



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε  
Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**1709**

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΟΡΗΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ  
ΧΑΡΑΞΗΣ CNC ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ARDUINO  
ΚΑΙ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ”

ΜΑΚΡΗΣ ΠΡΟΚΟΠΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Μπισδούνης Λάμπρος

ΠΑΤΡΑ 2020

**Για την οικογένεια μου και τους γονείς μου,**

**Ευστράτιο και Ευστρατία**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ NC .....	5
1.1 : Numerical Control.....	5
1.2 : Computer Numerical Control.....	5
1.3 : Direct Numerical Control.....	5
1.4 : Πλεονεκτήματα NC .....	6
1.5 : Αξιοπιστία NC .....	6
1.6 : Ακρίβεια NC .....	7
1.7 : Ηλεκτρικοί Κινητήρες Εργαλειομηχανών.....	7
1.8 : Ηλεκτρικοί Κινητήρες Ατράκτου Κοπής .....	8
1.8.1 : Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος.....	10
1.8.2 : Τριφασικοί Ασύγχρονοι Κινητήρες.....	10
1.9 : Κοπτικά Μέσα .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	15
2.1 : Κατηγορίες Βηματικών Κινητήρων.....	16
2.1.1 : Βηματικός Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη .....	16
2.1.2 : Βηματικός Κινητήρας Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίδρασης .....	16
2.1.3 : Υβριδικός Βηματικός Κινητήρας .....	16
2.2 : Σύνδεση Βηματικών Κινητήρων.....	17
2.2.1 : Διπολική Συνδεσμολογία.....	17
2.2.2 : Μονοπολική Συνδεσμολογία .....	17
2.3 : Πλεονεκτήματα Βηματικών Κινητήρων .....	18
2.4 : Μειονεκτήματα Βηματικών Κινητήρων .....	18
2.5 : Οδήγηση Βηματικού Κινητήρα.....	18
2.5.1 : Μονοπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα.....	18
2.5.2 : Διπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα .....	19
2.6 : Τρόποι Βηματισμού Ενός Βηματικού Κινητήρα .....	20
2.7 : Επιλογή Βηματικού Για Την Εργαλειομηχανή .....	22
2.8 : Οδηγός Βηματικού Κινητήρα A4988 .....	23
2.9 : Πλακέτα Επέκτασης CNC Shield .....	25
2.10 : Τροφοδοσία.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ.....	28

<b>3.1 : Άξονας X.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.1 : Γραμμικοί Οδηγοί Αξόνων .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2 : Βάσεις Στήριξης Βηματικών Κινητήρων.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.3 : Σύνδεσμοι Αξόνων .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.4 : Κοιλίας &amp; Περικόχλιο .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.5 : Υπολογισμός Βήματος Κοιλία.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.6 : Τερματική Βάση Με Ρουλεμάν .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.7 : Τερματικοί Διακόπτες.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 : Άξονας Y.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3 : Άξονας Z.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.1 : Ηλεκτρικός Κινητήρας Ατράκτου Κοπής.....</b>	<b>42</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ Η/Υ .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 : Arduino .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 : Arduino IDE .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 : UGS Platform .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3.1 : Εντολές \$\$ .....</b>	<b>50</b>
<b>ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ .....</b>	<b>53</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....</b>	<b>65</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ.....</b>	<b>66</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας σκοπός μας είναι η κατασκευή μιας φορητής μηχανής χάραξης με την βοήθεια της πλατφόρμας ενός μικροελεγκτή Arduino, καθώς και βηματικών κινητήρων.

Γενικά, πρόκειται για μια εργαλειομηχανή η οποία είναι κατάλληλη για κοπή και χάραξη διάφορων υλικών. Ένας υπολογιστής μετατρέπει σε αριθμούς το σχεδιασμό που παράγεται από λογισμικό σχεδίασης (CAD). Οι αριθμοί μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι οι συντεταγμένες ενός γραφήματος και ελέγχουν την κίνηση του κοπτικού μηχανήματος (στη δική μας περίπτωση ενός dremel). Με αυτόν τον τρόπο ο υπολογιστής ελέγχει την κοπή και τη διαμόρφωση του υλικού. Με τις CNC μηχανές δηλαδή, χρησιμοποιώντας κωδικοποιημένες οδηγίες που στέλνονται σε έναν εσωτερικό υπολογιστή δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας βιομηχανικών εξαρτημάτων, χωρίς άμεση ανθρώπινη βοήθεια με ακρίβεια και ταχύτητα.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι των μηχανών NC, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ευρεία ποικιλία υλικών. Τέτοιες εργαλειομηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως από την βιομηχανία για την υλοποίηση εξαρτημάτων ακριβείας όπου το ανθρώπινο δυναμικό δεν θα μπορούσε να δημιουργήσει. Σημαντικό επίσης είναι ότι ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη ενός εξαρτήματος είναι πολύ λιγότερος σε σχέση με τον χρόνο που θα έκανε ένας απλός εργάτης για να το κατασκευάσει.

Το πιο σημαντικό στοιχείο μιας τέτοιας εργαλειομηχανής είναι η ακρίβεια του να αποτυπώνει πλήρως και χωρίς σφάλμα το ζητούμενο εξάρτημα. Γι αυτόν τον λόγο θα πρέπει να τοποθετηθούν όλα τα στοιχεία προσεκτικά ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα σφάλματος.

Πιο συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα επιμέρους στοιχεία όπου με την βοήθεια τους θα γίνει εφικτή η υλοποίηση του μηχανήματος, αυτά τα στοιχεία είναι τα εξής: οι βηματικοί κινητήρες, οι οδηγητές των βηματικών κινητήρων, ο μικροελεγκτής Arduino, οι τερματικοί διακόπτες που θα βοηθήσουν στην ασφαλή και εντός ορίων λειτουργία των αξόνων, το DC τάσης τροφοδοτικό καθώς και το κοπτικό μηχανήμα.

Τέλος, η επικοινωνία του μηχανήματος με τον υπολογιστή είναι απαραίτητη για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Έτσι, η εργασία θα ξεκινά υλοποιώντας ένα σχέδιο με την βοήθεια ενός σχεδιαστικού προγράμματος και στη συνέχεια θα αποθηκεύεται σε μορφή g-code, μια γλώσσα με την οποία δίνουμε στο μηχανήμα να καταλάβει τα βήματα που πρέπει να κάνει ώστε να υλοποιηθεί το σχέδιο. Έπειτα το αρχείο g-code θα ανεβάζεται στο UGS platform το οποίο είναι ένα πρόγραμμα που συνδέει το H/Y με τον μικροελεγκτή και μας δίνει την δυνατότητα να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις του μηχανήματος π.χ. την ταχύτητα των βηματικών κινητήρων, τον ορισμό των βημάτων που επιθυμούμε να δώσουμε στους κινητήρες κ.π.α..

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΩΝ NC

### 1.1 Numerical Control (NC)

Με τον όρο του αριθμητικού ελέγχου εννοούμε την δυνατότητα του χειριστή να επικοινωνεί με την εργαλειομηχανή και να την καθοδηγεί μέσω ενός γραπτού κώδικα. Με το κώδικα αυτόν αντικαθιστούμε τις επιμέρους χειρονακτικές εργασίες του χειριστή, οι οποίες πλέον εκτελούνται αυτόματα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα συνεχών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής (Machine Control Unit, MCU) η οποία βρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και ουσιαστικά είναι η “καρδιά” του μηχανήματος. Οι εργαλειομηχανές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτόν ονομάζονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (NC).

### 1.2 Computer Numerical Control (CNC)

Εάν ανάμεσα στον χειριστή και τη μονάδα ελέγχου παρεμβάλλεται ηλεκτρονικός υπολογιστής, τότε η μηχανή μετονομάζεται σε ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Computer Numerical Control, CNC). Έτσι επιτυγχάνεται η πλήρως αυτοματοποίηση της εργαλειομηχανής καθώς τώρα ο έλεγχος της μπορεί να γίνει από απόσταση.

Ακόμη ένα θετικό της CNC εργαλειομηχανής είναι ότι μπορεί να συνεργαστεί με συστήματα σχεδίασης (Computer Aided Design, CAD). Καθώς επίσης ένα μεγάλο ποσοστό υπολογισμών και διαδικασιών ελέγχου καθοδήγησης διεξάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταχύτερα και φυσικά με μικρότερο κόστος.

Έτσι, η διαδικασία καθοδήγησης έχει ως εξής. Ο τεχνικός καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής έχοντας πρώτα υπολογίσει τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (υλικό κοπής, βάθος κοπής κ.α.). Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψιν γράφει έναν κώδικα τον οποίο τελικά μεταφέρει στην μονάδα ελέγχου και ενεργοποιεί την εκτέλεση του κώδικα.

### 1.3 Direct Numerical Control (DNC)

Η ανάγκη σχεδιασμού σκεπτόμενων διατάξεων, οδήγησε την παραγωγή των DNC εργαλειομηχανών. Είναι δηλαδή μηχανές που παίρνουν αυτόματα πρωτοβουλίες και μπορούν να επέμβουν στο πρόγραμμα καθοδήγησης. Αν για παράδειγμα επιλεχθεί λάθος ταχύτητα για την επεξεργασία ενός υλικού το DNC επεμβαίνει και την διορθώνει χωρίς να χρειάζεται να κάνει κάτι ο χειριστής, ενώ αντίθετα στις μηχανές που αναφέραμε παραπάνω θα έπρεπε ο χειριστής να σταματήσει την διαδικασία, να διορθώσει το σφάλμα και να ξανά ξεκινήσει την

διαδικασία από την αρχή. Αυτές οι εργαλειομηχανές ονομάζονται άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Numerical Control DNC).

## 1.4 Πλεονεκτήματα NC

Η ανάγκη της βιομηχανίας για ανάπτυξη προϊόντων με όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο και μικρότερη πιθανότητα λάθους κάνουν τη χρήση των NC να αναπτύσσεται με μεγάλη ταχύτητα. Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα των NC.

- Η απομακρυσμένη χρήση των συστημάτων NC υποχρεώνουν τον χειριστή να μην έχει επαφή με τον χώρο εργασίας με αποτέλεσμα την μείωση των κινδύνων ατυχήματος.
- Ο χειριστής έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει τον χρόνο κάνοντας κάτι άλλο καθώς η μηχανή δεν χρειάζεται μεγάλη προσοχή όταν εκτελεί την εργασία.
- Καθώς η μελέτη γίνεται πρώτα με προσομοιωτές, τα άχρηστα υλικά ελαττώνονται επειδή τα συστήματα NC έχουν μεγάλο βαθμό ακριβείας και το ανθρώπινο σφάλμα έχει εξαφανιστεί.
- Ο χρόνος προετοιμασίας είναι ελαττωμένος γιατί απαιτείται απλά μια κατασκευή σε ηλεκτρονική μορφή της εργασίας που χρειάζεται να υλοποιήσουμε και έπειτα το μηχάνημα κάνει την υπόλοιπη εργασία.
- Ο NC εξασφαλίζει ότι όλα τα κομμάτια που θα υλοποιηθούν θα είναι ακριβή και θα έχουν την ίδια ποιότητα. Η βελτίωση την ακρίβειας των εξαρτημάτων που παράγονται εξασφαλίζει την επαναληψιμότητα αυτών.
- Οι πολύπλοκες εργασίες γίνονται ταχύτερα με τα συστήματα NC.
- Η γρήγορη προετοιμασία της μηχανής και οι ρυθμίσεις του χρήστη αυξάνουν την ταχύτητα παραγωγής κατά 80%.
- Ο χώρος που απαιτεί ένα σύστημα NC είναι μικρός.

## 1.5 Αξιοπιστία

Για να μπορέσουν οι εργαλειομηχανές NC και τα συστήματα ελέγχων τους να μπουν μέσα στις βιομηχανίες θα έπρεπε να είναι ικανές και αξιόπιστες όσο το έμπειρο προσωπικό. Τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται σήμερα στις NC μηχανές μας εξασφαλίζουν ότι τα προϊόντα παράγονται με μεγάλη ακρίβεια. Παράγοντες όπως \*\*

## 1.6 Ακρίβεια

Ένας τεχνίτης με χρόνια εμπειρία δεν μπορεί να εργάζεται κάθε φορά με την ακρίβεια που προσφέρει το NC, καθώς πάντα θα υπάρχει το ανθρώπινο σφάλμα που πολλές φορές μπορεί να βγάλει ακατάλληλο το προϊόν. Ο σκοπός ανάπτυξης μιας εργαλειομηχανής NC είναι η επίτευξη μιας εργασίας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με το χρόνο που θα διέθετε ένας τεχνίτης για να πραγματοποιήσει την ίδια εργασία. Έτσι όταν αναπτύσσονταν ο NC, η βιομηχανία έψαχνε τρόπους για βελτίωση της ταχύτητας παραγωγής αλλά και μεγαλύτερης ακριβείας των παραγόμενων προϊόντων.

Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές NC έχουν την ικανότητα να παράγουν προϊόντα και εξαρτήματα ακριβείας με μία ανοχή από 0.0025 έως 0.005 mm. Έτσι λοιπόν συμπεράνουμε ότι οι εργαλειομηχανές έχουν εξελιχθεί τόσο που ένας δεξιότεχνης μηχανουργός να μη μπορεί με τίποτα να συναγωνιστεί με ένα NC.

## 1.7 Ηλεκτρικοί Κινητήρες Εργαλειομηχανών

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από τα σημαντικότερα υποσυστήματα των εργαλειομηχανών, καθώς όλες σχεδόν οι κινήσεις μετατόπισης και κοπής οδηγούνται από αυτούς. Η απόδοσή τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό, την ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών και την παραγωγικότητα των εργαλειομηχανών, που τους περιέχουν. Σήμερα οι NC, CNC οι DNC μηχανές περιέχουν, ως βασικό εξοπλισμό, ολόκληρα συστήματα σερβοκινητήρων (servomotors), που προσφέρουν διαρκή έλεγχο των παραμέτρων τους (ταχύτητα περιστροφής και αποδιδόμενη ισχύς).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο των προώσεων, όσο και των ταχυτήτων κοπής. Αποτελούνται από ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες. Η λειτουργία αυτών των κινητήρων θα περιγραφεί στις επόμενες παραγράφους, ανάλογα με την εφαρμογή τους. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μετρητής της ταχύτητας περιστροφής και μηχανισμός άμεσης πέδησης. Οι σερβοκινητήρες ενσωματώνουν ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας, ενώ μπορεί να περιλαμβάνουν και μηχανικά υποσυστήματα, όπως συμπλέκτες και μειωτήρες.

Οι απαιτήσεις για τους κινητήρες ενεργοποίησης των αξόνων κατεργασίας (κινητήρες προώσεων) είναι κατά πολύ διαφορετικές από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τις κύριες ατράκτους των εργαλειομηχανών. Επίσης, η σχεδιαστική φιλοσοφία διαφέρει από τύπο σε τύπο μηχανής, αφού, για παράδειγμα, η ταχύτητα κοπής σε λειαντική μηχανή είναι πολλαπλάσια από τις αντίστοιχες του φρεζαρίσματος και της τόννευσης. Πριν περιγραφούν οι εφαρμογές των διαφόρων τύπων κινητήρα στις εργαλειομηχανές, είναι σκόπιμο να δοθούν μερικά βασικά δεδομένα, που σχετίζονται γενικότερα με τις κατεργασίες.



## 1.8 Ηλεκτρικοί Κινητήρες Ατράκτου Κοπής

Όπως περιγράφηκε, η ταχύτητα κοπής παράγεται από κάποια περιστροφική κίνηση που στην περίπτωση της τόννευσης την εκτελεί το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ενώ σχεδόν σε όλες τις άλλες κατεργασίες την εκτελεί το κοπτικό εργαλείο. Σε κάθε περίπτωση, η περιστροφική κίνηση δίδεται από την κινητήρια άτρακτο της εργαλειομηχανής. Η άτρακτος αυτή ενεργοποιείται άμεσα ή έμμεσα από κάποιου είδους ηλεκτρικό κινητήρα. Ένας τέτοιος ηλεκτρικός κινητήρας ατράκτου σε τομή παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι άτρακτοι, εκτός από τον κινητήρα τους και τον εργαλειοδέτη, περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών και μηχανικών υποσυστημάτων. Χαρακτηριστικές ηλεκτρονικές ομάδες είναι οι ρυθμιστές του ρεύματος τροφοδοσίας, τα συστήματα προστασίας του κινητήρα, οι μετασχηματιστές κλπ. Τα μηχανικά συστήματα περιέχουν κιβώτια σταθερών ή διαρκώς μεταβαλλόμενων σχέσεων μετάδοσης και την πέδη της άτρακτου.



Εικ. 1.8.. Τομή Ηλεκτρικού Κινητήρα Ατράκτου Κοπής

Αντίστοιχα στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών.

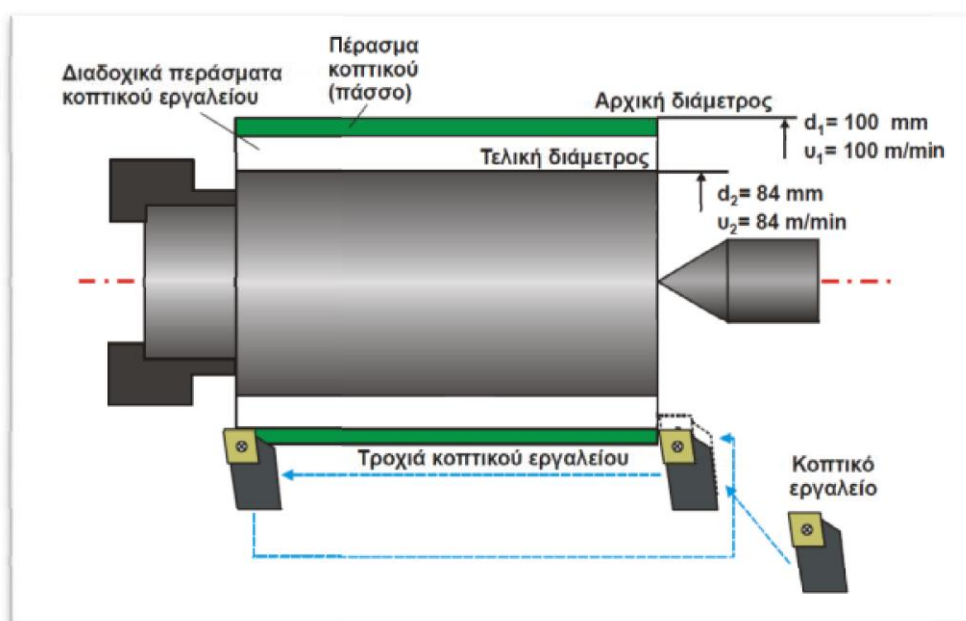


Εικ. 1.8.2 Κινητήρας Ατράκτου Κοπής Με Μειωτήρα Στροφών

Οι κινητήρες ατράκτων πρέπει να μπορούν να λειτουργούν σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος στροφών, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν όλες τις εναλλαγές στις συνθήκες κατεργασίας. Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων αυτών είναι:

- Η δυνατότητα παραγωγής επίπεδων καμπυλών ροπής, για ένα μεγάλο εύρος στροφών.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 12.000 rpm για τόνους, φρέζες, κέντρα εργασίας και 50.000 για λειαντικές μηχανές.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak), τουλάχιστον διπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.
- Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη περιστροφική ταχύτητα να κυμαίνεται για τόνους από 40 έως 60, για φρέζες από 30 έως 50 και για κέντρα από 50 έως 70.
- Ονομαστική ισχύς έως 100 kWat.

Ένα τυπικό παράδειγμα που εξηγεί αυτήν την απαίτηση για λειτουργία σε μεγάλο εύρος στροφών, περιγράφεται στην εικόνα 1.8.3. Ας υποθεθεί ότι, για την επίτευξη της επιθυμητής διάστασης στο τεμάχιο του σχήματος, που είναι 84 mm, χρησιμοποιείται διαίρεση του βάθους κοπής 2 mm. Αυτό σημαίνει ότι για την κατεργασία στην επιθυμητή διάμετρο, απαιτούνται τέσσερα περάσματα του κοπτικού εργαλείου, μια και η διαφορά αρχικής και τελικής ακτίνας, δηλαδή το συνολικό βάθος κοπής, είναι  $50 - 42 = 8$  mm. Εάν η βέλτιστη ταχύτητα κοπής, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι τα 100 m/min και η αρχική διάμετρος της ατράκτου είναι 100 mm, τότε ο τόνος πρέπει να ρυθμιστεί στις 320 rpm. Εάν οι στροφές διατηρηθούν σταθερές, στο τελευταίο πέραςμα του κοπτικού εργαλείου η ταχύτητα κοπής θα έχει πέσει στα 84 m/min κάτι που είναι απαράδεκτο για την παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής.



