



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδιασμός, μελέτη και κατασκευή CNC εργαλειομηχανής τριών
αξόνων**

Design, study and constuction of a 3-axis milling machine



ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΜ: 461463794

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΤΣΑΙΝΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΜΑΡΙΟΣ: ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2024

1.1 ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αναγνωστόπουλος Γεώργιος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 46143794 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/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

ΖΩΗ ΚΑΝΕΤΑΚΗ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Ο
Δηλών



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός, μελέτη και κατασκευή CNC εργαλειομηχανής τριών αξόνων

Design, study and constuction of a 3-axis milling machine

ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

46143794

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ

ΤΣΑΙΝΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΜΑΡΙΟΣ

Η διπλωματική μου εργασία εξετάστηκε επιτυχώς απο την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΤΣΑΪΝΗΣ ΜΑΡΙΟΣ-ΑΝΔΡΕΑΣ	ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
3	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

Ημερομηνία εξέτασης : 20/03/2024

Ευχαριστίες

Επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας κυρία Κανετάκη Ζώη και στον κύριο Τσαϊνη Μάριο για την βοήθεια και την καθοδήγηση τους που οδήγησαν στην περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας .

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον πατέρα μου Δημήτρη την μητέρα μου Χάιδω και την αδερφή μου Σοφία για την συνεχή στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια .

Περίληψη

Η Παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό, την μελέτη και την κατασκευή μιας πιλοτικής εργαλειομηχανής 3 αξόνων εκπαιδευτικής χρήσης. Η εργασία καλύπτει τον σχεδιασμό όλων των επιμέρους στοιχείων που απαρτίζουν την εργαλειομηχανή και επεξηγεί όλα τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά μέρη της εργαλειομηχανής καθώς και γίνεται αναφορά στον τρόπο προγραμματισμού και οδήγησης των κινητήρων ώστε να λειτουργήσει η μηχανή. Επιπλέον παρουσιάζεται η κατασκευή άλλα και δυσκολίες που συναντήθηκαν κατά της κατασκευής της. Η δοθέν προσέγγιση δίνει στον αναγνώστη μια πλήρη εικόνα της διαδικασίας και των προκλήσεων που μπορεί να συναντήσει κανείς κάτω την κατασκευή μιας τέτοιας εργαλειομηχανής

Περιεχόμενα

1.1 ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
Περίληψη.....	3
Σκοπός της Εργασίας.....	6
Εισαγωγή.....	6
1 Stepper Motors.....	8
1.1 Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας των Βηματικών Κινητηρίων.....	8
1.2 Τύποι βηματικών κινητήρων.....	11
1.3 Πλεονεκτήματα και εφαρμογές των Stepper Motors.....	13
1.4 Κριτήρια επιλογής για Stepper Motors.....	16
1.5 Τεχνικές ελέγχου βηματικού κινητήρα.....	19
2 Arduino Uno.....	22
2.1 Εισαγωγή στο Arduino Uno.....	22
2.2 Χαρακτηριστικά και Προδιαγραφές του Arduino Uno.....	24
2.3 Προγραμματισμός Arduino Uno για Stepper Motor Control.....	28
2.4 Διασύνδεση Arduino Uno με άλλα εξαρτήματα.....	31
3 TB6600 Πρόγραμμα οδήγησης.....	33
3.1 Επισκόπηση των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600.....	33
3.2 Αρχή λειτουργίας και χαρακτηριστικά των προγραμμάτων οδήγησης TB6600.....	38
3.3 Διαμόρφωση και συντονισμός προγραμμάτων οδήγησης TB6600.....	41
3.4 Συμβατότητα με Stepper Motors.....	43
3.5 Περιορισμοί και Θεωρήσεις.....	46
4 Γραμμικά ρουλεμάν.....	50
4.1 Εισαγωγή στα Γραμμικά Ρουλεμάν.....	50
4.2 Χαρακτηριστικά Γραμμικών Ρουλεμάν.....	54

5	Ball Screws.....	59
5.1	Ορισμός και λειτουργία των Ball Screw.....	59
5.2	Πλεονεκτήματα και εφαρμογές των σφαιρικών βιδών.....	63
5.3	Συντήρηση και λίπανση σφαιρικών βιδών.....	65
6	Σχεδιασμός κατασκευής.....	68
6.1	Σχεδιασμός σκελετού εργαλειομηχανής.....	68
6.2	Σχεδιάσμος εξαρτημάτων εργαλειομηχανής.....	69
6.3	Ανάλυση μηχανικών εξαρτημάτων αξόνων κατεργασίας.....	75
7	Ηλεκτρονικό και Ηλεκτρολογικό κομμάτι εργαλειομηχανής.....	81
8	Συναρμολόγηση εργαλειομηχανής.....	87
8.1	Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.....	87
8.2	Συναρμολόγηση Εργαλειομηχανής.....	87
8.3	Ηλεκτρονικό κομμάτι της εργαλειομηχανής.....	94
8.4	Παραμετροποίηση της εργαλειομηχανής.....	100
8.5	Ρύθμιση εργαλειομηχανής μέσω Universal G- code Sender (UGS).....	101
8.6	Δυσκολίες κατά την κατασκευή της εργαλειομηχανής.....	107
9	Μελέτη αξόνων με την χρήση του Inventor Nastran.....	112
10	Περιορισμοί εργαλειομηχανής κόστος κατασκευής και μελλοντικές βελτιώσεις.....	112
10.1	Περιορισμοί εργαλειομηχανής.....	112
10.2	Χρόνος σχεδιασμού, χρόνος κατασκευής , χρόνος μελέτης.....	112
10.3	Ανάλυση κόστους μηχανικών, ηλεκτρονικών, και ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων εργαλειομηχανής.....	113
10.4	Μελλοντικές βελτιώσεις.....	116
11	Παράρτημα σχεδίων.....	117
12	Βιβλιογραφία.....	127

Σκοπός της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με τη μελέτη, τον σχεδιασμό και την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής τριών αξόνων τύπου CNC. Ο κύριος στόχος της είναι να αποτελέσει ένα χρήσιμο εγχειρίδιο και πηγή έμπνευσης για τους σπουδαστές, παρέχοντας τους ιδέες και κατευθυντήριες γραμμές για την κατασκευή της δικής τους CNC εργαλειομηχανής.

Η μηχανή που θα κατασκευαστεί θα είναι εκπαιδευτικού χαρακτήρα και θα χρησιμοποιηθούν οικονομικά υλικά, διασφαλίζοντας παράλληλα τη σταθερότητα και την ακρίβεια της κατασκευής. Σκοπός είναι να προσφέρει μια πρακτική προσέγγιση για τη δημιουργία μιας προσιτής CNC εργαλειομηχανής, ενθαρρύνοντας τη δημιουργικότητα και την εκπόνηση παρόμοιων έργων από τους φοιτητές.

Εισαγωγή

Ο τομέας του αυτοματισμού και της ρομποτικής έχει γνωρίσει σημαντικές προόδους τα τελευταία χρόνια, φέρνοντας επανάσταση σε διάφορους κλάδους και επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο και την αυτοματοποίηση των μηχανικών συστημάτων. Οι βηματικοί κινητήρες, οι πλακέτες μικροελεγκτών Arduino Uno, οι οδηγοί TB6600, τα γραμμικά ρουλεμάν και οι σφαιρικές βίδες είναι βασικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε πολλά ρομποτικά συστήματα και βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτή η εργασία στοχεύει να παρέχει μια εις βάθος κατανόηση αυτών των στοιχείων, των λειτουργικοτήτων τους και της ενσωμάτωσής τους σε διάφορα συστήματα.

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας. Προσφέρουν ευδιάκριτα πλεονεκτήματα, όπως υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, ακριβή ανάλυση βημάτων και δυνατότητα διατήρησης θέσης χωρίς ισχύ. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τους βηματικούς κινητήρες κατάλληλους για εφαρμογές όπως τρισδιάστατοι εκτυπωτές, μηχανές CNC και ρομποτικοί βραχίονες (Smith, 2017). Η αρχή λειτουργίας των βηματικών κινητήρων περιλαμβάνει τη μετατροπή των ηλεκτρικών παλμών σε διακριτά

μηχανικά βήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αλληλεπίδρασης ηλεκτρομαγνητών και μόνιμων μαγνητών ή οδοντωτών ρότορων (Jones, 2019).

Για τον αποτελεσματικό έλεγχο των βηματικών κινητήρων, χρησιμοποιείται συχνά μια πλακέτα μικροελεγκτή όπως το Arduino Uno. Το Arduino Uno είναι μια δημοφιλής πλατφόρμα μικροελεγκτών ανοιχτού κώδικα που υιοθετείται ευρέως στην κοινότητα των κατασκευαστών και στις εκπαιδευτικές ρυθμίσεις. Παρέχει ένα εύχρηστο περιβάλλον προγραμματισμού και διάφορες ψηφιακές και αναλογικές ακίδες I/O για διασύνδεση με εξωτερικά εξαρτήματα (Doe, 2020). Το Arduino Uno μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να παράγει τα απαραίτητα σήματα παλμών για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο θέσης και κίνησης (Smith & Johnson, 2018).

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 χρησιμοποιούνται συνήθως για την κίνηση βηματικών κινητήρων, παρέχοντας τα απαραίτητα επίπεδα ρεύματος και τάσης που απαιτούνται για τη λειτουργία τους. Αυτά τα προγράμματα οδήγησης προσφέρουν υψηλή ισχύ και αποτελεσματική λειτουργία, διασφαλίζοντας ομαλό έλεγχο κινητήρα (Brown, 2021). Οι μονάδες οδήγησης TB6600 χρησιμοποιούν διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM) για τον έλεγχο του ρεύματος που παρέχεται στα πηνία του βηματικού κινητήρα, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της ροπής και της ταχύτητας. Παρέχουν επίσης χαρακτηριστικά προστασίας, όπως προστασία από υπερβολικό ρεύμα και υπερβολική θερμοκρασία (Anderson, 2019).

Στα μηχανικά συστήματα, τα γραμμικά ρουλεμάν παίζουν ζωτικό ρόλο στην υποστήριξη και την καθοδήγηση της γραμμικής κίνησης. Παρέχουν ομαλή και ακριβή γραμμική κίνηση ενώ ελαχιστοποιούν την τριβή και τη φθορά. Τα γραμμικά ρουλεμάν είναι διαθέσιμα σε διάφορους τύπους, συμπεριλαμβανομένων των ρουλεμάν με σφαιρίδια, των ρουλεμάν κυλίνδρων και των απλών ρουλεμάν. Μεταξύ αυτών, τα ρουλεμάν χρησιμοποιούνται συνήθως λόγω της χαμηλής τριβής και της υψηλής φέρουσας ικανότητας (White, 2022). Αποτελούνται από μια σειρά μπάλες που κυλιούνται μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών αυλακώσεων του ρουλεμάν, μειώνοντας την τριβή και επιτρέποντας την ομαλή γραμμική κίνηση (Smith, 2016).

Σε συνδυασμό με τα γραμμικά ρουλεμάν, οι σφαιρικές βίδες χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα γραμμικής κίνησης για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική κίνηση. Μια σφαιρική βίδα αποτελείται από έναν άξονα με σπείρωμα και ένα παξιμάδι με ρουλεμάν. Καθώς ο άξονας περιστρέφεται, οι μπάλες επανακυκλοφορούν μέσα στο παξιμάδι, δημιουργώντας

γραμμική κίνηση κατά μήκος του άξονα. Οι σφαιρικές βίδες προσφέρουν υψηλή απόδοση, ακρίβεια και επαναληψιμότητα, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές όπως οι μηχανές CNC και οι ρομποτικοί ενεργοποιητές (Johnson, 2020).

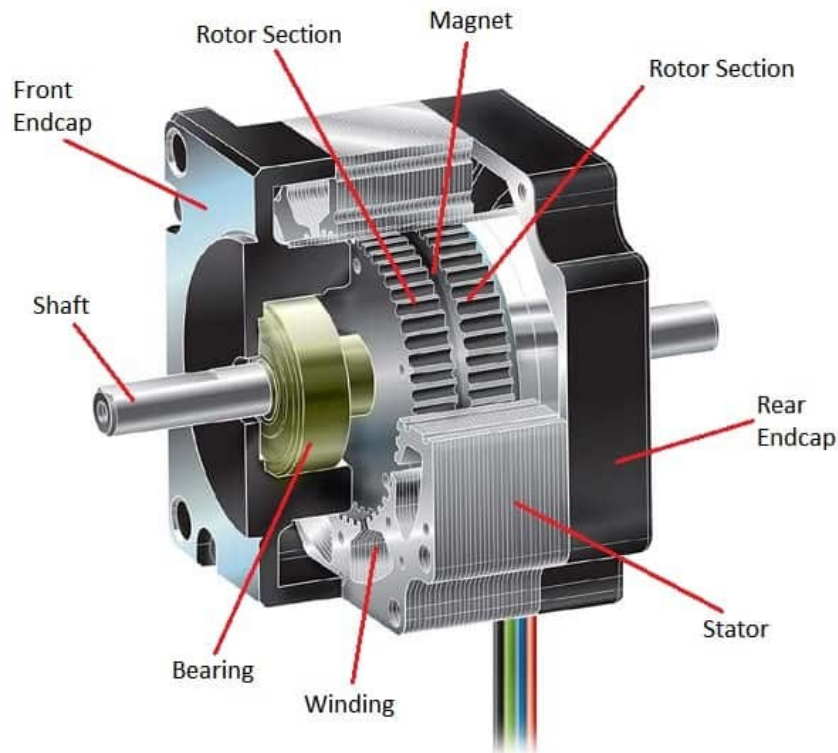
Η ενσωμάτωση βηματικών κινητήρων, Arduino Uno, οδηγών TB6600, γραμμικών ρουλεμάν και σφαιρικών βιδών απαιτεί προσεκτική εξέταση και σχεδιασμό. Η επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων, η ανάλυση συμβατότητας και η ενοποίηση του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και αξιοπιστίας. Επιπλέον, προκλήσεις όπως η μηχανική ευθυγράμμιση, οι κραδασμοί και η διαχείριση ισχύος πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη διαδικασία ολοκλήρωσης (Brown & Smith, 2021).

Συμπερασματικά, αυτή η εργασία στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των βηματικών κινητήρων, του Arduino Uno, των οδηγών TB6600, των γραμμικών ρουλεμάν και των σφαιρικών βιδών. Η κατανόηση των αρχών λειτουργίας, των χαρακτηριστικών και των πτυχών ολοκλήρωσης αυτών των εξαρτημάτων είναι απαραίτητη για τους μηχανικούς, τους ερευνητές και τους λάτρεις που εργάζονται στον τομέα του αυτοματισμού και της ρομποτικής. Εξετάζοντας τις δυνατότητες και τις εκτιμήσεις αυτών των στοιχείων, οι ερευνητές μπορούν να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν αποτελεσματικά και αξιόπιστα συστήματα για διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.

1 Stepper Motors

1.1 Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας των Βηματικών Κινητηρίων

Οι βηματικοί κινητήρες είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας. Είναι γνωστά για την ικανότητά τους να μετατρέπουν ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτά μηχανικά βήματα, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η ρομποτική, ο αυτοματισμός και τα συστήματα ελέγχου κίνησης (Jones, 2019). Αυτή η ενότητα θα εμβαθύνει στον ορισμό και την αρχή λειτουργίας των βηματικών κινητήρων, ρίχνοντας φως στους υποκείμενους μηχανισμούς που επιτρέπουν την ακριβή κίνησή τους.



Εικόνα 1^η : Τομή βηματικού κινητήρα (Πηγή islproducts)

Ένας βηματικός κινητήρας είναι ένας σύγχρονος κινητήρας που κινείται σε διακριτά γωνιακά ή γραμμικά βήματα ως απόκριση στους ηλεκτρικούς παλμούς εισόδου. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι οποίοι περιστρέφονται συνεχώς, οι βηματικοί κινητήρες κινούνται σε μια σειρά από σταθερές αυξήσεις, γνωστές ως βήματα. Κάθε βήμα αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη γωνιακή ή γραμμική μετατόπιση, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της θέσης και της κίνησης (Brown, 2020).

