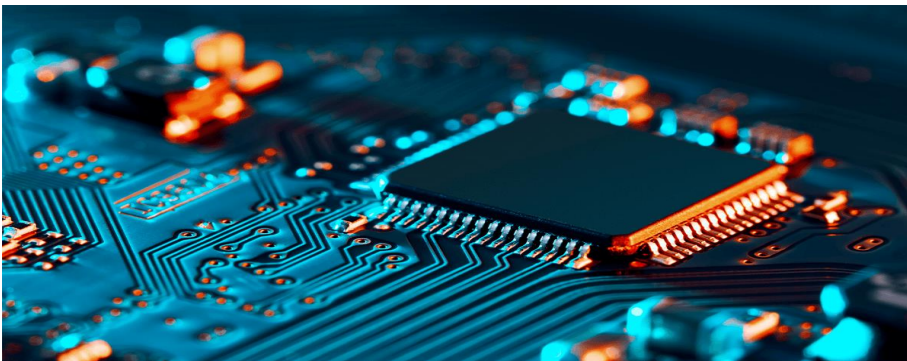




ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΘΕΜΑ»



Του φοιτητή:
Μιχαήλ Σπάρταλη
Αρ. Μητρώου: 514318

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο:
Άγγελος Γιακουμής
Βαθμίδα: Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και κατασκευή Inverter για έλεγχο τριφασικού κινητήρα χαμηλής τάσης με
μικροελεγκτή
Κωδικός Δ.Ε. 21287
Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών Μιχαήλ Σπάρταλης
Όνοματεπώνυμο εισηγητή Άγγελος Γιακουμής
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 23-08-2021
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.Π.Α.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Μιχαήλ Σπάρταλη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιέρωση»
Στην οικογένειά μου*

Πρόλογος

Μετά από την εντριβή που είχα με τα κυκλώματα για την οδήγηση κινητήρων στα μαθήματα των ηλεκτρονικών και του προγραμματισμού μικροελεγκτών στο τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, κατάλαβα πως η χρήση της διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) είναι μια πολύ αποδοτική μέθοδος για την οδήγηση κινητήρων και αποτελεί μεγάλο κομμάτι της σύγχρονης τεχνολογίας.

Οι μικροελεγκτές με την σειρά τους, παρέχουν μεγάλες δυνατότητες στον προγραμματιστή για την διαχείριση και επεξεργασία των σημάτων λόγω της μεγάλης υπολογιστικής ισχύος που έχουν καθώς μπορούν να επεξεργάζονται σήματα και να υπολογίζουν αποτελέσματα πράξεων σε πολύ μικρούς χρόνους (τάξης ns/μs).

Οι παραπάνω λόγοι είναι αυτοί που με παρακίνησαν να ασχοληθώ με αυτό το κομμάτι στο ατέρμονο εύρος που παρέχει η επιστήμη των ηλεκτρονικών, καθώς και η χρήση αυτής της σύγχρονης τεχνολογίας η οποία βρίσκεται σε τομείς όπως:

- στην βιομηχανία, σε μεγάλους κινητήρες υψηλής ισχύος, όπως πρέσες, αντλίες, μεταφορικές ταινίες, κοπτικά συστήματα
- σε μικρότερους κινητήρες με ακρίβεια ταχύτητας και θέσης όπως σε εργαλειομηχανές κατεργασίας μετάλλων, τόνους, φρέζες, συγχρονιζόμενα κοπτικά και διαμορφωτικά υψηλής ταχύτητας, μηχανήματα τροφοδοσίας, συσκευαστικά συστήματα
- ρομποτικοί βραχίονες με πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας, με μεγάλη ακρίβεια και επαναληψιμότητα θέσης και απόλυτο έλεγχο επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

Περίληψη

Από τα χρόνια των ανακαλύψεων και των εφευρέσεων του Τέσλα γνωρίσαμε την τριφασική ηλεκτρική πηγή και το περιστρεφόμενο τριφασικό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, με εφαρμογή στους τριφασικούς ηλεκτρικούς κινητήρες.

Η επαναστατική λειτουργία του τριφασικού κινητήρα έγκειται στο περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από τις φάσεις της πηγής με χρονική μετατόπιση 120°

Η ανακάλυψη της δυνατότητας επαγωγής ενέργειας στον ρότορα μέσω πηνίων, εξάλειψε την ανάγκη ύπαρξης συστήματος ψυκτών και συλλέκτη και τα συνεπαγόμενα προβλήματα φθορών, περιορισμού ταχύτητας περιστροφής καθώς και του κόστους κατασκευής και συντήρησης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος που προϋπήρχαν.

Πώς όμως μπορούμε να δημιουργήσουμε μια τριφασική πηγή τάσης με έλεγχο ισχύος και συχνότητας ώστε να τροφοδοτήσουμε και να ελέγξουμε τον θαυμάσιο αυτό ηλεκτρικό κινητήρα;

Η λύση είναι να χρησιμοποιήσουμε τον τριφασικό ηλεκτρονικό εναλλάκτη συχνότητας, γνωστό ως «inverter»

Με την συσκευή αυτή μπορούμε να μετατρέψουμε μια συνεχή τάση (DC bus) σε τριφασική πηγή τάσης με ελεγχόμενη ισχύ και συχνότητα.

Έχουμε την δυνατότητα να ελέγξουμε την κίνηση του τριφασικού κινητήρα με ακρίβεια, την ταχύτητα περιστροφής, την ροπή στρέψης και την θέση του άξονα όταν πρόκειται για συστήματα σερβομηχανισμού.

Ποιο είναι το βασικό κύκλωμα μετατροπής της συνεχούς τάσης σε τριφασική εναλλασσόμενη;

Ένα κύκλωμα «γέφυρας» με 6 ηλεκτρονικούς διακόπτες και μια μονάδα ελέγχου και οδήγησης 6 καναλιών μας προσφέρει την δυνατότητα πραγματοποίησης του μετατροπέα που χρειαζόμαστε για την λειτουργία του τριφασικού κινητήρα.

«Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας»

Study and development of a 3-phase inverter for low-voltage
motor controlled with microcontroller

«Όνομα & Επώνυμο Φοιτητή»

Michael Spartalis

Abstract

From the years of Tesla's discoveries and inventions we have known the three-phase electric source and the rotating three-phase electric and magnetic field, applied to three-phase electric motors.

The revolutionary operation of the three-phase motor lies in the rotating magnetic field caused by the phases of the source with a time shift of 120°

The discovery of the possibility of induction of energy in the rotor through coils, eliminated the need for a cooler and collector system and the resulting problems of wear, speed limitation and the cost of construction and maintenance of pre-existing DC motors.

But how do we create a three-phase voltage source with power and frequency control to power and control this wonderful electric motor?

The solution is to use the three-phase electronic frequency converter, known as "inverter"

With this device we can convert a continuous voltage (DC bus) into a three-phase voltage source with controlled power and frequency.

We have the ability to control the movement of the three-phase motor accurately, the speed of rotation, the torque and the position of the shaft when it comes to servomotors.

What is the basic circuit of converting continuous voltage to three-phase alternating current?

A "bridge" circuit with 6 electronic switches and a control and driving unit of 6 channels offers us the possibility of realizing the converter we need for the operation of the three-phase motor.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω, για την υποστήριξη, την βοήθεια μέσω προσωπικής εμπειρίας και την συμμετοχή στην συγγραφή αυτής της εργασίας, τον πατέρα μου Ανθιμο Σπάρταλη.

Αυτή η έρευνα δεν θα είχε επιτυχία χωρίς την πολύτιμη καθοδήγηση και την εποικοδομητική κριτική σε όλη τη διάρκεια της έρευνας.

Τέλος, μια εκτίμηση πάνε σε όλους τους φορείς που μου επέτρεψαν να χρησιμοποιήσω τις εγκαταστάσεις τους καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνάς μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα	ix
Συντομογραφίες	xi
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας.....	2
1.3 Οι δυνατότητες της τεχνολογίας.....	2
1.4 Δηλώσεις προβλημάτων.....	3
1.5 Οι κινητήρες.....	3
1.5.1 Οφέλη χρήσης τριφασικών κινητήρων.....	4 5
1.5.2 Οφέλη χρήσης μονοφασικών κινητήρων.....	5
1.6 Επίλογος.....	6
Κεφάλαιο 2ο: Ανασκόπηση της εργασίας	7
2.1 Εισαγωγή.....	7
2.2 Ο μετατροπέας.....	7
2.3 Ο αντιστροφέας	8
2.4 Ο τριφασικός αντιστροφέας	9
2.5 Τεχνική ελέγχου λόγου τάσης και συχνότητας	11
2.6 Παράμετρος απόδοσης ενός μετατροπέα	12
2.7 Τα φίλτρα	13
2.8 Διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM).....	14 15
2.9 Τύποι PWM.....	16
2.9.1 Διαμόρφωση ενός παλμού.....	18
2.9.2 Διαμόρφωση πολλαπλών παλμών.....	18
2.9.3 Διαμόρφωση ημιτονοειδούς παλμού.....	18 19
2.10 Επίλογος.....	19
Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή inverter	20
3.1 Εισαγωγή.....	20

3.2	Ηλεκτρονικά στοιχεία.....	20
3.3	Σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος.....	26
3.4	Συγγραφή του προγράμματος.....	34 34
3.5	Δυσκολίες στην πορεία της κατασκευής.....	39 33
3.6	Επίλογος.....	40 34
Κεφάλαιο 4ο:	Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης.....	41 35
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		43 37
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		45 39

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
Sin	Ημίτονο
Cos	Συνημίτονο
H	Μονάδα μέτρησης συντελεστή αυτεπαγωγής
A	Ρεύμα (Ampere)
V	Τάση (Volt)
W	Ισχύς (Watt)
η	Απόδοση
%	Ποσοστό
Ω	Αντίσταση (Ωμ)
μ	μίκρο (x10 ⁻⁶)
m	milli (x10 ⁻³)
Hz	Συχνότητα (Hertz)
π	Σταθερά π = 3,14
°	Μοίρες
s	Δευτερόλεπτα
AC	Εναλλασσόμενο ρεύμα
ADC	Μετατροπέας σήματος αναλογικού σε ψηφιακό
CPU	Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
C	Χωρητικότητα πυκνωτή
DC	Συνεχές ρεύμα
DF	Συντελεστής παραμόρφωσης
HF	Αρμονικός παράγοντας
I	Ένταση ρεύματος
I/O	Είσοδοι/Εξοδοι
IC	Ολοκληρωμένο κύκλωμα
ICSP	Σειριακός προγραμματισμός IC
IDE	Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης

IGBT	Διπολικό τρανζίστορ απομονωμένης πύλης
L	Αυτεπαγωγή
LOH	Αρμονική χαμηλότερης τάξης
MCU	Μονάδα μικροελεγκτή
MOSFET	Μεταλλικής-οξειδωσης-ημιαγωγού τρανζίστορ επίδρασης πεδίου
Pin	Ισχύς εισόδου
Pout	Ισχύς εξόδου
PWM	Διαμόρφωση εύρους παλμών
Q	Τρανζίστορ
R	Αντίσταση
RDS	Αντίσταση απαγωγού-πηγής
RF	Ραδιοσυχνότητα
RMS	Τετραγωνικός μέσος όρος
SCR	Θυρίστορ (Silicon-Controlled Rectifier)
t	χρόνος σε δευτερόλεπτα
THD	Ολική αρμονική παραμόρφωση
ton	χρόνος ενεργής κατάστασης
toff	χρόνος ανενεργής κατάστασης
UART	Σειριακή θύρα (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)
Vab	Τάση ανάμεσα στις φάσεις A και B
Van	Φασική τάση A
Vavg	Μέση τάση
Vbc	Τάση ανάμεσα στις φάσεις B και C
Vbn	Φασική τάση B
Vca	Τάση ανάμεσα στις φάσεις C και A
Vcn	Φασική τάση C

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία των κινητήρων ισχύος περιλαμβάνει κατασκευές μηχανών, υλικά, ηλεκτρονικά, αισθητήρες και τεχνολογίες ελέγχου και όλα αυτά αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς. Μπορεί να φανεί ότι υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης ενός κατάλληλου μετατροπέα και τεχνικών ελέγχου για διαφορετικά είδη κινητήρων προκειμένου να παραχθούν κινητήρες υψηλής απόδοσης. Το σημείο αναφοράς της απόδοσης του μετατροπέα είναι η μέτρηση των επιδόσεων του μετατροπέα ισχύος. καθώς η υψηλή απόδοση θα οδηγήσει σε μετατροπείς χαμηλής απώλειας ισχύος. Ένας από τους κύριους λόγους χρήσης του τριφασικού συστήματος ισχύος για το σύστημα μετάδοσης κίνησης AC είναι ότι η 3η αρμονική και η αντίστοιχη συνιστώσα πολλαπλών ακυρώνονται στην έξοδο. Συγκρίνοντας το μονοφασικό σύστημα με αυτό του τριφασικού, η τάση κυματισμού είναι σημαντικά μικρότερη.

Το ενδιαφέρον της χρήσης μικροελεγκτή σε αυτή την έρευνα ως ελεγκτή προήλθε από την ικανότητα του μικροελεγκτή να παράγει σωστό σχεδιασμό του σήματος ελέγχου με ευελιξία. Η σημασία του κατάλληλου σχεδιασμού των σημάτων ελέγχου με ισχυρή μεταγωγή είναι να μειωθούν οι αρμονικές και οι απώλειες ισχύος της εξόδου του μετατροπέα. Η δυνατότητα του μικροελεγκτή να εκτελεί τις μαθηματικές και λογικές λειτουργίες του επιτρέπει να μιμείται το λογικό και το ηλεκτρονικό κύκλωμα. Το κύριο χαρακτηριστικό του MOSFET είναι η ταχύτερη εναλλαγή.

Η ταχύτητα και η ικανότητα παραγωγής υψηλής συχνότητας μεταγωγής έχουν εκπληρώσει την ανάγκη των διακοπών ισχύος του μετατροπέα. Η χρήση του ψηφιακού ελεγκτή βελτιώνει τις επιδόσεις του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της ακρίβειας, του συστήματος χαμηλού κόστους, της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και της μεγαλύτερης διάρκειας λειτουργίας.

"Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος" είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να αναφέρεται στο ηλεκτρονικό κύκλωμα ισχύος που μετατρέπει την τάση και το ρεύμα από τη μια μορφή στην άλλη. Αυτός ο μετατροπέας μπορεί να ταξινομηθεί ως:

1. Ανορθωτής – Μετατροπή τάσης/ρεύματος εναλλασσόμενου σε τάση/ρεύμα συνεχούς.
2. Αντιστροφέας – Μετατροπή τάσης/ρεύματος συνεχούς σε τάση/ρεύμα εναλλασσόμενου.
3. Παλμο-τροφοδοτικό Switch Mode Power Supply (SMPS)/ Chopper – Μετατρέπει μια τάση DC σε άλλο επίπεδο τάσης DC.
4. Cycloconverter/Cycloinverter – μετατρέπει μια τάση/ρεύμα εναλλασσόμενου σε άλλο επίπεδο τάσης/ρεύματος AC.

Ένας μετατροπέας χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης AC που απαιτείται για τη λειτουργία ενός κινητήρα DC. Ωστόσο, οι κινητήρες απαιτούν απλώς μια ορθογώνια κυματομορφή ρεύματος για να παράγουν μια λειτουργία σταθερής ροπής.

1.2 Ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας

Ο στόχος αυτής της έρευνας είναι κυρίως η ανάπτυξη ενός συστήματος μετατροπέα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση τριφασικού κινητήρα.

Οι κύριοι στόχοι είναι οι εξής:

1. Για τον σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική που αποτελεί έναν 3-φασικό αντιστροφέα που βασίζεται σε μικροελεγκτή, με έμφαση στο κύκλωμα του αντιστροφέα για την κίνηση ενός τριφασικού κινητήρα.
2. Για την εφαρμογή πολλών σχημάτων μεταγωγής PWM για τη δημιουργία παλμών για τον μετατροπέα κίνησης ενός τριφασικού κινητήρα.
3. Θα αναπτυχθεί μια διεπαφή ανθρώπινης μηχανής (HMI) για την παροχή διαδραστικής επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και των συστημάτων για σκοπούς παρατήρησης εξόδου και ανάλυσης απόδοσης.
4. Για να παρατηρήσετε την απόδοση εξόδου χρησιμοποιώντας το HMI και να αναλύσετε την παράμετρο απόδοσης του κινητήρα όπως την τάση, το ρεύμα, την ταχύτητα.

1.3 Οι δυνατότητες της τεχνολογίας

Οι κινητήρες (DC και AC) έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μπορεί να παρατηρηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως στην επεξεργασία τροφίμων και στη χημική διεργασία, στο σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση αεροσκαφών, σε ιατρικά όργανα και οικιακές συσκευές. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές εξοπλισμού υψηλής ισχύος απαιτούσαν εφαρμογή Human Machine Interface (HMI) μεταξύ του χειριστή και των μηχανών που θα διευκολύνει τη λειτουργία του ελέγχου της διαδικασίας.

