



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Μελέτη Και Κατασκευή Εργαλειομηχανής CNC για την κατασκευή
ηλεκτρονικών κυκλωμάτων**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

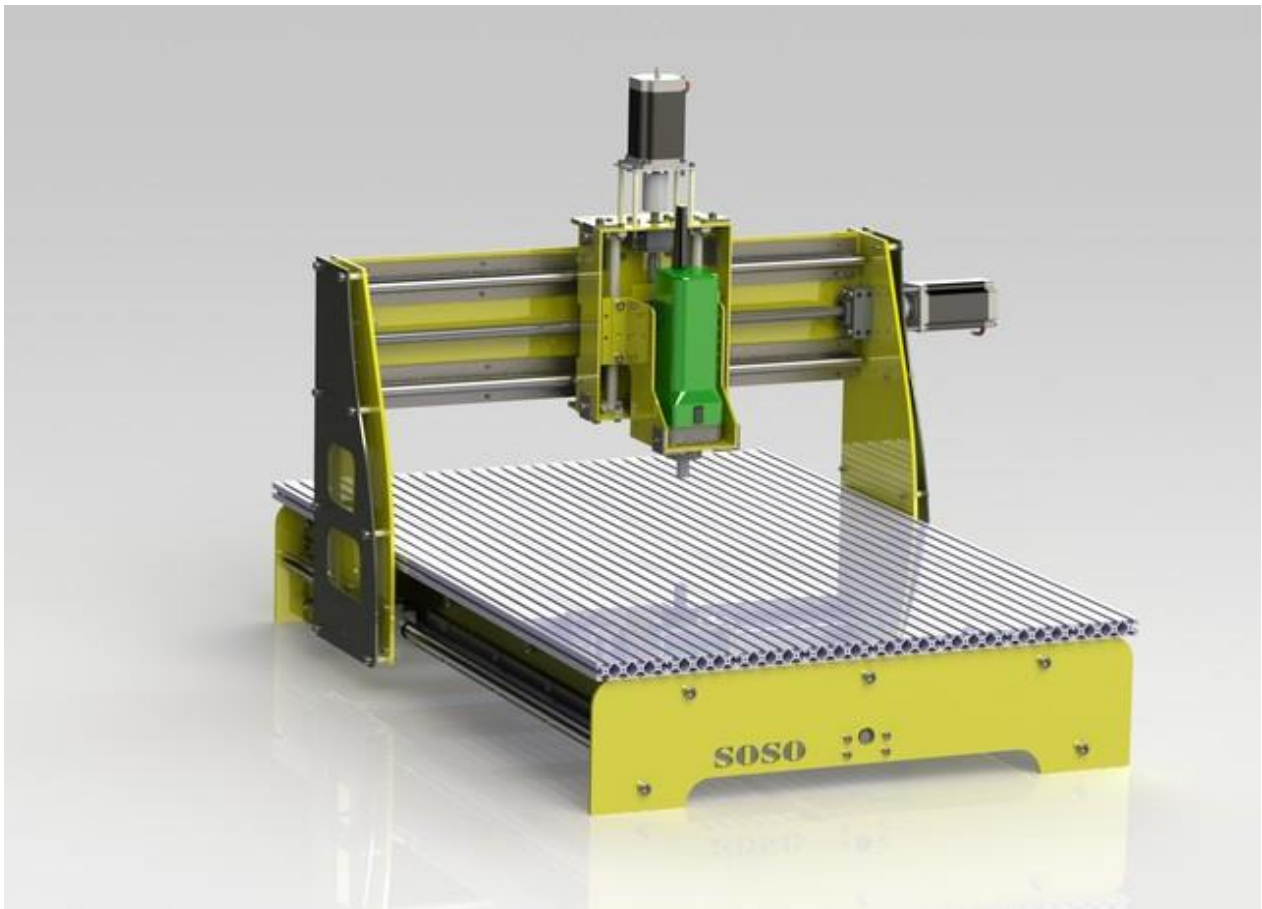
ΜΙΧΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΟΥ

Επιβλέπων : 'Αγγελος Γιακουμής
Λέκτορας ΔΙΠΑΕ

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2020



ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ CNC



του

ΜΙΧΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΟΥ

Επιβλέπων: 'Αγγελος Γιακουμής

Περίληψη

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να γίνει τεχνική μελέτη, ώστε να κατασκευαστεί εργαλειομηχανή CNC ικανή να ικανοποιήσει τις ανάγκες ενός επαγγελματία (π.χ ξυλουργού, μηχανικού, μηχανουργού κ.λ.π) που θα την χρησιμοποιεί σαν εργαλείο στην δουλειά του, όπως επίσης και ενός ερασιτέχνη μηχανικού που θα την χρησιμοποιεί στον ελεύθερο του χρόνο για επισκευές και κατασκευές. Για τον λόγο αυτό η μελέτη χωρίζεται σε δυο επιμέρους κομμάτια, το HARDWARE και το SOFTWARE ώστε να μην γίνουν λάθη στο κατασκευαστικό μέρος τα οποία αυξάνουν, πέραν του κόστους κατασκευής, τον χρόνο που απαιτείται για την περαίωσή της.

Στο HARDWARE συμπεριλαμβάνονται όλα τα υλικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα και μπορούμε να το χωρίσουμε σε δύο επιπλέον υποκατηγορίες, το μηχανολογικό και το ηλεκτρονικό κομμάτι. Στο ηλεκτρονικό ανήκουν τα βηματικά μοτέρ, ο μικροελεγκτής, η τροφοδοσία κ.τ.λ και στο μηχανολογικό ανήκουν όλα τα επιμέρους εξαρτήματα που χρειάζονται ώστε να είναι λειτουργικό το σχέδιο, από τις βίδες που θα χρησιμοποιηθούν μέχρι τον σκελετό και τον πάγκο εργασίας

Για να λειτουργήσουν όλα τα επιμέρους κομμάτια του HARDWARE πρέπει με κάποιο τρόπο να συνδεθούν μεταξύ τους. Αυτή τη δουλειά την κάνει το SOFTWARE το οποίο χωρίζεται και αυτό σε τρεις υποκατηγορίες στα CAD,CAM, και Control Software, τα οποία συνήθως είναι τρία ξεχωριστά προγράμματα. Το CAD(Computer-aided design) είναι το πρόγραμμα που μας επιτρέπει να σχεδιάζουμε αντικείμενα δυο και τριών διαστάσεων, έπειτα με το CAM(Computer-aided manufacturing) το οποίο μετατρέπει το αντικείμενο που σχεδιάσαμε με το CAD σε γλώσσα G-Code, που είναι η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται στις μηχανές CNC. Τέλος το Control Software παίρνει το μεταφρασμένο αρχείο ώστε να στείλει τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα, μέσω του μικροελεγκτή και των μοτέρ, ώστε το μέσο το οποίο έχουμε επιλέξει(plasma, laser, απλό τρυπάνι) να κάνει την επεξεργασία του υλικού που θέλουμε(ξύλο, αλουμίνιο κ.τ.λ)

Λέξεις κλειδιά: << CAD, CAM, βηματικό μοτέρ, μικροελεγκτής, G-CODE, Γραμμικοί οδηγοί, κατεργασία, αλουμίνιο>>

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2020

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Περιεχόμενα.....	6
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	7
1.1 Κίνητρο.....	7
1.2 Προβλήματα.....	7
1.3 Στόχοι.....	8
Κεφάλαιο 2ο: Εργαλειομηχανές Computerized Numerical Control (CNC).....	9
2.1 Ιστορία.....	9
2.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης εργαλειομηχανής CNC.....	11
2.3 Είδη εργαλειομηχανών.....	12
2.3.1 CNC τόρνος.....	12
2.3.2 CNC κοπτικό.....	13
2.3.3 CNC Φρέζα.....	14
Κεφάλαιο 3ο: Τεχνολογίες CNC engraver.....	16
3.1 Hardware.....	16
3.1.1 Ηλεκτρονικά Στοιχεία.....	16
3.1.1.1 Spindles.....	17
3.1.1.2 Μοτέρ κίνησης αξόνων.....	20
3.1.1.3 Ελεγκτές Εργαλειομηχανής.....	27
3.1.2 Μηχανολογικά Στοιχεία.....	36
3.1.2.1 Υλικό Κατασκευής.....	36
3.1.2.2 Μετάδοση της κίνησης.....	40
3.1.2.3 Συστήματα Οδήγησης.....	44
3.2 Software.....	49
3.2.1 Προγράμματα CAD.....	49
3.2.2 Προγράμματα CAM.....	51
3.2.3 Control Software.....	54
Κεφάλαιο 4ο: Κατασκευή εργαλειομηχανής CNC.....	59
4.1 Εισαγωγή.....	59
4.2 Hardware.....	61
4.2.1 Ηλεκτρονικά στοιχεία.....	61
4.2.1.1 Spindle.....	61
4.2.1.2 Μοτέρ κίνησης των αξόνων.....	62
4.2.1.3 Ελεγκτές λειτουργίας εργαλειομηχανής.....	64
4.2.2 Μηχανολογικά στοιχεία.....	65
4.2.2.1 Υλικό Κατασκευής.....	65
4.2.2.2 Μετάδοση της κίνησης.....	66
4.2.2.3 Σύστημα οδήγησης.....	67
4.3 Software.....	68
4.3.1 CAD software.....	68
4.3.2 CAM software.....	71
4.3.2 Control Software.....	74
Κεφάλαιο 5ο: Επίλογος.....	77
5.1 Δυσκολίες κατά την κατασκευή.....	77
5.2 Συμπεράσματα.....	77
Βιβλιογραφία.....	78

1. Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο

Για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής πρέπει να μελετηθούν διάφοροι τεχνολογικοί τομείς, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό σε συνδυασμό με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση της από μη επαγγελματίες ήταν το κίνητρο για την συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας.

1.2 Προβλήματα

Μετά την εμφάνιση του πρώτου επαναπρογραμματιζόμενου ηλεκτρονικού υπολογιστή(ENIAC) στα μέσα της δεκαετίας του 1940, η επιστημονική κοινότητα αντιλήφθηκε ότι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής θα άλλαζε άρδην οποιαδήποτε πολύπλοκη και απαιτητική εργασία, από εξομοίωση μαθηματικών μοντέλων μέχρι και την αυτοματοποίηση της βιομηχανίας. Από την προσθήκη του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην βιομηχανία μέχρι και την περίοδο που διανύουμε, από τεχνολογικής σκοπιάς τουλάχιστον, έχουν γίνει τεράστια άλματα, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν κάποια προβλήματα τα οποία δεν έχουν λυθεί:

- Για έναν ερασιτέχνη μηχανικό ή έναν χομπίστα, ο οποίος θέλει στον ελεύθερο του χρόνο να επισκευάζει και να κατασκευάζει, τα μηχανήματα που κυκλοφορούν στην αγορά είναι πολύ ακριβά ξεκινώντας από κάποιες εκατοντάδες ευρώ φτάνοντας μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες ευρώ.
- Οι περισσότερες εργαλειομηχανές του εμπορίου, είναι περίπλοκες στην λειτουργία τους και τις περισσότερες φορές πρέπει ο χειριστής της να γνωρίζει μια συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού (G-code), ώστε να μπορέσει να την χειριστεί.
- Για πιο οικονομική λύση επιλέγεις μηχανήματα το οποίο είναι ελεγχόμενο από άνθρωπο, πράγμα το οποίο, μειώνει την ακρίβεια και την αποδοτικότητα.
- Το μέγεθος της εργαλειομηχανής επίσης είναι ανάλογο της τιμής. Μεγαλύτερη επιφάνεια κοπής σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος.

1.3 Στόχοι

Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι να λυθούν στο μέγιστο βαθμό τα προβλήματα που περιεγράφηκαν στην παραπάνω παράγραφο. Μετά την ολοκλήρωση της, ένας αναγνώστης, όχι απαραίτητα με επιστημονικό υπόβαθρο, να μπορεί να κατασκευάσει μια οικονομική εναλλακτική των πολύ ακριβών λύσεων του εμπορίου, που να ανταποκρίνεται στις δικές του ανάγκες. Να μην είναι δηλαδή περίπλοκη, ώστε να μπορεί να την υλοποιήσει ακόμα και στο γκαράζ του σπιτιού του όπως επίσης και οικονομικά προσιτή για έναν χομπίστα που δεν θέλει να διαθέσει πολλά χρήματα για την κατασκευή της εργαλειομηχανής.

2. Εργαλειομηχανές Computerized Numerical Control (CNC)

2.1 Ιστορία

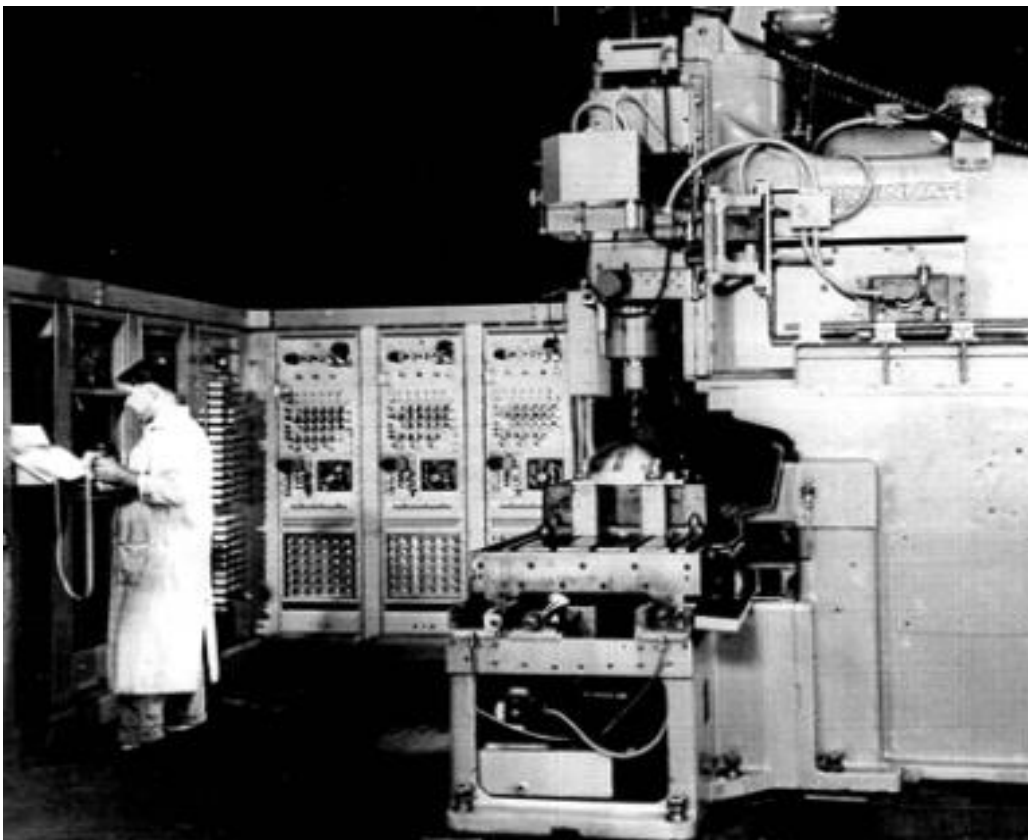
Η ανάγκη χρήσης μιας μηχανής ικανή να κατεργαστεί μέταλλο και γενικά κάποιο υλικό με μεγάλη ακρίβεια, γεννήθηκε με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης και ο John Wilkinson, Άγγλος βιομήχανος, ήταν αυτός που το 1775 κατάφερε να ικανοποιήσει αυτή την ανάγκη. Στην ουσία ο Wilkinson, ήταν ο άνθρωπος που ανακάλυψε τον τόρνο με σκοπό την κατεργασία των κυλίνδρων των ατμομηχανών. Μέχρι την ανακάλυψή του, δεν ήταν στρόγγυλοι με αποτέλεσμα την διαρροή ατμού κάτι το οποίο οδηγούσε σε χαμηλότερη απόδοση της ατμομηχανής. Μετά από μερικά χρόνια, συγκεκριμένα το 1818, ο εφευρέτης Eli Whitney δημιουργεί την φρέζα (milling machine), η ιδιαιτερότητα της οποίας ήταν ότι το εργαλείο για την διάνοιξη οπών (τρυπάνι) δεν ήταν τοποθετημένο οριζόντια στην βάση που στηριζόταν το υλικό επεξεργασίας αλλά κάθετα και από πάνω, το οποίο τρυπάνι μπορούσε να κινηθεί μηχανικά στους άξονες x, y και z.

Παράλληλα με την εφεύρεση του John Wilkinson έκαναν την εμφάνισή τους οι τρυπητές ταινίες ή τρυπητές κάρτες (punched tapes ή punched cards). Αυτές οι κάρτες ή ταινίες χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην κλωστοϋφαντουργία και συγκεκριμένα στους αργαλειούς που ήταν και οι πρώτες αυτοματοποιημένες μηχανές που σαν είσοδο είχαν τις τρυπητές ταινίες πάνω στις οποίες είχαν “τρυπηθεί” οι εντολές τις μηχανής. Έναν αιώνα μετά την εμφάνιση των πρώτων τρυπητών καρτών ο M. Fourneaux ήταν αυτός που πατένταρε το πρώτο αυτόματο πιάνο (Εικόνα 1) που δούλευε με αέρα και διοχετευόταν μέσω σωλήνων, περνούσε μέσα από κάποιου είδους τρυπητή ταινία και κινούσε τον μηχανισμό που με την σειρά του πατούσε τις νότες. Αυτή ήταν και η πρώτη φορά που μια μηχανή ελεγχόταν αποκλειστικά από τρυπητές ταινίες.



Εικόνα 1: Αυτόματο πιάνο

Έπειτα από την εμφάνιση του αυτόματου πιάνο, χρειάστηκε να περάσει ένας αιώνας, μερικοί πόλεμοι και αρκετές σπουδαίες ανακαλύψεις ώστε να φτάσουμε στο έτος 1949, λίγο μετά την λήξη του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, για να δούμε μια πραγματικά μεγάλη εξέλιξη στον χώρο του αριθμητικού ελέγχου. Εκείνη την χρονιά, η αμερικανική αεροπορία, διακήρυξε διαγωνισμό ώστε να βρει έναν πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο για την κατασκευή μερών των αεροσκαφών της. Ο άνθρωπος που εμπνεύστηκε από αυτή την ανάγκη και κατάφερε να πείσει την αμερικανική αεροπορία να τον εμπιστευτεί, είναι ο John Parsons ιδρυτής της Parsons Corp. Ο Parsons κατάφερε, με την βοήθεια του τμήματος σερβομηχανισμών του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης, να τροποποιήσει μια φρέζα ώστε να μην χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση κατά την διαδικασία της επεξεργασίας του υλικού, παρά μόνο για την τοποθέτηση της τρυπητής ταινίας (Εικόνα 2) . Άλλαξε την βάση που “κάθεται” το υλικό επεξεργασίας, αφαίρεσε τους μοχλούς ελέγχου και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και τοποθέτησε τρεις υδραυλικούς μεταβλητής ταχύτητας μηχανισμούς που αναλόγως τις εντολές που ήταν τρυπημένες στις ταινίες υπήρχε και η αντίστοιχη μετατόπιση. Μάλιστα, για να είναι σίγουρος ότι η μηχανή δεν θα κάνει λάθος, είχε τοποθετήσει ένα σύγχρονο ηλεκτρικό κινητήρα σε κάθε άξονα και η έξοδός τους συγκρινόταν με την απόκριση τάσης του κάθε υδραυλικού μηχανισμού και αν υπήρχε σφάλμα γίνονταν οι απαραίτητες διορθώσεις.



Εικόνα 2: Η αυτόματη φρέζα του John Parsons

Στα 60 χρόνια από την εμφάνιση της πρώτης αυτόματης φρέζας μέχρι και σήμερα, έχουμε δει τρομερή πρόοδο της τεχνολογίας και μάλιστα η αυτόματη φρέζα έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας με τον δημιουργό της να χαρακτηρίζεται “πατέρας” της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης.

2.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης εργαλειομηχανής CNC

- i. Ο απαιτούμενος χρόνος για την κατασκευή ενός αντικειμένου, που χρειάζεται μια εργαλειομηχανή σε σχέση με τον χρόνο που χρειάζεται μια μηχανή ελεγχόμενη από άνθρωπο, είναι πολύ λιγότερος.
- ii. Όντας χρονικά αποδοτική μια εργαλειομηχανή μπορεί να παράγει μεγαλύτερο όγκο προϊόντων από μια αντίστοιχη λύση ελεγχόμενη από άνθρωπο.
- iii. Οι εργαλειομηχανές κατεργάζονται τα επιθυμητά υλικά με μεγάλη ακρίβεια και με μικρά πιθανά σφάλματα καθιστώντας ‘τες ιδανικές για πολύ απαιτητικές εργασίες
- iv. Η μελέτη και ο σχεδιασμός του αντικειμένου που θέλουμε να παράγουμε, έχει πραγματοποιηθεί νωρίτερα σε ειδικά σχεδιαστικά προγράμματα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, πράγμα που μειώνει ακόμα περισσότερο το πιθανό σφάλμα.
- v. Με τα παραπάνω καταλήγουμε και στο συμπέρασμα ότι, αν και ακριβή η αγορά μιας εργαλειομηχανής, είναι αποδοτική σε κάθε τομέα οπότε σε βάθος χρόνου αποφέρει πολλά παραπάνω χρήματα από αυτά που ξοδευτήκαν για την αγορά της.

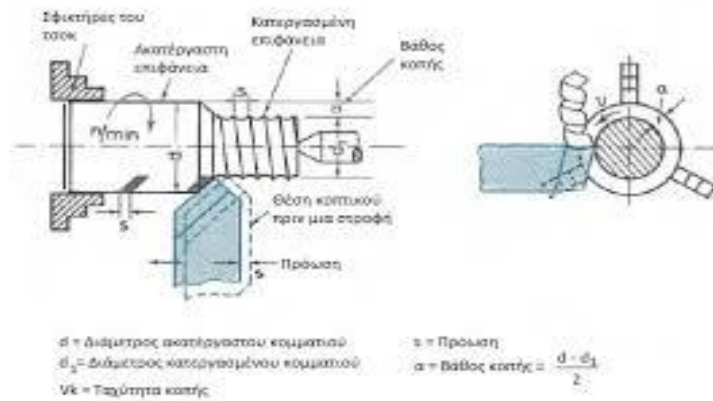
2.3 Είδη εργαλειομηχανών

2.3.1 CNC Τόρνος

Ο τόρνος είναι ένας τύπος εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην παραγωγική διαδικασία από πολλούς, επαγγελματίες και ερασιτέχνες, που ασχολούνται με αντικείμενα διαφορετικά μεταξύ τους. Η ιδιαιτερότητα του τόρνου είναι ότι, το υλικό κατεργασίας, που είναι τοποθετημένο σε σειρά με το κοπτικό, περιστρέφεται αφού έχει τοποθετηθεί σε μια βάση (τσοκ) και το κοπτικό εργαλείο, το οποίο κινείται σε δυο, τρεις, τέσσερις ή πέντε άξονες, πλησιάζει το περιστρεφόμενο αντικείμενο αφαιρώντας υλικό. Στην εικόνα 3 μπορούμε να δούμε έναν επαγγελματικό τόρνο, που έχει ενσωματωμένο υπολογιστή για την εισαγωγή εντολών από τον χειριστή ή από εξωτερική πηγή, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τόρνου που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία. Στην εικόνα 4 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αφαίρεση του υλικού.



Εικόνα 3: Τόρνος CNC



Εικόνα 4: Διαδικασία τόννευσης

2.3.2 CNC κοπτικό

Σε αυτή την κατηγορία το κοπτικό μέσο είναι τοποθετημένο κάθετα στο αντικείμενο κοπής και κινείται σε τρεις, τέσσερις ή πέντε άξονες. Αυτού του είδους τα κοπτικά δεν μορφοποιούν ένα αντικείμενο παρά μόνο το κόβουν. Επίσης μπορούμε να τα χωρίσουμε σε υποκατηγορίες ανάλογα με το κοπτικό μέσο που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα έχουμε κοπτικό πλάσματος όταν χρησιμοποιούμε πλάσμα, κοπτικό λέιζερ όταν σαν μέσο κοπής έχουμε λέιζερ και υδροκοπή όταν σαν μέσο κοπής χρησιμοποιείται το νερό. Επειδή στις δυο πρώτες περιπτώσεις, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή, είναι μεγάλες υπάρχει, συνήθως, σύστημα απαγωγής της θερμότητας.



Εικόνα 5: Κοπή μετάλλου με λέιζερ



Εικόνα 6: Κοπή μετάλλου με πλάσμα

2.3.3 Φρέζα CNC

Σε αυτή την κατηγορία, όπως και στην προηγούμενη, η επεξεργασία του υλικού γίνεται από κοπτικό εργαλείο που είναι τοποθετημένο κάθετα στον πάγκο συγκράτησης του υλικού. Υπάρχει όμως μια μεγάλη διαφορά που διαχωρίζει αυτές τις δυο κατηγορίες. Η φρέζα χρησιμοποιείται κατά κόρον για την μορφοποίηση ενός υλικού κατά βούληση του χειριστή (Εικόνα 9). Έχει πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογής και συνήθως, μπορεί να κάνει αρκετά αποδοτικά την δουλειά, που θα έκανε και ένα κοπτικό λέιζερ ή πλάσματος απλά σε περισσότερο χρόνο και με μεγαλύτερη απώλεια υλικού. Βέβαια, δεν είναι ο κύριος λόγος που προτιμάται, αφού χρησιμοποιείται για πολύ πιο απαιτητικές διεργασίες όπως για παράδειγμα η δημιουργία γραναζιών για συστήματα μετάδοσης της κίνησης, ακόμα και για γλυπτά, που φαίνονται σαν να είναι σμιλευμένα από ανθρώπινο χέρι. Το κυριότερο στοιχείο, που χαρακτηρίζει μια φρέζα, είναι σε πόσους άξονες μπορεί να κινηθεί το κοπτικό εργαλείο και είναι το σημαντικότερο, αφού αυτό το στοιχείο είναι που καθορίζει την περιπλοκότητα του σχεδίου που μπορεί να φέρει εις πέρας η εργαλειομηχανή, αλλά και τον χρόνο που θα χρειαστεί για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Έτσι, για παράδειγμα, μια φρέζα τριών αξόνων δεν μπορεί να κατεργαστεί ένα κομ-

μάτι αλουμινίου για να κατασκευαστεί ένα μπλοκ κινητήρα αυτοκινήτου, εν αντιθέσει με ένα σύστημα τεσσάρων ή πέντε αξόνων που μπορεί. Βέβαια, η προσθήκη άξονα κίνησης ανεβάζει και το κόστος αγοράς/κατασκευής μιας τέτοιας εργαλειομηχανής, όπως επίσης και την πολυπλοκότητα της. Στις εικόνες που ακολουθούν παρατίθενται παραδείγματα μηχανών που μπορούν να χαρακτηριστούν φρέζες.



Εικόνα 7: Φρέζα βιομηχανικού τύπου



Εικόνα 8: Φρέζα μικρής κλίμακας κατάλληλη και για διευκόλυνση στην κατασκευή PCB



Εικόνα 9: Εργαλειομηχανή κατά την διαδικασία επεξεργασίας αλουμινίου

3. Τεχνολογίες CNC engraver

3.1 Hardware

Στο **HARDWARE** περιλαμβάνονται όλα τα υλικά στοιχεία που συνθέτουν την μηχανή. Για ευκολότερη κατανόηση από τον αναγνώστη των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μηχανή θα χωρίσουμε την κατηγορία αυτή σε δύο υποκατηγορίες, των **Ηλεκτρονικών** και των **Μηχανολογικών** στοιχείων.

3.1.1 Ηλεκτρονικά Στοιχεία

Στα ηλεκτρονικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται όλα τα κομμάτια της μηχανής, τα οποία για την λειτουργία τους χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα στοιχεία είναι υπεύθυνα για την κίνηση των αξόνων, την επικοινωνία του υπολογιστή με την μηχανή, τον διαμοιρασμό της ηλεκτρικής ενέργειας κ.ο.κ. Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται όλα τα παραπάνω.

3.1.1.1 Spindles

Γενικά περί Spindles

Όλες οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία υλικού, προκειμένου να έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν αυτή την διαδικασία, χρειάζονται ένα μέσο κοπής πάνω στο οποίο “κουμπώνει” το κοπτικό εργαλείο. Αυτό το μέσο κοπής στην αγγλική γλώσσα αναφέρεται σαν **spindle**, όπου στα ελληνικά μεταφράζεται σαν αδράχτι. Το αδράχτι είναι ένα κυλινδρικό αντικείμενο που χρησιμοποιείται σε κάποια μηχανή και είναι κατασκευασμένο από μέταλλο ή ξύλο και κινείται πάνω σε κάποιον άξονα. Επειδή ο όρος αδράχτι δεν αντιπροσωπεύει ακριβώς την λέξη **spindle** θα συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε την αγγλική λέξη.

