



ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος με χρήση
αυτοματοποιημένης φρέζας μέσω υπολογιστή**

**Design of printed circuit board with the use of computer
numerical control**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΟΥΤΣΙΔΗΣ ΠΟΛΥΧΡΟΝΗΣ Α.Μ: 41430

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΑΘΗΝΑ 2017

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή και καθηγητή μου, κύριο Βυλλιώτη Ηρακλή καθώς και τον καθηγητή κύριο Ξερογιαννάκη Γεώργιο. Η πολύτιμη βοήθειά τους, η άψογη συνεργασία μας καθώς και η καθοδήγησή τους, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου ήταν εξαιρετική.

Θα ήθελα ακόμη, να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια μου για την ηθική υποστήριξή και για την υπομονή που μου έδειξαν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησης στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τεχνολογικής Εκπαίδευσης του ΑΕΙ Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να αναδείξει την μέθοδο κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος με χρήση αυτοματοποιημένης φρέζας μέσω υπολογιστή (ή διαφορετικά CNC). Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, αρχικά πρέπει να κατανοηθεί ο τρόπος λειτουργίας του ίδιου του μηχανήματος, καθώς και ο λόγος για τον οποίο το μηχάνημα λειτουργεί με αυτό τον τρόπο. Έτσι, αρχικά γίνεται μια αναφορά στα εξαρτήματα που μπορούν να αποτελέσουν ένα ολοκληρωμένο μηχάνημα, και ακόμη περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας του κάθε εξαρτήματος.

Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί, για την κατασκευή ενός τυπωμένου κυκλώματος με χρήση αυτοματοποιημένης φρέζας μέσω υπολογιστή. Για την πραγματοποίηση της όλης διαδικασίας γίνεται αναλυτική περιγραφή του εκάστοτε προγράμματος, διότι είναι σημαντική η ορθή χρήση τους, αφού όλα αυτά τα προγράμματα συνεργάζονται άμεσα μεταξύ τους.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, μετά το πέρας της κατασκευής καθώς και ορισμένες βελτιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν.

ABSTRACT

This thesis was produced as part of the study in the Department of Electrical Engineering of the Technological Sector of Piraeus University.

The purpose of this project is to highlight the fabrication method of a printed circuit board using a computer numerical control (or different CNC). To achieve the above aim, first must be understood the mode of operation of the machine itself, and the reason for which the machine operates in this way. So, at first there is a reference of parts that may constitute a complete machine, and even outlined the operational mode of each component.

Subsequently the procedure that should be followed is described for the construction of a printed circuit board, using a CNC. To perform the entire process, there is a detailed description of each program because it is important to be properly used and parameterized, since all these programs cooperate directly with each other.

Lastly are presented the conclusions after the end of the construction and some improvements that can be made.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Υπάρχουν πολλά είδη μηχανημάτων CNC στην αγορά, ανάλογα με τα μηχανικά και ηλεκτρονικά τους μέρη, κάθε CNC έχει διαφορετικές ιδιότητες. Στη παρούσα πτυχιακή, ο σκοπός είναι η κατασκευή ενός τυπωμένου κυκλώματος και γι' αυτό το λόγο αναλύονται τα μέρη που μπορούν να αποτελέσουν ένα απλό μηχάνημα, ώστε να επιτευχθεί η κατασκευή ενός τυπωμένου κυκλώματος .

Συγκεκριμένα το πρώτο κεφάλαιο αναφέρει τα βασικά μηχανολογικά μέρη ενός CNC, τον τρόπο λειτουργίας τους και τις διαφορές τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των βηματικών κινητήρων, ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς και ο τρόπος οδήγησής τους.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρει τα είδη των σερβοκινητήρων, πως λειτουργούν και πως οδηγούνται.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα στοιχεία ενός ελεγκτή CNC, τα σήματα ελέγχου και το σύστημα λειτουργίας του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται το σχεδιαστικό πρόγραμμα Eagle Cad, δίνεται έμφαση στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα, καθώς και η διαδικασία σχεδίασης ενός κυκλώματος.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρει δυο διεπικοινωνιακά προγράμματα τα οποία είναι σημαντικά για την υλοποίηση ενός τυπωμένου κυκλώματος με χρήση CNC.

Το έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζει το πρόγραμμα με το οποίο γίνεται ο χειρισμός ενός CNC και δίνεται έμφαση μόνο στα σημαντικά του μέρη.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο υπάρχουν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία παρουσιάστηκαν μετά την υλοποίηση ενός τυπωμένου κυκλώματος με χρήση αυτοματοποιημένης φρέζας μέσω υπολογιστή.

Τα παραρτήματα εξηγούν με λίγα λόγια ορισμένους ελεγκτές που μπορεί να περιέχει ένα μηχάνημα CNC, και ακόμη παρέχει μερικούς πίνακες του G κώδικα στα αγγλικά, οι οποίοι διευκρινίζουν τον κάθε κώδικα – εντολή.

Η πτυχιακή εργασία απευθύνεται κυρίως σε μηχανικούς καθώς και σε φοιτητές αυτού του τομέα. Είναι απαραίτητη η γνώση αγγλικών, όπως και η εξοικείωση των ηλεκτρονικών και η χρήση των υπολογιστών.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
Κεφάλαιο 1: Μηχανολογικά μέρη του CNC	9
1.1 Φρέζα – Χαρακτήρες	9
1.2 Μέθοδοι συγκράτησης υλικού επεξεργασίας	10
1.3 Probing.....	12
1.4 Κονδύλια CNC	13
1.5 Οδηγοί ενός CNC μηχανήματος.....	15
1.6 Συστήματα μετάδοσης	17
Κεφάλαιο 2: Βηματικοί κινητήρες.....	20
2.1 Είδη βηματικών κινητήρων	20
2.2 Τύποι βηματικών κινητήρων	22
2.3 Οδήγηση ενός βηματικού κινητήρα.....	23
2.4 Θετικά και αρνητικά ενός βηματικού κινητήρα.....	25
Κεφάλαιο 3: Σερβοκινητήρες	26
3.1 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC)	26
3.2 Αρχή λειτουργίας σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος.....	27
3.3 Σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (AC).....	28
3.4 Αρχή λειτουργίας σερβοκινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος.....	29
Κεφάλαιο 4: Ελεγκτής (Controller).....	32
4.1 Στοιχεία ενός ελεγκτή CNC	32
4.2 Ρύθμιση των εξαρτημάτων του ελεγκτή	33
4.3 Σήματα ελέγχου	34
4.4 Σύστημα ανοιχτού και κλειστού βρόγχου	35
Κεφάλαιο 5: Eagle CAD.....	37
5.1 Σχηματικό μέρος (Schematic).....	37
5.2 Παράδειγμα σχεδίασης ηλεκτρονικού κυκλώματος στο σχηματικό μέρος.....	40
5.3 Τυπωμένο μέρος (Board).....	53
5.4 Παράδειγμα σχεδίασης ηλεκτρονικού κυκλώματος στο τυπωμένο μέρος	58
Κεφάλαιο 6: Διεπικοινωνιακά προγράμματα	61
6.1 PCB-Gcode	61
6.2 Παράδειγμα ορισμού παραμέτρων του PCB-Gcode	68

6.3 Autoleveller	72
Κεφάλαιο 7: Mach3.....	76
7.1 Ρυθμίσεις.....	76
7.2 Τρόπος λειτουργίας.....	81
Κεφάλαιο 8: Σχόλια για την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος.....	86
8.1 Σύγκριση με άλλες μεθόδους κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος.....	86
8.2 Περεταίρω βελτιώσεις	87
Παραρτήματα.....	89
Π1 Οδηγός VFD (Variable Frequency Drive).....	89
Π2 Ελεγκτής PID (Proportional–Integral–Derivative)	90
Π3 Ελεγκτής PLC (Programmable Logic Controller).....	91
Π4 G – Code	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

Κεφάλαιο 1: Μηχανολογικά μέρη του CNC

Το CNC είναι ένα πολύπλοκο μηχάνημα. Αποτελείται από πολλά μηχανολογικά μέρη τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά. Τα μηχανολογικά αυτά μέρη διαφέρουν από μηχάνημα σε μηχάνημα κάνοντας έτσι κάθε CNC διαφορετικό στα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά από τα μηχανολογικά μέρη ενός CNC καθώς και στα περιφερειακά του εργαλεία τα οποία χρειάζονται για να υλοποιηθεί ένα έργο με αυτό το μηχάνημα.

1.1 Φρέζα – Χαράκτης

Υπάρχουν φρέζες σε πολλά μεγέθη και σχήματα. Ανάλογα με το τι πρόκειται να παραχθεί, μια φρέζα έχει άμεση σχέση με τους κινητήρες (βηματικούς ή σέρβο), την ταχύτητα κλπ.

Ο όρος φρέζα αναφέρεται σε ένα είδος μηχανής που χρησιμοποιεί μια περιστροφική διαδικασία για την κοπή ή την χάραξη. Σχεδόν κάθε είδος φρέζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με υποδύναμη και στροφές να εξαρτώνται από το υλικό και τα εργαλεία με τα οποία πρόκειται να εργαστεί.

Υπάρχουν δυο είδη κοπτικών κεφαλών: Router Head και Spindle Head.

Οι Router Head είναι φθηνές κεφαλές με αρκετά μεγάλη ισχύ. Μπορούν να φτάσουν μέχρι και τις 30.000 στροφές καθώς επίσης ορισμένες έχουν τη δυνατότητα ελέγχου στροφών. Το μειονέκτημα τους είναι ότι παράγουν μεγάλο θόρυβο κατά την επεξεργασία ενός υλικού και δεν μπορούν να επεξεργαστούν σκληρά υλικά (πχ σίδηρο).



Εικόνα 1.1.1: Router Head κοπτική κεφαλή.

Οι Spindle Head ελέγχονται από έναν οδηγό VFD (Variable Frequency Drive) ο οποίος δίνει την δυνατότητα στον χειριστή να ανοιγοκλείνει τη φρέζα, να ελέγχει με μεγάλη ακρίβεια τις στροφές και την δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη κίνηση. Επίσης δεν παράγουν τόσο θόρυβο όσο οι Router Head και έχουν μικρότερη απόκλιση. Το υψηλό κόστος είναι ένα μειονέκτημα όπως και το ότι αυτές οι κεφαλές χρειάζονται μια προθέρμανση πριν ξεκινήσουν την διαδικασία κοπής ή χάραξης κάτι που οι Router Head δεν χρειάζονται.

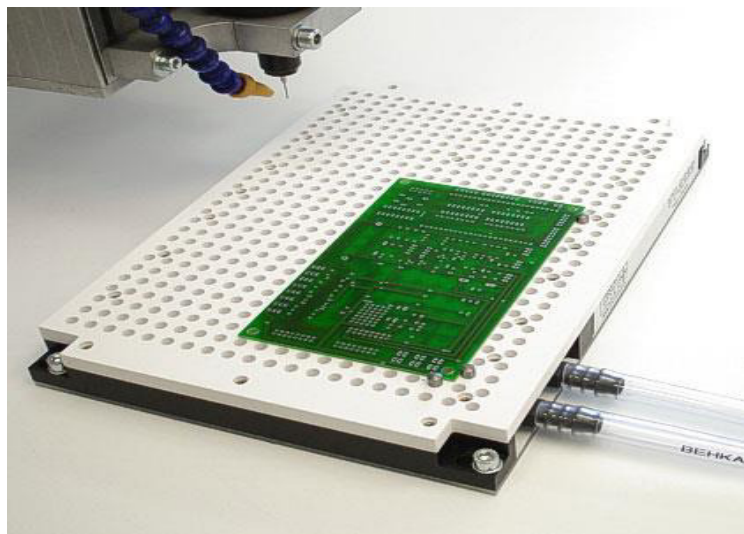


Εικόνα 1.1.2: Spindle Head κοπτική κεφαλή με οδηγό VFD.

1.2 Μέθοδοι συγκράτησης υλικού επεξεργασίας

Όταν εκτελείται περιστροφική κοπή, η περιστροφική κίνηση του κονδυλίου, ασκεί δυνάμεις στο υλικό που επεξεργάζεται. Για να αντισταθμιστούν αυτές οι δυνάμεις υπάρχουν διάφοροι τρόποι που κρατάνε το υλικό σταθερό στη θέση του. Μολονότι πολλές από τις παρακάτω μεθόδους συγκράτησης λειτουργούν, κάθε μέθοδος μπορεί να μην αποτελεί την καλύτερη λύση σε κάθε περίπτωση. Είναι ευθύνη του χειριστή να επιλέξει και να χρησιμοποιήσει μια τεχνική συγκράτησης που είναι κατάλληλη και ασφαλής για κάθε εργασία κοπής που εκτελείται. Προσπαθώντας να κρατήσετε το υλικό στη θέση του με τα χέρια σας κατά τη διάρκεια μιας λειτουργίας κοπής δεν είναι ποτέ μια επιλογή.

Συγκράτηση μέσω αναρρόφησης: Με αυτή τη μέθοδο το υλικό προς επεξεργασία συγκρατείται δημιουργώντας κενό ανάμεσα στο υλικό και το πάγκο εργασίας του CNC μηχανήματος. Αυτό το κενό επιτυγχάνεται μέσω ενός αναγεννητικού φυσητήρα (Regenerative Blower) ο οποίος απορροφά τον αέρα που υπάρχει ανάμεσα στο υλικό και τον πάγκο εργασίας του μηχανήματος δημιουργώντας έτσι ένα κενό ανάμεσά τους το οποίο δεν αφήνει το υλικό να μετακινείται κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του.



Εικόνα 1.2.1: Συγκράτηση μέσω αναρρόφησης.

T – Track πλέγμα: Για υλικά ακανόνιστου μεγέθους γίνεται χρήση του T – Track το οποίο είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και είναι ενσωματωμένο στην επιφάνεια του μηχανήματος. Διάφοροι τύποι σφικτήρων είναι άμεσα διαθέσιμοι για να χρησιμοποιηθούν και να διασφαλίσουν ότι όλα τα υλικά που θα δεθούν πάνω στην επιφάνεια εργασίας του CNC, θα είναι σταθερά.



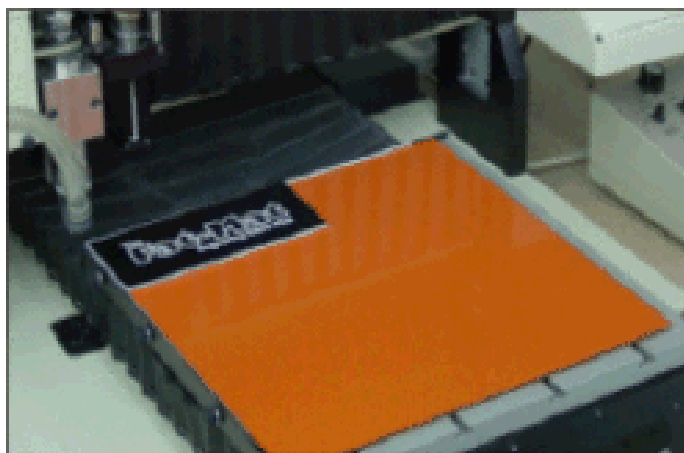
Εικόνα 1.2.2: Πλέγμα T-Track.

Ταινία διπλής όψης: Τοποθετώντας τη ταινία διπλής όψης ανάμεσα στο υλικό επεξεργασίας και την επιφάνεια εργασίας του CNC πετυχαίνεται η επιθυμητή συγκράτηση καθώς επίσης είναι μια οικονομική λύση για την συγκράτηση ενός υλικού.



Εικόνα 1.2.3: Ταινία διπλής όψης.

FatMat: Το FatMat είναι η εμπορική ονομασία του υλικού αυτού και είναι κατασκευασμένο από καουτσούκ. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για εργασίες χάραξης το οποίο συγκρατεί μικρά κομμάτια υλικών που πρόκειται να χαραχθούν.



Εικόνα 1.2.4: FatMat.

1.3 Probing

Οι συσκευές που ονομάζονται ανιχνευτές (Probes) χρησιμοποιούνται ως μια εφαρμογή του CNC. Το μηχάνημα καθοδηγείται να κάνει διαδοχικές διελεύσεις πάνω από μια καθορισμένη, από το χειριστή, περιοχή που θα σαρωθεί. Η διαδικασία σάρωσης μπορεί να είναι μηχανικά ή οπτικά.

Μηχανική μέθοδος ανίχνευσης: Στη μηχανική μέθοδο τοποθετείται ένα εξάρτημα στο τσοκ της φρέζας. Το εξάρτημα αυτό έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του υλικού σε διάφορα σημεία του κατά μήκος και πλάτος. Μόλις το εξάρτημα αγγίξει την επιφάνεια του υλικού σε ένα σημείο τότε ορίζει κάποιες συντεταγμένες (X,Y,Z) οι οποίες στο τέλος του “σκαναρίσματος” αποτυπώνουν στο σύνολό τους το πραγματικό βάθος ή ύψος που έχει η επιφάνεια του υλικού. Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά τη διαδικασία αυτή η φρέζα σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να λειτουργεί.



Εικόνα 1.3.1: Ανιχνευτής μηχανικής μεθόδου.

Οπτική μέθοδος ανίχνευσης: Υπάρχει ποικιλία μεγεθών στους οπτικούς ανιχνευτές στην αγορά. Μια κάμερα τοποθετημένη στο CNC κάνει μια λεπτομερή οπτική σάρωση, παίρνοντας πολλές εικόνες κατά τη μετακίνηση των αξόνων και μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση, το λογισμικό δίνει μια συνολική και λεπτομερή μωσαϊκή εικόνα.



Εικόνα 1.3.2: Ανιχνευτής οπτικής μεθόδου.

1.4 Κονδύλια CNC

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κονδυλίων που σχετίζονται με το υλικό που πρόκειται να επεξεργαστούν καθώς και το ίδιο το CNC μηχάνημα. Σε αυτό το μέρος γίνεται μια μικρή αναφορά στους βασικούς τύπους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε κάθε μηχάνημα και για αρκετά μεγάλη ποικιλία υλικών.

End Mill: Αυτός ο τύπος κονδυλίου είναι εύχρηστος για το φρεζάρισμα ενός υλικού. Εκτός από τη χάραξη τα κονδύλια αυτά χρησιμοποιούνται επίσης για να τρυπήσουν ή να κόψουν το υλικό. Υπάρχει ποικιλία αυτών των κονδυλίων ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να επεξεργαστούν (ξύλο, μέταλλο, πλαστικό κ.λπ.) .



Εικόνα 1.4.1: End Mill κονδύλια.

Ball Nose: Αυτού του είδους τα κονδύλια διαφέρουν γεωμετρικά από αυτά των End Mill. Η διαφορά τους είναι ότι στο τέλος του κονδυλίου το σχήμα τους είναι στρογγυλό. Χρησιμοποιούνται κυρίως για φρεζάρισμα, για διακοσμητικές ραβδώσεις και γενικού τύπου αισθητικού σχεδιασμού.



Εικόνα 1.4.2: Ball Nose κονδύλια.

Engraving: Συνήθως χρησιμοποιούνται από άτομα που χρησιμοποιούν το CNC μηχάνημα μόνο για να χαράξουν ένα υλικό αφού τα συγκεκριμένα κονδύλια μπορούν μόνο να φρεζάρουν. Υπάρχει ποικιλία στα κονδύλια αυτά τα οποία αποτυπώνουν διαφορετικά γεωμετρικά σχέδια κατά το φρεζάρισμα του υλικού.



Εικόνα 1.4.3: Engraving κονδύλια.

1.5 Οδηγοί ενός CNC μηχανήματος

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια αναφορά για τις μεθόδους που υπάρχουν στην κίνηση του κάθε άξονα ενός CNC μηχανήματος. Όλα τα παρακάτω συστήματα θεωρούνται γραμμικοί οδηγοί διότι δίνουν αυτόν τον τύπο κίνησης και ανεξάρτητα από τον τύπο συστήματός τους πρέπει να παρέχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ❖ Ευθύγραμμη (δηλαδή, εμπρός και πίσω) κίνηση κατά μήκος του άξονα που προορίζονται
- ❖ Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ελάχιστη τριβή
- ❖ Άκαμπτου προσανατολισμού, να ανέρχεται σε 90 μοίρες με τους άλλους άξονες
- ❖ Άκαμπτη βάση με ελάχιστο διάκενο μεταξύ του συστήματος μετάδοσης και τον οδηγό

Round Rail: Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μια κυλινδρική ράγα ή ράβδο που παρέχει τον γραμμικό οδηγό για ένα ή περισσότερα μπλοκ εδράνου ώστε να διασχίζει όλο το μήκος της. Υπάρχουν δυο ειδών αυτού του οδηγού: End Mounting και Continuous Support.

- **End Mounting:** Στους οδηγούς τερματικής συγκράτησης, μόνο τα άκρα της ράβδου υποστηρίζονται αφήνοντας όλο το μεσαίο τμήμα του άξονα ανυποστηρίκτο. Αυτά τα συστήματα έχουν αρκετά χαμηλό κόστος και χρησιμοποιούνται κυρίως για αποστάσεις μικρής σύνδεσης. Συνήθως αυτού του τύπου οι οδηγοί βρίσκονται ανά ζεύγη, έτσι ώστε οι ροπές που δέχονται κατά τη λειτουργία του μηχανήματος να είναι μεγαλύτερες.



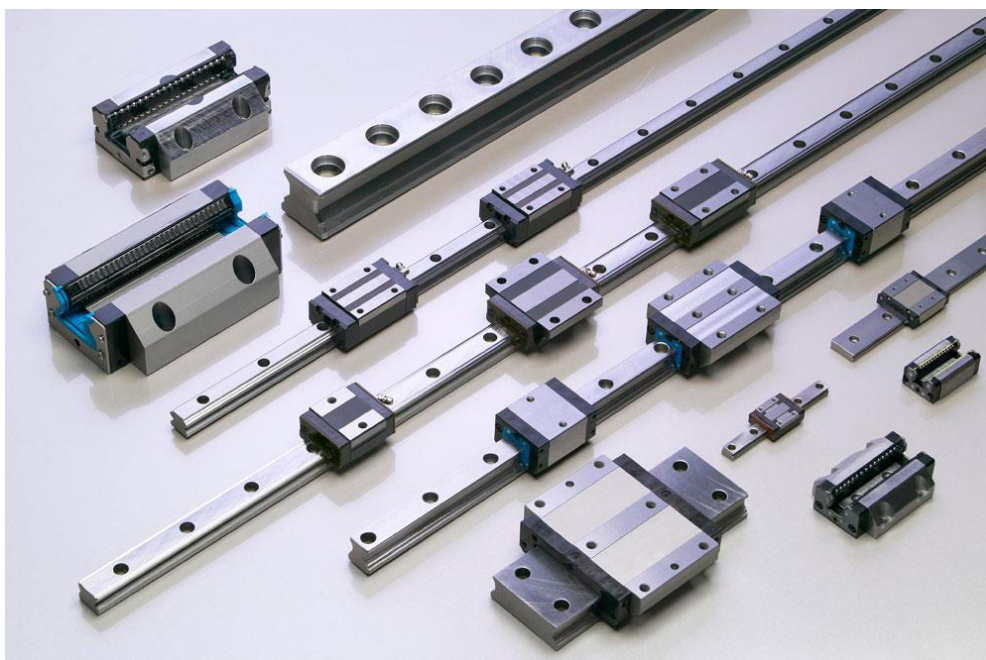
Εικόνα 1.5.1: End Mounting οδηγί.

- **Continuous Support:** Σε αυτούς τους οδηγούς η κυλινδρική ράγα είναι εξ' ολοκλήρου στερεωμένη σε ένα σκελετό. Με αυτό τον τρόπο έχει τη δυνατότητα να αντέχει περισσότερες ροπές απ' ότι οι End Mounting οδηγί .



Εικόνα 1.5.2: Continuous Support οδηγί.

Profile Rail: Έχουν πάρει την ονομασία τους από την γεωμετρική κατασκευή τους. Η ράγα τους έχει χαραγμένα μονοπάτια ώστε να δεχθεί τις χαλύβδινες σφαίρες τους. Θεωρούνται οι καλύτεροι οδηγί διότι αντέχουν αρκετά μεγάλες ροπές και το σύστημα οδήγησής τους είναι το πιο ακριβές. Τα μειονεκτήματα που έχουν είναι το υψηλό κόστος τους, καθώς και ο μεγάλος βαθμός δυσκολίας της εγκατάστασής τους.



Εικόνα 1.5.3: Profile Rail οδηγοί.

V-Style: Αυτοί οι οδηγοί είναι απλοί στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση, και επίσης απαιτούν μικρό αριθμό συντηρήσεων, με μεγάλη διάρκεια ζωής. Αποτελούνται από χαλύβδινους τροχούς με ένα διαμορφωμένο “V” περιμετρικά. Οι άξονες κινούνται ανάμεσα από τους τροχούς, με το αντίστοιχο ανάστροφο σχήμα. Αυτό το σύστημα τους δίνει την ιδιότητα να έχουν υψηλό φορτίο περιστροφικής κίνησης.

Hybrid Roller: Ο υβριδικός κυλιόμενος οδηγός, συνδυάζει τον V-style με τον Profile Rail, με αποτέλεσμα να έχει λιγότερες μηχανικές ανοχές.

1.6 Συστήματα μετάδοσης

Η λειτουργία του συστήματος μετάδοσης είναι να μεταφράσει την περιστροφική δύναμη του κινητήρα σε γραμμική κίνηση. Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά σε τρεις τύπους συστήματος μετάδοσης οι οποίοι είναι οι πιο βασικοί και κοινοί στο χώρο του CNC.

ACME ή Lead Screw: Αυτοί οι κοχλιοφόροι οδηγοί χρησιμοποιούν ισχυρά σπειρώματα με τραπεζοειδή δόντια τα οποία συνήθως είναι καλυμμένα σε ένα μεταλλικό άξονα.

Καθώς γυρίζει ο άξονας, το σπείρωμα ασκεί μια γραμμική δύναμη στο παξιμάδι.

Η αποδοτικότητα καθορίζεται από το υλικό του παξιμαδιού, τον άξονα και τη λίπανση. Το επίπεδο αποδοτικότητας μπορεί να αποτρέψει τα φορτία ή τις εξωτερικές δυνάμεις να ασκήσουν αντίρροπες δυνάμεις πίσω στον κοχλιοφόρο άξονα. Υπάρχουν όμως οι απώλειες τους συστήματος αυτού που καθιστούν απαραίτητο ένα κινητήρα μεγαλύτερης ροπής σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα.

Τα κοινά παξιμάδια περιλαμβάνουν αυτολιπαινόμενα πλαστικά, πολυμερή και μέταλλα όπως ορείχαλκο ή μπρούντζο. Μη μεταλλικά παξιμάδια έχουν γενικά υψηλότερες αποδόσεις λόγω των χαμηλότερων συντελεστών τριβής και συχνά δεν απαιτούν λίπανση. Μεταλλικά παξιμάδια όπως χάλκινα μπορεί να χειριστούν μεγαλύτερα φορτία, αλλά μπορεί να απαιτούν λίπανση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση.



Εικόνα 1.6.1: Σύστημα μετάδοσης ACME.

Ball Screw: Οι συγκεκριμένοι κοχλίες χρησιμοποιούν κυκλικό σπείρωμα. Το παξιμάδι έχει ακριβώς το ίδιο σπείρωμα, έτσι ώστε οι έδρες των ρουλεμάν να ταιριάζουν μεταξύ των δυο αυλακώσεων για να μπορέσει να μεταδώσει τη γραμμική δύναμη και τη σχετική κίνηση. Με αυτό τον τρόπο η αποδοτικότητα αυξάνεται έως και 95%.

Η κίνηση του ρουλεμάν γίνεται μέσω ενός ή περισσότερων στρωφών στο παξιμάδι όσο ο κοχλίας ή το παξιμάδι περιστρέφονται και το ένα ή το άλλο κινείται. Τα παξιμάδια διαφέρουν ως προς τον αριθμό των στρωφών του ρουλεμάν και στο πως ελέγχουν τη κίνηση της ατράκτου. Το βήμα του ρουλεμάν καθορίζει την μέγιστη γραμμική ταχύτητα. Εναλλακτικά σχέδια, όπως εσωτερικές διαδρομές ή τελικές επιστροφές, προσφέρουν τεράστια πλεονεκτήματα, όπως υψηλότερες ταχύτητες και λιγότερο θόρυβο.



Εικόνα 1.6.2: Ball Screw.

Roller Screw: Τα σπειρώματα των κυλιόμενων συστημάτων μετάδοσης (roller screws) είναι τριγωνικά και μεταδίδουν τη δύναμη μέσω ενός παξιμαδιού το οποίο έχει μικρούς ταιριαστούς κυλιόμενους σπειρωτούς άξονες (threaded rollers). Οι μικροί άξονες περιστρέφονται όσο βρίσκονται σε επαφή με το σπείρωμα του κεντρικού άξονα. Τα παξιμάδια τους έχουν αρκετά καλή επιφανειακή επαφή με τον κοχλία, επιτρέποντάς τους να μεταδώσουν μεγάλες δυνάμεις, ενώ συνολικά δίνει μια μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με αυτά των Ball screw ίδιας διαμέτρου.

Η κίνηση των Ball Screw και Roller Screw είναι κυλιόμενη σε σχέση με αυτή των Acme όπου είναι συρόμενη. Αυτό καθιστά τους κοχλίες αυτούς πιο αποτελεσματικούς.



Εικόνα 1.6.3: Roller Screw.

Κεφάλαιο 2: Βηματικοί κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες είναι μέρος μιας κατηγορίας κινητήρων γνωστή ως κινητήρες χωρίς βούρτσες (brushless). Αυτοί οι κινητήρες έχουν έναν άξονα ο οποίος δεν έρχεται σε φυσική επαφή με κάτι για να το περιστρέψει. Αντίθετα λειτουργούν με χρήση ηλεκτρομαγνητών τα οποία βρίσκονται ομόκεντρα γύρω από τον άξονα.

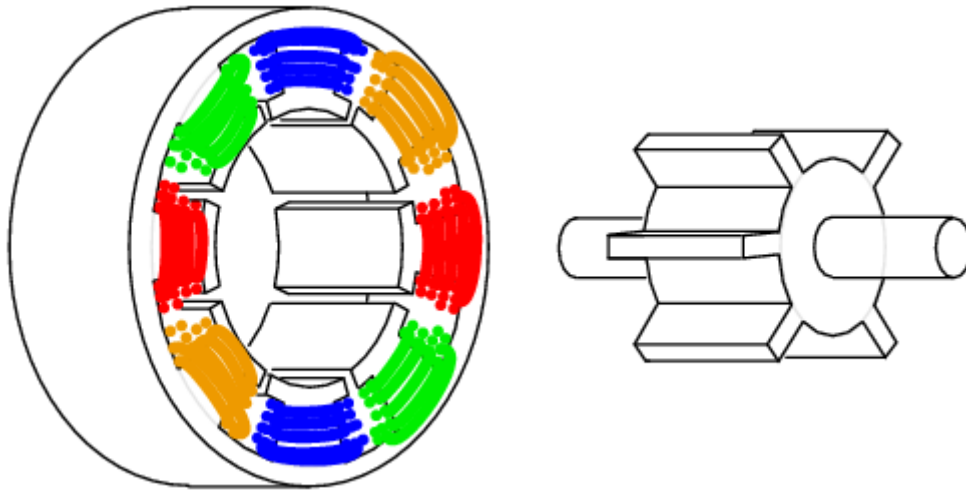
Η αρχή λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητών είναι όταν μια τάση οποιουδήποτε είδους εφαρμοστεί σε ένα πηνίο που περιβάλλει ένα κομμάτι "μαλακού" μετάλλου, έχει ως αποτέλεσμα να μαγνητίσει το μέταλλο αυτό έως ότου διακοπεί η ένταση που διαρρέεται στο τύλιγμα.

Ο κεντρικός άξονας περιστρέφεται όσο τα πηνία που περιβάλλουν τους ηλεκτρομαγνήτες τίθενται σε διάφορες καταστάσεις τάσεων. Αυτές οι τάσεις δημιουργούν μια μαγνητική πολικότητα μεταξύ του άξονα και του ηλεκτρομαγνήτη, προκαλώντας τα "δόντια" του άξονα να ευθυγραμμιστούν με τα "δόντια" του ηλεκτρομαγνήτη. Έτσι ο κινητήρας μπορεί να επηρεάσει τη περιστροφή, κάνοντας τους ηλεκτρομαγνήτες να αλλάζουν κατάλληλα την πολικότητα με ένα διαδοχικό τρόπο.

2.1 Είδη βηματικών κινητήρων

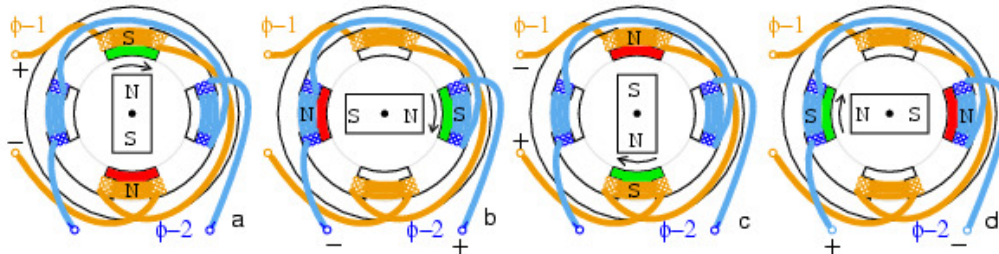
Υπάρχουν τρία βασικά είδη βηματικών κινητήρων:

- ➔ **Κινητήρες μεταβλητής αυτεπαγωγής:** Χρησιμοποιούν μόνο το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο για να περιστρέψουν και να ευθυγραμμίσουν τον κεντρικό άξονα με τον διεγερμένο ηλεκτρομαγνήτη.



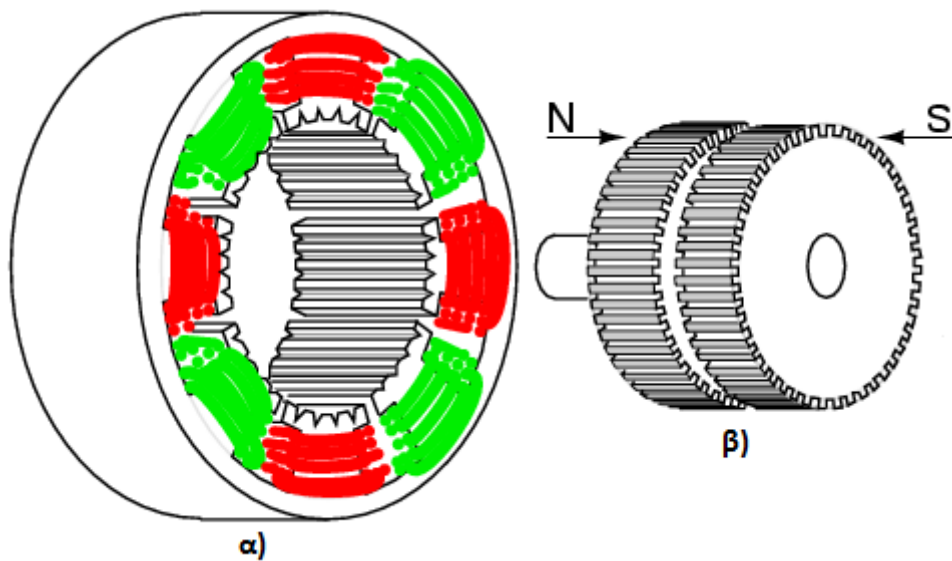
Εικόνα 2.1.1: Κινητήρας μεταβλητής αυτεπαγωγής.

- **Κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες:** Είναι παρόμοιοι με τους κινητήρες μεταβλητής αυτεπαγωγής με τη διαφορά ότι ο κεντρικός άξονας είναι πολωμένος (βόρειο και νότιο πόλο) και θα περιστραφεί ανάλογα με τον ηλεκτρομαγνήτη που έχει ενεργοποιηθεί. Η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους δυο κινητήρες είναι ότι ο κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες δεν έχει “δόντια” στον κεντρικό άξονα παρά μόνο τους πόλους.



Εικόνα 2.1.2: Κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες.

- **Υβριδικούς κινητήρες:** Αυτός ο τύπος κινητήρα είναι ο συνδυασμός των δυο παραπάνω. Ο κεντρικός μαγνητισμένος άξονας του έχει δυο σειρές “δοντιών” (μια σειρά για κάθε πόλο), οι οποίες ευθυγραμμίζονται κατά μήκος με τα δόντια των ηλεκτρομαγνητών. Λόγω του διπλού συνόλου των “δοντιών” πάνω στον κεντρικό άξονα, έχει ικανοποιητικά μικρό βηματικό μέγεθος και γι’ αυτό το λόγο είναι από τα πιο δημοφιλή είδη βηματικών κινητήρων.



Εικόνα 2.1.3: Υβριδικός κινητήρας όπου
α) Ηλεκτρομαγνήτες με σειρά “δοντιών” και
β) Κεντρικός μαγνητισμένος άξονας με δυο σειρές “δοντιών”.

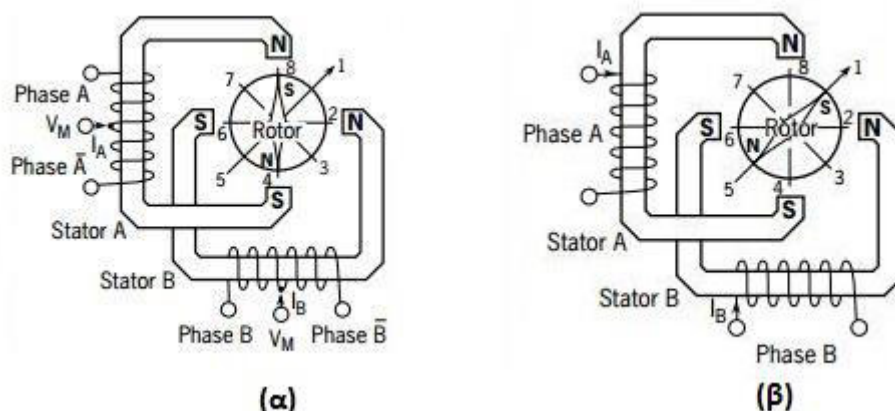
2.2 Τύποι βηματικών κινητήρων

Υπάρχουν δυο τύποι βηματικών κινητήρων: μονοπολικό και διπολικό. Σε ένα βασικό επίπεδο και οι δυο αυτοί τύποι λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή οι ηλεκτρομαγνήτες ενεργοποιούνται με διαδοχικό τρόπο, προκαλώντας τον κεντρικό άξονα του κινητήρα να περιστρέφεται.

Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων είναι τα επίπεδα τάσης. Ένας μονοπολικός βηματικός κινητήρας λειτουργεί μόνο με θετική τάση, δηλαδή οι υψηλές και χαμηλές τάσεις που εφαρμόζονται στα ηλεκτρομαγνητικά πηνία, είναι για παράδειγμα 0V και +5V. Ένας διπολικός βηματικός κινητήρας έχει δύο πολικότητες, θετική και αρνητική, δηλαδή οι υψηλές και χαμηλές τάσεις μπορούν να έχουν τιμές όπως -2.5V και +2.5V.

Η φυσική διαφορά μεταξύ των δυο τύπων είναι ότι στους μονοπολικούς υπάρχει ένας επιπλέον αγωγός στη μέση του κάθε πηνίου για να επιτρέψει τη ροή ρεύματος είτε στο ένα άκρο του πηνίου είτε στο άλλο. Αυτές οι δύο αντίθετες κατευθύνσεις παράγουν τις δύο πολικότητες του μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα να μιμούνται τις θετικές και αρνητικές τιμές τάσεων του διπολικού βηματικού κινητήρα.

