



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ  
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ»

«DESIGN AND CONSTRUCTION OF ELECTRONIC ELECTRIC CAR PART»



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΛΕΜΟΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΖΕΣΚΟΥ Α.Μ:40486**

**ΚΑΛΟΖΟΥΜΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΥ Α.Μ:40483**

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

### **1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ** (σελίδα 3)

### **2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ** (σελίδες 4 - 12)

#### **2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ**

- 2.1.1 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (σελίδα 4)
- 2.1.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (σελίδα 4)
- 2.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (σελίδα 4 - 5)
- 2.1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (σελίδα 5)
- 2.1.5 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ (σελίδα 5)
- 2.1.6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (σελίδα 6)

#### **2.2 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ (BRUSHLESS)**

- 2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ (σελίδα 7)
- 2.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ (σελίδα 7 - 11)
- 2.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (σελίδα 11)
- 2.2.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (σελίδα 11 - 12)
- 2.2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ BRUSHLESS (σελίδα 12)

### **3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ** (σελίδα 13 - 20)

#### **3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

- 3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ (σελίδα 13 - 14)
- 3.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (σελίδα 15 - 16)
- 3.1.3 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ (σελίδα 17)

#### **3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ** (σελίδα 18)

**3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ  
ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΓΕΛΙΩΝ** (σελίδα 19)

**3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ** (σελίδα 20)

**4. ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

(σελίδα 21- 35)

**4.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**(σελίδα 21 - 23)

**4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ** (σελίδα 24 - 35)

**5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ**

**5.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ** (σελίδα 36)

**5.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ  
ΑΝΑΓΓΕΛΙΩΝ** (σελίδα 37)

**6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ** (σελίδα 38)

**7. ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ** (σελίδα 39 - 40)

**8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ** (σελίδα 41)

**9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ** (σελίδα 42 )

## 1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα μπορούσε να διακρίνει κανείς ότι τα τελευταία περίπου είκοσι χρόνια το ενδιαφέρον της παγκόσμιας κοινότητας έχει στραφεί προς την ανάπτυξη τεχνολογιών για την κατασκευή νέων τύπων συστημάτων για τα αυτοκίνητα και γενικότερα για τα οχήματα. Έχουν διατεθεί πλούσιοι οικονομικοί πόροι και τεράστιο ανθρώπινο δυναμικό για την προώθηση της επιστημονικής έρευνας η οποία πραγματεύεται νέες μορφές κινητήριων δυνάμεων για τα οχήματα. Το ηλεκτρικό όχημα «γεννήθηκε» λόγω της επιτακτικής ανάγκης προστασίας του περιβάλλοντος, το οποίο δέχεται πλήγματα λόγω της συνεχούς διογκωμένης μόλυνσης που προκαλείται από την χρήση συμβατικών καυσίμων, καθώς και την ανάγκη απεξάρτησης από τα δεσμά που επιβάλλει το πετρέλαιο. Καθώς το ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο αυξάνεται, διευρύνονται οι τομείς της έρευνας γύρω από αυτό. Το μέσο παροχής και αποθήκευσης ενέργειας, τα ηλεκτρονικά ισχύος και ο έλεγχος αυτών καθώς και η κινητήριος μηχανή είναι μερικά από τα ζητήματα που προσφέρουν τροφή για έρευνα με σκοπό να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός, η υλοποίηση του οποίου θα κατατάξει τα ηλεκτρικά οχήματα στις κυριότερες προτιμήσεις του κοινού.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε η μελέτη καθώς και η κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος τύπου Go Kart. Πρόκειται για όχημα του μηχανοκίνητου αθλητισμού που για να κινηθεί χρησιμοποιεί κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η αρχική ιδέα λοιπόν που μας ώθησε να μπούμε στην διαδικασία να ασχοληθούμε με την μετατροπή ενός βενζινοκίνητου Go Kart σε ηλεκτροκίνητο, προήλθε από ένα άρθρο που διαβάσαμε για έναν επιχειρηματία στο Λονδίνο ο οποίος αποφάσισε να δημιουργήσει ένα σύγχρονο και οικονομικό τρόπο διασκέδασης όσο το δυνατόν λιγότερο βλαβερό για το περιβάλλον. Έτσι λοιπόν μετέτρεψε όλα τα Go Kart τις πίστας του σε ηλεκτροκίνητα με απώτερο σκοπό το μεγαλύτερο κέρδος καθώς μείωσε το κόστος για την κίνηση και για την συντήρησή τους. Περισσότερες πληροφορίες για την επιχειρηματική αυτή κίνηση μπορείτε να πάρετε από την παρακάτω ιστοσελίδα: <http://www.youtube.com/watch?v=F83qLQxHYGI>

Η συγκεκριμένα μελέτη εκπονήθηκε κάτω από την επίβλεψη του Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πειραιά κ. Παντελή Μαλατέστα τον οποίο και ευχαριστούμε για την ανιδιοτελή βοήθεια του καθώς και την συμπαράσταση που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης.

## **2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ**

#### **2.1.1 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Παρ' όλο που το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (ΗΑ) έγινε ευρέως γνωστό τα τελευταία χρόνια, πρωτοεμφανίστηκε από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης. Συγκεκριμένα, στα μέσα του 19ου αιώνα, ένας σκωτσέζος επιχειρηματίας, ο Robert Anderson, βρήκε την πρόωρη έκδοση ενός ηλεκτρικού οχήματος που μοιάζει με τα μεταφορικά μέσα που ήταν δημοφιλή εκείνη την εποχή. Παράδοξο μεν αλλά αλήθεια, το ΗΑ παρουσιάστηκε πριν από την εφεύρεση και την τελειοποίηση των αυτοκινήτων που καίνε βενζίνη και πετρέλαιο. Με την πάροδο του χρόνου, και συγκεκριμένα γύρω στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η τεχνολογία των μπαταριών αποθήκευσης σημείωσε μεγάλη βελτίωση, γεγονός που έκανε τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες μια ελκυστική επιλογή. Με την είσοδο όμως των μηχανών εσωτερικής καύσης, στις βιομηχανίες παραγωγής αυτοκινήτων, το παγκόσμιο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μειώθηκε. Ο λόγος έγκειται στο κόστος. Συγκεκριμένα, τα απολιθωμένα καύσιμα όπως η βενζίνη, που χρησιμοποιούν οι μηχανές εσωτερικής καύσης, αποτελούν αδιαμφισβήτητα πολύ φθηνότερες λύσεις σε σχέση με την δαπανηρή παραγωγή μπαταριών αποθήκευσης.

#### **2.1.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ**

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (ΗΑ) ή ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπαταριών, είναι ένα όχημα, το οποίο χρησιμοποιεί αποκλειστικά για την κίνηση του, την αποθηκευμένη ενέργεια μιας συστοιχίας συσσωρευτών. Οι μπαταρίες είναι η κύρια πηγή ενέργειας των ΗΑ, και χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν τις ηλεκτρικές μηχανές προκειμένου να παραχθεί η κίνηση ροδών ή αξόνων. Αυτό που διαφοροποιεί το ΗΑ από τα συμβατικά οχήματα είναι η χρήση αποκλειστικά ηλεκτρικών κινητήρων και όχι μηχανών εσωτερικής καύσης. Σημαντικά χαρακτηριστικό αυτών των οχημάτων είναι ότι έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Δεν πρέπει να συγχέεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με το υβριδικό, αφού το τελευταίο χρησιμοποιεί μεν ηλεκτρικούς κινητήρες σε συνδυασμό όμως με μηχανές εσωτερικής καύσης.

#### **2.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Οι λόγοι που φέρνουν το ΗΑ ξανά στην επιφάνεια, βρίσκονται στα σημαντικά του πλεονεκτήματα. Ίσως το σημαντικότερο από αυτά, είναι το γεγονός ότι κατά την χρήση τους δεν παράγουν κανενός είδους ρύπους εξάτμισης. Αφού χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια η οποία προέρχεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θεωρείται ότι προκαλούν την ελάχιστη δυνατή ρύπανση σε μακροχρόνια βάση. Τα ηλεκτρικά οχήματα επίσης απαλλάσσουν τους χρήστες από τα «δεσμά» του πετρελαίου και μετριάζουν κατά κάποιο τρόπο την παγκόσμια θέρμανση που προκαλείται από την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Ως πλεονέκτημα αυτών, θεωρείται και το γεγονός ότι είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Τέλος, παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος, αρχικά γιατί μας απαλλάσσουν από τη χρήση βενζίνης, η τιμή της οποίας αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς, αλλά και γιατί το κόστος συντήρησης των ΗΑ είναι σημαντικό μικρότερο. Ο λόγος έγκειται στο ότι η ηλεκτρική μηχανή αποτελείται από

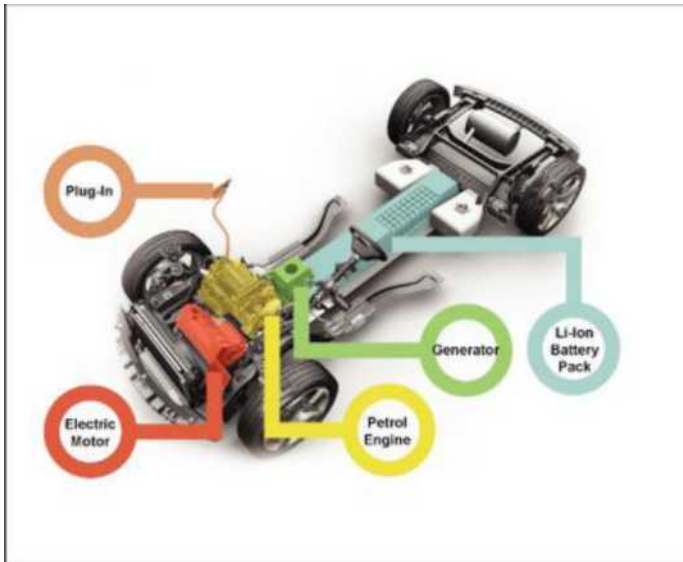
πέντε κινούμενα μέρη, έναντι των χιλίων και άνω από τα οποία αποτελείται μια μηχανή εσωτερικής καύσης.