Εικ. 1.8.3 Επεξηγηματικό Διάγραμμα Λειτουργίας Εργαλειομηχανής

Στις κινητήριες ατράκτους εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων :

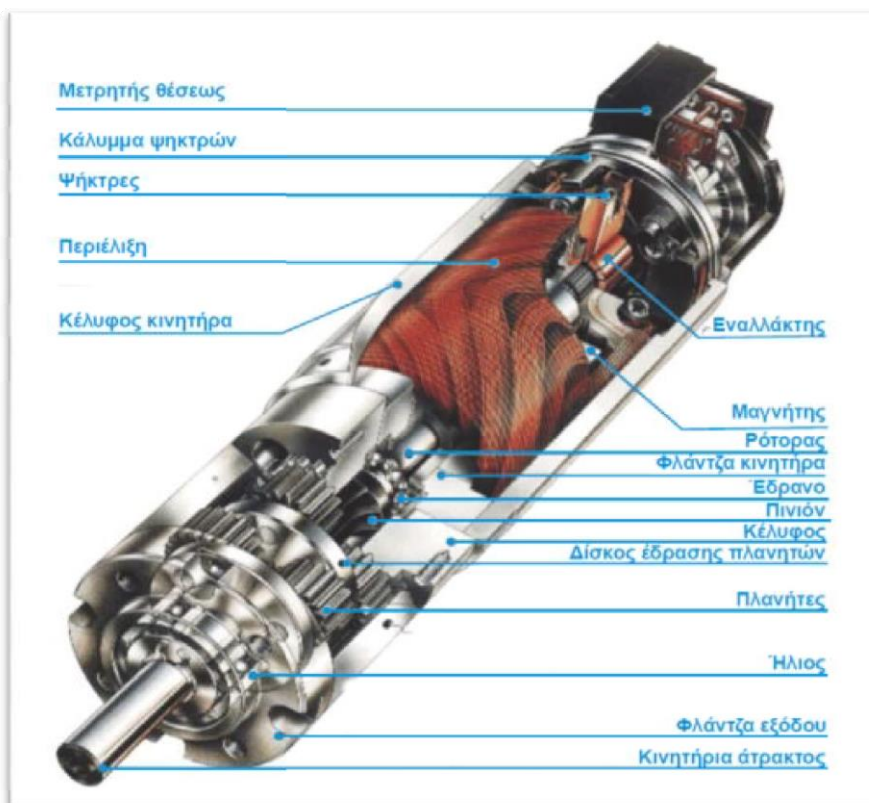
### 1.8.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC drives).

Πρόκειται για κινητήρες εξωτερικής διέγερσης με αναστρεφόμενους πόλους και εξωτερικό κύκλωμα ψύξης, που χρησιμοποιούνται πολύ στις ατράκτους των εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους είναι ο σχετικά απλός έλεγχος και το μικρό κόστος των ηλεκτρονικών τους. Αντίθετα, η χρήση ψηκτρών έχει ως συνέπεια την ανάγκη συχνής συντήρησής τους, ενώ σε πολύ χαμηλές ταχύτητες εμφανίζουν αστάθεια (stall) και σε πολύ υψηλές υπάρχει ο περιορισμός των εναλλαγών των ψηκτρών του κινητήρα.

### 1.8.2 Τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες (Three phase asynchronous motors).

Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατηγορία κινητήρων για ατράκτους εργαλειομηχανών. Επειδή η μεταφορά ισχύος γίνεται μέσω του φαινομένου της επαγωγής, οι κινητήρες αυτοί δεν χρειάζονται συλλέκτες. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι ανάγκες συντήρησης των κινητήρων αυτών. Οι αρχικές δυσκολίες ελέγχου των κινητήρων αυτών και, ιδίως, της ρύθμισης των στροφών τους έχει σήμερα λυθεί με ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπών συχνοτήτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία εξαιρετικά ταχύστροφη άτρακτος, όπου φαίνονται τα κατασκευαστικά της στοιχεία, ο κινητήρας και η μετάδοση της κίνησης



Εικ 1.8.2.1 Τομή Τριφασικού Ασύγχρονου Κινητήρα

## 1.9 Κοπτικά Μέσα

Τα κοπτικά μέσα είναι ιδιαίτερης σημασίας για την κατεργασία και τις δυνατότητες του μηχανήματος. Η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων δεν καθορίζεται μόνο από την ποιότητα των πρώτων υλών, αλλά και από την ποιότητα των συνδέσμων, που έχουν άμεση σχέση με το τελικό φινίρισμα που αφήνουν τα κοπτικά στις επιφάνειες τομής. Για την ποιότητα κατεργασίας σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν το υλικό κατασκευής και η γεωμετρία του κοπτικού. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα κοπτικά, κατάλληλα για εργαλειομηχανές CNC.

- **Ελικοειδή κοπτικά (Spiral cutters)**

Αυτά τα κοπτικά παρέχουν λείο φινίρισμα, και είναι σχεδιασμένα για υψηλές ταχύτητες κατεργασίας με μεγάλη διάρκεια ζωής. Το σπειροειδές σχήμα χρησιμεύει για την ανοδική μεταφορά των κομματιών ξύλου. Επίσης ο σχεδιασμός τους επιτρέπει την καλύτερη αφαίρεση ξυλοτεμαχιδίων, ενώ ταυτόχρονα δεν ανεβάζουν εύκολα θερμότητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα υλικά ως κοπτικά γενικής κατεργασίας.



*Εικ. 1.9.1 Ελικοειδές Κοπτικό*

- **Ευθύγραμμο κοπτικά (Straight cutters)**

Τα συμπαγές κοπτικά μονής κοπτικής ακμής σχεδιάστηκαν για γενική χρήση και για μεγάλη διάρκεια ζωής. Είναι ιδανικά κοπτικά για μεγάλες ταχύτητες πρόωσης και ελευθερία κινήσεων στη μάζα του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Με επικάλυψη καρβιδίου στις ακμές κοπής και με τη γεωμετρία γενικής χρήσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε σκοπό. Το συμπαγές κοπτικό διπλής ακμής σχεδιάστηκε για γενική κατεργασία, όπου απαιτείται μεγάλη διάρκεια ζωής. Μπορούν να κατεργαστούν φυσικό ξύλο, σύνθετα προϊόντα ξύλου, fiberglass κ.α. Με καρβίδιο στις ακμές κοπής παρέχουν ένα λείο φινίρισμα.



*Εικ. 1.9.2 Ευθύγραμμο Κοπτικό*

- **Κοπτικά ειδικών εφαρμογών (Special application cutters)**

Τα κοπτικά ειδικών εφαρμογών έχουν σχεδιαστεί για να απλοποιηθούν πολλές εφαρμογές κατά την κατεργασία. Εάν επιλεγεί το σωστό κοπτικό εργαλείο ή σωστός συνδυασμός αυτόν, τότε μπορεί η παραγωγή να γίνει γρηγορότερα εφόσον θα μειωθεί ο χρόνος κοπής.



*Εικ. 1.9.3 Κοπτικό Ειδικών Εφαρμογών*

- **Κοπτικά με ραβδώσεις (Flute tools)**

Η σχεδίαση των ραβδώσεων εξαρτάται από το σχήμα μισοφέγγαρου που έχουν οι κοπτικές ακμές. Τα κοπτικά αυτά ταξινομούνται ως εργαλεία με ευθύς ραβδώσεις. Κοπτικά τέτοιου είδους είναι κατάλληλα για κατεργασίες σε φυσικά μαλακά ξύλα. Η γεωμετρία του κοπτικού βοηθάει στη βέλτιστη εκκένωση των ξυλοτεμαχιδίων στις υψηλές ταχύτητες πρόωσης



*Εικ. 1.9.4 Κοπτικό Με Ραβδώσεις*

- **Κοπτικά με σφαιρική μύτη (Ball nose cutters)**

Τα κοπτικά αυτά διαθέτουν διπλές ραβδώσεις και έχουν σταθερή ακτίνα (σφαίρα) ανά διάμετρο (στέλεχος κοπτικού). Χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατες (3-D) εφαρμογές στην επιφάνεια των περισσότερων υλικών



*Εικ. 1.9.5 Κοπτικό Με Σφαιρική Μύτη*

- **Κοπτικά συμπίεσης (Compression cutters)**

Τα κοφτερά τμήματα του κοπτικού εργαλείου είναι ιδανικά για την κοπή φύλλων διπλής επένδυσης, σκληρών ξύλων και σύνθετων προϊόντων ξύλου. Η μοναδικής σχεδίασης γεωμετρία των ελικοειδών ραβδώσεων του επιτρέπει μεγάλες ταχύτητες πρόωσης σε συνδυασμό με το καλύτερο δυνατό φινίρισμα σε όλο το πάχος του κατεργαζόμενου τεμαχίου.



*Εικ. 1.9.6 Κοπτικό Συμπίεσης*

- **Κοπτικά με ξυλοδιασπαστή (Chipbreaker cutters)**

Έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες πρόωσης από τα συμβατικά κοπτικά δύο ραβδώσεων και αφήνουν λείες επιφάνειες τομής. Ιδανικά για χοντροδουλειές εξωτερικά του υλικού κατεργασίας και δημιουργία γκινισιάς με καλή ποιότητα κοπής.



*Εικ. 1.9.7 Κοπτικό Με Ξυλοδιασπαστή*

- **Κοπτικά φινιρίσματος (Finishers)**

Τα κοπτικά αυτά αναπτύχθηκαν για να κόβουν κυρίως ακρυλικά υλικά με λείο φινίρισμα και με ανοδική ροή των παραγόμενων ξυλοτεμαχιδίων. Μερικές εφαρμογές περιλαμβάνουν γκινισιές εξωτερικά του ακρυλικού υλικού και γι αυτό χρειάζεται να έχει καλής ποιότητας ακμή κοπής.



*Εικ. 1.9.8 Κοπτικό Φινιρίσματος*

- **Κοπτικά χάραξης (Engraving cutters)**

Τα κοπτικά αυτά διατίθενται σε διάφορα μεγέθη στην ακμή χάραξης. Διατίθενται από χάλυβα, ανοξείδωτο χάλυβα, και σκληρό μέταλλο (S.S.S.). Θα πρέπει το πλάτος κοπής να είναι το 12% του ύψους των γράμματος.

Παράδειγμα:  $1/4 * \text{γράμμα} = 0.25 * 0.12 = 0.030$



*Εικ. 1.9.9 Κοπτικό Χάραξης*

- **Κοπτικά τύπου V (V Cutters)**

Τα κοπτικά σχήματος V γνωστά και ως κωνικά κοπτικά, χρησιμοποιούνται για να κόψουν τρισδιάστατα (3-D) ανάγλυφα με καλό ποιοτικό αποτέλεσμα. Έχουν αιχμές κοπής από εναλλασσόμενα μαχαίρια επενδυμένα με καρβίδιο και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη



*Εικ. 1.9.10 Κοπτικό Τύπου "V"*

- **Τρυπάνια (Boring drills) Τρυπάνια Brad point:**

Τα τρυπάνια αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για οπές που θα τοποθετηθεί καβίλια. Είναι χαρακτηριστικό το σχήμα που έχουν μπροστά στην ακμή τους. Η διανοιγόμενη οπή πρέπει στο τέλος να έχει κυλινδρικό σχήμα, ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα με την τοποθέτηση της καβίλιας. Αυτός εξάλλου είναι ο λόγος που το κοπτικό έχει την συγκεκριμένη γεωμετρία



*Εικ. 1.9.11 Κοπτικό “Brad Point”*

- **Τρυπάνια V-point:**

Τα τρυπάνια αυτά χρησιμοποιούνται για να διανοίξουν διαμπερές οπές. Το σχήμα V που έχουν στην ακμή τους δεν επιτρέπει να “πετάξουν” σκλήθρα κατά την έξοδο του κοπτικού από το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Η γωνία της μύτης του κοπτικού είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, γιατί το αποτέλεσμα διαφέρει ανάλογα με την κλίση. Είναι δυνατών κοπτικά Vpoint να δημιουργούν κακής ποιότητας ζετρύπημα εάν δεν έχουν την κατάλληλη γωνία στην μύτη.



*Εικ. 1.9.12 Κοπτικό “V-Point”*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

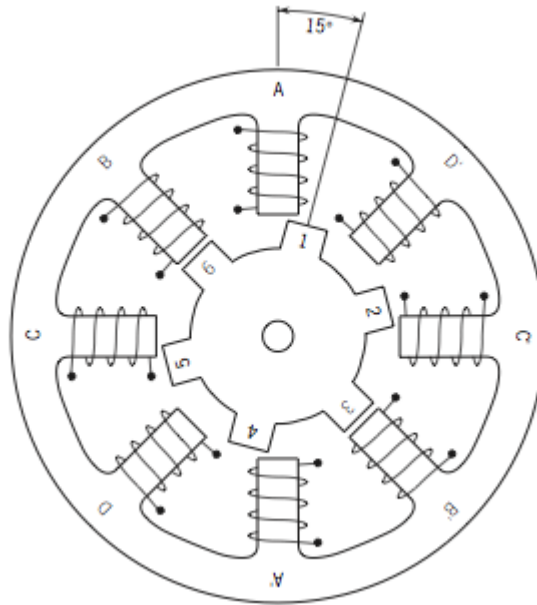


*Εικ. 2.1 Βηματικός Κινητήρας*

Είναι ένας επαγωγικός κινητήρας ο οποίος είναι κατάλληλος για εφαρμογές που χρειάζονται συγκεκριμένες και ακριβείς κινήσεις. Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική δύναμη που αναπτύσσεται όταν ο πόλος ενός ηλεκτρομαγνήτη πλησιάζει ένα μεταλλικό σπλισμό ή έναν μόνιμο μαγνήτη. Με κατάλληλο σχεδιασμό του κινητήρα, η ροπή που αναπτύσσεται με κάθε παλμό που δίνεται στο κατάλληλο τύλιγμα του στάτη, έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή του δρομέα κατά καθορισμένη γωνία.

Πιο αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το ζεύγος B και B' να εφαρμόζεται με ρεύμα και έτσι να έλκει τις οδοντώσεις 6 και 3 του δρομέα λόγω της μαγνητικής έλξης. Αν στη συνέχεια δώσουμε ρεύμα στο ζευγάρι C και C' και παράλληλα πάψουμε να δίνουμε στο B και B' τότε θα παρατηρήσουμε ότι θα έλκει τις οδοντώσεις 5 και 2 με αποτέλεσμα να έχει μετακινηθεί ο δρομέας κατά 15° στην προκειμένη περίπτωση κ.ο.κ.. Έτσι, αν επιθυμούμε να κινήσουμε τον κινητήρα αρκεί να εναλλάσσουμε κάθε φορά το ηλεκτρικό ρεύμα διαδοχικά.





Εικ. 2.2 Ζεύγη Πόλων Βηματικού Κινητήρα

## 2.1 Κατηγορίες Βηματικών Κινητήρων

### 2.1.1 Βηματικός κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη

Οι βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη περιέχουν έναν μαγνήτη με μορφή δίσκου, ο οποίος απωθείται ή έλκεται από τα εκάστοτε ενεργοποιημένα πηνία, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται στον ρυθμό ενεργοποίησής τους. Η ελάχιστη γωνία περιστροφής τους είναι συνήθως  $45^\circ$  με  $90^\circ$ .

### 2.1.2 Βηματικός Κινητήρας Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίδρασης

Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης δεν έχουν μόνιμο μαγνήτη στον ρότορα ο οποίος αποτελείται από μαλακό σίδηρο με σχήμα δίσκου με δόντια σαν γρανάζι. Ο στάτης έχει τέσσερα πηνία, τα οποία ενεργοποιούνται σε αντιδιαμετρικά ζευγάρια. Η έλλειψη μόνιμου μαγνήτη έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ονομαστικής ροπής, αλλά δημιουργεί το πλεονέκτημα της ελεύθερης κίνησης του ρότορα όταν τα πηνία δεν διαρρέονται από ρεύμα. Η ελάχιστη γωνία περιστροφής τους είναι από  $5^\circ$  έως  $15^\circ$ .

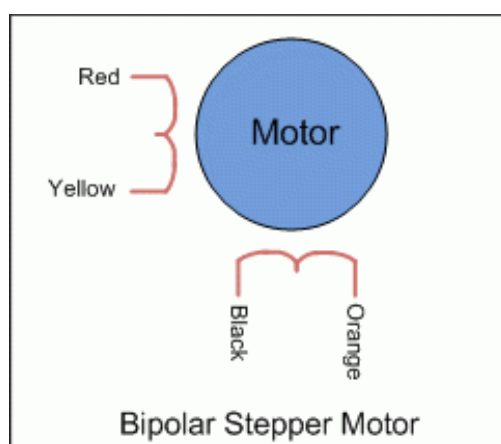
### 2.1.3 Υβριδικός Βηματικός Κινητήρας

Οι υβριδικοί κινητήρες συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δυο παραπάνω κατηγοριών με αποτέλεσμα την υψηλή ροπή και πολύ μικρά βήματα περιστροφής, από  $0,9^\circ$  έως  $5^\circ$ . Εκτός από ακρίβεια στην κίνηση έχουν και μεγαλύτερη ταχύτητα, όμως το κόστος τους είναι υψηλότερο από τις άλλες κατηγορίες.

## 2.2 Σύνδεση Βηματικών Κινητήρων

### 2.2.1 Διπολική Συνδεσμολογία

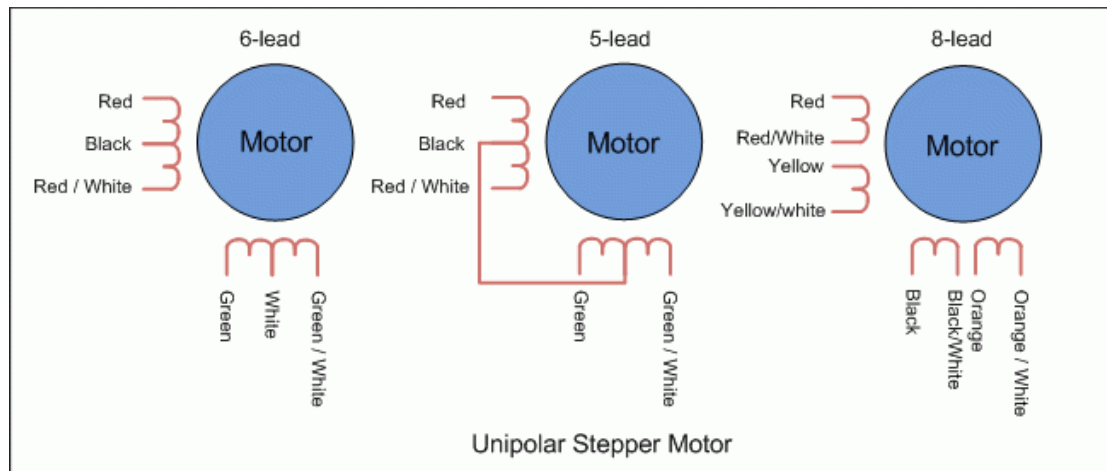
Τα δυο τυλίγματα του ίδιου ζεύγους συνδέονται σε σειρά με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όταν διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα να δημιουργούν μαγνητικό πεδίο ίδιας φοράς. Έτσι, όταν για παράδειγμα δημιουργείται ένας βόρειος πόλος στο Α, τότε στο Α' δημιουργείται ένας νότιος. Επομένως, ένας κινητήρας με διπολική σύνδεση (bipolar connection) έχει τέσσερις ακροδέκτες. Για να αντιστραφούν οι μαγνητικοί πόλοι, θα πρέπει να αντιστραφεί η φορά του ρεύματος στα τυλίγματα, επομένως θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αντιστροφής της πολικότητας της τάσης τροφοδοσίας. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση IC οδηγών (Integrated Circuit) με ενσωματωμένο κύκλωμα H bridge. Γενικότερα, οι διπολικοί κινητήρες παράγουν περισσότερη ροπή όμως όπως θα δούμε παρακάτω απαιτείται πιο πολύπλοκο κύκλωμα ελέγχου για να πραγματοποιηθεί λόγω της αναστροφής της φοράς του ρεύματος.



