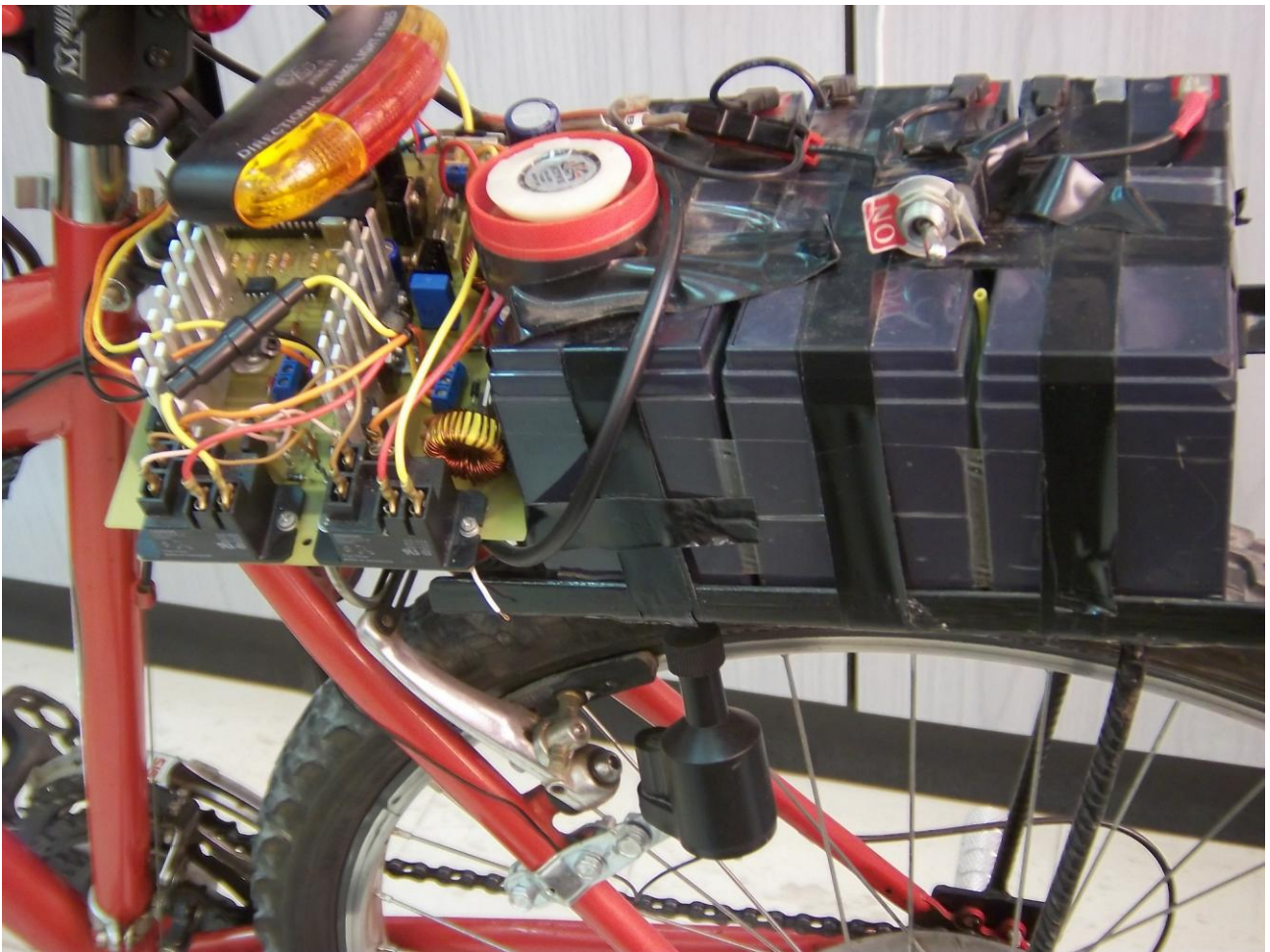




**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

# **Μελέτη και κατασκευή συστήματος ηλεκτρικής υποβοήθησης για ποδήλατο.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**Φαρσαράκη Ιωάννου**

**Επιβλέπων : Δρ. Μηχ. Νικόλαος Σ. Πετράκης  
Καθηγητής Εφαρμογών**

**Χανιά,  
Μάιος 2012**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Παράρτημα Χανίων

Τμήμα Ηλεκτρονικής



## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

*με θέμα:*

### **Μελέτη και κατασκευή συστήματος ηλεκτρικής υποβοήθησης για ποδήλατο.**

*ΤΟΥ*

**Φαρσαράκη Ιωάννου**

**Δευτέρα 21 Μαΐου 2012, ώρα 13:00, Αίθουσα 5**

*Εξεταστική Επιτροπή:* Καθ. Εφαρμ. Νικόλαος Πετράκης (επιβλέπων)  
Επικ. Καθ. Ιωάννης Χατζάκης  
Εργ. Συνεργάτης Ηρακλής Ρηγάκης

**Εν' συντομία**

Ο στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη συστημάτων ηλεκτρικής υποβοήθησης για ποδήλατα και η σχεδίαση – υλοποίηση ενός ελεγκτή για την οδήγηση ενός μοτέρ χωρίς ψήκτρες (brushless), ισχύος 250W, εφοδιασμένο με αισθητήρες Hall. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής ATMEΛ αρχιτεκτονικής 8051 και κατασκευάστηκε μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος η οποία εκτός από τον μικροελεγκτή φιλοξενεί και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ισχύος. Επίσης, γράφτηκε κώδικας σε συμβολική γλώσσα για τον καθορισμό της θέσεως του ρότορα (διαβάζοντας τους αισθητήρες Hall), για την διαμόρφωση του εύρους παλμών (PWM) των τριών φάσεων τροφοδοσίας του BLDC μοτέρ καθώς και για την παραλαβή από τον αναλογικό-σε-ψηφιακό μετατροπέα (A/D Converter) της τιμής του μοχλού επιτάχυνσης. Στην σχεδίασή μας υπάρχει πρόβλεψη για ανάκτηση ενέργειας κατά το φρενάρισμα (regenerative breaking) παρότι το μοτέρ με το οποίο πειραματιστήκαμε περιλαμβάνει μειωτήρα στροφών με κασάνια και δεν προσφέρεται για αυτό.



## Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να δείξουμε τη λειτουργία του ηλεκτρικού ποδηλάτου καθώς και να προτείνουμε μια μεθοδολογία για να προσθέσουμε σύστημα ηλεκτρικής υποβοήθησης σε ένα απλό ποδήλατο, με συμπεράσματα που βγήκαν μετά από θεωρητική μελέτη και την εμπειρία από πειράματα στο ηλεκτρονικό εργαστήριο.

Είναι μια πρόταση κατασκευής από την αρχή, ενός kit αναβάθμισης σε ηλεκτρικό ποδήλατο, σαν αυτά που κυκλοφορούν στο εμπόριο και γνωρίζουν μεγάλη επιτυχία. Με σωστή μελέτη, είναι δυνατό να προκύψει μια πιο οικονομική υλοποίηση, προσφέροντας παράλληλα την ικανοποίηση, την εμπειρία και το γόητρο της χειροποίητης κατασκευής.

Η πρόταση απευθύνεται περισσότερο σε ηλεκτρονικούς ερασιτέχνες με ένα μέσο ή πιο υψηλό επίπεδο γνώσεων στην ηλεκτρονική και στις μηχανουργικές κατασκευές, ή σε όποιον ενδιαφέρεται να μάθει τη γενική ιδέα των ηλεκτρικών ποδηλάτων.

Κάθε κομμάτι της εργασίας και οι εναλλακτικές προτάσεις που γνωρίζουμε, περιγράφονται με τρόπο απλό ώστε να αποφεύγεται η ανάλυση παραμέτρων που εδώ δεν χρειάζονται.

## Abstract

The purpose of this study is to show the function of the electric bike as well as to suggest a methodology in order to add an electric support system in an ordinary bike, with conclusions that were drawn after a theoretical study and the experience in experiments in an electronic laboratory.

It is a construction proposal from the scratch of an upgrade kit in an electric bike like those commercially available having great success. With the correct study, it is possible to come up with/to present a more economical implementation offering as well the satisfaction, the experience and the prestige of the handmade construction.

This suggestion is addressed mainly to electronic amateurs of a medium or high level of knowledge in electronics and mechanical construction or to anyone interested in the general idea of electric bikes.

Each part of the project and the alternative suggestions that we know are described in a simple way, avoiding the analysis of the unneeded parameters.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	i
Abstract .....	i
Πίνακας Περιεχομένων .....	ii
1. Εισαγωγή .....	1
1.1. Γενική Περιγραφή ηλεκτρικού ποδηλάτου.....	1
1.2. Σύντομη ιστορική αναδρομή στο ηλεκτρικό ποδήλατο.....	1
1.3. Ωφέλιμη πέδηση. ....	2
2. Δομικά στοιχεία ηλεκτρικού ποδηλάτου. ....	4
2.1. Κατηγορίες ηλεκτρικών συσσωρευτών. ....	4
2.1.1. Οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν κατά την φόρτιση. ....	7
2.1.2. Οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν κατά την αποφόρτιση. ....	8
2.2. Ηλεκτρικός κινητήρας.....	9
2.3. Κεντρικός ελεγκτής.....	12
3. Σχεδίαση Κεντρικού Ελεγκτή.....	14
3.1. Οδηγίες κατασκευής και υλικά συναρμολόγησης. ....	14
3.1.1. Εξαρτήματα εκτός πλακέτας. ....	17
3.1.2. Εξαρτήματα πάνω στη πλακέτα. ....	19
3.2. Προγραμματισμός μικροελεγκτή. ....	27
3.2.1. Αναλυτική περιγραφή του κώδικα. ....	27
3.2.2. Διαγράμματα ροής κώδικα .....	30
3.2.3. Προτεινόμενος κώδικας σε Assembly 8051. ....	34
4. Συμπεράσματα .....	40
Βιβλιογραφία.....	41

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Γενική Περιγραφή ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Το ποδήλατο είναι ένα κλασικό μέσο μετακίνησης, καθώς είναι φθινό στην αγορά και τη συντήρηση, χωρίς φόρους - άδειες και δε χρειάζεται ορυκτά καύσιμα, άρα είναι οικολογικό και οικονομικό. Προσφέρει παράλληλα σωματική άσκηση, καταπονώντας όμως το χρήστη του.

Το ηλεκτρικό ποδήλατο πάλι είναι μια σύγχρονη τάση στις μετακινήσεις εντός πόλεως κυρίως, καθώς υποβοηθώντας στο πετάλι τον αναβάτη κάνει τη δίκυκλη μετακίνηση πιο εύκολη, υποκαθιστώντας πολλές, φορές τη μοτοσικλέτα ή ακόμα καλύτερα το αυτοκίνητο, που ενώ είναι ένα μέσο για τέσσερα ως πέντε άτομα, συχνά το χρησιμοποιεί μόνο ένα. Με την άσκοπη κατάληψη που κάνουν στο οδόστρωμα, προκαλούν εκνευριστικά μπουτιλιάρσματα, εκπέμποντας παράλληλα μεγαλύτερες ποσότητες ανθυγιεινών καυσαερίων, λόγω του αχρείαστα μεγάλου κυβισμού των κινητήρων τους, για αυτές τις συνθήκες. Ένα ηλεκτρικό ποδήλατο είναι ίσως η καλύτερη εναλλακτική μετακίνηση, καθώς η Ελλάδα είναι από τις χώρες που οι περισσότερες πόλεις της, δεν έχουν πρόβλεψη για ένα σύστημα μέσων μαζικών μεταφορών, σύμφωνα με τις ανάγκες των πολιτών.

Το καύσιμο του είναι η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία. Ο ανεφοδιασμός δηλαδή η επαναφόρτιση της, γίνεται με το φθινότερο ηλεκτρικό ρεύμα μέσω φορτιστή. Αν πάλι επιθυμούμε κι έχουμε τη δυνατότητα να επενδύσουμε σε μια πιο οικολογική λύση, που παρέχει ανεξαρτησία από το δίκτυο ηλεκτροδότησης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα φορητό φωτοβολταϊκό σύστημα, για τη δωρεάν παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας, δίνονται γενικές πληροφορίες για το ηλεκτρικό ποδήλατο και γενικές εγκυκλοπαιδικές γνώσεις που σχετίζονται με αυτό.

Το δεύτερο κεφάλαιο εξηγεί από τι αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα, τα υλικά που θα χρειαστούν, με ποια κριτήρια θα κάνουμε την καλύτερη επιλογή τους, και πως θα τα διαχειριστούμε.

Το τρίτο κεφάλαιο προχωρά σε μια εκτενή ανάλυση της σχεδίασης και κατασκευής του συστήματος (υλικό και λογισμικό), καθώς και στα λάθη που πρέπει να αποφευχθούν για να μη προκύψουν προβλήματα.

## 1.2. Σύντομη ιστορική αναδρομή στο ηλεκτρικό ποδήλατο.

Η πρώτη καταγεγραμμένη σύλληψη της ιδέας να φτιαχτεί ένα ποδήλατο με ηλεκτρική υποβοήθηση έγινε το 19ο αιώνα, ο Ogden Bolton Jr. όταν στις 31 Δεκεμβρίου 1895 πατένταρε τη πρόταση του για ένα ηλεκτρικό δίκυκλο με αριθμό καταχώρησης US552,271. Σύμφωνα με το σχέδιο, μια μορφή κινητήρα συνεχούς ρεύματος που αντλούσε ενέργεια από μια μπαταρία, θα ενσωματωνόταν στη βάση του πίσω τροχού του δίκυκλου και θα μετέφερε τη κινητική την ισχύ του απευθείας στο τροχό, χωρίς γρανάζια.

Ακολούθησε στις 28 Δεκεμβρίου 1897, μια πατέντα του Hosea W. Libbey με αριθμό καταχώρησης US596,272. Πρότεινε πάλι μια ειδική υλοποίηση μοτέρ συνεχούς ρεύματος, μόνο που αυτή τη φορά θα τοποθετούνταν στη μέση του δίκυκλου και η κίνηση θα μεταδιδόταν παλινδρομικά μέσω διωστήρων, στον πίσω τροχό του δίκυκλου.

Στις 8 Νοεμβρίου 1898, ο Mathew Joseph Steffens με αριθμό καταχώρησης πατέντας US613,732, πρότεινε τη χρήση ενός μεγάλου ιμάντα για τη μετάδοση της κίνησης, όπου στην εσωτερική πλευρά του θα εφάπτονταν η περίμετρος του πίσω τροχού και ο κινητήριος άξονας ενός συστήματος DC μοτέρ.

Τελευταία πατέντα πριν η ιδέα εγκαταλειφθεί για περίπου μισό αιώνα, ήταν στις 13 Ιουνίου 1899, του John Schnepf, με αριθμό καταχώρησης πατέντας US627,066. Πρότεινε να εφάπτεται απευθείας πάνω στη γόμα του ελαστικού του πίσω τροχού μια ροδέλα και μέσω τριβής, η κίνηση θα μεταφερόταν από ένα ειδικής σχεδίασης DC μοτέρ, στο τροχό.

Στις 11 Μαρτίου 1969 ο Garfield A. Wood προτείνει με αριθμό καταχώρησης πατέντας US3.431.994, μια άλλη εκδοχή της ιδέας του John Schnepf. Η υποβοήθηση γίνεται στο μπροστινό τροχό, με ένα πιο περίπλοκο σύστημα από γρανάζια. Η επαφή με τη γόμα του ελαστικού γίνεται με ένα γρανάζι ώστε τα δόντια του να σπρώχνουν μέσω τριβής το τροχό. Παρόμοιο σύστημα φτιάχνεται και σήμερα και λέγεται "friction drive". Είναι συνήθως ιδιοκατασκευές διότι είναι εύκολη υλοποίηση. Η βιομηχανία παράγει συνήθως συστήματα βασισμένα σε BLDC πλήμνη, όπως θα αναλύσουμε παρακάτω.

Από τη δεκαετία του 1990 και μετά, ξεκίνησαν προσπάθειες από διάφορες βιομηχανίες να φτιάξουν εμπορικά διαθέσιμα ηλεκτρικά ποδήλατα, παρουσιάζοντας συνεχώς καινοτόμες προτάσεις και βελτιώσεις, με το κόστος τους να μειώνεται συνεχώς. Η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σήμερα είναι η Κίνα με εκατομμύρια εξαγωγές κάθε χρόνο σε ολοκληρωμένα ηλεκτρικά ποδήλατα ή ξεχωριστά εξαρτήματα τους.

Ο λόγος που εδώ κι ένα αιώνα τα ηλεκτροκίνητα δίκυκλα δεν είχαν εξελιχτεί, είναι ότι δεν είχαν εφευρεθεί τα μοντέρνα ηλεκτρονικά ισχύος στερεάς κατάστασης, ούτε τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που προσφέρουν ευκολία στη σχεδίαση συστημάτων αυτοματισμού. Επίσης δεν υπήρχε η σημερινή εξέλιξη στις μπαταρίες, που προσφέρει τη μεγάλη γκάμα επιλογών με τα πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τότε. Όπως φαίνεται κι από τα σχέδια των πατεντών που προαναφέραμε, τότε το μόνο που θα μπορούσε να φτιαχτεί, είναι ένα απλό κύκλωμα μοτέρ - μπαταρίας. Χωρίς την ύπαρξη ενός "έξυπνου" ελεγκτή να κάνει αυτοματοποίηση, είναι στη πράξη πιο δύσκολη η χρήση του ηλεκτρισμού για έλξη στα δίκυκλα. Ένας άλλος λόγος είναι ότι δεν είχαν εξελιχτεί τόσο οι ηλεκτρικοί κινητήρες ούτε υπήρχαν τα ελαφριά υλικά που έχουμε σήμερα. οι κατασκευές πιθανότατα να ήταν πιο ογκώδεις και πιο βαριές.

### **1.3. Ωφέλιμη πέδηση.**

Πριν ξεκινήσουμε την ανάλυση της κατασκευής, αξίζει να κάνουμε μια αναφορά για το φαινόμενο των δυνάμεων πέδησης στους ηλεκτρικούς κινητήρες, που εδώ αξιοποιούνται. Από τη φυσική ξέρουμε πως όταν μια μάζα έχει επιταχύνει τότε έχει αποκτήσει και μια ενεργεία που είναι το γινόμενο μάζας επί την ταχύτητα. Ένα συμβατικό σύστημα φρένων προκειμένου να επιβραδύνει τη μάζα του οχήματος και του φορτίου του, μετατρέπει την κινητική ενεργεία σε θερμική μέσω τριβής, πχ. πάνω στην επιφάνεια του δισκόφρενου.

Οι περισσότεροι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων μπορούν να είναι και γεννήτριες μετατρέποντας την κινητική ενεργεία σε ηλεκτρική. Όταν στους ακροδέκτες του κινητήρα τοποθετήσουμε ένα ωμικό φορτίο ή τους βραχυκυκλώσουμε τελείως, τότε περνά μέσα από τα τυλίγματα του ρεύμα, προκαλώντας δυνάμεις πέδησης και επιβραδύνοντας τη κίνηση του άξονα του. Αξιοποιώντας λοιπόν αυτό το φαινόμενο, στα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουμε δυο επιλογές για ένα επιπλέον σύστημα επιβράδυνσης, χρησιμοποιώντας τον ίδιο τον κινητήρα.

- Δυναμικά φρένα (dynamic brakes): Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετεύεται σε ένα ωμικό φορτίο και χάνεται σαν θερμική ενεργεία.



- Φρένα ωφέλιμης πέδησης (regenerative braking): Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς αποθηκεύεται κάπως, για να τη χρησιμοποιήσουμε αργότερα. Μια τέτοια υλοποίηση επιχειρούμε εδώ.

Τα συστήματα ωφέλιμης πέδησης προσφέρουν εξοικονόμηση ισχύος και λιγότερες φθορές στα υλικά τριβής των συμβατικών φρενών. Για αυτό ήδη χρησιμοποιούνται στη πράξη κι ενδεικτικά αναφέρουμε:

- Ηλεκτροκίνητος σιδηρόδρομος:

Μια μεγάλη των ΗΠΑ σιδηροδρομική εταιρία, η Amtrak, λειτουργεί το ACELA Express μεταξύ Βοστώνης και Ουάσιγκτον. Έκτος από το γεγονός ότι μπορεί να φτάσει τα 240 χλμ/ώρα, έχει σύστημα ωφέλιμης πέδησης όπου κατά την επιβράδυνση, η παραγόμενη ισχύς διαχέεται μέσω του παντογράφου (συλλέκτης ρεύματος) στο εναέριο δίκτυο ηλεκτροδότησης (11,000 V AC) για να καταναλωθεί από άλλα τρέινα που είναι εν κινήσει.

Μια άλλη σιδηροδρομική εταιρεία που έχει επενδύσει σε αυτό το σύστημα είναι η SOUTHERN (Μ. Βρετανία). Η ηλεκτρική ισχύς προς κι από το τρέινο, μεταφέρεται με το σύστημα της τρίτης ράγας στα 750 V DC. Αρκετά μετρό επίσης έχουν το ίδιο ή παρόμοιο σύστημα, όπως του Δελχί στην Ινδία, Του Όσλο στη Σουηδία και αλλού.

- Φόρμουλα ένα:

Την αγωνιστική χρονιά του 2009 επιτράπηκε πρώτη φορά στις συμμετέχουσες ομάδες να τοποθετήσουν προαιρετικά ένα σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας (KERS), ώστε ή ενεργεία που θα χανόταν στο φρενάρισμα να αποθηκεύεται προσωρινά και να χρησιμοποιείται μετά, κατά την επιτάχυνση ή οπού άλλου κρίνει ο οδηγός. Κάποιοι κατασκευαστές ανέπτυξαν συστήματα αποθήκευσης ενεργείας σαν ηλεκτρικό φορτίο σε μπαταρίες, ενώ υπάρχει και σύστημα που αποθηκεύει την ενεργεία μηχανικά περιστρέφοντας ένα προστατευμένο βαρύ τροχό σε υψηλές στροφές/λεπτό, ακολουθώντας τη λογική ότι ενέργεια = γωνιακή ταχύτητα Χ μάζα. Ένα σύστημα κουρδίσματος θα λέγαμε, με τη χρήση των πίσω κινητήριων τροχών τους.

- Αυτοκίνητα:

Είναι η κατηγορία των υβριδικών αυτοκινήτων που βασίζονται στη χρήση ηλεκτροκινητήρων για εξοικονόμηση καύσιμων. Κάνουν ωφέλιμη πέδηση και συνεργάζονται με το συμβατικό κινητήρα, δίνοντας υποβοήθηση στην επιτάχυνση του αυτοκινήτου, μειώνοντας το κόστος σε καύσιμα και τη περιβαλλοντική μόλυνση. Ιδανικό για μέσα στη πόλη που γίνονται συνέχεια σταματήματα και εκκινήσεις.

Γνωρίζοντας αυτές τις εφαρμογές, δε θα μπορούσαμε να αφήσουμε αναξιοποίητη τη δυνατότητα να κάνουμε ωφέλιμη πέδηση και στο δικό μας ηλεκτρικό ποδήλατο, αποθηκεύοντας ένα μέρος της ενέργειας, όπως όταν φρενάρουμε σε μια μεγάλη κατηφόρα συνέχεια.