Τα spindles που χρησιμοποιούνται για CNC εφαρμογές ποικίλουν σε μέγεθος και σχήμα. Οι περισσότεροι που ξεκινάνε την ενασχόλησή τους με τις εργαλειομηχανές δεν δίνουν ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή ενός σωστού spindle, που ταιριάζει στις ανάγκες τις δικές τους αλλά και της εργαλειομηχανής που έχουν στήσει. Μπορεί να φαίνεται μια απλή διάταξη, αφού στην ουσία είναι ένα τρυπάνι, αλλά δέχεται πολύ μεγάλες καταπονήσεις κατά την διάρκεια της κατεργασίας του υλικού, με αποτέλεσμα, αν δεν έχει γίνει σωστή επιλογή του, να κινδυνεύει να καταστραφεί ακόμα και ο σκελετός στήριξής του. Άρα, αναλόγως το υλικό επεξεργασίας και την κατεργασία που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε σε κάποιο υλικό, επιλέγουμε ένα spindle με συγκεκριμένη ιπποδύναμη, ταχύτητα περιστροφής και γενικά τα χαρακτηριστικά που εξυπηρετούν την ενέργεια που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Έτσι, είναι καλύτερα να χωρίσουμε σε δυο υποκατηγορίες τα spindles, ώστε να είναι πιο εύκολη η επιλογή του καταλληλότερου για την εκάστοτε εργαλειομηχανή

Spindles χωρίς VFD(Variable Frequency Drive)

Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται όλα τα spindles τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγική διαδικασία και δεν είναι ελεγχόμενα από VFD(παρακάτω θα δούμε τον όρο VFD). Έχουν ευρεία γκάμα και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, για διάφορες εφαρμογές, από ένα αρκετά μικρό μονοφασικό με ισχύ 400W έως τριφασικές μονάδες μερικών χιλιάδων Watt. Στην ίδια κατηγορία ,μπορούμε να κατατάξουμε και τα brushed spindles, που χρησιμοποιούν καρβουνάκια για την λειτουργία τους, τα οποία δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα αφού τα καρβουνάκια φθίρονται εύκολα και

θέλουν συχνά αλλαγή. Γενικά, spindles που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, προτιμώνται κατά κόρον από άτομα που είναι η πρώτη φορά που χρησιμοποιούν/κατασκευάζουν μια εργαλειομηχανή CNC. Οι λόγοι που επιλέγονται από συγκεκριμένη μερίδα ανθρώπων είναι εμφανείς. Ο κυριότερος όλων είναι η τιμή, αφού είναι ακόμα και μερικές εκατοντάδες ευρώ φθηνότερα από τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται μαζί με VFD. Επίσης, δεν χρειάζονται κάποιο σύστημα ψύξης, θετικό γιατί γλιτώνουμε επιπλέον έξοδα για την αγορά κάποιου αλλά, παράλληλα αρνητικό, γιατί από την στιγμή που δεν υπάρχει κάποιο σύστημα να απάγει την θερμότητα αν “ζοριστεί” λίγο παραπάνω με κάποιο υλικό και ανεβάσει θερμοκρασία μπορεί να υπάρξει ανεπανόρθωτη ζημιά στο κοπτικό μέσο. Σε τέτοιου είδους κοπτικά μέσα που δεν έχουμε τον απόλυτο έλεγχο των στροφών δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για όλα τα υλικά. Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, για μια πιο επαγγελματική λύση τα κοπτικά μέσα που υπάγονται σε αυτή την κατηγορία δεν ενδείκνυνται. Παρακάτω στις εικόνες 10 ,11 και 12 παρατίθενται τρία αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας.



Εικόνα 10



CNCAT router Systems Plasma and Engravers

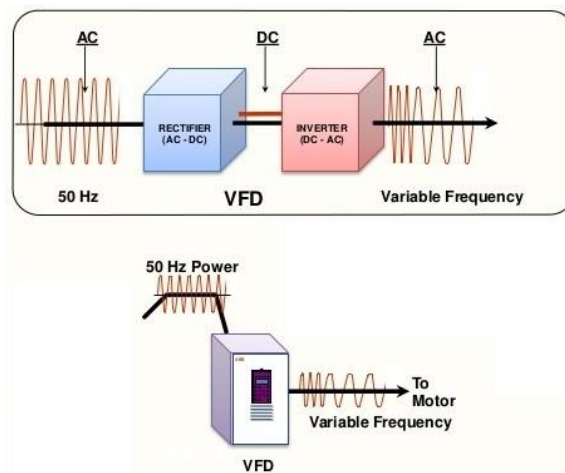
Εικόνα 11



Εικόνα 12

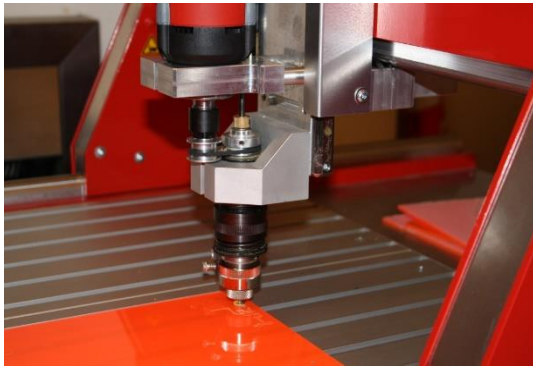
Spindles με έλεγχο VFD(Variable Frequency Drive)

Σε αυτή την κατηγορία συναντάμε μόνο AC κινητήρες, υψηλής απόδοσης σε συνδυασμό πάντα με έναν ελεγκτή στροφών(VFD). Ο VFD στην ουσία είναι ένας μετατροπέας AC-DC-AC, ο οποίος μετατρέπει/μεταβάλλει την είσοδο σε μια επιθυμητή έξοδο, κάνοντας εφικτό τον έλεγχο των στροφών του κοπτικού μέσου. Στην εικόνα 13 φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα ενός ελεγκτή στροφών. Ο έλεγχος του spindle μέσω VFD, προσφέρει μακροζωία στο spindle που θα χρησιμοποιήσουμε, αφού δεν δουλεύει πάντα στο μέγιστο των στροφών του, επίσης τα υλικά που θα υποστούν επεξεργασία έχουν όρια στο φορτίο που μπορούν να δεχτούν όπως και το κοπτικό εργαλείο με αποτέλεσμα, χωρίς την χρήση VFD, να έχουμε κάποιο απρόοπτο συμβάν όπως η καταστροφή του κοπτικού εργαλείου. Στα παραπάνω μπορεί να προστεθεί και ο περιορισμός στην κατανάλωση ενέργειας με την χρήση ελεγκτή στροφών, αφού αναλόγως της εφαρμογής που χρησιμοποιείται η εργαλειομηχανή, αυξομειώνουμε τις στροφές για μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης τα AC μοτέρ, σε συνδυασμό με έναν VFD, έχουν χαμηλότερο δείκτη θορύβου σε σχέση με τα brushed μοτέρ ή τα spindles της προηγούμενης κατηγορίας, αφού τα μεν έχουν τα "καρβουνάκια" τα οποία τρίβονται πάνω στον ρότορα για την εναλλαγή της πολικότητας και τα δε χωρίς τον ελεγκτή δουλεύουν σε υψηλές στροφές ασκόπως παράγοντας αρκετό θόρυβο. Όλα αυτά όμως έρχονται με ένα οικονομικό κόστος αρκετά υψηλότερο σε σχέση με την μη χρήση του VFD μερικές φορές της τάξης των χιλιάδων ευρώ.



Εικόνα 13: Μπλοκ διάγραμμα VFD

Υπάρχουν βέβαια και κάποια ακόμα είδη spindles ,τα όποια υπάγονται στην ουσία στις παραπάνω κατηγορίες, αλλά δεν θα εμβαθύνουμε περισσότερο μπορούμε να δούμε μερικά παραδείγματα στις εικόνες παρακάτω.



Εικόνα 14: Spindle οδηγούμενο από μάντα



Εικόνα 15: Spindle οδηγούμενο από γρανάζι

3.1.1.2 Μοτέρ κίνησης αξόνων

Γενικά περί ηλεκτρικών μοτέρ

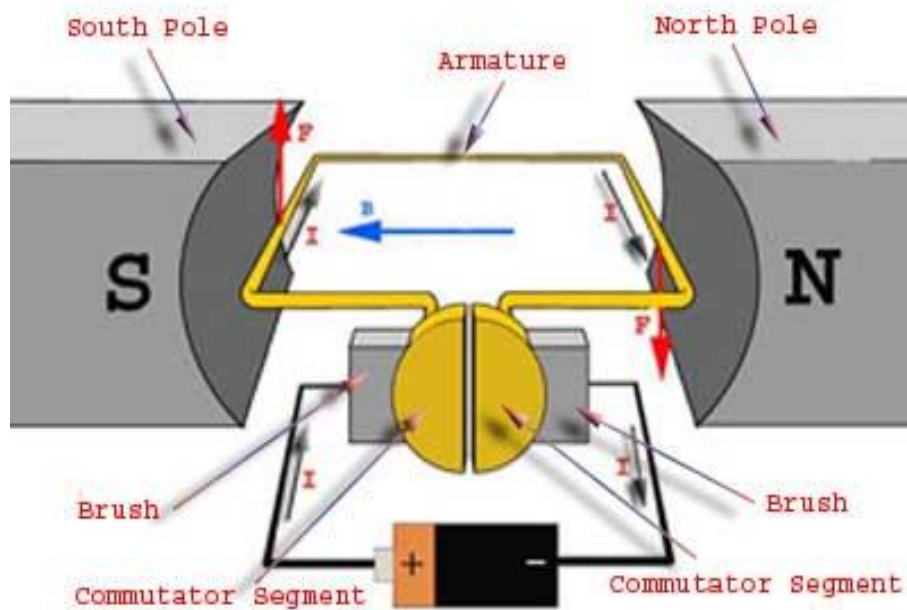
Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρική μηχανή που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 16, ένας απλός κινητήρας αποτελείται από τον στάτορα ο οποίος είναι στην ουσία μια συρμάτινη περιέλιξη, τον ρότορα που είναι ένας μόνιμος μαγνήτης και την πηγή τροφοδοσίας. Όταν λοιπόν τοποθετήσουμε την συρμάτινη περιέλιξη ανάμεσα στους δυο πόλους του μόνιμου μαγνήτη και την συνδέσουμε στην τροφοδοσία αρχίζει να ασκείται μια δύναμη Laplace πάνω του που είναι ίση με $F = I \cdot \lambda \cdot B \cdot \eta \mu \varphi$ όπου

I = Ένταση ρεύματος

λ = Μήκος αγωγού

B = Ένταση μαγνητικού πεδίου

φ = Γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών(B)



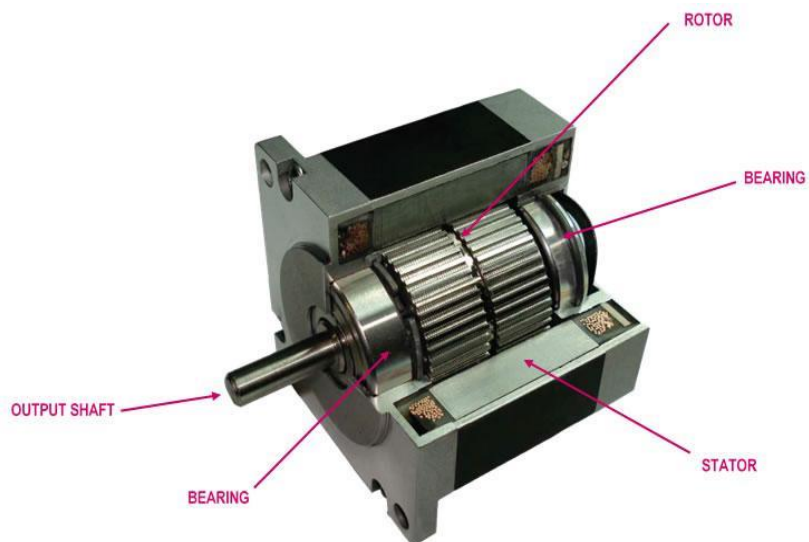
Εικόνα 16: Παράδειγμα απλού ηλεκτροκινητήρα

Οι κινητήρες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα την πηγή τροφοδοσίας που χρησιμοποιούν. Έτσι έχουμε, τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC motors) και τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors), με την κάθε κατηγορία να έχει τα πλεονεκτήματά της και τα μειονεκτήματά της, τα οποία δεν θα αναλυθούν περαιτέρω. Τα παραπάνω, αναφέρθηκαν, για να καταλάβουμε τις βασικές αρχές που διέπουν έναν ηλεκτρικό κινητήρα και αυτό γιατί, θα χρειαστεί να κάνουμε επιλογή των καταλληλότερων κινητήρων που θα αναλάβουν την κίνηση των μηχανικών μερών της εργαλειομηχανής στους άξονες. Στις εργαλειομηχανές χρησιμοποιούνται κατά κόρον, είτε είναι κάποια επαγγελματική λύση είτε κάποια κατασκευή ερασιτέχνη, δυο ειδών μοτέρ, τα βηματικά και τα σέρβο. Μεταξύ τους υπάρχουν κάποιες ομοιότητες αλλά αρκετές διαφορές και αναλόγως την διεργασία που θα κληθεί να κάνει η εργαλειομηχανή, πρέπει να γίνει η επιλογή ώστε να καλύπτονται η ανάγκες του χρήστη στην καλύτερη δυνατή τιμή. Παρακάτω θα αναλύσουμε και τα δυο είδη μοτέρ αναλύοντας τα θετικά και τα αρνητικά του κάθε είδους.

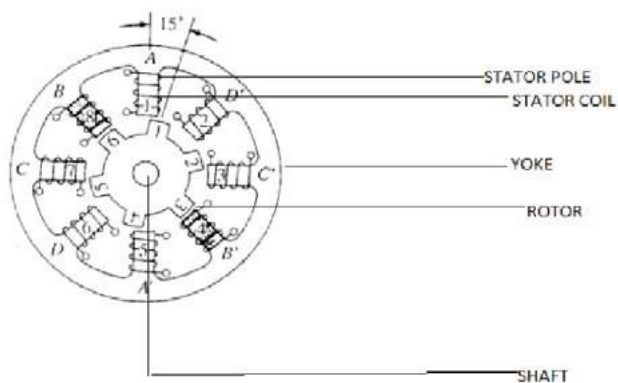
Βηματικοί κινητήρες

- Δομή βηματικού κινητήρα

Η δομή ενός βηματικού κινητήρα θυμίζει αυτή ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Γενικά, είναι απλός σε λειτουργία και κατασκευή για τον λόγο ότι έχει μόλις ένα κινούμενο μέρος και αυτό είναι ο ρότορας. Ο ρότορας, με την σειρά του δεν έχει πηνία, αλλά είναι είτε ένας μόνιμος μαγνήτης είτε στην περίπτωση των μηχανών μεταβλητής ανάδρασης, ένας οδοντωτός κύλινδρος κάποιου μαγνητικά μαλακού υλικού. Τα πηνία εδράζονται πάνω στον στάτορα, δημιουργώντας έναν ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος περικλείει τον στάτορα που ανάλογα με την θέση του ρότορα αλλάζει πολικότητα. Ο ρότορας με την σειρά του είναι προσαρτημένος πάνω σε έναν άξονα, ο οποίος στις δυο άκρες του έχει ρουλεμάν για την απροβλημάτιστη περιστροφή του και μεταδίδει την κίνηση στο επιθυμητό μέσο. Στις εικόνες 17 και 18 μπορούμε να διακρίνουμε όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά του βηματικού κινητήρα.



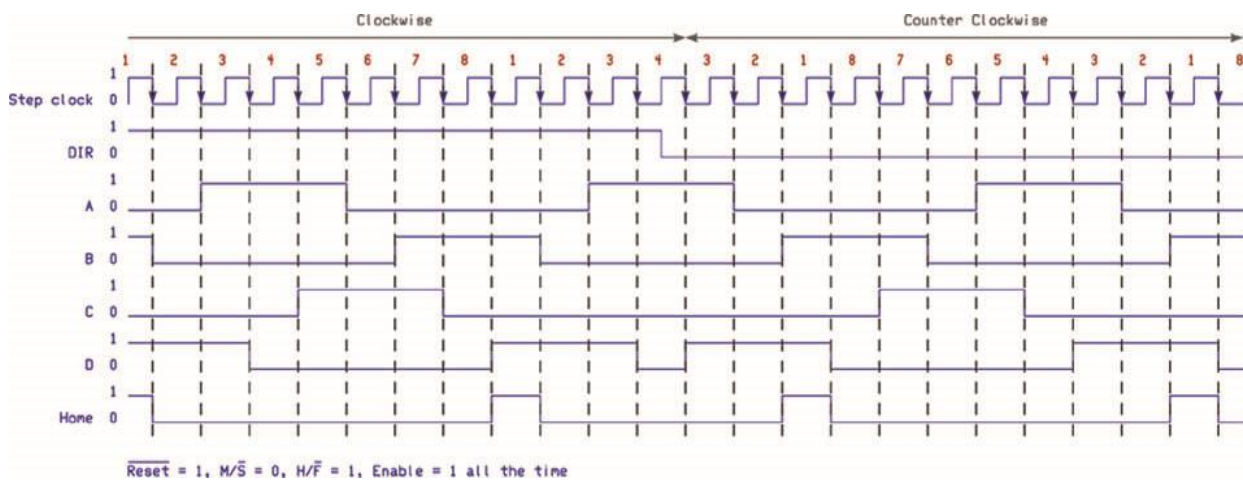
Εικόνα 17: Διατομή βηματικού κινητήρα



Εικόνα 18: Δομή βηματικού κινητήρα

- **Λειτουργία βηματικού κινητήρα**

Από την ονομασία του βηματικού κινητήρα μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για την λειτουργία. Ο βηματικός κινητήρας, είναι ένας σύγχρονος κινητήρας, που έχει την ιδιότητα να χωρίζει μια πλήρη περιστροφή 360 μοιρών σε πολλά επιμέρους βήματα. Πέραν από αυτή την ιδιότητά του, ο βηματικός κινητήρας, δουλεύει όπως όλοι οι ηλεκτρικοί κινητήρες, μετατρέπει δηλαδή την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική μέσω του φαινομένου της επαγωγής. Θετικό στοιχείο του βηματικού κινητήρα, η ακρίβεια λειτουργίας του χωρίς την ανάγκη βαθμίδας ανάδρασης για τον προσδιορισμό της θέσης του άξονα περιστροφής, για τυχόν διορθώσεις. Αυτό είναι εφικτό εξαιτίας της δομής του βηματικού κινητήρα, αφού για την κίνηση του ρότορα χρησιμοποιούν συνδυασμό ηλεκτρικών παλμών. Αυτός ο συνδυασμός αποτελείται, από τους παλμούς των βημάτων που ανάλογα το πλήθος τους έχουμε και τον αντίστοιχο αριθμό βημάτων στον άξονα ο οποίος μετά το πέρας τους παραμένει στην τελευταία θέση. Το δεύτερο σήμα ελέγχου είναι αυτό που καθορίζει την κατεύθυνση κατά την οποία θα κινηθεί ο άξονας, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Στην εικόνα 19 μπορούμε να δούμε έναν συνδυασμό παλμών που δέχεται σαν είσοδο ένας βηματικός κινητήρας.



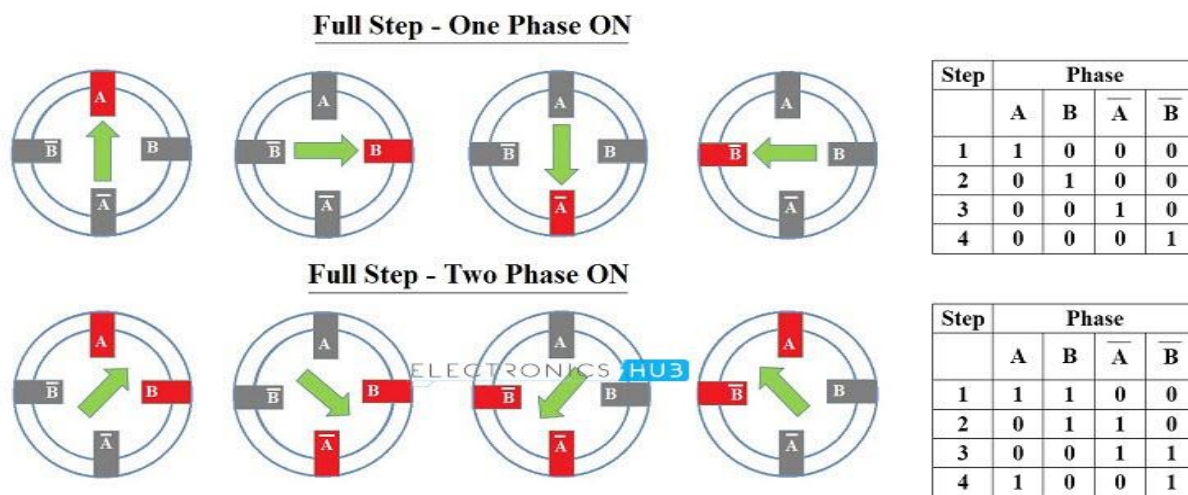
Εικόνα 19: Κυματομορφές εισόδου βηματικού κινητήρα

Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα βασίζεται στην αρχή ότι οι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται και οι ετερόνυμοι μαγνητικοί πόλοι έλκονται. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται ο στάτορας, που αποτελείται από τους ηλεκτρομαγνήτες A1 και A2, και ο ρότορας. Όταν η πολικότητα του ρεύματος είναι τέτοια ώστε ο ηλεκτρομαγνήτης A1 σχηματίζει βόρειο πόλο και ο ηλεκτρομαγνήτης A2 σχηματίζει τον νότιο πόλο, τότε ο ρότορας ξεκινάει από μια τυχαία θέση και περιστρέφεται προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά μέχρι να βρει την κατάσταση ηρεμίας.



Εικόνα 20:

Το παραπάνω είναι η βασική δομή ενός βηματικού κινητήρα αλλά συνήθως οι βηματικοί κινητήρες έχουν περισσότερους οπλισμούς, δυο και πάνω, όπως επίσης και παραπάνω πόλους, τέσσερις και πάνω, για μεγαλύτερο έλεγχο. Στην εικόνα 21 παραθέτουμε την κατάσταση λειτουργίας ενός βηματικού κινητήρα δυο οπλισμών και τεσσάρων πόλων. Στην μια περίπτωση έχουμε μια φάση για την λειτουργία του κινητήρα ενώ στην άλλη περίπτωση δυο φάσεις. Η λειτουργία με τις δυο φάσεις μας βοηθάει να υποδιαιρέσουμε τον κύκλο που κινείται ο ρότορας σε μικρότερα διαστήματα άρα να αυξήσουμε τα βήματα του κινητήρα κατ' επέκταση να έχουμε μεγαλύτερο έλεγχο του κινητήρα.



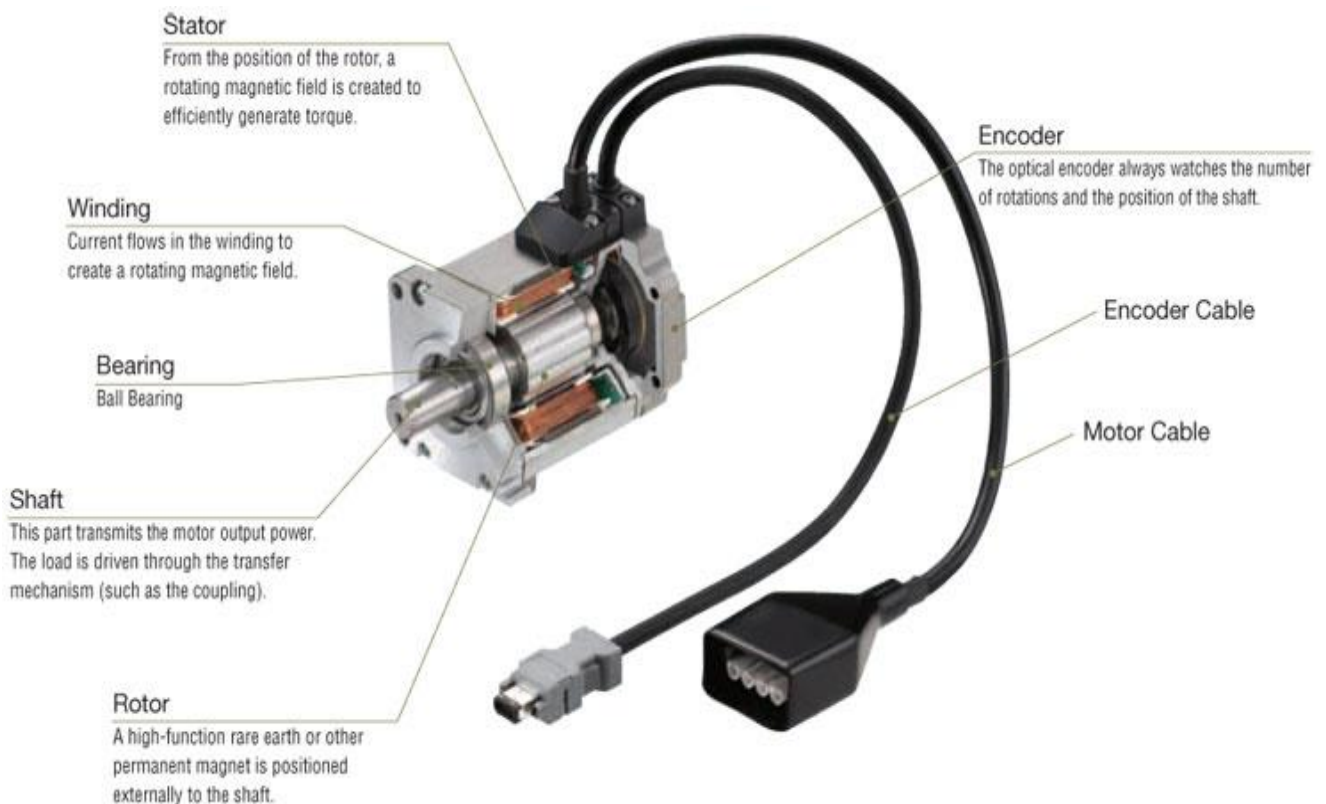
Εικόνα 21: Κατάσταση λειτουργίας βηματικού κινητήρα μιας και δυο φάσεων αντίστοιχα

Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από την εικόνα, όταν είναι ενεργές δυο φάσεις, έχουμε τέσσερα επιπλέον βήματα αφού πλέον ο ρότορας βρίσκεται κατάσταση ισορροπίας και μεταξύ των ηλεκτρομαγνητών άρα έχουμε και μεγαλύτερο έλεγχο του κινητήρα.

Σερβοκινητήρας

- **Δομή σερβοκινητήρα**

Ο σερβοκινητήρας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας κινητήρας που "υπηρετεί" ακολουθώντας πιστά τις εντολές που του δίνονται μέσω του συστήματος ελέγχου, εντολές οι οποίες είναι είτε ροπή, είτε ταχύτητα και θέση ή και συνδυασμός τους. Η δομή του είναι ίδια με αυτή ενός βηματικού κινητήρα, όταν έχουμε επαγωγικό κινητήρα (brushless), με την διαφορά ότι ο σερβοκινητήρας είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου (με ανάδραση), πράγμα που σημαίνει πως ο κινητήρας πρέπει να έχει μια βαθμίδα ανάδρασης. Να αναφερθεί ότι υπάρχουν διάφορα είδη σερβοκινητήρα (brushless, συνεχούς ρεύματος κ.α), αλλά εμάς μας ενδιαφέρει κυρίως ο επαγωγικός (brushless). Στην εικόνα 22 μπορούμε να δούμε έναν σύγχρονο σερβοκινητήρα και τα επιμέρους κομμάτια του.