#### 2.1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ΗΑ αυτοκίνητα όμως, παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία αποτελούν τροχοπέδη στην ανάπτυξη και εξάπλωση τους. Το σημαντικότερο από αυτά, είναι το κόστος κατασκευής τους άρα και κατ' επέκταση το κόστος πώλησης τους στο κοινό. Τα υπόλοιπα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ΗΑ οφείλονται κυρίως στην χρήση της μπαταρίας. Συγκεκριμένα, σε κάθε επαναφόρτιση της μπαταρίας, η επιτρεπόμενη διανυόμενη απόσταση από το ΗΑ μειώνεται. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλο χρόνο επαναφόρτισης αλλά και περιορισμένη διάρκεια ζωής, λόγω του ότι μετά από συγκεκριμένο αριθμό χιλιομέτρων που διανύονται, η μπαταρία κρίνεται ακατάλληλη και πρέπει να αντικατασταθεί. Κατά κάποιο τρόπο, η χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνει την ζήτηση ενέργειας, αφού η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την φόρτιση αυτών προέρχεται από τι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που καίνε απολιθωμένα καύσιμα.

#### 2.1.5 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ΗΑ εξαρτώνται κυρίως από τις μπαταρίες, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα μηχανικά τμήματα ενός ΗΑ διαφέρουν κατά πολύ από τα μέρη ενός αυτοκινήτου με μια μηχανή εσωτερικής καύσεως.



Τα ΗΑ αποτελούνται από 3 κύρια μέρη, τον ελεγκτή, την μπαταρία και την ηλεκτρική μηχανή. Η λειτουργία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι σχετικά απλή. Το πεντάλ επιτάχυνσης συνδέεται με ένα ποτενσιόμετρο, που μετρά τη δύναμη που έχει εφαρμόσει ο οδηγός στο πεντάλ. Το ποτενσιόμετρο στέλνει έπειτα ένα σήμα σε έναν ελεγκτή που του λέει πόση ενέργεια πρέπει η μπαταρία να δώσει στην ηλεκτρική μηχανή.

## 2.1.6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες, διαθέτουν σήμερα πρότυπα αυτοκίνητα τα οποία υποδηλώνουν το μέλλον του ηλεκτρικού οχήματος. Αυτά τα οχήματα από την αρχή της δημιουργίας τους μέχρι και την επιλογή των υλικών τους θα βασίζονται αποκλειστικά στην ηλεκτρική ενέργεια. Απόρροια αυτού, θα είναι η δημιουργία οχημάτων προσιτά στον χρήστη με βοηθητικά συστήματα πλοήγησης και λειτουργίες που θα τα κατατάξουν στις πρώτες προτιμήσεις του κοινού.

Προτείνεται η χρήση μπαταριών Li-Ion και NiMH καθώς και εξελιγμένων ηλεκτρονικών συστημάτων χειρισμού. Αναμφισβήτητα, τροχοπέδη για την ανάπτυξη και διάδοση των ΗΑ αποτελεί το υψηλό κόστος αυτών το οποίο πρόκειται να μειωθεί όσο η μαζική παραγωγή αυτών αυξηθεί, δηλαδή αν η ζήτηση του κοινού στραφεί προς αυτά. Εξάλλου, εκτιμάται ότι το κόστος των ΗΑ δεν θα είναι σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με αυτό των συμβατικών. Παρατηρείται βέβαια και αυξημένο ενδιαφέρον από πλευράς τόσο της πολιτείας όσο και των πολιτών, γεγονός που τεκμηριώνεται από την ίδρυση της AV.ER.E. στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην οποία συμμετέχει και η Ελλάδα με το ΕΛ.ΙΝ.Ο. Σκοπός, δεν είναι άλλος από την προώθηση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και της εκμετάλλευσης της πληθώρας πλεονεκτημάτων που αυτά προσφέρουν.

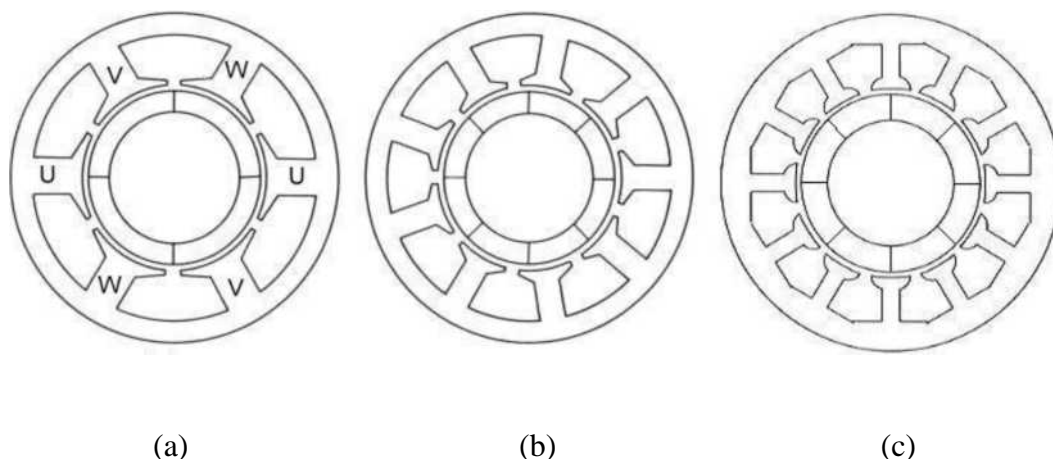
## 2.2 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ (BRUSHLESS)

### 2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη αποτελεί έναν τύπο μηχανής που αναπτύσσεται ευρέως στις μέρες μας. Ο δρομέας αποτελείται από μόνιμους μαγνήτες ενώ τα τυλίγματα των φάσεων είναι τοποθετημένα στο στάτη. Ο όρος brushless φανερώνει ότι ο κινητήρας αυτός δεν έχει ψήκτρες και έτσι η μετάβαση του ρεύματος γίνεται ηλεκτρονικά. Η μηχανή χαρακτηρίζεται ως «σύγχρονη» πράγμα που σημαίνει ότι ο δρομέας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα, σύγχρονα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του διακένου.

### 2.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ

Οι σύγχρονες μηχανές με μόνιμο μαγνήτη μπορεί να είναι μονοφασικές, δύο φάσεων ή τριφασικές. Η πιο διαδεδομένη και κοινή στη χρήση είναι η τριφασική. Το τυλίγμα κάθε φάσης μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα υποτυλίγματα (περιελίξεις ή πυρήνες) που τοποθετούνται στις αυλακώσεις του στάτη (Σχήμα 2.1) όπως θα δούμε παρακάτω.