## 2. Δομικά στοιχεία ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Τα βασικά δομικά στοιχεία αυτού του συστήματος είναι το ηλεκτρικό μοτέρ, το πακέτο μπαταριών, ο ηλεκτρονικός ελεγκτής και τα διάφορα κουμπιά ελέγχου.

### 2.1. Κατηγορίες ηλεκτρικών συσσωρευτών.

Η μπαταρία είναι μια συσκευή που με χημικό τρόπο αποθηκεύει και ελευθερώνει ηλεκτρική ενέργεια. Χωρίζονται σε πρωτογενείς (δηλαδή μιας χρήσης) και τις επαναφορτιζόμενες που τις που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως εδώ που θέλουμε να επαναφορτίζουν.

Για να έχουμε τη δυνατότητα διαρκούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις λεγόμενες μπαταρίες έλξης. Μπαταρίες δηλαδή με μεγάλη χωρητικότητα C σε Αμπέρ \* ώρες (AH), ώστε να έχουν τα οχήματα περισσότερη αυτονομία, πριν χρειαστεί να επαναφορτιστούν. Επίσης η λέξη "έλξη" μας δίνει να καταλάβουμε πως τα ρεύματα που καλούνται να αποδώσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα οι μπαταρίες, είναι πολύ μεγάλα λόγω των ηλεκτροκινητήρων.

Αν και συνήθως το μέγεθος που δίδεται για να εκφράζει την ενεργειακή χωρητικότητά είναι τα AH, η ενεργειακή χωρητικότητά αντιστοιχεί σε Watt\*ώρα (WH) που ουσιαστικά είναι 1 Joule / 3600 (δευτερόλεπτα). Με τα AH που αναγράφονται στα στοιχεία κάθε μπαταρίας, μπορούμε να εκτιμήσουμε για πόση ώρα θα έχουμε αυτονομία, έχοντας ένα σταθερό ρεύμα αποφόρτισης. Οι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας για τη καλύτερη επιλογή μπαταρίας είναι το βάρος, το κόστος και η εσωτερική τους αντίσταση. Το τελευταίο χαρακτηριστικό έχει σημασία για το πόσες φορές των AH τους μπορεί να είναι το μέγιστο ρεύμα εξόδου, στην ενεργειακή αποδοτικότητα κατά τη φόρτιση-αποφόρτιση και στη δυνατότητα ταχείας επαναφόρτισης με μεγάλα ρεύματα για σύντομο χρονικό διάστημα (ωφέλιμη πέδηση).

Άλλοι παράγοντες είναι ο ρυθμός αποφόρτισης χωρίς φορτίο (%/μήνα αχρησίας) και η περιβαλλοντική τους επιβάρυνση. Επειδή τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να μεταφέρουν και το βάρος της μπαταρίας, προτιμάμε οποία έχει καλή σχέση ενεργειακής χωρητικότητας/βάρος (WH/kg).

Από τα στοιχεία του φορτίου (μοτέρ) βρίσκουμε τη τάση και το ρεύμα τροφοδοσίας του. Στη δική μας περίπτωση είχαμε ένα μοτέρ με ονομαστική τάση 24VDC και μέγιστο ρεύμα 12A. Εφόσον θα γίνεται υποβιβασμός της τάσης που προορίζεται για το μοτέρ, βάζουμε μπαταρία με ονομαστική μέγιστη τάση 36V.

Όπως είπαμε για το μέγιστο ρεύμα εξόδου, πρέπει είναι όσο γίνεται περισσότερων AH, διότι αν αντληθεί μεγάλο ρεύμα από μπαταρία με λιγότερα AH, τότε θα έχουμε υπερθέρμανση μέσα στο ίδιο το χημικό διάλυμα της μπαταρίας. Αυτό σημαίνει θερμικές απώλειες ισχύος, ταχύτερη φθορά ή κίνδυνος άμεσης καταστροφής της.

Οι πιθανοί συνδυασμοί μπαταριών σύμφωνα με τα παραπάνω είναι οι εξής:

- Μια μπαταρία: Αυτό είναι δυνατό να γίνει στη περίπτωση που μια μπαταρία μόνη της, καλύπτει τις ανάγκες μας.
- Σε σειρά δύο ή περισσότερες μπαταρίες. Αυτό γίνεται για να αθροιστούν οι ονομαστικές τους τάσεις.
- Παράλληλα δύο ή περισσότερες μπαταρίες. Εδώ αθροίζονται τα AH.
- Συνδυασμός παράλληλα και σειριακά συνδεδεμένων μπαταριών.

Προϋπόθεση για να συνδυαστούν μεταξύ τους είναι του ίδιου ηλεκτροχημικού τύπου και ίδιας ονομαστικής τάσης και ΑΗ. Ο συνδυασμός πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική εκτίμηση των αναγκών μας, διότι χρησιμοποιώντας περισσότερες μπαταρίες, αυξάνουμε τον όγκο, το βάρος και το κόστος του συνολικού πακέτου μπαταριών. Στα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να τοποθετηθούν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με μια από τις παρακάτω ηλεκτροχημικές συνθέσεις:

➤ Μολύβδου - οξέος κλειστού τύπου (Lead-Acid):

Ο πιο παλιός τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Εφευρέθηκε το 1859 και από τότε συνεχώς βελτιώνεται. Χρησιμοποιείται κυρίως στα πετρελαιοκίνητα οχήματα για την εκκίνηση του κινητήρα, λόγω των κορυφώσεων ρεύματος που μπορούν να αποδώσουν. Πρέπει να συμπληρώνονται εξαιτίας της αεριοποίησης των υγρών που προκαλεί η ηλεκτρόλυση (από τα απότομα ρεύματα), ενώ τοποθετούνται μόνο σε όρθια θέση.

Για τα ηλεκτρικά οχήματα σαν μπαταρία έλξης, χρησιμοποιούμε τις κλειστού τύπου SLA (Sealed lead acid), με gel πυριτίου ή ίνες γυαλιού στο διηλεκτρικό. Με τον όρο "κλειστού τύπου" εννοούμε ότι είναι σφραγισμένες και δεν γίνεται παρέμβαση στα υγρά τους, κάνοντας την πιο εύκολη και ασφαλή στη χρήση από την ανοιχτού τύπου. Οι οξέος-μολύβδου σχετικά χαμηλή τιμή αγοράς και μπορούν να αποδώσουν μεγάλα ρεύματα. Έχουν όμως το χαμηλότερο βαθμό ενεργειακής χωρητικότητας/βάρος και υψηλή τοξικότητα λόγω του μολύβδου.

➤ Νικελίου-Καδμίου(Ni-Cd):

Εφευρέθηκαν το 1899 για καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα/βάρος σε σχέση των οξέος-μολύβδου. Μετά από δεκαετίες εξέλιξης έγιναν ευρέως εμπορικά διαθέσιμες το 1960, ενώ υπάρχει πρόβλεψη αυτό να σταματήσει, εξαιτίας της υψηλής τοξικότητας του καδμίου που περιέχουν. Μπορούν να αποδώσουν μεγάλα ρεύματα εξαιτίας της χαμηλής εσωτερικής τους αντίστασης. Παρουσιάζουν το φαινόμενο της "μνήμης", δηλαδή την απώλεια της δυνατότητας να φορτίζουν στο 100% της χωρητικότητας τους αν δεν αποφορτίζονται πλήρως για αρκετούς επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης. Ένα άλλο θέμα είναι η απότομη πτώση της τάσης λίγο πριν την πλήρη αποφόρτιση, γεγονός που δυσκολεύει τη πρόβλεψη της αυτονομίας με τη χρήση απλού βολτομέτρου. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές με υψηλή απαίτηση σε ρεύμα όπως φώτα ασφαλείας, φορητές ηλεκτρικές σκούπες αναρρόφησης, βιντεοκάμερες και άλλου.

➤ Νικελίου -Υδριδίου - Μετάλλου(NiMH):

Εφευρέθηκαν τη δεκαετία του 1960 κι έγιναν εμπορικές τη δεκαετία του 1980. σε σχέση με τις Ni-Cd, έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά όπως ενεργειακή χωρητικότητα/βάρος. Έχουν όμως μεγαλύτερη εσωτερική αντίσταση και τον πιο υψηλό ρυθμό αποφόρτισης σε αχρησία, ενώ κι εδώ η καμπύλη αποφόρτισης πέφτει απότομα. Χρησιμοποιούνται περισσότερο σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές που δεν απαιτούν μεγάλα ρεύματα όπως κινητά τηλέφωνα.

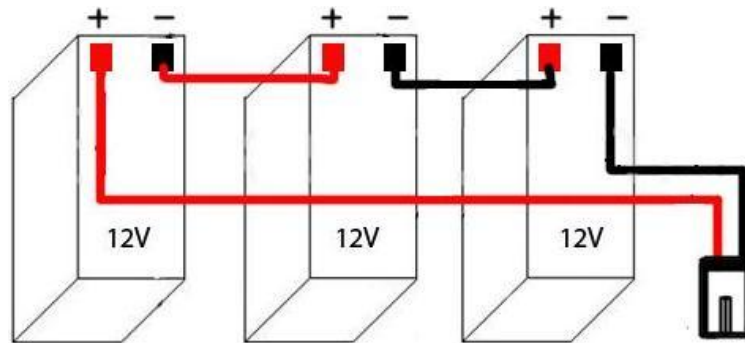
➤ Ιόντων λιθίου (Li-ion):

Εφευρέθηκαν τη δεκαετία του 1970 κι έγιναν εμπορικές τη δεκαετία του 1990. Σε σχέση με τις NiMH έχουν πολύ μικρό ρυθμό αποφόρτισης σε αχρησία. Έχουν κι αυτές πολύ καλό συντελεστή ενεργειακής χωρητικότητας/βάρος και υψηλή εσωτερική αντίσταση, πράγμα που τις κάνει κατάλληλες για παρόμοιες εφαρμογές όπως φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα κι άλλα.

Για εφαρμογές μεγάλης ισχύος αναπτύσσεται η τεχνολογία μιας άλλης εκδοχής τους, αυτής του λιθίου – πολυμερών (Li-Po). Ο σκοπός με αυτές είναι να συνδυαστεί το χαμηλό τους βάρος, με τη δυνατότητα που έχουν να αποδίδουν μεγάλα ρεύματα όπως οι οξέος-μολύβδου. Γίνονται προσπάθειες ακόμα και να υποκαταστήσουν τις τελευταίες. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η υψηλή τους τιμή.

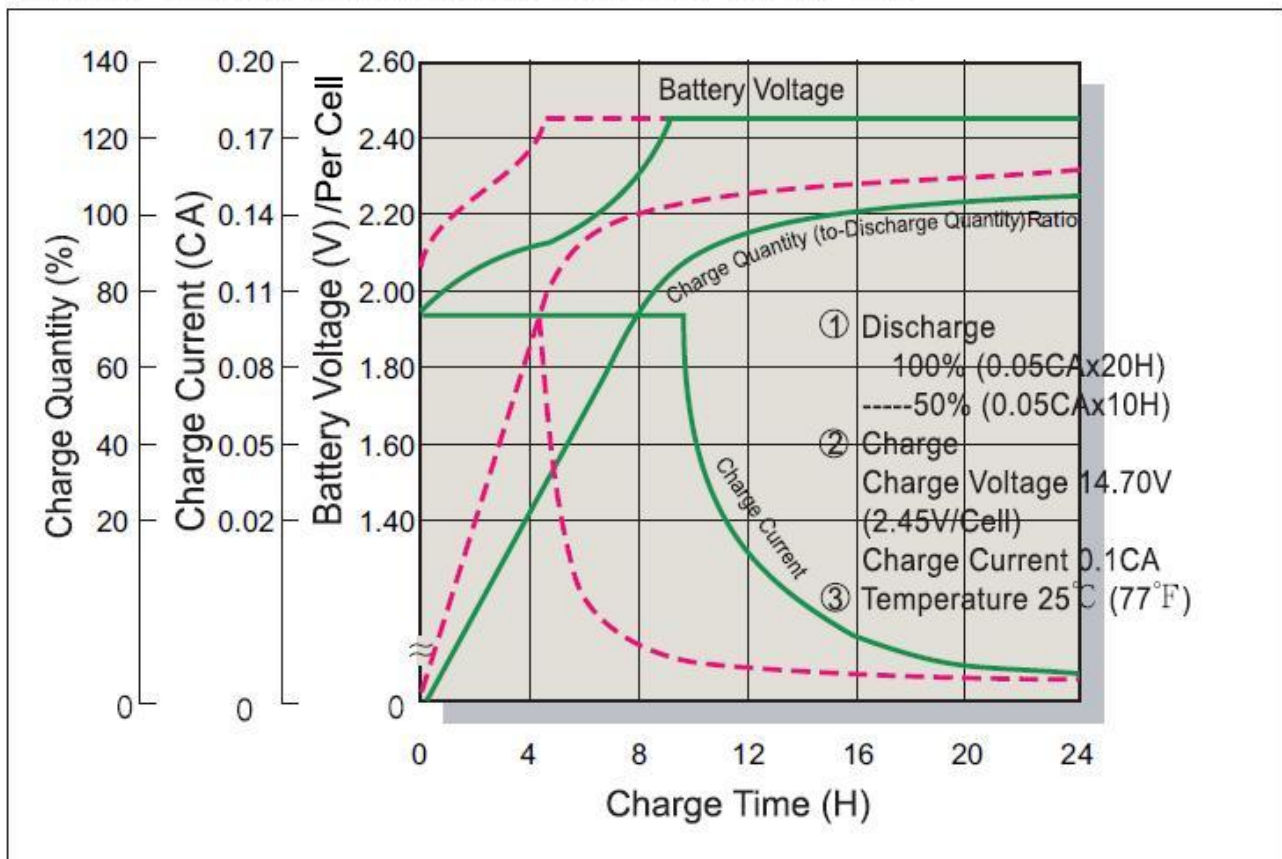
Θεωρούμε πως δεν έχει νόημα να συγκρίνουμε τα κόστη τους, ούτε να αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά εκτενώς, καθώς η τεχνολογία των μπαταριών και οι διάφορες παράμετροι τους, βελτιώνονται συνέχεια. Η μαζική παραγωγή και οι καινοτομίες που παρουσιάζονται, μειώνουν τις τιμές στις τεχνολογίες που σήμερα είναι υψηλές.

Να υπενθυμίσουμε πως όλα τα είδη μπαταριών πρέπει να τα πάμε στα σημεία συλλογής για ανακύκλωση και να μη τις πετάμε ανεξέλεγκτα όταν χαλάσουν. Επίσης να έχουμε υπόψη ότι φορτιστούν - αποφορτιστούν με ρεύματα μεγαλύτερα από τα συνιστώμενα, μπορεί να παραχθούν αέρια που προκαλούν ακόμα και τη ρήξη τους.



Εικόνα 2.1: Η συστοιχία SLA μπαταριών του οχήματος.

### Battery Voltage and Charge Time for Cycle Use



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα κυκλικής φόρτισης SLA.

Για τη δική μας κατασκευή θα προτείνουμε 3 μπαταρίες SLA σε σειρά με ονομαστική τάση 12V (για να πετύχουμε τα 36V που χρειαζόμαστε) και 7,2 AH η κάθε μία. Αν κι έχουν τη μικρότερη αναλογία σε WH/Kg, είναι σε γενικές γραμμές πιο φθηνές, η πιο δοκιμασμένη τεχνολογία, έχουν χαμηλή αποφόρτιση σε αχρησία, απλή μέθοδο φόρτισης, πιο φθίνουσα καμπύλη αποφόρτισης, αποδίδουν εύκολα μεγάλα ρεύματα και επιδέχονται ταχείες φορτίσεις.

Οι παρακάτω πληροφορίες παραθέτονται για οποιούς αποφασίσουν να ασχοληθούν με τη σχεδίαση και του φορτιστή των μπαταριών. Ο καλύτερος τρόπος για να τις κρατήσουμε σε καλή κατάσταση και να έχουμε τη μέγιστη μακροζωία τους, είναι να κάνουμε καλή χρήση. Πρέπει δηλαδή να ακολουθηθούν τα διαγράμματα φόρτισης και αποφόρτισης που δίνει κάθε κατασκευαστής όσο πιο πιστά γίνεται. Όποιος δεν έχει την εμπειρία ή τη διάθεση για να αναλάβει αυτό το ρίσκο, μπορεί να αγοράσει έναν έτοιμο φορτιστή, για οποιαδήποτε χαρακτηριστικά και ηλεκτροχημικό τύπο μπαταρίας.

Η παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη είναι των τάσεων και των ρευμάτων για ένα στοιχείο SLA. Ισχύουν σε γενικές γραμμές, για τις SLA όλων των κατασκευαστών με μικροδιαφορές ίσως μεταξύ τους.

### 2.1.1. Οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν κατά την φόρτιση.

Κάθε ολοκληρωμένη 12V SLA μπαταρία σαν αυτή που προτείνουμε, έχει 6 τέτοια στοιχεία σε σειρά. Η ονομαστική τάση τους είναι 2V, άλλα θεωρείται φορτισμένο όταν η τάση έχει φτάσει πάνω από τα 2,2V. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε την υποσημείωση της μέγιστης τάσης φόρτισης στα 14,7V ή 2,45V ανά στοιχείο. Είναι η μέγιστη τάση που επιδέχεται.

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες έχουν δύο χρήσεις. Αναμονής (standby) και κυκλική (cycle). Η κυκλική χρήση είναι για εφαρμογές συνεχούς φόρτισης - αποφόρτισης όπως εδώ. Η χρήση αναμονής γίνεται σε εφαρμογές όπως φώτα ασφάλειας και UPS, που πρέπει να έχουν ενέργεια για να λειτουργήσουν ακόμα κι αν κοπεί η κανονική παροχή ρεύματος. Αυτή η χρήση έχει λίγο διαφορετικό διάγραμμα φόρτισης, επειδή τότε δίνουμε περίπου 0,5V λιγότερο ανά στοιχείο. Είναι η χρήση που φθείρει μια μπαταρία γρηγορότερα.

Μια SLA φορτίζεται με σταθερό ρεύμα ως ότου να φτάσει τη μέγιστη τάση φόρτισης. Μόλις γίνει αυτό, τότε η διαδικασία συνεχίζεται με σταθερή τάση, με το ρεύμα φόρτισης να φθίνει μέχρι να μηδενιστεί. Για να εξασφαλιστεί ή μακροζωία της πρέπει να ο φορτιστής να έχει τους ανάλογους αυτοματισμούς ώστε:

- Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης να μη ξεπερνά τα 0,1 των AH τους. Λιγότερο ρεύμα σημαίνει λιγότερη επίδραση της εσωτερικής αντίστασης.
- Να μη ξεπερνιέται η μέγιστη τάση.
- Μόλις η μπαταρία φορτιστεί να σταματάει η τροφοδοσία, παρακολουθώντας το ρεύμα φόρτισης (να είναι στα  $0,07 * C$  για πάνω τρεις ώρες).
- Αν για κάποιο λόγο η τάση έχει πέσει κάτω από 1,75V ανά στοιχείο, να δίνεται πολύ μικρό ρεύμα ( $0,01 * C$ ). Μόλις φτάσει τα 1,75V η διαδικασία φόρτισης ξεκινά κανονικά όπως προαναφέραμε.

Το καλύτερο είναι να φτιάξουμε ένα σύστημα με switching χαρακτηριστικά, ώστε να μη σπαταλιέται ισχύς πάνω στους ημιαγωγούς του ηλεκτρονικού κυκλώματος, που κάνουν τον έλεγχο της παρεχόμενης ισχύος, ενώ αποφεύγεται και η χρήση του βαρύτερου μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (50 Hz δικτύου ηλεκτροδότησης).

Υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο της ταχείας φόρτισης, δηλαδή της σύντομης επαναφόρτισης με μεγαλύτερο ρεύμα. Όπως προείπαμε αυτό το κάνουμε στην ωφέλιμη

πέδηση που πρέπει σε λίγο χρονικό διάστημα να συλλέξουμε όσο πιο πολύ ενέργεια μπορούμε. Συνίσταται για τις SLA αυτό το ρεύμα να μην υπερβαίνει το  $1/3 * C$ .

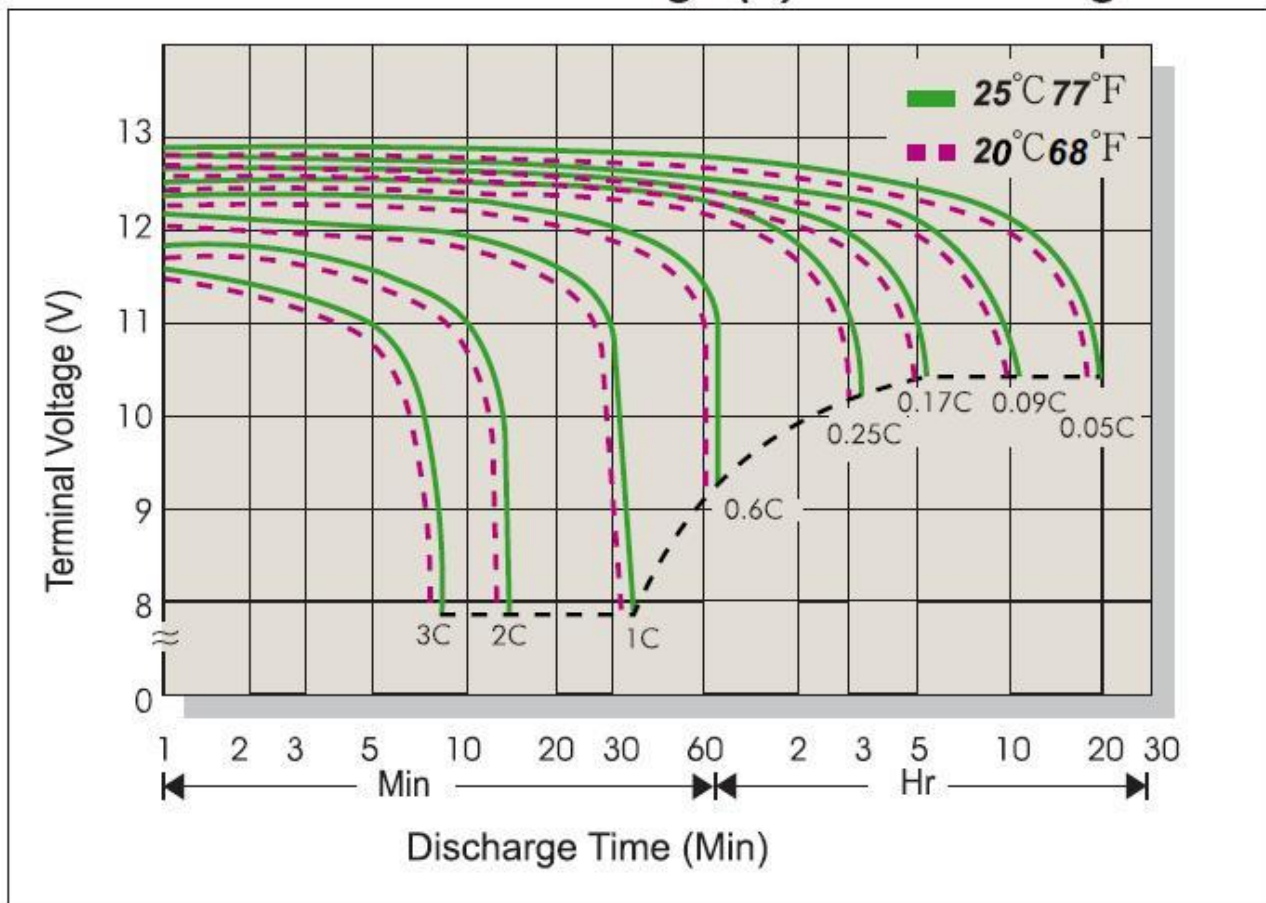
### 2.1.2. Οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν κατά την αποφόρτιση.