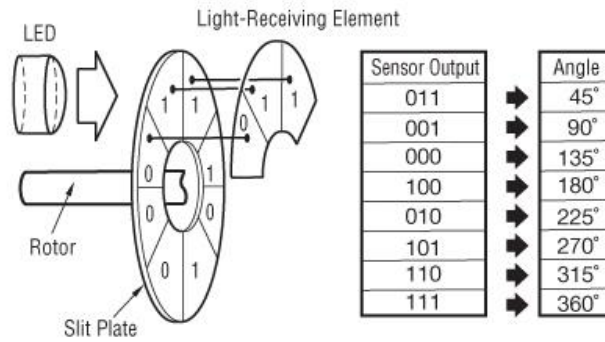


Εικόνα 22: Δομή σύγχρονου σερβοκινητήρα

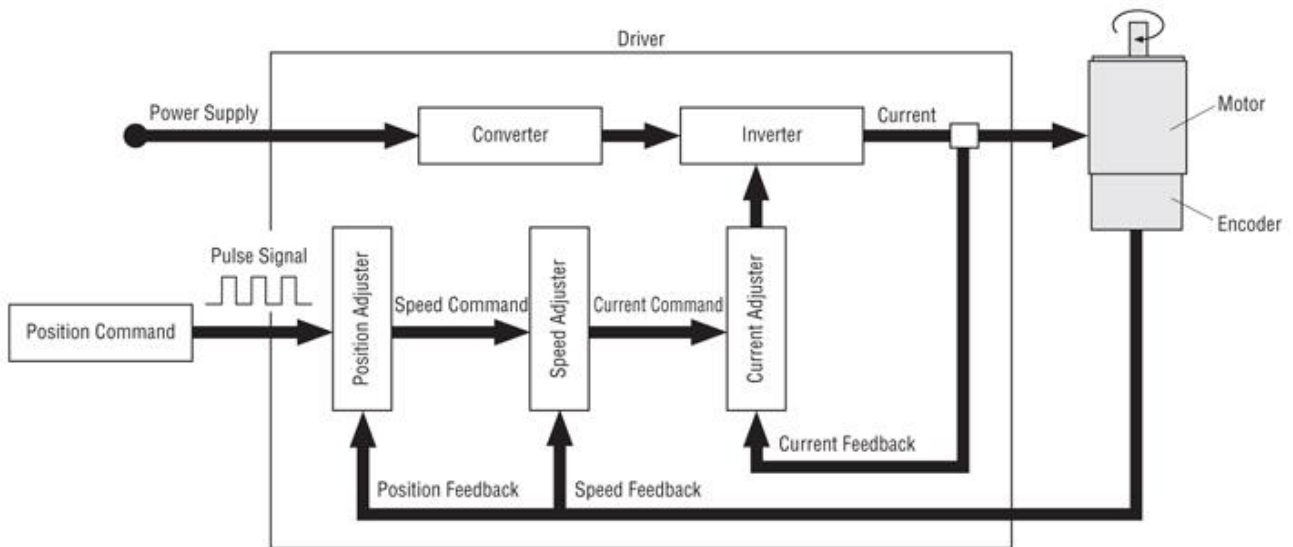
Ο σερβοκινητήρας ,όπως βλέπουμε και στην εικόνα, αποτελείται από τον στάτορα ο οποίος έχει τις περιελίξεις του κινητήρα και ουσιαστικά πρόκειται για ηλεκτρομαγνήτη, τον ρότορα που είναι μαγνήτης ή κατασκευασμένος από κάποιο μαγνητικά μαλακό υλικό. Η κυριότερη διαφορά τώρα ,στην δομή του σερβοκινητήρα σε σχέση με τον βηματικό κινητήρα, είναι ότι ο σερβοκινητήρας έχει μια μετρητική διάταξη υπεύθυνη να μετράει την ταχύτητα περιστροφής, την θέση και την φορά περιστροφής του ρότορα. Οι δυο μετρητικές διατάξεις που μας ενδιαφέρουν είναι ο ηλεκτρομαγνητικός μετρητής θέσης (resolver) και ο οπτικός κωδικοποιητής θέσης. Η κάθε διάταξη έχει τα θετικά της που δεν θα αναλύσουμε περαιτέρω.

- **Λειτουργία σερβοκινητήρα**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σερβοκινητήρας έχει πολλά κοινά στη δομή του με τον βηματικό κινητήρα, πράγμα που ισχύει και με την λειτουργία του. Μέσω μιας πλακέτας οδήγησης στέλνεται συνδυασμός ηλεκτρικών παλμών, όπως και στους βηματικούς κινητήρες, που καθορίζουν την φορά αλλά και την διαδρομή που θα πραγματοποιήσει ο ρότορας. Σε αντίθεση με τον βηματικό κινητήρα , που είναι ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου και δεν έχει βαθμίδα ανάδρασης, στους σερβοκινητήρες έχουμε βαθμίδα ανάδρασης. Από το αισθητήριο, το οποίο παρακολουθεί συνεχώς την θέση και την φορά περιστροφής του δρομέα, αποστέλλεται σήμα που περιέχει την πληροφορία της θέσης και της φοράς στην μονάδα οδήγησης του σερβοκινητήρα. Έπειτα από την μονάδα οδήγησης αυτή η πληροφορία μεταφέρεται στην κεντρική μονάδα ελέγχου και μέσω κάποιου προγράμματος ελέγχου είμαστε σε θέση να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή την θέση του δρομέα. Στην γενική λειτουργία του σερβοκινητήρα μπορούμε να πούμε ότι είναι ίδια με αυτή του βηματικού κινητήρα αφού βασίζεται στην αρχή του μαγνητισμού, ότι δηλαδή οι ομώνυμοι μαγνήτες απωθούνται και οι ετερόνυμοι έλκονται. Έτσι ανατρέχοντας στην λειτουργία του βηματικού κινητήρα μπορούμε να καταλάβουμε την λειτουργία του σερβοκινητήρα. Στην εικόνα 23 που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση που γίνεται στον οπτικό κωδικοποιητή θέσης όπως επίσης και η μοίρες μετατόπισης. Επίσης στην εικόνα 24 παρατίθεται το μπλοκ διάγραμμα ενός σερβοκινητήρα μαζί με το κύκλωμα οδήγησης ώστε να καταλάβουμε καλύτερα την λειτουργία του.



Εικόνα 23: Ενδεικτική λειτουργία κωδικοποιητή θέσης



Εικόνα 24: Μπλόκ διάγραμμα σερβοκινητήρα

3.1.1.3 Ελεγκτές Εργαλειομηχανής

Γενικά περί ελεγκτών

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα, όπως αυτό της εργαλειομηχανής, πρέπει με κάποιο τρόπο όλα τα επιμέρους ηλεκτρονικά να λαμβάνουν της πληροφορίες που στέλνει ο χρήστης και να στέλνουν κάποια ανάδραση ώστε να είναι σίγουρος ότι οι εντολές που έδωσε στην εργαλειομηχανή εκτελούνται ακριβώς όπως θέλει. Αν δεν γίνεται σωστά η εκτέλεση των εντολών και δεν υπάρχει ανάδραση ώστε να το καταλάβει ο χρήστης είναι πολύ πιθανό να καταστραφεί το υλικό που κατεργάζεται η εργαλειομηχανή ή ακόμα να πάθει κάποια ζημία και η ίδια η εργαλειομηχανή. Για να

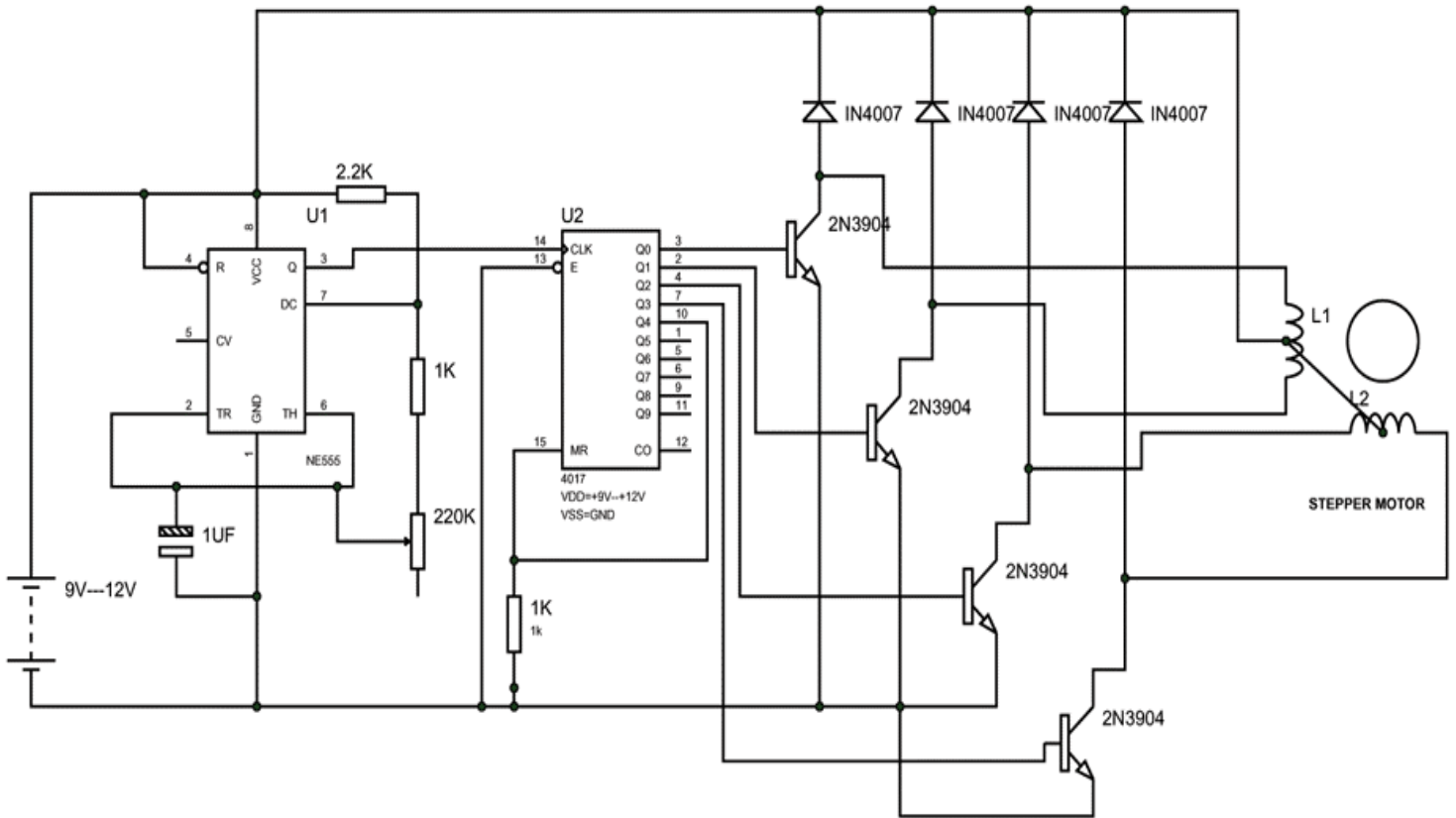
αποφευχθούν οποιεσδήποτε ζημιές, οι οποίες κοστίζουν σε χρόνο αλλά και σε χρήμα, χρησιμοποιούμε ελεγκτές που μας βοηθάνε σε αυτό το έργο. Σε ένα σύστημα όπως αυτό που εξετάζουμε έχουμε, κυρίως, δυο οδηγούς/ελεγκτές, τους οδηγούς των βηματικών κινητήρων και τον κύριο ελεγκτή που στέλνει τις πληροφορίες σε όλα τα ηλεκτρονικά της εργαλειομηχανής.

Ελεγκτές κινητήρων κίνησης αξόνων

Όλοι οι κινητήρες, που η λειτουργία που θέλουμε να επιτελέσουν είναι περιπλοκότερη από την απλή περιστροφή προς οποιαδήποτε φορά, πρέπει να έχουν κάποιου είδους οδήγησης, είτε είναι ανοιχτού βρόγχου είτε είναι κλειστού. Ειδικότερα, για την χρήση που τους χρειαζόμαστε, που σε μικρό χρονικό διάστημα ο κινητήρας αλλάζει ταχύτητα και φορά περιστροφής πολλές φορές, η χρήση κυκλώματος οδήγησης είναι επιβεβλημένη. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλές λύσεις και τις περισσότερες φορές με την αγορά κάποιου ηλεκτρικού κινητήρα, στην περίπτωση μας βηματικός ή σερβο κινητήρας, ο πωλητής προμηθεύει τον αγοραστή με το κατάλληλο κύκλωμα οδήγησης που είναι έτοιμο για χρήση.

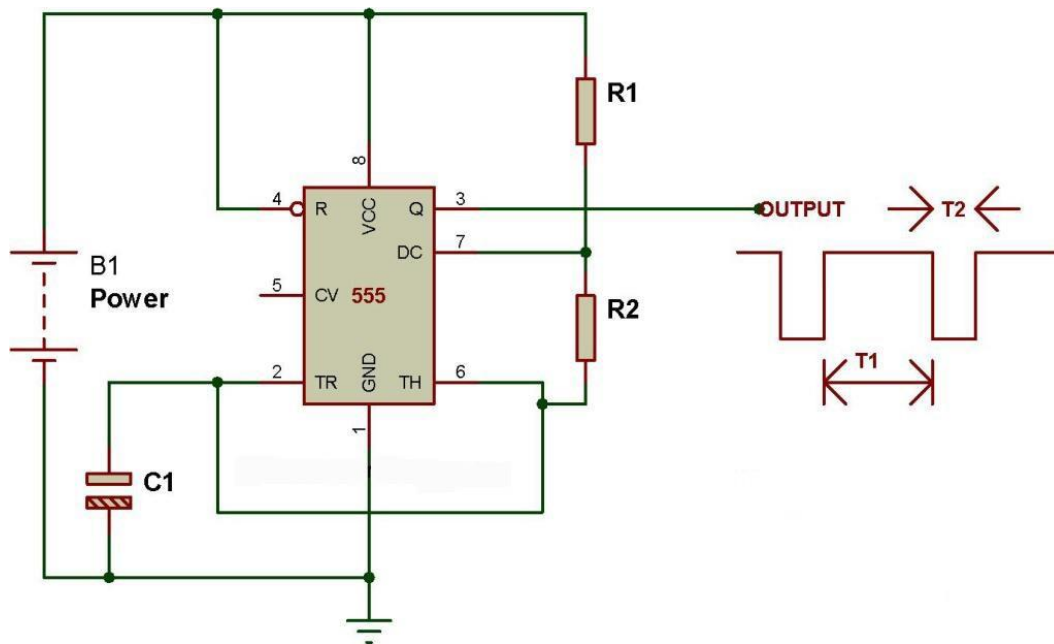
Η λειτουργία κινητήρων, για την κίνηση των αξόνων σε μια εργαλειομηχανή, βασίζεται στη διακοπτική λειτουργία των τυλιγμάτων του. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά κυκλώματα που βασίζονται στην διέγερση δημαγωγικών διακοπών όπως BJT και MOSFET. Την οδήγηση αυτών μπορούμε να την κάνουμε είτε με την χρήση χρονικών ψηφιακών κυκλωμάτων είτε με την χρήση λογισμικού που συνεργάζεται με κάποιον μικροελεγκτή ώστε να παράγει τους κατάλληλους παλμούς για την οδήγηση των κινητήρων. Στην περίπτωση μας, επειδή θα πρέπει να αλλάζει φορά περιστροφής ο κινητήρας, θα χρησιμοποιηθεί Bipolar κύκλωμα. Αυτό ανεβάζει την δυσκολία σχεδιασμού με χρονικά ψηφιακά ηλεκτρονικά, οπότε θα χρησιμοποιηθεί μικροελεγκτής σε συνδυασμό με λογισμικό. Παρακάτω θα δούμε παραδείγματα Unipolar και Bipolar ,όπως επίσης, με την χρήση λογισμικού σε συνδυασμό με μικροελεγκτή και με την χρήση χρονικών ψηφιακών κυκλωμάτων.

Θα ξεκινήσουμε με ένα Unipolar κύκλωμα δύο πηνίων που για την παραγωγή παλμών στην είσοδο του χρησιμοποιούμε ένα ασταθή πολυδονητή με την βοήθεια του χρονιστή NE 555.



Εικόνα 25: Unipolar κύκλωμα οδήγησης βηματικού μοτέρ

Στο σχήμα 25 διακρίνουμε ένα κύκλωμα οδήγησης βηματικού μοτέρ, που στην είσοδο του έχει για την παραγωγή των παλμών οδήγησης του βηματικού μοτέρ, έναν ασταθή πολυδονητή. Οι παλμοί που παράγονται από τον ασταθή πολυδονητή από την έξοδο Q του NE 555 την δίνουμε σαν είσοδο στο CLK του CD4017. Έπειτα, αρχίζουν να ενεργοποιούνται μια μια οι έξοδοί του. Παρατηρούμε ότι η έξοδος Q4 είναι συνδεδεμένη με το ποδαράκι 15 του ολοκληρωμένου, που είναι το RESET, έτσι με το που ενεργοποιείτε η έξοδος Q4 δίνει εντολή στο RESET οπότε ξεκινάει η διαδικασία από την αρχή. Παρατηρούμε ότι σε κάθε έξοδο του CD4017 είναι συνδεδεμένη η βάση ενός τρανζίστορ που είναι υπεύθυνο το καθένα για την λειτουργία ενός τυλίγματος του πηνίου. Επίσης οι διόδοι είναι συνδεδεμένοι ανάστροφα με τα τυλίγματα του πηνίου για να αποφύγουμε οποιαδήποτε καταστροφή στο κύκλωμα από το ανάστροφο ρεύμα που δημιουργείται εξαιτίας της αυτεπαγωγής του πηνίου. Παρακάτω παραθέτουμε την συνδεσμολογία του ασταθή πολυδονητή.



Εικόνα 26: Κύκλωμα ασταθή πολυδονητή

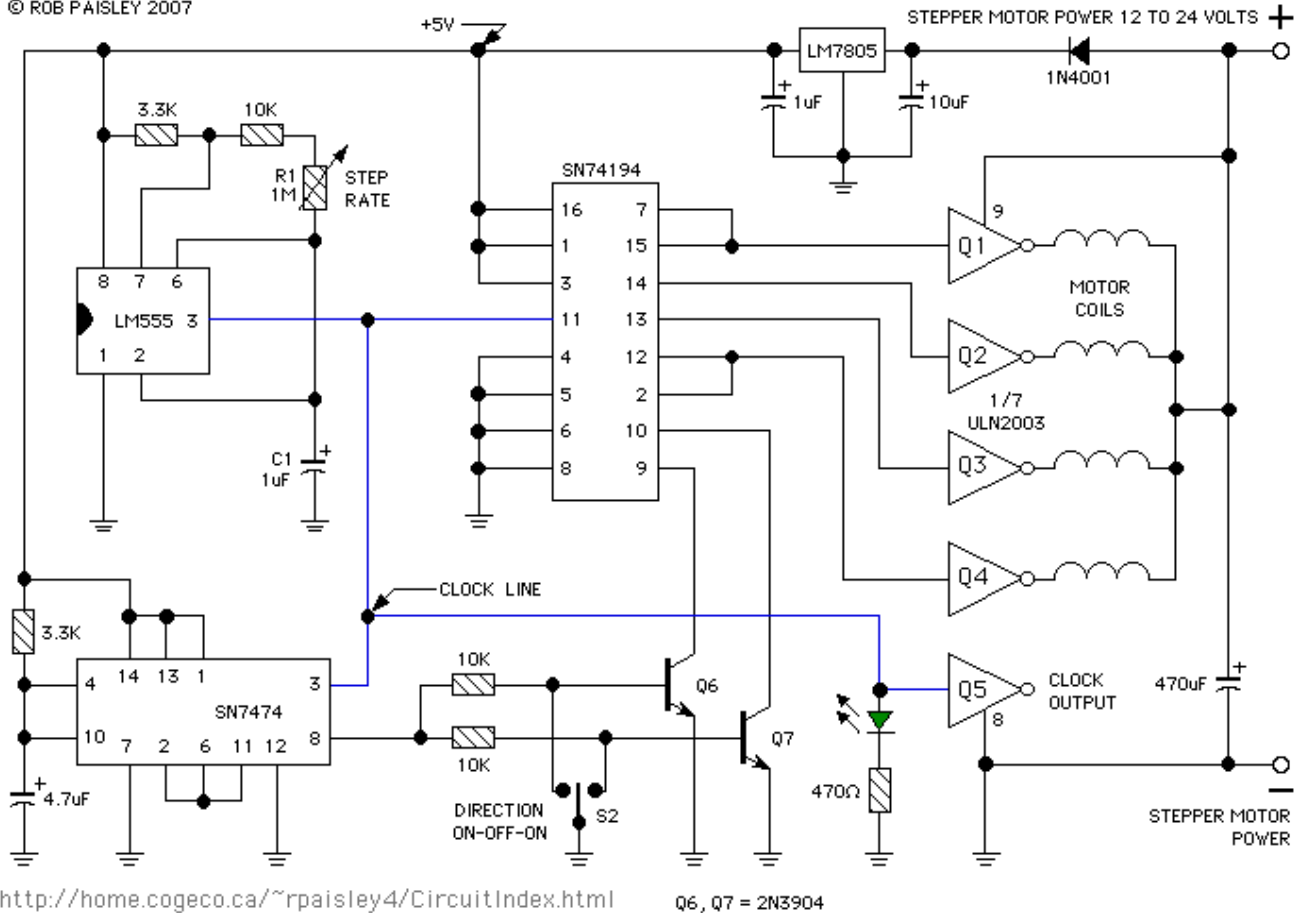
Όπου η περίοδος είναι $T = T1 + T2$ και $T1, T2$ ισούνται με ,

$$T1 = 0,693 * (R1 + R2) * C1$$

$$T2 = 0,693 * R2 * C1$$

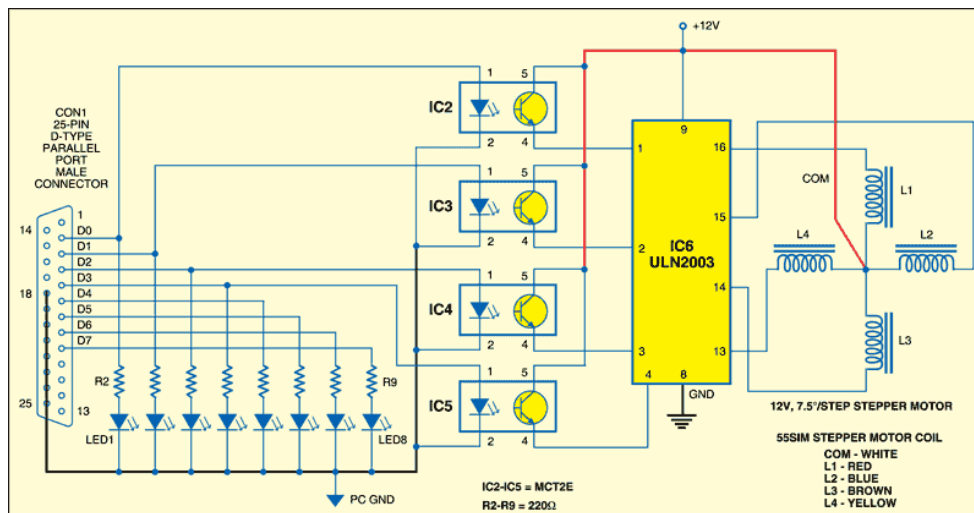
Και η η συχνότητα $F = \frac{1,44}{(R1+2R2)*C1}$

Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από εξίσωση όσο μικραίνουμε την περίοδο του πολυδονητή, μειώνουμε δηλαδή τα $T1, T2$ τόσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο κινητήρας, δηλαδή έχουμε περισσότερα βήματα. Το κύκλωμα της εικόνας 25 αφορά μονοπολικό ελεγκτή βηματικού κινητήρα, που στην είσοδό του για την παραγωγή των παλμών που είναι υπεύθυνοι για των αριθμό των βημάτων, έχουμε το κύκλωμα τις εικόνας 26. Παρακάτω παρατίθεται ένα bipolar κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα.



Εικόνα 27: Βιπολάρ ελεγκτής βηματικού κινητήρα

Όπως και στο προηγούμενο κύκλωμα έτσι και εδώ παρατηρούμε ότι η γεννήτρια των παλμών είναι ένα κύκλωμα, που χρησιμοποιεί έναν ασταθή πολυδονητή, ο οποίος στέλνει τους παλμούς στο ποδαράκι 1, δηλαδή το CLK του ολοκληρωμένου SN74194. Το SN74194 είναι ένα ολοκληρωμένο με 4 εξόδους και μπορεί να οδηγήσει τα πηνία ενός μοτέρ έτσι ώστε να αλλάζει φορά περιστροφής κατά βούληση. Αυτό επιτυγχάνετε ενεργοποιώντας τις εισόδους 10 και 9, που είναι οι καταχωρητές S1 και S2, και αλλάζοντας την λειτουργία του ολοκληρωμένου. Οι εισοδοι ενεργοποιούνται μέσω των τρανζίστορ Q6 και Q7 που με την σειρά τους οδηγούνται από το FLIP-FLOP SN7474. Τέλος, η πιο εύκολη λύση, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα κύκλωμα οδηγούμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω της παράλληλης θύρας του. Στην εικόνα 28 παρατίθεται ένα κύκλωμα οδηγούμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 28: κινητήρας ελεγχόμενος μέσω της παράλληλης θύρας ηλεκτρονικού υπολογιστή

Όπως φαίνεται στο κύκλωμα οι έξοδοι της παράλληλης θύρας συνδέονται με τις συστοιχίες διόδων Darlington, υπεύθυνες για την ενεργοποίηση του κάθε πηνίου του βηματικού κινητήρα, μέσω ορτοcouplers που χρησιμοποιούνται για να απομονωθεί η παράλληλη θύρα από το υπόλοιπο κύκλωμα. Οι παραπάνω είναι τρεις τρόποι οδήγησης ενός βηματικού κινητήρα με την επικρατέστερη να είναι αυτή που χρησιμοποιεί την παράλληλη θύρα του υπολογιστή, πλέον και θύρα USB, αφού δίνει μεγάλη ευελιξία στον χρήστη ως προς την λειτουργία του βηματικού κινητήρα. Περίπου η ίδια λειτουργία έχει και ένας ελεγκτής σερβοκινητήρα με την διαφορά πως υπάρχει και μια βαθμίδα ανάδρασης στο κύκλωμα.

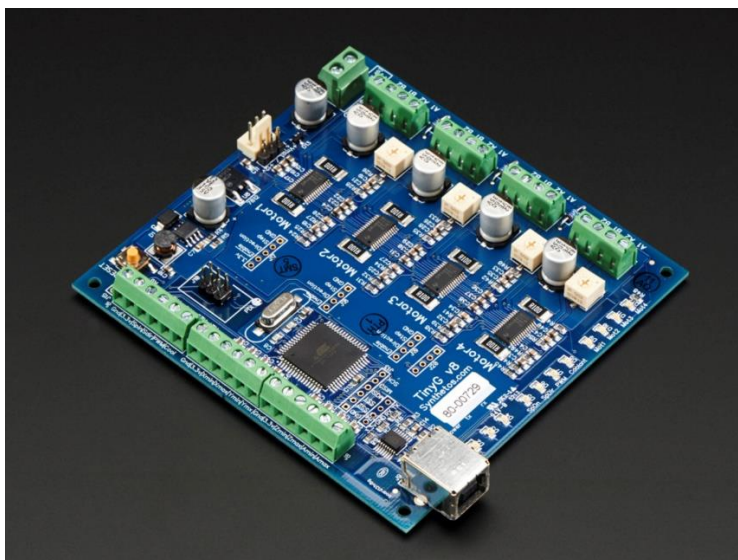
Ελεγκτές λειτουργίας εργαλειομηχανής

Όπως έχει αναφερθεί, μια εργαλειομηχανή αποτελείται από πολλά επιμέρους κομμάτια τα οποία πρέπει να συνδυαστούν σωστά ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Γίνεται κατανοητή λοιπόν η ανάγκη ύπαρξης ενός ελεγκτή ώστε να μπορέσουν να συνδυαστούν όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία όπως βηματικοί κινητήρες, αισθητήρες, διακόπτες, δουλειά του οποίου θα είναι να λαμβάνει αλλά και να δίνει τις κατάλληλες πληροφορίες από και προς τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτός ο ελεγκτής μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορα ηλεκτρονικά στοιχεία και διαφορετικές ηλεκτρονικές διατάξεις. Στο εμπόριο υπάρχουν αρκετές έτοιμες λύσεις, κάποιες από τις οποίες θα αναφερθούν παρακάτω, αλλά υπάρχει πάντα η δυνατότητα κατασκευής ενός και όχι αγοράς από το εμπόριο, με την προϋπόθεση πάντα ότι ο κατασκευαστής αυτού του ελεγκτή είναι κάποιος κατάλληλα ενημερωμένος πάνω στις τεχνολογίες που βασίζονται τα εκάστοτε κομμάτια της εργαλειομηχανής.

Λύσεις Plug and Play

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται έτοιμες πλακέτες, από γνωστό κατασκευαστή του χώρου που μέσω της ιστοσελίδας τους κυρίως προωθούν τα προϊόντα τους, οι οποίοι έχουν κάνει την απαραίτητη μελέτη και έχουν κατασκευάσει ένα προϊόν το οποίο το μόνο που χρειάζεται είναι να ενωθεί με τα επιμέρους κομμάτια της εργαλειομηχανής και είναι έτοιμο για χρήση. Επίσης, πολλοί κατασκευαστές που ασχολούνται με την μελέτη και κατασκευή ελεγκτών εργαλειομηχανών, έχουν αναπτύξει δικό τους πρόγραμμα ελέγχου που συνεργάζεται με την εκάστοτε πλακέτα, με σκοπό τον πλήρη έλεγχο της εργαλειομηχανής αλλά, σε κάποιες περιπτώσεις, είναι και εργαλεία για τον σχεδιασμό αντικειμένων που θα επεξεργαστεί η εργαλειομηχανή. Λόγω του ότι μια τέτοια λύση είναι ευκολότερη για το στήσιμο ενός CNC μηχανήματος, συνεπάγεται και μεγαλύτερη τιμή αγοράς. Παρακάτω παρατίθενται μερικές έτοιμες λύσεις, κάποιες με την συνοδεία software.