Παρά το γεγονός ότι και οι δύο τύποι έχουν μια συνολική περιοχή τάσης των 5V, η διπολικός βηματικός κινητήρας έχουν στην πραγματικότητα περισσότερη ροπή επειδή το ρεύμα ρέει σε όλο το πηνίο, παράγοντας έτσι ένα ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο προκαλώντας τον άξονα να περιστρέφεται στην κατάλληλη γωνία. Από την άλλη πλευρά, οι μονοπολικό βηματικό κινητήρες χρησιμοποιούν μόνο το μισό του μήκους του πηνίου, λόγω του επιπλέον αγωγού που υπάρχει στη μέση του πηνίου, έτσι λιγότερη ροπή είναι διαθέσιμη για να κρατήσει μαγνητικά τον άξονα στη θέση του.

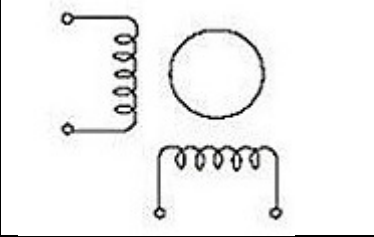
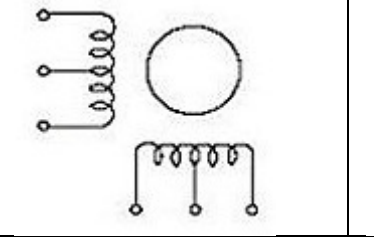
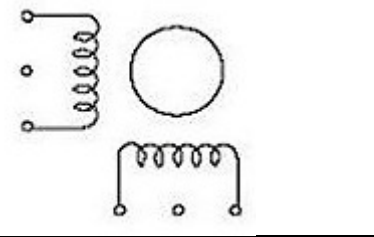
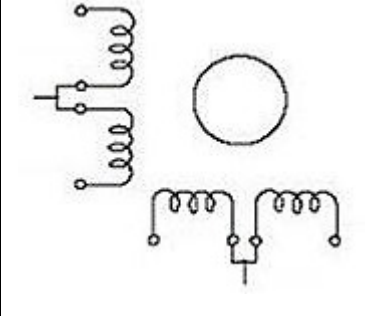
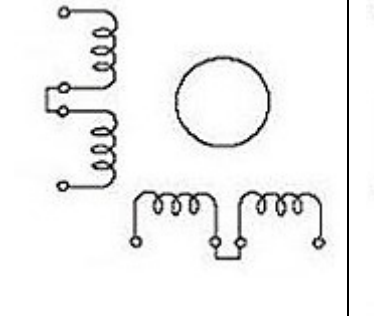
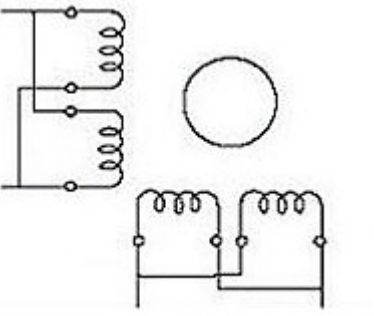


Εικόνα 2.2.1: Μονοπολικός (α) και διπολικός (β), βηματικός τύπος κινητήρα.

Οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να έχουν διαφορετικές ποσότητες αγωγών, συγκεκριμένα 4, 5, 6 ή 8. Μια διάταξη τεσσάρων αγωγών είναι σε θέση να υποστηρίξει μόνο διπολικού τύπου βηματικών κινητήρων, διότι δεν υπάρχει διαθέσιμος αγωγός στο κέντρο του πηνίου.

Οι διατάξεις των 5 και 6 αγωγών χρησιμοποιούνται τόσο στους μονοπολικούς όσο και στους διπολικούς τύπους βηματικών κινητήρων, ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται ή όχι ο κεντρικός αγωγός. Στη διάταξη των πέντε αγωγών ο κεντρικός αγωγός και στις δύο σειρές των πηνίων είναι εσωτερικά συνδεδεμένος μεταξύ τους.

Η διάταξη με οκτώ αγωγούς, αν και δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά, είναι από τις πιο ευέλικτες διατάξεις διότι μπορεί να εκτελέσει σε ένα μονοπολικό τύπο τη διάταξη των 5 ή 6 αγωγών και στον διπολικό τύπο χρησιμοποιείται με παράλληλης ή σειράς, διάταξη.

Τεσσάρων αγωγών διπολική ένωση	Έξι αγωγών μονοπολική ένωση	Έξι αγωγών διπολική ένωση (σε σειρά)
		
Οκτώ αγωγών μονοπολική ένωση	Οκτώ αγωγών διπολική ένωση (σε σειρά)	Οκτώ αγωγών διπολική ένωση (παράλληλα)
		

Πίνακας 2.2.1: Διατάξεις αγωγών ενός βηματικού κινητήρα.

2.3 Οδήγηση ενός βηματικού κινητήρα

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να οδηγηθούν. Συνήθως αυτοί οι τρόποι είναι το πλήρες βήμα (full step), το μισό βήμα (half step) και ο μικρός βηματισμός (microstepping). Ο κάθε τρόπος οδήγησης προσφέρει διαφορετικό ποσό ροπής και βηματικό μέγεθος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας βηματικός κινητήρας.

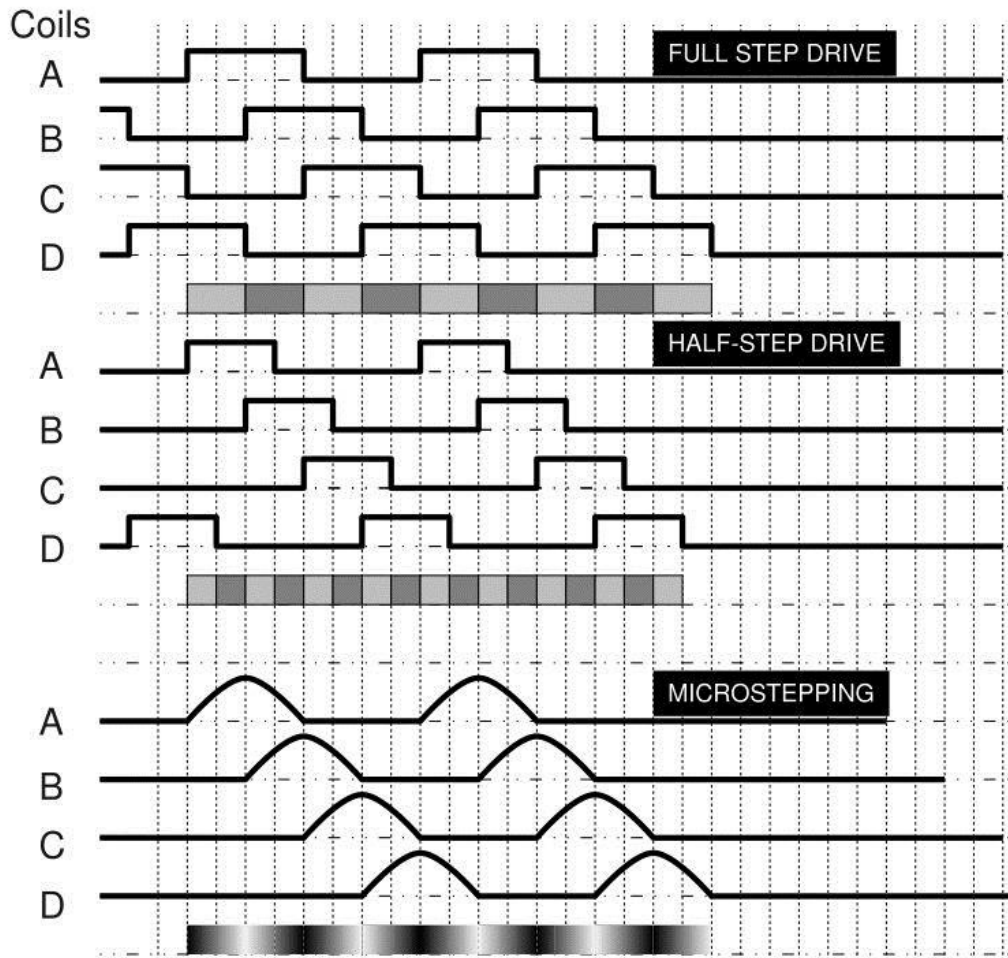
Μια full step οδήγηση έχει πάντα δυο ηλεκτρομαγνήτες ενεργοποιημένους. Για την περιστροφή του κεντρικού άξονα, ένας από τους ηλεκτρομαγνήτες βρίσκεται σε απενεργοποιημένη θέση και ο επόμενος ηλεκτρομαγνήτης βρίσκεται σε ενεργοποιημένη θέση, προκαλώντας την περιστροφή του άξονα σε ένα τέταρτο του ενός δοντιού. Έχοντας συνέχεια δυο ηλεκτρομαγνήτες ενεργοποιημένους αποδίδει την μεγαλύτερη ροπή σε σχέση με τους υπόλοιπους τρόπους, όμως έχει το μεγαλύτερο μέγεθος βήματος.

Μια μισού βήματος οδήγηση εναλλάσσεται μεταξύ δύο ηλεκτρομαγνητών όπου κάθε φορά ένας μόνο είναι ενεργοποιημένος. Για την περιστροφή του κεντρικού άξονα, ο πρώτος ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιείται για το πρώτο βήμα. Στη συνέχεια ο δεύτερος ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιείται ενώ ο πρώτος συνεχίζει να τροφοδοτείται για το δεύτερο βήμα. Το τρίτο βήμα σβήνει τον πρώτο ηλεκτρομαγνήτη και το τέταρτο βήμα ανάβει τον τρίτο ηλεκτρομαγνήτη, και καθ' όλη αυτήν την διάρκεια ο δεύτερος ηλεκτρομαγνήτης είναι ενεργοποιημένος. Αυτό το μοτίβο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3.1, χρησιμοποιεί τα διπλάσια βήματα από αυτό του Full Step, επιτρέποντας το μισό του μεγέθους βήματος, όμως παρέχει μικρότερη συνολική ροπή διότι δεν υπάρχουν πάντα δυο ηλεκτρομαγνήτες να συγκρατούν το κεντρικό άξονα στη θέση του.

Ο μικρός βηματισμός έχει το μικρότερο δυνατό βηματικό μέγεθος σε σχέση με τους παραπάνω τρόπους. Ένας από τους πιο κοινούς τρόπους για να εκτελεστεί ο microstepping είναι να γίνει "ημίτονο / συνημίτονο μικρός βηματισμός (sine / cosine microstepping)". Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα που ρέει μέσα από κάθε πηνίο υπολογίζεται έτσι ώστε να δημιουργείται ένα κύμα ημιτόνου ή συνημίτονου. Η "επικάλυψη" των σημάτων των ημιτόνων μεταξύ δύο πηνίων οδηγεί σε ένα μεγάλο αριθμό από επιμέρους βήματα ("υπό - βήματα"). Ο πραγματικός αριθμός των επιμέρους βημάτων εξαρτάται από το πόσες

διακριτές αλλαγές στην ένταση μπορούν να παραχθούν στα πηνία, όμως ο microstepping εξακολουθεί να έχει τα μικρότερα βηματικά μεγέθη και ως εκ τούτου έχει την πιο λεπτομερή κίνηση από όλους τους τρόπους οδήγησης.

Η ροπή που σχετίζεται με αυτό το τύπο εξαρτάται από το πόσο ρεύμα ρέει μέσω των πηνίων σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά είναι πάντα λιγότερο από τον full step.



Εικόνα 2.3.1: Τρόποι οδήγησης.

2.4 Θετικά και αρνητικά ενός βηματικού κινητήρα

Τα θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά του βηματικού κινητήρα παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

Θετικά:

- Χαμηλό κόστος ελέγχου
- Υψηλή ροπή κατά την εκκίνηση και χαμηλές ταχύτητες
- Ταχύτητα
- Απλότητα κατασκευής
- Μπορεί να λειτουργήσει σε ένα σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου
- Χαμηλή συντήρηση
- Μικρότερη πιθανότητα καθυστέρησης ή ολίσθησης
- Λειτουργεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ρομποτική σε ευρεία κλίμακα
- Υψηλή αξιοπιστία
- Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι ανάλογη με τον παλμό εισόδου
- Ο κινητήρας έχει την πλήρη ροπή σε ακινησία (εάν οι περιελίξεις ενεργοποιούνται)
- Ακριβή τοποθέτηση και επαναληψιμότητα της κίνησης αφού οι καλοί βηματικοί κινητήρες έχουν ακρίβεια 3 έως 5% του βήματος και αυτό το σφάλμα δεν συσσωρεύεται από το ένα βήμα στο άλλο
- Εξαιρετική ανταπόκριση στην έναρξη / διακοπή / όπισθεν
- Πολύ αξιόπιστο δεδομένου ότι δεν υπάρχουν βούρτσες στον κινητήρα. Ως εκ τούτου, η διάρκεια ζωής του κινητήρα εξαρτάται απλά από την ζωή του ρουλεμάν
- Η ανταπόκριση στους ψηφιακούς παλμούς εισόδου παρέχει έλεγχο ανοικτού βρόχου καθιστώντας τον κινητήρα απλούστερο και λιγότερο δαπανηρό για έλεγχο
- Είναι εφικτό να επιτευχθεί μια πολύ χαμηλής ταχύτητας σύγχρονη περιστροφή με ένα φορτίο που συνδέεται απευθείας με τον άξονα
- Ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων περιστροφής μπορεί να υλοποιηθεί αφού η ταχύτητα είναι ανάλογη προς τη συχνότητα των παλμών εισόδου

Αρνητικά:

- Απαιτεί ένα ειδικό κύκλωμα ελέγχου
- Χρειάζονται περισσότερο ρεύμα από κινητήρες συνεχούς ρεύματος
- Η ροπή μειώνεται σε υψηλότερες ταχύτητες
- Μηχανικές δονήσεις λαμβάνουν χώρα όταν τα σήματα ελέγχου δεν είναι κατάλληλα
- Δεν είναι εύκολο να χειριστούν τις εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες

Κεφάλαιο 3: Σερβοκινητήρες

Ο σερβοκινητήρας είναι ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα μετάδοσης μεταβλητής ταχύτητας στη βιομηχανική παραγωγή, για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών ελέγχου σε όλο τον κόσμο.

Ένας σερβοκινητήρας παρέχει γρήγορο και ακριβή έλεγχο θέσης για εφαρμογές ελέγχου θέσης κλειστού βρόχου. Σε αντίθεση με τους μεγάλους βιομηχανικούς κινητήρες, ένας σερβοκινητήρας δεν χρησιμοποιείται για τη συνεχή μετατροπή ενέργειας.

Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούν ανάδραση θέσης (feedback) ώστε να ελέγχουν την ταχύτητα και την τελική θέση του κινητήρα. Εσωτερικά, ένας σερβοκινητήρας συνδυάζει έναν κινητήρα, ένα κύκλωμα ανάδρασης, τον ελεγκτή και άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Χρησιμοποιεί κωδικοποιητή ή αισθητήρα ταχύτητας για να παρέχει ανάδραση ταχύτητας και θέσης. Το σήμα ανάδρασης συγκρίνεται με την εντολή θέσης εισόδου (επιθυμητή θέση του κινητήρα που αντιστοιχεί σε ένα φορτίο), και παράγει το σήμα σφάλματος (εάν υπάρχει μια διαφορά μεταξύ τους).

Το σήμα σφάλματος, το οποίο είναι διαθέσιμο στην έξοδο του ανιχνευτή σφάλματος δεν είναι αρκετό για να οδηγήσει τον κινητήρα. Έτσι ο ανιχνευτής σφάλματος, που ακολουθείται από ένα σερβοενισχυτή αυξάνει το επίπεδο της τάσης και της ισχύος του εσφαλμένου σήματος και στη συνέχεια, στρέφει τον άξονα του κινητήρα στην επιθυμητή θέση.

3.1 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC)

Ο σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος αποτελείται από ένα μικρό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ποτενσιόμετρο ανάδρασης, κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρονικό κύκλωμα για την κίνηση του μοτέρ και ηλεκτρονικό βρόχο ελέγχου ανάδρασης. Είναι περίπου παρόμοιος με το κανονικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Ο στάτορας του κινητήρα αποτελείται από ένα κυλινδρικό πλαίσιο και ο μαγνήτης είναι συνδεδεμένος στο εσωτερικό του πλαισίου.

Ο δρομέας αποτελείται από βούρτσες και έναν άξονα. Ένας μετατροπέας ηλεκτρικού ρεύματος (commutator) και ένα πλαίσιο στήριξης μεταλλικού δρομέα είναι προσαρτημένο στο εξωτερικό του άξονα και ο σπλισμός περιέλιξης, περιελίσσεται στο μεταλλικό πλαίσιο του δρομέα. Η βούρτσα είναι σπλισμένη με ένα πηνίο το οποίο τροφοδοτεί το ρεύμα στο συλλέκτη. Στο πίσω μέρος της ατράκτου, ένας ανιχνευτής είναι ενσωματωμένος στο δρομέα, προκειμένου να ανιχνεύει την ταχύτητα περιστροφής.

Με την κατασκευή αυτή, είναι εύκολο να σχεδιαστεί ένας ελεγκτής με τη χρήση απλών κυκλωμάτων, αφού η ροπή είναι ανάλογη με την ποσότητα του ρεύματος ροής μέσω του σπλισμού.

Επίσης η στιγμιαία πολικότητα της τάσης καθορίζει την κατεύθυνση της ροπής που αναπτύσσεται από τον κινητήρα. Οι τύποι των σερβοκινητήρων DC περιλαμβάνουν σειριακούς κινητήρες (series motors), κινητήρες παραδιακλάδωσης ελέγχου (shunt control motors), split series motors, και κινητήρες μόνιμου μαγνήτη παραδιακλάδωσης (permanent magnet shunt motors).



Εικόνα 3.1.1: DC σερβοκινητήρας.

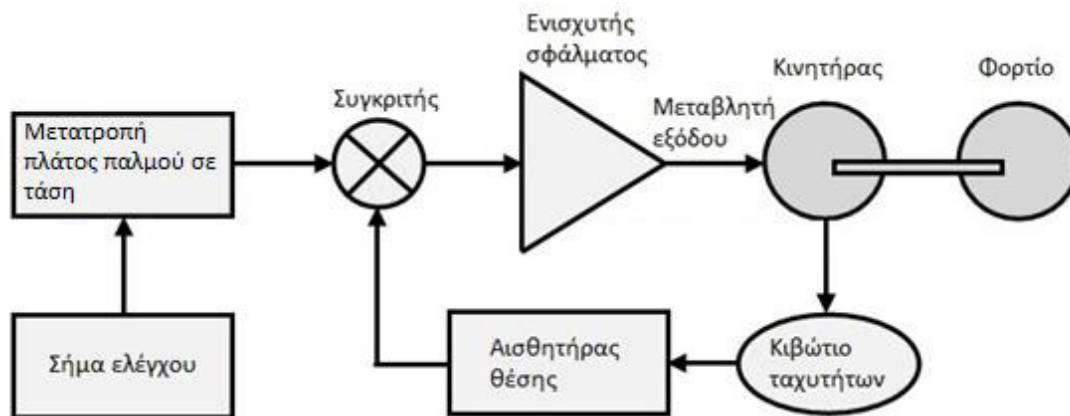
3.2 Αρχή λειτουργίας σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος

Ένας σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος αποτελείται από μια διάταξη τεσσάρων κύριων εξαρτημάτων, δηλαδή ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, μία συσκευή ανιχνεύσεως θέσεως, ένα συγκρότημα οδοντωτών τροχών, και ένα κύκλωμα ελέγχου.

Μια DC τάση ελέγχου αναφοράς ρυθμίζεται στην τιμή που αντιστοιχεί στην επιθυμητή έξοδο θέσης. Αυτή η τάση μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας ή ένα άλλο ποτενσιόμετρο, ή με έλεγχο πλάτους παλμού στον μετατροπέα τάσης, ή μέσω χρονιστών ανάλογα με το κύκλωμα ελέγχου. Ο δρομέας στο ποτενσιόμετρο παράγει μια αντίστοιχη τάση που εφαρμόζεται στη συνέχεια ως μία από τις εισόδους του ενισχυτή σημάτων σφάλματος.

Σε ορισμένα κυκλώματα, ένας παλμός ελέγχου χρησιμοποιείται για να παράγει μια DC τάση αναφοράς που αντιστοιχεί στην επιθυμητή θέση ή την ταχύτητα του κινητήρα και εφαρμόζεται σε ένα πλάτος παλμού στο μετατροπέα τάσης. Σε αυτό το μετατροπέα, ο πυκνωτής αρχίζει να φορτίζει με ένα σταθερό ρυθμό όταν ο παλμός είναι υψηλός. Στη συνέχεια το φορτίο του πυκνωτή τροφοδοτείται στον ενισχυτή όταν ο παλμός είναι χαμηλός και αυτό το φορτίο, στη συνέχεια, εφαρμόζεται στον ενισχυτή σφάλματος. Έτσι, το μήκος του παλμού καθορίζει την τάση που εφαρμόζεται στον ενισχυτή σφάλματος ως η επιθυμητή τάση η οποία παράγει την επιθυμητή ταχύτητα ή θέση.

Στο ψηφιακό έλεγχο, χρησιμοποιούνται μικροεπεξεργαστές ή μικροελεγκτές για την παραγωγή των παλμών PWM από την άποψη των duty cycles για να παράγουν πιο ακριβή σήματα ελέγχου.



Σχήμα 3.2.1: Διάγραμμα λειτουργίας DC σερβοκινητήρα.

Το σήμα ανάδρασης που αντιστοιχεί στην παρούσα θέση του φορτίου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αισθητήρα θέσης. Αυτός ο αισθητήρας είναι συνήθως ένα ποτενσιόμετρο το οποίο παράγει την τάση που αντιστοιχεί στην απόλυτη γωνία του άξονα του κινητήρα μέσω του μηχανισμού μετάδοσης. Στη συνέχεια, η τιμή της τάσης ανατροφοδότησης εφαρμόζεται στην είσοδο του ενισχυτή σφάλματος (σύγκρισης). Ο ενισχυτής σφάλματος είναι ένας αρνητικός ενισχυτής ανάδρασης και μειώνει τη διαφορά μεταξύ των εισόδων του. Συγκρίνει την τάση σχετιζόμενη με την τρέχουσα θέση του κινητήρα (που λαμβάνεται με ποτενσιόμετρο) με την επιθυμητή τάση που σχετίζεται με την επιθυμητή θέση του κινητήρα (που λαμβάνεται με εύρος παλμού στο μετατροπέα τάσης), και παράγει το σφάλμα το οποίο έχει είτε θετική είτε αρνητική τάση. Αυτή η τάση σφάλματος εφαρμόζεται στον οπλισμό του κινητήρα. Όσο πιο μεγάλο είναι το λάθος τόσο πιο μεγάλη είναι η εφαρμοζόμενη τάση στον οπλισμό του κινητήρα. Εφόσον υπάρχει σφάλμα, ο ενισχυτής ενισχύει την τάση σφάλματος και αντίστοιχα τροφοδοτεί τον οπλισμό. Ο κινητήρας περιστρέφεται μέχρι το σφάλμα να μηδενιστεί. Εάν το σφάλμα είναι αρνητικό, η τάση οπλισμού αντιστρέφεται και ως εκ τούτου ο οπλισμός περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

3.3 Σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (AC)

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος είναι επαγωγικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές χαμηλής ισχύος. Σήμερα οι τριφασικοί επαγωγικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα έχουν τροποποιηθεί έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα σέρβο υψηλής ισχύος.

Με βάση την κατασκευή υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι σερβοκινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος, σύγχρονου τύπου σερβοκινητήρας και ο επαγωγικού τύπου σερβοκινητήρας.

Οι σύγχρονοι σερβοκινητήρες αποτελούνται από στάτορα και ρότορα. Ο στάτορας αποτελείται από ένα κυλινδρικό πλαίσιο και τον πυρήνα του στάτορα. Το πηνίο οπλισμού τυλίγεται γύρω από τον πυρήνα του στάτορα και το άκρο του πηνίου είναι συνδεδεμένο με ένα αγωγίμο σύρμα, μέσω του οποίου παρέχεται ρεύμα στον κινητήρα.

Ο ρότορας αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη και ως εκ τούτου δεν βασίζεται σε εναλλασσομένου ρεύματος επαγωγικού τύπου δρομείς, που έχουν επαγόμενο ρεύμα σε αυτό. Ακόμη, αυτού του τύπου οι σερβοκινητήρες ονομάζονται και brushless (χωρίς βούρτσες) λόγω των δομικών χαρακτηριστικών του.

Όταν το πεδίο του στάτορα διεγείρεται, ο ρότορας ακολουθεί το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτορα στην σύγχρονη ταχύτητα. Όταν το πεδίο του στάτορα σταματάει, ο δρομέας σταματάει επίσης. Με αυτό το μόνιμα μαγνητισμένο ρότορα, δεν χρειάζεται το ρεύμα του στάτορα και έτσι παράγεται μικρότερη θερμότητα.

Επίσης, αυτοί οι κινητήρες έχουν υψηλή απόδοση, λόγω της απουσίας του ρεύματος του ρότορα. Για να γνωρίζουμε τη θέση του ρότορα σε σχέση με το στάτορα, τοποθετείται ένας κωδικοποιητής επί του ρότορα και λειτουργεί ως ανάδραση με το ρυθμιστή του κινητήρα. Η δομή του σερβοκινητήρα επαγωγής είναι ίδιος με εκείνου του γενικού κινητήρα. Ο στάτορας αποτελείται από τον πυρήνα του, τον σπλισμό περιέλιξης και το αγώγιμο σύρμα, ενώ ρότορας αποτελείται από έναν άξονα και τον πυρήνα του που είναι κατασκευασμένος με έναν αγωγό παρεμφερή με αυτό του βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η αρχή λειτουργίας αυτού του σερβοκινητήρα είναι παρόμοια με τον κανονικό κινητήρα επαγωγής. Και πάλι ο ελεγκτής πρέπει να γνωρίζει την ακριβή θέση του δρομέα χρησιμοποιώντας κωδικοποιητή για την ακριβή ταχύτητα και τον έλεγχο θέσης.

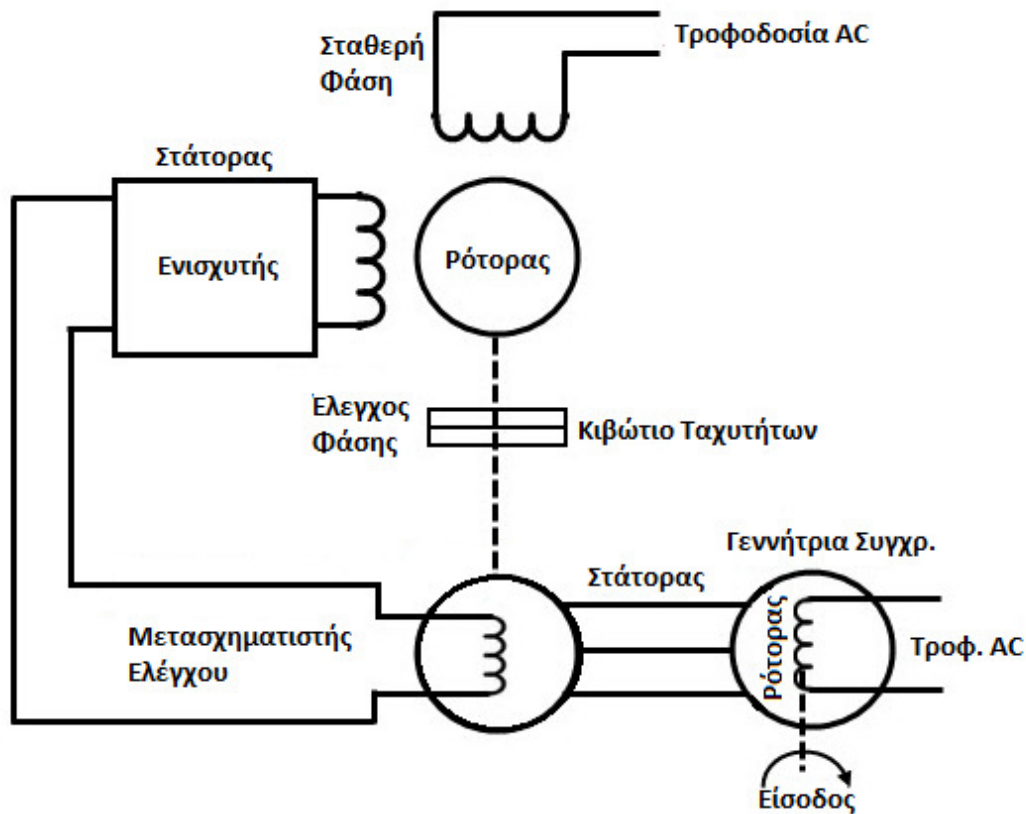


Εικόνα 3.3.1: Σερβοκινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος.

3.4 Αρχή λειτουργίας σερβοκινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος

Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος σέρβο για επαγωγικό κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 3.4.1. Σε αυτό, η είσοδος αναφοράς στην οποία ο άξονας του κινητήρα πρέπει να διατηρηθεί σε μια ορισμένη θέση δίνεται στον ρότορα της γεννήτριας συγχρονισμού ως μηχανική γωνία εισόδου. Ο ρότορας παίρνει ηλεκτρικό σήμα εισόδου με ονομαστική τιμή τάσης σε σταθερή συχνότητα.

Σε αυτό, η είσοδος αναφοράς στην οποία ο άξονας του κινητήρα πρέπει να διατηρηθεί σε μια ορισμένη θέση δίνεται στο ρότορα της γεννήτριας συγχρονισμού ως μηχανική γωνία εισόδου.

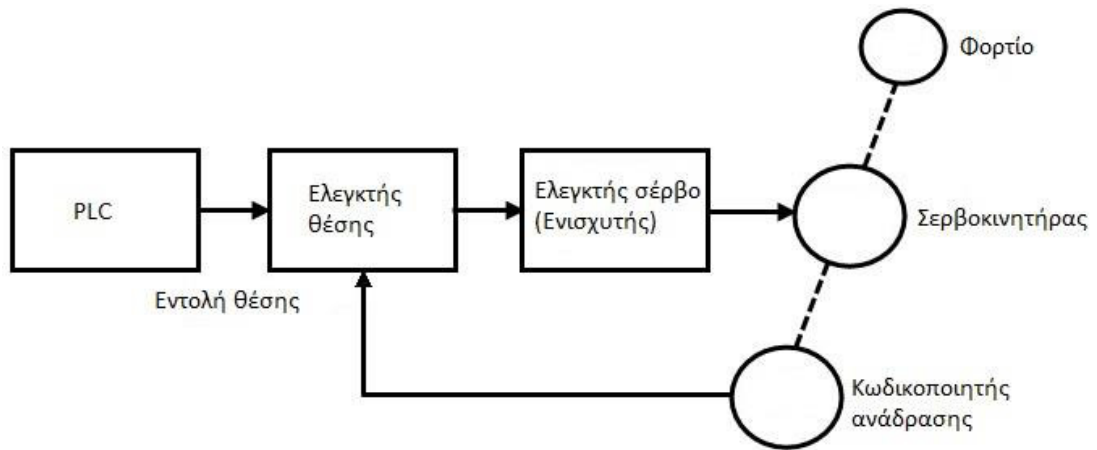


Σχήμα 3.4.1: Σχηματικό διάγραμμα σερβοσυστήματος για επαγωγικό κινητήρα.

Οι τρεις ακροδέκτες του στάτορα μιας σύγχρονης γεννήτριας συνδέονται αντίστοιχα με τους ακροδέκτες του μετασχηματιστή ελέγχου. Η γωνιακή θέση του κινητήρα μεταδίδεται στο δρομέα του μετασχηματιστή ελέγχου μέσω ενός μηχανισμού μετάδοσης και αντιπροσωπεύει την κατάσταση γωνίας ελέγχου.

Αρχικά, υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της θέσης του άξονα της γεννήτριας και της θέσης του άξονα του μετασχηματιστή ελέγχου. Αυτό το σφάλμα παρουσιάζεται με τη μορφή τάσης στα άκρα του μετασχηματιστή ελέγχου. Αυτή η τάση σφάλματος εφαρμόζεται στον ενισχυτή και στη συνέχεια στη φάση ελέγχου του κινητήρα. Με την τάση ελέγχου, ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται στην επιθυμητή κατεύθυνση μέχρι το σφάλμα να μηδενιστεί. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η επιθυμητή θέση του άξονα ενός σερβοκινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος.

Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται σύγχρονοι οδηγοί σερβοκινητήρων AC η οποίοι είναι ενσωματωμένοι ελεγκτές όπως PLC ή μικροελεγκτές οι οποίοι παράγουν σήματα μεταβλητής συχνότητας και μεταβλητής τάσης. Κυρίως χρησιμοποιείται PWM κωδικοποίηση και έλεγχος PID για να ελέγχεται η επιθυμητή συχνότητα και τάση. Το μπλοκ – διάγραμμα ενός συστήματος σερβοκινητήρα AC που χρησιμοποιεί PLC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.4.2: Διάγραμμα ελέγχου σερβοκινητήρα.

Κεφάλαιο 4: Ελεγκτής (Controller)

Ο ελεγκτής είναι ο εγκέφαλος ενός συστήματος CNC. Ο ελεγκτής ολοκληρώνει την όλη σημαντική σύνδεση μεταξύ του συστήματος υπολογιστή και των μηχανικών εξαρτημάτων ενός CNC. Το βασικό έργο του ελεγκτή είναι να λαμβάνει ορισμένα σήματα από έναν υπολογιστή και να τα ερμηνεύει σε μηχανική κίνηση μέσω του κινητήρα εξόδου.

Ο όρος ελεγκτής αναφέρεται στον πλήρη έλεγχο του συστήματος της μηχανής. Αυτό το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει το κύκλωμα προστασίας, οδηγούς βηματικών ή σέρβο κινητήρων, πηγή τροφοδοσίας, έλεγχος ισχύος και άλλα περιφερειακά.

Στις παρακάτω ενότητες γίνεται μια μικρή αναφορά για κάθε μέρος του ελεγκτή και πως λειτουργούν μαζί για να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα CNC.

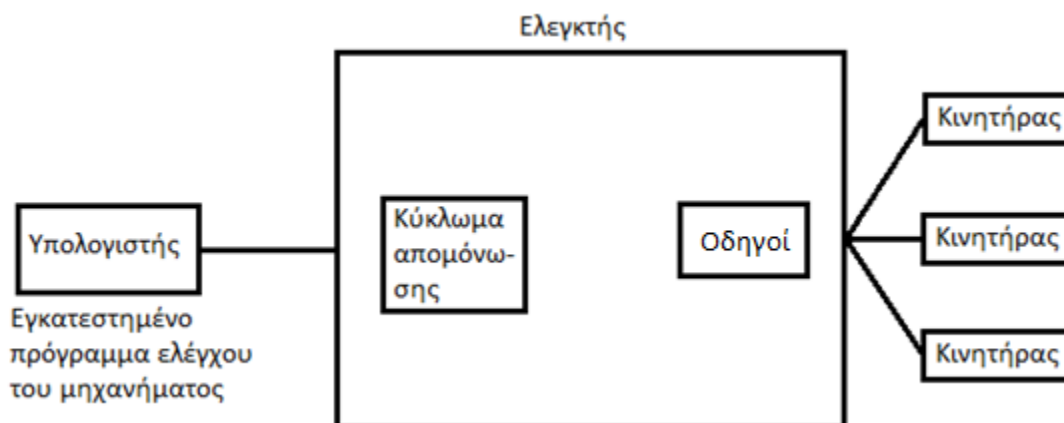
4.1 Στοιχεία ενός ελεγκτή CNC

Υπάρχουν τρία βασικά στοιχεία που συνθέτουν έναν ελεγκτή CNC, το τροφοδοτικό, το σύστημα προστασίας κυκλώματος και ο οδηγός (drive) του κινητήρα.

- **Τροφοδοτική διάταξη:** Όταν μια μικρή αποθηκευτική μονάδα συνδεθεί στον υπολογιστή μέσω της θύρας USB, ο υπολογιστής τροφοδοτεί τη συσκευή αυτή μέσω της θύρας. Όταν συνδεθεί στον υπολογιστή μια μεγαλύτερη περιφερειακή μονάδα όπως για παράδειγμα ένας εκτυπωτής, θα χρειαστεί μια εξωτερική τροφοδοσία για αυτό το μηχάνημα διότι ο υπολογιστής δεν έχει τη δυνατότητα να παρέχει τόσο μεγάλη ισχύ τροφοδοσίας. Το ίδιο ισχύει και για τις συσκευές CNC. Απαιτούν μια γραμμή επικοινωνίας, χαμηλής τάσης, μέσω της οποίας ο υπολογιστής λέει τι να κάνει το μηχάνημα, και μια πηγή ενέργειας που παρέχει την ισχύ για τη μετακίνηση την κοπή και άλλου είδους ενέργειες. Η πηγή ενέργειας που συνήθως αναφέρεται ως τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για να αλλάξει το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που δίνεται από το δίκτυο σε συνεχές (DC), το οποίο χρησιμοποιείται πιο εύκολα από τους οδηγούς του κινητήρα.
- **Σύστημα προστασίας κυκλώματος:** Το σύστημα προστασίας κυκλώματος περιέχει ένα κύκλωμα απομόνωσης (Breakout Board) για να απομονωθούν τα σήματα των κινητήρων από τον υπολογιστή. Κυρίως διανέμει τα σήματα στους επιθυμητούς οδηγούς, καθώς και επιτρέπει την εύκολη διασύνδεση των περιφερειακών όπως διακόπτες ορίου που τροφοδοτούν πληροφορίες πίσω στον υπολογιστή. Οι ασφάλειες είναι επίσης ένα μέρος του συστήματος προστασίας κυκλώματος. Αυτές μπορούν να σώσουν τον εξοπλισμό σε περίπτωση ηλεκτρικού τόξου, από βραχυκυκλώματα, ή από κάποια ελαττωματική καλωδίωση. Ένα αμετάβλητο σήμα επικοινωνίας χαμηλής τάσης περνά από τον υπολογιστή μέσω του κυκλώματος απομόνωσης στους οδηγούς των κινητήρων. Το κύκλωμα απομόνωσης, απομονώνει τον υπολογιστή από το κύκλωμα ελέγχου CNC, αλλά επιτρέπει τα σήματα να μεταφερθούν στους οδηγούς των κινητήρων.
- **Οδηγοί κινητήρων:** Οι οδηγοί κινητήρων λαμβάνουν το σήμα επικοινωνίας και στη συνέχεια συντονίζουν τους παλμούς του επιθυμητού ρεύματος και τάσης για να δημιουργήσουν την κίνηση στους κινητήρες. Οι οδηγοί κινητήρων μπορούν να λαμβάνουν την πληροφορία θέσης του κινητήρα, μονοδρομικά (σύστημα ανοιχτού βρόγχου), ή να λαμβάνουν και να στέλνουν την πληροφορία θέσης του κινητήρα (σύστημα κλειστού βρόγχου).

