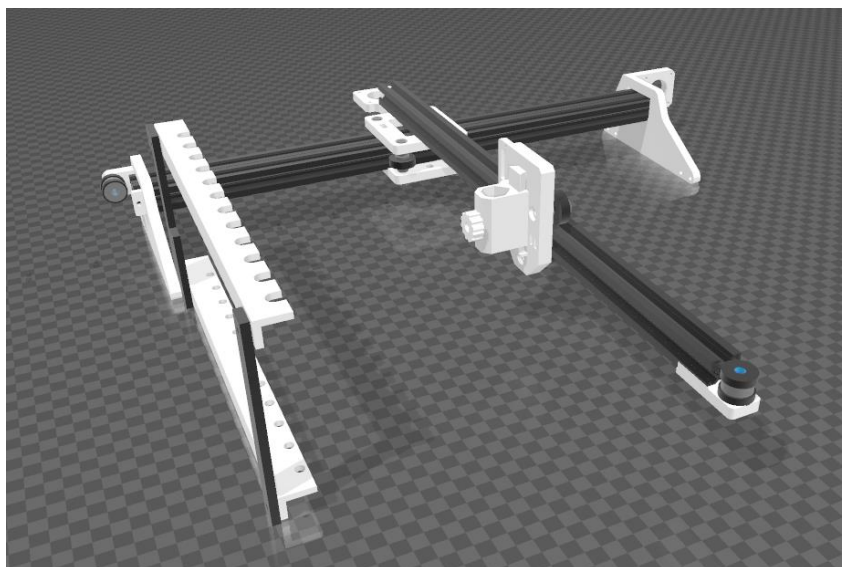




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
"ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΥ
ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΥ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ"



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΜΗΛΙΔΩΝΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΑΒΡΑΑΜ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή, η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ. του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του τμήματος.

Επιβλέπων: Χατζόπουλος Αβραάμ
Λέκτορας

Επιτροπή Αξιολόγησης:

.....

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χαράλαμπος Μηλιδώνης του Ευσταθίου, με αριθμό μητρώου 71445291 φοιτητής του «Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής», δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Χαράλαμπος Μηλιδώνης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου, Κύριο Αβραάμ Χατζόπουλο για την καθοδήγηση και την βοήθεια του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την σχεδίαση και κατασκευή ενός σχεδιογράφου βασισμένου σε ανοιχτές τεχνολογίες. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή ενός λειτουργικού σχεδιογράφου (plotter). Ο κύριος σκοπός της εργασίας είναι ο σχεδιογράφος (plotter) να φέρει πολλαπλές γραφίδες διαφορετικών χρωμάτων (12 τον αριθμό) με χαρακτηριστικό την αυτόματη αλλαγή χρώματος. Η κατασκευή του και ο έλεγχος του σχεδιογράφου βασίζεται σε υλοποίηση με χρήση μικροελεγκτή Arduino καθώς αποτελείται από τρισδιάστατα μέρη, τα οποία εκτυπώθηκαν σε 3D εκτυπωτή. Η σχεδίαση του βασίζεται σε ανοικτές τεχνολογίες λογισμικού και η πλατφόρμα του είναι συμβατή με Arduino.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Σχεδιογράφος, Arduino, GRBL, Βηματικός Κινητήρας

ABSTRACT

This is about the design and construction of a rasterizer based on open technologies. The purpose of this work is the study, design and construction of a functional plotter. The main purpose of the project is to have the plotter carry multiple styluses of different colours (12 in number) with the feature of automatic colour change. The construction and control of the raster printer is based on an implementation using an Arduino microcontroller as it consists of 3D parts, which were printed on a 3D printer. Its design is based on open software technologies and its platform is compatible with Arduino.

KEYWORDS

Plotter, Arduino, GRBL, Stepper Motor

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	v
ABSTRACT	vi
KEYWORDS	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1. ΣΚΟΠΟΣ	11
1.1.1. ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	11
1.1.2. ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ	12
1.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	12
1.1.4. ΠΡΟΣΩΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	12
1.1.5. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ	12
1.1.6. ΠΡΟΣΙΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ CNC	12
1.1.7. ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ	12
1.1.8. ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗ	12
1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	13
1.2.1. ΣΚΟΠΟΣ	13
1.2.2. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	13
1.2.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ	14
1.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ	15
1.2.5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	15
1.2.6. ΈΛΕΓΧΟΣ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	15
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	15
2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	15
2.2. ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΣ	16
2.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ	16
2.2.2. ΧΡΗΣΕΙΣ	17
2.2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	17
2.2.4. ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	18

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	18
2.2.5. OPEN-SOURCE	18
3. ΣΥΝΤΑΞΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΥ	19
3.1. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	19
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ	20
4.1. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	20
4.1.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	21
4.1.2. ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	24
4.1.3. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ SERVO MICRO.....	26
4.2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	26
4.2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	27
4.2.2. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO UNO	28
4.2.3. ΠΛΑΚΕΤΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ARDUINO CNC SHIELD.....	31
4.2.4. ΟΔΗΓΟΣ ΒΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DRV8825.....	32
4.2.5. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ.....	32
5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ	33
6. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΥ	35
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	35
6.2 GRBL.....	35
6.3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	36
7. ΔΟΚΙΜΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	2
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	4
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	6
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 - ΚΩΔΙΚΑΣ ARDUINO.....	6
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 - ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΛΩΝ G-CODE	7
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ (DATASHEET).....	11

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - Προδιαγραφές Σχεδιογράφου	19
Πίνακας 2 - Λειτουργικά Μέρη Μηχανολογικού Σχεδιασμού	21
Πίνακας 3 - Λειτουργικά Μέρη Ηλεκτρονικού Σχεδιασμού.....	27
Πίνακας 4 - Κατάλογος Υλικών.....	34
Πίνακας 5 - Λογότυπο GRBL.....	35
Πίνακας 6 - Βασικά G-codes.....	36

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1 - Τα 12 βήματα της διαδικασίας της μηχανικής σχεδίασης (The Welding Institute, 2021).....	14	
Εικόνα 2- Υλικά Συναρμολόγησης Μηχανολογικού Σχεδιασμού	20	
Εικόνα 3 - Άξονες Σχεδιογράφου.....	21	
Εικόνα 4 - Βάση Χ.....	22	
Εικόνα 5 - Βάσης YZ	22	
Εικόνα 6 - Άξονας Χ με Βάσεις Α & Β.....	23	
Εικόνα 7 - Άξονας Χ με άξονα Υ.....	23	
Εικόνα 8 - Τοποθέτηση βηματικών κινητήρων στους άξονες	24	
Εικόνα 9 - Βηματικός Κινητήρας.....	25	
Εικόνα 10 - Κινητήρας Servo Micro	26	
Εικόνα 11 - Arduino Uno	Εικόνα 12 - CNC Shield	27
Εικόνα 13 - Οδηγός Βηματικού Κινητήρα τύπου DRV8825.....	27	
Εικόνα 14 - Τοποθέτηση Οδηγού Βηματικού Κινητήρα σε CNC Shield.....	28	
Εικόνα 15 - Arduino Uno	28	
Εικόνα 16 - Ψηφιακό και αναλογικό I/O του Arduino UNO	29	
Εικόνα 17 - Ηλεκτρονικό Κύκλωμα	29	
Εικόνα 18 - Περιβάλλον Προγραμματισμού του Arduino UNO.....	30	
Εικόνα 19 - Τεχνικές Προδιαγραφές του Arduino UNO	30	
Εικόνα 20 - Πλακέτα επέκτασης ARDUINO CNC SHIELD.....	31	
Εικόνα 21 - DRV8825.....	32	
Εικόνα 22 - Τροφοδοτικό 12V/2A	33	
Εικόνα 23 - Εγκατάσταση Arduino IDE	37	
Εικόνα 24 - Εγκατάσταση Βιβλιοθήκης GRBL	37	
Εικόνα 25 - Πλατφόρμα GRBL - Plotter	38	
Εικόνα 26 - Αρχικές ρυθμίσεις Grbl-Plotter	39	
Εικόνα 27 - Παράθυρο Control /Jogging	39	
Εικόνα 28 - Tool Coordinates (Work / Machine)	40	
Εικόνα 29 - Ρύθμιση άξονα Z	40	
Εικόνα 30 - Ρύθμιση συντεταγμένων χρωμάτων	1	
Εικόνα 31 - Δημιουργία & Ρυθμίσεις G-code από εικόνα	1	
Εικόνα 32 - Διάφορες δοκιμαστικές εκτυπώσεις	2	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιογράφος ή αλλιώς στην αγγλική ορολογία Plotter είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιεί κινητήρες για να μετακινήσει ένα στυλό ή άλλο όργανο γραφής σε μια επιφάνεια για να παράγει σχέδια. Οι κινητήρες συνήθως κινούνται κατά μήκος δύο αξόνων των X και Y, για να ελέγχουν τη θέση του στυλό. Αυτό επιτρέπει στο μηχάνημα να δημιουργεί περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια με ακρίβεια.

Το GRBL (συντομογραφία του "G-Code Real-time Language") είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που τρέχει σε μια πλακέτα Arduino και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μηχανών CNC, όπως εκτυπωτές 2D και 3D, κόφτες λέιζερ και φρέζα. Το GRBL μεταφράζει τις εντολές του G-code σε κινήσεις του κινητήρα, επιτρέποντας στο μηχάνημα να κινεί την κεφαλή εργαλείων με υψηλή ακρίβεια. Το Arduino είναι μια πλατφόρμα υλικού και λογισμικού ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία διαδραστικών έργων και τον έλεγχο διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών. Οι πλακέτες Arduino είναι εξοπλισμένες με μικροελεγκτές που μπορούν να προγραμματιστούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, περιλαμβανομένων των C++ και Python.

Με τη βοήθεια αυτών των εργαλείων, είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα ευρύ φάσμα δημιουργικών και καλλιτεχνικών έργων χρησιμοποιώντας ένα 2D Plotter.

1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Η μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή ενός λειτουργικού σχεδιογράφου (plotter) είναι ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον στόχοι είναι:

1. Ο σχεδιογράφος να φέρει πολλαπλές γραφίδες διαφορετικών χρωμάτων (κατά προτίμηση 12 τον αριθμό).
2. Η κατασκευή του και ο έλεγχος του σχεδιογράφου να βασίζεται σε υλοποίηση με χρήση μικροελεγκτή χαμηλού κόστους κατά προτίμηση Arduino.
3. Να είναι χαμηλού κόστους.
4. Το λογισμικό του να είναι κατά το δυνατόν λογισμικό ανοικτού κώδικα.

Μερικά τυπικά κίνητρα για τη δημιουργία του plotter είναι τα εξής:

1.1.1. ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η εκμάθηση των ηλεκτρονικών, της μηχανικής και του προγραμματισμού με το χέρι καθίσταται δυνατή με την κατασκευή ενός plotter. Είναι μια εξαιρετική προσέγγιση για την απόκτηση χρήσιμων δεξιοτήτων στον κλάδο του STEM (επιστήμη, τεχνολογία, μηχανική και μαθηματικά).

1.1.2. ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ

Τα 2D plotters χρησιμοποιούνται συχνά από κατασκευαστές και καλλιτέχνες για την παραγωγή περίτεχνων σχεδίων και σχεδίων γενικά. Είναι χρήσιμοι για την παραγωγή μοναδικών έργων τέχνης, σχεδίων και μοτίβων λόγω της ακρίβειας και της αναπαραγωγιμότητάς τους, που επιτρέπουν την ακριβή και ελεγχόμενη καλλιτεχνική έκφραση.

1.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Ένα 2D plotter μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για δοκιμές και κατασκευή πρωτοτύπων για μηχανικούς και σχεδιαστές, πριν προχωρήσουν σε πιο περίπλοκες και χρονοβόρες τεχνικές.

1.1.4. ΠΡΟΣΩΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ

Μπορούν να κατασκευάσουν ένα 2D plotter για να μεταβάλλουν διάφορες επιφάνειες, όπως υφάσματα, κάρτες και προσκλήσεις. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας σχεδίασης καθιστά εφικτά τα εξατομικευμένα και ξεχωριστά σχέδια.

1.1.5. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ

Η κατασκευή ενός 2D plotter είναι μια διασκεδαστική μέθοδος για την εισαγωγή στις βασικές αρχές του προγραμματισμού. Όπου κατά τον προγραμματισμό του μπορεί να ακολουθηθεί προκαθορισμένα μοτίβα και οι χρήστες μπορούν να μάθουν για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων, τους ελεγκτές του αλγόριθμου και τη διασύνδεση αισθητήρων.

1.1.6. ΠΡΟΣΙΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ CNC

Για ορισμένες εργασίες, ένα 2D plotter μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πιο απλό και προσιτό υποκατάστατο μιας μηχανής CNC (Computer Numerical Control-Αριθμητικός Έλεγχος Υπολογιστή). Μπορεί να μην μπορεί να χειριστεί τρισδιάστατα αντικείμενα, αλλά είναι ωστόσο ικανός να σχεδιάσει, να χαράξει και να κόψει με ακρίβεια σε επίπεδη επιφάνεια, ανάλογα με την κεφαλή (στυλό, dremel, laser).

1.1.7. ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

Η κατασκευή ενός 2D plotter είναι ένας πολύ καλός τρόπος για να εμπλακεί κάποιος ενδιαφερόμενος, καθώς πολλά από τα έργα είναι ανοιχτού κώδικα. Επίσης, διευκολύνει την ανταλλαγή ενημερώσεων, βελτιώσεων και ιδεών με άτομα που μοιράζονται τα ίδια ενδιαφέροντα.

1.1.8. ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗ

Στο τέλος, η δημιουργία ενός 2D plotter μπορεί να είναι ευχάριστη και γόνιμη. Επιτρέπει στους ανθρώπους να συνδυάσουν την τεχνική τεχνογνωσία με τη δημιουργική φαντασία, δημιουργώντας μια συσκευή που είναι ευχάριστη στην κατασκευή και τη χρήση της.

Η κατασκευή ενός 2D plotter έχει πολλά πλεονεκτήματα και χρήσεις, είτε για μάθηση, είτε για δημιουργικά έργα, είτε απλώς για την κατασκευή κάτι πρωτότυπου.

1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1.2.1. ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή ενός λειτουργικού σχεδιογράφου (plotter) Επιπλέον στόχοι είναι:

Προς την επίτευξη αυτού του σκοπού, ο ενδιαφερόμενος θα διερευνήσει, μελετήσει, σχεδιάσει και αναπτύξει, αφενός τα απαραίτητα στάδια που θα βασίζονται σε χαμηλό κόστος και σε λογισμικό ανοικτού κώδικα. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων θα υλοποιηθεί μέσω πολλών δοκιμών, ώστε να υλοποιηθεί το καλύτερο αποτέλεσμα.

Η μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει την ανάλυση του μεθοδολογικού πλάνου και την παρουσίαση των ενδιάμεσων σταδίων της μεθοδολογικής πορείας που θα ακολουθήσει η παρούσα εργασία, η οποία αποτελείται από τις τρεις ακόλουθες φάσεις:

Φάση 1η: Βιβλιογραφική έρευνα.

Φάση 2η: Προετοιμασία της εργασίας: μελέτη βιβλιογραφίας και εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων

Φάση 3η: Σχεδιασμός και ανάπτυξη. Σχεδιασμός και κατασκευή σχεδιογράφου. Σχεδιασμός και συγγραφή εργασίας.