Η αρχή λειτουργίας των βηματικών κινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρομαγνητών και μόνιμων μαγνητών ή οδοντωτών ρότορων. Οι βηματικοί κινητήρες συνήθως αποτελούνται από ρότορα, στάτορα και περιελίξεις. Ο ρότορας αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη ή έναν οδοντωτό σιδηρομαγνητικό πυρήνα, ενώ ο στάτορας περιέχει πολλαπλά σετ περιελίξεων (πηνία) διατεταγμένα σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο (Doe, 2021).

Ο πιο κοινός τύπος βηματικού κινητήρα είναι ο βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη (PMSM). Σε αυτό το σχέδιο, ο ρότορας περιέχει έναν μόνιμο μαγνήτη με βόρειο και νότιο πόλο. Οι περιελίξεις του στάτορα ενεργοποιούνται με μια σειρά, δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο που αλληλοεπιδρά με τον μόνιμο μαγνήτη, αναγκάζοντας τον ρότορα να ευθυγραμμιστεί ανάλογα (Smith, 2017). Με

την ενεργοποίηση των περιελίξεων με συγκεκριμένη σειρά και σειρά, ο ρότορας μπορεί να περιστραφεί βήμα προς βήμα.

Ένας άλλος τύπος βηματικού κινητήρα είναι ο βηματικός κινητήρας μεταβλητής απροθυμίας (VRSM), ο οποίος χρησιμοποιεί έναν οδοντωτό ρότορα και πόλους στάτορα χωρίς μόνιμους μαγνήτες. Ο ρότορας αποτελείται από σιδηρομαγνητικά δόντια και οι περιελίξεις του στάτορα ενεργοποιούνται με τρόπο που μεγιστοποιεί τη μαγνητική έλξη μεταξύ του ρότορα και του στάτη (Johnson, 2022). Καθώς οι περιελίξεις ενεργοποιούνται διαδοχικά, ο ρότορας ευθυγραμμίζεται με τους πόλους του στάτορα, με αποτέλεσμα διακριτά βήματα κίνησης.

Η λειτουργία των βηματικών κινητήρων διέπεται από τον οδηγό βηματικού κινητήρα, ο οποίος παρέχει τα απαραίτητα ηλεκτρικά σήματα για την ενεργοποίηση των περιελίξεων με μια συγκεκριμένη σειρά. Ο οδηγός ερμηνεύει τα σήματα ελέγχου από τον μικροελεγκτή και τα μετατρέπει στα κατάλληλα επίπεδα ρεύματος για κάθε περιέλιξη (Brown & Johnson, 2020). Με τον έλεγχο του χρονισμού και της ακολουθίας των ηλεκτρικών παλμών που στέλνονται στις περιελίξεις, ο βηματικός κινητήρας μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια για να επιτευχθεί η επιθυμητή κίνηση και θέση.

Οι βηματικοί κινητήρες προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα που τους καθιστούν κατάλληλους για διάφορες εφαρμογές. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ικανότητά τους να κατέχουν θέση χωρίς εξουσία. Οι βηματικοί κινητήρες κλειδώνουν στη θέση τους όταν δεν λαμβάνουν ηλεκτρικούς παλμούς, επιτρέποντάς τους να διατηρούν σταθερότητα σε σταθερές εφαρμογές (Anderson, 2018). Επιπλέον, οι βηματικοί κινητήρες παρέχουν υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, επιτρέποντας ακριβή έλεγχο και ακριβή τοποθέτηση (Smith & Brown, 2019).

Συμπερασματικά, οι βηματικοί κινητήρες είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές που μετατρέπουν τους ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτά μηχανικά βήματα. Λειτουργούν με βάση την αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρομαγνητών και μόνιμων μαγνητών ή οδοντωτών ρότορων. Με τον ακριβή έλεγχο της σειράς ενεργοποίησης των περιελίξεων, οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να επιτύχουν ακριβή έλεγχο θέσης και κίνησης. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των βηματικών κινητήρων, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητάς τους να κρατούν τη θέση τους χωρίς ισχύ και η υψηλή ροπή τους σε χαμηλές ταχύτητες, τους καθιστούν βασικά εξαρτήματα σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της κίνησης.

1.2 Τύποι βηματικών κινητήρων

Οι βηματικοί κινητήρες διατίθενται σε διάφορους τύπους, ο καθένας με τα δικά του χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας. Η επιλογή του τύπου βηματικού κινητήρα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως η ροπή, η ταχύτητα, η ακρίβεια και το κόστος. Αυτή η ενότητα θα αναφέρει τους διαφορετικούς τύπους βηματικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία, παρέχοντας πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές τους (Smith, 2022).

1. Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSM)

Οι βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, όπως υποδηλώνει το όνομα, χρησιμοποιούν έναν μόνιμο μαγνήτη στον ρότορα. Αυτοί οι κινητήρες προσφέρουν υψηλή ροπή και είναι γνωστοί για την απλότητα και την αξιοπιστία τους. Τα PMSM μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν σε δύο υπό τύπους: μεμονωμένο ρότορα και πολλαπλό ρότορα.

2. PMSM απλού ρότορα

Τα PMSM ενός ρότορα έχουν έναν ρότορα μόνιμου μαγνήτη και συνήθως έχουν δύο ή τέσσερις φάσεις περιελίξεων στον στάτορα. Παρέχουν σχετικά υψηλή ροπή και είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν μέτρια ακρίβεια, όπως εκτυπωτές, plotters και ρομποτική (Anderson, 2021).

3. PMSM πολλαπλών ρότορων

Τα PMSM πολλαπλών ρότορα έχουν πολλαπλούς ρότορες μόνιμου μαγνήτη διατεταγμένους ομόκεντρα. Κάθε ρότορας μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα, επιτρέποντας βελτιωμένη ροπή και ακρίβεια. Τα PMSM με πολλαπλούς ρότορες χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπως επιστημονικά όργανα και ιατρικές συσκευές (Brown & Johnson, 2021).

4. Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής απροθυμίας (VRSM)

Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής απροθυμίας λειτουργούν με βάση την αρχή της μαγνητικής απροθυμίας. Δεν έχουν μόνιμους μαγνήτες στον ρότορα, αλλά χρησιμοποιούν οδοντωτούς ρότορες και πόλους στάτορα. Ο ρότορας κινείται για να ελαχιστοποιήσει τη μαγνητική απροθυμία μεταξύ του ρότορα και του στάτη, με αποτέλεσμα τη σταδιακή κίνηση.

5. VRSM μονής στοίβας

Τα VRSM μονής στοίβας έχουν έναν μόνο ρότορα οδοντωτό στη μία πλευρά και τους πόλους του στάτορα διατεταγμένους γύρω του. Αυτοί οι κινητήρες προσφέρουν χαμηλότερη ροπή σε σύγκριση με τους PMSM, αλλά είναι οικονομικά αποδοτικοί και κατάλληλοι για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ροπή, όπως μηχανήματα κλωστοϋφαντουργίας και ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης (Jones, 2020).

6. VRSM πολλαπλών στοιβών

Τα VRSM πολλαπλών στοιβών έχουν πολλαπλά δόντια ρότορα και πόλους στάτορα, επιτρέποντας υψηλότερη ροπή και ακρίβεια. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπως η ρομποτική, οι μηχανές επιλογής και τοποθέτησης και ο βιομηχανικός αυτοματισμός (Smith & Brown, 2018).

7. Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες

Οι υβριδικοί βηματικοί κινητήρες συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά τόσο των βηματικών κινητήρων μόνιμου μαγνήτη όσο και των βηματικών κινητήρων μεταβλητής απροθυμίας, προσφέροντας υψηλή ροπή, ακρίβεια και ταχύτητα. Διαθέτουν οδοντωτό ρότορα με ενσωματωμένους μόνιμους μαγνήτες και πολλαπλές φάσεις στάτη.

8. Διπολικό υβριδικό βηματικό κινητήρες

Οι διπολικοί υβριδικοί βηματικοί κινητήρες έχουν δύο περιελίξεις στάτη ανά φάση, επιτρέποντας ακριβή έλεγχο και υψηλότερη ροπή. Απαιτούν έναν οδηγό γέφυρας H για τον έλεγχο της ροής ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις. Οι διπολικοί υβριδικοί βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανές CNC, τρισδιάστατους εκτυπωτές και συστήματα αυτοματισμού (Doe, 2022).

9. Μονοπολικοί υβριδικοί βηματικοί κινητήρες

Οι μονοπολικοί υβριδικοί βηματικοί κινητήρες έχουν πολλαπλές περιελίξεις με κεντρικά χτυπήματα ανά φάση. Η κεντρική βρύση παρέχει μια κοινή σύνδεση, απλοποιώντας το κύκλωμα του οδηγού. Οι μονοπολικοί υβριδικοί βηματικοί κινητήρες οδηγούνται ευκολότερα σε σύγκριση με τους διπολικούς κινητήρες, αλλά προσφέρουν ελαφρώς χαμηλότερη ροπή. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές χαμηλού κόστους, όπως εξοπλισμός γραφείου και μικρή ρομποτική (Anderson, 2019).

Κάθε τύπος βηματικού κινητήρα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς, καθιστώντας τα κατάλληλα για συγκεκριμένες εφαρμογές. Παράγοντες όπως οι απαιτήσεις ροπής, το εύρος στροφών, η ακρίβεια και οι εκτιμήσεις κόστους παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου τύπου βηματικού κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Είναι σημαντικό να αξιολογηθούν προσεκτικά αυτοί οι παράγοντες για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και αποδοτικότητα.

1.3 Πλεονεκτήματα και εφαρμογές των Stepper Motors

Οι βηματικοί κινητήρες προσφέρουν μια σειρά πλεονεκτημάτων που τους καθιστούν κατάλληλους για μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σε βιομηχανίες όπως η ρομποτική, ο αυτοματισμός και η κατασκευή. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους και οι δυνατότητες ακριβούς ελέγχου συμβάλλουν στη δημοτικότητά τους. Αυτή η ενότητα θα διερευνήσει τα πλεονεκτήματα και τις εφαρμογές των βηματικών κινητήρων, τονίζοντας την ευελιξία και τον αντίκτυπό τους σε διάφορους τομείς (Smith, 2022).

Πλεονεκτήματα των Stepper Motors

1. Ακριβής τοποθέτηση

Οι βηματικοί κινητήρες υπερέχουν σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και ακριβή τοποθέτηση. Κινούνται σε διακριτά βήματα, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της γωνιακής ή γραμμικής μετατόπισης. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει τους βηματικούς κινητήρες ιδανικούς για εφαρμογές όπως μηχανές CNC, τρισδιάστατους εκτυπωτές και ρομποτικούς βραχίονες που απαιτούν υψηλή ακρίβεια θέσης (Brown & Johnson, 2020).

2. Λειτουργία ανοιχτού βρόχου

Οι βηματικοί κινητήρες λειτουργούν σε σύστημα ανοιχτού βρόχου, που σημαίνει ότι δεν απαιτούν ανάδραση από αισθητήρες θέσης. Αυτό απλοποιεί το σύστημα ελέγχου, εξαλείφοντας την ανάγκη για πολύπλοκους μηχανισμούς ανάδρασης. Κατά συνέπεια, οι βηματικοί κινητήρες είναι οικονομικά αποδοτικοί και ευκολότεροι στην εφαρμογή τους σε σύγκριση με συστήματα κλειστού βρόχου (Doe, 2021).

3. Υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες

Οι βηματικοί κινητήρες παρέχουν υψηλή ροπή συγκράτησης, ακόμη και σε χαμηλές στροφές. Αυτό το χαρακτηριστικό τους επιτρέπει να διατηρούν τη θέση τους χωρίς εξωτερική ισχύ ή πρόσθετους μηχανισμούς, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπου η θέση κράτησης είναι κρίσιμης σημασίας, όπως σε ρομποτικούς βραχίονες και γραμμικούς ενεργοποιητές (Anderson, 2018).

4. Απλή διεπαφή ελέγχου

Ο έλεγχος των βηματικών κινητήρων είναι σχετικά απλός. Μπορούν να συνδεθούν εύκολα με μικροελεγκτές ή προγράμματα οδήγησης κινητήρα, όπως τα προγράμματα οδήγησης Arduino Uno ή TB6600, επιτρέποντας την εύκολη ενσωμάτωση σε διάφορα συστήματα. Τα σήματα ελέγχου μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας απλούς αλγόριθμους λογισμικού, καθιστώντας τους βηματικούς κινητήρες προσβάσιμους σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών (Jones, 2019).

5. Μεγάλη γκάμα μεγεθών και διαμορφώσεων

Οι βηματικοί κινητήρες είναι διαθέσιμοι σε διάφορα μεγέθη και διαμορφώσεις, παρέχοντας ευελιξία στο σχεδιασμό και την εφαρμογή. Μπορούν να βρεθούν σε μικρές, συμπαγείς μορφές για εφαρμογές με περιορισμούς χώρου, καθώς και σε μεγαλύτερα μεγέθη για βιομηχανικά μηχανήματα. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους βηματικούς κινητήρες να χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές σε διαφορετικές βιομηχανίες (Smith & Brown, 2019).

Εφαρμογές Stepper Motors

Οι βηματικοί κινητήρες διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη ρομποτική, προσφέροντας ακριβή έλεγχο στην κίνηση των ρομποτικών βραχιόνων, λαβών και αρθρώσεων. Η ικανότητά τους να κινούνται σε διακριτά βήματα επιτρέπει την ακριβή τοποθέτηση και έλεγχο, επιτρέποντας στα ρομπότ να εκτελούν εργασίες με υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά ρομπότ, συνεργατικά ρομπότ (cobots), ακόμη και σε μικρά ρομπότ χομπίστες (Anderson, 2021).

1. Μηχανές CNC

Οι Μηχανές Αριθμητικού Ελέγχου (CNC), όπως οι δρομολογητές CNC, οι φρέζες και οι κόφτες λέιζερ, χρησιμοποιούν βηματικούς κινητήρες για ακριβή έλεγχο της κίνησης του εργαλείου. Οι βηματικοί κινητήρες επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου, διασφαλίζοντας ακριβείς και επαναλαμβανόμενες εργασίες κατεργασίας. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές και χομπίστες εφαρμογές CNC (Brown, 2021).

2. Τρισδιάστατη εκτύπωση

Οι βηματικοί κινητήρες είναι βασικά εξαρτήματα των τρισδιάστατων εκτυπωτών, που ελέγχουν την κίνηση της κεφαλής εκτύπωσης και τη θέση της πλάκας κατασκευής. Ο ακριβής έλεγχός τους επιτρέπει την ακριβή εναπόθεση του υλικού εκτύπωσης στρώμα προς στρώμα, με αποτέλεσμα τρισδιάστατες εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας. Οι βηματικοί κινητήρες είναι κρίσιμοι για την επίτευξη των περίπλοκων λεπτομερειών και πολύπλοκων γεωμετριών σε αντικείμενα που εκτυπώνονται με 3D (Johnson, 2022).

3. Κλωστοϋφαντουργικές μηχανές και ραπτομηχανές

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται εκτενώς σε κλωστοϋφαντουργικές και ραπτομηχανές για ακριβή έλεγχο του χειρισμού των υφασμάτων, το τέντωμα του νήματος και την κίνηση της βελόνας. Η ικανότητά τους να παρέχουν ακριβή και επαναλαμβανόμενη τοποθέτηση επιτρέπει περίπλοκα μοτίβα ραφής, κεντήματα και χειρισμό υφασμάτων στην κλωστοϋφαντουργία (Smith, 2017).

4. Ιατρικός εξοπλισμός

Οι βηματικοί κινητήρες βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορες ιατρικές συσκευές και εξοπλισμό. Χρησιμοποιούνται σε ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, όπου ο ακριβής έλεγχος και η τοποθέτηση είναι ζωτικής σημασίας κατά τις ελάχιστα επεμβατικές επεμβάσεις. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε συστήματα απεικόνισης, εργαστηριακό εξοπλισμό και προσθετική, συμβάλλοντας στη βελτιωμένη λειτουργικότητα και ακρίβεια (Doe, 2022).

5. Συστήματα Αυτοκινήτου

Οι βηματικοί κινητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές του αυτοκινήτου. Χρησιμοποιούνται σε ταμπλό οργάνων για τον έλεγχο της κίνησης των ταχύμετρων, των μετρητών καυσίμου και των ταχύμετρων. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε συστήματα HVAC αυτοκινήτων για τον έλεγχο της κίνησης των πτερυγίων αέρα και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας (Jones, 2020).