4.2 Ρύθμιση των εξαρτημάτων του ελεγκτή

Το Σχήμα 4.2.1 δείχνει την τυπική εγκατάσταση των εξαρτημάτων ενός ελεγκτή του CNC, όπως π.χ. για ένα 3 αξόνων CNC μηχάνημα. Το σύστημα αποτελείται από ένα υπολογιστή με λογισμικό ελέγχου του μηχανήματος, το κουτί ελέγχου, και τους κινητήρες. Το κουτί ελέγχου περιλαμβάνει το κύκλωμα απομόνωσης, τη τροφοδοσία (δεν φαίνεται στο σχήμα) και τους οδηγούς του κινητήρα. Το κύκλωμα απομόνωσης παρέχει την προστασία των κυκλωμάτων και τη διανομή του σήματος μέσα στο κουτί ελέγχου.

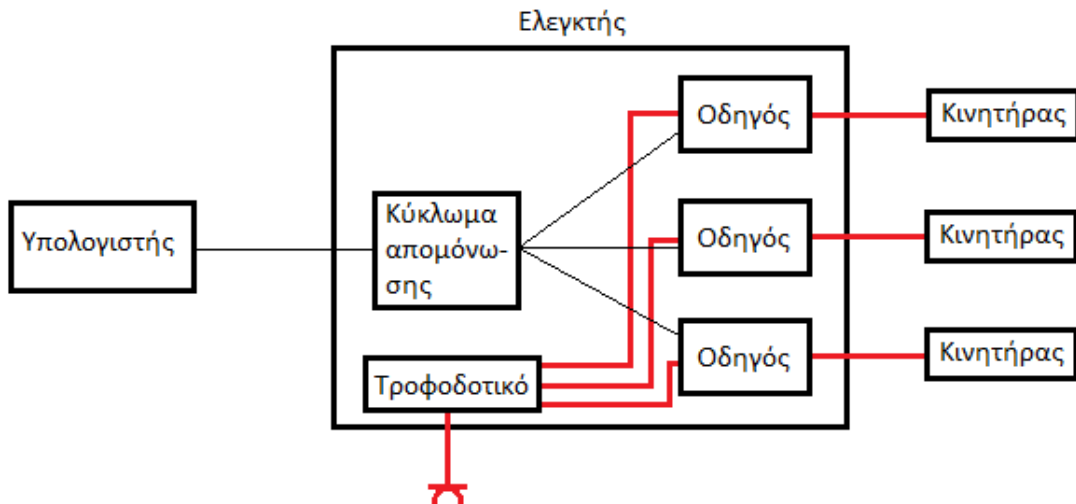


Σχήμα 4.2.1: Τυπική εγκατάσταση εξαρτημάτων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.2 ο υπολογιστής συνδέεται με το κύκλωμα απομόνωσης και αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας παράλληλης θύρας (DB25). Υπάρχουν κυκλώματα απομόνωσης υψηλής ποιότητας με μεγάλη προστασία, καθώς και πιο οικονομικοί οι οποίοι όμως δεν προσφέρουν τόσο μεγάλη προστασία. Τα καλύτερα μοντέλα χρησιμοποιούν οπτικό-μονωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα μικρό σήμα για τη μετάδοση δεδομένων σε ένα κενό αέρος. Οι συσκευές αυτές παρέχουν πλήρη αγωγική μόνωση μεταξύ του κυκλώματος ελέγχου και του υπολογιστή.

Να σημειωθεί ότι ο υπολογιστής μπορεί εύκολα να συνδεθεί άμεσα στους οδηγούς των κινητήρων, όμως αυτός ο τρόπος είναι επικίνδυνος διότι μπορεί να καταστρέψει μέρη του υπολογιστή.

Το Σχήμα 4.2.2 είναι ένα διάγραμμα του ηλεκτρικού συστήματος ενός μηχανήματος CNC. Το μαύρο χρώμα δείχνει τις καλωδιώσεις για τα σήματα, ενώ το κόκκινο χρώμα είναι οι καλωδιώσεις τροφοδοσίας. Μολονότι ο υπολογιστής τροφοδοτείται από μονοφασική οικιακή τάση εναλλασσομένου ρεύματος, το CNC μηχάνημα εκτός από αυτή τη τάση μπορεί να τροφοδοτηθεί ακόμα και με τριφασική τάση. Αυτή η ισχύς εισέρχεται στον ελεγκτή και διανέμεται από το τροφοδοτικό. Στα περισσότερα μηχανήματα το τροφοδοτικό μετατρέπει το εισερχόμενο ρεύμα, από εναλλασσόμενο (AC) σε συνεχές (DC) και η τιμή της τάσης, αυτού του ρεύματος είναι χαμηλότερη (5V, 12V, 24V, κ.λπ.). Η τιμή της ισχύος εξαρτάται από τα εξαρτήματα του ελεγκτή και κυρίως από τους οδηγούς των κινητήρων.

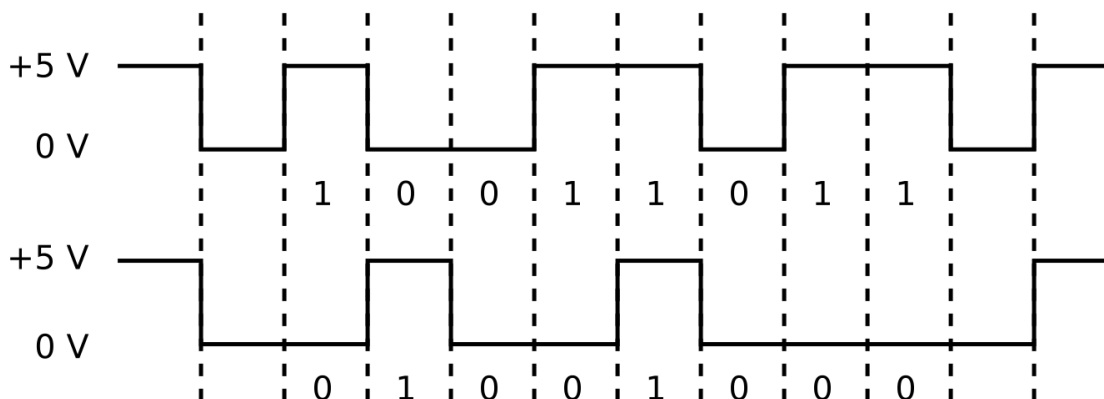


Σχήμα 4.2.2: Διάγραμμα ηλεκτρικού συστήματος.

4.3 Σήματα ελέγχου

Τα σήματα που προέρχονται από τον υπολογιστή λειτουργούν σε 5V συνεχούς τάσης, και η μορφή τους είναι ένα τετραγωνικό σήμα. Ουσιαστικά, το σήμα αυτό είναι μια σειρά μικρών παλμών από 0V έως +5V τα οποία αντιπροσωπεύουν το 0 και το 1, αντίστοιχα, στο δυαδικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί ο υπολογιστής. Το σήμα αυτό είναι της μορφής ενός διαμορφωμένου πλάτους παλμού (PWM), όπου το μήκος παλμού μεταβάλλεται για να αναδείξει τις πληροφορίες. Το πλάτος του παλμού καθορίζει το δυαδικό κώδικα που στάλθηκε σε 0 ή 1, όπως μεταδόθηκαν από τον υπολογιστή και ερμηνεύονται από τον οδηγό του κινητήρα.

Το σήμα από τον υπολογιστή στο κύκλωμα απομόνωσης είναι ίδιο, όπως και από το κύκλωμα απομόνωσης στους οδηγούς των κινητήρων. Είναι δηλαδή ένα σήμα των 5V τετραγωνικού παλμού ίδιας μορφής. Για να επιτευχθεί η κίνηση του κινητήρα, οι οδηγοί αφού ρυθμιστούν από αυτό το σήμα, παρέχουν την κατάλληλη ισχύ η οποία απαιτείται από τους κινητήρες.

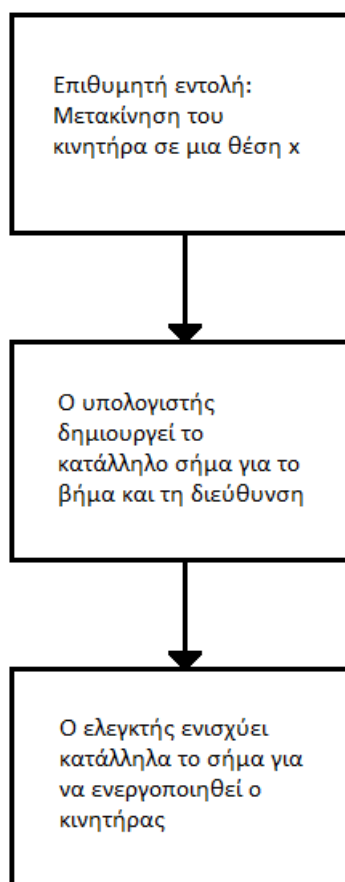


Σχήμα 4.3.1: Δυο διαφορετικά σήματα παλμού.

4.4 Σύστημα ανοιχτού και κλειστού βρόγχου

Το ανοικτό και κλειστό σύστημα βρόγχου περιγράφει τα δύο κύρια είδη των συστημάτων ελέγχου ενός CNC καθώς και τη διαδικασία ελέγχου του συστήματος.

Σύστημα ανοιχτού βρόγχου: Το σύστημα ανοικτού βρόχου αναφέρεται σε ένα σύστημα όπου η επικοινωνία μεταξύ του ελεγκτή και του κινητήρα είναι μονόδρομη. Αφού δημιουργηθεί ένα αρχείο εργασίας (π.χ. G-code), το πρόγραμμα που χειρίζεται το μηχάνημα δημιουργεί τα απαραίτητα βηματικά και κατευθυντήρια σήματα, για να εκτελέσουν την επιθυμητή εργασία. Ο υπολογιστής μεταβιβάζει την πληροφορία στον ελεγκτή, η οποία στη συνέχεια ενεργοποιεί τους κινητήρες. Όταν ο κινητήρας μετακινηθεί στην επιθυμητή θέση, δεν υπάρχει ανάδραση στον ελεγκτή ώστε να μπορέσει να επαληθεύσει αυτή τη δράση.



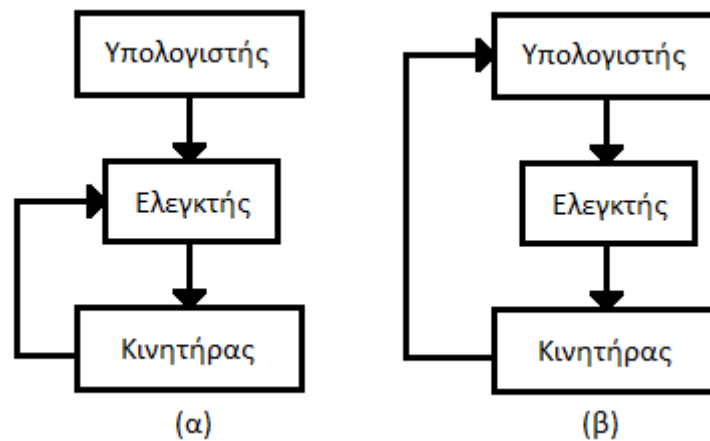
Σχήμα 4.4.1 Σύστημα ανοιχτού βρόγχου.

Υπάρχει όμως ένα μεγάλο μειονέκτημα σε αυτό το σύστημα. Επειδή δεν υπάρχει ανάδραση στον ελεγκτή, εάν ο κινητήρας δεν ενεργήσει σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν δοθεί, δεν υπάρχει τρόπος το σύστημα να το αναγνωρίσει. Έτσι το σύστημα ελέγχου συνεχίζει να εκτελεί την επόμενη εργασία σαν να μην υπάρχει κάποιο πρόβλημα, έως ότου σταματήσει χειροκίνητα.

Στα μηχανήματα CNC, το σύστημα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιείται μόνο από τους βηματικούς κινητήρες, διότι οι σέρβο χρειάζονται υποχρεωτικά το σύστημα ανάδρασης (τουλάχιστον σε αυτά τα μηχανήματα). Με ορισμένους κωδικοποιητές οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να έχουν την δυνατότητα της ανάδρασης, ώστε να λειτουργούν σε σύστημα κλειστού βρόγχου. Ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου είναι πιο απλό από αυτό του κλειστού βρόγχου, και αυτό το καθιστά να είναι πιο οικονομικό.

Σύστημα κλειστού βρόγχου: Το σύστημα κλειστού βρόγχου έχει ένα σύστημα ανάδρασης για την παρακολούθηση της εξόδου των κινητήρων. Το κλειστό σύστημα είναι επίσης σε θέση να διορθώσει τα λάθη στη θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση, αλλά και να ελαττώσει όλο το σύστημα, εάν το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.4.2 υπάρχουν δυο συστήματα κλειστού βρόγχου. Το πρώτο σύστημα (α) επιστρέφει την ανάδραση στον ελεγκτή του CNC μηχανήματος. Το δεύτερο σύστημα (β) επιστρέφει την ανάδραση στον υπολογιστή.



Σχήμα 4.4.2: Συστήματα κλειστού βρόγχου.

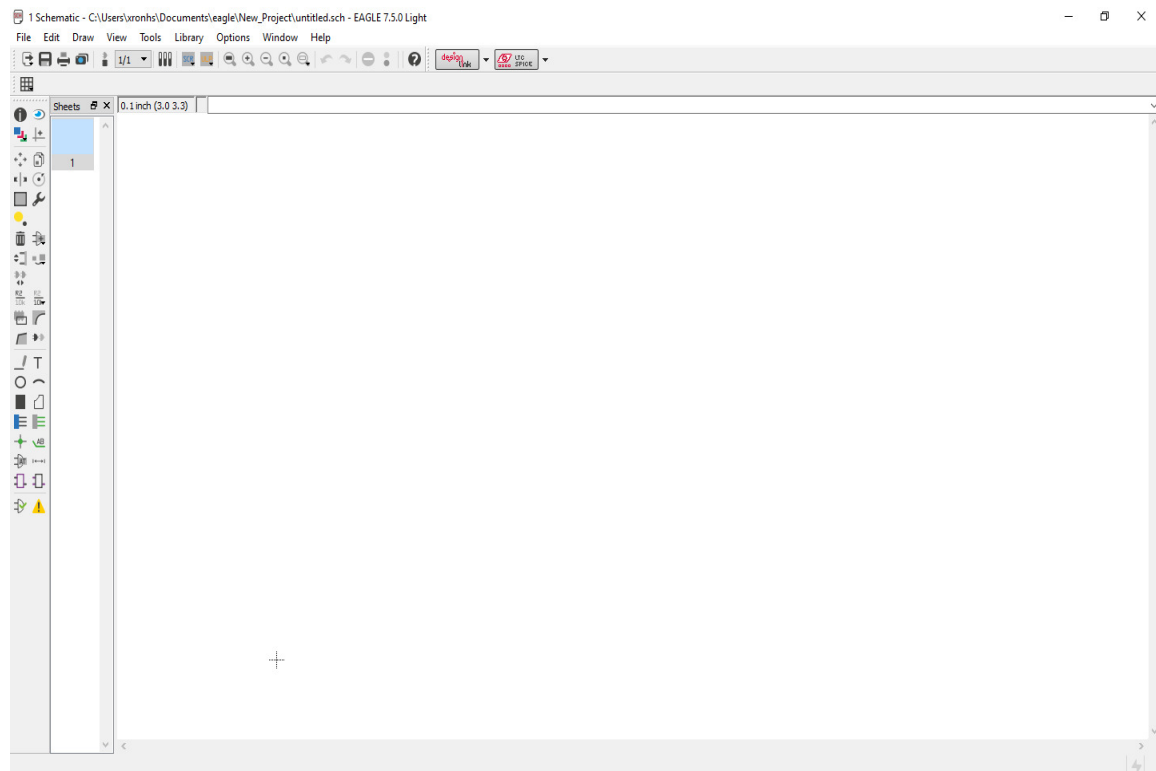
Οι περισσότεροι ελεγκτές κλειστού βρόγχου, είναι PID (Proportional Integral Derivative). Τα μειονεκτήματα των συστημάτων κλειστού βρόγχου είναι το υψηλό κόστος και η πολυπλοκότητα του. Επίσης αυτά τα συστήματα είναι δύσκολο να συντονιστούν και έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα να παρουσιάσουν φθορές αφού αποτελούνται από πολλά μέρη.

Κεφάλαιο 5: Eagle CAD

Το Eagle είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Χωρίζεται σε δυο τμήματα το σχηματικό (schematic) και το τυπωμένο (Board). Το σχηματικό μέρος είναι το πρώτο στάδιο σχεδιασμού ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος όπου το κύκλωμα που σχεδιάζεται έχει ίδιους συμβολισμούς και κανόνες με την αντίστοιχη σχεδίαση κυκλώματος σε ένα απλό χαρτί. Πρέπει να αναφερθεί ότι το σχηματικό μέρος σε αυτό το πρόγραμμα δεν έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης όπως σε άλλα προγράμματα σχεδιασμού κυκλώματος. Το τυπωμένο μέρος είναι το δεύτερο και τελικό στάδιο σχεδιασμού όπου με βάση το σχηματικό κύκλωμα που έχει υλοποιηθεί στο πρώτο στάδιο θα δημιουργηθεί ένα κύκλωμα σε ένα χώρο που θα είναι η πλακέτα στο οποίο θα τοποθετηθούν όλα τα εξαρτήματα με τα πραγματικά χαρακτηριστικά τους (διαστάσεις εξαρτήματος, αποστάσεις μεταξύ των ακροδεκτών του εξαρτήματος κλπ). Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικές δυνατότητες του προγράμματος.

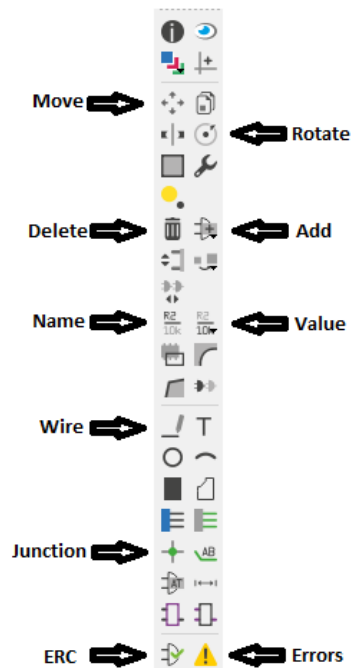
5.1 Σχηματικό μέρος (Schematic)

Το βασικό παράθυρο του σχηματικού απεικονίζεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.1.



Σχήμα 5.1.1: Παράθυρο σχηματικού.

Στο αριστερό μέρος του παραθύρου απεικονίζονται τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μέρος και από αυτά, αναφέρονται τα πιο βασικά.



Σχήμα 5.1.2: Βασικές εντολές του σχηματικού.

Move: Με αυτή την εντολή δίνεται η ικανότητα μετακίνησης ενός επιθυμητού εξαρτήματος ή ένωσης (wire) αφού επιλεγθεί και στη συνέχεια το μετακινεί στο επιθυμητό σημείο.

Rotate: Η εντολή αυτή περιστρέφει κάποιο εξάρτημα 90° κάθε φορά που επιλέγεται το εξάρτημα αυτό.

Delete: Με αυτή την εντολή μπορεί να διαγραφεί όποιο εξάρτημα ή αγωγός (wire) έχει επιλεγθεί.

Name: Με την εντολή Name υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του ονόματος ενός εξαρτήματος.

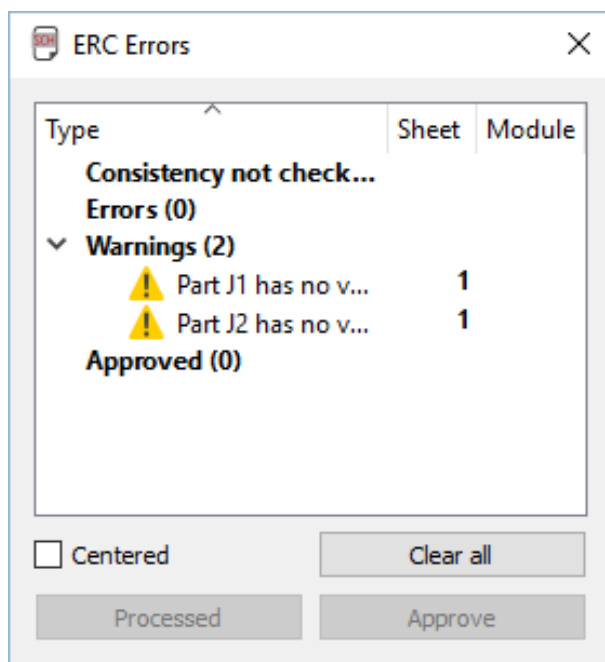
Value: Με την εντολή αυτή παρέχεται η δυνατότητα ορισμού μιας τιμής σε ένα εξάρτημα (π.χ. πόσα Ohm θα είναι μια αντίσταση).

Wire: Η εντολή Wire χρησιμοποιείται για να ενώσει τους ακροδέκτες διαφορετικών εξαρτημάτων μεταξύ τους.

Junction: Η εντολή αυτή δημιουργεί σημείο κόμβου μεταξύ δύο ή περισσότερων αγωγών.

ERC (Electrical Rule Check): Επιλέγοντας αυτή την εντολή το πρόγραμμα ελέγχει το κύκλωμα για τυχόν λάθη.

Errors: Ότι λάθη προκύπτουν κατά τη σχεδίαση του κυκλώματος, εμφανίζονται σε ένα μικρό παράθυρο και επιλέγοντας αυτή την εντολή ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (Σχήμα 5.1.3).

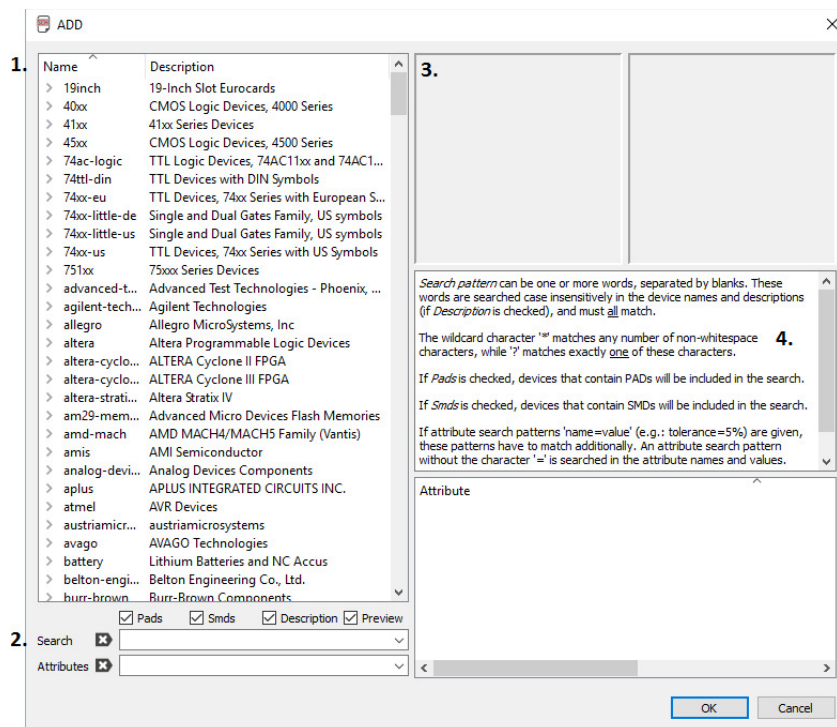


Σχήμα 5.1.3: Παράθυρο λαθών.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στο Eagle πρέπει πρώτα να επιλεγεί η εντολή και στη συνέχεια ο χειριστής να επιλέξει το αντικείμενο που επιθυμεί να διαμορφώσει.

Add: Για να φτιαχτεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, πρέπει πρώτα να επιλεγθούν τα ηλεκτρονικά υλικά. Η εντολή Add δίνει αυτή την δυνατότητα όπως φαίνεται αναλυτικά παρακάτω.

Κατά την επιλογή του Add ανοίγει ένα νέο παράθυρο, όπως φαίνεται στην Σχήμα 5.1.4.



Σχήμα 5.1.4: Παράθυρο Add.

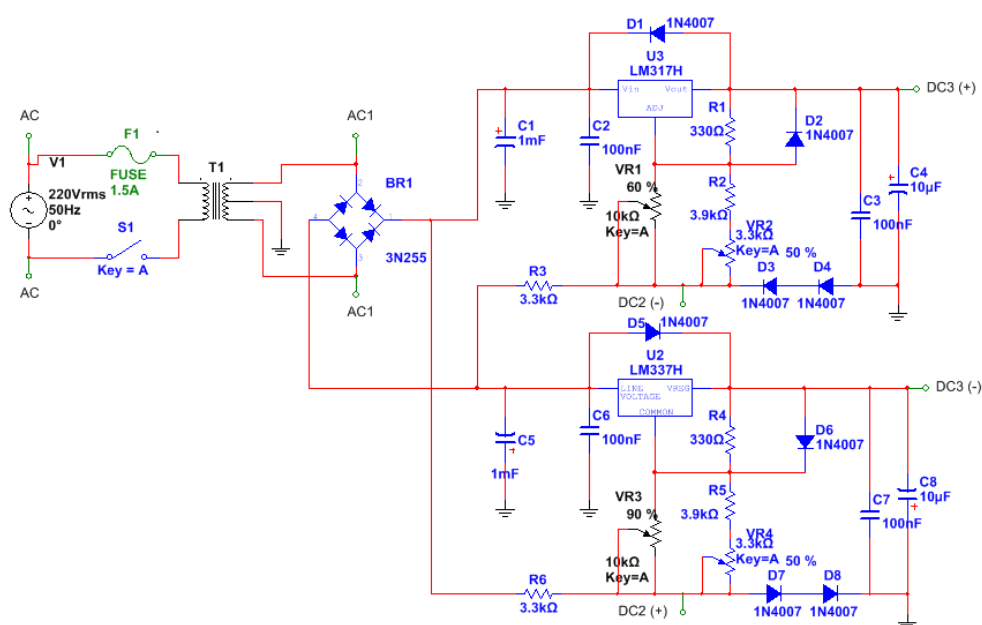
Σε αυτό το παράθυρο υπάρχουν τέσσερα βασικά στοιχεία.

1. Σε αυτό το παράθυρο υπάρχουν όλα τα εξαρτήματα που έχει η βιβλιοθήκη του Eagle.
2. Επειδή η βιβλιοθήκη του προγράμματος είναι αρκετά μεγάλη το Eagle δίνει τη δυνατότητα εύρεσης του επιθυμητού εξαρτήματος με την μηχανή αναζήτησης (Search).
3. Τα δυο παράθυρα δείχνουν πως είναι το εξάρτημα στο σχηματικό μέρος (αριστερό παράθυρο) και στο τυπωμένο μέρος (board).
4. Σε αυτό το παράθυρο το πρόγραμμα δίνει ορισμένες πληροφορίες για το εξάρτημα που επιλέχθηκε.

Όταν επιλέγεται ένα εξάρτημα από τη βιβλιοθήκη, το παράθυρο του Add ελαχιστοποιείται και ο κέρσσορας ακολουθείται από το επιλεγμένο εξάρτημα. Πατώντας στο λευκό πλαίσιο του κεντρικού παραθύρου, τοποθετείται το εξάρτημα. Όσες φορές πατιέται το ποντίκι στο παράθυρο, τόσα εξαρτήματα τοποθετούνται και το εξάρτημα αυτό ακολουθεί τον κέρσσορα, μέχρις ότου πατηθεί το πλήκτρο Esc για να ανοίξει πάλι το παράθυρο του Add.

5.2 Παράδειγμα σχεδίασης ηλεκτρονικού κυκλώματος στο σχηματικό μέρος

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που πρόκειται να υλοποιηθεί είναι ένα συμμετρικό τροφοδοτικό 0V ÷ ± 15V και 1A το οποίο κατασκευάζεται στο μάθημα των ηλεκτρονικών I του εργαστηρίου και φαίνεται στο Σχήμα 5.2.1.



Σχήμα 5.2.1: Ηλεκτρονικό κύκλωμα συμμετρικού τροφοδοτικού.

Τα εξαρτήματα που χρειάζονται για να υλοποιηθεί αυτό το κύκλωμα στο πρόγραμμα είναι:

- BR1: Γέφυρα ανόρθωσης 100V/1A
- C1, C5: Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές 1000μF/15V
- C2, C3, C6, C7: Πυκνωτές 100nF/15V
- C4, C8: Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές 10mF/15V
- D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8: Δίοδοι 1N4001
- R1, R4: Αντιστάσεις 330Ω
- R2, R5: Αντιστάσεις 3.9KΩ
- R3, R6: Αντιστάσεις 3.3KΩ

VR1, VR3: Ποτενσιόμετρα 10ΚΩ

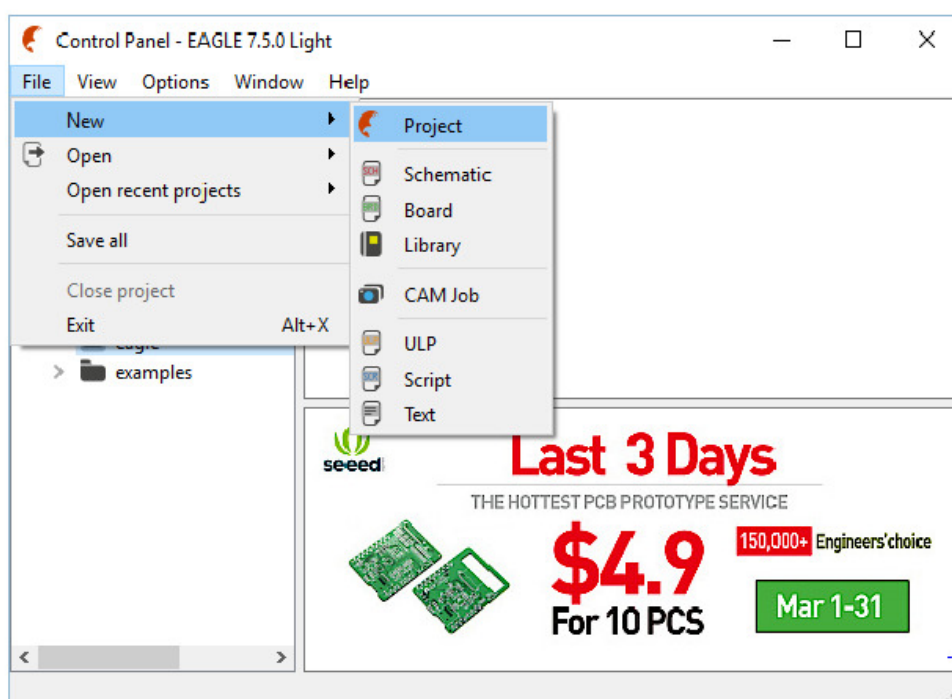
VR2, VR4: Ποτενσιόμετρα τύπου τρίμμερ 3.3ΚΩ

IC1: LM317 / (TO220)

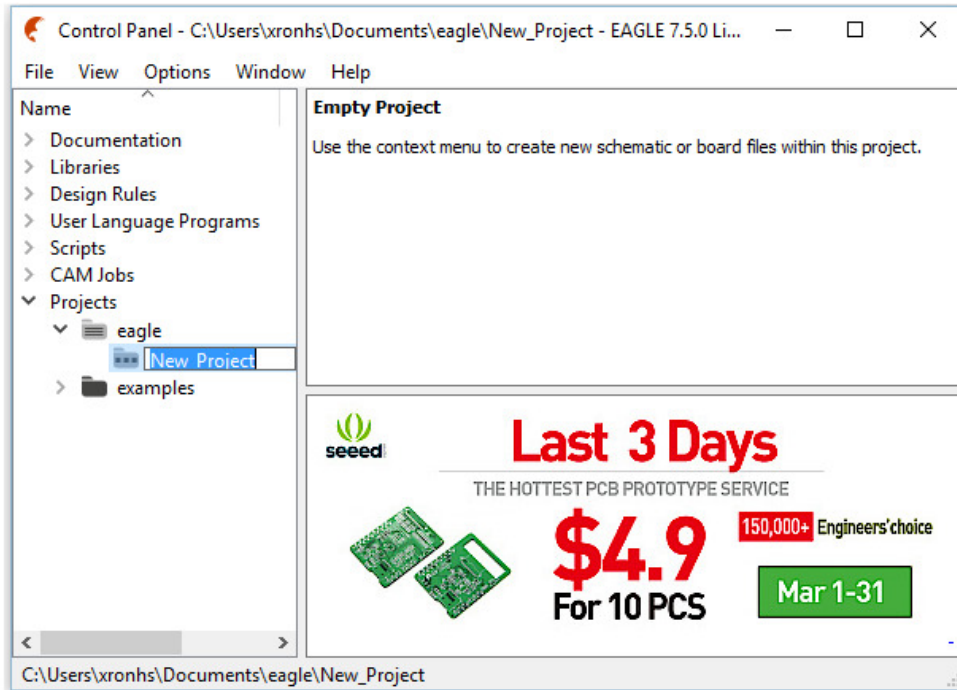
IC2: LM337 / (TO220)

Να σημειωθεί ότι το κύκλωμα που πρόκειται να σχεδιαστεί στο σχηματικό μέρος του προγράμματος Eagle είναι από την είσοδο της γέφυρας BR1 (AC1 ακροδέκτες) μέχρι και την έξοδο του κυκλώματος που είναι οι ακροδέκτες DC3 (+) και DC3 (-). Στην είσοδο της γέφυρας καθώς και στην έξοδο του κυκλώματος χρησιμοποιούνται κλέμες τριών ακροδεκτών για να γίνει η ένωση των υπόλοιπων εξαρτημάτων.

Πριν ξεκινήσει η κατασκευή του κυκλώματος στο πρόγραμμα, πρέπει να δημιουργηθεί ένας φάκελος, ο οποίος αποθηκεύεται αυτόματα στο κεντρικό φάκελο Eagle με τη δυνατότητα ονομασίας του φακέλου. Η δημιουργία του φακέλου γίνεται με αυτό τον τρόπο: File → New → Project, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.2 και 5.2.3.



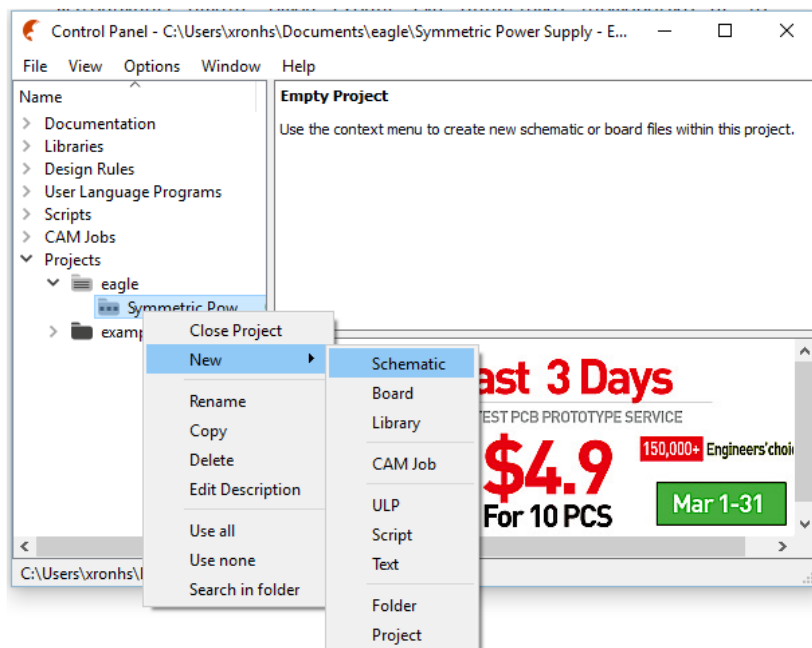
Σχήμα 5.2.2: Δημιουργία φακέλου στο Eagle.



Σχήμα 5.2.3: Μετονομασία φακέλου.

Η μετονομασία του φακέλου και λοιπών αρχείων είναι καλό να έχουν λατινικούς χαρακτήρες, για να αποτραπεί τυχόν σύγχυση στο πρόγραμμα με αποτέλεσμα να μην λειτουργήσει σωστά. Αφού έχουμε ένα συμμετρικό τροφοδοτικό ας το ονομάσουμε Symmetric Power Supply.

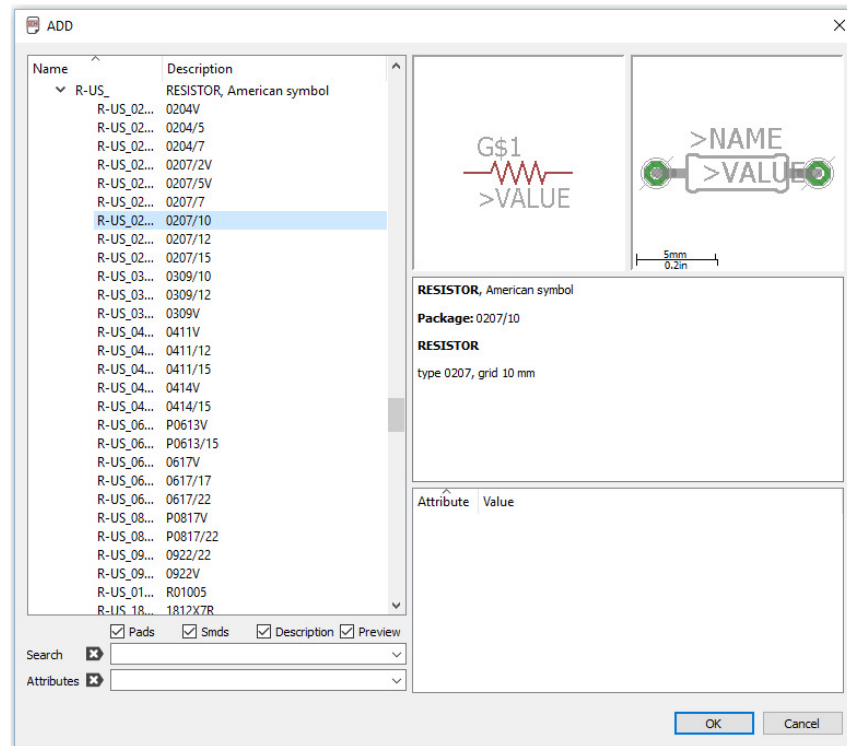
Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργηθεί ένα σχηματικό αρχείο. Αυτό γίνεται με τον εξής τρόπο: Πάνω στο φάκελο που δημιουργήθηκε πατάμε δεξί κλικ και στη συνέχεια New → Schematic.



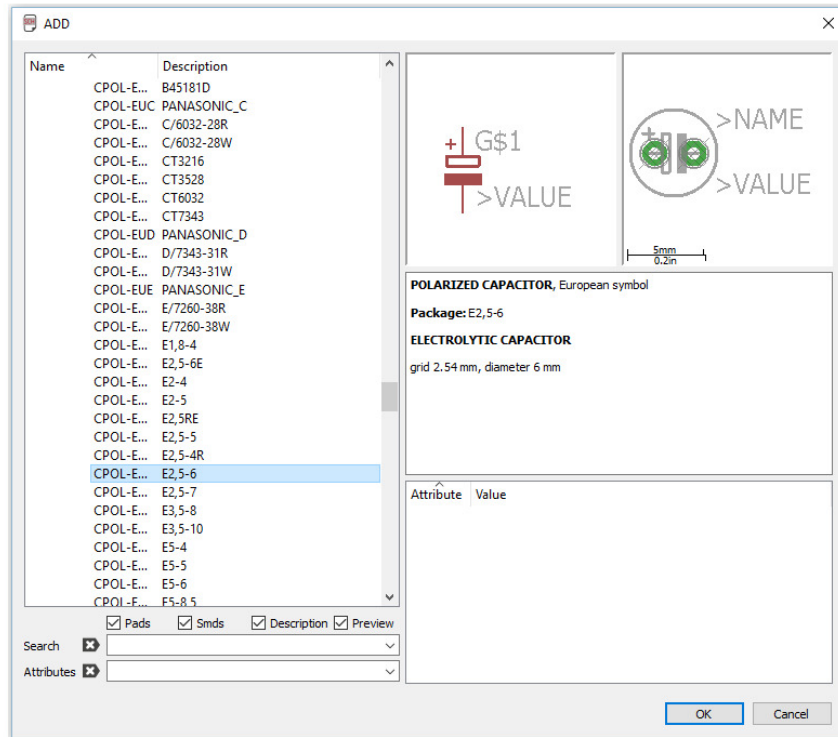
Σχήμα 5.2.4: Δημιουργία σχηματικού.

Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, ανοίγει το παράθυρο του σχηματικού του Σχήματος 5.1.1 και αφού αποθηκευτεί για να δημιουργηθεί αυτό το αρχείο μέσα στον φάκελο μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία σχεδίασης του κυκλώματος.

Πρώτα απ' όλα πρέπει να επιλεχθούν τα εξαρτήματα που χρειάζονται για την υλοποίηση του κυκλώματος και αυτό γίνεται με την εντολή Add. Οι αντιστάσεις βρίσκονται στη βιβλιοθήκη resistor στο τομέα R-US ή R-EU και οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές βρίσκονται στη βιβλιοθήκη resistor στο τομέα CPOL-US ή CPOL-EU. Επειδή η τυπωμένη πλακέτα που πρόκειται να κατασκευαστεί, έχει κλασικά εξαρτήματα (through hole) επιλέγονται οι αντιστάσεις και οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.

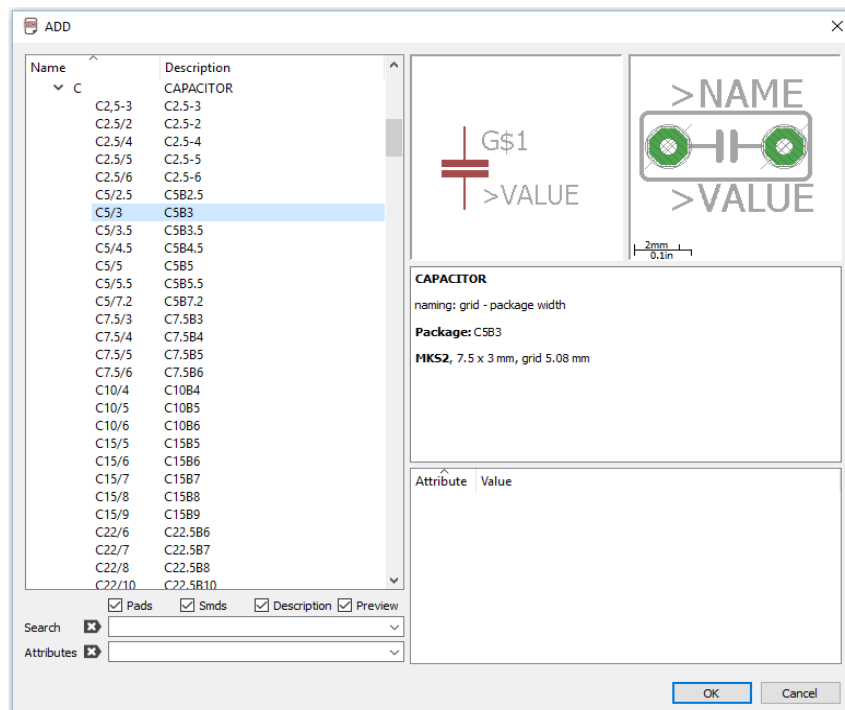


Σχήμα 5.2.5: Επιλογή αντιστάσεων.



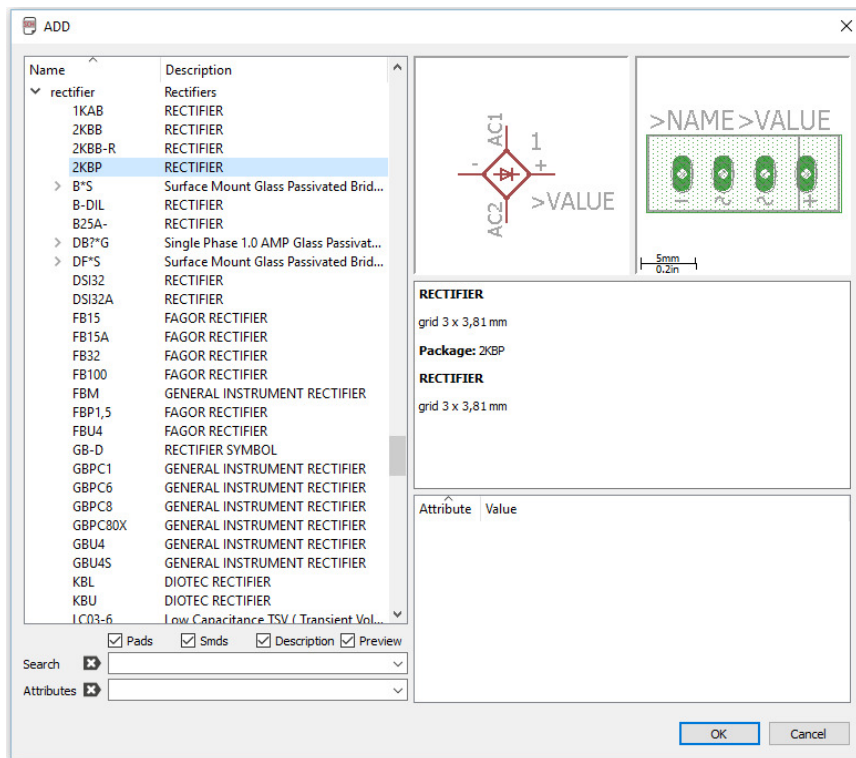
Σχήμα 5.2.6: Επιλογή ηλεκτρολυτικών πυκνωτών.

Οι πυκνωτές βρίσκονται στη βιβλιοθήκη capacitor-wima στο τομέα C του προγράμματος και ο πυκνωτής που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο είναι αυτός του Σχήματος 5.2.7.



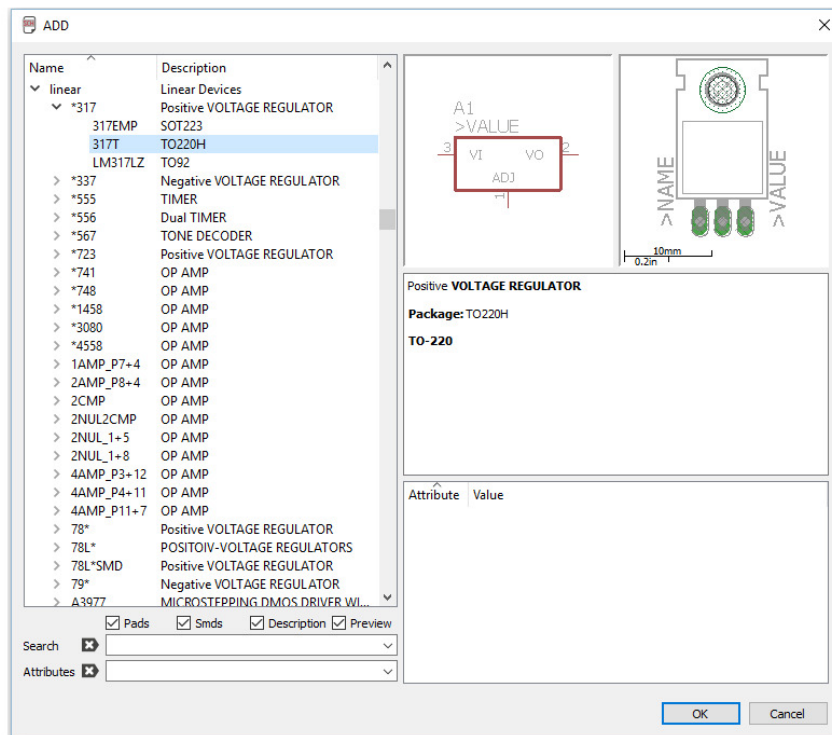
Σχήμα 5.2.7: Επιλογή πυκνωτών.

Η γέφυρα βρίσκεται στη βιβλιοθήκη rectifier και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο Σχήμα 5.2.8.

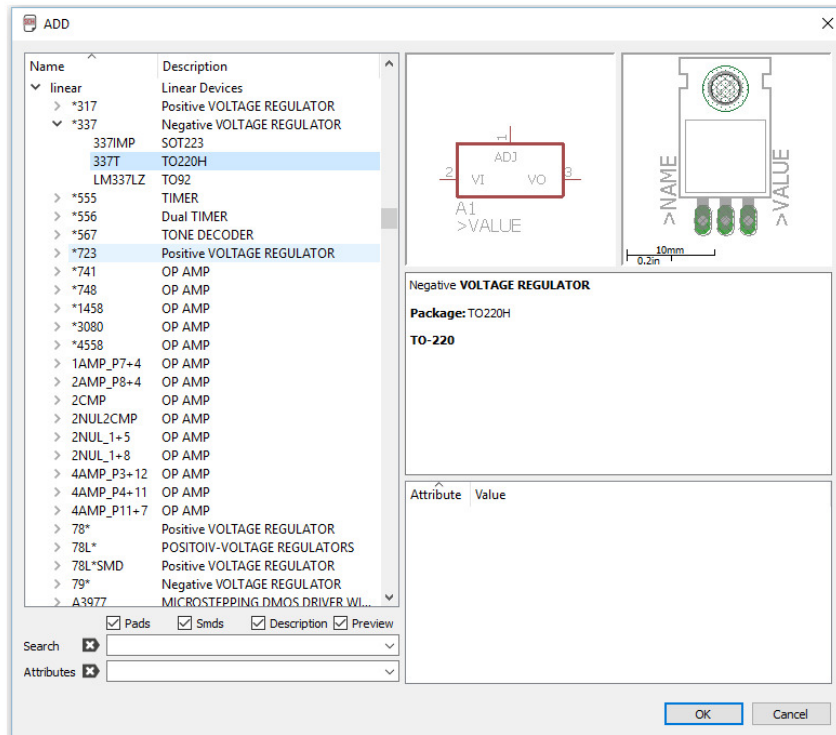


Σχήμα 5.2.8: Επιλογή γέφυρας.

Τα LM317 και LM337 βρίσκονται στη βιβλιοθήκη linear και για through hole έχει μόνο μια επιλογή η οποία φαίνεται στο Σχήμα 5.2.9 και 5.2.10.

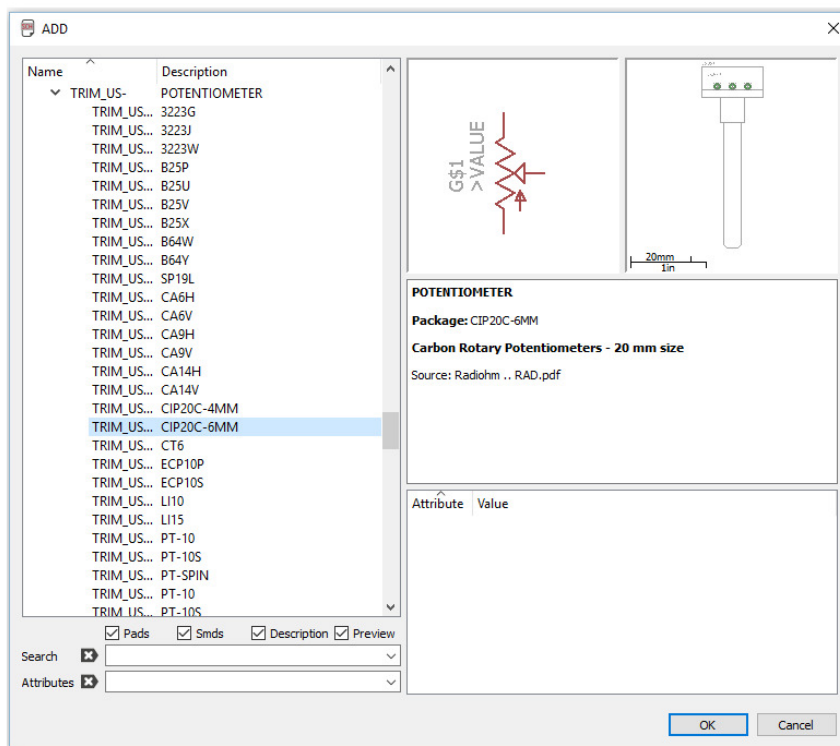


Σχήμα 5.2.9: Επιλογή LM317.

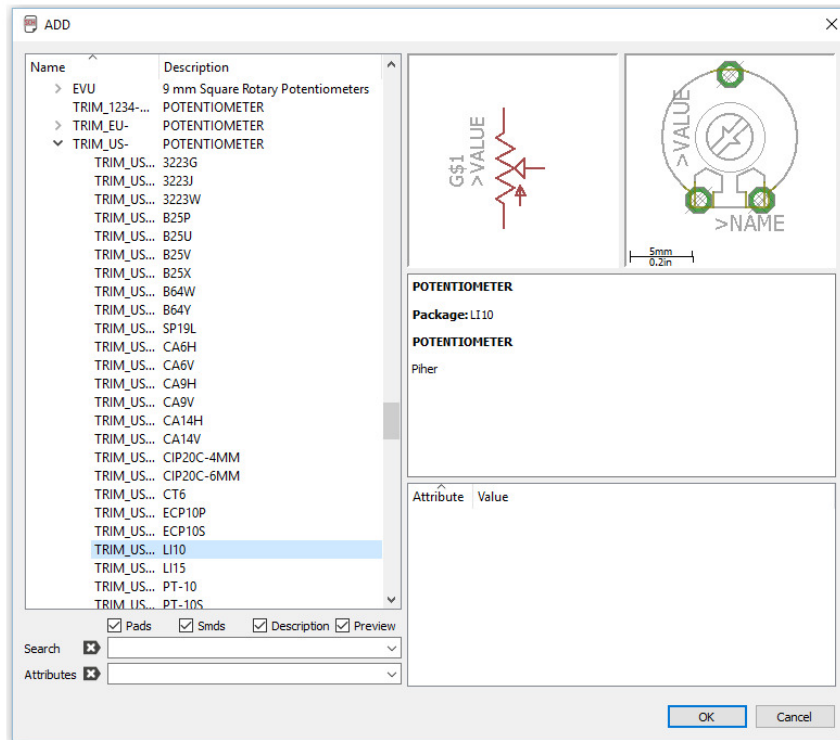


Σχήμα 5.2.10: Επιλογή LM337.

Τα ποτενσιόμετρα και ποτενσιόμετρα τύπου τρίμερ βρίσκονται στη βιβλιοθήκη rot και τομέα TRIM_US ή TRIM_EU του προγράμματος και χρησιμοποιήθηκαν αυτά που απεικονίζονται στο Σχήμα 5.2.11 και 5.2.12.

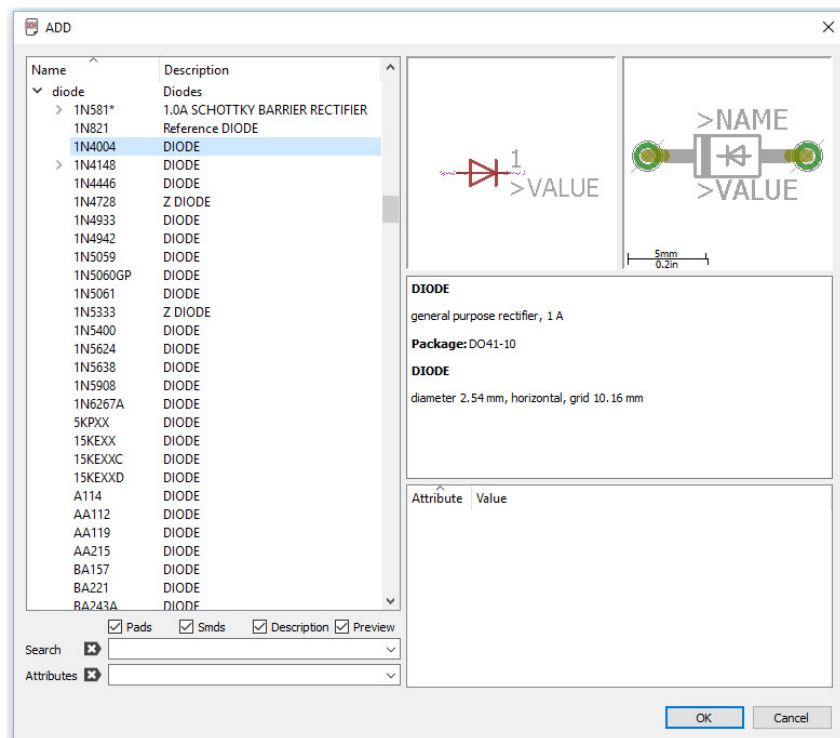


Σχήμα 5.2.11: Επιλογή ποτενσιόμετρου.



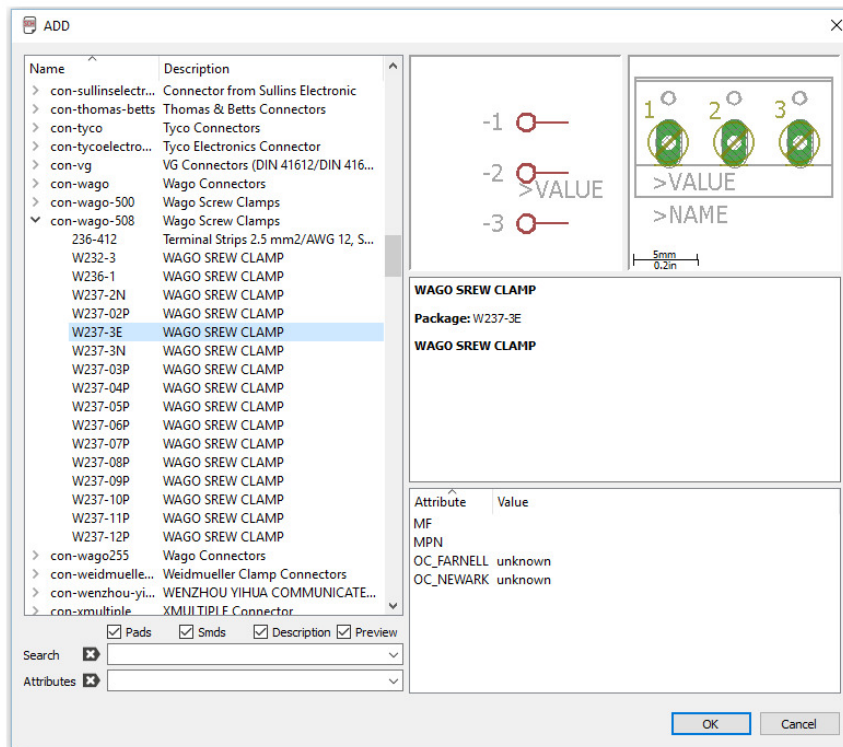
Σχήμα 5.2.12: Επιλογή ποτενσιόμετρου τύπου τρίμμερ.

Οι δίοδοι βρίσκονται στη diode βιβλιοθήκη και επιλέγονται αυτά του Σχήματος 5.2.13.



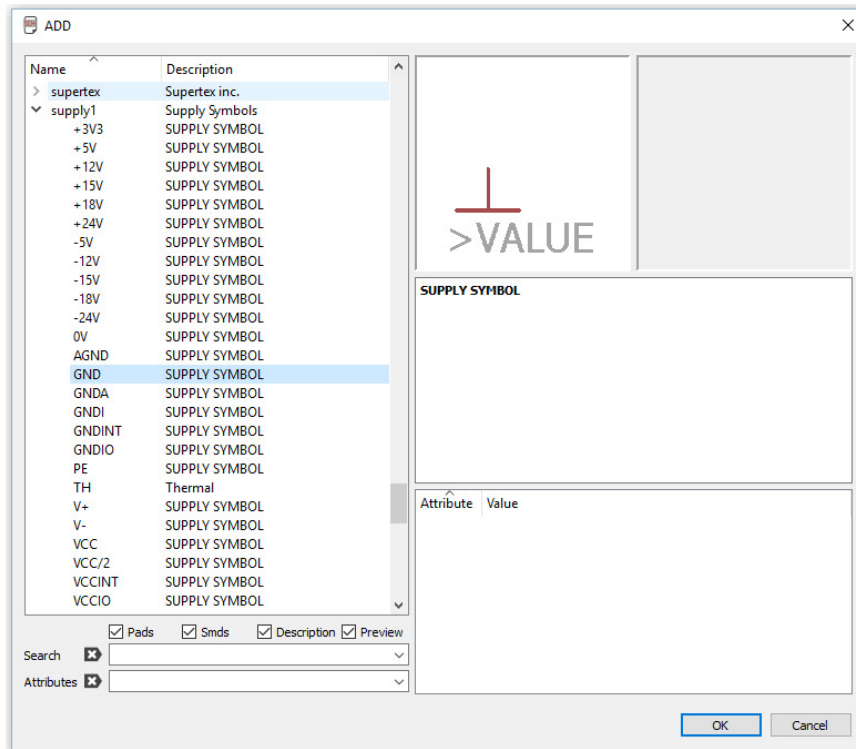
Σχήμα 5.2.13: Επιλογή διόδων.

Οι κλέμες βρίσκονται στη βιβλιοθήκη con-wago-508 και στο Σχήμα 5.2.14 φαίνονται οι κλέμες που χρειάζονται για να υλοποιηθεί το κύκλωμα.



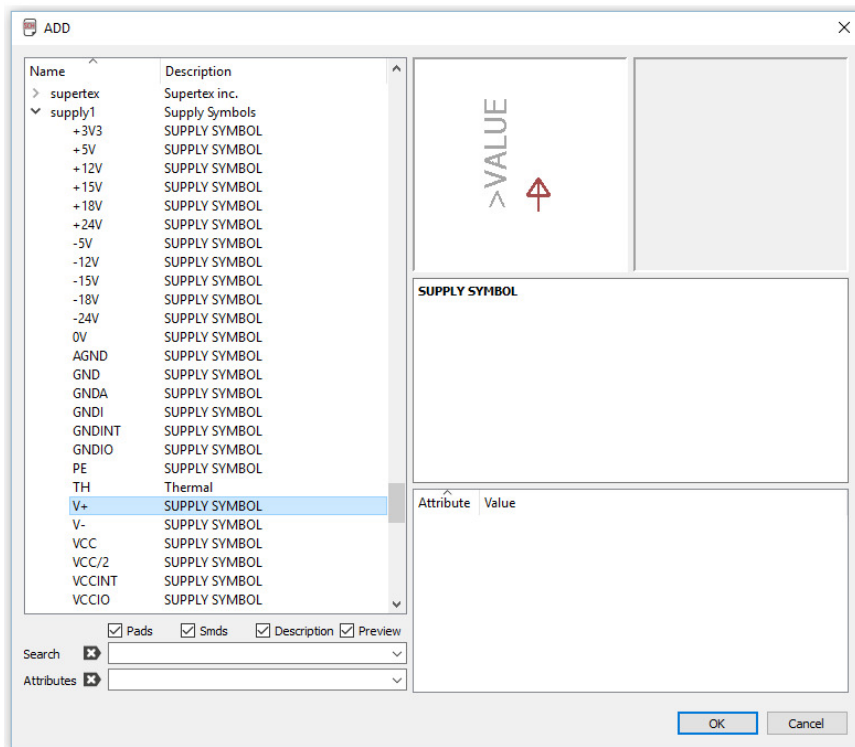
Σχήμα 5.2.14: Επιλογή κλεμών.

Στο Σχήμα 5.2.1 φαίνεται το σύμβολο της γείωσης σε μερικά σημεία του κυκλώματος που αυτό σημαίνει ότι το δυναμικό σε αυτά τα σημεία είναι μηδέν και επίσης πρέπει να ενωθούν μεταξύ τους. Το σύμβολο της γείωσης υπάρχει και στο πρόγραμμα και όταν τοποθετηθεί σε ορισμένους ακροδέκτες τότε αυτοί οι ακροδέκτες πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους. Η γείωση βρίσκεται στη βιβλιοθήκη surrply1 και στο Σχήμα 5.2.15 φαίνεται ποια γείωση χρησιμοποιείται.

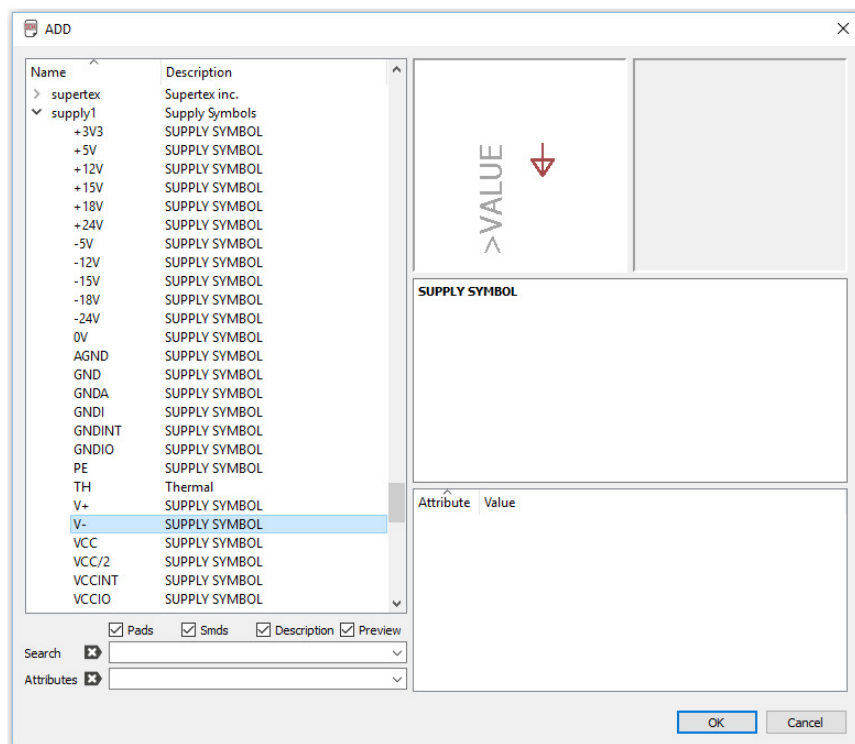


Σχήμα 5.2.15: Επιλογή γείωσης.

Για να αφαιρεθούν μερικές γραμμές από το κύκλωμα για λόγους απλοποίησης το πρόγραμμα Eagle έχει το σύμβολο της τάσης V+ και V- τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν στους ακροδέκτες εξόδου της γέφυρας και όποια σημεία ενώνονται με την έξοδο της γέφυρας μπορούν να απεικονιστούν με τα ίδια σύμβολα. Αυτά τα σύμβολα είναι στην ίδια βιβλιοθήκη με τη γείωση και αυτά που επιλέγονται φαίνονται στα Σχήματα 5.2.16 και 5.2.17.



Σχήμα 5.2.16: Επιλογή V+.

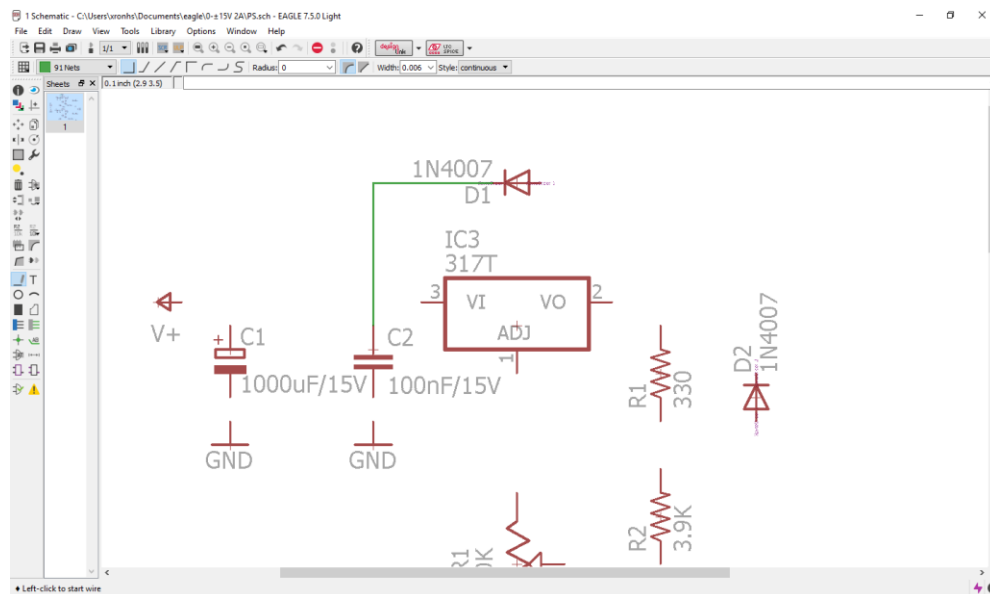


Σχήμα 5.2.17: Επιλογή V-.

Αφού ολοκληρωθεί η επιλογή των εξαρτημάτων είναι σωστό τα εξαρτήματα να έχουν ίδιο όνομα με αυτό του κυκλώματος του Σχήματος 5.2.1 και αυτό γίνεται με την εντολή Name. Επίσης επειδή το πρόγραμμα δεν ορίζει τιμές στα εξαρτήματα, διότι δεν αναγνωρίζει τη φυσική διάσταση των εξαρτημάτων, είναι καλό να οριστούν από εμάς αυτά που υπάρχουν

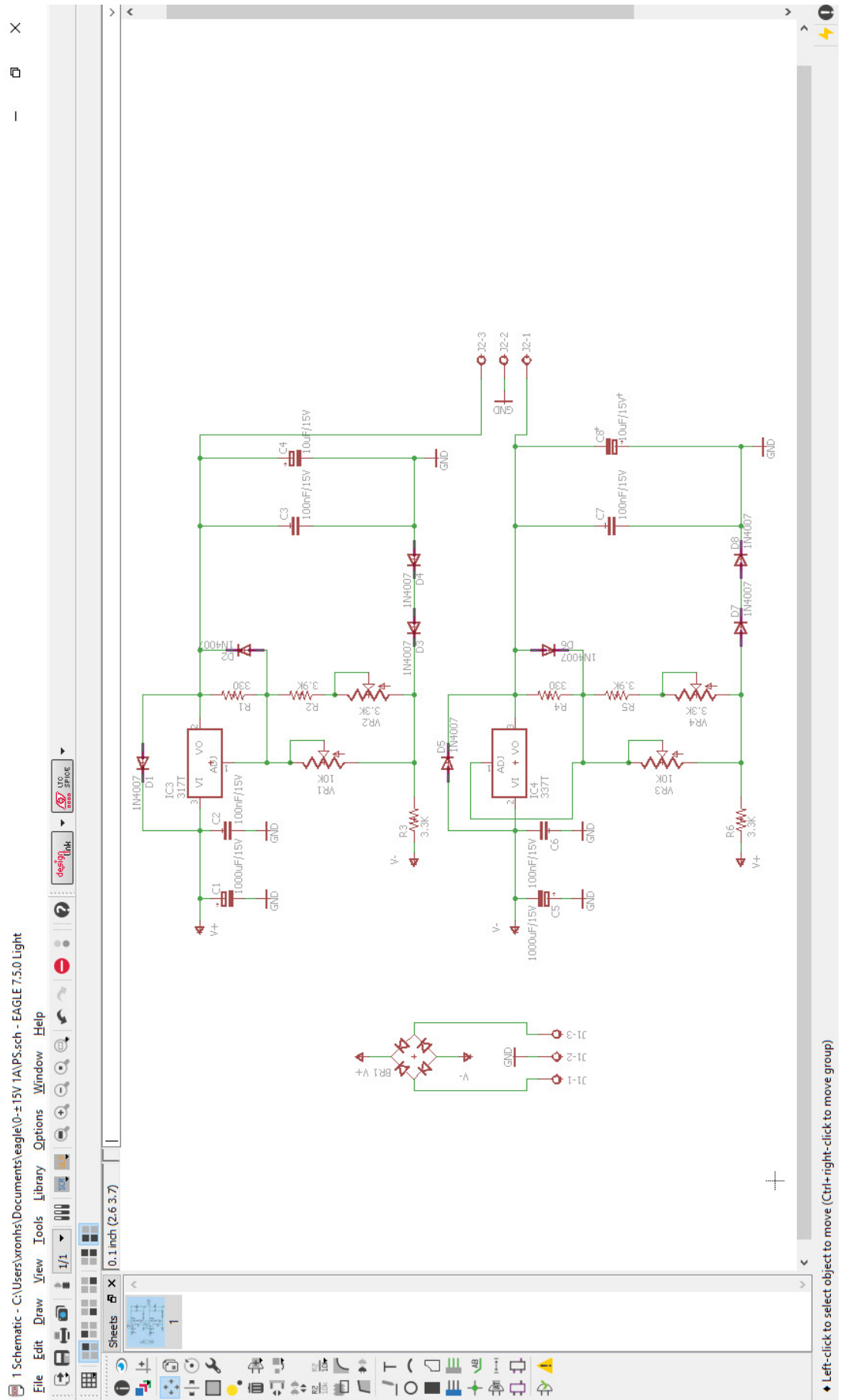
στο κύκλωμα για να είναι απλούστερο το σχηματικό και αυτό μπορεί να γίνει με την εντολή Value.

Με την εντολή Move τα εξαρτήματα που έχουν επιλεγθεί προηγουμένως μπορούν να μετακινηθούν και να τοποθετηθούν όπως φαίνεται στο κύκλωμα του Σχήματος 5.2.1 και στη συνέχεια με την εντολή Wire και την εντολή Junction μπορεί να γίνει η ένωση των εξαρτημάτων. Με την εντολή Wire επιλέγεται ο ένας ακροδέκτης ενός εξαρτήματος και στην συνέχεια όσο σύρεται ο κέρσορας ακολουθεί μια πράσινη γραμμή η οποία θα σταματήσει όταν επιλεγθεί ένας άλλος ακροδέκτης ενός εξαρτήματος για να γίνει η ένωσή τους. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.2.18.



Σχήμα 5.2.18: Ένωση δυο εξαρτημάτων.

Αφού γίνουν όλες οι ενώσεις το σχηματικό είναι έτοιμο και φαίνεται στο Σχήμα 5.2.19.



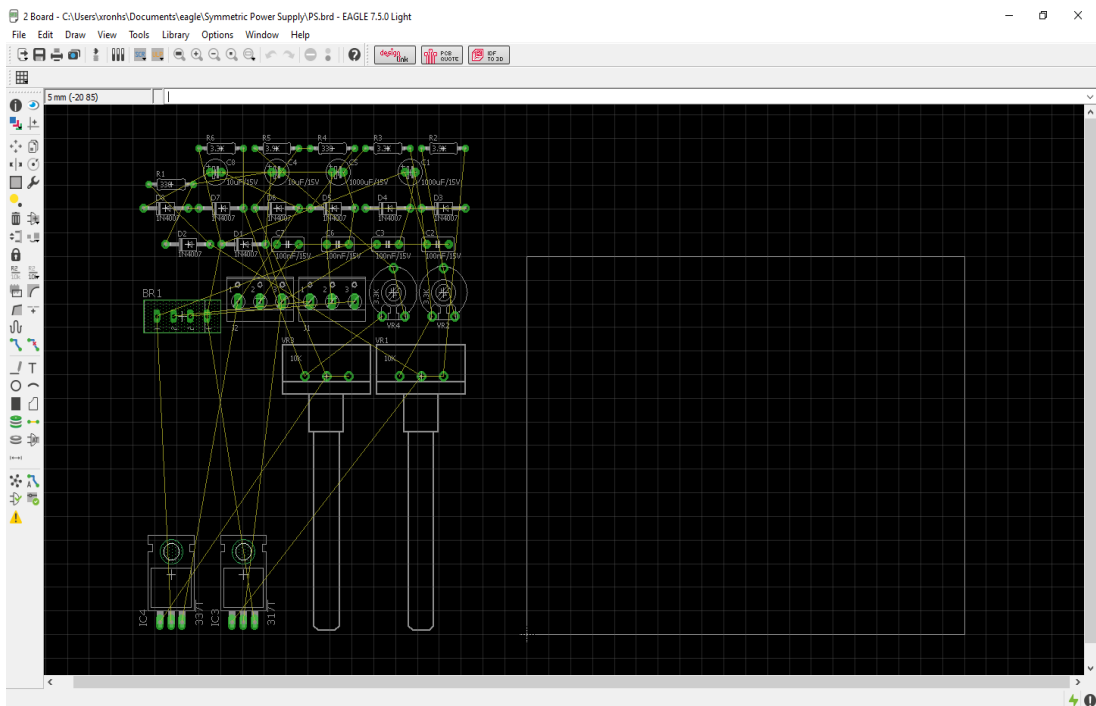
Σχήμα 5.2.19: Ολοκλήρωση σχηματικού.

5.3 Τυπωμένο μέρος (Board)

Αφού ολοκληρωθεί το σχηματικό μέρος, υπάρχει μια εντολή στο κεντρικό παράθυρο το οποίο όταν δοθεί η εντολή εκτέλεσης του, αυτόματα ανοίγει ένα νέο παράθυρο το οποίο είναι το κεντρικό παράθυρο του τυπωμένου. Η εντολή αυτή ονομάζεται Generate/switch to board και φαίνεται στο Σχήμα 5.3.1 ενώ το κεντρικό παράθυρο του τυπωμένου φαίνεται στο Σχήμα 5.3.2.




Σχήμα 5.3.1: Εντολή Generate/switch to board.

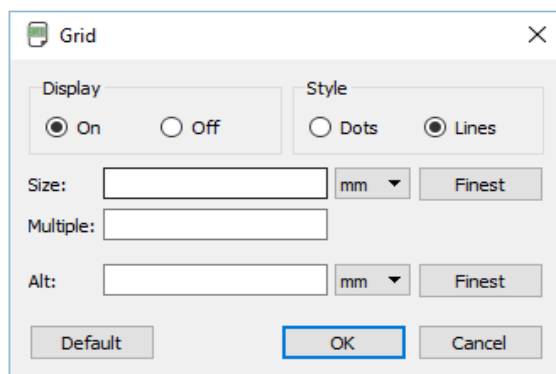


Σχήμα 5.3.2: Κεντρικό παράθυρο τυπωμένου (Board).

Στο κεντρικό παράθυρο του τυπωμένου κυκλώματος το πλαίσιο που υπάρχει στην μαύρη επιφάνεια είναι οι πραγματικές διαστάσεις της πλακέτας και μέσα σε αυτό τοποθετούνται όλα τα εξαρτήματα που βρίσκονται δίπλα του. Τα εξαρτήματα που φαίνονται στο Σχήμα 5.3.2 είναι αυτά που έχουν επιλεγεί από το σχηματικό μέρος και είναι οι πραγματικές διαστάσεις τους ενώ οι κίτρινες γραμμές δηλώνουν τη σύνδεση που πρέπει να γίνει μεταξύ των εξαρτημάτων ώστε να λειτουργήσει σωστά το κύκλωμα.

Σημείωση: Δεν είναι απαραίτητο να είναι ολόκληρο το εξάρτημα μέσα στο πλαίσιο, αλλά χρειάζεται να βρίσκονται απαραίτητα τα pads τους.