**Σχ.2.1 BLDC μηχανές διαφόρων τύπων. Η μηχανή (α) έχει δύο ομάδες τυλιγμάτων, δηλαδή το τυλίγμα κάθε φάσης αποτελείται από δύο υποτυλίγματα (περιελίξεις ή πυρήνες) και τέσσερις μαγνητικούς πόλους, δηλαδή ο δρομέας καλύπτεται από δύο ζεύγη μαγνητικών πόλων, αντίθετης μαγνητικής πολικότητας. Έτσι η (b) έχει τρεις ομάδες τυλιγμάτων και οχτώ μαγνητικούς πόλους, ενώ η (c) έχει τέσσερις ομάδες τυλιγμάτων και οχτώ μαγνητικούς πόλους.**



## ΣΤΑΤΗΣ

Ο στάτης μιας μηχανής τύπου «brushless» αποτελείται από ασάλινα ελάσματα πάχους 0.3-0.5 mm. Είναι ελασματοποιημένος προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα δεινορρεύματα. Τα τυλίγματα τοποθετούνται σε εγκοπές (αυλακώσεις) που είναι κομμένες ακτινωτά κατά μήκος της εσωτερικής περιφέρειας του στάτη (Σχήμα 2.2). Οι εγκοπές τείνουν να διασπάσουν την ομοιομορφία της ροής, γι' αυτό και πρέπει να τοποθετούνται ομοιόμορφα γύρω από τον στάτη. Οι περισσότερες BLDC μηχανές έχουν τρία τυλίγματα στο στάτη τα οποία συνδέονται σε αστέρα. Καθένα από αυτά τα τυλίγματα αποτελείται από μικρότερες περιελίξεις, οι οποίες ενώνονται για να αποτελέσουν το τύλιγμα. Οι εγκοπές γεμίζουν με μία ή περισσότερες περιελίξεις (Σχήμα 2.1). Κάθε τύλιγμα μοιράζεται στην περιφέρεια του στάτη για να δημιουργήσει ζυγό αριθμό πόλων. Λόγω των δονήσεων κατά τη λειτουργία της μηχανής, τα τυλίγματα είναι δυνατό να προκαλέσουν θόρυβο. Τότε, χρησιμοποιείται εναλλακτική κατασκευή με καλούπι γύρω από τον στάτη, η οποία αποτρέπει αυτές τις δονήσεις και επομένως μειώνει τον θόρυβο.



**Σχ.2.2** Στάτης μηχανής brushless, όπου φαίνονται οι εγκοπές στην εσωτερική περιφέρεια του στάτη, οι πυρήνες και τα τυλίγματα.

## ΔΡΟΜΕΑΣ

Ο δρομέας είναι κατασκευασμένος από ατσάλι και είναι συμπαγής. Πάνω στην επιφάνειά του τοποθετούνται οι μόνιμοι μαγνήτες, οι οποίοι ποικίλουν μεταξύ δύο και οχτώ ζευγών πόλων με αντίθετη μαγνητική πολικότητα. Ο πυρήνας είναι κυλινδρικός και η θέση των μαγνητών ποίκιλει επίσης. Μπορεί να βρίσκονται πάνω στην περιφέρεια του δρομέα με κενά ανάμεσα τους, ή μπορεί να είναι ορθογώνιοι και να σφηνώνονται κάτω από την επιφάνεια είτε οριζόντια, είτε κάθετα (σχήμα 2.4)

Ανάλογα με το πόσο δυνατό θέλουμε να είναι το μαγνητικό πεδίο, το υλικό των μαγνητών αλλάζει. Ο φερρίτης είναι το παραδοσιακό και πιο φτηνό υλικό. Πλέον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας κερδίζουν έδαφος οι μαγνήτες από κράματα σπάνιων γαιών. Οι μαγνήτες από φερρίτη ενώ είναι οι φτηνότεροι, έχουν το σημαντικό μειονέκτημα της χαμηλής πυκνότητας ροής για συγκεκριμένο όγκο. Αντίθετα τα κράματα έχουν μεγάλη πυκνότητα ροής άνα όγκο κι έτσι επιτρέπουν τη μείωση του όγκου του δρομέα για ίδια τιμή ηλεκτρομαγνητικής ροπής. Τέλος επειδή βελτιώνεται η αναλογία μέγεθος προς βάρος του δρομέα, δίδεται εν τέλει μεγαλύτερη ηλεκτρομαγνητική ροπή συγκριτικά με τους μαγνήτες από φερρίτη. Το νεοδημίο (Nd), η ένωση σαμαρίου-κοβαλτίου (SmCo) και το κράμα νεοδημίου-φερρίτη-βορίου (NdFeB) είναι μερικά παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μόνιμων μαγνητών.

Οι υψηλές ταχύτητες αποτελούν πρόβλημα για τους μαγνήτες, όταν αυτοί βρίσκονται στην επιφάνεια του δρομέα. Η επιτάχυνση, αλλά και η επιβράδυνση, δημιουργούν ακτινωτές δυνάμεις οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι μαγνήτες επικολλούνται γερά στην επιφάνεια, λαμβάνοντας υπ' όψη η μηχανική και θερμική διαστολή της συγκολλητικής ουσίας να είναι ίδια με αυτή του μαγνήτη. Επιπλέον στις μεγαλύτερες ταχύτητες είναι ένα απαραίτητο ένα περίβλημα συγκράτησης από ανθρακονήματα ή άβαφο ατσάλι.

N



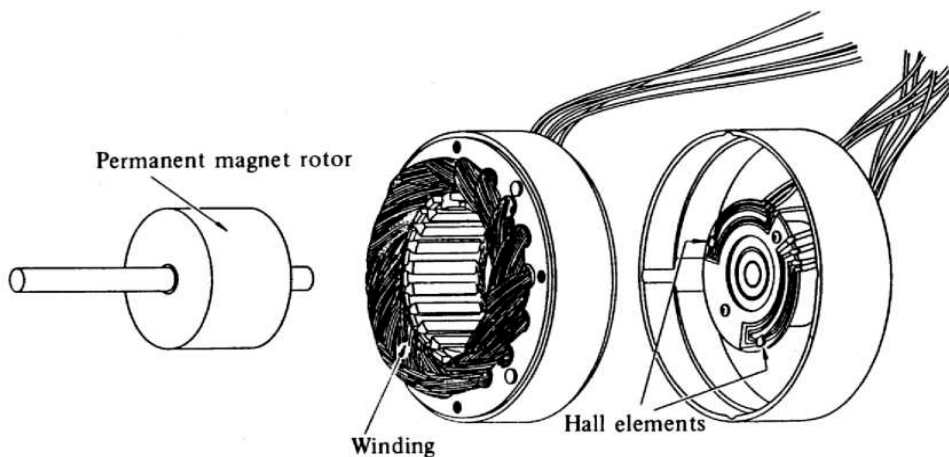
**Σχ.2.4 Διαφορετικές τοποθετήσεις μαγνητών πάνω στον δρομέα. Στον πρώτο δρομέα οι μαγνήτες τοποθετούνται πάνω στην περιφέρεια, στον δεύτερο δρομέα οι ορθογώνιοι μαγνήτες τοποθετούνται οριζόντια κάτω από την περιφέρεια, ενώ στον τρίτο δρομέα τοποθετούνται κάθετα.**

## ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL

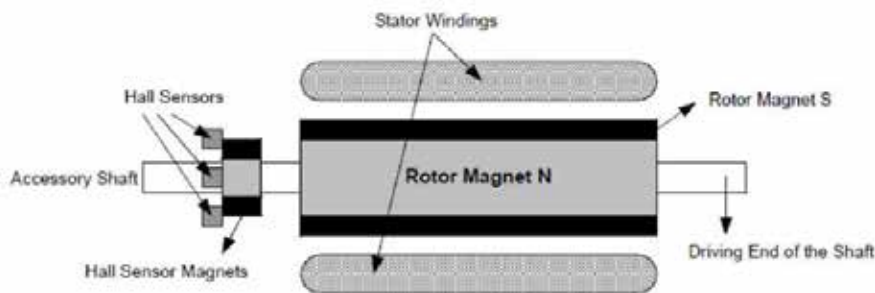
Όταν ένας αγωγός ρεύματος βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε η επαγωγή  $B$  ασκεί εγκάρσια δύναμη στους φορείς ρεύματος και τους ωθεί στη μία πλευρά του αγωγού. Το παραπάνω φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο Hall.

Λόγω απουσίας ψηκτρών, η μετάβαση του ρεύματος στο κύκλωμα ελέγχου μιας μηχανής «brushless» γίνεται ηλεκτρονικά, οπότε κάθε χρονική στιγμή πρέπει να γνωρίζουμε τη θέση του δρομέα. Για να περιστραφεί ο δρομέας, πρέπει να περάσει ρεύμα από τα τυλίγματα του στάτη με μια συγκεκριμένη σειρά. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση του δρομέα, προκειμένου να καταλάβουμε ποιο τύλιγμα πρέπει να διαρρέεται από ρεύμα κάθε φορά. Η θέση του δρομέα γίνεται αισθητή αν χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες Hall, οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στον στάτη. Οι περισσότερες σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη έχουν τρεις αισθητήρες εκ των οποίων ένας (υποχρεωτικά) ή δύο μπορούν να ενεργοποιούνται ταυτόχρονα σε κάθε χρονική στιγμή. Κάθε φορά που ένας μαγνητικός πόλος του δρομέα περνά κοντά από τους αισθητήρες, δίνει ένα υψηλό ή ένα χαμηλό σήμα που υποδηλώνει αν είναι θετικός ή αρνητικός. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να γνωρίζουμε σε ποία από τις έξι τελικά θέσεις μέσα στην περιφέρεια του κύκλου βρίσκεται ο δρομέας. Ο συνδυασμός των σημάτων των τριών αισθητήρων καθορίζει την ακριβή σειρά της μετάβασης.