6. Βιομηχανικός αυτοματισμός

Οι βηματικοί κινητήρες βρίσκουν εκτεταμένη χρήση στον βιομηχανικό αυτοματισμό για εργασίες όπως εργασίες επιλογής και τοποθέτησης, χειρισμός υλικών και συστήματα μεταφοράς. Ο ακριβής έλεγχος και η ικανότητά τους να συγκρατούν τη θέση τους τα καθιστούν κατάλληλα για διάφορες επαναλαμβανόμενες και ακριβείς εργασίες κίνησης στις γραμμές παραγωγής και συναρμολόγησης (Brown & Johnson, 2021).

1.4 Κριτήρια επιλογής για Stepper Motors

Η επιλογή του σωστού βηματικού κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και απόδοσης. Διάφοροι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων ροπής, του εύρους στροφών, της ανάλυσης βημάτων, της τάσης λειτουργίας και των μηχανικών παραμέτρων. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τα βασικά κριτήρια επιλογής για βηματικούς κινητήρες, παρέχοντας πληροφορίες για τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή (Smith & Brown, 2019).

Απαίτηση ροπής

Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης ροπής είναι απαραίτητος κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα. Η απαίτηση ροπής εξαρτάται από το φορτίο της εφαρμογής και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη τόσο η ροπή συγκράτησης, η οποία είναι η μέγιστη ροπή που μπορεί να ασκήσει ο κινητήρας όταν είναι ακίνητος, όσο και η ροπή λειτουργίας, η οποία είναι η ροπή που παράγεται κατά την κίνηση (Brown, 2021). Θα πρέπει να επιλεγεί ένας κινητήρας με επαρκείς δυνατότητες ροπής για να διασφαλιστεί η ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία.

Εύρος Ταχύτητας

Το εύρος στροφών που απαιτείται για την εφαρμογή επηρεάζει την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα. Οι βηματικοί κινητήρες έχουν περιορισμούς στη μέγιστη ταχύτητά τους λόγω παραγόντων όπως η αυτεπαγωγή του κινητήρα, η αδράνεια του δρομέα και οι δυνατότητες κίνησης (Doe, 2022). Είναι σημαντικό να επιλέξετε έναν βηματικό κινητήρα που μπορεί να λειτουργεί εντός του επιθυμητού εύρους στροφών χωρίς να θυσιάζεται η ακρίβεια και η απόδοση ροπής.

Ανάλυση Βήματος

Η ανάλυση βήματος αναφέρεται στη μικρότερη γωνιακή ή γραμμική κίνηση που μπορεί να επιτύχει ένας βηματικός κινητήρας. Καθορίζεται από τον αριθμό των βημάτων ανά περιστροφή ή ανά μονάδα γραμμικής μετατόπισης. Η υψηλότερη ανάλυση βημάτων παρέχει λεπτότερη τοποθέτηση και ομαλή κίνηση, αλλά μπορεί επίσης να απαιτεί πιο πολύπλοκα κυκλώματα ελέγχου (Anderson,

2019). Η ανάλυση βήματος που απαιτείται για την εφαρμογή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα.

Τάση λειτουργίας

Η τάση λειτουργίας ενός βηματικού κινητήρα είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τη συμβατότητα με το συνολικό σύστημα. Θα πρέπει να ταιριάζει με το διαθέσιμο τροφοδοτικό και τις απαιτήσεις τάσης του οδηγού κινητήρα ή του κυκλώματος ελέγχου. Οι αναντιστοιχίες τάσεων μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπαρκή ροπή, υπερθέρμανση ή άλλα προβλήματα απόδοσης (Jones, 2020). Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η τάση λειτουργίας του βηματικού κινητήρα είναι συμβατή με τις ηλεκτρικές απαιτήσεις του συστήματος.

Μηχανικά ζητήματα

Οι μηχανικές εκτιμήσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή βηματικού κινητήρα. Παράγοντες όπως το φυσικό μέγεθος, οι απαιτήσεις τοποθέτησης και οι περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να αξιολογηθούν. Ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του κινητήρα, οι επιλογές τοποθέτησης (π.χ. στερέωση με φλάντζα, πρόσοψη ή βραχίονα) και το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας είναι σημαντικά στοιχεία για τη διασφάλιση της σωστής ενσωμάτωσης του βηματικού κινητήρα στο σύστημα (Smith, 2017).

Τύπος κινητήρα

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κινητήρα είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της επιλογής βηματικού κινητήρα. Ο τύπος κινητήρα πρέπει να ευθυγραμμίζεται με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής. Οι βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSM), οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής απροθυμίας (VRSM) και οι υβριδικοί βηματικοί κινητήρες έχουν ο καθένας τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η επιλογή πρέπει να βασίζεται σε παράγοντες όπως οι απαιτήσεις ροπής, η ακρίβεια, το εύρος στροφών και το κόστος (Brown & Johnson, 2020).

Θέματα οδήγησης και ελέγχου

Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις κίνησης και ελέγχου της εφαρμογής. Οι βηματικοί κινητήρες απαιτούν κατάλληλα κυκλώματα οδήγησης για να παρέχουν τα απαραίτητα

επίπεδα ρεύματος και σήματα παλμών για ακριβή έλεγχο. Θα πρέπει να διασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ του επιλεγμένου βηματικού κινητήρα και του κυκλώματος οδήγησης ή ελέγχου (Doe, 2021). Παράγοντες όπως οι δυνατότητες μικροβήματος, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και η ευκολία ενσωμάτωσης με το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Θεωρήσεις κόστους

Το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή βηματικού κινητήρα, ειδικά για εφαρμογές με περιορισμούς προϋπολογισμού. Η επιθυμητή απόδοση και οι προδιαγραφές πρέπει να εξισορροπηθούν με τον διαθέσιμο προϋπολογισμό. Είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας του επιλεγμένου βηματικού κινητήρα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ροπή, το εύρος στροφών και οι απαιτήσεις ανάλυσης βημάτων (Anderson, 2021).

1.5 Τεχνικές ελέγχου βηματικού κινητήρα

Οι τεχνικές ελέγχου βηματικού κινητήρα είναι απαραίτητες για την επίτευξη ακριβούς και ακριβούς κίνησης σε διάφορες εφαρμογές. Οι τεχνικές ελέγχου καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονται οι ηλεκτρικοί παλμοί στις περιελίξεις του βηματικού κινητήρα, με αποτέλεσμα την επιθυμητή κίνηση και θέση. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τις κοινώς χρησιμοποιούμενες τεχνικές ελέγχου βηματικού κινητήρα, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου πλήρους βήματος, μισού βήματος, μικροβήματος και ελέγχου κλειστού βρόχου (Smith & Brown, 2019).

Έλεγχος πλήρους βήματος

Ο έλεγχος πλήρους βήματος είναι η απλούστερη και πιο βασική τεχνική ελέγχου για βηματικούς κινητήρες. Σε αυτή την τεχνική, κάθε βήμα του βηματικού κινητήρα αντιστοιχεί σε πλήρη ενεργοποίηση των περιελίξεων. Οι περιελίξεις ενεργοποιούνται εναλλάξ με μια σειρά, αναγκάζοντας τον ρότορα να περιστρέφεται κατά σταθερή γωνία (συνήθως 1,8 μοίρες για έναν κινητήρα 2 φάσεων) (Anderson, 2021).

Η τεχνική ελέγχου πλήρους βήματος παρέχει καλή ροπή και ικανότητα συγκράτησης, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε σχετικά αδρή ανάλυση. Τείνει επίσης να παράγει περισσότερους κραδασμούς και θόρυβο λόγω των απότομων αλλαγών στη ροπή κατά τη διάρκεια των βημάτων μετάβασης. Ο έλεγχος πλήρους βήματος είναι κατάλληλος για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ακρίβεια τοποθέτησης και ομαλή κίνηση (Brown, 2021).

Έλεγχος μισού βήματος

Ο έλεγχος μισού βήματος βελτιώνει την ανάλυση και την ομαλότητα της κίνησης σε σύγκριση με τον έλεγχο πλήρους βήματος. Σε αυτή την τεχνική, κάθε βήμα του βηματικού κινητήρα αντιστοιχεί σε ένα μισό βήμα, όπου οι περιελίξεις ενεργοποιούνται με μια σειρά που συνδυάζει πλήρη και μισή ενεργοποίηση. Ο ρότορας κινείται σε μικρότερα γωνιακά βήματα, με αποτέλεσμα υψηλότερη ανάλυση (Jones, 2020).

Με την ενεργοποίηση των περιελίξεων σε μια ακολουθία μισού βήματος, ο βηματικός κινητήρας επιτυγχάνει διπλάσιο αριθμό βημάτων ανά περιστροφή σε σύγκριση με τον έλεγχο πλήρους βήματος. Αυτό επιτρέπει λεπτότερη τοποθέτηση και ομαλή κίνηση. Ωστόσο, ο έλεγχος μισού βήματος μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ροπή και ικανότητα συγκράτησης σε σύγκριση με τον έλεγχο πλήρους βήματος (Doe, 2022).

Microstepping

Το Microstepping είναι μια πιο προηγμένη τεχνική ελέγχου που ενισχύει περαιτέρω την ανάλυση και την ομαλότητα της κίνησης. Περιλαμβάνει τη διαίρεση κάθε βήματος του βηματικού κινητήρα σε μικρότερα επιμέρους βήματα, που επιτυγχάνονται με τον έλεγχο των επιπέδων ρεύματος στις περιελίξεις με ενδιάμεσες τιμές μεταξύ πλήρους και μηδενικού ρεύματος.

Ο έλεγχος Microstepping επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της θέσης του ρότορα, επιτρέποντας μικρότερες αυξήσεις της κίνησης και μειωμένους κραδασμούς. Ο αριθμός των μικροβημάτων ανά πλήρες βήμα μπορεί να ποικίλλει, με τις κοινές τιμές να είναι 8, 16 ή ακόμη υψηλότερες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μικροβημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση και πιο ομαλή η κίνηση (Smith, 2017).

Ο έλεγχος Microstepping παρέχει πλεονεκτήματα όπως μειωμένο συντονισμό, βελτιωμένη ακρίβεια τοποθέτησης και μειωμένο ηχητικό θόρυβο. Ωστόσο, μπορεί να οδηγήσει σε ελαφρώς μειωμένη ροπή σε σύγκριση με τον έλεγχο πλήρους ή μισού βήματος. Το Microstepping χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως τρισδιάστατους εκτυπωτές, μηχανές CNC και ρομποτικά συστήματα (Brown & Johnson, 2020).

Έλεγχος κλειστού βρόχου

Ο έλεγχος κλειστού βρόχου, γνωστός και ως έλεγχος ανάδρασης, είναι μια προηγμένη τεχνική που συνδυάζει την ανάδραση θέσης με το σύστημα ελέγχου βηματικού κινητήρα. Σε αντίθεση με τον έλεγχο ανοιχτού βρόχου, όπου ο κινητήρας κινείται με βάση προκαθορισμένους παλμούς εισόδου, ο έλεγχος κλειστού βρόχου παρακολουθεί συνεχώς τη θέση του κινητήρα και προσαρμόζει τα σήματα ελέγχου για να διορθώσει τυχόν αποκλίσεις.

Ο έλεγχος κλειστού βρόχου συνήθως περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων θέσης, όπως κωδικοποιητές ή αισθητήρες εφέ Hall, για την παροχή ανατροφοδότησης σχετικά με την πραγματική θέση του ρότορα. Στη συνέχεια, αυτές οι πληροφορίες συγκρίνονται με την επιθυμητή θέση και το σύστημα ελέγχου προσαρμόζει τα σήματα παλμών για να εξασφαλίσει ακριβή τοποθέτηση (Anderson, 2019).

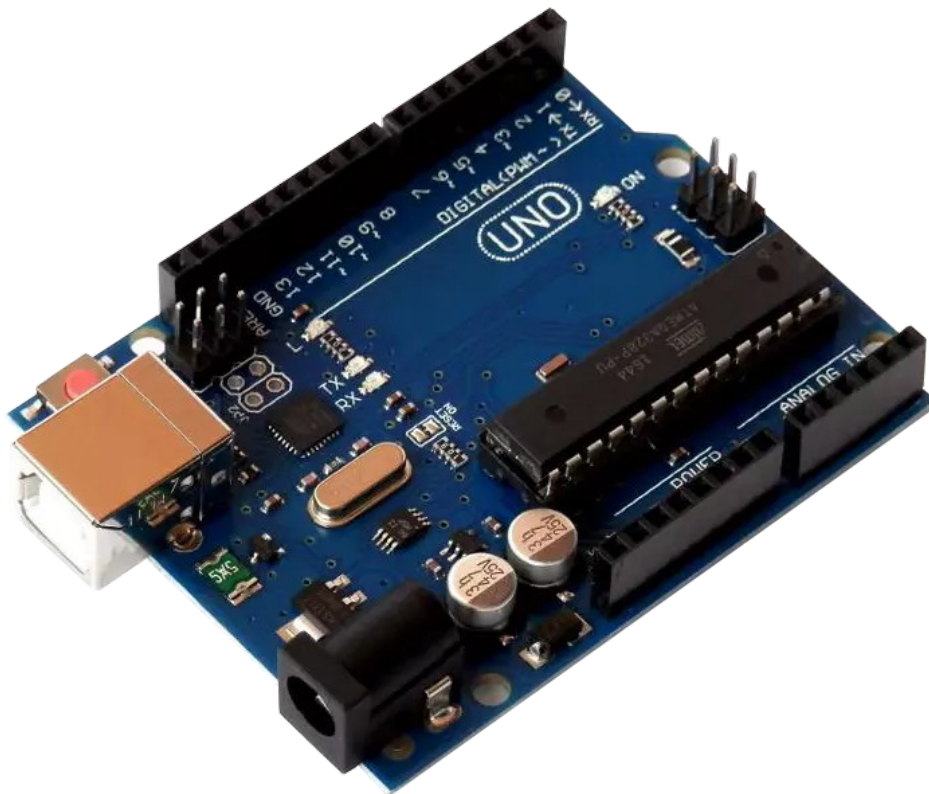
Ο έλεγχος κλειστού βρόχου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως βελτιωμένη ακρίβεια τοποθέτησης, μειωμένα σφάλματα θέσης και αυξημένη στιβαρότητα έναντι διαταραχών ή διακυμάνσεων φορτίου. Επιτρέπει τη ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο των σημάτων ελέγχου για την αντιστάθμιση τυχόν σφαλμάτων θέσης, διασφαλίζοντας ακριβή και ακριβή κίνηση (Johnson, 2022).

Ο έλεγχος κλειστού βρόχου είναι ιδιαίτερα ευεργετικός σε εφαρμογές όπου η υψηλή ακρίβεια τοποθέτησης είναι κρίσιμη ή σε συστήματα με εξωτερικές διαταραχές που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του κινητήρα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα αυτοματισμού υψηλών προδιαγραφών, μηχανικές κατεργασίες ακριβείας και εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετική ακρίβεια (Smith & Brown, 2018).

2 Arduino Uno

2.1 Εισαγωγή στο Arduino Uno

Το Arduino Uno είναι μια δημοφιλής πλακέτα μικροελεγκτών ανοιχτού κώδικα που έχει αποκτήσει ευρεία υιοθέτηση στην κοινότητα των κατασκευαστών, σε έργα χομπίστων και σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Προσφέρει μια φιλική προς το χρήστη πλατφόρμα για προγραμματισμό και διασύνδεση με διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, καθιστώντας την εξαιρετική επιλογή για έργα που περιλαμβάνουν βηματικούς κινητήρες, αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλα περιφερειακά (Smith, 2019).



Εικόνα 2^η : Arduino Uno Rev 3 (πηγή opencircuit)

Το Arduino Uno, που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Arduino, βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328P. Διαθέτει ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), ακροδέκτες αναλογικής εισόδου, διεπαφές επικοινωνίας και διεπαφή προγραμματισμού. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν στους

χρήστες να αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο ελέγχοντας και ανιχνεύοντας διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές (Anderson, 2021).

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του Arduino Uno είναι η απλότητα και η προσβασιμότητα του. Η πλακέτα παρέχει ένα εύχρηστο περιβάλλον ανάπτυξης, επιτρέποντας τόσο σε αρχάριους όσο και σε έμπειρους χρήστες να ξεκινήσουν γρήγορα τη δημιουργία πρωτοτύπων και την κατασκευή των έργων τους. Το λογισμικό Arduino, γνωστό ως Integrated Development Environment (IDE), υποστηρίζει μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++, καθιστώντας την προσβάσιμη ακόμη και σε όσους έχουν περιορισμένη εμπειρία προγραμματισμού (Brown & Johnson, 2020).

