



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μελέτη και κατασκευή υπολογιστικά
ελεγχόμενου χώρου εργασίας
εργαλειομηχανής

Επιμέλεια: Μαρεντάκης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής:
Τσουρβελούδης Νικόλας

Χανιά, 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή και κοσμήτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, Τσουρβελούδη Νικόλαο, Για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ευκαιρία που μου έδωσε για να υλοποιήσω την παρούσα διπλωματική εργασία

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Τσιναράκη Γεώργιο, για την υποστήριξη και το χρόνο που αφιέρωσε για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συνεχή τους υποστήριξη και κυρίως τον ξάδερφο μου και συνάδελφο, Ψωματάκη Γεώργιο, για την βοήθεια του τόσο στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας όσο και στο θεωρητικό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	2
Ευρετήριο Πινάκων	3
Ευρετήριο Εικόνων	3
1 Περίληψη.....	5
1 Abstract	5
2 Εισαγωγή	6
2.1 Στόχος έρευνας.....	6
2.2 Διαδικασία επίλυσης προβλήματος.....	6
2.3 Δομή εργασίας	7
3 Εργαλειομηχανές ελεγχόμενες με Η/Υ.....	9
3.1 Εισαγωγή	9
3.2 Εξέλιξη τεχνολογίας cnc	9
3.3 Βασικά λειτουργικά στοιχεία εργαλειομηχανών cnc.....	11
3.3.1 Ηλεκτρικοί κινητήρες εργαλειομηχανών	11
3.3.2 Ελεγκτής κινητήρα ατράκτου	11
3.3.3 Βηματικοί κινητήρες.....	11
3.3.4 Σύστημα ελέγχου βηματικού κινητήρα.....	13
3.3.5 Μετάδοση κίνησης	14
3.3.6 Άλλα συστήματα.....	14
3.4 Άξονες κίνησης	15
3.5 Προγραμματισμός cnc εργαλειομηχανών	15
3.6 Γενικά στοιχεία προγραμματισμού.....	16
4 Λειτουργικά στοιχεία εφαρμογής.....	20
4.1 Εισαγωγή	20
4.2 Κινητήρας ατράκτου.....	20
4.3 Ελεγκτής κινητήρα ατράκτου	20
4.4 Βηματικοί κινητήρες.....	21
4.5 Ελεγκτές βηματικών κινητήρων	22
4.6 Arduino	23
4.7 Τροφοδοτικό	24
4.8 Πνευματικό σύστημα	25
4.9 Κιβώτιο τοποθέτησης λειτουργικών στοιχείων	25
4.10 Ολοκλήρωση της κατασκευής.....	26
4.11 Διάγραμμα ελέγχου εργαλειομηχανής Denford Triac	29

5	Λογισμικά	30
5.1	Εισαγωγή	30
5.2	GRBL	30
5.3	Universal Gcode Sender	31
5.3.1	Χαρακτηριστικά	31
5.3.2	Ρυθμίσεις	31
5.3.3	Παράδειγμα χρήσης του Universal Gcode Sender	38
6	Συμπεράσματα-Επεκτάσεις	44
	Βιβλιογραφία	46

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1	Γράμματα διεύθυνσης κατά DIN 66025	16
Πίνακας 3.2	Εντολές G	16
Πίνακας 3.3	Εντολές M	18
Πίνακας 4.1	Χαρακτηριστικά Lynx 08	21
Πίνακας 4.2	Σύμβολα βηματικών κινητήρων	21
Πίνακας 4.3	Χαρακτηριστικά Stepper Motor Driver	22
Πίνακας 4.4	Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού	24
Πίνακας 5.1	Υποστηριζόμενος κώδικας από Grbl	30
Πίνακας 5.2	Ρυθμίσεις UGS-Grbl	31

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Εργαλειομηχανή Denford Triac	6
Εικόνα 3.1	CNC Laser, CNC Τόρνος	10
Εικόνα 3.2	Βηματικοί κινητήρες	13
Εικόνα 3.3	Μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιριδίων	14
Εικόνα 3.4	Αυτόματη ρίψη ψυκτικού υγρού	14
Εικόνα 3.5	Περιγραφή αξόνων κίνησης εργαλειομηχανής	15
Εικόνα 4.1	Ελεγκτής Lynx SM 08	20
Εικόνα 4.2	Βηματικός κινητήρας της εταιρίας MAE	21
Εικόνα 4.3	Stepper Motor Driver DQ542MA	22
Εικόνα 4.4	Arduino Uno	23
Εικόνα 4.5	Συνδεσμολογία Arduino GRBL	23
Εικόνα 4.6	Τροφοδοτικό 24V 14.6A	24
Εικόνα 4.7	Πνευματικό Έμβολο	25
Εικόνα 4.8	Κιβώτιο πνευματικού συστήματος	25
Εικόνα 4.9	Ρυθμιστής πίεσης με σύστημα λίπανσης	25
Εικόνα 4.10	Λειτουργικά στοιχεία πριν την ανακατασκευή	26
Εικόνα 4.11	Λειτουργικά στοιχεία που παρέμειναν από την ανακατασκευή	26
Εικόνα 4.12	Λειτουργικά στοιχεία μετά την ανακατασκευή χωρίς συνδεσμολογία	27
Εικόνα 4.13	Λειτουργικά στοιχεία συνδεδεμένα μετά την ανακατασκευή	27
Εικόνα 4.14	Συνδεσμολογία Arduino Grbl με Stepper Motor Drivers	28
Εικόνα 5.1	Το λογότυπο του Grbl	30

Εικόνα 5.2 Αρχικές ρυθμίσεις του UGS.....	38
Εικόνα 5.3 Κουμπί σύνδεσης UGS.....	38
Εικόνα 5.4 Παράθυρο Jog Controller	39
Εικόνα 5.5 Παράθυρο ρυθμίσεων συντομεύσεων πληκτρολογίου	39
Εικόνα 5.6 Παράθυρο Common Actions	40
Εικόνα 5.7 Παράθυρο Controller State	40
Εικόνα 5.8 Παράθυρο Console	41
Εικόνα 5.9 Παράθυρο αναζήτησης αρχείου Gcode	41
Εικόνα 5.10 Παράθυρο 3D Visualizer.....	42
Εικόνα 5.11 Επιλογές Send Stop Reset.....	42
Εικόνα 5.12 Παράθυρο Send Progress.....	43
Εικόνα 5.13 Πραγματικές φωτογραφίες με αποτελέσματα του παραδείγματος χρήσης του UGS.....	43

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία πραγματεύεται τη μελέτη και την μετατροπή του χώρου εργασίας μιας εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου. Η εφαρμογή της μελέτης πραγματοποιείται σε εργαλειομηχανή του Εργαστηρίου Βιομηχανικής Παραγωγής με τη βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή, του Πολυτεχνείου Κρήτης. Περιλαμβάνει τη μελέτη και την εγκατάσταση ηλεκτρικών εξαρτημάτων συμβατών με τους υπάρχοντες μηχανισμούς οδήγησης, ώστε η εργαλειομηχανή να εκτελεί, με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, εντολές σε γλώσσα προγραμματισμού αριθμητικού ελέγχου (G-code) και να υλοποιεί τις αντίστοιχες κινήσεις.

1 ABSTRACT

The aim of this Diploma Thesis is the study and modification of a CNC workspace. The implementation of this study took place in a CNC machine of the Computer Aided Manufacturing (C.A.M) Laboratory of the Technical University of Crete. It includes the study and the installation of all the electronical parts compatible with the existing motors, so the CNC machine executes all the G-code commands using a computer.

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανακατασκευή και ο εκσυγχρονισμός μίας υπολογιστικά ελεγχόμενης εργαλειομηχανής. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η εργαλειομηχανή Denford Triac (εικόνα 1.1) του εργαστηρίου «Βιομηχανικής Παραγωγής με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (C.A.M.)». Πρόκειται για μία εργαλειομηχανή εκπαιδευτικού χαρακτήρα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της οποίας θα περιγραφούν αναλυτικά σε άλλο κεφάλαιο.



Εικόνα 2.1 Εργαλειομηχανή Denford Triac

2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αρχικά έγινε ο έλεγχος λειτουργίας των υπαρχόντων μηχανικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της εργαλειομηχανής με σκοπό την αντικατάσταση ή επιδιόρθωση των μη λειτουργικών.

Όσον αφορά τα μηχανικά στοιχεία έγινε καθαρισμός των ατερμόνων αξόνων από υπολείμματα σκόνης και λαδιού, που περιόριζαν σημαντικά την κίνηση τους, και ακολούθησε λίπανση.

Για τον λειτουργικό έλεγχο του ελεγκτή του κινητήρα κυρίας ατράκτου ήταν απαραίτητη η γνώση των τάσεων εισόδου και εξόδου του καθώς και η απαραίτητη συνδεσμολογία για το χειρισμό του. Η παραπάνω συνδεσμολογία υλοποιήθηκε όπως υποδεικνύει το εγχειρίδιο χρήσης του ελεγκτή και αποδείχτηκε ότι είναι λειτουργικός.

Για τον έλεγχο του κινητήρα κυρίας ατράκτου, έγινε η σύνδεση του με τον ελεγκτή και αποδείχτηκε ότι είναι λειτουργικός.

Στη συνέχεια ελέγχθηκε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής της εργαλειομηχανής και διαπιστώθηκε ότι δεν λειτουργούσε. Στα πλαίσια του εκσυγχρονισμού της εργαλειομηχανής αποφασίστηκε να μην επισκευαστεί ο υπάρχων υπολογιστής αλλά να αντικατασταθεί με έναν πιο σύγχρονο με περισσότερες δυνατότητες.

Έπειτα από τον έλεγχο του εγχειριδίου χρήσης των ελεγκτών των βηματικών κινητήρων διαπιστώθηκε ότι, λόγω της παλαιότητάς τους, δεν είναι συμβατοί με την καινούρια υπολογιστική μονάδα. Συνεπώς αποφασίστηκε η αντικατάστασή τους με νέους.

Μετά την αντικατάσταση των ελεγκτών των βηματικών ελέγχθηκαν οι κινητήρες και διαπιστώθηκε ότι είναι πλήρως λειτουργικοί.

Ακολούθησε ο έλεγχος του πνευματικού συστήματος της εργαλειομηχανής, το οποίο ήταν υπεύθυνο για την αυτόματη εναλλαγή των κοπτικών εργαλείων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το πνευματικό σύστημα παρέμεινε μόνο για την απελευθέρωση των κοπτικών εργαλείων από την αρπάγη ενώ η εναλλαγή των κοπτικών έγινε χειροκίνητη. Μετά τον έλεγχο διαπιστώθηκε ότι όλα τα εξαρτήματα του συστήματος ήταν λειτουργικά εκτός από το ρυθμιστή πίεσης. Μετά την αντικατάσταση του ρυθμιστή πίεσης το πνευματικό σύστημα επανήλθε σε λειτουργία.

Τελειώνοντας, μετά από όλους τους απαραίτητους ελέγχους, επισκευές και αντικαταστάσεις έγινε η ηλεκτρονική και ηλεκτρική συνδεσμολογία όλων των λειτουργικών στοιχείων της εργαλειομηχανής (Παράγραφος 3.10). Τέλος έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τη σωστή και ακριβή λειτουργία της εργαλειομηχανής (Παράγραφος 4.3).

2.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθεί την αλληλουχία των βημάτων για την αποκατάσταση της λειτουργίας της μηχανής.

Αρχικά περιγράφονται οι εργαλειομηχανές ελεγχόμενες με ηλεκτρονικό υπολογιστή, τα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι βασικές αρχές του προγραμματισμού τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος. Παρουσιάζονται όλα τα εξαρτήματα που αγοράστηκαν ή προϋπήρχαν στην εργαλειομηχανή και χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η διασύνδεσή τους. Επιπροσθέτως δίνεται το δομικό διάγραμμα ελέγχου της εργαλειομηχανής για να γίνει πιο κατανοητή η διασύνδεση όλων των λειτουργικών στοιχείων.

Έπειτα παρουσιάζονται όλα τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για να επιτευχθεί ο έλεγχος και ο προγραμματισμός του CNC καθώς και η διασύνδεσή του με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ολοκλήρωση της κατασκευής καθώς και προτεινόμενες μελλοντικές επεκτάσεις στην κατασκευή και λειτουργία της εκσυγχρονισμένης εργαλειομηχανής Denford Triac.

3 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΜΕ Η/Υ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λειτουργία μίας εργαλειομηχανής μέσω κωδικοποιημένων εντολών προς το σύστημα ελέγχου της έχει οριστεί σαν Αριθμητικός Έλεγχος (Numerical Control-NC). Η συγκεκριμένη τεχνολογία προέκυψε από την ανάγκη κατασκευής εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας για την αεροναυπηγική βιομηχανία των ΗΠΑ και ξεκίνησε κατά το έτος 1952 και ολοκληρώθηκε με την εισαγωγή αυτών των μηχανημάτων στην παραγωγική διαδικασία στις αρχές του 1960. Το αποκορύφωμα της εξέλιξης της εφαρμογής ήρθε ταυτόχρονα με την ευρεία χρήση προσιτών Η/Υ τις δεκαετίες του 70 και 80 με την μορφή των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (Computerized Numerical Control - CNC). Τα δύο παραπάνω συστήματα έχουν ομοιότητες αλλά και βασικές διαφορές οι οποίες κάνουν κατανοητή την εξέλιξη από το NC στο CNC. Όσον αφορά τις ομοιότητες αφενός μεν και τα δύο συστήματα μπορούν να πραγματοποιήσουν τις ίδιες λειτουργίες ως προς την επεξεργασία δεδομένων προκειμένου να κατεργαστούν ένα κομμάτι και αφετέρου και στα δύο συστήματα, οι εντολές επεξεργασίας δεδομένων περιέχονται στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου τους. Η μεγάλη διαφορά των δύο συστημάτων είναι ότι στο σύστημα NC το σύστημα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο σταθερές λογικές συναρτήσεις οι οποίες προεγκαθίστανται σε αυτό και οι οποίες δεν μπορούν να μεταβληθούν από τον χειριστή του. Αντίθετα, στα πιο σύγχρονα πλέον συστήματα CNC τα οποία χρησιμοποιούν σύγχρονους Η/Υ με μεγάλες αποθηκευτικές δυνατότητες στην μνήμη τους, βρίσκονται καταγεγραμμένες πλήθος διεργασιών οι οποίες επιτρέπουν την μεταβολή των λογικών συναρτήσεων. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στον προγραμματιστή - χειριστή να αλλάζει το πρόγραμμα κατεργασίας στην μηχανή με αποτέλεσμα την άμεση διαφοροποίηση της.

