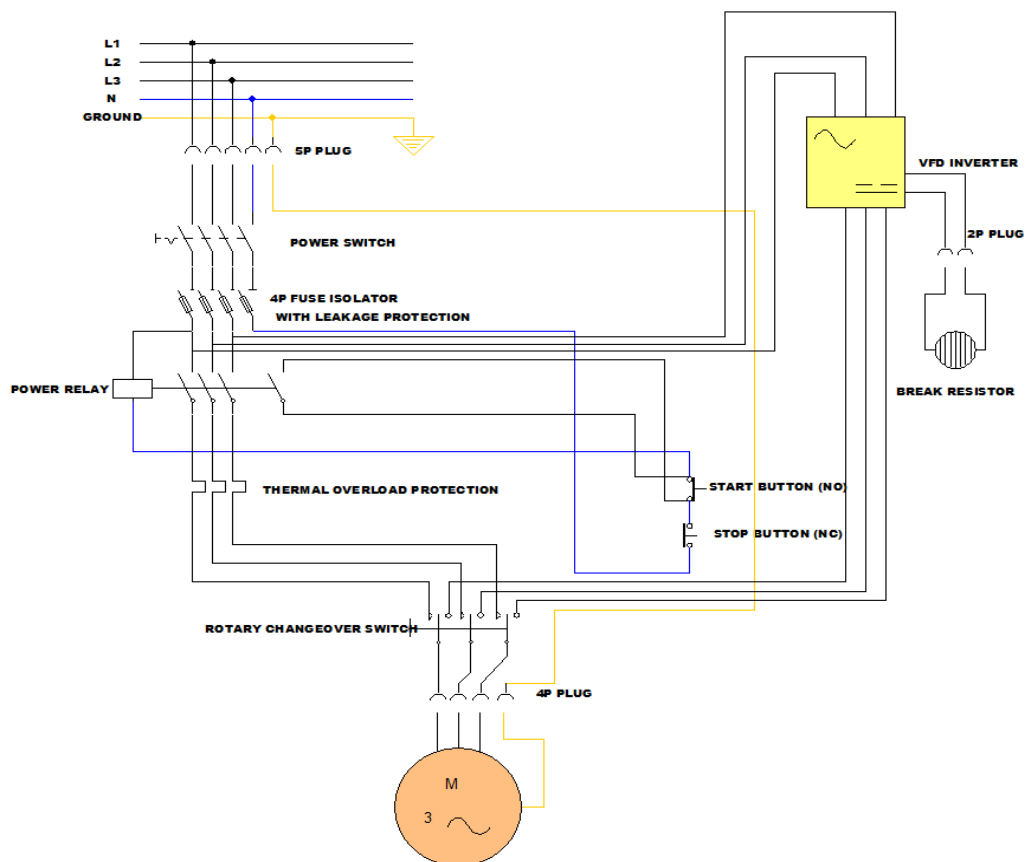
Εικόνα 2.4.9: Αντίσταση και δεξαμενή με νερό

Ο στόχος της κατασκευής του συγκεκριμένου πίνακα είναι να ελέγχονται οι στροφές του ηλεκτροκινητήρα με βάση τη συχνότητα του ρεύματος η οποία θα του παρέχεται ανά πάσα στιγμή μέσω του VFD. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δυο λειτουργίες, στην πρώτη θα παρέχεται ρεύμα με σταθερή συχνότητα (από το δίκτυο) στα 50 Hz και στην δεύτερη θα παρέχεται ρεύμα μεταβλητής συχνότητας μέσω του VFD. Η επιλογή ανάμεσα σε αυτές τις δυο λειτουργίες γίνεται με βοήθεια του επιλογέα θέση (διακόπτη) που αναφέραμε παραπάνω. Παρακάτω θα αναλύσουμε την συνδεσμολογία στην κάθε μια από τις προαναφερθείσες λειτουργίες με βάση τη θέση του επιλογέα αυτού.

Θέτοντας τον επιλογέα στη θέση 1, παρέχεται ρεύμα δικτύου σταθερής συχνότητας 50Hz απευθείας στον ηλεκτροκινητήρα. Το ρεύμα του δικτύου τροφοδοτείται στον πίνακα μέσω καλωδίου μέχρι τον γενικό διακόπτη. Έπειτα, περνάει από τον τριφασικό διακόπτη, συνεχίζει στο τριφασικό μετρητικό, στο ρελέ εκκίνησης κινητήρα, στο ρελέ θερμικής προστασίας και καταλήγει στον ηλεκτροκινητήρα.

Θέτοντας τον επιλογέα στη θέση 2, παρέχεται ρεύμα δικτύου το οποίο περνάει από τα ίδια στοιχεία μέχρι το τριφασικό μετρητικό, αλλά συνεχίζει στο VFD, ο οποίος μεταβάλλει τη συχνότητα πριν καταλήξει στον ηλεκτροκινητήρα. Παράλληλα, ο VFD συνδέεται και με την αντίσταση του συστήματος όπου εκεί καταναλώνεται το παραγόμενο ρεύμα.

Στη συνέχεια παραθέτεται ένα ηλεκτρολογικό σχέδιο των στοιχείων που αναλύσαμε για την κατανόηση της συνδεσμολογίας τους.



Εικόνα 2.4.10 : Ηλεκτρολογικό σχέδιο συνδεσμολογίας πίνακα

Από το παραπάνω σχέδιο παρατηρούμε ότι φεύγουν δυο παροχές, η πρώτη συνδέει τον VFD με τον ηλεκτροκινητήρα και η δεύτερη το δίκτυο της ΔΕΗ με τον πίνακα. Επίσης, υπάρχει και ένα καλώδιο το οποίο τροφοδοτεί την αντίσταση της κατασκευής μας, το οποίο όμως είναι μονοφασικό σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα που είναι τριφασικά. Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες με τα φις που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και η χρωματική κωδικοποίηση των καλωδίων.









Εικόνα 3.3.1: Συνδεσμολογία φάσεων στο τριφασικό φις



Εικόνα 3.3.2: Φις παροχών τριφασικού ρεύματος.



Εικόνα 3.3.3: Φις παροχών μονοφασικού ρεύματος.

	Μονοφασικό Ρεύμα Single Phase	Τριφασικό Ρεύμα Three Phase
Φάση Phase Conductor (Line)	 Brown	 Line 1 Brown  Line 2 Black  Line 3 Grey
Ουδέτερος Neutral Conductor	 Blue	
Protective Conductor (Earth) Γείωση	 Green-and-Yellow	

Εικόνα 3.3.4 : Παρουσίαση φάσεων, ουδέτερου και γείωσης.^x

2.5 Αισθητήρες και μετρητικά όργανα

Προκειμένου να λάβουμε τις απαραίτητες μετρήσεις από τη δυναμοπέδη την οποία θα κατασκευάσουμε θα πρέπει να γνωρίσουμε ανά πασα στιγμή τις στροφές που περιστρέφεται ο άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Επίσης, στην άκρη του μοχλοβραχίονα που θα κατασκευαστεί θα τοποθετηθεί μια δυναμοκυψέλη η οποία θα λαμβάνει τιμές ροπής στρέψης του κελύφους του ηλεκτροκινητήρα. Οι δυο αυτές μετρήσεις θα αναγράφονται σε μια οθόνη επεξεργασμένες από έναν μικροελεγκτή arduino.

- **Αισθητήρας μέτρησης στροφών**

Ο αισθητήρας μέτρησης στροφών είναι προσαρμοσμένος σε κατάλληλη απόσταση από τον άξονα, στον οποίο έχει τοποθετηθεί ένας μαγνήτης ώστε να μπορεί ο αισθητήρας να λαμβάνει τις απαραίτητες μετρήσεις.