Ο έλεγχος διεργασίας που απαιτεί συχνή παρατήρηση εξόδου μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο από τον χειριστή εάν όλες οι είσοδοι ελέγχου και η παρατήρηση της διαδικασίας εξόδου επιτηρούνται στον ίδιο πίνακα ελέγχου. Ο πίνακας ελέγχου του ελεγκτή για εφαρμογές μηχανών, ειδικά σε ιατρικό εργαστηριακό εξοπλισμό, μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο σύστημα για τη διευκόλυνση βιομηχανικών, εκπαιδευτικών και ερευνητικών εργασιών. Το ίδιο ισχύει και για την εφαρμογή βιομηχανικών μηχανών, όπου η εφαρμογή αυτού του συστήματος μπορεί να εξοικονομήσει κόστος και χρόνο του χειριστή των μηχανών. Έχει τη δυνατότητα επίσης να δημιουργηθεί ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας για τον έλεγχο της διεργασίας επικίνδυνων υλικών. Αυτή η έρευνα θα συμβάλει σε αυτό το πεδίο εφαρμογής καθώς το σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί σε βιομηχανικό και εργαστηριακό εξοπλισμό, που περιλαμβάνει τον έλεγχο περιστροφικών μηχανών σε απομακρυσμένη απόσταση.

1.4 Δηλώσεις προβλημάτων

Ο μετατροπέας ισχύος στο σύστημα κίνησης κινητήρα αποτελείται από δύο μέρη, το οποίο είναι ένας ανορθωτής και ένας ελεγχόμενος τριφασικός αντιστροφέας πλήρους γέφυρας. Τα σχήματα ελέγχου για αυτόν τον κινητήρα κινούν συνήθως μια κυματομορφή PWM που οδηγεί τον μετατροπέα. Απαιτείται μια κατάλληλη τεχνική μεταγωγής για τη δημιουργία παλμών για την οδήγηση του κυκλώματος της συσκευής ισχύος. Για να παραχθεί η επιθυμητή έξοδος, η τεχνική μεταγωγής PWM θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία παλμών για τη συσκευή ισχύος μέσω μικροελεγκτή.

Οι παλμοί πρέπει να προσδιορίζονται και να συγχρονίζονται επακριβώς για κάθε αλληλουχία μεταγωγής και φάσης με σκοπό την αποφυγή δυσλειτουργιών, φαινομένων καθυστέρησης ή διακοπής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταγωγής. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό του μετατροπέα για τους κινητήρες προκειμένου να ικανοποιηθεί η απαίτηση περιλαμβάνουν μια κατάλληλη τεχνική μεταγωγής και έλεγχο των γωνιών μεταγωγής για την περιστροφή του κινητήρα και το ελεγχόμενο μέγεθος και συχνότητα της τάσης εξόδου.

Σε βιομηχανικές εφαρμογές (όπως τρόφιμα και χημική επεξεργασία) και ιατρικές συσκευές (ειδικά σε εξοπλισμό εργαστηριακής εφαρμογής), μπορεί να φανεί ότι υπάρχει ανάγκη παρατήρησης των διαδικασιών παραγωγής της συσκευής ή της μηχανής. Επί του παρόντος, ο έλεγχος μηχανών βρίσκεται στο περίβλημα των συσκευών καθώς μπορεί να απαιτεί έλεγχο και παρατήρηση από τον χειριστή κατά καιρούς. Χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή, μπορεί να γίνει σειριακή επικοινωνία μεταξύ του εξοπλισμού και του υπολογιστή (μέσω του πρωτοκόλλου RS-232).

Η λειτουργία και η παρακολούθηση του ελέγχου διαδικασίας μπορεί να γίνει μακριά από τον εξοπλισμό λειτουργίας. Στο μεταξύ, ο χειριστής μπορεί να παρατηρήσει την απόδοση του εξοπλισμού μέσω του HMI του υπολογιστή και να τον ελέγξει σύμφωνα με τη ζήτηση εξόδου. Επιπλέον, εάν ο έλεγχος διεργασίας περιέχει επικίνδυνο υλικό, ένας ελεγκτής σε μεγάλη απόσταση μπορεί να είναι χρήσιμος για την εφαρμογή αυτού του συστήματος κίνησης.

Επομένως, η κύρια ιδέα αυτού του έργου είναι να σχεδιάσει έναν μετατροπέα που βασίζεται σε μικροελεγκτή για κινητήρες. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την παρατήρηση της παραμέτρου απόδοσης κινητήρα από έναν προσωπικό υπολογιστή μέσω του HMI. Η απόδοση της παραμέτρου του μετατροπέα θα ελεγχθεί και θα παρατηρηθεί με βάση διάφορα σχήματα μεταγωγής PWM.

1.5 Οι κινητήρες

Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου σε μηχανική. Το τύλιγμα του οπλισμού του στάτη του ηλεκτροκινητήρα τροφοδοτείται από μονοφασική/τριφασική ηλεκτρική παροχή αναπτύσσοντας, έτσι, εσωτερικό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο επιδρά στο δρομέα και παράγει αυξημένη ροπή περιστροφής. Αυτοί οι κινητήρες έχουν πολλές εφαρμογές σε όλους τους τομείς της σύγχρονης

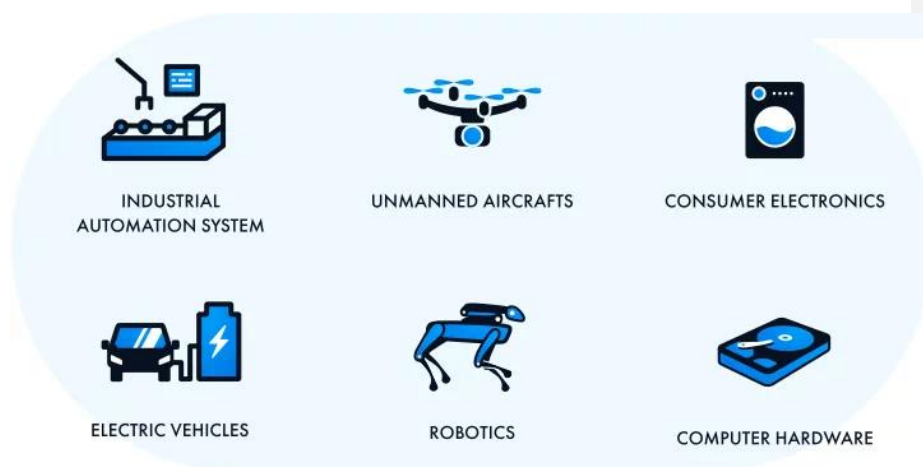
Κεφάλαιο 1

τεχνολογίας κυρίως λόγω της απλότητας της κατασκευής τους ,το χαμηλό κόστος ,της ελάχιστης συντήρησης και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος που τους διακρίνει.

Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα χρησιμοποιούνται τόσο στον οικιακό τομέα, σε μικρές ηλεκτρικές συσκευές, όσο και στη βιοτεχνία σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες: σε ανυψωτικά μηχανήματα, στην ηλεκτρική έλξη και ως τμήματα αντλιών. Επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως στην ναυτιλία. [6]

Τυπικές εφαρμογές ηλεκτροκινητήρων :

- Μεταφορικές ταινίες εργοστασίων
- Πιεστικά συστήματα
- Κυκλοφορητές
- Κοχλίες
- Εργαλειομηχανές (CNC)
- Άρδευση

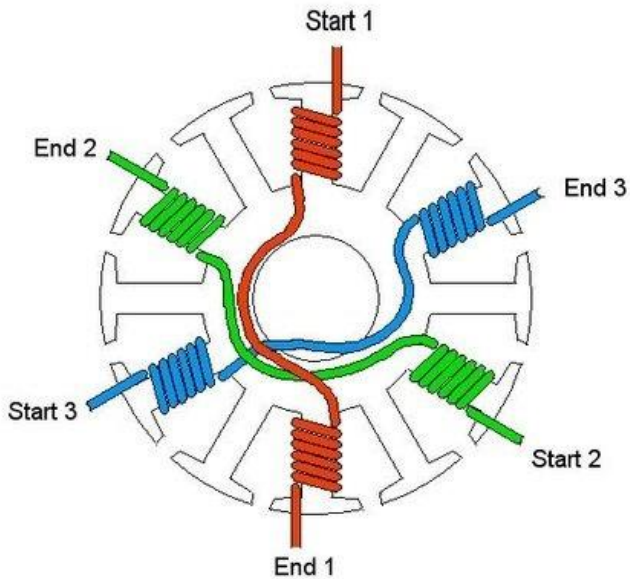


Εικόνα 1 Τυπικές εφαρμογές ηλεκτροκινητήρων

1.5.1 Οφέλη χρήσης τριφασικών κινητήρων

Η μέθοδος εκκίνησης είναι πολύ εύκολη με τη χρήση ενός απλού τριπολικού διακόπτη

χαρακτηρίζονται από υψηλή ροπή εκκίνησης ιδανικοί για βιομηχανική χρήση η χρήση αντιστάσεων στο στάτη μειώνει τα υψηλά ρεύματα κατά την εκκίνηση. [17] [19]



Εικόνα 2 Μοντέλο σύνδεσης τριφασικού κινητήρα

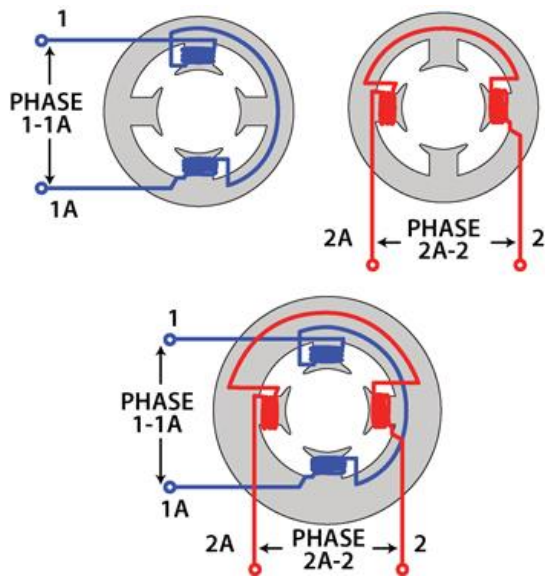
1.5.2 Οφέλη χρήσης μονοφασικών κινητήρων

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες με αντίσταση χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή ροπή εκκίνησης ιδανικοί για μικρές ηλεκτρικές συσκευές

οι Α.Μ.Κ. με αντίσταση προτιμώνται ευρέως καθώς είναι αρκετά οικονομικοί

οι κινητήρες που είναι φτιαγμένοι με πυκνωτή έχουν μεγάλη ροπή εκκίνησης και είναι κατάλληλοι για χρήση σε βιομηχανικές μονάδες για τμήματα μηχανών που απαιτούν εκκίνηση με φορτίο

οι μονοφασικοί κινητήρες που είναι κατασκευασμένοι με βραχυκυκλωμένες σπείρες στον στάτη είναι εξαιρετικά οικονομικοί και παρουσιάζουν σπάνια βλάβες ιδανικοί για συσκευές μικρής ισχύος. [8]



Εικόνα 3 Μοντέλο σύνδεσης μονοφασικού κινητήρα

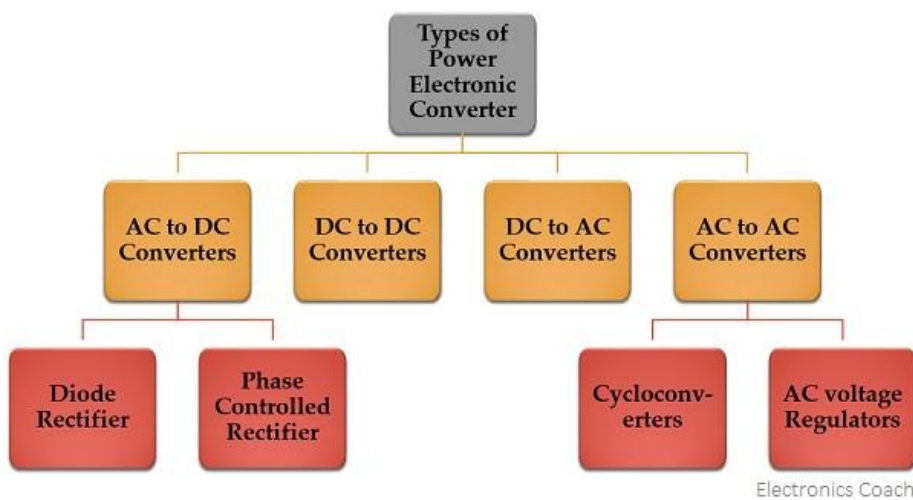
1.6 Επίλογος

Για να παραχθεί η επιθυμητή έξοδος, η τεχνική μεταγωγής PWM θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία παλμών για τη συσκευή ισχύος μέσω μικροελεγκτή. Οι παλμοί πρέπει να προσδιορίζονται και να συγχρονίζονται επακριβώς για κάθε αλληλουχία μεταγωγής και φάσης με σκοπό την αποφυγή δυσλειτουργιών, φαινομένων καθυστέρησης ή διακοπής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταγωγής.

Κεφάλαιο 2ο: Ανασκόπηση της εργασίας

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναθεωρηθούν οι βασικές θεωρίες του μετατροπέα 3 φάσεων και η αρχιτεκτονική του. Περιγράφεται το σχήμα μεταγωγής, η συσκευή ισχύος, το περιβάλλον προγραμματισμού και η τεχνική ελέγχου.

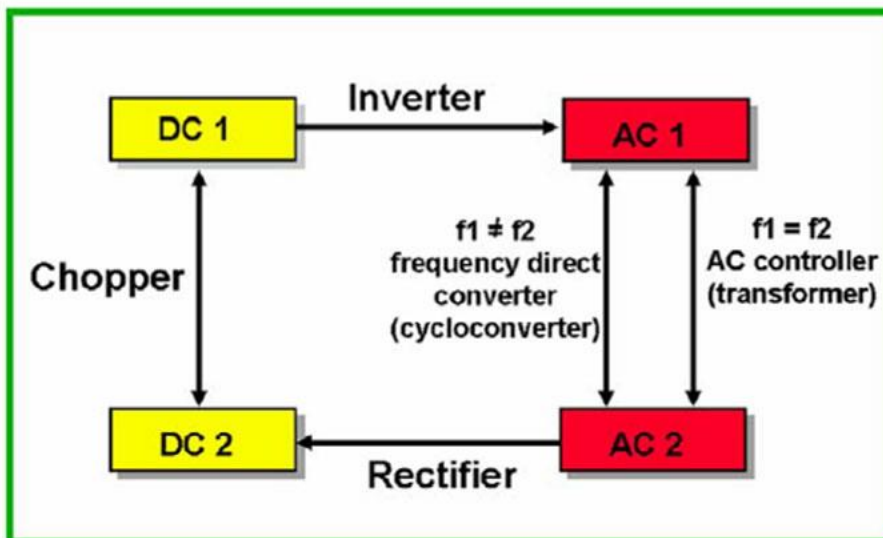


Εικόνα 4 Τρόποι μετατροπών ισχύος

2.2 Ο μετατροπέας

Ο μετατροπέας στο πεδίο των ηλεκτρονικών ισχύος είναι μια ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει την ισχύ από ένα ηλεκτρικό σήμα ή πηγή ενέργειας, μετατρέποντάς το από μια μορφή σε άλλη. Γενικά, ο μετατροπέας μπορεί να ταξινομηθεί σε 4 κατηγορίες που είναι ένας ανορθωτής, ο αντιστροφέας, ο ρυθμιστής συνεχούς τάσης (chopper) και ο κυκλομετατροπέας. Οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπως η ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα ή η αναστροφή από DC σε ελεγχόμενη συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος για την παροχή κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβλητής ταχύτητας, διασύνδεση πηγών ισχύος συνεχούς ρεύματος σε συστήματα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως φωτοηλεκτρικές συσκευές, καθώς και παραγωγή συνεχούς ρεύματος από εναλλασσόμενο ρεύμα ισχύος για μετρό και για ελεγχόμενη τάση DC για έλεγχο ταχύτητας κινητήρα συνεχούς ρεύματος σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές κ.λπ. [\[18\]](#) [\[12\]](#)

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά



Εικόνα 5 Κύκλος μετατροπής ισχύος (συνεχής-εναλλασσόμενη και αντίστροφα)

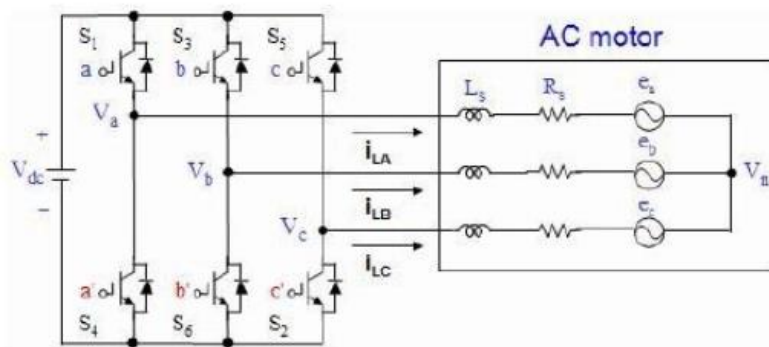
2.3 Ο αντιστροφέας

Η λειτουργία ενός αντιστροφέα είναι να αλλάξει μια τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος σε μια τάση εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος της επιθυμητής συχνότητας και μεγέθους. Στην περίπτωση τριφασικού αντιστροφέα, το κύκλωμα αντιστροφέα αλλάζει μια τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος σε μια συμμετρική τάση εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος επιθυμητού μεγέθους και συχνότητας.