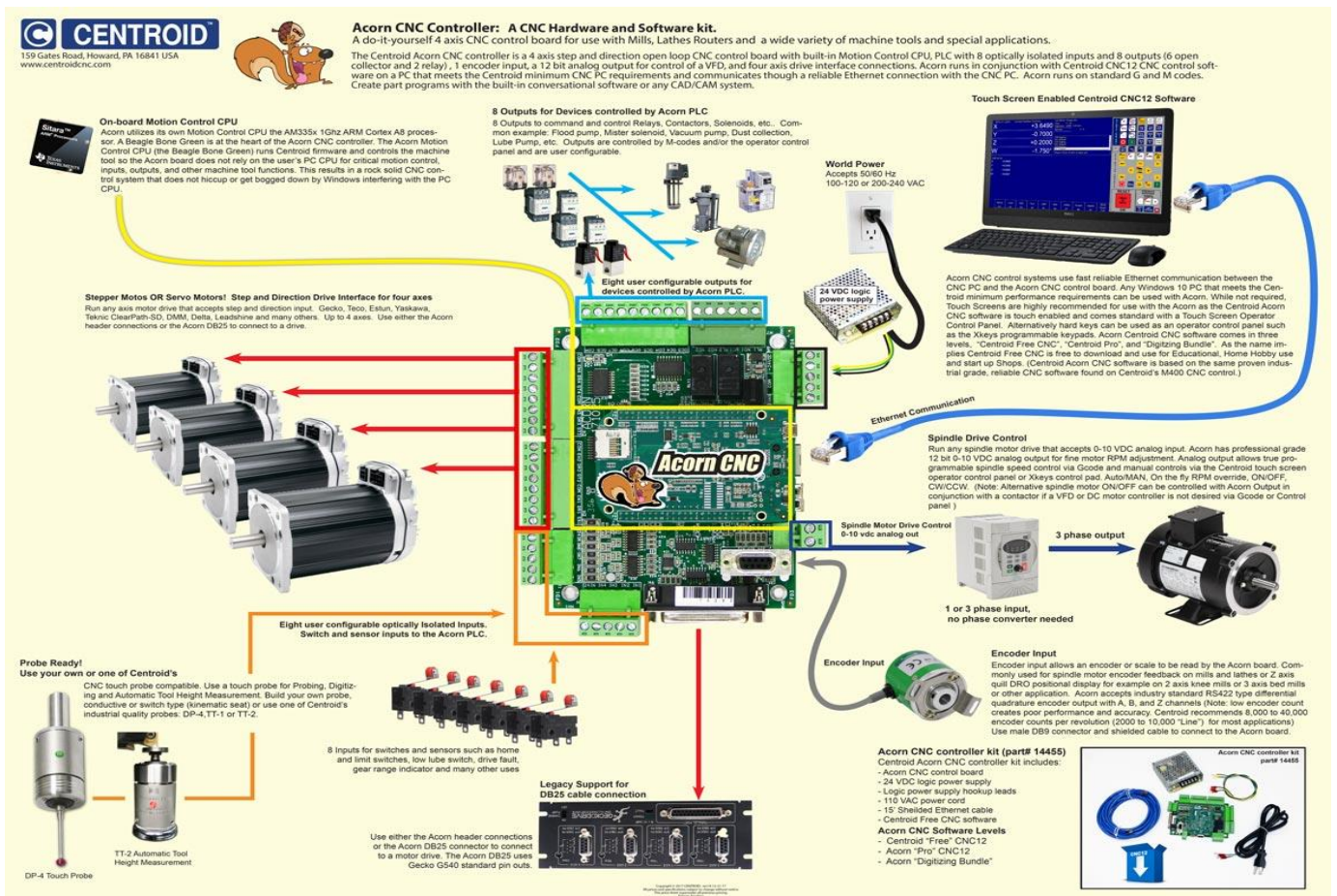
Η adafruit είναι ένας πολύ γνωστός κατασκευαστής PCBs (πλακετών τυπωμένου κυκλώματος) και απευθύνεται σε ανθρώπους που θέλουν να αρχίζουν να υλοποιούν τις δικές τους ιδέες με έναν σχετικά εύκολο και οικονομικό τρόπο. Η πρότασή της λοιπόν, για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής, είναι η TinyG η οποία πέραν των λοιπών δυνατοτήτων της υποστηρίζει τη διασύνδεση μέσω USB, πράγμα δεν συμβαίνει με την πλειοψηφία των λύσεων της αγοράς.



Εικόνα 29: Adafruit TinyG

Το κύκλωμα έχει χτιστεί γύρω από τον μικροεπεξεργαστή ATxmega192A3 της Atmel, και έχει 8 εισόδους/εξόδους γενικής χρήσης όπως επίσης και 4 εξόδους κατάλληλες για την οδήγηση spindles, συστημάτων ψύξης κ.α.

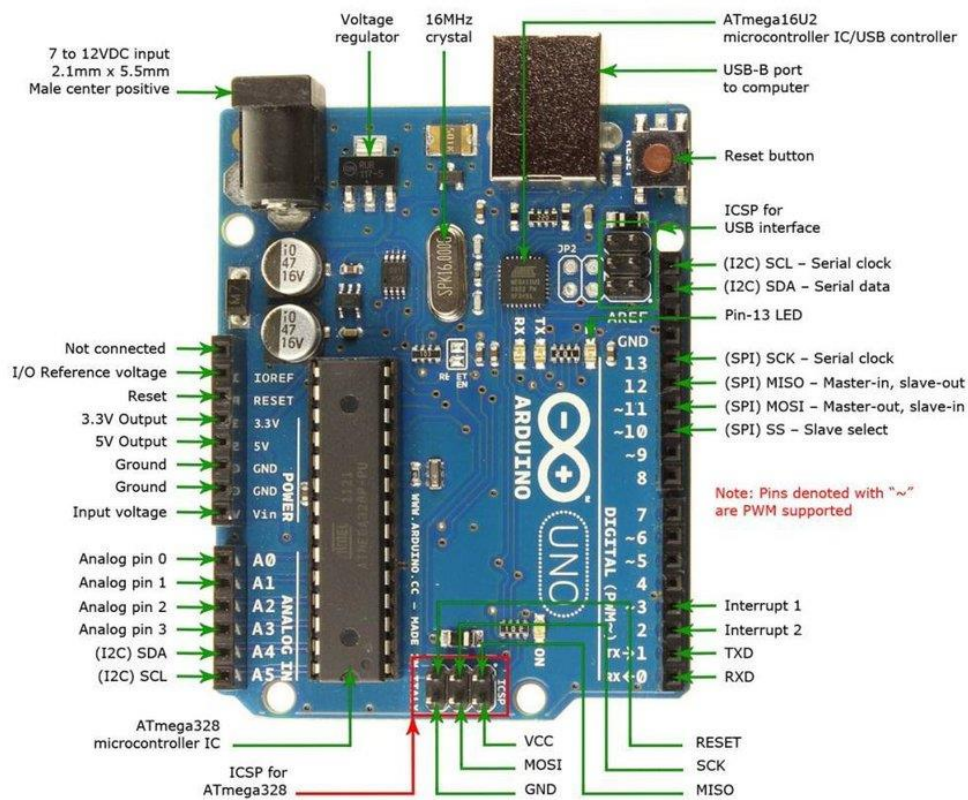
Μια ακόμα λύση από τις ΗΠΑ είναι η Acorn CNC controller η οποία υλοποιείται από μια εταιρία του χώρου την CENTROID. Η συγκεκριμένη εταιρία κατασκευάζει και εμπορεύεται εργαλειομηχανές CNC για επαγγελματίες, όπως επίσης, προμηθεύει ελεγκτές εργαλειομηχανών και λογισμικό για τον έλεγχο της εργαλειομηχανής σε ανθρώπους που θέλουν να υλοποιήσουν το δικό τους πρόζεκτ. Το συγκεκριμένο κύκλωμα, την απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ, την προμηθεύεται από έναν επεξεργαστή AM335x 1Ghz ARM Cortex A8. Επίσης έχει 8 εισόδους γενικής χρήσης, 8 εξόδους γενικής χρήση, δυο από τις οποίες είναι εφοδιασμένες με ρελέ για τον έλεγχο κάποιου spindle και η διασύνδεση με τον υπολογιστή γίνεται μέσω της θύρας ethernet του υπολογιστή. Γενικά είναι μια πολύ εξεζητημένη λύση, σχετικά ακριβή, και σου προσφέρει και πρόγραμμα ελέγχου για τον πλήρη έλεγχο της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 30: Η AcornCNC της CENTROID

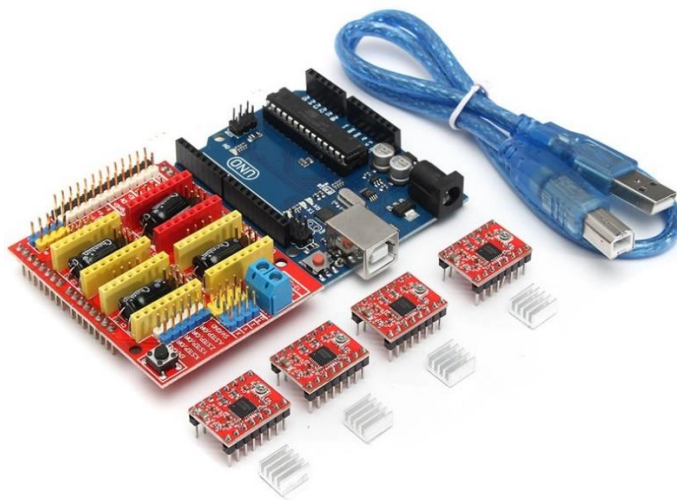
Οι δυο προηγούμενες λύσεις που αναφέρθηκαν ήταν στην ουσία plug and play, αφού για να λειτουργήσουν δεν χρειαζόταν κάποιος ιδιαίτερος προγραμματισμός, αλλά μια απλή σύνδεση των

επιμέρους κομματιών της εργαλειομηχανής και κάποια παραμετροποίηση μέσω του προγράμματος, που έδινε ο κατασκευαστής, ή ενός άλλου προγράμματος συμβατού με τον ελεγκτή της εργαλειομηχανής, όχι απαραίτητα επί πληρωμή. Η τελευταία λύση στην οποία θα αναφερθούμε είναι ίσως, η δυσκολότερη από τις τρεις αφού για να υλοποιηθεί χρειάζονται να γίνουν κάποια συγκεκριμένα βήματα. Είναι ευρέως διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια και χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολλών πρότζεκτ. Έτσι το Arduino δεν θα μπορούσε να λείπει και από τον χώρο των CNC κατασκευών. Για να είναι όσο πιο οικονομική γίνεται μια λύση με την χρήση Arduino θα αναφερθούμε στο εισαγωγικό μοντέλο της εταιρίας, το Arduino Uno (εικόνα 31). Το Uno έχει χτιστεί γύρο από έναν μικροελεγκτή της Microchip τον ATmega328P. Έχει 14 I/O pins από τις οποίες οι 6 υποστηρίζουν περιφερειακές συνδέσεις που χρειάζονται PWM για την λειτουργία τους. Το Arduino, δίνει μεγάλη ευελιξία στον χρήστη και την δυνατότητα να πραγματοποιηθούν εκατοντάδες διαφορετικά πρότζεκτς. Για να είναι εφικτό αυτό χρησιμοποιούνται κάποιες προεκτάσεις που “κουμπώνουν” πάνω στην κυρίως πλακέτα και δίνουν την δυνατότητα στο Arduino να διαχειρίζεται κάποια ηλεκτρονικά στοιχεία που με την χρήση μόνο της κύριας πλακέτας δεν είναι δυνατόν. Έτσι για την οδήγηση βηματικών κινητήρων ή σερβοκινητήρων με την χρήση Arduino πρέπει να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη προέκταση πράγμα που για έναν άνθρωπο ο οποίος δεν έχει κάποια ιδιαίτερη εμπειρία με τον χώρο των ηλεκτρονικών κατασκευών θα τον δυσκολέψει στην υλοποίηση του πρότζεκτ.



Εικόνα 31: Arduino Uno Pins layout

Στο μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας συμβάλει και το ότι με την χρήση μιας προέκτασης για τον έλεγχο βηματικών κινητήρων(GRBL) θα πρέπει να “φορτωθεί” και το κατάλληλο firmware ώστε να μπορεί να επικοινωνήσει η κυρίως πλακέτα με την προέκταση(εικόνα 32). Οπότε συνεπάγεται και η πολύ καλή γνώση χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή. Πλέον είναι αρκετές λύσεις που υπάρχουν στην αγορά με προφορτωμένο το firmware.



Εικόνα 32: Arduino Uno και η CNC shield

3.1.2 Μηχανολογικά Στοιχεία

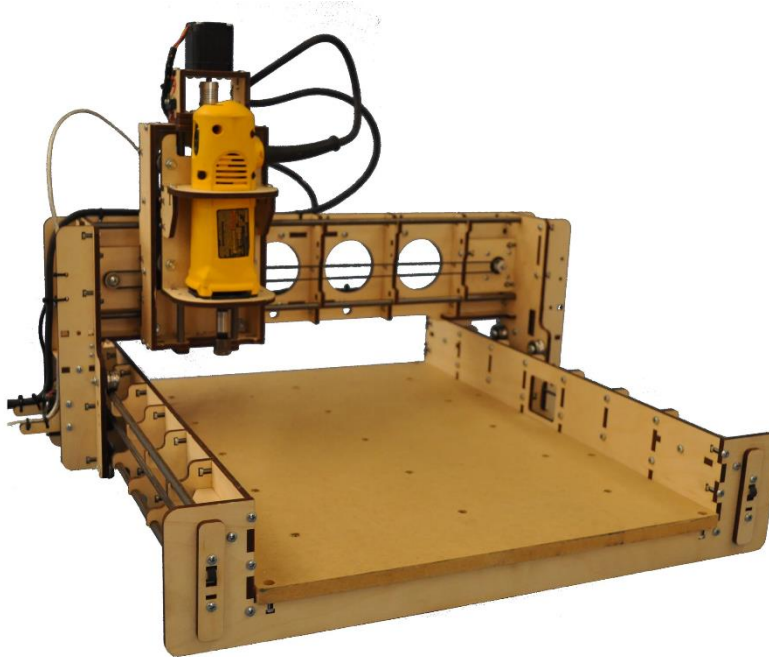
Στα μηχανολογικά στοιχεία ανήκουν όλα τα υπόλοιπα κομμάτια, πέραν των ηλεκτρονικών, όπως το υλικό κατασκευής της μηχανής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και γενικά ότι εξάρτημα δεν διαρρέεται από ρεύμα.

3.1.2.1 Υλικό Κατασκευής

Μια ακόμα απόφαση που πρέπει να πάρει ο κατασκευαστής της εργαλειομηχανής, είναι το υλικό που θα χρησιμοποιήσει για την κατασκευή του πλαισίου της μηχανής. Η επιλογή αυτή θα κρίνει την στιβαρότητα, την ακαμψία και την αντοχή της εργαλειομηχανής οπότε κατ' επέκταση την ακρίβεια της σε βάθος χρόνου. Υπάρχουν αρκετά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν μεταξύ τους ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Παρακάτω θα αναφέρουμε τρία που χρησιμοποιούνται κατά κόρον από επαγγελματίες και από ερασιτέχνες του χώρου.

Ξύλο

Η φθηνότερη λύση εκ των τριών, ίσως, είναι η χρήση ξύλου για την εξολοκλήρου κατασκευή της εργαλειομηχανής, χρησιμοποιώντας είτε μοριοσανίδα είτε δοκάρια των επιθυμητών διαστάσεων. Εκτός του οικονομικού παράγοντα, ένας ακόμα λόγος χρήσης ξύλου είναι η ευκολία στην επεξεργασία και στην συναρμογή του. Για παράδειγμα, αν κάνουμε μια λάθος σύνδεση μεταξύ των κομματιών, το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να ξεβιδώσουμε τις μεταξύ τους ενώσεις και να τις επανατοποθετήσουμε στο ίδιο κομμάτι χωρίς περαιτέρω ζημιά ή έξοδα. Το κύριο μειονέκτημα της κατασκευής με ξύλο είναι η έλλειψη στιβαρότητας, πράγμα που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν πριν την επιλογή του σαν κύριο υλικό κατασκευής. Οπότε, αν ο κατασκευαστής την προορίζει για ελαφριά χρήση(χάραξη ξύλου) είναι ένα αρεστό υλικό. Στην εικόνα 33 μπορούμε να δούμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα CNC εργαλειομηχανής κατασκευασμένης από ξύλο.'



Εικόνα 33: Εργαλειομηχανή κατασκευασμένη από ξύλο

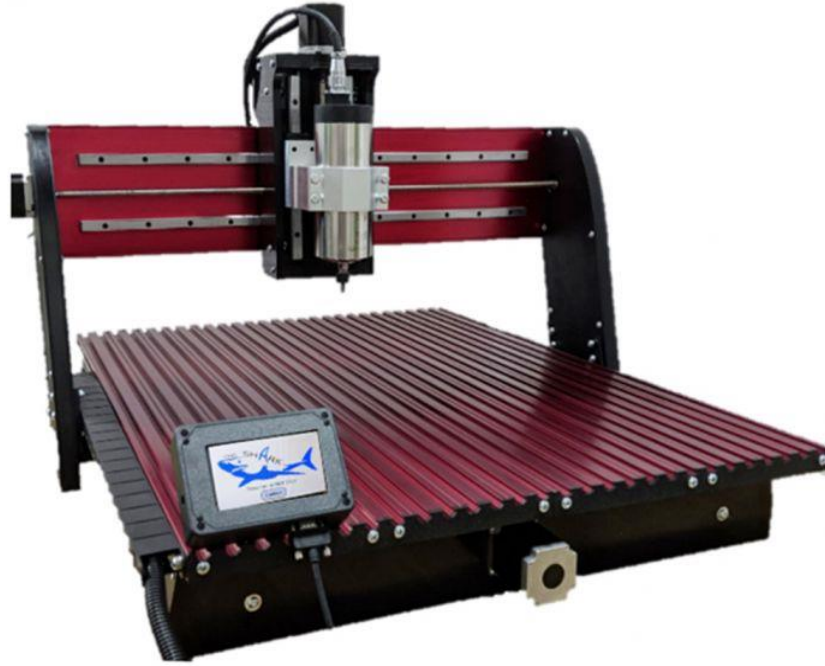
Χάλυβας (steel)

Ο χάλυβας, γνωστός στην καθομιλουμένη ως απλό σίδηρο, χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων για την κατασκευή μεταλλικών αντικειμένων. Ο κυριότερος λόγος χρήσης του είναι ο συνδυασμός, αντοχής συναρτήσει της τιμής του. Αυτά τα δυο χαρακτηριστικά, χαμηλή τιμή υψηλή αντοχή, το καθιστούν ιδανικό υλικό για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής. Η χρήση χάλυβα στην

κατασκευή προσδίδει στιβαρότητα, απαραίτητο χαρακτηριστικό αν θέλουμε να κατεργαστούμε μέταλλα και γενικά υλικά με υψηλή σκληρότητα. Κατά την επεξεργασία τέτοιων σκληρών υλικών, η εργαλειομηχανή δέχεται μεγάλα φορτία, με αποτέλεσμα αν δεν είναι κατασκευασμένο από το κατάλληλο υλικό το πλαίσιο της, να υπάρξουν στρεβλώσεις που με την σειρά τους οδηγούν σε απώλεια ακρίβειας στο τελικό κομμάτι. Όπως αναφέρθηκε, κυριότερος λόγος για να χρησιμοποιηθεί χάλυβας στην κατασκευή του πλαισίου της μηχανής, και κατ' επέκταση και της γέφυρας της εργαλειομηχανής, είναι η στιβαρότητα, που σημαίνει μεγαλύτερο βάρος στα κινούμενα μέρη της, οπότε για να πετύχουμε μεγαλύτερες επιταχύνσεις και ταχύτητες θα πρέπει να επιλέξουμε μεγαλύτερους κινητήρες για την κίνηση στους άξονες. Αυτό ανεβάζει αυτόματα το κόστος, αφού για μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης χρειάζονται ισχυρότεροι κινητήρες, οι οποίοι δεν είναι μόνο ακριβότεροι αλλά καταναλώνουν και περισσότερη ενέργεια. Παρακάτω, εικόνες 34 και 35, ακολουθούν δυο παραδείγματα εργαλειομηχανών κατασκευασμένες από χάλυβα.



Εικόνα 34: CNC εργαλειομηχανή μεγάλου μεγέθους κατασκευασμένη από χάλυβα



Εικόνα 35: CNC εργαλειομηχανή μικρού μεγέθους κατασκευασμένη από χάλυβα

Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι ίσως η καλύτερη επιλογή για την εξ ολοκλήρου κατασκευή μιας εργαλειομηχανής μικρής κλίμακας (εικόνα 36). Είναι ελαφρύ υλικό, πράγμα που επιτρέπει την κίνηση στους άξονες με μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά παράλληλα αρκετά σκληρό, ώστε να αποφευχθούν στρεβλώσεις στην κατασκευή μας οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα απώλεια στην ακρίβεια της μηχανής. Σημαντικός παράγοντας επίσης στην επιλογή του αλουμινίου σαν κύριο υλικό κατασκευής είναι η ευκολία κατασκευής μιας εργαλειομηχανής με τη χρήση αλουμινίου. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι πλέον πολλές εταιρίες παρέχουν προφίλ αλουμινίου σε οποιαδήποτε διάσταση τους ζητηθεί και σε συνδυασμό με τους συνδέσμους που παρέχουν, κάνουν την κατασκευή του πλαισίου της μηχανής να φαντάζει ιδιαίτερα εύκολη.



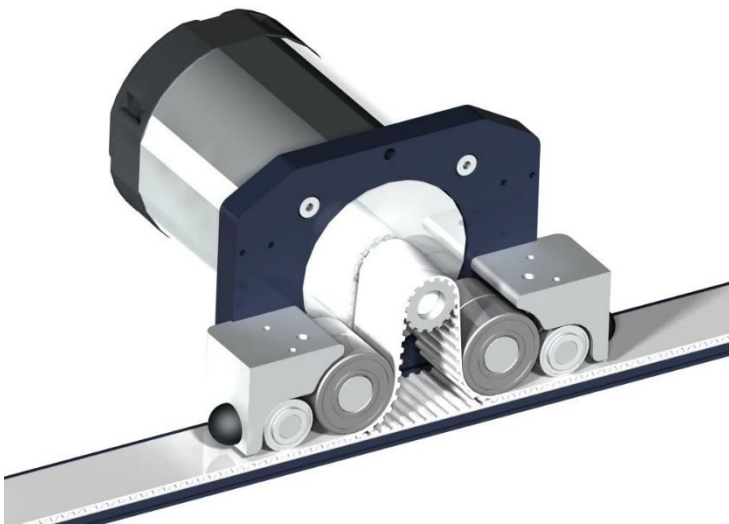
Εικόνα 36: Εργαλειομηχανή κατασκευασμένη από αλουμίνιο

3.1.2.2 Μετάδοση της κίνησης

Ένα από τα βασικότερα συστατικά που συνθέτουν την εργαλειομηχανή είναι ο τρόπος με τον οποίο μεταδίδεται η κίνηση από τους ηλεκτρικούς κινητήρες στους άξονες της εργαλειομηχανής. Η ταχύτητα κίνησης στους άξονες της εργαλειομηχανής δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τους ηλεκτρικούς κινητήρες αλλά πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Επίσης με την κατάλληλη επιλογή για την μετάδοση της κίνησης, μπορούμε να πετύχουμε πολύ μεγάλη ακρίβεια στο υλικό που έχουμε για κατεργασία.

Ιμάντες μετάδοσης

Η χρήση του ιμάντα, για την μετάδοση της κίνησης, ξεκίνησε περίπου πριν από 200 χρόνια και συνεχίζει να χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε πολλές εφαρμογές και σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Ένας από τους λόγους χρήσης του, είναι η εύκολη εφαρμογή αλλά και το χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης ενός συστήματος ιμάντα. Στις εργαλειομηχανές χρησιμοποιείται συχνά από κατασκευαστές, ειδικά για εφαρμογές μικρού μεγέθους, όταν θέλουν να κρατήσουν χαμηλά το κόστος αλλά να έχουν ακρίβεια στην κατεργασία του επιθυμητού υλικού. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 37, το σύστημα μετάδοσης κίνησης με ιμάντα, αποτελείται από τον ιμάντα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον ηλεκτρικό κινητήρα που δίνει την κίνηση στους άξονες μέσω μιας τροχαλίας. Συνήθως, κοντά στο σημείο σύνδεσης του ιμάντα με την τροχαλία, υπάρχει και ένα σύστημα τεντώματος του ιμάντα ώστε να τον αποτρέψουμε από το να “πηδήξει” δοντάκια από την τροχαλία.



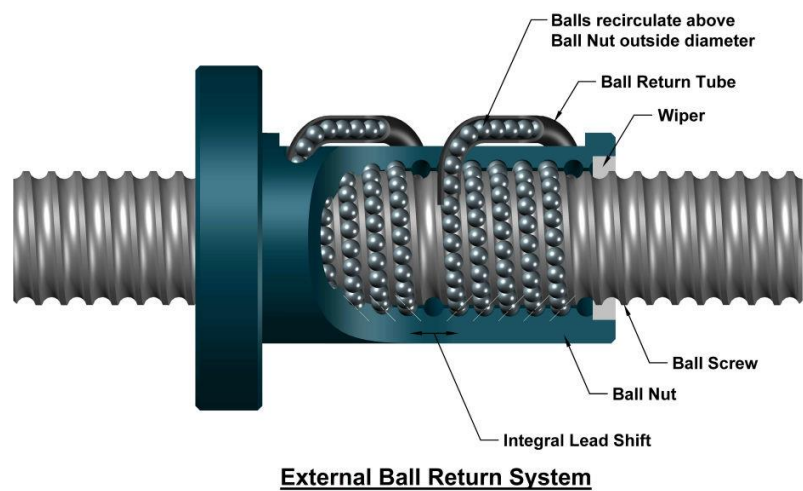
Εικόνα 37: Σύστημα μετάδοσης της κίνησης με ιμάντα

Για την επιλογή του ιμάντα, η καλύτερη επιλογή είναι να απευθυνθεί ο εκάστοτε κατασκευαστής σε κάποιο εξειδικευμένο κατάστημα ώστε να του προτείνει το καταλληλότερο συνδυασμό ώστε να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

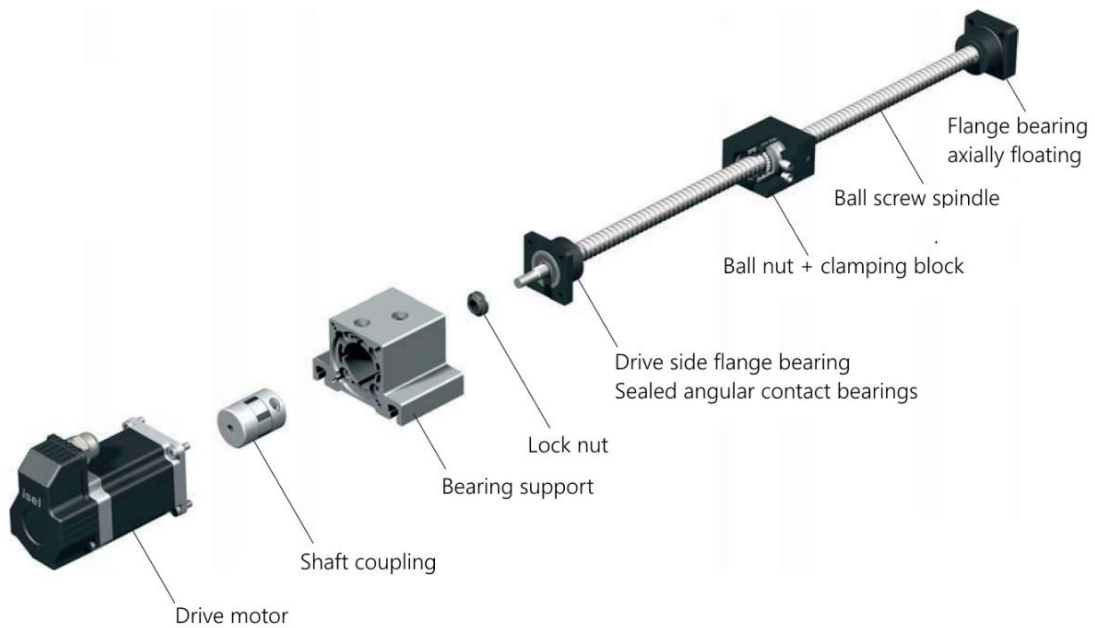
Ball screw

Το Ball screw θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ο συνδυασμός ενός κοχλία και ενός περικόχλιου, αλλά σε λίγο πιο περίπλοκη μορφή. Χρησιμοποιείται κατά κόρον, σε βιομηχανικές εφαρμογές που θέλουμε να μετατρέψουμε την περιστροφική κίνηση σε γραμμική και παράλληλα αποζητάμε υψηλή ακρίβεια. Το βασικότερο και περιπλοκότερο συστατικό είναι το περικόχλιο. Όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 38 μέσα στο περικόχλιο κινούνται μεταλλικές σφαίρες στις οποίες μοιράζονται όλες οι δυνάμεις που ασκούνται στο σύστημα. Οι σφαίρες κινούνται σε ένα κλειστό κύκλωμα, στο

οποίο υπάρχει σύστημα τροφοδοσίας και περισυλλογής τους. Με την χρήση των μεταλλικών σφαιρών επιτυγχάνεται πολύ ομαλή κύλιση, άρα υψηλή ακρίβεια. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα είναι η πολύ χαμηλή τριβή που έχει το συγκεκριμένο σύστημα, με την απόδοσή του να φτάνει το 90%, με το αντίστοιχο σύστημα χωρίς την χρήση μεταλλικών σφαιρών να είναι μεταξύ 25-30%. Το μοναδικό αρνητικό του συγκεκριμένου συστήματος θα λέγαμε ότι είναι η τιμή του, αν αναλογιστεί βέβαια κανείς πόσο πιο αποδοτικό σύστημα μπορεί να χτίσει, το κόστος δεν είναι τόσο υψηλό. Στην εικόνα 39 μπορούμε να δούμε αναλυτικά πως είναι ένα σύστημα ball screw έτοιμο για χρήση σε μια εργαλειομηχανή. Όπως βλέπουμε, ο ηλεκτρικός κινητήρας συνδέεται με τον κοχλία με έναν σύνδεσμο (shaft coupling) ώστε να μπορεί να τον περιστρέφει. Στις δυο άκρες του κοχλία υπάρχουν ρουλεμάν για την συγκράτηση και την απροβλημάτιστη περιστροφή του άξονα, όπως επίσης υπάρχει και ρουλεμάν στήριξης, για την στήριξη του ηλεκτρικού κινητήρα. Τέλος ανάμεσα στα δυο ρουλεμάν συγκράτησης του άξονα είναι το περικόγλιο, πάνω στο οποίο βιδώνεται το τραπέζι της εργαλειομηχανής