1.2.2. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα εργασία εκτιμάται ότι θα διαρκέσει συνολικά τέσσερις μήνες. Αναλυτικότερα, το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης της έρευνας κατανέμεται χρονικά ως εξής:

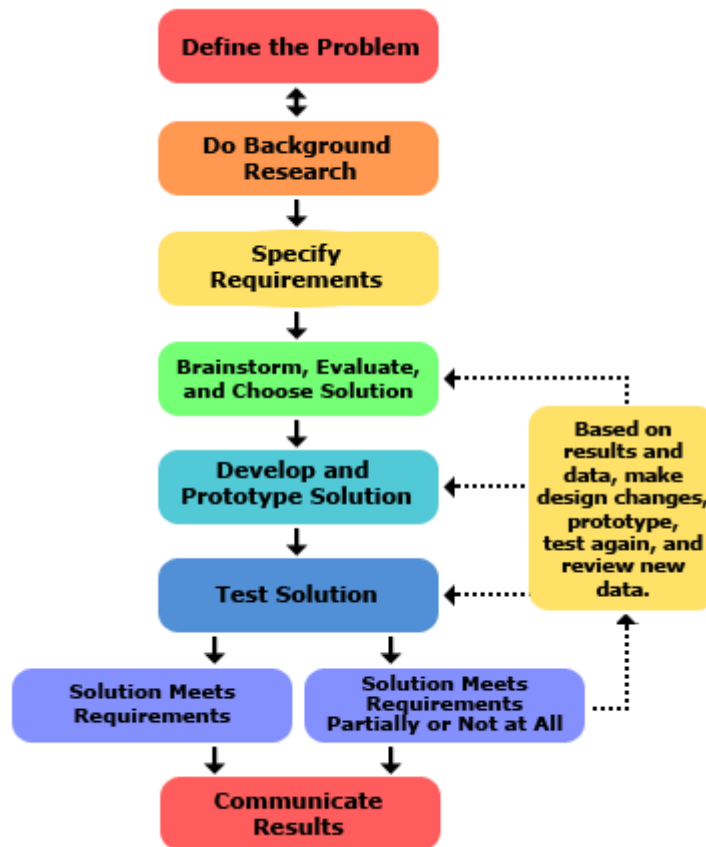
0 - 2 μήνες:

- α. Υλοποίηση της 1ης φάσης: βιβλιογραφική έρευνα.
- β. Υλοποίηση της 2^{ης} φάσης: προετοιμασία της εργασίας, συλλογή δεδομένων και εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων.

2 – 4 μήνες.

- α. Υλοποίηση της 3^{ης} φάσης: σχεδίαση και ανάπτυξη, κατασκευή σχεδιογράφου,
- β. Υλοποίηση της 3^{ης} φάσης: Συγγραφή εργασίας

Η Διαδικασία Μηχανικού Σχεδιασμού (Engineering Design Process ή EDP) (Σχήμα 1) είναι μια σύγχρονη μέθοδος διδασκαλίας, και αποτελείται από μια σειρά βημάτων, προκειμένου να σχεδιάσουν ένα πρωτότυπο αντικείμενο και να βρουν μια λύση σε ένα σύνθετο πρόβλημα μηχανικής (Greg Joseph Strimel, 2014).



Εικόνα 1 - Τα 12 βήματα της διαδικασίας της μηχανικής σχεδίασης (The Welding Institute, 2021)

Η εκπαιδευτική παρέμβαση θα αξιοποιεί την EDP στο πλαίσιο της επιστημολογίας STEM και της Εκπαιδευτικής Ρομποτικής, προκειμένου οι φοιτητές/φοιτήτριες να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν ένα αυθεντικό, σύνθετο, πρωτότυπο, χρηστικό αντικείμενο βασισμένο σ' υλισμικό (hardware) και λογισμικό (software).

Ένας σχεδιογράφος (2D plotter) κατασκευάζεται με διάφορες διαδικασίες, όπως η επιλογή των κινητήρων, των ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου, η κατασκευή και ο προγραμματισμός του λογισμικού ελέγχου.

Για να μπορέσουμε να τον κατασκευάσουμε θα ακολουθήσουμε ένα βασικό περίγραμμα.

1.2.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Αρχικά ο σχεδιογράφος θα έχει συνολική διάσταση 53,5x45x31,5 cm (ωφέλιμης επιφάνειας 30x20 cm) και θα είναι βασισμένος σε ανοιχτές τεχνολογίες λογισμικού και η πλατφόρμα του θα είναι συμβατή με μικροελεγκτή Arduino με δυνατότητες, να φέρει πολλαπλές γραφίδες διαφορετικών χρωμάτων (12 τον αριθμό) με χαρακτηριστικό την αυτόματη αλλαγή χρώματος.

1.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ

Η κατασκευή του σχεδιογράφου αποτελείται από τρισδιάστατα μέρη, τα οποία εκτυπώθηκαν σε 3D εκτυπωτή, τις ράγες, το πλαίσιο, το μηχανισμό συγκράτησης του στυλό, οι βηματικοί κινητήρες με τον ιμάντα, όπου γίνεται η μετάδοση κίνησης των αξόνων.

1.2.5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

- α) Τρισδιάστατα εκτυπώσιμα μέρη
- β) Βασική πλακέτα Arduino Uno Rev3
- γ) Πλακέτα επέκτασης Arduino CNC Shield V3
- δ) Οδηγός Βηματικού Κινητήρα τύπου DRV8825
- ε) Βηματικός Κινητήρας τύπου 4.8kg.cm (200 steps/rev) 42BYGHW804 της Wantai
- στ) Κινητήρας Servo Micro τύπου 2.8kg.cm Metal Gears - MG90S της Waveshare
- ζ) Τροχαλία τύπου Aluminum GT2 Timing Pulley - 6mm Belt - 20 Tooth - 5mm Bore
- η) Ιμάντας τύπου GT2 πλάτους 6mm
- θ) Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2020 500mm – Μαύρη ανοδωμένη
- ι) Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2040 500mm – Μαύρη ανοδωμένη
- ια) Solid V Wheel Kit – Black
- ιβ) Smooth Idler Wheel with Bearing
- ιγ) Tee Nut 2020 - Sliding M3
- ιδ) Τροφοδοτικό προδιαγραφών 12V/2A
- ιε) Μαρκαδόροι διάφορων χρωμάτων
- ιστ) Είδη συνδεσμολογίας (Βίδες, ροδέλες, παξιμάδια, γωνίες, καλώδιο)

1.2.6. ΈΛΕΓΧΟΣ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ

Με την ολοκλήρωση του κατασκευαστικού μέρους της εργασίας, έγινε η εγκατάσταση του κώδικα GRBL λογισμικού στον μικροελεγκτή και για την λειτουργία της κατασκευής (κίνηση) χρησιμοποιήσα το ανοιχτού κώδικα πρόγραμμα GRBL – Plotter.

Αφού ελέγχθηκε και κινείται ομαλά (βαθμονόμηση, βήματα κινητήρων, παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης μέσω του GRBL κώδικα, το αμέσως επόμενο βήμα είναι η μετατροπή εικόνων σε ακολουθία κινητικών ενεργειών.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι συσκευές εκτύπωσης είναι αξεσουάρ υλικού που δημιουργούν ένα αντίγραφο σε χαρτί ή άλλο υλικό μέσο ψηφιακού περιεχομένου, όπως κείμενο ή φωτογραφίες. Με την πάροδο του χρόνου, αυτές οι συσκευές έχουν υποστεί σημαντική εξέλιξη και παρέχουν πλέον ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών και τεχνολογίας. Ακολουθούν ορισμένες θεμελιώδεις λεπτομέρειες σχετικά με τους τυπικούς τύπους εξοπλισμού εκτύπωσης:

2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Οι μηχανές εκτύπωσης διακρίνονται σε κάποιες κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- α. Εκτυπωτές inkjet

- β. Εκτυπωτές λέιζερ
- γ. Εκτυπωτές Dot Matrix
- δ. Εκτυπωτές πολλαπλών λειτουργιών (MFP ή εκτυπωτές All-in-One)
- ε. Εκτυπωτές 3D
- στ. Εκτυπωτές μεγάλου μεγέθους
- ζ. Εκτυπωτές εξάχνωσης χρωμάτων
- η. Ασύρματη και κινητή εκτύπωση

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι συσκευές εκτύπωσης πιθανότατα θα γνωρίσουν περαιτέρω καινοτομίες, ενισχύοντας τις δυνατότητές τους και διευρύνοντας τις εφαρμογές τους (Walker, 2002) (Barnatt, 2013).

2.2. ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΣ

2.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το ιστορικό των σχεδιογράφων είναι στενά συνδεδεμένο με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη χρήση γραφικών στον σχεδιασμό και την κατασκευή. Αν και ο όρος "σχεδιογράφος" συνδέεται συχνά με τον επαγγελματία σχεδιασμού, η έννοια του σχεδιογράφου περιλαμβάνει επίσης τη συσκευή που χρησιμοποιείται για τον αυτόματο σχεδιασμό ή την αναπαραγωγή γραφικών.

Εδώ είναι μια επισκόπηση του ιστορικού των σχεδιογράφων:

1. **Πρώιμη Χρήση Περγαμηνομηχανών** (Περίπου 200 π.Χ. - 1000 μ.Χ.). Οι πρώτες περγαμηνομηχανές, όπως οι μηχανές της αρχαίας Κίνας, χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά μελανιού σε περγαμινές και άλλες επιφάνειες για τη δημιουργία αντιγράφων.
2. **Μεταφορά Γραπτού Λόγου στην Ευρώπη** (Αναγέννηση - 15ος αιώνας). Οι ευρωπαϊκοί εκτυπωτές του 15ου αιώνα, όπως ο Johannes Gutenberg, ανέπτυξαν μηχανές που χρησιμοποιούνταν για την εκτύπωση βιβλίων με κινητούς τύπους.
3. **Ανάπτυξη Πρώτων Σχεδιογράφων** (17ος - 18ος αιώνας). Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα, αναπτύχθηκαν σχεδιογράφοι με μηχανισμό για τον αυτόματο σχεδιασμό μηχανικών γραφικών.
4. **Εξέλιξη Σχεδιογράφων στην Εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης** (18ος - 19ος αιώνας). Σχεδιογράφοι με αυτόματα μηχανικά συστήματα εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης, καλύπτοντας ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως ο σχεδιασμός εξαρτημάτων και μηχανών.
5. **Εξέλιξη στην Εποχή της Ηλεκτρονικής Επανάστασης** (20ος αιώνας). Με την εξέλιξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, οι σχεδιογράφοι εξελίχθηκαν για να υποστηρίξουν ψηφιακούς σχεδιασμούς και άλλες σύγχρονες εφαρμογές.
6. **Σύγχρονοι Σχεδιογράφοι** (21ος αιώνας). Σήμερα, οι σχεδιογράφοι χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, όπως η αρχιτεκτονική, ο σχεδιασμός μόδας, η μηχανική, ο γραφικός σχεδιασμός, κατασκευή, και οι επιστημονικές έρευνες. Συχνά, ο όρος αναφέρεται και σε συσκευές όπως τα plotter (πλότερ στα Ελληνικά), που χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο σχεδιασμό ή την αναπαραγωγή γραφικών.

2.2.2. ΧΡΗΣΕΙΣ

Ο σχεδιογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε:

1. **Αρχιτεκτονικό σχεδιασμό** για δημιουργία αρχιτεκτονικών κτιρίων – εγκαταστάσεων.
2. **Σχεδιασμό Μόδας** για την δημιουργία σχεδίων για ρούχα, υποδήματα και αξεσουάρ.
3. **Μηχανολογικό Σχεδιασμό** για την δημιουργία σχεδίων για μηχανικά εξαρτήματα και μηχανές.
4. **Γραφικό Σχεδιασμό** για την δημιουργία σχεδίων στον τομέα της διαφήμισης, του branding και του web design.
5. **Σχεδιασμό Προϊόντων**, όπως είναι τα προϊόντα για βιομηχανική και καταναλωτική χρήση.
6. **Διακοσμητικό Σχεδιασμό**, για την δημιουργία σχεδίων για τη διακόσμηση και τον εξοπλισμό χώρων.
7. **Σχεδιασμό Καλλιτεχνικών Έργων**, για την δημιουργία καλλιτεχνικών έργων και εικαστικών προσφορών.
8. **Σχεδίαση και Εκτύπωση Τεχνικών Σχεδίων**, για τη δημιουργία ακριβών τεχνικών σχεδίων, όπως στην αρχιτεκτονική και τη μηχανολογία.
9. **Σχεδίαση Κυκλωμάτων**, στην ηλεκτρονική για τον σχεδιασμό κυκλωμάτων.
10. **Δημιουργία Χαρτών και GIS**, για την σχεδιαγράφιση – χαρτογράφιση γεωγραφικών περιοχών.
11. **Εκτύπωση Πόστερ και Εκθέσεων**, για την εκτύπωση μεγάλου μεγέθους αφισών.
12. **Κοπή και Σχεδίαση Υλικών**, για τον ακριβή και αυτοματοποιημένο κόψιμο υλικών.
13. **Εκπαίδευση και Έρευνα**, στον εκπαιδευτικό τομέα για τον διδακτικό σχεδιασμό και την έρευνα.

Καθώς οι τεχνολογίες σχεδίασης και αυτοματοποιημένου σχεδιασμού συνεχίζουν να εξελίσσονται, οι χρήσεις των σχεδιογράφων, επεκτείνονται σε νέους τομείς και εφαρμογές (Meggs, 1998) (Eskilson, 2007).

2.2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Κάθε σχεδιογράφος έχει τα δικά του χαρακτηριστικά, παρακάτω κάποια από τα πλεονεκτήματα του.

1. Ακρίβεια Σχεδίασης
2. Μεγάλο Μέγεθος Εκτύπωσης
3. Ποικιλία Υλικών
4. Γρήγορη Εκτύπωση
5. Εξειδικευμένες Εφαρμογές
6. Αυτοματοποιημένος Σχεδιασμός
7. Ποικιλία Χρωμάτων

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Εδώ είναι μερικά από αυτά.

1. Κόστος
2. Μέγεθος και Βάρος
3. Απαιτήσεις Χώρου
4. Ενέργεια και Συντήρηση
5. Περιορισμένες Δυνατότητες Εκτύπωσης

Ενώ ο σχεδιογράφος είναι εξαιρετικά χρήσιμος για συγκεκριμένες εφαρμογές, η επιλογή του πρέπει να γίνεται με βάση τις συγκεκριμένες ανάγκες και απαιτήσεις του χρήστη.

2.2.4. ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Ο όρος ανοιχτές τεχνολογίες (Open Technologies) αναφέρεται σε τεχνολογίες, πρότυπα ή πρακτικές που χρησιμοποιούνται ελεύθερα και ανοιχτά, δηλαδή ο κώδικας, τα πρότυπα ή οι διαδικασίες τους είναι προσβάσιμα για το κοινό. Αυτό επιτρέπει τη συνεργασία, την ελεύθερη διανομή και την προσαρμογή τους από το κοινό.