Εικ. 2.2.1.1 Καλωδίωση Διπολικού Βηματικού Κινητήρα

### 2.2.2 Μονοπολική Συνδεσμολογία

Σε αυτού του είδους την σύνδεση, διαρρέεται από ρεύμα ένα εκ των δύο τυλιγμάτων του ζεύγους την φορά. Τα δύο τυλίγματα έχουν ένα κοινό άκρο το οποίο είναι συνήθως συνδεδεμένο στην τροφοδοσία και το κύκλωμα ελέγχου αναλαμβάνει να γειώσει το άκρο του τυλιγματος το οποίο πρέπει να ενεργοποιηθεί. Ένας κινητήρας με μονοπολική σύνδεση (monopolar connection) έχει συνήθως 6 ακροδέκτες αλλά δεν είναι απίθανο να πετύχουμε κινητήρα με 5 ή 8 ακροδέκτες, αυτό συμβαίνει γιατί έχουν ακροδέκτες για κάθε τυλίγματα του κινητήρα, σε αντίθεση με τους μονοπολικούς που τα συνδέουν μεταξύ τους.



Εικ. 2.2.2.1 Καλωδίωση Μονοπολικών Κινητήρων

## 2.3 Πλεονεκτήματα Βηματικών Κινητήρων

- Δεν είναι απαραίτητη η χρήση φρένων για να τον σταματήσουμε.
- Όσο μικρότερη η ταχύτητα περιστροφής, τόσο μεγαλύτερη η ροπή.
- Μπορούμε εύκολα να ελέγξουμε την ταχύτητα περιστροφής και να πετύχουμε μεγάλο εύρος γενικότερα.
- Μπορεί να επιτευχθεί πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.

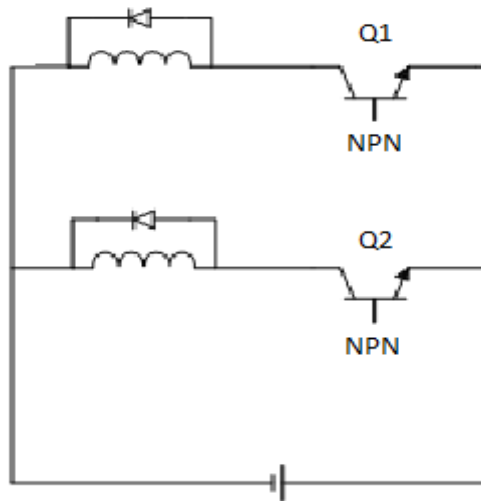
## 2.4 Μειονεκτήματα Βηματικών Κινητήρων

- Προκαλείται αρκετός θόρυβος κατά την λειτουργία ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες.
- Στις πολύ υψηλές ταχύτητες υπάρχει περίπτωση αδυναμίας περιστροφής του άξονα και πολύ χαμηλή ροπή.
- Λόγω αυξημένης αδράνειας, όταν έχουμε μεγάλα φορτία μπορεί να μη σταματήσει έγκαιρα.

## 2.5 Οδήγηση Βηματικού Κινητήρα

### 2.5.1 Μονοπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα

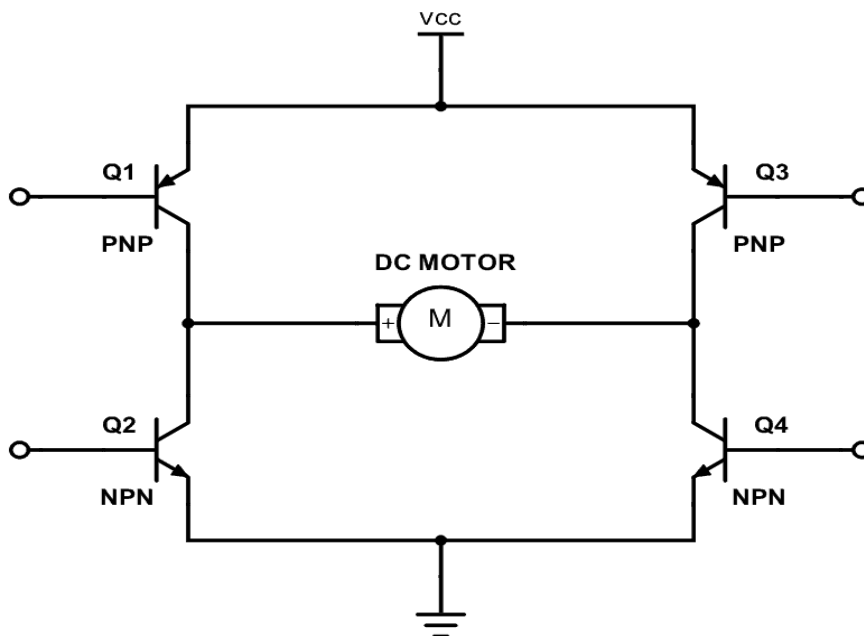
Παρακάτω παρουσιάζεται ένας οδηγός για μονοπολικό βηματικό κινητήρα. Με τον οδηγό αυτόν καταφέρνουμε να εναλλάσσουμε την πολικότητα της τάσης που εφαρμόζεται στα τυλίγματα με αποτέλεσμα την εναλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα.



*Εικ. 2.5.1.1 Μονοπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα*

### 2.5.2 Διπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα

Χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα Η bridge πραγματοποιούμε έλεγχο του κινητήρα. Για εναλλαγή της φοράς περιστροφής αρκεί να αλλάξει η φορά του ρεύματος και στις δύο φάσεις.



*Εικ. 2.5.2.1 Διπολικός Οδηγός Βηματικού Κινητήρα*

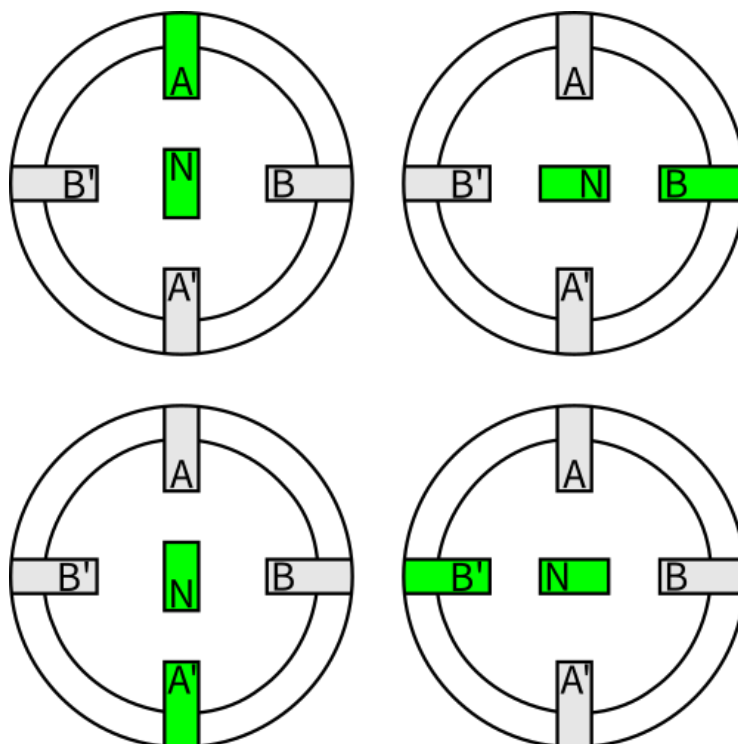
## 2.6 Τρόποι Βηματισμού Ενός Βηματικού Κινητήρα

### Full step, half step, microstepping

Ένας βηματικός κινητήρας μετατρέπει ηλεκτρικά σήματα σε μηχανική κίνηση κάθε φορά που όμως παλμός εφαρμόζεται στον κινητήρα. Παρατηρούνται όμως διαφορετικά φαινόμενα στον τρόπο που εμείς δίνουμε τον παλμό και έτσι έχουμε δημιουργήσει τρεις βασικές κατηγορίες λειτουργίας το full step, το half step και το microstep. Κάθε ένα είδος έχει διαφορετικό αποτέλεσμα στην απόδοση λειτουργίας και στην ροπή του κινητήρα.

Το **Full step**. Είναι το πιο απλό είδος λειτουργίας όπου λειτουργεί με **μια** μόνο φάση ενεργοποιημένη την φορά. Όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω, όταν δοθεί παλμός στον πόλο A (νότιο πόλο), τότε έλκει τον βόρειο πόλο του δρομέα. Έπειτα όταν δοθεί παλμός στον πόλο B του στάτη και παύει να δίνει στον A τότε ο ρότορας έλκεται από τον B και παράλληλα στρέφεται κατά γωνία  $90^\circ$ . Έτσι συνεχίζεται η διαδικασία ενεργοποιώντας έναν πόλο την φορά.

Η παραπάνω λειτουργία δεν χρησιμοποιείται συνήθως καθώς παράγει πολύ μικρή ροπή.

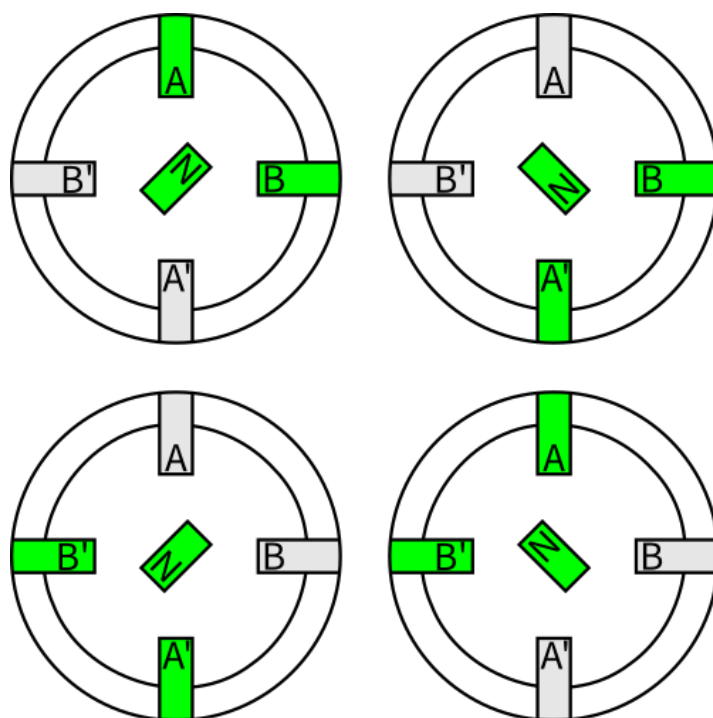


Εικ. 2.6.1 Full Step Λειτουργία

Επιπλέον η λειτουργία Full step έχει άλλη μια κατηγορία όπου αυτή τη φορά λειτουργούν **δύο** φάσεις την φορά. Όταν λοιπόν δοθεί παλμός στον A και στον B πόλο τότε ο βόρειος πόλος του δρομέα έλκεται ταυτόχρονα και από όμως δυο πόλους

με αποτέλεσμα να ευθυγραμμίζεται στην μέση αυτών. Και καθώς η διαδικασία συνεχίζεται παρατηρούμε τον ρότορα να ευθυγραμμίζεται πάντα ανάμεσα σε δυο πόλους.

Αυτή η λειτουργία είναι εξίσου αποτελεσματική με την πρώτη αλλά παράγει λίγο περισσότερη ροπή.



Εικ. 2.6.2 Full Step Λειτουργία Με Δυο Φάσεις

Στην **Half step** λειτουργία ο παλμός δίνεται είτε σε έναν πόλο είτε σε δυο πόλους. Η αρχή λειτουργίας έχει ως εξής: Αρχικά δίνεται παλμός στον A πόλο με αποτέλεσμα ο δρομέας να έλκεται από τον A, έπειτα δίνεται παλμός στον A και B άρα ο δρομέας ευθυγραμμίζεται όμως και στην πάνω περίπτωση στην μέση των δύο πόλων. Μετά ο παλμός πηγαίνει στον B πόλο κ.ο.κ..

Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά πιο αποτελεσματική και παράγει περισσότερη ροπή όμως έχει το μειονέκτημα ότι καθώς ο δρομέας στρέφεται μπορεί να προκαλέσει αρκετές δονήσεις.

Η τελευταία λειτουργία ονομάζεται **Microstepping** και με αυτήν επιτυγχάνουμε υποπολλαπλασιασμό του βήματος. Στόχος του Microstepping είναι να οδηγήσουμε τον κινητήρα μας με όσο το δυνατόν ομαλότερο τρόπο ειδικότερα σε πιο χαμηλή ταχύτητα. Ενώ στις άλλες λειτουργίες βλέπαμε ότι ο οδηγός έστελνε έναν παλμό κάθε φορά για να κινήσει τον κινητήρα, στην λειτουργία microstepping ο οδηγός στέλνει ένα μέρος του παλμού.

Εν κατακλείδι, η λειτουργία Microstepping έχει ως αποτέλεσμα την πιο ομαλή κίνηση του βηματικού με λιγότερες δηλαδή δονήσεις καθώς επίσης και μεγαλύτερη ροπή από τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

## 2.7 Επιλογή Βηματικού για την Εργαλειομηχανή

Στο σύστημα μας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διπολικί κινητήρες NEMA 17 οι οποίοι έχουν τα παρακάτω ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά:

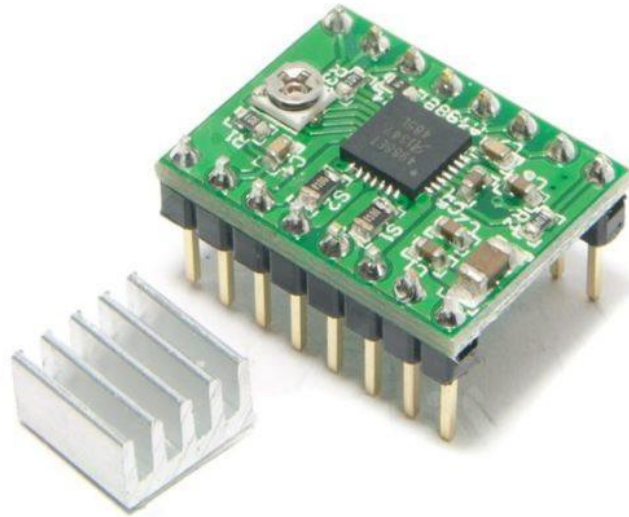
### Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά:

Γωνία βήματος	1.8°
Τάση λειτουργίας	3.6 V
Ρεύμα ανά φάση	1.2 A/φάση
Ροπή συγκράτησης	48 N*cm
Αντίσταση τυλίγματος	3.2 Ω/φάση
Επαγωγή ανά φάση	5 mH/φάση

### Μηχανικά Χαρακτηριστικά:

Διαστάσεις	42mm x 42mm x 47mm
Βάρος	380g
Διάμετρος άξονα	5mm
Μήκος άξονα	18mm

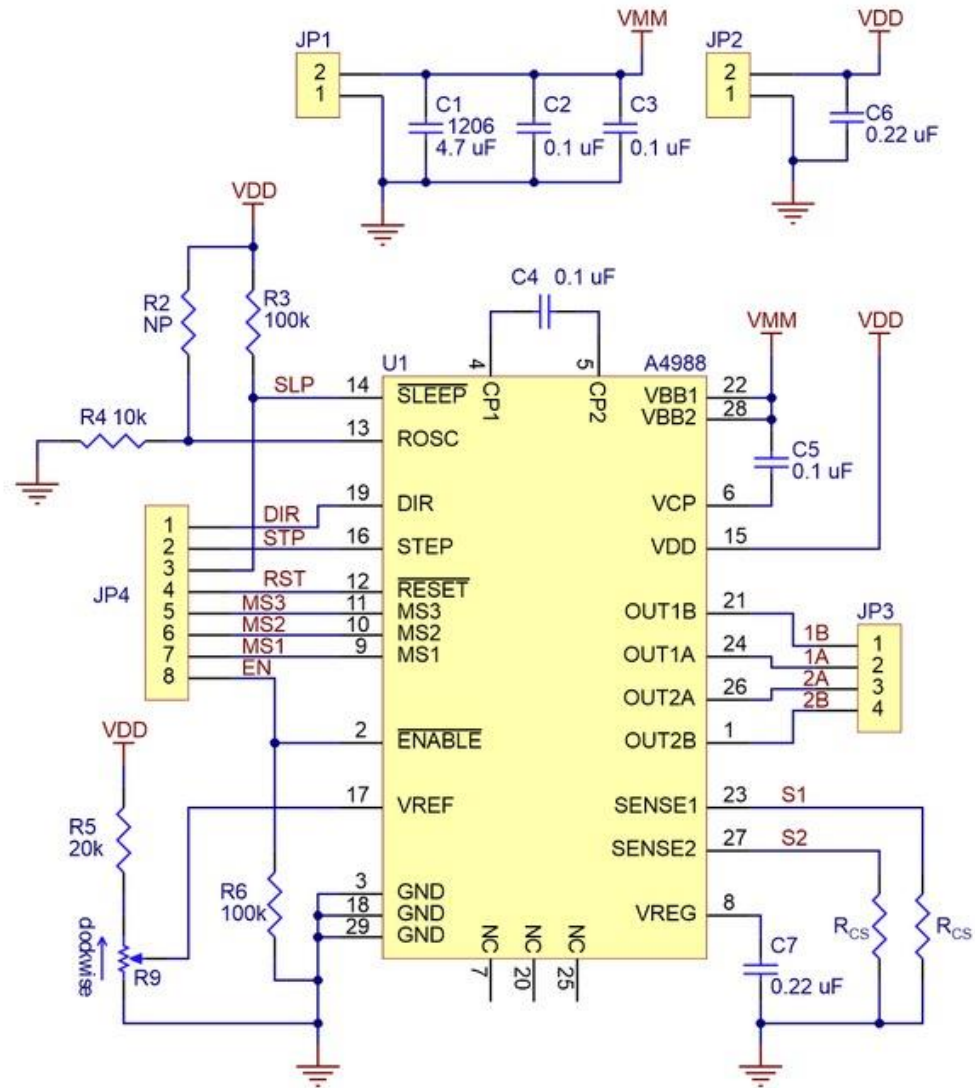
## 2.8 Οδηγός Βηματικού Κινητήρα A4988



*Εικ. 2.8.1 Οδηγός Βηματικού Κινητήρα A4988*

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα οδήγησης διπολικού βηματικού κινητήρα με περιοχή τάσης από 8 έως 35 Volt και ρεύματος έως 2 Ampere. Έχει ενσωματωμένο πάνω του μεταφραστή για πιο εύκολο χειρισμό, έτσι όταν εμείς δώσουμε έναν παλμό στην είσοδο τότε ο κινητήρας θα κινηθεί κατά ένα βήμα. Επιπλέον διαθέτει σύστημα υπερθέρμανσης και μπορούμε να ρυθμίσουμε, ανάλογα με την σύνδεση που θα υλοποιήσουμε, το βήμα που επιθυμούμε να δοθεί στον βηματικό κινητήρα.