Η τάση εξόδου μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή σε σταθερή ή μεταβλητή συχνότητα. Οι μεταβλητές τάσεις εξόδου λαμβάνονται μεταβάλλοντας την τάση DC εισόδου με διατήρηση του κέρδους του αντιστροφέα σταθερό. Εν τω μεταξύ, εάν η τάση εισόδου DC είναι σταθερή και δεν μπορεί να ελεγχθεί, η μεταβλητή τάση εξόδου μπορεί να ληφθεί μεταβάλλοντας τη συχνότητα του αντιστροφέα, η οποία συνήθως γίνεται με την εφαρμογή ελέγχου PWM εντός του αντιστροφέα. Η τάση εξόδου ενός αντιστροφέα έχει μια περιοδική κυματομορφή που δεν είναι αμιγώς ημιτονοειδής, αλλά με έναν αριθμό τεχνικών μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να προσεγγίζει αυτή την επιθυμητή κυματομορφή. Ο αντιστροφέας μπορεί να κατασκευαστεί με οποιοδήποτε αριθμό φάσεων εξόδου.

Πρακτικά, οι μονοφασικοί και τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται συχνότερα. Εξαρτάται από την χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές, μεταφορές και οικιακές συσκευές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο τριφασικός αντιστροφέας προσέφερε καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τον μονοφασικό αντιστροφέα. [10]

Οι διακόπτες ισχύος ημιαγωγών είναι το βασικό δομικό στοιχείο του αντιστροφέα. Περαιτέρω συζήτηση για τον ημιαγωγό ισχύος θα συζητηθεί παρακάτω. Γενικά υπήρχαν δύο τύποι τοπολογίας αντιστροφέα, που ονομάζονταν ως αντιστροφέας πηγής τάσης (VSI) και αντιστροφέας πηγής ρεύματος (CSI). Η κυματομορφή τάσης είναι η ανεξάρτητα ελεγχόμενη έξοδος AC στις τοπολογίες VSI. Εν τω μεταξύ, στις τοπολογίες CSI, η ανεξάρτητα ελεγχόμενη έξοδος AC είναι μια κυματομορφή ρεύματος. Το VSI μπορεί περαιτέρω να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι οι αντιστροφείς PWM, οι αντιστροφείς τετραγωνικών κυμάτων και οι μονοφασικοί αντιστροφείς. [11]



Εικόνα 6 Μοντέλο σύνδεσης αντιστροφέα σε κινητήρα

2.4 Ο τριφασικός αντιστροφέας

Ο μονοφασικός αντιστροφέας καλύπτει εφαρμογές χαμηλής ισχύος. Εν τω μεταξύ, οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές υψηλής ισχύος. Οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται γενικά για την τροφοδοσία τριφασικού φορτίου, ειδικά σε κινητήρες AC και αδιάλειπτα τροφοδοτικά AC. Μια έξοδος 3 φάσεων μπορεί να ληφθεί από μια διαμόρφωση έξι τρανζίστορ όπως φαίνεται στο Σχήμα XX6. Τα τρανζίστορ αριθμούνται με τη σειρά του τρανζίστορ πύλης (π.χ. 156, 126, 123, 234, 345, 456) και καθένα από τα τρανζίστορ άγει για 180°. Προκειμένου να αποφευχθούν ακαθόριστες καταστάσεις στο VSI και απροσδιόριστες τάσεις γραμμής εξόδου AC, οι διακόπτες μεταξύ του άνω και του κάτω ποδιού του αντιστροφέα δεν μπορούν να απενεργοποιηθούν ταυτόχρονα καθώς αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τάσεις που θα εξαρτώνται από την αντίστοιχη πολικότητα του ρεύματος γραμμής. Επιπλέον, θα οδηγήσει επίσης σε βραχυκύκλωμα στην τροφοδοσία τάσης σύνδεσης DC, το οποίο θα καταστρέψει το σύστημα αντιστροφέα εάν οι διακόπτες ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα. Υπάρχουν έξι τρόποι λειτουργίας των διακοπών, όπου σε έναν κύκλο η μετατόπιση φάσης κάθε λειτουργίας είναι 60°. Προκειμένου να δημιουργηθεί μια επιθυμητή

Κεφάλαιο 2

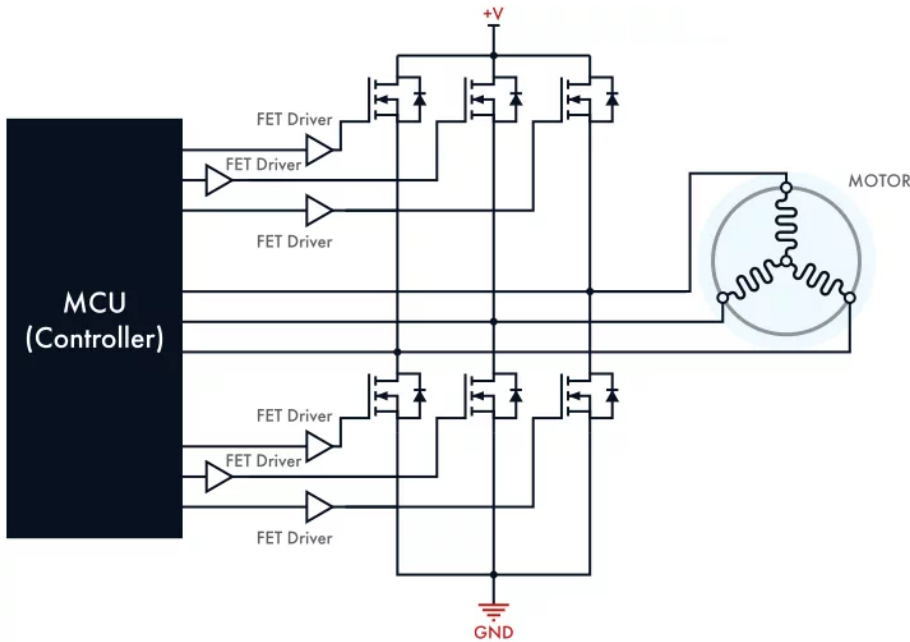
κυματομορφή τάσης, η συνθήκη τρανζίστορ μετακινείται από τη μια κατάσταση στην άλλη. Τα σήματα πύλης που φαίνονται στο Σχήμα ~~XX-7~~ μετατοπίζονται το ένα από το άλλο κατά 60° για να ληφθούν ισορροπημένες (θεμελιώδεις) τάσεις τριών φάσεων ~~όπως φαίνεται στο Σχήμα XX~~. Το φορτίο μπορεί να συνδεθεί σε σύνδεση αστέρα ή τρίγωνο. Το ρεύμα γραμμής προσδιορίζεται όταν το ρεύμα φάσης είναι γνωστό.

Για συνδεδεμένο φορτίο, η γραμμή προς τις ουδέτερες τάσεις πρέπει να καθοριστεί για να βρεθεί το ρεύμα φάσης.

Τα διακοπτικά στοιχεία συνοδεύονται πάντα από μια δίοδο ελεύθερης διέλευσης που συνδέεται αντιπαράλληλα με αυτά και επιτρέπει την αντίστροφη ροή ρεύματος (τη ροή ρεύματος και ισχύος από τον κινητήρα προς την πηγή ισχύος).

Πρέπει να τονισθεί ότι η τάση εξόδου κάθε ημιγέφυρας του αντιστροφέα εξαρτάται μόνο από την τάση τροφοδοσίας V_d και την κατάσταση των ημιαγωγών διακοπών. Αυτό σημαίνει ότι είναι ανεξάρτητη του ρεύματος φορτίου, καθώς πάντοτε θα άγει ένας από τους δύο διακόπτες της ημιγέφυρας. Έτσι το ρεύμα εξόδου μπορεί να έχει οποιαδήποτε κατεύθυνση, ανεξάρτητα από την πολικότητα της τάσης εξόδου.

Η υπόθεση ότι άγει πάντοτε ένας από τους δύο διακόπτες συνιστά εξιδανίκευση των ημιαγωγών, καθώς στην πράξη χρησιμοποιείται ένας κενό διάστημα (νεκρός χρόνος), όπου κανείς από τους δύο δεν άγει, για λόγους προστασίας του κυκλώματος του αντιστροφέα από την υπερβολική ροή ρεύματος και τελικά υπερθέρμανση και καταστροφή του.



Εικόνα 7 Μοντέλο σύνδεσης μικροελεγκτή σε κινητήρα μέσω «οδηγών» τρανζίστορ

2.5 Τεχνική ελέγχου λόγου τάσης και συχνότητας

Ο έλεγχος εφαρμογής της τάσης εξόδου των μετατροπέων είναι απαραίτητος για την αντιμετώπιση της διακύμανσης της τάσης εισόδου DC και για τη ρύθμιση της τάσης των μετατροπέων. Επιπλέον, ικανοποιεί τις απαιτήσεις σταθερής τάσης και ελέγχου συχνότητας. Ο έλεγχος μιας εξόδου μετατροπέα για την κάλυψη λειτουργικών απαιτήσεων μπορεί να γίνει με διάφορες τεχνικές. Ωστόσο, όλα εξαρτώνται από το διαθέσιμο υλικό και τη φύση της πηγής DC. Κανονικά, η τάση και η συχνότητα εξόδου του μετατροπέα ελέγχονται συνεχώς. Για εφαρμογές κινητήρων, το εύρος τάσης και συχνότητας είναι ευρύ. Η απαίτηση ελέγχου τάσης και συχνότητας εξαρτάται από τις διακυμάνσεις του φορτίου του κινητήρα. Εν τω μεταξύ, ο έλεγχος συχνότητας μετατροπέα είναι πολύ απλός. Η εντολή ελέγχου μπορεί να δημιουργηθεί είτε από αναλογικό-ψηφιακό κύκλωμα, μικροεπεξεργαστή, μικροελεγκτή, επεξεργαστή ψηφιακού σήματος ή FPGA για την παροχή του σήματος πύλης για την κίνηση των διακοπών του μετατροπέα. Γενικά, η τάση εξόδου του μετατροπέα ελέγχεται από την τάση τροφοδοσίας του μετατροπέα ή από τον έλεγχο τάσης PWM.

Η κοινή επιθυμητή διάταξη επιτρέπει τη μεταβολή του λόγου της τάσης εισόδου συνεχούς ρεύματος και της τάσης εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιώντας PWM. Η ποιότητα της λειτουργίας του μετατροπέα μπορεί να βελτιωθεί με την εφαρμογή του PWM που ασχολείται με τα σχήματα

Κεφάλαιο 2

ελέγχου. Η εφαρμογή πολλαπλής μεταγωγής εντός του μετατροπέα καθιστά δυνατό τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση του αρμονικού περιεχομένου των τάσεων εξόδου. Υπάρχουν πολλά είδη τεχνικής PWM που διατίθενται για έναν τριφασικό μετατροπέα. Περαιτέρω επεξήγηση για το PWM συζητείται στην επόμενη ενότητα. Τα VSI έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για χαμηλής και μεσαίας ισχύος κινητήρων. Οι ελεγχόμενες μεταβλητές είναι το πλάτος και η συχνότητα της βασικής τάσης εξόδου στο VSI. Τα σχήματα PWM για VSI χρησιμοποιούνται είτε για τον έλεγχο τάσης εξόδου είτε για τον έλεγχο του ρεύματος εξόδου.

~~Η ταξινόμηση των σχημάτων PWM ευρέως με βάση τις τεχνικές έλεγχου τάσης ή έλεγχου ρεύματος καθιστά τα σχήματα έλεγχου για το:~~

2.6 Παράμετρος απόδοσης ενός μετατροπέα

Για τη μέτρηση της ποιότητας της εξόδου ενός μετατροπέα, χρησιμοποιείται συνήθως η ακόλουθη παράμετρος απόδοσης:

- Αρμονικός παράγοντας, HF: Μέτρο ατομικής αρμονικής συνεισφοράς. Ο αρμονικός συντελεστής (στη n η αρμονική) ορίζεται ως, όπου V_1 είναι η τιμή RMS της θεμελιώδους συνιστώσας και V_n η τιμή RMS της n ης αρμονικής συνιστώσας.

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1}$$

- Ολική αρμονική παραμόρφωση, THD: Μέτρο εγγύτητας στο σχήμα μεταξύ μιας κυματομορφής και του θεμελιώδους στοιχείου της.

$$THD = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2}$$

- Συντελεστής παραμόρφωσης, DF: Μέτρο αποτελεσματικότητας στη μείωση των ανεπιθύμητων αρμονικών χωρίς να χρειάζεται να προσδιορίσετε τις τιμές ενός φίλτρου φορτίου δεύτερης τάξης. Υποδεικνύει τα ποσά της αρμονικής παραμόρφωσης που παραμένει σε μια συγκεκριμένη κυματομορφή αφού οι αρμονικές αυτής της κυματομορφής έχουν υποβληθεί σε εξασθένηση δεύτερης τάξης.

$$DF = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n_2} \right)^2}$$

- Αρμονική χαμηλότερης τάξης, LOH: Η αρμονική χαμηλότερης τάξης είναι η αρμονική συνιστώσα της οποίας η συχνότητα είναι πλησιέστερη στη θεμελιώδη και το πλάτος της είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το 3% της θεμελιώδους συνιστώσας
- Απόδοση ισχύος, η . Όπου τα P_i και P_o υποδηλώνουν την ισχύ εισόδου και την ισχύ εξόδου του αντιστροφέα, αντίστοιχα.

$$\eta = \frac{P_o}{P_i}$$

2.7 Τα φίλτρα

Το φίλτρο χρησιμοποιείται ευρέως στα ηλεκτρονικά ισχύος για τη μείωση των αρμονικών στοιχείων στην κυματομορφή εξόδου. Χρησιμοποιείται επίσης για την εξομάλυνση του κύματος τάσης ενός φορτίου που τροφοδοτείται από έναν ανορθωτή για τη μείωση του αρμονικού περιεχομένου μιας εξόδου του μετατροπέα, αποτρέποντας την ανάκλαση ανεπιθύμητης αρμονικής συνιστώσας στο σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος και την εξάλειψη των παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων. Η έξοδος του μετατροπέα είναι μια "τεμαχισμένη τάση DC με μηδενικά στοιχεία DC". Σε ορισμένους τύπους εφαρμογών, απαιτείται έξοδος ημιτονοειδούς κύματος «υψηλής καθαρότητας», όπως το UPS. Για το σκοπό αυτό, συνήθως τοποθετείται ένα χαμηλοπερατό φίλτρο LC στην έξοδο του μετατροπέα για τη μείωση των αρμονικών υψηλής συχνότητας. Ωστόσο, σε ορισμένες εφαρμογές, όπως οι ηλεκτροκινητήρες AC, δεν απαιτείται φιλτράρισμα. Επιπλέον, με τον αλγόριθμο σχημάτων μεταγωγής PWM, η εξάλειψη ορισμένων αρμονικών μπορεί να γίνει χωρίς τη χρήση εξωτερικού κυκλώματος φίλτρου στο σύστημα μετατροπέα.

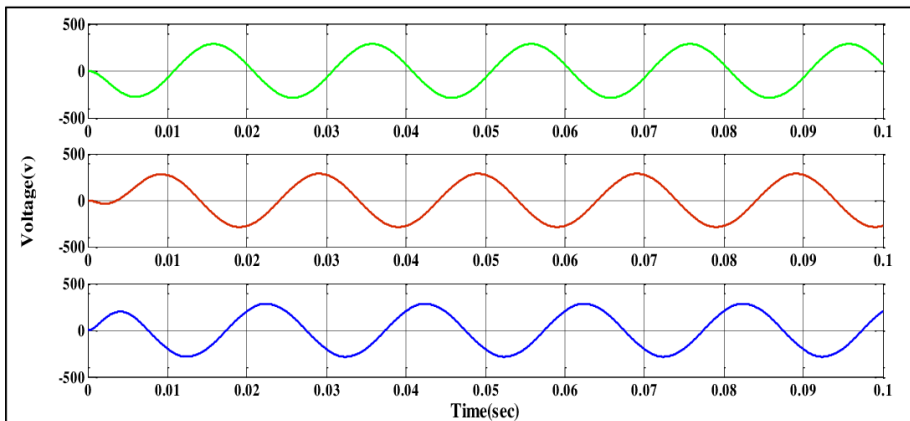
2.8 Διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)

Το PWM είναι μια από τις τεχνικές μεταγωγής που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο της εξόδου του μετατροπέα, ειδικά για την αντιμετώπιση του προβλήματος των αρμονικών. Είναι γνωστό ότι η μέθοδος PWM μπορεί να μετακινήσει το ανεπιθύμητο στοιχείο συχνότητας σε μια περιοχή υψηλότερης

Κεφάλαιο 2

συχνότητας. Η συμβατική μέθοδος παραγωγής σήματος PWM είναι η χρήση υψηλής αναλογίας σήματος φέρουσας συχνότητας και σήματος βασικής συχνότητας που παράγεται μέσω αναλογικού κυκλώματος.