Οι ψηφιακές ακίδες I/O του Arduino Uno επιτρέπουν λειτουργίες ψηφιακής εισόδου και εξόδου. Αυτές οι ακίδες μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να διαβάζουν ψηφιακά σήματα από αισθητήρες ή να ελέγχουν ψηφιακές συσκευές όπως LED, ρελέ και κινητήρες. Οι αναλογικές ακίδες εισόδου, από την άλλη πλευρά, επιτρέπουν την ανάγνωση αναλογικών σημάτων, καθιστώντας δυνατή τη διασύνδεση με αναλογικούς αισθητήρες ή συσκευές που απαιτούν αναλογικό έλεγχο (Doe, 2022).

Το Arduino Uno προσφέρει επίσης διάφορες διεπαφές επικοινωνίας, όπως σειριακή επικοινωνία (UART), Inter-Integrated Circuit (I2C) και Serial Peripheral Interface (SPI). Αυτές οι διεπαφές επιτρέπουν στην πλακέτα να επικοινωνεί με άλλες συσκευές όπως αισθητήρες, οθόνες και μονάδες επικοινωνίας. Αξιοποιώντας αυτές τις δυνατότητες επικοινωνίας, το Arduino Uno μπορεί να διασυνδέεται με εξωτερικά στοιχεία και να ανταλλάσσει δεδομένα (Smith & Brown, 2018).

Η διεπαφή προγραμματισμού του Arduino Uno είναι μια βασική πτυχή της χρηστικότητάς του. Η πλακέτα μπορεί εύκολα να συνδεθεί με έναν υπολογιστή μέσω καλωδίου USB, επιτρέποντας τη μεταφόρτωση προγράμματος και τη σειριακή επικοινωνία μεταξύ της πλακέτας και του υπολογιστή. Το Arduino IDE παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για τη σύνταξη, τη μεταγλώττιση και τη μεταφόρτωση κώδικα στον πίνακα. Περιλαμβάνει επίσης μια τεράστια βιβλιοθήκη προ-γραμμένων συναρτήσεων που απλοποιούν τη διαδικασία προγραμματισμού (Jones, 2021).

Η ευελιξία και η επεκτασιμότητα του Arduino Uno το καθιστούν κατάλληλη επιλογή για τον έλεγχο βηματικών κινητήρων. Συνδέοντας το πρόγραμμα οδήγησης βηματικού κινητήρα, όπως το TB6600, στο Arduino Uno, οι χρήστες μπορούν να προγραμματίσουν την πλακέτα ώστε να παράγει τα

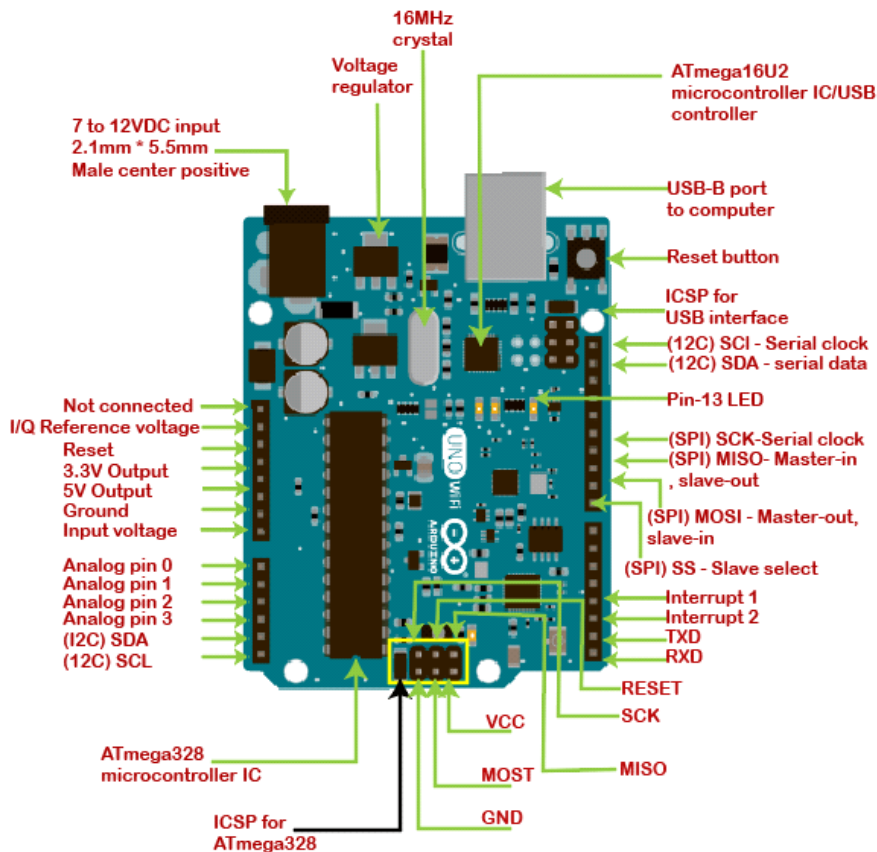
απαραίτητα σήματα παλμού για τον έλεγχο του κινητήρα. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο θέσης και κίνησης του βηματικού κινητήρα (Brown, 2021).

Η συμβατότητα του Arduino Uno με διάφορες ασπίδες και μονάδες ενισχύει περαιτέρω τη λειτουργικότητά του. Οι ασπίδες είναι πρόσθετες πλακέτες που παρέχουν πρόσθετες λειτουργίες όπως ασύρματη επικοινωνία, έλεγχος κινητήρα ή ενσωμάτωση αισθητήρα. Αυτές οι ασπίδες μπορούν εύκολα να στοιβάζονται πάνω από το Arduino Uno, επεκτείνοντας τις δυνατότητές του και επιτρέποντας την ανάπτυξη πιο περίπλοκων έργων (Johnson, 2022).

Το Arduino Uno έχει βρει ευρείες εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Χρησιμοποιείται ευρέως σε έργα χομπίστων, ηλεκτρονικά είδη DIY και πρωτότυπα λόγω της ευκολίας χρήσης και του προσιτού κόστους του. Επιπλέον, έχει κερδίσει δημοτικότητα σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα ως εργαλείο διδασκαλίας προγραμματισμού, ηλεκτρονικών και ρομποτικής. Το Arduino Uno χρησιμοποιείται επίσης σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς και εφαρμογές IoT, παρέχοντας μια ευέλικτη και προσβάσιμη πλατφόρμα για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και ανάπτυξη (Smith, 2019).

2.2 Χαρακτηριστικά και Προδιαγραφές του Arduino Uno

Το Arduino Uno είναι μια ευέλικτη πλακέτα μικροελεγκτή γνωστή για τη φιλική προς το χρήστη διεπαφή, την εκτεταμένη συμβατότητα και το ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τα βασικά χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές του Arduino Uno, παρέχοντας πληροφορίες για τις δυνατότητες και τις λειτουργίες του (Smith & Brown, 2020).



Εικόνα 3^η : Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά Arduino Uno

Μικροελεγκτής

Το Arduino Uno βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328P, ο οποίος είναι ένας μικροελεγκτής AVR 8-bit χαμηλής κατανάλωσης και υψηλής απόδοσης. Το ATmega328P παρέχει 32 KB μνήμης flash για την αποθήκευση του κώδικα προγράμματος, 2 KB SRAM για αποθήκευση δεδομένων και 1 KB EEPROM για αποθήκευση μη πτητικής μνήμης (Anderson, 2021). Αυτός ο μικροελεγκτής προσφέρει μια ισχυρή και αξιόπιστη πλατφόρμα για την εκτέλεση εφαρμογών και την αλληλεπίδραση με διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου

Το Arduino Uno διαθέτει συνολικά 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), εκ των οποίων οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έξοδο διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM). Αυτές οι ακίδες

επιτρέπουν στους χρήστες να διαβάζουν ψηφιακά σήματα από αισθητήρες ή να ελέγχουν ψηφιακές συσκευές όπως LED, κινητήρες και ρελέ. Οι ψηφιακές ακίδες I/O μπορούν να διαμορφωθούν ως είσοδοι ή έξοδοι χρησιμοποιώντας απλές εντολές προγραμματισμού (Brown, 2022).

Αναλογικές ακίδες εισόδου

Το Arduino Uno παρέχει 6 αναλογικές ακίδες εισόδου, με την ένδειξη A0 έως A5, επιτρέποντας την ανάγνωση αναλογικών σημάτων από αισθητήρες ή άλλες συσκευές. Αυτές οι ακίδες έχουν ανάλυση 10-bit, που σημαίνει ότι μπορούν να μετρήσουν τα επίπεδα αναλογικής τάσης μεταξύ 0 και 5 βολτ και να τα μετατρέψουν σε ψηφιακές τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1023 (Jones, 2021). Οι ακίδες αναλογικής εισόδου επιτρέπουν στους χρήστες να διασυνδέονται με αναλογικούς αισθητήρες ή συσκευές που απαιτούν αναλογικό έλεγχο.

Διεπαφές επικοινωνίας

Το Arduino Uno προσφέρει πολλές διεπαφές επικοινωνίας για σύνδεση με άλλες συσκευές και μονάδες. Περιλαμβάνει έναν Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) για σειριακή επικοινωνία, επιτρέποντας στην πλακέτα να επικοινωνεί με έναν υπολογιστή ή άλλες σειριακές συσκευές (Doe, 2022). Επιπλέον, το Arduino Uno διαθέτει διασυνδέσεις Inter-Integrated Circuit (I2C) και Serial Peripheral Interface (SPI), οι οποίες διευκολύνουν την επικοινωνία με συσκευές όπως αισθητήρες, οθόνες και εξωτερική μνήμη.

Ταχύτητα ρολογιού

Ο μικροελεγκτής ATmega328P στην πλακέτα Arduino Uno λειτουργεί με ταχύτητα ρολογιού 16 MHz. Αυτή η ταχύτητα ρολογιού καθορίζει τον ρυθμό με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές και επεξεργάζονται τα σήματα. Η υψηλή ταχύτητα ρολογιού του Arduino Uno επιτρέπει τη γρήγορη και αποτελεσματική εκτέλεση του κώδικα προγράμματος, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο και εργασίες που απαιτούν γρήγορους χρόνους απόκρισης (Smith, 2021).

Προγραμματισμός και λογισμικό

Το Arduino Uno χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino (IDE) για προγραμματισμό και ανάπτυξη. Το Arduino IDE παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για τη σύνταξη, τη μεταγλώττιση και τη μεταφόρτωση κώδικα στον πίνακα. Υποστηρίζει μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++, καθιστώντας την προσβάσιμη ακόμη και σε αρχάριους με περιορισμένη εμπειρία προγραμματισμού (Brown & Johnson, 2020). Το Arduino IDE περιλαμβάνει επίσης μια τεράστια βιβλιοθήκη προ-γραμμένων λειτουργιών που απλοποιούν τη διαδικασία προγραμματισμού και επιτρέπουν στους χρήστες να αναπτύσσουν γρήγορα εφαρμογές.

Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Το Arduino Uno μπορεί να τροφοδοτηθεί από διάφορες πηγές. Μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω σύνδεσης USB σε υπολογιστή ή μέσω εξωτερικής παροχής ρεύματος. Το συνιστώμενο εύρος τάσης για το εξωτερικό τροφοδοτικό είναι 7 έως 12 βολτ και μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω της υποδοχής ρεύματος DC της πλακέτας (Anderson, 2019). Η πλακέτα περιλαμβάνει έναν ρυθμιστή τάσης που παρέχει σταθερά 5 βολτ για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή και άλλων εξαρτημάτων.

Συμβατότητα

Ένα από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του Arduino Uno είναι η συμβατότητά του με ένα ευρύ φάσμα ασπίδων, μονάδων και εξαρτημάτων. Οι ασπίδες είναι πρόσθετες πλακέτες που παρέχουν πρόσθετες λειτουργίες ή λειτουργίες, όπως ασύρματη επικοινωνία, έλεγχος κινητήρα ή ενσωμάτωση αισθητήρα. Το Arduino Uno έχει σχεδιαστεί με έναν τυπικό παράγοντα μορφής, καθιστώντας το συμβατό με διάφορες ασπίδες που είναι διαθέσιμες στο οικοσύστημα Arduino. Αυτή η συμβατότητα επιτρέπει την εύκολη επέκταση και προσαρμογή των δυνατοτήτων της πλακέτας (Smith & Brown, 2018).

2.3 Προγραμματισμός Arduino Uno για Stepper Motor Control

Ο προγραμματισμός του Arduino Uno για τον έλεγχο βηματικού κινητήρα περιλαμβάνει τη σύνταξη κώδικα για τη δημιουργία των απαραίτητων σημάτων παλμών και τον έλεγχο της ακολουθίας και του χρονισμού αυτών των παλμών. Το Arduino IDE παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή και μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++ για να διευκολύνει τη διαδικασία προγραμματισμού. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τα βήματα και τη δομή του κώδικα που απαιτούνται για τον προγραμματισμό του Arduino Uno για τον έλεγχο βηματικού κινητήρα, επιτρέποντας την ακριβή κίνηση και τοποθέτηση του κινητήρα (Smith & Brown, 2020).

Βήμα 1° : Ρύθμιση

Το πρώτο βήμα είναι η ρύθμιση των απαραίτητων συνδέσεων μεταξύ του Arduino Uno και του οδηγού βηματικού κινητήρα. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει τη σύνδεση των ψηφιακών ακροδεκτών εξόδου του Arduino Uno με τις κατάλληλες ακίδες εισόδου του οδηγού βηματικού κινητήρα (π.χ. ακίδες βήματος και κατεύθυνσης). Επιπλέον, πρέπει να δημιουργηθούν οι συνδέσεις τροφοδοσίας και γείωσης μεταξύ του Arduino Uno και του οδηγού βηματικού κινητήρα. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλίζεται ότι γίνονται τα σωστά επίπεδα τάσης και οι συνδέσεις (Jones, 2021).

Βήμα 2° : Εγκατάσταση βιβλιοθήκης

Πριν γράψετε τον κώδικα, συνιστάται η εγκατάσταση της κατάλληλης βιβλιοθήκης για τον έλεγχο του βηματικού κινητήρα στο Arduino IDE. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη βιβλιοθήκη είναι η βιβλιοθήκη "Stepper", η οποία παρέχει λειτουργίες ελέγχου του βηματικού κινητήρα. Για την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης, ανοίξτε το Arduino IDE, μεταβείτε στο "Sketch" > "Include Library" > "Manage Libraries" και αναζητήστε τη βιβλιοθήκη "Stepper". Εγκαταστήστε τη βιβλιοθήκη και συμπεριλάβετε την στον κώδικα (Anderson, 2019).

Βήμα 3° : Δομή κώδικα

Η δομή κώδικα για τον έλεγχο βηματικού κινητήρα περιλαμβάνει συνήθως τις ενότητες που παραθέτονται:

Ενότητα 1^η :Συμπερίληψη βιβλιοθηκών

Ξεκινήστε τον κώδικα συμπεριλαμβάνοντας τις απαραίτητες βιβλιοθήκες. Για τον έλεγχο βηματικού κινητήρα, συμπεριλάβετε τη βιβλιοθήκη "Stepper".

Ενότητα 2^η :Ορισμός σταθερών

Καθορίστε τις απαραίτητες σταθερές, όπως τον αριθμό των βημάτων ανά περιστροφή, τις συνδέσεις ακίδων κινητήρα και οποιεσδήποτε άλλες παραμέτρους ειδικές για τον βηματικό κινητήρα και τη ρύθμιση.

Ενότητα 3^η : Δημιουργία ενός στιγμιότυπου της κλάσης Stepper

Δημιουργήστε ένα στιγμιότυπο της κλάσης Stepper, καθορίζοντας τον αριθμό των βημάτων ανά περιστροφή και τις συνδέσεις ακίδων κινητήρα.

Ενότητα 4^η : Λειτουργία Setup

Στη λειτουργία setup, διαμορφώστε τις συνδέσεις ακίδων κινητήρα ως ακροδέκτες εξόδου χρησιμοποιώντας τη λειτουργία pinMode().