Εικόνα 2.5.1: Αισθητήρας μέτρησης στροφών.

- **Δυναμοκυψέλη (load cell)**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για να μετρηθεί η ροπή στρέψης στο κέλυφος του ηλεκτροκινητήρα, τοποθετήσαμε το load cell στην άκρη του μοχλοβραχίονα. Το load cell που χρησιμοποιήσαμε είναι τύπου S με μέγιστη τιμή ανάγνωσης τα 50kg και παρουσιάζεται παρακάτω.



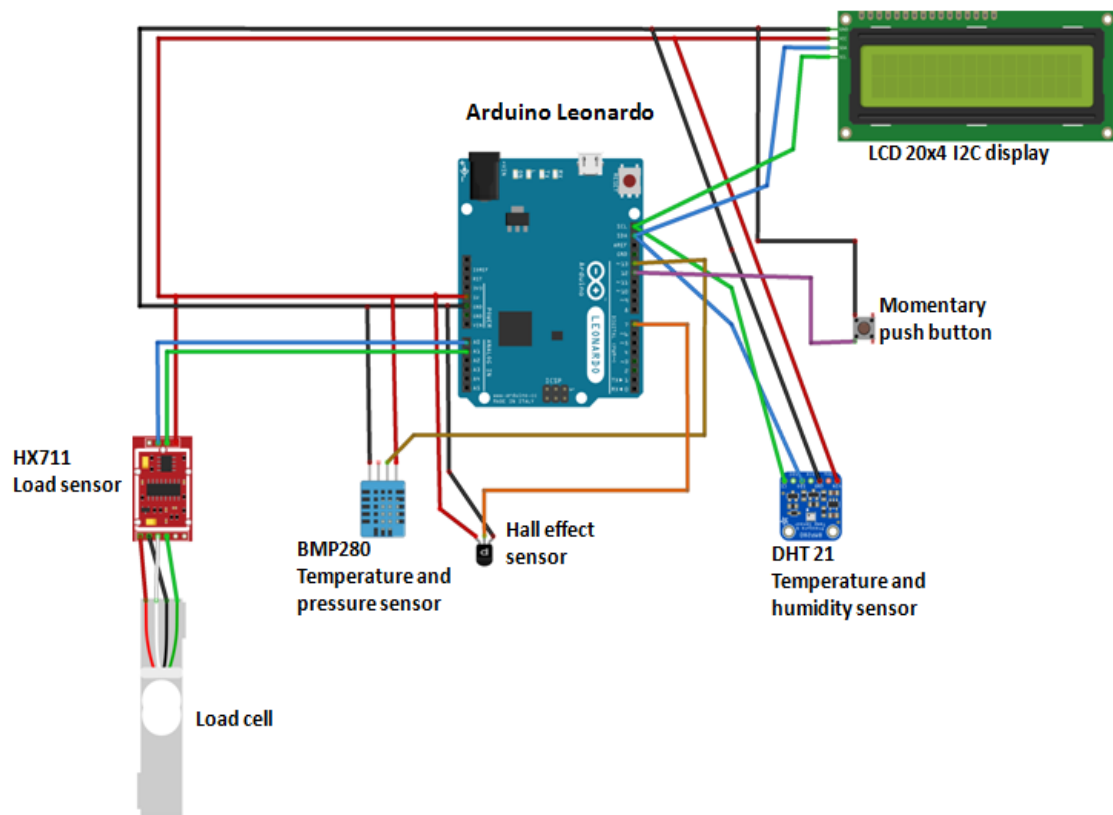
Εικόνα 2.5.2: Load cell

- **Πίνακας ελέγχου arduino**

Ο πίνακας ελέγχου που θα κατασκευάσουμε προκειμένου να λαμβάνουμε τις μετρήσεις που αναφέραμε παραπάνω αποτελείται από έναν μικροελεγκτή ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία και την εμφάνιση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Ο πίνακας ελέγχου αποτελείται από τον μικροελεγκτή Arduino Leonardo στον οποίο έχουμε συνδέσει τα παρακάτω εξαρτήματα:

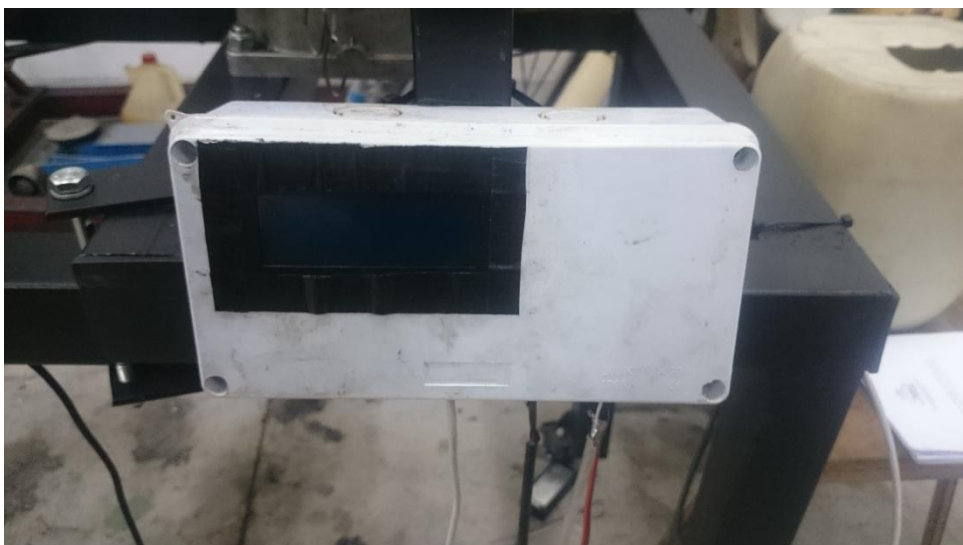
- ✓ HX711 Load sensor
- ✓ BMP280 Temperature and pressure sensor
- ✓ Hall effect sensor
- ✓ DHT 21
- ✓ Temperature and humidity sensor
- ✓ Momentary push button
- ✓ LCD 20x4 I2C display

Παρακάτω παραθέεται η συνδεσμολογία των προαναφερθέντων εξαρτημάτων:



Εικόνα 2.5.3: Συνδεσμολογία πίνακα ελέγχου Arduino

Όλα τα εξαρτήματα τα οποία απεικονίζονται στην επάνω εικόνα συνδέθηκαν και τοποθετήθηκαν εντός κατάλληλα διαμορφωμένου περιβλήματος.



Εικόνα 2.5.4: Πίνακας ελέγχου Arduino

3 Υλοποίηση της πτυχιακής

3.1 Μέτρα προστασίας

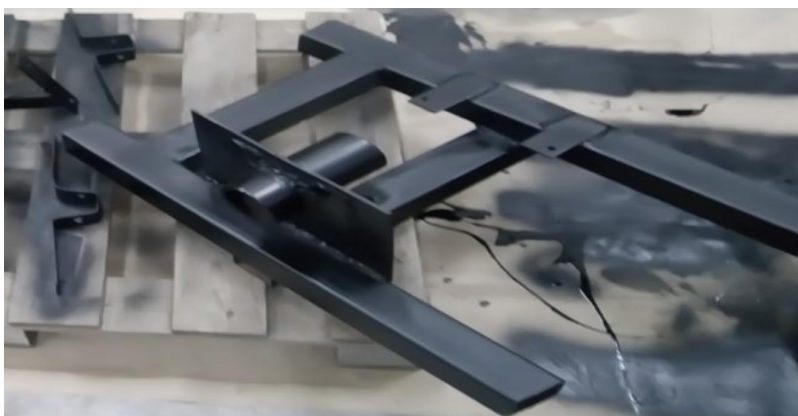
Για την πραγματοποίηση της πτυχιακής πάρθηκαν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας για την ασφάλεια του φοιτητή.