Κάποια παραδείγματα ανοιχτών τεχνολογιών είναι:

1. Λογισμικό Ανοιχτού Κώδικα (Open Source Software)
2. Πρότυπα Ανοιχτών Τεχνολογιών
3. Ανοιχτά Πρότυπα Δεδομένων
4. Ανοιχτές Πλατφόρμες
5. Ανοιχτές Τεχνολογίες Διαδικτύου
6. Ανοιχτά Πρότυπα Καινοτομίας

Οι ανοιχτές τεχνολογίες συνέβαλαν στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος συνεργασίας, καινοτομίας και ανάπτυξης που επιτρέπει στον καθένα να συμμετέχει και να επωφελείται από την τεχνολογική πρόοδο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Μπορεί στις ανοιχτές τεχνολογίες τα πρότυπα και οι διαδικασίες να είναι προσβάσιμες για το κοινό, αλλά έχουν και τα θετικά και τα αρνητικά τους, όπου θα τα αναφέρουμε παρακάτω.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

1. Συνεργασία
2. Ελευθερία Χρήσης
3. Οικονομία
4. Ανεξαρτησία από Προμηθευτές

Τα μειονεκτήματα είναι:

1. Υποστήριξη και Ευθύνη
2. Ασφάλεια
3. Έλλειψη Εφαρμογών
4. Συμβατότητα
5. Προβλήματα Εκπαίδευσης

2.2.5. OPEN-SOURCE

Το κίνημα ανοικτού κώδικα (open-source στα αγγλικά) αναφέρεται σε ένα λογισμικό που έχει τον πηγαίο κώδικα του διαθέσιμο για το κοινό. Αυτό σημαίνει ότι ο πηγαίος κώδικας είναι ανοιχτός και ελεύθερος να χρησιμοποιηθεί, να τροποποιηθεί και να διανεμηθεί από

τον οποιονδήποτε, όπου οι άνθρωποι μπορούν να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη και τη βελτίωση του λογισμικού αυτού.

3. ΣΥΝΤΑΞΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΥ

Μετά από βιβλιογραφική έρευνα οι σχεδιογράφοι συνήθως έχουν κάποιες προδιαγραφές. Ωστόσο οι προδιαγραφές της προτεινόμενης κατασκευής έχουν διαφοροποιηθεί προκειμένου να ικανοποιούν τα παρακάτω κριτήρια:

- φθηνό κόστος,
- ανοικτές τεχνολογίες,
- ευκολία συναρμολόγησης,
- απλό, μηχανολογική κατασκευή,
- δυνατότητα επέκτασης/αναβάθμισης.

Ως εκ τούτου διαμορφώθηκαν ως εξής:

3.1. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

A/A	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΠΑΙΤΗΣΗ
1.	Δυνατότητες	Εκτύπωση σε 12 διαφορετικά χρώματα (Μαύρο, καφέ, ρόζ, κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο ανοιχτό πράσινο, σκούρο γαλάζιο, μπλέ, μώβ και γκρί)
2.	Ταχύτητα Εκτύπωσης	2 sec/cm
3.	Περιθώρια εκτύπωσης	21 x 29,7 cm (A4)
4.	Κεφαλή εκτύπωσης	1 κεφαλή universal
5.	Ακρίβεια γραμμής	±0.1% (σε σχέση του καθορισμένου μήκους φορέα)
6.	Συνδεσιμότητα	Usb
7.	Γλώσσες Εκτύπωσης	GRBL (G-CODE εντολές)
8.	Παρέχονται	Τροφοδοτικό, Κεντρική πλακέτα, Kit συναρμολόγησης

Πίνακας 1 - Προδιαγραφές Σχεδιογράφου

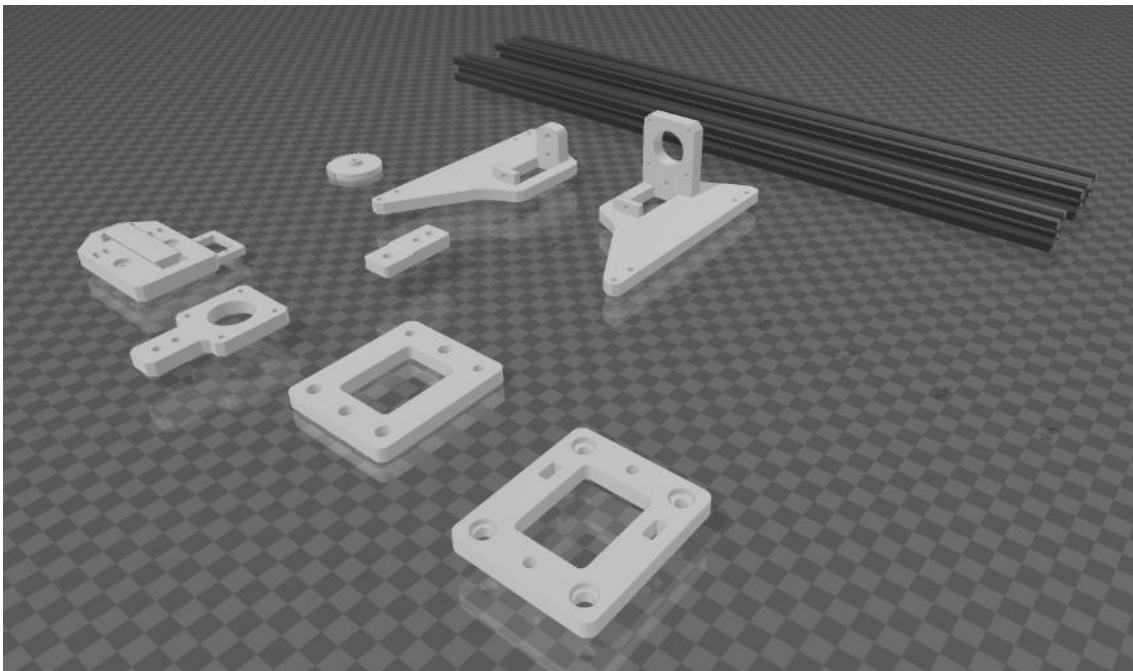
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

Η διαδικασία κατασκευής και συναρμολόγησης ενός σχεδιαγράφου που συνδυάζει μηχανολογικά και ηλεκτρονικά μέρη απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και οργανωτική διαδικασία. Κατ'αρχάς, καθορίζουμε σαφώς τον βασικό σκοπό του σχεδιαγράφου (βλ. παρ. 1.1.) και στην συνέχεια, προχωρούμε στη λεπτομερή ανάλυση των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών στοιχείων που θα αποτελέσουν το σύστημα.

4.1. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η συναρμολόγηση των μηχανολογικών μερών αναφέρεται στη διαδικασία σύνδεσης και ενσωμάτωσης διαφορετικών μηχανολογικών στοιχείων για τη δημιουργία ενός λειτουργικού μηχανολογικού συστήματος. Παρακάτω παραθέτονται μερικά γενικά βήματα που μπορεί να συμπεριληφθούν στη διαδικασία.

Πριν από τη συναρμολόγηση, πρέπει να υπάρχει ένας σαφής σχεδιασμός του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τα σχέδια των μερών, τις διαστάσεις, τα υλικά και τις αναγκαίες προδιαγραφές. Τα μηχανολογικά μέρη πρέπει να είναι έτοιμα, ώστε γίνει η σύνδεση του βασικού κορμού.

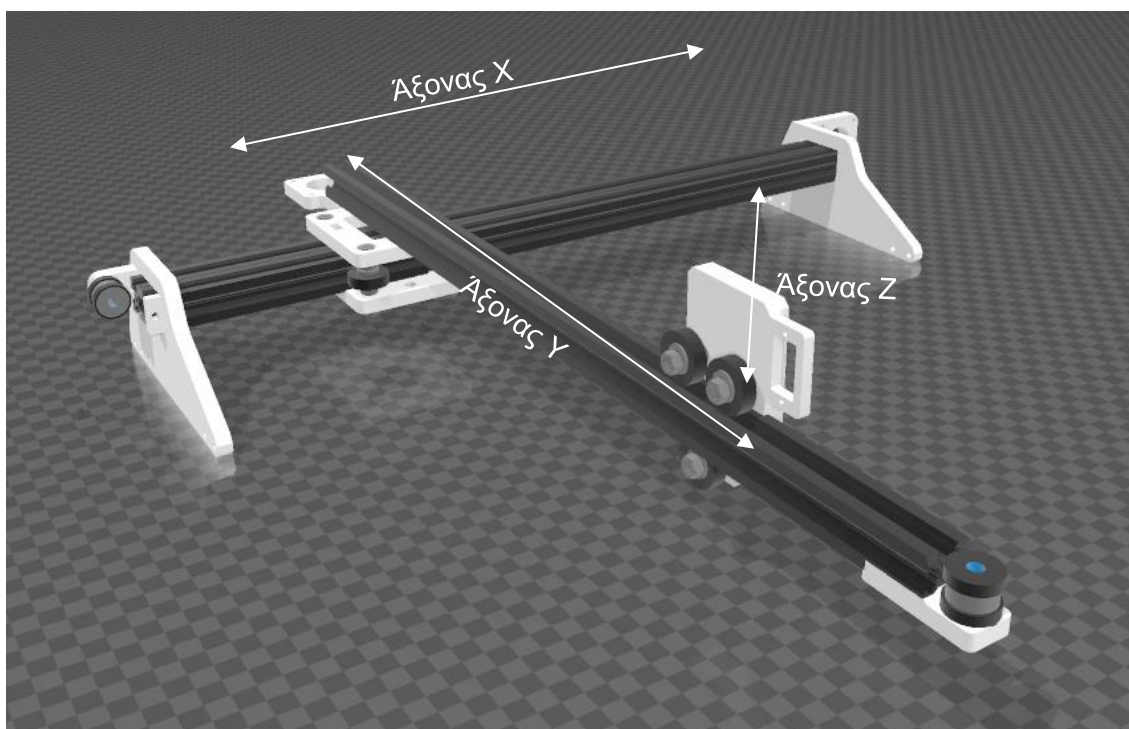


Εικόνα 2- Υλικά Συναρμολόγησης Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Στο επόμενο στάδιο είναι η σύνδεση κινητήρων και των μεταδόσεων, όπου και ελέγχονται για σωστή λειτουργία.

Μετά τη συναρμολόγηση, το μηχανολογικό σύστημα ελέγχεται για τυχόν σφάλματα ή προβλήματα και αν είναι δυνατόν να ρυθμίζεται για να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία. Η

κατασκευή υποβάλλεται σε δοκιμές λειτουργίας για να επαληθευτεί η απόδοση και η ασφάλειά του. Αυτά είναι τα γενικά βήματα, και η συναρμολόγηση της κατασκευής του μηχανολογικού σχεδιασμού.



Εικόνα 3 - Άξονες Σχεδιογράφου

4.1.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1.1.1. ΣΤΑΔΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

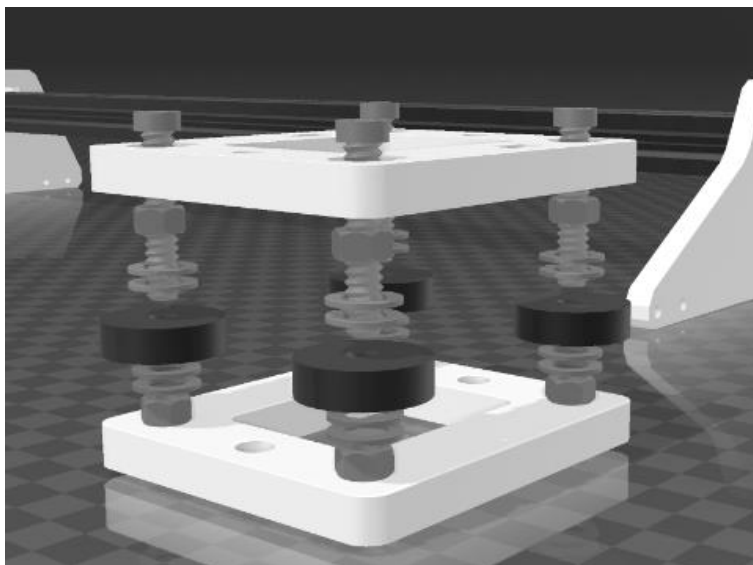
Τα λειτουργικά μέρη (μηχανολογικά) από τα οποία αποτελείται η κατασκευή και συνθέτουν αυτή (συνδέονται και συνεργάζονται) μεταξύ τους αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

A/A	Λειτουργικά μέρη
1	Τρισδιάστατα εκτυπώσιμα μέρη
2	Βηματικός Κινητήρας τύπου 4.8kg.cm (200 steps/rev) 42BYGHW804 της Wantai
3	Κινητήρας Servo Micro τύπου 2.8kg.cm Metal Gears - MG90S της Waveshare
4	Τροχαλία τύπου Aluminum GT2 Timing Pulley - 6mm Belt - 20 Tooth - 5mm Bore
5	Ιμάντας τύπου GT2 Width 6mm
6	Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2020 500mm - Black Anodized
7	Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2040 500mm - Black Anodized
8	Solid V Wheel Kit – Black
9	Smooth Idler Wheel with Bearing
10	Tee Nut 2020 - Sliding M3
11	Κιτ Βίδες, Παξιμάδια, Ροδέλλες M3, M4, M5

Πίνακας 2 - Λειτουργικά Μέρη Μηχανολογικού Σχεδιασμού

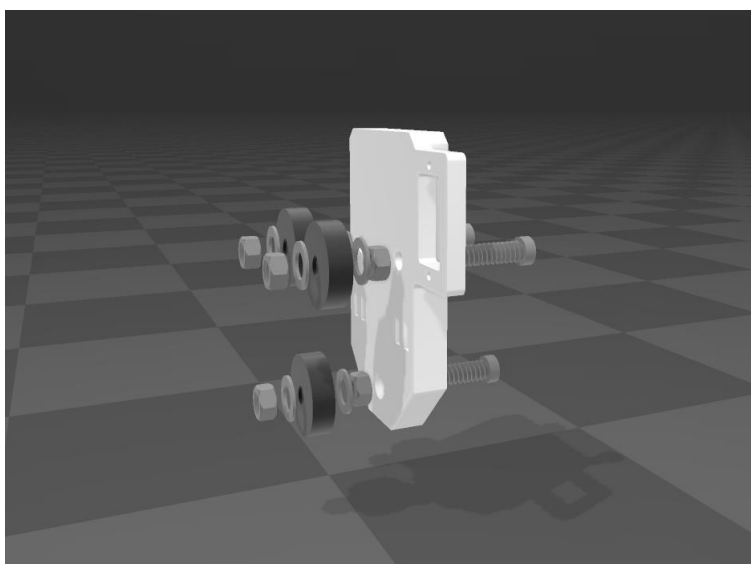
Η κατασκευή αποτελείται από τρεις άξονες X, Y και Z. Αναλυτικά ο άξονας X κινείται πάνω σε μία γραμμική ράγα διαστάσεων 20x40 και στηρίζεται σε δύο βάσεις (βάση A και B), οι οποίες έχουν σχεδιαστεί και εκτυπωθεί σε τρισδιάστατο εκτυπωτή.

Έχουμε σχεδιάσει μία βάση, όπου αποτελείται από δύο (2) τεμάχια (τρισδιάστατα) και συνδέονται μεταξύ τους, με τέσσερα (4) ροδάκια (Solid V Wheel), δώδεκα (12) παξιμάδια, δεκαέξι (16) ροδέλες και τέσσερις (4) βίδες και θα χρησιμοποιηθεί για τον άξονα X. Αυτή την βάση θα την ονομάσουμε Βάση X.



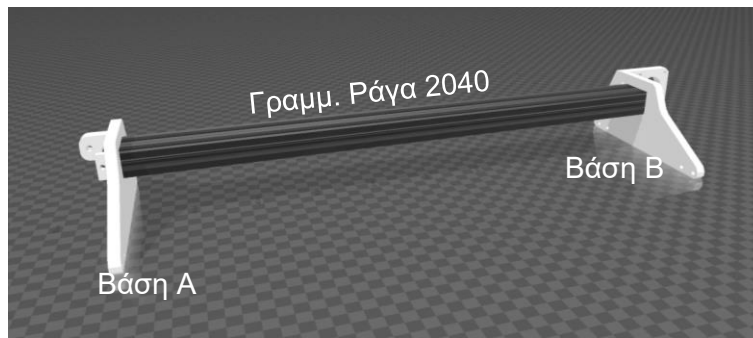
Εικόνα 4 - Βάση X

Επίσης έχει σχεδιαστεί άλλη μία βάση η οποία θα χρησιμοποιείται στον άξονα Y και Z και θα αποτελείται από ένα τεμάχιο (τρισδιάστατο) και θα συνδέεται με τρία (3) ροδάκια (Solid V Wheel), τρία (3) παξιμάδια, έξι (6) ροδέλες, τρεις (3) αποστάτες και τρεις (3) βίδες. Αυτή την βάση θα την ονομάσουμε Βάση YZ.