3.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ CNC

Η εξέλιξη της κατασκευαστικής τεχνολογίας η οποία έχει πετύχει τις τελευταίες δεκαετίες τεράστιες βελτιώσεις στην ποιότητα και στην ποσότητα των κατεργασιών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη των εργαλειομηχανών και κυρίως στη εξέλιξη της αυτοματοποίησής τους. Τα συστήματα CNC έχουν εφοδιαστεί με ειδικά λογισμικά και έχουν αξιοποιήσει όλες τις νέες τεχνολογίες ελέγχου όπως αυτή του οπτικού ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση της τεχνολογίας CNC επιτρέπει την συνεργασία της εργαλειομηχανής με διάφορα άλλα συστήματα μέσω ενός υπολογιστή, όπως τα λογισμικά σχεδίασης (CAD-Computer Aided Design) και κατεργασιών (CAM-Computer Aided Manufacturing) όπως επίσης τη σύνδεσή της σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστές (CIM-Computer Integrated Manufacturing) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS-Flexible Manufacturing Systems). Μία άλλη σημαντική δυνατότητα των μηχανών CNC είναι ότι μπορούν να λειτουργούν σαν άμεσα καθοδηγούμενες μηχανές (DNC-Direct Numerical Control) σε συστήματα όπου πολλές συνδεδεμένες μεταξύ τους εργαλειομηχανές ελέγχονται από ένα υπολογιστή. Παράλληλα η εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών και των κοπτικών εργαλείων έχουν δώσει την δυνατότητα στις εργαλειομηχανές CNC (τόρνους - φρέζες) για διαμόρφωση και κατεργασία τεμαχίων με μεγάλη ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Η δυνατότητα χρήσης των εργαλειομηχανών CNC μύλου αυτόματης αλλαγής πολλών θέσεων μέσω εναλλακτικών controllers και γρεζομεταφορέα, έχει σαν αποτέλεσμα οι παραγωγικές διαδικασίες να είναι πιο συμφέρουσες και κυρίως αυτή του φρεζαρίσματος. Οι πολυαξονικές κατεργασίες των υλικών με τις σύγχρονες φρέζες επιτυγχάνουν την κατασκευή πολύ

σύνθετων μορφών χωρίς νεκρούς χρόνους κοπής βελτιώνοντας έτσι την παραγωγικότητα των κατασκευαστικών συστημάτων. Έτσι διάφορες φάσεις φρεζαρίσματος και τριβιρίσματος και διάφοροι τύποι κοπής, όπως σφηνοκοπή και ελικοειδής κοπή μπορούν να γίνουν με τη χρησιμοποίηση ενός και μόνου μηχανήματος που κατεργάζεται ένα τεμάχιο τοποθετημένο σε μια αρχική θέση κατεργασίας. Η εξέλιξη στον προγραμματισμό και η τελειοποίηση λογισμικών και τρόπων ελέγχου ώστε να παράγονται προϊόντα πολύπλοκης γεωμετρίας με άριστη ποιότητα, αποτελεί ένα ερευνητικό τομέα παγκοσμίως. Τα συστήματα CIM αναπτύσσονται ραγδαία στις μεγάλες βιομηχανικές χώρες του κόσμου με σκοπό την πλήρη αυτοματοποίηση της παραγωγής, από την σχεδίαση μέχρι το τελικό προϊόν. Στον τομέα αυτό πραγματοποιούνται ήδη ερευνητικά προγράμματα κατασκευής εργοστασίων με πλήρως αυτόνομη λειτουργία.

Συμπερασματικά τα βασικά πλεονεκτήματα των εργαλειομηχανών είναι:

- Μείωση χρόνου προετοιμασίας
- Μείωση χρόνου επεξεργασίας
- Ακρίβεια και επαναληψιμότητα
- Δυνατότητα κατεργασίας πολύπλοκων σχημάτων
- Απλές διατάξεις πρόσδεσης τεμαχίων και εργαλείων
- Σταθερός χρόνος κατεργασίας
- Αύξηση παραγωγικότητας

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι εργαλειομηχανών CNC είναι:

- 1.Φρέζες και κέντρα κατεργασιών (Mills and Machine Centers)
- 2.Τόρνοι (Lathe and Turning Centers)
- 3.Δράπανα
- 4.Πρέσες
- 5.Μηχανές κοπής με φλόγα, πλάσμα, laser ή νερό
- 6.Μηχανές συγκόλλησης
- 7.EDM (Electrical Discharge Machining) μηχανές (αποβολή υλικού ηλεκτρικά αγωγίμων υλικών)



Εικόνα 3.1 CNC Laser, CNC Τόρνος

3.3 ΒΑΣΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC

Το βασικό χαρακτηριστικό των εργαλειομηχανών CNC και ουσιαστικά αυτό που τις κάνει να διαφέρουν από τις συμβατικές, είναι το σύστημα ελέγχου τους με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η ανάγκη όμως για κατεργασίες με την μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα και ακρίβεια απαιτεί την συμβολή περισσότερων συστημάτων, τα οποία συνεπικουρούν προς την κατεύθυνση αυτή.

3.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Οι κινήσεις πρόωσης και κοπής των CNC εξασφαλίζονται από ηλεκτρικούς κινητήρες. Οι κινητήρες αυτοί πρέπει να είναι αξιόπιστοι διότι η απόδοση τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της κατεργασίας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται σερβοκινητήρες με συνεχή έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής και της ισχύος τους.

Για την περιστροφή της κυρίας ατράκτου, χρησιμοποιούνται συνήθως κινητήρες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, με αδιαβάθμητη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής και τη δυνατότητα να εξασφαλίζουν σταθερή ισχύ σε ένα μεγάλο φάσμα ταχυτήτων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα της ατράκτου είναι:

- Η απλή και αδιαβάθμητη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής.
- Η δυνατότητα παραλαβής υψηλών φορτίων για μικρά χρονικά διαστήματα.
- Η σταθερή ταχύτητα περιστροφής, ακόμη και υπό εναλλασσόμενο φορτίο υψηλής ροπής.

Για τις κινήσεις προώσεως, χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι παρουσιάζουν καλές δυναμικές επιδόσεις για την επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας κατασκευής.

Τα χαρακτηριστικά των κινητήρων αυτών είναι:

- Η διατήρηση της σταθερής ταχύτητας, ακόμη και στις πολύ χαμηλές στροφές.
- Η υψηλή τελική ταχύτητα.
- Η δυνατότητα γρήγορης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.
- Η χαμηλή ροπή αδράνειας.
- Η συμπαγής και σταθερή κατασκευή.

3.3.2 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

Για τη λειτουργία ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος όπως είναι ο κινητήρας της ατράκτου είναι απαραίτητη η χρήση ενός ελεγκτή (controller). Ο ελεγκτής αυτός είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και το σταμάτημα, για την ρύθμιση των στροφών και για την ρύθμιση και την σταθεροποίηση της ροπής του κινητήρα.

3.3.3 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτές μηχανικές κινήσεις. Ο άξονας ή η άτρακτος ενός βηματικού κινητήρα περιστρέφεται κατά διακριτά αυξανόμενα βήματα όταν ηλεκτρικοί παλμοί εφαρμόζονται με την κατάλληλη αλληλουχία στον κινητήρα. Η περιστροφή του κινητήρα σχετίζεται άμεσα με αυτούς τους εφαρμοζόμενους παλμούς. Έτσι, η αλληλουχία των παλμών σχετίζεται με την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα. Η ταχύτητα περιστροφής συνδέεται άμεσα με την συχνότητα των εισερχόμενων παλμών. Τέλος, το μήκος περιστροφής εξαρτάται από τον αριθμό των εφαρμοζόμενων παλμών.

Επομένως οι Βηματικοί κινητήρες είναι, όπως όλοι οι κινητήρες, ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς, αλλά αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία καθώς η λειτουργία τους είναι απόλυτα καθορισμένη (απόκριση σε ψηφιακά σήματα που έρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου). Η απόκριση σε κάθε ψηφιακό σήμα είναι το γύρισμα του στροφείου (ρότορα) κατά μία δεδομένη γωνία, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Αυτή η κίνηση καλείται βήμα, γι' αυτό και οι κινητήρες αυτού του είδους ονομάζονται Βηματικοί.

3.3.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οι κινητήρες γενικά διαχωρίζονται σε πολλές κατηγορίες. Έτσι έχουμε για παράδειγμα κινητήρες AC και DC (εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος), σερβοκινητήρες και βηματικούς κινητήρες. Ανάλογα με την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί ο κινητήρας, επιλέγεται ο κατάλληλος από τις διάφορες αυτές κατηγορίες, καθώς κάθε είδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα του βηματικών κινητήρων είναι τα εξής:

- Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι ανάλογη του εισερχόμενου παλμού. Ο κατασκευαστής του κινητήρα δίδει αυτή τη γωνία στα χαρακτηριστικά του (συνήθως σε μοίρες ανά βήμα).
- Ο βηματικός κινητήρας ασκεί μέγιστη ροπή αδράνειας όταν βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας (εφόσον τα πηνία τροφοδοτούνται με ρεύμα), σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC).
- Οι μετακινήσεις είναι ακριβείς καθώς οι βηματικοί κινητήρες έχουν ακρίβεια 3-5 % σε κάθε βήμα και αυτό το σφάλμα δεν είναι προσθετικό από βήμα σε βήμα. Έχουμε δηλαδή μεγάλη ακρίβεια θέσης και μη συσσωρευτική απόκλιση.
- Έχουν εξαιρετική απόκριση στο ξεκίνημα-σταμάτημα της λειτουργίας τους καθώς και στην αντιστροφή της διεύθυνσης περιστροφής. Δεν απαιτείται μηχανικό φρένο για την επιβράδυνση και ακινητοποίησή τους.
- Είναι πολύ αξιόπιστοι καθώς δεν υπάρχουν ψήκτρες(καρβουνάκια) στον κινητήρα. Επομένως η ζωή του κινητήρα εξαρτάται μόνο από τη ζωή του εδράνου κύλισης
- Η απόκριση του κινητήρα σε εισερχόμενους ψηφιακούς παλμούς δίνει την δυνατότητα του ελέγχου ανοικτού βρόχου (open loop operation) με μεγάλη ακρίβεια, κάνοντας τον κινητήρα ευκολότερα και φθηνότερα ελέγξιμο. Ο έλεγχος ανοικτού βρόχου σημαίνει ότι δεν χρειάζεται στο σύστημα ελέγχου να υπάρχει ανάδραση με πληροφορίες για τη θέση του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι αποφεύγονται έξοδα για ακριβούς αισθητήρες θέσης και συσκευές ανάδρασης. Η θέση του συστήματος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί σε κάθε στιγμή αν κρατούνται ως δεδομένα οι εισερχόμενοι παλμοί στον κινητήρα. Έτσι ξεκινώντας από μία θέση , είναι δυνατόν υπολογίζοντας τον αριθμό και το είδος των παλμών, να υπολογιστεί η θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.
- Είναι δυνατόν να επιτευχθεί πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής για φορτία που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον άξονα του κινητήρα.
- Μπορεί να επιτευχθεί μεγάλο εύρος ταχυτήτων καθώς η ταχύτητα είναι ανάλογη της συχνότητας των εισερχόμενων παλμών.
- Είναι εύκολη η διασύνδεση και ο έλεγχός τους από υπολογιστή, σε αντίθεση με τους κινητήρες DC.
- Τα μειονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι τα ακόλουθα:

- Η λειτουργία του κινητήρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα θορυβώδης εάν αυτός δεν ελέγχεται σωστά.
- Δεν είναι εύκολη η λειτουργία τους σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες.
- Έχουν περιορισμένες δυνατότητες στην μετακίνηση φορτίων μεγάλης αδράνειας.
- Δεν έχουν ευρεία γκάμα μεγεθών και ισχύος.
- Όταν χρησιμοποιούνται σε φορτία με υψηλή τριβή και με έλεγχο ανοικτού βρόχου, το σφάλμα θέσης αυξάνεται.



Εικόνα 3.2 Βηματικοί κινητήρες

3.3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΒΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Ένας βηματικός κινητήρας χρειάζεται ένα σύστημα ελέγχου. Ένα σύστημα ελέγχου βηματικού κινητήρα περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Υπολογιστής/PLC/Τερματικό: Χρησιμοποιείται για να αποστέλλονται εντολές στο σύστημα, π.χ. περιστροφή κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού για 1000 βήματα.
- Ελεγκτής(Controller): Ένας μικροεπεξεργαστής που παράγει παλμούς βημάτων και σήματα κατεύθυνσης για τον οδηγό. Ο ελεγκτής τυπικά εκτελεί επίσης πολλές ακόμα περίπλοκες λειτουργίες και εντολές, π.χ. υπολογίζει τα κατάλληλα σήματα ώστε να γίνει μια συνδυασμένη κίνηση. Οι περισσότεροι ελεγκτές έχουν ενσωματωμένη μνήμη, οπότε μπορούν να αποθηκεύσουν πληθώρα εντολών.
- Οδηγός(Drivers) ή Ενισχυτής(Amplifier): Μετατρέπει τα σήματα-εντολές του ελεγκτή στην απαραίτητη ισχύ για την ενεργοποίηση των πηνίων του κινητήρα. Αναλαμβάνει δηλαδή για κάθε σήμα από τον ελεγκτή να δώσει το κατάλληλο ρεύμα στον κινητήρα. Υπάρχουν πολλά είδη οδηγών, με διαφορετικές δυνατότητες τροφοδοσίας και διάφορες τεχνολογίες κατασκευής. Κατά την σχεδίαση ενός συστήματος ελέγχου κίνησης ενός κινητήρα, η επιλογή του οδηγού είναι κρίσιμη γιατί δεν είναι όλοι οι οδηγοί κατάλληλοι για την οδήγηση όλων των κινητήρων.
- Τροφοδοτικό(Power Supply): Σε περίπτωση που κανένα από τα παραπάνω στοιχεία του κυκλώματος δεν έχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας ρεύματος, απαιτείται η χρήση τροφοδοτικού(μπαταρία ή μετασχηματιστής) που θα τροφοδοτεί το σύστημα.

3.3.5 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η μετακίνηση των αξόνων κατεργασίας μιας εργαλειομηχανής γίνεται με την μετατροπή της περιστροφικής κίνησης των βηματικών ή των σερβοκινητήρων σε αξονική. Η μετατόπιση αυτή, πρέπει να γίνεται μέσω συστημάτων τα οποία καλύπτουν σημαντικές απαιτήσεις της διαδικασίας κατεργασίας όπως ακρίβεια και αδράνεια κατά την επιτάχυνση ή επιβράδυνση τεμαχίων και ιδιαίτερα αυτών με μεγάλη μάζα. Τέτοια συστήματα είναι οι μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης με επανακυκλοφορούντα σφαιρίδια



Εικόνα 3.3 Μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιριδίων

3.3.6 ΆΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η χρήση υγρού κοπής ή αέρα για την προστασία του κοπτικού εργαλείου από πρόωρη φθορά από υπερθέρμανση, είναι απολύτως απαραίτητη στις εργαλειομηχανές CNC κατά την κατεργασία όπως και στις συμβατικές εργαλειομηχανές. Δεδομένης όμως της ταχύτητας κατεργασίας στις μηχανές CNC οι απαιτήσεις για ψύξη των κοπτικών εργαλείων πολλαπλασιάζονται. Για το λόγο αυτό οι μηχανές CNC είναι εφοδιασμένες με ειδικά ακροφύσια που εκτοξεύουν το ψυκτικό υγρό (σαπουνέλαιο κλπ.) ή τον αέρα με πίεση πάνω στο κοπτικό εργαλείο.



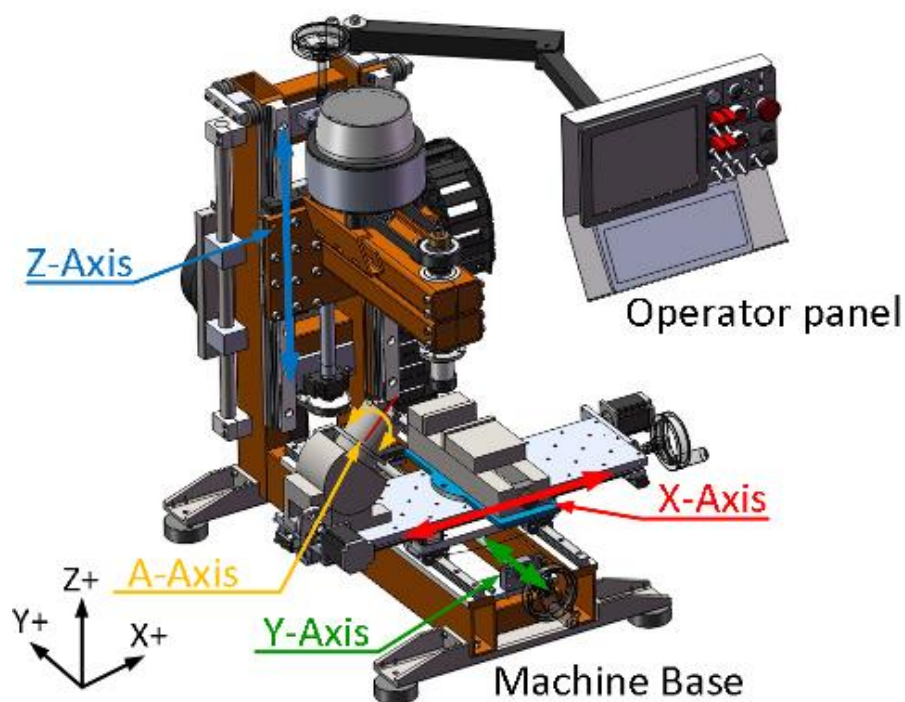
Εικόνα 3.4 Αυτόματη ρίψη ψυκτικού υγρού

3.4 ΑΞΟΝΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

CNC Τόρνος: Οι άξονες κίνησης σε ένα CNC τόρνο δίνονται ως:

- Εγκάρσια μετακίνηση πύργου (X-άξονας)
- Διαμήκης μετακίνηση πύργου (Z-άξονας)

CNC Φρέζα: Σε μία CNC φρέζα 3 αξόνων, οι άξονες X, Y δίνονται από την τράπεζα ενώ ο Z από την άτρακτο.