- Για την κοπή των δοκών με το επιτραπέζιο δισκοπρίονο και για την λείανση των επιφανειών χρειάστηκαν ειδικά γάντια για την προστασία των χεριών, γυαλιά για τυχών εκτόξευση πυρωμένων υλικών και ειδική φόρμα εργασίας.
- Για την συγκόλληση των δοκών με χρήση συσκευής ηλεκτροσυγκόλλησης με την μέθοδο MIG χρειάστηκαν τα εξής προστατευτικά μέσα. Ηλεκτρονική μάσκα για το πρόσωπο, φόρμα εργασίας για την προστασία του σώματος, γάντια ηλεκτροσυγκόλλησης και ποδιά για την προστασία του κορμού.
- Για τις λοιπές ελαφρές διεργασίες όπως άνοιγμα οπών χρησιμοποιήθηκαν γάντια προστασίας, γυαλιά για την προστασία των οφθαλμών και ειδική φόρμα εργασίας.

3.2 Κατασκευή βάσης και τοποθέτηση του ηλεκτροκινητήρα

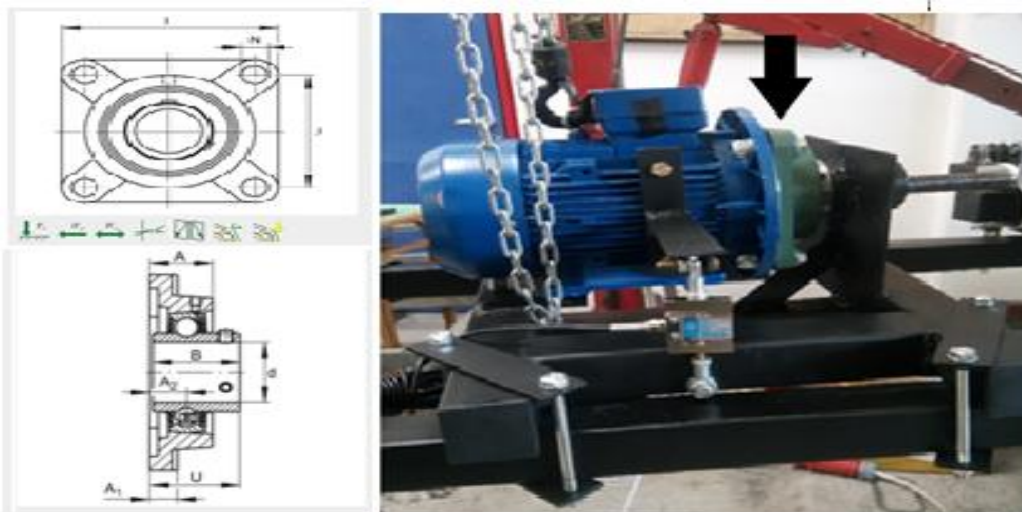
Για να ευθυγραμμίσουμε τον ηλεκτροκινητήρα στην μηχανή diesel κατασκευάσαμε εξ ολοκλήρου μια μικρότερη βάση και την βιδώσαμε πάνω στην βάση του κινητήρα.

Για την κατασκευή της μικρής βάσης του ηλεκτροκινητήρα χρησιμοποιήσαμε 2 δοκούς διαστάσεων 20x20 cm και 1 δοκό 10x10 cm. Προσθέσαμε έναν κύλινδρο ώστε να περάσει εσωτερικά ο άξονας του ηλεκτροκινητήρα για να συνδεθεί με τον κινητήρα diesel. Τα συγκολλήσαμε με την μέθοδο MIG και στην συνέχεια τα βάψαμε με πιστόλι βαφής. Στο τέλος τοποθετήσαμε τάπες πλαστικές στις οπές των δοκών για αισθητικούς λόγους.



Εικόνα 3.2.1: Μικρή βάση (βάση ηλεκτροκινητήρα)

Προκειμένου να τοποθετήσουμε τον ηλεκτροκινητήρα στην μικρή βάση που αναφέραμε παραπάνω, πρώτα θα πρέπει να τοποθετήσουμε μια τετραγωνική φλάντζα, με εσωτερική διάμετρο κυλίνδρου 70 χιλιοστών και εξωτερικές διαστάσεις 193x193 χιλιοστά, η οποία επιτρέπει στον ηλεκτροκινητήρα να περιστρέφεται ελεύθερα και προς τις δυο κατευθύνσεις. Στην συνέχεια ασφαλίσαμε με κοχλίες τη μικρή βάση με τον ηλεκτροκινητήρα πάνω στη κύρια βάση της διάταξης όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 3.2.2: Ο ηλεκτροκινητήρας στηριγμένος με φλάντζα στη μικρή βάση και τοποθετημένος πάνω στην κύρια.

Εφόσον τοποθετήσαμε τον ηλεκτροκινητήρα επάνω στην κύρια βάση στην οποία έχει ήδη τοποθετηθεί ο κινητήρας diesel, χρησιμοποιώντας ένα σύνδεσμο (coupler), θα ενώσουμε τους δυο άξονες των κινητήρων μεταξύ τους. Το coupler που χρησιμοποιήσαμε επιλέχθηκε με βάση τις διαμέτρους των αξόνων των δυο κινητήρων. Συνεπώς, έχει διάμετρο 25mm από την πλευρά του κινητήρα diesel και 28mm από την πλευρά του ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 3.2.3: Coupler

Τέλος, έχοντας ολοκληρώσει την κατασκευή της διάταξης της δυναμοπέδης, μπορούμε να προχωρήσουμε στους απαραίτητους ελέγχους και εν συνεχεία να ξεκινήσουμε τη διαδικασία λήψης μετρήσεων. Παρακάτω παρουσιάζεται η τελική κατασκευή.



Εικόνα 3.2.4: Τελική κατασκευή δυναμοπέδης

4 Μετρήσεις και αποτελέσματα

Οι μετρήσεις που πάρθηκαν είναι αποτέλεσμα της καλής συνεργασίας της πρώτης πτυχιακής «Αποκατάσταση Λειτουργίας Εργαστηριακού Κινητήρα Diesel » με την πτυχιακή «Κατασκευή μικρής δυναμοπέδη με επαγωγικό κινητήρα και έλεγχο VFD» Κατ' ουσίαν η σύνδεση του κινητήρα πετρελαίου με τον ηλεκτροκινητήρα έχει ως αποτέλεσμα τις μετρήσεις παρακάτω.

Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων είναι η εξής:

- [1] Ξεκινώντας περιστρέφουμε τον γενικό διακόπτη του κυκλώματος στη θέση on,
- [2] Θέτουμε τον διακόπτη επιλογής θέσης, στη θέση (2), ώστε ο ηλεκτροκινητήρας να δουλεύει μέσω του VFD προκειμένου να ελέγχουμε τις στροφές,
- [3] Παίρνουμε τις παραμέτρους πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας από τον πίνακα ελέγχου Arduino,
- [4] Κάνουμε βαθμονόμηση στο κουτί Arduino για τις μετρήσεις ροπής,
- [5] Τοποθετούμε τον μοχλό του κινητήρα diesel στη θέση run και κρατάμε ενεργοποιημένο τον αποσυμπιεστή,
- [6] Ξεκινάμε τον ηλεκτροκινητήρα πατώντας το κομβίο run που βρίσκεται στον VFD, αφού έχουμε θέσει σε αυτόν 19Hz που αντιστοιχούν περίπου στις 1200 στροφές (ρελαντί κινητήρα diesel) και αφήνουμε τον αποσυμπιεστή,
- [7] Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί η εκκίνηση του, τον αφήνουμε να λειτουργήσει για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να έρθει σε θερμοκρασία λειτουργίας,
- [8] Ρυθμίζουμε τις στροφές μέσω του VFD. Οι στροφές που ρυθμίζουμε τον ηλεκτροκινητήρα είναι με βάσει το manual του κινητήρα diesel,
- [9] Παίρνουμε τις μετρήσεις με :
 - Ανοιχτό ρυθμιστή στροφών
 - Μισό ρυθμιστή στροφών
 - Χωρίς καύση
 - ✓ Με ενεργοποιημένο αποσυμπιεστή
 - ✓ Με απενεργοποιημένο αποσυμπιεστή

Πρέπει να επισημάνουμε, ότι πραγματοποιήθηκαν δυο σειρές μετρήσεων οι οποίες αναλύονται εκ των υστέρων σε επόμενη πτυχιακή, όμως παρακάτω παρουσιάζεται ο μέσος όρος αυτών καθώς επίσης και τα διαγράμματα τους.