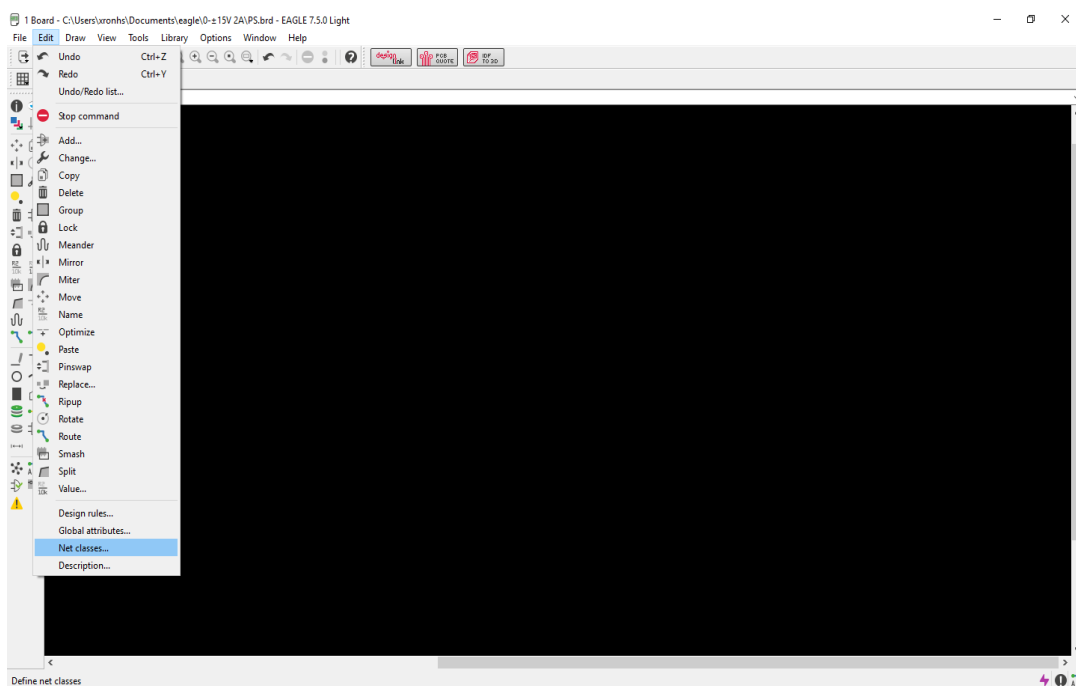
Η εντολή με το εικονίδιο  ονομάζεται Grid και ορίζει την ευαισθησία του πλέγματος που υπάρχει στην μαύρη επιφάνεια του κεντρικού παραθύρου. Η ευαισθησία αυτή βοηθάει στη μετακίνηση των εξαρτημάτων σε πιο μικρές αποστάσεις και βοηθάει το ίδιο το πρόγραμμα στη δημιουργία διαδρομών (traces) όταν χρησιμοποιηθεί το Autorouter. Συγκεκριμένα πατώντας το παραπάνω εικονίδιο ανοίγει το παράθυρο στο Σχήμα 5.3.3.



Σχήμα 5.3.3: παράθυρο Grid.

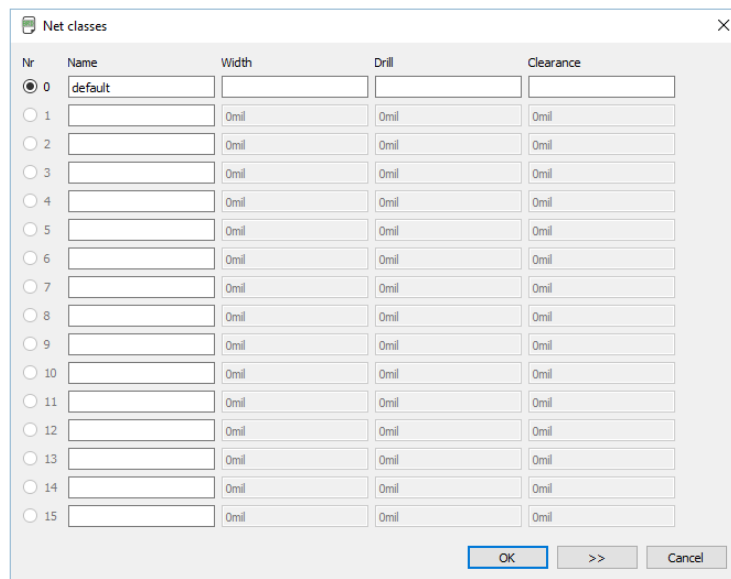
Το πιο σημαντικό σε αυτό το παράθυρο είναι το Size διότι αυτό καθορίζει τη πυκνότητα του πλέγματος ανάλογα την τιμή που θα οριστεί στο πλαίσιο και τι μονάδες πρόκειται να επιλεγθούν.

Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο τυπωμένο μέρος είναι ο ορισμός του πάχους της διαδρομής (Trace Width) και η απόσταση μεταξύ των διαδρομών (Trace Clearance). Για να πραγματοποιηθούν οι ορισμοί αυτοί πρέπει στην επιλογή Edit να επιλεγθεί το Net classes.



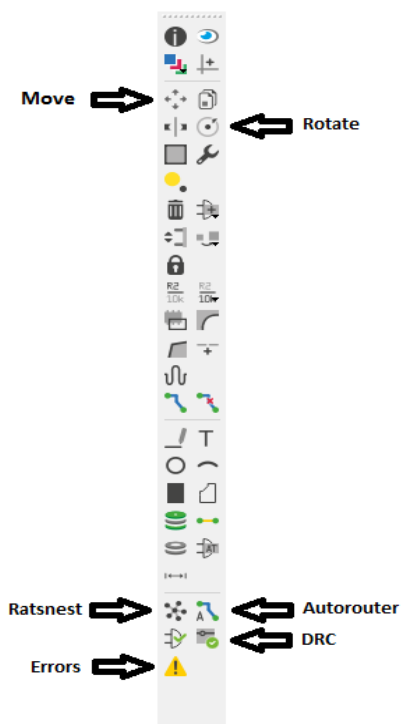
Σχήμα 5.3.4: Επιλογή Net classes.

Αφού πραγματοποιηθεί το παραπάνω βήμα, ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο και στην περιοχή Width τοποθετείται ο αριθμός που καθορίζει το πάχος που πρέπει να έχει ο αγωγός και στη περιοχή Clearance τοποθετείται ο αριθμός που καθορίζει την απόσταση που πρέπει να έχουν οι αγωγοί μεταξύ τους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δίπλα από τον αριθμό που πρόκειται να τοποθετηθεί στο πλαίσιο πρέπει να γραφούν και οι μονάδες που χρειάζονται (πχ mm, mil κλπ).



Σχήμα 5.3.5: Παράθυρο Net classes.

Στο αριστερό μέρος του παραθύρου υπάρχουν ορισμένες εντολές, εκ των οποίων αναφέρονται οι πιο σημαντικές.



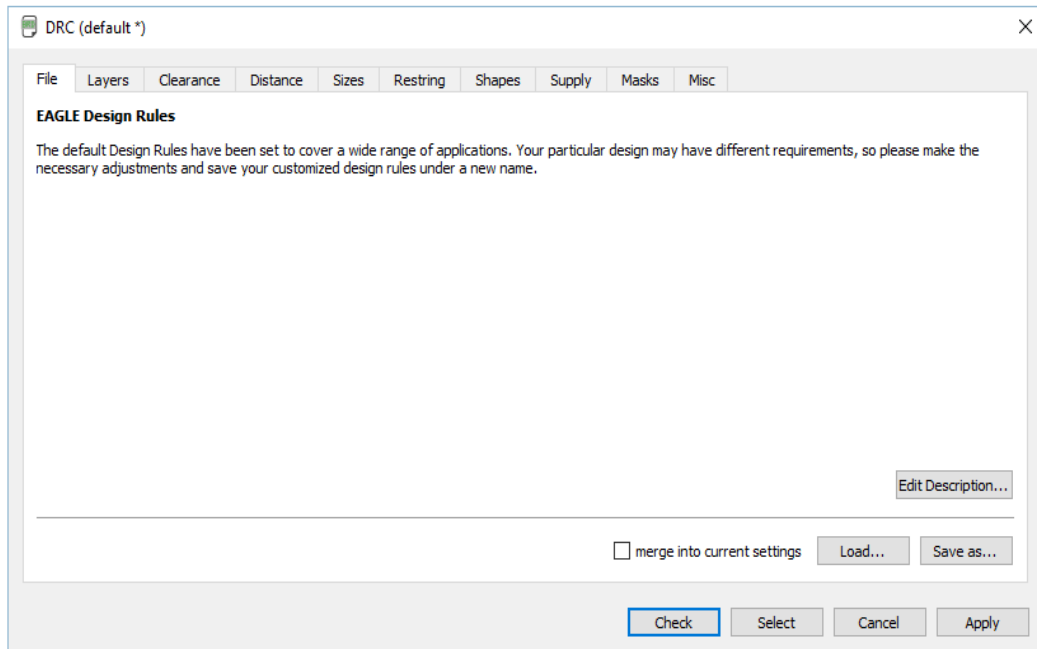
Σχήμα 5.3.6: Βασικές εντολές του τυπωμένου.

Move: Αυτή η εντολή έχει την ίδια λειτουργία με αυτή στο σχηματικό μέρος.

Rotate: Αυτή η εντολή έχει την ίδια λειτουργία με αυτή στο σχηματικό μέρος.

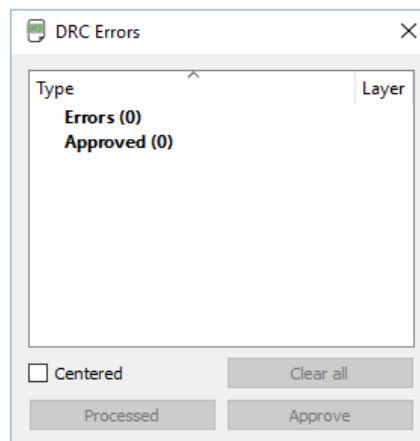
Ratsnest: Κάθε φορά που μετακινούνται τα εξαρτήματα μέσα στο χώρο της πλακέτας χρησιμοποιώντας αυτή την εντολή το πρόγραμμα ελέγχει αν υπάρχει πιο σύντομη διαδρομή για να ενωθούν οι ακροδέκτες που δεν έχουν συνδεθεί (απεικονίζεται με κίτρινες γραμμές).

DRC (Design Rule Check): Με αυτή την εντολή ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν και ορίζονται κάποιοι κανόνες όπου ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής του κυκλώματος μπορούν να διαμορφωθούν πετυχαίνοντας έτσι τις προδιαγραφές του τυπωμένου κυκλώματος.



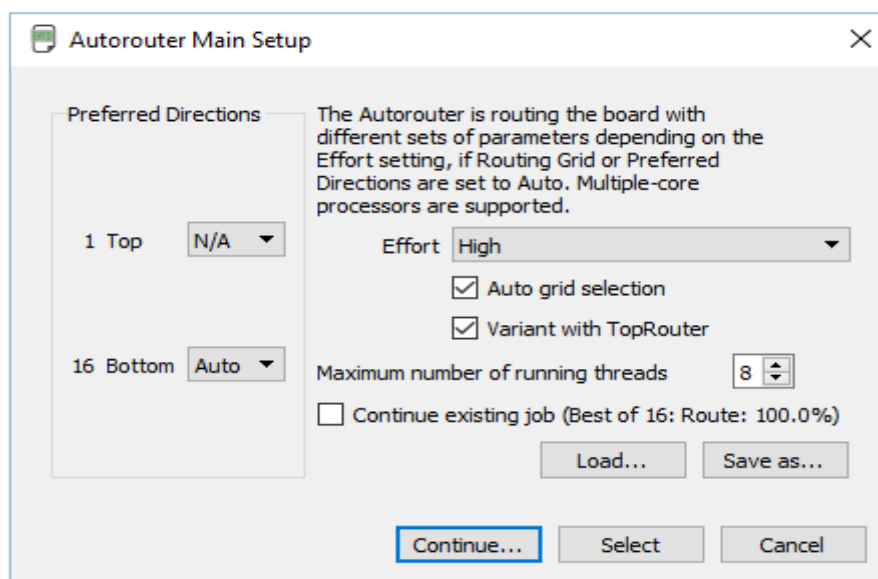
Σχήμα 5.3.7: Παράθυρο DRC.

Errors: Η εντολή αυτή είναι ίδια με αυτή του σχηματικού μέρους μόνο που εδώ το πρόγραμμα ελέγχει του κανόνες για το τυπωμένο μέρος, αφού σε αυτό το μέρος ακολουθούνται αυτοί οι κανόνες.



Σχήμα 5.3.8: Errors Παράθυρο.

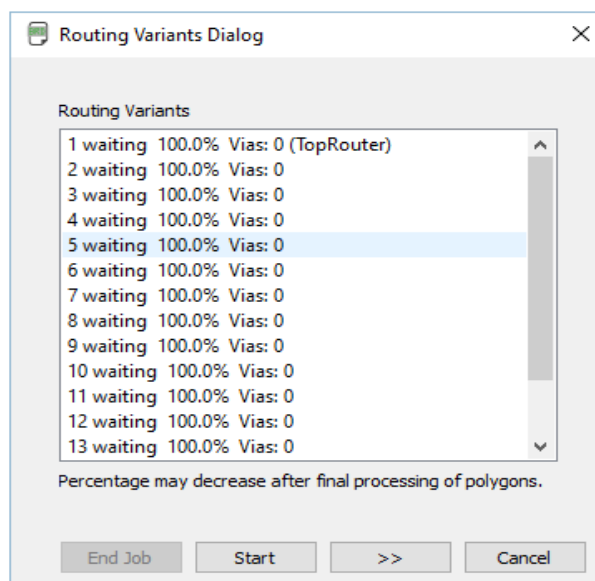
Autorouter: Το Autorouter χρησιμοποιείται για να ενώσει τα εξαρτήματα μεταξύ τους μέσω διαδρομών (νοητών αγωγών - νησίδων).



Σχήμα 5.3.9: Κεντρικό παράθυρο Autorouter.

Στο αριστερό μέρος του παραθύρου επιλέγονται πόσες και ποιες όψεις θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της πλακέτας. Στην δωρεάν έκδοση του προγράμματος Eagle μπορούν να επιλεγθούν μέχρι δυο όψεις, Top - άνω όψη και Bottom - κάτω όψη. Στο δεξί μέρος η επιλογή Effort καθορίζει στο πρόγραμμα πόσες εναλλακτικές διαδρομές επιτρέπονται να κατασκευάσει το πρόγραμμα με βάση τις ενώσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν και τους κανόνες που έχουν δοθεί για να ολοκληρωθεί η ένωση των εξαρτημάτων μέσω διαδρομών.

Κατά την επιλογή του Continue ανοίγει ένα νέο παράθυρο (Σχήμα 5.3.10) το οποίο έχει όλες τις εναλλακτικές διαδρομές που έχει σχεδιάσει το ίδιο το πρόγραμμα και μόλις επιλεγθεί το Start τότε το πρόγραμμα τρέχει αυτές τις εναλλακτικές διαδρομές.



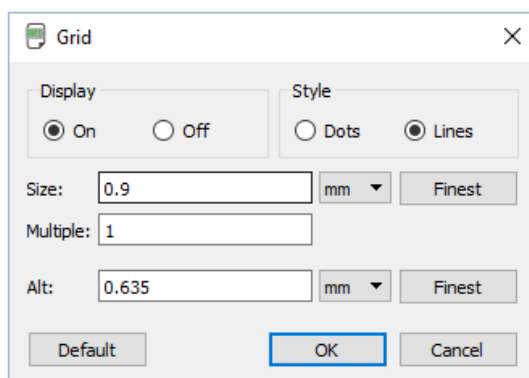
Σχήμα 5.3.10: Παράθυρο με τις παραλλαγές του Autorouter.

Μόλις το πρόγραμμα ολοκληρώσει όλες τις εναλλακτικές διαδρομές, ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την επιθυμητή διαδρομή που έχει σχεδιαστεί.

5.4 Παράδειγμα σχεδίασης ηλεκτρονικού κυκλώματος στο τυπωμένο μέρος

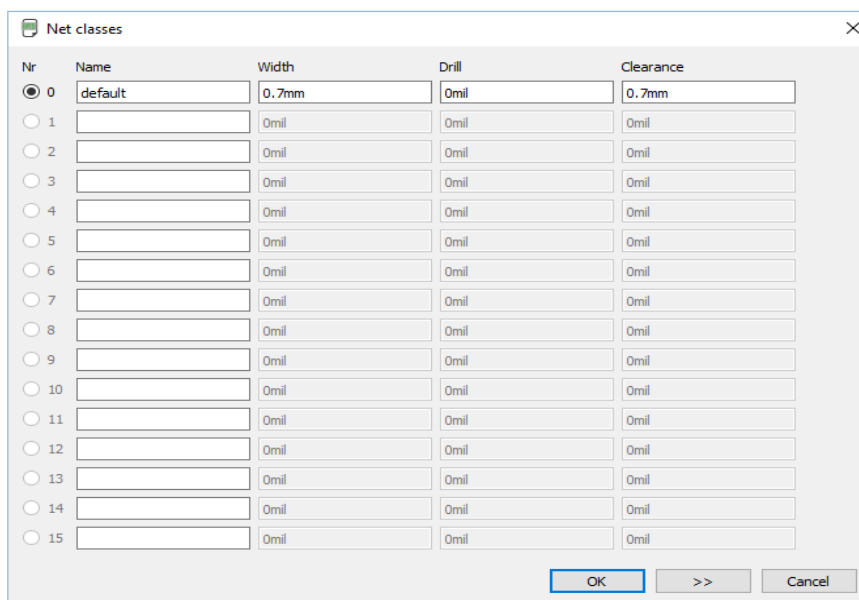
Αφού ολοκληρωθεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα στο σχηματικό μέρος επιλέγεται η εντολή Generate/switch to board η οποία ανοίγει το παράθυρο του Σχήματος 5.3.2 όπου φαίνονται όλα τα εξαρτήματα που είχαν επιλεχθεί στο σχηματικό μέρος και όλες οι ενώσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Το πρώτο βήμα είναι να γίνει δήλωση στο Grid. Οι προτεινόμενες επιλογές φαίνονται στο Σχήμα 5.4.1.



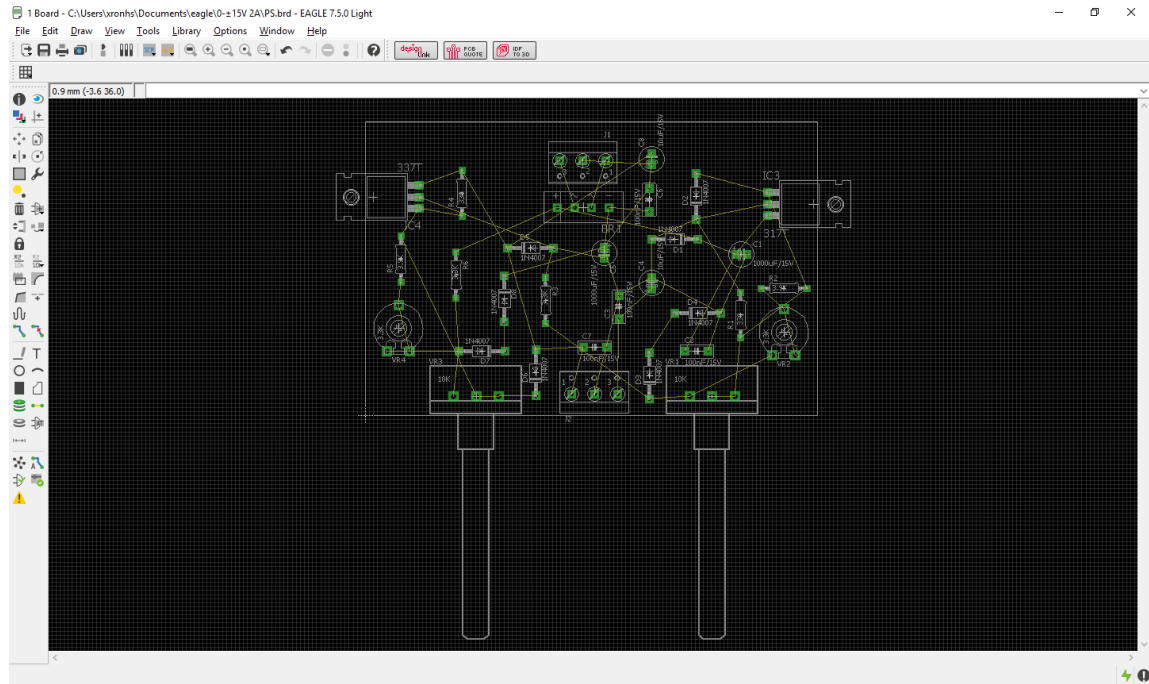
Σχήμα 5.4.1: Επιλογές Grid.

Το δεύτερο και σημαντικό βήμα είναι να οριστούν τα Net classes όπου στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι ορισμοί παίρνουν τις τιμές του Σχήματος 5.4.2.



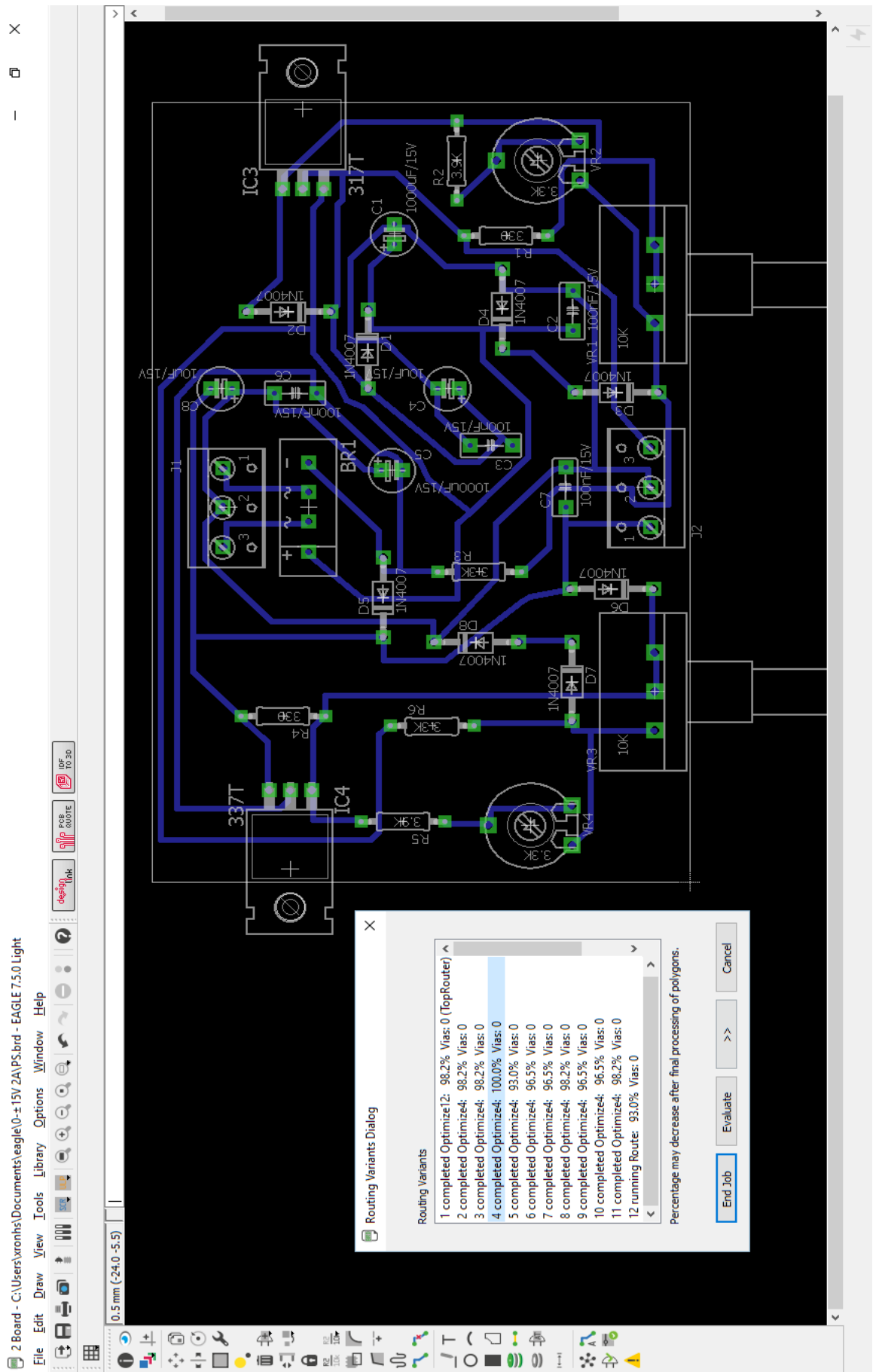
Σχήμα 5.4.2: Τιμές για Net classes.

Στη συνέχεια με τις εντολές Move και Rotate μετακινούνται όλα τα εξαρτήματα και τοποθετούνται μέσα στο πλαίσιο. Όταν όλα τα εξαρτήματα τοποθετηθούν μέσα στο πλαίσιο και σε επιθυμητό σημείο τότε χρησιμοποιείται η εντολή Ratsnest και στη συνέχεια το Autorouter για να δημιουργηθούν οι διαδρομές.



Σχήμα 5.4.3: Εξαρτήματα εντός πλαισίου.

Σε αυτό το παράδειγμα δημιουργείται η πλακέτα μίας όψης οπότε στο αριστερό μέρος του παραθύρου του Autorouter, επιλέγεται για το Top η επιλογή N/A που δηλώνει ότι αυτή η όψη δεν θα χρησιμοποιηθεί και στο Bottom επιλέγεται Auto για να μπορεί το πρόγραμμα να βγάλει πολλές εναλλακτικές διαδρομές για τη συγκεκριμένη όψη συνδυάζοντας το με το Effort να είναι High. Αυτές οι επιλογές φαίνονται και στο Σχήμα 5.3.9. Στη συνέχεια, επιλέγοντας το Continue ανοίγει το παράθυρο του Σχήματος 5.3.10 και κατόπιν επιλογής του Start το πρόγραμμα αρχίζει την διαδικασία της ένωσης των εξαρτημάτων μεταξύ τους μέσω διαδρομών, με τους κανόνες που έχουν οριστεί. Όταν ολοκληρωθούν όλες οι εναλλακτικές επιλογές, επιλέγεται η κατάλληλη, ή όποια είναι επιθυμητή από εμάς.



Σχήμα 5.4.4: Ολοκλήρωση του Autorouter.

Κεφάλαιο 6: Διεπικοινωνιακά προγράμματα

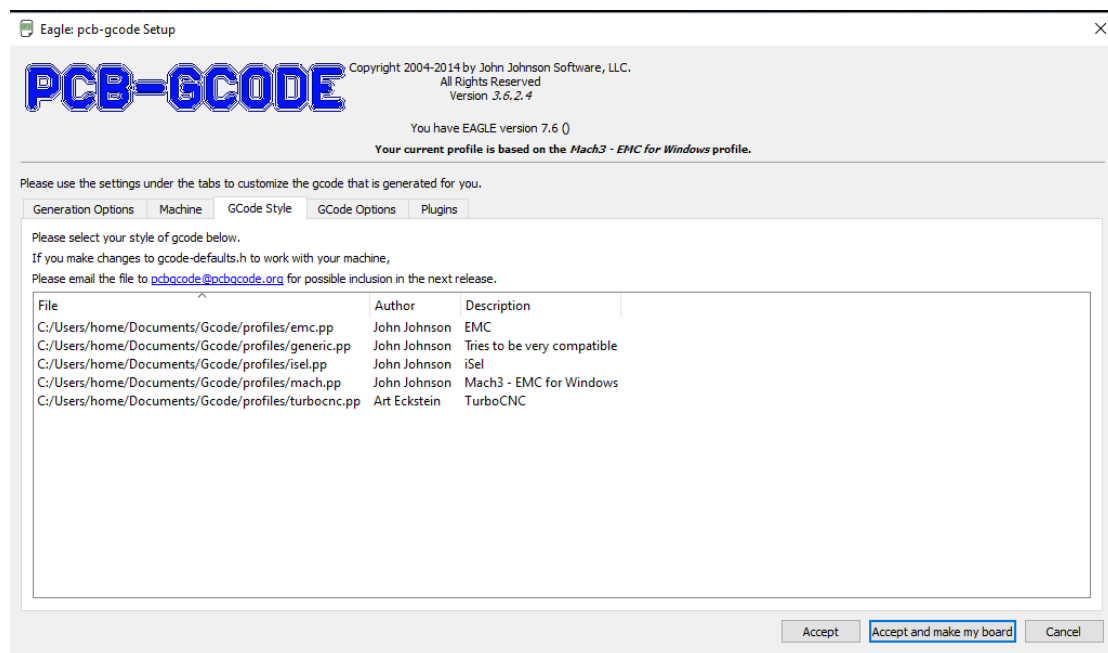
Τα διεπικοινωνιακά προγράμματα μετατρέπουν αρχεία – σχέδια από CAD προγράμματα, όπως το Eagle, σε ένα κώδικα Gcode ώστε το πρόγραμμα που ελέγχει το CNC να διαβάσει το σχέδιο και να δώσει τις κατάλληλες εντολές στο μηχάνημα.

Επίσης υπάρχουν διεπικοινωνιακά προγράμματα τα οποία βοηθούν το πρόγραμμα που ελέγχει το CNC να αναγνωρίσει αν το υλικό που θα επεξεργαστεί είναι επίπεδο ή ακόμα και να αντιγράψει το πρωτότυπο σχέδιο του υλικού και να το μετατρέψει σε κώδικα Gcode. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε δυο διεπικοινωνιακά προγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός τυπωμένου κυκλώματος με χρήση CNC.

6.1 PCB-Gcode

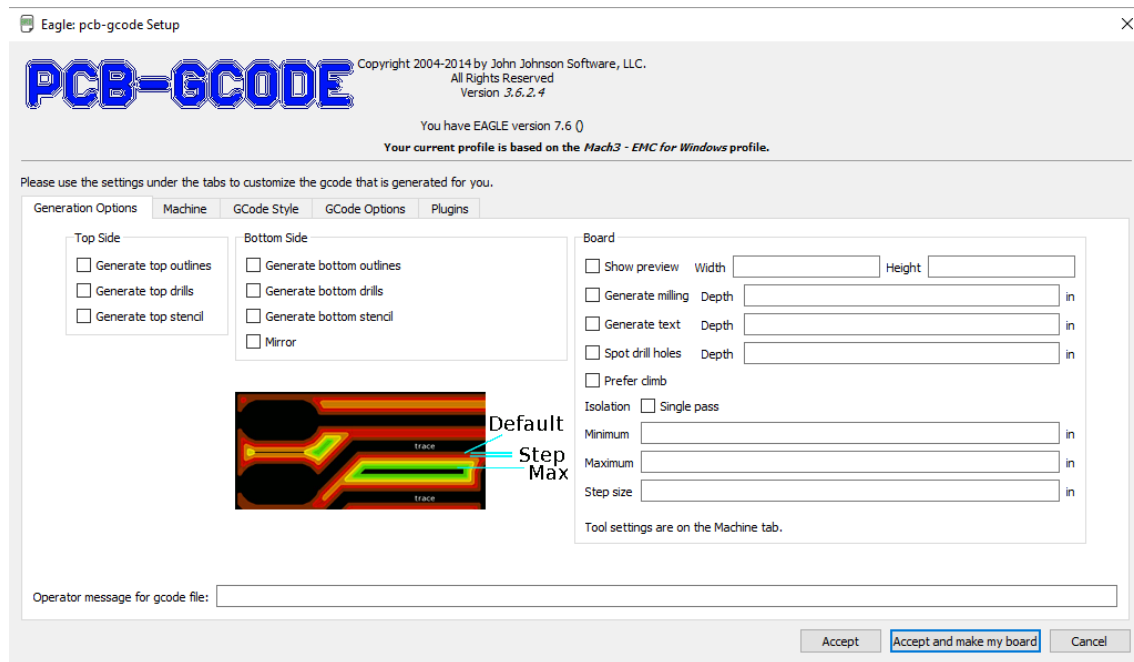
Το PCB-Gcode είναι ένα δωρεάν διεπικοινωνιακό πρόγραμμα που υπάρχει στο διαδίκτυο και είναι σημαντικό διότι μετατρέπει το σχηματικό μέρος του Eagle σε κώδικα Gcode. Με τις κατάλληλες ρυθμίσεις ο κώδικας αυτός έχει ακριβείς διαστάσεις της πλακέτας, των αγωγών, το βάθος τρυπήματος που πρέπει να κάνει ώστε να τοποθετηθούν σε αυτές, τα εξαρτήματα κ.λπ. και έτσι το CNC μηχάνημα έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει το ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Τα βασικά παράθυρα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του Gcode είναι τρία.



Σχήμα 6.1.1: Παράθυρο Gcode style.

Ανάλογα με το πρόγραμμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του CNC μηχανήματος το PCB-Gcode δημιουργεί ανάλογο G κώδικα, έτσι ώστε να επιλεγθεί το σωστό στυλ.



Σχήμα 6.1.2: Παράθυρο Generation Options.

Σε αυτό το παράθυρο βρίσκονται οι γενικές επιλογές. Τα Top Side (άνω όψη) και Bottom Side (κάτω όψη) αντιπροσωπεύουν τις όψεις που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της πλακέτας.

Generate Top/Bottom Outlines: Επιλέγεται όταν πρόκειται το πρόγραμμα να δημιουργήσει τοGcode για τα track, pads, pours και vias. στην άνω ή κάτω όψη.

Generate Top/Bottom Drills: Επιλέγεται στη περίπτωση που το πρόγραμμα πρέπει να δημιουργήσει κώδικα για τις τρύπες που πρέπει να γίνουν στην πλακέτα ώστε να τοποθετηθούν τα εξαρτήματα στην άνω ή κάτω όψη.

Generate Top/Bottom Stencil: Οι ρυθμίσεις αυτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μάσκας stencil, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόθεση πάστας κόλλησης στη πλακέτα, μετά τη δημιουργία της. Ουσιαστικά σε διάφανο φύλλο χοντρού πλαστικού κόβονται οι οπές, στις οποίες πρόκειται να κολληθούν τα εξαρτήματα.

Το Board έχει ορισμένες επιλογές. Η κάθε επιλογή αντιπροσωπεύει ένα G κώδικα. Το Depth ορίζει το βάθος κοπής ή χάραξης. Συγκεκριμένα:

Show preview: Χρησιμοποιείται για την προεπισκόπηση του κυκλώματος με βάση τον G κώδικα που έχει δημιουργηθεί από το πρόγραμμα. Δίπλα από την επιλογή δηλώνεται η διάσταση του παραθύρου (μήκος, ύψος) που εμφανίζεται στο τέλος.

Generate milling: Επιλέγεται όταν πρόκειται να κοπεί περιμετρικά η πλακέτα.

Generate text: Δημιουργεί κώδικα για τα κείμενα που έχουν σχεδιαστεί από το πρόγραμμα Eagle τα οποία πρέπει να εμφανιστούν στην πλακέτα.

Spot drill holes: Είναι μια ρύθμιση στην οποία ρυθμίζεται το βάθος του πονταρίσματος στο σημείο που θα γίνουν οι τρύπες στην πλακέτα για να περάσουν τα εξαρτήματα. Αυτό συμβαίνει αφού δημιουργηθούν οι αγωγοί που απαιτούνται, και βοηθάει στο κεντράρισμα στην αρχή του τρυπήματος.

Prefer climb: Με την επιλογή αυτής της εντολής το CNC μηχάνημα αποφασίζει να κινείται σε όλες τις διαστάσεις κατά τη διάρκεια του φρεζαρίσματος. Δηλαδή μπορεί και πηδάει διαδρομές τις οποίες τις κάνει αργότερα. Έτσι επιτυγχάνεται καλύτερος χρόνος φρεζαρίσματος.

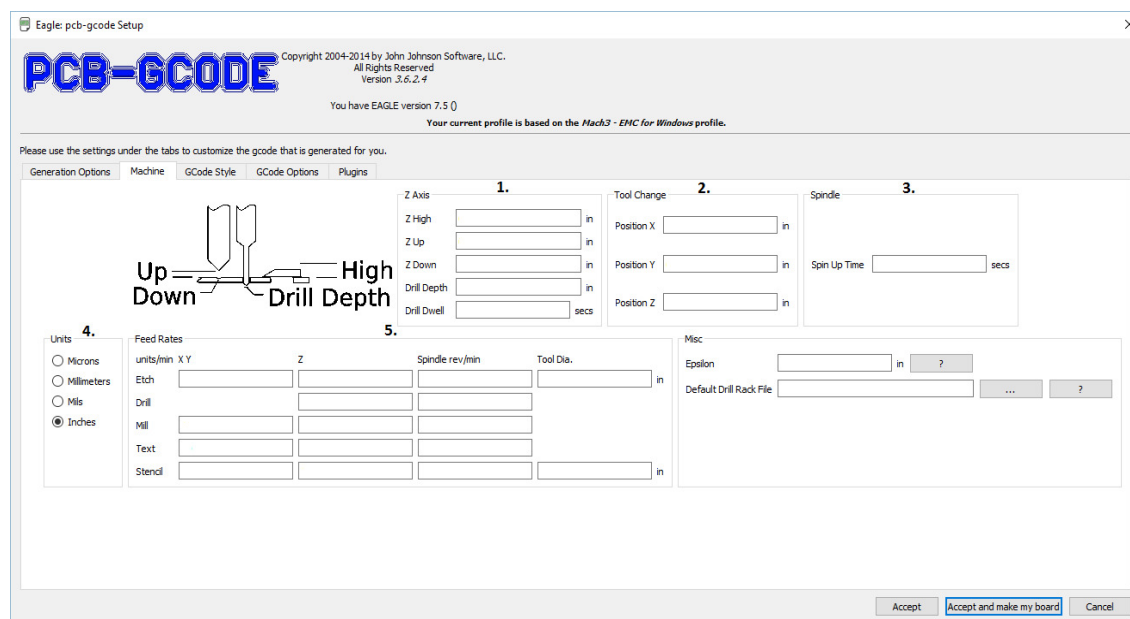
Isolation: Η φρέζα περνάει παραπάνω από μια φορές γύρω από τους αγωγούς και κάθε φορά σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτούς για την αποφυγή μικρών κομματιών χαλκού που μπορεί να έχουν μείνει με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνουν το κύκλωμα.

Single pass: Όταν επιλέγεται, η κοπτική κεφαλή περνάει μόνο μια φορά γύρω από τους αγωγούς.

Minimum: Είναι η μικρότερη απόσταση που μπορεί να έχει η μύτη του κονδυλίου με τον αγωγό.

Maximum: Είναι η μεγαλύτερη απόσταση που μπορεί να έχει η μύτη του κονδυλίου με τον αγωγό.

Step size: Το step size δηλώνει στο πρόγραμμα πόσος χώρος χρειάζεται για το trace clearance σε σχέση με τα κονδύλια που θα χρησιμοποιηθούν. Η τιμή ορίζεται σε μονάδες και βγαίνει αναλογικά με τα χιλιοστά του κονδυλίου που θα χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 6.1.3: Παράθυρο Machine.

Σε αυτό το παράθυρο δίνονται οι εντολές για τη ταχύτητα και το βάθος που επιθυμείται να χρησιμοποιήσει το CNC, το τύπο κονδυλίου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και τι μονάδες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της πλακέτας. Σε αυτό το μέρος αναφέρονται οι πιο σημαντικές επιλογές.

1. Στο Z Axis δίνονται οι διαστάσεις του άξονα Z για τη χάραξη της πλακέτας.

Z High: Θέτει ένα ασφαλές ύψος από την επιφάνεια της πλακέτας στο οποίο η κοπτική κεφαλή μπορεί να κινείται, έτσι ώστε να μην ακουμπήσει κάτι το οποίο μπορεί να βρίσκεται στην περιοχή αυτή.

Z Up: Ορίζεται ένα ασφαλές ύψος για να μπορεί να μετακινείται η φρέζα στην επιφάνεια της πλακέτας χωρίς να την καταστρέψει.