Εικόνα 3.5 Περιγραφή αξόνων κίνησης εργαλειομηχανής

3.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Υπάρχουν δύο συστήματα συντεταγμένων για τον προγραμματισμό των εργαλειομηχανών CNC

- Απόλυτο σύστημα συντεταγμένων

Τα σημεία τέλους για όλες τις κινήσεις ορίζονται ανάλογα με τη θέση τους ως προς την αρχή του συστήματος συντεταγμένων ή το σημείο μηδέν του κομματιού. Η συνηθέστερη εντολή CNC που χρησιμοποιείται για να υποδείξει τον απόλυτο τρόπο είναι η G90.

- Σχετικό σύστημα συντεταγμένων

Τα σημεία τέλους για τις κινήσεις προσδιορίζονται με σημείο αναφοράς την τρέχουσα θέση του κοπτικού εργαλείου και όχι ως προς το μηδενικό σημείο. Η συνηθέστερη εντολή CNC που χρησιμοποιείται για να υποδείξει τον απόλυτο τρόπο είναι η G91.

Όταν εκτελείται μια σχετική κίνηση, ο προγραμματιστής πρέπει πάντα να σκεφτεί πόσο μακριά πρέπει να μετακινήσει το εργαλείο. Ενώ υπάρχουν φορές που μπορεί ο σχετικός τρόπος να είναι πολύ χρήσιμος, συνήθως είναι πιο δύσχρηστη και δύσκολη μέθοδος για τον προσδιορισμό της κίνησης.

3.6 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Για την δημιουργία ενός προγράμματος κατεργασίας σε μία εργαλειομηχανή χρησιμοποιείται μία δομή τυποποιημένη κατά DIN 66025. Οι εντολές δίνονται μέσω γραμμάτων διεύθυνσης, όπως ονομάζονται, τα οποία και παρουσιάζονται στον

Πίνακας 3.1 Γράμματα διεύθυνσης κατά DIN 66025

Γράμμα	Λειτουργία
O	Κωδικός προγράμματος π.χ.1001
S	Αριθμός στροφών ατράκτου (Rpm)
T	Επιλογή κοπτικού εργαλείου
F	Πρόωση (mm/min)
D	Επιλογή διαμέτρου κοπτικού εργαλείου
G	Συνθήκη διαδρομής
H	Αντιστάθμιση μήκους κοπτικού εργαλείου
L	Αριθμός επαναλήψεων σε βρόγχο
M	Πρόσθετη λειτουργία
N	Αριθμός γραμμής προγράμματος
P	Χρόνος καθυστέρησης ή αριθμός προγράμματος υπορουτίνας
A, B, C, V, W, Y, Z	Άξονες κίνησης

Πίνακας 3.2 Εντολές G

Κωδικός - Λειτουργία:

- G00:** Γρήγορη κίνηση (Ταχεία πρόωση σε ευθύγραμμη κίνηση)
- G01:** Γραμμική κίνηση με ελεγχόμενη πρόωση
- G02:** Κατεργασία κύκλου ή τμήματος κύκλου δεξιόστροφα
- G03:** Κατεργασία κύκλου ή τμήματος κύκλου με αριστερόστροφη φορά
- G04:** Χρονική καθυστέρηση
- G09:** Ακριβής στάση
- G10:** Ρύθμιση αντιστάθμισης
- G12:** Φρεζάρισμα κυκλικής εσοχής δεξιόστροφα
- G13:** Φρεζάρισμα κυκλικής εσοχής αριστερόστροφα
- G17:** Επιλογή επιπέδου XY
- G18:** Επιλογή επιπέδου ZX
- G19:** Επιλογή επιπέδου YZ
- G20:** Επιλογή μέτρησης σε ίντσες
- G21:** Επιλογή μετρικού συστήματος (mm)
- G28:** Γρήγορη επιστροφή στο σημείο μηδέν της μηχανής
- G29:** Επιστροφή στο σημείο μηδέν μηχανής μέσω κάποιου σημείου αναφοράς
- G31:** Κίνηση σε συγκεκριμένο άξονα έως ακουμπήσει ο αισθητήρας Renishaw
- G35:** Αυτόματη μέτρηση διαμέτρου κοπτικού
- G36:** Αυτόματη μέτρηση μηδενικού σημείου κομματιού
- G37:** Αυτόματη μέτρηση αντιστάθμισης κοπτικού
- G40:** Ακύρωση αντιστάθμισης ακτίνας εργαλείου
- G41:** 2D αντιστάθμιση κοπτικού αριστερά
- G42:** 2D αντιστάθμιση κοπτικού δεξιά
- G43:** Αντιστάθμιση μήκους εργαλείου με πρόσθεση

G44: Αντιστάθμιση μήκους εργαλείου με αφαίρεση
G47: Χάραξη γραμμμάτων και αριθμών
G49: Ακύρωση εντολών G43/G44/G143 (αντιστάθμισης)
G50: Ακύρωση εντολής G51
G51: Μεγέθυνση
G52: Ρύθμιση συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G53: Μη τροποποιημένη επιλογή συντεταγμένων μηχανής
G54: Επιλογή 1 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G55: Επιλογή 2 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G56: Επιλογή 3 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G57: Επιλογή 4 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G58: Επιλογή 5 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G59: Επιλογή 6 ου συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G60: Θετική μόνο κίνηση
G61: Σταμάτημα με ακρίβεια
G64: Ακύρωση εντολής G61
G68: Περιστροφή
G69: Ακύρωση G68
G70: Διαδοχικές οπές σε κυκλική τροχιά
G71: Διαδοχικές οπές σε τόξο
G72: Διαδοχικές οπές υπό γωνία
G73: Γρήγορη δημιουργία οπής κυλίνδρου
G74: Αντίστροφη σπειροτόμηση
G76: Κύκλος κατεργασίας για διάνοιξη κυκλικής εσοχής (1-Fine)
G77: Κύκλος κατεργασίας για διάνοιξη κυκλικής εσοχής (2-Back)
G80: Ακύρωση κύκλων κατεργασίας
G81: Κύκλος κατεργασίας για οπές
G82: Κύκλος κατεργασίας για ποντάρισμα
G83: Δημιουργία οπής με επαναφορά
G84: Σπειροτόμηση με επαναφορά
G85: Διάνοιξη κυκλικής εσοχής με επαναφορά
G86: Διάνοιξη κυκλικής εσοχής και σταμάτημα
G87: Διάνοιξη κυκλικής εσοχής και χειροκίνητη επαναφορά
G88: Διάνοιξη κυκλικής εσοχής, Αναμονή και χειροκίνητη επαναφορά
G89: Διάνοιξη κυκλικής εσοχής, Αναμονή και διάνοιξη προς τα έξω
G90: Απόλυτο σύστημα συντεταγμένων
G91: Σχετικό σύστημα συντεταγμένων
G92: Ρύθμιση συστήματος συντεταγμένων – FANUC, HAAS, YASNAC
G93: Μέθοδος πρόωσης αντίστροφου χρόνου
G94: Μέθοδος πρόωσης ανά λεπτό
G95: Μέθοδος πρόωσης ανά στροφή
G98: Κυλινδρική εσοχή με επιστροφή στο αρχικό σημείο
G99: Κυλινδρική εσοχή με επιστροφή στο επίπεδο R
G100: Ακύρωση ειδώλου καθρέπτη
G101: Ενεργοποίηση ειδώλου καθρέπτη
G102: Προγραμματισμός εξόδου προς RS-232
G103: Όριο buffer εντολών
G107: Κυλινδρικός μετασχηματισμός
G110/G129: Επιλογή συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G136: Αυτόματη μέτρησης κέντρου κομματιού
G141: Τρισδιάστατη αντιστάθμιση κοπτικού
G143: Αντιστάθμιση μήκους κοπτικού 5 αξόνων (Δεν ισχύει)

G150: Γενικής χρήσης κατεργασία εσοχών
G153: Δημιουργία κυλινδρικής οπής 5 αξόνων με επαναφορά
G154: Επιλογή επιπλέον συστήματος συντεταγμένων 1-99
G155: Αντίστροφη διάνοιξη οπής σε 5 άξονες για σπείρωμα
G161: Διάνοιξη οπής σε 5 άξονες
G162: Διάνοιξη οπής σε 5 άξονες για ποντάρισμα
G163: Διάνοιξη οπής σε 5 άξονες με επαναφορά
G164: Διάνοιξη οπής σε 5 άξονες για σπείρωμα
G165: Σε 5 άξονες διάνοιξη κυκλικής εσοχής
G166: Σε 5 άξονες διάνοιξη κυκλικής εσοχής και σταμάτημα
G169: Σε 5 άξονες διάνοιξη κυκλικής εσοχής και αναμονή
G174: Ανθρωπολογική μη-κάθετη δημιουργία σπειρώματος
G184: Ωρολογιακή μη-κάθετη δημιουργία σπειρώματος
G187: Ορισμός επιπέδου εξομάλυνσης

Πίνακας 3.3 Εντολές M

Κωδικός – Λειτουργία:

M00: Σταμάτημα προγράμματος
M01: Προαιρετικό σταμάτημα προγράμματος
M02: Τέλος προγράμματος χωρίς επανεκκίνηση
M03: Ξεκίνημα στροφών δεξιόστροφα
M04: Ξεκίνημα στροφών αριστερόστροφα
M05: Σταμάτημα στροφών
M06: Αλλαγή εργαλείου
M08: Εκκίνηση ψυκτικού
M09: Σταμάτημα ψυκτικού
M10: Ενεργοποίηση φρένου 4 ου άξονα
M11: Απελευθέρωση φρένου 4 ου άξονα
M12: Ενεργοποίηση φρένου 5 ου άξονα
M13: Απελευθέρωση φρένου 5 ου άξονα
M16: Αλλαγή κοπτικού
M17: Αποσύνδεση παλέτας APC και άνοιγμα πόρτας APC (χρησιμοποιείται μόνο για συντήρηση)
M18: Σύνδεση παλέτας APC και κλείσιμο πόρτας APC (χρησιμοποιείται μόνο για συντήρηση)
M19: Προσανατολισμός ατράκτου (τιμές P και R προαιρετικές)
M21/M28: Κατ' επιλογήν χρήστης της λειτουργίας M με M-fin.
M30: Τέλος προγράμματος και επιστροφή στην αρχή προγράμματος
M31: Ξεκίνημα γρεζομεταφορέα μπροστά
M33: Σταμάτημα γρεζομεταφορέα
M34: Μετακίνηση ακροφυσίου ψυκτικού κατά μία θέση κάτω, θετικά
M35: Μετακίνηση ακροφυσίου ψυκτικού κατά μία θέση πάνω, αρνητικά
M36: Κομμάτι παλέτας έτοιμο (Σε άλλα μηχανήματα μόνο)
M39: Περιστροφή παλέτας των κοπτικών εργαλείων
M41: Υπέρβαση χαμηλής ταχύτητας
M42: Υπέρβαση υψηλής ταχύτητας
M50: Εκτέλεση αλλαγής παλέτας
M51/M58: Θέτει τους προαιρετικούς κωδικούς M του χρήστη
M59: Θέτει την έξοδο μίας ασφάλειας
M61/M68: Ακύρωση προαιρετικών κωδικών M του χρήστη
M69: Καθαρίζει την έξοδο μίας ασφάλειας
M75: Θέτει το σημείο αναφοράς για τις εντολές G35 ή G136
M76: Απενεργοποίηση οθόνης ελέγχου

M77: Ενεργοποίηση οθόνης ελέγχου
M78: Προειδοποίηση εάν βρεθεί σήμα skip από αισθητήρα Renishaw
M79: Προειδοποίηση εάν δε βρεθεί σήμα skip από αισθητήρα Renishaw
M80: Άνοιγμα αυτόματης πόρτας
M81: Κλείσιμο αυτόματης πόρτας
M82: Απελευθέρωση κοπτικού
M83: Άνοιγμα αυτόματου πιστολιού αέρος (Δεν υπάρχει)
M84: Κλείσιμο αυτόματου πιστολιού αέρος (Δεν υπάρχει)
M86: Συγκράτηση κοπτικού M88 Ενεργοποίηση ψυκτικού ατράκτου
M89: Απενεργοποίηση ψυκτικού ατράκτου
M95: Κατάσταση λειτουργίας αναμονής (sleep)
M96: Μετάβαση εάν δεν υπάρχει είσοδος
M97: Κλήση τοπικού υποπρογράμματος
M98: Κλήση υποπρογράμματος
M99: Επιστροφή από υποπρόγραμμα ή βρόχο
M101: Δημιουργίας κυκλικής οπής σε κατάσταση ελάχιστης χρήση λαδιού
M103: Ακύρωση κατάστασης ελάχιστης χρήση λαδιού
M109: Εισαγωγή παραμέτρου από χρήστη κατά την εκτέλεση προγράμματος

4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν όλα τα λειτουργικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος. Ως λειτουργικά στοιχεία αναφέρονται όλες οι μηχανικές, ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές διατάξεις που είναι υπεύθυνες για τη λειτουργία του CNC.

4.2 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

Ο κινητήρας της ατράκτου είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος της εταιρίας Lenze. Έχει εύρος τάσης εισόδου 0-180V, ένταση από 0A έως 4,9A και ισχύ 1hp.

4.3 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

Μετά από έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στον υπάρχοντα ελεγκτή, διαπιστώθηκε ότι λειτουργεί κανονικά και για αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητη η αντικατάστασή του. Ο ελεγκτής αυτός είναι ο LYNX SM 08 τα χαρακτηριστικά του οποίου παρατίθενται παρακάτω.



Εικόνα 4.1 Ελεγκτής Lynx SM 08

Η σειρά ελεγκτών κινητήρων συνεχούς ρεύματος, Lynx SM, είναι σχεδιασμένη για αποδοτικό έλεγχο ταχύτητας, για κινητήρες συνεχούς ρεύματος από 0.55KW έως 7.5KW. Η σειρά αποτελείται από τρία μοντέλα, το καθένα από τα οποία, λειτουργούν με τάσεις 220/240V ή 380/440V στα 50-60Hz.

Χαρακτηριστικά:

- Πλήρως μονωμένος ελεγκτής μονής κατεύθυνσης
- Διαθέσιμο με βάση στήριξης σε σασί
- Συνδέσεις με βίδες σε εισόδους και εξόδους
- 20 : 1 συνεχές εύρος ροπής-ταχύτητας
- Ενσωματωμένο μετασχηματιστή και ανορθωτή τάσης

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά Lynx 08

Τάση εισόδου

- 220/240V ή 380/440V AC +/-10% 50/60Hz μονή φάση.