Για να αξιοποιήσουμε με το καλύτερο τρόπο την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί μέσα στη μπαταρία, πρέπει όσο γίνεται να ακολουθηθούν κάποιοι γενικοί κανόνες. Η σχεδόν ιδανική αποφόρτιση γίνεται με σταθερό ρεύμα  $0,05$  των AH μπαταρίας με την άντληση διαρκεί για  $20$  ώρες. Αυτό είναι και το σημείο αναφοράς. Σε μεγαλύτερα ρεύματα άντλησης, η παροχή δεν μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα αλλά εκθετικά διότι επιδράει η εσωτερική αντίσταση της, προκαλώντας παραπάνω θερμικές απώλειες ισχύος ( $P_{Loss}=I^2R$ ).

Επειδή στη πράξη δε μας αρκεί αυτός ο ρυθμός αποφόρτισης, επιτρέπεται να αντλήσουμε ένα ρεύμα μέχρι  $0,4$  φορές τα AH. Πάνω από τα  $0,5$  έχουμε πολύ μεγάλες θερμικές απώλειες ενώ τίθεται σε κίνδυνο η μακροζωία της μπαταρίας. Για αυτό αν είναι αναγκαίο να αντλήσουμε μεγαλύτερο ρεύμα, επιλέγουμε μια με περισσότερα AH.

Το παρακάτω διάγραμμα αποφόρτισης δείχνει τη διαφορά τάσης στους πόλους της μπαταρίας, σε συνάρτηση διαφόρων σταθερών ρευμάτων άντλησης.

### Terminal Voltage (V) and Discharge Time

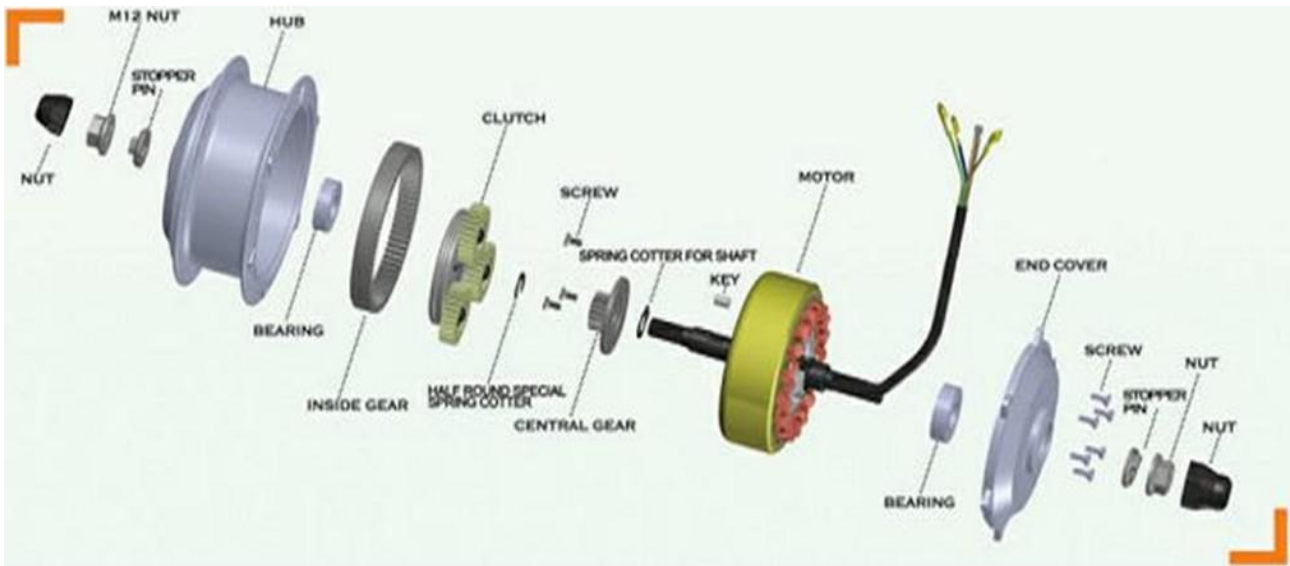


Εικόνα 2.3: Διάγραμμα αποφόρτισης SLA 12V.

Τελείως αφορτιστή η μπαταρία θεωρείται στα  $1,75V$  ανά στοιχείο,  $10,5V$  για μια  $12V$  μπαταρία και  $31,5V$  για τη συστοιχία μας. Αν πέσει κάτω από το  $1V$ /στοιχείο, κρύσταλλοι θειικού μολύβδου επικαθονται στα ηλεκτρόδια. Η μπαταρία θεωρείται γερασμένη όταν δεν αποθηκεύει πια παραπάνω από  $60\%$  της ονομαστικής της χωρητικότητας.



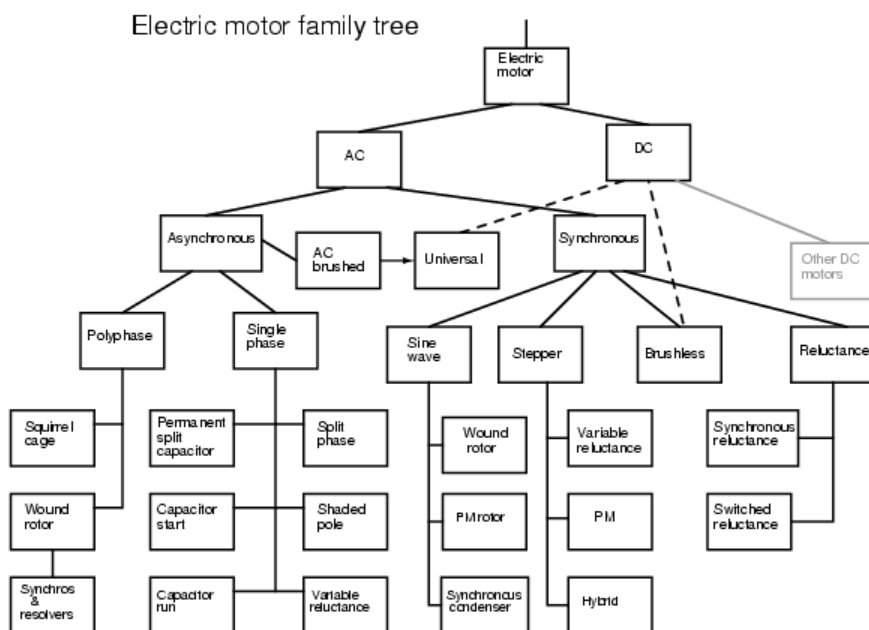
## 2.2. Ηλεκτρικός κινητήρας.



Εικόνα 2.4: BLDC πλήμνη σε τομή.

Το καταλληλότερο μοτέρ που ταιριάζει σε ένα ποδήλατο είναι μια τυποποιημένη BLDC πλήμνη στη βάση του τροχού όπως βλέπουμε στο σχήμα 2.4. Εδώ έχουμε την ανάλυση ενός BLDC (μοτέρ συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες) hub. Το "MOTOR" είναι ο κινητήρας, με τους μόνιμους μαγνήτες στο ρότορα και τα τυλίγματα στο στάτορα. Η κίνηση μεταδίδεται στη πλήμνη (HUB) με γρανάζια. Τοποθετούνται στο μπροστινό ή το πίσω τροχό.

Η κατασκευή θυμίζει μια πατέντα του Jesse D. Tucker, με αριθμό καταχώρησης US2,514,460, 11 Ιουλίου 1950. Ο εφευρέτης πρότεινε για τα ποδήλατα, τα σκούτερ κι άλλα τροχοφόρα, να τοποθετείται μια συμπαγής, ελαφριά πλήμνη στη βάση των τροχών και που θα περιέχει το ηλεκτρικό μοτέρ και συστήματα γραναζιών όπως διαιρέτη στροφών.



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα - δέντρο που απεικονίζει σε ποια κατηγορία κατατάσσονται

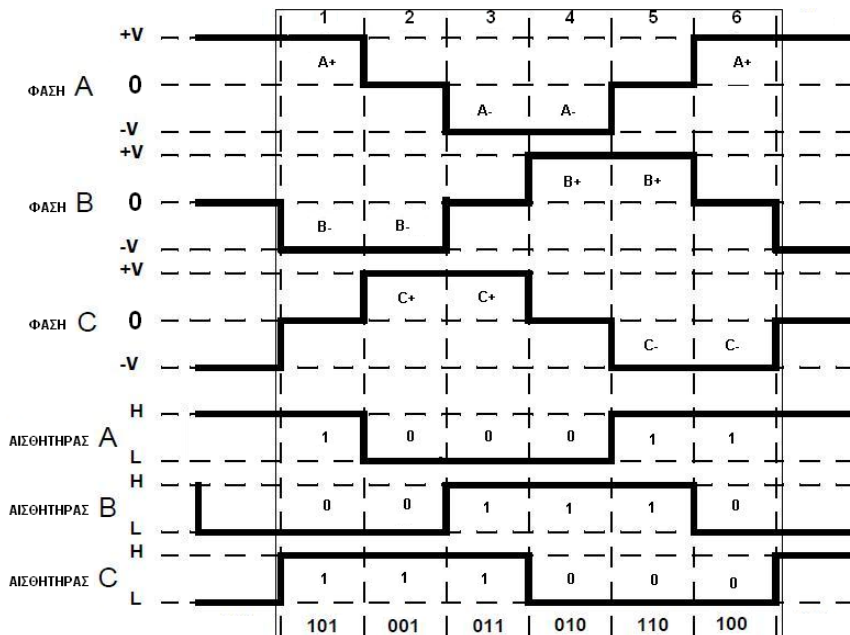
οι ηλεκτρικοί κινητήρες brushless DC.

Το BLDC έχει ίδια χαρακτηριστικά σχέσης ροπής - ταχύτητας με ένα συμβατικό DC μοτέρ. Διαφέρει όμως κατασκευαστικά και λειτουργικά. Είναι ένα είδος βηματικού κινητήρα που δέχεται τροφοδοσία παρόμοια με πολυφασικό εναλλασσόμενο ρεύματος μοτέρ. Με το να είναι τα τυλίγματα του μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου στο στάτορα, αποφεύγεται η χρήση ψηκτρών για τη τροφοδοσία του ρότορα και κατά συνέπεια οι απώλειες ισχύος εξαιτίας τους (τριβές, σπινθηρισμοί, ωμική αντίσταση).

Όλα αυτά σημαίνουν πως για να γίνει η περιστροφή του άξονα, χρειάζεται ένας αναστροφέας DC για να γίνουν οι εναλλαγές του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του. Διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες Hall στον άξονα, που δίνουν κωδικοποιημένες πληροφορίες της γωνιακής θέσης του. Την επεξεργασία των πληροφοριών τη κάνει ένας μικροελεγκτής (εδώ ένας 8051) κι έτσι επιτυγχάνεται ακριβής έλεγχος των βηματισμών. Άλλα οφέλη των BLDC σε σχέση με τα συμβατικά DC μοτέρ είναι ότι έχουν ελάχιστες φθορές - συντήρηση, μικρότερο βάρος και όγκο, χαμηλά επίπεδα θορύβου και είναι στεγανά καθώς δεν απαιτούν τρύπες εξαερισμού, που θα αφήναν εκτεθειμένο στη σκόνη και την υγρασία το εσωτερικό του. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα προσφέρουν περισσότερη αξιοπιστία και κάνουν δυνατή την υλοποίηση τέτοιων εξειδικευμένων κατασκευών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για να έχουμε τη δυνατότητα της ωφέλιμης πέδησης, πρέπει να επιλέξουμε μοτέρ το οποίο να μην έχει μηχανισμό που να το αφήνει να κινηθεί ελεύθερα μπροστά όταν δε κάνουμε πετάλι (καστάνια), όπως γίνεται με τα κλασικά ποδήλατα.

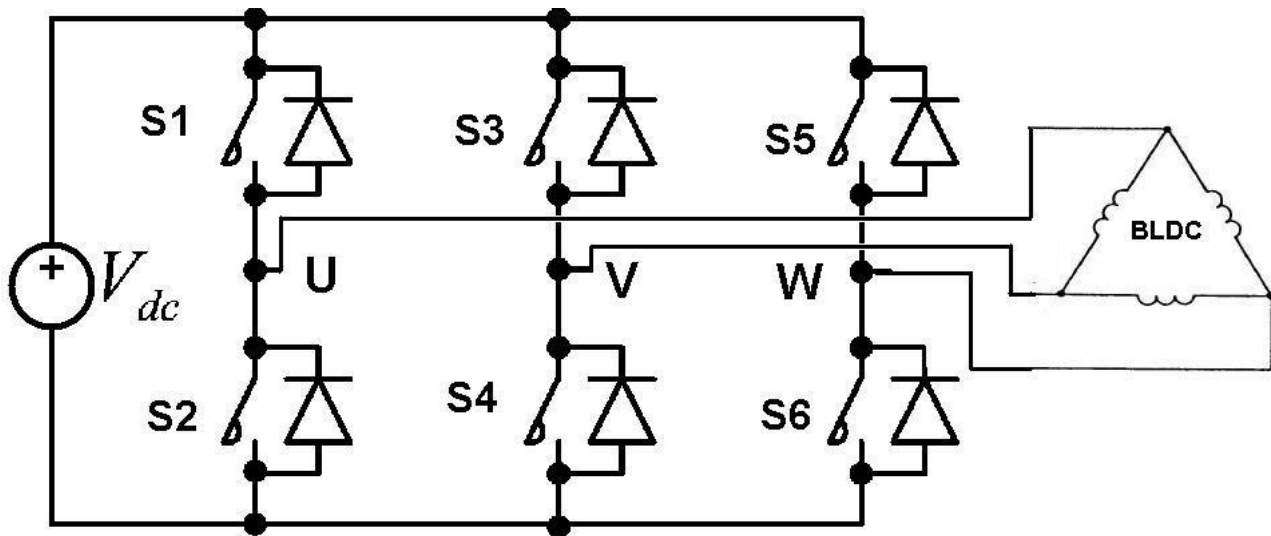
Όπως είπαμε και πριν, υπάρχει μια σχέση που συνδέει την απαιτούμενη διέγερση με τη θέση του ρότορα. Πρέπει λοιπόν κατά στη σύνταξη του προγράμματος του 8051, να γνωρίζουμε το διάγραμμα ηλεκτρικής διέγερσης συναρτήσει των εξόδων αισθητήρων Hall. Αυτό είτε μας το δίνει ο κατασκευαστής, είτε θα πρέπει να το βρούμε μονοί μας. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 2.5) έχουμε ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει ένα BLDC τριών φάσεων (A-B-C) τροφοδοσίας του και ανάδραση Hall με 6 πιθανούς αριθμούς με τιμή από 1 ως 6 (Ηλεκτρικός κύκλος σε τμήματα των  $60^\circ$ ).



Εικόνα 2.6: Πίνακας αλληλουχίας ηλεκτρικών διεγέρσεων BLDC.

Για να ολοκληρωθούν οι περίοδοι όλων των φάσεων πρέπει να γίνουν οι 6 μεταγωγές που με τη σειρά που δείχνει. Αυτή η ακολουθία επαναλαμβάνεται συνεχώς.





Εικόνα 2.7: Τριφασική γέφυρα.

Αυτό που δείχνει εν τέλει το παραπάνω σχήμα, είναι πως για μια από αυτές τις πολώσεις, ο τροχός θα κλειδώσει σε μια θέση και οι αισθητήρες Hall θα επιστρέψουν μια συγκεκριμένη τιμή. Άρα για να κινηθούμε μπροστά πρέπει το πρόγραμμα να δώσει την μεθεπόμενη διέγερση ( $120^\circ$  διαφορά) σε σχέση με τη τιμή που έλαβε.

Εδώ το πρόγραμμα γράφτηκε για να ακολουθάει το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 2.5) θεωρώντας πως η φορά προς τα μπρος είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά του. Αν τύχει και δεν έχουμε αυτό το διάγραμμα, για το μοτέρ που έχουμε στη διάθεση μας δίνουμε όλες τις πιθανές διεγέρσεις με τροφοδοτικό DC καταγράφοντας την έξοδο των Hall αισθητήρων, καθώς και σωστή τη φορά των εναλλαγών.

Στην Εικόνα 2.6 βλέπουμε μια τυπική τριφασική γέφυρα αναστροφής για αυτά τα μοτέρ που συνήθως είναι τριφασικά. Για να αποκτήσει κάθε φάση θετική πολικότητα πρέπει να κλείσει ο πάνω διακόπτης ή ο κάτω για αρνητική. Για ουδέτερη πολικότητα τότε ανοιχτοί οι διακόπτες πάνω και κάτω.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι πόσες τέτοιες ολοκληρωμένες φάσεις χρειαζόμαστε για μια περιστροφή του τροχού. Είναι δύσκολο να το ξέρουμε από την αρχή διότι αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων και των φάσεων που έχει το κάθε BLDC, καθώς κι αν έχει κάποιο μηχανισμό διαίρεσης στροφών. Αυτό μπορούμε να το μετρήσουμε δίνοντας πάλι μια DC ηλεκτρική διέγερση στο μοτέρ επιλέγοντας τυχαία μια από τις 6 πιθανές πολώσεις των τυλιγμάτων. Μόλις "κλειδώσει" ο τροχός σε μία θέση, τότε προσπαθούμε να υπερνικήσουμε την αντίσταση του τροχού για να μετακινηθεί ένα βήμα πιο μπροστά και να κλειδώσει ξανά στην επόμενη θέση ισορροπίας. Αυτό σημαίνει πως μεταπήδησε μια δάδα μεταγωγών. Μετράμε λοιπόν πόσες μεταπηδήσεις χρειάζονται για μια πλήρη περιστροφή του τροχού.

Όλες αυτές οι δοκιμαστικές διεγέρσεις πρέπει να γίνονται με προσοχή, δηλαδή πρώτα να μετρήσουμε την ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων κι έπειτα να τους δώσουμε ένα DC ρεύμα από 1 ως 3 αμπέρ.

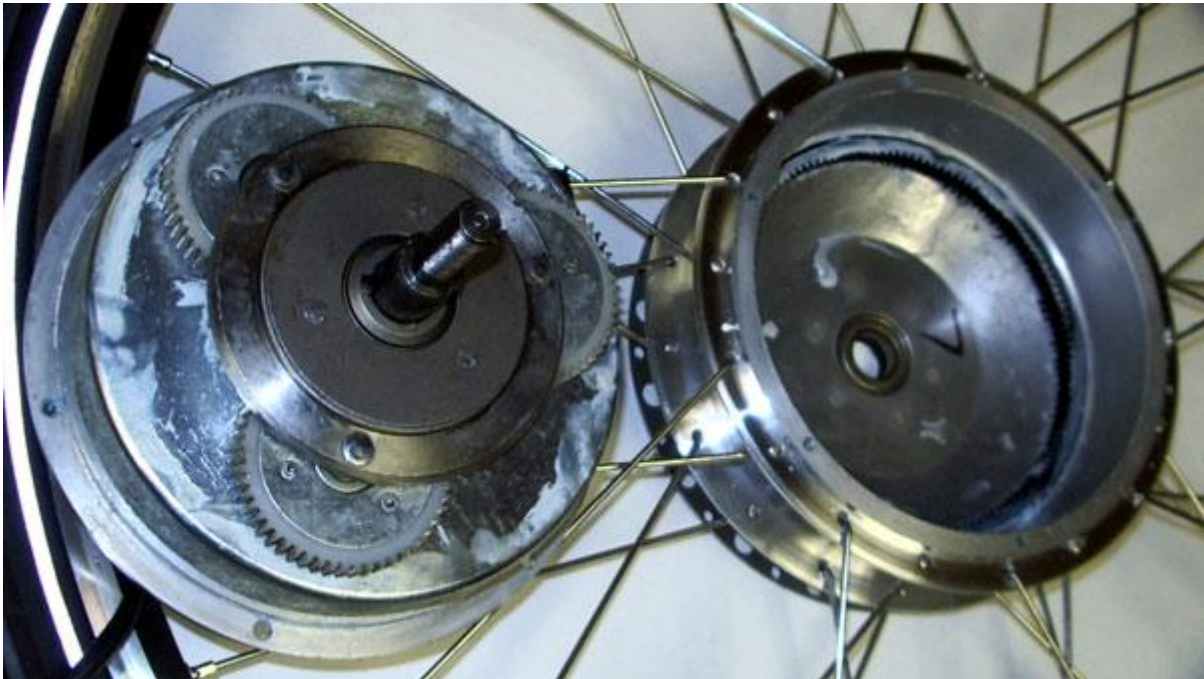
Με το να γνωρίζουμε αυτά τα δεδομένα μπορούμε να υπολογίσουμε τους σταθερούς αριθμούς που χρειάζεται το κομμάτι του προγράμματος, που υπολογίζει ανά πάσα στιγμή παράγοντες όπως στροφές ανά λεπτό του τροχού, (εδώ το λέμε υπορουτίνα επεξεργασίας) αξιοποιώντας τα σήματα HALL.

Θα δώσουμε ως παράδειγμα τους υπολογισμούς που κάναμε εδώ που καταλήξαμε στα 25χλμ/ώρα μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα με μετρημένες 72 εξάδες μεταγωγών

(φάσεις) ανά περιστροφή και τροχούς στις 26" (0.67 μέτρα) διάμετρο:

- 25χλμ/ώρα=6.94 μέτρα/δευτερόλεπτο.
- μια περιστροφή καλύπτει  $0.67\mu * \pi = 2.1$  μέτρα/στροφή.
- για να διανυθούν τα 25χλμ/ώρα πρέπει να γίνουν 3,3 στροφές το δευτερόλεπτο.  $(6.94 \text{ μετρά}/\text{δευτερόλεπτο}) / (2.1 \text{ μέτρα}/\text{στροφή})$ .
- κάθε 3,3 στροφές/δευτερόλεπτο γίνονται 237,6 εξάδες μεταγωγών/δευτερόλεπτο ή 1425,6 μεταγωγές/ δευτερόλεπτο.
- Η δειγματοληψία από τον 8051 γίνεται κάθε 1/10 δευτερόλεπτα, άρα μετράμε περίπου 142,56 μεταγωγές (143 στρογγυλά) σε αυτό το χρονικό διάστημα.
- Χωρίζοντας τις σε 4 κομμάτια μετράμε 35,64 μεταγωγές (36 στρογγυλά) για ταχύτητα ανά 6,25 χλμ/ώρα

Τα κριτήρια για να καταλήξουμε στη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι οι προβλεπόμενοι νόμοι σε κάθε χωρά για αυτά τη μέγιστη ταχύτητα των ηλεκτρικά υποβοηθούμενων οχημάτων. Για την ευρωπαϊκή ένωση είναι τα 25 χιλιόμετρα ανά ώρα.