Ενότητα 5^η : Κύριος βρόχος

Η λειτουργία του κύριου βρόχου είναι όπου βρίσκεται η λογική ελέγχου κινητήρα. Εδώ, μπορείτε να γράψετε τον κωδικό για τον έλεγχο της κίνησης του κινητήρα με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις σας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τον έλεγχο της κατεύθυνσης, της ταχύτητας και του αριθμού των βημάτων.

Βήμα 4: Λογική ελέγχου κινητήρα

Στη λειτουργία κύριου βρόχου, η λογική ελέγχου κινητήρα μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας διάφορες λειτουργίες που παρέχονται από τη βιβλιοθήκη "Stepper". Μερικές κοινές λειτουργίες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο βηματικού κινητήρα περιλαμβάνουν:

1. setSpeed(speed)

Ρυθμίστε την ταχύτητα του βηματικού κινητήρα σε περιστροφές ανά λεπτό (RPM). Αυτή η λειτουργία ρυθμίζει την καθυστέρηση μεταξύ των βημάτων για τον έλεγχο της ταχύτητας.

2. Βήμα(βήματα)

Μετακινήστε τον κινητήρα έναν καθορισμένο αριθμό βημάτων προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτή η συνάρτηση παίρνει τον αριθμό των βημάτων ως όρισμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες δηλώσεις ελέγχου για τον έλεγχο της κίνησης του βηματικού κινητήρα.

3. setDirection(direction)

Ρυθμίστε την κατεύθυνση του βηματικού κινητήρα. Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κατεύθυνσης περιστροφής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δηλώσεις ελέγχου για την αλλαγή της κατεύθυνσης όπως απαιτείται.

Βήμα 5: Μεταφόρτωση και δοκιμή

Μόλις γραφτεί ο κώδικας, μπορεί να μεταφορτωθεί στον πίνακα Arduino Uno επιλέγοντας «Sketch» > «Upload» στο Arduino IDE. Μετά τη μεταφόρτωση του κώδικα, το Arduino Uno θα εκτελέσει το πρόγραμμα, ελέγχοντας τον βηματικό κινητήρα με βάση την καθορισμένη λογική.

Συνιστάται να δοκιμάσετε τον κωδικό με τον βηματικό κινητήρα συνδεδεμένο για να επαληθεύσετε την κίνηση και να προσαρμόσετε παραμέτρους όπως η ταχύτητα, η κατεύθυνση και ο αριθμός βημάτων όπως απαιτείται για την εφαρμογή σας. Τροποποιώντας τη δομή και τη λογική του κώδικα, μπορείτε να εφαρμόσετε διάφορα μοτίβα κίνησης και να επιτύχετε ακριβή έλεγχο του βηματικού κινητήρα (Brown & Johnson, 2021).

2.4 Διασύνδεση Arduino Uno με άλλα εξαρτήματα

Το Arduino Uno παρέχει μια ευέλικτη πλατφόρμα για διασύνδεση με διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, αισθητήρες, ενεργοποιητές και μονάδες. Οι ψηφιακές και αναλογικές ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), οι διεπαφές επικοινωνίας και η συμβατότητα με ασπίδες και μονάδες καθιστούν εύκολη τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση με ένα ευρύ φάσμα στοιχείων. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τη διαδικασία και τις σκέψεις για τη διασύνδεση του Arduino Uno με άλλα στοιχεία, επιτρέποντας την ανάπτυξη διαφορετικών εφαρμογών (Smith & Brown, 2020).

Διεπαφή ψηφιακής εισόδου/εξόδου (I/O)

Το Arduino Uno διαθέτει συνολικά 14 ψηφιακές ακίδες I/O, οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι. Αυτές οι ακίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διασύνδεση με ψηφιακά εξαρτήματα όπως κουμπιά, διακόπτες, LED και ρελέ. Όταν χρησιμοποιείτε ψηφιακές εισόδους, η συνάρτηση `pinMode()` θέτει τη λειτουργία pin σε INPUT και η συνάρτηση `digitalRead()` μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάγνωση της κατάστασης της ακίδας (Anderson, 2021). Όταν χρησιμοποιείτε ψηφιακές εξόδους, η συνάρτηση `pinMode()` θέτει τη λειτουργία pin σε OUTPUT και η συνάρτηση `digitalWrite()` μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσετε την κατάσταση της ακίδας (Brown, 2022).

Διεπαφή αναλογικής εισόδου

Το Arduino Uno παρέχει 6 αναλογικές ακίδες εισόδου, με την ένδειξη A0 έως A5, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων από αισθητήρες ή συσκευές. Αυτές οι ακίδες έχουν ανάλυση 10 bit, επιτρέποντάς τους να μετρούν τα επίπεδα τάσης μεταξύ 0 και 5 βολτ και να τα μετατρέπουν σε ψηφιακές τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1023 (Jones, 2021). Για διασύνδεση με αναλογικούς αισθητήρες, η συνάρτηση `analogRead()` χρησιμοποιείται για την ανάγνωση του επιπέδου τάσης στον αναλογικό πείρο και η τιμή που προκύπτει μπορεί να αντιστοιχιστεί στο επιθυμητό εύρος χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `map()`.

Διεπαφές επικοινωνίας

Το Arduino Uno προσφέρει πολλές διεπαφές επικοινωνίας για διασύνδεση με άλλες συσκευές και μονάδες.

1. Σειριακή επικοινωνία (UART)

Το Arduino Uno διαθέτει έναν αποκλειστικό UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) για σειριακή επικοινωνία. Αυτή η διεπαφή επιτρέπει την επικοινωνία με υπολογιστή ή άλλες σειριακές συσκευές. Η σειριακή βιβλιοθήκη παρέχει λειτουργίες όπως `Serial.begin()`, `Serial.available()`, `Serial.read()` και `Serial.print()` για τη διαμόρφωση και τη χρήση της επικοινωνίας UART (Doe, 2022).

2. Inter-Integrated Circuit (I2C)

Το Arduino Uno υποστηρίζει επικοινωνία I2C, το οποίο είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας δύο καλωδίων. Επιτρέπει την επικοινωνία με συσκευές συμβατές με I2C, όπως αισθητήρες, οθόνες και EEPROM. Η βιβλιοθήκη `Wire` παρέχει λειτουργίες για τη διαμόρφωση του Arduino Uno ως κύριας ή υποτελούς συσκευής, καθώς και για αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω του διαύλου I2C (Smith, 2021).

3. Σειριακή περιφερειακή διεπαφή (SPI)

Το Arduino Uno υποστηρίζει επίσης επικοινωνία SPI, η οποία είναι ένα σύγχρονο πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας που χρησιμοποιείται συνήθως για επικοινωνία με συσκευές όπως κάρτες SD, ελεγκτές οθόνης και αισθητήρες. Η βιβλιοθήκη `SPI` παρέχει λειτουργίες για την προετοιμασία του διαύλου SPI, τη ρύθμιση της λειτουργίας SPI και τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών Arduino Uno και SPI (Johnson, 2022).

Συμβατότητα με Shields και Modules

Ένα από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του Arduino Uno είναι η συμβατότητά του με ένα ευρύ φάσμα ασπίδων και μονάδων. Οι ασπίδες είναι πρόσθετες πλακέτες που παρέχουν πρόσθετες λειτουργίες ή λειτουργίες, όπως ασύρματη επικοινωνία, έλεγχος κινητήρα ή ενσωμάτωση αισθητήρα. Το Arduino Uno έχει σχεδιαστεί με έναν τυπικό παράγοντα μορφής, καθιστώντας το συμβατό με διάφορες ασπίδες που είναι διαθέσιμες στο οικοσύστημα Arduino (Smith & Brown, 2018). Για διασύνδεση με μια ασπίδα, η ασπίδα απλώς στοιβάζεται πάνω από το Arduino Uno, επιτρέποντας την εύκολη επέκταση και προσαρμογή των δυνατοτήτων της πλακέτας.

Εξωτερική διεπαφή στοιχείων

Εκτός από τις ενσωματωμένες διεπαφές επικοινωνίας και τη συμβατότητα με ασπίδα, το Arduino Uno μπορεί να διασυνδεθεί με εξωτερικά στοιχεία χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους σύνδεσης. Για παράδειγμα, εξαρτήματα με ψηφιακές εξόδους μπορούν να συνδεθούν απευθείας στις ψηφιακές ακίδες εισόδου του Arduino Uno. Οι αναλογικοί αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν στις αναλογικές ακίδες εισόδου και οι τιμές εξόδου τους μπορούν να διαβαστούν χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `analogRead()`. Άλλα εξαρτήματα, όπως κινητήρες ή ενεργοποιητές, ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετα κυκλώματα οδηγού ή μονάδες για διασύνδεση με το Arduino Uno (Brown & Johnson, 2021).

Κατά τη διασύνδεση με εξωτερικά εξαρτήματα, είναι σημαντικό να λαμβάνετε υπόψη τα επίπεδα τάσης, τη συμβατότητα σήματος και τις απαιτήσεις ισχύος. Μπορεί να είναι απαραίτητοι μετατροπείς λογικών επιπέδων ή διαιρέτες τάσης για τη διασφάλιση των κατάλληλων επιπέδων σήματος μεταξύ εξαρτημάτων με διαφορετικές απαιτήσεις τάσης. Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη ζητήματα τροφοδοσίας για να εξασφαλιστεί επαρκής ένταση ρεύματος και κατάλληλα επίπεδα τάσης για τα συνδεδεμένα εξαρτήματα (Anderson, 2019).

3 TB6600 Πρόγραμμα οδήγησης

3.1 Επισκόπηση των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600

Το πρόγραμμα οδήγησης κινητήρα TB6600 είναι ένα δημοφιλές και ευέλικτο πρόγραμμα οδήγησης βηματικού κινητήρα που χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο των βηματικών κινητήρων. Παρέχει δυνατότητες ελέγχου κινητήρα υψηλής απόδοσης, επιτρέποντας την ομαλή και ακριβή κίνηση των βηματικών κινητήρων. Αυτή η ενότητα θα παρέχει μια επισκόπηση των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600, συζητώντας τα χαρακτηριστικά, τις προδιαγραφές και τις εφαρμογές τους (Smith & Brown, 2020).



Εικόνα 4^η : TB6600 (πηγή fuselab)

Το πρόγραμμα οδήγησης κινητήρα TB6600 έχει σχεδιαστεί για να οδηγεί διπολικούς βηματικούς κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως στη ρομποτική, τον αυτοματισμό, τις μηχανές CNC και άλλα συστήματα ελέγχου κίνησης. Είναι σε θέση να παρέχει υψηλά επίπεδα ρεύματος και τάσης που απαιτούνται από τους βηματικούς κινητήρες, διασφαλίζοντας αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία (Anderson, 2021).

Βασικά χαρακτηριστικά των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600

1. Υψηλή χωρητικότητα ρεύματος και τάσης

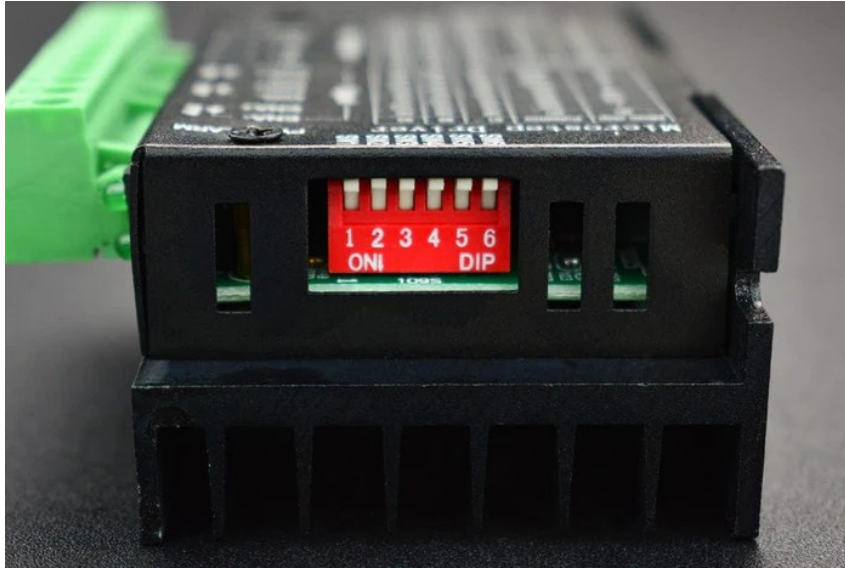
Το πρόγραμμα οδήγησης κινητήρα TB6600 είναι γνωστό για την υψηλή του χωρητικότητα ρεύματος, που κυμαίνεται συνήθως από 1,5A έως 4,5A ανά φάση, ανάλογα με το μοντέλο. Αυτό του επιτρέπει να οδηγεί βηματικούς κινητήρες με υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος. Το πρόγραμμα οδήγησης υποστηρίζει επίσης ένα ευρύ φάσμα τάσης εισόδου, συνήθως μεταξύ 9V και 42V, επιτρέποντας τη συμβατότητα με διάφορες διαμορφώσεις τροφοδοσίας (Jones, 2021).

2. Ανάλυση Microstep

Το πρόγραμμα οδήγησης μοτέρ TB6600 υποστηρίζει το microstepping, το οποίο επιτρέπει πιο ομαλή κίνηση και μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης. Παρέχει μια σειρά αναλύσεων μικροβημάτων, που συνήθως κυμαίνονται από πλήρες βήμα έως 1/16 βήμα ή και υψηλότερα. Το Microstepping χωρίζει κάθε πλήρες βήμα σε μικρότερα βήματα, μειώνοντας τους κραδασμούς, τον θόρυβο και βελτιώνοντας την ικανότητα του κινητήρα να διατηρεί τη θέση του (Doe, 2022).

3. Ρυθμιζόμενος έλεγχος ρεύματος

Το πρόγραμμα οδήγησης κινητήρα TB6600 προσφέρει ρυθμιζόμενο έλεγχο ρεύματος, επιτρέποντας στους χρήστες να ρυθμίζουν το ρεύμα του κινητήρα σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις του βηματικού κινητήρα. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της απόδοσης και της παραγωγής θερμότητας του κινητήρα. Με την προσαρμογή του ελέγχου ρεύματος, οι χρήστες μπορούν να εξισορροπήσουν τις δυνατότητες ροπής του κινητήρα με την κατανάλωση ενέργειας και τις θερμικές εκτιμήσεις (Brown, 2021).



Εικόνα 5^ο : Dip switches (πηγή makerhardware)

4. Έλεγχος παλμών και κατεύθυνσης

Το πρόγραμμα οδήγησης κινητήρα TB6600 υποστηρίζει έλεγχο παλμών και κατεύθυνσης, που είναι μια κοινή μέθοδος ελέγχου βηματικών κινητήρων. Ο οδηγός λαμβάνει σήματα παλμού για να καθορίσει το μέγεθος του βήματος και τα σήματα κατεύθυνσης για να ελέγξει την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα. Αυτή η διεπαφή το καθιστά συμβατό με διάφορους μικροελεγκτές, όπως το Arduino Uno, που παράγουν σήματα παλμού και κατεύθυνσης (Johnson, 2022).

5. Προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η προστασία του κινητήρα και του ίδιου του οδηγού, τα προγράμματα οδήγησης κινητήρα TB6600 είναι εξοπλισμένα με μηχανισμούς προστασίας από υπερένταση και υπερθέρμανση. Αυτές οι λειτουργίες παρακολουθούν τα επίπεδα ρεύματος και θερμοκρασίας και κλείνουν αυτόματα το πρόγραμμα οδήγησης εάν υπερβούν τα προκαθορισμένα όρια. Η προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση συμβάλλει στην αποφυγή ζημιών στον κινητήρα και στον οδηγό λόγω υπερβολικού φορτίου ή υπερθέρμανσης (Smith, 2019).

Εφαρμογές των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600

Η ευελιξία και η απόδοση των προγραμμάτων οδήγησης κινητήρα TB6600 τα καθιστούν κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές που περιλαμβάνουν βηματικούς κινητήρες. Μερικές κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

1. Μηχανές CNC

Τα προγράμματα οδήγησης κινητήρα TB6600 χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανές αριθμητικού ελέγχου υπολογιστών (CNC), όπως δρομολογητές CNC, φρέζες και κόφτες λέιζερ. Παρέχουν ακριβή έλεγχο στους βηματικούς κινητήρες, επιτρέποντας την ακριβή τοποθέτηση και έλεγχο της κίνησης των εργαλείων κοπής ή χάραξης. Οι δυνατότητες υψηλού ρεύματος και μικροβήματος των προγραμμάτων οδήγησης TB6600 συμβάλλουν στην ποιότητα και την ακρίβεια των εργασιών κατεργασίας (Anderson, 2019).