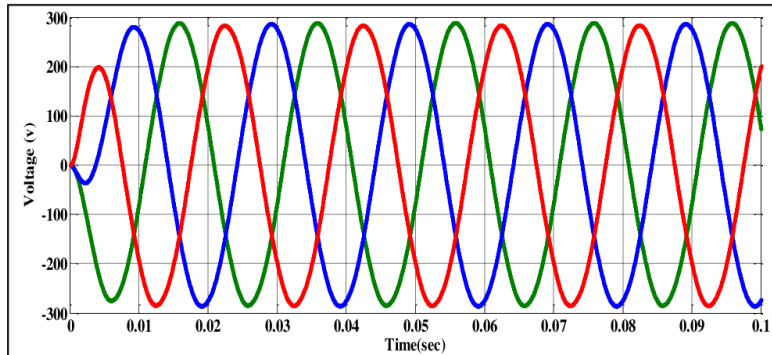
Η πρόοδος στην ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει τη δημιουργία σχημάτων μεταγωγής PWM με χρήση ψηφιακού ελεγκτή (δηλαδή μικροελεγκτή) και έχει ως αποτέλεσμα την διακοπτική λειτουργία των ημιαγωγών στοιχείων (MOSFET, IGBT, Transistor). Μέσω αυτής της τεχνικής, το περιεχόμενο αρμονικών της τάσης εξόδου μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να μειωθεί σημαντικά ρυθμίζοντας απλώς τις γωνίες μεταγωγής των παλμών χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού. Επιπλέον, η παραγωγή PWM με χρήση ψηφιακού ελεγκτή διασφαλίζει ότι το σήμα παραμένει ψηφιακό σε όλη τη διαδρομή από τον επεξεργαστή έως το σύστημα ελέγχου. [17]



Εικόνα 8 Διακριτοί έξοδοι τριφασικού αντιστροφέα

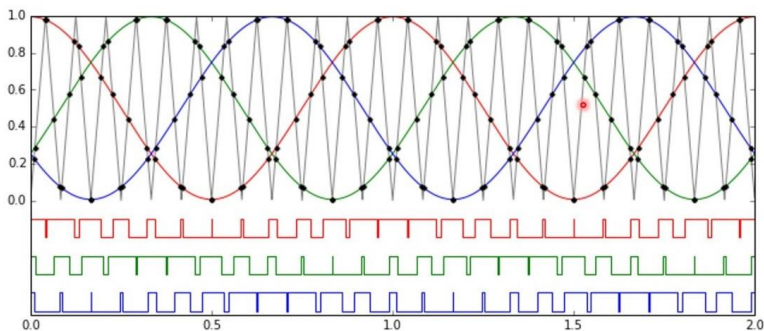
Τα σχήματα μεταγωγής Pulse Width Modulation (PWM) έχουν γίνει η ουσία της ρύθμισης της ταχύτητας στο σύστημα κίνησης κινητήρα. Αυτά τα σχήματα μεταγωγής μπορούν να μεταβάλλουν το μέγεθος της τάσης στους ακροδέκτες των φορτίων και την ταχύτητα του άξονα του δρομέα. Είναι επίσης γνωστό ότι, η ανεπιθύμητη συνιστώσα συχνότητας μπορεί να μετακινηθεί σε μια περιοχή υψηλότερης συχνότητας μέσω πολλών σχημάτων μεταγωγής PWM. Με τη χρήση ψηφιακού ελεγκτή, το κύκλωμα για την παραγωγή μεταγωγής PWM μπορεί να απλοποιηθεί και το κόστος των ηλεκτροκινητήρων μπορεί να μειωθεί. Έχουν διεξαχθεί διάφορες έρευνες σχετικά με σχήματα μεταγωγής PWM. Αυτά περιλαμβάνουν ψηφιακή υλοποίηση, ελαχιστοποίηση των απωλειών μεταγωγής, αρμονικό ρεύμα και THD, επέκταση του εύρους γραμμικής διαμόρφωσης και επίσης μείωση της πολυπλοκότητας

υπολογισμού. Γενικά, υπάρχουν δύο τύποι λειτουργίας PWM, δηλαδή η λειτουργία τάσης PWM και η λειτουργία ρεύματος PWM.



Εικόνα 9 Αποτέλεσμα σύνθεσης τριφασικών εξόδων στον κινητήρα

Η λειτουργία τάσης PWM αντλεί το σήμα ελέγχου της από την τάση εξόδου του μετατροπέα μεταγωγής. Εν τω μεταξύ, η λειτουργία ρεύματος PWM χρησιμοποιεί τόσο τις πληροφορίες τάσης εξόδου όσο και τις πληροφορίες ρεύματος από τον επαγωγέα στον μετατροπέα μεταγωγής για να καθορίσει τον επιθυμητό κύκλο λειτουργίας που εφαρμόζεται στο τρανζίστορ μεταγωγής. Η υλοποίηση για τη λειτουργία ρεύματος PWM είναι αρκετά δύσκολη σε σύγκριση με τη λειτουργία τάσης PWM. Η ιδανική στρατηγική μεταγωγής PWM για μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος είναι αυτή που μπορεί να επιτύχει τη μέγιστη δυνατή αναλογία μεταφοράς τάσης ή ρεύματος για έναν δεδομένο μετατροπέα, ενώ παράγει ελάχιστη αρμονική χαμηλής τάξης και δημιουργεί ελάχιστες απώλειες μεταγωγής. Παρακάτω παρατίθεται η λίστα των τεχνικών PWM που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για βιομηχανικές εφαρμογές και οικιακές συσκευές για μετατροπέα ισχύος όπως: Μονό PWM, Πολλαπλά PWM, Ημιτονοειδής PWM, Τροποποιημένο ημιτονοειδές PWM, Ημιτονοειδής PWM με μονοπολική μεταγωγή τάσης, Ημιτονοειδής PWM με διπολική μεταγωγή τάσης, Διανυσματικό PWM, Έλεγχος μετατόπισης φάσης. [5]



Εικόνα 10 Διαμόρφωση των παλμών και σύνθεση τριφασικών εξόδων

2.9 Τύποι PWM

Στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις, η Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (PWM) κατηγοριοποιείται ως εξής:

- Διαμόρφωση ενός παλμού
- Διαμόρφωση πολλαπλών παλμών
- Διαμόρφωση ημιτονοειδούς παλμού

Αυτοί οι τύποι PWM είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος PWM που έχουν επικρατήσει περισσότερο. Τα συστήματα μεταγωγής χρησιμοποιούνται για το σήμα πύλης του μετατροπέα πηγής τάσης που χρησιμοποιείται συνήθως για την οδήγηση του κινητήρα. Χρησιμοποιώντας το σχήμα μεταγωγής PWM, πολλές παράμετροι μπορούν να ρυθμιστούν για να δημιουργήσουν την επιθυμητή τάση και συχνότητα στο φορτίο.

Η στρατηγική μεταγωγής PWM επικεντρώνεται ως επί το πλείστον στη μείωση της απώλειας ισχύος, στην ολική παραμόρφωση αρμονικών και στην αύξηση της απόδοσης του μετατροπέα. Δύο τύποι κυματομορφών PWM που έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία που περιγράφονται στο ~~σχήμα~~ είναι η τετραγωνική και η ημιτονοειδής κυματομορφή. Το PWM είναι ένας τρόπος ψηφιακής κωδικοποίησης των επιπέδων αναλογικού σήματος. Μέσω της χρήσης μετρητών υψηλής ανάλυσης, ο κύκλος λειτουργίας και η γωνία μεταγωγής ενός τετραγωνικού κύματος διαμορφώνονται ώστε να κωδικοποιούν μια συγκεκριμένη στάθμη αναλογικού σήματος. Δεδομένου επαρκούς εύρους ζώνης, μπορεί να κωδικοποιηθεί οποιαδήποτε αναλογική τιμή με PWM.

Από την άλλη πλευρά, το PWM χρησιμοποιείται επίσης για τη μεταβολή του κύκλου λειτουργίας, ο οποίος μπορεί να οριστεί ως:

$$\text{Duty cycle, } D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

Όπου, το D μπορεί να μεταβληθεί διαμορφώνοντας είτε toff, ton ή και τα δύο.

Το επιθυμητό χαρακτηριστικό μιας τεχνικής PWM περιλαμβάνει:

- Καλή χρήση της τάσης τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος, η οποία είναι μια πιθανή υψηλή τιμή του κέρδους τάσης, K_v , που ορίζεται ως:

$$K_v = \frac{V_{LL,1,P(\max)}}{V_S}$$

Όπου $V_{LL,1,P(\max)}$ υποδηλώνει τη μέγιστη τιμή αιχμής της βασικής τάσης εξόδου γραμμής προς γραμμή που είναι διαθέσιμη χρησιμοποιώντας την τεχνική και V_S είναι η τάση διαύλου.

- Γραμμικότητα του ελέγχου τάσης, δηλαδή:

$$V_{LL,1,P}(M) = MV_{LL,1,P(\max)}$$

Όπου M υποδηλώνει τον λόγο ελέγχου των μεγεθών που ορίζει ως τον λόγο της πραγματικής τάσης εξόδου προς τη μέγιστη διαθέσιμη τιμή αυτής της τάσης, είτε γραμμή προς γραμμή, γραμμή προς ουδέτερη είτε τιμή RMS της τάσης.

- Χαμηλό πλάτος αρμονικών χαμηλής τάξης της τάσης εξόδου. Είναι η ελαχιστοποίηση αρμονικού περιεχομένου του ρεύματος εξόδου.
- Χαμηλές απώλειες διακοπής στους διακόπτες μετατροπέα.
- Επαρκές χρονικό περιθώριο για τη σωστή λειτουργία των διακοπών του μετατροπέα και του συστήματος ελέγχου.

Όπως δείχνει το μπλοκ διάγραμμα για 3-φασικούς κινητήρες, ο οποίος αποτελείται από έναν τριφασικό αντιστροφέα και έναν κινητήρα. Ο τριφασικός αντιστροφέας χρησιμοποιεί ένα σήμα που παράγεται από τον μικροελεγκτή για να ενεργοποιήσει τη συσκευή ισχύος για να παράγει το απαραίτητο ρεύμα στην περιέλιξη του κινητήρα για την περιστροφή του άξονα του ρότορα. Η περίοδος αγωγιμότητας του άνω ποδιού και του κάτω ποδιού των συσκευών ισχύος δεν πρέπει να

Κεφάλαιο 2

είναι ταυτόχρονα για να αποφευχθεί το φαινόμενο shoot-through. Επιπλέον, η μετάβαση του χρόνου ενεργοποίησης και απενεργοποίησης μεταξύ τους πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη για να αποφευχθεί η απόλεια ισχύος στους ημιαγωγικούς διακόπτες των συσκευών.

Ο αντιστροφέας ελέγχεται από συστήματα μεταγωγής PWM για την κίνηση του κινητήρα.

Η αγωγή των ακολουθιακών σημάτων για κάθε πύλη του MOSFET, για μια πρακτική υλοποίηση κυκλώματος αντιστροφέα έχει συζητηθεί και φαίνεται στο Σχήμα [7](#). Τα σήματα πύλης μετατοπίζονται κατά 60° από κάθε πύλη για να ληφθεί μια ισορροπημένη θεμελιώδης τάση 3 φάσεων με μετατόπιση φάσης 120° . Η ρύθμιση της περιόδου αγωγιμότητας γίνεται προγραμματίζοντας την επιθυμητή ώρα λειτουργίας του MOSFET στον μικροελεγκτή.

2.9.1 Διαμόρφωση ενός παλμού

Στον έλεγχο διαμόρφωσης πλάτους ενός παλμού, υπάρχει μόνο ένας παλμός ανά μισό κύκλο και η συχνότητα του παλμού μεταβάλλεται για τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα. Οι ανεπιθύμητες αρμονικές χαμηλότερης τάξης μπορούν να εξαιρεθούν χρησιμοποιώντας αυτό το σχήμα μεταγωγής. [Σχήμα](#) και εμφανίζει τα σχήματα μεταγωγής PWM για το μετατροπέα. Οι τεχνικές συνίστανται στη μεταβολή της συχνότητας μεταγωγής του μετατροπέα.

2.9.2 Διαμόρφωση πολλαπλών παλμών

Η γενική ιδέα του πολλαπλού PWM ~~απεικονίζεται στο Σχήμα~~ και ~~ο~~ πληθυσμός των αρμονικών μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας αρκετούς παλμούς σε κάθε μισό κύκλο της τάσης εξόδου που ονομάζεται Multiple PWM ή κάποιοι την ορίζουν ως Διαμόρφωση Σταθερού Πλάτους.

Η παραγωγή του σήματος πύλης γίνεται με διαίρεση του Single PWM σε ένα μικρότερο και ισορροπημένο τμήμα του παλμού ύπαρξης. [\[19\]](#)

2.9.3 Διαμόρφωση ημιτονοειδούς παλμού

Το ημιτονοειδές PWM, ~~όπως φαίνεται στο Σχήμα~~, είναι ένα από τα σχήματα μεταγωγής που χρησιμοποιούν μεγάλο σήμα DC. Είναι ένα πολύ δημοφιλές σύστημα μεταγωγής μεταξύ των βιομηχανικών εφαρμογών μετατροπέων.

Προηγουμένως, η εφαρμογή βασικής αρχής του ημιτονοειδούς μετατροπέα PWM με MOSFET ισχύος όπου η άμεση τάση τροφοδοσίας χρησιμοποιείται αποτελεσματικά και μειώνεται η θέρμανση της συσκευής. Αντί να διατηρείται το πλάτος όλων των παλμών το ίδιο όπως στην περίπτωση πολλαπλών

PWM, το πλάτος κάθε παλμού μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος ενός ημιτονοειδούς κύματος που αξιολογείται στο κέντρο του ίδιου παλμού.

2.10 Επίλογος

Η προσέγγιση της διαμόρφωσης πολλαπλών παλμών είναι επωφελής για την εξάλειψη οποιονδήποτε καθορισμένων αρμονικών της κυματομορφής τάσης εξόδου. Οι κυματομορφές σήματος αποτελούνται από N παλμούς κάθε μισό κύκλο σε καθορισμένη συχνότητα. Το ημιτονοειδές σχήμα μεταγωγής PWM μειώνει σημαντικά τον παράγοντα παραμόρφωσης και εξαλείφει τις αρμονικές χαμηλότερης τάξης.

Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή inverter

3.1 Εισαγωγή

Το τελευταίο στάδιο της πτυχιακής εργασίας αποτελείται από την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος καθώς και η συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών του στοιχείων και τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή τα οποία παρουσιάζονται στις παρακάτω υποενότητες.

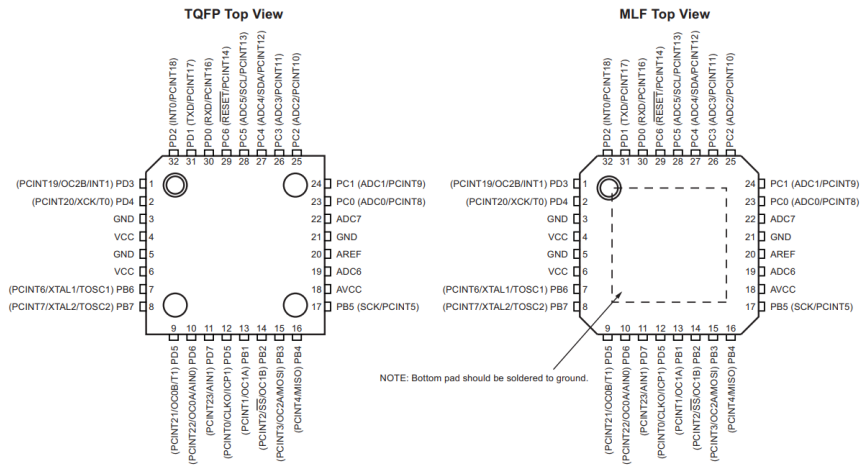
3.2 Ηλεκτρονικά στοιχεία

Ο μικροελεγκτής ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της πτυχιακής εργασίας είναι

- μικροελεγκτής 8-bit,
- υψηλής απόδοσης,
- χαμηλής κατανάλωσης, ανώτερης αρχιτεκτονικής RISC,
- ικανότητα εκτέλεσης 30 εκατομμυρίων εντολών το δευτερόλεπτο (MIPS)
- παρέχει δυνατότητες όπως 10.000 κύκλων επαναπρογραμματισμού
- 512 Bytes ενσωματωμένης EEPROM,
- 6 κανάλια PWM στον επεξεργαστή παραγωγής κύκλων λειτουργίας (duty cycle),
- 8 κανάλια αναλογικών εισόδων 8-10 bit ανάλυσης ADC,
- προγραμματιζόμενη σειριακή θύρα USART,
- 5 λειτουργίες «ύπνου» μικροελεγκτή για χαμηλότερη κατανάλωση (Idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, και standby)
- και 23 προγραμματιζόμενα πόδια εισόδου-εξόδου-[\[2\]](#)

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

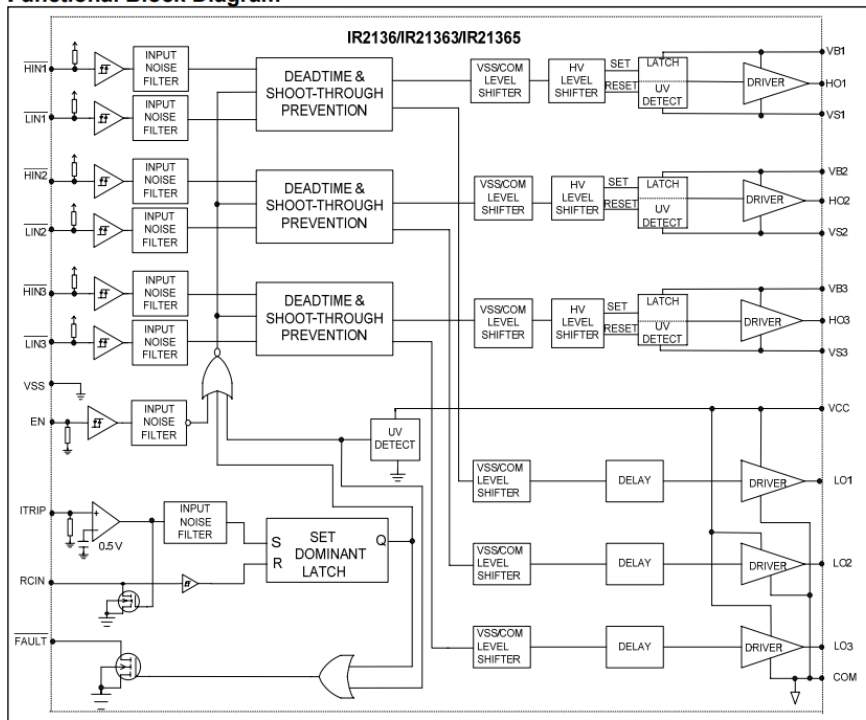
Figure 1-1. Pinout ATmega88/168



Εικόνα 11 Απεικόνιση των ακροδεκτών του μικροελεγκτή ~~ATmega88~~ ATMega168P

Το IR2136 είναι ένα ολοκληρωμένο τσιπ οδήγησης MOSFET υψηλής τάσης, υψηλής ταχύτητας ισχύος, με τρία ανεξάρτητα κανάλια εξόδου αναφοράς υψηλής και χαμηλής πλευράς για εφαρμογές 3 φάσεων, το οποίο χρησιμοποιείται σαν είναι ένας τριφασικός «οδηγός» πυλών (Gates) των διακοπτικών στοιχείων MOSFET, τρανζίστορ, IGBT, είναι πλήρως λειτουργικός σε τάσεις έως 600 Volt. [3]