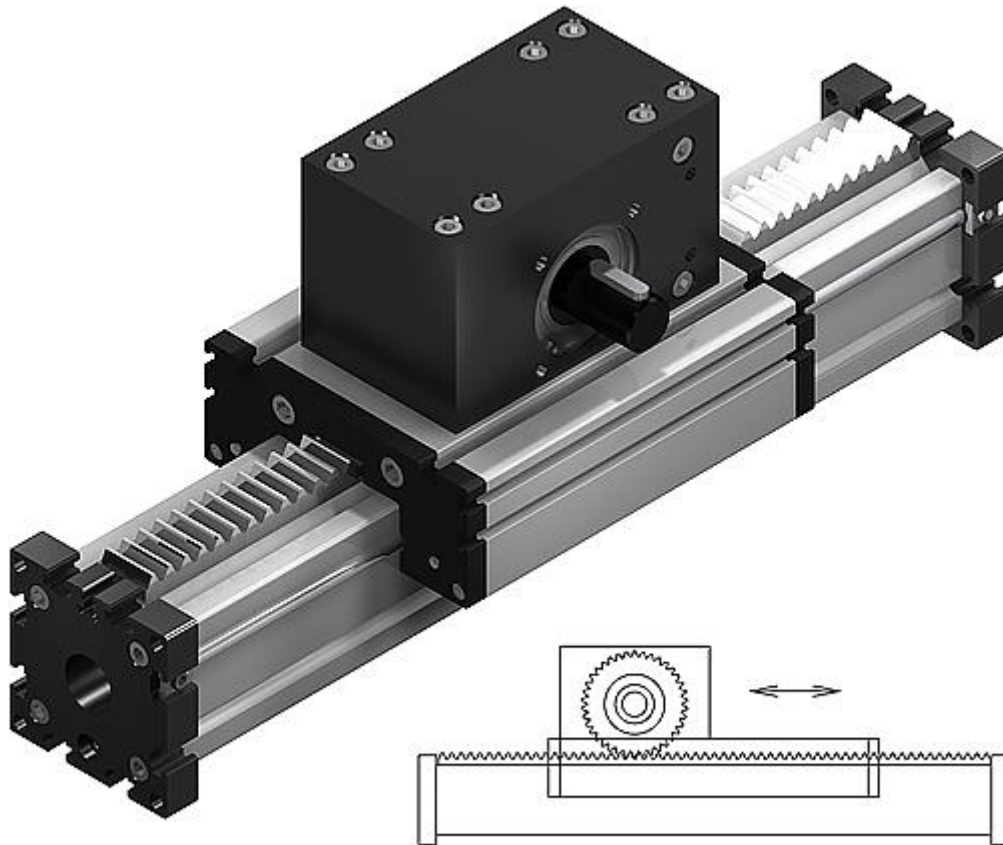
Εικόνα 38: Διατομή περικόγλιου



Εικόνα 39: Ολοκληρωμένο σύστημα κίνησης αξόνων εργαλειομηχανής

Rack and Pinion

Το Rack and Pinion είναι από τους πιο απλούς, φαινομενικά, τρόπους μετάδοσης της κίνησης. Τα συστατικά του συστήματος είναι πιο απλά από αυτά των δυο προηγούμενων τρόπων, αφού αποτελείται από ένα γρανάζι, το οποίο συνδέεται με τον κινητήρα με έναν σύνδεσμο, και τον γραναζόδρομο πάνω στον οποίο κινείται το γρανάζι. Η δυσκολία σε αυτό το σύστημα είναι να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια, αφού πρέπει να υπολογιστούν τα δόντια του γραναζοδρόμου αλλά και του ίδιου του γραναζιού. Επίσης για κάποια αναβάθμιση του συστήματος η απεγκατάσταση των ήδη εγκατεστημένων εξαρτημάτων είναι δυσκολότερη και αρκετά χρονοβόρα. Στην εικόνα 40 φαίνεται ένα αντίστοιχο σύστημα εγκατεστημένο σε εργαλειομηχανή.



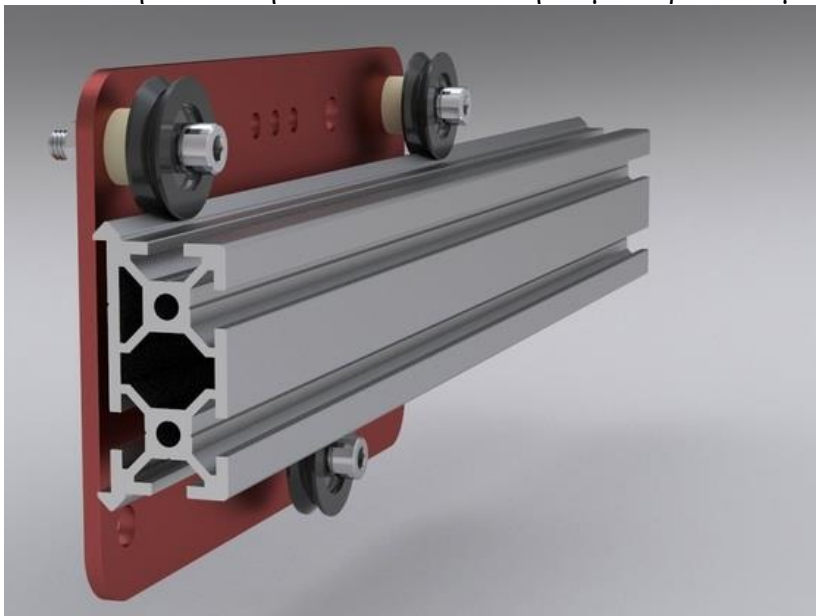
Εικόνα 40: Σύστημα μετάδοσης με γρανάζι

3.1.2.3 Συστήματα οδήγησης

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δεν είναι αρκετό να παράσχει την απαραίτητη υποστήριξη στα κινούμενα μηχανικά μέρη όπως η γέφυρα ή το τραπέζι, κάνοντας απαραίτητη την χρήση κάποιου συστήματος οδήγησης. Ένα σύστημα οδήγησης πρέπει να έχει την μικρότερη δυνατή τριβή ώστε να επιτρέπει στα κινούμενα μέρη να κινούνται όσο το δυνατόν πιο ελεύθερα, για να έχουμε την μέγιστη απόδοση, ταχύτητα και ακρίβεια. Για να επιτύχουμε την μικρότερη δυνατή τριβή συνήθως χρησιμοποιούμε ρουλεμάν που επιτρέπουν την ομαλή χωρίς κραδασμούς κίνηση στους άξονες. Παρακάτω αναφέρονται κάποια συστήματα οδήγησης, ιδανικά για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανή

Οδήγηση με ρόδες

Από τους πιο οικονομικούς τρόπους είναι η υποστήριξη των κινούμενων μερών με ρόδες. Ακόμη και στην συγκεκριμένη περίπτωση η κίνηση πραγματοποιείται με την χρήση ρουλεμάν. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 41, για να χρησιμοποιήσουμε αυτού του είδους συστήματα πρέπει να κάνουμε ειδική κατασκευή πάνω στην οποία θα τοποθετήσουμε τα ροδάκια με τέτοιο τρόπο ώστε να "αγκαλιάζει"



η κατασκευή το πλαίσιο πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί. Όπως προαναφέρθηκε, είναι η οικονομικότερη λύση αφού τα υλικά που απαιτούνται μπορούμε να τα βρούμε εύκολα και οικονομικά στην αγορά. Στην εικόνα 42 μπορούμε να δούμε μια εργαλειομηχανή που χρησιμοποιεί ρόδες.

Εικόνα 41: Σύστημα οδήγησης με την χρήση ροδών



Εικόνα 42: Εργαλειομηχανή με χρήση ροδών για την κίνηση στους άξονες

Κυλινδρικοί γραμμικοί οδηγοί

Μπαίνοντας στην κατηγορία των γραμμικών οδηγών, αυξάνεται αυτόματα και το χρηματικό ποσό που πρέπει να διαθέσει ο κατασκευαστής της εργαλειομηχανής για να εξοπλίσει την κατασκευή του με αυτού του είδους τους οδηγούς. Η αυξημένη τιμή σε σχέση με την αντίστοιχη λύση με ρόδες, οφείλεται στο γεγονός πως προσφέρει πολύ μεγαλύτερη σταθερότητα στα κινούμενα μέρη της μηχανής, κατά την διάρκεια της κατεργασίας του υλικού. Όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 43, το σύστημα είναι κατασκευασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει η μέγιστη δυνατή επαφή μεταξύ της ράγας κύλισης και του ρουλεμάν κύλισης ώστε το σύστημα να είναι όσο το δυνατό πιο σφιχτό και να αποφεύγονται οι κραδασμοί που προκαλούν απώλειες στην ακρίβεια της μηχανής.



Εικόνα 43: Κυλινδρικοί γραμμικοί οδηγοί

Παράλληλα επιτυγχάνονται πολύ υψηλές ταχύτητες κίνησης, πράγμα επιθυμητό αφού με αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας ενός υλικού. Στο εμπόριο οι μηχανές που πωλούνται σε χομπίστες ή κατασκευάζονται από χομπίστες (εικόνα 44), χρησιμοποιούν αυτού του είδους το σύστημα οδήγησης αφού έχουμε μια λογική τιμή με ένα ποιοτικό σύστημα οδήγησης.



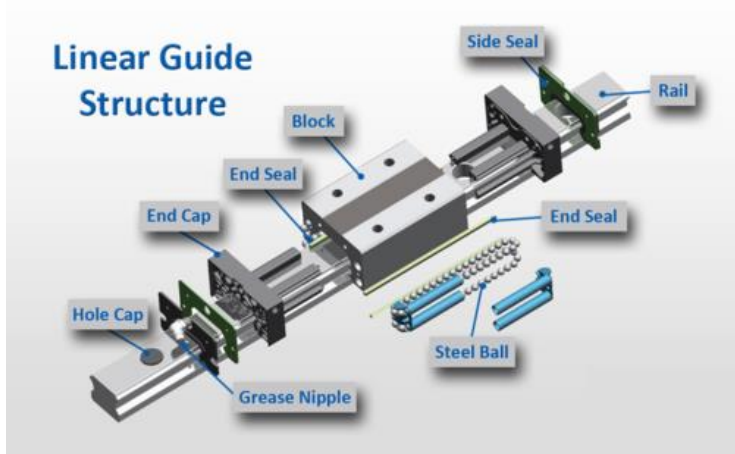
Εικόνα 44: Εργαλειομηχανή με Κυλινδρικούς γραμμικούς οδηγούς

Τετράγωνοι γραμμικοί οδηγοί

Σε αυτή την κατηγορία συναντάμε συστήματα που ανεβάζουν το κόστος κτίσεις μιας εργαλειομηχανής πολύ υψηλότερα από τις προηγούμενες δυο κατηγορίες. Μοιάζουν πολύ με τους αντίστοιχους κυλινδρικούς στον τρόπο λειτουργίας, αλλά διαφέρουν πολύ στον τρόπο συγκράτησης πάνω στην ράγα κύλισης. Όπως φαίνεται στην εικόνα 45 το σχήμα της ράγας και κατ' επέκταση του οδηγού είναι πολύ ιδιαίτερο προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής μεταξύ του οδηγού και της ράγας. Αυτό έχει σαν συνέπεια το σύστημα να προσφέρει πολύ μεγαλύτερη σταθερότητα σε σχέση με τους δυο προηγούμενους τρόπους οδήγησης, καθιστώντας ιδανικό για εφαρμογές που κύριο μέλημά μας είναι η πολύ υψηλή ακρίβεια σε συνδυασμό με μεγάλες ταχύτητες κίνησης. Τα παραπάνω, έχουν οδηγήσει εταιρίες που κατασκευάζουν επαγγελματικές εργαλειομηχανές πολύ υψηλής ακρίβειας, για όλους τους κλάδους της βιομηχανίας, να χρησιμοποιούν αυτού του είδους

οδηγούς για την κίνηση του τραπέζιού κατεργασίας στους άξονες. Στις εικόνες που ακολουθούν

μπορούμε να δούμε μια επαγγελματική εργαλειομηχανή και δίπλα το τραπέζι κατεργασίας “γυμνό” χωρίς τα προστατευτικά του



Εικόνα 45: Δομή ενός τετράγωνου γραμμικού οδηγού



Εικόνα 46: Το εσωτερικό της εργαλειομηχανής Doosan DNM 4500S



Εικόνα 47: Εργαλειομηχανή Doosan DNM 4500

3.2 Software

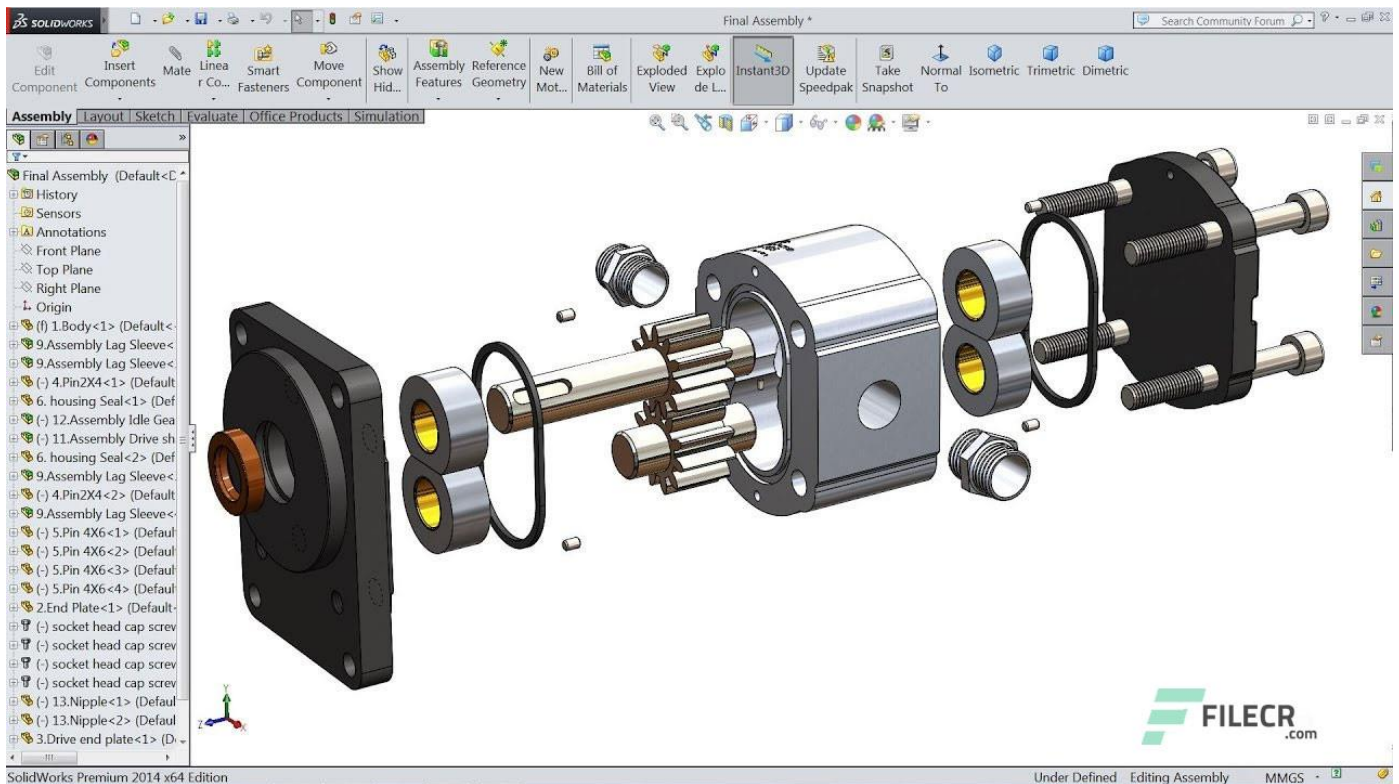
Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω αρκετές φορές και φυσικά όπως γνωρίζουμε όλοι, ο υπολογιστής είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι των περισσότερων ηλεκτρονικών κατασκευών και η εργαλειομηχανή δεν αποτελεί εξαίρεση. Κάποιες εργαλειομηχανές, κυρίως στην βιομηχανία, έχουν ενσωματωμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή με κάποια οθόνη για τον έλεγχο από τον χρήστη και τρέχουν το δικό τους λογισμικό. Παρακάτω θα εξετασθούν τα διαφορετικά προγράμματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια εργαλειομηχανή και είναι τα CAD, CAM και control software

3.2.1 CAD software

Ο όρος CAD (Computer-aided design) σημαίνει σχεδιασμός υποβοηθούμενος από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους μηχανικούς κάθε ειδικότητας για την αύξηση της παραγωγικότητας και για την χρήση ενός τέτοιου προγράμματος, όπως καταλαβαίνουμε χρειάζεται κάποια μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή αρκετά “δυνατή”, για τον λόγο ότι τέτοιου είδους προγράμματα χρησιμοποιούν πολύ περίπλοκους αλγορίθμους που χρειάζονται μεγάλη επεξεργαστική ισχύ. Το CAD δεν είναι αναπόσπαστο κομμάτι μιας εργαλειομηχανής χωρίς το οποίο δεν μπορεί να λειτουργήσει, αλλά χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία του χώρου, επαγγελματίες και μη. Με τα προγράμματα CAD μπορούμε να σχεδιάσουμε αντικείμενα δυο και τριών διαστάσεων, όπως επίσης μπορούμε να ελέγχουμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αντικείμενο το οποίο έχει σχεδιαστεί με την βοήθεια ενός τέτοιου λογισμικού. Όπως είναι αντιληπτό λοιπόν, το CAD τείνει να είναι απαραίτητο εργαλείο σε διάφορους κλάδους, από την αεροναυπηγική και την αυτοκινητοβιομηχανία μέχρι την βιομηχανία επίπλων και αυτή των κοσμημάτων, οπότε στο άμεσο μέλλον θα αποτελεί και αναπόσπαστο κομμάτι των εργαλειομηχανών. Για τον λόγο αυτό, στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρουμε μερικά προγράμματα, κάποια χωρίς πληρωμή και μερικά επί πληρωμή, έτσι ώστε ο αναγνώστης που θέλει να ασχοληθεί και με τέτοιου είδους προγράμματα να ξέρει από που να ξεκινήσει. Επίσης στην εικόνα 48 μπορούμε να δούμε το γραφικό περιβάλλον ενός εκ των πιο γνωστών σχεδιαστικών προγραμμάτων του χώρου, το SolidWorks.

Προγράμματα CAD	
Επί Πληρωμή	Χωρίς Πληρωμή
AutoCad 2019	AutoCad Student Version
TurboCad Deluxe	DraftSight
SketchUp Pro	Trimble SketchUp
SolidWorks 2019	FreeCad
CATIA V5	LibreCad

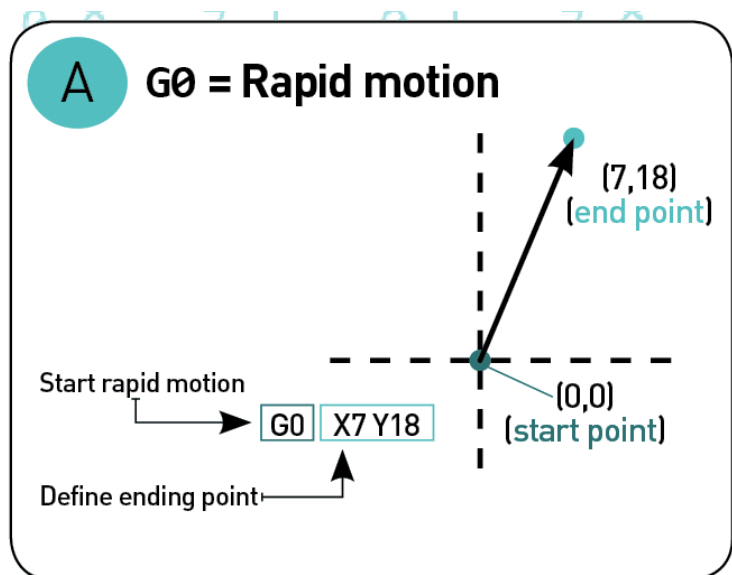
Πίνακας 1: Προγράμματα σχεδιασμού επί πληρωμή και χωρίς πληρωμή



Εικόνα 48: Γραφικό περιβάλλον SolidWorks

3.2.2 Προγράμματα CAM

Αφού ο μηχανικός σχεδιάσει το αντικείμενο που του έχει ανατεθεί σε ένα πρόγραμμα CAD το επόμενο βήμα είναι να κατασκευαστεί αυτό το αντικείμενο. Το αντικείμενο μπορεί να είναι από κάποιο γρανάζι μετάδοσης της κίνησης μέχρι κάποια μακέτα κτιρίου, οπότε η διαδικασία της κατασκευής του αντικειμένου θα επιτελεστεί από κάποια εργαλειομηχανή ή από κάποιον 3D εκτυπωτή. Όποιο και να είναι το μηχάνημα που θα επιμεληθεί την επεξεργασία πρέπει να του “μιλήσουμε” στην κατάλληλη γλώσσα για να καταλάβει τις εντολές που θα του δώσουμε. Η γλώσσα που καταλαβαίνουν τέτοιου είδους μηχανές που κινούνται σε άξονες με την βοήθεια ηλεκτρικών μοτέρ είναι η G-Code. Η συγκεκριμένη γλώσσα χρησιμοποιείται κυρίως σε μηχανές οι οποίες είναι ελεγχόμενες από υπολογιστή και αποτελείται από εντολές, που λένε στην μηχανή αυτή, με ποιο τρόπο να πραγματοποιήσει μια ενέργεια. Αυτές οι εντολές μπορεί να είναι, προς τα ποια κατεύθυνση θα κατευθυνθεί το εργαλείο κοπής, με ποια ταχύτητα, σε τι βάθος κ.ο.κ. Επειδή έχει έναν βαθμό δυσκολίας, όπως όλες οι γλώσσες προγραμματισμού, δεν θα εμβαθύνουμε περισσότερο αφού δεν είναι το κύριο θέμα αυτής της εργασίας, βέβαια η γνώση μιας γλώσσας σαν και αυτή είναι ένα έξτρα εργαλείο στα χέρια ενός μηχανικού ο οποίος ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και εργαλειομηχανών. Παρακάτω στις εικόνες 49 και 50 αναφέρονται επιγραμματικά κάποιες εντολές και ένα βασικό πρόγραμμα, με σκοπό ο αναγνώστης να γνωρίζει την δομή ενός προγράμματος αλλά και ποια είναι η λειτουργία κάποιων βασικών εντολών.



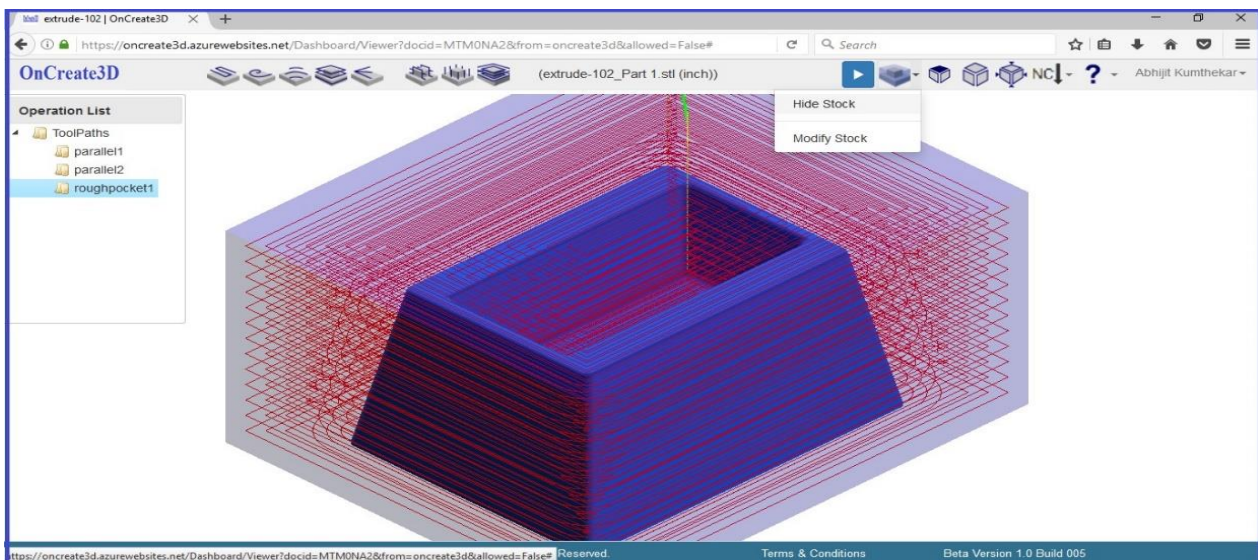
Εικόνα 49: Επεξήγηση συντεταγμένων

Block	Description	Purpose
%	Start of program.	Start Program
O0001 (PROJECT1)	Program number (Program Name).	
(T1 0.25 END MILL)	Tool description for operator.	
N1 G17 G20 G40 G49 G80 G90	Safety block to ensure machine is in safe mode.	
N2 T1 M6	Load Tool #1.	Change Tool
N3 S9200 M3	Spindle Speed 9200 RPM, On CW.	
N4 G54	Use Fixture Offset #1.	Move To Position
N5 M8	Coolant On.	
N6 G00 X-0.025 Y-0.275	Rapid above part.	
N7 G43 Z1. H1	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset #1.	
N8 Z0.1	Rapid to feed plane.	
N9 G01 Z-0.1 F18.	Line move to cutting depth at 18 IPM.	
N10 G41 Y0.1 D1 F36.	CDC Left, Lead in line, Dia. Offset #1, 36 IPM.	Machine Contour
N11 Y2.025	Line move.	
N12 X2.025	Line move.	
N13 Y-0.025	Line move.	
N14 X-0.025	Line move.	
N15 G40 X-0.4	Turn CDC off with lead-out move.	
N16 G00 Z1.	Rapid to safe plane.	
N17 M5	Spindle Off.	Change Tool
N18 M9	Coolant Off.	
(T2 0.25 DRILL)	Tool description for operator.	Move To Position
N19 T2 M6	Load Tool #2.	
N20 S3820 M3	Spindle Speed 3820 RPM, On CW.	
N21 M8	Coolant On.	
N22 X1. Y1.	Rapid above hole.	Drill Hole
N23 G43 Z1. H2	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset 2.	
N24 Z0.25	Rapid to feed plane.	End Program
N25 G98 G81 Z-0.325 R0.1 F12.	Drill hole (canned) cycle, Depth Z-.325, F12.	
N26 G80	Cancel drill cycle.	End Program
N27 Z1.	Rapid to safe plane.	
N28 M5	Spindle Off.	
N29 M9	Coolant Off.	
N30 G91 G28 Z0	Return to machine Home position in Z.	
N31 G91 G28 X0 Y0	Return to machine Home position in XY.	
N32 G90	Reset to absolute positioning mode (for safety).	
N33 M30	Reset program to beginning.	
%	End Program.	

