



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## Πτυχιακή Εργασία

---

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ BLDC ΚΑΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ  
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ  
ΟΧΗΜΑ .

---

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ELECTRIC DRIVE SYSTEM  
BASED ON BLDC MOTOR AND THREE PHASE INVERTER FOR  
PROTOTYPE ENERGY EFFICIENT VEHICLE

---



Κομπιτσάκης Κωνσταντίνος

ΑΜ: 43129

Επιβλέπων Καθηγητής : Βυλλιώτης Ηρακλής

2020

---

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
Κεφάλαιο 1. Διαγωνισμός Shell Eco-Marathon .....	8
1.1 Διαγωνισμός.....	8
1.2 Κατηγορίες Οχημάτων .....	8
1.3 Ομάδα Ποσειδών .....	9
1.4 Πρωτότυπο Ενεργειακά Αποδοτικό Ηλεκτρικό Όχημα.....	10
1.5 Μέρη του Ηλεκτρικού Οχήματος, .....	12
1.5.1 Μπαταρία .....	12
1.5.2 BMS.....	13
1.5.3 Μετρητής Joule.....	14
1.5.4 DC/DC Converters.....	14
1.5.5 Σύστημα μετάδοσης κίνησης.....	15
Κεφάλαιο 2. Ηλεκτρικοί Κινητήρες.....	16
2.1 Τι είναι Ηλεκτρική Μηχανή .....	16
2.2 Ηλεκτρικοί Κινητήρες.....	17
2.2.1 Μέρη Ηλεκτροκινητήρων: .....	18
2.3 Είδη Ηλεκτροκινητήρων .....	19
2.4 Μη Ψηκτροφόροι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (Brushless DC motors).....	21
2.4.1 Brushless DC Κινητήρες.....	21
2.4.2 Μόνιμοι Μαγνήτες .....	23
2.4.3 Τύποι Κινητήρων Brushless DC.....	24
2.4.4 Σύγκριση των BLDC με άλλους τύπους κινητήρων .....	26
2.4.5 Ανάλυση κινητήρα .....	27

---

Κεφάλαιο 3. Επιλογή Κινητήρα .....	33
3.1 Κριτήρια Επιλογής Κινητήρων .....	33
3.2 Ονομαστική ισχύς κινητήρων, υπερφόρτωση και υποφόρτιση.....	34
3.3 Υπολογισμοί - Προδιαγραφές Κινητήρα.....	36
4. Κεφάλαιο 4. Motor Controller .....	48
4.1 Οδήγηση κινητήρα τύπου BLDC.....	48
4.2 Κύκλωμα ελέγχου BLDC .....	49
4.2.1 Αρχές λειτουργίας .....	49
4.2.2 Ημιαγωγοί τύπου MosFET.....	50
4.2.3 Gate Drivers & bootstrap.....	55
4.2.4 .....	68
4.2.4 Εξομοίωση .....	71
4.2.5 PCB Design .....	73
Κεφάλαιο 5. Κατασκευή πρωτότυπων πλακετών PCB .....	83
5.1 Bill of Materials .....	83
5.2 Διαδικασία κατασκευής πρωτότυπων πλακετών. ....	84
Κεφάλαιο 6. Προγραμματισμός ECU.....	92
6.1 Έλεγχος κινητήρα τύπου BLDC.....	92
6.2 Βηματικός έλεγχος κινητήρα BLDC.....	93
6.3 Κριτήρια επιλογής Μικροελεγκτή .....	96
6.3.2 Περιβάλλον προγραμματισμού.....	98
6.3.3 MSP430F5529LP LaunchPad .....	98
6.4.2 Flow-Chart .....	109
Κεφάλαιο 7. Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	110
7.1 Πειράματα - Δοκιμές Motor Controller.....	110
7.2 Δοκιμές Οχήματος .....	114

---

---

7.3 Αποτελέσματα.....	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	120

---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την βελτιστοποίηση ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης που προορίζεται για εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης σε ηλεκτροκίνητα οχήματα χαμηλής ισχύος. Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η επίτευξη της μέγιστης απόδοσης του συστήματος κίνησης ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί στο να λυθούν τα βασικά μειονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία είναι η ενεργειακή αυτονομία και ο χρόνος φόρτισης τους. Το εν λόγω σύστημα εφαρμόστηκε στο πρωτότυπο ενεργειακά αποδοτικό ηλεκτρικό όχημα εν ονόματι ORCA και συμμετείχε στους πανευρωπαϊκούς μαραθώνιους οικονομίας Shell Eco-Marathon 2017 και 2018 εκπροσωπώντας το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Το σύστημα αποτελείται από έναν τριφασικό σύγχρονο κινητήρα μόνιμων μαγνητών με τραπεζοειδή κυματομορφή τάσης εξ' επαγωγής (Brushless DC Motor) ο οποίος μεταφέρει την κίνηση στον κινητήριο τροχό μέσω ενός μονοδιάστατου μειωτήρα ταχύτητας με αλυσίδα . Για την λειτουργία ενός κινητήρα τέτοιου είδους απαιτείται η χρήση ενός κυκλώματος ελέγχου κινητήρα (Motor Controller). Το κύκλωμα αυτό είναι ένας τριφασικός αντιστροφέας ο οποίος ανατροφοδοτείται μέσω ενός μικροελεγκτή. Γίνεται ανατροφοδότηση της θέσης του άξονα του κινητήρα αλλά και των ρευμάτων που διαρρέουν τα τυλίγματα και έτσι γίνεται η μεταγωγή του ηλεκτρικού πεδίου ώστε να κινείται σύγχρονα με τον άξονα του κινητήρα, με την επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα.

Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στον σχεδιασμό , την κατασκευή και τη βελτιστοποίηση του ηλεκτρικού αντιστροφέα και τη συνεργασία του με τον ηλεκτρικό κινητήρα. Αρχικά θα μελετηθούν οι συνθήκες στις οποίες θα διαγωνίζεται το όχημα και οι κανονισμοί του διαγωνισμού. Δεύτερον θα μελετηθούν οι ηλεκτρικοί κινητήρες τύπου BLDC και θα αποσαφηνιστεί ο όρος τους. Τρίτον θα γίνει η επιλογή του κινητήρα και της σχέσης μετάδοσης της κίνησης ώστε να επιτευχθεί η λειτουργία του κινητήρα στην πιο αποδοτική περιοχή. Στη συνέχεια θα γίνει η μελέτη , ο σχεδιασμός και η εξομοίωση του ελεγκτή του κινητήρα (Motor Controller). Έπειτα θα γίνει η κατασκευή των ηλεκτρονικών πλακετών και θα δοκιμαστούν πρώτα πάνω στον κινητήρα εν κενώ, κι έπειτα στο όχημα σε πραγματικές συνθήκες με σκοπό να μετρηθούν και να βελτιστοποιηθούν . Τέλος το όχημα θα δοκιμαστεί σε συνθήκες πίστας με οδηγό ώστε αναλυθούν τα δεδομένα μέσω data logger ώστε να γίνει βελτιστοποίηση σε συγκεκριμένες συνθήκες .