- Ανοιχτός ρυθμιστής στροφών

Στροφές (RPM)	Ροπή(Nm)	Χρόνος (sec)	m (gr/sec)	Ισχύς (kW)	sfc (gr/kWh)
2900	4,6	45,56	0,18	1,40	479,22
2700	7,7	28,72	0,29	2,17	485,01
2500	8,5	26,59	0,31	2,21	509,47
2200	8,6	28,78	0,29	1,98	526,81
2000	8,3	32,06	0,26	1,63	576,20
1800	7,8	33,99	0,24	1,47	599,91
1500	7,3	36,22	0,23	1,14	726,90

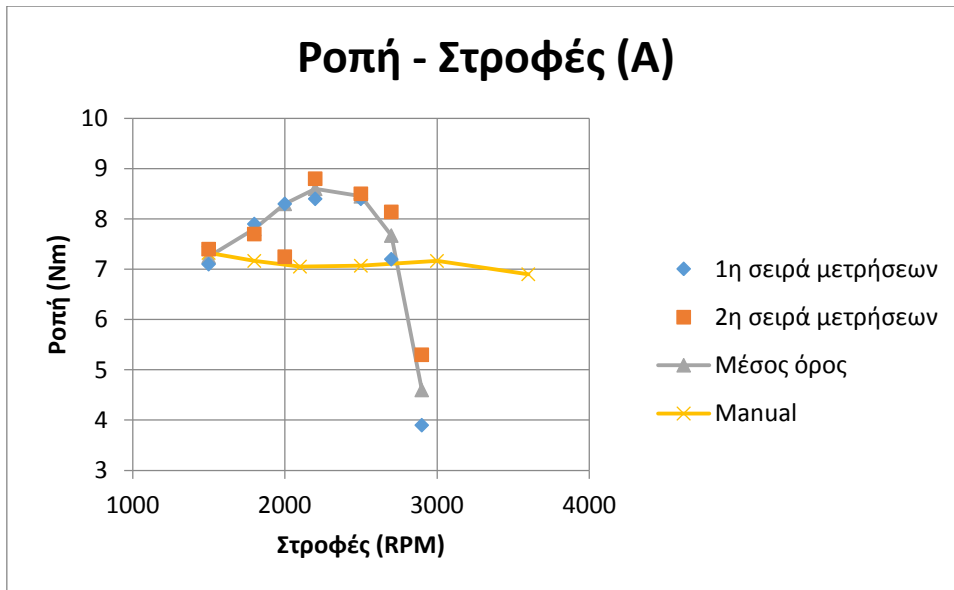
- Μισό ρυθμιστή στροφών

Στροφές (RPM)	Ροπή(Nm)	Χρόνος (sec)	m (gr/sec)	Ισχύς(kW)	sfc (gr/kWh)
1800	6,8	37,38	0,23	1,28	649,82
1500	6,9	40,38	0,20	1,08	684,72
1300	5,8	41,38	0,20	0,79	922,90

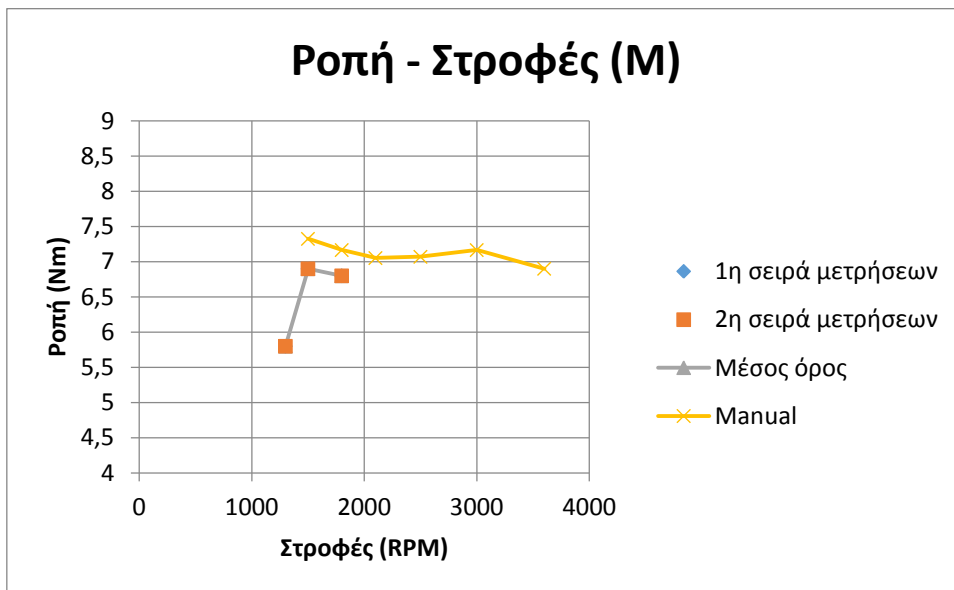
- Χωρίς καύση

Στροφές (RPM)	Ροπή (Nm) Με ενεργοποιημένο αποσυμπιεστή	Ροπή (Nm) Με απενεργοποιημένο αποσυμπιεστή	Ισχύς (kW) Με ενεργοποιημένο αποσυμπιεστή	Ισχύς (kW) Με απενεργοποιημένο αποσυμπιεστή
3000	8,60	5,98	2,70	1,88
2500	7,90	4,91	2,07	1,28
2000	7,18	3,16	1,50	0,66
1500	6,06	0,82	0,95	0,13
1000	4,05	0,57	0,42	0,06

1. Ροπή - Στροφές

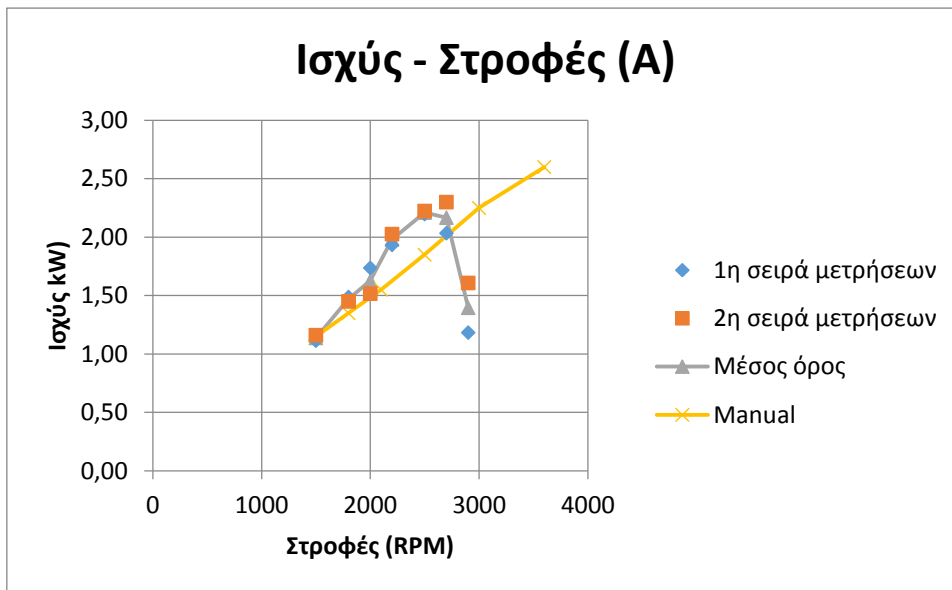


Διάγραμμα 4.1: Γραφική απεικόνιση ροπή με στροφές για ανοιχτό ρυθμιστή στροφών.