Τάση εξόδου

- 0-180V DC σπλισμός, 190/210V πεδίο
- 0-320V DC σπλισμός, 340/370V πεδίο

Τάση ελέγχου

- 0-10V DC

Υπερφόρτωση

- 150% συνεχόμενης έντασης για 15 δευτερόλεπτα

Θερμοκρασία λειτουργίας

- -10°C έως +40°C

Υγρασία

- 5-95% στους 40 °C

Υψόμετρο

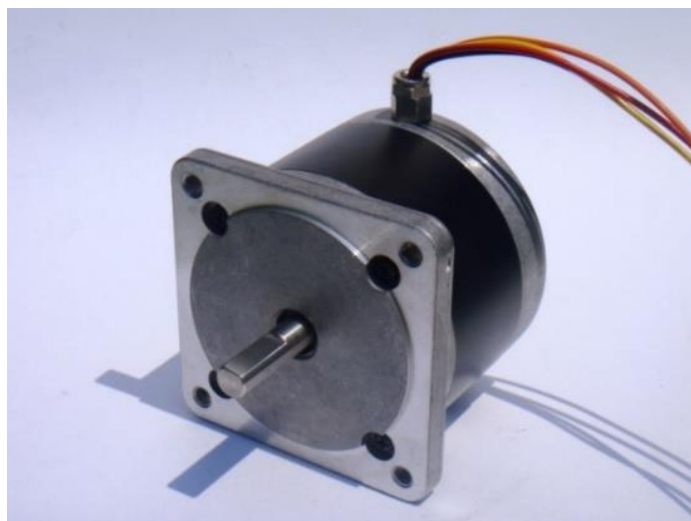
- Πάνω από τα 1000 μέτρα μειώνετε κατά 1%/100m έως τα 4000m που είναι το μέγιστο

Διαστάσεις

- 225W x 187H x 100D (mm)

4.4 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Η εργαλειομηχανή διαθέτει τρεις βηματικούς κινητήρες έναν για κάθε άξονα κίνησής της. Οι κινητήρες αυτοί είναι της εταιρίας MAE- Motori Apparecchiature Elettriche Offanengo (CR). Για τις κινήσεις των αξόνων της τράπεζας X και Y διαθέτει δύο ίδιους βηματικούς κινητήρες, τους HY200 3426, ενώ για τον άξονα Z η μηχανή διαθέτει ένα μεγαλύτερο κινητήρα τον HY200 3450. Οι συμβολισμοί που χαρακτηρίζουν τους κινητήρες αναλυτικά σημαίνουν.



Εικόνα 4.2 Βηματικός κινητήρας της εταιρίας MAE

Πίνακας 4.2 Σύμβολα βηματικών κινητήρων

Σύμβολο	Περιγραφή
HY:	Υβριδικός βηματικός κινητήρας
200:	200 βήματα ανά περιστροφή
34:	Η διάμετρος του κινητήρα σε ίντσες
50 ή 26 :	Το μήκος του κινητήρα σε ίντσες

Επιπλέον Χαρακτηριστικά

- Τάση εισόδου: Μεγάλο εύρος τάσεων, στην συγκεκριμένη εφαρμογή τους δίνεται τάση 24V
- Ένταση εισόδου:
 - HY200 3426 2,8A
 - HY200 3450 3,5A

4.5 ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή θα χρησιμοποιηθούν τρεις υβριδικοί οδηγοί βηματικών κινητήρων DQ542MA οι οποίοι θα δέχονται εντολές από ένα Arduino (ελεγκτής) και θα τροφοδοτούνται με ρεύμα εξωτερικά με ένα κοινό τροφοδοτικό.

Ο DQ542MA είναι ένας υβριδικός οδηγός βηματικού κινητήρα 2-φάσεων, η τάση οδήγησης του οποίου είναι από 18VDC έως 50VDC. Είναι σχεδιασμένο για 2-φάσεων υβριδικούς βηματικούς κινητήρες όλων των ειδών με εξωτερική διάμετρο από 42mm έως 86mm και λιγότερο από 4.0A ανά φάση. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που χρησιμοποιεί είναι παρόμοιο με το κύκλωμα ελέγχου των σέρβο το οποίο δίνει τη δυνατότητα στον κινητήρα να κινείται ομαλά εκμηδενίζοντας τον θόρυβο και τους κραδασμούς. Επίσης ο DQ542MA προσφέρει πολύ μεγάλη ροπή όταν κινείται κάτω από τη μέγιστη ταχύτητα και έχει μεγάλη ακρίβεια θέσης. Ο οδηγός αυτός χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλες συσκευές αριθμητικού ελέγχου, όπως CNC, αυτόματες ραπτομηχανές, μηχανές συσκευασίας κ.α.



Εικόνα 4.3 Stepper Motor Driver DQ542MA

Χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά Stepper Motor Driver

Υψηλές επιδόσεις, χαμηλή τιμή
Εύρος τάσης εισόδου από 18VDC έως 50VDC
Υψηλή ταχύτητα εκκίνησης
Η ροπή του κινητήρα σχετίζεται με την ταχύτητα, αλλά όχι με τα βήματα/περιστροφή
Υψηλή ροπή σε μεγάλες ταχύτητες
8 κανάλια ρύθμισης έντασης εξόδου
15 κανάλια υποβίβασης και αυτόματης μείωσης έντασης εξόδου
Προστασία από, μεγαλύτερη ή μικρότερη, τάση ή από υπερβολική ένταση
Μονωμένα σήματα I/O
Έλεγχος μέσης έντασης
Τάση εισόδου:..... 18-50VDC

Ένταση εισόδου:.....	4A
Ένταση εξόδου:.....	1.0-4.2A
Κατανάλωση:.....	80W
Εσωτερική ασφάλεια:.....	6A
Θερμοκρασία λειτουργίας:.....	-10°C~45°C
Θερμοκρασία φύλαξης:.....	-40°C~70°C
Διαστάσεις:.....	118x86x35mm
Βάρος:.....	300gr

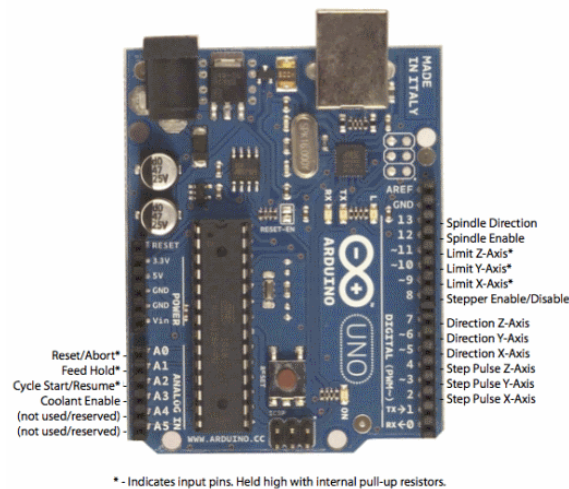
4.6 ARDUINO



Εικόνα 4.4 Arduino Uno

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider [4].

Η συνδεσμολογία του Arduino για τη συγκεκριμένη εφαρμογή παρατίθεται στην εικόνα 4.5.



* - Indicates input pins. Held high with internal pull-up resistors.

Εικόνα 4.5 Συνδεσμολογία Arduino GRBL

4.7 ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

Για τις ανάγκες τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος των οδηγών των βηματικών κινητήρων της μηχανής θα χρησιμοποιηθεί ένα τροφοδοτικό της εταιρίας Wantai Motors. Το τροφοδοτικό αυτό είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου σε συνεχές και την πτώση τάσης του από 220/230V σε 24 (Αρχοντάκης, 2007) Σημαντικό για την επιλογή ενός τροφοδοτικού για οδηγούς βηματικών κινητήρων, δεν είναι τόσο η τάση που προσφέρουν, αφού οι περισσότεροι οδηγοί έχουν μεγάλο εύρος τάσης εισόδου, όσο είναι η ένταση που προσφέρουν, η οποία πρέπει να υπερκαλύπτει τις ανάγκες των οδηγών. Στην δική μας περίπτωση οι οδηγοί έχουν εύρος τάσης εισόδου από 18V έως 50V άρα τα 24V που προσφέρει το τροφοδοτικό είναι μέσα στο εύρος. Ο υπολογισμός της απαραίτητης έντασης που χρειάζονται οι οδηγοί γίνεται προσθέτοντας την ένταση εισόδου όλων οδηγών συνδεθούν στο ίδιο τροφοδοτικό. Οι συγκεκριμένοι οδηγοί έχουν ένταση εισόδου 4A και θα συνδεθούν τρεις στο ίδιο τροφοδοτικό οπότε η απαιτούμενη ένταση είναι 12A, το τροφοδοτικό προσφέρει 14,6A, η παραπάνω ένταση που προσφέρει το τροφοδοτικό είναι απολύτως θεμιτή καθώς δεν θα χρειάζεται να δουλεύει στο πάνω όριό του και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης.

Τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού που επιλέχθηκε παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω:



Εικόνα 4.6 Τροφοδοτικό 24V 14.6A

Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού

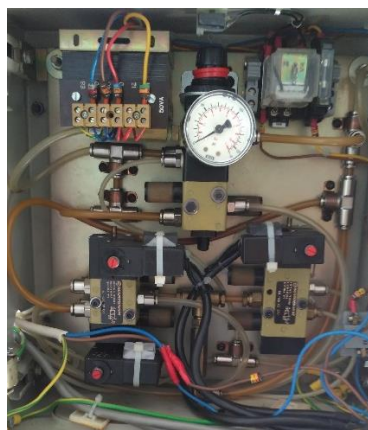
Εταιρία:	Wantai Motors
MPN:	S-350-24
Εγγύηση Κατασκευαστή:	1 Έτος Εγγύηση
Συμβατό με Breadboard:	✓
Χώρα κατασκευής:	Κίνα
Ισχύς:	350Watt
Τάση εξόδου:	24VDC
Ένταση εξόδου:	14.6Amp
Τάση εισόδου:	180...264V AC
Προστασία:	Υπερφόρτωση
Προστασία από θερμοκρασία RTH3	> 60C Fan ON
Αριθμός εξόδων:	3
Βάση:	Για ενσωμάτωση
Απόδοση:	83%
Σύνδεσμοι εξόδων:	Screw Terminals

4.8 ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η εργαλειομηχανή Denford Triac διαθέτει πνευματικό σύστημα αλλαγής κοπτικών εργαλείων. Για να χρησιμοποιηθεί ξανά μετά από τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στην εργαλειομηχανή χρειάστηκαν κάποιες απλές ενέργειες. Αρχικά συνδέθηκε στο σύστημα συμπιεσμένου αέρα που διαθέτει το εργαστήριο. Στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμιστής πίεσης του υπάρχοντος συστήματος ήταν χαλασμένος και έτσι έγινε η αντικατάστασή του με ένα νέο ίδιων χαρακτηριστικών. Μετά την εγκατάστασή του νέου ρυθμιστή πίεσης ρυθμίστηκαν οι πιέσεις εισόδου και ανακούφισης, για το άνοιγμα και το κλείσιμο αντίστοιχα, του πνευματικού εμβόλου. Τέλος πραγματοποιήθηκε η ηλεκτρική συνδεσμολογία με μία ηλεκτροβαλβίδα αέρα μονής κατεύθυνσης και ενός κουμπιού, για τη χειροκίνητη εναλλαγή των κοπτικών



Εικόνα 4.7 Πνευματικό Έμβολο



Εικόνα 4.8 Κιβώτιο πνευματικού συστήματος



Εικόνα 4.9 Ρυθμιστής πίεσης με σύστημα λίπανσης

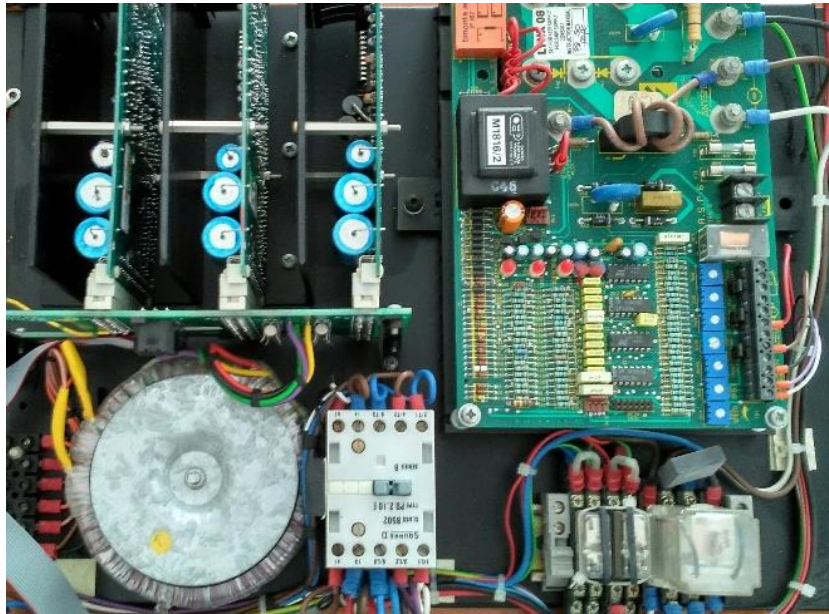
4.9 ΚΙΒΩΤΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για την ολοκλήρωση της κατασκευής τοποθετήθηκαν όλα τα λειτουργικά στοιχεία σε ένα ειδικά διαμορφωμένο κιβώτιο, κάτω από την εργαλειομηχανή που ανοίγει σαν συρτάρι. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται από τα ηλεκτρονικά στοιχεία και κυρίως από τα stepper motor drivers κρίθηκε απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος ψύξης-εξαερισμού. Η εργαλειομηχανή πριν από την ανακατασκευή διέθετε έναν ανεμιστήρα στο πίσω μέρος του κουτιού, όμως λόγω της διαφορετικής συνδεσμολογίας και συνθηκών της εποχής, είχε τάση εισόδου 110 Vdc. Για την απλοποίηση της συνδεσμολογίας και την αποφυγή αγοράς ενός νέου τροφοδοτικού, έγινε η αντικατάστασή του ανεμιστήρα με ένα νέο με τάση εισόδου 220V AC, έτσι ώστε να συνδεθεί απευθείας στο δίκτυο. Στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι είναι εύκολο να δημιουργηθεί καλύτερη κυκλοφορία αέρα μέσα στο κουτί με τη χρήση ενός δεύτερου ανεμιστήρα, επίσης 220 V AC, στο κατάλληλο σημείο. Το κατάλληλο σημείο που αναφέρθηκε είναι δίπλα στα stepper motor driver, με την κυκλοφορία του αέρα να γίνεται ανάμεσα από τις ψήκτρες τους. Η εργαλειομηχανή πριν από την ανακατασκευή της διέθετε σύστημα αναπαραγωγής ήχου, αφού όπως έχουμε ξαναπεί είχε κυρίως εκπαιδευτικό χαρακτήρα, για την παροχή οδηγιών χρήσης. Μετά την ανακατασκευή αφαιρέθηκε αυτό το σύστημα λόγω αχρηστίας. Με την αφαίρεση του αποκαλύφθηκε μια τρύπα στο κουτί (η έξοδος του ηχείου) ακριβώς δίπλα από τα Stepper motor drivers, κι εκεί έγινε η εγκατάσταση του δεύτερου ανεμιστήρα, στο βέλτιστο σημείο χωρίς να χρειαστούν περαιτέρω αλλοιώσεις στην εμφάνιση και τη δομή της εργαλειομηχανής.

4.10 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Με την απόκτηση όλων των λειτουργικών στοιχείων που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ξεκίνησε η συναρμολόγηση και η συνδεσμολογία του CNC.

Αρχικά αφαιρέθηκαν όλα τα λειτουργικά στοιχεία που διέθετε η εργαλειομηχανή πριν από την ανακατασκευή της, εκτός από τον ελεγκτή του κινητήρα της κύριας ατράκτου.

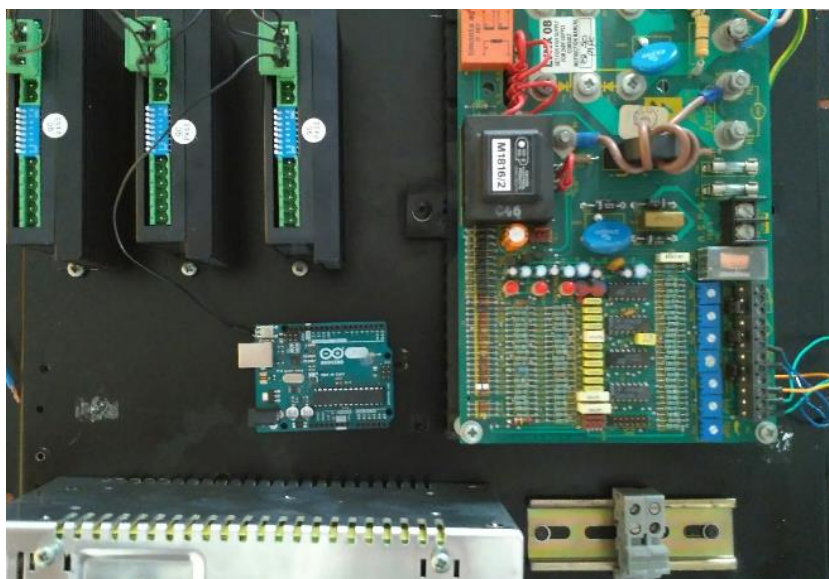


Εικόνα 4.10 Λειτουργικά στοιχεία πριν την ανακατασκευή



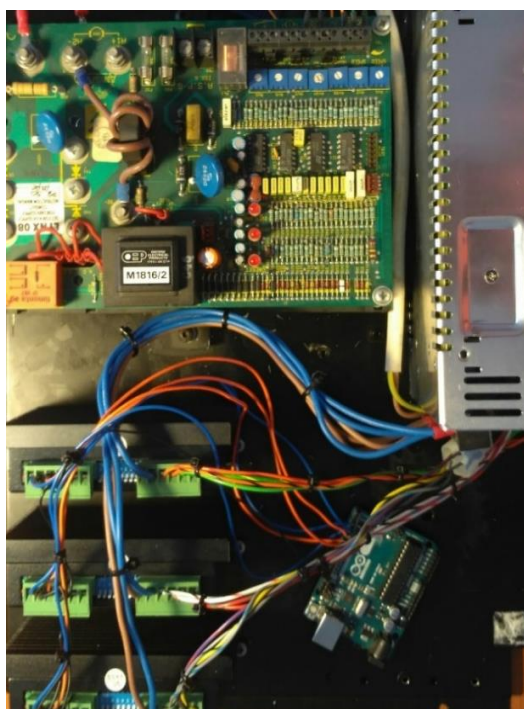
Εικόνα 4.11 Λειτουργικά στοιχεία που παρέμειναν από την ανακατασκευή

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα καινούρια λειτουργικά στοιχεία μετά από μελέτη για τη βέλτιστη τοποθέτησή τους.