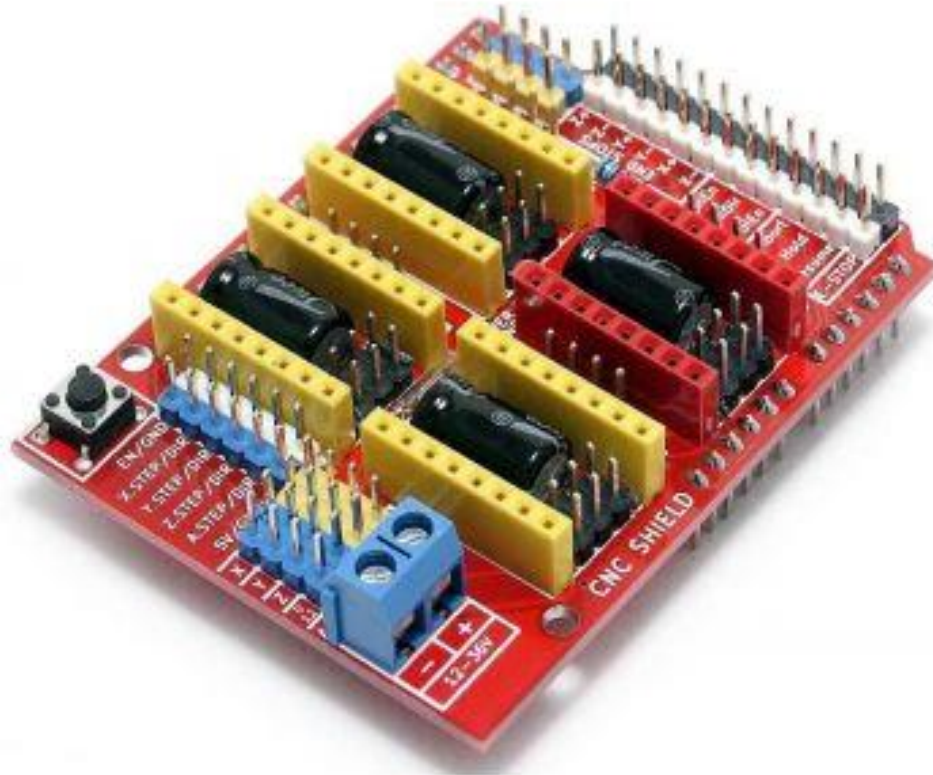


$R_{cs}$  is  $50m\Omega$  for units with green resistors and  $68m\Omega$  for units with white resistors

Εικ. 2.8.2 Μπλόκ Διάγραμμα Του Οδηγου

MS1	MS2	MS3	Microstep Per Resolution
0	0	0	Full step
1	0	0	Half step
0	1	0	Quarter step
1	1	0	Eighth step
1	1	1	Sixteenth step

## 2.9 Πλακέτα επέκτασης CNC Shield



*Εικ. 2.9.1 Πλακέτα Επέκτασης CNC Shield*

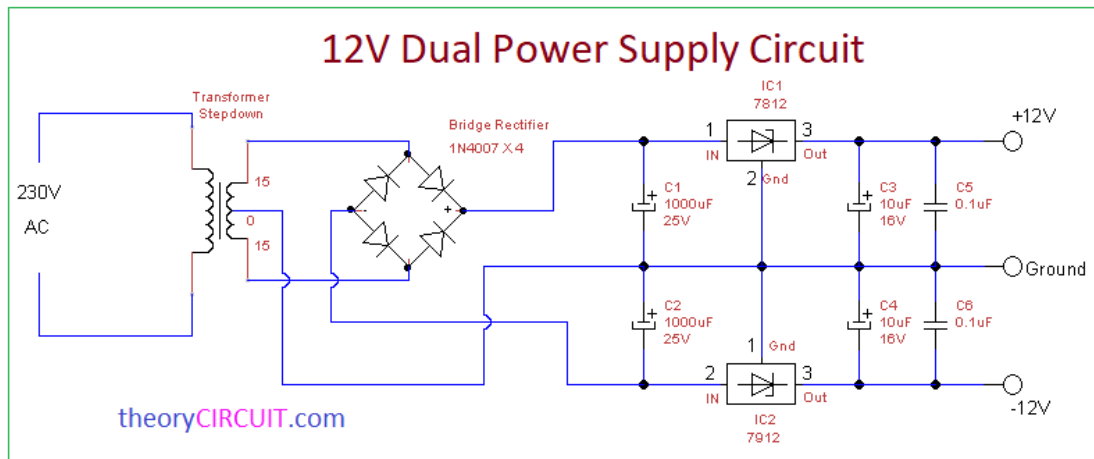
Καθώς η σύνδεση των οδηγών με την πλακέτα του Arduino απαιτεί πάρα πολλά καλώδια και πολλές συνδέσεις, γίνεται απαραίτητη η επιλογή της παραπάνω πλακέτας επέκτασης. Επιπροσθέτως μέσω της παραπάνω πλακέτας μας δίνεται η δυνατότητα να τοποθετήσουμε πάνω στο σύστημα μας επιπλέον εξαρτήματα όπως τερματικούς διακόπτες, κουμπί επανεκκίνησης, λυχνίες προειδοποίησης καθώς επίσης μας δίνεται η δυνατότητα κλωνοποίησης ενός από τους τρεις άξονες κάτι που πραγματοποιήθηκε στην περίπτωση μας.

## 2.10 Τροφοδοσία



*Εικ. 2.10.1 Τροφοδοτικό*

Για την τροφοδοσία του μηχανήματος χρησιμοποιήθηκε ένα τυπικό τροφοδοτικό το οποίο είναι ικανό να μετατρέψει την εναλλασσόμενη τάση των 230 Volt σε 12 Volt συνεχές. Οι τάσεις εξόδου είναι 3x12 Volt συνεχές ρεύματος και μπορεί να φτάσει μέχρι τα 20 Ampere και 240 Watt. Επιπλέον το τροφοδοτικό έχει ένα μικρό ανεμιστηράκι το οποίο προστατεύει από τυχόν υπερθερμάνσεις.



Εικ. 2.10.2 Χονδρικό Διάγραμμα τροφοδοτικού

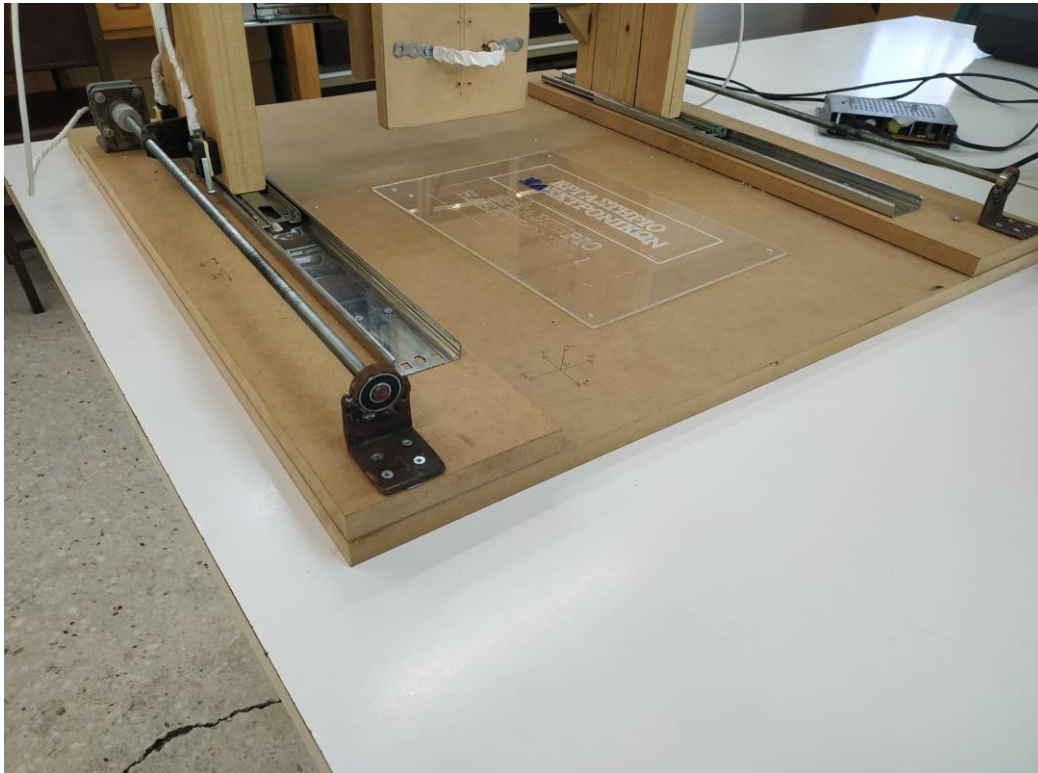
Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα ενός τροφοδοτικού όμοιου με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στη δική μας περίπτωση. Αποτελείται από έναν μετασχηματιστή ο οποίος μετατρέπει την τάση δικτύου από 230 V σε 15 V έπειτα περνάει από μια ανορθωτική γέφυρα από όπου προκύπτει μια συνεχή τάση. Περνώντας από ένα σύστημα σταθεροποίησης τάσης με την βοήθεια πυκνωτών και διακοπών καταλήγει στους ακροδέκτες μια τέλεια συνεχή τάση των 12 V.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

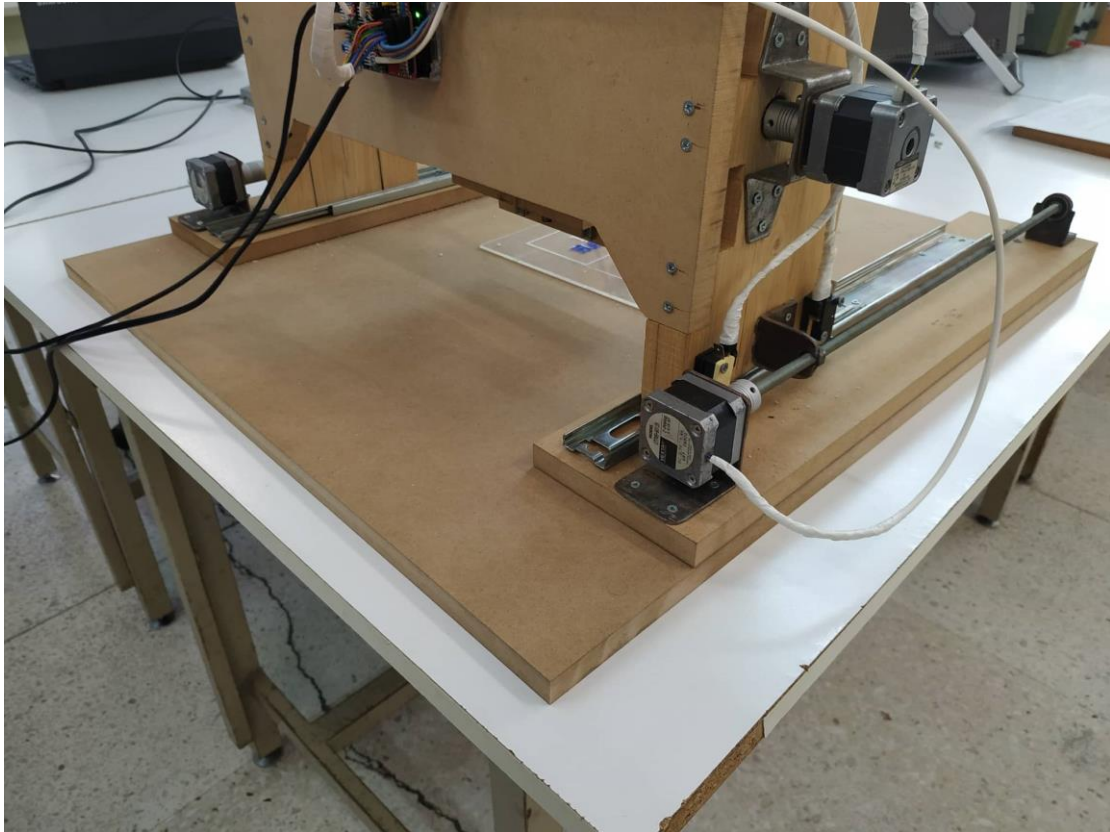
### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Τα περισσότερα εξαρτήματα είναι χειροποίητα και κάποια από αυτά τα έχουμε προμηθευτεί από το διαδίκτυο. Παρακάτω αναλύονται το καθένα από αυτά και εξηγείται η χρησιμότητα αυτών στο CNC μηχάνημα.

#### 3.1 Άξονας x



Εικ. 3.1.1



Εικ. 3.1.2

### 3.1.1 Γραμμικοί Οδηγοί Αξόνων



*Εικ. 3.1.1.1 Γραμμικοί Οδηγοί Βαρείου Τύπου*

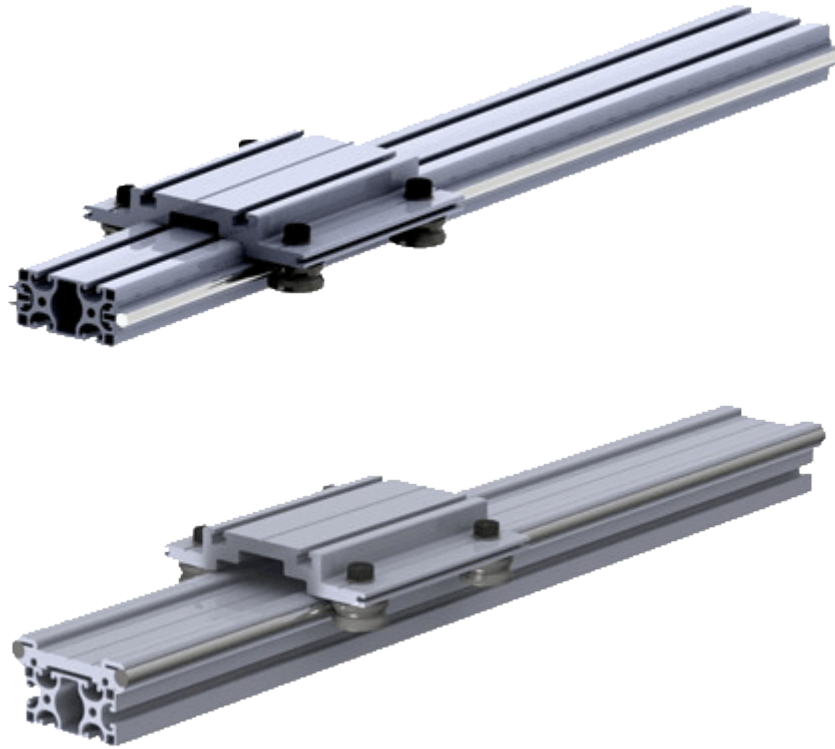
Οι παραπάνω βάσεις οι οποίες είναι οδηγοί για συρτάρια βαρείου τύπου, αφού τροποποιήθηκαν για να γίνουν πιο σταθερές και να μην έχουν κενά χρησιμοποιήθηκαν για την ομαλή κίνηση του άξονα πάνω στην βάση με πολύ καλή

ακρίβεια θέσης και μηδαμινή ελαστικότητα. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε οι οδηγοί έχουν χρησιμοποιηθεί σε όλους τους άξονες.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται διάφοροι τύποι γραμμικών οδηγών που χρησιμοποιούνται σε μια εργαλειομηχανή.



*Εικ. 3.1.1.2 Γραμμικοί Οδηγοί με Σφαιρίδια*



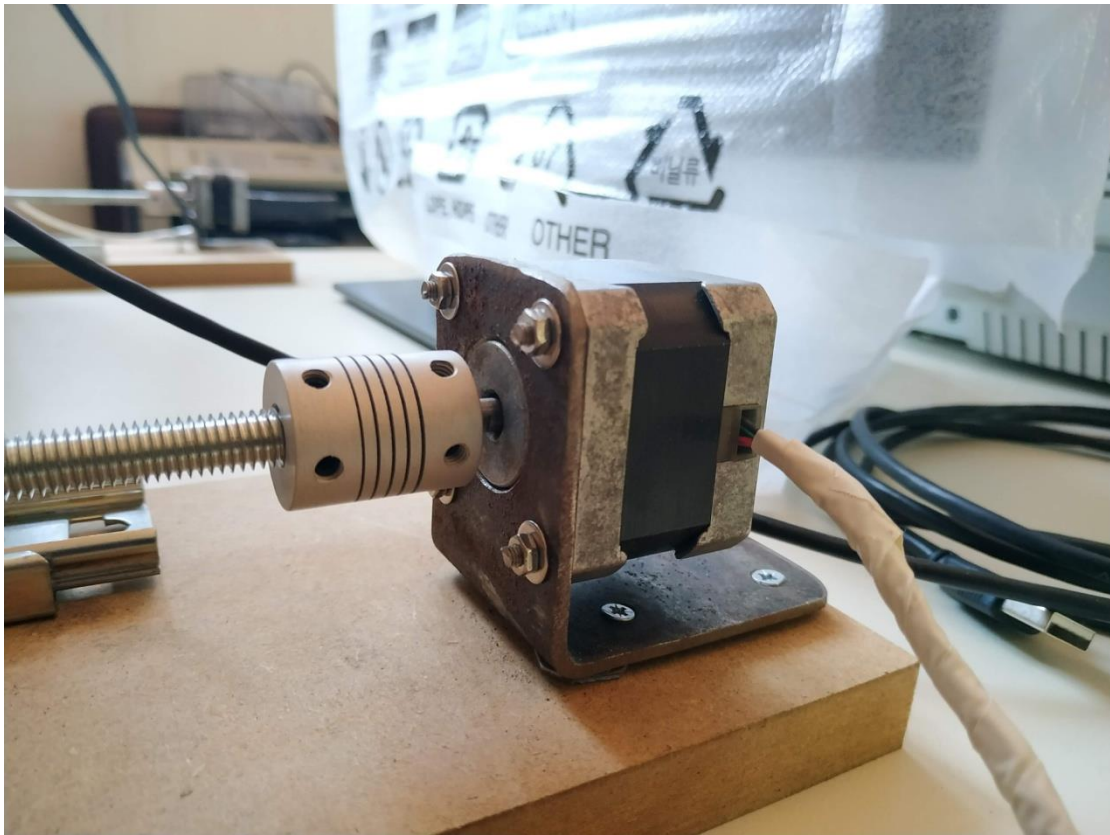
*Εικ. 3.1.1.3 Γραμμικοί Οδηγοί Αλουμινίου*



*Εικ. 3.1.1.4 Γραμμικοί Οδηγοί Τύπου “Ω”*



### 3.1.2 Βάσεις στήριξης βηματικών κινητήρων



*Εικ. 3.1.2.1 Βάση Στήριξης Βηματικού Κινητήρα*

Είναι μια απλή κατασκευή ενός σίδερου με γωνία 90° με τρύπες σε τέτοια θέση που να επιτρέπουν την ασφάλιση του βηματικού κινητήρα με τον αντίστοιχο άξονα.

### 3.1.3 Σύνδεσμοι αξόνων (Couplers)



*Εικ. 3.1.3.1 Σύνδεσμος Αξόνων*

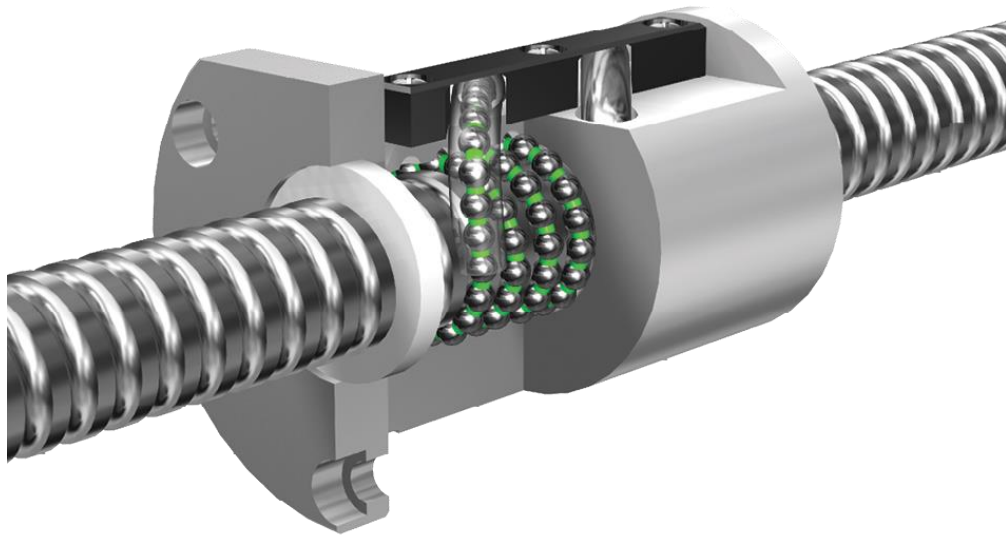
Με το παραπάνω εξάρτημα επιτυγχάνουμε την σύνδεση των βηματικών κινητήρων με τον αντίστοιχο κοχλία. Πρόκειται για μια κατασκευή κατεργασμένου αλουμινίου με σπειροειδή κοπή που την καθιστά ελαφρώς εύκαμπτη και έτσι μπορεί να συνδέσει το μοτέρ με τον κοχλία ακόμα και αν δεν είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένα μεταξύ τους. Ο σύνδεσμος στην μια άκρη έχει τρύπα διαμέτρου 5 χιλιοστών, ώστε να εφαρμόσει ο κινητήρας και στην άλλη άκρη τρύπα διαμέτρου 8 χιλιοστών όπως δηλαδή έχει και ο κοχλίας. Τέλος, υπάρχουν τέσσερις μικρές βίδες που μας επιτρέπουν σφίγγοντας τις να ασφαλίσουμε το μοτέρ και τον κοχλία.