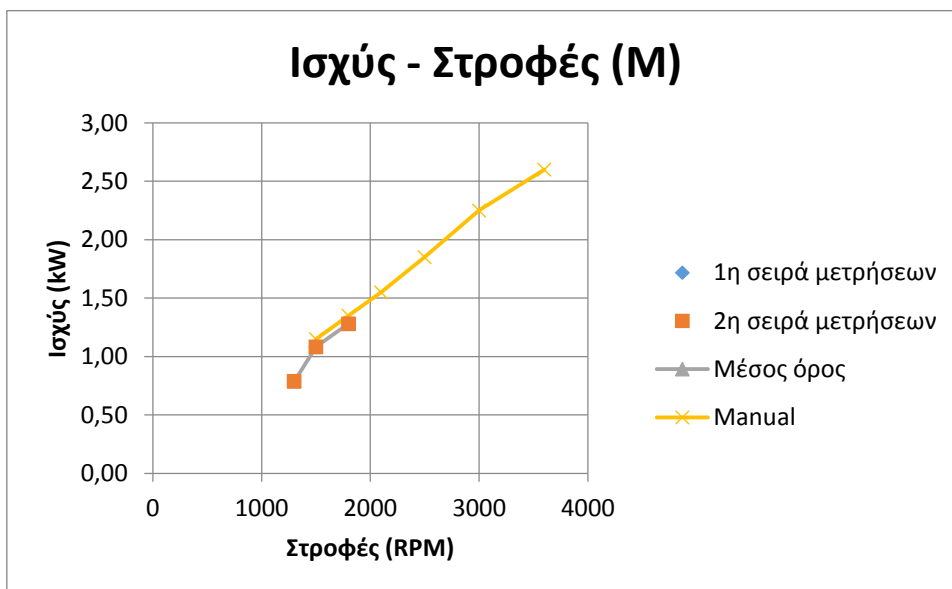


Διάγραμμα 4.2: Γραφική απεικόνιση ροπή με στροφές για μισό ρυθμιστή στροφών.

2. Ισχύς - Στροφές

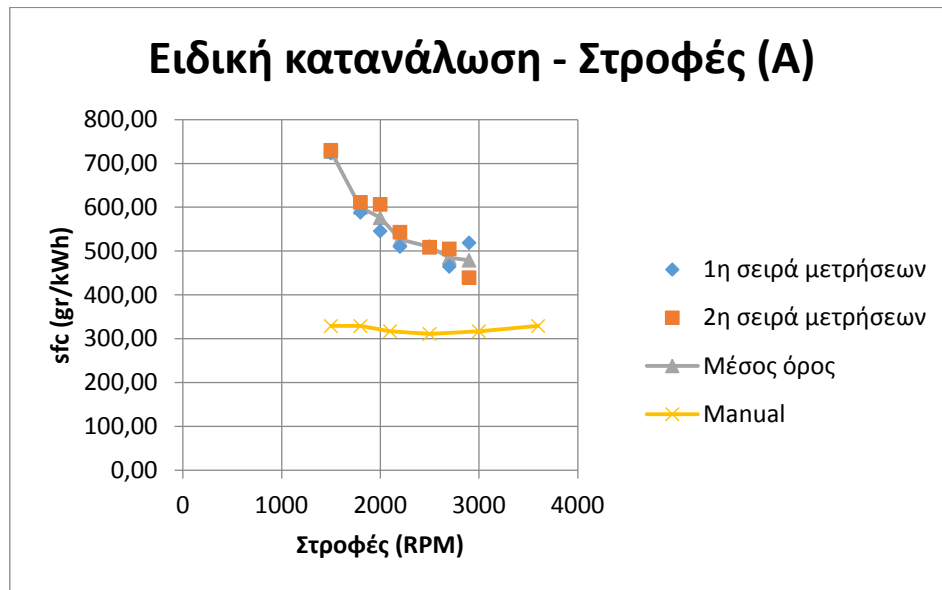


Διάγραμμα 4.3: Γραφική απεικόνιση ισχύς με στροφές για ανοιχτό ρυθμιστή στροφών

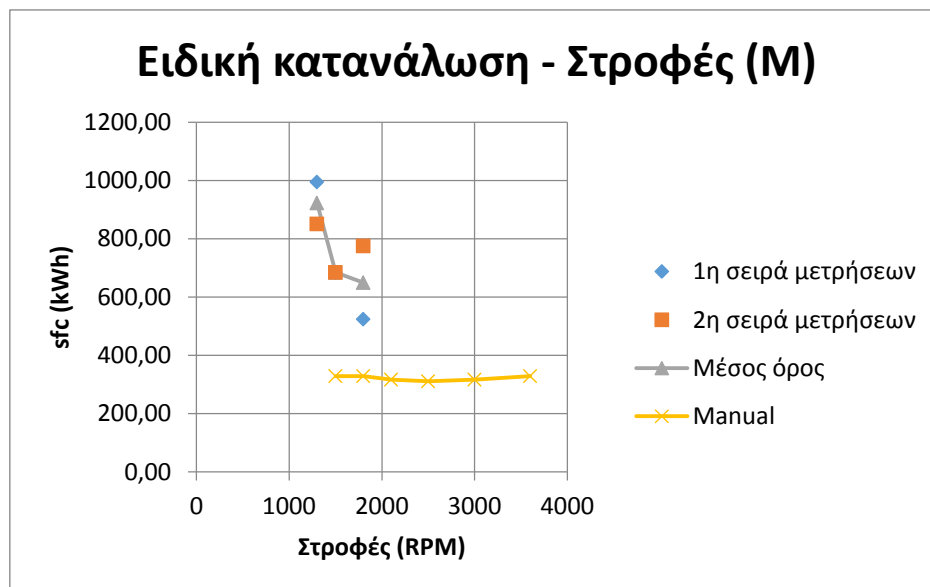


Διάγραμμα 4.4: Γραφική απεικόνιση ισχύς με στροφές για μισό ρυθμιστή στροφών

3. Ειδική κατανάλωση - Στροφές

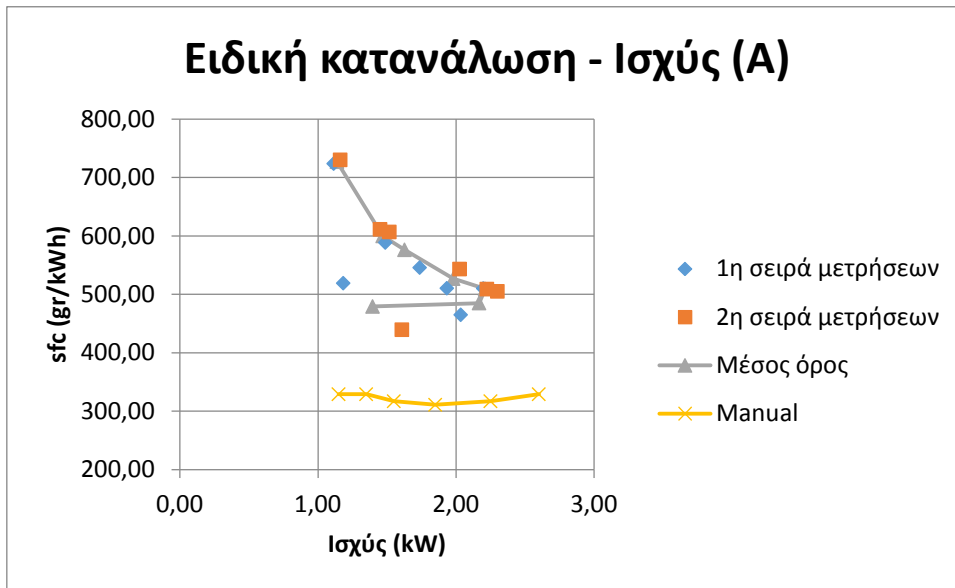


Διάγραμμα 4.5: Γραφική απεικόνιση ειδική κατανάλωση με στροφές για ανοιχτό ρυθμιστή στροφών