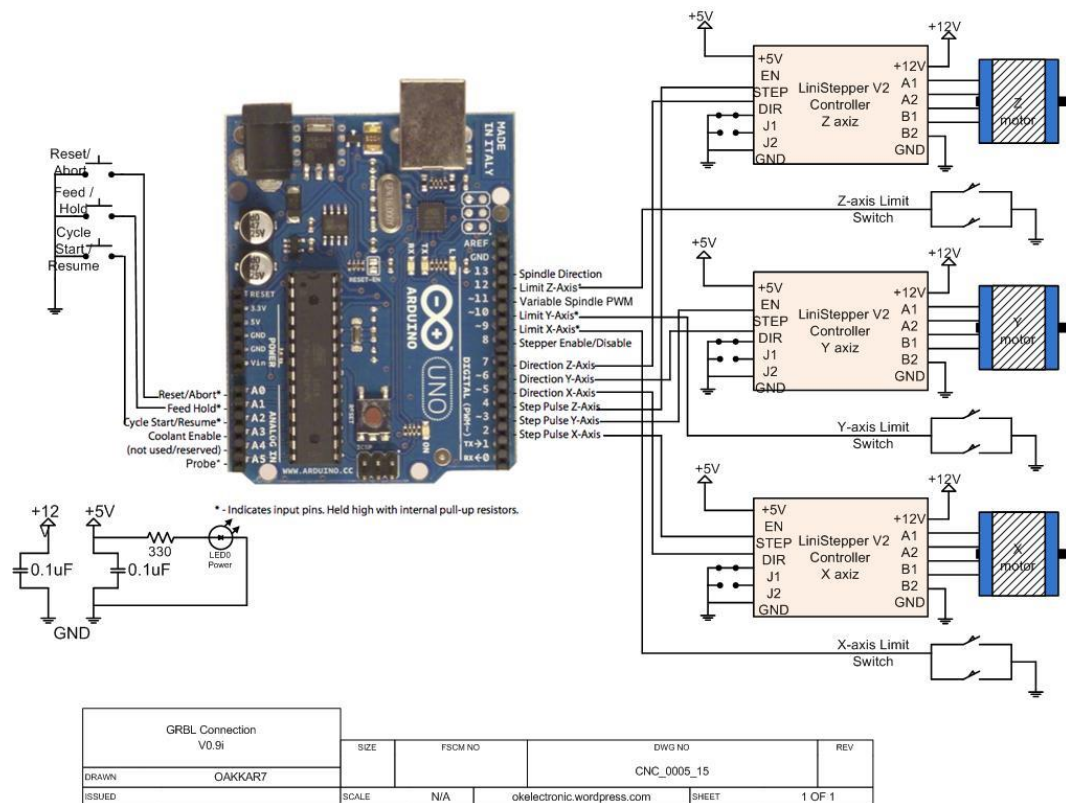
Εικόνα 4.12 Λειτουργικά στοιχεία μετά την ανακατασκευή χωρίς συνδεσμολογία

Τέλος πραγματοποιήθηκε η ηλεκτρική συνδεσμολογία όλων των λειτουργικών στοιχείων.



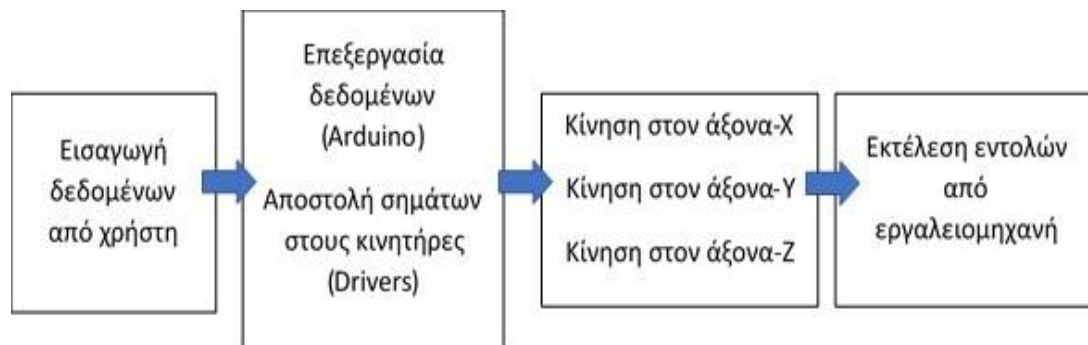
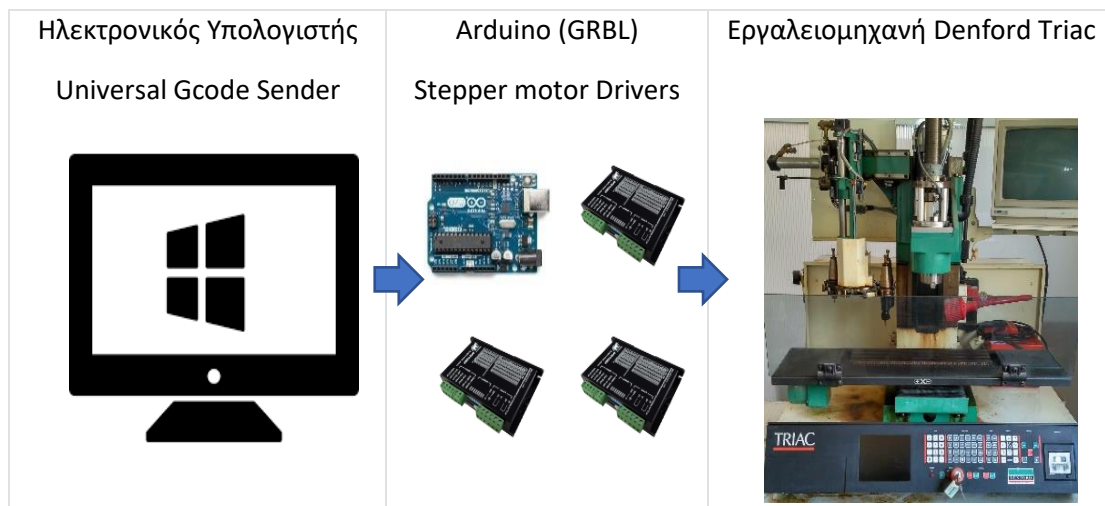
Εικόνα 4.13 Λειτουργικά στοιχεία συνδεδεμένα μετά την ανακατασκευή

Η συνδεσμολογία έγινε σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 4.14 Συνδεσμολογία Arduino Grbl με Stepper Motor Drivers

4.11 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ DENFORD TRIAC



5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι της φιλοσοφίας Open Source Software.

5.2 GRBL



Εικόνα 5.1 Το λογότυπο του Grbl

Το GRBL είναι ένα δωρεάν, λογισμικό ανοιχτού κώδικα, υψηλών επιδόσεων για τον έλεγχο μηχανών που κινούνται, που φτιάχνουν πράγματα, ή κινούν πράγματα, και τρέχει απευθείας σε ένα Arduino. Οι περισσότεροι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ανοιχτού κώδικα χρησιμοποιούν το GRBL. Έχει υιοθετηθεί για χρήση σε εκατοντάδες πρότζεκτ όπως, παντογράφους με λέιζερ, εκτυπωτές χειρογραφίας, αυτόματα δράπανα ακόμη και εκτυπωτές graffiti. Λόγο των επιδόσεων, της απλότητας και του λιτού υλισμικού που χρειάζεται, το GRBL έχει αναπτυχθεί σε ένα μικρό φαινόμενο ανοιχτού κώδικα. Το 2009 ο Simen Svalle Skogsrud τίμησε την κοινότητα του λογισμικού ανοιχτού κώδικα γράφοντας και κυκλοφορόντας σε όλους τις πρώτες εκδόσεις του GRBL εμπνευσμένος από το Arduino Gcode Interpreter του Mike Ellery. Από το 2011, το GRBL προωθείται από την κοινότητα του λογισμικού ανοιχτού κώδικα με πνευματικό ηγέτη τον Sungeun K. Jeon Ph.D.

Πίνακας 5.1 Υποστηριζόμενος κώδικας από Grbl

G00: Γρήγορη κίνηση (Ταχεία πρόωση σε ευθύγραμμη κίνηση)
G01: Γραμμική κίνηση με ελεγχόμενη πρόωση
G02: Κατεργασία κύκλου ή τμήματος κύκλου δεξιόστροφα
G03: Κατεργασία κύκλου ή τμήματος κύκλου με αριστερόστροφη φορά
G04: Χρονική καθυστέρηση
G10 L2, G10 L20: Ρύθμιση αντιστάθμισης
G17, G18, G19: Επιλογή επιπέδου XY, ZX, YZ
G20, G21: Επιλογή μέτρησης σε ίντσες, μετρικού συστήματος (mm)
G28, G30: Γρήγορη επιστροφή στο σημείο μηδέν της μηχανής
G28.1, G30.1: Ορισμός προ καθορισμένης θέσης
G38.2, G38.3, G38.4, G38.5:
G40: Ακύρωση αντιστάθμισης ακτίνας εργαλείου
G43.1: Αντιστάθμιση μήκους εργαλείου με πρόσθεση
G53: Μη τροποποιημένη επιλογή συντεταγμένων μηχανής
G54, G55, G56, G57, G58, G59: Επιλογή συστήματος συντεταγμένων εργασίας
G61: Σταμάτημα με ακρίβεια
G80: Ακύρωση κύκλων κατεργασίας
G90, G91: Σύστημα συντεταγμένων: απόλυτο, σχετικό
G92: Ρύθμιση συστήματος συντεταγμένων

G92.1: Καθαρισμός συστήματος συντεταγμένων
 G93, G94: Μέθοδος πρόωσης αντίστροφου χρόνου, ανά λεπτό
 M00: Σταμάτημα προγράμματος
 M02: Τέλος προγράμματος χωρίς επανεκκίνηση
 M30: Τέλος προγράμματος και επιστροφή στην αρχή προγράμματος
 M03: Ξεκίνημα στροφών δεξιόστροφα
 M04: Ξεκίνημα στροφών αριστερόστροφα
 M05: Σταμάτημα στροφών
 M08: Εκκίνηση ψυκτικού
 M09: Σταμάτημα ψυκτικού

5.3 UNIVERSAL GCODE SENDER

Το Universal Gcode Sender (UGS) είναι μία πλατφόρμα g-κώδικα με όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την διεπαφή με ανεπτυγμένους ελεγκτές CNC όπως το GRBL και το TinyG. Το UGS είναι μια εφαρμογή σε Java η οποία περιέχει όλες τις πρόσθετες εξαρτήσεις, αυτό σημαίνει ότι αν σε ένα υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το περιβάλλον της Java, ο UGS προσφέρει όλα τα υπόλοιπα.

5.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Καθολική πλατφόρμα, δοκιμασμένη σε Windows, OSX, Linux, και Raspberry Pi.
- Όλα σε ένα εκτελέσιμο συμπίεσμένο αρχείο, αν υπάρχει εγκατεστημένη η Java, δεν χρειάζεται τίποτα περισσότερο. Το αρχείο περιλαμβάνει έμφυτες εξαρτήσεις για όλα τα υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα.
- Τρισδιάστατη οπτικοποίηση με πολύχρωμα γραμμικά τμήματα και ενημέρωση πραγματικού χρόνου για την θέση του εργαλείου
- Υπολογισμός διάρκειας
- Διαμόρφωση βελτιστοποίησης g-κώδικα
- Χωρίς σχόλια
- Μετατρέπει τα κυκλικά τόξα (G2/G3) σε γραμμικά τμήματα
- Χωρίς κενό χώρο

5.3.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Μετά την εγκατάσταση του UGS και τη σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με το Arduino το μόνο που χρειάζεται είναι να γίνουν κάποιες ρυθμίσεις ώστε να γίνει το λογισμικό συμβατό με κάθε εργαλειομηχανή CNC. Αυτές οι ρυθμίσεις πραγματοποιούνται πληκτρολογώντας στην γραμμή εντολών, το \$ μαζί με τον αριθμό της ρύθμισης, το σύμβολο =, την νέα τιμή της ρύθμισης και το πλήκτρο Enter. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται όλες οι ρυθμίσεις οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Πίνακας 5.2 Ρυθμίσεις UGS-Grbl

\$0=10 (step pulse, usec)
\$1=25 (step idle delay, msec)
\$2=0 (step port invert mask:00000000)
\$3=6 (dir port invert mask:00000110)
\$4=0 (step enable invert, bool)
\$5=0 (limit pins invert, bool)
\$6=0 (probe pin invert, bool)

\$10=3 (status report mask:00000011)
\$11=0.020 (junction deviation, mm)
\$12=0.002 (arc tolerance, mm)
\$13=0 (report inches, bool)
\$20=0 (soft limits, bool)
\$21=0 (hard limits, bool)
\$22=0 (homing cycle, bool)
\$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
\$24=50.000 (homing feed, mm/min)
\$25=635.000 (homing seek, mm/min)
\$26=250 (homing debounce, msec)
\$27=1.000 (homing pull-off, mm)
\$100=314.961 (x, step/mm)
\$101=314.961 (y, step/mm)
\$102=314.961 (z, step/mm)
\$110=635.000 (x max rate, mm/min)
\$111=635.000 (y max rate, mm/min)
\$112=635.000 (z max rate, mm/min)
\$120=50.000 (x accel, mm/sec^2)
\$121=50.000 (y accel, mm/sec^2)
\$122=50.000 (z accel, mm/sec^2)
\$130=225.000 (x max travel, mm)
\$131=125.000 (y max travel, mm)
\$132=170.000 (z max travel, mm)

Παρακάτω ακολουθεί επεξήγηση των ρυθμίσεων του παραπάνω πίνακα.

\$\$ - View Grbl settings

Για να εμφανιστούν οι ρυθμίσεις, ενώ έχουμε συνδέσει το Grbl, πληκτρολογούμε \$\$ και enter. Το Grbl θα πρέπει να ανταποκριθεί στέλνοντας στην οθόνη μας τη λίστα με τις τρέχουσες ρυθμίσεις του. Όλες αυτές οι ρυθμίσεις είναι μόνιμες, αποθηκεύονται στην EEPROM, και έτσι δεν χάνονται μετά την απενεργοποίηση του Arduino.

\$0 – Step pulse, microseconds

Τα stepper motor drivers βαθμονομούνται για ένα συγκεκριμένο ελάχιστο μήκος παλμού βήματος. Η καλύτερη επιλογή είναι ο συντομότερος παλμός που μπορεί αξιόπιστα να αναγνωριστεί από το stepper motor driver. Αν οι παλμοί είναι πολύ μεγάλοι μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα επειδή ο ένας θα υπερκαλύπτει τον επόμενο. Η προτεινόμενη ρύθμιση είναι γύρω στα 10 microseconds, η οποία είναι και η προεπιλεγμένη τιμή.