### 3.1.4 Κοχλίας και περικόχλιο



*Εικ. 3.1.4.1 Κοχλίας Με Περικόχλιο*

Ο κοχλίας είναι μια ντίζα με διάμετρο 8 χιλιοστών την οποία συνδέουμε στον βηματικό κινητήρα και στο περικόχλιο. Σκοπός της κατασκευής είναι η μετάδοση της κίνησης στα επιμέρους κινητά τμήματα μίας εφαρμογής Όσον αφορά το περικόχλιο αποτελείται από ένα παξιμάδι κολλημένο πάνω σε μια βάση η οποία είναι βιδωμένη πάνω στις ‘κολώνες’ του άξονα  $y$  στην προκειμένη περίπτωση. Υπάρχουν δύο τύποι κοχλιών που φαίνονται και παρακάτω. Ο πρώτος είναι πιο ακριβής με μηδαμινές ανοχές καθώς χρησιμοποιεί περικόχλιο επανακυκλοφορούντων σφαιριδίων. Ο δεύτερος χρησιμοποιεί περικόχλιο με ένα απλό παξιμάδι από μπρούτζο. Όπως γίνεται κατανοητό ο δεύτερος τύπος είναι πιο οικονομικός αλλά έχει μεγαλύτερες ανοχές και μικρότερη ακρίβεια.



Εικ. 3.1.4.2 Περικόγλιο Επανακυκλοφορούντων Σφαιριδίων

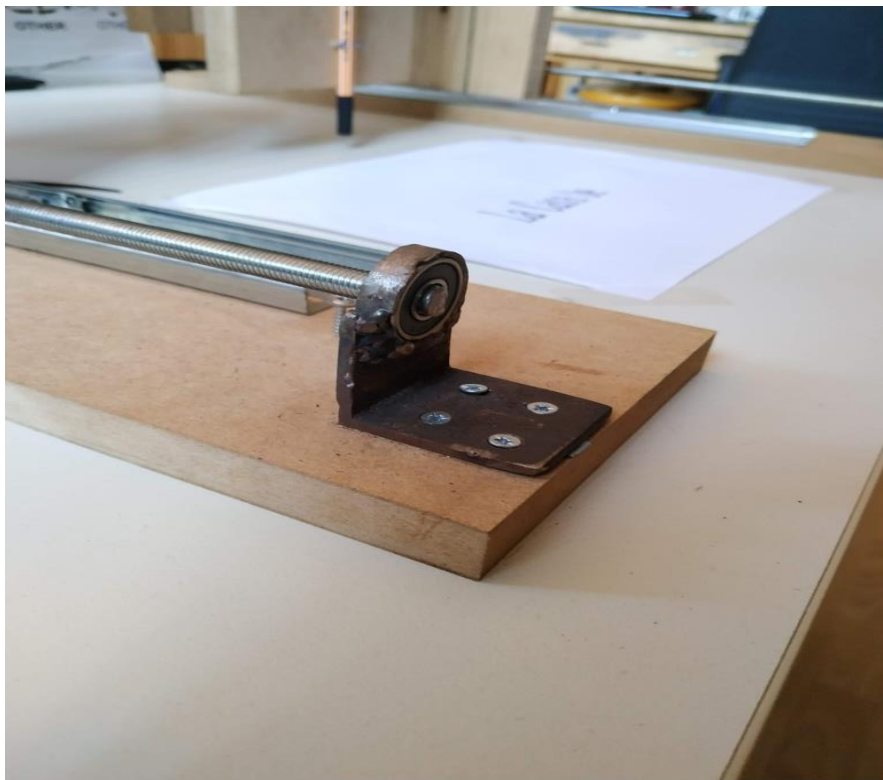


Εικ. 3.1.4.3 Μπούτζινο Περικόγλιο

### 3.1.5 Υπολογισμός Βήματος Κοχλία

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή κίνηση του μηχανήματος είναι ο υπολογισμός του βήματος του κοχλία δηλαδή πόσα εκατοστά κινείται ο άξονας σε μια περιστροφή του βηματικού κινητήρα. Υπολογίζοντας αυτή τη παράμετρο καταφέρνουμε να κάνουμε πιο ακριβή την κίνηση πάνω στους άξονες. Η διαδικασία που ακολούθησε είναι η εξής: χρησιμοποιώντας ένα μιλιμετρέ χαρτί δίνουμε στο μηχάνημα εντολή να κινηθεί κατά μια πλήρης περιστροφή του βηματικού και υπολογίζουμε πάνω στο μιλιμετρέ πόσα χιλιοστά μετακινήθηκε. Σε παρακάτω ενότητα θα εμβαθύνουμε περισσότερο σε αυτή τη σημαντική παράμετρο.

### 3.1.6 Τερματική βάση με ρουλεμάν



*Εικ. 3.1.6.1 Τερματική Βάση Με Ρουλεμάν*

Η θέση πάνω στο μηχάνημα αυτού του εξαρτήματος φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Η σιδερένια κατασκευή είναι παρόμοια με αυτή της βάσης του κινητήρα με την διαφορά ότι στο κέντρο του υπάρχει συγκολλημένο ένα δαχτυλίδι κατάλληλης διαμέτρου ώστε να χωράει ένα ρουλεμάν με εσωτερική διάμετρο οκτώ χιλιοστών, όσων δηλαδή και αυτών του κοχλία. Υπάρχει στο τέρμα κάθε κοχλία και επιτρέπει την σταθεροποίηση του κοχλία για να μπορεί να κινηθεί με ασφάλεια το περικόχλιο.

### 3.1.7 Τερματικοί Διακόπτες

Για να κινείται το μηχάνημα μέσα σε ασφαλή όρια έχουν τοποθετηθεί τερματικοί διακόπτες στην αρχή και στο τέλος κάθε άξονα. Έτσι όταν πατηθεί ο διακοπής παύει να λειτουργεί η οποιαδήποτε κίνηση του μηχανήματος και μέσα στο πρόγραμμα μας εμφανίζει error. Για να επανέλθει η λειτουργία στο κανονικό θα πρέπει να γίνει επανεκκίνηση στο πρόγραμμα καθώς και να μετακινήσουμε το μηχάνημα μακριά από τα όρια του τερματικού διακόπτη.



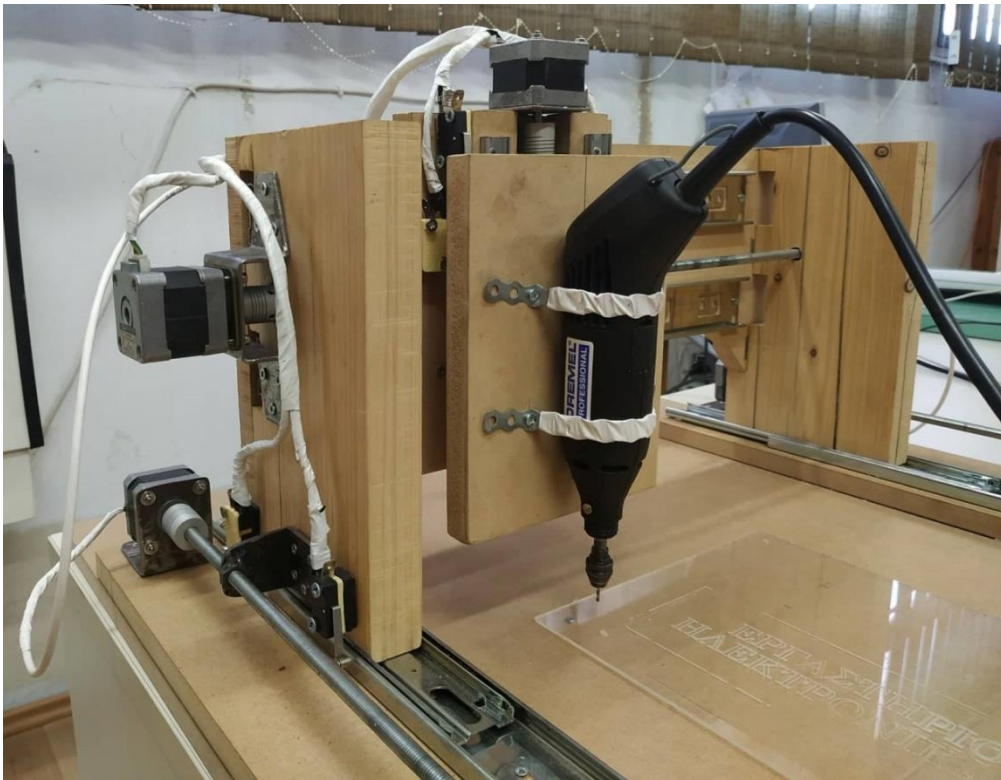
*Εικ. 3.1.7.1 Τερματικός Διακόπτης*

Στον διακόπτη υπάρχουν τρεις επαφές, μια κοινή (COM), μια για σύνδεση normally open (NO) και τέλος άλλη μια για σύνδεση normally close (NC). Έτσι για να συνδεθεί πάνω στην πλακέτα επέκτασης του κάθε άξονα χρησιμοποιούμε το COM και την σύνδεση NO.

### 3.2 Άξονας y



*Εικ.3.2.1 Ολοκληρωμένο Σύστημα Άξονα Y*



*Εικ.3.2.1 Ολοκληρωμένο Σύστημα Άξονα Y*

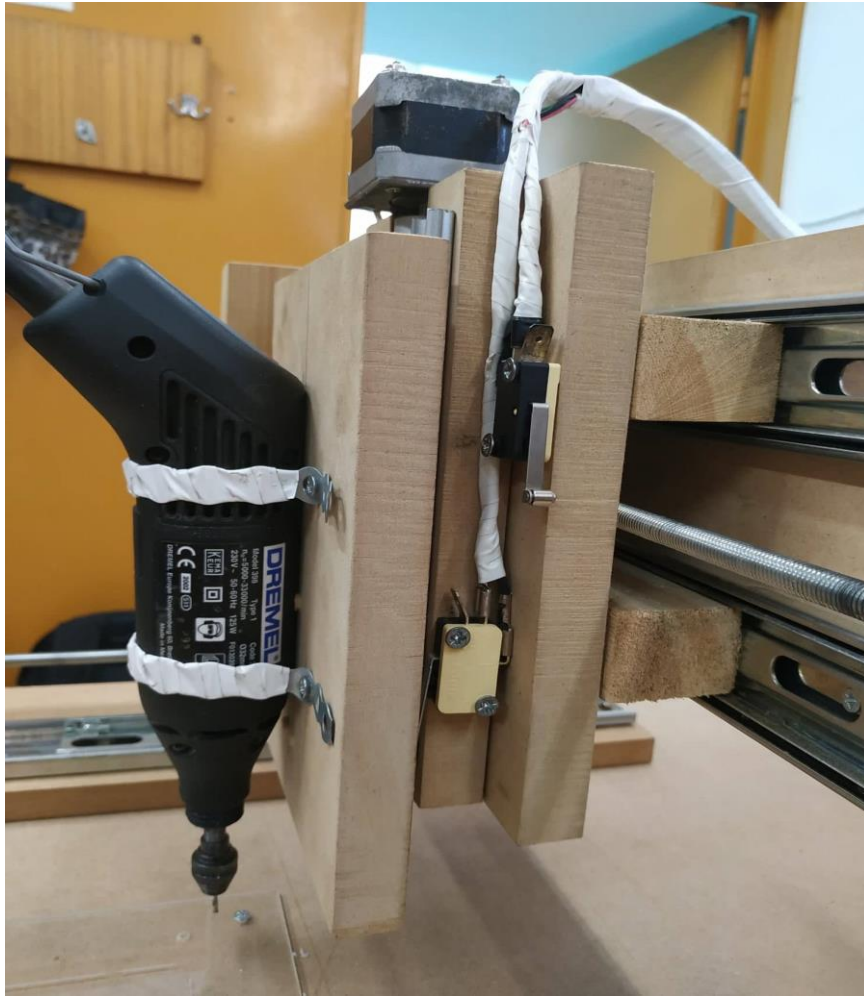
Απαραίτητη προϋπόθεση για την κίνηση του μηχανήματος είναι ο άξονας  $y$ , ο οποίος είναι παρόμοιος λογικής με αυτής του άξονα  $x$  με την διαφορά ότι αλλάζει η φορά κίνησης. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε υπάρχουν πάλι οδηγοί όπως και κοχλίας μαζί με περικόχλιο. Επιπλέον για την στήριξη του κινητήρα έχει τροποποιηθεί χειροκίνητα μια λάμα πάχους // χιλιοστών και έχει τρυπηθεί στις κατάλληλες θέσεις. Στην άλλη άκρη του κοχλίας έχει γίνει μια τρύπα στο ξύλο και έχει εφαρμοστεί το ρουλεμάν μέσα σε αυτήν.



### 3.3 Άξονας z



*Εικ. 3.3.1 Ολοκληρωμένο σύστημα Άξονα Z Μαζί Με Κινητήρα Ατράκτου Κοπής*



*Εικ. 3.3.2 Ολοκληρωμένο σύστημα Άξονα Z Μαζί Με Κινητήρα Ατράκτου Κοπής*

Η χρησιμότητα του παραπάνω άξονα είναι για την μετακίνηση του κοπτικού μηχανήματος προς τα πάνω και προς τα κάτω. Υπάρχουν πάλι οδηγοί αλλά αυτή τη φορά μικρότερων διαστάσεων. Απαραίτητη είναι η βάση στήριξης του βηματικού κινητήρα καθώς και του περικοχλίου.

### 3.3.1 Ηλεκτρικός Κινητήρας Ατράκτου Κοπής

Για να επιτευχθεί χάραξη χρησιμοποιήθηκε το Dremel 398, το οποίο αποτελείται από ένα μικρό αλλά ισχυρό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Είναι εξοπλισμένο με ρυθμιστή στροφών ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει την ταχύτητα περιστροφής από 5.000 έως 33.000 στροφές το λεπτό (rpm) . Επιπλέον με το σύστημα ανατροφοδότησης “soft start” επιτυγχάνεται η μείωση τυχόν πιέσεων που μπορούν να δημιουργηθούν από την υψηλή ροπή και η σταθεροποίηση της προεπιλεγμένης ταχύτητας περιστροφής μεταξύ συνθηκών φορτίου.

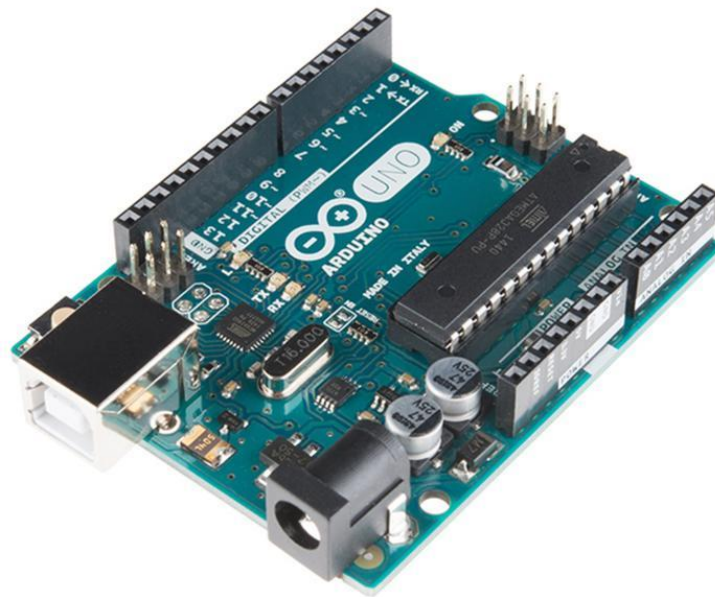


*Εικ. 3.3.1.1 Dremel 398*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

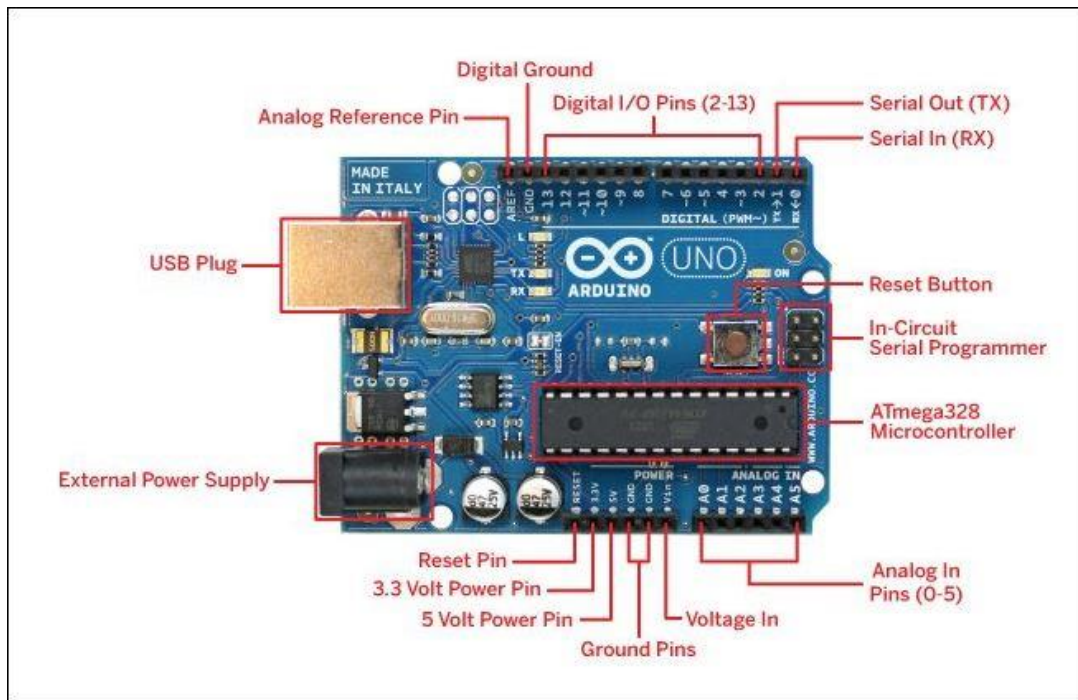
### ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ Η/Υ

#### 4.1 Arduino



*Εικ. 4.1.1 Μικροεπεξεργαστής Arduino Uno*

Το Arduino Uno είναι ένας μικροελεγκτής ανοικτού κώδικα που βασίζεται στον μικροελεγκτή Microchip ATmega328P και αναπτύχθηκε από την Arduino.cc. Η πλακέτα είναι εξοπλισμένη με μια σειρά ψηφιακών και αναλογικών εισόδων και εξόδων όπου μας δίνουν την δυνατότητα σύνδεσης με διάφορες πλακέτες επέκτασης αλλά και διάφορα όργανα όπως αισθητήρια θερμοτήτας, κάμερες, ανιχνευτές κίνησης κ.π.α.. Μέσω ενός καλωδίου USB τύπου B μπορούμε να συνδέσουμε το Arduino με τον υπολογιστή και αφού έχουμε εγκαταστήσει το Arduino IDE μπορούμε να προγραμματίσουμε την πλακέτα μας ανάλογα με την εργασία που θέλουμε να κάνουμε. Επιπλέον μας δίνεται η δυνατότητα τροφοδοσίας της πλακέτας μέσω του καλωδίου USB ή μέσω μιας εξωτερικής μπαταρίας ή με ένα τροφοδοτικό με έξοδο από 7 έως 20 volt συνδεδεμένη στη θύρα τύπου EIAJ.



Εικ. 4.1.2 Διάγραμμα Μικροεπεξεργαστή Arduino Uno

Παρακάτω εξηγούνται πιο αναλυτικά οι ακίδες που υπάρχουν πάνω στην πλακέτα του Arduino.

A0-A5: Αναλογικές εισόδους με τάση λειτουργίας 5V.

2-13: Ψηφιακές εισόδους-εξόδους, από αυτές οι 3,5,6,9,11 είναι 8-bit PWM έξοδοι.

RX-TX: Χρησιμοποιούνται για την παραλαβή και μετάδοση TTL σημάτων.

AREF (analog reference voltage): Μας παρέχει μια τάση αναφοράς για αναλογικές εισόδους.