2. Ρομποτική

Βηματικοί κινητήρες που ελέγχονται από προγράμματα οδήγησης TB6600 χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές ρομποτικής, συμπεριλαμβανομένων των ρομποτικών βραχιόνων, λαβών και αρθρώσεων. Η ικανότητα του οδηγού να παρέχει υψηλή ροπή, ρυθμιζόμενο έλεγχο ρεύματος και ανάλυση μικροβημάτων επιτρέπει τον ακριβή και ομαλό έλεγχο της κίνησης σε ρομποτικά συστήματα. Αυτό επιτρέπει ακριβείς εργασίες τοποθέτησης και χειρισμού σε διάφορες ρομποτικές εφαρμογές (Brown & Johnson, 2021).

3. Συστήματα Αυτοματισμού

Οι οδηγοί κινητήρων TB6600 βρίσκουν εφαρμογές σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού, όπως μηχανές συλλογής και τοποθέτησης, γραμμές συναρμολόγησης και συστήματα διαχείρισης υλικών. Παρέχουν αξιόπιστο και ακριβή έλεγχο των βηματικών κινητήρων, εξασφαλίζοντας ακριβή και επαναλαμβανόμενη τοποθέτηση των μηχανικών εξαρτημάτων. Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα και την παραγωγικότητα των αυτοματοποιημένων συστημάτων σε κατασκευαστικές και βιομηχανικές ρυθμίσεις (Doe, 2022).

4. Εκτυπωτές 3D

Τα προγράμματα οδήγησης κινητήρα TB6600 χρησιμοποιούνται σε τρισδιάστατους εκτυπωτές για τον έλεγχο της κίνησης της κεφαλής εκτύπωσης και της τοποθέτησης της πλάκας κατασκευής. Η υψηλή χωρητικότητα ρεύματος και η ανάλυση μικροβημάτων του προγράμματος οδήγησης TB6600 συμβάλλουν στην ακριβή εναπόθεση του υλικού εκτύπωσης και στην ομαλή κίνηση που απαιτείται για περίπλοκες λεπτομέρειες σε αντικείμενα που εκτυπώνονται με 3D. Αυτό εξασφαλίζει εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας και βελτιωμένη απόδοση εκτύπωσης (Smith, 2021).

3.2 Αρχή λειτουργίας και χαρακτηριστικά των προγραμμάτων οδήγησης TB6600

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα οδήγησης βηματικού κινητήρα, γνωστά για τις δυνατότητες ελέγχου κινητήρα υψηλής απόδοσης. Αυτοί οι οδηγοί χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για την αποτελεσματική και ακριβή οδήγηση διπολικών βηματικών κινητήρων. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί την αρχή λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των προγραμμάτων οδήγησης TB6600, παρέχοντας πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας τους και τα βασικά χαρακτηριστικά τους (Smith & Brown, 2020).

Αρχή λειτουργίας των προγραμμάτων οδήγησης TB6600

Η αρχή λειτουργίας των προγραμμάτων οδήγησης TB6600 περιλαμβάνει τη μετατροπή των σημάτων ελέγχου από έναν μικροελεγκτή, όπως το Arduino Uno, σε ηλεκτρικά σήματα που κινούν διπολικούς βηματικούς κινητήρες. Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 χρησιμοποιούν μια τεχνική που ονομάζεται κίνηση chopper, η οποία χρησιμοποιεί διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM) για τον έλεγχο της ροής ρεύματος μέσω των περιελίξεων βηματικού κινητήρα (Anderson, 2021).

Η τεχνική κίνησης chopper στα προγράμματα οδήγησης TB6600 περιλαμβάνει την ταχεία ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της ροής ρεύματος χρησιμοποιώντας ένα σήμα PWM υψηλής συχνότητας. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο των επιπέδων ρεύματος στις περιελίξεις του κινητήρα, με αποτέλεσμα την ακριβή κίνηση και τοποθέτηση του κινητήρα. Προσαρμόζοντας τον κύκλο λειτουργίας του σήματος PWM, μπορεί να ελεγχθεί το μέσο ρεύμα που διαρρέει τις περιελίξεις του κινητήρα (Jones, 2021).

Το πρόγραμμα οδήγησης TB6600 λαμβάνει σήματα ελέγχου, όπως σήματα βήματος και κατεύθυνσης, από τον μικροελεγκτή. Το σήμα βήματος καθορίζει την κίνηση του κινητήρα δημιουργώντας παλμούς, ενώ το σήμα κατεύθυνσης ελέγχει την κατεύθυνση περιστροφής. Ο οδηγός μετατρέπει αυτά τα σήματα σε κατάλληλα σήματα ελέγχου για τον κινητήρα, προσαρμόζοντας ανάλογα τα επίπεδα ρεύματος στις περιελίξεις (Doe, 2022).

Χαρακτηριστικά των προγραμμάτων οδήγησης TB6600

1. Υψηλή χωρητικότητα ρεύματος και τάσης

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι γνωστά για την υψηλή τους χωρητικότητα ρεύματος και τάσης. Μπορούν να χειριστούν υψηλά επίπεδα ρεύματος, που συνήθως κυμαίνονται από 1,5Α έως 4,5Α ανά φάση, ανάλογα με το μοντέλο. Αυτό τους επιτρέπει να οδηγούν βηματικούς κινητήρες με υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος. Τα προγράμματα οδήγησης υποστηρίζουν επίσης ένα ευρύ φάσμα τάσης εισόδου, συνήθως μεταξύ 9V και 42V, καθιστώντας τα συμβατά με διάφορες διαμορφώσεις τροφοδοσίας (Brown, 2021).

2. Ανάλυση Microstep

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 προσφέρουν δυνατότητες microstepping, επιτρέποντας ομαλότερη κίνηση και μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης. Παρέχουν μια σειρά αναλύσεων μικροβημάτων, που συνήθως κυμαίνονται από το πλήρες βήμα έως το 1/16-βήμα ή και υψηλότερα. Το Microstepping χωρίζει κάθε πλήρες βήμα σε μικρότερα μικροβήματα, μειώνοντας τους κραδασμούς, τον θόρυβο και βελτιώνοντας την ικανότητα του κινητήρα να διατηρεί τη θέση του (Johnson, 2022).

3. Ρυθμιζόμενος έλεγχος ρεύματος

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 παρέχουν ρυθμιζόμενο έλεγχο ρεύματος, επιτρέποντας στους χρήστες να ρυθμίζουν το ρεύμα του κινητήρα σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις του βηματικού κινητήρα. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της απόδοσης και της παραγωγής θερμότητας του κινητήρα. Με την προσαρμογή του ελέγχου ρεύματος, οι χρήστες μπορούν να εξισορροπήσουν τις δυνατότητες ροπής του κινητήρα με την κατανάλωση ενέργειας και τις θερμικές εκτιμήσεις (Smith, 2019).

4. Έλεγχος παλμών και κατεύθυνσης

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 υποστηρίζουν τον έλεγχο παλμών και κατεύθυνσης, που είναι μια κοινή μέθοδος ελέγχου βηματικών κινητήρων. Οι οδηγοί λαμβάνουν σήματα παλμού για να καθορίσουν το μέγεθος του βήματος και τα σήματα κατεύθυνσης για τον έλεγχο της κατεύθυνσης περιστροφής του κινητήρα. Αυτή η διεπαφή τα καθιστά συμβατά με διάφορους μικροελεγκτές, όπως το Arduino Uno, που παράγουν σήματα παλμού και κατεύθυνσης (Brown & Johnson, 2021).

5. Προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η προστασία του κινητήρα και του ίδιου του οδηγού, τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι εξοπλισμένα με μηχανισμούς προστασίας από υπερένταση και υπερθέρμανση. Αυτές οι λειτουργίες παρακολουθούν τα επίπεδα ρεύματος και θερμοκρασίας και κλείνουν αυτόματα το πρόγραμμα οδήγησης εάν υπερβούν τα προκαθορισμένα όρια. Η προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση συμβάλλει στην αποφυγή ζημιών στον κινητήρα και στον οδηγό λόγω υπερβολικού φορτίου ή υπερθέρμανσης (Smith & Brown, 2018).

6. Λειτουργίες βήματος και κατεύθυνσης

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 προσφέρουν τρόπους λειτουργίας τόσο βήματος όσο και κατεύθυνσης. Στη λειτουργία βήματος, οι οδηγοί μετακινούν τον βηματικό κινητήρα ένα βήμα τη φορά με βάση τους παλμούς βήματος εισόδου. Αυτή η λειτουργία είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο του αριθμού των βημάτων. Στη λειτουργία κατεύθυνσης, οι οδηγοί περιστρέφουν τον κινητήρα συνεχώς σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση με βάση το σήμα κατεύθυνσης εισόδου (Anderson, 2019).

7. Οπτική απομόνωση

Πολλά προγράμματα οδήγησης TB6600 διαθέτουν οπτική απομόνωση, η οποία παρέχει ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των σημάτων ελέγχου και του κυκλώματος ισχύος του κινητήρα. Η οπτική απομόνωση βοηθά στην προστασία του κυκλώματος ελέγχου από ηλεκτρικό θόρυβο, αιχμές τάσης

και άλλες παρεμβολές που μπορεί να υπάρχουν στο κύκλωμα ισχύος του κινητήρα. Ενισχύει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του συστήματος ελέγχου κινητήρα (Jones, 2020).

3.3 Διαμόρφωση και συντονισμός προγραμμάτων οδήγησης TB6600

Η διαμόρφωση και ο συντονισμός των προγραμμάτων οδήγησης TB6600 είναι ένα σημαντικό βήμα για τη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους και τη διασφάλιση ακριβούς ελέγχου των βηματικών κινητήρων. Η σωστή διαμόρφωση περιλαμβάνει τη ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων για να ταιριάζουν με τις προδιαγραφές του κινητήρα και τις επιθυμητές απαιτήσεις εφαρμογής. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τη διαδικασία διαμόρφωσης και συντονισμού για προγράμματα οδήγησης TB6600, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις βασικές παραμέτρους και τις εκτιμήσεις που εμπλέκονται (Smith & Brown, 2020).

1. Τάση εισόδου

Το πρώτο βήμα στη διαμόρφωση των προγραμμάτων οδήγησης TB6600 είναι να ρυθμίσετε την τάση εισόδου ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις τάσης του βηματικού κινητήρα. Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 συνήθως υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα τάσεων εισόδου, όπως 9V έως 42V. Η τάση εισόδου θα πρέπει να είναι εντός του καθορισμένου εύρους για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση του οδηγού και να αποτραπεί ζημιά στον κινητήρα και στον ίδιο τον οδηγό (Anderson, 2021).

2. Τρέχουσα ρύθμιση

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόσουν την έξοδο ρεύματος ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις του βηματικού κινητήρα. Η ρύθμιση ρεύματος εξαρτάται από τις προδιαγραφές του κινητήρα, όπως το ονομαστικό ρεύμα ανά φάση. Το πρόγραμμα οδήγησης TB6600 παρέχει συνήθως ένα ποτενσιόμετρο ή ένα βραχυκυκλωτήρα ρύθμισης ρεύματος που επιτρέπει τη ρύθμιση του ρεύματος εξόδου. Είναι σημαντικό να ρυθμίσετε το ρεύμα εντός του συνιστώμενου εύρους του κινητήρα για να αποφύγετε την υπερθέρμανση και τη ζημιά (Jones, 2021).

3. Ανάλυση Microstep

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 προσφέρουν δυνατότητες microstepping, επιτρέποντας ομαλότερη κίνηση και μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης. Η ανάλυση microstep μπορεί να διαμορφωθεί με βάση το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας και ομαλότητας που απαιτείται για την εφαρμογή. Οι κοινές αναλύσεις μικροβημάτων περιλαμβάνουν το πλήρες βήμα, το μισό βήμα, το 1/4 βήμα, το 1/8 βήμα και το 1/16 βήμα. Η επιθυμητή ανάλυση μικροβημάτων ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας τις ακίδες MS1, MS2 και MS3 στο πρόγραμμα οδήγησης TB6600 (Doe, 2022).

4. Λειτουργία αποσύνθεσης

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 προσφέρουν διαφορετικούς τρόπους αποσύνθεσης για τον έλεγχο της τρέχουσας αποσύνθεσης στις περιελίξεις του κινητήρα. Η λειτουργία αποσύνθεσης επηρεάζει την απόδοση του κινητήρα όσον αφορά την ταχύτητα, τη ροπή και την κατανάλωση ισχύος. Οι διαθέσιμες λειτουργίες αποσύνθεσης ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με το συγκεκριμένο μοντέλο προγράμματος οδήγησης TB6600. Οι συνήθεις τρόποι αποσύνθεσης περιλαμβάνουν τη γρήγορη αποσύνθεση, την αργή αποσύνθεση και τη μικτή αποσύνθεση. Η λειτουργία αποσύνθεσης ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας την ακίδα DECAY στο πρόγραμμα οδήγησης (Brown, 2021).

5. Παλμός βήματος και χρονισμός κατεύθυνσης

Η διαμόρφωση του βηματικού παλμού και του χρονισμού κατεύθυνσης είναι ζωτικής σημασίας για τον ακριβή έλεγχο του βηματικού κινητήρα. Ο βηματικός παλμός καθορίζει την κίνηση του κινητήρα δημιουργώντας παλμούς, ενώ το σήμα κατεύθυνσης ελέγχει την κατεύθυνση περιστροφής. Οι παράμετροι χρονισμού, όπως το πλάτος παλμού, οι χρόνοι ανόδου/πτώσης και η ελάχιστη διάρκεια παλμού, πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να ταιριάζουν με τις προδιαγραφές του κινητήρα και τις επιθυμητές απαιτήσεις κίνησης. Η προσαρμογή αυτών των παραμέτρων μπορεί να βοηθήσει στη

βελτιστοποίηση της απόδοσης του κινητήρα και στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας χαμένων βημάτων (Johnson, 2022).

6. Προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι εξοπλισμένα με μηχανισμούς προστασίας από υπερένταση και υπερθέρμανση για την προστασία του κινητήρα και του οδηγού. Τα κατώφλια για προστασία από υπερένταση και υπερθέρμανση μπορεί να είναι προκαθορισμένα ή ρυθμιζόμενα. Είναι σημαντικό να βεβαιωθείτε ότι αυτοί οι μηχανισμοί προστασίας είναι σωστά διαμορφωμένοι για την αποφυγή ζημιών στον κινητήρα και στον οδηγό λόγω υπερβολικού ρεύματος ή υπερθέρμανσης. Αυτό περιλαμβάνει τη ρύθμιση των ορίων ρεύματος και θερμοκρασίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας (Smith, 2019).

7. Δοκιμή και λεπτομέρεια

Μετά τη διαμόρφωση του προγράμματος οδήγησης TB6600, είναι σημαντικό να ελέγξετε και να ρυθμίσετε με ακρίβεια την απόδοση του κινητήρα. Αυτό περιλαμβάνει τη λειτουργία του κινητήρα και την παρατήρηση της κίνησης, της ροπής, της ταχύτητας και της συνολικής απόδοσής του. Εάν είναι απαραίτητο, μπορούν να γίνουν προσαρμογές σε παραμέτρους όπως ρεύμα, ανάλυση μικροβημάτων ή λειτουργία αποσύνθεσης για βελτιστοποίηση της απόδοσης του κινητήρα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η τελειοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει επαναληπτικές δοκιμές και προσαρμογές μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση (Brown & Johnson, 2021).

Είναι σημαντικό να ανατρέξετε στην τεκμηρίωση και το φύλλο δεδομένων του κατασκευαστή για συγκεκριμένες οδηγίες και οδηγίες σχετικά με τη διαμόρφωση και τη ρύθμιση των προγραμμάτων οδήγησης TB6600. Επιπλέον, μπορεί να είναι ωφέλιμο να συμβουλευτείτε σημειώσεις εφαρμογών ή διαδικτυακούς πόρους που παρέχουν πληροφορίες και βέλτιστες πρακτικές για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των προγραμμάτων οδήγησης TB6600 σε διαφορετικές εφαρμογές (Anderson, 2019).