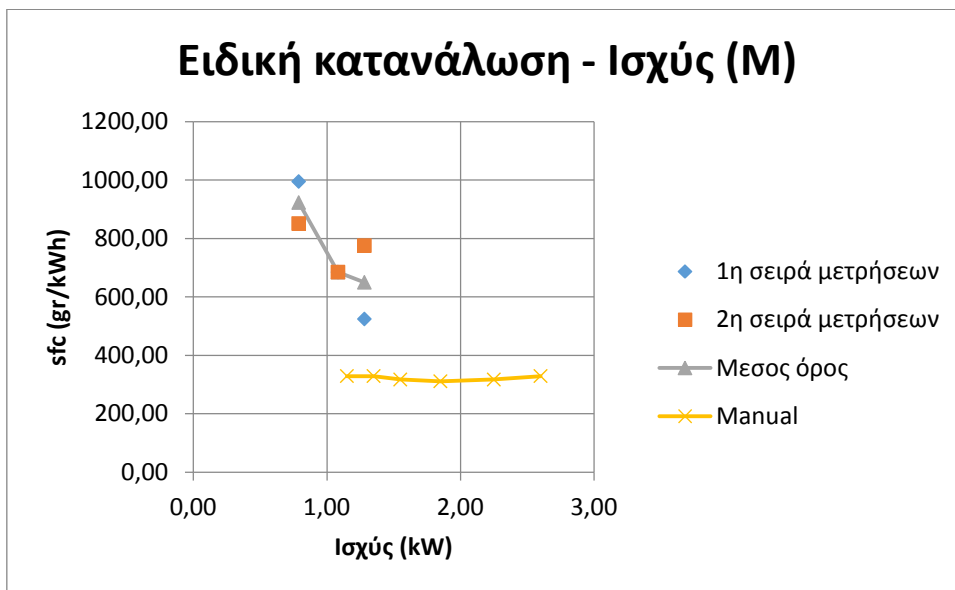


Διάγραμμα 4.6: Γραφική απεικόνιση ειδική κατανάλωση με στροφές για μισό ρυθμιστή στροφών

4. Ειδική κατανάλωση - Ισχύς

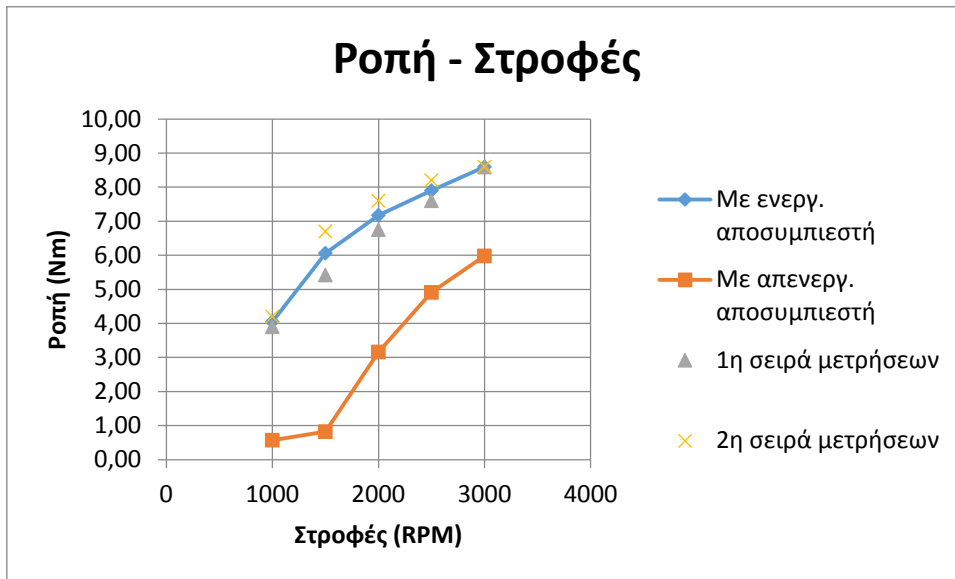


Διάγραμμα 4.7: Γραφική απεικόνιση ειδική κατανάλωση με ισχύς για ανοιχτό ρυθμιστή στροφών



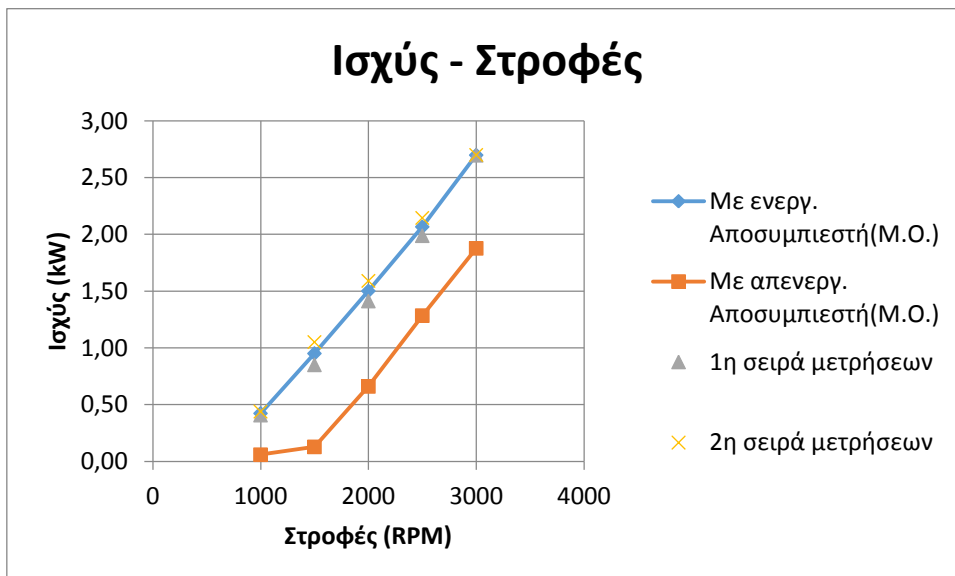
Διάγραμμα 4.8: Γραφική απεικόνιση ειδική κατανάλωση με ισχύς για μισό ρυθμιστή στροφών

5. Ροπή - Στροφές (χωρίς καύση)



Διάγραμμα 4.9: Γραφική απεικόνιση ροπή με στροφές χωρίς καύση

6. Ισχύς - Στροφές (χωρίς καύση)



Διάγραμμα 4.10: Γραφική απεικόνιση ισχύς με στροφές χωρίς καύση

5 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παραθέτονται, όλα τα προβλήματα, τα συμπεράσματα, οι παρατηρήσεις και οι τυχόν βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στη διάταξη μετά την ολοκλήρωση της λήψης των μετρήσεων. Ότι αναφέρεται παρακάτω είναι κοινή συνεργασία των τριών φοιτητών που πραγματοποίησαν τις πτυχιακές και έχουν αναφερθεί και στις τρεις με ακριβώς το ίδιο τρόπο.