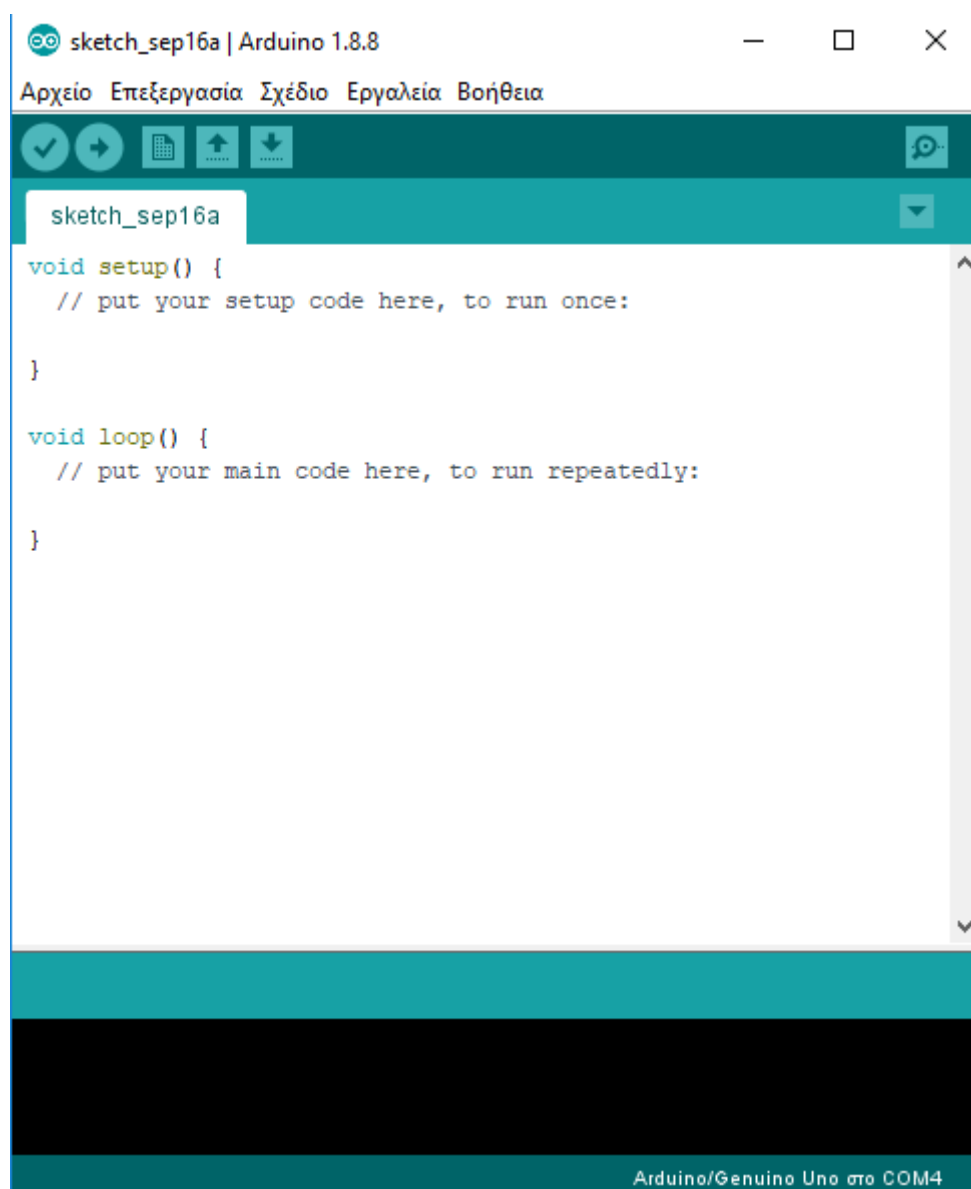
RESET: Χρησιμοποιείται για να επανεκκινήσει τον μικροεπεξεργαστή.

Vin: Τάση εισόδου στο Arduino όταν χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

Εκτός από τις παραπάνω εισόδους-εξόδους, στο Arduino υπάρχουν τρεις ακίδες που χρησιμοποιούνται για γείωση από τις οποίες η μια χρησιμοποιείται σε ψηφιακές εφαρμογές, μια τάση τροφοδοσίας έως 5V και άλλη μια έως 3,3V.

## 4.2 Arduino IDE

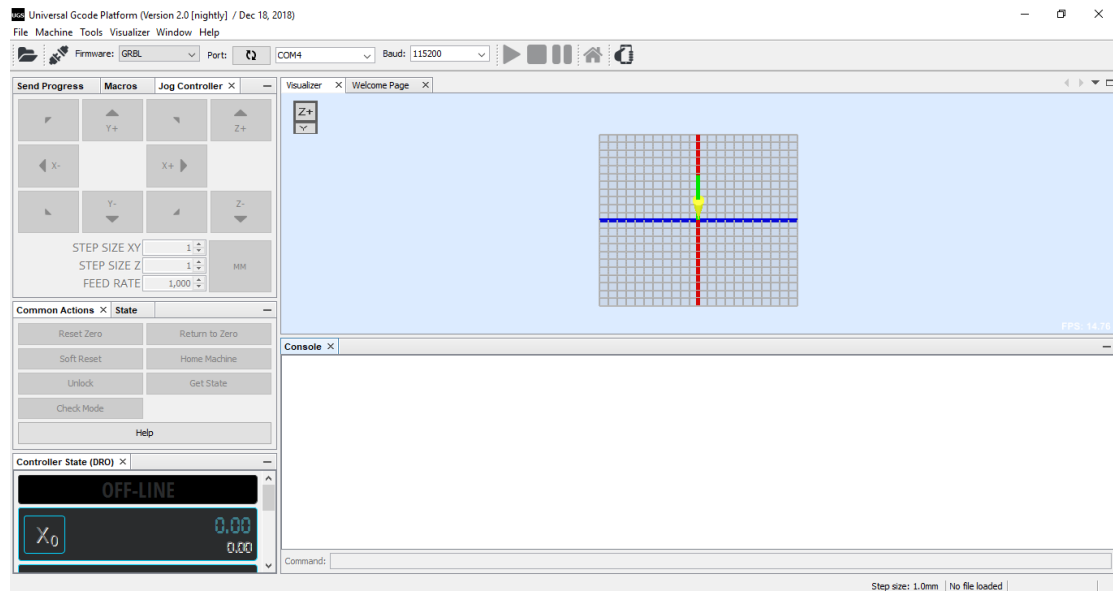
Είναι το πρόγραμμα το οποίο μας προσφέρει η εταιρία για να μπορέσουμε να συγγράφουμε και να ανεβάζουμε τελικά τον κώδικα στην πλακέτα του Arduino. Το πρόγραμμα υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++ χρησιμοποιώντας όμως μερικούς κανόνες για την κωδικοποίηση. Το Arduino IDE πέρα από την συγγραφή ενός κώδικα, μας δίνει την δυνατότητα να φορτώσουμε και άλλους κώδικες που έχουν γράψει άλλοι χρήστες και να τους επεξεργαστούμε ανάλογα με την εργασία που εμείς επιθυμούμε να εκτελέσουμε.



Εικ. 4.2.1 Περιβάλλον Arduino IDE

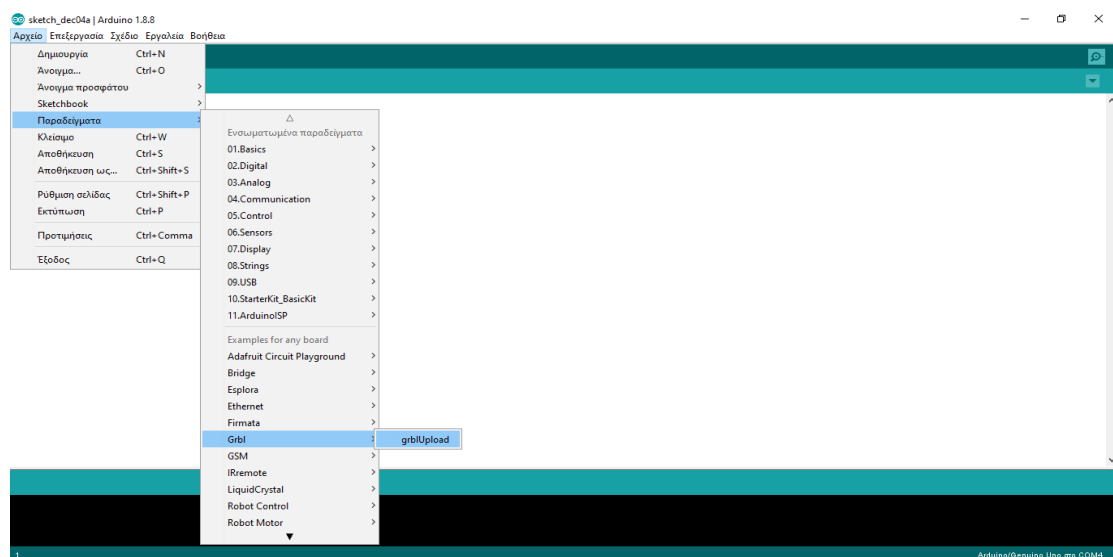
## 4.3 UGS Platform

Το UGS Platform (Universal G-code Sender Platform) είναι μια πλατφόρμα η οποία μας βοηθάει να ελέγχουμε διαδραστικά το μηχάνημα, να φορτώνουμε το σχέδιο που θέλουμε να υλοποιήσουμε, να ορίζουμε το zero point της εργαλειομηχανής κ.α.. Είναι ένα νέο πρόγραμμα χτισμένο πάνω στην πλατφόρμα Netbeans η οποία κάνει τον έλεγχο του μηχανήματος ευκολότερο.



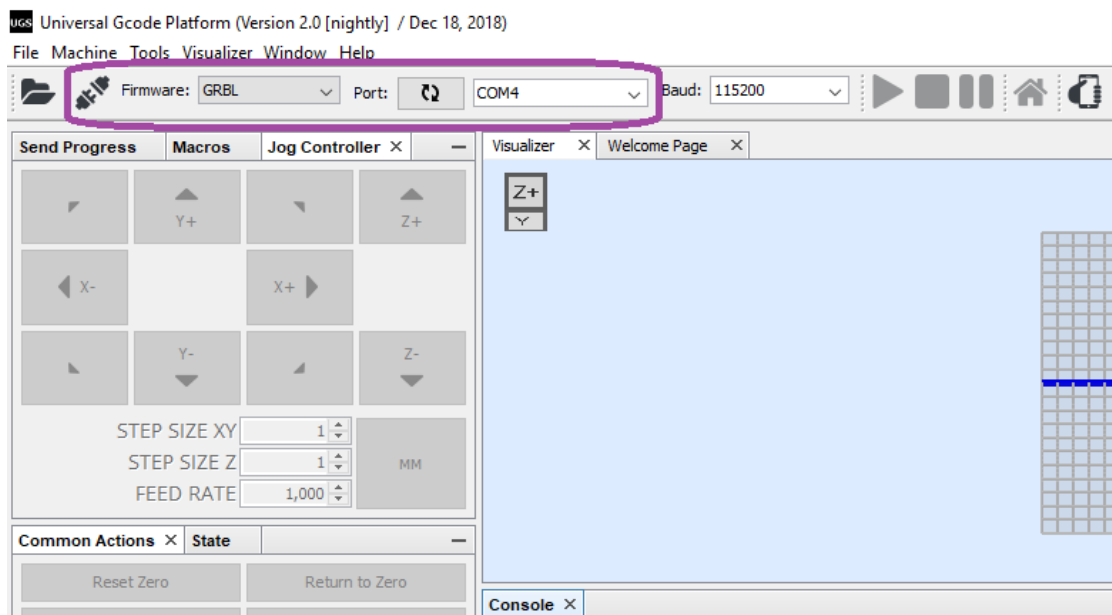
Εικ. 4.3.1 Περιβάλλον του Ugs Platform

Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσει η πλατφόρμα να συνδεθεί με το Arduino είναι το ανέβασμα της βιβλιοθήκης grbl. Έτσι, μπαίνοντας πρώτα στο σάιτ του github, βρίσκουμε την βιβλιοθήκη του grbl και την κατεβάζουμε στον υπολογιστή μας και έπειτα την ανεβάζουμε από το Arduino IDE στο Arduino.



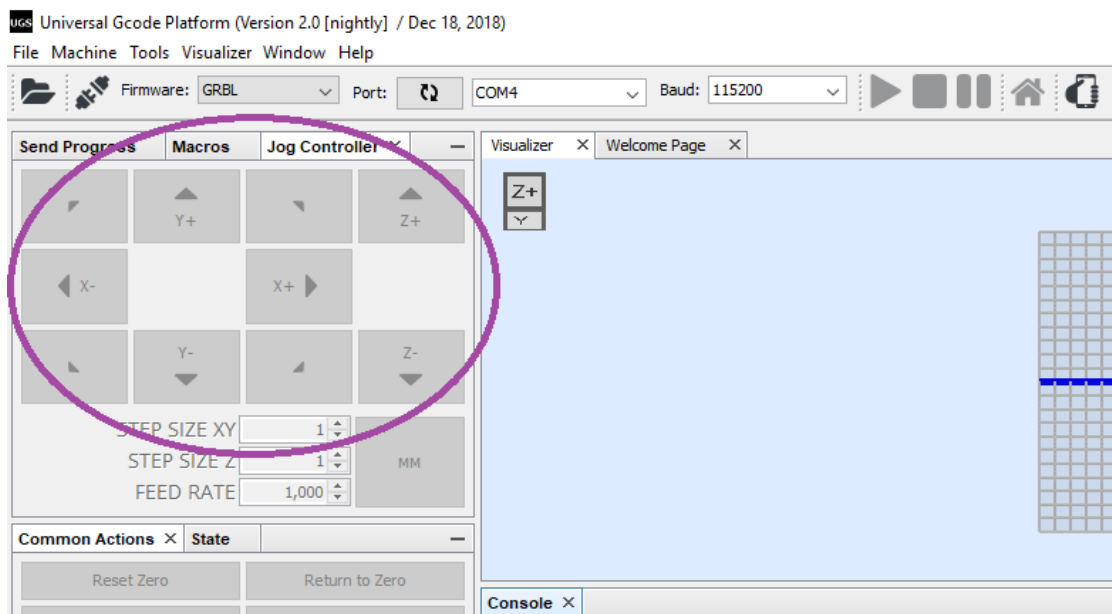
Εικ. 4.3.2 Grbl Upload

Αφού λοιπόν γίνει η εγκατάσταση του UGS Platform στον υπολογιστή και αφού ανεβάσουμε την βιβλιοθήκη του grbl, έπειτα τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα εξής:



Εικ. 4.3.3

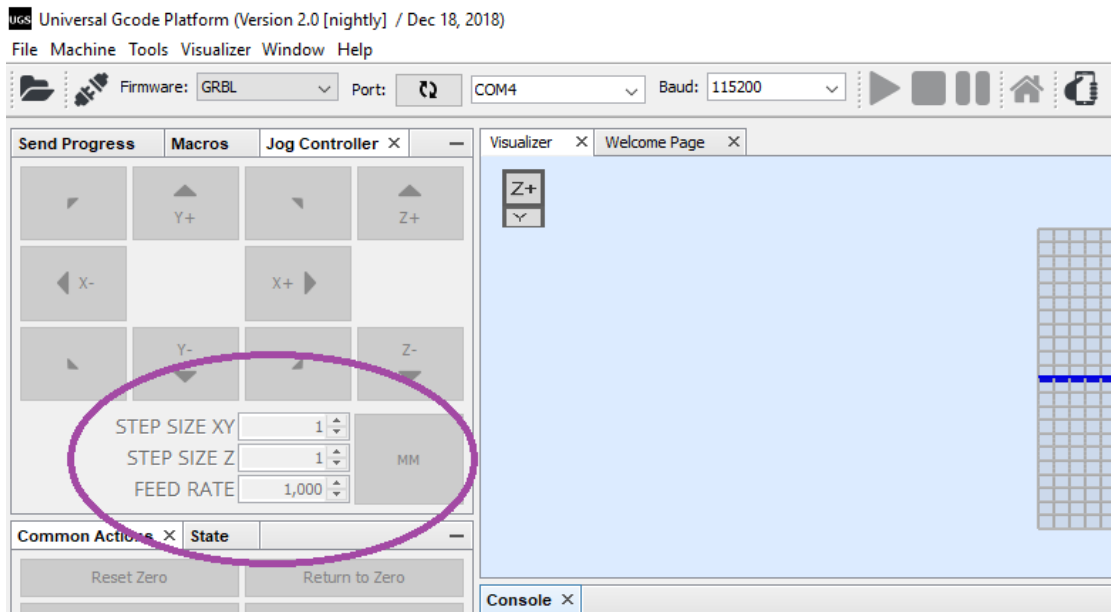
Επιλέγουμε σε ποια θύρα είναι συνδεδεμένο το Arduino και πατάμε το εικονίδιο σύνδεσης που φαίνεται αριστερά για να συνδεθούμε με αυτό.



Εικ. 4.3.4

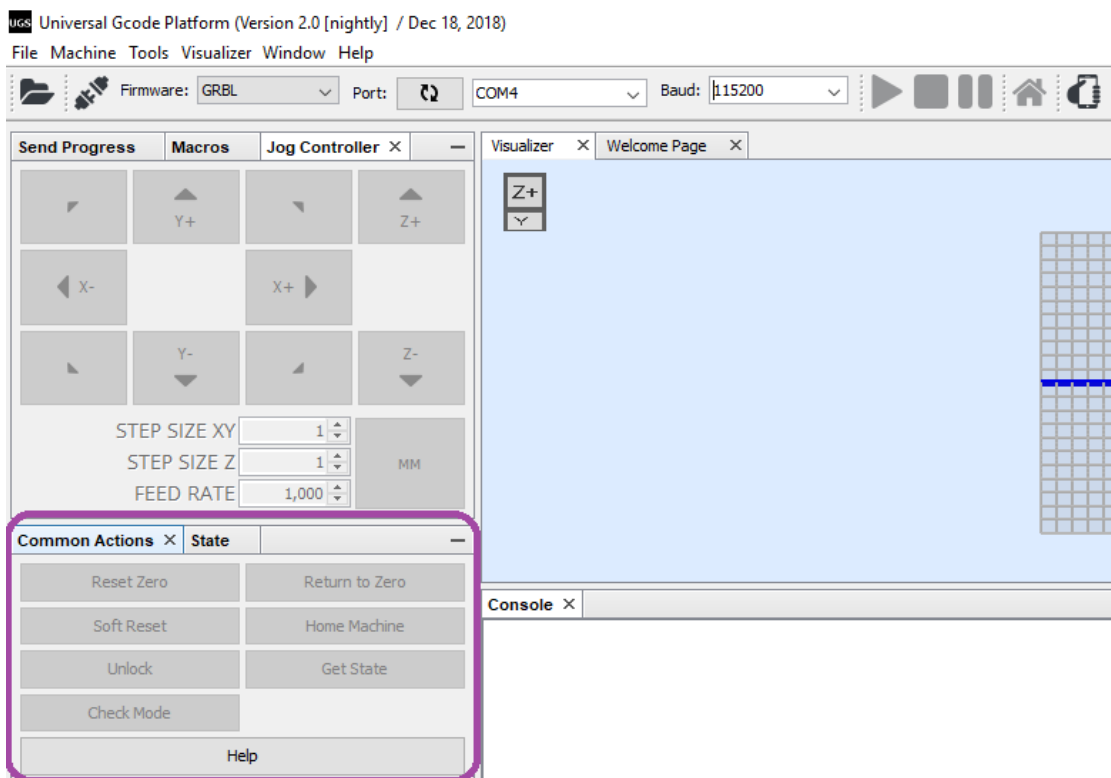
Με τα πλήκτρα που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, μας δίνεται η δυνατότητα να ελέγξουμε χειροκίνητα το μηχάνημα.





Εικ. 4.3.5

Μπορούμε επίσης να αλλάξουμε το μήκος του κάθε βήματος που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε αλλάζοντας το step size. Με το feed rate μπορούμε να αλλάξουμε την ταχύτητα των βημάτων.



Εικ. 4.3.6

**Reset Zero:** Πιέζοντάς το, μπορούμε να θέσουμε το συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται αυτή τη στιγμή η ακίδα ως το αρχικό σημείο.

**Return to Zero:** Αν έχει μετακινηθεί το μηχάνημα μπορούμε να το επαναφέρουμε στο αρχικό σημείο πιέζοντας το πλήκτρο Return to Zero.