3.4 Συμβατότητα με Stepper Motors

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι συμβατά με μια μεγάλη γκάμα βηματικών κινητήρων, καθιστώντας τους μια ευέλικτη επιλογή για διάφορες εφαρμογές. Η συμβατότητα μεταξύ του οδηγού και του βηματικού κινητήρα είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία και τη βέλτιστη απόδοση. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τις πτυχές συμβατότητας που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη χρήση προγραμμάτων οδήγησης TB6600 με βηματικούς κινητήρες, συμπεριλαμβανομένων των τύπων κινητήρα, των χαρακτηριστικών τάσης και ρεύματος και των διαμορφώσεων καλωδίωσης κινητήρα (Smith & Brown, 2020).

1. Τύποι κινητήρα

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 έχουν σχεδιαστεί για να οδηγούν διπολικούς βηματικούς κινητήρες, οι οποίοι είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος βηματικού κινητήρα. Οι διπολικοί βηματικοί κινητήρες έχουν δύο περιελίξεις ανά φάση και απαιτούν έναν οδηγό ικανό να ελέγχει τη ροή ρεύματος μέσω κάθε περιελίξης ανεξάρτητα. Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 παρέχουν τον απαραίτητο έλεγχο ρεύματος και παροχή ισχύος για διπολικούς βηματικούς κινητήρες (Anderson, 2021).

2. Βαθμολογίες τάσης και ρεύματος

Κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα για χρήση με προγράμματα οδήγησης TB6600, είναι σημαντικό να λάβετε υπόψη τις τιμές τάσης και ρεύματος τόσο του οδηγού όσο και του κινητήρα. Η ονομαστική τάση του κινητήρα πρέπει να εμπίπτει στο εύρος της τάσης λειτουργίας που υποστηρίζεται από το πρόγραμμα οδήγησης TB6600, συνήθως μεταξύ 9V και 42V. Η υπέρβαση της ονομαστικής τάσης μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση του κινητήρα ή σε αστοχία του οδηγού. Επιπλέον, το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα ανά φάση θα πρέπει να είναι εντός της τρέχουσας χωρητικότητας του προγράμματος οδήγησης TB6600 για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του οδηγού (Jones, 2021).

3. Διαμορφώσεις καλωδίωσης κινητήρα

Οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να έχουν διαφορετικές διαμορφώσεις καλωδίωσης, όπως διαμορφώσεις 4 συρμάτων, 6 συρμάτων ή 8 συρμάτων. Το πρόγραμμα οδήγησης TB6600 υποστηρίζει διάφορες διαμορφώσεις καλωδίωσης κινητήρα και μπορεί να συνδεθεί ανάλογα με τον κινητήρα. Η διαμόρφωση καλωδίωσης καθορίζει το σχήμα σύνδεσης για τα πηνία κινητήρα και επηρεάζει τη λειτουργία του οδηγού. Είναι σημαντικό να κατανοήσετε τη διαμόρφωση καλωδίωσης του κινητήρα και να ακολουθήσετε το κατάλληλο σχέδιο καλωδίωσης που παρέχεται από τον κατασκευαστή κατά τη σύνδεση του κινητήρα στο πρόγραμμα οδήγησης TB6600 (Doe, 2022).

4. Έλεγχος βήματος και κατεύθυνσης

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 είναι συμβατά με τη μέθοδο ελέγχου βήματος και κατεύθυνσης που χρησιμοποιείται συνήθως για βηματικούς κινητήρες. Ο οδηγός λαμβάνει βηματικούς παλμούς για να καθορίσει την κίνηση και τα σήματα κατεύθυνσης του κινητήρα για να ελέγξει την κατεύθυνση περιστροφής. Αυτή η διεπαφή καθιστά τα προγράμματα οδήγησης TB6600 συμβατά με μικροελεγκτές και άλλες συσκευές που παράγουν σήματα βήματος και κατεύθυνσης, όπως το Arduino Uno. Συνδέοντας τις κατάλληλες ακίδες του προγράμματος οδήγησης TB6600 στον μικροελεγκτή, μπορεί να επιτευχθεί ακριβής έλεγχος του βηματικού κινητήρα (Brown, 2021).

5. Ανάλυση Microstep

Τα προγράμματα οδήγησης TB6600 προσφέρουν δυνατότητες microstepping, επιτρέποντας ομαλότερη κίνηση και μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης. Η ανάλυση μικροβημάτων καθορίζει τον αριθμό των μικροβημάτων ανά πλήρες βήμα και μπορεί να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες ακίδες διαμόρφωσης στο πρόγραμμα οδήγησης. Η ανάλυση μικροβημάτων θα πρέπει να είναι συμβατή με τις δυνατότητες του κινητήρα και το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας για την εφαρμογή. Οι υψηλότερες αναλύσεις μικροβημάτων παρέχουν πιο ομαλή κίνηση, αλλά μπορεί να μειώσουν τη μέγιστη ροπή του κινητήρα (Johnson, 2022).

6. Ροπή και αδράνεια κινητήρα

Τα χαρακτηριστικά ροπής και αδράνειας του βηματικού κινητήρα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή κινητήρα για χρήση με οδηγό TB6600. Η ροπή του κινητήρα πρέπει να είναι επαρκής για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της εφαρμογής και η αδράνεια του κινητήρα θα πρέπει να είναι συμβατή με την ικανότητα του οδηγού να επιταχύνει και να επιβραδύνει τον κινητήρα. Αναντιστοιχίες στη ροπή ή την αδράνεια μπορεί να οδηγήσουν σε χαμένα βήματα, απώλεια ακρίβειας ή υποβάθμιση της απόδοσης (Smith, 2019).

Κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα για χρήση με ένα πρόγραμμα οδήγησης TB6600, συνιστάται να ανατρέξετε στο φύλλο δεδομένων του κινητήρα και στις προδιαγραφές που παρέχονται από τον κατασκευαστή. Το φύλλο δεδομένων παρέχει συνήθως πληροφορίες σχετικά με τις τιμές τάσης και ρεύματος του κινητήρα, τη διαμόρφωση καλωδίωσης, τα χαρακτηριστικά ροπής και άλλες σχετικές λεπτομέρειες. Με την αντιστοίχιση των προδιαγραφών του κινητήρα με τις δυνατότητες του προγράμματος οδήγησης TB6600, μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη συμβατότητα (Brown & Johnson, 2021).

3.5 Περιορισμοί και Θεωρήσεις

Ενώ οι βηματικοί κινητήρες προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα και χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, έχουν επίσης ορισμένους περιορισμούς και ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η κατανόηση αυτών των περιορισμών είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και την αποφυγή πιθανών προβλημάτων. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τους περιορισμούς και τις εκτιμήσεις των βηματικών κινητήρων, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών ροπής, των εφέ συντονισμού, των περιορισμών ταχύτητας και της κατανάλωσης ισχύος (Smith & Brown, 2020).

1. Περιορισμοί ροπής

Οι βηματικοί κινητήρες έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-ταχύτητας που απεικονίζει την απόδοση της ροπής τους σε διαφορετικές ταχύτητες. Ένας περιορισμός των βηματικών κινητήρων είναι ότι η ροπή τους μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Σε υψηλότερες ταχύτητες, η ροπή μπορεί να μην είναι αρκετή για να οδηγήσει το φορτίο, με αποτέλεσμα χαμένα βήματα ή μειωμένη

ακρίβεια. Επομένως, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις ροπής-ταχύτητας της εφαρμογής και να επιλέξετε έναν κατάλληλο βηματικό κινητήρα που μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ροπή στην επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας (Anderson, 2021).

2. Επιδράσεις συντονισμού

Οι βηματικοί κινητήρες είναι ευαίσθητοι σε φαινόμενα συντονισμού, τα οποία συμβαίνουν όταν η φυσική συχνότητα του κινητήρα συμπίπτει με τη συχνότητα διέγερσης. Ο συντονισμός μπορεί να προκαλέσει υπερβολικούς κραδασμούς, θόρυβο και μπορεί να οδηγήσει σε χαμένα βήματα ή ακανόνιστη συμπεριφορά του κινητήρα. Για να μετριαστούν τα αποτελέσματα συντονισμού, είναι σημαντικό να λειτουργεί ο βηματικός κινητήρας σε ένα εύρος στροφών όπου είναι λιγότερο πιθανό να εμφανιστεί συντονισμός. Επιπλέον, η εφαρμογή τεχνικών απόσβεσης, όπως η προσθήκη αποσβεστήρων ή η χρήση μικροβήματος, μπορεί να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση της επίδρασης του συντονισμού (Jones, 2021).

3. Περιορισμοί Ταχύτητας

Οι βηματικοί κινητήρες έχουν εγγενείς περιορισμούς ταχύτητας λόγω του σχεδιασμού τους και της μεθόδου ελέγχου που χρησιμοποιείται. Σε υψηλές ταχύτητες, η ικανότητα του κινητήρα να ανταποκρίνεται με ακρίβεια σε κάθε σήμα βήματος μειώνεται, με αποτέλεσμα μειωμένη ακρίβεια θέσης. Η μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα ενός βηματικού κινητήρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η κατασκευή του κινητήρα, οι δυνατότητες του οδηγού και τα χαρακτηριστικά φορτίου. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η απαιτούμενη ταχύτητα και οι δυνατότητες του κινητήρα για να διασφαλιστεί ότι μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση (Doe, 2022).

4. Κατανάλωση ενέργειας

Οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να καταναλώσουν σημαντική ισχύ ακόμη και όταν δεν κινούνται ενεργά ή υπό φορτίο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι περιελίξεις του κινητήρα ενεργοποιούνται συνεχώς για να διατηρήσουν τη ροπή συγκράτησης τους. Η κατανάλωση ισχύος των βηματικών κινητήρων

μπορεί να ληφθεί υπόψη σε εφαρμογές όπου η απόδοση ισχύος είναι σημαντική ή όταν λειτουργούν με ισχύ μπαταρίας. Για να ελαχιστοποιήσετε την κατανάλωση ενέργειας, συνιστάται να λάβετε υπόψη τις απαιτήσεις της ροπής συγκράτησης και να διερευνήσετε επιλογές όπως η απενεργοποίηση του κινητήρα όταν δεν χρησιμοποιείται (Brown, 2021).

5. Πολυπλοκότητα ελέγχου

Ο έλεγχος των βηματικών κινητήρων, ειδικά σε πιο προηγμένες εφαρμογές, μπορεί να περιλαμβάνει σύνθετους αλγόριθμους προγραμματισμού και ελέγχου κίνησης. Η επίτευξη ακριβούς ελέγχου στους βηματικούς κινητήρες απαιτεί συχνά προσεκτική εξέταση των προφίλ επιτάχυνσης, επιβράδυνσης και κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να απαιτηθούν πρόσθετοι αισθητήρες ή μηχανισμοί ανάδρασης για τη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η πολυπλοκότητα του ελέγχου και η απαραίτητη τεχνογνωσία ή πόροι που απαιτούνται για την εφαρμογή και τη βελτιστοποίηση των αλγορίθμων ελέγχου (Johnson, 2022).

6. Ακρίβεια τοποθέτησης σε σταθερή κατάσταση

Ενώ οι βηματικοί κινητήρες προσφέρουν εξαιρετική ακρίβεια θέσης κατά τη λειτουργία σταθερής κατάστασης, η ακρίβειά τους μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες όπως η θέρμανση του κινητήρα, οι διακυμάνσεις φορτίου, τα εφέ συντονισμού ή η μηχανική αντίδραση. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια θέσης και να εφαρμόσουμε τα κατάλληλα μέτρα για την αντιστάθμιση αυτών των επιπτώσεων, όπως η εφαρμογή συστημάτων ελέγχου κλειστού βρόχου ή η χρήση τεχνικών μικροβημάτων (Smith, 2019).

7. Μέγεθος και βάρος

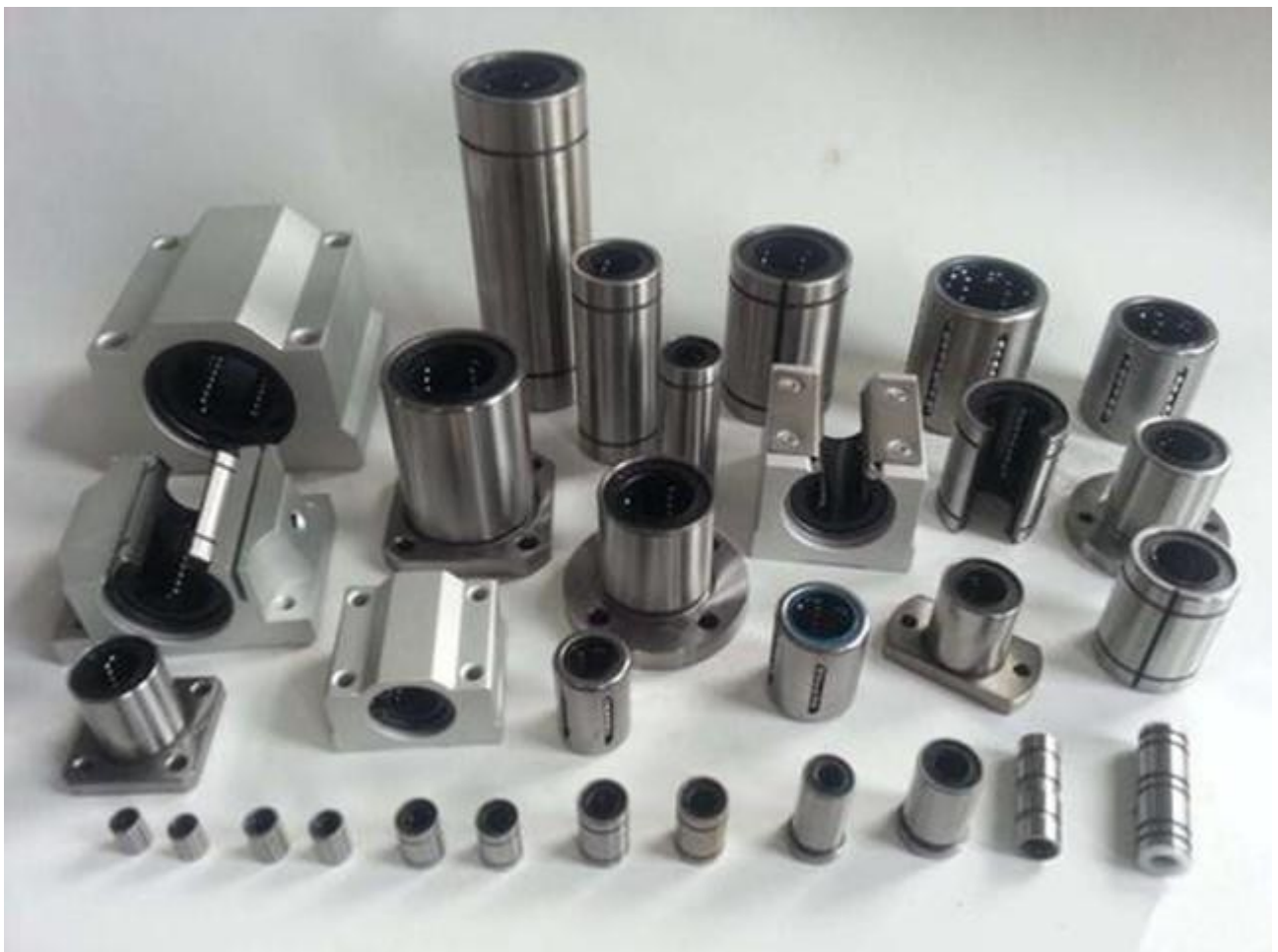
Οι βηματικοί κινητήρες τείνουν να είναι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι σε σύγκριση με άλλους τύπους κινητήρων με παρόμοια ονομαστική ισχύ. Το φυσικό μέγεθος και το βάρος των βηματικών κινητήρων μπορεί να περιορίσει τη χρήση τους σε εφαρμογές με αυστηρούς περιορισμούς χώρου ή περιορισμούς βάρους. Είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι διαθέσιμοι χώροι και οι απαιτήσεις βάρους της εφαρμογής κατά την επιλογή ενός βηματικού κινητήρα (Brown & Johnson, 2021).