Οι αισθητήρες Hall τοποθετούνται στο ακίνητο μέρος της μηχανής, στον στάτη (σχήμα 2.5) μετατοπισμένοι μεταξύ τους ανά 60 ή 120 μοίρες που είναι και το πιο σύνηθες. Η τοποθέτησή τους είναι μια δύσκολη διαδικασία, διότι και η παραμικρή απόκλισή τους θα επιφέρει λανθασμένο σήμα και επομένως λανθασμένη πληροφορία για τη θέση του δρομέα. Μια δεύτερη περίπτωση είναι η εξής - αν και δε συνηθίζεται: οι αισθητήρες Hall είναι συνδεδεμένοι με τρεις μαγνήτες. Οι μαγνήτες αυτοί τοποθετούνται στον δρομέα, έτσι ώστε όταν αυτός περιστρέφεται οι μαγνήτες Hall δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα με τους μαγνήτες του δρομέα (σχήμα 2.6).



**Σχ.2.5 Φαίνονται χωριστά ο δρομέας με μόνιμο μαγνήτη, ο στάτης με τις εγκοπές και τα τυλίγματα, οι αισθητήρες hall επάνω στο στάτη .**



**Σχ. 2.6 Οι αισθητήρες Hall συνδέονται με τρεις μαγνήτες και τοποθετούνται στο δρομέα**

### 2.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η προφανής διαφορά ανάμεσα στην μηχανή μόνιμου μαγνήτη και τις υπόλοιπες μηχανές, είναι η απουσία ψηκτρών. Έτσι αυξάνεται και η διάρκεια ζωής της μηχανής αφού δεν απαιτείται πλέον η συντήρησή τους και τα προβλήματα που συνδέονται με αυτές ελαχιστοποιούνται.
- Οι ψήκτρες παράγουν ηλεκτρομαγνητικά παράσιτα τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν σπινθήρες με κίνδυνο ανάφλεξης σε εύφλεκτα περιβάλλοντα. Επίσης χωρίς αυτές η μηχανή δουλεύει πιο αθόρυβα. Επιπλέον, η συσσώρευση θραυσμάτων των ψηκτρών ή σκόνης αποτελεί πρόβλημα, ιδίως αν μπαίνουν μέσα στα ρουλεμάν ή αν σχηματίζουν αγωγίμο δρόμο που μπορεί να οδηγήσει σε ηλεκτρικό τόξο.
- Η λειτουργία και διάρκεια ζωής των ψηκτρών εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, γεγονός που απαιτεί την εναλλαγή του τύπου των ψηκτρών για τον ίδιο κινητήρα ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας και το κλίμα.
- Η απουσία ψηκτρών αφήνει περισσότερο χώρο για τα τυλίγματα του στάτη, ενώ ταυτόχρονα η αγωγή της θερμότητας βελτιώνεται. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την απουσία της τριβής των ψηκτρών οδηγούν σε υπολογίσιμη αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου, καθώς και της ροπής.
- Η απουσία του συλλέκτη και του άξονα των ψηκτρών έχουν ως αποτέλεσμα να μειώνεται το μήκος της μηχανής. Επίσης η απουσία του συλλέκτη μειώνει την αδράνεια του δρομέα με αποτέλεσμα ο λόγος ροπής προς αδράνεια να αυξάνεται που είναι και το ζητούμενο.

### 2.2.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Πλέον οι ψήκτρες απουσιάζουν, οπότε χρειαζόμαστε αισθητήρες προκειμένου να γνωρίζουμε τη θέση του άξονα σε κάθε χρονική στιγμή. Το γεγονός αυτό αυξάνει και την πολυπλοκότητα του ηλεκτρονικού ελέγχου. Επιπλέον, το κόστος είναι μεγαλύτερο από τις κλασικές μηχανές εξ αιτίας του μεγάλου

κόστους των μόνιμων μαγνητών. Η μέγιστη ταχύτητα της μηχανής brushless περιορίζεται εξαιτίας της συγκράτησης των μαγνητών ενάντια στη φυγόκεντρο δύναμη. Σε μικρές μηχανές με χαμηλές ταχύτητες, οι μαγνήτες συγκολλούνται πάνω στον συμπαγή πυρήνα. Είναι προφανές ότι η συγκολλητική ταινία πρέπει να έχει αντοχή στη θερμοκρασία και τον χρόνο. Η δομή συγκράτησης μπορεί να απαιτεί την αύξηση του διακένου μεταξύ στάτη και δρομέα, μα σε αντίθεση με τις κλασσικές μηχανές, αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στην απόδοση της μηχανής brushless. Μάλιστα το διάκενο μπορεί να είναι ως και δύο φορές μεγαλύτερο.

### 2.2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ BRUSHLESS

Οι μηχανές τύπου brushless βρίσκουν εφαρμογή σε κάθε τμήμα της αγοράς. Η αυτοκίνηση, οι οικιακές συσκευές, ο βιομηχανικός έλεγχος, οι αυτοματισμοί, η αεροναυπηγική κλπ. είναι κάποια από τα πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως.

- Εφαρμογές σταθερών φορτίων

Σε αυτές τις εφαρμογές η είναι σημαντικό ταχύτητα του κινητήρα να μπορεί να μεταβάλλεται. Επιπροσθέτως, ο ρυθμός της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης δεν αλλάζει δυναμικά. Σε αυτούς τους τύπους εφαρμογών το φορτίο βρίσκεται σε άμεση σύζευξη στον άξονα της μηχανής. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι οι ανεμιστήρες και οι αντλίες που απαιτούν χαμηλού κόστους ελεγκτές ως επί το πλείστον σε λειτουργία ανοιχτού βρόγχου.

- Εφαρμογές μεταβλητών φορτίων

Πρόκειται για τύπους εφαρμογών όπου το φορτίο του κινητήρα μεταβάλλεται μέσα σε μία κλίμακα ταχύτητας. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ακρίβεια ελέγχου υψηλής ταχύτητας και καλές δυναμικές αποκρίσεις. Στις οικιακές συσκευές αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι πλυντήρια και στεγνωτήρια. Αντίστοιχα παραδείγματα στον τομέα της αυτοκίνησης είναι ο έλεγχος αντλίας καυσίμων, ο έλεγχος εναλλακτών και ο έλεγχος ηλεκτρικού οχήματος. Στην αεροδιαστημική συναντάμε πληθώρα τέτοιου τύπου εφαρμογών όπως φυγόκεντροι, αντλίες, έλεγχος ρομποτικού βραχίονα και έλεγχος γυροσκοπίων. Σε αυτές τις εφαρμογές χρησιμοποιείται βρόγχος ανατροφοδότησης της ταχύτητας και τρέχουν σε ημι-κλειστό ή κλειστό βρόγχο. Χρησιμοποιούνται ακόμα προχωρημένοι αλγόριθμοι ελέγχου γεγονός που περιπλέκει τον έλεγχο της μηχανής brushless και αυξάνει το κόστος του συνολικού συστήματος.

- Εφαρμογές προσδιορισμού θέσης

Οι περισσότερες εφαρμογές στη βιομηχανία και στους αυτοματισμούς εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. Η δυναμική απόκριση της ροπής και της ταχύτητας είναι σημαντικές και παρουσιάζονται συχνές αλλαγές στη φορά της περιστροφής. Ένας τυπικός κύκλος περιλαμβάνει στάδιο επιτάχυνσης, στάδιο που η ταχύτητα παραμένει σταθερή και στάδιο επιβράδυνσης. Το φορτίο στον κινητήρα μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια αυτών των σταδίων περιπλέκοντας έτσι τον έλεγχο του BLDC κινητήρα. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν σε κλειστό βρόγχο όπου τρέχουν ταυτόχρονα τρεις βρόγχοι ελέγχου: ροπής, ταχύτητας και θέσης. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τα Μηχανήματα Ψηφιακής Καθοδήγησης (CNC machines) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία

### 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

#### 3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

##### 3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ

Θα μπορούσε να διακρίνει κανείς ότι για να επιλέξουμε σωστά τον κινητήρα που χρειαζόμαστε για το όχημά μας πρέπει να λάβουμε υπόψη μας αρκετούς παράγοντες και παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοσή του καθώς και την σωστή λειτουργία του. Αρχικά λοιπόν υπολογίζουμε τις δυνάμεις που αντιτίθενται στην κίνηση του οχήματος.