Functional Block Diagram

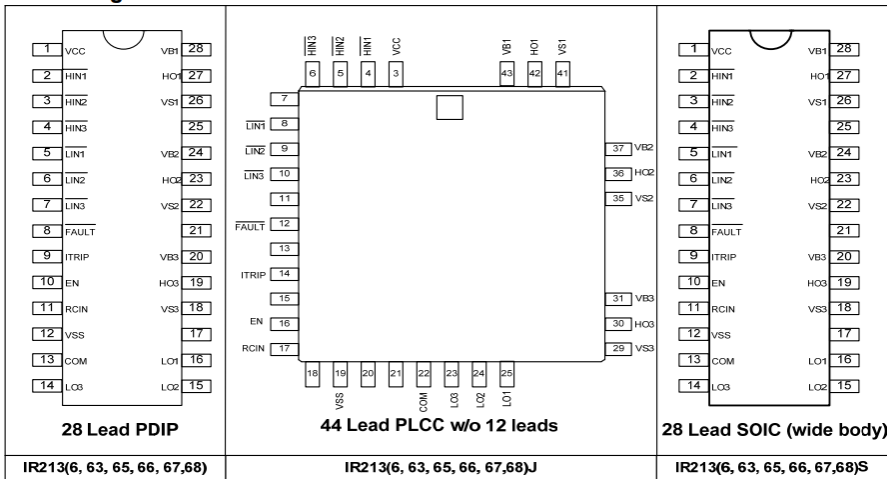


Εικόνα 12 Το εσωτερικό κύκλωμα του ολοκληρωμένου IR2136

Οι λογικές εισόδους είναι συμβατές με εξόδους CMOS ή TTL, έως και 3,3 V λογικής, έχει δικλίδες ασφαλείας από υπεροδήγηση (Over-current) όπου σε τέτοια περίπτωση υπάρχει δυνατότητα απενεργοποίησης και των 6 οδηγών, και υπότασης (Undervoltage) για αποφυγή δυσλειτουργιών των ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος. Δέχεται τάσεις τροφοδοσίας από 10 Volt έως 20 Volt.

IR213(6,62,63,65,66,67,68)(J&S) & PbF

Lead Assignments



Εικόνα 13 Απεικόνιση των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου IR2136

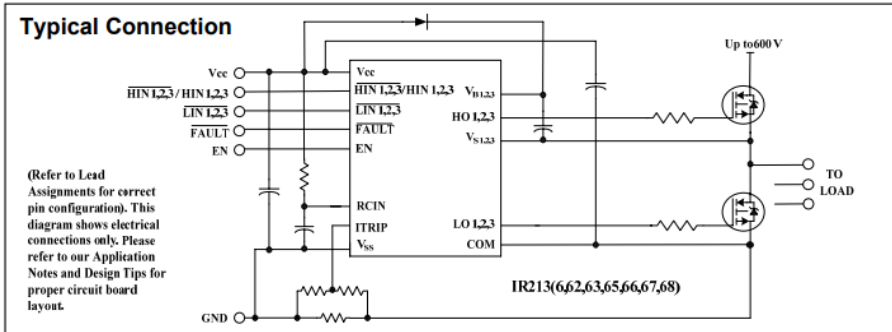
IR213(6,62,63,65,66,67,68)(J&S) & PbF

Lead Definitions

Symbol	Description
V _{CC}	Low side and logic fixed supply
V _{SS}	Logic ground
HIN1,2,3 HIN1,2,3	Logic inputs for high side gate driver outputs (HO1,2,3), out of phase [IR213(6,63,65,66,67,68)] Logic inputs for high side gate driver outputs (HO1,2,3), in phase (IR21362)
LIN1,2,3	Logic input for low side gate driver outputs (LO1,2,3), out of phase
FAULT	Indicates over-current (ITRIP) or low-side undervoltage lockout has occurred. Negative logic, open-drain output
EN	Logic input to enable I/O functionality. I/O logic functions when ENABLE is high (i.e., positive logic) No effect on FAULT and not latched
ITRIP	Analog input for overcurrent shutdown. When active, ITRIP shuts down outputs and activates FAULT and RCIN low. When ITRIP becomes inactive, FAULT stays active low for an externally set time T _{FLTCLR} , then automatically becomes inactive (open-drain high impedance).
RCIN	External RC network input used to define FAULT CLEAR delay, T _{FLTCLR} , approximately equal to R*C. When RCIN>8 V, the FAULT pin goes back into open-drain high-impedance
COM	Low side gate drivers return
V _{B1,2,3}	High side floating supply
HO1,2,3	High side gate driver outputs
V _{S1,2,3}	High voltage floating supply return
LO1,2,3	Low side gate driver outputs

Note: All input pins and the ITRIP pin are internally clamped with a 5.2 V zener diode.

Εικόνα 14 Επεξήγηση των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου IR2136



Εικόνα 15 Μια τυπική σύνδεση του ολοκληρωμένου IR2136

Η τελική διάταξη περιλαμβάνει μια οθόνη τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων (LCD), η οποία παρουσιάζεται στην εικόνα 16. Το συγκεκριμένο μοντέλο υποστηρίζει 2 γραμμές χαρακτήρων και 16 χαρακτήρες ανά γραμμή και διαθέτει πράσινο φόντο με μαύρους χαρακτήρες. Για τη λειτουργία της, απαιτείται να συμπεριλαμβάνεται στο κώδικα που θα φορτωθούν στο μικροελεγκτή οι απαραίτητες ρουτίνες. Η χρήση της οθόνης στη συγκεκριμένη διάταξη, είναι να εμφανίζει την λειτουργία που εκτελείται από τον μικροελεγκτή και να εμφανίζει τις ενδείξεις λειτουργίας του αντιστροφέα, τις παραμέτρους στο μενού, τα αποτελέσματα των μετρήσεων κλπ.



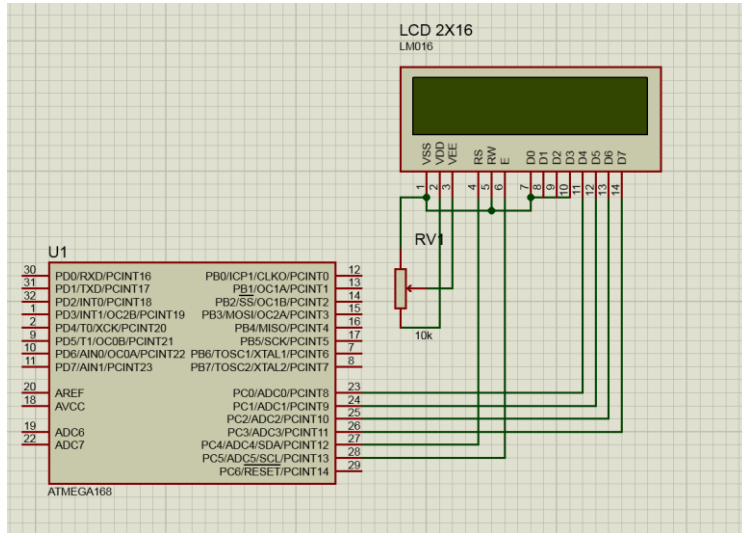
Εικόνα 16 Η οθόνη υγρών κρυστάλλων LCD

Μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να οδηγεί μια οθόνη υγρών κρυστάλλων υπό τον έλεγχο ενός μικροελεγκτή 4 ή 8 bit. Δεδομένου ότι όλες οι λειτουργίες όπως η RAM οθόνης, η γεννήτρια χαρακτήρων και ο οδηγός υγρών κρυστάλλων (driver), που απαιτούνται για την οδήγηση μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων παρέχονται εσωτερικά σε ένα τσιπ, έτσι ώστε και ένα απλό σύστημα μπορεί να συνδεθεί με αυτόν τον ελεγκτή της οθόνης.

Η ROM δημιουργίας χαρακτήρων HD44780U επεκτείνεται για να δημιουργήσει 208 γραμματοσειρές χαρακτήρων 5 × 8 κουκκίδων και 32 γραμματοσειρές χαρακτήρων 5 × 10 κουκκίδων για συνολικά 240 διαφορετικές γραμματοσειρές χαρακτήρων.

Upper 4 Bits Lower 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)	▶	◀	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0001	(2)	◀	!	1	A	Q	a	q	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0010	(3)	“	”	2	B	R	b	r	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0011	(4)	”	#	3	C	S	c	s	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0100	(5)	␣	\$	4	D	T	d	t	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0101	(6)	␣	%	5	E	U	e	u	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0110	(7)	␣	&	6	F	V	f	v	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx0111	(8)	␣	'	7	G	W	w	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1000	(1)	↑	<	8	H	X	h	x	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1001	(2)	↓	>	9	I	Y	i	y	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1010	(3)	→	*	:	J	Z	j	z	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1011	(4)	←	+	;	K	[k	[␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1100	(5)	␣	,	<	L	\	l		␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1101	(6)	␣	-	=	M]	m]	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1110	(7)	␣	.	>	N	^	n	~	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣
xxxx1111	(8)	␣	/	?	O	_	o	ó	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣	␣

Εικόνα 17 Πίνακας με τους συνδυασμούς των χαρακτήρων της οθόνης υγρών κρυστάλλων



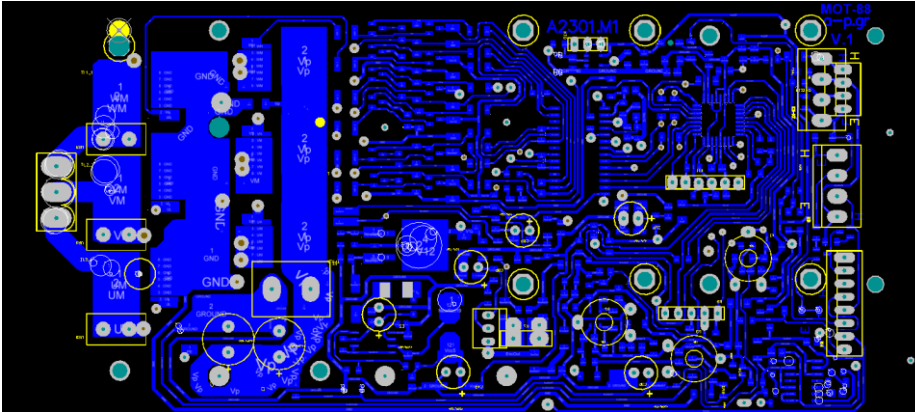
Εικόνα 18 Συνδεσμολογία μικροελεγκτή - οθόνης γρών κρυστάλλων

Η χαμηλή τροφοδοσία (2,7V έως 5,5V) του HD44780U είναι κατάλληλη για οποιοδήποτε φορητό προϊόν με μπαταρία

Στην εικόνα ~~XX~~18, αναδεικνύεται ο τρόπος συνδεσμολογίας της οθόνης με τον μικροελεγκτή. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, για τη λειτουργία της οθόνης χρειάζεται να συνδεθεί και ένα ποτενσιόμετρο που ελέγχει την αντίθεση της οθόνης.

3.3 Σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος

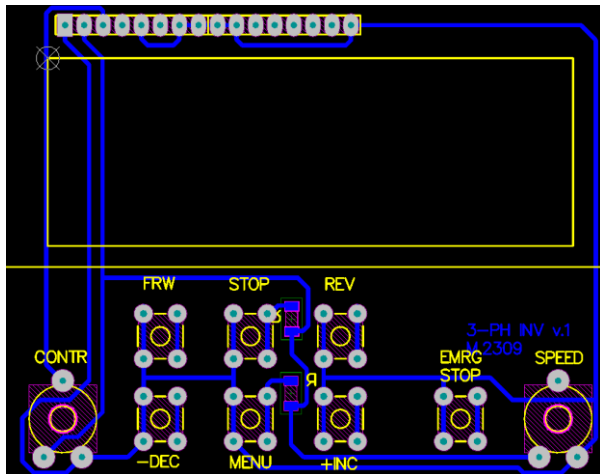
Η σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος, είναι η αποτύπωση του σχηματικού μέσω σχετικών προγραμμάτων για σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD). Μερικά από αυτά είναι το Eagle, Altium PCB designer, Proteus, Autodesk κλπ.



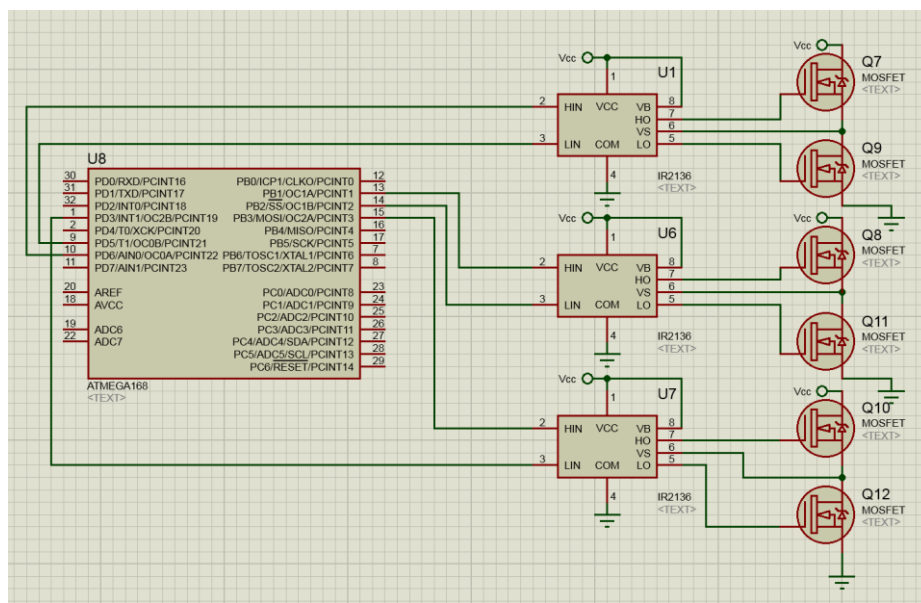
Εικόνα 48-19. Απεικόνιση του τυπομένου κυκλώματος της κεντρικής πλακέτας στο περιβάλλον του CAD

Ο όρος CAD (Computer - Aided Design) σημαίνει σχεδιασμός υποβοηθούμενος από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους μηχανικούς κάθε ειδικότητας για την αύξηση της παραγωγικότητας και για την χρήση ενός τέτοιου προγράμματος, όπως καταλαβαίνουμε χρειάζεται κάποια μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή αρκετά “δυνατή”, για τον λόγο ότι τέτοιου είδους προγράμματα χρησιμοποιούν πολύ περίπλοκους αλγόριθμους που χρειάζονται μεγάλη επεξεργαστική ισχύ. Το CAD δεν είναι αναπόσπαστο κομμάτι μιας εργαλειομηχανής χωρίς το οποίο δεν μπορεί να λειτουργήσει, αλλά χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία του χώρου, επαγγελματίες και μη.