Z Down: Ορίζεται το βάθος που χρειάζεται να κάνει η κοπτική κεφαλή στη πλακέτα για να δημιουργήσει το ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Drill Depth: Ορίζεται το βάθος της τρύπας που πρόκειται να κάνει το CNC μηχάνημα στη πλακέτα.

Drill Dwell: Εδώ δηλώνεται ο χρόνος που πρόκειται να παραμείνει στάσιμο το CNC μηχάνημα, σε κάθε τρύπημα που ολοκληρώνεται.

2. Το Tool Change οδηγεί τη φρέζα σε ένα σημείο που ορίζεται από τα Position X, Position Y και Position Z για να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής κονδυλίου σε περίπτωση που υπάρχουν διαφορετικού διαμέτρου τρύπες, που πρέπει να γίνουν στη πλακέτα.
3. Με το Spindle ορίζεται ο χρόνος που πραγματοποιείται για να φτάσει στις επιθυμητές στροφές η φρέζα κατά την ενεργοποίησή της. Αν το CNC μηχάνημα έχει χειροκίνητο έλεγχο στροφών τότε αυτή η εντολή δεν χρησιμοποιείται.
4. Το Units αντιπροσωπεύει τις μονάδες μέτρησης από τις οποίες επιλέγεται μόνο μια και πρέπει να είναι κοινή με το πρόγραμμα Eagle καθώς και με όποιο πρόγραμμα συμβάλει στην κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος.
5. Στο Feed Rates δίνονται ορισμένες τιμές που καθορίζουν τον έλεγχο της ταχύτητας με την οποία η κοπτική κεφαλή πρέπει να κινηθεί κατά τη διαδικασία κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό το κομμάτι είναι σημαντικό διότι τα κονδύλια που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος είναι αρκετά ευαίσθητα λόγω γεωμετρίας και μπορούν εύκολα να καταστραφούν σε περίπτωση που η φρέζα κινείται με μεγάλη ταχύτητα.

Για τις στήλες ισχύουν τα παρακάτω:

XY: Αναφέρεται στην επιφάνεια του CNC.

Z: Αναφέρεται στον κάθετο άξονα (άξονας Z) του μηχανήματος.

Spindle rev/min: Αναφέρεται στις στροφές που πρόκειται να αναπτύξει η φρέζα. Σε περίπτωση που το μηχάνημα έχει χειροκίνητο χειρισμό στροφών τότε αυτή η στήλη δεν είναι απαραίτητη.

Tool Dia: Αναφέρεται στη διάμετρο του κονδυλίου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Για τις γραμμές ισχύουν τα ακόλουθα:

Etch: Το Etch αναφέρεται στην χάραξη των αγωγών για την κατασκευή της πλακέτας.

Drill: Ορίζει την ταχύτητα τρυπήματος.

Mill: Αναφέρεται στην περιμετρική κοπή της πλακέτας.

Text: Το Text, πρόκειται για τα κείμενα.

Stencil: Αντιπροσωπεύει τις ρυθμίσεις της μάσκας.

Μόλις ολοκληρωθούν οι ρυθμίσεις, πατώντας το κουμπί Accept and make my board to PCB – Gcode ανοίγει αυτόματα ορισμένα παράθυρα, όπως αυτό του Σχήματος 6.1.4, δείχνει πως είναι η πλακέτα με βάση το κώδικα που έχει δημιουργηθεί.




Σχήμα 6.1.4: Εμφάνιση πλακέτας με βάση τον κώδικα.

Οι έγχρωμες γραμμές είναι εκεί που πρόκειται να περάσει η φρέζα του CNC μηχανήματος, τα μπλε X δηλώνουν τα σημεία στα οποία πρέπει η κοπτική κεφαλή να τρυπήσει και τέλος το μαύρο φόντο μέσα στο πλαίσιο δηλώνει τον χαλκό που παραμένει στην πλακέτα.

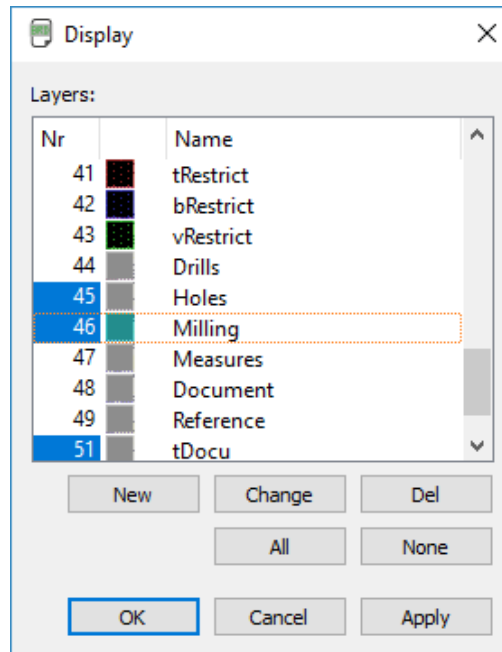
Επίσης μετά την ολοκλήρωση των ρυθμίσεων δημιουργείται ένα πακέτο αρχείων, τα οποία αντιστοιχούν στις εντολές που έχουν επιλεγεί για τη δημιουργία του κώδικα. Συγκεκριμένα βρίσκονται στην ίδια θέση με αυτή που υπάρχει το σχηματικό αρχείο του προγράμματος Eagle και αυτά τα αρχεία είναι το ###.etch.tap, το ###.drill.tap, το ###.mill.tap, το ###.text.tap και το ###.stencil.tap. Το αρχείο σε μορφή etch είναι ο κώδικας που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει το τυπωμένο κύκλωμα το CNC μηχανήμα, το αρχείο σε μορφή drill είναι ο κώδικας που χρησιμοποιείται για να κάνει μόνο τις τρύπες, το αρχείο σε μορφή mill χρησιμοποιείται για να κόψει περιμετρικά την πλακέτα, το αρχείο σε μορφή text είναι ο κώδικας για την χάραξη των κειμένων και το αρχείο σε μορφή stencil είναι ο κώδικας για τη δημιουργία της μάσκας. Όταν δοθεί η εντολή Accept and make my board στο διεπικοινωνιακό πρόγραμμα, γίνεται η δημιουργία του G κώδικα για όποια όψη έχει επιλεγεί (Top Side και Bottom Side) και δημιουργείται ένα πακέτο αρχείων για κάθε επιλεγμένη όψη.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι εάν είναι επιθυμητή η κοπή της πλακέτας περιμετρικά, πρέπει να γίνουν ορισμένες αλλαγές στο Eagle. Συγκεκριμένα το PCB – Gcode δεν αναγνωρίζει το Dimension Layer (το οποίο αντιπροσωπεύει τη περίμετρο της εικονικής πλακέτας), γι' αυτό πρέπει να αλλαχθεί σε Milling Layer ώστε όταν γίνει η επιλογή του Generate milling το πρόγραμμα να αναγνωρίσει τη περίμετρο της πλακέτας για να δημιουργήσει κώδικα στο αρχείο ###.mill.tap.


Αρχικά πρέπει να επιλεγεί από το αριστερό μέρος του κεντρικού παραθύρου (Σχήμα 5.3.6)

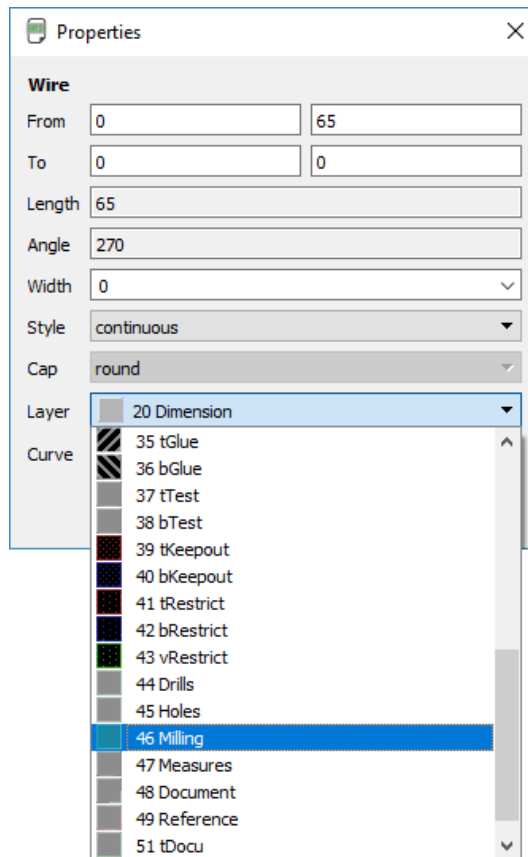
η εντολή με το εικονίδιο . Αυτή η εντολή ανοίγει ένα μικρό παράθυρο, το οποίο περιέχει όλα τα Layer του προγράμματος Eagle. Τα Layer αντιπροσωπεύουν μια λειτουργία, για

παράδειγμα το BottomLayer αντιπροσωπεύει τους αγωγούς της κάτω όψης. Στο παράθυρο του Σχήματος 6.1.5 πρέπει να ενεργοποιηθεί το Milling Layer, ώστε να εμφανίζεται αυτή η λειτουργία στο κεντρικό παράθυρο. Η ενεργοποίηση γίνεται πατώντας στον αριθμό του Layer (46) ώστε να γίνει το πλαίσιο του αριθμού μπλέ, και στη συνέχεια επιλέγεται το Apply και OK.



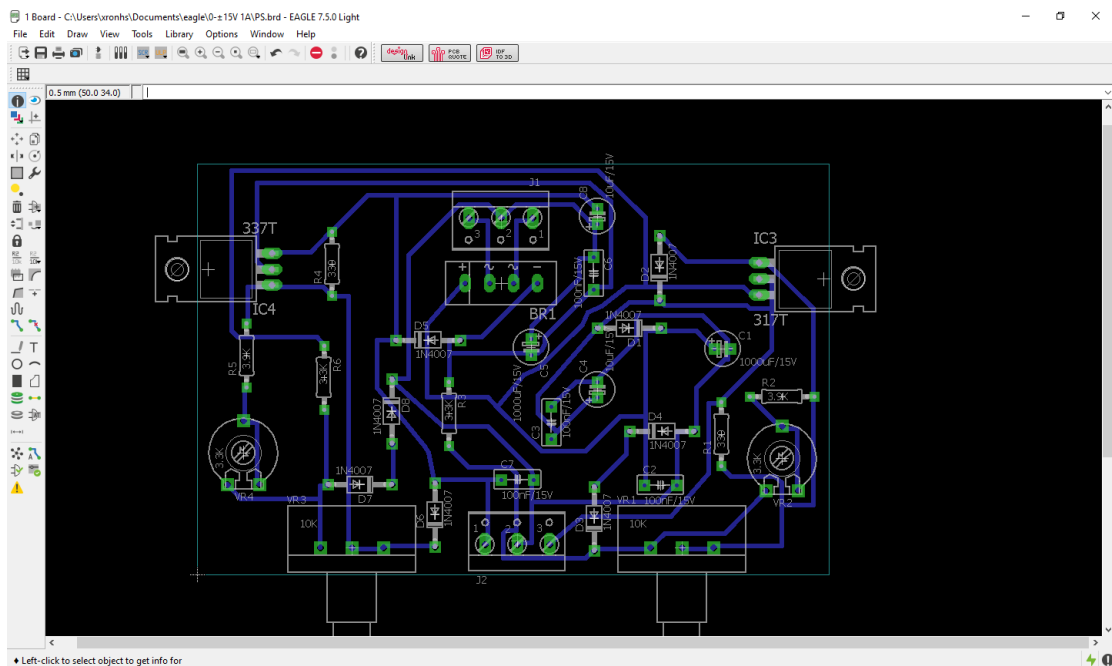
Σχήμα 6.1.5: Παράθυρο του Layer.

Στη συνέχεια, στο ίδιο μέρος του κεντρικού παραθύρου (Σχήμα 5.3.6), επιλέγεται η εντολή με την εικόνα  και πατώντας πάνω στην γραμμή του πλαισίου, ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο περιέχει τις ιδιότητες αυτής της γραμμής. Σε αυτό το παράθυρο, στη γραμμή Layer επιλέγεται το Milling ώστε να γίνει η αλλαγή του Layer από Dimension σε Milling.



Σχήμα 6.1.6: Παράθυρο ιδιοτήτων.

Αυτή η διαδικασία γίνεται και για τις τέσσερις γραμμές, με τελικό αποτέλεσμα να αλλάζει χρώμα το πλαίσιο κάνοντας το ίδιο χρώμα με το επιλεγμένο Layer όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1.7.



Σχήμα 6.1.7: Αλλαγή Layer του πλαισίου.

Για τα κείμενα πρέπει να ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία. Δηλαδή πρέπει να αλλαχθούν τα bText ή tText Layer σε Milling Layer. Έτσι στο διεπικοινωνιακό πρόγραμμα με την επιλογή

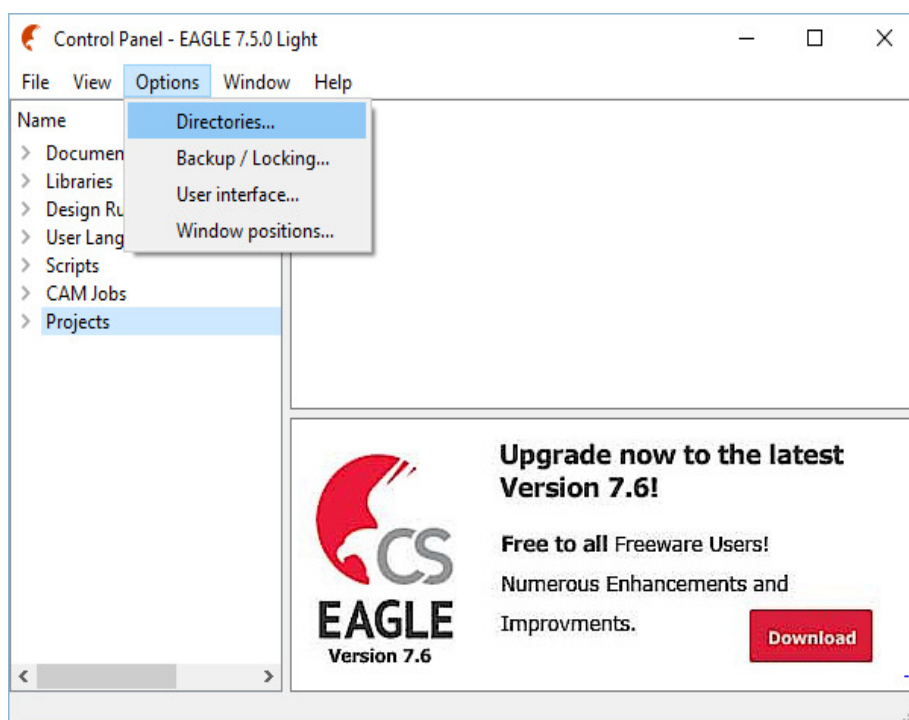
της εντολής Generate text να μπορέσει να δημιουργήσει τον κώδικα για αυτά τα κείμενα. Το πρόγραμμα αυτό έχει την ιδιότητα να γνωρίζει από ποια όψη έχει γίνει η αλλαγή του Layer (άνω ή κάτω όψη) και δημιουργεί ανάλογο αρχείο tap (δηλαδή ###.text.tap για άνω ή κάτω όψη).

6.2 Παράδειγμα ορισμού παραμέτρων του PCB-Gcode

Προτού γίνει αναφορά για το πώς ορίζονται οι παράμετροι του προγράμματος είναι καλό να γίνει αναφορά για την εγκατάστασή του.

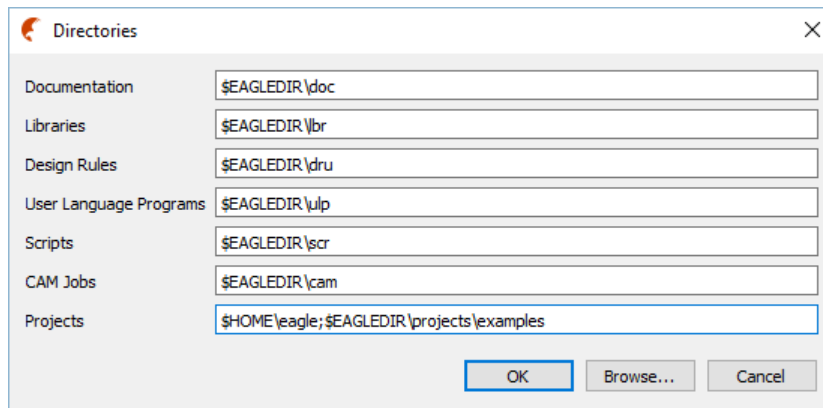
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το PCB – Gcode είναι ελεύθερο στο διαδίκτυο. Υπάρχει σε μορφή συμπιεσμένου αρχείου, συνεπώς χρειάζεται μια εφαρμογή για την αποσυμπίεσή του. Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, τα αρχεία που προκύπτουν σώζονται σε ένα φάκελο με όποια ονομασία επιθυμείται και μεταφέρεται σε ένα σημείο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου πρέπει να είναι γνωστή η διεύθυνσή του. Αυτό είναι απαραίτητο διότι η διεύθυνση αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα αν ο φάκελος ονομαστεί PCB – Gcode και μεταφερθεί στο κεντρικό φάκελο “Εγγραφα (Documents)” η διεύθυνση είναι: “C:\Users\χρονhs\Documents\PCB-Gcode”.

Στη συνέχεια ανοίγοντας το πρόγραμμα Eagle Cad, στο κεντρικό παράθυρο επιλέγεται το Options→ Directories... όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2.1.

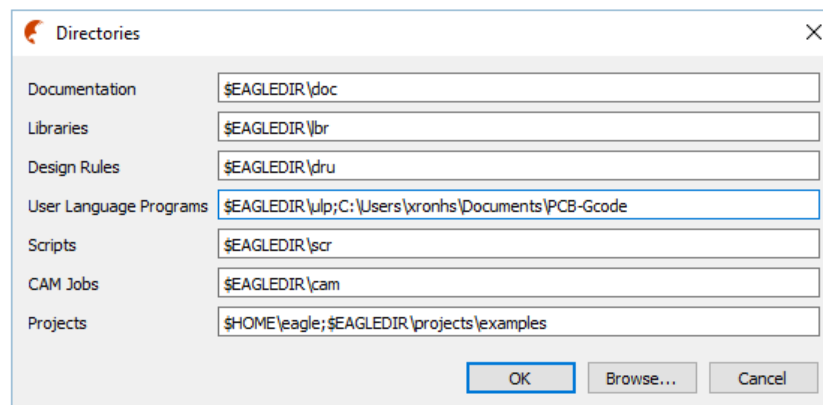


Σχήμα 6.2.1: Επιλογή Directories.

Μόλις γίνει η επιλογή ανοίγει το παράθυρο στο Σχήμα 6.2.2 όπου σε αυτό αντιγράφεται η διεύθυνση που σώθηκε ο φάκελος PCB – Gcode στη γραμμή User Language Programs. Προσοχή! Η υπάρχουσα διεύθυνση δεν πρέπει να διαγραφεί διότι το πρόγραμμα Eagle δεν θα λειτουργεί. Απλά δίπλα από αυτό συμπληρώνεται η διεύθυνση όπου στο ενδιαμέσο τους τοποθετείται ένα ελληνικό ερωτηματικό όπως στο Σχήμα 6.2.3.



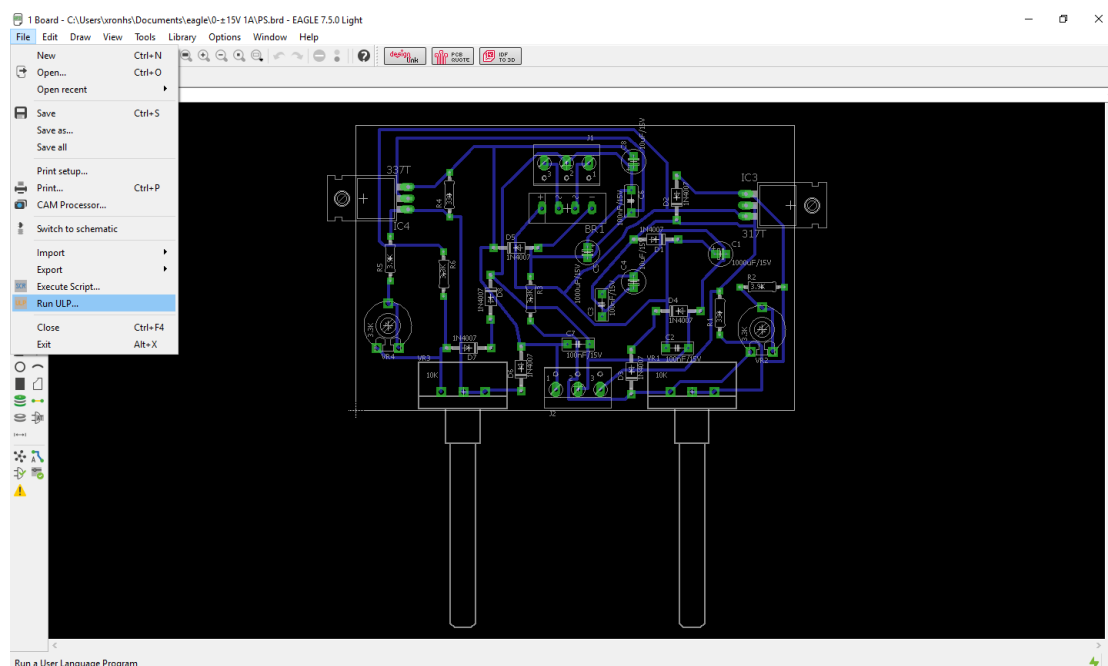
Σχήμα 6.2.2: Παράθυρο Directories.



Σχήμα 6.2.3: Αντιγραφή διεύθυνσης φακέλου.

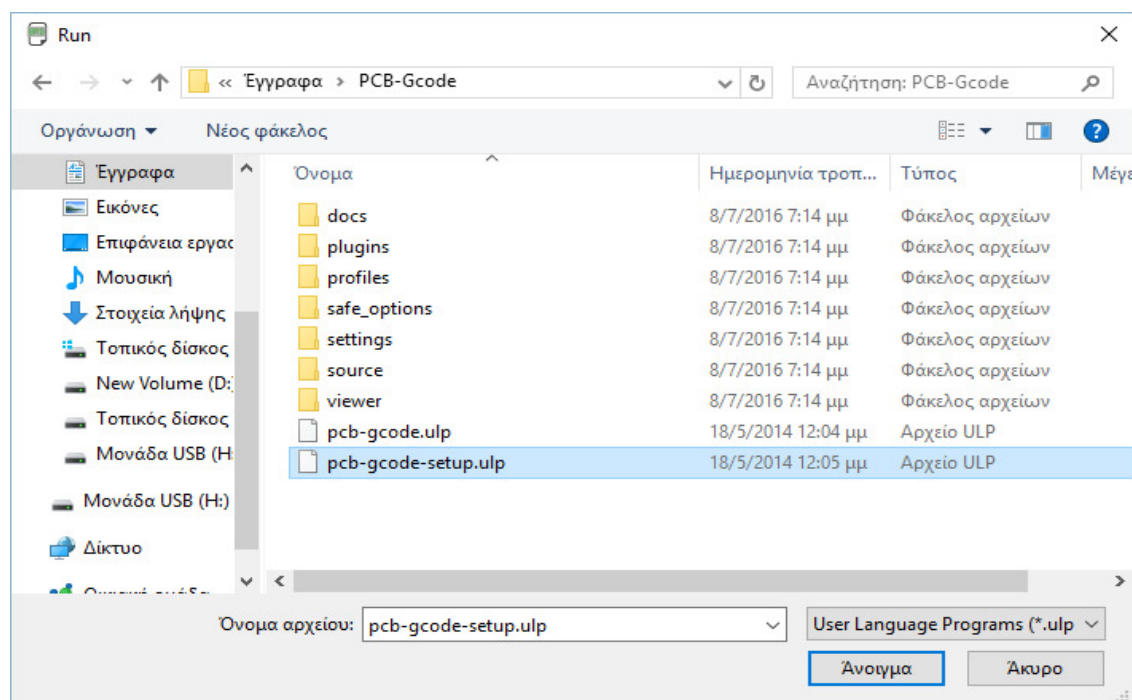
Αφού εγκατασταθεί με επιτυχία το PCB-Gcode μπορεί να ξεκινήσει ο ορισμός των παραμέτρων.

Για να ανοίξει το διεπικοινωνιακό πρόγραμμα πρέπει από το σχηματικό μέρος του Eagle να επιλεγεί το εξής: File → Run ULP, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2.4.



Σχήμα 6.2.4: Έναρξη του PCB-Gcode.

Στη συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο με την ονομασία Run και σε αυτό το παράθυρο ακολουθείται η διεύθυνση που σώθηκε ο φάκελος PCB-Gcode. Ανοίγοντας τον φάκελο υπάρχει ένα αρχείο με την ονομασία “pcb-gcode-setup.ulp” το οποίο πρέπει να επιλεγεί για να αρχίσει το διεπικοινωνιακό πρόγραμμα να λειτουργεί. Το παράθυρο αυτό με την παραπάνω επιλογή του φακέλου φαίνεται στο Σχήμα 6.2.5.

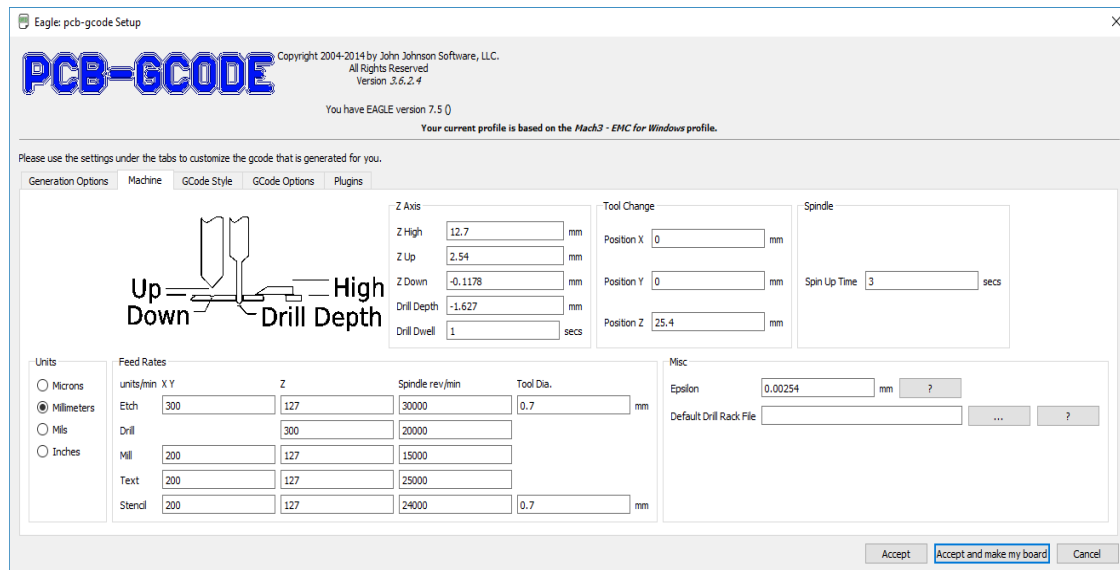


Σχήμα 6.2.5: Έναρξη του PCB-Gcode.

Αφού η έναρξη γίνεται για πρώτη φορά το PCB-Gcode ζητάει για ποιο πρόγραμμα ελέγχου του CNC θα χρειαστεί να δημιουργήσει το Gcode. Το παράθυρο αυτό είναι το Σχήμα 6.1.1 και για το παράδειγμά μας θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα Mach3 – EMC for Windows που έχει για επιλογή.

Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν τα επόμενα δυο παράθυρα που έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Στο παράθυρο Machine πρέπει πρώτα να γίνει η επιλογή των μονάδων μέτρησης η οποία πρέπει να είναι ίδια με αυτή που έχει επιλεγεί στο Eagle.

Ύστερα ορίζονται τα Z axis, Feed Rates και Tool Change. Σε αυτά ο ορισμός είναι ανάλογος με το CNC μηχάνημα, τα κονδύλια και τη πλακέτα που χρησιμοποιούνται. Επειδή τα κονδύλια που χρειάζονται για την κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος είναι σχεδόν όλα το ίδιο ευαίσθητα, οι προτεινόμενες ρυθμίσεις για τα παραπάνω φαίνεται στο Σχήμα 6.2.6 ή όπως φαίνεται στο Πίνακα 6.2.1 και 6.2.2.



Σχήμα 6.2.6: Ρυθμίσεις παραθύρου Machine.

Z Axis	
Z high	12.7
Z up	2.54
Z down	-0.1178
Drill Depth	-1.627
Drill Dwell	1
Tool Change	
Position X	0
Position Y	0
Position Z	25.4

Πίνακας 6.2.1

Feed Rates				
Units/min	XY	Z	Spindle rev/min	Tool Dia
Etch	300	127	30000	0.7
Drill		300	20000	
Mill	200	127	15000	
Text	200	127	25000	
Stencil	200	127	24000	0.7

Πίνακας 6.2.2

Στο παράθυρο Generation Options (Σχήμα 6.1.2) επειδή το ηλεκτρονικό κύκλωμα που σχεδιάστηκε είναι μιας όψης, επιλέγεται μόνο από το Bottom Side το Generate bottom outlines και Generate bottom drills. Στο Board, αφού δεν υπάρχει κείμενο, επιλέγονται όλα εκτός από το Generate text και το Single pass. Οι ορισμοί φαίνονται στο Σχήμα 6.2.7 και στον Πίνακα 6.2.3.



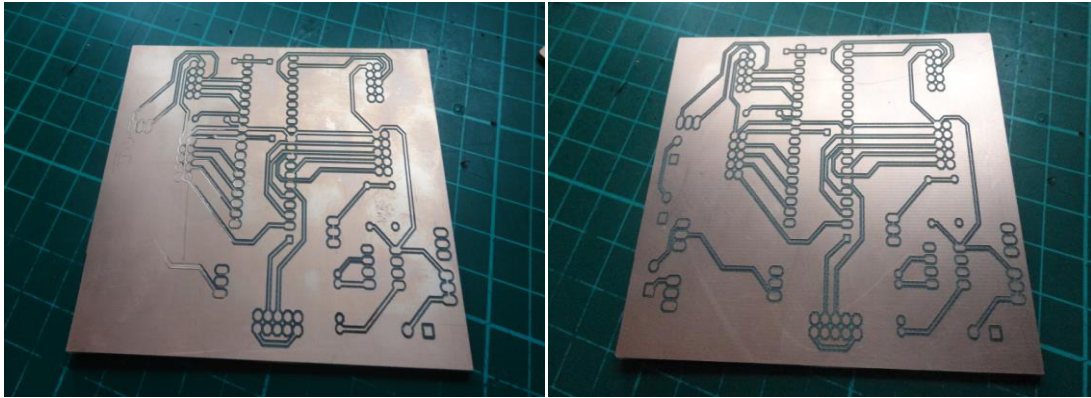
Σχήμα 6.2.7: Ρυθμίσεις παραθύρου Generation Options.

Board			
Show preview	Width	800	Height 600
Generate milling	Depth	-1.627	
Generate text	Depth	-0.1178 (προτείνεται όταν υπάρξει κείμενο)	
Spot drill holes	Depth	-0.38	
Isolation			
Minimum	0.0254		
Maximum	0.508		
Step size	0.28		

Πίνακας 6.2.3

6.3 Autoleveller

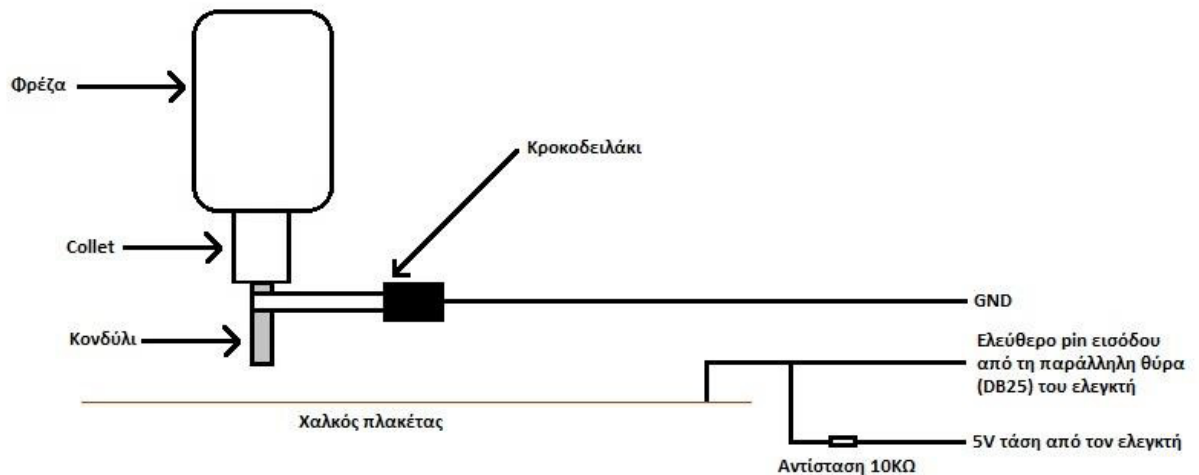
Το Autoleveller είναι ένα διεπικοινωνιακό πρόγραμμα το οποίο μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας του Gcode, τοποθετεί στον υπάρχων κώδικα μια νέα σειρά εντολών. Αυτές οι εντολές, με τη βοήθεια ενός κυκλώματος που τοποθετείται στον ελεγκτή του CNC μηχανήματος, δίνουν τη δυνατότητα στο μηχάνημα να ελέγχει εάν η επιφάνεια του υλικού προς επεξεργασία είναι επίπεδη, δηλαδή κάνει μηχανικό έλεγχο ανίχνευσης. Για παράδειγμα στην κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος, οι διαστάσεις που εφαρμόζονται είναι αρκετά μικρές. Σε αυτή τη περίπτωση εάν η επιφάνεια της πλακέτας έχει μια κοιλότητα της τάξης των 0.2mm τότε το κύκλωμα έχει πολύ μικρές πιθανότητες να τυπωθεί σωστά σε εκείνο το σημείο ή μπορεί ακόμα και η φρέζα να περάσει πάνω από το σημείο αυτό χωρίς να αφαιρέσει τον χαλκό.



Εικόνα 6.3.1: Αριστερά είναι μια κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος χωρίς τη χρήση του Autoleveller και δεξιά με τη χρήση του Autoleveller.

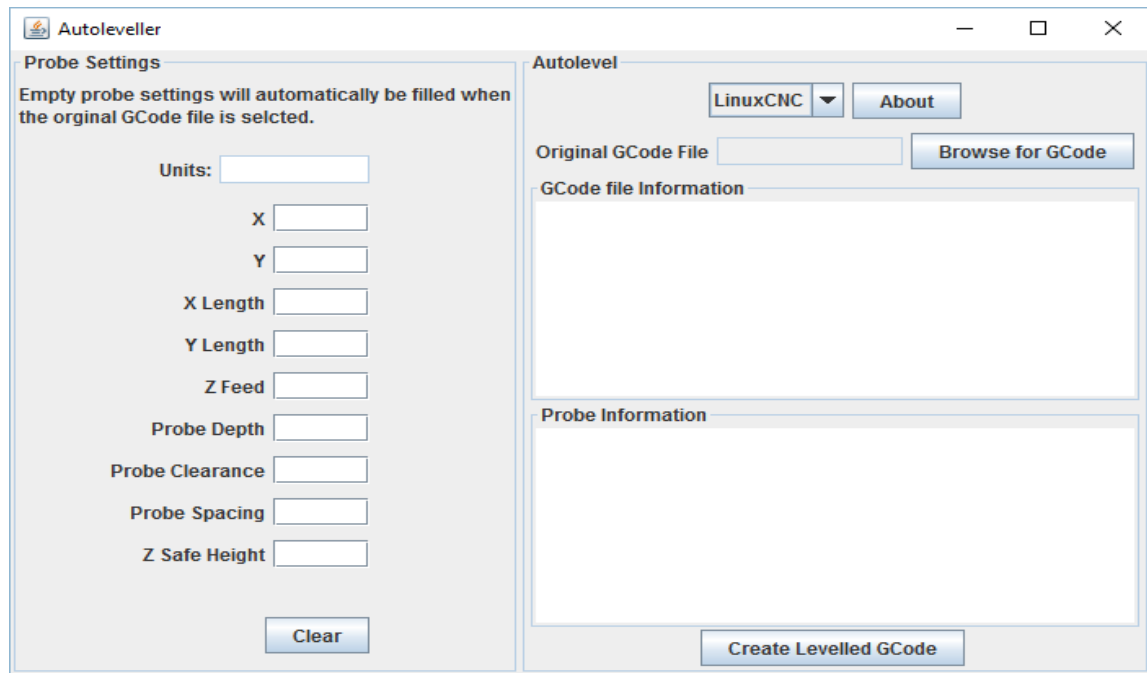
Το διεπικοινωνιακό αυτό πρόγραμμα λειτουργεί μόνο σε μεταλλικές επιφάνειες διότι γίνεται έλεγχος μέσω του ρεύματος καθώς χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος.

Το κύκλωμα του Σχήματος 6.3.1 είναι αυτό που πρέπει να τοποθετηθεί στον ελεγκτή του CNC.



Σχήμα 6.3.1: Κύκλωμα του Autoleveller.

Όταν το κύκλωμα είναι έτοιμο τότε ορίζεται το pin που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα που επικοινωνεί με το CNC. Για αυτό το κομμάτι θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο. Το διεπικοινωνιακό πρόγραμμα είναι ελεύθερο προς λήψη στο διαδίκτυο σε μορφή exe ή java. Έχει ένα μόνο παράθυρο, του Σχήματος 6.3.2, και η λειτουργία του είναι αρκετά απλοποιημένη.

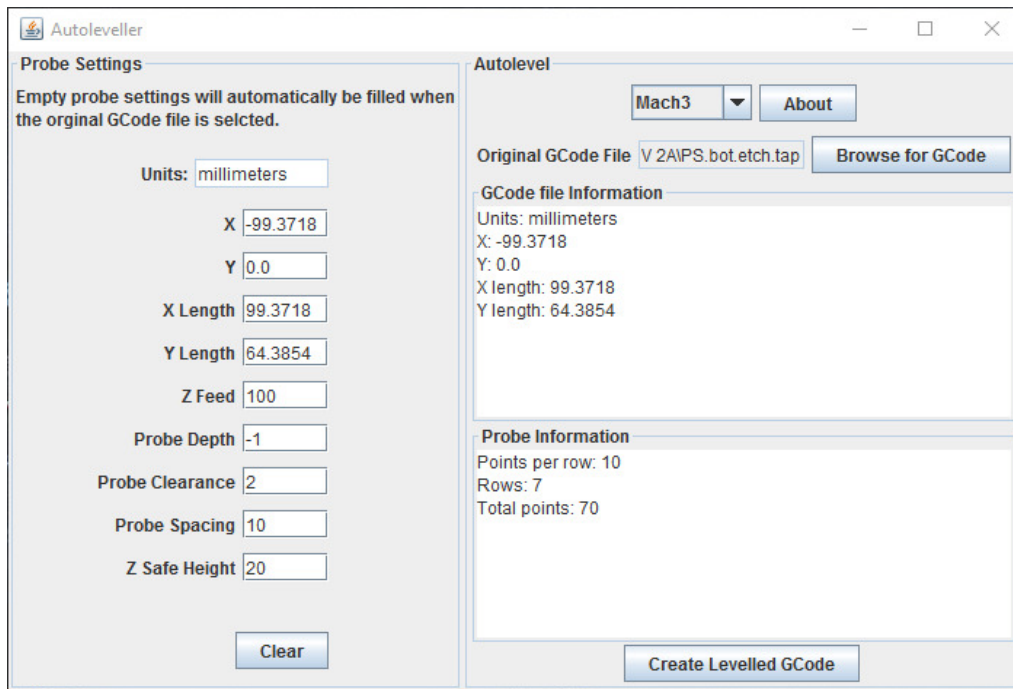


Σχήμα 6.3.2: Παράθυρο Autoleveller.