**Αντίσταση κύλισης:** Είναι η αντίσταση η οποία εξασκείται στο επίπεδο της επιφάνειας επαφής μεταξύ του τροχού και του δρόμου κι έχει φυσικά φορά αντίθετη από τη φορά κίνησης του οχήματος. Αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$F_r = \mu * M * g * \cos\theta$$

όπου

$\mu$  : ο συντελεστής τριβής ή κύλισης των ελαστικών. Εξαρτάται από παράγοντες όπως η πίεση των ελαστικών και η πρόσφυση τους με το οδόστρωμα και δίνεται από τον τύπο του Taborek:

$$\mu = \mu_0 + \mu_1 * (v/100)^{2,5}$$

όπου

$\mu_0 = 0,115$  για συμβατικά ελαστικά

$\mu_1 = 0,007$  για συμβατικά ελαστικά

$v$  : η ταχύτητα του οχήματος σε (km/h)

$M$ : η μάζα του οχήματος σε (kg)

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 \text{ m/sec}^2$ )

$\theta$ : η κλίση του οδοστρώματος σε μοίρες

**Αεροδυναμική αντίσταση:** Είναι η αντίσταση η οποία ασκείται στο όχημα από τον αέρα κατά την κίνηση του. Αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$F_x = 0,5 * \rho * v^2 * A * C_x$$

όπου

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα, που θεωρείται σταθερή και ίση με  $1,27 \text{ (kg/m}^3)$

$v$ : η σχετική ταχύτητα του αυτοκινήτου ως προς τον αέρα, σε (m/sec)

$A$ : η μετωπική επιφάνεια του αυτοκινήτου σε ( $\text{m}^2$ )

$C_x$ : ο αεροδυναμικός συντελεστής =  $0,2$

**Αντίσταση αναρρίχησης:** Οφείλεται στην κλίση του οδοστρώματος και δίνεται από τον τύπο:

$$F_g = M * g * \sin\theta$$

όπου

M: η μάζα του οχήματος σε (kg)

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/sec<sup>2</sup>)

θ: η κλίση του οδοστρώματος

**Αδρανειακή αντίσταση:** Είναι η δύναμη που απαιτείται για να επιταχύνει το όχημα και να υπερνικήσει την αδράνεια του. Δίνεται από τον τύπο:

$$F_a = M * \gamma * \lambda$$

όπου:

M: η μάζα του οχήματος σε (kg)

γ : η επιτάχυνση της βαρύτητας σε (m/sec<sup>2</sup>)

λ: ένας διορθωτικός συντελεστής (καθαρός αριθμός), σχετικός με τη σωστή επιλογή της ταχύτητας στο κιβώτιο κατά την κίνηση.

Θεωρώντας ότι το όχημα μάζας M, μετωπικής επιφανείας 0,5 (m<sup>2</sup>) και αεροδυναμικού συντελεστή 0.2 κινείται με σταθερή ταχύτητα v (σε m/sec) (οπότε η αδρανειακή αντίσταση γίνεται 0) σε ανηφορικό οδόστρωμα κλίσης θ, η απαιτούμενη κινητήρια δύναμη F<sub>tr</sub> μπορεί γραφεί:

$$F_{tr} = M * (\sin\theta + \mu * \cos\theta) * g + 0,063 * v^2$$

όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Στη παραπάνω σχέση διακρίνονται οι όροι που οφείλονται στο βάρος, την αντίσταση των τριβών και αυτήν του ανέμου, δηλαδή στην αντίσταση αναρρίχησης, στην αντίσταση κύλισης και την αεροδυναμική αντίσταση αντίστοιχα. Η απαιτούμενη ισχύς στους τροχούς P<sub>w</sub> και η ισχύς του κινητήρα P<sub>m</sub> μπορούν να υπολογιστούν εύκολα από τις σχέσεις:

$$P_m = F_{tr} * v$$

$$P_m = P_w / (nm * \cos\phi * ntr) = P_w / 0,63$$

όπου

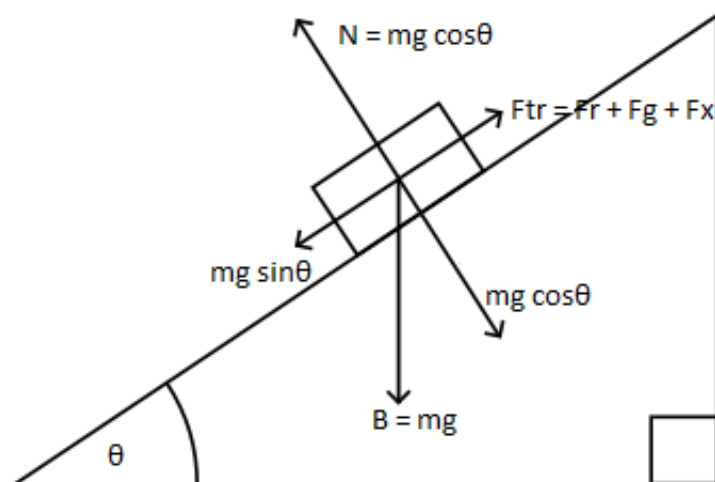
nm: ο συντελεστής απόδοσης του κινητήρα = 0,87

cosφ: ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα = 0.85

ntr: ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μετάδοσης = 0,85

### 3.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

Αν υποθέσουμε ότι το παρακάτω σχήμα αντιστοιχεί στο όχημά μας υπολογίζουμε :



όπου

$m$  = μάζα του σώματος

$g$  = επιτάχυνση βαρύτητας,

$mg$  = βάρος του σώματος

$N$  = κάθετη αντίδραση που ασκείται από το κεκλιμένο επίπεδο στο σώμα

$\theta$  = κλίση (γωνία) κεκλιμένου επιπέδου.

Παρατηρούμε ότι το όχημά μας έχει τα εξής στοιχεία:

- Βάρος του οχήματος μαζί με οδηγό μέσου βάρους 75 kg = 175 (kg)
- Επιθυμητή ταχύτητα = 30 km/h => 8,3 (m/sec)
- Κλίση οδοστρώματος = 10% =>  $\theta = \tan^{-1}(10/100) = 5,7$  μοίρες
- Μετωπική επιφάνεια οχήματος =>  $A = 0,5$  (m<sup>2</sup>)
- Ακτίνα τροχού σε m =>  $R\omega = 0,13$ (m)

**Αντίσταση κύλισης:**

$$F_r = \mu * M * g * \cos\theta = 0,115 * 175 * 9,81 * \cos(5,7) = \mathbf{196,4 \text{ (N)}}$$

$$\text{Όπου } \mu = \mu_0 + \mu_1 * (v/100)^{2,5} = 0,115 + 0,007 * (30/100)^{2,5} = 0,115$$

**Αεροδυναμική αντίσταση:**

$$F_x = 0,5 * \rho * v^2 * A * C_x = 0,5 * 1,27 * 8,3^2 * 0,5 * 0,2 = \mathbf{4,37 \text{ (N)}}$$



**Αντίσταση αναρρίχησης:**

$$F_g = M * g * \sin\theta = 175 * 9,81 * \sin(5,7) = \mathbf{170,5 \text{ (N)}}$$

**Απαιτούμενη κινητήρια δύναμη  $F_{tr}$ :**

$$F_{tr} = M * (\sin\theta + \mu * \cos\theta) * g + 0,063 * v^2 = F_r + F_x + F_g = 196,4 + 4,37 + 170,5 = \mathbf{371,27 \text{ (N)}}$$

**Απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα  $P_m$ :**

$$P_m = F_{tr} * v = 371,27 * 8,3 = \mathbf{3,08 \text{ (kw)}}$$

**Απαιτούμενη ροπή κινητήριου τροχού  $T_\omega$ :**

$$T_\omega = F_{tr} * R_\omega = 371,27 * 0,13 = \mathbf{48,26 \text{ (Nm)}}$$

Όπου  $R_\omega$  : η ακτίνα του τροχού σε (m)

Παρατηρούμε ότι επειδή η κατασκευή έγινε με δικά μας έξοδα , χωρίς χρηματοδότηση από το Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ, για καθαρά οικονομικούς και όχι τεχνικούς λόγους επιλέξαμε κινητήρα με ισχύ μικρότερη από αυτή που υπολογίσαμε. Η ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιήσαμε είναι 1,3 (kw)

Άρα έχουμε:

**Ισχύς του κινητήρα:**

$$P_m = \mathbf{1,3 \text{ (kw)}}$$

**Ροπή του κινητήρα:**

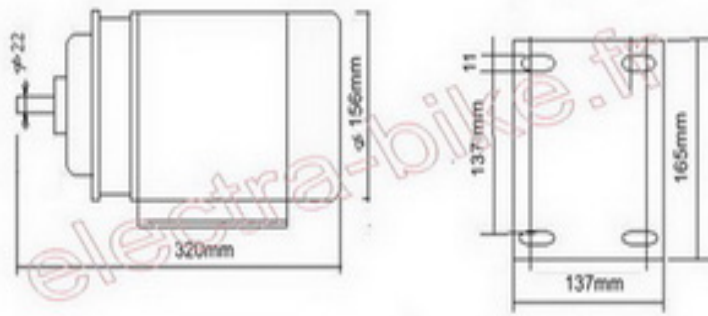
$$T_\omega = P_m/\omega = 1,3/63,85 = \mathbf{20,36 \text{ (Nm)}}$$

Όπου  $\omega$ : η γωνιακή ταχύτητα τροχού =  $v/R_\omega = 8,3/0,13 = 63,85 \text{ (rad/sec)}$