\$1 - Step idle delay, milliseconds

Κάθε φορά που οι βηματικοί κινητήρες ολοκληρώνουν μια κίνηση και σταματάνε, το Grbl θα καθυστερεί την απενεργοποίηση των βηματικών ανάλογα με αυτή την τιμή. Αν θέλουμε να έχουμε τους άξονες πάντα ενεργοποιημένους αρκεί να αλλάξουμε τη ρύθμιση στο μέγιστο χρόνο ο οποίος είναι 255, δηλαδή πληκτρολογούμε \$1=255.

\$2 – Step port invert, mask

Αυτή η ρύθμιση μετατρέπει το σήμα του παλμού βήματος. Σαν προεπιλογή το σήμα ενός βήματος ξεκινάει από normal-low, γίνεται high όταν υπάρχει ένα βήμα και επιστρέφει σε low όταν δεν υπάρχει. Όταν μετατραπεί συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν θα χρειαστεί αυτή η ρύθμιση, απαιτείται μόνο σε περιπτώσεις stepper motor drivers που έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει αυτή η μετατροπή πρέπει απλά να τοποθετηθεί η τιμή της ρύθμισης για τους άξονες που πρέπει να μετατραπούν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Setting Value	Mask	Invert X	Invert Y	Invert Z
0	00000000	N	N	N
1	00000001	Y	N	N
2	00000010	N	Y	N
3	00000011	Y	Y	N
4	00000100	N	N	Y
5	00000101	Y	N	Y
6	00000110	N	Y	Y
7	00000111	Y	Y	Y

\$3 – Direction port invert, mask

Αυτή η ρύθμιση μετατρέπει το σήμα κατεύθυνσης για κάθε άξονα. Σαν προεπιλογή το Grbl υποθέτει ότι οι άξονες κινούνται στην θετική κατεύθυνση όταν το σήμα κατεύθυνσης είναι low και αρνητική κατεύθυνση όταν το σήμα είναι high. Πολλές φορές όμως οι άξονες σε διαφορετικά μηχανήματα δεν κινούνται έτσι. Αυτή η ρύθμιση μετατρέπει την κατεύθυνση του κάθε άξονα σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα.

\$4 - Step enable invert, boolean

Σαν προεπιλογή, για την ενεργοποίηση των βηματικών κινητήρων το σήμα ελέγχου είναι low ενώ για την απενεργοποίηση είναι high. Αν χρειάζεται να συμβαίνει το αντίθετο, απλά πρέπει να πληκτρολογηθεί \$4=1. Η ρύθμιση απενεργοποιείται πληκτρολογώντας \$4=0.

\$5 - Limit pins invert, boolean

Σαν προεπιλογή, το Grbl θεωρεί πως ένας τερματικός διακόπτης είναι ενεργοποιημένος όταν λαμβάνει την εντολή low. Για την αντίθετη συμπεριφορά, απλά πληκτρολογούμε \$5=1. Για την απενεργοποίηση πληκτρολογούμε \$5=0.

\$6 - Probe pin invert, boolean

Σαν προεπιλογή, η θύρα εισόδου του εργαλείου μηδενισμού παραμένει normally-high. Όταν η θύρα εισόδου είναι low, το Grbl υποθέτει ότι είναι ενεργοποιημένο. Για την αντίθετη συμπεριφορά απλά πληκτρολογούμε \$6=1. Απενεργοποιείται με \$6=0.

\$10 - Status report, mask

Αυτή η ρύθμιση καθορίζει τι επιστρέφει το Grbl σε πραγματικό χρόνο στον χρήστη όταν σταλεί μία αναφορά κατάστασης '?'. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν την τρέχουσα κατάσταση, την θέση σε πραγματικό χρόνο, την ταχύτητα πρόωσης σε πραγματικό χρόνο κ.α.

Σαν προεπιλογή, η αναφορά περιλαμβάνει σχεδόν τα πάντα στην τυπική αναφορά κατάστασης. Πολλές από τις πληροφορίες είναι κρυμμένες και θα εμφανιστούν μόνο αν αυτό αλλάξει. Αυτό αυξάνει δραματικά την απόδοση σε σχέση με την προηγούμενη αναφορά και επιτρέπει την ταχύτερη λήψη ανανεώσεων και περισσότερων δεδομένων σχετικά με το μηχάνημα.

Ο τύπος θέσης μπορεί να δείχνει τη θέση της μηχανής (MPos:) ή τη θέση εργασίας (WPos:). Η επιλογή της επιθυμητής αναφοράς γίνεται πληκτρολογώντας \$10=1 ή \$10=2 σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Report Type	Value	Description
Position Type	0	Enable WPos: Disable MPos:
Position Type	1	Enable MPos:. Disable WPos:
Buffer Data	2	Enabled Buf: field appears with planner and serial RX available buffer.

\$11 - Junction deviation, mm

Το Junction deviation χρησιμοποιείται από τον διαχειριστή επιτάχυνσης για να προσδιορίσει το πόσο γρήγορα μπορεί να κινείται διαμέσου των γραμμικών τμημάτων σε ένα μονοπάτι ενός προγράμματος G-κώδικα. Για παράδειγμα, αν ένα μονοπάτι ενός G-κώδικα έχει μία οξεία γωνία 10 μοιρών και η μηχανή κινείται με τη μέγιστη ταχύτητα, αυτή η ρύθμιση καθορίζει το πόσο πρέπει να επιβραδύνει η μηχανή ώστε να σχηματίσει με ασφάλεια την γωνία χωρίς να χάσει βήματα.

Ο υπολογισμός είναι αρκετά περίπλοκος αλλά σε γενικές γραμμές, οι υψηλότερες τιμές δίνουν μεγαλύτερη ταχύτητα στις γωνίες, ταυτόχρονα όμως αυξάνει τον κίνδυνο να χαθούν βήματα ή η θέση. Χαμηλότερες τιμές κάνουν τον διαχειριστή επιτάχυνσης πιο προσεκτικό και πιο αργό στις γωνίες.

\$12 – Arc tolerance, mm

Το Grbl αποδίδει G2/G3 κύκλους ή τόξα υποδιαιρώντας τα σε πολύ μικρά γραμμικά τμήματα. Πιθανότατα δεν χρειάζεται ποτέ να πειράξουμε την προεπιλεγμένη τιμή, καθώς τα 0,002mm αποδίδουν πολύ καλή ακρίβεια στα περισσότερα μηχανήματα.

\$13 - Report inches, boolean

Το Grbl προσφέρει ανατροφοδότηση στο χρήστη για την πραγματική τοποθεσία του μηχανήματος σε πραγματικό χρόνο. Σαν προεπιλογή, η αναφορά που επιστρέφεται έχει

μονάδα μέτρησης των αποστάσεων σε mm, αλλά πληκτρολογώντας \$13=1 η μονάδα μέτρησης εναλλάσσεται σε ίντσες. Για να επιστρέψουμε σε χιλιοστά πληκτρολογούμε \$13=0.

\$20 - Soft limits, boolean

Τα θεωρητικά όρια είναι ένα χαρακτηριστικό ασφαλείας που βοηθάει το μηχάνημα να αποφύγει την μετακίνηση των αξόνων περισσότερο από τα όρια των επιτρεπτών διαδρομών. Λειτουργεί γνωρίζοντας τις μέγιστες διαδρομές για κάθε άξονα και τις συντεταγμένες που βρίσκεται κάθε στιγμή το μηχάνημα.

Σημείωση: Για να ενεργοποιηθούν τα θεωρητικά όρια πρέπει να είναι ενεργοποιημένα και τα πραγματικά όρια (διακόπτες endstops). Πληκτρολογούμε \$20=1 για ενεργοποίηση και \$20=0 για απενεργοποίηση.

\$21 - Hard limits, boolean

Τα πραγματικά όρια δουλεύουν με τον ίδιο τρόπο όπως και τα θεωρητικά, αλλά με πραγματικούς διακόπτες. Μόλις ένας διακόπτης ενεργοποιηθεί, σταματάνε όλες οι κινήσεις αυτόματα και εισέρχεται η εργαλειομηχανή σε κατάσταση συναγερμού, η οποία κατάσταση εξαναγκάζει το χρήστη σε έλεγχο της μηχανής και επαναφορά όλων.

Για τη χρήση των πραγματικών ορίων με το Grbl, οι θύρες εισόδου παραμένουν σε κατάσταση high, άρα το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεση ενός κανονικά-ανοιχτού διακόπτη στη θύρα και στη γείωση και η ενεργοποίηση των πραγματικών ορίων με την εντολή \$21=1. Απενεργοποιούνται με την εντολή \$21=0.

\$22 - Homing cycle, boolean

Γενικά η διαδικασία homing (επιστροφή στο σπίτι) χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί με ακρίβεια μια γνωστή θέση της μηχανής κάθε φορά που ξεκινάει ένας κύκλος λειτουργίας του Grbl. Πιο συγκεκριμένα με αυτή τη διαδικασία είναι γνωστή η θέση της μηχανής ανά πάσα στιγμή, αν για παράδειγμα για κάποιο λόγο χρειαστεί να επανακινηθεί το Grbl, το Grbl δεν θα έχει ιδέα που βρίσκεται αφού οι βηματικοί κινητήρες λειτουργούν χωρίς ανατροφοδότηση. Αν είναι ενεργοποιημένη η διαδικασία του homing, πάντα υπάρχει σαν σημείο αναφοράς το σημείο μηδέν της μηχανής και το Grbl είναι ικανό να ξαναβρεί τη σωστή του θέση με βάση αυτό το σημείο, το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να τρέξει ένα homing cycle.

Για να ρυθμιστεί η διαδικασία homing, χρειάζεται να είναι τοποθετημένοι τερματικοί διακόπτες σε συγκεκριμένα σημεία (στα άκρα των αξόνων), οι τερματικοί αυτοί διακόπτες μπορεί να είναι κοινοί με τους διακόπτες των πραγματικών ορίων. Η διαδικασία homing ενεργοποιείται πληκτρολογώντας \$22=1 και απενεργοποιείται πληκτρολογώντας \$22=0.

\$23 - Homing dir invert, mask

Σαν προεπιλογή το Grbl υποθέτει ότι οι διακόπτες της διαδικασίας homing βρίσκονται στην θετική κατεύθυνση των αξόνων. Αν κάποιο μηχάνημα έχει αυτούς τους διακόπτες στην αντίθετη κατεύθυνση αυτή η ρύθμιση μπορεί να αντιστρέψει την προεπιλεγμένη κατεύθυνση των αξόνων σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα.

\$24 - Homing feed, mm/min

Η διαδικασία homing ψάχνει για τους τερματικούς διακόπτες με τη μεγαλύτερη ταχύτητα πρόωσης, μόλις τους βρει κινείται με την μικρότερη ταχύτητα πρόωσης μέχρι να βρει το

σημείο μηδέν. Με αυτή τη ρύθμιση μπορεί να μεταβληθεί η ελάχιστη αυτή ταχύτητα ώστε να είναι ικανή, η μηχανή, να βρίσκει με ακρίβεια και επαναληψιμότητα το σημείο μηδέν.

\$25 - Homing seek, mm/min

Το homing seek rate είναι ο ρυθμός με τον οποίο η μηχανή ψάχνει αρχικά τους τερματικούς διακόπτες. Με τη ρύθμιση αυτή μπορεί να τεθεί σε όποια επιθυμητή τιμή, ώστε να ψάχνει με τη ταχύτερη δυνατή πρόωση χωρίς όμως να υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης.

\$26 - Homing debounce, milliseconds

Κάθε φορά που ενεργοποιείται ένας διακόπτης, μερικοί από αυτούς έχουν ηλεκτρικό/μηχανικό θόρυβο ο οποίος για την ακρίβεια αναπηδάει το σήμα από high σε low για μερικά milliseconds μέχρι να ισορροπήσει. Για να λυθεί αυτό είτε πρέπει να τοποθετηθεί κάποιο πραγματικό φίλτρο θορύβου είτε να τεθεί κάποιος χρόνος καθυστέρησης μέχρι να ισορροπήσουν οι αναπηδήσεις. Με αυτή τη ρύθμιση μπορεί να ρυθμιστεί ο χρόνος αυτής της καθυστέρησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις 5-25 milliseconds είναι αρκετά.

\$27 - Homing pull-off, mm

Για να συνεργαστούν οι διακόπτες, στην περίπτωση που είναι κοινοί οι τερματικοί διακόπτες με τους διακόπτες της διαδικασίας homing, στη διαδικασία homing θα μετακινηθούν οι άξονες καθ' αυτή την τιμή. Πιο συγκεκριμένα η ρύθμιση αυτή εμποδίζει την κατά λάθος ενεργοποίηση των τερματικών διακοπών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας homing. Η τιμή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε στο τέλος του homing να είναι ελεύθεροι όλοι οι τερματικοί διακόπτες.

\$30 - Max spindle speed, RPM

Αυτή η ρύθμιση θέτει την ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού για την μέγιστη τιμή της θύρας εξόδου PWM 5V. Για παράδειγμα, αν η μέγιστη επιθυμητή τιμή ταχύτητας είναι 10000rpm, πληκτρολογούμε \$30=10000. Αν ένα πρόγραμμα προσπαθήσει να δώσει μεγαλύτερη τιμή από την ορισμένη το Grbl θα δίνει τη ορισμένη τιμή. Το Grbl σαν προεπιλογή έχει εύρος ταχυτήτων γραμμικό από τη μέγιστη τιμή PWM 5V μέχρι την ελάχιστη 0.02V.

\$31 - Min spindle speed, RPM

Αυτή η ρύθμιση θέτει την ταχύτητα περιστροφής για την ελάχιστη τιμή PWM (0.02V). Το Grbl δέχεται χαμηλότερες τιμές στροφών αλλά η έξοδος PWM δεν πάει κάτω από 0.02V, εκτός κι αν είναι 0.

\$32 - Laser mode, boolean

Όταν είναι ενεργοποιημένο θεωρεί τις ταχύτητες περιστροφής του κοπτικού ως ένταση λειτουργίας του laser.

\$100, \$101 and \$102 – [X, Y, Z] steps/mm

Το Grbl χρειάζεται να ξέρει την πραγματική απόσταση που διανύει η μηχανή στην πραγματικότητα σε κάθε βήμα. Για να υπολογιστούν τα βήματα ανά χιλιοστό για κάθε άξονα της μηχανής χρειάζεται να γνωρίζουμε:

Τα χιλιοστά μετατόπισης ανά περιστροφή του βηματικού κινητήρα. Αυτό εξαρτάται από τον ατέρμονα κοχλία ή τον ιμάντα χρονισμού.

Τα ολόκληρα βήματα ανά περιστροφή των βηματικών κινητήρων (συνήθως 200).

Τα steps/mm μπορούν να υπολογιστούν με αυτό τον τρόπο: $\text{steps_per_mm} = (\text{steps_per_revolution} * \text{microsteps}) / \text{mm_per_rev}$

\$110, \$111 and \$112 – [X, Y, Z] Max rate, mm/min

Η ρύθμιση αυτή θέτει την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης του κάθε άξονα ξεχωριστά. Ο πιο απλός τρόπος να προσδιοριστούν αυτές οι τιμές για κάθε άξονα είναι με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Με την σταδιακή αύξηση αυτής της τιμής για κάθε άξονα και δοκιμή. Όταν υπερβούμε την μέγιστη τιμή που μπορεί να δώσει ο κινητήρας, ο κινητήρας σταματάει κάνοντας έναν δυνατό θόρυβο χωρίς όμως να δημιουργείται κάποιο πρόβλημα. Μόλις βρούμε αυτή την τιμή θέτουμε μια νέα τιμή κατά 10-20% μικρότερη.