Στο αριστερό μέρος (Probe Settings) είναι οι ρυθμίσεις που δημιουργούν τον κώδικα για το μηχανικό έλεγχο ανίχνευσης. Σε αυτό το σημείο δεν χρειάζεται να αναφερθούν οι λειτουργίες του καθενός διότι το πρόγραμμα αυτόματα καλύπτει τα κενά με τις ρυθμίσεις που χρειάζονται, ανάλογα με το Gcode κώδικα που φορτώνεται.

Στο δεξί μέρος (Autolevel) η πρώτη γραμμή έχει τη δυνατότητα επιλογής του προγράμματος που επικοινωνεί με τη CNC μηχανή. Υπάρχουν δυο επιλογές: Linux CNC ή Mach3. Το πρώτο είναι πρόγραμμα που χρησιμοποιείται από Linux λειτουργικά υπολογιστών ενώ το δεύτερο από υπολογιστές με λειτουργικό Microsoft ή Mac. Στη δεύτερη γραμμή γίνεται η επιλογή του Gcode που επιθυμείται να προστεθεί ο κώδικας του Autoleveller. Το Gcode file Information εμφανίζει τη διάσταση του χώρου όπου η φρέζα θα εργαστεί όπως και από πού θα ξεκινήσει να φρεζάρει, και είναι ανάλογο με τον κώδικα Gcode. Το Probe Information δίνει πληροφορίες για το πόσες φορές θα μετρήσει σε μια νοητή γραμμή, πόσες τέτοιες γραμμές έχει, καθώς και τις συνολικές μετρήσεις που παίρνει.

Εάν για παράδειγμα φορτωθεί σε αυτό το διεπικοινωνιακό πρόγραμμα ο κώδικας που έχει δημιουργηθεί προηγουμένως, τότε όλα τα κενά γεμίζουν με τιμές του Σχήματος 6.3.3.



Σχήμα 6.3.3: Παράθυρο Autoleveller μετά τη φόρτωση ενός κώδικα.

Το μόνο που είναι σημαντικό να ρυθμιστεί είναι η επιλογή ενός εκ των δυο προγραμμάτων που επικοινωνεί με το CNC. Επειδή το πρόγραμμα που γίνεται αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο είναι το Mach3, λόγω του ότι είναι πιο συχνή η χρήση υπολογιστών με λειτουργικό Windows είναι καλό να επιλεγεί αυτό.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι στην επιλογή του κώδικα γίνεται μόνο το αρχείο σε μορφή etch διότι μόνο αυτό είναι υπεύθυνο για το φρεζάρισμα της πλακέτας.

Τέλος κατά την ολοκλήρωση του Autoleveller δηλαδή κατά την επιλογή του Create Levelled Gcode το διεπικοινωνιακό αυτό πρόγραμμα δημιουργεί ένα αρχείο με ίδιο όνομα και μορφή απλά στο όνομα θα έχει πιο μπροστά το AL που δηλώνει ότι είναι ο κώδικας με τον επιπλέον κώδικα του Autoleveller.

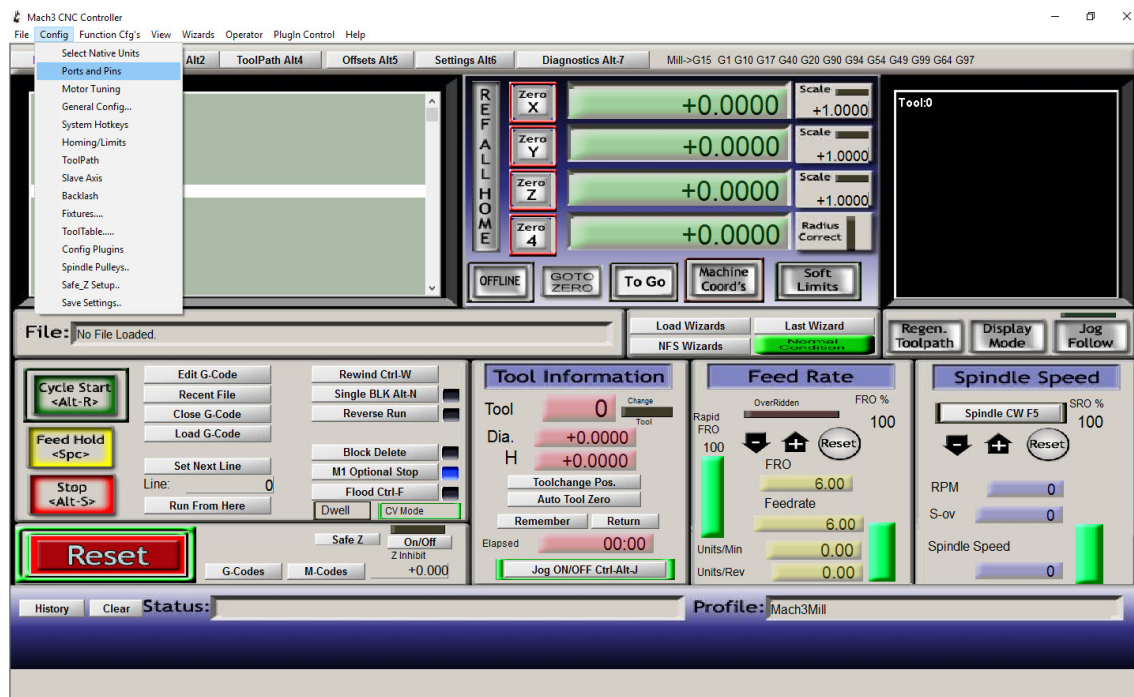
Κεφάλαιο 7: Mach3

Το Mach3 είναι ένας οδηγός (driver) όπου μετατρέπει έναν απλό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε ελεγκτή για μηχανήματα CNC. Όταν εγκατασταθεί το πρόγραμμα αυτό, εμφανίζει τρεις διαφορετικούς οδηγούς όπου το καθένα είναι για διαφορετικό είδος CNC. Για φρέζες CNC χρησιμοποιείται το Mach3 Mill, για CNC τόννου χρησιμοποιείται το Mach3 Turn και για CNC plasma χρησιμοποιείται το Mach3 Plasma. Επειδή στην κατασκευή της πλακέτας χρησιμοποιείται φρέζα CNC το πρόγραμμα – οδηγός που αναφέρεται παρακάτω είναι μόνο για το Mach3 Mill. Μέσω αυτού του προγράμματος δίνονται οι εντολές στον ελεγκτή του μηχανήματος για να πραγματοποιήσει οποιαδήποτε λειτουργία χρειαστεί να κάνει το μηχανολογικό μέρος του CNC. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει πρώτα να γίνουν ορισμένες ρυθμίσεις ώστε οι εντολές που δίνονται να μπορέσουν να αναγνωριστούν από τον ελεγκτή του CNC.

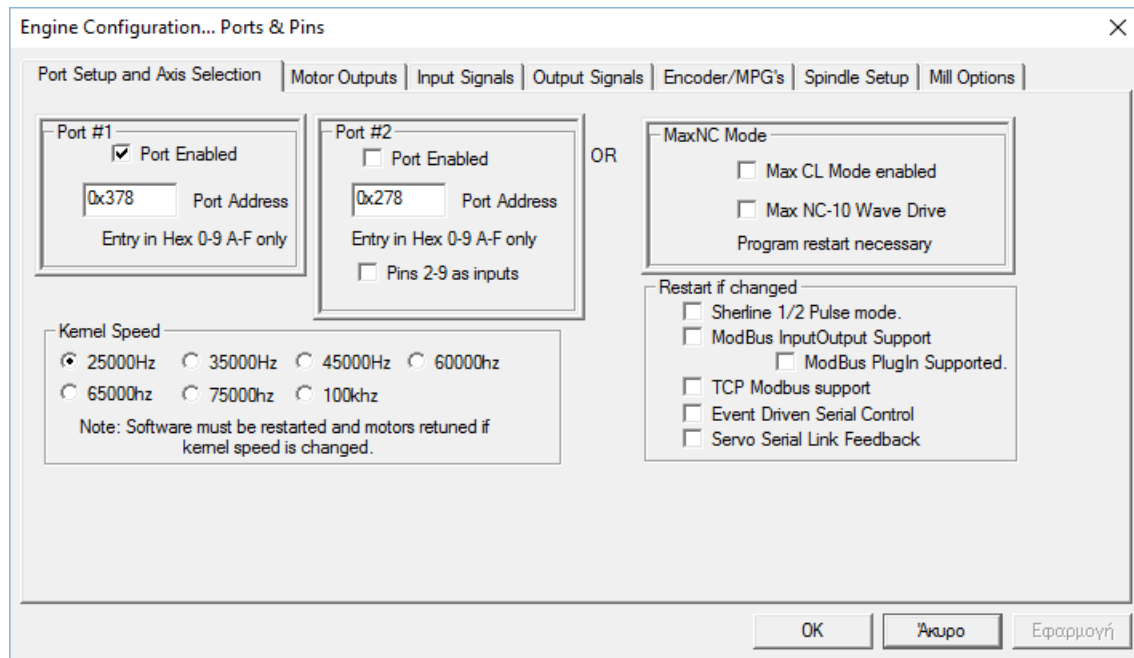
7.1 Ρυθμίσεις

Για τις ρυθμίσεις αυτές θα γίνει μια μικρή αναφορά στα κύρια σημεία, διότι κάθε CNC μηχανήμα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά και με την απόκτηση ενός τέτοιου μηχανήματος ο κατασκευαστής δίνει ένα εγχειρίδιο στο οποίο αναφέρει τις ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν για το συγκεκριμένο και μόνο μηχάνημα.

Από το κεντρικό παράθυρο επιλέγεται Config→ Ports and Pins το οποίο ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπου εκεί γίνονται κάποιοι από τους ορισμούς που χρειάζεται.



Σχήμα 7.1.1: Άνοιγμα παραθύρου ρυθμίσεων.

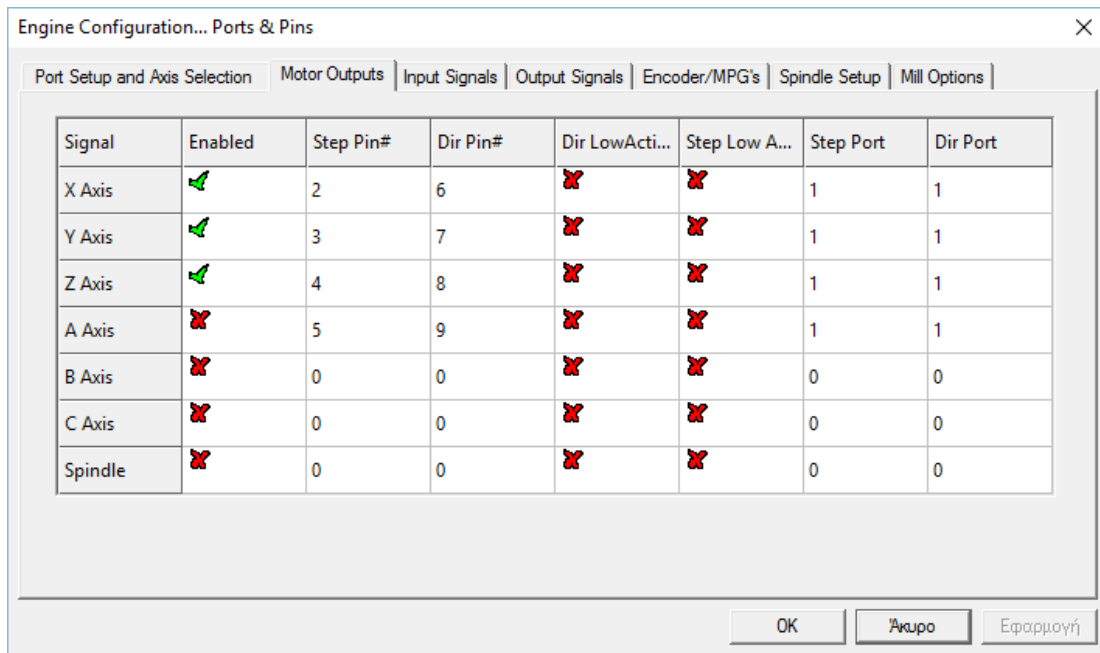


Σχήμα 7.1.2: Παράθυρο του Ports and Pins.

Το Mach3 πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση που βρίσκεται η παράλληλη θύρα στον υπολογιστή και στη καρτέλα Port Setup and Axis Selection γίνεται η δήλωση αυτής της διεύθυνσης στο Port #1 ή και στο Port #2, σε περίπτωση που ένα CNC ελέγχεται από δυο παράλληλες θύρες. Όταν η παράλληλη θύρα είναι ενσωματωμένη στην μητρική πλακέτα του ηλεκτρονικού υπολογιστή, τότε η συνηθισμένη διεύθυνση είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 7.1.2, δηλαδή η 0x378. Σε περίπτωση που η παράλληλη θύρα δεν είναι ενσωματωμένη στη μητρική πλακέτα του υπολογιστή, αλλά έχει τοποθετηθεί σε μια PCI θύρα της μητρικής πλακέτας, τότε η διεύθυνση αυτή μπορεί να μην είναι ίδια και θα χρειαστεί να βρεθεί από τη διαχείριση συσκευών.

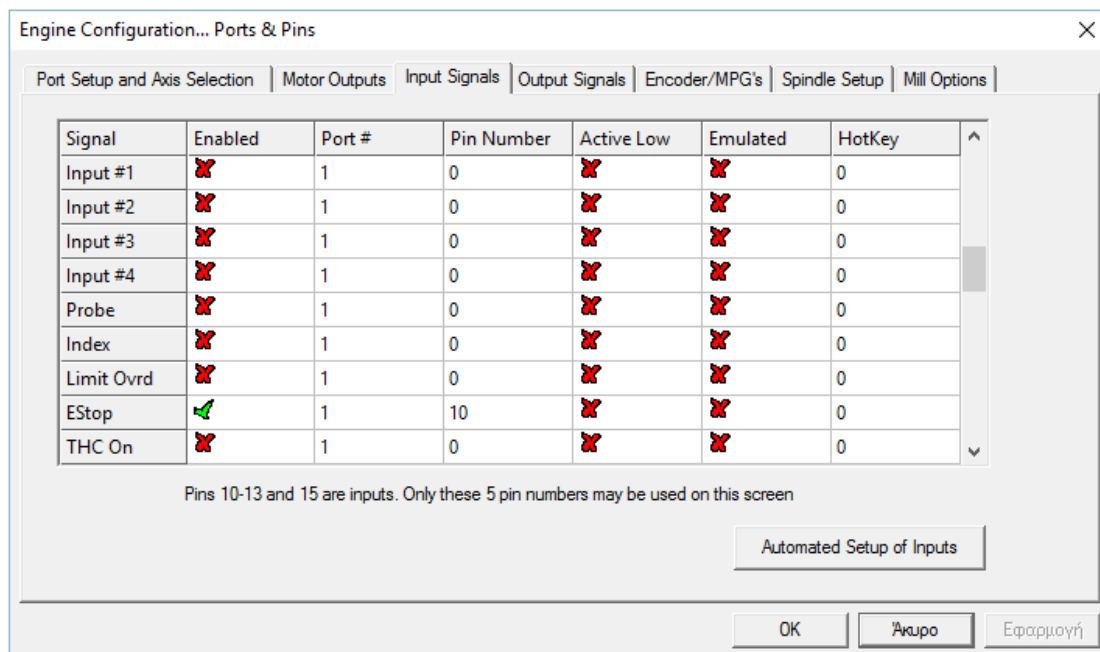
Το Kernel Speed είναι η συχνότητα με την οποία το Mach3 λειτουργεί για να οδηγήσει τον κάθε κινητήρα.

Στην καρτέλα Motor Outputs δηλώνονται οι άξονες από κάθε κινητήρα του μηχανήματος CNC και σε περίπτωση που η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος μπορεί να χειριστεί από το πρόγραμμα τότε σε αυτή τη καρτέλα γίνεται η δήλωσή της. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.3 η πρώτη στήλη είναι για την ενεργοποίηση όποιου άξονα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η δεύτερη στήλη δηλώνει το pin της βηματικής εισόδου των αξόνων που βρίσκονται στον ελεγκτή. Η τρίτη στήλη είναι ίδια με τη δεύτερη αλλά δηλώνει την είσοδο κατεύθυνσης.



Σχήμα 7.1.3: Καρτέλα Motor Outputs.

Στο Σχήμα 7.1.4 φαίνεται η καρτέλα Input Signals στην οποία δηλώνονται τα περιφερειακά του ελεγκτή.

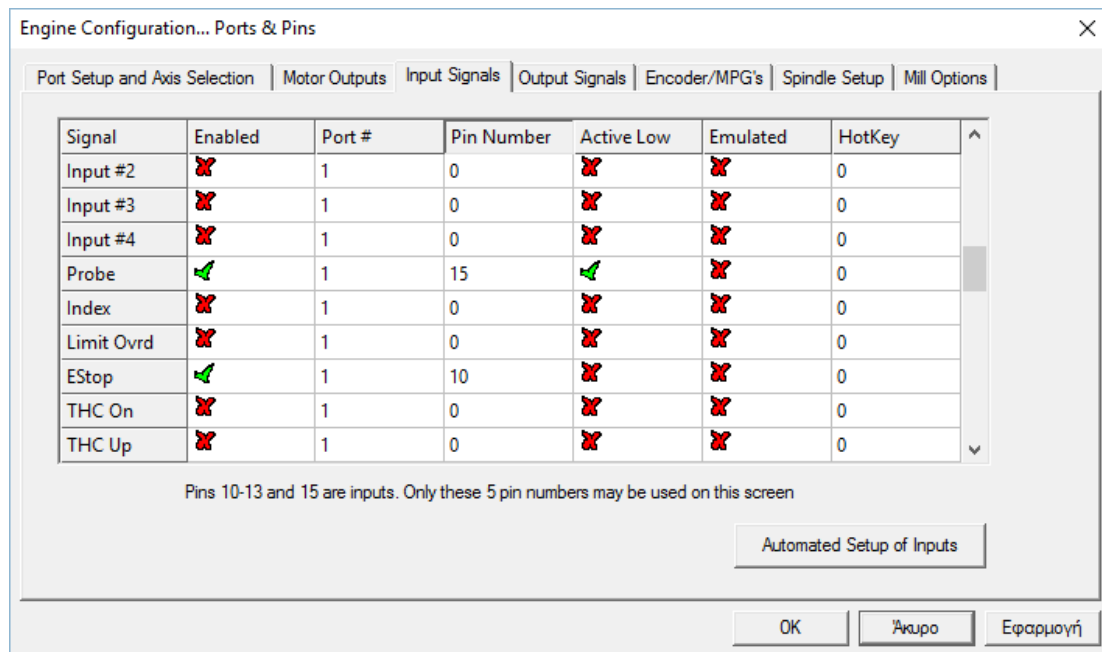


Σχήμα 7.1.4: Καρτέλα Input Signals.

Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στην παράλληλη θύρα που χρησιμοποιείται. Αν δηλαδή υπάρχει περίπτωση ένα μηχάνημα CNC να χρησιμοποιεί δυο παράλληλες θύρες τότε σε αυτή τη στήλη πρέπει να αναφερθεί σε όποια εντολή χρησιμοποιείται, ποια παράλληλη θύρα χρησιμοποιείται. Στη τρίτη στήλη δηλώνεται το pin στο οποίο έχει συνδεθεί με κύκλωμα η κάθε εντολή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

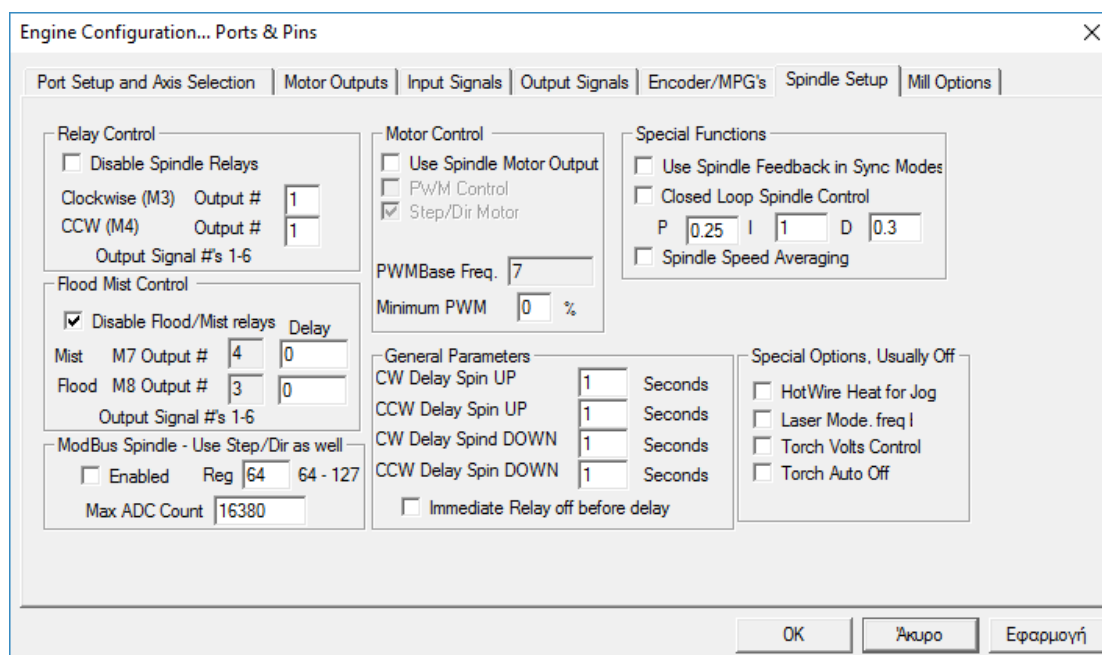
Στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου είχε γίνει η αναφορά για το Autoleveller δεν είχε εξηγηθεί ο τρόπος δήλωσης του διεπικοινωνιακού προγράμματος διότι αυτό γίνεται σε αυτό το σημείο. Μόλις ολοκληρωθεί το κύκλωμα του Σχήματος 6.3.1 το pin που έχει χρησιμοποιηθεί

στο κύκλωμα δηλώνεται στο σήμα Probe. Το σήμα αυτό ενεργοποιείται, δηλώνεται και επίσης ενεργοποιείται το Active Low. Εάν για παράδειγμα το Pin που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το 15 τότε η δήλωση θα είναι αυτή του Σχήματος 7.1.5.



Σχήμα 7.1.5: Δήλωση του Autoleveller.

Στο Σχήμα 7.1.6 είναι η καρτέλα Spindle Setup η οποία καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η κοπτική κεφαλή πρόκειται να ελεγχθεί καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις, τον τρόπο ελέγχου της ψύξης της κοπτικής κεφαλής. Στην ουσία επιλέγεται αν το Mach3 πρόκειται να μην κάνει τίποτα ή μόνο να αναβοσβήνει την κοπτική κεφαλή ή αν πρόκειται να την ελέγχει ολοκληρωτικά, ελέγχοντας δηλαδή και την ταχύτητα περιστροφής του.

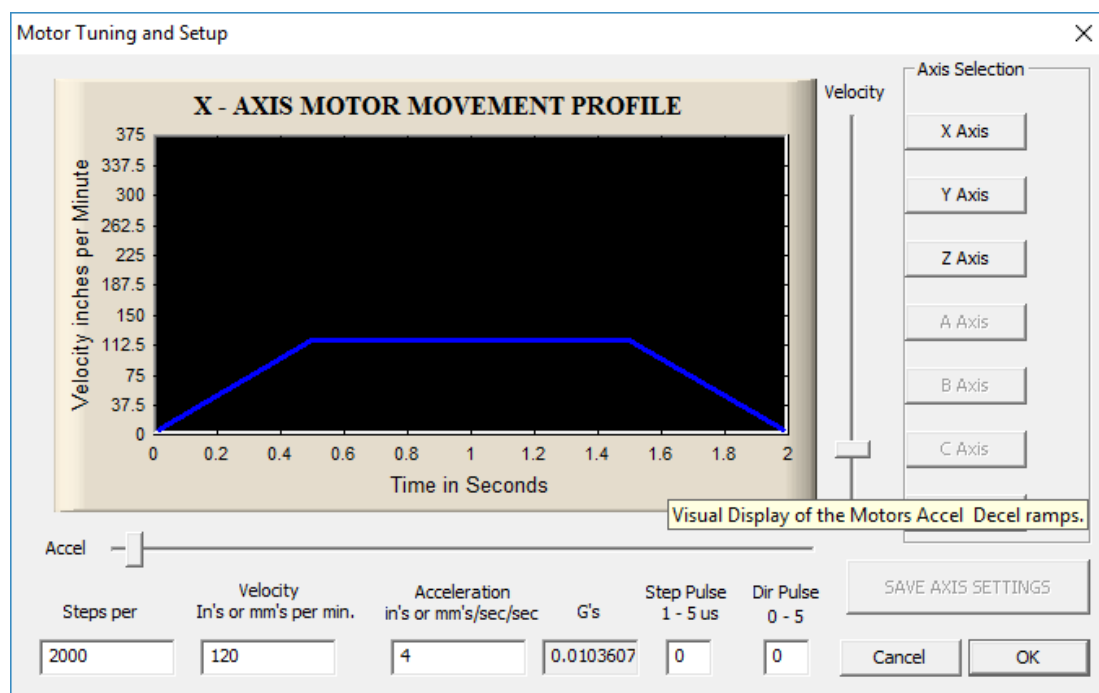


Σχήμα 7.1.6: Καρτέλα Spindle Setup.

Κάθε κινητήρας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και κάθε σύστημα μετάδοσης έχει διαφορετικό συντελεστή μετακίνησης – περιστροφής σε κάθε άξονα. Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει με κάποιο τρόπο να εξηγηθούν στο πρόγραμμα, ώστε να γνωρίζει πως πρέπει να συμπεριφέρεται το CNC στις μετακινήσεις των αξόνων σε σχέση με τα σήματα που παίρνουν από τη παράλληλη θύρα.

Η εξήγηση αυτή, γίνεται στο παράθυρο Motor Tuning and Setup στο οποίο γίνεται η ρύθμιση των παραπάνω χαρακτηριστικών για κάθε άξονα ξεχωριστά.

Από το κεντρικό παράθυρο επιλέγεται Config→ Motor Tuning για να ανοίξει το παράθυρο του Σχήματος 7.1.7.



Σχήμα 7.1.7:Παράθυρο Motor Tuning.

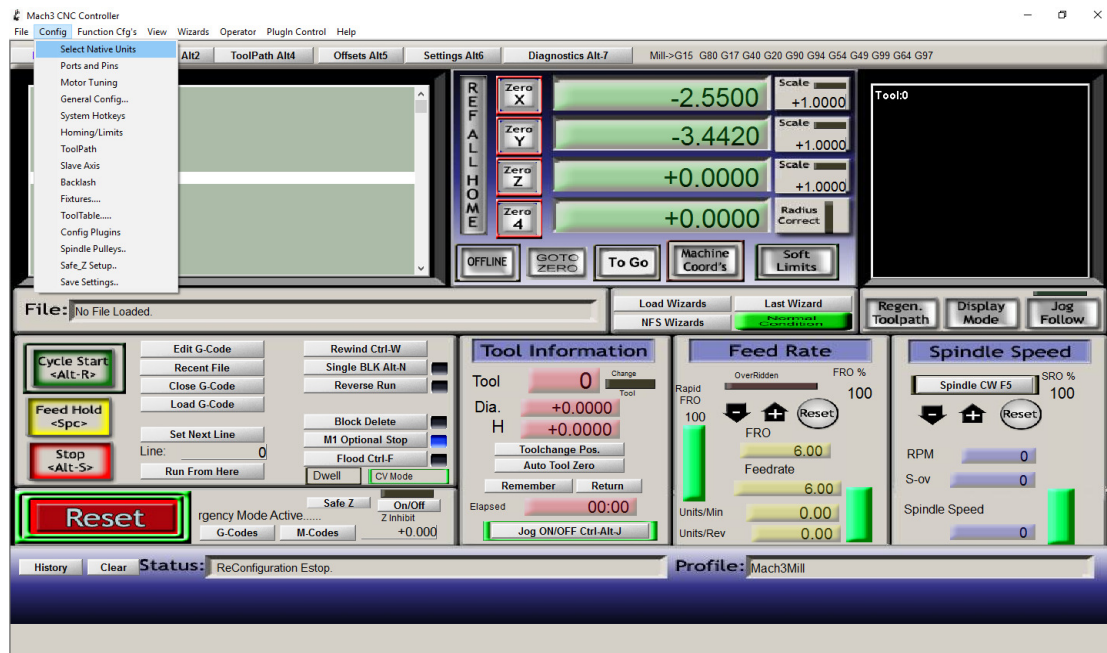
Στο Axis Selection γίνεται η επιλογή του άξονα που πρόκειται να γίνει η ρύθμιση του.

Το Steps per αναφέρεται στον αριθμό των βημάτων ανά μονάδα, δηλαδή είναι ο αριθμός των βημάτων που χρειάζεται ο κινητήρας για να μετακινήσει μια μονάδα (mm, inch) τον άξονα του μηχανήματος.

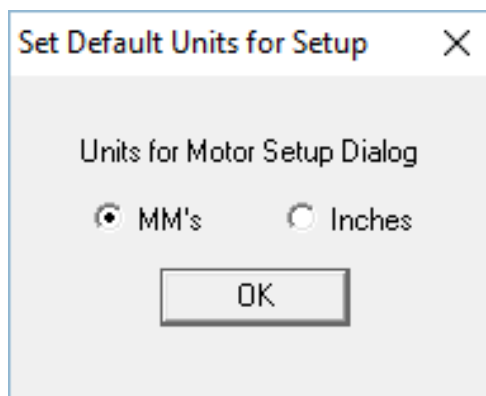
Η ρύθμιση Velocity αναφέρεται στην ταχύτητα με την οποία μπορεί να μετακινηθεί το μηχάνημα, σε μονάδα ανά λεπτό.

Η ρύθμιση Acceleration αναφέρεται στο πόσο γρήγορα μπορεί να επιταχύνει το CNC, από την ηρεμία μέχρι την ονομαστική ταχύτητα, σε μονάδες ανά δευτερόλεπτο ανά δευτερόλεπτο.

Όπως και τα προηγούμενα προγράμματα, έτσι και το Mach3 πρέπει να γίνει δήλωση σε τι μονάδες μέτρησης θα λειτουργεί το πρόγραμμα. Στο μενού Config → Select Native Units ανοίγει ένα μικρό παράθυρο στο οποίο γίνεται αυτή η δήλωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.8 και Σχήμα 7.1.9.



Σχήμα 7.1.8: Επιλογή μονάδων μέτρησης.

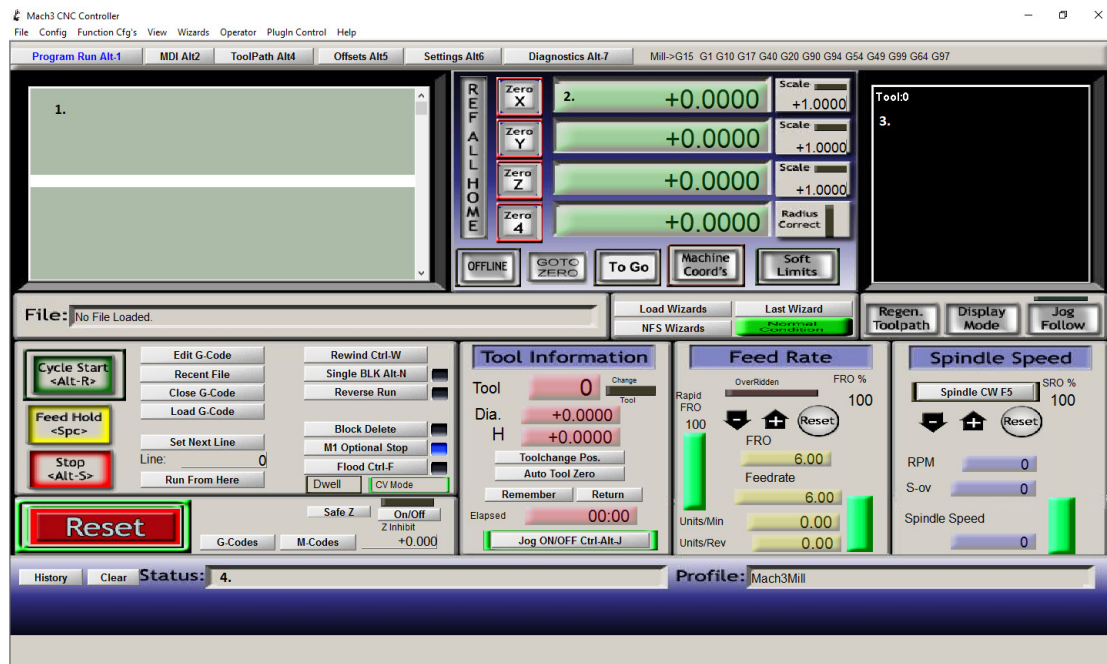


Σχήμα 7.1.9: Παράθυρο επιλογής μονάδων.

7.2 Τρόπος λειτουργίας

Το Mach3 δεν είναι απλό πρόγραμμα διότι έχει πολλές εντολές από τις οποίες αρκετές είναι πολύπλοκες. Επίσης επικοινωνεί άμεσα με το CNC μηχάνημα και αυτό σημαίνει ότι εάν γίνει κάποιο λάθος κατά τη λειτουργία του έχει πιθανότητες να βλάψει το μηχάνημα.

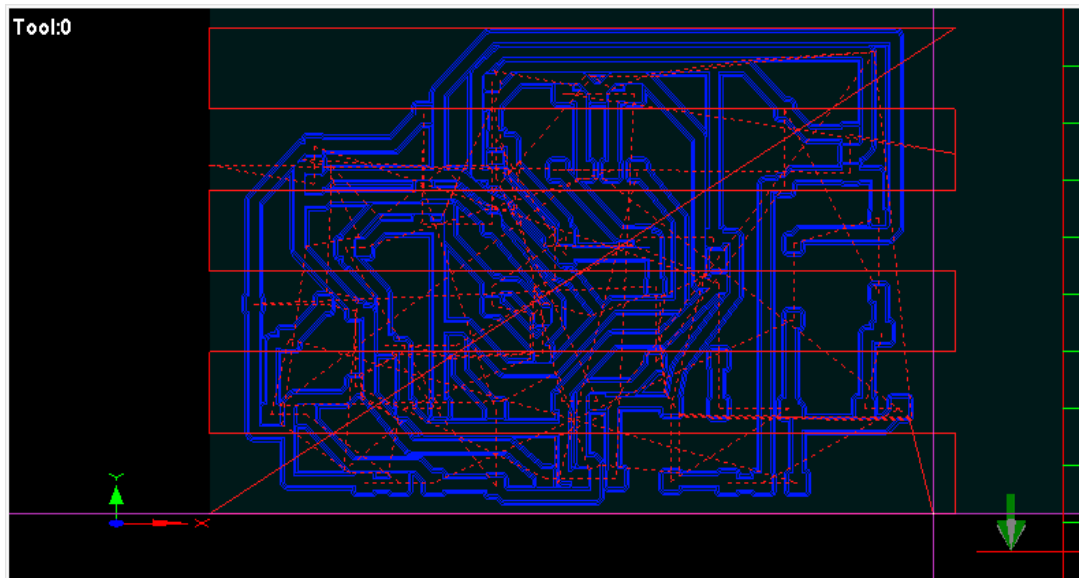
Σε αυτό το μέρος θα γίνει αναφορά στις βασικές λειτουργίες του προγράμματος που χρειάζονται για να γίνει η κατασκευή ενός υλικού στο CNC.



Σχήμα 7.2.1: Κεντρικό παράθυρο του Mach3.

Στο κεντρικό παράθυρο είναι οι περισσότερες και πιο σημαντικές εντολές για αυτό το πρόγραμμα. Ας γίνει αναφορά πρώτα σε αυτά που είναι αριθμημένα στο Σχήμα 7.2.1.

1. Σε αυτό το παράθυρο εμφανίζεται ολόκληρος ο G-κώδικας όπου πρόκειται να διαβάσει και να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα.
2. Εδώ απεικονίζεται η απόσταση (σε μονάδες μέτρησης) κατά την οποία η φρέζα έχει μετακινηθεί σε έναν από τους άξονες από την αρχή των αξόνων. Η αρχή όλων των αξόνων καθορίζεται από τον χειριστή του προγράμματος. Ο χειριστής μόλις μεταφέρει σε ένα επιθυμητό σημείο τη φρέζα του μηχανήματος, πατώντας τα εικονικά κουμπιά Zero X, Zero Y, Zero Z (και αν έχει παραπάνω από τρεις άξονες πατάει και το Zero 4) το πρόγραμμα δίνει εντολή στον ελεγκτή του CNC ότι σε εκείνο το σημείο είναι η αρχή των αξόνων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το πρόγραμμα μεταφράζει σε θετικά και αρνητικά σημεία σε σχέση με την αρχή των αξόνων.
3. Σε αυτό το παράθυρο απεικονίζονται οι κινήσεις που πρόκειται να κάνει η φρέζα κατά την εκτέλεση του κώδικα καθώς και η οπτική εικόνα του κώδικα. Για παράδειγμα στο Σχήμα 7.2.2 φαίνεται πως είναι ο κώδικας για την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος. Οι κόκκινες γραμμές δηλώνουν την μετακίνηση της φρέζας κατά την εκτέλεση του κώδικα ενώ οι μπλε γραμμές δείχνουν το τελικό αποτέλεσμα του κώδικα.



Σχήμα 7.2.2 Κώδικας του τυπωμένου κυκλώματος σε εικόνα.

4. Σε αυτό το βήμα μας δίνονται ορισμένες πληροφορίες, όταν είναι απαραίτητο για ορισμένες ενέργειες που γίνονται. Αν για παράδειγμα πατηθεί το Estop του ελεγκτή αμέσως το πρόγραμμα σταματά την εκτέλεση του κώδικα και σε αυτή τη σειρά αναφέρει ότι το Estop του ελεγκτή έχει ενεργοποιηθεί.

Cycle Start: Με αυτή την εντολή το Mach3 εκκινεί το μηχάνημα και εκτελεί τον κώδικα που του δόθηκε. Μόλις το πρόγραμμα αρχίζει να διαβάζει το κώδικα, στο μαύρο παραθυράκι θα εμφανίζεται μια πράσινη γραμμή η οποία δηλώνει τα σημεία που έχει εκτελέσει το πρόγραμμα.

Feed Hold: Αυτό το εικονικό πλήκτρο σταματά το μηχάνημα στο σημείο που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή και το πρόγραμμα σταματά τη διαδικασία ανάγνωσης του κώδικα. Πατώντας ξανά το Cycle Start το πρόγραμμα θα συνεχίσει από εκεί που σταμάτησε.

Stop: Εδώ το πρόγραμμα σταματά τελείως την ανάγνωση του κώδικα, άρα σταματά και το μηχάνημα να φρεζάρει. Πατώντας το Cycle Start το Mach3 θα ξεκινήσει την διαδικασία ανάγνωσης από την αρχή του κώδικα και όχι από το σημείο που πατήθηκε η εντολή Stop.