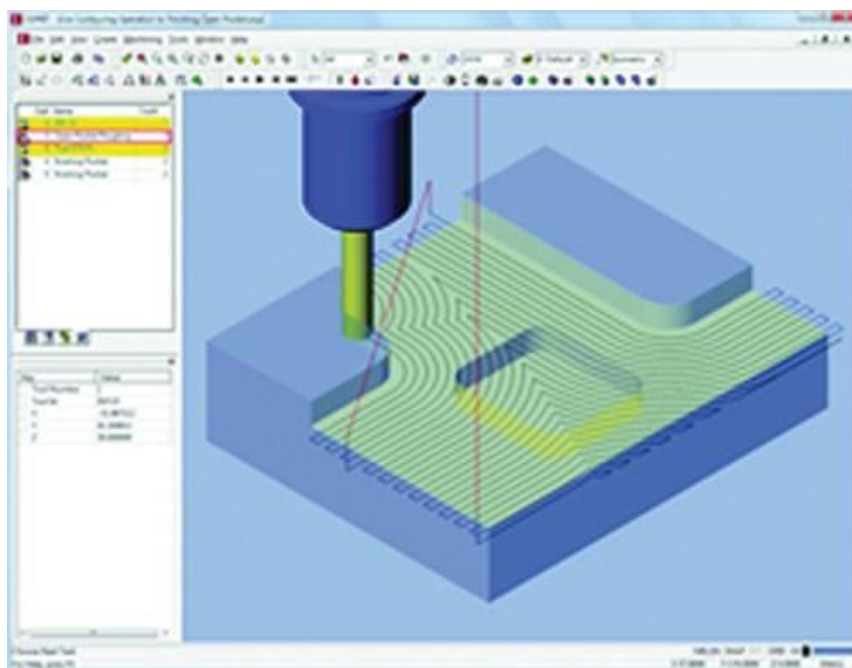
Εικόνα 50: Ενδεικτικό πρόγραμμα σε γλώσσα G-Code

Όπως μπορεί να αντιληφθεί κάποιος από τις παραπάνω εικόνες, το να γραφεί ένα πρόγραμμα σε γλώσσα G-Code δεν είναι μια εύκολη διαδικασία και όσο αυξάνεται η περιπλοκότητα του σχεδίου τόσο αυξάνεται και η δυσκολία συγγραφής ενός προγράμματος αρκετά αναλυτικού ώστε να αναπαραχθεί το σχέδιο όσο το δυνατόν καλύτερα. Η παραπάνω διαδικασία είναι χρονοβόρα και συνάμα μπορεί να γίνει κάποιο λάθος από τον προγραμματιστή/μηχανικό οπότε για να αποφευχθεί αυτό σχεδιάστηκε το λογισμικό CAM. Με τον όρο CAM(Computer-aided Manufacturing) περιγράφεται η διαδικασία της κατασκευής με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με το που σχεδιαστεί το επιθυμητό αντικείμενο από τον σχεδιαστή/μηχανικό, το αρχείο που παράγει ο υπολογιστής δεν είναι στην κατάλληλη μορφή ώστε να μπορέσει να το διαβάσει ο ελεγκτής της εργαλειομηχανής. Αυτήν την δουλειά αναλαμβάνει ένα πρόγραμμα CAM. Αυτό που κάνει στην

ουσία, είναι μια προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό μέσο, σύμφωνα πάντα με κάποιες παραμέτρους που ζητάει το λογισμικό όπως το υλικό κατεργασίας, το κοπτικό εργαλείο κ.τ.λ, βρίσκει την βέλτιστη διαδρομή ώστε να μην καταστραφεί το κοπτικό μέσο όπως επίσης και το υλικό που θα υποστεί επεξεργασία. Αφού τελειώσει την προσομοίωση παράγει ένα αρχείο που έχει αποθηκευτεί ο G-Code κώδικας που όταν τον δώσουμε στην εργαλειομηχανή θα έχουμε το επιθυμητό πρόγραμμα. Στην ουσία θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι ένα μεταφραστικό λογισμικό, που μετατρέπει ένα σχέδιο στην αντίστοιχη γλώσσα που αντιλαμβάνεται η μηχανή και έτσι βοηθάει στην επικοινωνία του ανθρώπου και της εργαλειομηχανής. Κάποιες εταιρίες βέβαια καλύπτουν και τις δυο ανάγκες, σχεδιασμό αντικειμένου και παραγωγή G-Code, με ένα λογισμικό. Υπάρχουν στο εμπόριο πολλές λύσεις κάποιες δωρεάν και κάποιες επί πληρωμή. Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του γραφικού περιβάλλοντος ενός λογισμικού CAM όπως επίσης και έναν πίνακα με κάποια δωρεάν προγράμματα και κάποια επί πληρωμή.



Εικόνα 51: Το τελικό αποτέλεσμα σε ένα CAM. Το γκρι μέρος είναι πως ήταν το υλικό στην αρχή το μπλε το τελικό αποτέλεσμα και οι κόκκινες γραμμές αναπαριστούν την πορεία που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο.



Εικόνα 52: Εδώ αναπαρίσταται και το κοπτικό εργαλείο

Προγράμματα CAM	
Επί Πληρωμή	Επί Πληρωμή
HyperMill	HyperMill
MasterCam	MasterCam
ExpertCam	ExpertCam
SolidCam	SolidCam
SprutCam	SprutCam

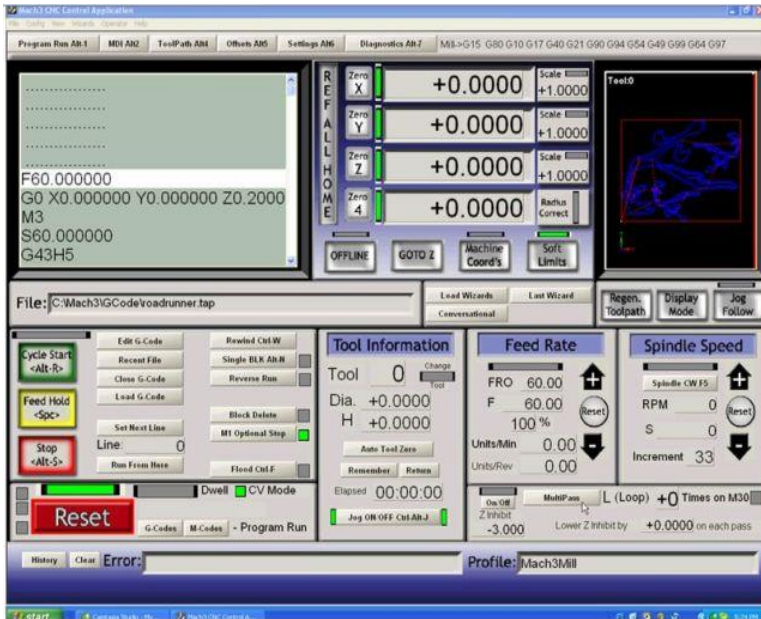
Πίνακας 2: Προγράμματα CAM επί πληρωμή και χωρίς πληρωμή

3.2.3 Control Software

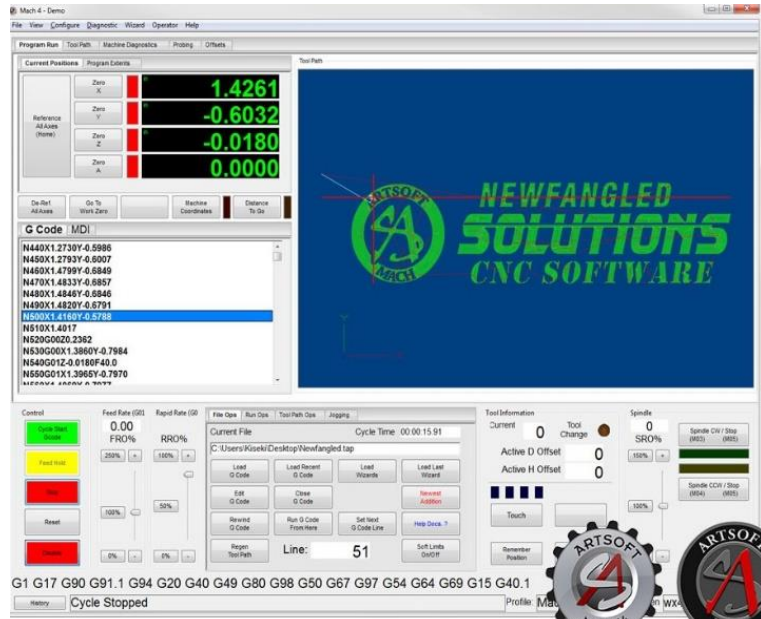
Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της εξαγωγής του G-Code από το CAM πρέπει με κάποιο τρόπο να στείλουμε αυτόν τον κώδικα στον ελεγκτή της εργαλειομηχανής έτσι ώστε να αρχίσει η επεξεργασία του εκάστοτε αντικειμένου. Αυτή την δουλειά την αναλαμβάνει το πρόγραμμα ελέγχου που είναι υπεύθυνο όχι μόνο για την μεταφορά του G-Code στον ελεγκτή της εργαλειομηχανής αλλά και για την πλήρη παραμετροποίηση της. Δηλαδή μέσω του control software μπορούμε να ελέγξουμε όλες τις παραμέτρους της εργαλειομηχανής όπως τις στροφές του κοπτικού μέσου, τους αισθητήρες/διακόπτες για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και γενικά ότι έχουμε συνδεδεμένο στον κεντρικό ελεγκτή της εργαλειομηχανής. Όπως αναφέρθηκε και λίγο παραπάνω, κάποιου

κατασκευαστές ολοκληρωμένων λύσεων, παρέχουν πέρα του hardware και software που έχει αναπτυχθεί ειδικά για τον ελεγκτή που προμηθεύουν στον αγοραστή. Οι υπόλοιποι προμηθευτές software αναπτύσσουν το δικό τους λογισμικό ελέγχου τα οποία είναι συμβατά με συγκεκριμένους ελεγκτές. Σε αυτό παίζει ρόλο ο μικροελεγκτής/μικροεπεξεργαστής γύρω από τον οποίο έχει στηθεί ο ελεγκτής, οπότε μια παράμετρος για την επιλογή ενός λογισμικού ελέγχου είναι η συμβατότητα. Παρακάτω θα παραθέσουμε μερικά προγράμματα, κυρίως χωρίς πληρωμή.

Το πιο γνωστό πρόγραμμα ελέγχου μεταξύ ερασιτεχνών και όχι μόνο ανήκει στην εταιρία ArtSoft η οποία ασχολείται με αυτό το αντικείμενο για πάνω από μια δεκαετία. Μέχρι πρότεινος είχε στην αγορά μόνο το Mach3 ένα σχετικά εύκολο στην χρήση πρόγραμμα με ικανότητα διαχείρισης μέχρι και 6 αξόνων αλλά υστερούσε σε άλλους τομείς όπως την έλλειψη υποστήριξης USB συνδεσιμότητας. Αυτό το κενό και κάποια ακόμα όπως την υποστήριξη περισσότερων μορφών αρχείων ήρθε να καλύψει το Mach4. Είναι εξίσου εύκολο στην χρήση με τον προκάτοχό του έχει βελτιωμένα γραφικά, καλύτερη συνδεσιμότητα και πλέον έχουν βγει πολλά plugins για πολλούς διαφορετικούς controllers ,αν και το mach4 κοστίζει αρκετά χρήματα εν αντιθέση με το mach3 που το παρέχει δωρεάν ο εκάστοτε προμηθευτής ελεγκτών. Το Mach3 χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους απανταχού χομπίστες για πάνω από δέκα χρόνια, οπότε αυτό σημαίνει ότι ένας ερασιτέχνης που θα θέλει να ασχοληθεί με το χώρο των CNC εργαλειομηχανών θα βρει μια μεγάλη βάση δεδομένων από χρήστες που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο πρόγραμμα και έχουν αντιμετωπίσει αρκετές δυσκολίες βρίσκοντας παράλληλα και λύσεις και είναι πρόθυμοι να μεταφέρουν τις γνώσεις τους. Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από το γραφικό περιβάλλον των Mach3 και Mach4, όπως επίσης και ένας πίνακας που φαίνονται όλα τα χαρακτηριστικά και διαφορές των Mach3 και Mach4



Εικόνα 53: Γραφικό περιβάλλον Mach3



Εικόνα 54: Γραφικό περιβάλλον Mach4

MACH CNC CONTROL SOFTWARE MAIN FEATURES AND VERSION DIFFERENCES

Standard Version Features	Mach3	Mach4 Hobby	Mach4 Industrial
Number of Planners	1	1	1
Number of Axes	6	6	6
Out of Band Axis (OBA)	0	1	6
Slave axis (uses up coordinated axes)	3	N/A	N/A
Slave motors (does not use up coordinated axes)	N/A	4 per Axis	4 per Axis
API Interface - Open to All Hardware	Yes	Yes	Yes
Extended Plugin Support	Yes	Yes	Yes
User customizable GUI	Yes	Yes	Yes
Unified (GUI) Interface - PLC, CNC, etc..	Yes	Yes	Yes
Unlimited IO	Yes	Yes	Yes
Modbus PLC	Yes	Yes	Yes
PMC (Ladder Logic addressing for cnc/plc)	Yes	Yes	Yes
Unlimited File Size	Yes	Yes	Yes
Tool Path Display	Yes	Yes	Yes
Tool Path Speed & Quality	Low	High	High
Scripting - Customization	Yes	Yes	Yes
LUA Scripting - simple, fast, cross-platform		Yes	Yes
- Lua sockets (ftp, http, smtp,...)		Yes	Yes
- SSL (security layer)		Yes	Yes
- LFS (manage large files and data storage)		Yes	Yes
- Serial port		Yes	Yes
- Engraving of part numbers / serial numbering of parts		Yes	Yes
- Plugin panel objects		Yes	Yes
IPC Library for Data Sharing/tracking (Interprocess communication)		Yes	Yes
Full Feature Screens/Controls Per Machine Type		Yes	Yes
Currently Available: Mill, Router, Lathe, 3d Printer		Yes	Yes
Multiple gcode interpreters (Per Machine Type)		Yes	Yes
Probing - Integrated in standard screens		Yes	Yes
Simulated 3d Machining (with additional plugin license)		Yes	Yes
Tool Life Management (G10 L3 command)		Yes	Yes
Screw Mapping		Yes	Yes
Professional Screen Designer (advanced G.U.I.)		Yes	Yes
- Screen Animation Control		Yes	Yes
- Screen Integrated Tool Table Control		Yes	Yes
- Screen Integrated Work Offset Control		Yes	Yes
- Screen Integrated gcode editor		Yes	Yes
- Screen Artisoft Wizard Package Integration		Yes	Yes
Macro B gcode Programming (#variables)		Yes	Yes
- User definable gcodes via marco calls		Yes	Yes
- Macro Calls: G65, G66, G66.1		Yes	Yes
- gcode via marco call (custom G codes via macro B)		Yes	Yes
- mcode via macro call (custom M codes via macro B)		Yes	Yes
- mcode via sub code (custom M code via sup program)		Yes	Yes
- Conditional gcodes		Yes	Yes
- set VN call - define variable names		Yes	Yes
gcode Editor Included		Yes	Yes
Scripted M code (custom M code via LUA script)		Yes	Yes
Variable Speed Spindle	Yes	Yes	Yes
Spindle Relay	Yes	Yes	Yes
Coolant relay	Yes	Yes	Yes
Mist Relay	Yes	Yes	Yes
Threading	Yes	Yes	Yes
Rigid Tapping	Yes	Yes	Yes
Single Block	Yes	Yes	Yes
Block Delete	Yes	Yes	Yes
Optional Stop	Yes	Yes	Yes
Cutter Comp	Yes	Yes	Yes
Fanuc Type C Cutter Comp		Yes	Yes
Fixture Offsets	Yes	Yes	Yes
G51 Scaling	Yes	Yes	Yes
G92 Offsets	Yes	Yes	Yes

Εικόνα 55: Χαρακτηριστικά και διαφορές Mach3 και Mach4

Το επόμενο λογισμικό έλεγχου είναι το TurboCNC, την ανάπτυξη του οποίου έχει αναλάβει η Dark Engineering, λειτουργεί σε DOS και δεν ενδείκνυται για έναν νέο χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να έχει δωρεάν το λογισμικό ή αλλιώς με την χαμηλή συνδρομή των 60 δολαρίων, να έχει πρόσβαση και την δυνατότητα να τροποποιήσει τον πηγαίο κώδικα του, όπως επίσης και διαρκή υποστήριξη. Το συγκεκριμένο λογισμικό, αν και λίγο δυσκολότερο στην χρήση από τα υπόλοιπα, είναι πολύ αποδοτικό στον έλεγχο των βηματικών κινητήρων όπως επίσης και των σερβοκινητήρων. Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να χειριστεί μέχρι και 8 άξονες, να έχει έλεγχο των στροφών του κοπτικού μέσου και να ελέγχει αρκετές εισόδους/εξόδους που χρησιμοποιούνται στον κεντρικό ελεγκτή της εργαλειομηχανής. Το δυνατότερο βέβαια εργαλείο του είναι ότι μέσω του πηγαίου κώδικα μπορεί να παραμετροποιηθεί πλήρως κατά βούληση του χειριστή/προγραμματιστή το σύνολο του λογισμικού ώστε να το φέρει στα μέτρα του.

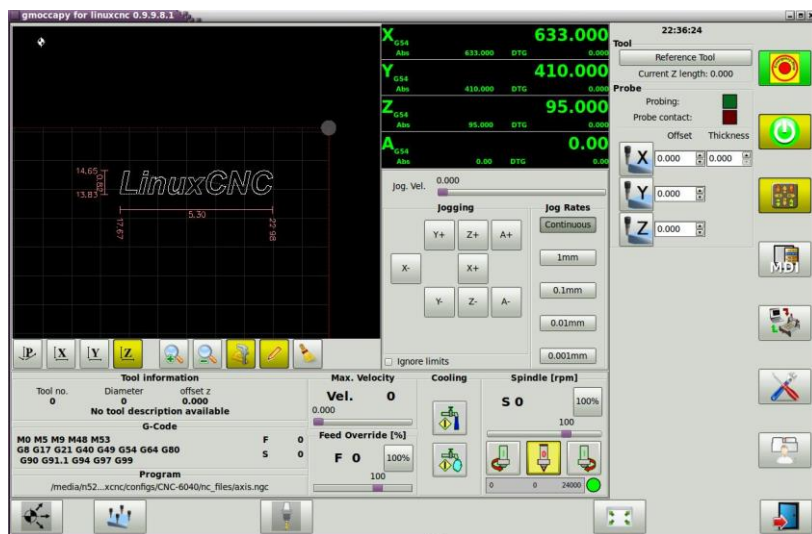


Εικόνα 56: Μενού του TurboCNC



Εικόνα 57 : Μενού του TurboCNC

Τέλος, μια από τις πιο αξιόλογες λύσεις και το κυριότερο δωρεάν, είναι το LinuxCNC. Όπως καταλαβαίνει κανείς από την ονομασία, το συγκεκριμένο λογισμικό “τρέχει” σε λειτουργικό Linux, κάτι προτόγνωρο για κάποιον που δεν έχει ξαναχρησιμοποιήσει LinuxCNC, και όπως όλες οι διανομές Linux είναι ανοιχτού κώδικα και απόλυτα παραμετρούσιμο. Στα θετικά του είναι η δυνατότητα ελέγχου μέχρι 9 άξονες και δίνει επίσης την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μεταξύ πολλών διαφορετικών GUIs μεταξύ των οποίων και η οθόνη αφής, πράγμα αρκετά χρηστικό. Υπάρχει επίσης αρκετά καλή υποστήριξη σε διάφορα θέματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ο χρήστης αφού η κοινότητα των LinuxCNC είναι αρκετά μεγάλη και ιδιαίτερα ενεργή οπότε όποιο πρόβλημα και να προκύψει πάντα θα υπάρχει κάποιος να βοηθήσει στην αντιμετώπισή του.



Εικόνα 58: Προεπιλεγμένο γραφικό περιβάλλον LinuxCNC



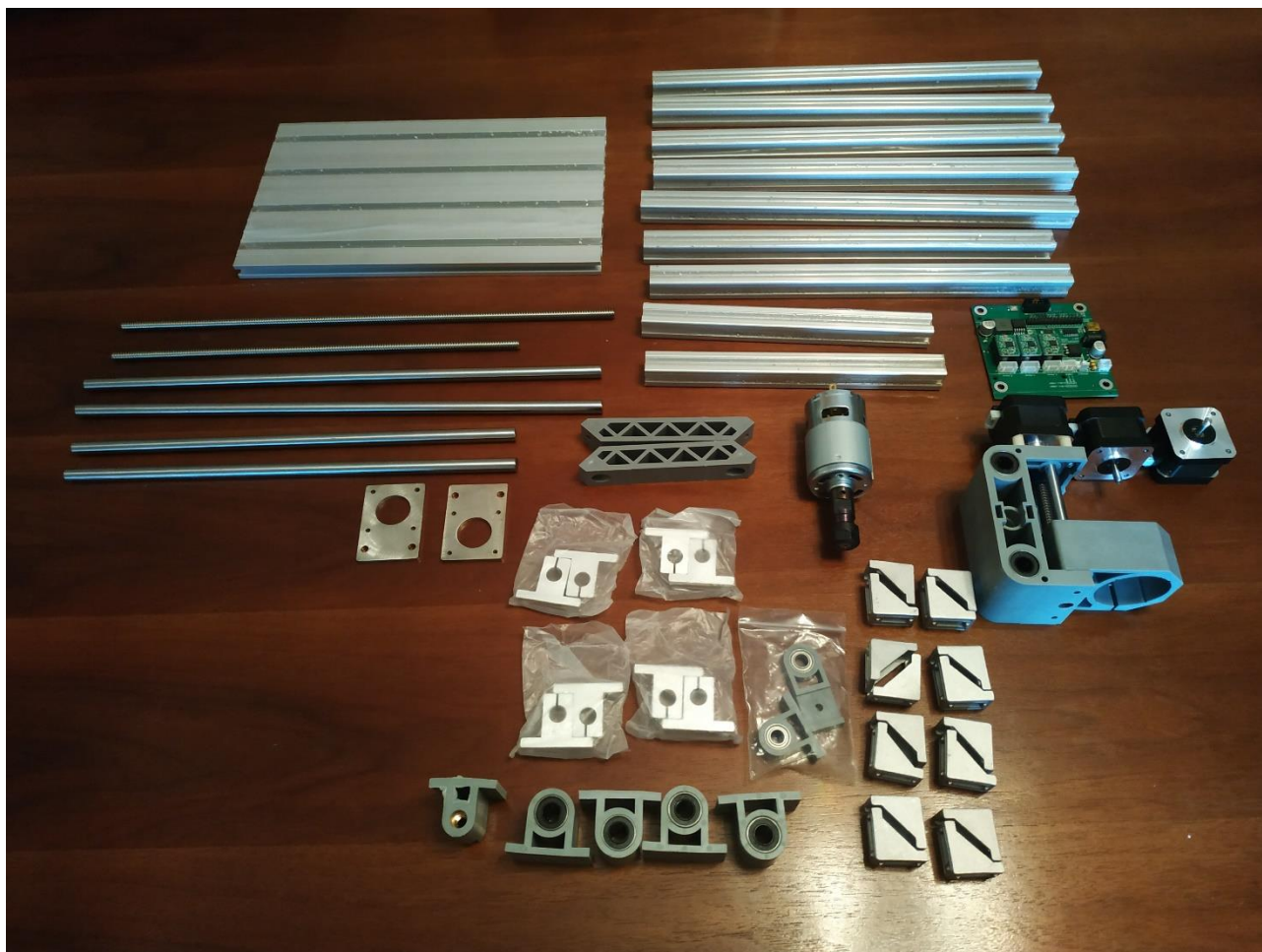
Εικόνα 59: Παραμετροποιημένος πίνακας ελέγχου από χρήστη

Γενικά, το κάθε λογισμικό έχει τα θετικά του, πράγμα το οποίο ανακαλύπτει ο χρήστης μέσω της τριβής με το εκάστοτε πρόγραμμα. Βλέποντας τώρα ότι κάποιο λογισμικό το οποίο είναι δωρεάν ή έχει ένα μικρό κόστος, δεν καλύπτει πλέον τις ανάγκες του μπορεί πάντα να απευθυνθεί σε μια πιο επαγγελματική λύση και ίσως πιο ακριβή.

4 Κατασκευή της CNC εργαλειομηχανής

4.1 Εισαγωγή

Παραπάνω περιγράφηκαν κάποιες τεχνολογίες και υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής ικανής να καλύψει τις ανάγκες ενός ερασιτέχνη μηχανικού. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρατεθούν οι επιλογές υλικών και τεχνολογιών που έγιναν για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής μικρού μεγέθους ικανής να κατεργαστεί πλακέτες χαλκού αλλά και την κατεργασία μαλακών υλικών όπως αλουμίνιο, ξύλο και πλαστικό. Στην φωτογραφία που ακολουθεί φαίνονται όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της εργαλειομηχανής πριν

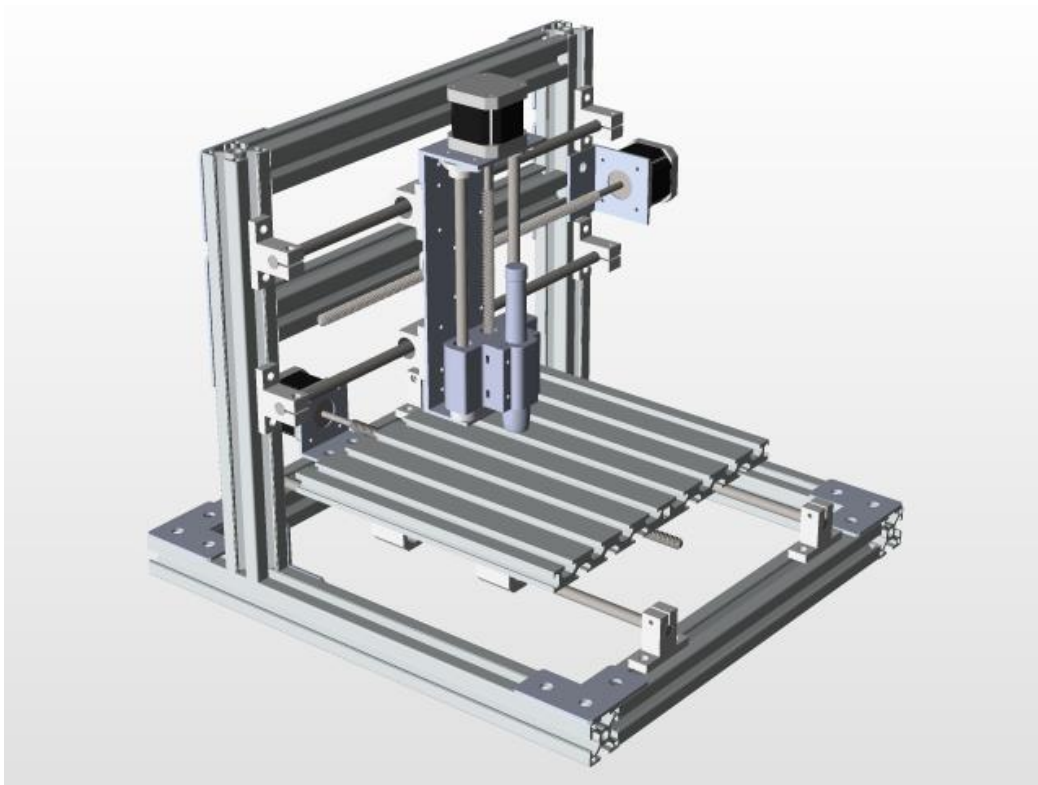


Εικόνα 60: Hardware που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή

από την κατασκευή της. Όλα τα κομμάτια επιλέχθηκαν βάση της κατεργασίας που θέλουμε να κάνει η μηχανή, αλλά με κύριο μέλημα να κρατήσουμε το κόστος της κατασκευής όσο το δυνατόν χαμηλότερα.

Όλα τα κομμάτια επιλέχθηκαν βάση της κατεργασίας που θέλουμε να κάνει η μηχανή, αλλά με κύριο μέλημα να κρατήσουμε το κόστος της κατασκευής όσο το δυνατόν χαμηλότερα.

Για να επιλεγθούν όμως όλα τα παραπάνω σχεδιάστηκε η εργαλειομηχανή σε σχεδιαστικό πρόγραμμα ώστε να γίνει σωστός προγραμματισμός και να μην χαθούν χρήματα και χρόνος κατά την διάρκεια της κατασκευής της. Στην εικόνα 61 μπορούμε να δούμε το ηλεκτρονικό σχέδιο της μηχανής.



Εικόνα 61: Ηλεκτρονικό σχέδιο εργαλειομηχανής

Με το πέρας του σχεδίου ήρθε η ώρα της προμήθειας των απαραίτητων εξαρτημάτων. Κάποια από τα εξαρτήματα δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν, οπότε αναγκαστικά το σχέδιο τροποποιήθηκε ώστε να ταιριάζουν τα εξαρτήματα που ήταν διαθέσιμα στο εμπόριο.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν όλα τα επιμέρους κομμάτια που συνθέτουν την εργαλειομηχανή.

4.2 Hardware

Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, έτσι και σε αυτό το Hardware θα το χωρίσουμε σε δυο επιμέρους κεφάλαια, για την εύκολη διαχείριση των πληροφοριών από τον αναγνώστη, αυτά του μηχανολογικού και ηλεκτρονικού.

4.2.1 Ηλεκτρονικά στοιχεία

4.2.1.1 Spindle

Όπως είναι πασιφανές, όσο ανεβαίνουν οι απαιτήσεις που έχει κάποιος από ένα μηχάνημα τόσο ανεβαίνει και η τιμή του. Γι' αυτόν τον λόγο, κατά την έρευνα για αυτή την εργασία, πάρθηκε η απόφαση για το εύρος εφαρμογών που θα χρησιμοποιηθεί η μηχανή που θα κατασκευαστεί. Έτσι λοιπόν αποφασίστηκε ότι ο κύριος όγκος κατεργασιών που θα πραγματοποιεί η μηχανή θα είναι για την κατασκευή πλακετών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κατακόρυφη μείωση του κόστους για την προμήθεια ενός spindle. Αυτό συμβαίνει διότι, για την αφαίρεση του χαλκού από μια χαλκοπλακέτα δεν χρειαζόμαστε spindle μεγάλης ισχύος αλλά υψηλών στροφών, κατάλληλο για μαλακά υλικά όπως αλουμίνιο χαμηλού πάχους, πλαστικό, αφρόλεξ κ.α.