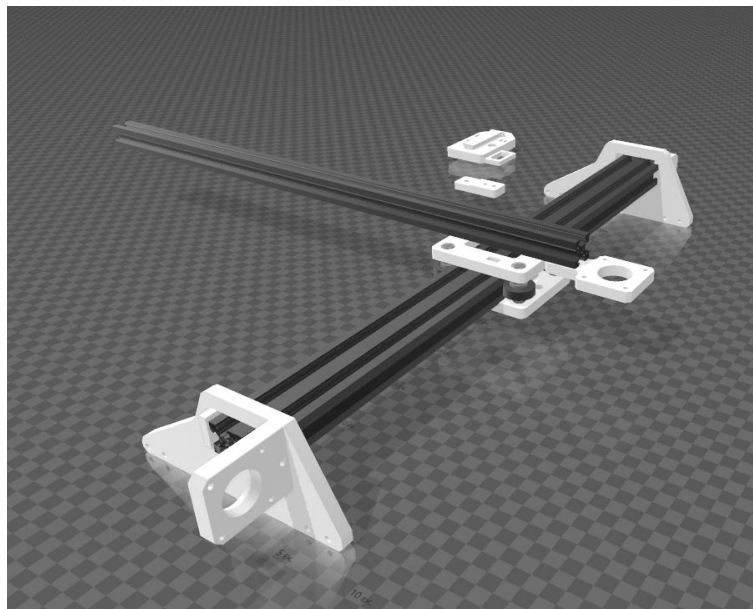
Εικόνα 5 - Βάσης YZ

Αρχικά στην βάση A και B κάνουμε τις κατάλληλες συσφίξεις για να βιδωθεί η γραμμική ράγα , αφού έχουμε περάσει σε αυτή την βάση X, ώστε να είναι σταθερή σε αυτές.



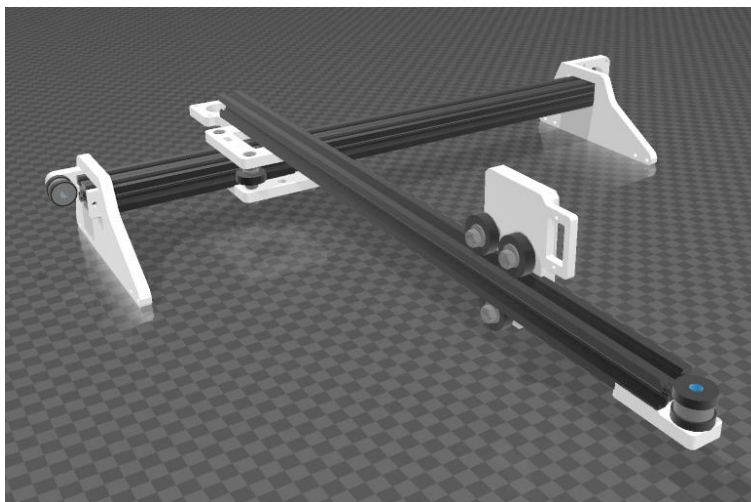
Εικόνα 6 - Άξονας X με Βάσεις A & B

Αφού έχουμε τοποθετούμε στην βάση Α ένα (1) ρουλεμάν (Smooth Idler Wheel with Bearing) και την Βάση X, τότε το επόμενο στάδιο είναι να τοποθετήσουμε τον άξονα Y μαζί με την βάση του βηματικού κινητήρα και να βιδώσουμε τον άξονα Y στην βάση X.



Εικόνα 7 - Άξονας X με άξονα Y

Αφού τοποθετήσουμε την Βάση YZ στον άξονα Y, τότε τοποθετούμε και το τερματικό μαζί με ένα (1) ρουλεμάν (Smooth Idler Wheel with Bearing).



Εικόνα 8 - Τοποθέτηση βηματικών κινητήρων στους άξονες

Στο επόμενο στάδιο είναι η τοποθέτηση των δύο (2) Βηματικών Κινητήρων στις βάσεις τους και τους ενός (1) κινητήρα Servo Micro στην βάση YZ. Αφού έχουν τοποθετηθεί τότε χρησιμοποιούμε δύο (2) ιμάντες τύπου GT2, για να γίνει η μετάδοση των κινήσεων στους δύο άξονες (X και Y αντίστοιχα).

Αναλυτικά οι άξονας X και Y κινούνται με έναν βηματικό κινητήρα τύπου 4.8kg.cm (200 steps/rev) 42BYGHW804 της Wantai αντίστοιχα και ο άξονας Z με έναν κινητήρα Servo Micro.

Συγκεντρωτικά τα στάδια ολοκλήρωσης του μηχανολογικού σχεδιασμού είναι:

1^ο στάδιο: Περισυλλογή και διαχωρισμός υλικών

2^ο στάδιο: Συναρμολόγηση κεντρική πλατφόρμας (άξονα Y)

3^ο στάδιο: Συναρμολόγηση βάσης μεταφοράς κίνησης άξονα X

Αφού έχουμε ολοκληρώσει όλα τα παραπάνω στάδια, τότε προχωράμε στον ηλεκτρονικό σχεδιασμό.

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες πληροφορίες και χαρακτηριστικά των μηχανολογικών υλικών που χρησιμοποιήσαμε.

4.1.2. ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια συσκευή που μετατρέπει με ακρίβεια ηλεκτρικούς παλμούς σε μηχανικές κινήσεις. Οι βηματικοί κινητήρες ονομάζονται έτσι επειδή κινούνται με διακριτά βήματα σε αντίθεση με τους συμβατικούς ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι περιστρέφονται συνεχώς. Ο κινητήρας προχωρά από το ένα βήμα στο επόμενο ως αντίδραση στους παλμούς εισόδου, με κάθε βήμα να δηλώνει μια ξεχωριστή γωνία περιστροφής.



Εικόνα 9 - Βηματικός Κινητήρας

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Ο αριθμός των βημάτων ανά περιστροφή είναι ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό των βηματικών κινητήρων. Η ανάλυση και ο έλεγχος ενός κινητήρα είναι πιο ακριβείς όσο περισσότερες βαθμίδες έχει. Οι αριθμοί βημάτων για βηματικούς κινητήρες είναι συνήθως μεγαλύτεροι για λεπτότερο έλεγχο, με τυπικούς κινητήρες που έχουν 1,8 μοίρες ανά βήμα (200 βήματα ανά περιστροφή).

Ο έλεγχος γίνεται μέσω των περιελίξεων των βηματικών κινητήρων που διεγείρονται με μια σειρά ηλεκτρικών παλμών. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του κινητήρα καθορίζονται από τον χρονισμό και την αλληλουχία αυτών των παλμών. Η ακριβής μετακίνηση και τοποθέτηση είναι δυνατή χάρη σε αυτόν τον ακριβή έλεγχο.

ΤΥΠΟΙ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM) που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές και διαθέτουν ρότορα μόνιμου μαγνήτη.

Βηματικοί κινητήρες με μεταβλητή αντίσταση (VR) που λειτουργούν με βάση τη θεωρία ότι ο ρότορας θα κινηθεί στη θέση του μαγνητικού κυκλώματος όπου υπάρχει η μικρότερη δυνατή αντίσταση.

Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες που συνδυάζουν τις καλύτερες ιδιότητες των κινητήρων VR και PM για να παρέχουν αυξημένες επιδόσεις.

ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως στη ρομποτική, στα αυτοματοποιημένα συστήματα, στις μηχανές CNC και στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, μεταξύ άλλων εφαρμογών που απαιτούν ακριβή έλεγχο της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης σε ένα σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου, στο οποίο ο ελεγκτής δίνει παλμό στον κινητήρα χωρίς να λαμβάνει απάντηση για την ακριβή του θέση, όπου για μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία, μπορεί να χρησιμοποιηθούν συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου με στοιχεία ανάδρασης, όπως κωδικοποιητές.

Οι βηματικοί κινητήρες εκτιμώνται ιδιαίτερα για την ακρίβεια και την ευκολία χρήσης τους, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για ποικίλες χρήσεις όπου η ακριβής και συνεπής κίνηση είναι απαραίτητη.

4.1.3. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ SERVO MICRO

Ένας κινητήρας servo micro είναι ένας μικρός κινητήρας servo, ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται για ακριβείς κινήσεις σε εφαρμογές όπου απαιτείται η ελέγχου της θέσης του. Οι κινητήρες servo λειτουργούν με τη χρήση ενός συστήματος ανάδρασης που τους επιτρέπει να γνωρίζουν τη θέση τους και να πραγματοποιούν κινήσεις με μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 10 - Κινητήρας Servo Micro

ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι κινητήρες servo micro συνήθως χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως τα μοντέλα, τα ρομπότ, οι drones, τα αεροπλάνα μοντελισμού, η ιατρική τεχνολογία, και άλλα πεδία όπου απαιτείται η ακριβής κίνηση των μηχανικών μερών.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Το "micro" στην ονομασία του συχνά υποδηλώνει το μικρό μέγεθος του κινητήρα, κάτι που τον καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπου ο χώρος είναι περιορισμένος. Οι κινητήρες servo micro συνήθως διαθέτουν χαμηλό βάρος και υψηλή απόκριση, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για πολλές εφαρμογές στις οποίες απαιτείται ευαισθησία και ακρίβεια.

Οι κινητήρες servo micro συνήθως χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως τα μοντέλα, τα ρομπότ, οι drones, τα αεροπλάνα μοντελισμού, η ιατρική τεχνολογία, και άλλα πεδία όπου απαιτείται η ακριβής κίνηση των μηχανικών μερών.

4.2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών μερών αναφέρεται στη διαδικασία συνδεσμολογίας ηλεκτρονικών στοιχείων για τη δημιουργία ενός λειτουργικού συστήματος. Παρακάτω παραθέτονται μερικά γενικά βήματα που μπορεί να συμπεριληφθούν στη διαδικασία.

Αφού έχει ολοκληρωθεί το μηχανολογικό σχέδιο το επόμενο βήμα είναι η συνδεσμολογία του ηλεκτρονικού μέρους της κατασκευής. Στον σχεδιασμό του ηλεκτρονικού μέρους, επικεντρωνόμαστε στον μικροελεγκτή, οδηγούς κινητήρων και πηγή τροφοδοσίας. Τονίζεται η ανάγκη για συνοχή και αλληλεπίδραση μεταξύ των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών στοιχείων προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός σκοπός.

4.2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΣΤΑΔΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα λειτουργικά μέρη (ηλεκτρονικά) από τα οποία αποτελείται η κατασκευή και συνθέτουν αυτή (συνδέονται και συνεργάζονται) μεταξύ τους αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

A/A	Λειτουργικά μέρη
1	Arduino Uno Rev3
2	Arduino CNC Shield V3
3	Οδηγός Βηματικού Κινητήρα τύπου DRV8825
4	Τροφοδοτικό
5	Καλώδια Πολύκλιωνα

Πίνακας 3 - Λειτουργικά Μέρη Ηλεκτρονικού Σχεδιασμού

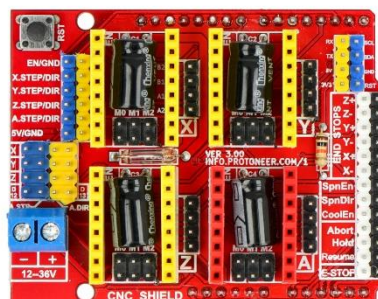
Η βασική πλακέτα της κατασκευής είναι η Arduino Uno η οποία συνδέεται με ένα shield και σε αυτό είναι τοποθετημένα σε αυτή οι οδηγοί των βηματικών κινητήρων.

Το Arduino Uno είναι ένας δημοφιλής μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται για πολλές εφαρμογές, ενώ το CNC Shield είναι μία επιπλέον πλακέτα που μπορεί να συνδεθεί στο Arduino Uno για να επεκτείνει τις δυνατότητες ελέγχου κινητήρων μέσω των οδηγών των βηματικών.

Για να λειτουργήσει το Arduino Uno με το CNC Shield και τους οδηγούς των βηματικών, θα πρέπει να συνδέσουμε το CNC Shield στο Arduino Uno χρησιμοποιώντας τα ακροδέκτες που υπάρχουν στην πλακέτα.

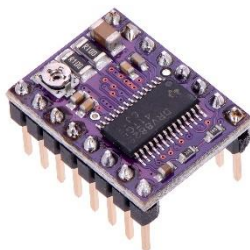


Εικόνα 11 - Arduino Uno

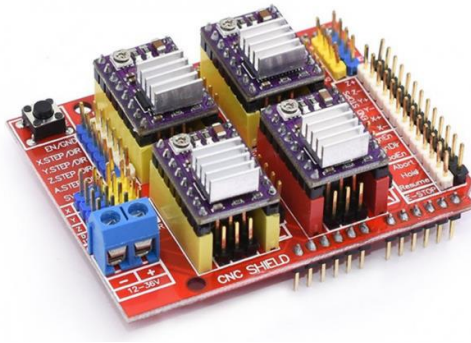


Εικόνα 12 - CNC Shield

Στο CNC Shield, υπάρχουν υποδοχές, όπου συνδέουμε τους οδηγούς των βηματικών κινητήρων.



Εικόνα 13 - Οδηγός Βηματικού Κινητήρα τύπου DRV8825



Εικόνα 14 - Τοποθέτηση Οδηγού Βηματικού Κινητήρα σε CNC Shield

Αυτά είναι τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για να λειτουργήσει το Arduino Uno με το CNC Shield και τους οδηγούς των βηματικών κινητήρων.

4.2.2. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO UNO

Μια ευρέως διαδεδομένη πλακέτα μικροελεγκτή για ποικίλες ηλεκτρονικές εφαρμογές είναι το ARDUINO UNO. Αποτελεί συστατικό της πλατφόρμας υλικού Arduino, η οποία αποτελείται από στοιχεία λογισμικού και υλικού που προορίζονται για να απλοποιήσουν τη δημιουργία διαδραστικών ηλεκτρικών έργων για επαγγελματίες, φοιτητές και χομπίστες.