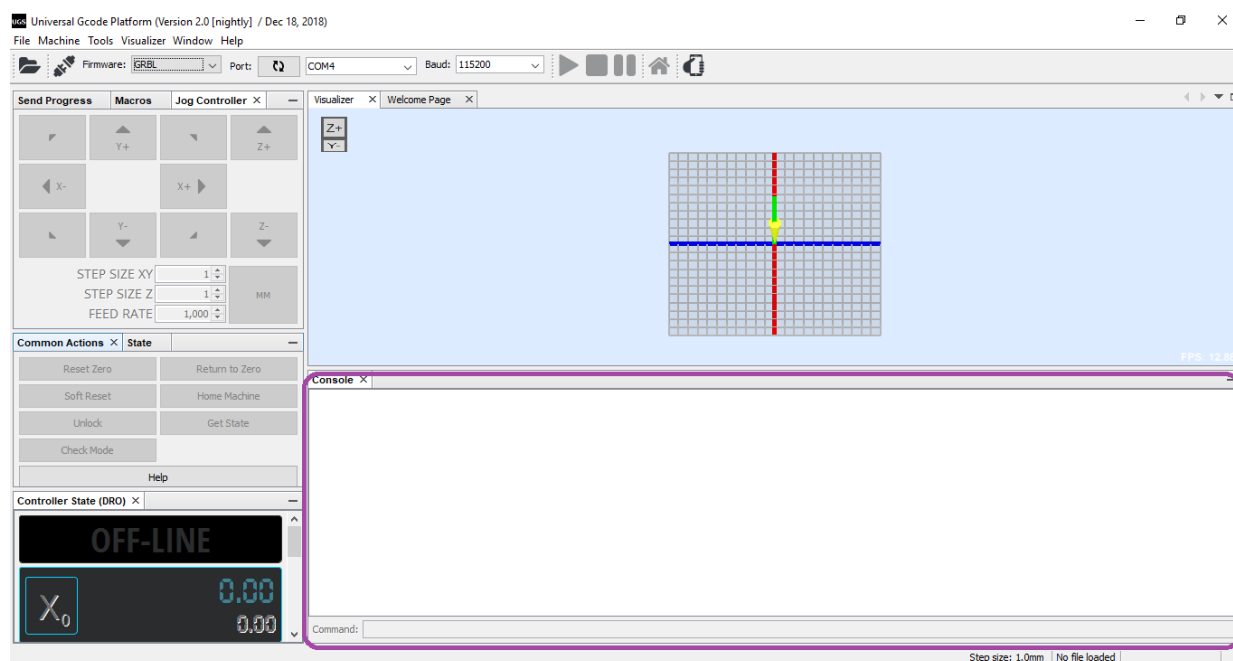
**Soft Reset:** Επανεκκινεί την κατάσταση του ελεγκτή χωρίς να ενημερώσει την κατάσταση του.

**Home Machine:** Ξεκινάει μια διαδικασία που ονομάζεται Homing Cycle, όπου κάνοντας τις ακραίες κινήσεις αναγνωρίζει τα όρια που μπορεί να μετακινηθεί το μηχάνημα.

**Unlock:** Απενεργοποιεί την αφύπνιση του ελεγκτή.

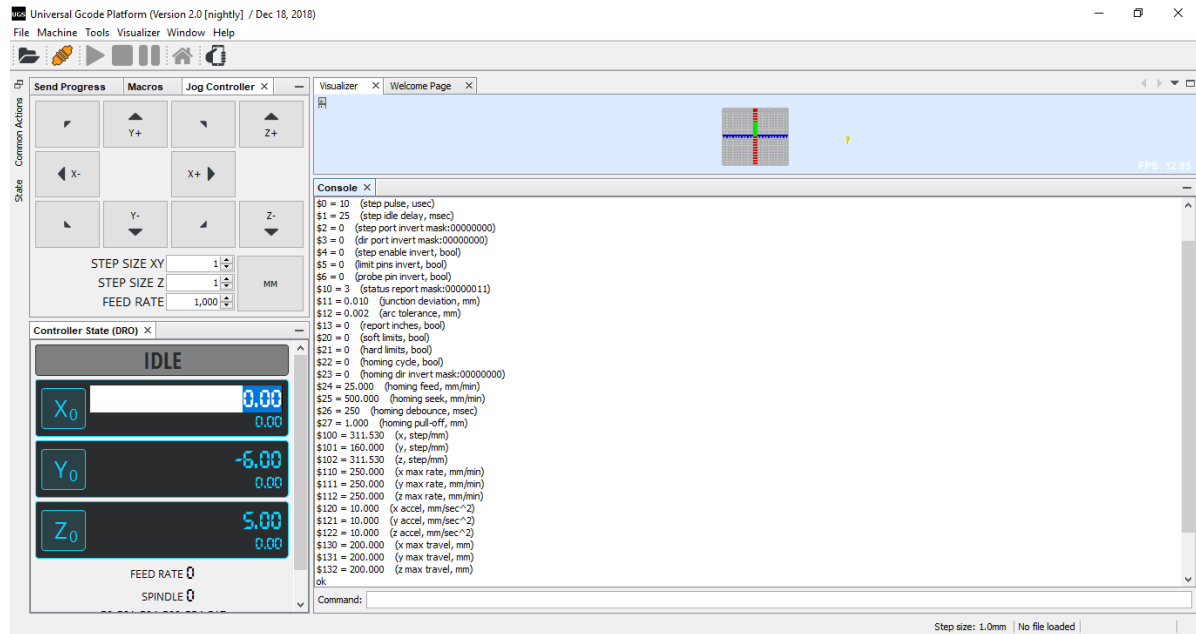
**Get State:** Ζητά την κατάσταση από τον ελεγκτή.

**Check Mode:** Μια διαδικασία όπου το πρόγραμμα εκτελεί τις εντολές G-code χωρίς όμως να κινεί το μηχάνημα.



Εικ. 4.3.7

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από την παραπάνω εικόνα, στην κάτω δεξιά περιοχή υπάρχει μια μπάρα όπου μπορούμε να επικοινωνήσουμε απευθείας με το μηχάνημα μέσω εντολών και επίσης μπορούμε να μάθουμε αρκετές πληροφορίες για αυτό. Πληκτρολογώντας την εντολή '\$\$' εμφανίζονται οι παρακάτω πληροφορίες σχετικά με το μηχάνημα.



Εικ. 4.3.8

### 4.3.1 Εντολές \$\$

Γενικά μπορούμε να αλλάξουμε κάποια εντολή πληκτρολογώντας '\$' τον αριθμό της εντολής '=' και μετά την νέα τιμή που θέλουμε να θέσουμε. Για παράδειγμα αν θέλουμε να αλλάξουμε την τιμή για τα step/min του x άξονα θα εκτελέσουμε την παρακάτω εντολή: \$100=400. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την αλλαγή την τιμή των βημάτων ανά λεπτό του άξονα χ από 311.530 σε 400.

#### \$0 – Step pulse, σε microseconds

Οι οδηγοί βηματικών κινητήρων βαθμολογούνται για ένα συγκεκριμένο μήκος παλμό βήματος. χρειαζόμαστε τους μικρότερους δυνατούς παλμούς που μπορεί να αναγνωρίσει ο οδηγός. Αν οι παλμοί είναι αρκετά μεγάλοι τότε θα υπάρχει πρόβλημα καθώς οι παλμοί μπορεί να επικαλύπτονται ο ένας με τον άλλον. Οι συνιστούμενοι παλμοί είναι περίπου 10 microseconds.

#### \$1 – Step idle delay, σε microseconds

Κάθε φορά που οι βηματικοί κινητήρες εκτελούν μια κίνηση και μετά σταματάνε, το σύστημα του Grl καθυστερεί να απενεργοποιήσει τον βηματικό κινητήρα.

#### \$2- Step port invert mask, σε δυαδικό σύστημα.

Με αυτή την εντολή μπορούμε να αναστρέψουμε τους άξονες σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Τιμή	Μάσκα	Αναστροφή X	Αναστροφή Y	Αναστροφή Z
0	00000000	Όχι	Όχι	Όχι
1	00000001	Ναι	Όχι	Όχι
2	00000010	Όχι	Ναι	Όχι

3	00000011	Ναι	Ναι	Όχι
4	00000100	Όχι	Όχι	Ναι
5	00000101	Ναι	Όχι	Ναι
6	00000110	Όχι	Ναι	Ναι
7	00000111	Ναι	Ναι	Ναι

### **\$3 – Direction port invert mask, σε δυαδικό σύστημα.**

Αυτή η ρύθμιση αναστρέφει το σήμα κατεύθυνσης για κάθε άξονα. Από προεπιλογή, το πρόγραμμα υποθέτει ότι οι άξονες κινούνται προς την θετική κατεύθυνση όταν ορίσουμε ως μηδέν την ρύθμιση και όταν ορίσουμε ως ένα τότε οι άξονες κινούνται προς την αρνητική κατεύθυνση. Με λίγα λόγια αυτή η ρύθμιση λειτουργεί όπως η παραπάνω με την διαφορά ότι τώρα αποθηκεύεται ως bit flag. Έτσι, για παράδειγμα αν θέλουμε να αναστρέψουμε μόνο την κατεύθυνση του άξονα y, θα πρέπει να πληκτρολογήσουμε \$3=2.

### **\$20 – Soft limits, σε boolean τιμές.**

Ενεργοποιώντας την ρύθμιση αυτή δίνουμε στο μηχάνημα να καταλάβει μέχρι που είναι το μέγιστο όριο που μπορεί να κινηθεί χωρίς να δημιουργήσει πρόβλημα στα υπόλοιπα μηχανικά μέρη. Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει η ρύθμιση είναι να έχει προηγηθεί ένα Homing Cycle.

### **\$21 – Hard Limits, σε boolean τιμές.**

Με αυτή τη ρύθμιση μας δίνεται η δυνατότητα να ενεργοποιήσουμε η να απενεργοποιήσουμε τους τερματικούς διακόπτες

### **\$22 – Homing Cycle, σε boolean τιμές.**

Για να λειτουργήσει η ρύθμιση θα πρέπει πρώτα να έχουμε ενεργοποιήσει τους τερματικούς διακόπτες. Όταν λοιπόν ξεκινήσουμε την διαδικασία τότε το μηχάνημα θα μετακινηθεί πρώτα θετικά του z άξονα μέχρι να φτάσει στον τερματικό, έπειτα θα μετακινηθεί προς την αντίθετη πλευρά μέχρι να φτάσει στον αρνητικό τερματικό. Αφού τελειώσει με τον άξονα z, θα μετακινηθεί θετικά στον άξονα x και παράλληλα στον άξονα y. Έτσι αντιλαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο που είναι οι συντεταγμένες και ο χώρος εργασίας του μηχανήματος. Για να απενεργοποιηθεί πρέπει να πληκτρολογήσουμε την παρακάτω εντολή: \$22=0.

### **\$23, \$24, \$25, \$26, \$27**

Αυτές οι ρυθμίσεις αφορούν το Homing Cycle τις οποίες δεν χρειάζεται να εμβαθύνουμε καθώς τις αφήνουμε όπως είναι.

### **\$100, \$101, \$102 – (x,y,z) steps/mm**

Από εδώ μπορούμε να δώσουμε στο μηχάνημα να καταλάβει πόσα βήματα θα μετακινηθεί στην πραγματικότητα . Για να υπολογιστεί η παραπάνω παράμετρος θα χρειαστεί να γνωρίζουμε:

- Τα χιλιοστά που μετακινήθηκε σε μια πλήρη περιστροφή ο κάθε βηματικός κινητήρας. Το οποίο εξαρτάται από το βήμα του κοχλία.
- Τα βήματα ανά περιστροφή που αναγράφονται σε κάθε βηματικό κινητήρα (στην δική μας περίπτωση είναι 200 για όλα τα βηματικά μοτέρ)
- Το βήμα που έχουμε ρυθμίσει από τον οδηγό του βηματικού κινητήρα (για τον A4988 είναι η τιμή 8).

Αφού γνωρίζουμε τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε μετά να υπολογίσουμε τα steps/mm με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Steps/mm} = (\text{steps/revolution} * \text{microsteps}) / \text{mm/revolution}$$

Δηλαδή για την εργαλειομηχανή είναι:

$$\text{Steps/mm} = 200(\text{steps/rev}) / 5,08(\text{βήμα κοχλία σε mm}) = 39.37 (\text{steps/mm})$$

Τέλος πολλαπλασιάζοντας με το βήμα που έχουμε ρυθμίσει απ τον οδηγό του βηματικού

$$\text{Steps/mm} = 39,37 * 8 = 314,961 (\text{steps/mm})$$

### **\$110, \$111 and \$112 – (x,y,z) max rate σε mm/min**

Με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζεται ο μέγιστος ρυθμός που μπορεί να κινηθεί κάθε άξονας. Κάθε φορά που το πρόγραμμα σχεδιάζει μια κίνηση, ελέγχει αν αυτή υπερβαίνει το μέγιστο ρυθμό της . Αν πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, θα επιβραδυνθεί η κίνηση της για να εξασφαλιστεί ότι κανένας απ τους άξονες δεν θα υπερβεί το μέγιστο ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι κάθε άξονας έχει την δική του ανεξάρτητη ταχύτητα.

### **\$120, \$121, \$122 – (x,y,z) acceleration, σε mm/sec<sup>2</sup>.**

Από εδώ ρυθμίζεται η παράμετρος της επιτάχυνσης για κάθε άξονα. Θέτοντας χαμηλή τιμή κάνει την κίνηση πιο ομαλή ενώ μια υψηλή τιμή αποδίδει πιο ‘κοφτές’ κινήσεις που όμως μπορεί να δημιουργήσουν επιπλοκές.

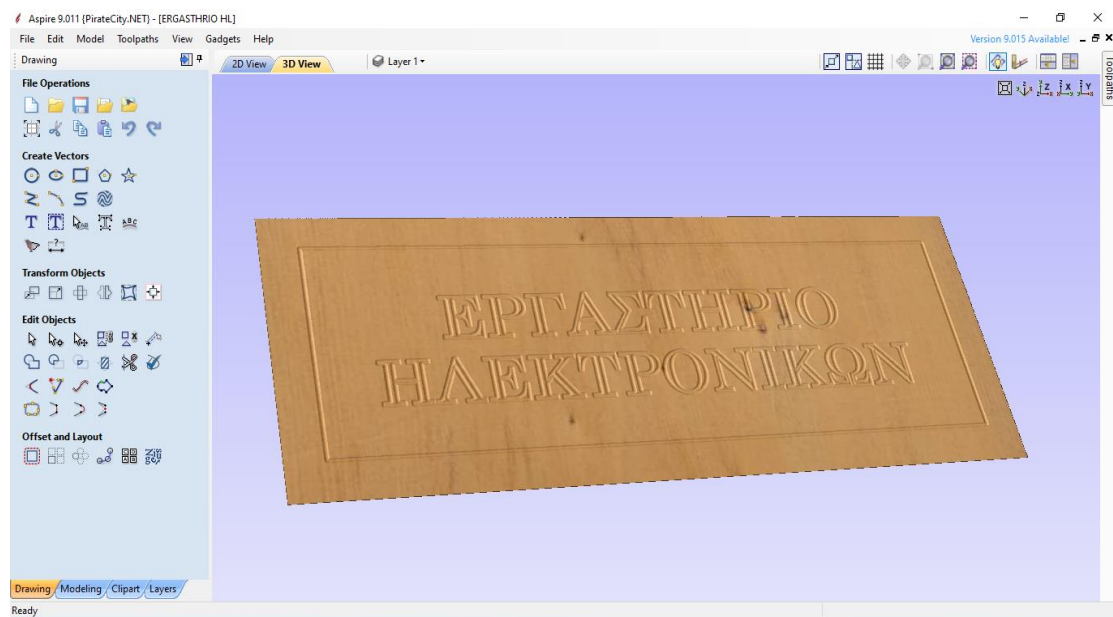
### **\$130, \$131, \$132 – (x,y,z) max travel, σε mm.**

Αυτό θέτει τη μέγιστη διαδρομή από άκρο σε άκρο για κάθε άξονα σε χιλιοστά. Δεν χρησιμεύει αν είναι απενεργοποιημένα τα Soft Limits και το Homing Cycle. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για να ελέγξει αν έχουν υπερβεί τα όρια του μηχανήματος από μια εντολή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

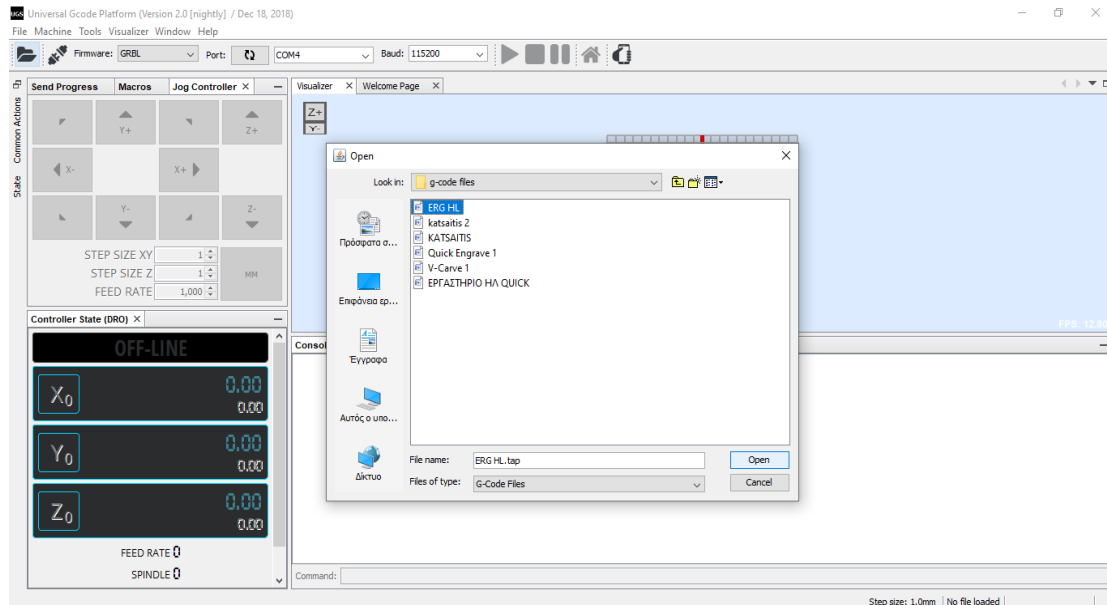
### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αφού λοιπόν ολοκληρώσουμε την εγκατάσταση και την ρύθμιση του UGS Platform, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε μια εργασία. Χρειαζόμαστε ένα μοντέλο που μπορούμε να δημιουργήσουμε από ένα ανάλογο πρόγραμμα CAD όπως το Aspire 9 και να το αποθηκεύσουμε σε μορφή g-code. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το παρακάτω.



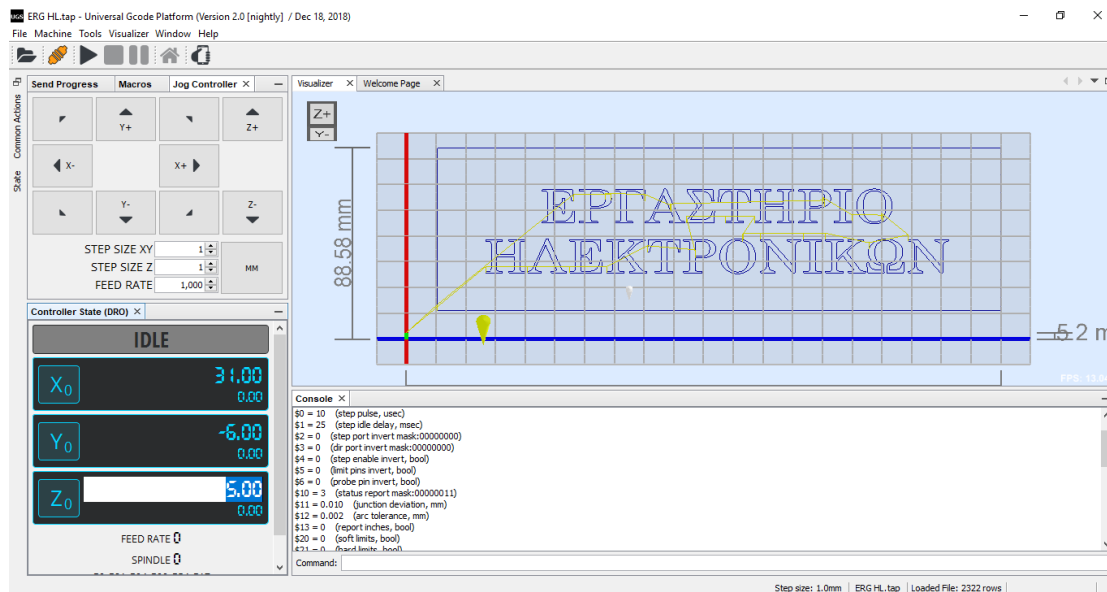
*Εικ. 5.1 Μοντέλο Στο Περιβάλλον Aspire 9*

Έπειτα φορτώνουμε το μοντέλο στο UGS Platform πιέζοντας το πλήκτρο Add που υπάρχει πάνω αριστερά, επιλέγουμε το αρχείο που επιθυμούμε και πατάμε Open.



Εικ. 5.2

Σε αυτό το σημείο είναι όλα έτοιμα για να ξεκινήσει η εργασία πρέπει μόνο να πιάσουμε το πλήκτρο Play και η εργαλειομηχανή θα αρχίσει να εκτελεί τις εντολές.



Εικ. 5.3

Παρακάτω φαίνεται ο κώδικας g-code.