Κεφάλαιο 3

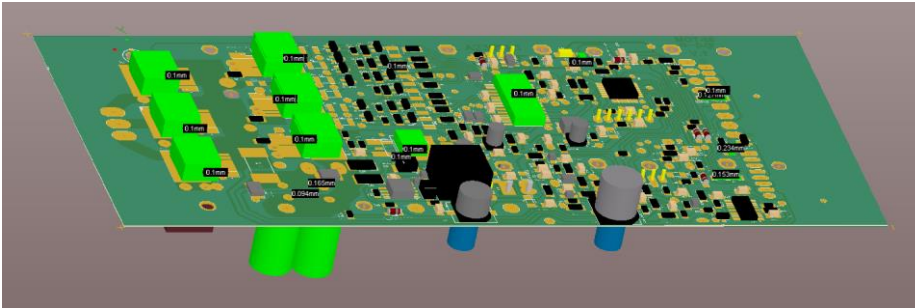


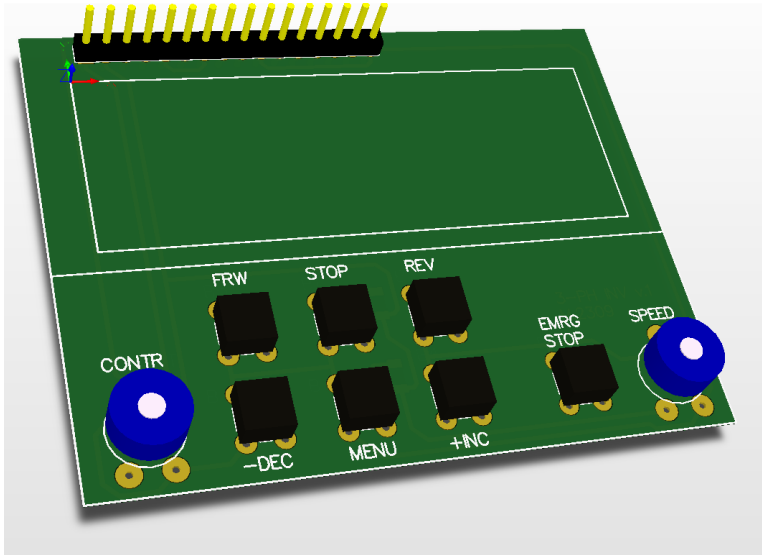
Εικόνα 19-20 Απεικόνιση του τυπωμένου κυκλώματος της πλακέτας ηλεκτρολογίου στο περιβάλλον του CAD



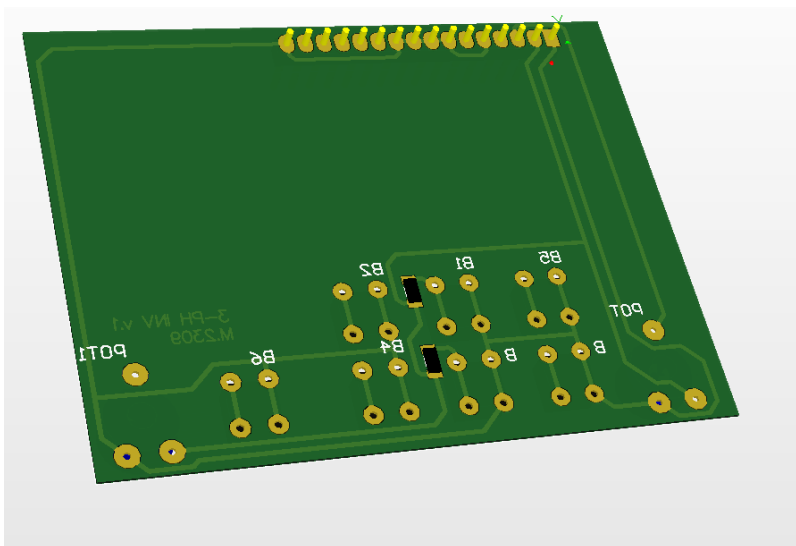
Εικόνα 21 Συνδεσμολογία μικροελεγκτή – gate driver – MOSFET ισχύος

Με τα προγράμματα CAD μπορούμε να σχεδιάσουμε αντικείμενα δυο και τριών διαστάσεων. Όπως είναι αντιληπτό λοιπόν, το CAD τείνει να είναι απαραίτητο εργαλείο σε διάφορους κλάδους.





Εικόνα ~~22-24~~ Τριδιάστατη απεικόνιση του τυπομένου κυκλώματος πλακέτας πληκτρολογίου (επάνω όψη)



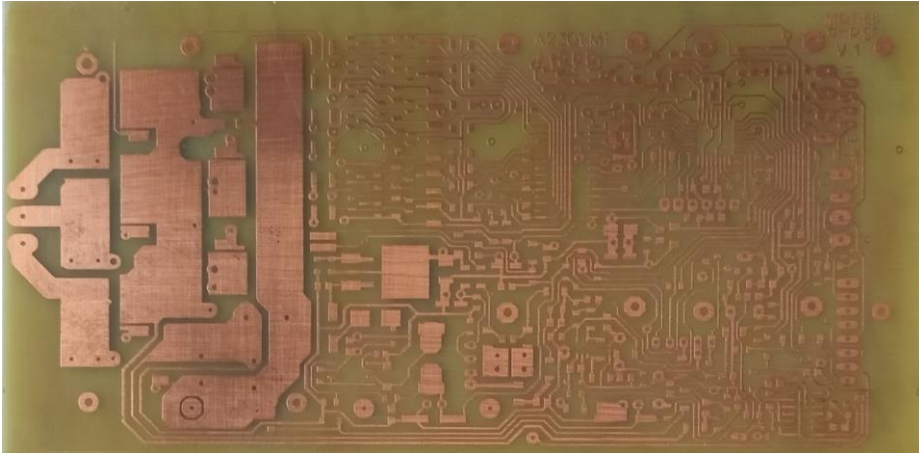
Εικόνα ~~23~~ Τριδιάστατη ~~25~~ Τριδιάστατη απεικόνιση του τυπομένου κυκλώματος πλακέτας πληκτρολογίου (κάτω όψη)

Μόλις ενώσουμε όλα τα εξαρτήματα μεταξύ τους, μπορούμε να εξάγουμε τα κατασκευαστικά αρχεία (Gerber files), ώστε να τα εισάγουμε σε ένα πρόγραμμα CAM. Το πρόγραμμα για την κατασκευή PCB έχει και ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το οποίο είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας μας με όλα τα εξαρτήματα τοποθετημένα.

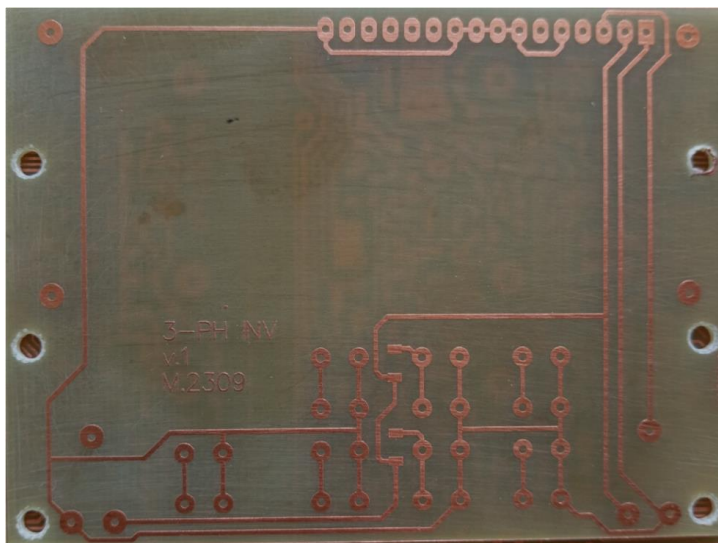
Έπειτα από την κατασκευή του σχηματικού και την σχεδίαση του κυκλώματος, ακολουθεί η εμφάνιση της πλακέτας. Το πρώτο στάδιο, είναι η διαδικασία όπου το κύκλωμα που έχει σχεδιαστεί θα και έχει εκτυπωθεί επάνω σε διαφανές φιλμ σε έναν κοινό εκτυπωτή με δυνατότητα επιλογής υψηλής ανάλυσης (DPI ~1200), έπειτα σε έναν χώρο με όσο το δυνατό χαμηλότερο φωτισμό θα τοποθετηθεί η πλακέτα (με την επιφάνεια προς εμφάνιση προς τα επάνω) μαζί με το φιλμ, κάτω από μια πηγή φωτός UV και η πλακέτα ακτινοβολείται για διάρκεια χρόνου 10-12 λεπτών.

Μετά την έκθεση της πλακέτας, το δεύτερο στάδιο είναι η εμφάνιση της πλακέτας. Θα χρησιμοποιηθεί υδατικό διάλυμα καυστικής σόδας στο οποίο διαλύεται 7-10 g καυστικής σόδας Cs (ή και tuboflo) σε 700-1000 ml νερού θερμοκρασίας δωματίου μέσα σε έναν πλαστικό δοχείο. Εισέρχεται η πλακέτα μέσα στο διάλυμα μόλις τελειώσει ο φωτισμός για λίγα λεπτά 3-6 λεπτά. Χρειάζεται καλή ανάδευση και έπειτα παραμένει εκεί μέχρις ότου να αποκαλυφθεί το σχέδιο/κύκλωμα πάνω στην πλακέτα. Εάν η πλακέτα παραμείνει στο διάλυμα για παραπάνω χρόνο αφού έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία εμφάνισης του κυκλώματος υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κατά την επόμενη διαδικασία κατασκευής της πλακέτας να προκληθούν ασυνέχειες στους αγωγούς με αποτέλεσμα την μη λειτουργία του κυκλώματος.

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος είναι η αποχάλκωση, όπου μετά από έναν σχολαστικό καθαρισμό της πλακέτας (είναι σημαντικό να μην υπάρχουν κατάλοιπα των προηγούμενων χημικών) η πλακέτα είναι έτοιμη να εισαχθεί σε ένα διάλυμα νερού και τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl₃) και έπειτα η διαδικασία της αποχάλκωσης θα ξεκινήσει. Σε λίγα λεπτά θα αρχίσει να διακρίνεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα επάνω στην πλακέτα. Η αποχάλκωση είναι διαδικασία η οποία διαρκεί περίπου 45-60 λεπτά, εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του διαλύματος και χρειάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ανάδευση για την καλύτερη κάλυψη της επιφάνειας της πλακέτας με το διάλυμα. Μόλις έχει αφαιρεθεί ο χαλκός ακολουθεί ο καθαρισμός της πλακέτας και το τρύπημα της για την συναρμολόγησή της. [\[13\]](#)

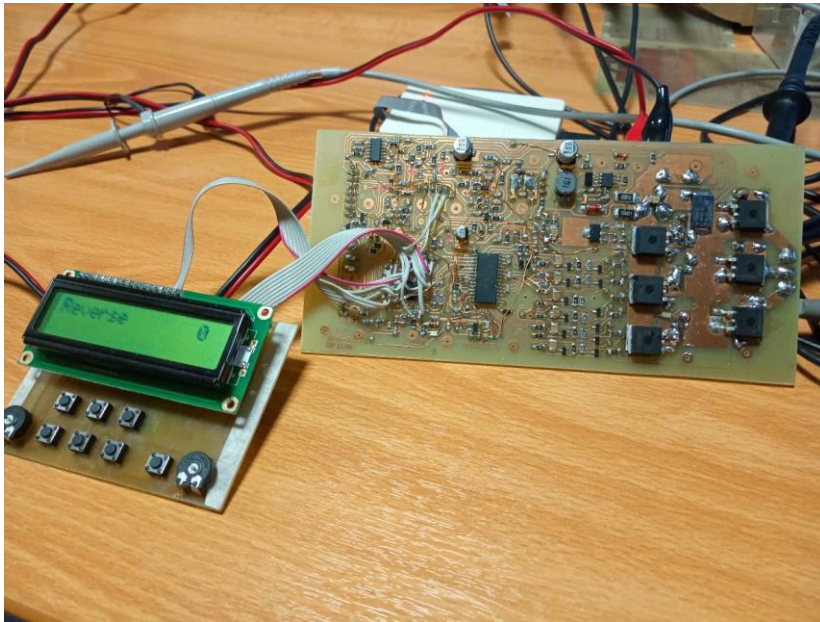


Εικόνα [24-26](#) Τελικό αποτέλεσμα της αποχάλκωσης (κεντρική πλακέτα)



Εικόνα [25-27](#) Τελικό αποτέλεσμα της αποχάλκωσης (πλακέτα ηλεκτρολογίου)

Είναι προφανές πως δεν υπάρχει φωτογραφικό υλικό διότι δεν υπήρχε η δυνατότητα λήψης φωτογραφιών κατά την διάρκεια του ενδιάμεσου σταδίου της εκτύπωσης τυπωμένου κυκλώματος με αυτή την μέθοδο τουλάχιστον (έκθεση – εμφάνιση – αποχάλκωση) καθώς η επιφάνεια του τυπωμένου κυκλώματος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στον δυνατό φωτισμό (αφού το φως της ημέρας περιέχει ακτινοβολίες που ανήκουν στο υπεριώδες φως το οποίο χρειάζεται για την διαδικασία της εμφάνισης) και η διαδικασία της εμφάνισης είναι σχετικά σύντομη εφόσον δεν ξεπερνά τα δύο (2) λεπτά.



Εικόνα 28 Τελικό αποτέλεσμα της πλακέτας του αντιστροφέα (πάνω όψη)



3.4 Συγγραφή του προγράμματος

Η συγγραφή του αλγορίθμου για την διαδικασία του μικροελεγκτή να λειτουργήσει σαν αντιστροφέας χρειάζεται σήματα μέσης-υψηλής συχνότητας λειτουργίας (16MHz) για την μέγιστη απόδοση του και προς αποφυγή υπερθέρμανσης λόγω υπερβολικού ρεύματος λειτουργίας. Οι εσωτερικοί χρονιστές (Timers 0, 1, 2) είναι υπεύθυνοι για την ακριβέστερη και εύστοχη λειτουργία των διακοπτικών ηλεκτρονικών στοιχείων IGBT/MOSFET/τρανζίστορ κλπ

12.8 8-bit Timer/Counter Register Description

12.8.1 Timer/Counter Control Register A – TCCR0A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

12.8.2 Timer/Counter Control Register B – TCCR0B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Εικόνα 26-30 Οι καταχωρητές των χρονιστών TCCRnA/B

Table 12-4. Compare Output Mode, Phase Correct PWM Mode⁽¹⁾

COM0A1	COM0A0	Description
0	0	Normal port operation, OC0A disconnected.
0	1	WGM02 = 0: normal port operation, OC0A disconnected. WGM02 = 1: toggle OC0A on compare match.
1	0	Clear OC0A on compare match when up-counting. Set OC0A on compare match when down-counting.
1	1	Set OC0A on compare match when up-counting. Clear OC0A on compare match when down-counting.

Note: 1. A special case occurs when OCR0A equals TOP and COM0A1 is set. In this case, the compare match is ignored, but the set or clear is done at TOP. See Section 14.8.4 "Phase Correct PWM Mode" on page 106 for more details.

Table 12-7. Compare Output Mode, Phase Correct PWM Mode⁽¹⁾

COM0B1	COM0B0	Description
0	0	Normal port operation, OC0B disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0B on compare match when up-counting. Set OC0B on compare match when down-counting.
1	1	Set OC0B on compare match when up-counting. Clear OC0B on compare match when down-counting.

Note: 1. A special case occurs when OCR0B equals TOP and COM0B1 is set. In this case, the compare match is ignored, but the set or clear is done at TOP. See Section 12.6.4 "Phase Correct PWM Mode" on page 82 for more details.

Table 12-8. Waveform Generation Mode Bit Description

Mode	WGM02	WGM01	WGM00	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCRx at	TOV Flag Set on ⁽¹⁾⁽²⁾
0	0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	0	1	PWM, phase correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	CTC	OCRA	Immediate	MAX
3	0	1	1	Fast PWM	0xFF	TOP	MAX
4	1	0	0	Reserved	–	–	–
5	1	0	1	PWM, phase correct	OCRA	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	Reserved	–	–	–
7	1	1	1	Fast PWM	OCRA	TOP	TOP

Notes: 1. MAX = 0xFF
2. BOTTOM = 0x00

Εικόνα 27-31 Οι καταχωρητές των γεννητριών κυματομορφών των χρονιστών

Απαιτούνται κατάλληλες ρουτίνες παρακολούθησης του ρεύματος εξόδου για την αποφυγή υπερδότησης του κυκλώματος εξόδου, διαδικασία η οποία χρησιμοποιεί τις δυνατότητες του μικροελεγκτή για μέτρηση αναλογικών τάσεων με αρκετά πιστή ανάλυση 10-bit (1024 κβάντα της αναλογικής τάσης εισόδου).

Κεφάλαιο 3

Η μαθηματική σχέση που το περιγράφει:

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

21.6.1 ADC Multiplexer Selection Register – ADMUX

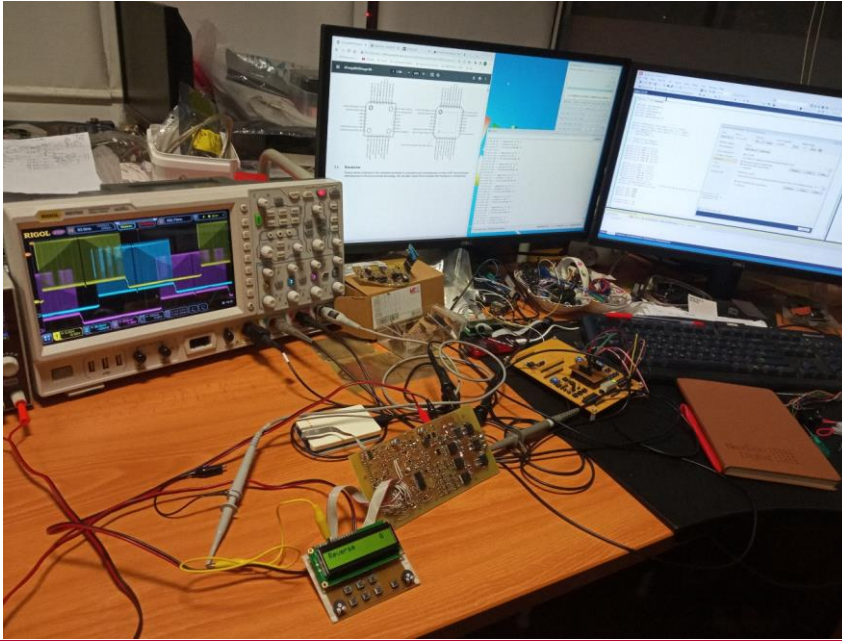
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 21-2. Voltage Reference Selections for ADC

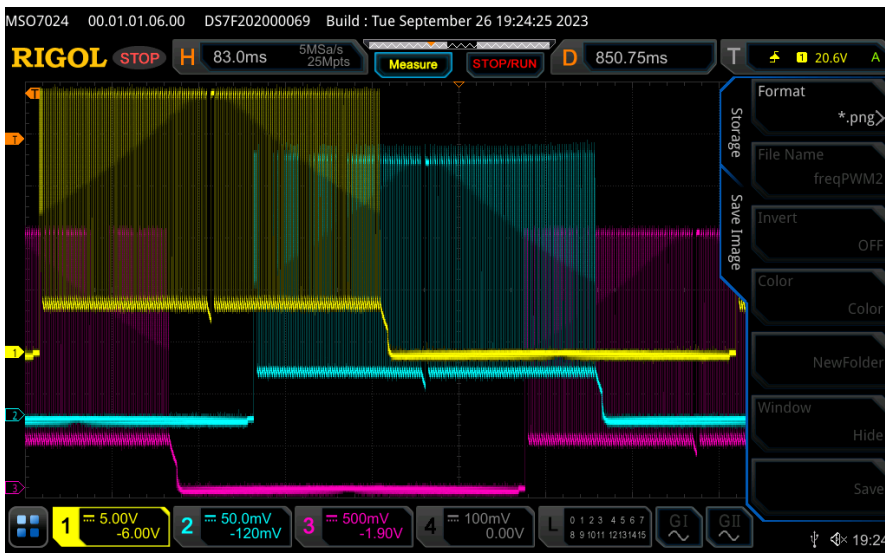
REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection
0	0	AREF, Internal V_{ref} turned off
0	1	AV_{CC} with external capacitor at AREF pin
1	0	Reserved
1	1	Internal 1.1V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

Εικόνα 28-32 Οι καταχωρητές του μετατροπέα αναλογικού-ψηφιακού σήματος

Τα πλήκτρα ελέγχου του αντιστροφέα είναι «εξοπλισμένα» με ρουτίνες προστασίας από χρόνους αλλαγής αναπήδησης των πλήκτρων. Οι ρουτίνες ελέγχου, όσον αφορά τους νεκρούς χρόνους (dead time) εναλλαγής των διακοπτικών στοιχείων είναι σημαντικό να ελέγχονται με απόλυτη χρονική ακρίβεια για την αποφυγή ροής όπως ακόμη και διαρροής ρεύματος σε λάθος αγωγούς για την αποτροπή υπερθέρμανσης των ηλεκτρονικών διακοπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.