Εικόνα 15 - Arduino Uno

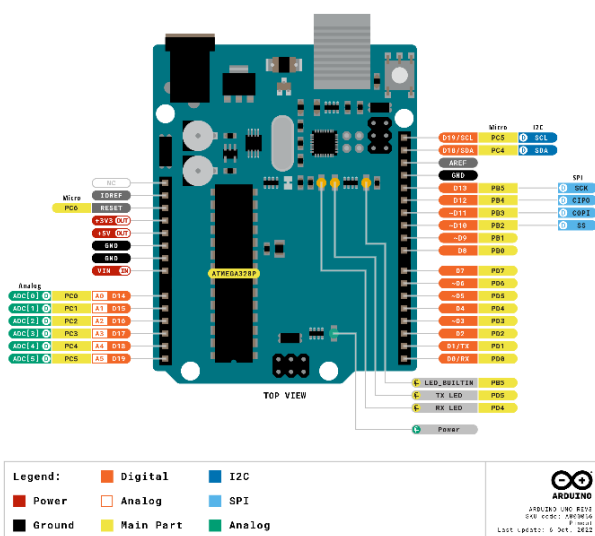
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Το Arduino Uno είναι ένας δημοφιλής μικροελεγκτής (microcontroller) που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά έργα - εφαρμογές ακόμα και σε επαγγελματικά πρότζεκτ. Ο Arduino Uno βασίζεται στο μικροελεγκτή ATmega328P της Microchip Technology, ο οποίος δια-

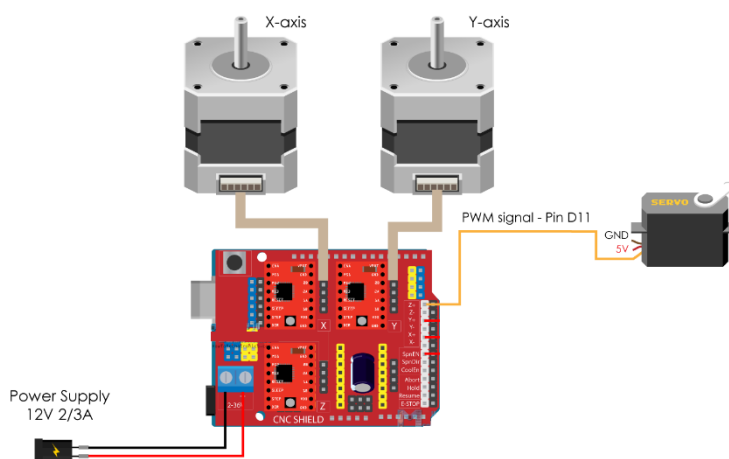
θέτει 32KB flash μνήμης, 2KB SRAM και 1KB EEPROM, διαθέτει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου (από τους οποίους 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για PWM (Pulse Width Modulation – Διαμόρφωση Εύρους Παλμών) και 6 αναλογικούς.

Ο Arduino Uno διαθέτει μία θύρα USB για σύνδεση με υπολογιστή ή άλλες συσκευές, καθώς και μια θύρα Serial. Μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας ή μια σύνδεση USB μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία της πλακέτας. Οι τάσεις για την σωστή λειτουργία του είναι μεταξύ 7 και 12 V. Ο προγραμματισμός του είναι απλός και ευέλικτος και γίνεται μέσω του Arduino IDE (Integrated Development Environment) που υποστηρίζει γλώσσα προγραμματισμού C/C++.

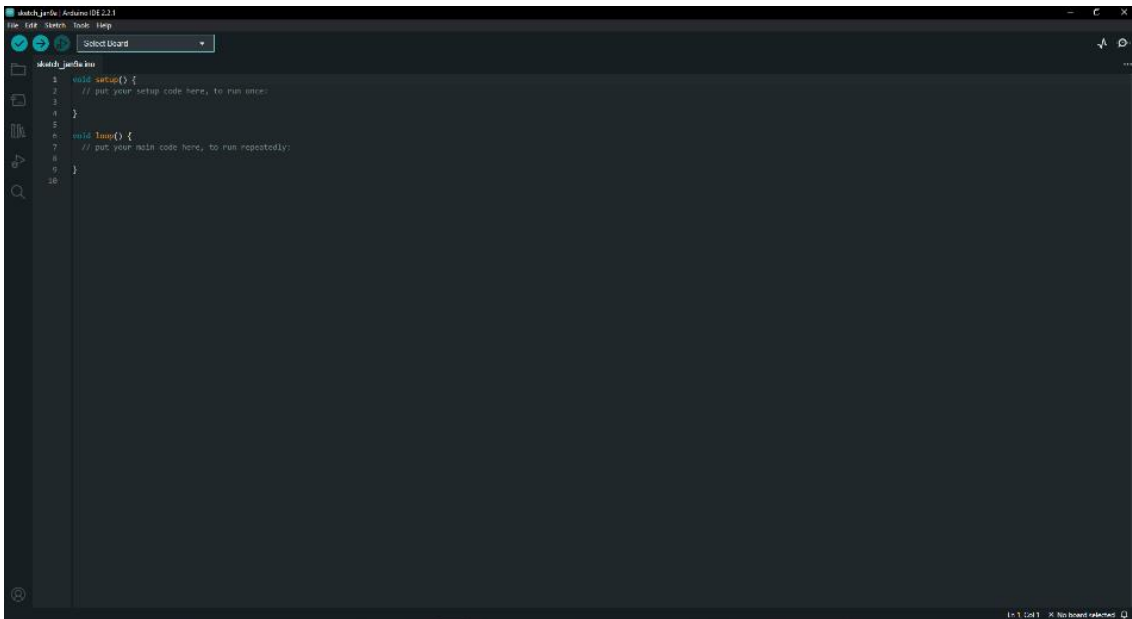
Υπάρχουν πολλά πρόσθετα (shields) διαθέσιμα για το Arduino Uno, όπως και αυτό που χρησιμοποιήσαμε και θα αναφέρουμε παρακάτω.



Εικόνα 16 - Ψηφιακό και αναλογικό I/O του Arduino UNO



Εικόνα 17 - Ηλεκτρονικό Κύκλωμα



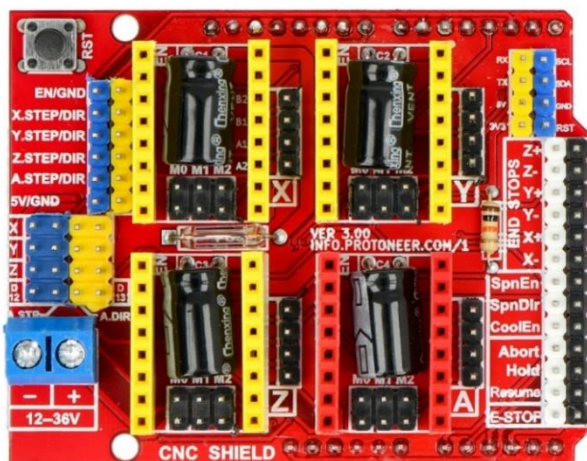
Εικόνα 18 - Περιβάλλον Προγραμματισμού του Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Εικόνα 19 - Τεχνικές Προδιαγραφές του Arduino UNO

4.2.3. ΠΛΑΚΕΤΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ARDUINO CNC SHIELD

Η ARDUINO CNC πλακέτα επέκτασης έχει κατασκευαστεί ειδικά για να λειτουργεί με πλακέτες ARDUINO, με σκοπό τον έλεγχο μηχανών CNC. Οι εφαρμογές για τις μηχανές CNC περιλαμβάνουν δισδιάστατη σχεδίαση, χάραξη με λέιζερ, τρισδιάστατη εκτύπωση, φρεζάρισμα και πολλά άλλα. Η πλακέτα επέκτασης ARDUINO CNC λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ των οδηγών των βηματικών κινητήρων και του Arduino, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της κίνησης των κινητήρων και άλλων λειτουργιών που σχετίζονται με το CNC.



Εικόνα 20 - Πλακέτα επέκτασης ARDUINO CNC SHIELD

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

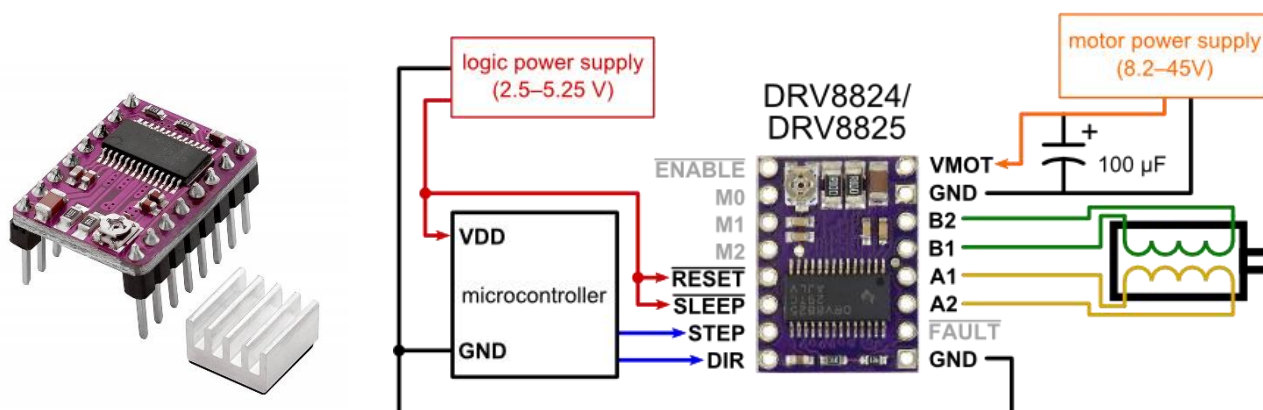
Στην πλακέτα επέκτασης ARDUINO CNC υπάρχουν υποδοχές για την τοποθέτηση μονάδων οδήγησης των βηματικών κινητήρων. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε μηχανές CNC για να παρέχουν ακριβή τοποθέτηση και αυτοί οι οδηγοί είναι υπεύθυνοι για τη ρύθμιση της κίνησής τους.

Για την τροφοδοσία των βηματικών κινητήρων και άλλων εξαρτημάτων υπάρχει μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας που κυμαίνεται από 12-36 V. Οι ακροδέκτες της πλακέτας συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πλακέτα ARDUINO UNO, όπου αυτό επιτρέπει τον έλεγχο της κίνησης και άλλων λειτουργιών της πλακέτας CNC με εντολές που αποστέλλονται από το ARDUINO UNO στην πλακέτα επέκτασης.

Η πλακέτα CNC είναι συμβατή με το GRBL, ένα γνωστό firmware ανοικτού κώδικα (βλέπε σελ.), που επιτρέπει στο ARDUINO να αποκρυπτογραφεί εντολές G-code.

4.2.4. ΟΔΗΓΟΣ ΒΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DRV8825

Ένα πολύ δημοφιλές chip οδήγησης βηματικού κινητήρα είναι το DRV8825. Είναι κατασκευασμένο για τον ακριβή έλεγχο βηματικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως ρομποτική, μηχανές CNC, εκτυπωτές 3D και άλλα αυτοματοποιημένα συστήματα. Σε σύγκριση με ορισμένους άλλους οδηγούς βηματικών κινητήρων, ο DRV8825 έχει καλύτερη ανάλυση μικρό-βηματισμού, επιτρέποντας ομαλότερη κίνηση και μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 21 - DRV8825

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Ο κινητήρας μπορεί να κινηθεί σε μικρότερα βήματα από ένα πλήρες βήμα χάρη στη δυνατότητα microstepping του DRV8825. Προσφέρει ακρίβεια μικρό-βήματος έως και 1/32, επιτρέποντας ομαλότερη κίνηση και λιγότερους κραδασμούς. Πάνω στο DRV8825 υπάρχει μία αντίσταση ρύθμισης ρεύματος, ώστε να ρυθμίζεται το ρεύμα του κινητήρα και να αποφευχθεί η υπερθέρμανση και να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του κινητήρα και η λειτουργία του.

Επίσης διαθέτει διάφορους ενσωματωμένους προστατευτικούς μηχανισμούς, όπως θερμική απενεργοποίηση. Σε περίπτωση προβλήματος, τα χαρακτηριστικά αυτά βοηθούν στην αποφυγή βλάβης του οδηγού του κινητήρα.

Λειτουργεί μεταξύ 8,2V και 45V και είναι κατάλληλο για εφαρμογές βηματικών κινητήρων λόγω της ευελιξίας του, όμως μπορεί να παράγει περισσότερη θερμότητα από τους πιο βασικούς οδηγούς κινητήρων λόγω των βελτιωμένων δυνατοτήτων μικρό-βήματος και της ικανότητάς του για μεγαλύτερο ρεύμα, γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε μία ψύκτρα, προκειμένου να διασκορπιστεί σωστά η θερμότητα και να διατηρηθεί η μέγιστη απόδοση.

4.2.5. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κατασκευή το κατάλληλο τροφοδοτικό είναι ένα 12V/2A, όπου θα τροφοδοτείται το Arduino CNC Shield για την τροφοδοσία των βηματικών κινητήρων. Για την τροφοδοσία του Arduino Uno θα χρησιμοποιήσουμε ένα καλώδιο USB, όπου θα τροφοδοτείται καθώς και μέσα από αυτό θα τρέχει το πρόγραμμα σχεδιασμού.



Εικόνα 22 - Τροφοδοτικό 12V/2A

5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ

A/A	ΥΛΙΚΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ (€)	ΣΥΝΟΛΟ (€)
1.	Τρισδιάστατα εκτυπώσιμα μέρη	ΤΕΜ.	10	5,00	50,00
2.	Arduino Uno Rev3	ΤΕΜ.	1	29,90	29,90
3.	Arduino CNC Shield V3	ΤΕΜ.	1	3,60	3,60
4.	Οδηγός Βηματικού Κινητήρα τύπου DRV8825	ΤΕΜ.	2	3,80	7,60
5.	Βηματικός Κινητήρας τύπου 4.8kg.cm (200 steps/rev) 42BYGHW804 της Wantai	ΤΕΜ.	2	15,90	31,80
6.	Κινητήρας Servo Micro τύπου 2.8kg.cm Metal Gears - MG90S της Waveshare	ΤΕΜ.	1	4,90	4,90
7.	Τροχαλία τύπου Aluminum GT2 Timing Pulley - 6mm Belt - 20 Tooth - 5mm Bore	ΤΕΜ.	2	1,60	3,20
8.	Ιμάντας τύπου GT2 Width 6mm	ΜΕΤΡΑ	5	2,40	12,00
9.	Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2020 500mm - Black Anodized	ΤΕΜ.	1	5,60	5,60
10.	Γραμμική ράγα τύπου V-Slot 2040 500mm - Black Anodized	ΤΕΜ.	1	7,80	7,80
11.	Solid V Wheel Kit - Black	ΤΕΜ.	7	1,60	11,20
12.	Smooth Idler Wheel with Bearing	ΤΕΜ.	2	1,20	2,40
13.	Tee Nut 2020 - Sliding M3	ΤΕΜ.	10	0,20	2,00
14.	Τροφοδοτικό προδιαγραφών	ΤΕΜ.	1	15,00	15,00
15.	Μαρκαδόροι Carioca Birello	ΣΕΤ.	1	8,90	8,90

16.	Κιτ Βίδες & Παξιμάδια M3, M4, M5 - 275τμχ	ΣΕΤ.	1	6,90	6,90
17.	Κιτ Ροδέλες από Ανοξείδωτο Ατσάλι M2-M12 - 684τμχ	ΣΕΤ.	1	4,90	4,90
18.	Καλώδια 26AWG / 0.12mm ² - 5 Χρώματα	ΤΕΜ.	1	19,90	19,90
ΣΥΝΟΛΟ:			227,60		

(Grobotronics, 2023)

Πίνακας 4 - Κατάλογος Υλικών

6. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟΓΡΑΦΟΥ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ανοιχτού κώδικα.

6.2 GRBL



Πίνακας 5 - Λογότυπο GRBL

Η GRBL είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως σε CNC μηχανές, κυρίως για την ελεγχόμενη κίνηση τους. Αρχικά αναπτύχθηκε για το Arduino και έχει γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή προγράμματα για CNC ελεγκτές λόγω της ευκολίας χρήσης και της ευελιξίας του.

Οι βασικές λειτουργίες του GRBL περιλαμβάνουν τον έλεγχο του κινητήρα, τη διαχείριση των βηματικών κινητήρων, την κίνηση σε τρεις διαστάσεις (X, Y, Z) και τη διαχείριση των αξόνων. Επίσης, υποστηρίζει την εντολή G-code, η οποία χρησιμοποιείται για την περιγραφή των κινήσεων που πρέπει να εκτελέσει η CNC μηχανή. Η συνδυασμένη χρήση του Arduino, του CNC Shield και του GRBL αποτελεί μια οικονομική και αξιόπιστη λύση για την κατασκευή και τη λειτουργία της.