1. Για τον κινητήρα diesel συμπεράναμε ότι:

- Στην πρώτη σειρά μετρήσεων, στις μετρήσεις ροπής που πήραμε χωρίς καύση στις 1500 και στις 1000 στροφές με απενεργοποιημένο αποσυμπιεστή, παρατηρήθηκαν τιμές 0,82 και 0,57 αντίστοιχα, οι οποίες δεν έχουν λογική σειρά με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Αυτό συνέβη διότι μέσα στον κύλινδρο πραγματοποιούνταν μερική καύση λόγω του ότι ο διακόπτης της μηχανής δεν ήταν εξ ολοκλήρου στη θέση stop.
- Όταν δεν υπήρχε καύση κατά τη λειτουργία του συστήματος δεν υπήρχαν κραδασμοί ενώ όσο ανέβαιναν οι στροφές τόσο μεγαλύτερες ταλαντώσεις δημιουργούσε.
- Όταν είναι απενεργοποιημένος ο αποσυμπιεστής, λόγω υψηλής θερμοκρασίας και ύπαρξης υπολειμμάτων καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης έχουμε ως αποτέλεσμα την μείωση της ροπής.
- Όταν είναι απενεργοποιημένος ο αποσυμπιεστής μετράμε και τις τριβές και τη συμπίεση του πιστονιού ενώ όταν είναι ενεργοποιημένος ο αποσυμπιεστής μετράμε μόνο τις τριβές από τα τοιχώματα, τα κουζινέτα και όποιες άλλες μηχανικές τριβές εμπλέκονται στην κίνηση του πιστονιού.
- Στις μεσαίες στροφές παρατηρούσαμε ύπαρξη φλόγας στην εξάτμιση πράγμα το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καύση ήταν ατελής. Αντιθέτως, στις υψηλές στροφές δεν παρατηρήθηκε παρόμοιο φαινόμενο το οποίο σημαίνει ότι γινόταν πιο σωστή καύση.
- Με βάση το manual της μηχανής diesel, αναγράφεται πως η μηχανή φτάνει στις 3600 στροφές. Στις μετρήσεις που πήραμε η μηχανή έφτασε στις 2900 στροφές και αυτό μάλλον οφείλεται στο ότι έχει αλλάξει ο χρονισμός ψεκασμού της μηχανής.

- Στην πρώτη αλλά και στη δεύτερη σειρά μετρήσεων με ανοιχτό ρυθμιστή στροφών στις 2900 στροφές η ροπή που μετρήθηκε ήταν 3,9 Nm και 5,3Nm αντίστοιχα. Η ροπή αυτή είναι πολύ μικρή και στις δυο περιπτώσεις και αυτό οφείλεται στο ότι η μηχανή diesel δεν προλάβαινε να κάνει πλήρη καύση.
- Κατά τη διάρκεια και των δυο μετρήσεων παρατηρήθηκε μια μετατόπιση της ροπής και της ισχύς του κινητήρα προς τις χαμηλότερες στροφές σε σχέση με αυτές που όριζε το manual. Αυτό οφείλετε στη πιθανή μετατόπιση του χρονισμού ψεκασμού και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ισχύς και ροπής στις υψηλότερες στροφές όπως αναφέραμε πιο πάνω.

2. Για τη διάταξη δυναμοπέδης παρατηρήσαμε:

- Σε κάποιες μετρήσεις όπου οι κραδασμοί λόγω περιστροφής του άξονα ήταν πολύ μεγάλοι, είχαμε ενδοιασμούς για την εγκυρότητα του μετρητικού των στροφών οπότε χρησιμοποιήθηκε μετρητικό χειρός ανεξάρτητο από το σύστημα.
- Λόγω σχεδιασμού της κατασκευής, η απουσία ενός σφονδύλου οδήγησε στην ανομοιομορφία περιστροφής και στην ύπαρξη πολλών κραδασμών στον άξονα.
- Το load cell το οποίο ήταν υπεύθυνο για την μέτρηση ροπής, δεν μπορούσε να δείξει με ακρίβεια τη μέτρηση ούτε έδειχνε σταθερή τιμή. Αντ' αυτού, έδειχνε πολλές διαφορετικές μετρήσεις μέσα σε ένα εύρος λόγω του ότι οι κραδασμοί που υπήρχαν του παρείχαν διαφορετικό φορτίο ανά πάσα στιγμή.
- Κατά τη λειτουργία του συστήματος, ειδικά στις υψηλές στροφές, λόγω κραδασμών, υπήρχαν απώλειες καυσίμου από το δοχείο που είχε κατασκευαστεί για την τροφοδοσία της μηχανής diesel και κατά συνέπεια αυξημένη κατανάλωση στις μετρήσεις μας.

3. Για τις μετρήσεις:

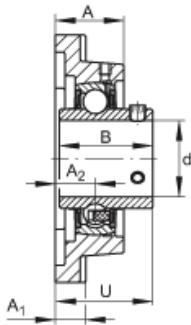
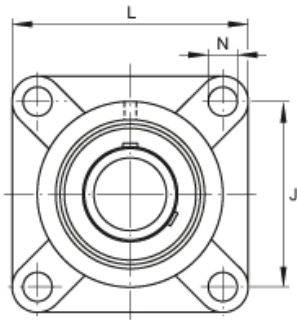
- Άλλος ένας λόγος που οι καταναλώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που έχει καταγράψει ο κατασκευαστής είναι ότι λόγω των κραδασμών πολλές φορές δεν ήταν εύκολο να αναγνωριστεί σωστά η στάθμη στο δοχείο καυσίμου άρα και ο χρόνος δεν ήταν όσο ακριβής περιμέναμε να είναι.
- Λόγω των απωλειών που είχαμε στο καύσιμο, των κραδασμών και όλων των υπόλοιπων που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούμε να καταλάβουμε εικονικά μέσω των διαγραμμάτων που παρατέθηκαν, ότι αν δεν υπήρχαν αυτές οι απώλειες, οι μετρήσεις θα έτειναν να είναι κοντά σε αυτές του manual δηλαδή αυτές που έχει ορίσει ο κατασκευαστής.

- Στο μέσο όρο για το διάγραμμα ισχύς - στροφών χωρίς καύση δε λάβαμε υπόψη τη δεύτερη σειρά μετρήσεων με απενεργοποιημένο αποσυμπιεστή διότι υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις.
- Στα διαγράμματα Ροπή - Στροφές και Ισχύς - Στροφές με μισό ρυθμιστή στροφών, οι τιμές της πρώτης και της δεύτερης σειράς μετρήσεων ήταν ακριβώς ίδιες. Συνεπώς τα σημεία στα διαγράμματα δεν εμφανίζονται.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα έχουμε να προτείνουμε μερικές αλλαγές οι οποίες θα επιτρέψουν στην διάταξη να λειτουργεί απροβλημάτιστα και με καλύτερη ακρίβεια. Όπως αναφέραμε παραπάνω, η τοποθέτηση ενός σφονδύλου θα βοηθούσε στη μείωση της ύπαρξης κραδασμών στη διάταξη. Ακόμα όσο αφορά τον κινητήρα diesel, έχουμε να προτείνουμε τοποθέτηση μεγαλύτερου βαθμονομημένου δοχείου ώστε να μην υπάρχουν απώλειες λόγω ταλαντώσεων. Επιπλέον, προτείνεται ο έλεγχος του χρονισμού ψεκασμού του κινητήρα diesel. Επίσης, οι προτάσεις μας για μια μελλοντική πτυχιακή πάνω στην υπάρχουσα διάταξη είναι, η χρήση διαφορετικών τύπων καυσίμου ώστε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά του κινητήρα με αυτά, όπως επίσης και την προσθήκη αισθητήρα μέτρηση εκπομπών ρύπων για την μέτρηση αυτών σε κάθε τύπο καυσίμου. Τέλος, στη συγκεκριμένη διάταξη, άλλο ένα ενδιαφέρον πείραμα θα ήταν η σύνδεση διαφορετικών ειδών κινητήρα ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και να εξεταστούν οι διαφορές τους.