Εικόνα 2.8: Φωτογραφία του εσωτερικού ενός BLDC HUB όπου διακρίνονται τα γρανάζια του διαιρέτη στροφών ενώ το BLDC μοτέρ βρίσκεται στην εσοχή του μεταλλικού περιβλήματος πίσω από τα γρανάζια.

### 2.3. Κεντρικός ελεγκτής.

Ο κεντρικός ελεγκτής είναι το κουτί που περιέχει τον επεξεργαστή και τα ηλεκτρονικά ισχύος και το θέμα που αναλύουμε για μελέτη - κατασκευή. Είναι το κομμάτι που μας παρέχει ότι αυτοματισμό χρειάζεται για να λειτουργήσει το σύστημα. Πάνω σε αυτό το κουτί, γίνονται οι εξής συνδέσεις:

- Οι 2 πόλοι της μπαταρίας, με 2 power jack για μεγάλα ρεύματα.
- Η τριφασική έξοδος για το μοτέρ, με 3 power jack για μεγάλα ρεύματα.

- 5 power jack ασθενών σημάτων για τα καλώδια των αισθητήρων Hall . 2 για τη τροφοδοσία (γείωση και 5V), 3 για τα ψηφιακά σήματα που παράγουν.
- 3 power jack ασθενών σημάτων για τα καλώδια του ποτενσιόμετρου. Γείωση, 5 V και μεσαία λήψη για την αναλογική είσοδο του σήματος επιτάχυνσης.
- 2 power jack ασθενών σημάτων για το κουμπί της ενεργοποίησης της ωφέλιμης πέδησης.

Εκτός από τα παραπάνω, αυτά που θα δει κάποιος με μια ματιά πάνω στο κουτί και που τα αναλύουμε παρακάτω, είναι ο διακόπτης παροχής ρεύματος, ένα power jack για το φορτιστή και ένα βολτόμετρο. Πάνω σε αυτή τη μονάδα θα μπορούσε να μπει διακόπτης μηχανικού κλειδώματος ή πληκτρολόγιο αριθμών που να συνδέεται με το 8051 για ηλεκτρονικό κλείδωμα.

Όσον αφορά τους αισθητήρες Hall να τονίσουμε πως σε αυτή τη κατασκευή υπάρχουν κάποια πράγματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Κάποιοι κατασκευαστές ηλεκτρικών ποδηλάτων ισχυρίζονται πως ακόμα και αν βγουν εκτός οι αισθητήρες Hall, το ελεγκτής θα συνεχίσει να λειτουργεί χωρίς αυτούς για κάποια σταθερή ταχύτητα. Αυτό θα προσπαθήσουμε να υλοποιήσουμε κι εμείς.

Ένα άλλο θέμα είναι πως στους αισθητήρες Hall του Μοτέρ είναι ότι εδώ θεωρείται πως αποδίδουν καθαρά τα σήματα 0 και 5 volt που προαναφέραμε, για αυτό δεν υπάρχει και στο σχέδιο κάποιο κύκλωμα που να παρεμβάλλεται στα pin του επεξεργαστή που χρησιμοποιούνται σαν είσοδο σημάτων Hall. Αν απαιτείται θα πρέπει να προστεθεί βαθμίδα απομόνωσης, κωδικοποίησης ή ότι άλλο χρειαστεί για να "βλέπει" ο μικροελεγκτής αυτή την ανάδραση.

## 3. Σχεδίαση Κεντρικού Ελεγκτή.

Αποτελείται από το hardware που είναι το κομμάτι της κατασκευής που πρέπει να προβλεφθούν τα υλικά που χρειάζονται για να δουλέψει ο κεντρικός ελεγκτής όπως επιθυμούμε. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν θα τα χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες. Αυτά που τοποθετήθηκαν πάνω στη πλακέτα και φαίνονται στο σχηματικό παρακάτω κι αυτά που τοποθετήθηκαν επάνω στο κουτί ή αλλού.

### 3.1. Οδηγίες κατασκευής και υλικά συναρμολόγησης.

Προτείνεται το κουτί της κατασκευής να είναι ένα στεγανό πλαστικό ηλεκτρολογικό κουτί. Σε αυτή τη κατασκευή χρησιμοποιήσαμε ένα κουτί τοίχου της εταιρίας GEWISS, μοντέλο GW44007. Αντικαταστήσαμε το μαλακό πλαστικό σφράγισης που κάλυπτε τις οπές των ηλεκτρικών καλωδίων, με σκληρό επίπεδο πλαστικό. Η κόλληση έγινε με κόλλα σιλικόνης. Το πλαστικό είναι εύκολο στο να διατηρηθεί για εξαερισμό ή στερέωση των απαιτούμενων υποδοχών καλωδίων. Δεν αναμένονται να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες από τη λειτουργία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, ώστε το πλαστικό κουτί να παραμορφωθεί. Ωστόσο είναι ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Κατά τη σχεδίαση της πλακέτας, οι αγωγοί των μεγάλων ρευμάτων πρέπει να έχουν αρκετό πάχος. Εδώ σχεδιάστηκαν με 250 χιλιοστά της ίντσας, ενώ ενισχύθηκαν με επιπλέον μέταλλο από καλάι. Επίσης προσοχή οπου υπάρχουν υψηλές συχνότητες. Περαιτέρω ανάλυση σε παρακάτω κεφάλαιο.

Στα πλαίσια της εξοικονόμησης χρημάτων και της ενίσχυσης της ιδέας της ανακύκλωσης, χρησιμοποιήσαμε υλικά από άχρηστες ηλεκτρονικές συσκευές. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα υλικά που αποσπάσαμε από χαλασμένα τροφοδοτικά σταθερού υπολογιστή και απεικονίζονται στη φωτογραφία της :

- Καλώδια επιμερισμού της ισχύος εξόδου διαμέτρου 18 AWG (American Wire Gauge). Με τη διάμετρο του ενός χιλιοστού του μέτρου και το συνολικά ένα μέτρο μήκος καλωδίου που χρησιμοποιήθηκαν για εσωτερικές καλωδιώσεις ισχύος, δεν αναμένονται μεγάλες θερμικές απώλειες πάνω τους. Εκτιμώνται ως 2 Watt για το μέγιστο των 8 Ampere. Αν θέλουμε να τις μειώσουμε περισσότερο, τότε θα παραλληλίσουμε κι άλλα, μια που το υλικό είναι σε αφθονία.
- Πυρήνες φερριτικοί από πηνία, αφού τα καθαρίσουμε από τις περιελίξεις τους. Για τη συγκεκριμένη κατασκευή οι 2 αυτεπαγωγές των 330μH φτιάχτηκαν με περίπου 100 σπείρες από σύρμα περιελίξεων για ηλεκτρικούς κινητήρες, πάχους ενός mm. Τυλίχτηκαν πάνω σε τορροειδή πυρήνα διαμέτρου 3 cm και πάχους 1cm X 0,5cm. Με τη λέξη "περίπου" εννοούμε ότι για να επιτευχθεί η επιθυμητή αυτεπαγωγή δεν αρκεί να ξέρουμε μόνο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τον αριθμό των σπειρών. Εξαρτάται κι από το ίδιο το υλικό του πυρήνα. Επειδή χρειαζόμαστε δυο ίδιες αυτεπαγωγές των 330μH για τη βαθμίδα του υποβιβασμού τάσης, παίρνουμε δύο πυρήνες που τουλάχιστον εξωτερικά είναι ίδιοι και τείνουν στα χαρακτηριστικά που αναφέραμε πριν. Στη πράξη με μετρήσεις θα φανεί αν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Είναι μια διαδικασία που δεν την αποφεύγουμε διότι εκτός από το κόστος τους, αυτά τα εξαρτήματα είναι δύσκολο να βρεθούν να είναι στα μέτρα μας.
- Επίσης χρησιμοποιήσαμε ένα τορροειδή πυρήνα για την αυτεπαγωγή των 100μH του ανυψωτή τάσης. 30 σπείρες από το ίδιο σύρμα, διάμετρος πυρήνα 2,5cm, πάχος 1cmX0,5cm.
- Ψύκτρες αλουμινίου: Βρέθηκαν δύο όμοιες ψύκτρες με τρεις θέσεις για εξαρτήματα

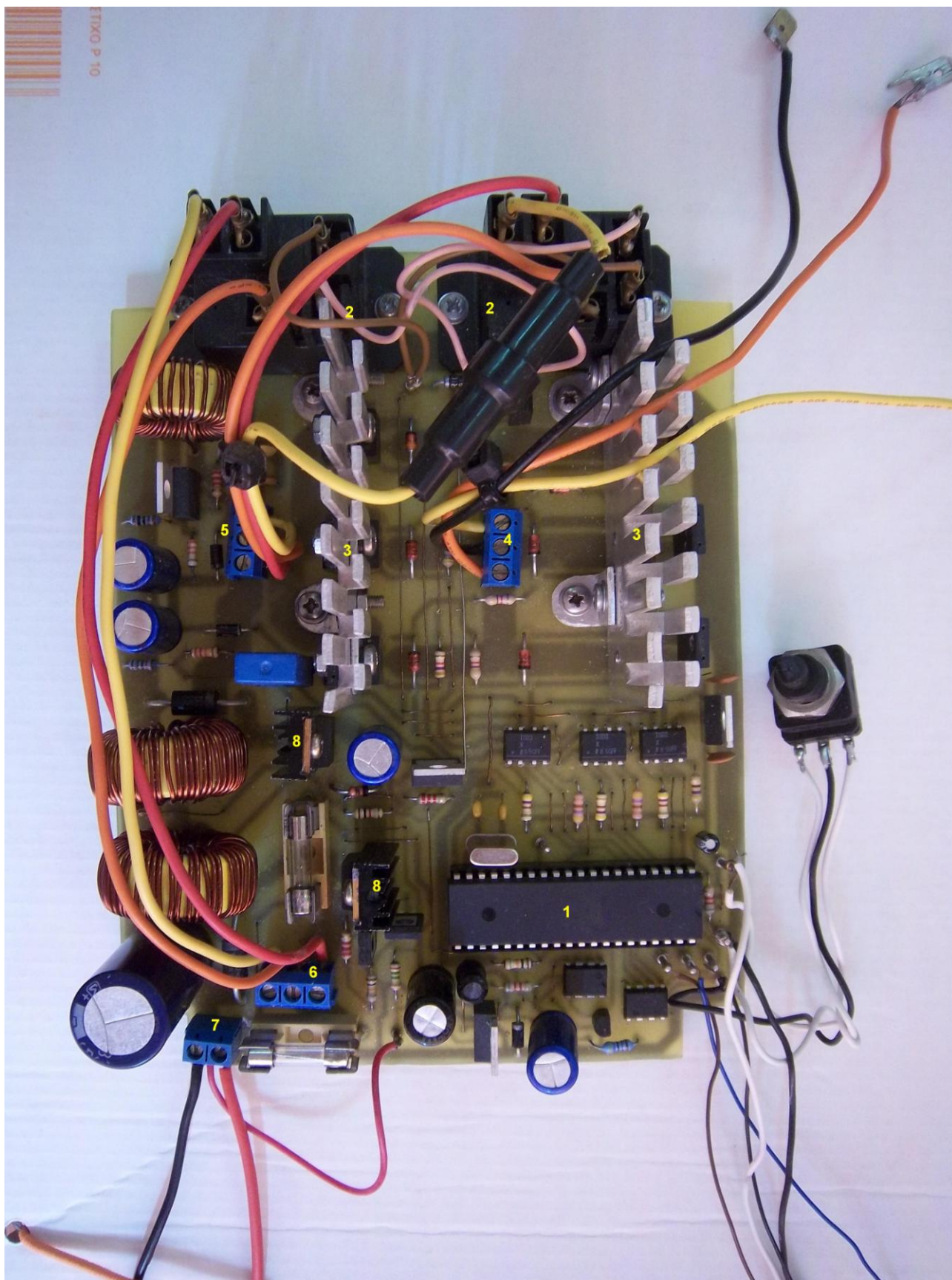
με κούμπωμα TO-220 η κάθε μία. Ότι πρέπει για να βιδωθούν πάνω τους τα 6 MOSFET ισχύος του τριφασικού αναστροφέα. Η διάταξη τους είναι 3 PMOS στη μια και 3 NMOS στην άλλη. Ενδιάμεσα στο μεταλλικό αυτί τους και στη ψήκτρα μπαίνει ένα φιλμ και μια πλαστική φλάντζα για ηλεκτρική μόνωση μεταξύ των MOSFET. Αυτά τα υλικά είναι μπορούν να αποσπαστούν από τα τροφοδοτικά που διαλύουμε. Οι ψύκτρες καλύπτουν με το παραπάνω τις ανάγκες μας για ψύξη των τρανζίστορ, καθώς σε κάθε μια ξεχωριστά μόνο η μόνο το ένα από τα τρία τρανζίστορ άγουν κάθε φορά. Όπως φαίνεται στη φωτογραφία, αφαιρέθηκαν τα περτσίνια και στη θέση τους μπήκαν χειροποίητες γωνίες αλουμινίου για τη στερέωση όλων αυτών των υλικών στη πλακέτα με βίδες.

- Αποσπάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι 4 πυκνωτές των 100nF, ένα μικρό σε όγκο πηνίο των 200μF, και ένα MOSFET τύπου N.

Για την υλοποίηση του κυκλώματος καλό θα είναι να κάνουμε σχεδόν ότι κάναμε κατά τη σχεδίαση. Δηλαδή να εξασφαλίσουμε κάποια εργαλεία για να δοκιμάσουμε τα κομμάτια του κυκλώματος που θεωρούμε ότι κάτι μπορεί να πάει λάθος μετά τη κατασκευή της πλακέτας. Πριν τη κατασκευή της πλακέτας σύμφωνα με το κύκλωμα που προτείνεται, επιβεβαιώνουμε ότι είναι σωστά και δε το αντιγράφουμε στα τυφλά. Μπορεί επίσης κατά τη διαδικασία των δοκιμών να προκύψουν βελτιώσεις. Για όλα αυτά θα χρειαστούμε τα παρακάτω εργαλεία:

- Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος:  
Το χρειαστήκαμε για τη τροφοδοσία των υπό δοκιμή κυκλωμάτων ιδιαίτερα στη βαθμίδα υποβιβασμού τού συνεχούς ρεύματος που ήταν πρωτότυπο και απαιτούσε τη μεγαλύτερη παρεχόμενη ισχύ.
- Παλμογράφος και γεννήτρια συχνοτήτων με έξοδο TTL.:  
Με τη βοήθεια αυτών των εργαλείων ελέγχουμε, τους χρόνους απόκρισης μεταξύ των παλμών που παράγει ο επεξεργαστής και της διαμορφωμένης τάσης των 24V που δίνει την ισχύ στο φορτίο. Η έξοδος του επεξεργαστή εξομοιώνεται με τη γεννήτρια συχνοτήτων και από την απεικόνιση του παλμογράφου ελέγχουμε τις διάφορες ώστε να μην υπάρχουν σοβαρές χρονικές καθυστερήσεις. Με τον παλμογράφο μπορούμε να ελέγξουμε και οποιαδήποτε άλλη τάση μας ενδιαφέρει.
- Πολύμετρο:  
Ελέγχουμε τα ρεύματα και τις τάσεις. Υπάρχουν και πολύμετρα που έχουν υποδοχή θερμοζεύγους για έλεγχο της θερμοκρασίας. Είχαμε στη διάθεση μας ένα τέτοιο και ελέγχαμε τη θερμοκρασία που αναπτυσσόταν στις ψήκτρες και αλλού.
- Εικονικά φορτία:  
Τα χρησιμοποιούμε για να συγκρίνουμε την ισχύ εισόδου με την εξόδου αφήνοντας την ισχύ εξόδου να καταναλωθεί πάνω σε αυτά χωρίς να έχουμε κάποιο ωφέλιμο αποτέλεσμα. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε το βαθμό απόδοσης των βαθμίδων ισχύος, ενώ ελέγχουμε αν προκύψουν προβλήματα στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Το εικονικό φορτίο μπορεί να είναι αντιστάτης μεγάλης ισχύος ή λαμπτήρας πυράκτωσης με χαμηλή αντίσταση σύρματος ώστε αντλούνται μεγάλα ρεύματα. Εδώ συνδυάζοντας λάμπες ιωδίου για κατανάλωση 120W, είχαμε ισχύ εισόδου 144W. Άρα ενεργειακή απόδοση του συστήματος στα 83%. Ένα πολύ δυνατό εικονικό είναι τα μοτέρ συνεχούς ρεύματος, ειδικά αυτά που τραβάνε πολύ ρεύμα και απαντώνται σε παλιές ηλεκτρικές συσκευές. Περιέχουν και αυτεπαγωγή μέσα τους και με τους σπινθηρισμούς που κάνουν, είναι η πιο ακραία δοκιμή που μπορεί να γίνει στη τριφασική γέφυρα αναστροφής σε λειτουργία παλμικής διαμόρφωσης.





Εικόνα 3.1: Η πλακέτα του κεντρικού ελεγκτή.

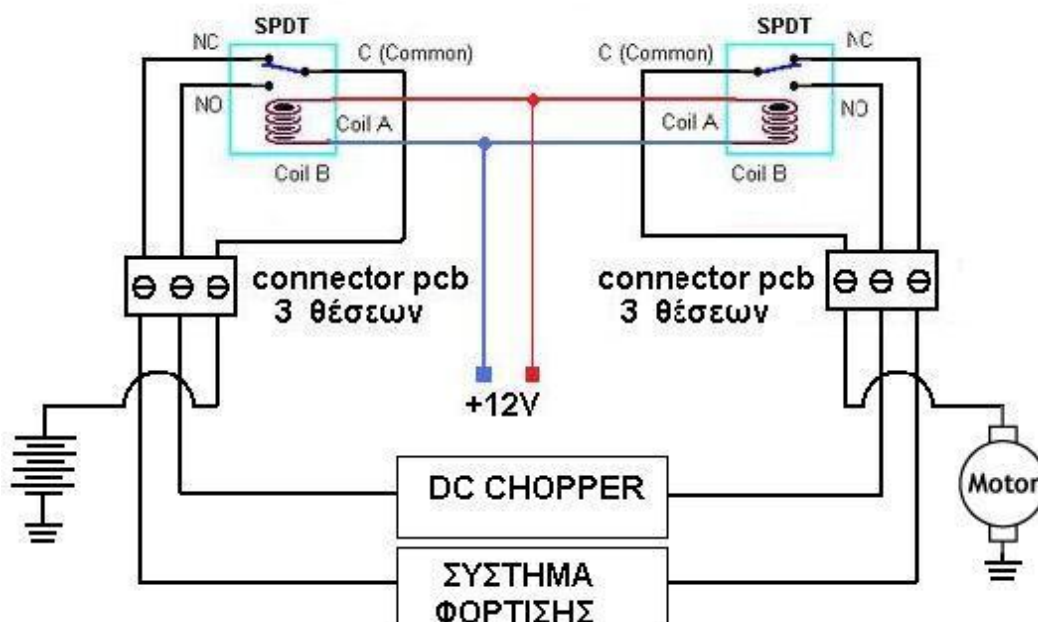
Άλλα εργαλεία που θα χρειαστούν είναι αυτά για τις μηχανουργικές κατασκευές όπως ηλεκτρικό κολλητήρι, κατσαβίδα με διάφορες κεφαλές, μικρό ηλεκτρικό τρυπάνι, λίμα, πένσα, μυτοσίμπιδο και κόφτης.

Ο παρακάτω πίνακας γράφει μερικά από τα πιο σημαντικά μέρη της πλακέτας του κεντρικού ελεγκτή που φτιάξαμε, με αριθμητική αντιστοιχία πάνω στη φωτογραφία του (Εικόνα 3.1):

1	μικροελεγκτής
2	Τα 2 Relay βιδωμένα στη πλακέτα.
3	Αλουμινένιες ψύκτρες με τα MOSFET βιδωμένα πάνω τους.
4	Connector PCB με τρεις θέσεις, για τη τριφασική έξοδο προς το μοτέρ.
5	Connector PCB με τρεις θέσεις, για τα relay (προς μοτέρ).
6	Connector PCB με τρεις θέσεις, για τα relay (προς μπαταρία).
7	Connector PCB με δυο θέσεις, για τη σύνδεση των πόλων της μπαταρίας.
8	P-MOSFET Ισχύος.

### 3.1.1. Εξαρτήματα εκτός πλακέτας.

- 2 Relay με τη παρακάτω εσωτερική κι εξωτερική συνδεσμολογία ακροδεκτών:

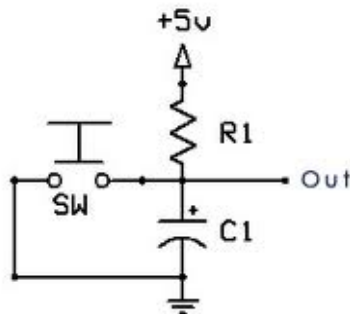


Εικόνα 3.2: Συνοπτική απεικόνιση για το σύστημα επιλογής κυκλώματος.