Το GRBL παρέχει μια σειρά από παραμέτρους (settings) που μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής σας και τα χαρακτηριστικά του CNC μηχανήματός σας. Οι παράμετροι αυτές προσδιορίζουν τις μέγιστες ταχύτητες, τις επιταχύνσεις, τις διαστάσεις του εργαστηρίου και πολλά άλλα.

Για να προσαρμόσετε τις παραμέτρους του GRBL, πρέπει να χρησιμοποιήσετε έναν τερματικό επικοινωνίας με το Arduino που τρέχει το GRBL, όπως το Arduino IDE ή ένα τρίτο πρόγραμμα τερματικού, και να στείλετε τις κατάλληλες εντολές.

GRBL υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα G-codes, τα οποία είναι εντολές που χρησιμοποιούνται για την ελέγχου μιας CNC μηχανής. Αυτά τα G-codes καθορίζουν κινήσεις, ταχύτητες, και άλλες λειτουργίες που πρέπει να εκτελέσει η μηχανή.

Πίνακας με βασικά G-codes που υποστηρίζονται από το GRBL

ΕΝΤΟΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
G0/G1	Κίνηση σε γραμμική κίνηση. (G0 γρήγορη κίνηση, G1 αργή, ακριβή κίνηση).
G2/G3	Κίνηση σε κυκλική τροχιά. Χρησιμοποιούνται για την δημιουργία κυκλικών κινήσεων.
G4	Καθυστέρηση. Χρησιμοποιείται για προσδιορισμένη παύση κατά την εκτέλεση του προγράμματος.
G17/G18/G19	Ορισμός του επιπέδου του εργαστηρίου (XY, XZ, YZ).
G20/G21	Ορισμός της μονάδας μέτρησης (ίντσες ή χιλιοστά).
G28	Επιστροφή στην θέση Homing.
G90/G91	Απόλυτος/Σχετικός τρόπος κίνησης. Το G90 χρησιμοποιείται για απόλυτες κινήσεις, ενώ το G91 χρησιμοποιείται για σχετικές κινήσεις.
G92	Ορισμός των τρέχοντων συντεταγμένων.

Πίνακας 6 - Βασικά G-codes

Αυτά είναι μερικά από τα βασικά G-codes που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε με το GRBL. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα πιο εξειδικευμένα G-codes που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς διαφορετικούς σκοπούς, όπως η ρύθμιση της ταχύτητας της κεφαλής (spindle speed), κλπ. (GitHub, 2023) (How To Mechatronics, 2023).

6.3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

6.3.1. ARDUINO IDE

Το Arduino IDE (Integrated Development Environment) είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού που χρησιμοποιείται για την προγραμματισμό των πλακετών Arduino και άλλων συμβατών μικροελεγκτών. Είναι ένα εργαλείο που παρέχει έναν απλό τρόπο για τη σύνταξη και τον μεταγλωτισμό προγραμμάτων Arduino.

Το Arduino IDE παρέχει ένα σύνολο βασικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένου της χρωματικής επισήμανσης για τον κώδικα, πράγμα που καθιστά ευκολότερη την ανάγνωση και την επεξεργασία του. Περιλαμβάνει βασικές λειτουργίες όπως αντιγραφή, επικόλληση, αποθήκευση κλπ.

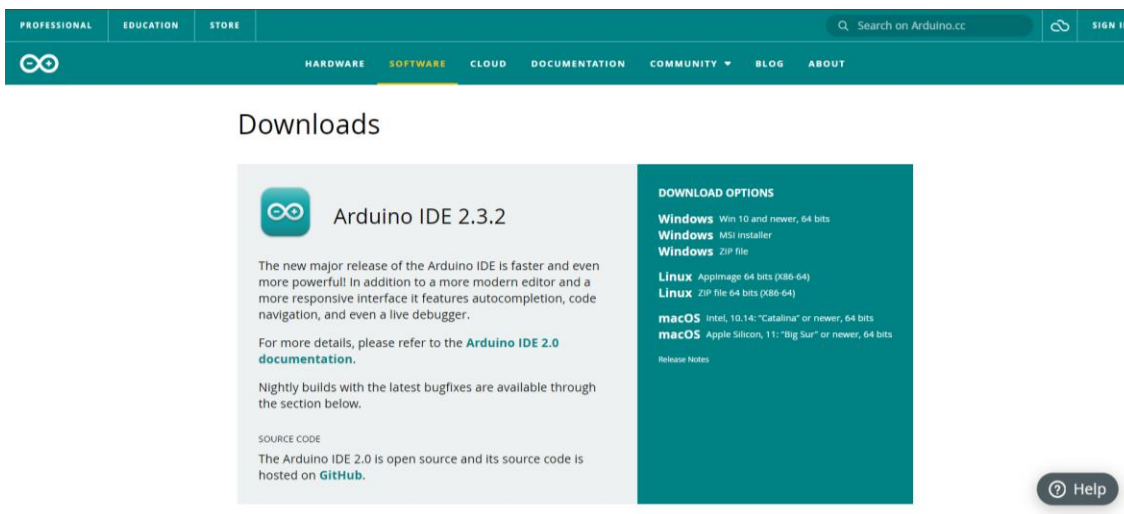
Το Arduino IDE είναι ένα εξαιρετικά δημοφιλές εργαλείο που βασίζονται σε Arduino και παρόμοιους μικροελεγκτές. Είναι διαθέσιμο για λήψη δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino και υποστηρίζει πολλές διαφορετικές πλακέτες Arduino.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ARDUINO IDE

Για να κάνεις εγκατάσταση το Arduino IDE σε Windows θα πρέπει να κάνεις λήψη του σχετικού αρχείου. Έχεις δύο επιλογές, να κάνεις λήψη ενός .zip αρχείου και ενός .msi αρχείου. Το .msi αρχείου θα κάνει εγκατάσταση και όλων των απαραίτητων drivers. Ενώ το .zip αρχείο συνήθως χρησιμοποιείται για φορητή εγκατάσταση σε κάποιο USB.

Βήμα #1 – Λήψη αρχείων

Πήγαινε στην επίσημη σελίδα του Arduino IDE και επέλεξε στα Download Options το **Windows MSI Installer**. (Arduino.cc, 2023)



Εικόνα 23 - Εγκατάσταση Arduino IDE

6.3.2. ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ GRBL ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ GRBL

Κατεβάστε τον πιο πρόσφατο πηγαίο κώδικα grbl ως .zip, μέσω του επίσημου αποθετηρίου του GRBL στο GitHub (<https://github.com/grbl/grbl>). Ανοίξτε το grbl .zip και μεταβείτε σε έναν φάκελο που ονομάζεται απλά "grbl" Εξαγάγετε το φάκελο σε έναν φάκελο και ανοίξτε το ARDUINO IDE. Στο ARDUINO IDE, μεταβείτε στο SKETCH>INCLUDE LIBRARY> ADD .ZIP LIBRARY. Μεταβείτε στον φάκελο grbl και κάντε κλικ στο ok. Το GRBL είναι πλέον εγκατεστημένο ως βιβλιοθήκη ARDUINO. Μεταβείτε στο FILE>EXAMPLE>GRBL>GRBLUPLOAD και θα φορτώσετε το πρόγραμμα στο μικροελεγκτή.



Εικόνα 24 - Εγκατάσταση Βιβλιοθήκης GRBL

6.3.3. ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ G-CODE

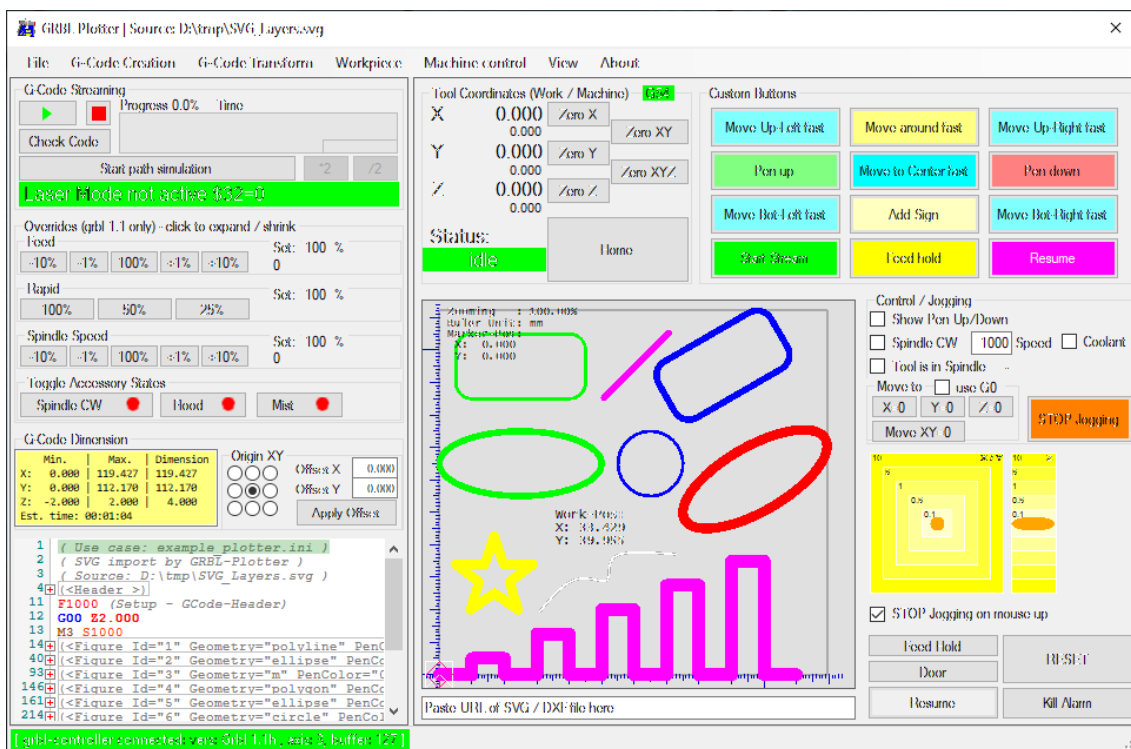
Για την εύρεση του καταλληλότερης πλατφόρμας αναζητήσαμε και βρήκαμε τα παρακάτω δημοφιλή λογισμικά.

- **Universal Gcode Sender (UGS):** Το UGS είναι ένα από τα πιο δημοφιλή προγράμματα ελέγχου για το GRBL. Παρέχει λειτουργίες για τη φόρτωση, την αποστολή και την παρακολούθηση του G-code, αλλά δεν παρέχει λειτουργία πλοττερ.
- **bcNC:** Το bcNC είναι ένα άλλο πρόγραμμα ελέγχου CNC που υποστηρίζει το GRBL. Παρέχει επίσης λειτουργίες για την αποστολή και την εκτέλεση του G-code, αλλά δεν παρέχει ενσωματωμένο πλοττερ.
- **Candle:** Το Candle είναι ένα άλλο εργαλείο ελέγχου για το GRBL που παρέχει βασικές λειτουργίες αποστολής και εκτέλεσης του G-code, αλλά δεν περιλαμβάνει πλοττερ.
- **GRBL – Plotter:** Το GRBL-Plotter είναι ένας μετατροπέας γραφικών και ένας αποστολέας G-code, ο οποίος βασίζεται σε ιδιότητες των εισαγόμενων γραφικών, όπως Layer, χρώμα στυλό ή πάχος στυλό.

Η επιλογή μας είναι το GRBL – Plotter, όπου θα το αναλύσουμε παρακάτω.

6.3.3.1. GRBL – PLOTTER

Το GRBL-Plotter είναι ένας μετατροπέας γραφικών και ένας αποστολέας G-code, ο οποίος βασίζεται σε ιδιότητες των εισαγόμενων γραφικών, όπως Layer, χρώμα στυλό ή πάχος στυλό. (GRBL PLOTTER, 2023)



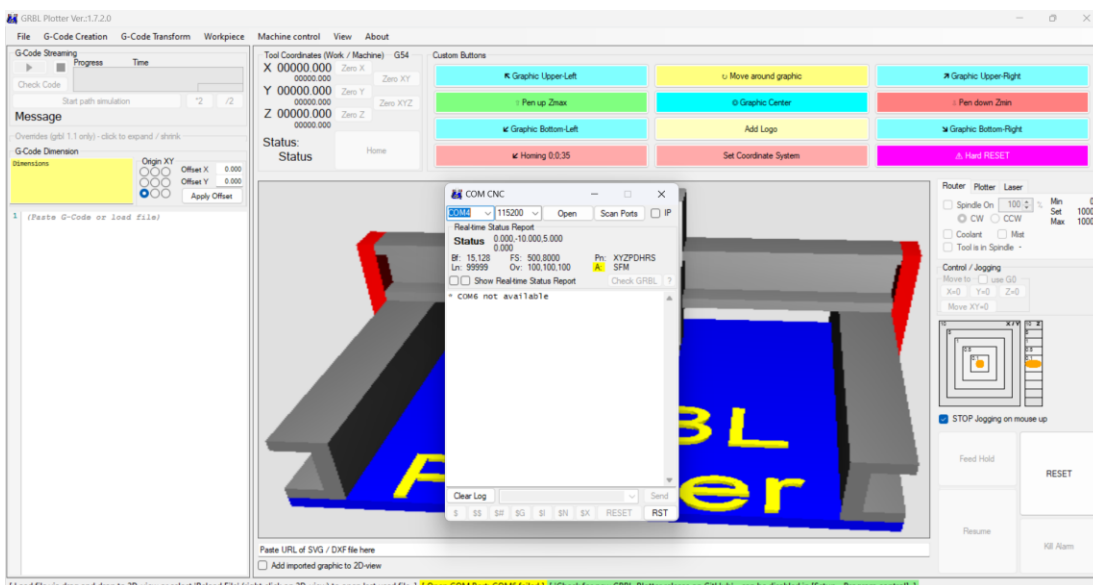
Εικόνα 25 - Πλατφόρμα GRBL - Plotter

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Πλατφόρμα δοκιμασμένη σε Windows, OSX, Linux.
- Όλα σε μία εγκαταστημένη πλατφόρμα.
- Τρισδιάστατη οπτικοποίηση με πολύχρωμα γραμμικά τμήματα και ενημέρωση πραγματικού χρόνου για την θέση του εργαλείου.
- Υπολογισμός χρόνου
- Διαμόρφωση βελτιστοποίησης g-code

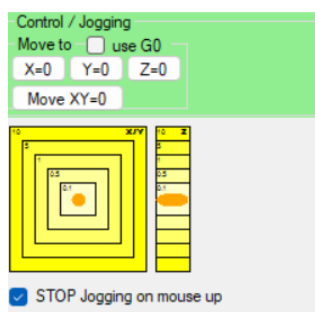
ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Ανοίγοντας την πλατφόρμα G-CODE (GRBL-Plotter) βλέπουμε το παρακάτω παράθυρο. Σε αυτό παρατηρούμε τις βασικές παραμέτρους που πρέπει να ρυθμίσουμε ώστε η πλατφόρμα να μπορέσει να λειτουργήσει ορθά με το Grbl. Αρχικά επιλέγουμε την ρύθμιση Port σύμφωνα με την θύρα USB που είναι συνδεδεμένο το Arduino στον υπολογιστή μας και την ρύθμιση του Band στην τιμή 115200. Μετά την αλλαγή των παραμέτρων απλά πατάμε το Open και έχουμε πραγματοποιήσει την σύνδεση.