Επιλέχθηκε λοιπόν ένα DC spindle με μεταβλητό εύρος στροφών από 3500 έως 9000(εικόνα 61) και εύρος λειτουργίας 12-36V. Το σύστημα συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου είναι τύπου ER11(εικόνα 62), πράγμα που προσδίδει μεγάλη σταθερότητα κατά την διαδικασία της κατεργασίας, αφού παρόμοιο σύστημα συγκράτησης χρησιμοποιείται και σε μηχανήματα πολύ μεγαλύτερου μεγέθους με μεγαλύτερα spindle. Επίσης λόγω του μικρού μεγέθους του κινητήρα και της χαμηλής ισχύος του δεν χρειάζεται κάποιο εξωτερικό σύστημα ψύξης, αλλά αρκεί ο ανεμιστήρας που

βρίσκεται στο πάνω μέρος του παρέχοντας σε όλη τη διάρκεια τη λειτουργίας του αέρα.



Εικόνα 61: Spindle που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή



DHGate.com baoletao

Εικόνα 62: Σύστημα συγκράτησης κοπτικού εργαλείου

4.2.1.2 Μοτέρ κίνησης των αξόνων

Για την κίνηση στους άξονες της μηχανής X,Y,Z επιλέχθηκαν βηματικά μοτέρ, με βήμα περιστροφής 1,8°. Τα συγκεκριμένα μοτέρ είναι μικρού μεγέθους, ικανά βέβαια για την τροφοδοσία της κίνησης στους άξονες, με ωφέλιμη ροπή 0,32Nm. Η επιλογή έγινε και αυτή τη φορά με γνώμονα το κόστος των συγκεκριμένων μοτέρ συναρτήσει της απόδοσής τους. Επειδή, όπως είπαμε, το κύριο υλικό επεξεργασίας θα είναι χαλκοπλακέτες που το βάρος τους είναι κάτω από ένα κιλό, δεν χρειαζόντουσαν μοτέρ μεγαλύτερης ροπής άρα και μεγαλύτερου κόστους. Στις εικόνες 63 και 64 μπορούμε να δούμε τα βηματικά μοτέρ που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή και ένα τεχνικό φύλλο που περιέχει τα χαρακτηριστικά τους.

Type: 42SHD0001

COMMON RATINGS

Step angle:1.8°
 Positional accuracy:±5%
 Resistance accuracy:±10%
 Inductance accuracy:±20%
 Temperature rise:80°C MAX
 Ambient Temperature:-10°C-+40°C

Insulation resistance:100MΩMin.500VDC
 Dielectric strength:DC 500V
 Shaft axial play:0.075mm Max of 10N
 Shaft radial play:0.025mm Max of 5N
 Insulation class:ClassB,130°C

SPECIFICATIONAS

Holding torque (Kg.cm)	Rated current/Phase (A)	Phase Resistance ±10%(Ω)	Step angle	Phases Inductance(1KHz) ±20% (mH)
3.2	1.33	2.1	1.8°	4.5

DIMSIONS unit=mm

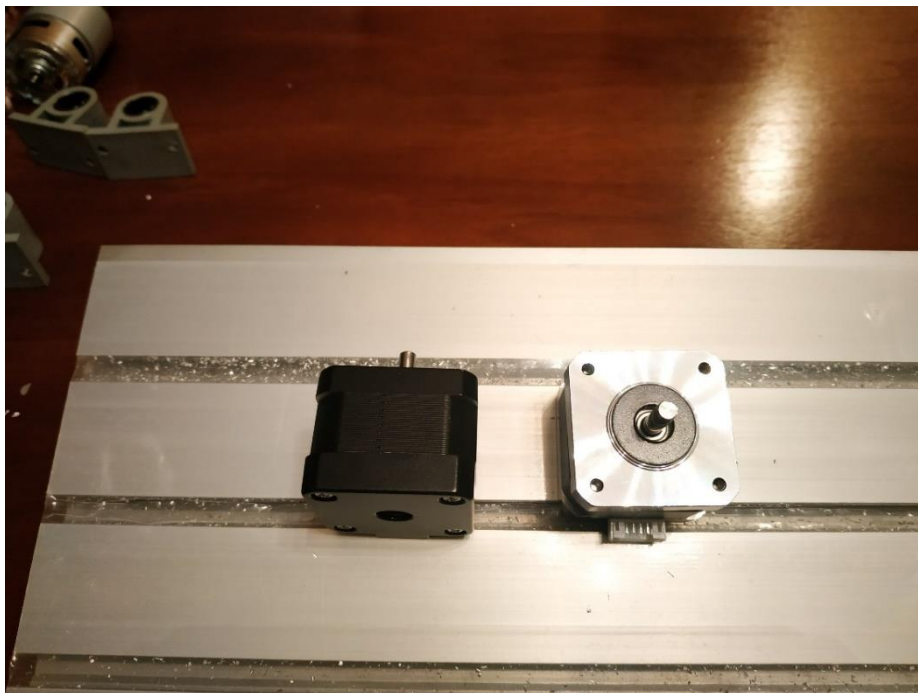
CONNECTIONS

4LEADES

黑 BLK A
 绿 GRN C
 红 RED B
 蓝 BLU D

电机型号:	42SHD0001	比例	1:1	NO.422391684005
制图		件数		
插图		重量		共 1 张 第 1 张
审核		常州市鸥柯达电器有限公司		

Εικόνα 63: Τεχνικό φύλλο βηματικού μοτέρ

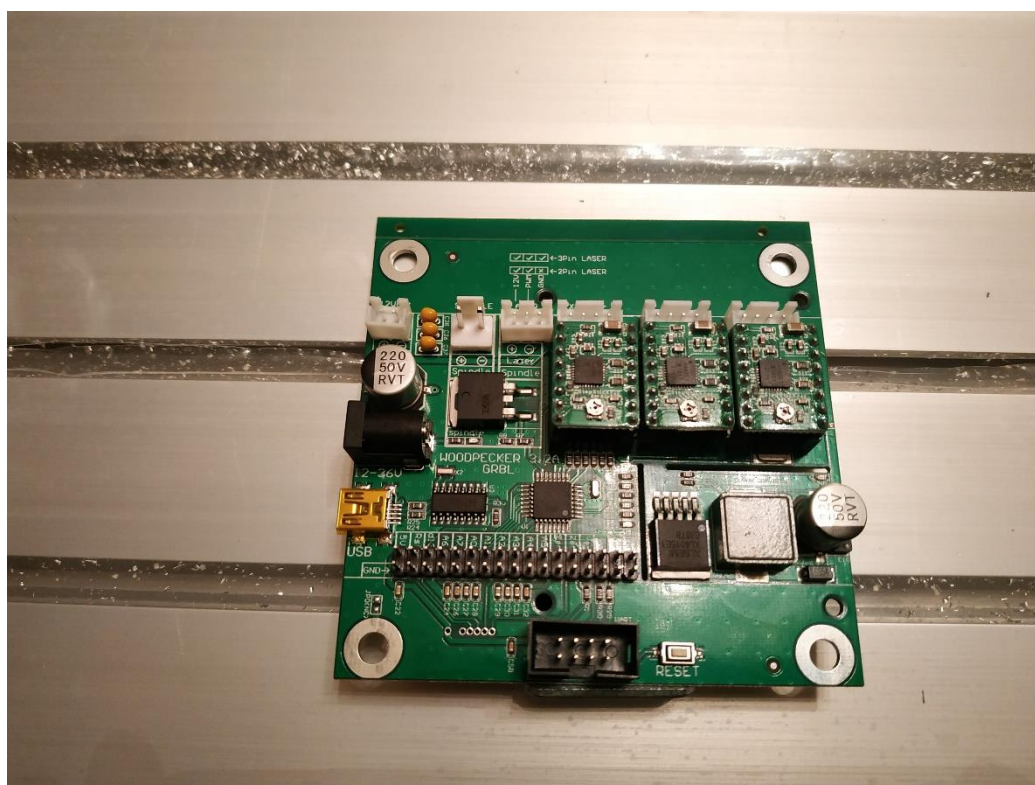


Εικόνα 64: Βηματικά μοτέρ που χρησιμοποιήθηκαν

4.2.1.3 Ελεγκτές λειτουργίας εργαλειομηχανής

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, σε αυτήν την παράγραφο ανήκουν όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία που βοηθάνε στην επικοινωνία της εργαλειομηχανής με τον υπολογιστή, όπως επίσης και στον έλεγχο των αξόνων και του κοπτικού μέσου.

Στην δικιά μας υλοποίηση χρησιμοποιούμε σαν κύκλωμα οδήγησης και ελέγχου της εργαλειομηχανής, ένα κύκλωμα που βασίζεται στον μικροεπεξεργαστή atmega328P της εταιρίας ATMEL με μνήμη 2kB. Το κάθε βηματικό μοτέρ οδηγείτε από διαφορετικό κύκλωμα που βασίζεται στο ολοκληρωμένο A4988 της εταιρίας Allegro. Στην ουσία είναι μια πλακέτα Arduino Uno με το κατάλληλο Shield για την οδήγηση των βηματικών μοτέρ.



Εικόνα 65: Πλακέτα ελέγχου της εργαλειομηχανής

Επιλέχθηκε αυτό το κύκλωμα για τον έλεγχο της εργαλειομηχανής γιατί συνδυάζει πολλά καλά στοιχεία. Κυριότερο όλων είναι η ευκολία που προσφέρει στο χρήστη για τον χειρισμό του μηχανήματος, αφού για την διασύνδεσή του με τον υπολογιστή και το πρόγραμμα ελέγχου χρειάζεται μόνο ένα καλώδιο USB. Βέβαια για να είναι εφικτή η επικοινωνία με USB πρέπει να έχει γίνει εγκατάσταση του firmware Grbl στον μικροεπεξεργαστή της ATMEL, το οποίο είναι επιφορτισμένο με την παραγωγή παλμών για τον έλεγχο των βηματικών μοτέρ και την μεταφορά τους μέσω θύρας USB, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση παράλληλης θύρας όπως σε παλιότερες κατασκευές. Αυτό

έχει σαν αποτέλεσμα και τη μείωση του κόστους αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε υπολογιστής για τον έλεγχο της εργαλειομηχανής. Στην μείωση της πολυπλοκότητας και του κόστους, συμβάλει και το γεγονός ότι για την τροφοδοσία των βηματικών μοτέρ και γενικά όλης της μηχανής χρειαζόμαστε ένα τροφοδοτικό ικανό να παρέχει 7-12V. Επίσης το spindle την απαιτούμενη τροφοδοσία για την λειτουργία του την παίρνει από την κυρίως πλακέτα, μειώνοντας έτσι ακόμη περισσότερο το κόστος κατασκευής.

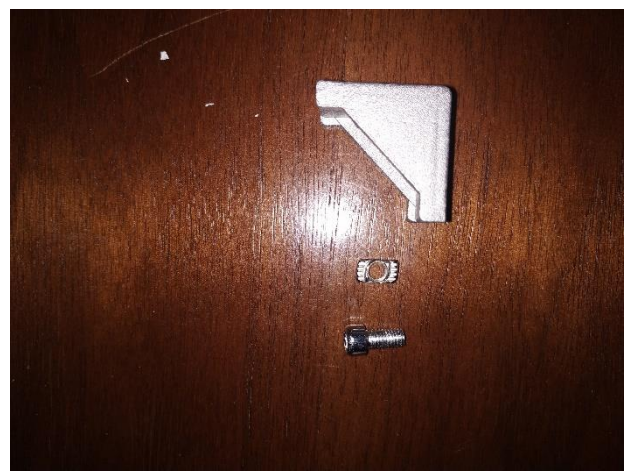
4.2.2 Μηχανολογικά στοιχεία

4.2.2.1 Υλικό Κατασκευής

Εξετάζοντας όλα τα πιθανά υλικά για την κατασκευή του πλαισίου της εργαλειομηχανής, αποφασίστηκε ότι το καταλληλότερο υλικό για το κυρίως μέρος της είναι το αλουμίνιο. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τετράγωνα προφίλ αλουμινίου διαστάσεων 20x20mm. Τα προφίλ του άξονα Y έχουν μήκος 330mm και του άξονα X 360mm. Στον άξονα Z, γέφυρα της μηχανής στην οποία τοποθετήθηκε το spindle, τοποθετήθηκαν προφίλ μήκους 220mm. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 5 προφίλ των 360mm, 2 των 330mm και δυο των 220mm, τα οποία μπορούμε να δούμε στην εικόνα 66. Για την συγκράτηση μεταξύ τους χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί σύνδεσμοι/γωνίες(εικόνα 67) που μας επιτρέπουν εύκολη, γρήγορη και ακριβής συναρμογή μεταξύ των κομματιών.

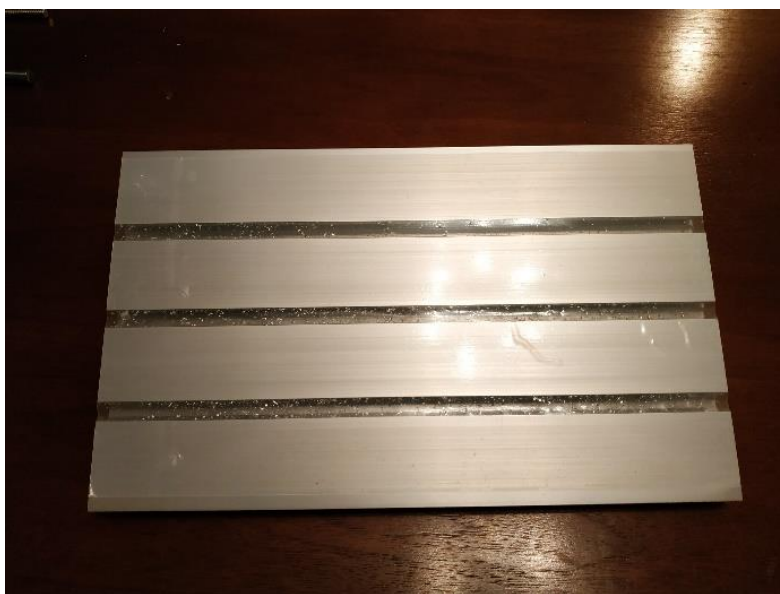


Εικόνα 67: Σύνδεσμοι/γωνίες



Εικόνα 66: Προφίλ αλουμινίου

Ένα ακόμη σημείο της μηχανής που χρησιμοποιήθηκε αλουμίνιο, είναι το τραπέζι συγκράτησης του υλικού που υπόκειται επεξεργασία. Επειδή ο σχεδιασμός της μηχανής είναι τέτοιος ώστε να κινείται το τραπέζι στον άξονα Y, χρειαζόταν ένα σχετικά ελαφρύ υλικό αλλά ταυτόχρονα και αρκετά ανθεκτικό για να μπορεί να σφίγγει το υλικό πάνω και να μένει σταθερό κατά την επεξεργασία του. Επίσης, όπως και τα προφίλ αλουμινίου, είναι πολύ εύκολο να βρει κάποιος στην αγορά ένα αντίστοιχο κομμάτι αλουμινίου και να το χρησιμοποιήσει σαν τραπέζι συγκράτησης. Στην εικόνα 68 φαίνεται το τραπέζι συγκράτησης πριν την εγκατάσταση στην μηχανή.



Εικόνα 68: Τραπέζι συγκράτησης υλικού

4.2.2.2 Μετάδοση της κίνησης

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 66, για την μετάδοση της κίνησης και στους τρεις άξονες(X,Y,Z) επιλέχθηκε τραπεζοειδής κοχλίας(ντίζα), σε συνδυασμό με ειδικό παξιμάδι(εικόνα 67) το οποίο βιδώνει στο κινούμενο μέρος, ώστε να μετατρέπεται η κυκλική κίνηση από τα μοτέρ σε γραμμική. Ο συνδυασμός αυτός επιλέχθηκε διότι ξέρουμε εκ των προτέρων ότι το μηχάνημα δεν θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία σκληρών υλικών, οπότε τα μοτέρ κίνησης των αξόνων δεν θα δεχτούν μεγάλα φορτία τα και κατ'έπекταση και το σύστημα μετάδοσης.



Εικόνα 69: Τραπεζοειδής κοχλίας
μετάδοσης της κίνησης



Εικόνα 70: Παξιμάδι μετάδοσης της κίνησης

Το συγκεκριμένο σύστημα, μπορούμε να πούμε, ότι έχει κοινά χαρακτηριστικά με το ball screw που χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές εργαλειομηχανών παγκοσμίως. Οι λόγοι λοιπόν που επιλέχθηκε σαν σύστημα μετάδοσης/μετατροπής της κίνησης είναι ότι μπορεί να προσφέρει υψηλές ακρίβειες κατά την διαδικασία της κοπής και παράλληλα να παραμείνει χαμηλά το κόστος.

4.2.2.3 Σύστημα οδήγησης

Και στην περίπτωση του συστήματος οδήγησης, όπως και σε όλο το Hardware της μηχανής, λαμβάνονται υπόψιν τα υλικά που θα κατεργάζεται η μηχανή, μαλακά υλικά και κατασκευές χαλκοπλακετών. Γι' αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε ένα σύστημα κυκλικών γραμμικών οδηγών σε όλους τους άξονες της μηχανής, σε συνδυασμό με ρουλεμάν που “αγκαλιάζουν” τους οδηγούς για να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την διαδικασία της κατεργασίας του υλικού. Στην εικόνα 71 μπορούμε να δούμε τους οδηγούς που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της μηχανής. Για την συγκράτηση των οδηγών χρησιμοποιήθηκαν βάσεις οι οποίες κουμπώνουν πάνω στο πλαίσιο και στις δυο άκρες του οδηγού ώστε να παραμένουν σταθεροί.



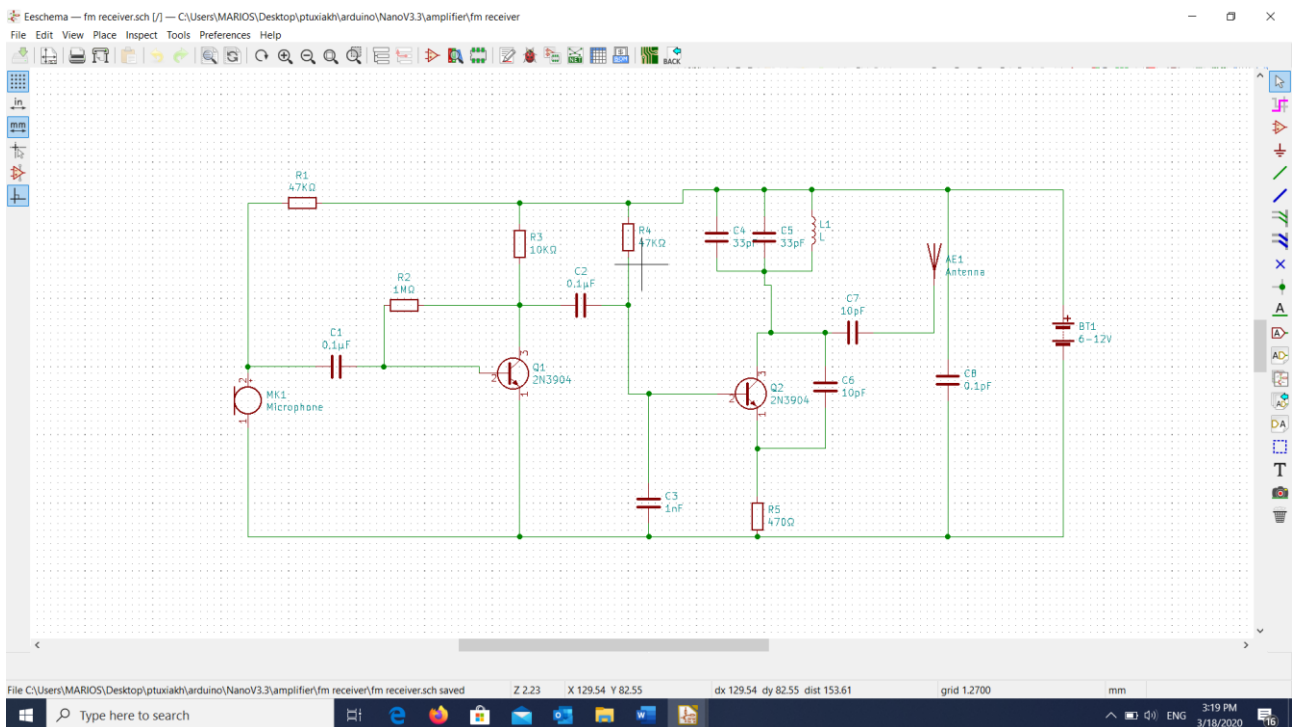
Εικόνα 71: Κυλινδρικοί οδηγοί

4.3 Software

4.3.1 CAD software

Στο χώρο του σχεδιασμού αντικειμένων, για την μετέπειτα παραγωγή τους από κάποιον 3D εκτυπωτή ή για την δημιουργία τους σε μια εργαλειομηχανή, υπάρχουν πολλά προγράμματα κάποια από τα οποία αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος αυτής της εργασίας. Επειδή η μηχανή που θα κατασκευαστεί θα χρησιμοποιηθεί ως επί των πλείστον για την κατασκευή ηλεκτρονικών πλακετών, θα χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα για την κατασκευή και μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων(EDA). Το πρόγραμμα λοιπόν που επιλέχθηκε είναι το KiCad, ένα freeware το οποίο στηρίζεται οικονομικά από το CERN και μπορεί να επιτελέσει την δουλειά ενός προγράμματος σχεδιασμού κυκλωμάτων και PCB που κοστίζει αρκετές εκατοντάδες ευρώ.

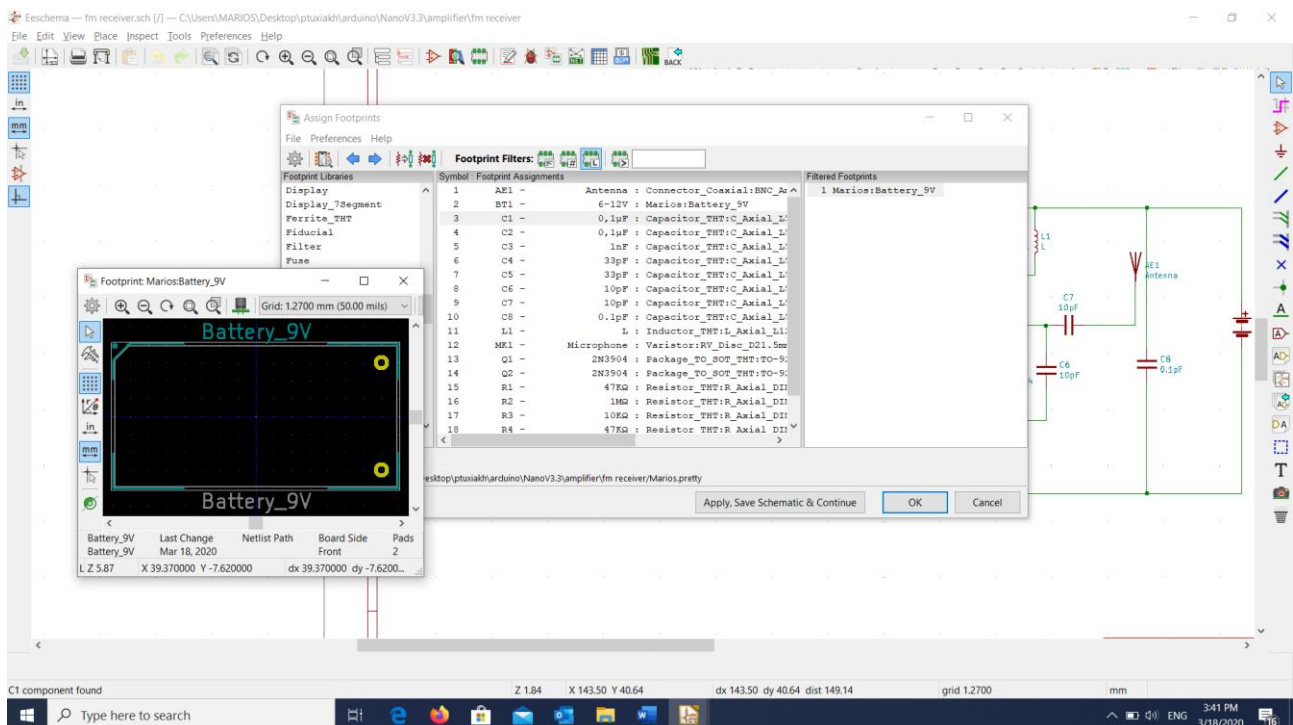
Στο KiCad ξεκινάμε, όπως και σε όλα τα σχεδιαστικά προγράμματα με την δημιουργία του σχηματικού μας (εικόνα 72), το οποίο στην ουσία είναι ένα ξεχωριστό κομμάτι σε σχέση με το υπόλοιπο πρόγραμμα.



Εικόνα 72: Περιβάλλον σχεδιασμού κυκλώματος στο πρόγραμμα KiCad

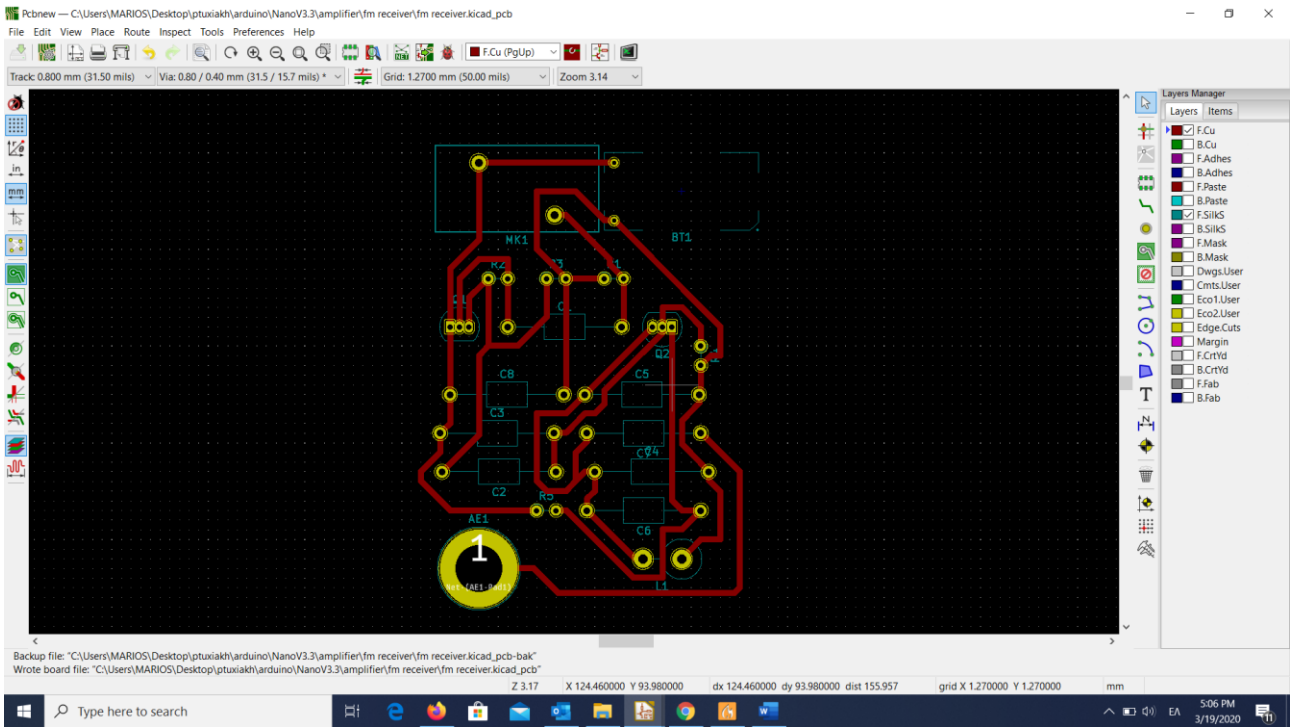
Η λογική στον σχεδιασμό του κυκλώματος, είναι ίδια όπως σε όλα τα προγράμματα του εμπορίου και με λίγη εξοικείωση ο σχεδιασμός οποιουδήποτε κυκλώματος γίνεται πολύ γρήγορα.

Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του κυκλώματος, το επόμενο βήμα είναι η ανάθεση του κάθε εξαρτήματος με το αντίστοιχο footprint(εικόνα 73) ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό της ηλεκτρονικής πλακέτας.