\$120, \$121, \$122 – [X, Y, Z] Acceleration, mm/sec²

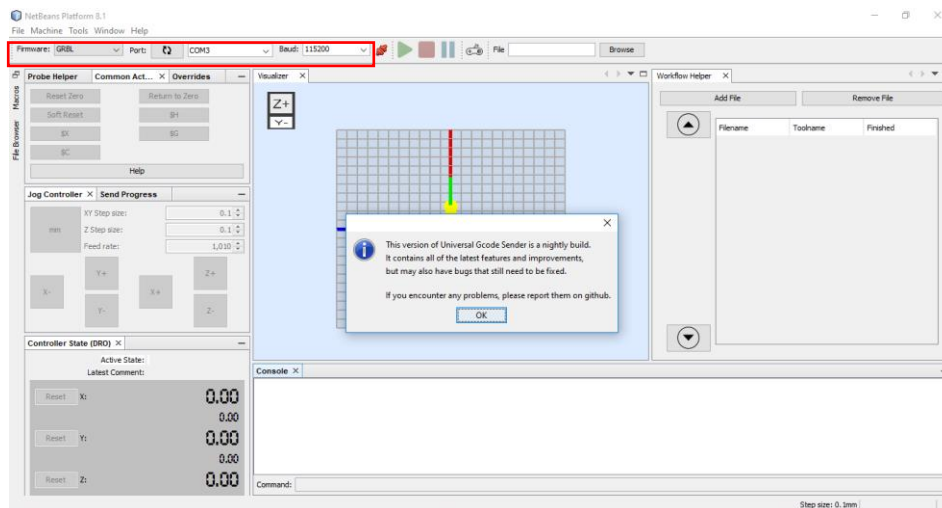
Η ρύθμιση αυτή θέτει την επιτάχυνση του κάθε άξονα σε χιλιοστά/δευτερόλεπτο/δευτερόλεπτο. Απλοποιημένα, χαμηλότερες τιμές κάνουν το Grbl πιο αργό στις κινήσεις του, ενώ μεγαλύτερες τιμές επιτρέπουν στο Grbl να φτάσει πιο γρήγορα στη μέγιστη ταχύτητα. Η εύρεση αυτής της τιμής γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η προηγούμενη ρύθμιση.

\$130, \$131, \$132 – [X, Y, Z] Max travel, mm

Αυτή η ρύθμιση θέτει τη μέγιστη διαδρομή για κάθε άξονα σε mm. Είναι χρήσιμο μόνο αν είναι ενεργοποιημένα τα θεωρητικά όρια, χρησιμοποιούνται από το Grbl για να ελέγξει αν μια εντολή κίνησης υπερβαίνει τα όρια της μηχανής.

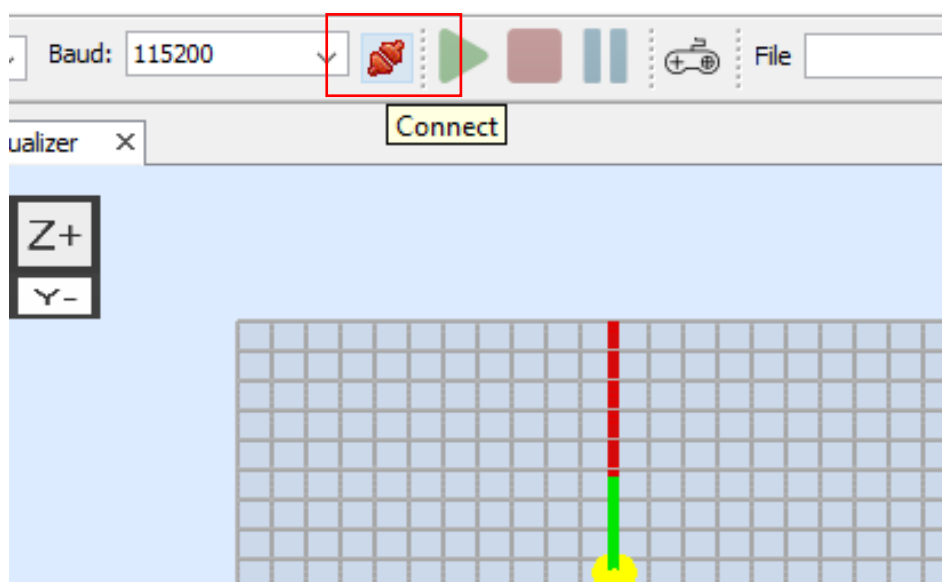
5.3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ UNIVERSAL GCODE SENDER

Ανοίγοντας την πλατφόρμα του UGS βλέπουμε το παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης. Σε αυτό το στιγμιότυπο μπορούμε να παρατηρήσουμε τις βασικές παραμέτρους που πρέπει να ρυθμιστούν για να συνεργαστεί ο UGS με το Grbl. Αρχικά πρέπει να επιλέξουμε για την ρύθμιση του Firmware την επιλογή Grbl και για την ρύθμιση του Baud την τιμή 115200, αυτές οι ρυθμίσεις ισχύουν πάντα όταν στέλνουμε G-κώδικα από το UGS στο Grbl. Η ρύθμιση του Port εξαρτάται από τον εκάστοτε υπολογιστή και την θύρα USB που είναι συνδεδεμένο το Arduino.



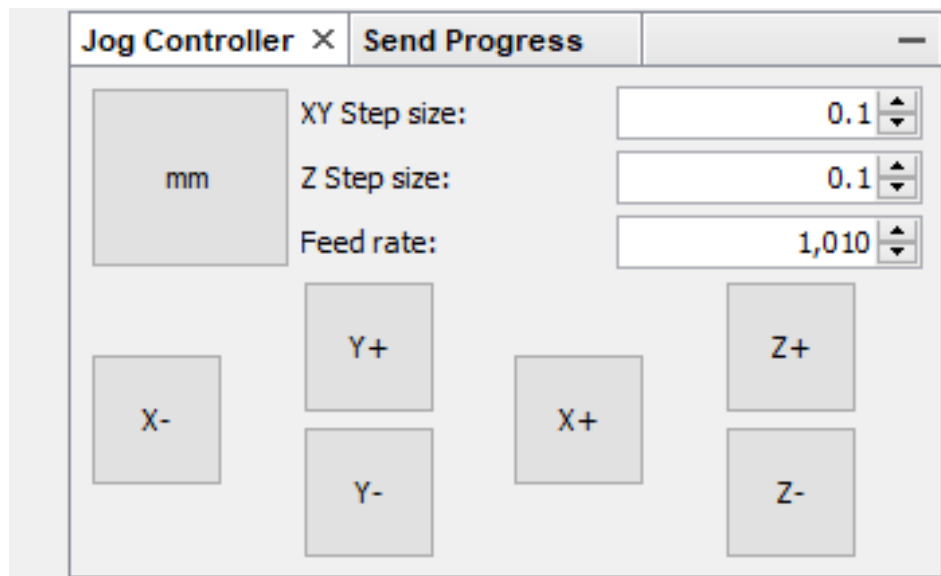
Εικόνα 5.2 Αρχικές ρυθμίσεις του UGS

Μετά την αλλαγή των παραμέτρων πρέπει να πραγματοποιήσουμε τη σύνδεση απλά πατώντας το κουμπί σύνδεσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο.

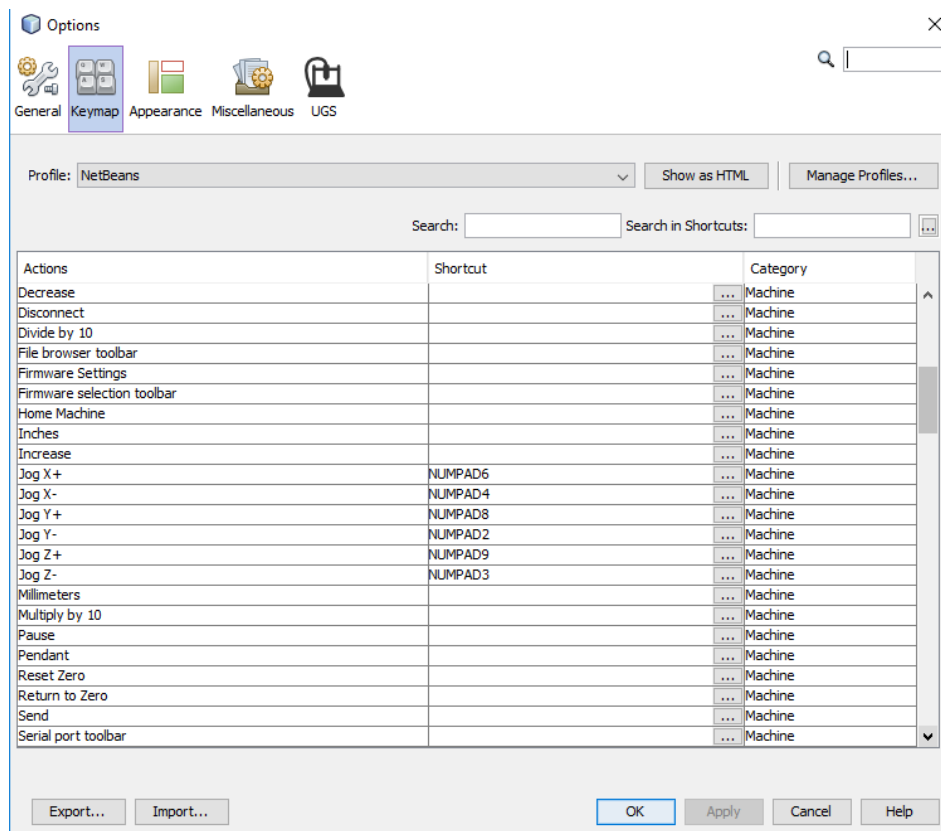


Εικόνα 5.3 Κουμπί σύνδεσης UGS

Έπειτα πρέπει να μηδενίσουμε τους άξονες στο σημείο που θέλουμε. Η χειροκίνητη μετακίνηση των αξόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε από το παράθυρο του Jog Controller είτε από τις συντομεύσεις πληκτρολογίου, που ρυθμίζονται από τον κάθε χρήστη, και συνήθως είναι τα βελάκια του πληκτρολογίου.

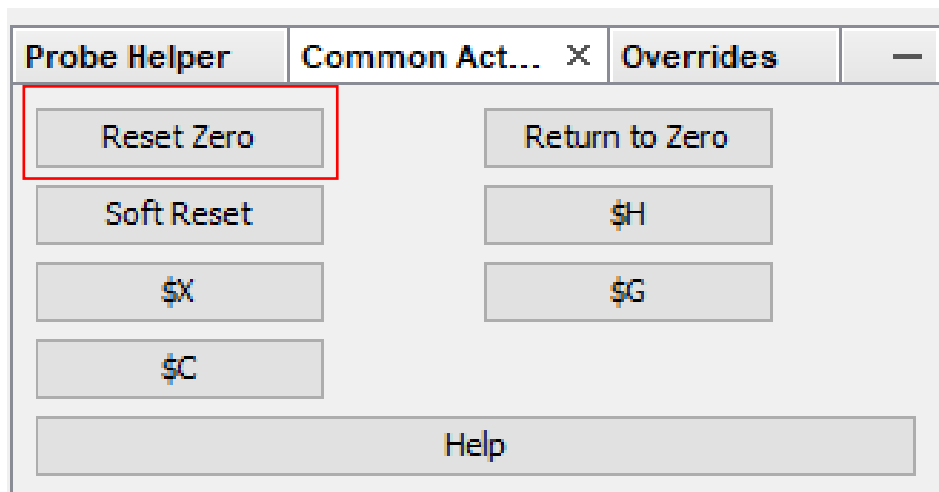


Εικόνα 5.4 Παράθυρο Jog Controller

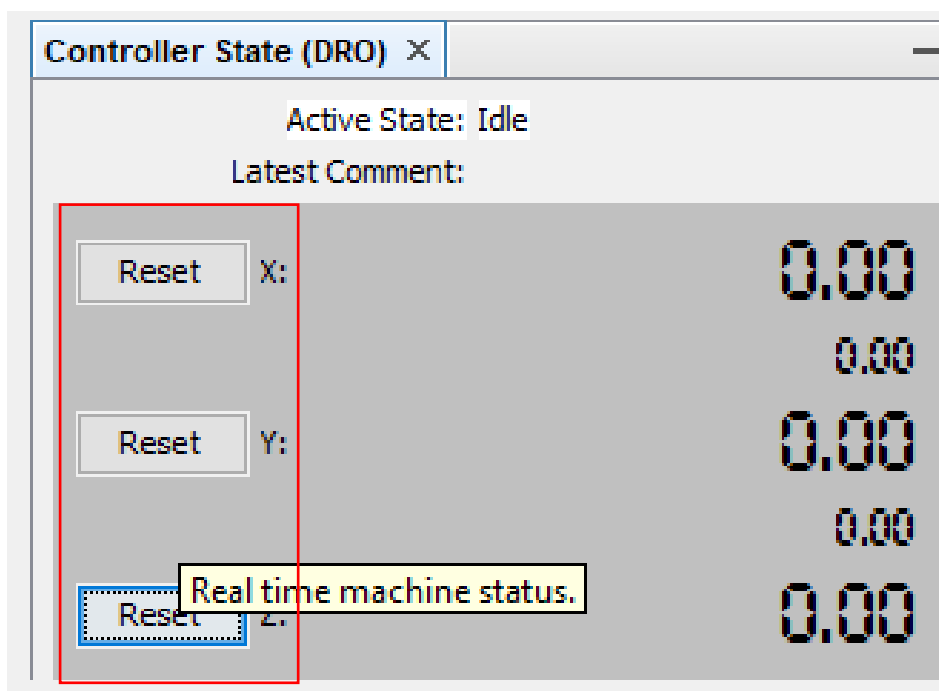


Εικόνα 5.5 Παράθυρο ρυθμίσεων συντομεύσεων πληκτρολογίου

Στη συνέχεια, η διαδικασία μηδενισμού μπορεί να γίνει είτε από το παράθυρο Common Actions, που μας δίνει τη δυνατότητα να μηδενίσουμε όλους τους άξονες ταυτόχρονα με το κουμπί Reset Zero, είτε από το παράθυρο Controller Status που δίνει τη δυνατότητα μηδενισμού του κάθε άξονα χωριστά.



Εικόνα 5.6 Παράθυρο Common Actions

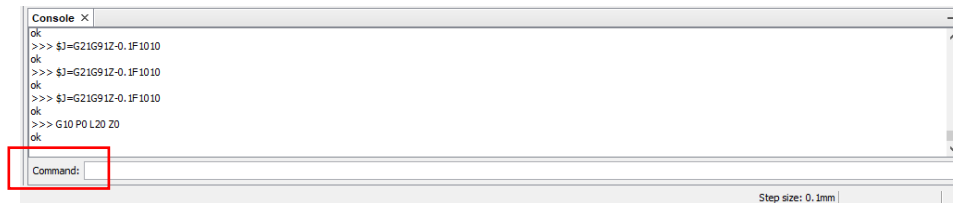


Εικόνα 5.7 Παράθυρο Controller State

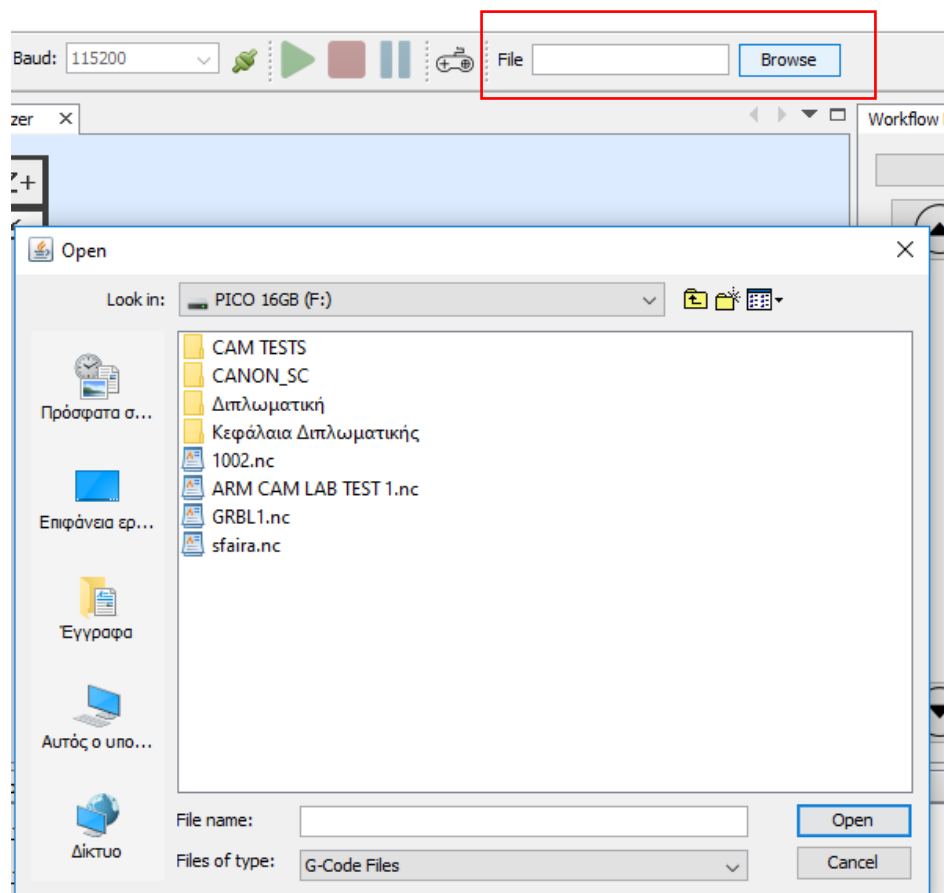
Μετά το πέρας του μηδενισμού μπορούμε να επιλέξουμε αν θα κάνουμε μια κατεργασία χειροκίνητα, πληκτρολογώντας κάθε φορά την εντολή που θέλουμε η εργαλειομηχανή μας να πραγματοποιήσει, ή αν θα εισάγουμε ένα ολόκληρο κώδικα από κάποιο πρόγραμμα CAM.