Αυτό το σύστημα χρησιμεύει για να επιλέγεται αν το ρεύμα θα περνά από τη μπαταρία στο μοτέρ μέσω step down dc chopper, ή από το μοτέρ προς τη μπαταρία μέσω κυκλώματος φόρτισης κάνοντας ωφέλιμη πέδηση. Με το να δώσουμε μια τάση στα πηνία διέγερσης, αλλάζει ταυτόχρονα η θέση των επαφών. Έτσι αποκόπτεται η μια από τις δυο βαθμίδες κάθε φορά σε είσοδο κι έξοδο. Θα μπορούσε να γίνεται και ξεχωριστός έλεγχος των relay αν βολεύει καλύτερα. (Στη συγκεκριμένη κατασκευή στα 12 βολτ που δουλεύουν

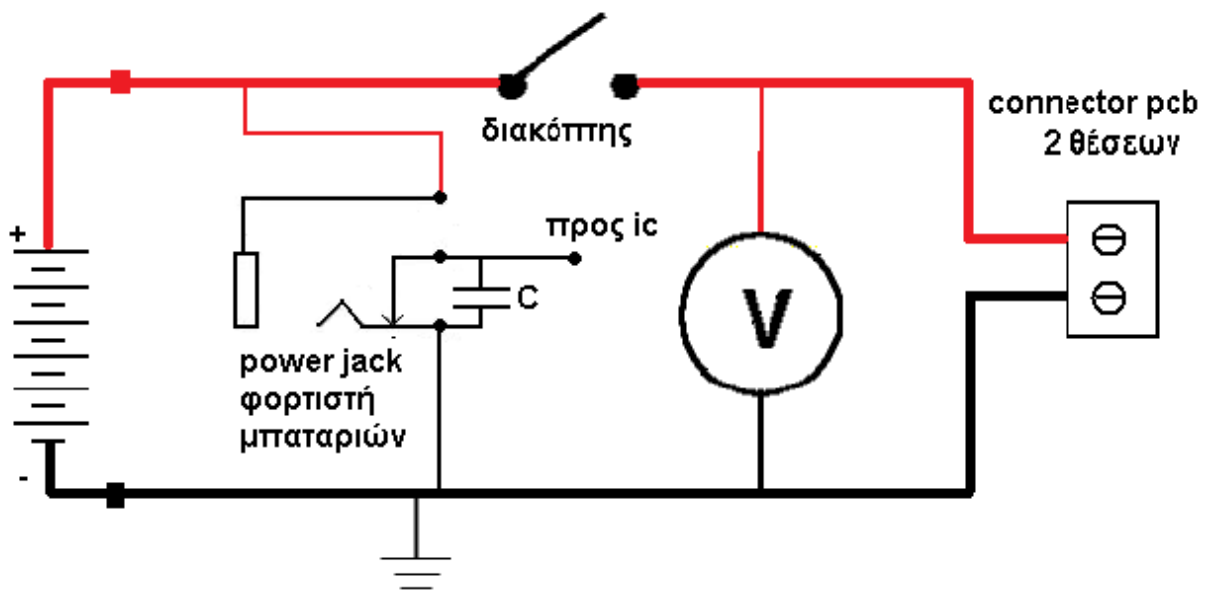
τα πηνία διέγερσης, συνδέσαμε παράλληλα κι ένα ανεμιστήρα κουτιού υπολογιστή 80 X 80 χιλιοστών για βεβαιωμένη ψύξη των MOSFET του DC chopper, που δεν είχαν χώρο για μια επαρκή ψήκτρα). Στο αριστερό relay στη κοινή επαφή συνδέουμε το + της μπαταρίας, στην NC (normally closed) την έξοδο του συστήματος φόρτισης και στη NO (normally open) την είσοδο του step down chopper. Στο δεξί relay στη κοινή επαφή συνδέουμε την τάση που χρειάζεται ο τριφασικός αντιστροφέας, στην NC την είσοδο του συστήματος φόρτισης και στη NO την έξοδο του step down chopper. Τα relay εδώ είναι το μοντέλο G8P-1C2T-F της OMRON, που οι επαφές τους περνάνε επαρκές για το μοτέρ ρεύμα και βιδώνονται στη πλακέτα ή στο κουτί.

Για την ενεργοποίηση της ωφέλιμης πέδησης χρειάζεται ένα κουμπί normally open, μια pull up αντίσταση 10KΩ κι ένας πυκνωτής 10nF για εξουδετέρωση αναπηδήσεων τάσης εξόδου, λόγω των μηχανικών ατελειών του κουμπιού. Η τάση εξόδου του παρακάτω κυκλώματος, δε πρέπει όσο γίνεται να έχει αναπηδήσεις, διότι συνδέεται απευθείας σε pin του 8051.



Εικόνα 3.3: Κύκλωμα για το κουμπί ωφέλιμης πέδησης.

- Για την είσοδο της τάσης της μπαταρίας θα χρειαστούν τα παρακάτω εξαρτήματα σε αυτή τη συνδεσμολογία:



Εικόνα 3.4: Εσωτερικό διάγραμμα καλωδίωσης για τη πηγή ισχύος.

Μεταξύ βυσμάτων κουτιού και PCB connector συνδέεται ένα βολτόμετρο ένα power jack κι ένας διακόπτης. Ο διακόπτης είναι ένας απλός ON-OFF των 10 Αμπέρ που αποκόπτει εντελώς τη τροφοδοσία. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα τα καλώδια ισχύος πρέπει να έχουν την ανάλογη αγωγιμότητα σε ρεύμα. Αυτός ο διακόπτης δεν αποκόπτει

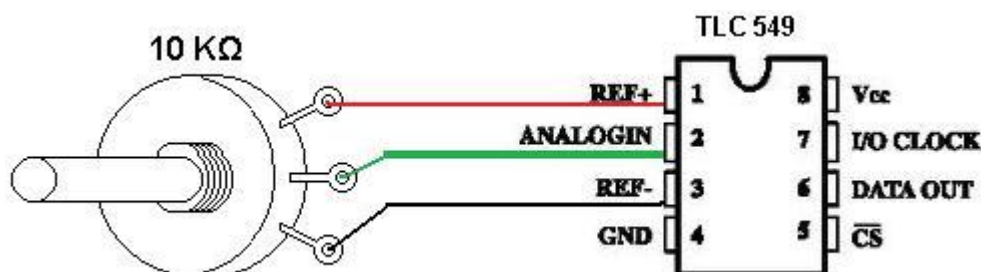


ένα power jack που χρησιμεύει για το φορτιστή.

Αυτό το δουλεύει ως εξής: Βάζοντας το βύσμα, το + και το - του φορτιστή συνδέονται στους ανάλογους πόλους της μπαταρίας. Επίσης εκείνη τη στιγμή αλλάζει θέση ένα έλασμα κι αποκόπτοντας από τη γείωση ένα τρίτο ακροδέκτη του power jack. Αυτός ο ακροδέκτης πάει σε ένα λογικό κύκλωμα που απενεργοποιεί το σύστημα, ακόμα κι αν δεν ανοίξουμε το γενικό διακόπτη, εξασφαλίζοντας έτσι ότι η μπαταρία φορτίζεται απρόσκοπτα.

Επειδή έχουμε να κάνουμε με λογικό κύκλωμα και μηχανικό διακόπτη, όπως πριν καλό θα είναι να συνδέσουμε ένα πυκνωτή για εξουδετέρωση αναπηδήσεων τάσης. Τέλος ένα βολτόμετρο συνδέεται παράλληλα, για την απεικονισμένη της τάσης και κατά συνέπεια της ενεργείας στη μπαταρία που έχει απομείνει.

- Για την αναλογική είσοδο της επιτάχυνσης χρησιμοποιούμε ένα ποτενσιόμετρο και το συνδέουμε με έναν ADC όπως το σχήμα. Η μεταβλητή τάση πάει στην ANALOG IN είσοδο του μετατροπέα για να βγει η αντίστοιχη ψηφιακή τιμή:



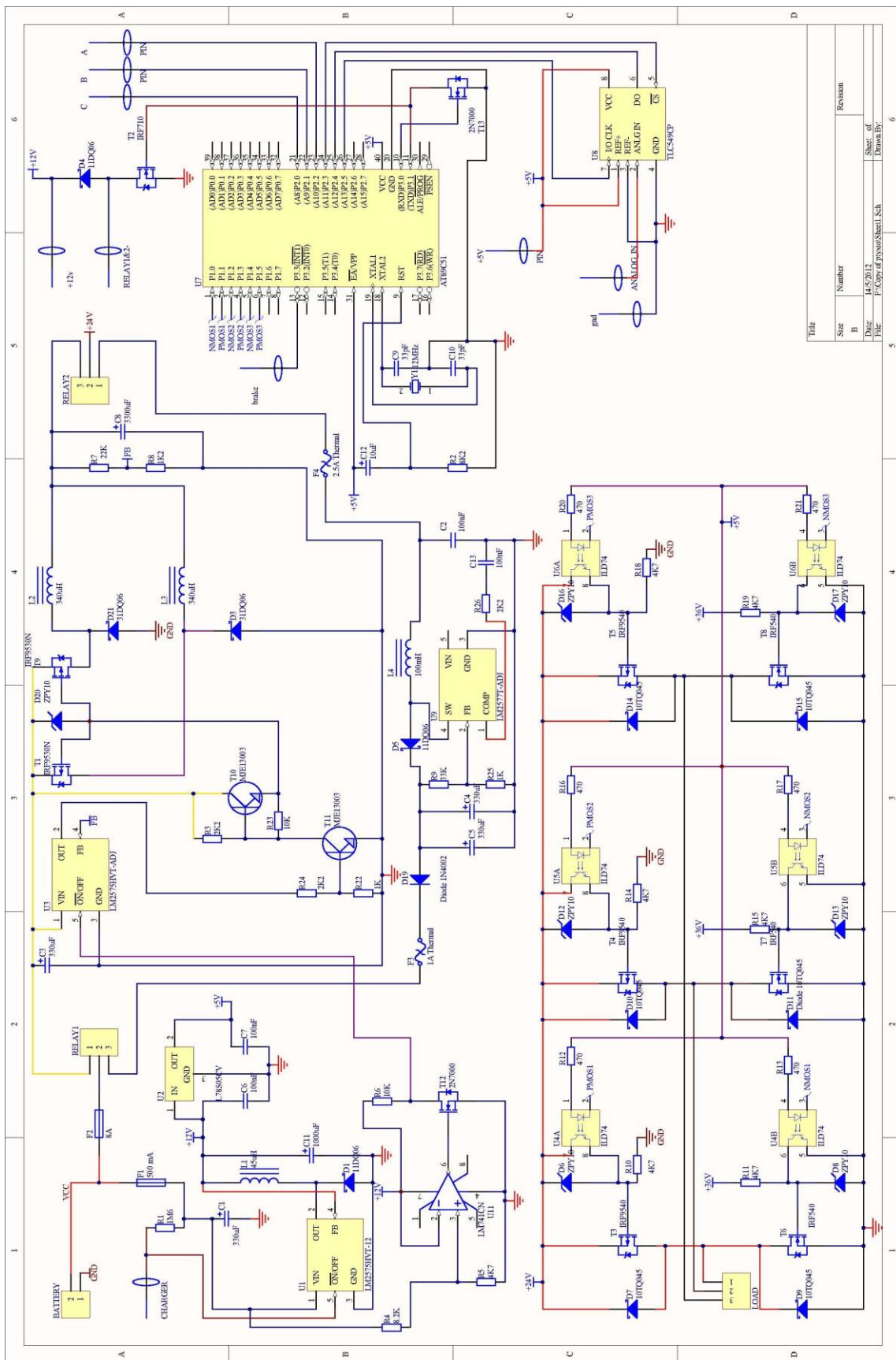
Εικόνα 3.5: Σύνδεση ποτενσιόμετρου - ADC.

Τα παραπάνω κουμπιά ελέγχου μπορούν να είναι ενσωματωμένα σε έναν έτοιμο μοχλό χειρός για ηλεκτρικό ποδήλατο (twist throttle). Πωλείται και σαν ξεχωριστό εξάρτημα.

### 3.1.2. Εξαρτήματα πάνω στη πλακέτα.

A/A	ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
1	Μικροελεγκτής 89C 51	1
2	Αναλογικό σε ψηφιακό σήμα, σειριακός μετατροπέας, TLC 549	1
3	Chopper υποβιβασμού τάσης, LM2575HVT-12	1
4	Chopper υποβιβασμού τάσης, LM2575HVT-ADJ	1
5	Chopper ανύψωσης τάσης, LM2577T-ADJ	1
6	Τελεστικός ενισχυτής LM741	1
7	Οπτοζεύκτης ISD2	3
8	Γραμμικός σταθεροποιητής τάσης, LM7805	1
9	Κρυσταλλικός ταλαντωτής 12MHz	1
10	Δίοδος Zener, Vz=10V	7
11	Δίοδος ταχείας απόκρισης, BYW29	6
12	Δίοδος ταχείας απόκρισης, FR102	3
13	Δίοδος SCHOTTKY, 31DQ06	2

14	Δίοδος 1N4002	1
15	P-MOSFET IRF9530N	2
16	P-MOSFET IRF9540N	3
17	N-MOSFET IRF540N	3
18	N-MOSFET 02N6	1
19	N-MOSFET 2N7000	2
20	BJT NPN, 13003	2
21	Πηνίο 330μH	2
22	Πηνίο 100μH	1
23	Πηνίο 200μH	1
24	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 1000μF, 16V	1
25	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 330μF, 63V	5
26	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 10μF, 25V	1
27	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 3300μF, 50V	1
28	Κεραμικός πυκνωτής 100nF	4
29	Κεραμικός πυκνωτής 33pF	2
30	αντιστάτης 470Ω	6
31	αντιστάτης 4700Ω	7
32	αντιστάτης 1,6ΜΩ	1
33	αντιστάτης 2200Ω	3
34	αντιστάτης 10ΚΩ	3
35	αντιστάτης 1ΚΩ	2
36	αντιστάτης 8200Ω	2
37	αντιστάτης 33ΚΩ	1
38	αντιστάτης 22ΚΩ	1
39	Connector PCB, 3 θέσεων	2
40	Connector PCB, 2 θέσεων	1
41	Μεταλλικό PIN	10
42	Βάση DIP40	1
43	Βάση DIP8	2
44	Θήκη PCB ασφαλειών 20 <sub>mm</sub> X 5 <sub>mm</sub>	2
45	Ασφάλεια τήξεως 20 <sub>mm</sub> X 5 <sub>mm</sub> , 0,5A, βραδύκαυστη	1
46	Ασφάλεια τήξεως 20 <sub>mm</sub> X 5 <sub>mm</sub> , 8A	1
47	Θερμική ασφάλεια (διμεταλλικού ελάσματος) 1A	1
48	Θερμική ασφάλεια (διμεταλλικού ελάσματος) 2A	1



Εικόνα 3.6: Σχηματικό διάγραμμα εξαρτημάτων τυπωμένου κυκλώματος.

Παρατηρούμε συγκρίνοντας τη λίστα με το σχηματικό, πως κάποια εξαρτήματα δεν είναι τα ίδια. Αυτό συμβαίνει διότι αυτά δεν υπήρχαν μέσα στις βιβλιοθήκες εξαρτημάτων ενός γνωστού σχεδιαστικού προγράμματος, σε σχέση με αυτά που είχαμε διαθέσιμα. Αφήσαμε τα εναλλακτικά τους να φαίνονται στο σχηματικό, σε περίπτωση που κατά τη σχεδίαση υπάρχει παρόμοιο πρόβλημα.

Όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι φθηνά και βρίσκονται εύκολα. Οι μόνες εξαιρέσεις είναι τα switching step down και step up ολοκληρωμένα κυκλώματα "LM".

Επίσης, παρατηρούμε από το παραπάνω σχηματικό της πλακέτας (Εικόνα 2.6), τα Connector των καλωδίων για τη μπαταρία,(BATTERY), των relay(RELAY1,RELAY2) και τριφασικού μοτέρ BLDC (LOAD). Αυτά τα Connector πλακέτας είναι τύπου κλέμματος, με δυνατότητα να περνάνε ως 10 Αμπέρ. Οι συνδέσεις καλωδίων ασθενών ρευμάτων γίνονται με συγκόλληση πάνω στα μικρά μεταλλικά pin.

Το πρώτο πράγμα που χρειαζόμαστε είναι να παραχθούν οι διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας που απαιτεί η κάθε βαθμίδα και που είναι χαμηλότερες από τη τάση της μπαταρίας. Για να είναι ενεργειακά αποδοτικός ο υποβιβασμός της υψηλής τάσης της συστοιχίας των μπαταριών, δε πρέπει στο μετατροπέα να υπάρχουν όσο γίνεται, θερμικές απώλειες πάνω του, άλλα η ισχύς εισόδου να είναι κοντά στην ισχύ εξόδου του. Στη συγκεκριμένη κατασκευή υπάρχουν δυο step down chopper που με τη μέθοδο της κατάτμησης τάσης (SWITCHING), ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες και δεν απαιτούνται μεγάλες ψύκτρες στους ημιαγωγούς για το κίνδυνο υπερθέρμανσης τους.

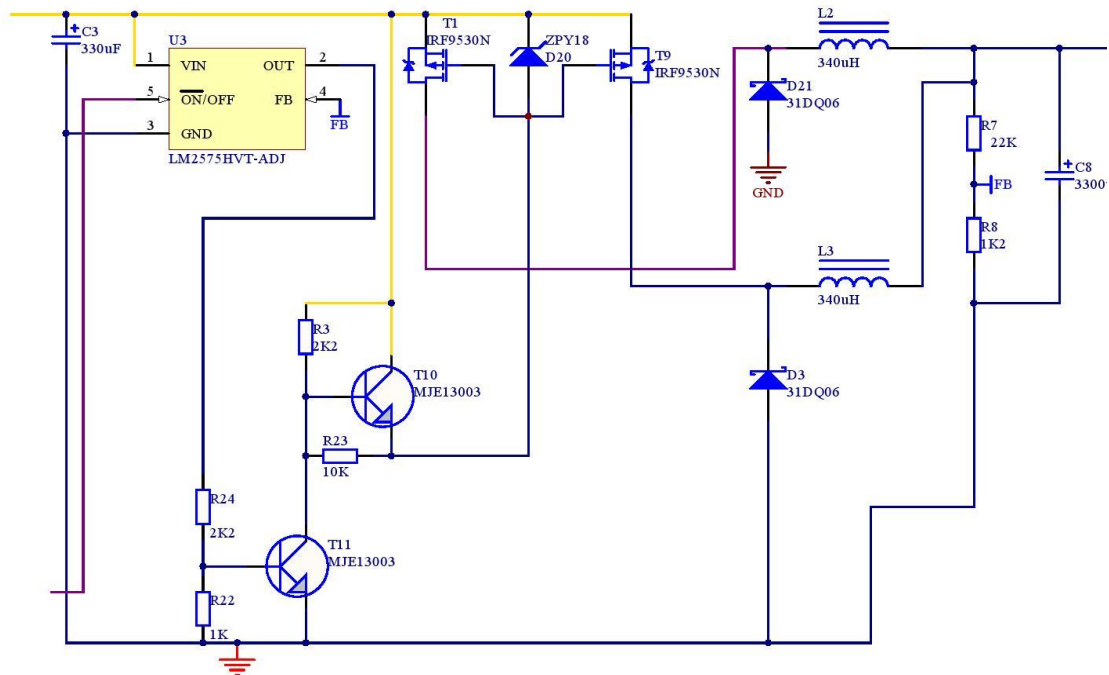
Ο ένας chopper είναι μικρής ισχύος που παράγει 12V που προστατεύεται από μια βραδύκαυστη ασφάλεια τήξης των 500mA. Ο άλλος είναι μεγαλύτερης ισχύος που παράγει 24V για την τροφοδότηση του μοτέρ, που προστατεύεται από δυο ασφάλειες τήξης των 5A. Για να παραχθούν τα 12V, χρησιμοποιούμε το 2575HVT-12. Αυτό το chip είναι ένα έτοιμο step down chopper με λίγα αναγκαία εξωτερικά εξαρτήματα. Έχει τη δυνατότητα να δίνει σταθερά τα 12V με ένα εύρος τάσης εισόδου από 20 ως 60V. Με το να είναι φθίνουσα η τάση μπαταρίας λόγω αποφόρτισης, μας βολεύει για την αυτορύθμιση του.

Τα 12V χρειάζονται τα τυλίγματα των relay, ο γραμμικός σταθεροποιητής το 7805 κι ο ελεγκτής της τάσης μπαταρίας. Ο μετατροπέας των 12V απενεργοποιείται από ένα δικό του λογικό κύκλωμα μόλις το pin ελέγχου σταματήσει να γειώνεται και μέσω μιας pull up αντίστασης, αυτό το pin πάρει τη τάση της μπαταρίας. Η γείωση αυτού του pin γίνεται από το μηχανικό διακόπτη του power jack. Χωρίς τα 12V δεν λειτουργεί τίποτα καθώς δε θα διεγερθούν τα relay που θα πάνε την ενεργεία στο μοτέρ, ούτε θα τροφοδοτηθούν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Ο ελεγκτής της τάσης της μπαταρίας είναι ένας απλός τελεστικός ενισχυτής 741 σε λειτουργία σύγκρισης. Τα 12V τα παίρνει σαν τάση αναφοράς στην αναστρέφουσα είσοδο και σαν τροφοδοσία. Στη μη αναστρέφουσα είσοδο πάει η μεσαία λήψη από ένα διαιρέτη τάσης. Εδώ είναι μια αντίσταση 8,2KΩ και 4,7KΩ σε σειρά που βγάζουν λόγο διαίρεσης  $0,36 \cdot V_{batt}$ . Δηλαδή μόλις η τάση της κάθε μπαταρίας πέσει κάτω από τα 11V ή τα 33V όλων συνολικά, η μη αναστρέφουσα θα λάβει τάση κάτω των 12V. Τότε θα υπερισχύσει η τάση αναφοράς της αναστρέφουσας δίνοντας τάση εξόδου κοντά στα 0V από τα 12V που έβγαζε για  $V_{batt} > 33V$ . Αυτά τα 0V τα παίρνει η πύλη ενός NMOS και σταμάτα να γειώνει 12V μέσω μιας pull up αντίστασης. Στη συνέχεια αυτά τα 12V πάνε σε ένα λογικό κύκλωμα που απενεργοποιεί τον step down chopper των 24V παρέχοντας προστασία από χαμηλή τάση τροφοδοσίας.

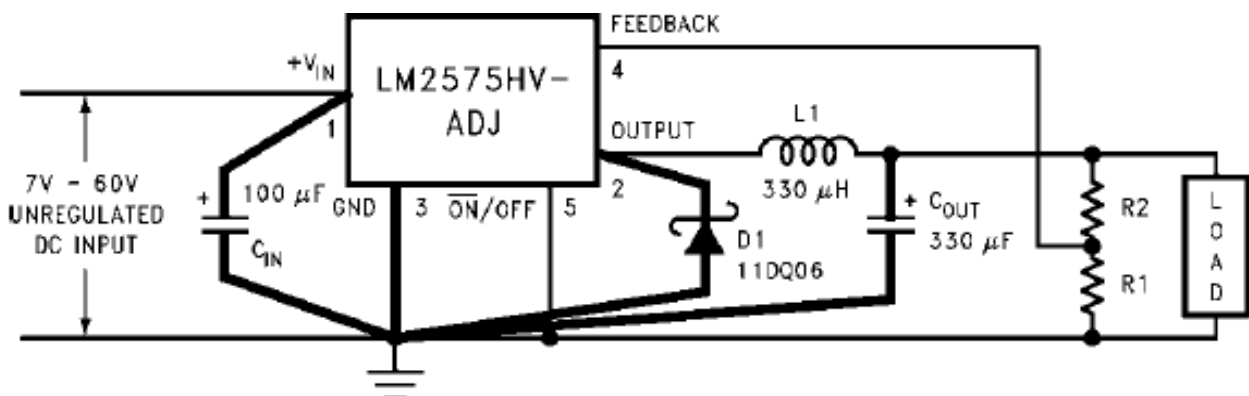
Εκτός των 12V χρειάζονται και 5V για τον μικροελεγκτή, τον ADC και το σύστημα αισθητήρων Hall που είναι πάνω στο μοτέρ BLDC. Τα 5V τα παίρνουμε από έναν απλό 7805 και δε χρειάζεται να ανησυχούμε για μεγάλες απώλειες ισχύος σε γραμμικός σταθεροποιητής, διότι με τα 12V που του δίνονται έχει μια πτώση τάσης 7V πάνω του επί ένα ρεύμα γύρω στα 200mA. Άρα  $P_d < 1.5W$

Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται η βαθμίδα του καταμητή συνεχούς ρεύματος (DC chopper) η οποία αξίζει να αναλυθεί εκτενώς, καθώς δεν υπήρχε κάποιο έτοιμο σύστημα για τα ζητούμενα της συγκεκριμένης κατασκευής κι έπρεπε να γίνει αυτοσχεδιασμός. Τα ζητούμενα ήταν να φτιαχτεί ένα switching τροφοδοτικό υψηλής απόδοσης με ένα εύρος εισόδου 40V, που θα δίνει μια σταθερή τάση και μεγάλα ρεύματα εξόδου με ελάχιστο dropout. Αυτή η τάση εξόδου θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζεται διότι η ονομαστική τάση του BLDC θα μπορούσε να είναι άλλη. Όλα αυτά καλό θα ήταν να γίνουν με ένα τρόπο απλό που θα καταλάμβανε το λιγότερο εμβαδόν στη πλακέτα.