Εικόνα 33 Ο αντιστροφέας συνδεδεμένος με τον παλμογράφο και τον Η/Υ για αποσφαλμάτωση/προγραμματισμό

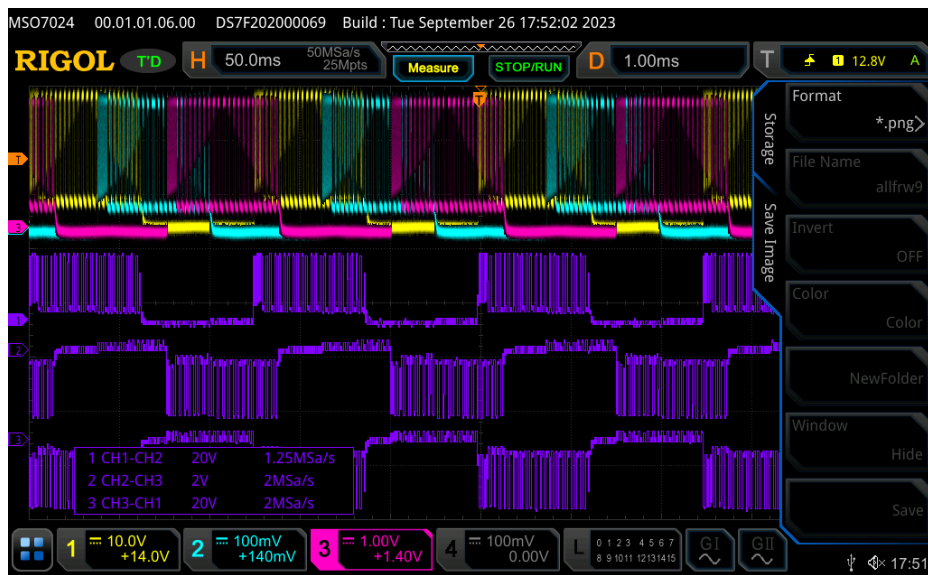


Εικόνα 34 Αποτελέσματα κυματομορφών του αντιστροφέα

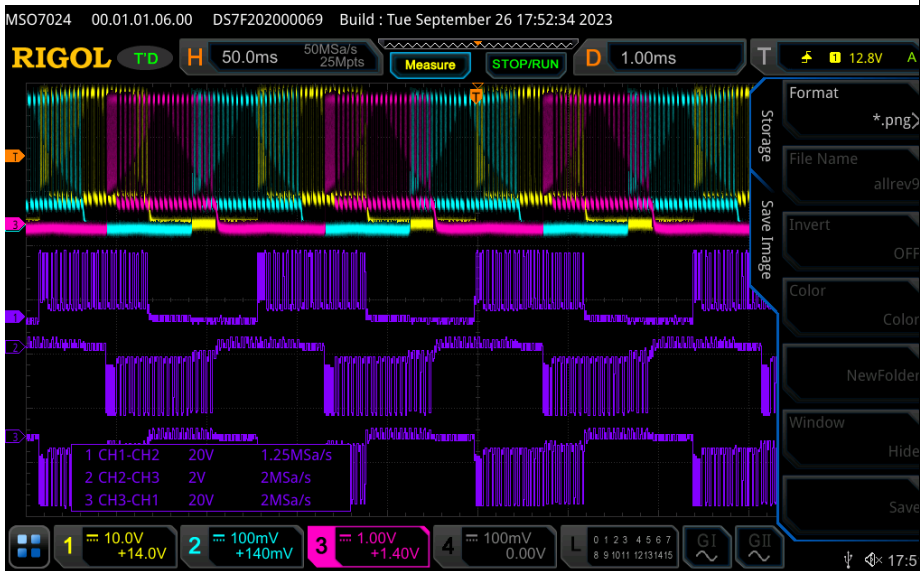
Κεφάλαιο 3



Εικόνα 35 Η συχνότητα της κάθε εξόδου του αντιστροφέα με τιμή 16 KHz.



Εικόνα 36 Συνολική εικόνα των εξόδων του αντιστροφέα σε κανονική περιστροφή



Εικόνα 37 Συνολική εικόνα των εξόδων του αντιστροφέα σε ανάποδη περιστροφή

3.5 Δυσκολίες στην πορεία της κατασκευής

Η διαδικασία της έρευνας λειτουργίας του αντιστροφέα όπως και η μετατροπή της γνώσης και των παραδειγμάτων σε έναν λειτουργικό αλγόριθμο ήταν ιδιαίτερα απαιτητική διότι χρειάστηκαν πολλοί πόροι όπως οικονομικοί, χρονικοί καθώς είναι μια τεχνολογία η οποία υπάρχει σε πολλούς τομείς στην καθημερινότητα των ανθρώπων όμως είναι μια έξυπνη και ταυτόχρονα περίπλοκη τεχνολογία. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν έπειτα από πολύωρη αναζήτηση βρέθηκαν με επιτυχία εφόσον πλέον είναι σχετικά δυσεύρετα στις μέρες μας. Η διαδικασία εμφάνισης και αποχάλκωσης της ηλεκτρονικής πλακέτας ήταν αρκετά χρονοβόρα καθώς η χειρωνακτική μέθοδος απαιτεί παραπάνω χρόνο από τις πλέον δυνατότητες που παρέχονται, με μεγαλύτερη οικονομική και χρονική επιβάρυνση αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 3

3.6 Επίλογος

Η πορεία της κατασκευής είχε αρκετές προκλήσεις για την επιτυχή λειτουργία του αντιστροφέα κυρίως στο κομμάτι της ρύθμισης και παραμετροποίησης των χρονιστών Timer0, Timer 1, Timer 2 για την βέλτιστη μέτρηση και τον καλύτερο έλεγχο των σημάτων, τα χημικά υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πλακέτας απαιτούν προσοχή για αποφυγή ατυχημάτων και η συγγραφή του κώδικα είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας του αντιστροφέα.

Κεφάλαιο 4ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Τελειώνοντας την έρευνα και την κατασκευή του τριφασικού αντιστροφέα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για να ασχοληθεί κάποιος με αυτό το αντικείμενο και να ξεκινήσει την διαδικασία της κατασκευής ενός αντίστοιχου μηχανήματος, θα πρέπει να έχει αφιερώσει αρκετό χρόνο στην έρευνα και αναζήτηση καρποφόρων πηγών ώστε να αποφύγει την άσκοπη σπατάλη χρημάτων και χρόνου. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αποφασίζοντας πρώτα από όλα τις μέγιστες δυνατότητες και ακρίβειες που θέλει να πετύχει με το σύστημα. Παρόλα αυτά, η κατασκευή είναι εφικτή και σίγουρα θα μπορέσει να βρει αρκετή βοήθεια στο διαδίκτυο από ανθρώπους που έχουν επιχειρήσει και έχουν κατασκευάσει αντίστοιχο σύστημα.

Η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα πεπερασμένου χρόνου όπου η έρευνα και η αναζήτηση πληροφοριών περιορίστηκαν σε σημαντικό βαθμό. Σαφώς κανείς θα σκεφτεί πως μπορούσαν να προστεθούν δυνατότητες και δικλείδες προστασίας, όπως κάποιο encoder για μέτρηση και έλεγχο στροφών, μέτρηση ρευμάτων ανά φάση και με την μέθοδο μετασχηματισμού Clarke και Park για την μετατροπή των σημάτων προς τον υπολογισμού τους, επιβράδυνση μέσω αντίστασης δυναμικής πέδησης (DBR), αντίσταση Shunt για προστασία υπεροδήγησης του κινητήρα και άλλα.

Κεφάλαιο 4

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Application Note

[1] Three-phase PWM UG0655 User Guide Microsemi

Data Sheet

[2] ATmega88/ATmega168 http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-9365-Automotive-Microcontrollers-ATmega88-ATmega168_Datasheet.pdf

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[3] 600 V three-phase gate driver IC https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR213-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c8a02116a5

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Internet Site

[4] Three-phase Inverter Using Microcontroller for Speed Control Application on Induction motor <https://core.ac.uk/download/pdf/132584523.pdf>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[5] Pulse Width Modulation <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[6] Types of Single Phase Induction Motors <https://www.electricaldeck.com/2020/01/types-of-single-phase-induction-motors.html>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[7] AC Motors Part 3-Single Phase Operation <https://www.pumpsandsystems.com/ac-motors-part-3-single-phase-operation>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[8] BLDC Motor Controller: How It Works, Design Principles & Circuit Examples <https://www.integrasources.com/blog/bldc-motor-controller-design-principles/>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[9] Efficiency of Electric Motor: A Simple Guide <https://www.linquip.com/blog/efficiency-of-electric-motor/>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[10] Types of Power Converters <https://electronicscoach.com/types-of-power-electronic-converters.html>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[11] Types of Power Electronic Converters <https://electronicscoach.com/types-of-power-electronic-converters.html>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[12] What is a Power Converter? <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-power-converter/>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[13] Τεχνικές εμφάνισης πλακέτας & τεχνικές αποχάλκωσης
http://users.sch.gr/asal1/material/2014_2015/kataskevi.pdf

Paper in Conference Proceedings

[14] Three Level PWM Single PHSE to Three Phase Inverter using Microcontroller
<https://www.semanticscholar.org/paper/Three-Level-PWM-Single-PHSE-to-Three-Phase-Inverter-Sahastrabudde-Naidu/d458ae105ef06772e7563ad833979171907ad0db/figure/2>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[15] A Geometric Interpretation of Reference Frames and Transformations
https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/123557/Final_Submission_Open_Access.pdf?sequence=1&isAllowed

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Journal Articles

[16] Frequency inverter benefits in your application <http://www.frequencyinverters.org/frequency-inverter-benefits-in-your-application-510991.html>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[17] Three-phase-voltage-source-PWM-Inverter https://www.researchgate.net/figure/Three-phase-voltage-source-PWM-Inverter-The-relationship-between-the-switching-variable_fig1_251996256

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[18] What is a Power Converter? <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-power-converter/>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[19] 3-phase inverter SPWM <https://github.com/soheilpaper/3phase-inverster-avrstudio-v6->

Αλλαγή κωδικού πεδίου

[20] 3 Phase PWM <https://github.com/hannahsawiuk/3-Phase-PWM>

Αλλαγή κωδικού πεδίου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία

```
#define F_CPU 8000000UL

#include <avr/eeprom.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define setbit(port, bit) (port) |= (1 << (bit))
#define clearbit(port, bit) (port) &= ~(1 << (bit))
#define togglebit(port, bit) (port) ^= (1 << (bit))
// setbit(PORTD,1);
// clearbit(PORTC,2);

// if(bit_is_set(PINB,0))
// if(bit_is_clear(PIND,4))

#define S6_on DDRD |= (1<<3);
#define S2_on DDRD |= (1<<5);
#define S1_on DDRD |= (1<<6);
#define S6_off DDRD &= ~(1<<3);
#define S2_off DDRD &= ~(1<<5);
#define S1_off DDRD &= ~(1<<6);

#define S3_on DDRB |= (1<<1);
#define S4_on DDRB |= (1<<2);
#define S5_on DDRB |= (1<<3);
#define S3_off DDRB &= ~(1<<1);
#define S4_off DDRB &= ~(1<<2);
#define S5_off DDRB &= ~(1<<3);
//#define del_M_delay_us(1);
#define _delayNanoseconds(__ns) __builtin_avr_delay_cycles(
(double)(F_CPU)*((__ns)/1.0e9 + 0.5) //__delayNanoseconds(450);
#define del_M_delayNanoseconds(2);

#define LINE1 0x00
#define LINE2 0x40
#define LINE3 0x10
#define LINE4 0x50

unsigned char x = 0;
unsigned char y = 0;

////////////////////////////////////
int16_t del = 0;
unsigned char cnt = 0;
unsigned char temp;
int16_t dutyCycleA = 50;
int16_t dutyCycleB = 275;
int16_t dutyCycleC = 400;
int16_t dutyCycleA;
int16_t dutyCycleB;
int16_t dutyCycleC;
unsigned char rot = 1;
int16_t rot_speed[6] = {0,200,400,600,800,1000};
unsigned char rot_sel = 0;
```

```

unsigned char update = 0;
unsigned char ld_stat;
unsigned char run;
unsigned char direction;
unsigned char ramp_comp = 0;
uint16_t shunt_read;
uint16_t speed_read;
uint16_t tbuffer[5];
int in_menu;
int edit_param = 1;
int speed_pot;
int ramp_step;

enum {UP, DOWN};
void pwm_incr_duty(void);
void pwm_decr_duty(void);
void pwm_brightdim(void);
void Timer_freq(uint8_t freq);
void PWM_init(void);
void mills_tmr (uint8_t mills);

////////////////////////////////////
void init(void);
void del_routine(del);
void lcd_cmdx(unsigned char cmd);
void lcd_datax(unsigned char data);
void lcd_ini(void);
void lcd_goto(uint8_t x, uint8_t y);
void lcd_clsc(void);
void lcd_toggle_E(void);
void lcd_put(const char *s);

void main()
{
    init();

    clearbit(PORTB,6);
    _delay_ms(500);
    setbit(PORTB,6);

    TIMSK0 = (1 << TOIE0);

    TCCR0A = (1 << COM0B1) |(1 << COM0B0) | (1 << WGM00);
    TCCR1A = (1 << COM1B1) |(1 << COM1B0) | (1 << WGM10);
    TCCR2A = (1 << COM2B1) |(1 << COM2B0) | (1 << WGM20);

    TCCR0A = (1 << COM0B1) | (1 << WGM00) | (1 << COM0A1);
    TCCR1A = (1 << COM1B1) | (1 << WGM10) | (1 << COM1A1);
    TCCR2A = (1 << COM2B1) | (1 << WGM20) | (1 << COM2A1);

    //sei();

    TCCR0B = (1 << CS00) | (1 << CS02);
    TCCR1B = (1 << CS10) | (1 << CS12);
    TCCR2B = (1 << CS20) | (1 << CS22) | (1 << CS21);

    del = 1000;

    while(1)
    {
        if (run == 0)
        {

```

```

        lcd_goto(0,0);
        lcd_put("IDLE ");
    }

//RUN led blinking. ratio 1.6 on/off
if (ld_stat < 30 && run == 1)
{
    ld_stat++;
    if (direction == 1)
        _delayNanoseconds(1);
    else
        _delayNanoseconds(3);

    if (ld_stat < 18)
        clearbit(PORTB,6);
    else
        setbit(PORTB,6);
}
else
{
    ld_stat = 0;
    clearbit(PORTB,5);
}

//DECREASE motor velocity
if (bit_is_clear(PINB,4))
{
    _delay_us(20);
    if (rot_sel <= 5)
        rot_sel++;
    else
        rot_sel = 5;

    if (del <= 1000)
        //del+=35;
        del+=20;
    else
        del = 1000;
}

//INCREASE motor velocity
if (bit_is_clear(PINB,5))
{
    _delay_us(20);
    if (rot_sel >= 0)
        rot_sel--;
    else
        rot_sel = 0;

    if (del > 35)
        del-=35;
    else
        del = 0;
}

//emergency STOP
if (bit_is_clear(PIND,2))
{
    cli();
    _delay_ms(1000);
    cnt = 0;
    temp = 0;
}