Αν θέλουμε να συνεχίσουμε με την χειροκίνητη διαδικασία απλά πληκτρολογούμε την κάθε εντολή στο παράθυρο διαλόγου Command στο παράθυρο Console.

Αν θέλουμε να συνεχίσουμε με την εισαγωγή έτοιμου κώδικα πατάμε το κουμπί Browse και εμφανίζονται οι φάκελοι από τους οποίους μπορούμε να επιλέξουμε τον επιθυμητό κώδικα.

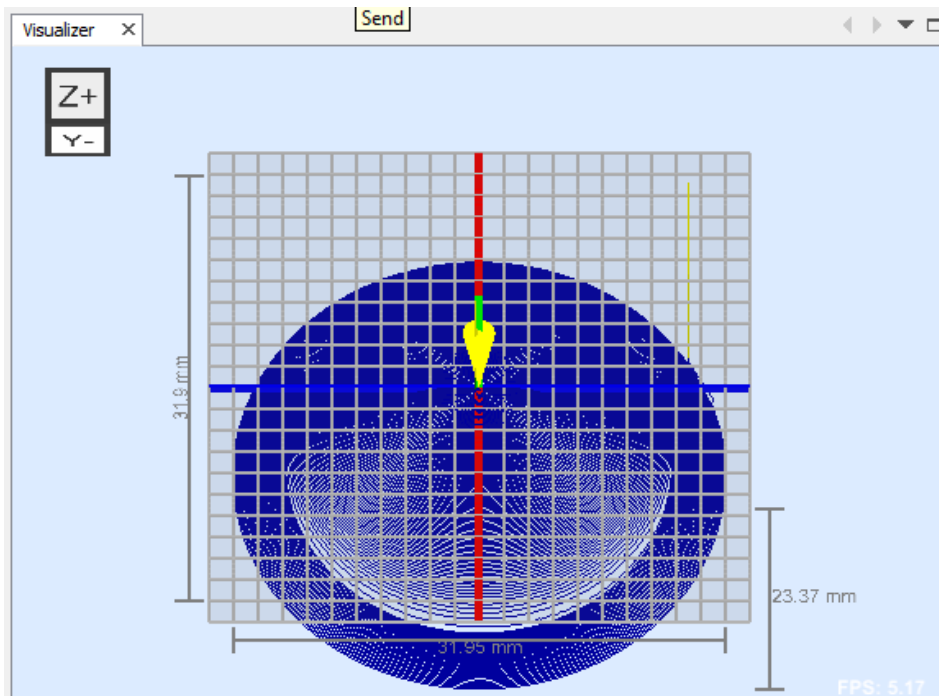


Εικόνα 5.8 Παράθυρο Console



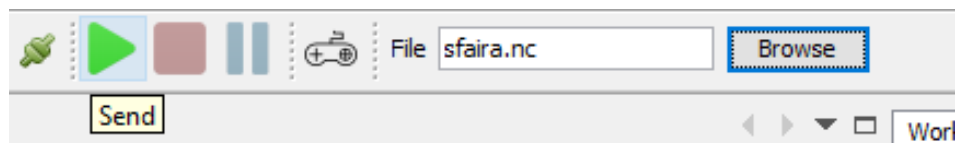
Εικόνα 5.9 Παράθυρο αναζήτησης αρχείου Gcode

Στο παράδειγμα μας επιλέγουμε τον κώδικα με το όνομα sfaira.nc ο οποίος όπως μπορούμε να δούμε και στην τρισδιάστατη απεικόνιση που προσφέρει ο UGS είναι ένας G-κώδικας που δίνει τις εντολές για τον σχηματισμό μισής σφαίρας.



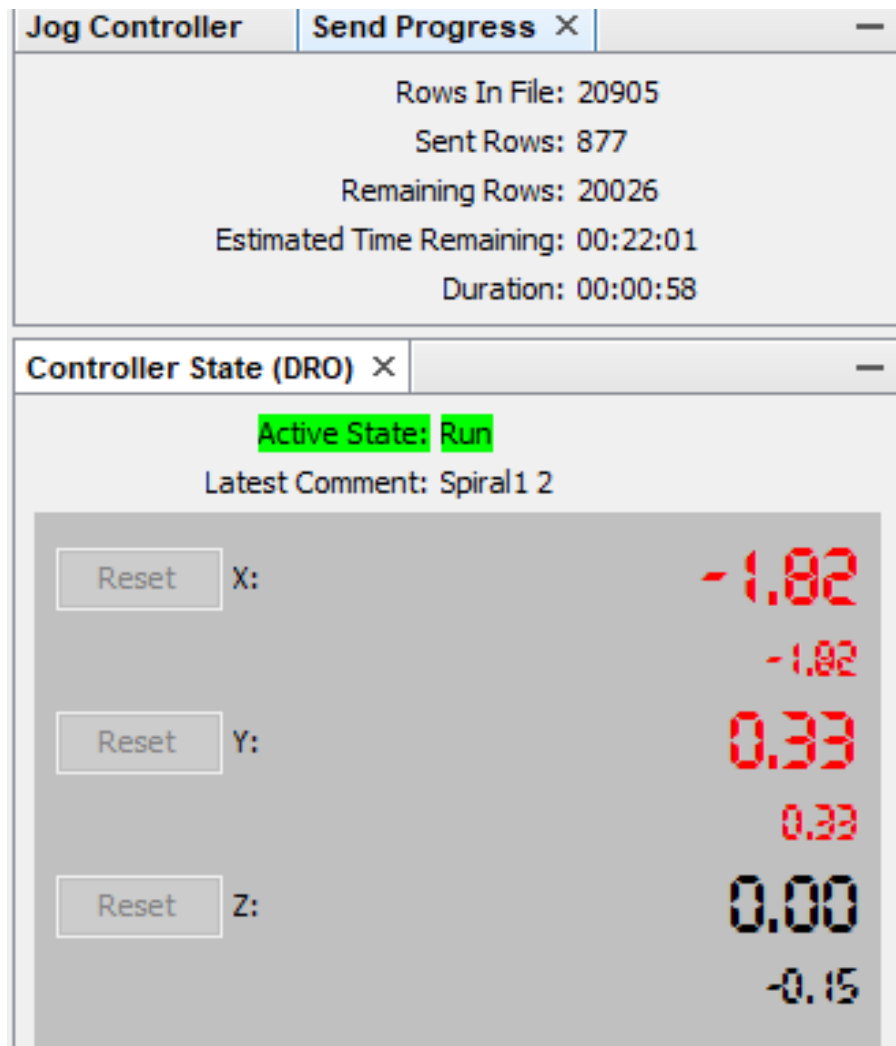
Εικόνα 5.10 Παράθυρο 3D Visualizer

Αφού δούμε ότι είναι ο κώδικας που επιθυμούμε και αφού σιγουρευτούμε ότι η μηχανή μας είναι μηδενισμένη εκεί που πρέπει, πατάμε το κουμπί Send και ξεκινάει η κατεργασία.



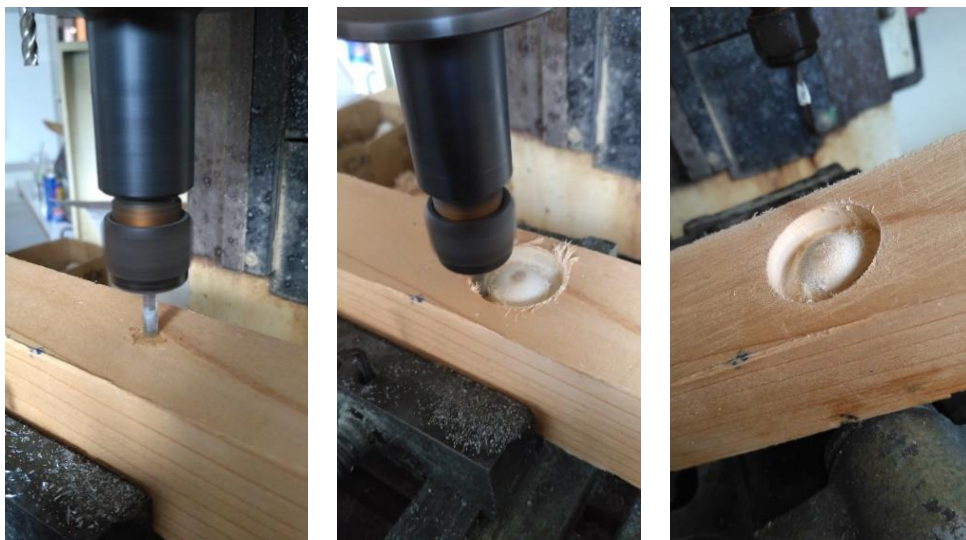
Εικόνα 5.11 Επιλογές Send Stop Reset

Τέλος μπορούμε να παρακολουθήσουμε την πορεία του κώδικα και αντίστοιχα της κατεργασίας από το παράθυρο Send Progress, το οποίο μας ενημερώνει για τις σειρές του κώδικα οι οποίες έχουν σταλεί, αυτές που απομένουν στη ουρά, για το χρόνο που πραγματοποιείται η κατεργασία όπως και το χρόνο που απομένει μέχρι το τέλος της κατεργασίας.



Εικόνα 5.12 Παράθυρο Send Progress

Παρακάτω φαίνεται το αποτέλεσμα του παραπάνω παραδείγματος με φωτογραφίες στην αρχή τη μέση και στο τέλος της κατεργασίας.



Εικόνα 5.13 Πραγματικές φωτογραφίες με αποτελέσματα του παραδείγματος χρήσης του UGS

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκε αποκτήθηκε και εγκαταστάθηκε ένα πλήρες σύστημα ελέγχου για το CNC Denford Triac. Εγκαθιστώντας το σύστημα ελέγχου και λειτουργώντας την παρούσα εργαλειομηχανή προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα.

- Η εκσυγχρονισμένη πλέον εργαλειομηχανή είναι εύχρηστη και κατάλληλη για εκπαιδευτικούς σκοπούς καθώς για τη χρήση της απαιτούνται μόνο οι βασικές εντολές του G-κώδικα.
- Μέσω του περιβάλλοντος διεπαφής της εργαλειομηχανής με τον χρήστη είναι πολύ εύκολο να γίνουν κατανοητές πολλές από τις λειτουργίες των CNC, επειδή επιτρέπει την πληκτρολόγηση G-κώδικα αλλά και την εισαγωγή του από κάποιο πρόγραμμα CAM.
- Η εργαλειομηχανή έχει πολύ καλή διαστατική ακρίβεια και είναι ικανή να εκτελέσει γεωμετρικά περίπλοκες τροχιές με ταυτόχρονη κίνηση σε όλους τους άξονες.

Η ανακατασκευασμένη και εκσυγχρονισμένη πλέον CNC εργαλειομηχανή φρέζα Denford Triac είναι ιδανική για εκπαιδευτική χρήση. Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις της.

- Ο έλεγχος και η λειτουργία της εργαλειομηχανής στην παρούσα φάση γίνεται με ένα Arduino, το οποίο είναι κατάλληλο για τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα του CNC. Μπορεί όμως εύκολα να αντικατασταθεί με ένα breakboard που θα του επιτρέψει τη χρησιμοποίηση άλλου λογισμικού διεπαφής χρήστη όπως είναι το Mach III.
- Μέχρι τώρα η εργαλειομηχανή διέθετε τρεις άξονες κίνησης. Θα μπορούσαν όμως να προστεθούν άλλοι δύο άξονες, οι οποίοι θα βελτίωναν τους χρόνους κατεργασίας, την κατεργασμένη επιφάνεια και πιθανότατα θα επέτρεπαν την κατεργασία περίπλοκων δοκιμών με ένα μόνο δέσιμο πάνω στην εργαλειομηχανή.
- Για μεγαλύτερη ασφάλεια της εργαλειομηχανής θα μπορούσαν να προστεθούν τερματικοί διακόπτες (endstops) στο τέλος κάθε άξονα κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφεύγονταν ατυχήματα κατά την εκτέλεση ενός G-κώδικα ο οποίος δεν λαμβάνει σωστά υπόψη τα μεγέθη της εργαλειομηχανής. Επίσης με τη χρήση των τερματικών διακοπών γίνεται δυνατή η λειτουργία εντοπισμού των ορίων της εργαλειομηχανής, με την οποία γίνεται αυτόματος μηδενισμός στους άξονες του CNC (homing cycle).
- Η εργαλειομηχανή διαθέτει έναν μύλο υπεύθυνο για την αυτόματη εναλλαγή των κοπτικών εργαλείων, όμως λόγω έλλειψης διαθέσιμων ψηφιακών εξόδων στο παρόν Arduino δεν πραγματοποιήθηκε η σύνδεσή του. Με την κατάλληλη όμως ηλεκτρονική διάταξη και τον απαραίτητο προγραμματισμό θα μπορούσε να προστεθεί στο δυναμικό του CNC.
- Η εργαλειομηχανή επίσης διαθέτει σύστημα αυτόματης λίπανσης στους άξονες κίνησης της, όμως λόγω έλλειψης πληροφόρησης σχετικά με την τάση τροφοδοσίας της αντλίας του λιπαντικού δεν πραγματοποιήθηκε η σύνδεσή του. Έτσι με την απαραίτητη έρευνα ή την αντικατάσταση της αντλίας θα μπορούσε να προστεθεί και αυτό το σύστημα στην εργαλειομηχανή.
- Ένα ακόμα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να προστεθεί, είναι ένα σύστημα αυτόματης ρίψης ψυκτικού ή λιπαντικού υγρού στο σημείο που γίνεται η κατεργασία κάθε φορά. Αν και το λειτουργικό σύστημα του CNC επιτρέπει τη σύνδεση ενός

τέτοιου συστήματος, στην παρούσα φάση δεν πραγματοποιήθηκε η εγκατάστασή του, επειδή απαιτεί την αγορά επιπλέον εξοπλισμού όπως, αντλία λαδιού, εύκαμπτους σωλήνες, ακροφύσια και λεκάνη συσσώρευσης του λιπαντικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. (Ηλεκτρονική πηγή) GRBL, *GIT HUB*. Διαθέσιμο:
<https://github.com/grbl/grbl>
2. (Ηλεκτρονική πηγή) UGS, *GIT HUB*. Διαθέσιμο:
https://winder.github.io/ugs_website/guide/platform/
3. Αρχοντάκης, Γ. (2007). Εργαστήριο Βιομηχανικής Παραγωγής με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή C.A.M., *eclass.tuc*. Διαθέσιμο:
<https://www.eclass.tuc.gr/modules/document/?course=MPD143>
4. (Ηλεκτρονική πηγή) Arduino, *ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια*. Διαθέσιμο:
<https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
5. Βιτζηλαίος, Ν. (2004). *Μελέτη ελέγχου λειτουργίας του ρομποτικού μηχανισμού τύπου γερανογέφυρας Talos*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. Τσουρβελούδης, Ν., & Νικολός, Ι. (2014). *Τεχνολογίες Παραγωγής*.