Εικόνα 3.7: Σχηματικό διάγραμμα καταμητή συνεχούς ρεύματος.

Ξεκινήσαμε με την ιδέα για τα μεγάλα ρεύματα να χρησιμοποιήσουμε MOSFET ισχύος (παράλληλα αν χρειαζόταν) και να έχουμε -μόνο- σαν οδήγηση τους παλμούς εξόδου ενός LM2575HV-T-ADJ. Είναι ο ίδιος τύπος με το switching ολοκληρωμένο κύκλωμα για τα 12V με τη διαφορά πως εδώ η τάση εξόδου ρυθμίζεται παίρνοντας ανάδραση από τη μεσαία λήψη ενός διαιρέτη τάσης εξόδου. Η επιθυμητή τάση προκύπτει από τη σχέση  $V_{out} = 1.23V * ((R2/R1) + 1)$ . Εδώ  $R2 = 22K\Omega$  και  $R1 = 1,2K\Omega$  για  $V_{OUT} = 23.5V$ .



Εικόνα 3.8: Το σχηματικό υπερτονίζει "σύνδεση όσο πιο κοντά γίνεται μεταξύ τους"

Επειδή έχουμε να κάνουμε με παλμούς διάρκειας μερικών  $\mu\text{Sec}$ , πρέπει πρώτα απ' όλα τα ίδια τα στοιχεία να είναι ταχείας απόκρισης και να φτιάχνουν ένα κύκλωμα που να συμβάλλει σε αυτό. Αν δε γίνεται αυτό τότε ακόμα και να λειτουργήσει το σύστημα, θα υπάρχουν μεγαλύτερες θερμικές απώλειες λόγω έλλειψης συγχρονισμού μεταξύ τους.

Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει με όλα τα Switching ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή είναι ότι επειδή έχουν μέσα τους και ταλαντωτή, πρέπει να τοποθετηθούν κάποια εξαρτήματα όπως δείχνει παρακάτω ο κατασκευαστής, κάνοντας τον ανάλογο σχεδιασμό των αγωγών της πλακέτας:

Στην Εικόνα 3.8 φαίνονται τρία εξαρτήματα που πρέπει να τοποθετηθούν όσο πιο κοντά γίνεται στο chip για λιγότερη παρασιτική επίδραση των αγωγών. Πρακτικά εδώ μόνο ο πυκνωτής απόζευξης θα "κολλήσει" στο chip επειδή στην έξοδο του παρεμβάλλεται το MOSFET ισχύος. Όμως την ίδια λογική θα εφαρμόσουμε συνδέοντας κοντά στο MOSFET τη δίοδο και το πηνίο για λιγότερη ανεπιθύμητη επίδραση της συχνότητας. Δοκιμές έδειξαν πως αν δε γίνει έτσι δεν θα δουλέψει σωστά το ολοκληρωμένο, ενώ υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του. Σε κάθε περίπτωση διαβάζουμε τα φυλλάδια κατασκευαστή όλων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Οι διακριτοί ημιαγωγοί που επιλέχτηκαν είναι 2 PMOS IRF9530N, δυο NPN transistor MJE13003 και δυο Schottky δίοδοι 31DQ06. Αυτοί οι ημιαγωγοί έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά απόκρισης συχνότητας. Το ένα transistor ελέγχεται από τους παλμούς του IC. Όταν άγει γειώνει τη τάση μπαταρίας μέσω μιας δίοδου Zener και μιας αντίστασης σε σειρά. Η Zener στα άκρα της τότε θα έχει μια συγκεκριμένη τάση ανεξαρτήτως της τάσης μπαταρίας. Αυτή τη διάφορα τάσης την αποκτούν ταυτόχρονα δυο PMOS μεταξύ πηγής - πύλης κάνοντας τα να άγουν. Για να έρθουν τα MOSFET σε κατάσταση αποκοπής με τη λιγότερη χρονική καθυστέρηση από την ώρα που το transistor πάψει να άγει, πρέπει να εξουδετερωθεί ταχύτατα το ηλεκτρικό φορτίο που απέκτησαν από τη προηγούμενη κατάσταση τα MOSFET στις πύλες τους λόγω της ανεπιθύμητης χωρητικότητας τους, και η διάφορα τάσης μεταξύ πύλης - πηγής να γίνει 0V. Για αυτό λοιπόν τοποθετούμε άλλο ένα transistor με τρόπο που να άγει όσο υπάρχει αυτό το ηλεκτρικό φορτίο, βραχυκυκλώνοντας ουσιαστικά τους ακροδέκτες που προαναφέραμε. Αυτός ο κύκλος επαναλαμβάνεται σύμφωνα με τους παλμούς διέγερσης του LM2575HVT-ADJ.

Έχοντας βρει τρόπο να μεταφέρεται το μεγάλο ρεύμα που χρειάζεται το μοτέρ μέσω των MOSFET ισχύος χωρίς να χάσουμε τα οφέλη της switching λειτουργίας, συνεχίζουμε βάζοντας από μια δίοδο ανάκτησης κι ένα πηνίο για την ολοκλήρωση της υλοποίησης ενός dc chopper. Εδώ οι δυο παράλληλες εξοδοί ισχύος ενώνονται κι αποθηκεύουν το ηλεκτρικό φορτίο τους σε ένα μεγάλης χωρητικότητας πυκνωτή, ενώ ταυτόχρονα γίνεται δειγματοληψία της τάσης εξόδου για ανάδραση. Μετά από δοκιμές με διάφορα εικονικά φορτία, υπολογίζεται πως η απόδοση ισχύος είναι γύρω στο 80%. Οι περισσότερες θερμικές απώλειες ήταν πάνω στα πηνία και στις δίοδους ανάκτησης οπότε ήταν δύσκολο να γίνει κάποια βελτίωση.

Σύστημα ανάκτησης ενεργείας είναι η βαθμίδα που βρίσκεται αντιπαράλληλα του dc chopper και αξιοποιεί την αντιηλεκτρεγερτική τάση του μοτέρ για να φορτίσει τη μπαταρία. Εδώ γίνεται η αντίστροφη διαδικασία. Ένα step up dc chopper το LM2577, παίρνει αυτή τη τάση και την ανυψώνει στην τάση φόρτισης της μπαταρίας τραβώντας πολύ ρεύμα από το μοτέρ. Με το να τραβήξει πολύ ρεύμα προκαλούνται οι δυνάμεις πέδησης που αξιοποιούμε. Δε μας πειράζει που το ρεύμα εξόδου του φορτιστή είναι μικρότερο του ρεύματος εισόδου, καθώς οι μπαταρίες καταστρέφονται με μεγάλα ρεύματα φόρτισης.

Ομολογουμένως αυτό το κύκλωμα είναι πολύ απλό και η φόρτιση μπαταριών χρειάζεται πιο εξειδικευμένα κυκλώματα. Για να υπάρχει μια στοιχειώδης εξασφάλιση πως δε θα περάσουν παραπάνω ρεύματα που θα φθείρουν τη μπαταρία ή θα καταστρέψουν το

σύστημα φόρτισης, τοποθετούμε θερμικές ασφάλειες που σταματούν τελείως τη φόρτιση έστω κι αν χάσουμε την ανάκτηση ενεργείας. Οι θερμικές ασφάλειες ανοίγουν μετά από ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα, όταν ξεπεραστεί το ονομαστικό ρεύμα τους και κλείνουν ξανά μόλις ψυχθεί το διμεταλλικό τους έλασμα. Μια έχει τοποθετηθεί στην είσοδο του φορτιστή με μέγιστο ρεύμα 2A υπολογίζοντας κι ένα χρόνο διακοπής μετά από αυτό το ρεύμα. Όσο πέφτουν οι στροφές της ρόδας, τόσο μειώνεται η παραγόμενη τάση αυξάνοντας το ζητούμενο ρεύμα. Τότε θέλει προσοχή διότι το συγκεκριμένο chip καταστρέφεται μετά τα 3A. Η δεύτερη θερμική ασφάλεια τοποθετείται στην έξοδο του φορτιστή με μέγιστο ρεύμα το 1A και είναι πιο πολύ για τη προστασία της μπαταρίας. Αυτό το όριο ρεύματος μας καλύπτει μια ή περισσότερες μπαταρίες SLA σε σειρά, των 4.5Ah. Το όριο του ρεύματος εξόδου ξεπερνιέται συνήθως αν η τάση της μπαταρίας πέσει πολύ. Η τάση εξόδου του φορτιστή ρυθμίζεται μέσω ανάδρασης από ένα διαιρετή τάσης με  $V_{out}=1.23V*((R2/R1)+1)$ . Αν υποθέσουμε πως εδώ έχουμε τρεις SLA των 12 V σε σειρά, τότε η πραγματική συνολική τάση πλήρους φόρτισης είναι 43,2V ενώ φορτιστής δίνει 41,82V λόγω των περιορισμένων τιμών των ρυθμιστικών αντιστάσεων. Δε μας πειράζει αυτή η μικρή απόκλιση διότι είναι καλύτερες οι αντιστάσεις σταθερής τιμής για τις μηχανικές καταπονήσεις, σε σχέση με ένα trimmer που ρυθμίζεται ακριβώς.

Τριφασική γέφυρα αναστροφής – ανόρθωσης. Όπως δηλώνει το όνομά της αυτή η βαθμίδα έχει διπλό ρόλο επιτρέποντας στο BLDC να λειτουργήσει σαν κινητήρας ή σαν γεννήτρια. Όταν χρειάζεται να τη χρησιμοποιήσουμε σαν αναστροφή, ανοιγοκλείνουν σύμφωνα με μια συγκεκριμένη αλληλουχία, κάποια τρανζίστορ. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός οδηγού τρανζίστορ που παίρνει τα ψηφιακά σήματα του 8051 και αναλόγως φέρνει το κάθε τρανζίστορ σε κατάσταση αγωγής ή αποκοπής. Εδώ τα τρανζίστορ είναι τύπου MOSFET κι έχουμε φτιάξει ένα ειδικό σύστημα για να τα λειτουργεί.

Ο οδηγός MOSFET εδώ έχει φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί το ίδιο για τις τυποποιημένες τάσεις 24, 36 ή 48V. Δίοδοι Zener μπαίνουν παράλληλα στους ακροδέκτες Πύλη - Πηγή και με την σταθεροποιημένη τάση της  $V_z=10V$  στα άκρα τους, τα τρανζίστορ άγουν. Επειδή όμως θέλουμε να άγουν επιλεκτικά τα MOSFET, τις βραχυκυκλώνουμε μέσω ενός τρανζίστορ οπτοζεύκτη φέρνοντας οποία χρειάζεται, σε κατάσταση αποκοπής.

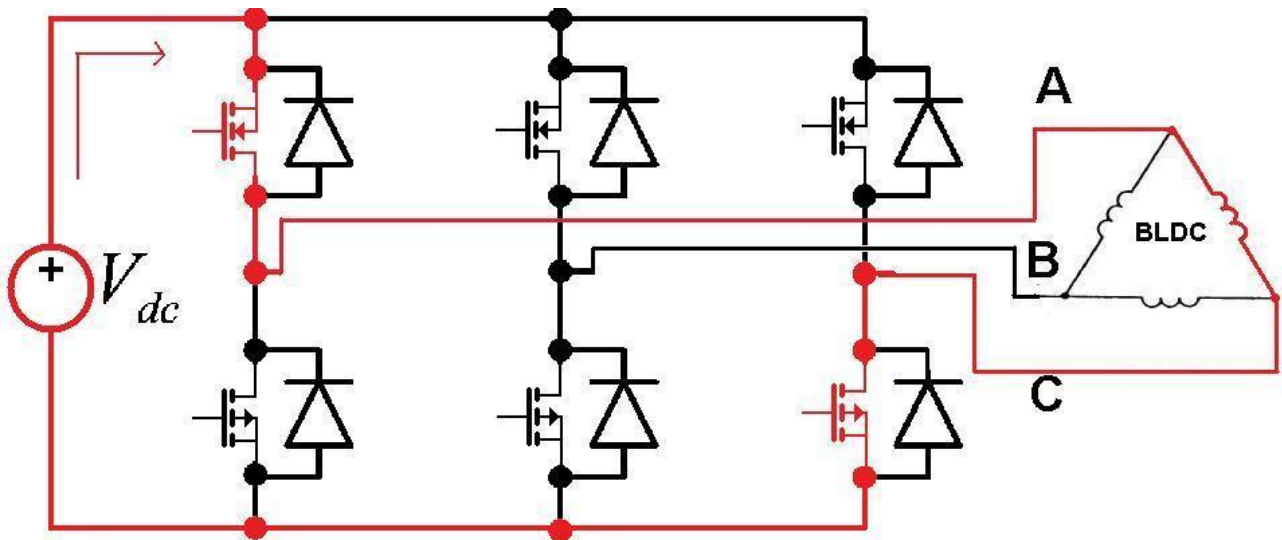
Ο οπτοζεύκτης μας εξυπηρετεί:

- ✓ Μέσω φωτεινών σημάτων γίνεται απευθείας έλεγχος των πυλών των MOSFET χωρίς ηλεκτρικές ασυμβατότητες με τα σήματα του 8051.
- ✓ Στη φωτοδίοδο τους, μπορούμε κάνουμε συνδεσμολογία πηγής ή καταβόθρας με τα pin του 8051 φέρνοντας το προγραμματισμό του στα μέτρα μας. Εδώ έχουμε κάνει συνδεσμολογία καταβόθρας έτσι ώστε όταν έχουμε λογικό 1 από το 8051 τα τρανζίστορ να άγουν.

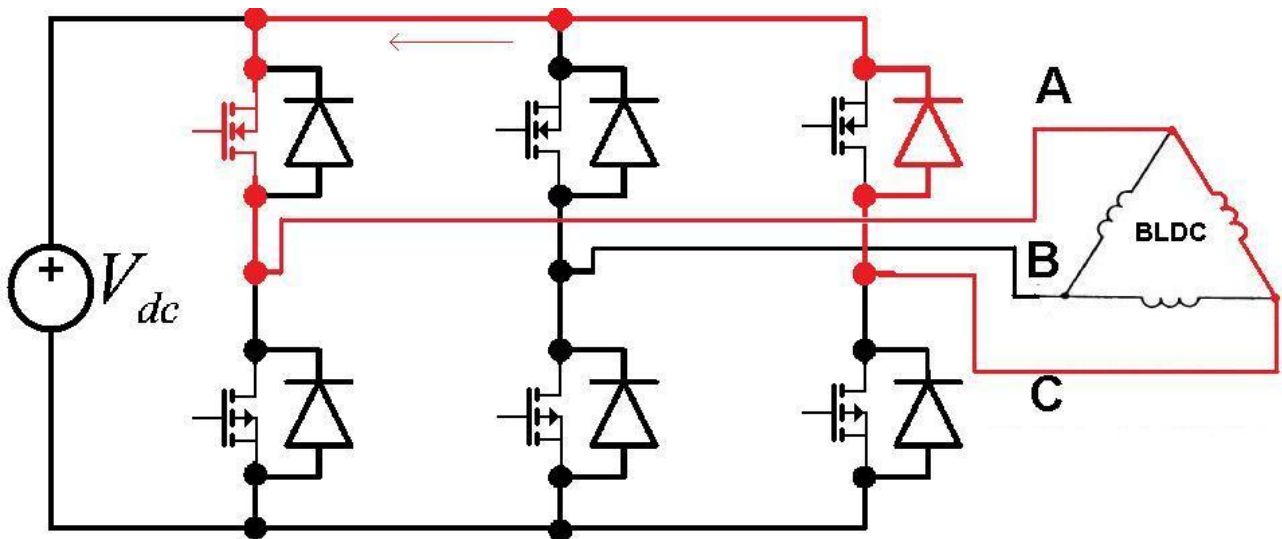
Έτσι έχουμε μια φτηνή κατασκευή οδηγού MOSFET που μπορεί επίσης να ρυθμιστεί. Σε γενικές γραμμές η μεταγωγή σε μία τριφασική γέφυρα γίνεται ως εξής:

Από τα 6 MOSFET που έχει, μόνο ένα N κι ένα P θα άγει κάθε φορά και ποτέ στο ίδιο ζευγάρι P-N. Για κάθε φάση μεταγωγής το ένα MOSFET είναι συνέχεια σε αγωγή και το άλλο κάνει switching. Αυτό γίνεται για να γίνεται ομαλός απομαγνητισμός διότι η μαγνητική ενέργεια που αποθηκεύει το κάθε τύλιγμα είναι τόσο μεγάλη, που μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες ισχύος μέχρι και καταστροφή εξαρτημάτων, όταν διακόπτεται το ρεύμα. Έτσι στην OFF περίοδο, μέσω του συνεχία ON MOSFET, το ρεύμα συνεχίζει να ρέει μην αφήνοντας να δημιουργηθούν κορυφές τάσης.

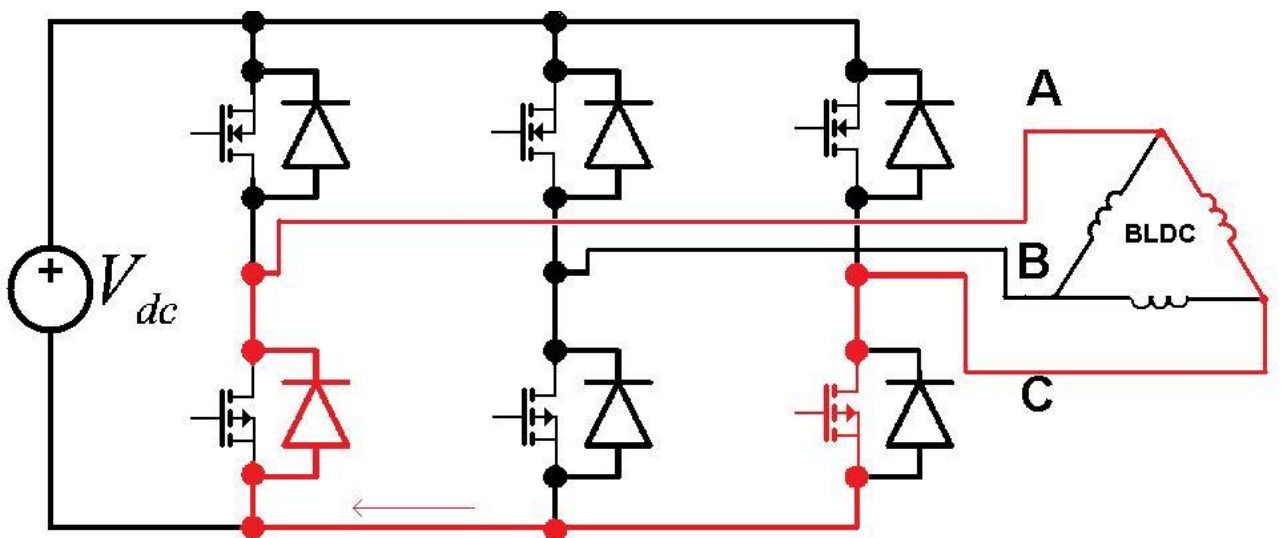




Εικόνα 3.9: Κυκλοφορία του ρεύματος στην ON περίοδο.



Εικόνα 3.10: Κυκλοφορία του ρεύματος στην OFF περίοδο (απομαγνητισμός μέσω PMOS).



Εικόνα 3.11: Κυκλοφορία του ρεύματος στην OFF περίοδο (απομαγνητισμός μέσω NMOS).



Στα παραπάνω σχήματα φαίνονται οι ροές των ρευμάτων και στις δυο περιόδους. Εδώ κάνουμε Switching τα P MOSFET αφήνοντας συνέχεια ON τα N MOSFET. Μπορούμε να κάνουμε και το αντίθετο. Σε γενικές Γραμμές Τα MOSFET με δίαυλο N, έχουν από τη φύση τους λιγότερη εσωτερική αντίσταση από τον αντίστοιχο P. Για παράδειγμα το PMOS IRF9540N και το NMOS IRF540N που εδώ χρησιμοποιούμε, έχουν ονομαστική αντίσταση  $R_{DS(ON)}$  για  $V_{GS}=|10V|$ ,  $0,117\Omega$  και  $0,04\Omega$  αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει πως όταν διοχετεύονται οι κορυφές ρεύματος μέσω των N, αυτά θα θερμαίνονται λιγότερο. Για τον ομαλό απομαγνητισμό των τυλιγμάτων, τοποθετούμε και "ULTRAFAST" διόδους όπως τύπου Schottky (προαιρετικά. Τα συγκεκριμένα MOSFET έχουν δική τους διόδο).

Για τη καλύτερη λειτουργία της γέφυρας, εφαρμόζουμε μια τεχνική η οποία λέγεται "active freewheeling". Δηλαδή ενεργοποιούμε στην OFF περίοδο, το αντίστοιχο N MOSFET για να παρακαμφθεί η διόδος ανάκτησης. Ο N δίαυλος έχει λιγότερη εσωτερική αντίσταση από τη διόδο και η διοχέτευση της περισσότερης ενέργειάς των τυλιγμάτων από αυτόν, δίνει καλύτερες αποκρίσεις, ευστάθεια και λιγότερες θερμικές απώλειες. Πρέπει όμως να γίνει σωστός συγχρονισμός ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα να άγουν ταυτόχρονα τα MOSFET P και N της ίδιας φάσης. Για να εξασφαλιστεί αυτό, γενικά προτείνεται να αφήνουμε ένα χρονικό περιθώριο 2  $\mu\text{Sec}$  στην εναλλαγή τους. Στη περίπτωση μας αυτό ήταν πρακτικά αχρείαστο, για αυτό στέλνουμε όπως είναι ολόκληρο το byte στην έξοδο P1.

Δίνοντας κι εδώ την ηλεκτρική ισχύ σε παλμούς έχουμε υψηλή ενεργειακή απόδοση ενώ όταν χρειάζεται να τη χρησιμοποιήσουμε τη γέφυρα σαν ανορθωτή, τότε φέρνουμε τα τρανζίστορ σε κατάσταση αποκοπής και αφήνουμε τις διόδους να κάνουν τα υπόλοιπα.

Όπως φαίνεται κι από το σχήμα, η ίδια η κατασκευή μας επιτρέπει να κάνουμε την αντίστροφη διαδικασία παίρνοντας από τα τυλίγματα του BLDC μια τριφασική εναλλασσόμενη τάση για όσο είναι σε κίνηση, βγάζοντας μια αξιοποιήσιμη συνεχή τάση.