**Στροφές τροχού:**

$$n = \omega * 60 / 2\pi = 63.85 * 60 / 2\pi = \mathbf{609,72 \text{ (rpm)}}$$

### 3.1.3 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:



- Βάρος: 800 (kg)
- Οδοντωτό τροχό εξόδου 15 δόντια της αλυσίδας 420
- Ισχύς  $P_m = 1300$  (W)
- Τάση: 48/60 (V)
- Ταχύτητα χωρίς φορτίο: 600 (rpm)
- Ονομαστική ροπή: 20 (Nm)
- Ονομαστική ταχύτητα: 580 (rpm)
- Ονομαστικό ρεύμα: 29,5/ 25 (A)
- Η απόδοση του κινητήρα: 85 (%)
- Μείωση Ratio 5.4:1

### 3.2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η προσδιδόμενη αυτονομία του οχήματος έγκειται στα 15min. Συνεπώς:

$$P_{\text{κιν}} = 1300\text{W}$$

$$V_{\text{κιν}} = 48\text{V}$$

$$t_{\text{αυτ}} = 0,25\text{h}$$

Η προσδιδόμενη ενέργεια θα είναι:

$$W = P_{\text{κιν}} * t_{\text{αυτ}} = 325\text{Wh}$$

Δηλαδή ο συσσωρευτής θα πρέπει να είναι:

$$\begin{aligned} Q &= W / (n_1 * n_2 * V_{\text{κιν}}) \\ &= 325\text{Wh} / (0,8 * 0,6 * 48\text{V}) \\ &= 14,1\text{Ah} \end{aligned}$$

Όπου  $n_1$  ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή και  $n_2$  το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή

Συνεπώς οι συσσωρευτές που θα επιλέξουμε θα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:  
**12V/12Ah**

### 3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΓΕΛΙΩΝ

<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	<b>ΟΝ. ΤΑΣΗ [V]</b>	<b>ΟΝ. ΙΣΧΥΣ [W]</b>
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΣ	12	2
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΟΡΕΙΑΣ	12	10
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΚΤ. ΑΝΑΓΚΗΣ	12	6
ΚΡΥΦΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	12	13
ΠΛΑΚΕΤΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ	12	4
RELAY 12VDC	12	1
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΉ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>		<b>36</b>

Ο προσδιδόμενος χρόνος λειτουργίας του φωτισμού έγκειται στην 1h. Συνεπώς:

$$P_{\max} = 36W$$

$$V = 12V$$

$$t_{\text{λειτ}} = 1h$$

Άρα η προσδιδόμενη ενέργεια θα είναι:

$$W_{\sigma} = P_{\max} * t_{\text{λειτ}} = 36Wh$$

Δηλαδή ο συσσωρευτής θα πρέπει να είναι:

$$\begin{aligned} Q &= W_{\sigma} / (n_1 * n_2 * V) \\ &= 36Wh / (0,8 * 0,6 * 12V) \\ &= 6,25Ah \end{aligned}$$

Όπου  $n_1$  ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή και  $n_2$  το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή

Συνεπώς ο συσσωρευτής που θα επιλέξουμε θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:  
**12V/6Ah**

### 3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

Για τον υπολογισμό του φωτοβολταϊκού θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την διάρκεια της ηλιοφάνειας. Για τα ελληνικά δεδομένα, κατά τον μήνα Δεκέμβριο, που είναι και ο δυσμενέστερος μήνας, ή μέση ηλιοφάνεια έγκειται στις 3 ώρες.

Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα λοιπόν το φωτοβολταϊκό πρέπει να είναι θέση να φορτίσει πλήρως τον συσσωρευτή ( $t_{\text{φορτ}} = 3\text{h}$ ).

Άρα η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού θα είναι:

$$\begin{aligned} P_{\text{ΦΒ}} &= (W_{\sigma} * n_2) / (n_1 * t_{\text{φορτ}}) \\ &= (36\text{Wh} * 0,6) / (0,8 * 3\text{h}) \\ &= 9\text{W} \end{aligned}$$

Συνεπώς το φωτοβολταϊκό θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: 12V/10W

#### Σημείωση:

Ο συσσωρευτής που τοποθετήθηκε τελικά στο όχημα είναι 9Ah. Ο λόγος αυτού είναι ότι ο μας παραχωρήθηκε δωρεάν. Συνεπώς ο πειραματικός χρόνος φόρτισης και εκφόρτισης θα διαφέρει περίπου 30% των θεωρητικών μετρήσεων.

## 4. ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

### 4.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ



ΣΑΣΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ



ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ BRUSHLESS



ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ 12V- 12Ah - 9Ah



CONDROLLER 48V - 2000W - 40A



ΓΡΑΝΑΖΩΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ 1:1



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ ΦΩΡΤΙΣΗΣ  
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 230/ 48V/ 2A



ΕΛΕΚΤΗΣ ΦΩΡΤΙΣΗΣ  
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 12V/4A



ΦΟΤΩΒΟΛΤΑΙΚΟ  
ΠΑΝΕΛ 10Wp/18V



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ  
ΠΛΑΚΕΤΑ ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ



1: ΚΛΕΙΔΙ  
2: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΘΕΣΕΩΣ  
3: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΠΟΡΕΙΑΣ  
4: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ  
5: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΚΤΡΥΦΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ  
6: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ  
7: ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ  
8: DISPLAY



## 4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ



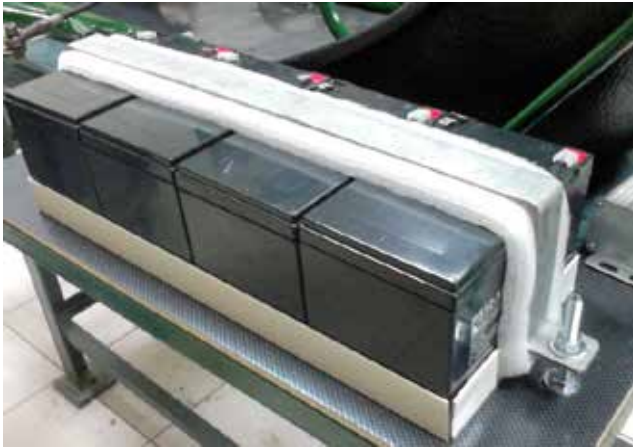
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΑΣΙ  
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ



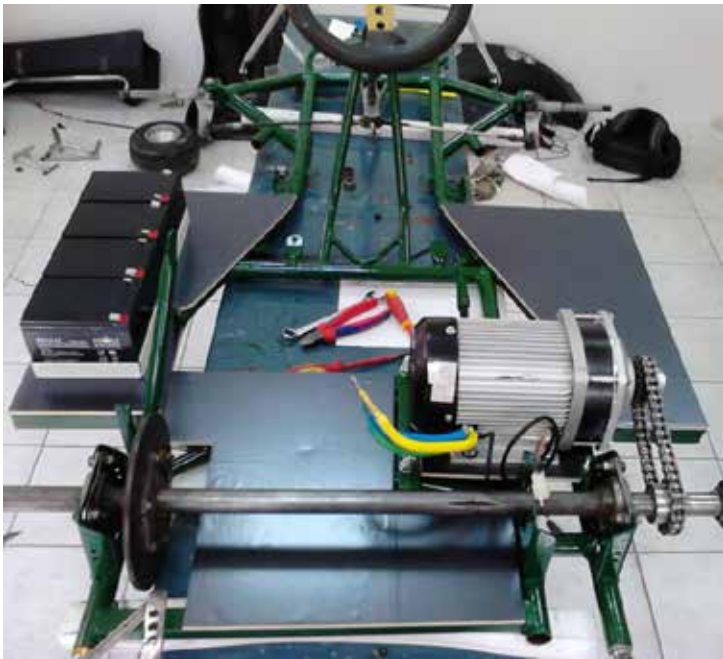
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ



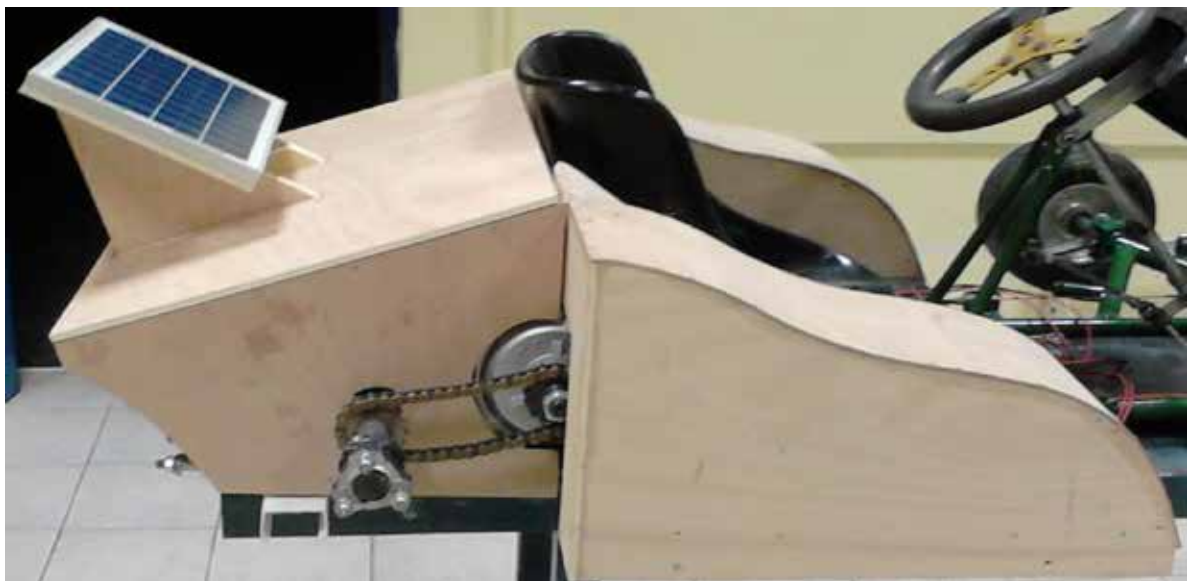
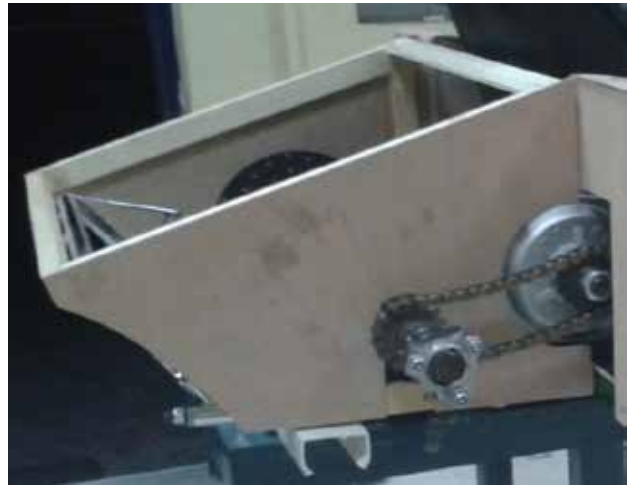
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ  
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 48V/12Ah



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ  
ΤΟΥ ΓΡΑΝΑΖΩΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ  
ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 48V/12Ah

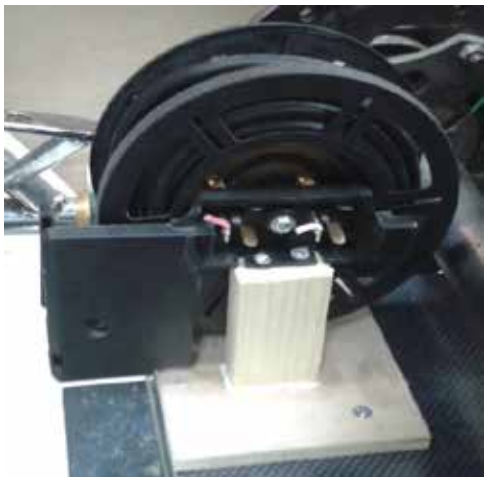


ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

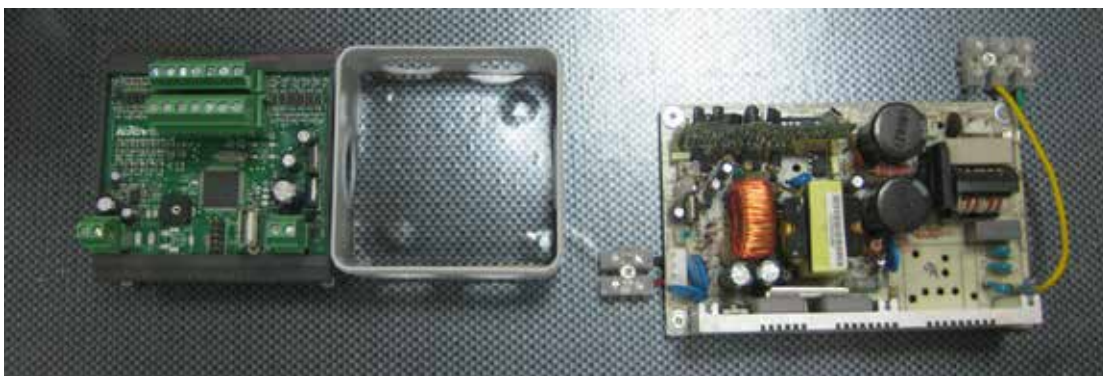


ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ





ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ  
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 230V



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ  
ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ ΤΩΝ 12V



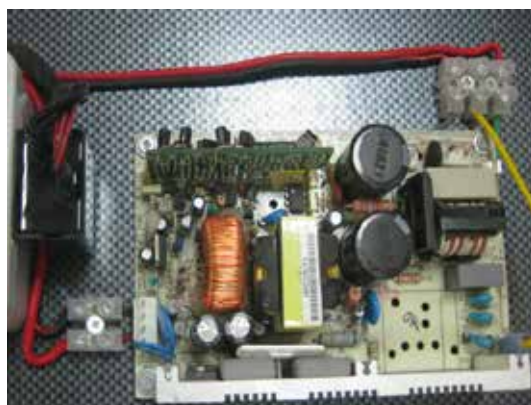
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ  
ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ  
ΦΩΤΙΣΜΟΥ 12V



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΕΩΝ  
ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ  
ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 48V



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ  
ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

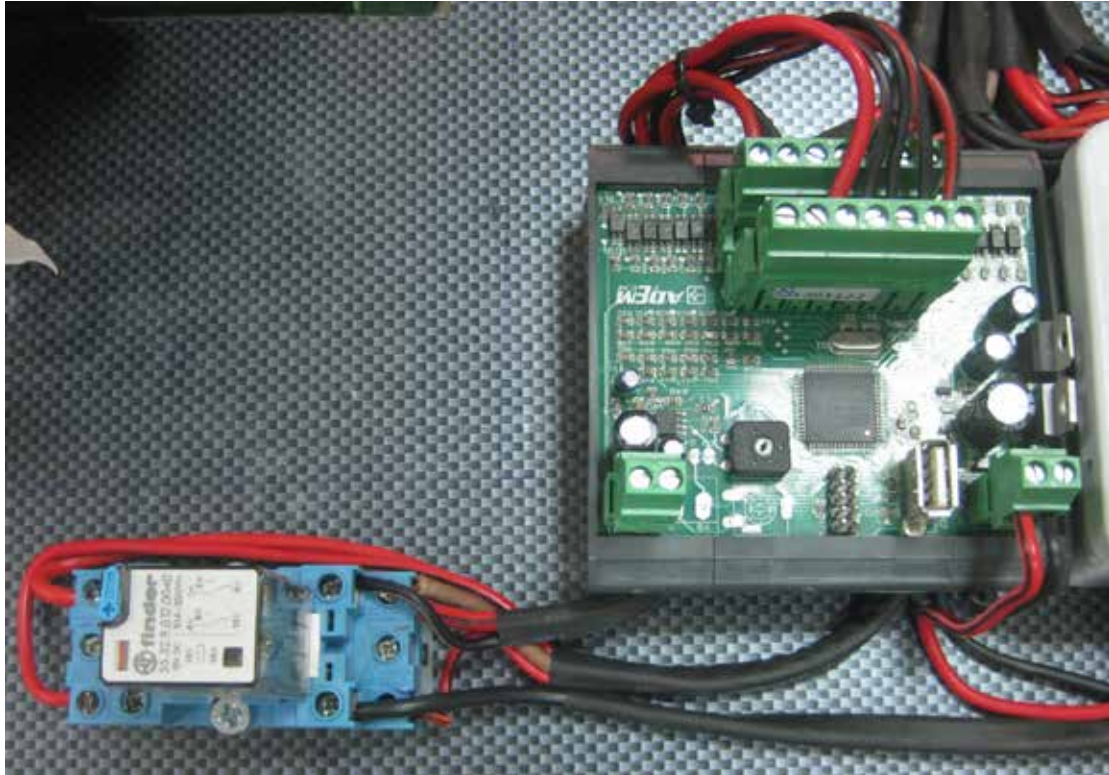


ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΣΤΟ RELAY  
ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΕΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ  
ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ





ΔΙΑΚΛΑΔΩΤΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ 12V



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ





ΤΕΛΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ





ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΛΕΞΟΥΔΑΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ





ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



ΜΑΣΚΑ ΜΠΡΟΣΤΑ ΜΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΤΑ  
ΦΩΤΑ ΘΕΣΣΕΩΣ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑΣ









## **5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ**

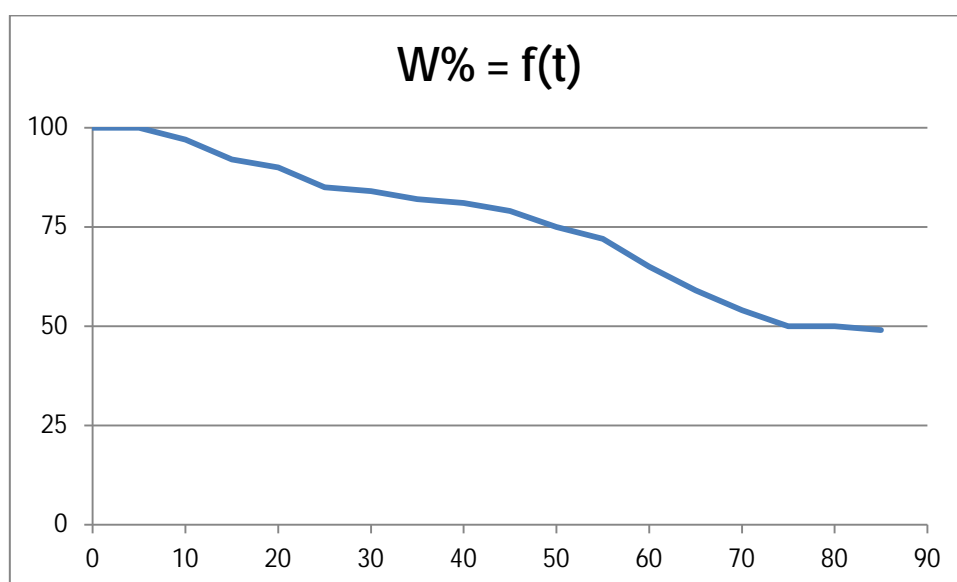


## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα κατασκευή έγιναν με σκοπό να προσδιοριστεί πειραματικά ο χρόνος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών τόσο της κίνησης (48V) όσο και του φωτισμού (12V). Οι μετρήσεις ακολουθούν:

- Χρόνος φόρτισης συσσωρευτών κίνησης: **3h και 25min.**
- Χρόνος εκφόρτισης συσσωρευτών κίνησης: **1h και 15min\***
- Χρόνος φόρτισης συσσωρευτή φωτισμού: **10h και 35min**
- Χρόνος εκφόρτισης συσσωρευτή φωτισμού: **4h και 20min\*\***

\*Η ενέργεια των συσσωρευτών στο διάστημα της εκφόρτισης μεταβάλλεται σύμφωνα με την παρακάτω γραφική παράσταση:



(η γραφική παράσταση είναι προσδιοριστική)

Όπου:

**W%:** η επί τοις εκατό ενέργεια των συσσωρευτών

**t:** ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα σε min

\*\*Η μέτρηση αυτή έγινε για πλήρες φορτίο (όλες οι καταναλώσεις ήταν ενεργοποιημένες). Συνεπώς ο χρόνος αυτός είναι ο ελάχιστος χρόνος εκφόρτισης.

## **7. ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

<b><u>ΣΑΣΙ</u></b>		
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>
ΣΑΣΙ	1 ΤΜΧ	300,00 €
ΓΡΑΝΑΖΙ	1 ΤΜΧ	35,00 €
ΣΙΔΕΡΟ	3m	10,00 €
ΒΙΔΕΣ, ΔΙΣΚΟΙ	1 κουτί, 3ΤΜΧ	10,60 €
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ	30 ΤΜΧ	1,40 €
ΜΠΟΓΙΑ, ΠΙΝΕΛΑ	1kg , 2ΤΜΧ	25,70 €
ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	1 ΤΜΧ	10,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>392,70 €</b>

<b><u>ΚΙΝΗΤΗΡΙΟ ΜΕΡΟΣ</u></b>		
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	1 ΤΜΧ	120,00 €
CONTROLLER	1 ΤΜΧ	50,00 €
ΡΥΘΜΗΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	1 ΤΜΧ	10,00 €
ΜΕΤΑΦΟΡΑ, ΤΕΛΩΝΕΙΟ		221,00 €
ΕΛΑΣΤΙΚΑ	2 ΤΜΧ	20,00 €
ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ 12Ah/48V	4 ΤΜΧ	80,40 €
ΕΠΙΣΚΕΥΗ CONTROLLER		30,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>531,40 €</b>

<b><u>ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u></b>		
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>
PANEL 12V/10W	1 ΤΜΧ	17,00 €
ΚΟΥΤΙΑ ΔΙΑΚΛ/ΣΗΣ	2 ΤΜΧ	16,00 €
ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ	40m	22,00 €
ΠΛΑΚΕΤΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ	1 ΤΜΧ	50,00 €
ΡΥΘΜ. ΦΟΡΤΙΣΗΣ 12V	1 ΤΜΧ	17,00 €
ΚΥΡΙΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	4 ΤΜΧ	23,00 €
ΦΛΑΣ, ΚΡΥΦΟΣ ΦΩΤ/ΜΟΣ	4 ΤΜΧ, 4 ΤΜΧ	25,00 €
ΚΟΜΒΙΑ, DISPLAY	6 ΤΜΧ, 1 ΤΜΧ	22,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>192,00 €</b>



<b><u>ΚΑΛΥΜΑΤΑ (ΚΑΠΑΚΙΑ)</u></b>		
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>
ΕΥΛΕΙΑ		125,80 €
ΒΙΔΕΣ, ΚΑΡΦΙΑ		12,00 €
ΠΟΛΥΑΣΤΕΡΙΚΗ ΜΠΟΓΙΑ	1 kg	45,80 €
ΜΠΟΓΙΑ	1 kg	8,00 €
ΠΙΝΕΛΑ	2 ΤΜΧ	10,00 €
ΛΟΠΠΑ ΕΞΟΔΑ		75,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>276,60 €</b>

<b><u>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ</u></b>	
ΣΑΣΙ	392,70 €
ΚΙΝΗΤΗΡΙΟ ΜΕΡΟΣ	531,40 €
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	192,00 €
ΚΑΛΥΜΑΤΑ	276,6
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>	<b>1.392,70 €</b>

\*Όσα εξαρτήματα δεν συμπεριλαμβάνονται στο κοστολόγιο μας (όπως η πλάκετα φόρτισης 48V ή η μπαταρία 12V/9Ah) μας δόθηκαν σαν δωρεά.

## **8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Θα μπορούσε να διακρίνει κανείς ότι κατά την διεξαγωγή της πτυχιακής μας εργασίας εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας τόσο στον τομέα της ηλεκτρικής κίνησης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσο και στον τομέα της μηχανολογίας. Ειδικότερα στον τομέα της ηλεκτρικής κίνησης μάθαμε να προσδιορίζουμε τον κατάλληλο κινητήρα για οποιοδήποτε όχημα, καθώς και την διάταξη οδήγησής του. Μέσο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναζητήσαμε τρόπους ώστε να δώσουμε έναν περισσότερο οικολογικό χαρακτήρα στο όχημά μας και να μειώσουμε τις θερμικές και τις μηχανικές απώλειες (Led φωτισμός, απουσία dc γεννήτριας-δυναμό). Όσον αφορά τον τομέα της μηχανολογίας επικεντρωθήκαμε στην βελτιστοποίηση της μηχανικής αντοχής του σασί και στην μελέτη του τρόπου μετάδοσης.

Καταφέραμε να προσεγγίσουμε σε μεγάλο βαθμό τους θεωρητικούς υπολογισμούς μας όσον αφορά την αυτονομία, την ροπή και την ταχύτητα καθώς και να δημιουργήσουμε ένα αισθητικά όμορφο όχημα, οικολογικού χαρακτήρα, που απολαμβάνεις να οδηγείς.

Ελπίζουμε η εργασία μας αυτή να παρακινήσει περισσότερους ηλεκτρολόγους μηχανικούς να ασχοληθούν με την οικολογική κίνηση και με τους τρόπους προώθησής της στο αγοραστικό κοινό.

## **9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ του Παντελή Μαλατέστα, Καθηγητή Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά, Εκδόσεις Τζιόλα
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ του Στέφανου Μανιά , Καθηγητή Ε.Μ.Π, Εκδόσεις Συμεών2012
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ των Albert Malvino και David Bates, Εκδόσεις Τζιόλα
- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ 1 του Γεωργίου Πολλάλη, Εκδόσεις Ιων
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ, 1997 των Π. Μαλατέστας και Σ.Ν. Μανιάς, Εκδόσεις Τζιόλα
- <http://www.iqsolarpower.com/demands/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_DC\\_electric\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_electric\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_electric_motor)
- <https://www.google.gr/search?q=BRUSHLESS&newwindow=1&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=vV6jU9eLEO-v7Abjw4GwBw&ved=0CDEOsAQ&biw=1920&bih=947>
- <http://electronics.howstuffworks.com/brushless-motor.htm>
- [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0201/DT2011-0201.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0201/DT2011-0201.pdf)
- <http://blogs.sch.gr/hybrid/files/2014/03/YBRIDIKA-GIANNOS.pdf>
- <http://EzineArticles.com/5622558>