6 Παραρτήματα

Μέγεθος Model	Ισχύς Output		Φόρτιση 100% load			Φόρτιση 75% load			Φόρτιση 50% load			Χαρακτηριστικά Εκκίνησης		
	kW	HP	Ρεύμα 400V Current (A)	Στροφές Speed (r/min)	Απόδοση Eff (%)	cosφ Power Factor	Απόδοση Eff (%)	cosφ Power Factor	Απόδοση Eff (%)	cosφ Power Factor	Ms/Mr Tstart/Tn	Is/In Ist/In	Mmax/MIn Tmax/Tn	
														380V 50Hz Synchronous Speed 3000 r/min (2 Poles)
MS561-2	0.09	0.12	0.30	2700	58.0	0.78	56.2	0.77	54.0	0.74	2.2	5.5	2.2	
MS562-2	0.12	0.16	0.38	2700	60.0	0.79	58.5	0.78	56.0	0.75	2.2	5.5	2.2	
MS631-2	0.18	0.25	0.53	2720	63.0	0.80	62.0	0.80	60.5	0.76	2.2	5.5	2.2	
MS632-2	0.25	0.34	0.69	2720	65.0	0.81	64.0	0.80	62.5	0.77	2.2	5.5	2.2	
MS711-2	0.37	0.50	0.99	2740	66.0	0.81	65.0	0.80	63.5	0.78	2.2	6.1	2.2	
MS712-2	0.55	0.75	1.40	2740	71.0	0.82	70.0	0.82	68.5	0.79	2.2	6.1	2.3	
MS801-2	0.75	1	1.83	2830	73.0	0.83	72.0	0.83	70.5	0.80	2.2	6.1	2.3	
MS802-2	1.1	1.5	2.58	2830	76.2	0.84	75.1	0.83	73.0	0.80	2.2	7.0	2.3	
MS90S-2	1.5	2	3.43	2840	78.5	0.84	77.0	0.85	70.0	0.81	2.2	7.0	2.3	
MS90L-2	2.2	3	4.85	2840	81.0	0.85	80.0	0.85	78.0	0.84	2.2	7.0	2.3	
MS100L-2	3.0	4	6.31	2870	82.6	0.87	81.0	0.86	79.3	0.86	2.2	7.5	2.3	
MS112M-2	4.0	5.5	8.10	2890	84.2	0.88	83.5	0.87	81.0	0.84	2.2	7.5	2.3	
MS132S1-2	5.5	7.5	11.0	2900	85.7	0.88	84.3	0.89	83.0	0.84	2.2	7.5	2.3	
MS132S2-2	7.5	10	14.9	2900	87.0	0.88	85.9	0.87	83.7	0.84	2.2	7.5	2.3	
MS160M1-2	11	15	21.3	2930	88.4	0.89	86.8	0.89	84.1	0.84	2.2	7.5	2.3	
MS160M2-2	15	20	28.8	2930	89.4	0.89	88.0	0.89	86.4	0.85	2.2	7.5	2.3	
MS160L-2	18.5	25	34.7	2930	90.0	0.90	89.0	0.88	86.8	0.86	2.2	7.5	2.3	



d	70 mm
L	193 mm
U	75,4 mm
A	54 mm
A₁	24 mm
A₂	31 mm
B	74,6 mm
J	152 mm
N	19 mm
m	5,99 kg Mass
	F214 Designation, housing
	UC214 Designation, radial insert ball bearing

7 Βιβλιογραφία

ⁱ ‘Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες (Α.Τ.Κ.) Κεφάλαιο 4ο’, ημερομηνία πρόσβασης 16 Οκτώβριος 2017, http://hlektrologia.weebly.com/uploads/6/7/1/5/6715419/p209_284.pdf.

ⁱⁱ ‘Ηλεκτρικός κινητήρας’, *Βικιπαίδεια*, 28 Μάρτιος 2017, https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82&oldid=6327347.

ⁱⁱⁱ ‘Ηλεκτρολογία (Γ Γενικού Λυκείου - Τεχνολογικής Κατεύθυνσης: Κύκλος Τεχνολογίας και Παραγωγής) - ANENERΓΟ: Ηλεκτρονικό Βιβλίο’.

^{iv} ‘ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ – ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ- Κεφάλαιο 5ο’, ημερομηνία πρόσβασης 16 Οκτώβριος 2017. http://elearning.teicm.gr/file.php/318/trifasikos_asynxronos_kinitiras.pdf.

^v Σωτήρης Γαντζούδης, Μιχαήλ Λαγουδάκος, και Αθανάσιος Μπινιάρης, *Ηλεκτρικές Μηχανές*, ημερομηνία πρόσβασης 17 Μάρτιος 2018, https://www.ebooks4greeks.gr/2011.Download_free-ebooks/kathighths/HLEKTRIKES_MHXANES_B_TAKSH__Downloaded_f_eBooks4Greeks.gr.pdf.

^{vi} Σωτήρης Γαντζούδης, Μιχαήλ Λαγουδάκος, και Αθανάσιος Μπινιάρης, *Ηλεκτρικές Μηχανές*, ημερομηνία πρόσβασης 17 Μάρτιος 2018, https://www.ebooks4greeks.gr/2011.Download_free-ebooks/kathighths/HLEKTRIKES_MHXANES_B_TAKSH__Downloaded_f_eBooks4Greeks.gr.pdf.

^{vii} Γαντζούδης, Λαγουδάκος, και Μπινιάρης Γαντζούδης, Σωτήρης, Μιχαήλ Λαγουδάκος, και Αθανάσιος Μπινιάρης. *Ηλεκτρικές Μηχανές*. Ημερομηνία πρόσβασης 17 Μάρτιος 2018. https://www.ebooks4greeks.gr/2011.Download_free-ebooks/kathighths/HLEKTRIKES_MHXANES_B_TAKSH__Downloaded_f_eBooks4Greeks.gr.pdf.

^{viii} Ημερομηνία πρόσβασης 16 Οκτώβριος 2017, <http://www.hellaselectric.gr/images/products/ilektrokinitires/3f/ms/479.pdf>.

^{ix} ‘AS-22&25N double push button Switch with light, momentary button switch - CHINA XIDER ELECTRIC’, ημερομηνία πρόσβασης 4 Οκτώβριος 2017, <http://www.xider.cc/apbb-push-button-switch/as-22-25n-double-push-button-switch-with-light.htm>.

^x ‘Συνήθεις Ερωτήσεις | Santo Solar | Ηλεκτρολόγοι Σαντορίνη’, ημερομηνία πρόσβασης 17 Μάρτιος 2018, <http://www.santosolar.gr/faqs>.

^{xi} <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dynamometer01CJC.svg>

^{xii} <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU291/%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%99%CE%A3%CE%A7%CE%A5%CE%9F%CE%A3%20%CE%A3%CE%95%20%CE%9C%CE%95%CE%9A.pdf>

^{xiii} <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/680178/>

^{xiv} https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stator_and_rotor_by_Zureks.JPG

^{xv} <https://www.youtube.com/watch?v=YA-6TNhFsE4>

^{xvi} file:///C:/Users/User/Downloads/VFD-M__VFD022M43B.pdf

^{xxii} <https://slideplayer.gr/slide/5303551/17/images/48/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1+%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85+%CE%B4%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%81%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD.jpg>

^{xxiii} "Petter A Range Workshop Manual"