### **3.2. Προγραμματισμός μικροελεγκτή.**

Ο Μικροελεγκτής που επιλέξαμε είναι ο ATMEL 89C51 με αρχιτεκτονική 8051. Είναι ακόμα ένας από τους πιο δημοφιλείς μικροελεγκτές (αν και 8μπιτος), από τη δεκαετία του 80 που πρωτοπαρουσιάστηκε από την INTEL. Είναι επίσης και φθηνότερος από ποτέ καθώς και άλλοι κατασκευαστές όπως η ATMEL, DALLAS, Texas Instruments, Microchip, ST και άλλοι, φτιάχνουν ολοκληρωμένα κυκλώματα με την ίδια αρχιτεκτονική, ενώ με την τεχνολογία CMOS καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ισχύ. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι μικροελεγκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως PIC και AVR που είναι από τους πιο χρησιμοποιούμενους σήμερα.

#### **3.2.1. Αναλυτική περιγραφή του κώδικα.**

Η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε για τη παράγωγή του αρχείου HEX που προγραμματίζει τη ROM του ολοκληρωμένου, είναι η συμβολική (assembly). Σε σχέση με μια γλωσσά προγραμματισμού υψηλότερου επιπέδου, όπως η C, C++, Basic, Java κλπ, έχουμε τη δυνατότητα καλύτερου ελέγχου του υλικού, με ένα πιο περιεκτικό κώδικα που εκτελείται ταχύτερα. Χρειάζεται όμως να γνωρίζουμε καλά την αρχιτεκτονική και το σετ εντολών (instruction set) για το κάθε είδος ξεχωριστά. Επίσης αυτός ο τρόπος γραφής θεωρείται πιο δύσκολος. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μεταφράστηκε και εξομοιώθηκε με τη δωρεάν εφαρμογή IDE8051.

Ο 8051 έχει επικοινωνεί με το υπόλοιπο κύκλωμα, με ψηφιακά σήματα 0 και 5 V, απασχολώντας τα παρακάτω pin από τους διαύλους επικοινωνίας που διαθέτει.

- Δεδομένα εισόδου:
  - 3 pins για τους αισθητήρες Hall.
  - 1 pin για τα Δεδομένα από ADC.
  - 1 pin για τα εξωτερικό interrupt.
- Δεδομένα εξόδου:
  - 6 pins για την οδήγηση των MOSFET.
  - 1 pin για την ενεργοποίηση των relay.
  - 1 pin για ενεργοποίηση του ADC.
  - 1 pin για παλμούς χρονισμού του ADC.

Υπενθυμίζουμε κάποια πράγματα σχετικά με την λειτουργία των ηλεκτρικών μοτέρ που είναι πολύτιμα στην παρούσα φάση. Τα τυλίγματα τους έχουν μια πολύ μικρή ωμική αντίσταση. Το συγκεκριμένο BLDC γύρω στα 0,7 Ωμ. Άρα στην ακινησία που δε παράγεται αντιηλεκτρεγερτική τάση, δίνοντας απευθείας τα 24 βολτ της ονομαστικής τάσης του μοτέρ που διαθέτουμε, θεωρητικά πρέπει να τραβήξει 34 αμπέρ. Μη πραγματικό σενάριο, καθώς το DC CHOPPER τροφοδοτικό θα "γονάτιζε" καίγοντας την ασφάλεια των 8 Ampere.

Άρα χρειάζεται ένας αλγόριθμος που με κατάτμηση της μέγιστης τάσης των 24 βολτ, που θα ρίχνει με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο τη προσφερόμενη τάση, κάνοντας και ομαλή εκκίνηση. Ο αλγόριθμος υλοποιείται ως εξής: Ο 8051 υπολογίζει συνεχία, με άλλο αλγόριθμο τις στροφές ανά μονάδα χρόνου του τροχού (προσθήκη ταχομέτρου στον κώδικα). Στη συνέχεια η τάση θα διαμορφώνεται κατά εύρος ανά 25% duty circle. Δηλαδή 0, 6, 12 18 και 24 βολτ μέση τιμή, με σταθερή συχνότητα κατάτμησης.

Ενεργοποιώντας τον 8051, κάνει κάποιες απαραίτητες αρχικοποιήσεις που δε θα τις ξανακάνει μέχρι να κάνουμε επανεκκίνηση στον 8051 και έπειτα ξεκίνα η κανονική κυκλική ροή του προγράμματος. Κατά την εκκίνηση του 8051, όλες οι πόρτες εμφανίζουν άσο για όσο χρόνο δίνει το δικτύωμα RC στο reset pin. Αυτό σημαίνει πως χρειάζεται να βρούμε τρόπο ώστε να αποφευχθεί να εκκινήσουν όλα τα συστήματα μαζί, καθώς για προγραμματιστική ευκολία, το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε η έννοια "άσος" να σημαίνει "ON". Αυτό γίνεται με το T13, όπου συνδέοντας τη πύλη του σε ένα ανενεργό pin, με τα 5V που θα δεχτεί θα γειώνει το pin ενεργοποίησης των RELAY, για όσο χρόνο χρειάζεται μέχρι να σταθεροποιηθεί το σύστημα. Το pin έλεγχου πρέπει να είναι στα 0V για τη κανονική λειτουργία. Το ίδιο πράγμα θα μπορούσε να επιτευχθεί με μια εξωτερική πύλη NAND.

Τα δεδομένα από το ADC συλλέγονται με την βοήθεια μιας υπορουτίνας, ονόματι THROTTLE, η οποία μηδενίζει ένα pin του σειριακού ADC που τον κάνει να ξεκινήσει τη μετατροπή της αναλογικής τάσης, σε ψηφιακό αριθμό, περιλαμβάνοντας και χρονικές καθυστερήσεις να την ολοκληρώσει. Σε πρώτη φάση από ένα δεύτερο pin συλλέγει το πρώτο δεδομένο (D7). Για να συλλεχθούν ως D0 κάνουμε για κάθε D σε ένα τρίτο pin μετά τη καταχώρηση του δεδομένου, ένα set κι ένα reset, που χρησιμεύει σα clock. (ανατρέξτε στο datasheet του TLC549 για περισσότερες πληροφορίες). Ο καταχωρητής χρειάζεται να είναι bit addressable για να τοποθετούνται ένα - ένα τα bits σε αυτόν(εδώ είναι ο 20H).

Αφού φτιαχτεί το byte πληροφορίας, γίνεται μια διαίρεση αυτού του byte με ένα σταθερό αριθμό. Αυτός ο σταθερός αριθμός είναι επιλεγμένος να αφήνει πηλίκο από 0 ως 4(θέσεις throttle) για τις περιπτώσεις από 0 ως 255 του ADC. Το πηλίκο της διαίρεσης υποδηλώνει την επιθυμητή επιτάχυνση και αυτός ο αριθμός μεταφέρεται σε έναν καταχωρητή (εδώ ο R5) για να χρησιμοποιηθεί αργότερα. Η αναλογική τάση έχει εύρος από 0V ως 5V. Αυτή η τάση χωρίζεται σε 5 κομμάτια ανά 1V. Αυτή η δειγματοληψία γίνεται μια φορά στις 255, καθώς είναι σχετικά χρονοβόρα σε κύκλους μηχανής, ενώ δε χρειάζεται να γίνεται τόσο συχνά.

Η διαμόρφωση PWM γίνεται με τη χρήση του timer 1 interrupt σε λειτουργία 8 bit auto reload ρυθμισμένο να εκτελεί μια σειρά εντολές (εδώ 12500 φορές/δευτερόλεπτο).

Διακόπτει τη κανονική ροή του κυρίως προγράμματος, και πριν ξεκινήσει οτιδήποτε, αποθηκεύει ότι έχει ο accumulator προσωρινά σε ένα καταχωρητή (εδώ ο 33H). Αυτό γίνεται διότι θα χρειαστεί ο accumulator για τη λογική πράξη της περιστροφής. Έτσι δε θα χαθεί η τιμή που είχε πριν και δε θα επηρεαστεί ότι λειτουργία γινόταν πριν το interrupt.

Στη συνέχεια στέλνει στον 34H το περιεχόμενο του PSW, διότι και σε αυτόν υπάρχουν σημαντικά bit όπως το κρατούμενο, που χρησιμοποιείται από το κυρίως πρόγραμμα. Αν δε σώζεται κάπου, τότε κατά την εναλλαγή TIMER- κυρίως προγράμματος, θα έχουμε αστάθεια του κώδικα. Η τιμές Accumulator και PSW ανακαλούνται πριν το τέλος του interrupt.

Κατά την εκτέλεση του interrupt, χρησιμοποιείται ένα bit από το byte της RAM (21H) που περιστρέφεται και σύμφωνα με αυτό αποφασίζεται αν θα έχουμε περίοδο ON ή OFF. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι να ανακαλείται το αποθηκευμένο byte του 21H, να ελέγχεται ένα προκαθορισμένο bit του, να περιστρέφεται το byte κατά ένα bit και να αποθηκεύεται πάλι στον 21H, για την επόμενη φορά.

Η μέτρησή της ταχύτητας γίνεται μέσα στο ίδιο interrupt ώστε να παίρνει ένα δείγμα ανά σταθερό χρόνο. Εδώ 10 φορές το δευτερόλεπτο αποθηκεύει στον 31H, ότι βηματισμούς έχει καταγράψει ο 30H. Οι μεταγωγές BLDC μετριοούνται στην υπορουτίνα PROC. Μόλις γίνει η δειγματοληψία, μηδενίζεται ο καταχωρητής καταμέτρησης 30H.

Παράλληλα εναλλάσσονται οι εικονικές θέσεις ώστε να είναι διαθέσιμες για την "τυφλή" υποβοήθηση αν χρειαστεί. Αυτό γίνεται με το εξής σκεπτικό: Σκοπός μας είναι να έχουμε μια στοιχειώδη έλξη για χαμηλή ταχύτητα (5χλμ/ώρα σταθερά), σε περίπτωση που βγάλουν σφάλμα οι αισθητήρες HALL, αρκεί να ζητείται επιτάχυνση. Αυτό γίνεται υπολογίζοντας τη περιστροφή του μαγνητικού πεδίου του στάτορα, για την αντίστοιχη γωνιακή ταχύτητα (288 μεταγωγές ανά δευτερόλεπτο). Η ισχύς που δίνεται είναι η μικρότερη, δηλαδή duty cycle 25%.

Να επισημάνουμε ότι έχει τεθεί σε υψηλή προτεραιότητα το εξωτερικό interrupt 1 που αντιστοιχεί στην ωφέλιμη πέδηση. Ενεργοποιώντας το, οτιδήποτε άλλο σταμάτα και τα relay γυρνάνε σε θέση φρεναρίσματος. Μόλις το interrupt 1 απενεργοποιηθεί, ξανακάνει κάποιες αρχικοποιήσεις, τα relay αλλάζουν ξανά θέση και συνεχίζεται η ροή του προγράμματος.

Η υπορουτίνα θέσης (POSITION) λειτουργεί παίρνοντας ανάδραση από τους αισθητήρες Hall, και έτσι εντοπίζει ποια είναι η ακριβής θέση του άξονα. Επειδή έχουμε να κάνουμε με μια πλακέτα που παράγεται ηλεκτρονικός θόρυβος από τα συστήματα κατάτμησης τάσης, είναι σίγουρο πως κάποια στιγμή, για κάποιο εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου, θα λάβει μια λάθος τιμή, προκαλώντας προβλήματα. Για αυτό ελέγχεται δύο φορές αν λαμβάνει την ίδια τιμή πριν δοθεί για επεξεργασία. Αν οι ληφθείσες τιμές είναι ανόμοιες, τότε ξαναγίνεται ο έλεγχός από την αρχή.

Η υπορουτίνα επεξεργασίας (εδώ PROC) είναι το κομμάτι του κώδικα που κάνει τις επεξεργασίες. Ξεκινώντας θα ελέγξει αν λάβει μια ψηφιακή λέξη που δεν αντιστοιχεί σε κάποια από τις έξι που προβλέπεται να επιστρέφουν οι αισθητήρες Hall. Αν συμβεί αυτό τότε συμπεραίνει πως υπάρχει σίγουρα σφάλμα με τους αισθητήρες, κάνοντας την εναλλακτική λειτουργία της "τυφλής" υποβοήθησης, θέτοντας εκτός τους αισθητήρες και αναπληρώνοντας τους με εικονικές τιμές.

Η αντιστοιχία των πυλών έλεγχου των MOSFET με τα pin του 8051, για τη συγκεκριμένη κατασκευή είναι: P1.0=C-NMOS, P1.1=C-PMOS, P1.2=B-NMOS, P1.3=B-PMOS, P1.4=A-NMOS, P1.5=A-PMOS. Η αντιστοιχία για τους HALL είναι A=P2.2, B= P2.1 και C=P2.0.

Στο επόμενο στάδιο έχουμε να επιλέξουμε ποιο ON η OFF byte θα αποστέλλεται στην έξοδο P1 για τα MOSFET, σύμφωνα με τις τιμές HALL -πραγματικές ή εικονικές-. Επειδή έχουμε να κάνουμε με πολλές επιλογές (1 ως 6 ), κάνουμε πινάκα αλμάτων συναρτήσεως της θέσης μνήμης και της τιμής εισόδου. Έτσι δε χάνουμε χρόνο ελέγχοντας

μια προς μια κάθε περίπτωση. Κάθε φορά που επιλέγεται μια από τις έξι πιθανές θέσεις στέλνεται το ανάλογο ON byte σε μια θέση μια θέση μνήμης (37H) και OFF byte σε μια άλλη (38H).

Τέλος γίνεται ένας έλεγχος για το αν μετακινήθηκε μπροστά -μόνο- το μοτέρ, χρησιμοποιώντας έναν καταχωρητή (εδώ ο 2FH) σε byte ανίχνευσης. Συγκρίνεται με αφαίρεση αν είναι ένας αριθμός-δείκτης ίδιος με έναν αριθμό-δείκτη με την αντίστοιχη προηγούμενη καταχώρηση 2FH. Έτσι εντοπίζεται η πιθανή μετάβαση θέσης. Αν είναι ίδιος, τότε αυξάνει το μετρητή μεταγωγών που χρειάζεται ή επεξεργασία για τη ταχύτητα. Όταν ξαναμπεί στην ίδια θέση ή πιθανόν στη προηγούμενη της (πισωγύρισμα), τότε η αφαίρεση βγάζει ένα αποτέλεσμα οτιδήποτε άλλο εκτός από 0 και αυτό ερμηνεύεται πως ο τροχός δεν έκανε βηματισμό προς τα εμπρός.

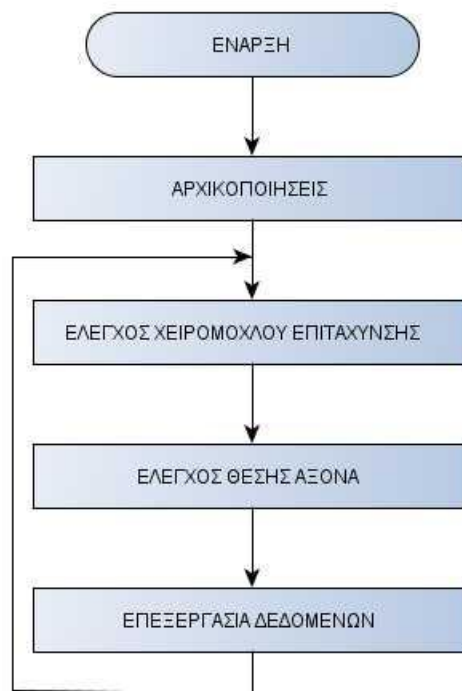
Το επόμενο στάδιο είναι να αποφασιστεί ποια θα είναι τα τελικά byte εξόδου στα MOSFET, συναρτήσει της θέσης και το PWM byte, συναρτήσει της ζητούμενης επιτάχυνσης και της ταχύτητας του ποδηλάτου. Ξεκινώντας κάνει μια σύγκριση μέσω αφαίρεσης, των μεταγωγών BLDC ανά μονάδα χρόνου που έχουν καταχωρηθεί στη RAM, 30H, με ένα σταθερό αριθμό που προκύπτει από τους υπολογισμούς για τις στροφές ανά μονάδα χρόνου. Αν υπερβεί το σταθερό αριθμό που αντιστοιχεί στις μέγιστες στροφές ανά μονάδα χρόνου, (όχι κρατούμενο από την αφαίρεση) τότε θεωρεί πως το ποδήλατο τρέχει πολύ γρήγορα (πάνω από 25χλμ/ανά ώρα). Τότε απενεργοποιεί τα MOSFET (Αυτό όπως είπαμε πριν, γίνεται για την ασφάλεια του αναβάτη) και αποστέλλει σαν PWM byte το "0", καθώς η διαμόρφωση δε σταματάει να γίνεται λόγω του ότι εκτελείται μέσω του TIMER. Το ίδιο γίνεται στη περίπτωση που ο αναβάτης δε ζητά επιτάχυνση, δηλαδή θέση throttle = 0.

Εφόσον βρει μικρότερη των 25χλμ/ώρα ταχύτητα και ο αναβάτης επιθυμεί υποβοήθηση, κάνει πάλι συγκρίσεις μέσω αφαίρεσης μέχρι να ισορροπήσει την επιθυμητή επιτάχυνση (θέση 1 ως 4 του throttle) με τη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ (διαμόρφωση PWM). Αν βρει πως περιστρέφεται περισσότερο από όσο ζητάει ο αναβάτης, τότε δίνει μόνο τη ζητούμενη ισχύ. Αν συμβαίνει το αντίθετο τότε σημαίνει πως ο αναβάτης θέλει να επιταχύνει. Τότε το σύστημα θα δίνει την ισχύ τμηματικά ανά 1/4 μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή επιτάχυνση. Δηλαδή αν η ταχύτητα πχ. είναι μέσα στο εύρος των 2/4 της συνολικής επιτρεπτής ταχύτητας, τότε δίνεται παραπάνω ηλεκτρική ισχύς μέχρι να φτάσει στα 3/4 της συνολικής επιτρεπτής ταχύτητας κοκ. Η λειτουργία του "κόφτη" γίνεται με τη χρήση της λογικής πράξης AND (μάσκα). Έτσι παράγεται το byte που θα περιστρέφεται για να κάνει PWM. Αν πχ. χρειαστεί duty circle 25% για 1/4 της μέγιστης ισχύος, το byte θα είναι "00010001"(bin) που εδώ πάει στη θέση 32H. Για κάθε 1/4 της τελικής ταχύτητας πρέπει να μετρούνται οι 36 μεταγωγές ανά 1/10 sec που υπολογίσαμε στην αρχή. Αυτό φαίνεται στα ακέραια πολλαπλάσια του αριθμού 36 με τα οποία συγκρίνει η υπορουτίνα επεξεργασίας. Τελικός μας στόχος με όλα αυτά είναι να κρατιέται σταθερό ένα ρεύμα μέσα από τα τυλίγματα για τη βέλτιστη ροπή του κινητήρα. Στη περίπτωση επιτάχυνσης, μεταφορτώνονται τα ON και OFF byte που παράγονται στο κομμάτι της επιλογής θέσης, στις θέσεις μνήμης 39H και 3AH αντίστοιχα και είναι αυτές που "βλέπει" ο TIMER1.

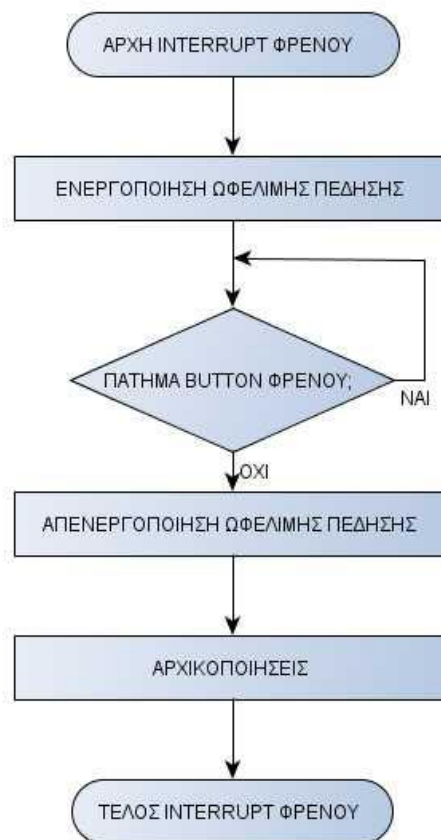
Τέλος η δικλείδα ασφαλείας για το περιστρεφόμενο byte 21H είναι να εναλλάσσεται μόνο όταν είναι διαφορετικό σε σχέση με το προηγούμενο, ώστε να προλαβαίνει να κλείνει πλήρεις κύκλους.

### 3.2.2. Διαγράμματα ροής κώδικα

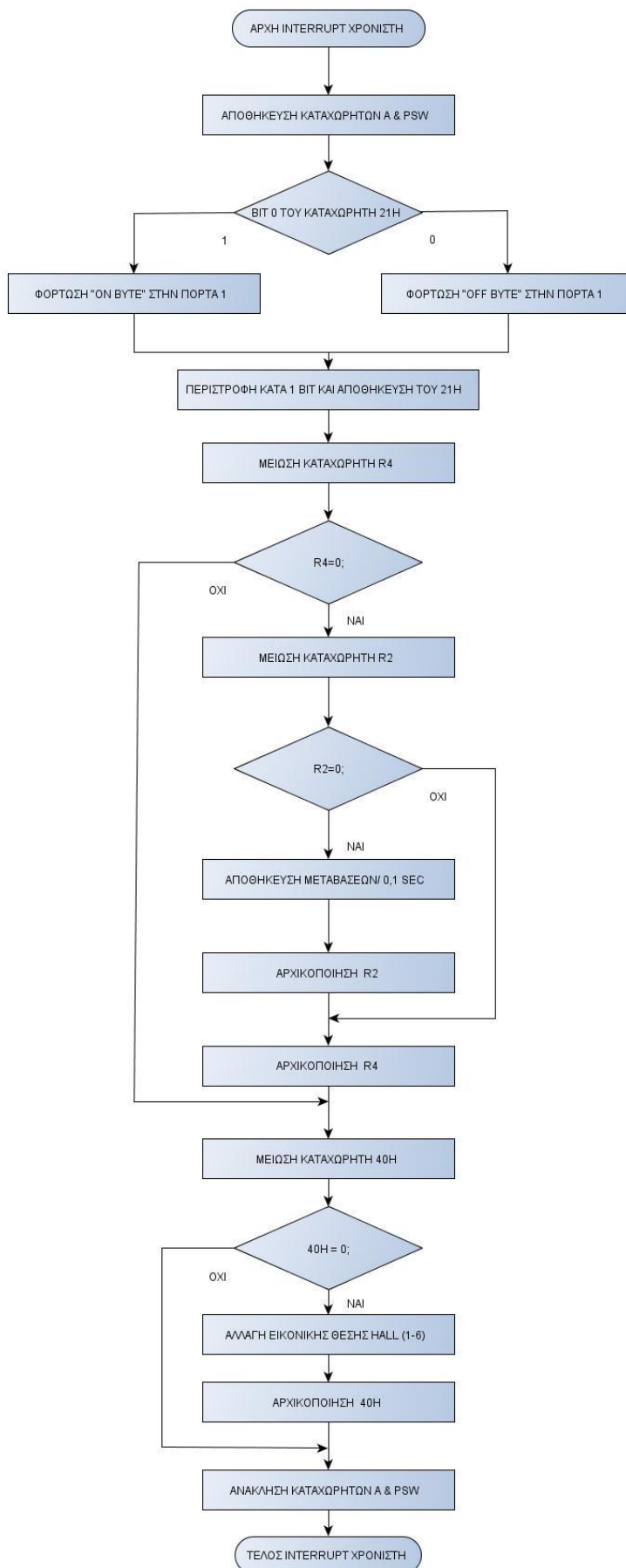
Τα διαγράμματα ροής (flowcharts) είναι συνοπτικές απεικονίσεις που μας βοηθάνε να συνθέσουμε ένα πρόγραμμα για τις ανάγκες μας ή να αναλύσουμε ένα ήδη δοσμένο. Τα παρακάτω σχήματα περιγράφουν τη δομή των βασικότερων κομματιών του κώδικα.