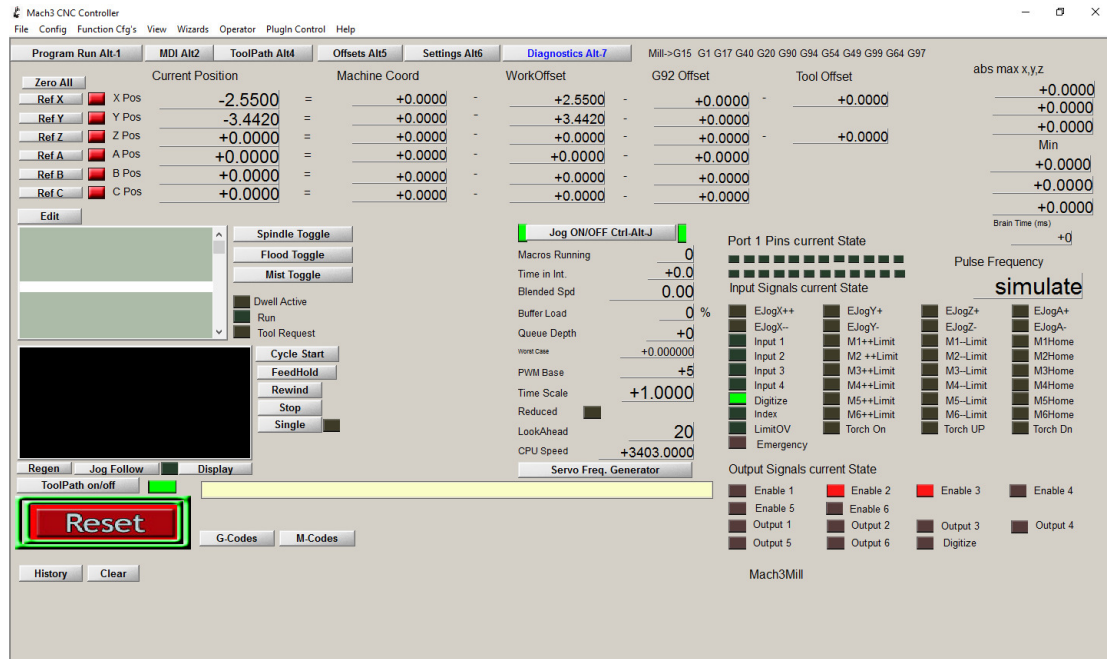
Recent File: Το Mach3 έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει τους τελευταίους δέκα κώδικες που είχαν φορτωθεί. Πατώντας το εικονικό πλήκτρο Recent File ανοίγει ένα μικρό παράθυρο στο οποίο βρίσκονται οι τελευταίοι αυτοί κώδικες και δίνει έτσι τη δυνατότητα να επιλεγεί κάποιο από αυτά χωρίς να χρειαστεί η εύρεσή του μέσα από τον υπολογιστή.

Close G-Code: Με αυτή την εντολή το πρόγραμμα κλείνει το κώδικα.

Load G-Code: Από εδώ γίνεται η φόρτωση του κώδικα στο πρόγραμμα. Επιλέγοντάς το, ανοίγει το κλασικό παράθυρο στο οποίο πρέπει να βρεθεί και να επιλεγεί το αρχείο – κώδικας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Reset: Το Reset είναι από τις πιο βασικές εντολές του Mach3. Όπως το Estop του ελεγκτή, έτσι και το Reset είναι το Estop του Mach3. Κατά την εκκίνηση του προγράμματος αυτό το πλήκτρο αναβοσβήνει και αν δεν πατηθεί τότε καμιά λειτουργία ή εντολή δεν εκτελείται. Είναι δηλαδή ενεργοποιημένο ώστε κατά την εκκίνηση του προγράμματος να μην δοθεί κατά λάθος κάποια εντολή που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο CNC μηχάνημα.

Στο παράθυρο Diagnostics Alt7 βρίσκεται η ένδειξη Digitize η οποία ενεργοποιείται κάθε φορά που το κύκλωμα του Autoleveller κλείνει (δηλαδή το κονδύλι με τη πλακέτα είναι σε επαφή). Η ένδειξη Digitize βρίσκεται στην όγδοη σειρά της πρώτης στήλης του Input Signals current State.



Σχήμα 7.2.3: Ένδειξη Digitize.

Κάθε φορά που στο Mach3 φορτώνεται ένας κώδικας που περιέχει και το κώδικα του Autoleveller, τότε πρέπει να γίνει σύνδεση των άκρων όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.3.1 και σε όλη την διαδικασία της σάρωσης η φρέζα σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ενεργοποιηθεί. Σε όλη αυτή τη διαδικασία, κάθε φορά που κονδύλι έρχεται σε επαφή με την πλακέτα, ενεργοποιείται η ένδειξη Digitize. Σε περίπτωση που δεν ενεργοποιηθεί αυτή η ένδειξη υπάρχει μεγάλη περίπτωση το κονδύλι να καταστραφεί διότι το κύκλωμα δεν κλείνει, συνεπώς το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει ότι το κονδύλι ήρθε σε επαφή με την πλακέτα και συνεχίζει να μειώνει την απόσταση στον άξονα Z.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πριν από κάθε εφαρμογή της διαδικασίας αυτής πρέπει να ελέγχεται το κύκλωμα. Αυτό γίνεται ενώνοντας απλά τα δυο άκρα και ελέγχοντας εάν ενεργοποιήθηκε η κατάλληλη ένδειξη.

Τέλος πριν το πρόγραμμα ξεκινήσει αυτή τη διαδικασία ο χειριστής πρέπει να ορίσει χειροκίνητα την αρχή όλων των αξόνων, που σημαίνει ότι την πρώτη επαφή της επιφάνειας της πλακέτας με το κονδύλι την κάνει ο χειριστής. Και σε αυτή την περίπτωση όταν το κονδύλι ακουμπήσει την πλακέτα ανάβει η ένδειξη Digitize.

Για την μετακίνηση της φρέζας στους άξονες υπάρχουν δυο τρόποι. Ο πρώτος τρόπος είναι με το παράθυρο που φαίνεται στο Σχήμα 7.2.4.



Σχήμα 7.2.4: Παράθυρο Tab.

Πατώντας το πλήκτρο Tab του πληκτρολογίου ανοίγει το συγκεκριμένο παράθυρο. Κάτω από το Button Jog είναι τα εικονικά πλήκτρα τα οποία μετακινούν την φρέζα του μηχανήματος στον επιθυμητό άξονα. Μετακινώντας τον κέρσορα, για παράδειγμα στο X+ και πατώντας το συνεχόμενα με το αριστερό κλικ, η φρέζα μετακινείται κατά τον άξονα X και όπως δείχνει και το βελάκι του εικονικού πλήκτρου με κατεύθυνση προς τα δεξιά (ή θετική φορά).

Ο δεύτερος τρόπος είναι χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. Τα πλήκτρα που μετακινούν τους άξονες X,Y,Z είναι:

Πλήκτρο	Άξονας και κατεύθυνση
→	X προς τα δεξιά (ή θετική φορά)
←	X προς τα αριστερά (ή αρνητική φορά)
↑	Y προς τα πάνω (ή θετική φορά)
↓	Y προς τα κάτω (ή αρνητική φορά)
Page Up	Z προς τα πάνω (ή θετική φορά)
Page Down	Z προς τα κάτω (ή αρνητική φορά)

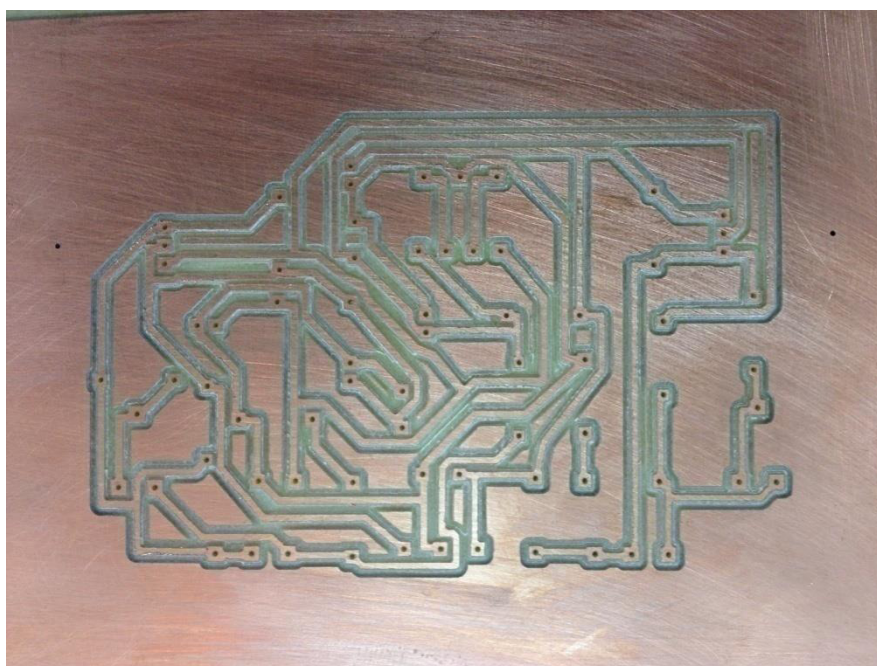
Πίνακας 7.2.1

Το Mach3 έχει την ιδιότητα να αυξομειώνει την ταχύτητα με την οποία θα μετακινείται η φρέζα του CNC στους άξονες. Αυτό γίνεται με το Slow Jog Rate στο παράθυρο του Σχήματος 7.2.4. Όσο μειώνεται το ποσοστό τόσο πιο αργά μετακινείται η κοπτική κεφαλή. Έτσι ο χειριστής έχει την δυνατότητα να μετακινήσει τη κοπτική κεφαλή σε πολύ μικρές αποστάσεις.

Κεφάλαιο 8: Σχόλια για την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος

Για την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το 3040TCNC τριών αξόνων με κοπτική κεφαλή Router Head των 400W. Το μηχάνημα αυτό είναι κινέζικης κατασκευής και ο κατασκευαστής παρέχει το εγχειρίδιο χρήσης στα αγγλικά καθώς και έναν οπτικό δίσκο το οποίο περιέχει το Mach3 σε δοκιμαστική έκδοση και ορισμένα ακόμα προγράμματα.

Το τυπωμένο κύκλωμα που κατασκευάστηκε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 8.1:Κατασκευή τυπωμένου με χρήση CNC.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που έχουν συλλεχτεί μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος με χρήση CNC.

8.1 Σύγκριση με άλλες μεθόδους κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος

Με την χρήση ενός CNC μηχανήματος, η διαδικασία κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος είναι αυτοματοποιημένη. Μόλις δοθεί η εντολή για την έναρξη του φρεζαρίσματος της πλακέτας, το μηχάνημα ακολουθεί το κώδικα που έχει φορτωθεί στο Mach3 χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω διεργασίες από τον χειριστή. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτή υπάρχει πλήρης έλεγχος της διαδικασίας, καθώς ο χειριστής μπορεί να σταματήσει προσωρινά ή ολοκληρωτικά τη διαδικασία αυτή, σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα. Επιπλέον το μηχάνημα έχει τη δυνατότητα, μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, να τρυπήσει την πλακέτα στα απαραίτητα σημεία, με ικανοποιητικά μεγάλη ακρίβεια.

Ένα ακόμη μεγάλο πλεονέκτημα που έχει η συγκεκριμένη μέθοδος, είναι ότι οι κώδικες που δημιουργούνται για την κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος παραμένουν στον αποθηκευτικό χώρο του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Έτσι μπορεί να γίνει ακόμη και παραγωγή τυπωμένων κυκλωμάτων, χωρίς να χρειάζεται η δημιουργία νέου κώδικα για το ίδιο κύκλωμα, σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο (ακόμη και στο μέλλον).

Τέλος σε αυτή τη μέθοδο κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος τα αναλώσιμα υλικά είναι αρκετά οικονομικά και τα κονδύλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μεγάλου αριθμού τυπωμένων.

Με την φωτογραφική μέθοδο κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος χρησιμοποιούνται καυστικά χημικά. Αυτά τα χημικά είναι επικίνδυνα εάν έρθουν σε επαφή με το δέρμα και η διαδικασία της αποχάλκωσης δημιουργεί ατμούς που είναι καρκινογόνοι για τον άνθρωπο. Επίσης σε αυτή τη μέθοδο, η τυπωμένη διαφάνεια του κυκλώματος πρέπει να είναι αρκετά μαύρη στα σημεία που δεν είναι επιθυμητή η αποχάλκωση διότι διαφορετικά υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να μην αποτυπωθεί σωστά το κύκλωμα στην πλακέτα, κατά την έκθεση του στο φως. Ένα ακόμη μειονέκτημα που έχει αυτή η μέθοδος, είναι ότι η διαφάνεια μπορεί μεν να αποθηκευτεί, όμως με την πάροδο του χρόνου καθώς και με τη συχνή χρήση της φθείρεται, κάτι το οποίο δεν ισχύει στη μέθοδο κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος με χρήση CNC.

Μια αρκετά σημαντική διαφορά των δυο μεθόδων είναι το τρύπημα της πλακέτας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στη μέθοδο κατασκευής με CNC το ίδιο το μηχάνημα πραγματοποιεί το τρύπημα, σε αντίθεση με τη φωτογραφική μέθοδο, στην οποία το τρύπημα γίνεται με το χέρι. Σαφώς στο δεύτερο τρόπο τρυπήματος υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σφάλματος, ειδικά σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται πολύ μικρού διαμέτρου κονδύλια τα οποία μπορούν να καταστραφούν εύκολα.

Τέλος τα αναλώσιμα υλικά που χρησιμοποιούνται στη φωτογραφική μέθοδο δεν είναι τόσο οικονομικά σε σχέση με τη μέθοδο της κατασκευής τυπωμένου κυκλώματος με χρήση μηχανήματος CNC. Αυτό συμβαίνει διότι αυτή η μέθοδος χρειάζεται ορισμένα υλικά που μόνο με αυτά μπορεί να γίνει η κατασκευή του τυπωμένου. Για παράδειγμα η φωτοευαίσθητη πλακέτα η οποία χρησιμοποιείται για τη φωτογραφική μέθοδο είναι αρκετά πιο ακριβή σε σχέση με μια απλή πλακέτα χαλκού (σχεδόν τρεις φορές παραπάνω) και τα χημικά που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι φθηνότερα σε σχέση με τα κονδύλια του CNC, όμως δεν μπορούν να βγάλουν τον ίδιο αριθμό πλακετών καθώς τα κονδύλια μπορούν να κατασκευάσουν αρκετά περισσότερα.

Η μέθοδος της διάτρησης πλακέτας είναι από τις πιο παλιές μεθόδους. Σε αυτή τη μέθοδο όλο το κύκλωμα κατασκευάζεται με το χέρι, δηλαδή οι αγωγοί, το τυπωμένο σχέδιο κ.λπ. κατασκευάζονται μόνο με το χέρι. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος κατασκευής και το ποσοστό του σφάλματος είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με τις προηγούμενες δυο μεθόδους.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι καλή μόνο σε περιπτώσεις πολύ μικρών κυκλωμάτων με πολύ λίγα εξαρτήματα διότι δεν χρειάζεται κάποιο πρόγραμμα σχεδιασμού κυκλωμάτων (πχ το Eagle Cad) που χρειάζεται ορισμένο χρόνο για να σχεδιαστεί το κύκλωμα σε αυτό το πρόγραμμα.

8.2 Περεταίρω βελτιώσεις

Επειδή η μέθοδος συγκράτησης του συγκεκριμένου μηχανήματος είναι T-Track που σημαίνει ότι εάν η πλακέτα συγκρατηθεί απευθείας με αυτή τη μέθοδο, έχει άμεση επαφή με την επιφάνεια του μηχανήματος, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Για να τρυπηθεί ή να κοπεί η πλακέτα, η φρέζα πρέπει να διαπεράσει όλο το πάχος της, άρα χρειάζεται να περάσει λίγα χιλιοστά παραπάνω από το πάχος της πλακέτας για να είναι αποτελεσματικό το τρύπημα ή το κόψιμο. Έτσι εάν η πλακέτα συγκρατηθεί με αυτό τον τρόπο, η φρέζα κατά τη διάρκεια του τρυπήματος ή της κοπής έχει ως αποτέλεσμα να χαράξει την επιφάνεια του μηχανήματος, αφού η πλακέτα και η επιφάνεια του μηχανήματος είναι σε άμεση επαφή.

Για να αποτραπεί το παραπάνω αποτέλεσμα χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί άλλη μια μέθοδος συγκράτησης. Με τη μέθοδο συγκράτησης του μηχανήματος (T-Track) συγκρατείται ένα μαλακό και σχετικά μεγάλου πάχους υλικό (πχ ένα κομμάτι MDF πάχους τριών χιλιοστών) και οι διαστάσεις του να είναι μεγαλύτερες της πλακέτας που πρόκειται να επεξεργαστεί το μηχάνημα. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια ταινία διπλής όψευς ώστε

η πλακέτα να συγκρατηθεί πάνω στο παραπάνω υλικό. Με αυτό τον τρόπο η πλακέτα συγκρατείται με έμμεσο τρόπο στο μηχάνημα και έτσι δεν υπάρχει πιθανότητα να χαραχθεί η επιφάνεια του μηχανήματος .

Ένα ακόμη μέρος που χρειάζεται προσοχή είναι τα κονδύλια. Τα κονδύλια που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της πλακέτας είναι πολύ λεπτά (0.1mm - 3.175mm) λόγω των απαιτήσεων που έχουν οι διαστάσεις των εξαρτημάτων και των αγωγών. Αυτό σημαίνει ότι τα κονδύλια μπορούν να καταστραφούν εύκολα εάν δεν χειριστούν με προσοχή.

Για παράδειγμα, στο συγκεκριμένο μηχάνημα η κοπτική κεφαλή έχει μέγιστο όριο στροφών 8000rpm. Ένα κονδύλι της τάξης των 0.3mm έχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί διότι αυτές οι στροφές είναι πολύ λίγες και οι ροπές που δέχεται αρκετά μεγάλες. Σε αυτή τη περίπτωση για να χρησιμοποιηθεί αυτό το κονδύλι, πρέπει το μηχάνημα να προγραμματιστεί ώστε να κινούνται οι άξονες του αρκετά αργά και το βάθος που πρόκειται να φρεζάρει να είναι αρκετά μικρό ώστε οι ροπές που του ασκούνται να είναι μικρές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειαστεί παραπάνω από μια φορές να γίνει αυτή η διαδικασία αυξάνοντας μόνο το βάθος κάθε φορά, ώστε η πλακέτα να αποκτήσει το επιθυμητό βάθος φρεζαρίσματος.

Επίσης κατά τη διαδικασία της μηχανικής μεθόδου ανίχνευσης (Autoleveller) όταν γίνεται αρχικοποίηση των αξόνων χρειάζεται μεγάλη προσοχή ο άξονας Z, διότι σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί η ένδειξη Digitize και συνεχιστεί η μετακίνηση προς τα κάτω τότε το κονδύλι έχει μεγάλες πιθανότητες να καταστραφεί.

Επιπλέον όταν το κονδύλι ακουμπήσει τη πλακέτα είναι συνετό να μην μετακινηθούν και οι άλλοι δυο άξονες (X,Y), διότι πάλι το κονδύλι έχει πιθανότητα να καταστραφεί ή ακόμη να χαράξει τη πλακέτα, αφού είναι σε επαφή με αυτή.

Τέλος είναι συνετό να τοποθετηθεί με κάποιο τρόπο ένας μηχανισμός που να μαζεύει τη σκόνη που δημιουργείται κατά το φρεζάρισμα (πχ μικρή σκούπα), χωρίς να ενοχλεί το ίδιο το μηχάνημα όταν επεξεργάζεται το υλικό. Αυτό γίνεται διότι η σκόνη αυτή μένει πάνω στην πλακέτα και δυσκολεύει τη διαδικασία του φρεζαρίσματος καθώς επίσης είναι βλαβερό για τον οργανισμό η εισπνοή του διότι το μονωτικό του μέρος είναι από βακελίτη ή από εποξικό υλικό.

Παραρτήματα

Π1 Οδηγός VFD (Variable Frequency Drive)

Ο οδηγός μεταβλητής συχνότητας (VFD) είναι ένας τύπος οδηγού ρυθμιζόμενης ταχύτητας, ο οποίος χρησιμοποιείται σε ηλεκτρομηχανικά συστήματα οδήγησης για τον έλεγχο της ταχύτητας ενός AC κινητήρα και τη ροπή του, μεταβάλλοντας την συχνότητα εισόδου και την τάση εισόδου του κινητήρα.

Ο βασικός σχεδιασμός τους αποτελείται από τα τέσσερα παρακάτω στοιχεία.

1. **Ανορθωτής:** Η αρχή λειτουργίας του ανορθωτή είναι να αλλάζει το εισερχόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), σε συνεχές ρεύμα (DC). Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα σχέδια, ανάλογα με την απόδοση που απαιτείται από τον οδηγό μεταβλητής συχνότητας. Το σχέδιο ανόρθωσης επηρεάζει τον βαθμό στον οποίο οι ηλεκτρικές αρμονικές επάγονται στην εισερχόμενη τροφοδοσία. Μπορεί ακόμη να ελέγχει την κατεύθυνση ροής τους ρεύματος.
2. **Ενδιάμεσο κύκλωμα:** Η ανορθωμένη παροχή υφίσταται στη συνέχεια επεξεργασία στο ενδιάμεσο κύκλωμα, συνήθως από ένα συνδυασμό από πηνία και πυκνωτές.
3. **Μετατροπέας (Inverter):** Ο μετατροπέας, μετατρέπει την ανορθωμένη και ρυθμισμένη DC παροχή, σε μια παροχή AC μεταβλητής συχνότητας και τάσης. Συνήθως, αυτό επιτυγχάνεται με την παραγωγή ενός PWM παλμού υψηλής συχνότητας. Οι διακόπτες ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν την έξοδο, είναι συνήθως τρανζίστορ IGBT, GTO ή SCR.
4. **Μονάδα ελέγχου:** Η μονάδα ελέγχου, ελέγχει την όλη λειτουργία του VFD, παρακολουθεί και ελέγχει τον ανορθωτή, το ενδιάμεσο κύκλωμα και το μετατροπέα για να διανέμει την σωστή έξοδο ως απόκριση με ένα εξωτερικό σήμα ελέγχου.

Οι VFD είναι συνήθως 92 – 98% αποτελεσματικοί, με 2 – 8% απώλειες, οι οποίες οφείλονται σε απαγωγή της θερμότητας που προκαλείται από τους ηλεκτρικούς διακόπτες υψηλής συχνότητας και την πρόσθετη ισχύ που απαιτείται από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Έτσι και οι κινητήρες που συνδέονται με συστήματα VFD αντιμετωπίζουν ορισμένες απώλειες λόγω της θέρμανσης που προκαλείται από τους ηλεκτρικούς διακόπτες υψηλής συχνότητας.

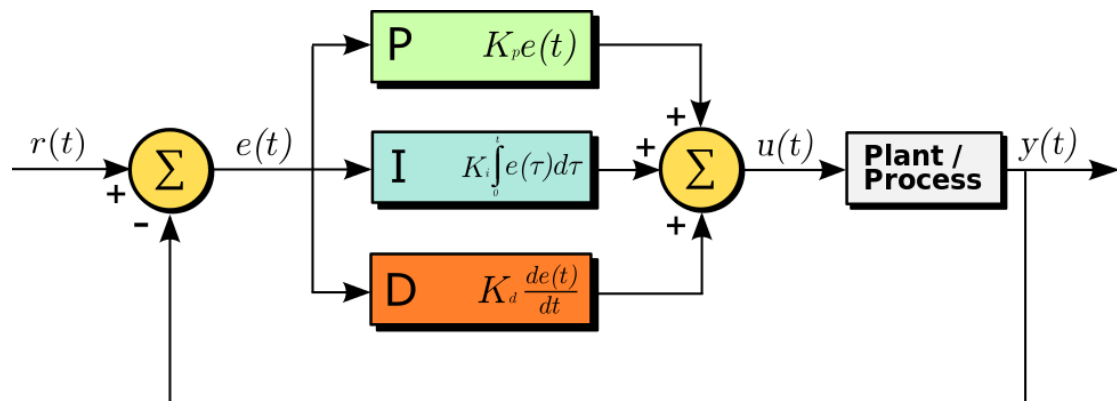
Π2 Ελεγκτής PID (Proportional–Integral–Derivative)

Ένας αναλογικός-ολοκληρωτικός-παραγωγικός ελεγκτής (ελεγκτής PID) είναι ένας γενικός μηχανισμός με ανατροφοδότηση βρόχων ελέγχου που χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID προσπαθεί να διορθώσει το λάθος μεταξύ μιας μετρημένης μεταβλητής-διαδικασίας (Process Value) και ενός επιθυμητού σημείου λειτουργίας (setpoint) με τον υπολογισμό και έπειτα την έξοδο μιας διορθωτικής δράσης που μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία αναλόγως.

Ο υπολογισμός της εξόδου του ελεγκτή PID (αλγόριθμος) περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστούς όρους. Τον αναλογικό, ολοκληρωτικό και παραγωγικό όρο. Το αναλογικό κέρδος καθορίζει την αντίδραση στο τρέχον λάθος, το ολοκλήρωμα καθορίζει την αντίδραση βασισμένη στο άθροισμα των λαθών και η παράγωγος καθορίζει την αντίδραση βάση του ποσοστού στο οποίο το λάθος έχει αλλάξει. Το σταθμισμένο ποσό αυτών των τριών ενεργειών χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τη διαδικασία μέσω ενός στοιχείου ελέγχου όπως η θέση μιας βαλβίδας ελέγχου ή η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ενός στοιχείου θέρμανσης, κινητήρα κτλ.

Με "το συντονισμό" των τριών σταθερών στον αλγόριθμο ελεγκτών PID το PID μπορεί να παρέχει τη δράση ελέγχου που χρειάζεται για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της διαδικασίας. Η έξοδος του ελεγκτή μπορεί να περιγραφεί από τον τρόπο της απόκρισης του ελεγκτή σε ένα λάθος, ο βαθμός στον οποίο ο ελεγκτής κάνει υπερανύψωση από το setpoint και το βαθμό των ταλαντώσεων του συστήματος. Α σημειωθεί ότι η χρήση του αλγορίθμου PID για τον έλεγχο δεν εγγυάται το βέλτιστο έλεγχο του συστήματος.

Μερικές εφαρμογές μπορούν να απαιτήσουν μόνο έναν ή δύο όρους για να παρέχουν τον κατάλληλο έλεγχο συστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό του κέρδους των ανεπιθύμητων όρων ελέγχου σε μηδέν. Ένας ελεγκτής PID θα λέγεται ελεγκτής ρ_i, ρ_d, ρ ή i ανάλογα με την έλλειψη των αντίστοιχων όρων ελέγχου. Οι ελεγκτές ρ_i είναι ιδιαίτερα κοινοί, δεδομένου ότι η δράση του παραγωγικού όρου είναι πολύ ευαίσθητη στο θόρυβο μέτρησης.



Σχήμα Π2.1: Μπλοκ – διάγραμμα ενός ελεγκτή PID

Π3 Ελεγκτής PLC (Programmable Logic Controller)

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής ή PLC, είναι μία ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη, για την αποθήκευση οδηγιών και ειδικές λειτουργίες όπως είναι η λογική, η ακολουθία, ο χρόνος, η αρίθμηση κ.λπ. για να ελέγξει τις μηχανές και την διαδικασία.

Η κεντρική μονάδα αυτοματισμού ενός PLC αποτελείται από τρία μέρη.

1. Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit, CPU): Είναι η βασική μονάδα του PLC, η οποία είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του αυτοματισμού. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι στην ουσία ένας μικροϋπολογιστής ο οποίος αποτελείται από τον μικροεπεξεργαστή και την μνήμη.
2. Τη μονάδα τροφοδοσίας: Η μονάδα τροφοδοσίας ενός PLC έχει σκοπό να δημιουργήσει από την τάση του δικτύου τροφοδοσίας τις απαραίτητες εσωτερικές τάσεις, που απαιτούνται για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων του PLC.
3. Τις μονάδες εισόδων – εξόδων (I/O modules): Οι μονάδες των εισόδων και των εξόδων αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τον έξω κόσμο, δηλαδή με τους αισθητήρες, τους διακόπτες και τα μπουτόνς, που δίνουν τις πληροφορίες (εντολές), και γενικά με τους αποδέκτες που εκτελούν τις εντολές αυτοματισμού.

Εκτός από την κεντρική μονάδα αυτοματισμού, σε ένα PLC είναι απαραίτητα τα πλαίσια για την τοποθέτηση των μονάδων και τυχόν επεκτάσεών τους, καθώς και η συσκευή προγραμματισμού (προγραμματιστής ή programmer), για τον προγραμματισμό του PLC.

Π4 G – Code

OG κώδικας είναι μια γλώσσα στην οποία ο άνθρωπος εξηγεί σε ένα μηχάνημα που ελέγχεται από έναν υπολογιστή, πώς να κάνει κάτι. Το "πώς", ορίζεται από τις εντολές για το πού να κινηθεί, πόσο γρήγορα να κινηθεί, και ποια πορεία θα ακολουθήσει. Η πιο συνηθισμένη κατάσταση είναι ότι, η κοπτική κεφαλή της εργαλειομηχανής, μετακινείται σύμφωνα με αυτές τις εντολές μέσω ενός toolpath και κόβει ή χαράζει το υλικό, αφήνοντας μόνο το τελικό κομμάτι – αποτέλεσμα.

Παρακάτω υπάρχουν τρεις πίνακες (στα αγγλικά) που αποτελούν τον κάθε κώδικα – εντολή και πως ερμηνεύονται από ένα μηχάνημα.

Variable	Description
A	Absolute or incremental position of A axis (rotational axis around X axis).
B	Absolute or incremental position of B axis (rotational axis around Y axis).
C	Absolute or incremental position of C axis (rotational axis around Z axis).
D	Defines diameter or radial offset used for cutter compensation. D is used for depth of cut on lathes. It is used for aperture selection and commands on photoplotters.
E	Precision feedrate for threading on lathes.
F	Defines feedrate.
G	Address for preparatory commands.
H	Defines tool length offset. Incremental axis corresponding to C axis (e.g., on a turn-mill).
I	Defines arc center in X axis for G02 or G03 arc commands. Also used as a parameter within some fixed cycles.
J	Defines arc center in Y axis for G02 or G03 arc commands. Also used as a parameter within some fixed cycles.
K	Defines arc center in Z axis for G02 or G03 arc commands. Also used as a parameter within some fixed cycles, equal to L address.
L	Fixed cycle loop count. Specification of what register to edit using G10
M	Miscellaneous function.
N	Line (block) number in program. System parameter number to be changed using G10.
O	Program name.
P	Serves as parameter address for various G and M codes.
Q	Peck increment in canned cycles.
R	Defines size of arc radius, or defines retract height in milling canned cycles.
S	Defines speed, either spindle speed or surface speed depending on mode.
T	Tool selection.
U	Incremental axis corresponding to X axis (typically only lathe group A controls). Also defines dwell time on some machines (instead of "P" or "X").
V	Incremental axis corresponding to Y axis.
W	Incremental axis corresponding to Z axis (typically only lathe group A controls).
X	Absolute or incremental position of X axis.
Y	Absolute or incremental position of Y axis.
Z	Absolute or incremental position of Z axis.

Πίνακας Π4.1

Code	Description	Milling (M)	Turning (T)
G00	Rapid positioning	M	T
G01	Linear interpolation	M	T
G02	Circular interpolation, clockwise	M	T
G03	Circular interpolation, counterclockwise	M	T
G04	Dwell	M	T
G05 P10000	High-precision contour control (HPCC)	M	
G05.1 Q1.	AI Advanced Preview Control	M	
G06.1	Non-uniform rational B-spline (NURBS) Machining	M	
G07	Imaginary axis designation	M	
G09	Exact stop check, non-modal	M	T
G10	Programmable data input	M	T
G11	Data write cancel	M	T
G12	Full-circle interpolation, clockwise	M	
G13	Full-circle interpolation, counterclockwise	M	
G17	XY plane selection	M	
G18	ZX plane selection	M	T
G19	YZ plane selection	M	
G20	Programming in inches	M	T
G21	Programming in millimeters (mm)	M	T
G28	Return to home position (machine zero, aka machine reference point)	M	T
G30	Return to secondary home position (machine zero, aka machine reference point)	M	T
G31	Skip function (used for probes and tool length measurement systems)	M	
G32	Single-point threading, longhand style (if not using a cycle, e.g., G76)		T
G33	Constant-pitch threading	M	
G33	Single-point threading, longhand style (if not using a cycle, e.g., G76)		T
G34	Variable-pitch threading	M	
G40	Tool radius compensation off	M	T
G41	Tool radius compensation left	M	T
G42	Tool radius compensation right	M	T
G43	Tool height offset compensation negative	M	
G44	Tool height offset compensation positive	M	

G45	Axis offset single increase	M	
G46	Axis offset single decrease	M	
G47	Axis offset double increase	M	
G48	Axis offset double decrease	M	
G49	Tool length offset compensation cancel	M	
G50	Define the maximum spindle speed		T
G50	Scaling function cancel	M	
G50	Position register (programming of vector from part zero to tool tip)		T
G52	Local coordinate system (LCS)	M	
G53	Machine coordinate system	M	T
G54 to G59	Work coordinate systems (WCSs)	M	T
G54.1 P1 to P48	Extended work coordinate systems	M	T
G61	Exact stop check, modal	M	T
G62	Automatic corner override	M	T
G64	Default cutting mode (cancel exact stop check mode)	M	T
G68	Rotate coordinate system.	M	
G69	Turn off coordinate system rotation.	M	
G70	Fixed cycle, multiple repetitive cycle, for finishing (including contours)		T
G71	Fixed cycle, multiple repetitive cycle, for roughing (Z-axis emphasis)		T
G72	Fixed cycle, multiple repetitive cycle, for roughing (X-axis emphasis)		T
G73	Fixed cycle, multiple repetitive cycle, for roughing, with pattern repetition		T
G73	Peck drilling cycle for milling – high-speed (NO full retraction from pecks)	M	
G74	Peck drilling cycle for turning		T
G74	Tapping cycle for milling, lefthand thread, M04 spindle direction	M	
G75	Peck grooving cycle for turning		T
G76	Fine boring cycle for milling	M	
G76	Threading cycle for turning, multiple repetitive cycle		T
G80	Cancel canned cycle	M	T
G81	Simple drilling cycle	M	
G82	Drilling cycle with dwell	M	
G83	Peck drilling cycle (full retraction from pecks)	M	

G84	Tapping cycle, righthand thread, M03 spindle direction	M	
G84.2	Tapping cycle, righthand thread, M03 spindle direction, rigid toolholder	M	
G84.3	Tapping cycle, lefthand thread, M04 spindle direction, rigid toolholder	M	
G85	boring cycle, feed in/feed out	M	
G86	boring cycle, feed in/spindle stop/rapid out	M	
G87	boring cycle, backboring	M	
G88	boring cycle, feed in/spindle stop/manual operation	M	
G89	boring cycle, feed in/dwell/feed out	M	
G90	Absolute programming	M	T (B)
G90	Fixed cycle, simple cycle, for roughing (Z-axis emphasis)		T (A)
G91	Incremental programming	M	T (B)
G92	Position register (programming of vector from part zero to tool tip)	M	T (B)
G92	Threading cycle, simple cycle		T (A)
G94	Feedrate per minute	M	T (B)
G94	Fixed cycle, simple cycle, for roughing (X-axis emphasis)		T (A)
G95	Feedrate per revolution	M	T (B)
G96	Constant surface speed (CSS)		T
G97	Constant spindle speed	M	T
G98	Return to initial Z level in canned cycle	M	
G98	Feedrate per minute (group type A)		T (A)
G99	Return to R level in canned cycle	M	
G99	Feedrate per revolution (group type A)		T (A)

Πίνακας Π4.2

Code	Description	Milling (M)	Turning (T)
M00	Compulsory stop	M	T
M01	Optional stop	M	T
M02	End of program	M	T
M03	Spindle on (clockwise rotation)	M	T
M04	Spindle on (counterclockwise rotation)	M	T
M05	Spindle stop	M	T
M06	Automatic tool change (ATC)	M	T (some-times)
M07	Coolant on (mist)	M	T
M08	Coolant on (flood)	M	T

M09	Coolant off	M	T
M10	Pallet clamp on	M	
M11	Pallet clamp off	M	
M13	Spindle on (clockwise rotation) and coolant on (flood)	M	
M19	Spindle orientation	M	T
M21	Mirror, X-axis	M	
M21	Tailstock forward		T
M22	Mirror, Y-axis	M	
M22	Tailstock backward		T
M23	Mirror OFF	M	
M23	Thread gradual pullout ON		T
M24	Thread gradual pullout OFF		T
M30	End of program, with return to program top	M	T
M41	Gear select – gear 1		T
M42	Gear select – gear 2		T
M43	Gear select – gear 3		T
M44	Gear select – gear 4		T
M48	Feedrate override allowed	M	T
M49	Feedrate override NOT allowed	M	T
M52	Unload Last tool from spindle	M	T
M60	Automatic pallet change (APC)	M	
M98	Subprogram call	M	T
M99	Subprogram end	M	T

Πίνακας Π4.3

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alan Overby (2011), *CNC MACHINING Handbook: Building, Programming and Implementation*. United States: Mc Graw Hill.
- [2] Simon Monk (2014), *Make your own PCBs with EAGLE™: FROM SCHEMATIC DESIGNS TO FINISHED BOARDS*. United States: Mc Graw Hill.
- [3] John T. Johnson (2013), *The PCB-GCODE User's Manual: Version 3.6.0.4*.
- [4] Mach3
- [5] Richard Albritton (2015), *CREATE G-CODE FROM AN EAGLE FILE*, «<http://www.richa1.com/RichardAlbritton/create-g-code-from-an-eagle-file/>».
- [6] Stephen J. Mraz (2009), *A Critical Look at Acme, Ball, and Roller Screws for Linear Motion*, «<http://machinedesign.com/motion-control/critical-look-acme-ball-and-roller-screws-linear-motion>».
- [8] Instructables συντάκτης JColvin91 (2014), *How to use a Stepper Motor*, «<http://www.instructables.com/id/How-to-use-a-Stepper-Motor/?ALLSTEPS>».
- [9] Electronics Hub (2015), *Servo Motor – Types and Working Principle*, «<http://www.electronicshub.org/servo-motors/>».
- [10] CNC ROUTER SOURCE (2011), *The CNC Controller*, «<http://www.cncroutersource.com/cnc-controller.html>».
- [11] Autoleveller, *Guide: How to set-up a basic DIY electrical probe for CNC machines*, «<http://www.autoleveller.co.uk/cnc-probe-guide/>».
- [12] Autoleveller, *AUTOLEVELLER GUIDE*, «<https://www.autoleveller.co.uk/autoleveller-guide/>».
- [13] Variable Frequency Drive, *Variable Frequency Drive Working Principle*, «<http://www.variablefrequencydrive.org/vfd-working-principle>».
- [14] mechatronics.gr (2010), *PIDCONTROLLER (έλεγχος ταχύτητας σε DC κινητήρα)*, «<http://www.mechatronics.gr/el/rd/12-pid-controller.html>».
- [15] Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές, «https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/ASP309/Sae_b_tomos_sel9-106.pdf»
- [16] Wikipedia, *G-code*, «<https://en.wikipedia.org/wiki/G-code>».