Εικόνα 73: Ανάθεση footprints των εξαρτημάτων

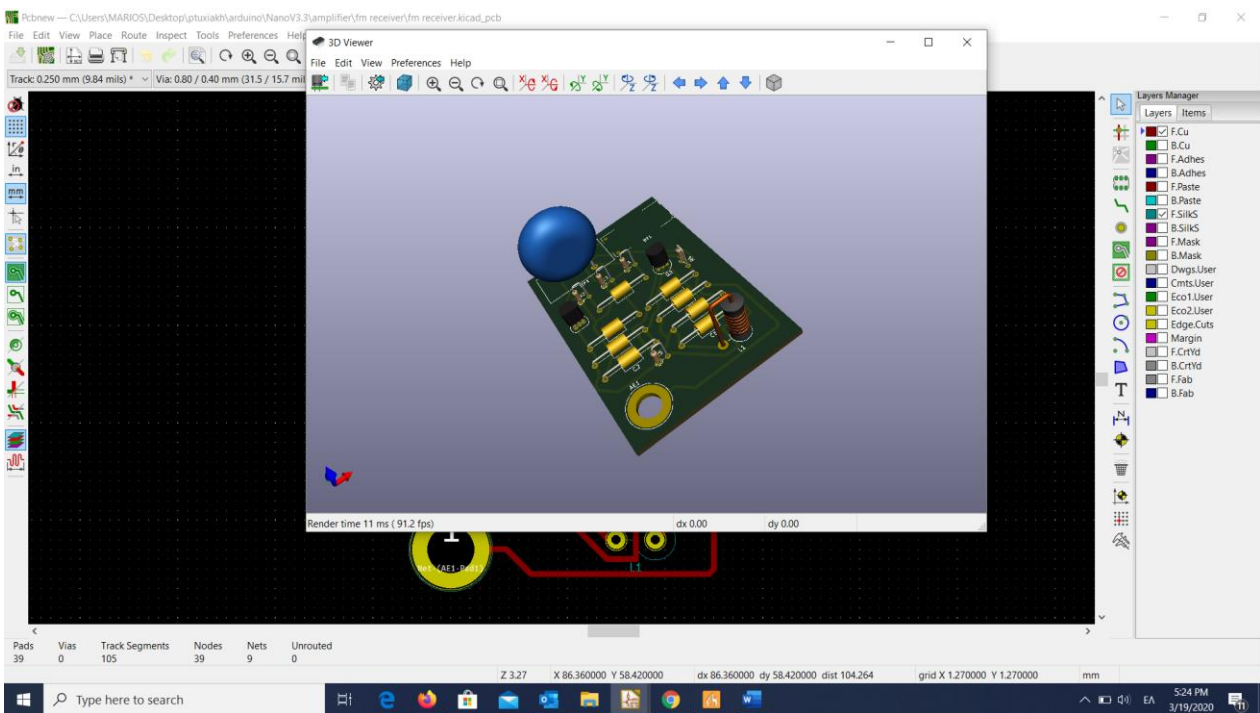
Με το πέρας της ανάθεσης των footprints, περνάμε στον σχεδιασμό της πλακέτας, ο οποίος γίνεται μέσα στο KiCad χρησιμοποιώντας τη λειτουργία σχεδιασμού PCB(εικόνα 74). Με αυτή την λειτουργία, μπορούμε να τοποθετήσουμε εικονικά τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το ηλεκτρονικό μας κύκλωμα και να το προετοιμάσουμε για την υλοποίηση του με κάποιο τρόπο.



Εικόνα 74: Σχεδιασμός της ηλεκτρονικής πλακέτας με το πρόγραμμα KiCad

Μόλις ενώσουμε όλα τα εξαρτήματα μεταξύ τους, μπορούμε να εξάγουμε τα κατασκευαστικά αρχεία(Gerber files), ώστε να τα εισάγουμε σε ένα πρόγραμμα CAM.

Το πρόγραμμα για την κατασκευή PCB έχει και ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το οποίο είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας μας με όλα τα εξαρτήματα τοποθετημένα(εικόνα 75).



Εικόνα 75: Τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας προς κατασκευή

4.3.2 CAM software

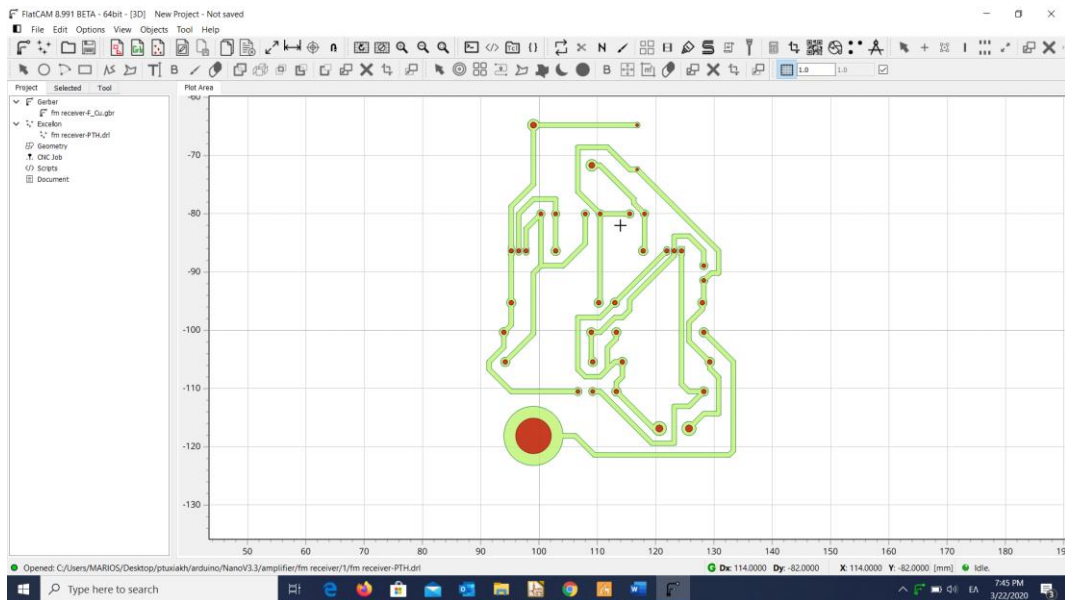
Με το τέλος της σχεδίασης της πλακέτας, όπως είπαμε, από το πρόγραμμα CAD εξάγουμε τα κατασκευαστικά αρχεία(Gerber files). Τα αρχεία αυτά, δεν έτοιμα προς χρήση για την κατασκευή της πλακέτας. Θα πρέπει να μετατραπούν σε g-code για να μπορέσει να τα διαβάσει η μηχανή και να εκτελέσει τις απαραίτητες εντολές, ώστε να κατεργαστεί το υλικό και να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το παραπάνω για να γίνει, πρέπει να επεξεργαστούμε το κατασκευαστικό αρχείο και να του δώσουμε κάποιες παραμέτρους(πάχος εργαλείου κοπής, ταχύτητα κοπής, βάθος κοπής κ.α) για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για την περάτωση αυτής της διαδικασίας, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα FlatCAM(εικόνα 76), ένα freeware κατασκευασμένο αποκλειστικά για την μετατροπή αρχείων Gerber σε μορφή .nc, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεσή τους από την μηχανή.



Εικόνα 76: Λογότυπο κατά την εκκίνηση του FlatCAM

Το λειτουργικό περιβάλλον του προγράμματος είναι απλό βοηθώντας τον χρήστη στον εύκολο χειρισμό και στην άμεση εξοικείωση του με αυτό.

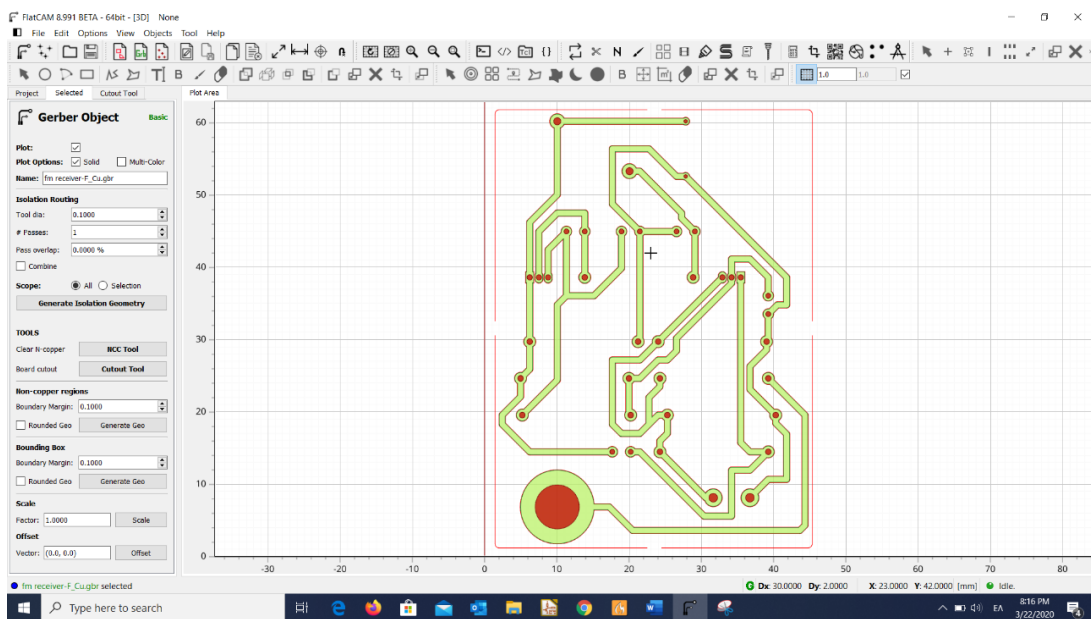
Ξεκινώντας με το πρόγραμμα το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει είναι η επιλογή του αρχείου του οποίου θέλουμε να παραμετροποιήσουμε ώστε να εκτελεστεί από την μηχανή. Στην εικόνα 77 βλέπουμε την μορφή του κυκλώματος πριν την επεξεργασία του.



Εικόνα 77: Το κύκλωμα μετά την εισαγωγή του στο πρόγραμμα

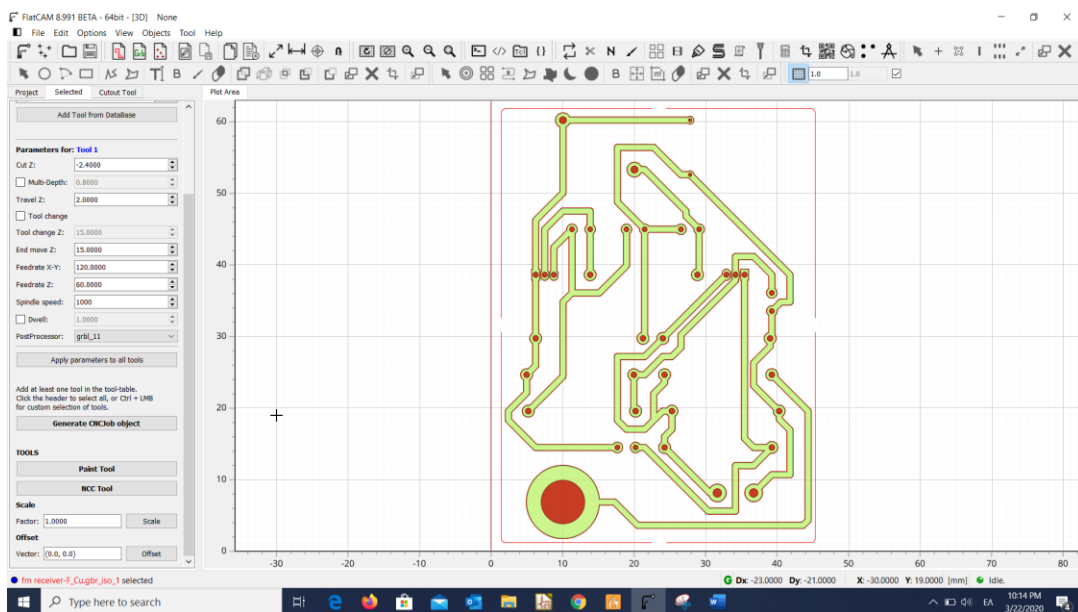
Επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε τις παραμέτρους του εργαλείου που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατεργασία των χαλκοδιαδρομών. Σε αυτό το παράθυρο ορίζουμε το μέγεθος του εργαλείου σε χιλιοστά(διάμετρος). Επίσης, μέσω αυτού του παραθύρου μπορούμε να ορίσουμε μια περιμετρική κοπή(εικόνα 78 περιμετρική κόκκινη γραμμή), για να είναι ευκολότερη η αποκοπή της ολοκληρωμένης πλακέτας, από το υπόλοιπο κομμάτι χαλκοπλακέτας που δεν έχει υποστεί κατεργασία. Ένα ακόμη εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η αφαίρεση του περίσσιου χαλκού, πέραν των επιθυμητών χαλκοδιαδρομών.

Πατώντας το κουμπί **Generate Isolation Geometry** αποθηκεύουμε τις ρυθμίσεις για αυτό το εργαλείο, για το συγκεκριμένο κύκλωμα που θέλουμε να κατεργαστούμε.



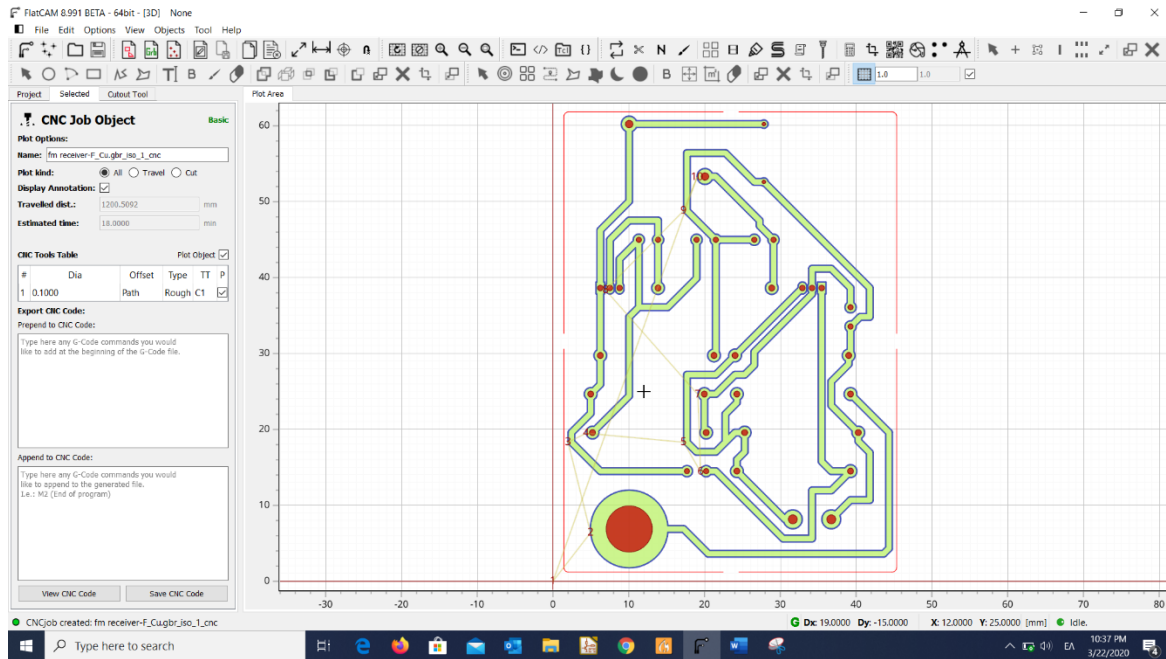
Εικόνα 78: Παράθυρο παραμετροποίησης εργαλείου

Στο παράθυρο που ανοίγει με την αποθήκευση του εργαλείου, παραμετροποιούμε τα υπόλοιπα δεδομένα, που χρειάζεται το πρόγραμμα για να παράγει τον g κώδικα για την κατεργασία του σχεδίου που έχουμε εισάγει(εικόνα 79) . Αυτή η παραμετροποίηση αφορά τα εξής: βάθος κοπής, ύψος της κεφαλής κατά την μετάβαση από κατεργασία σε κατεργασία, ύψος της κεφαλής μετά το πέρας και της τελευταίας κατεργασίας, ταχύτητα κίνησης στους άξονες X και Y κατά την διάρκεια της κοπής, ταχύτητα καθόδου κατά την διάρκεια της κοπής, ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου. Όλα τα παραπάνω μας τα δίνει ο κατασκευαστής του κοπτικού εργαλείου που θα χρησιμοποιήσουμε και διαφοροποιούνται από υλικό σε υλικό.



Εικόνα 79: Παράθυρο παραμετροποίησης ταχυτήτων κοπής της μηχανής

Με το πέρας της ανάθεσης ταχυτήτων και γενικά της παραμετροποίησης του σχεδίου που θέλουμε να κόψουμε, πατάμε το κουμπί **Generate CNCjob object**. Στο νέο παράθυρο που ανοίγει απεικονίζεται το σχέδιο που εισηγάγαμε, αλλά αυτή την φορά έχει αριθμημένα τα σημεία εισόδου και εκκίνησης της κάθε κατεργασίας(εικόνα 80).



Εικόνα 80: Παράθυρο

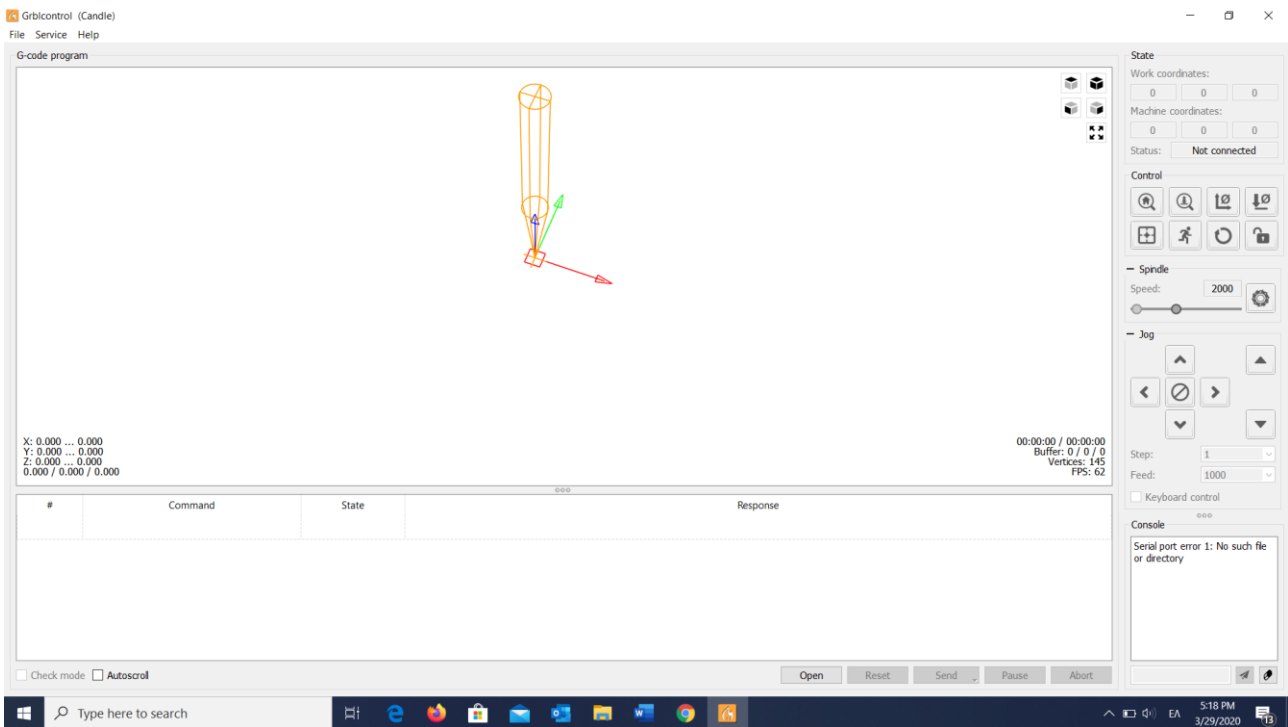
Αυτό σημαίνει, πως το CAM πρόγραμμα έχει παράγει τον g κώδικα που θα εισάγουμε στο πρόγραμμα ελέγχου της μηχανής για την ολοκλήρωση της κατεργασίας της πλακέτας του σχεδίου. Πατώντας το πλήκτρο **View CNC Code** θα εμφανιστούν όλες οι εντολές g κώδικα που θα τρέξουν για την κατεργασία της πλακέτας. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και την εξαγωγή του κώδικα σε μορφή αρχείου .nc πρέπει να πιάσουμε το πλήκτρο **Save CNC Code**. Με αυτή την ενέργεια αποθηκεύεται τοπικά το αρχείο, ώστε να μπορούμε να το καλέσουμε μέσω του προγράμματος ελέγχου της μηχανής.

4.3.2 Control software

Τελειώνοντας τις παραπάνω διαδικασίες, σχεδιασμός επιθυμητής πλακέτας κατασκευής με το σχεδιαστικό πρόγραμμα και δημιουργία του g κώδικα με την χρήση του προγράμματος CAM, πρέπει να έχουμε ένα κατάλληλο πρόγραμμα για τον έλεγχο της μηχανής, μέσω του οποίου μπορούμε να εισάγουμε το .nc αρχείο και να ολοκληρώσουμε την κατεργασία της πλακέτας. Για τον έλεγχο της μηχανής λοιπόν επιλέχθηκε το software Candle, το οποίο είναι εύχρηστο και με αρκετές δυνατότητες, αν σκεφτεί κανείς ότι είναι ένα freeware, κατασκευασμένο ειδικά για τον έλεγχο CNC μηχανής μέσω της θύρας USB του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί από την κοινότητα GitHub για τον CNC έλεγχο σε λέιζερ και εργαλειομηχανές μικρού μεγέθους. Η ιδιαιτερότητα του είναι ότι δεν χρειάζεται παράλληλη θύρα για την αποστολή παλμών για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων που κινούν τους άξονες της μηχανής. Αυτό επιτελείται, όπως αναφέραμε

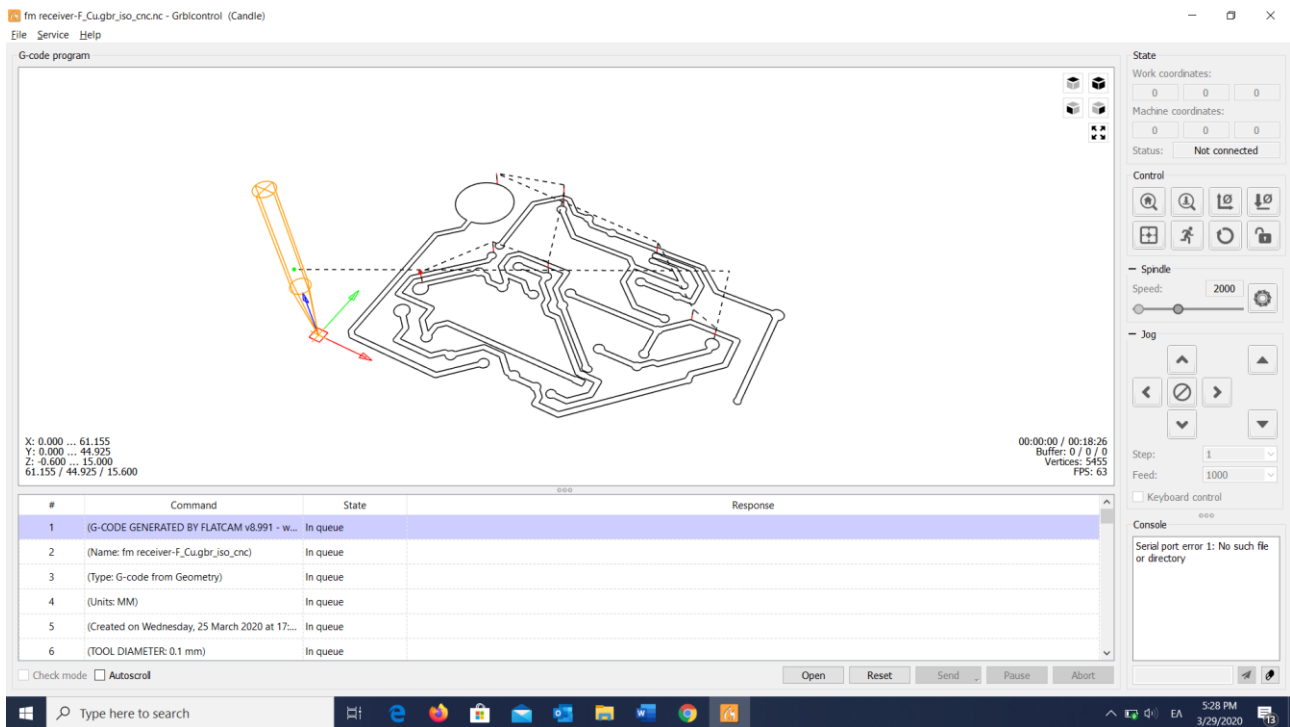
και παραπάνω, με την χρήση συγκεκριμένης ηλεκτρονικής διάταξης(Arduino) για την διεπαφή των ηλεκτρονικών της μηχανής(βηματικοί κινητήρες, spindle κ.τ.λ) με το πρόγραμμα ελέγχου.

Όπως αναφέρθηκε ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο πρόγραμμα ελέγχου είναι το πολύ απλό και εύχρηστο γραφικό του περιβάλλον. Στην εικόνα 81 μπορούμε να δούμε το λειτουργικό περιβάλλον του προγράμματος.



Εικόνα 81: Λειτουργικό περιβάλλον προγράμματος ελέγχου Candle(Grbl control)

Η εισαγωγή του επιθυμητού αρχείου που περιέχει τον g κώδικα γίνεται πολύ εύκολα, όπως και σε όλα τα προγράμματα που τρέχουν σε λειτουργικό περιβάλλον Windows, πατώντας την επιλογή **File** και στο υπομενού που ανοίγει την επιλογή **Open**. Από εκεί εντοπίζουμε το αρχείο που θέλουμε να ανοίξουμε και πιέζουμε την επιλογή **Open**. Μόλις ανοίξουμε το αρχείο που θέλουμε να κατεργαστούμε, εμφανίζεται σε τρισδιάστατη μορφή μέσα στο Candle(εικόνα 82).



Εικόνα 82: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σχεδίου που θα κατεργαστεί η μηχανή

Η τρισδιάστατη απεικόνιση, είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό που κάνει την επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος να αξίζει. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 82, πέραν του σχεδίου, το πρόγραμμα έχει τρισδιάστατη αναπαράσταση και της κοπτικής κεφαλής της εργαλειομηχανής, την οποία τη βλέπουμε να μετακινείται σε πραγματικό χρόνο.

Αφού εισάγουμε και το σχέδιο που θέλουμε να κατεργαστούμε, το επόμενο βήμα είναι να μετακινήσουμε την κεφαλή κοπής σε σημείο πάνω στην χαλκοπλακέτα ώστε να χωράει το σχέδιο που θέλουμε να κατεργαστούμε. Στη συνέχεια κατεβάζουμε την κεφαλή μέχρι να ακουμπήσει το κοπτικό εργαλείο πάνω στην χαλκοπλακέτα. Η μετακίνηση της κεφαλής στους άξονες, γίνεται με τα βελάκια που βρίσκονται στο δεξί μέρος της οθόνης. Στο ίδιο σημείο βρίσκεται και η επιλογή του βήματος που θέλουμε να έχουμε κατά την χειροκίνητη μετακίνηση της κεφαλής και αλλάζει μέσω της επιλογής **Step**.

Αφού έχουμε κάνει τις δυο παραπάνω ενέργειες, μηδενίζουμε τους άξονες X-Y και τον άξονα Z με τα κουμπιά **ZERO XY** και **ZERO Z**. Πλέον η μηχανή είναι έτοιμη για να ξεκινήσει την κατεργασία, απλά πατώντας το κουμπί **Send** στέλνουμε τον κώδικα στον κοντρόλερ της μηχανής και ξεκινάει η κατεργασία μας. Αν παρατηρήσουμε ότι κάτι δεν γίνεται σωστά κατά την διάρκεια της κατεργασίας, πατάμε το πλήκτρο **Abort** το οποίο σταματάει αμέσως την κατεργασία.

5 Επίλογος

5.1 Δυσκολίες κατά την κατασκευή

Οι κυριότερες δυσκολίες για το πέρας αυτής της εργασίας, ήταν να συνδυαστούν όλα τα επιμέρους κομμάτια σε μια πλήρως λειτουργική μηχανή, ικανή να κατεργαστεί χαλκοπλακέτες για την παραγωγή ηλεκτρονικών πλακετών. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην δυσκολία της εργασίας είχε και η εύρεση και συνδυασμός τριών διαφορετικών προγραμμάτων(CAD, CAM, Control Software) για την εκμετάλλευση όλων των δυνατοτήτων της μηχανής.

5.2 Συμπεράσματα

Τελειώνοντας την έρευνα και την κατασκευή της εργαλειομηχανής, μπορούμε να αποφανθούμε ότι για να ασχοληθεί κάποιος με αυτό το αντικείμενο και να ξεκινήσει την διαδικασία της κατασκευής ενός αντίστοιχου μηχανήματος, θα πρέπει να έχει αφιερώσει αρκετό χρόνο ώστε να αποφύγει την άσκοπη σπατάλη χρημάτων και χρόνου. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αποφασίζοντας πρώτα από όλα τις κατεργασίες που θέλει να κάνει με το μηχάνημα. Παρόλα αυτά, η κατασκευή είναι εφικτή και σίγουρα θα μπορέσει να βρει αρκετή βοήθεια στο διαδίκτυο από ανθρώπους που έχουν επιχειρήσει και έχουν κατασκευάσει αντίστοιχο μηχάνημα.

Βιβλιογραφία

- [1] Peter Smid, “FANUC CNC Custom Macros ,” *Industrial Press, Inc. New York 2005*
- [2] Kenneth W. Evans, “Programming of Computer Numerical Control, Third Edition” *Industrial Press, Inc. New York 2007*
- [3] Geoff Williams “CNC Robotics Built Your Own Workshop Bot”, *McGraw-Hill Education – Europe New York 2003*
- [4] Δρ. Μηχ. Γκ. Μανσούρ “ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ - ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ NC – CNC” *Θεσσαλονίκη 2010*
- [5] Patrick Hood-Daniel & James Floyd Kelly “Built Your Own CNC Machine” *Apress® New York 2009*
- [6] Suk-Hwan Suh, Seong-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung, Ian Stroud “Theory and Design of CNC Systems” *Springer-Verlag London 2008*
- [7] Graham T. Smith “CNC Machining Technology Volume I: Design, Development and CIM Strategies” *Springer-Verlag London 1993*
- [8] Alan Overby “CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation”, *McGraw-Hill, Inc New York 2010*