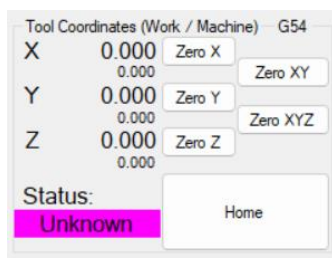
Εικόνα 26 - Αρχικές ρυθμίσεις Grbl-Plotter

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



Εικόνα 27 - Παράθυρο Control /Jogging

Στη συνέχεια, η διαδικασία μηδενισμού μπορεί να γίνει είτε από το παράθυρο Tool Coordinates (Work / Machine), που μας δίνει τη δυνατότητα να μηδενίσουμε όλους τους άξονες ταυτόχρονα με το κουμπί Zero XYZ, είτε Zero X, Zero Y, Zero Z, που δίνει τη δυνατότητα μηδενισμού του κάθε άξονα χωριστά.



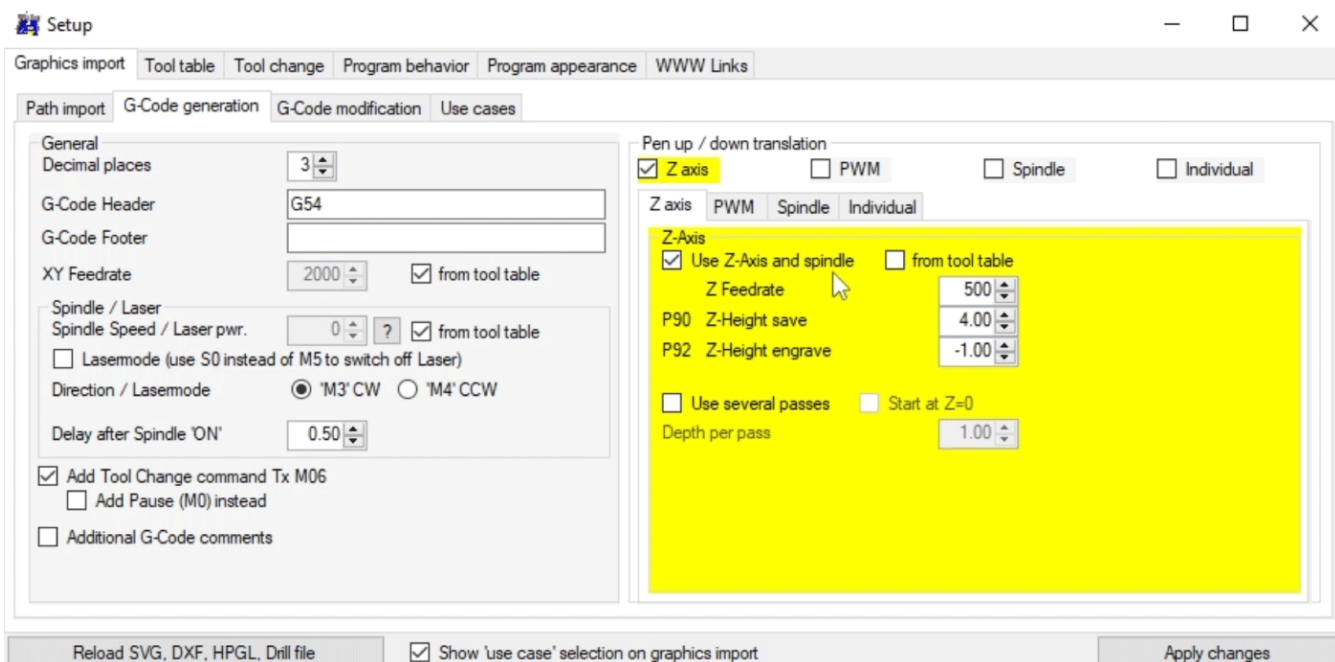
Εικόνα 28 - Tool Coordinates (Work / Machine)

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.

Μετά την εγκατάσταση του GRBL - Plotter 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 τον σχεδιογράφο. 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.

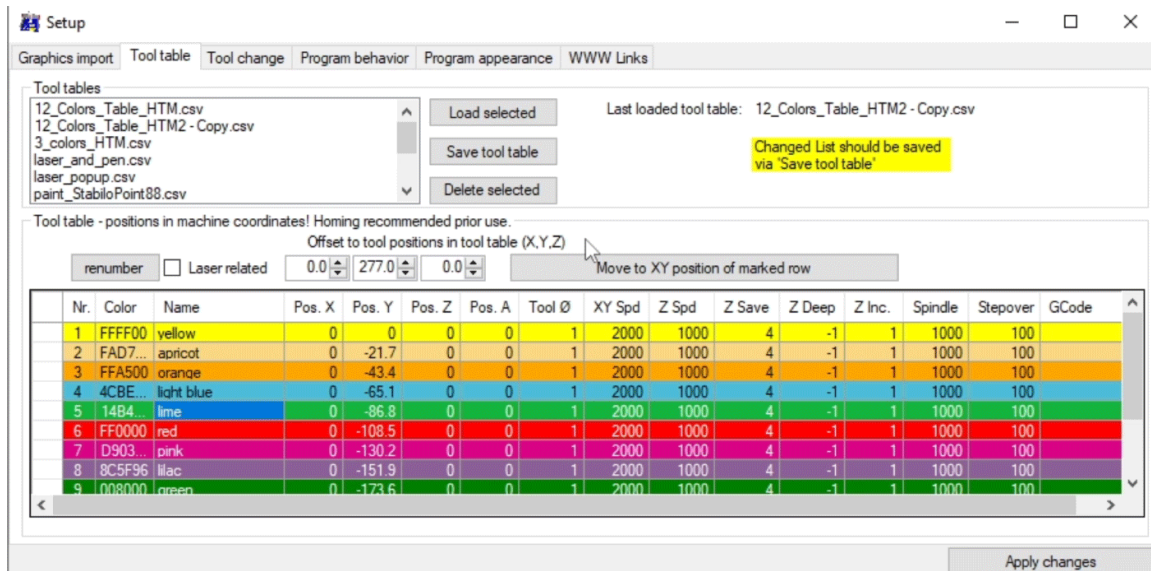
Βλέπε Παράρτημα 2.

Αμέσως επομένως θα ρυθμίσουμε τον άξονα Z και θα ορίσουμε τις τιμές για τη θέση Πάνω και Κάτω.



Εικόνα 29 - Ρύθμιση άξονα Z

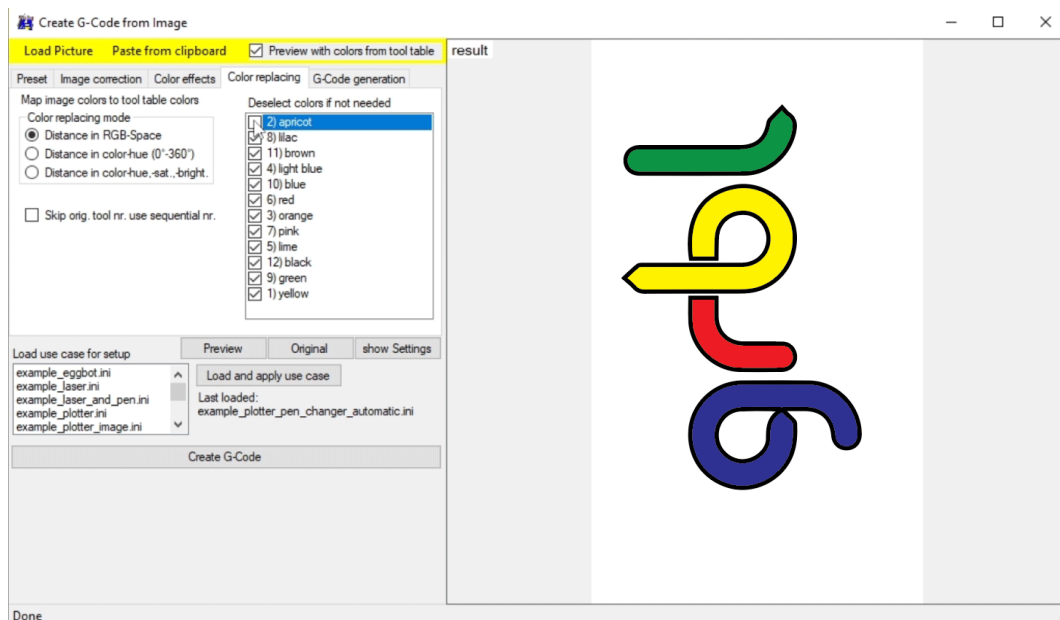
Στην καρτέλα του Tool table, μπορούμε να ορίσουμε το χρώμα των στυλό και τη θέση τους. Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι αυτές οι τιμές είναι για το G53 ή το σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 30 - Ρύθμιση συντεταγμένων χρωμάτων

Τέλος, αφού έχουμε μηδενίσει, θα δημιουργήσουμε G-code από εικόνες με το λογισμικό GRBL-Plotter.

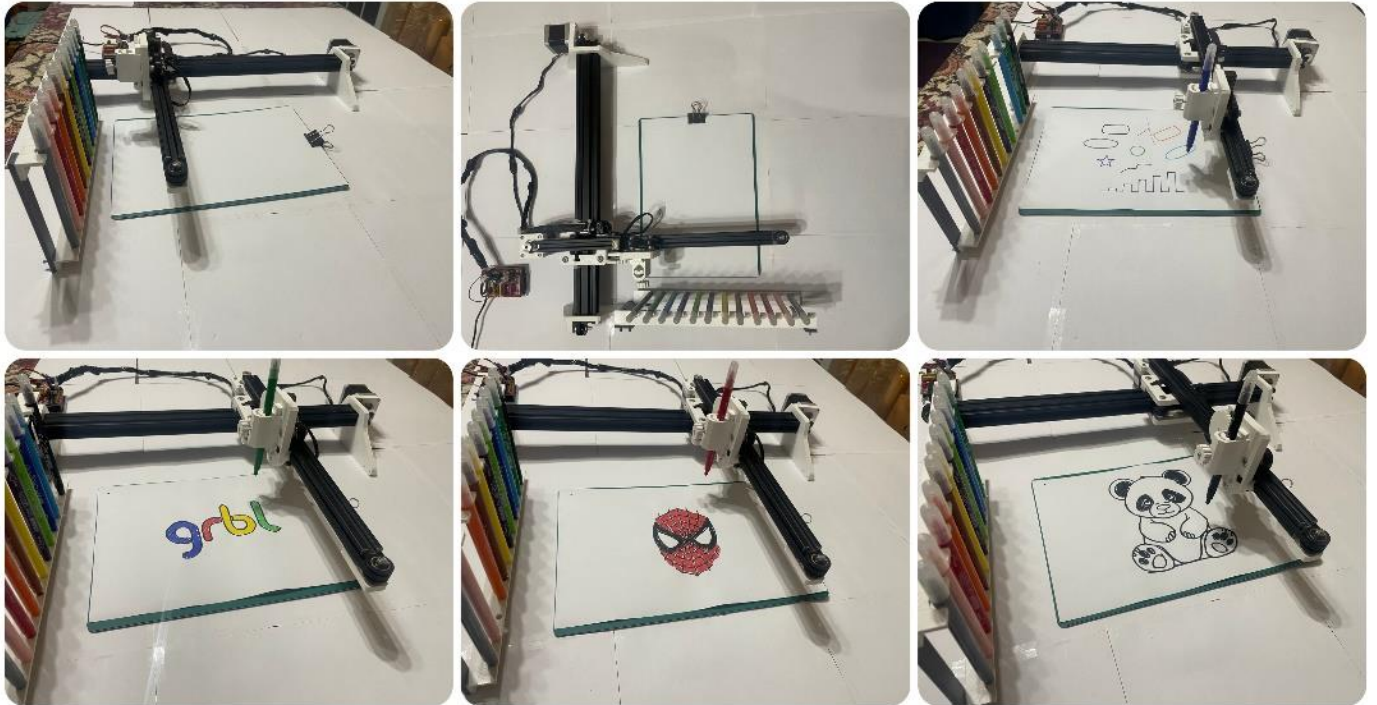
Μόλις φορτώσουμε την εικόνα, μπορούμε να κάνουμε κλικ στο «Preview with colors from tool table», για να δούμε πώς θα μοιάζει η εικόνα. Από την καρτέλα Color replacing, μπορούμε να παίξουμε με τις τιμές Brightness, Contrast, Gama και Saturation για να πετύχουμε χρώματα παρόμοια με την πραγματική εικόνα ή αυτό που πραγματικά θέλουμε. Μπορούμε να ρυθμίσουμε το μέγεθος εξόδου σε mm, την αντικατάσταση χρώματος και μπορούμε να αφαιρέσουμε τα χρώματα που δεν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 31 - Δημιουργία & Ρυθμίσεις G-code από εικόνα

7. ΔΟΚΙΜΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ακολουθώντας τα βήματα της παραγράφου 6.3.3.1. οι εκτυπώσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:



Εικόνα 32 - Διάφορες δοκιμαστικές εκτυπώσεις

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκε, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένας λειτουργικό σχεδιογράφος με την δυνατότητα εναλλαγής 12 διαφορετικών χρωμάτων.

Ολοκληρώνοντας και λειτουργώντας την παρούσα κατασκευή προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα.

- Ο σχεδιογράφος είναι εύχρηστος και κατάλληλος για εκπαιδευτικούς σκοπούς καθώς για τη χρήση της απαιτούνται μόνο βασικές γνώσεις Arduino (παραλλαγή C++) και βασικές εντολές του G-code.
- Το κόστος είναι αρκετά χαμηλό.
- Μέσω του περιβάλλοντος διεπαφής της εργαλειομηχανής με τον χρήστη είναι πολύ εύκολο να γίνουν κατανοητές πολλές από τις λειτουργίες των δισδιάστατων καθώς και τρισδιάστατων εκτυπωτών, επειδή επιτρέπει την πληκτρολόγηση G-code αλλά και την εισαγωγή του από κάποιο πρόγραμμα σχεδίασης.
- Ο σχεδιογράφος έχει αρκετά καλή ακρίβεια και είναι ικανός να εκτελέσει γεωμετρικά περίπλοκα σχέδια με ταυτόχρονη κίνηση σε όλους τους άξονες, με προϋπόθεση οι δύο ιμάντες που κινούν των άξονα X και Y να μην είναι χαλαροί, διότι χάνετε η ακρίβεια στις κινήσεις και αποτυγχάνεται η εκτύπωση.

- Ο έλεγχος και η λειτουργία του σχεδιογράφου στην παρούσα φάση γίνεται με ένα Arduino Uno.

Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις της.