```

```

TCCR0A = 0;
TCCR1A = 0;
TCCR2A = 0;
OCR0A = 0;
OCR0B = 0;
OCR1A = 0;
OCR1B = 0;
OCR2A = 0;
OCR2B = 0;
run = 0;
del = 1000;
ramp_comp = 0;
typedef void(*func)();
func reset = NULL;
reset();

lcd_goto(0,0);
lcd_put("emSTOP ");
_delay_ms(1000);
}

//REVERSE button
if (bit_is_clear(PIND,7) && run == 0)
{
    lcd_goto(0,0);
    lcd_put("Reverse");

    dutyCycleB = 50;
    dutyCycleA = 275;
    dutyCycleC = 400;

    TCCR0A = (1 << COM0B1) | (1 << WGM00) | (1 << COM0A1);
    TCCR1A = (1 << COM1B1) | (1 << WGM10) | (1 << COM1A1);
    TCCR2A = (1 << COM2B1) | (1 << WGM20) | (1 << COM2A1);
    sei();
    run = 1;
    direction = 1;
}

//FORWARD button
if (bit_is_clear(PINB,7) && run == 0)
{
    lcd_goto(0,0);
    lcd_put("Forward");

    dutyCycleA = 50;
    dutyCycleB = 275;
    dutyCycleC = 400;

    TCCR0A = (1 << COM0B1) | (1 << WGM00) | (1 << COM0A1);
    TCCR1A = (1 << COM1B1) | (1 << WGM10) | (1 << COM1A1);
    TCCR2A = (1 << COM2B1) | (1 << WGM20) | (1 << COM2A1);
    sei();
    run = 1;
    direction = 0;
}

//STOP button
if (bit_is_clear(PIND,0) && run == 1)
{
    cli();
    cnt = 0;
}

```

```

temp = 0;
TCCR0A = 0;
TCCR1A = 0;
TCCR2A = 0;
OCR0A = 0;
OCR0B = 0;
OCR1A = 0;
OCR1B = 0;
OCR2A = 0;
OCR2B = 0;
run = 0;
del = 1000;
ramp_comp = 0;
typedef void(*func)();
func reset = NULL;
reset();

lcd_goto(0,0);
lcd_put("Stopped");
_delay_ms(1000);
}

//RAMP at the beginning of rotation
if (speed_pot == 0)
{
    if (ramp_comp == 0 && run == 1)
    {
        if (del > 5)
            del-=ramp_step;
        else
            ramp_comp = 1;
    }
}
else
{
    if (ramp_comp == 0 && run == 1)
    {
        if (del > speed_read)
            del-=20;
        else
            ramp_comp = 1;
    }
}

////////////////////////////////////
mills_tmr(1);

PWM_init();

////////////////////////////////////

//ADC reading on SHUNT resistor
ADMUX = (1 << MUX2)|(1 << MUX1)|(1 << MUX0)|(1 << REFS0);    //7
ADCSRA |= (1 << ADSC);
shunt_read = ADC;

//SPEED reading from potentiometer
ADMUX = (1 << MUX2)|(1 << MUX1)|(1 << REFS0);    //6
ADCSRA |= (1 << ADSC);
speed_read = ADC;
if (speed_pot == 1)
{

```

```

        del = speed_read;
    }

    //Show FREQUENCY on LCD
    sprintf(tbuffer, "%4d", 1000-del);
    lcd_goto(11,0);
    lcd_put(tbuffer);

    if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 0 && run == 0)
    in_menu = 1;

    //MENU LCD
    if (in_menu == 1)
    {
        lcd_goto(0,0);
        lcd_put("  EDIT  PARAM");
        _delay_ms(500);

        del = eeprom_read_word(0x01);
        speed_pot = eeprom_read_byte(0x04);
        ramp_step = eeprom_read_byte(0x03);

        while (1)
        {
            if (bit_is_clear(PINB,4) && in_menu == 1)
            {
                _delay_ms(200);
                edit_param--;
            }

            if (bit_is_clear(PINB,5) && in_menu == 1)
            {
                _delay_ms(200);
                edit_param++;
            }

            if (edit_param > 3)
            {
                edit_param = 3;
            }

            if (edit_param < 1)
            {
                edit_param = 1;
            }

            if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 1)
            {
                in_menu = 2;
                _delay_ms(200);
            }

            switch (edit_param)
            {
                case 1:
                    //DECREASE motor velocity
                    if (bit_is_clear(PINB,4) && in_menu == 2)
                    {
                        _delay_us(200);
                        if (rot_sel <= 5)
                            rot_sel++;
                        else
                    }
            }

```

```

        rot_sel = 5;

        if (del < 1000)
            del+=20;
        else
            del = 1000;
    }

    //INCREASE motor velocity
    if (bit_is_clear(PINB,5) && in_menu == 2)
    {
        _delay_us(200);
        if (rot_sel >= 0)
            rot_sel--;
        else
            rot_sel = 0;

        if (del > 35)
            del-=35;
        else
            del = 0;
    }

    lcd_goto(0,1);
    lcd_put("SPEED ");

    if (speed_pot == 1)
    {
        del = speed_read;
        sprintf(tbuffer, "%4d", (1000-del));
        lcd_goto(6,1);
        lcd_put(tbuffer);
        lcd_put(" ");
    }
    else
    {
        sprintf(tbuffer, "%4d", (1000-del));
        lcd_goto(6,1);
        lcd_put(tbuffer);
        lcd_put(" ");
    }
    break;

    case 2:
    //DECREASE motor velocity
    if (bit_is_clear(PINB,4) && in_menu == 2)
    {
        speed_pot = 0;
    }

    //INCREASE motor velocity
    if (bit_is_clear(PINB,5) && in_menu == 2)
    {
        speed_pot = 1;
    }

    lcd_goto(0,1);
    lcd_put("POT SPD ");

    lcd_goto(8,1);
    if (speed_pot == 1)

```

```

    lcd_put("POT ON ");
    else
    lcd_put("POT OFF");
    break;

    case 3:
    //INCREASE ramp step
    if (bit_is_clear(PINB,5) && in_menu == 2)
    {
        _delay_ms(200);
        if (ramp_step < 10)
            ramp_step+=1;
        else
            ramp_step = 10;
    }

    //DECREASE ramp step
    if (bit_is_clear(PINB,4) && in_menu == 2)
    {
        _delay_ms(200);
        if (ramp_step > 0)
            ramp_step-=1;
        else
            ramp_step = 0;
    }

    lcd_goto(0,1);
    lcd_put("RAMP ST");

    sprintf(tbuffer,"%2d",ramp_step);
    lcd_goto(8,1);
    lcd_put(tbuffer);
    lcd_put(" ");
    break;
} //end switch

if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 1)
{
    in_menu = 2;
    _delay_ms(500);
}

if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 2)
{
    in_menu = 1;
    _delay_ms(500);
}

if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 1)
{
    _delay_ms(300);
    if (bit_is_clear(PIND,1) && in_menu == 1)
    {
        lcd_clsc();
        in_menu = 0;
        eeprom_update_word(0x01,del);
        eeprom_update_byte(0x04,speed_pot);
        eeprom_update_byte(0x03,ramp_step);
        _delay_ms(500);
        break;
    }
}

```

```

        }

    }}

} //end while
} //end main

ISR(TIMER0_OVF_vect)
{
    TCNT0 = 65530;
    if (dutyCycleA <= 100 && direction == 1)
    {
        dutyCycleA++;
        del_routine(del);
    }
    else
    {direction = 0;}

    if (dutyCycleA >= 1 && direction == 0)
    {
        dutyCycleA--;
        del_routine(del);
    }
    else
    {
        if (dutyCycleA == 0)
            direction = 1;
    }

    if (dutyCycleB <= 100 && direction == 1)
    {
        dutyCycleB++;
        del_routine(del);
    }
    else
    {direction = 0;}

    if (dutyCycleB >= 1 && direction == 0)
    {
        dutyCycleB--;
        del_routine(del);
    }
    else
    {
        if (dutyCycleB == 0)
            direction = 1;
    }

    if (dutyCycleC <= 100 && direction == 1)
    {
        dutyCycleC++;
        del_routine(del);
    }
    else
    {direction = 0;}

    if (dutyCycleC >= 1 && direction == 0)
    {
        dutyCycleC--;
        del_routine(del);
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        if (dutyCycleC == 0)
            direction = 1;
    }
}

void Timer_freq(uint8_t freq)
{
    TCCR1B |= (1<<CS12) | (1<<WGM12);
    TIMSK1 |= (OCIE1A);
    OCR1A = (F_CPU/(freq*2*256)-1);
}

void PWM_init(void)
{
    TCCR1B |= (1<<CS10) | (1<<WGM12);
    TIMSK1 |= (1<<OCIE1A) | (1<<OCIE1B);
    OCR1A = 800;
    OCR1B = 400;
}

void mills_tmr (uint8_t mills)
{
    TCCR0A |= (1<<WGM01);
    TCCR0B |= (1<<CS02) | (1<<CS00);
    OCR0A = mills*5; // = mills*7,8125-1      mills*f_cpu/1000*2*N-1
    frequency = f_cpu/(2*N*(1+OCRnA))
    TIMSK0 |= (1<<OCIE0A);
}

void pwm_incr_duty(void)
{
    uint16_t period = OCR1A;
    uint16_t duty = OCR1B;

    if (duty < period)
    {
        duty++;
    }
    else
    {
        duty = 0;
    }
    OCR1B = duty;
}

void pwm_decr_duty(void)
{
    uint16_t period = OCR1A;
    uint16_t duty = OCR1B;

    if (duty > 0)
    {
        duty--;
    }
    else
    {
        duty = 0;
    }
}

```

```

    OCR1B = duty;
}

void pwm_brightdim(void)
{
    uint16_t duty = OCR1B;
    uint16_t period = OCR1A;
    static uint8_t direction;

    switch (direction)
    {
        case UP:
            if (++duty == (period - 1))
                direction = DOWN;
            break;

        case DOWN:
            if (--duty == 2)
                direction = UP;
            break;
    }

    OCR1B = duty;
}

void init(void)
{
    DDRD = 0xc3;
    PORTD = 0x2d;

    DDRC = 0xa7;
    PORTC = 0x77;

    DDRB = 0x26;
    PORTB = 0x3f;

    ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
    ADMUX |= (1 << REFS0); //|(1 << REFS1); //refs1 -> 0 = 5v, 1 = 1,1v
    //ADMUX |= (1 << ADLAR); //0 = 10 bit, 1 = 8 bit
    ADMUX |= (1 << MUX2)|(1 << MUX1);
    ADCSRA |= (1 << ADEN);
    ADCSRA |= (1 << ADSC);

    lcd_ini();
    _delay_ms(2);
    lcd_clsc();
    _delay_ms(2);
}

void del_routine(del)
{
    unsigned char cnt = 1;
    uint16_t temp;
    temp = del;
    // del_M
    while (del > 0)
    {
        for (cnt;cnt>0;cnt--)
            {del_M}
            del--;
    }
    del = temp;
}

```

```

}

void lcd_cmdx(unsigned char cmd)
{
    /*DDRD = 0xff;
    PORTD = cmd;
    DDRC |= (1<<0);
    PORTC &=~(1<<0);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();*/
    //////////////////////////////////////
nibble //PORTD = (PORTD & 0x0f)|(cmd >> 4);//sending lower nibble    connecting upper
    PORTC = ((cmd>>4)&0x0F);    //connecting lower nibble
    DDRC |= 0x30;
    PORTC &=~(1<<4);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();
    _delay_us(200);
nibble //PORTD = (PORTD & 0x0f)|(cmd & 0x0f);//sending upper nibble    connecting upper
    PORTC = (cmd & 0x0F);    //connecting lower nibble
    DDRC |= 0x30;
    PORTC &=~(1<<4);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();
}

void lcd_datax(unsigned char data)
{
    /*DDRD = 0xff;
    PORTD = data;
    DDRC |= (1<<0);
    PORTC |= (1<<0);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();*/
    //////////////////////////////////////
nibble //PORTD = (PORTD & 0x0f)|(data >> 4);//sending lower nibble    connecting upper
    PORTC = ((data>>4)&0x0F);    //connecting lower nibble
    DDRC |= 0x30;
    PORTC |= (1<<4);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();
    _delay_us(200);
nibble //PORTD = (PORTD & 0x0f)|(data & 0x0f);//sending upper nibble    connecting upper
    PORTC = (data & 0x0F);    //connecting lower nibble
    DDRC |= 0x30;
    PORTC |= (1<<4);    //RS
    //PORTC &=~();    //RW
    lcd_toggle_E();
}

void lcd_ini(void)
{
    //lcd_cmdx(0x38);    //lcd function 8bit, 2 lines, 5x7 dots
    //////////////////////////////////////
    lcd_cmdx(0x33);
    lcd_cmdx(0x32);
    lcd_cmdx(0x28);    //lcd function 4bit, 2 lines, 5x7 dots
    //////////////////////////////////////
}

```

```

    lcd_cmdx(0x0c);    //display on cursor on
    lcd_cmdx(0x06);    //display shift off, inc cursor move dir
    lcd_cmdx(0x01);    //clear screen
    lcd_cmdx(0x80);    //force cursor to beginning of first line
    _delay_ms(3);
}

void lcd_goto(uint8_t x, uint8_t y)
{
    if (y == 0)
    {lcd_cmdx((1<<7)+(LINE1)+x);}
    else
    {lcd_cmdx((1<<7)+(LINE2)+x);}
    //     else if (y == 2)
    //         {lcd_cmdx((1<<7)+(LINE3)+x);}
    //     else if (y == 3)
    //         {lcd_cmdx((1<<7)+(LINE4)+x);}
}

void lcd_clsc(void)
{
    lcd_cmdx(0x01);    //clear screen
    _delay_ms(3);
}

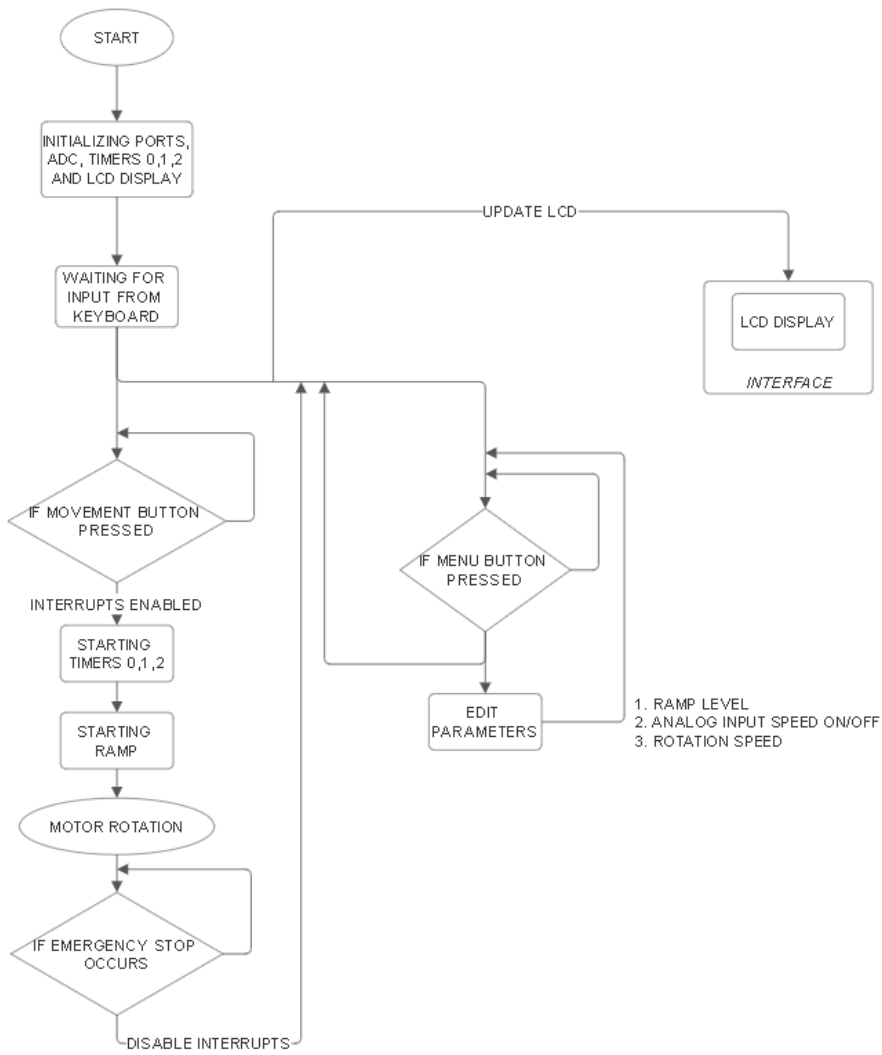
void lcd_toggle_E(void)
{
    setbit(PORTC,5);    //E
    _delay_us(80);
    clearbit(PORTC,5);
    _delay_us(80);
}

void lcd_put(const char *s)
{
    register char c;

    while ( (c = *s++) )
    {
        lcd_datax(c);
    }
}

```

Συνοπτικό μπλοκ διάγραμμα του κώδικα της εργασίας



Λίστα υλικών και κόστος κατασκευής της πλακέτας

• Πλακέτες PCB	6.519€
• Χημικά για την εμφάνιση και αποχάλκωση	14€49
• Οθόνη υγρών κρυστάλλων LCD.....	4€49
• 3-φασικός κινητήρας.....	4917€
• Microcontroller ATmega168	3.5€49
• Gate driver IR 2136.....	5.5€49
• MC 34063 Switching regulator	1€49
• Αντιστάσεις.....	5.5€49
• Πυκνωτές.....	6€49
• Δίοδοι	4€49
• Transistors	4.5€49
• Power MOSFET.....	24€49
• Σταθεροποιητής τάσης HA178L02UA.....	1€49
• Κονέκτορες.....	11.5€49
• Ποτενσιόμετρα.....	3€49
• Πλήκτρα 6x6 χιλ	6€49
• Pin header	8€49
• Διακόπτες	7.5€

Συνολικό κόστος κατασκευής 132.5€

• 19

Μορφοποιήθηκε: Διάστιχο: 1,5 γραμμές

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 1,27 εκ., Χωρίς κουκκίδες ή αρίθμηση