X167.076Y62.257  
X167.314Y62.451  
X167.520Y62.676  
G0Z5.000  
G0X167.941Y61.393  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X167.423Y61.201F1200.0  
X166.880Y61.051  
X166.312Y60.944  
X165.718Y60.880  
X165.100Y60.859  
X162.346  
Y55.585  
X162.360Y55.371  
X162.401Y55.191  
X162.469Y55.042  
X162.565Y54.927  
X162.724Y54.817  
X162.907Y54.739  
X163.116Y54.692  
X163.349Y54.676  
X165.103  
Y53.893  
X157.678  
Y54.676  
X159.230  
X159.446Y54.688  
X159.630Y54.722  
X159.784Y54.779  
X159.907Y54.859  
X160.001Y54.959  
X160.068Y55.074  
X160.108Y55.207  
X160.122Y55.355  
Y67.668  
X160.105Y67.887  
X160.053Y68.073  
X159.968Y68.226  
X159.849Y68.347  
X159.682Y68.438  
X159.456Y68.504  
X159.169Y68.543  
X158.821Y68.556  
X157.678  
Y69.339  
X165.297  
X165.924Y69.321  
X166.512Y69.266  
X167.062Y69.175  
X167.573Y69.047  
X168.047Y68.882  
X168.482Y68.681  
X168.879Y68.443  
X169.238Y68.169  
X169.556Y67.866  
X169.832Y67.539  
X170.066Y67.191  
X170.257Y66.819



X170.405Y66.426  
X170.512Y66.009  
X170.575Y65.571  
X170.597Y65.109  
X170.577Y64.651  
X170.518Y64.220  
X170.421Y63.818  
X170.284Y63.444  
X170.108Y63.097  
X169.892Y62.779  
X169.638Y62.489  
X169.345Y62.227  
X168.902Y61.906  
X168.434Y61.628  
X167.941Y61.393  
G0Z5.000  
G0X106.110Y59.804  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X103.429Y66.686F1200.0  
X100.656Y59.804  
X106.110  
G0Z5.000  
G0X106.428Y58.989  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X100.319F1200.0  
X99.601Y57.110  
X99.478Y56.753  
X99.390Y56.436  
X99.337Y56.158  
X99.319Y55.919  
X99.327Y55.793  
X99.349Y55.672  
X99.386Y55.556  
X99.438Y55.444  
X99.587Y55.234  
X99.795Y55.042  
X99.920Y54.956  
X100.059Y54.882  
X100.212Y54.819  
X100.378Y54.768  
X100.751Y54.699  
X101.178Y54.676  
X101.700  
Y53.893  
X96.103  
Y54.676  
X96.528Y54.701  
X96.907Y54.774  
X97.078Y54.829  
X97.238Y54.897  
X97.386Y54.976  
X97.523Y55.068  
X97.652Y55.177  
X97.779Y55.308  
X97.903Y55.461  
X98.024Y55.636  
X98.259Y56.052  
X98.483Y56.556  
X103.733Y69.663

X104.433  
X109.972Y55.533  
X110.066Y55.332  
X110.182Y55.158  
X110.321Y55.011  
X110.481Y54.890  
X110.663Y54.797  
X110.867Y54.730  
X111.092Y54.690  
X111.340Y54.676  
X111.820  
Y53.893  
X105.659  
Y54.676  
X106.149  
X106.595Y54.689  
X106.969Y54.728  
X107.273Y54.794  
X107.507Y54.885  
X107.626Y54.968  
X107.711Y55.071  
X107.762Y55.193  
X107.779Y55.334  
X107.760Y55.517  
X107.705Y55.710  
X106.428Y58.989  
G0Z5.000  
G0X96.144Y64.023  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X95.413F1200.0  
X95.282Y64.731  
X95.134Y65.370  
X94.968Y65.941  
X94.785Y66.444  
X94.585Y66.878  
X94.367Y67.244  
X94.133Y67.543  
X94.009Y67.666  
X93.880Y67.772  
X93.611Y67.956  
X93.325Y68.115  
X93.021Y68.250  
X92.699Y68.360  
X92.361Y68.446  
X92.005Y68.507  
X91.632Y68.543  
X91.242Y68.556  
X89.052  
X88.891Y68.545  
X88.751Y68.513  
X88.633Y68.459  
X88.536Y68.383  
X88.461Y68.286  
X88.407Y68.168  
X88.375Y68.028  
X88.364Y67.866  
Y55.627  
X88.380Y55.372  
X88.429Y55.162  
X88.511Y54.996

X88.625Y54.875  
X88.777Y54.788  
X88.970Y54.726  
X89.205Y54.689  
X89.482Y54.676  
X91.090  
Y53.893  
X83.999  
Y54.676  
X85.252  
X85.460Y54.689  
X85.640Y54.728  
X85.793Y54.792  
X85.918Y54.883  
X86.015Y54.999  
X86.084Y55.140  
X86.126Y55.308  
X86.140Y55.501  
Y67.783  
X86.125Y67.964  
X86.080Y68.121  
X86.006Y68.254  
X85.902Y68.363  
X85.768Y68.447  
X85.605Y68.507  
X85.412Y68.544  
X85.189Y68.556  
X83.999  
Y69.339  
X95.936  
X96.144Y64.023  
G0Z5.000  
G0X80.058Y64.732  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X80.072Y65.193F1200.0  
X80.047Y65.822  
X79.973Y66.374  
X79.917Y66.621  
X79.849Y66.849  
X79.769Y67.057  
X79.676Y67.245  
X79.571Y67.418  
X79.455Y67.580  
X79.327Y67.729  
X79.187Y67.868  
X79.036Y67.994  
X78.873Y68.110  
X78.699Y68.213  
X78.513Y68.305  
X78.306Y68.386  
X78.069Y68.456  
X77.800Y68.515  
X77.501Y68.564  
X76.810Y68.628  
X75.996Y68.650  
X75.470Y68.636  
X75.051Y68.595  
X74.738Y68.526  
X74.621Y68.482  
X74.531Y68.430

X74.396Y68.301  
X74.300Y68.130  
X74.243Y67.919  
X74.223Y67.668  
Y61.621  
X76.319  
X76.799Y61.634  
X77.245Y61.673  
X77.656Y61.738  
X78.032Y61.829  
X78.374Y61.946  
X78.681Y62.088  
X78.953Y62.257  
X79.191Y62.451  
X79.397Y62.676  
X79.576Y62.934  
X79.728Y63.226  
X79.852Y63.552  
X79.948Y63.912  
X80.017Y64.305  
X80.058Y64.732  
G0Z5.000  
G0X82.396Y64.220  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X82.298Y63.818F1200.0  
X82.161Y63.444  
X81.985Y63.097  
X81.770Y62.779  
X81.516Y62.489  
X81.222Y62.227  
X80.779Y61.906  
X80.312Y61.628  
X79.819Y61.393  
X79.300Y61.201  
X78.757Y61.051  
X78.189Y60.944  
X77.596Y60.880  
X76.977Y60.859  
X74.223  
Y55.585  
X74.237Y55.371  
X74.278Y55.191  
X74.347Y55.042  
X74.443Y54.927  
X74.601Y54.817  
X74.785Y54.739  
X74.993Y54.692  
X75.226Y54.676  
X76.981  
Y53.893  
X69.555  
Y54.676  
X71.108  
X71.323Y54.688  
X71.507Y54.722  
X71.661Y54.779  
X71.784Y54.859  
X71.878Y54.959  
X71.945Y55.074  
X71.986Y55.207

X71.999Y55.355  
Y67.668  
X71.982Y67.887  
X71.931Y68.073  
X71.846Y68.226  
X71.726Y68.347  
X71.560Y68.438  
X71.333Y68.504  
X71.046Y68.543  
X70.698Y68.556  
X69.555  
Y69.339  
X77.175  
X77.801Y69.321  
X78.389Y69.266  
X78.939Y69.175  
X79.451Y69.047  
X79.924Y68.882  
X80.359Y68.681  
X80.756Y68.443  
X81.115Y68.169  
X81.434Y67.866  
X81.710Y67.539  
X81.943Y67.191  
X82.134Y66.819  
X82.283Y66.426  
X82.389Y66.009  
X82.453Y65.571  
X82.474Y65.109  
X82.454Y64.651  
X82.396Y64.220  
G0Z5.000  
G0X67.216Y64.128  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1X66.516F1200.0  
X66.404Y64.721  
X66.277Y65.267  
X66.135Y65.768  
X65.978Y66.222  
X65.805Y66.629  
X65.618Y66.991  
X65.415Y67.305  
X65.197Y67.574  
X64.963Y67.804  
X64.712Y68.004  
X64.443Y68.172  
X64.158Y68.310  
X63.855Y68.418  
X63.536Y68.494  
X63.199Y68.540  
X62.845Y68.556  
X59.821  
X59.649Y68.543  
X59.500Y68.506  
X59.373Y68.444  
X59.268Y68.357  
X59.186Y68.245  
X59.127Y68.107  
X59.092Y67.942  
X59.080Y67.752

Y62.248  
X60.403  
X60.662Y62.260  
X60.909Y62.295  
X61.143Y62.355  
X61.365Y62.438  
X61.574Y62.546  
X61.771Y62.677  
X61.955Y62.832  
X62.127Y63.010  
X62.282Y63.214  
X62.419Y63.442  
X62.537Y63.697  
X62.636Y63.976  
X62.715Y64.281  
X62.776Y64.612  
X62.817Y64.968  
X62.840Y65.350  
X63.561  
Y58.196  
X62.840  
X62.817Y58.624  
X62.775Y59.020  
X62.714Y59.386  
X62.633Y59.719  
X62.533Y60.021  
X62.413Y60.292  
X62.274Y60.531  
X62.116Y60.739  
X61.941Y60.919  
X61.750Y61.075  
X61.544Y61.206  
X61.323Y61.314  
X61.087Y61.398  
X60.836Y61.458  
X60.570Y61.494  
X60.288Y61.506  
X59.080  
Y55.366  
X59.094Y55.208  
X59.136Y55.071  
X59.206Y54.952  
X59.305Y54.854  
X59.435Y54.776  
X59.603Y54.721  
X59.808Y54.687  
X60.050Y54.676  
X62.439  
X62.912Y54.696  
X63.360Y54.754  
X63.782Y54.851  
X64.178Y54.987  
X64.548Y55.162  
X64.893Y55.375  
X65.212Y55.628  
X65.505Y55.919  
X65.772Y56.249  
X66.014Y56.618  
X66.230Y57.026  
X66.420Y57.473  
X66.585Y57.958

X66.723Y58.482  
X66.836Y59.045  
X66.923Y59.647  
X67.675  
X67.414Y53.893  
X54.684  
Y54.676  
X55.738  
X56.024Y54.690  
X56.263Y54.730  
X56.457Y54.797  
X56.605Y54.890  
X56.715Y55.009  
X56.793Y55.153  
X56.840Y55.320  
X56.856Y55.512  
Y67.752  
X56.842Y67.942  
X56.801Y68.107  
X56.733Y68.245  
X56.637Y68.357  
X56.511Y68.444  
X56.355Y68.506  
X56.167Y68.543  
X55.947Y68.556  
X54.684  
Y69.339  
X66.923  
X67.216Y64.128  
G0Z5.000  
G0X12.574Y13.125Z5.000  
G0Z0.000  
G1Z-0.200F420.0  
G1Y88.584F1200.0  
X238.951  
Y13.125  
X12.574  
G0Z5.000  
G0Z5.000  
G0X0.000Y0.000  
M30

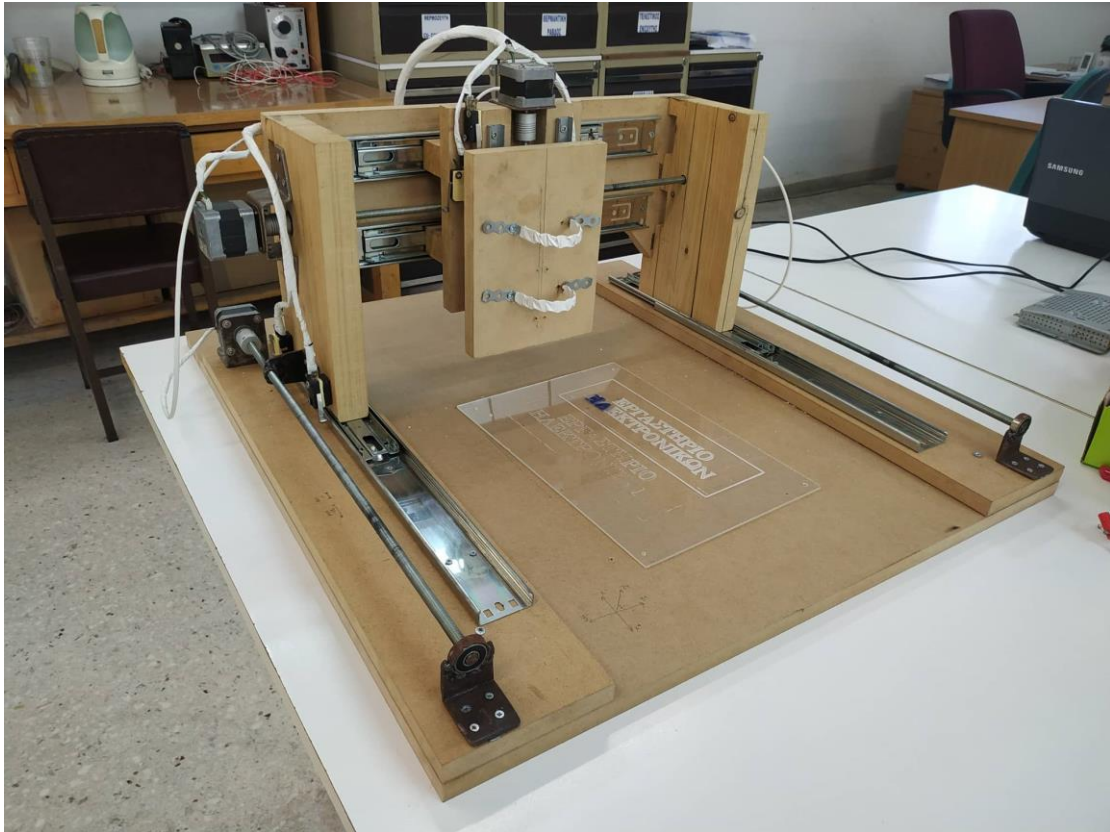


*Εικ. 5.4*

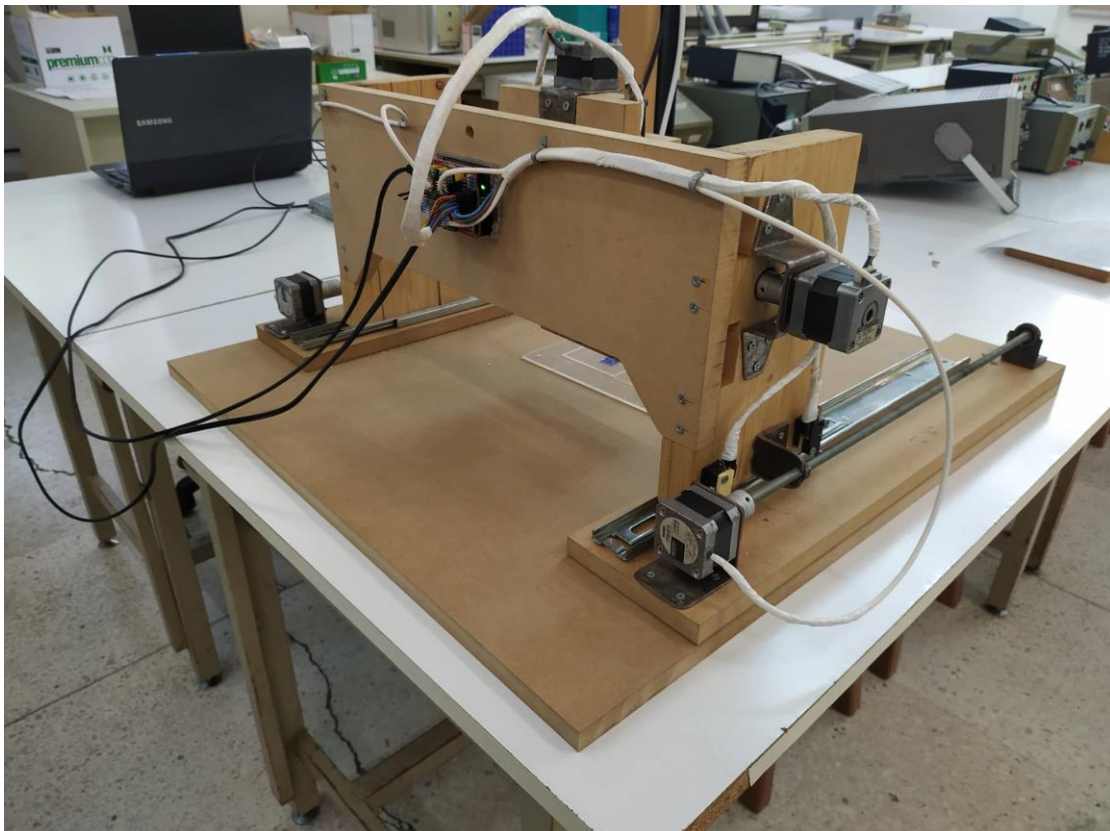


*Εικ. 5.6*





*Εικ. 5.7 Ολοκληρωμένη Εργαλειομηχανή, Εμπρός Όψη*



*Εικ. 5.8 Ολοκληρωμένη Εργαλειομηχανή, Πίσω Όψη*

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Παρόλο που η εργαλειομηχανή είναι κατασκευασμένη χωρίς κάποια μηχανική επέμβαση το αποτέλεσμα ήταν αρκετά ακριβές, υπήρξε ένα μικρό σφάλμα στην στοίχιση των γραμμάτων αλλά αυτό δεν οφείλεται στα μηχανικά μέρη αλλά σε κάποια εσφαλμένη εντολή του g-code. Για τον έλεγχο μιας τέτοιας εργαλειομηχανής μπορεί κάποιος να βρει πάρα πολλά στοιχεία στο διαδίκτυο αλλά το πώς θα χτίσει το μηχανικό κομμάτι είναι καθαρά στην κρίση και στην αντίληψη του καθενός. Μπορεί να υπήρξαν κάποιες επιπλοκές τόσο στο ηλεκτρονικό όσο και στο μηχανικό κομμάτι της κατασκευής, χάρις όμως στην προσωπική υπομονή, την βοήθεια των καθηγητών μου αλλά και του διαδικτύου τελικά το αποτέλεσμα ήταν το επιθυμητό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- (1) CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation
- (2) CNC Router Essentials: The Basics for Mastering the Most Innovative Tool in Your Workshop
- (3) Make: Getting Started with CNC-PDF
- (4) Κατασκευή Αυτόματης Εργαλειομηχανής τριών αξόνων με Αριθμητικό Έλεγχο (πτυχιακή εργασία Μέντη Σταύρου, ΤΕΙ Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας)
- (5) Μελέτη και κατασκευή βηματικού κινητήρα (πτυχιακή εργασία Κυργίου Λεωνίδα, Ανδρέα Χοντάη, ΤΕΙ Πειραιά, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών)

- (6) Σύνδεσμοι αξόνων

<https://grobotronics.com/aluminum-flex-shaft-coupler-5mm-to-8mm.html>

- (7) Βηματικοί κινητήρες

<https://grobotronics.com/stepper-motor-42byghw804.html>

- (8) Βηματικοί Οδηγοί

<https://www.motioncontroltips.com/faq-what-are-stepper-drives-and-how-do-they-work/>

- (9) Microstepping

<https://www.linearmotiontips.com/microstepping-basics/>

- (10) Arduino

[https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Uno](https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno)

<https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>

- (11) Κοπτικά Μέσα

<https://www.robotics.com/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B1/%CE%BA%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%BC%CE%B5%CF%83%CE%B1-cnc-router/>

- (12) Τύποι Βηματικών Κινητήρων

[http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_2.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_2.html)

(13) Κινητήρες Εργαλειομηχανών

[https://docplayer.gr/6015536-Kataskeyastika-stoiheia-cnc-ergaleiomihanon.html#show\\_full\\_text](https://docplayer.gr/6015536-Kataskeyastika-stoiheia-cnc-ergaleiomihanon.html#show_full_text)

(14) Μονοπολική-Διπολική σύνδεση

<https://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/>

<https://www.electrical4u.com/bipolar-stepper-motor/>

(15) Τροφοδοτικό

<http://www.theorycircuit.com/dual-power-supply-circuit/>

<https://grobotronics.com/trofodotiko-12v-20a-240w-wantai.html>