- Για μεγαλύτερη ασφάλεια του σχεδιογράφου θα μπορούσαν να προστεθούν τερματικοί διακόπτες (endstops) στο τέλος κάθε άξονα κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφεύγονταν ατυχήματα κατά την εκτέλεση ενός G-code ο οποίος δεν λαμβάνει σωστά υπόψιν τα μεγέθη του σχεδιογράφου.
- Επίσης με τη χρήση των τερματικών διακοπών γίνεται δυνατή η λειτουργία εντοπισμού των ορίων, με την οποία γίνεται αυτόματος μηδενισμός στους άξονες του.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arduino.cc. (2023). *Arduino Reference*. Ανάκτηση 12 3, 2018, από <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/digitalread/>
- Barnatt, C. (2013). *Introduction to 3D Printing*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Circuits-DIY. (2023). *Circuits-DIY*. Ανάκτηση από Circuits-DIY: <https://www.circuits-diy.com/servo-motor-driver-circuit/>
- Eskilson, S. J. (2007). *Graphic Design: A New History*. Yale University Press; First Edition.
- FuseLab. (2023). *FuseLab Reform Matter*. Ανάκτηση από FuseLab: <https://fuselab.gr/ti-einai-vimatikos-kinitiras-stepper-motor/>
- GitHub. (2023). Ανάκτηση από GitHub - GRBL: <https://github.com/grbl/grbl>
- GRBL PLOTTER. (2023). Ανάκτηση από <https://grbl-plotter.de/>
- Grobotronics. (2023). Ανάκτηση από <https://grobotronics.com/>
- How To Mechatronics. (2023). Ανάκτηση από How To Mechatronics: <https://howtomechatronics.com/tutorials/how-to-setup-grbl-control-cnc-machine-with-arduino/>
- Meggs, P. B. (1998). *A History of Graphic Design*. Wiley; 3rd edition.
- Planchard, M. (2015, 6 22). *West Virginia University wins NASA Robot Competition*. (solidworks.com) Ανάκτηση 12 7, 2018, από https://www.google.gr/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjG5M7_yY3fAhULUIAKHW01B7MQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fblogs.solidworks.com%2Fteacher%2F2015%2F06%2Fwest-virginia-university-wins-nasa-robot-competition.html&psig=AOvVaw1Z8LeN5wSR
- Polulu. (2023). *Pololu*. Ανάκτηση από Pololu: <https://www.pololu.com/picture/view/0J4222>
- SPOOKY TEDDY - ARDUINO POWERED SELF-ROCKING CHAIR & ROTATING HEAD. (2018, 11 7). Ανάκτηση από www.instructables.com: <https://www.instructables.com/id/Spooky-Teddy-Arduino-Powered-Self-rocking-Chair-Ro/>
- University, C. M. (2023). *Kinetic Fabrics*. Ανάκτηση από CNC ARDUINO SHIELD: <https://courses.ideate.cmu.edu/16-376/s2020/ref/text/hardware/cnc-shield.html>
- Walker, T. D. (2002). *Digital Printing Handbook*. Amphoto Books.
- Wikipedia. (2022, 4 15). *Plotter*. (Wikipedia) Ανάκτηση 7 7, 2022, από <https://en.wikipedia.org/wiki/Plotter>

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας - Επεξεργαστής. (2022, 10 11). Ανάκτηση από Wikipedia:
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B1_%CE%95%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82

Μικροεπεξεργαστής. (2021, 11 3). Ανάκτηση από Wikipedia:
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82>

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 - ΚΩΔΙΚΑΣ ARDUINO

```
/******
```

This sketch compiles and uploads Grbl to your 328p-based Arduino!

To use:

- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino IDE. There are details on our Github website on how to do this.
- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu.
NOTE: Grbl only officially supports 328p-based Arduinos, like the Uno.
Using other boards will likely not work!
- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:

If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional options for customization and features you can enable or disable. Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl source code files, open the 'config.h' file in your favorite text editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sungeun K. Jeon

Released under the MIT-license. See license.txt for details.

```
*****/
```

```
#include <grbl.h>
```

```
// Do not alter this file!
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 - ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΛΩΝ G-CODE

Εντολή	Περιγραφή	Επεξήγηση
\$\$	View Grbl settings	Για να εμφανιστούν οι ρυθμίσεις, ενώ έχουμε συνδέσει το Grbl, πληκτρολογούμε \$\$ και enter. Το Grbl μας εμφανίζει σε λίστα όλες τις τρέχουσες ρυθμίσεις του. Οι ρυθμίσεις αυτές αν απενεργοποιήσουμε το Arduino δεν χάνονται.
\$0=10	(step pulse, usec)	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=25	(step idle delay, msec)	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=0	(step port invert mask:00000000)	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.
\$3=6	(dir port invert mask:00000110)	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.
\$4=0	(step enable invert, bool)	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=0	(limit pins invert, bool)	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=0	(probe pin invert, bool)	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=3	(status report mask:00000011)	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.
\$11=0.020	(junction deviation, mm)	<p>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.</p> <p>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.</p>
\$12=0.002	(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=0	(report inches, bool)	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=0	(soft limits, bool)	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=0	(hard limits, bool)	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=0	(homing cycle, bool)	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=1	(homing dir invert mask:00000001)	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=50.000	(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=635.000	(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=250	(homing debounce, msec)	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=1.000	(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.
\$100=314.961	(x, step/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: $steps_per_mm = (steps_per_revolution * microsteps) / mm_per_rev$
\$101=314.961	(y, step/mm)	
\$102=314.961	(z, step/mm)	
\$110=250.000	(x 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
\$111=250.000	(y max rate, mm/min)	

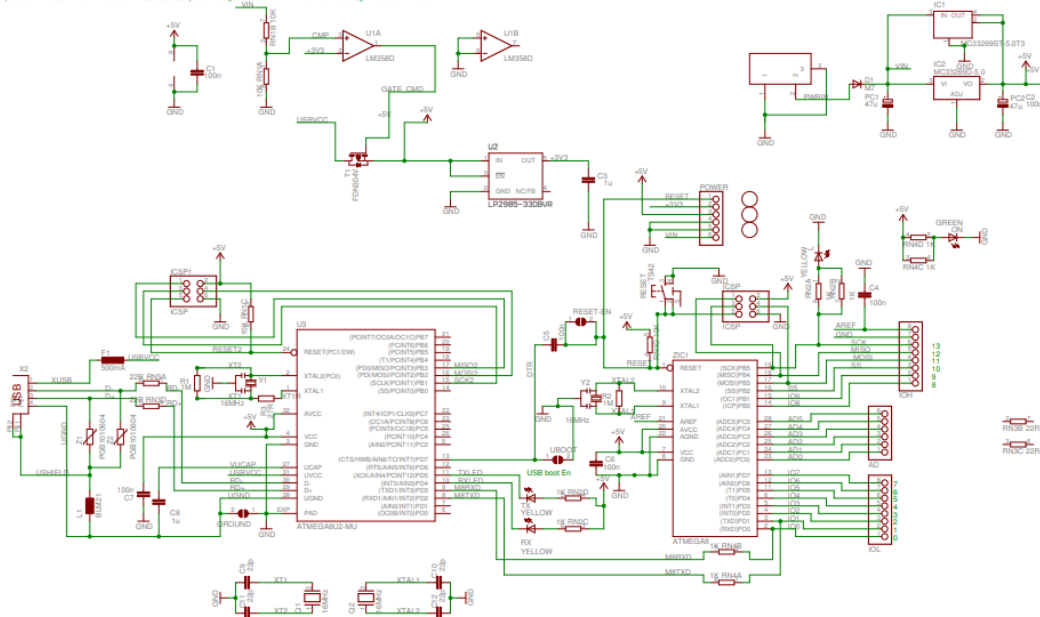
\$112=50.000	(z max rate, mm/min)	θόρυβο χωρίς όμως να δημιουργείται κάποιο πρόβλημα. Μόλις βρούμε αυτή την τιμή θέτουμε μια νέα τιμή κατά 10-20% μικρότερη.
\$120=50.000	(x accel, mm/sec^2)	Η ρύθμιση αυτή θέτει την επιτάχυνση του κάθε άξονα σε χιλιοστά/δευτερόλεπτο/δευτερόλεπτο. Απλοποιημένα, χαμηλότερες τιμές κάνουν το Grb1 πιο αργό στις κινήσεις του, ενώ μεγαλύτερες τιμές επιτρέπουν στο Grb1 να φτάσει πιο γρήγορα στη μέγιστη ταχύτητα. Η εύρεση αυτής της τιμής γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η προηγούμενη ρύθμιση.
\$121=50.000	(y accel, mm/sec^2)	
\$122=50.000	(z accel, mm/sec^2)	
\$130=30.000	(x 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 Grb1 για να ελέγξει αν μια εντολή κίνησης υπερβαίνει τα όρια της μηχανής.
\$131=30.000	(y max travel, mm)	
\$132=5.000	(z max travel, mm)	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ (DATASHEET)

3.1. ARDUINO UNO

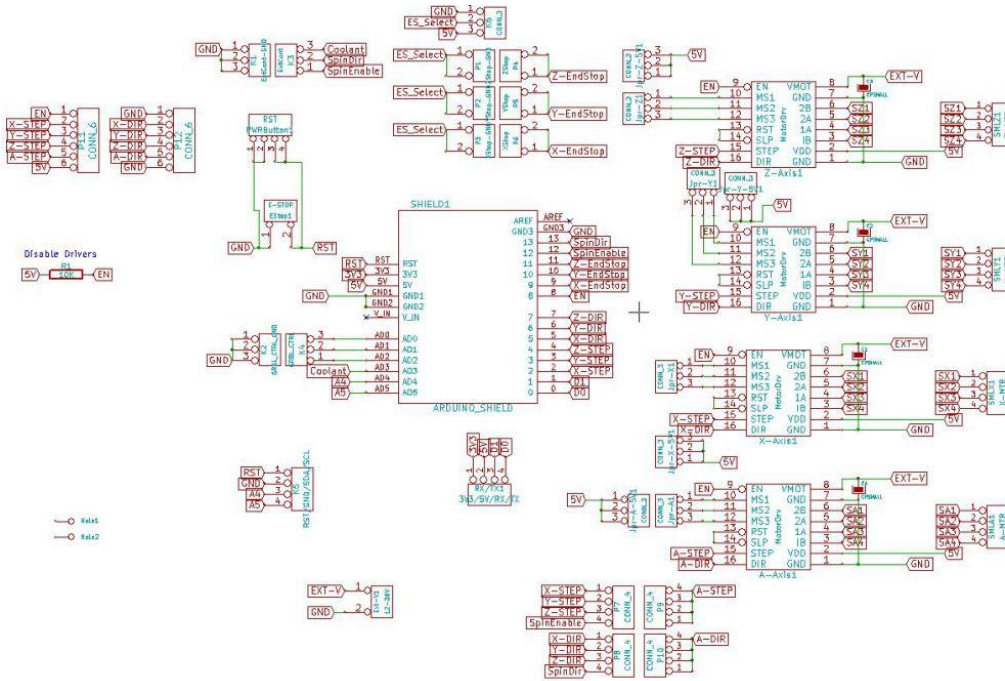
Arduino™ UNO Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined". Arduino reserves the right for future editions and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



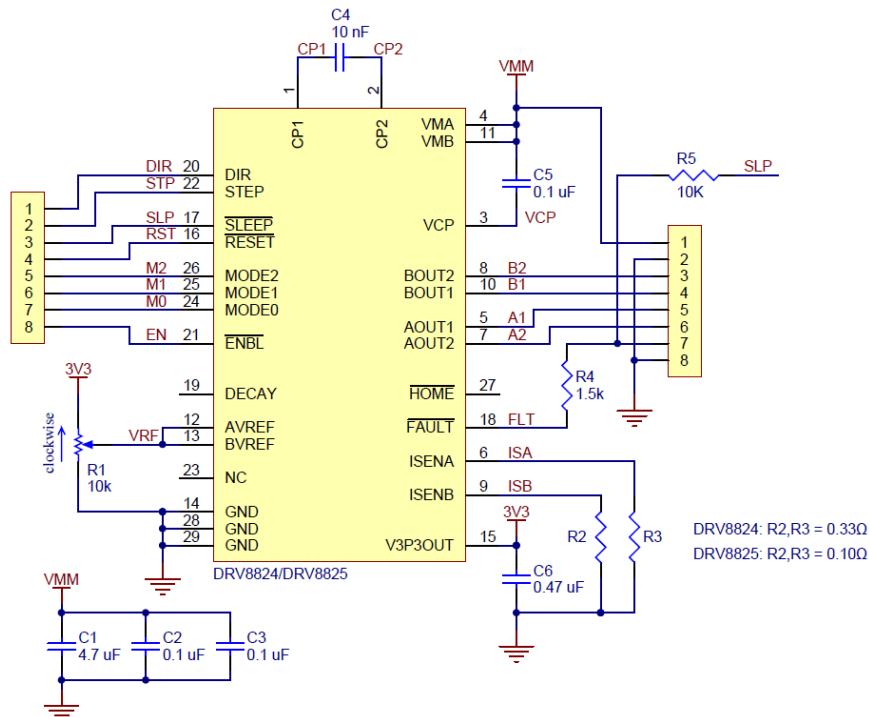
(Arduino.cc, 2023)

3.2. CNC SHIELD



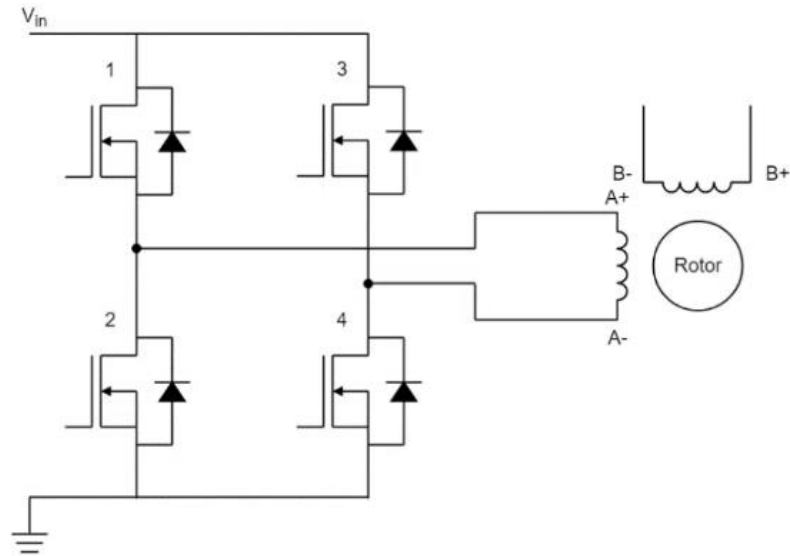
(University, 2023)

3.3. DRV8825



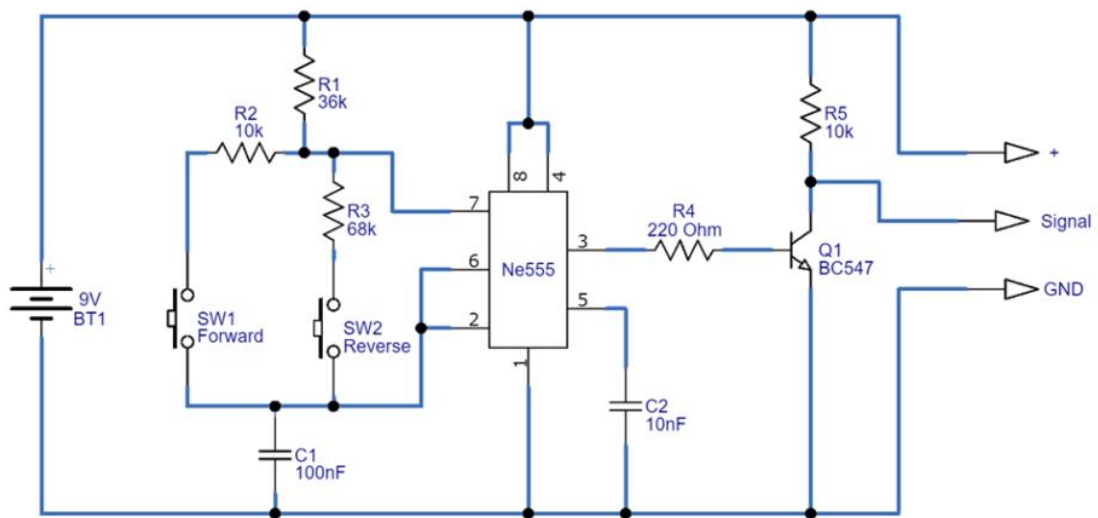
(Polulu, 2023)

3.4. ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ



(FuseLab, 2023)

3.5. SERVO MICRO



(Circuits-DIY, 2023)