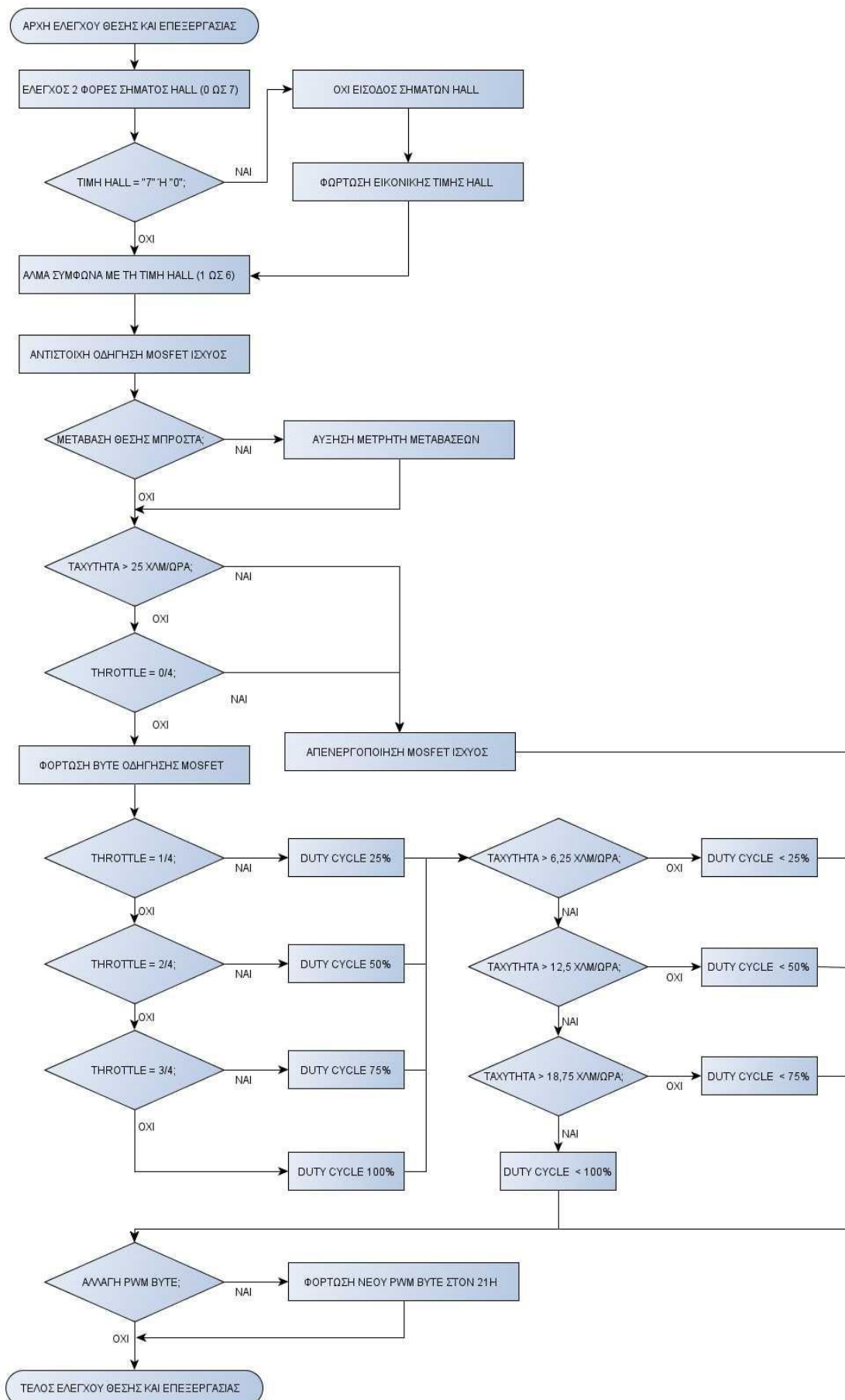
Εικόνα 3.12: Κυρίως πρόγραμμα.



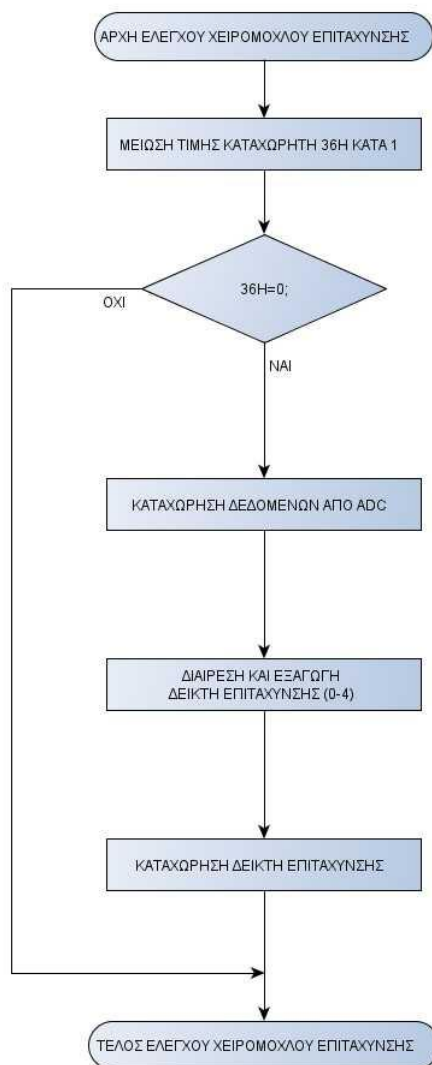
Εικόνα 3.13: Interrupt ωφέλιμης πέδησης (BRAKE).



Εικόνα 3.14: Interrupt χρονισμού (Timer1).



Εικόνα 3.15: Έλεγχος θέσης άξονα και Επεξεργασία δεδομένων



Εικόνα 3.16: Έλεγχος επιτάχυνσης

### 3.2.3. Προτεινόμενος κώδικας σε Assembly 8051.

```

ORG 0
SJMP MAIN
ORG 0013H
LJMP BRAKE
ORG 001BH
LJMP TIMER1
MAIN:
MOV P0, #0           ;12 MHz xtal
MOV P1, #0           ;P0 USELESS
MOV P2, #255        ;DISABLE PWM OUTPUTS
MOV P3, #254        ;HALL INPUT AND DISABLE ADC
MOV TMOD, #32       ;RELAYS ON AND INTERRUPT STANDBY
MOV IP, #4          ;TIMER 1-> 8BIT AUTO RELOAD
MOV TH1, #175       ;INTERRUPT PRIORITY TO EXT1
MOV TH1, #175       ;BASIC TIMER FREQUENCY 12,5KHz
;*****
MOV 14H, #101B
MOV 15H, #001B
MOV 16H, #011B
  
```



```

MOV 17H, #010B ;VIRTUAL POSITION MATRIX
MOV 18H, #110B
MOV 19H, #100B
;*****
MOV TL1, #0 ;RESET TIMER
MOV R1, #14H ;VIRTUAL POSITION
MOV R2, #1 ;SAMPLE DELAY(1)
MOV R4, #1 ;SAMPLE DELAY(2)
MOV R5, #0 ;R5 FOR THROTTLE
MOV 20H, #0 ;20H FOR ADC DATA
MOV 21H, #0 ;21H FOR ROTATING PWM BYTE
MOV 30H, #0 ;SAMPLES
MOV 31H, #0 ;31H FOR 10 SAMPLES/SEC
MOV 32H, #0 ;TEMPORARY PWM BYTE (1)
MOV 33H, #0 ;A BYTE
MOV 34H, #0 ;PSW BYTE
MOV 35H, #1 ;ADC DELAY
MOV 36H, #0 ;TEMPORARY PWM BYTE (2)
MOV 37H, #0 ;ON BYTE(1)
MOV 38H, #0 ;OFF BYTE(1)
MOV 39H, #0 ;ON BYTE(2)
MOV 3AH, #0 ;OFF BYTE(2)
MOV 40H, #1 ;VIRTUAL COMMUTATION COUNTER
MOV 2FH, #0 ;TRACE BYTE
MOV 2CH, #0 ;PREVIUS TRACE BYTE
MOV TCON, #64 ;START TIMER 1
MOV IE, #140 ;ENABLE EXT1,TIMER 1
LOOP:
ACALL THROTTLE
ACALL POSITION
ACALL PROC
SJMP LOOP
THROTTLE:
DJNZ 35H, NOSCAN
CLR P2.3
NOP
NOP
SETB P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.7, C ; BIT 7
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.6, C ; BIT 6
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.5, C ; BIT 5
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.4, C ; BIT 4
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.3, C ; BIT 3
CPL P2.5

```

```

CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.2, C      ; BIT 2
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.1, C      ; BIT 1
CPL P2.5
CPL P2.5
MOV C, P2.4
MOV 20H.0, C      ; BIT 0
SETB P2.3
CLR P2.5
MOV A, 20H        ;20H FOR ADC DATA
MOV B, #51
DIV AB
MOV R5, A         ;THROTTLE CASES 0->4
NOSCAN:
RET
POSITION:         ;POSITION CHECK
MOV A, P2
ANL A, #7         ; read Hall sensors first time
MOV B, A
MOV A, P2
ANL A, #7         ; read Hall sensors second time
CLR C
SUBB A, B
JNZ POSITION
MOV A, B          ; CONFIRMED VALUE
RET
PROC:             ;DATA PROCESSING
CJNE A, #0, CHECK2 ; 1st ERROR CHECK (HALL = 000)
AJMP NO_HALL
CHECK2:
CJNE A, #7, HALL  ; 2nd ERROR CHECK (HALL = 111)
NO_HALL:
ANL P2, #248     ; DISABLE HALL INPUT
MOV A, @R1       ; CONTAINS THE VIRTUAL POSITION
HALL:
RL A
MOV DPTR, #($+2)
JMP @A+DPTR
AJMP P2_6
AJMP P4_6
AJMP P3_6        ;JUMP POINT MATRIX
AJMP P6_6
AJMP P1_6
AJMP P5_6
P1_6:
MOV A, 2FH       ; POSITION 1, 101B
SUBB A, #6       ;PREVIUS POSITION
MOV 2FH, #1
MOV 37H, #00010010B ;ON BYTE
MOV 38H, #00010001B ;OFF BYTE
SJMP OUT
P2_6:
MOV A, 2FH       ; POSITION 2, 001B
SUBB A, #1       ;PREVIUS POSITION

```

```

MOV 2FH, #2
MOV 37H, #00011000B ;ON BYTE
MOV 38H, #00010100B ;OFF BYTE
SJMP OUT
P3_6:
MOV A, 2FH ; POSITION 3, 011B
SUBB A, #2 ;PREVIUS POSITION
MOV 2FH, #3
MOV 37H, #00001001B ;ON BYTE
MOV 38H, #00000101B ;OFF BYTE
SJMP OUT
P4_6:
MOV A, 2FH ; POSITION 4, 010B
SUBB A, #3 ;PREVIUS POSITION
MOV 2FH, #4
MOV 37H, #00100001B ;ON BYTE
MOV 38H, #00010001B ;OFF BYTE
SJMP OUT
P5_6:
MOV A, 2FH ; POSITION 5, 110B
SUBB A, #4 ;PREVIUS POSITION
MOV 2FH, #5
MOV 37H, #00100100B ;ON BYTE
MOV 38H, #00010100B ;OFF BYTE
SJMP OUT
P6_6:
MOV A, 2FH ; POSITION 6, 100B
SUBB A, #5 ;PREVIUS POSITION
MOV 2FH, #6
MOV 37H, #00000110B ;ON BYTE
MOV 38H, #00000101B ;OFF BYTE
OUT:
JNZ NO_COMMUTATION
INC 30H
NO_COMMUTATION:
MOV A, 31H
CLR C
SUBB A, #144 ;MAX RPM (PER 0,1SEC)
JC CONTINUE
MOV P1, #0 ;DISABLE OUTPUT
MOV 39H, #0
MOV 3AH, #0 ;DISABLE TIMER OUTPUT PUSLES
AJMP EXIT
CONTINUE:
CJNE R5 #0, NEXT1
MOV P1, #0 ;DISABLE OUTPUT
MOV 39H, #0
MOV 3AH, #0 ;DISABLE TIMER OUTPUT PUSLES
AJMP EXIT
NEXT1:
MOV 39H, 37H
MOV 3AH, 38H ;SWITCH BYTES TO TIMER
CJNE R5, #1 ,NEXT2
MOV 32H, #00010001B
SJMP PWM1
NEXT2:
CJNE R5, #2, NEXT3

```

```

MOV 32H, #00110011B      ;PWM AT 3,125KHz
SJMP PWM1
NEXT3:
CJNE R5, #3, NEXT4
MOV 32H, #01110111B
SJMP PWM1
NEXT4:
MOV 32H, #11111111B
PWM1:
MOV A, 31H
SUBB A, #36
JNC PWM2
ANL 32H, #00010001B      ;POWER OUTPUT 1\4
SJMP EXIT
PWM2:
MOV A, 31H
SUBB A, #72
JNC PWM3
ANL 32H, #00110011B      ;POWER OUTPUT 2\4
SJMP EXIT
PWM3:
MOV A, 31H
SUBB A, #108
JNC EXIT
ANL 32H, #01110111B      ;POWER OUTPUT 3\4
EXIT:
MOV A, 32H                ;PWM BYTE
CLR C
SUBB A, 36H
JZ NO_LOAD
MOV 21H, 32H
NO_LOAD:
MOV 36H, 32H
RET
BRAKE:
CLR P3.1                  ;RELAYS OFF
MOV P1, #0                ;DISABLE OUTPUT
JNB P3.3, $               ;STANDBY
SETB P3.1                 ;RELAYS ON
MOV R1, #14H              ;VIRTUAL POSITION
MOV R2, #1                ;SAMPLE DELAY(1)
MOV R4, #1                ;SAMPLE DELAY(2)
MOV R5, #0                ;R5 FOR THROTTLE
MOV 20H, #0               ;20H FOR ADC DATA
MOV 21H, #0               ;21H FOR ROTATING PWM BYTE
MOV 30H, #0               ;SAMPLES
MOV 31H, #0               ;31H FOR 10 SAMPLES/SEC
MOV 32H, #0               ;TEMPORARY PWM BYTE (1)
MOV 33H, #0               ;A BYTE
MOV 34H, #0               ;PSW BYTE
MOV 35H, #1               ;ADC DELAY
MOV 36H, #0               ;TEMPORARY PWM BYTE (2)
MOV 37H, #0               ;ON BYTE(1)
MOV 38H, #0               ;OFF BYTE(1)
MOV 39H, #0               ;ON BYTE(2)
MOV 3AH, #0               ;OFF BYTE(2)
MOV 40H, #1               ;VIRTUAL COMMUTATION COUNTER

```

```
        MOV 2FH, #0          ;TRACE BYTE
        MOV 2CH, #0          ;PREVIUS TRACE BYTE
        MOV PSW, #0
        MOV TL1, #0          ;RESET TIMER
        RETI
TIMER1:
        MOV 34, PSW          ;SAVE PSW
        MOV 33H, A           ;SAVE A
        JNB 21H.0, COM_OFF
        MOV P1, 39H
        SJMP OUT2
COM_OFF:
        MOV P1, 3AH
OUT2:
        MOV A, 21H
        RR A
        MOV 21H, A
        DJNZ R4, NOSAMPLE    ;10 SAMPLES/SEC
        DJNZ R2, NOSAMPLE2
        MOV 31H, 30H
        MOV 30H, #0
        MOV R2, #250
NOSAMPLE2:
        MOV R4, #5
NOSAMPLE:
        DJNZ 40H, FALSEMODE  ;VITUAL POSITIONS
        INC R1
        CJNE R1, #1AH, NO_RESET
        MOV R1, #14H
NO_RESET:
        MOV 40H, #44          ;~288 COMMUTATIONS/SEC
FALSEMODE:
        MOV A, 33H           ;RESTORE A
        MOV PSW, 34H        ;RESTORE PSW
        RETI
END
```

## 4. Συμπεράσματα

Για να γίνει δυνατή η ολοκλήρωση αυτής της μελέτης χρειάστηκε επανάληψη και εμπλουτισμός των παρακάτω βασικών γνώσεων:

- ▲ Βασική ηλεκτρονική και ηλεκτρονικά ισχύος: Με τη βασική ηλεκτρονική μπορούμε να συνθέσουμε τα απαραίτητα κυκλώματα, και να εξηγήσουμε τις μετρήσεις των ασθενών ηλεκτρικών σημάτων, προκειμένου να προβούμε σε βελτιώσεις. Με τα ηλεκτρονικά ισχύος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σωστά και με ασφάλεια, τα εξαρτήματα που διαχειρίζονται υψηλή ηλεκτρική ισχύ. Επειδή μάλιστα είχαμε να κάνουμε και με ηλεκτρικό κινητήρα χρειάστηκαν βασικές γνώσεις ηλεκτρολογίας και ηλεκτρικών μηχανών.
- ▲ Σχεδίαση πλακέτας με CAD και κατασκευή της: Η χωροθέτηση των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν πάνω στη πλακέτα, έγινε με τη χρήση ειδικού σχεδιαστικού προγράμματός. Η φιλοσοφία όλων των CAD προγραμμάτων είναι ίδια με το πρόγραμμα που διδάσκεται στο ΤΕΙ. Έτσι οποιός έχει μια στοιχειώδη εξοικείωση μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε πρόγραμμα CAD.
- ▲ Μέθοδοι προγραμματισμού. Ο κώδικας έλεγχου του ολοκληρωμένου κυκλώματος απαιτούσε σφαιρικές γνώσεις προγραμματισμού, προκειμένου να γίνει και αποδοτικότερη η χρήση του. Έτσι γίνεται αμέσως κατανοητή η οποία μέθοδος προγραμματισμού επιλέξουμε (Στην περίπτωση μας η ASSEMBLY).
- ▲ Γνώσεις στις μηχανουργικές εργασίες για να γίνει σωστά η τροποποίηση του κουτιού που θα εγκλειστεί η πλακέτα.

Η κατασκευή λειτούργησε σε ικανοποιητικό βαθμό χωρίς προβλήματα. Παρόλα αυτά πιθανόν να χρειάζεται βελτίωση, καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα του χρόνου να δοκιμαστεί περισσότερο η αξιοπιστία και η αντοχή του.

Μια σκέψη για τη βελτίωση του είναι να καταργήσουμε τελείως το step down chopper των 24 Volt και η διαμόρφωση εύρους παλμών να γίνεται απευθείας από τα MOSFET της τριφασικής γέφυρας. Με την απευθείας σύνδεση της μπαταρίας θα αυξηθεί ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης. Αυτό όμως απαιτεί έναν ακόμα ADC που θα μετρά την μεταβαλλόμενη τάση της μπαταρίας, αποδίδοντας μια ψηφιακή τιμή στον 8051. Ο 8051 με τη σειρά του θα πρέπει να έχει στον κώδικά του μια προθήκη για προσαρμογή της διαμόρφωση εύρους παλμών, όπου για οποιαδήποτε μετρούμενη τάση θα αποδίδει σταθερά τα 0, 6, 12, 18 ή 24 Volt, υποκαθιστώντας τη hardware λύση.

Στον αντίποδα, θα αναβαθμίζαμε το step up chopper της ωφέλιμης πέδησης όπως το step down chopper που προαναφέραμε, προσθέτοντας περιοριστή ρεύματος σύμφωνα με τις ανάγκες της μπαταρίας καταργώντας έτσι τις ασφάλειες διμεταλλικού ελάσματος.

Δε θα ήταν σωστό να ξεχάσουμε όσους συμβάλλανε: Ο επιβλέπων Καθηγητής Εφαρμογών Νικόλαος Πετράκης με την εμπειρία του, βοήθησε στη καλύτερη σύνταξη της τελικής αναφοράς και πρότεινε λύσεις για ένα αποτελεσματικό κώδικα του 8051. Η καθηγήτρια αγγλικών Σοφία βοήθησε στις μεταφράσεις ενώ οι χιλιάδες ηλεκτρονικοί ερασιτέχνες, προσφέρουν μέσω Διαδικτύου άμεσες λύσεις σε τεχνικά ζητήματα, εξάπτοντας παράλληλα τη περιέργεια να εξηγηθεί πως έφτασαν σε αυτές, μελετώντας και εμπλουτίζοντας τις γνώσεις από τη βιβλιογραφία.

# Βιβλιογραφία

## Βιβλία:

- ♣ Ανάπτυξη συστημάτων με μικροελεγκτές 8051, Δόκτωρ Σταμάτης Αλατσαθιανός.
- ♣ Ηλεκτρονική MALVINO 5η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα.
- ♣ Ηλεκτρονικά ισχύος, Ά τόμος, Γ έκδοση, Στέφανος Μανιάς, Εκδόσεις Συμεών.
- ♣ Βασική ηλεκτρολογία, Δρ. Μηχ. Νίκος Κολλιόπουλος, Εκδόσεις ΙΩΝ.

## Άρθρα:

- ♣ Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals (PDF της microchip με κωδικό AN885).
- ♣ Sensor-based control of three phase Brushless DC motor (PDF της ATMEL με κωδικό AVR443).
- ♣ Sealed lead-acid batteries technical manual. (PDF της POWERSONIC)
- ♣ GB1272 SLA DATASHEET. (PDF της CSB)

## Ιστοτόποι:

- ♣ [http://www.aca-vogel.de/DCDC-Converter/8AfromLM2575\\_en.html](http://www.aca-vogel.de/DCDC-Converter/8AfromLM2575_en.html)
- ♣ [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_bicycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_bicycle)
- ♣ [http://www.keil.com/support/man/docs/is51/is51\\_instructions.htm](http://www.keil.com/support/man/docs/is51/is51_instructions.htm)
- ♣ [http://openbookproject.net/electricCircuits/AC/AC\\_13.html](http://openbookproject.net/electricCircuits/AC/AC_13.html)
- ♣ [http://educyclopedia.karadimov.info/library/4-pole\\_bldc\\_motor.swf](http://educyclopedia.karadimov.info/library/4-pole_bldc_motor.swf)