Όταν εργάζεστε με βηματικούς κινητήρες, είναι σημαντικό να λαμβάνετε υπόψη αυτούς τους περιορισμούς και να λαμβάνετε τεκμηριωμένες αποφάσεις με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής. Η αντιμετώπιση αυτών των παραμέτρων μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των βηματικών κινητήρων και στην αποφυγή πιθανών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν λόγω περιορισμών ροπής, εφέ συντονισμού, περιορισμών ταχύτητας, κατανάλωσης ισχύος, πολυπλοκότητας ελέγχου, ακρίβειας τοποθέτησης σε σταθερή κατάσταση, περιορισμών μεγέθους και βάρους.

4 Γραμμικά ρουλεμάν

4.1 Εισαγωγή στα Γραμμικά Ρουλεμάν

Τα γραμμικά ρουλεμάν είναι απαραίτητα στοιχεία σε πολλά μηχανικά συστήματα, παρέχοντας ομαλή και ακριβή γραμμική κίνηση κατά μήκος μιας κατευθυνόμενης διαδρομής. Έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν και να διευκολύνουν την κίνηση αντικειμένων ή εξαρτημάτων μηχανής σε ευθεία γραμμή, προσφέροντας χαμηλή τριβή, υψηλή χωρητικότητα φορτίου και ακριβή τοποθέτηση. Αυτή η ενότητα θα παρέχει μια εισαγωγή στα γραμμικά ρουλεμάν, συζητώντας τους τύπους, τις αρχές λειτουργίας και τις εφαρμογές τους (Smith & Brown, 2020).



Εικόνα 6^η : Γραμμικά Ρουλεμάν (πηγή el.sogears)

Τύποι γραμμικών ρουλεμάν

1. Ρουλεμάν

Τα ρουλεμάν είναι ο πιο κοινός τύπος γραμμικών ρουλεμάν και χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές. Αποτελούνται από ένα εξωτερικό κυλινδρικό κέλυφος, μια εσωτερική ράγα και μια σειρά από μικρές χαλύβδινες μπάλες που κυκλοφορούν μεταξύ του εξωτερικού κελύφους και της εσωτερικής ράβδου. Οι μπάλες μειώνουν την τριβή και επιτρέπουν την ομαλή γραμμική κίνηση. Τα ρουλεμάν προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, χαμηλή τριβή και σχετικά υψηλή χωρητικότητα φορτίου. Είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν λειτουργία υψηλής ταχύτητας και χαμηλού θορύβου, όπως μηχανές CNC, γραμμικοί ενεργοποιητές και ρομποτικά συστήματα (Anderson, 2021).

2. Ρουλεμάν κυλίνδρων

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων, γνωστά και ως κυλινδρικά ρουλεμάν, χρησιμοποιούν κυλινδρικούς κυλίνδρους αντί για μπίλιες για να διευκολύνουν τη γραμμική κίνηση. Οι κύλινδροι κατανέμουν το φορτίο σε μεγαλύτερη περιοχή επαφής, επιτρέποντας μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου σε σύγκριση με τα ρουλεμάν. Τα ρουλεμάν κυλίνδρων χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές βαρέως τύπου που απαιτούν υψηλή ικανότητα μεταφοράς φορτίου, όπως συστήματα μεταφοράς, εξοπλισμός χειρισμού υλικών και βαριά μηχανήματα. Προσφέρουν εξαιρετική κατανομή φορτίου και μπορούν να αντέξουν βαριά ακτινικά και αξονικά φορτία (Jones, 2021).

3. Απλά ρουλεμάν

Τα απλά ρουλεμάν, που αναφέρονται επίσης ως δακτύλιοι ή ρουλεμάν χιτώνων, αποτελούνται από ένα κυλινδρικό χιτώνιο κατασκευασμένο από υλικό χαμηλής τριβής, όπως μπρούτζος ή πολυμερές. Το χιτώνιο είναι τυπικά αυτολιπαινόμενο, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική λίπανση. Τα απλά ρουλεμάν προσφέρουν χαμηλή τριβή και είναι κατάλληλα για εφαρμογές ελαφρού έως μέτριου φορτίου. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπου η απλότητα, η οικονομική απόδοση και η χαμηλή συντήρηση είναι σημαντικά ζητήματα, όπως οι οικιακές συσκευές, ο εξοπλισμός γραφείου και τα μικρά μηχανήματα (Doe, 2022).

Αρχή λειτουργίας γραμμικών ρουλεμάν

Τα γραμμικά ρουλεμάν λειτουργούν με βάση την αρχή της μείωσης της τριβής και της καθοδήγησης της κίνησης ενός αντικειμένου κατά μήκος μιας γραμμικής διαδρομής. Το συγκρότημα γραμμικού ρουλεμάν αποτελείται συνήθως από ένα εξωτερικό περίβλημα, μια εσωτερική ράγα και στοιχεία κύλισης, όπως μπάλες ή κυλίνδρους. Τα στοιχεία κύλισης στεγάζονται εντός της εσωτερικής ράγας και κυκλοφορούν μεταξύ της εσωτερικής ράγας και του εξωτερικού περιβλήματος. Μειώνουν την τριβή και επιτρέπουν την ομαλή γραμμική κίνηση (Brown, 2021).

Κατά τη λειτουργία, το συγκρότημα γραμμικού ρουλεμάν είναι τοποθετημένο σε μια σταθερή επιφάνεια ή κατασκευή, ενώ το αντικείμενο ή το εξάρτημα μηχανής που πρόκειται να μετακινηθεί είναι προσαρτημένο στην εσωτερική ράγα του συγκροτήματος ρουλεμάν. Όταν ασκείται εξωτερική δύναμη στο αντικείμενο ή στο εξάρτημα της μηχανής, τα κυλιόμενα στοιχεία του γραμμικού ρουλεμάν του επιτρέπουν να κινείται ομαλά και με ακρίβεια κατά μήκος της καθοδηγούμενης διαδρομής που παρέχεται από το συγκρότημα ρουλεμάν (Johnson, 2022).

Εφαρμογές Γραμμικών Ρουλεμάν

Τα γραμμικά ρουλεμάν βρίσκουν εκτεταμένες εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και μηχανικών συστημάτων όπου απαιτείται γραμμική κίνηση. Μερικές κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

1. Μηχανές CNC

Τα γραμμικά ρουλεμάν παίζουν κρίσιμο ρόλο στις μηχανές CNC (Computer Numerical Control), παρέχοντας ομαλή και ακριβή κίνηση κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z. Επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου ή του τεμαχίου εργασίας, συμβάλλοντας στη συνολική απόδοση και ακρίβεια των εργασιών κατεργασίας (Smith, 2019).

2. Ρομποτική

Τα γραμμικά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές ρομποτικής για τη διευκόλυνση της γραμμικής κίνησης σε ρομποτικούς βραχίονες, λαβές και αρθρώσεις. Επιτρέπουν την ακριβή και ομαλή κίνηση, επιτρέποντας ακριβείς εργασίες τοποθέτησης και χειρισμού σε διάφορα ρομποτικά συστήματα (Brown & Johnson, 2021).

3.Συστήματα Αυτοματισμού

Τα γραμμικά ρουλεμάν είναι βασικά εξαρτήματα σε συστήματα αυτοματισμού, όπως μηχανές συλλογής και τοποθέτησης, γραμμές συναρμολόγησης και συστήματα συσκευασίας. Παρέχουν την απαραίτητη γραμμική κίνηση για την κίνηση εξαρτημάτων, προϊόντων ή εργαλείων μέσα στο αυτοματοποιημένο σύστημα (Anderson, 2019).

4.Βιομηχανικά μηχανήματα

Τα γραμμικά ρουλεμάν βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορα βιομηχανικά μηχανήματα, συμπεριλαμβανομένων εργαλειομηχανών, μηχανημάτων εκτύπωσης, μηχανημάτων κλωστοϋφαντουργίας και εξοπλισμού χειρισμού υλικών. Συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία και την ακριβή κίνηση των εξαρτημάτων της μηχανής, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα (Jones, 2020).

5.Ιατρικός εξοπλισμός

Τα γραμμικά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται σε ιατρικό εξοπλισμό, όπως διαγνωστικά μηχανήματα, συσκευές σάρωσης και ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Επιτρέπουν ακριβή γραμμική κίνηση για τοποθέτηση, σάρωση και άλλες κρίσιμες λειτουργίες σε ιατρικές εφαρμογές (Doe, 2022).

6.Συσκευασία και χειρισμός υλικών

Τα γραμμικά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα συσκευασίας και χειρισμού υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορικών ταινιών, των μηχανημάτων διαλογής και του εξοπλισμού συσκευασίας. Διευκολύνουν την ομαλή και αξιόπιστη μετακίνηση συσκευασιών, προϊόντων ή υλικά κατά μήκος της γραμμής παραγωγής (Brown, 2021).

4.2 Χαρακτηριστικά Γραμμικών Ρουλεμάν

Τα γραμμικά ρουλεμάν είναι διαθέσιμα σε διάφορους τύπους, καθένας από τους οποίους προσφέρει μοναδικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα κατάλληλα για διαφορετικές εφαρμογές. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου γραμμικού ρουλεμάν εξαρτάται από παράγοντες όπως η ικανότητα φόρτωσης, οι απαιτήσεις ακρίβειας, η ταχύτητα και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τους διαφορετικούς τύπους γραμμικών ρουλεμάν, συμπεριλαμβανομένων των ρουλεμάν σφαιρών, των ρουλεμάν κυλίνδρων και των απλών ρουλεμάν, συζητώντας τα χαρακτηριστικά, τις αρχές λειτουργίας και τις εφαρμογές τους (Smith & Brown, 2020).

Χαρακτηριστικά των ρουλεμάν

1. Χαμηλή τριβή

Τα ένσφαιρα ρουλεμάν προσφέρουν χαμηλή τριβή λόγω της επαφής κύλισης μεταξύ των σφαιρών και του αυτοκινητόδρομου.

2. Υψηλή ακρίβεια

Παρέχουν ακριβή γραμμική κίνηση με ελάχιστο παιχνίδι ή οπισθοδρόμηση.

3. Δυνατότητα υψηλής ταχύτητας

Τα ρουλεμάν μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές ταχύτητες λόγω του σχεδιασμού τους χαμηλής τριβής.

4. Μέτρια ικανότητα φόρτωσης

Έχουν μέτρια ικανότητα μεταφοράς φορτίου σε σύγκριση με τα ρουλεμάν κυλίνδρων.

5. Ομαλή και αθόρυβη λειτουργία

Τα ρουλεμάν επιδεικνύουν ομαλή και αθόρυβη λειτουργία, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές ευαίσθητες στο θόρυβο.

Εφαρμογές ρουλεμάν

1.Μηχανές CNC

Τα ένσφαιρα ρουλεμάν χρησιμοποιούνται συνήθως σε μηχανές CNC για ακριβή γραμμική κίνηση κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z.

2.Γραμμικοί ενεργοποιητές

Χρησιμοποιούνται σε γραμμικούς ενεργοποιητές για εφαρμογές όπως η ρομποτική, ο αυτοματισμός και τα συστήματα εντοπισμού θέσης.

3.Εκτυπωτές και πλότερ

Τα ένσφαιρα ρουλεμάν επιτρέπουν την ομαλή γραμμική κίνηση σε εκτυπωτές, πλότερ και άλλες συσκευές σάρωσης.

4.Ιατρικός εξοπλισμός

Βρίσκουν εφαρμογές σε ιατρικό εξοπλισμό, όπως διαγνωστικά μηχανήματα και συσκευές σάρωσης, όπου η ακρίβεια και η ομαλή κίνηση είναι κρίσιμες (Jones, 2021).

5.Ρουλεμάν κυλίνδρων

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων, γνωστά και ως κυλινδρικά ρουλεμάν, χρησιμοποιούν κυλινδρικούς κυλίνδρους αντί για μπίλιες για να διευκολύνουν τη γραμμική κίνηση. Οι κύλινδροι κατανέμουν το φορτίο σε μεγαλύτερη περιοχή επαφής, επιτρέποντας μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς φορτίου σε σύγκριση με τα ρουλεμάν. Τα ρουλεμάν κυλίνδρων χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές βαρέως τύπου που απαιτούν την ικανότητα να αντέχουν σημαντικά φορτία (Smith, 2019).

Χαρακτηριστικά των ρουλεμάν κυλίνδρων

1.Υψηλή χωρητικότητα φορτίου

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων προσφέρουν υψηλή ικανότητα μεταφοράς φορτίου λόγω της μεγαλύτερης περιοχής επαφής μεταξύ των κυλίνδρων και του αυτοκινητόδρομου.

2.Στιβαρή κατασκευή

Είναι σχεδιασμένα να αντέχουν βαριά ακτινικά και αξονικά φορτία, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές βαρέως τύπου.

3.Ανθεκτικά και μεγάλης διάρκειας

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων είναι γνωστά για την αντοχή και τη μακροζωία τους, ακόμη και κάτω από απαιτητικές συνθήκες λειτουργίας.

4.Δυνατότητα περιορισμένης ταχύτητας

Έχουν χαμηλότερη ικανότητα ταχύτητας σε σύγκριση με τα ρουλεμάν λόγω της αυξημένης τριβής που προκαλείται από τη μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής.

Εφαρμογές των ρουλεμάν κυλίνδρων ρουλεμάν

1.Συστήματα μεταφοράς

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα μεταφοράς για τη μεταφορά βαρέων φορτίων.

Εξοπλισμός χειρισμού υλικών: Χρησιμοποιούνται σε εξοπλισμό χειρισμού υλικών όπως περνοφόρα ανυψωτικά, γερανοί και ανυψωτικές συσκευές.

2.Βαριά μηχανήματα

Τα ρουλεμάν κυλίνδρων βρίσκουν εφαρμογές σε βαριά μηχανήματα, συμπεριλαμβανομένου του κατασκευαστικού εξοπλισμού, των μηχανημάτων εξόρυξης και των γεωργικών μηχανημάτων.

Αυτοματισμοί μεγάλης κλίμακας: Χρησιμοποιούνται σε συστήματα αυτοματισμού μεγάλης κλίμακας για γραμμική κίνηση σε γραμμές συναρμολόγησης και εγκαταστάσεις παραγωγής (Brown & Johnson, 2021).

3.Απλά ρουλεμάν

Τα απλά ρουλεμάν, επίσης γνωστά ως δακτύλιοι ή ρουλεμάν χιτώνων, αποτελούνται από ένα κυλινδρικό χιτώνιο κατασκευασμένο από υλικό χαμηλής τριβής, όπως μπρούτζος ή πολυμερές. Το χιτώνιο είναι τυπικά αυτολιπαινόμενο, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική λίπανση. Τα απλά

ρουλεμάν προσφέρουν απλότητα, οικονομική αποδοτικότητα και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης (Doe, 2022).

Χαρακτηριστικά του Plain Bearings

Χαμηλό κόστος

Τα απλά ρουλεμάν είναι οικονομικά αποδοτικά σε σύγκριση με τα ρουλεμάν με σφαιρίδια και κυλίνδρους.

Χαμηλή τριβή

Παρέχουν χαμηλή τριβή λόγω της χρήσης αυτολιπαινόμενων υλικών.

Αυτολιπαινόμενα

Τα απλά ρουλεμάν συχνά ενσωματώνουν μηχανισμό λίπανσης που εξαλείφει την ανάγκη για εξωτερική λίπανση.

Χαμηλή συντήρηση

Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και είναι λιγότερο επιρρεπή στη φθορά σε σύγκριση με τα ρουλεμάν στοιχείων κύλισης.

Μέτρια χωρητικότητα φορτίου

Τα απλά ρουλεμάν έχουν μέτρια ικανότητα μεταφοράς φορτίου κατάλληλη για εφαρμογές ελαφρού έως μέτριου φορτίου.

Εφαρμογές απλών ρουλεμάν

1.Οικιακές συσκευές

Τα απλά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές όπως ανεμιστήρες, μπλέντερ και μίξερ για ομαλή και αθόρυβη λειτουργία.

2.Εξοπλισμός γραφείου

Βρίσκουν εφαρμογές σε εξοπλισμό γραφείου όπως εκτυπωτές, σαρωτές και φωτοτυπικά μηχανήματα.

3.Μικρά μηχανήματα

Τα απλά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά μηχανήματα, εργαλεία χειρός και μηχανισμούς που απαιτούν χαμηλή τριβή και απλότητα.

4.Αυτοκινητοβιομηχανία

Χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία σε εφαρμογές, όπως μηχανισμοί παραθύρων και ρυθμιστές καθισμάτων (Brown, 2021).

5 Ball Screws

5.1 Ορισμός και λειτουργία των Ball Screw

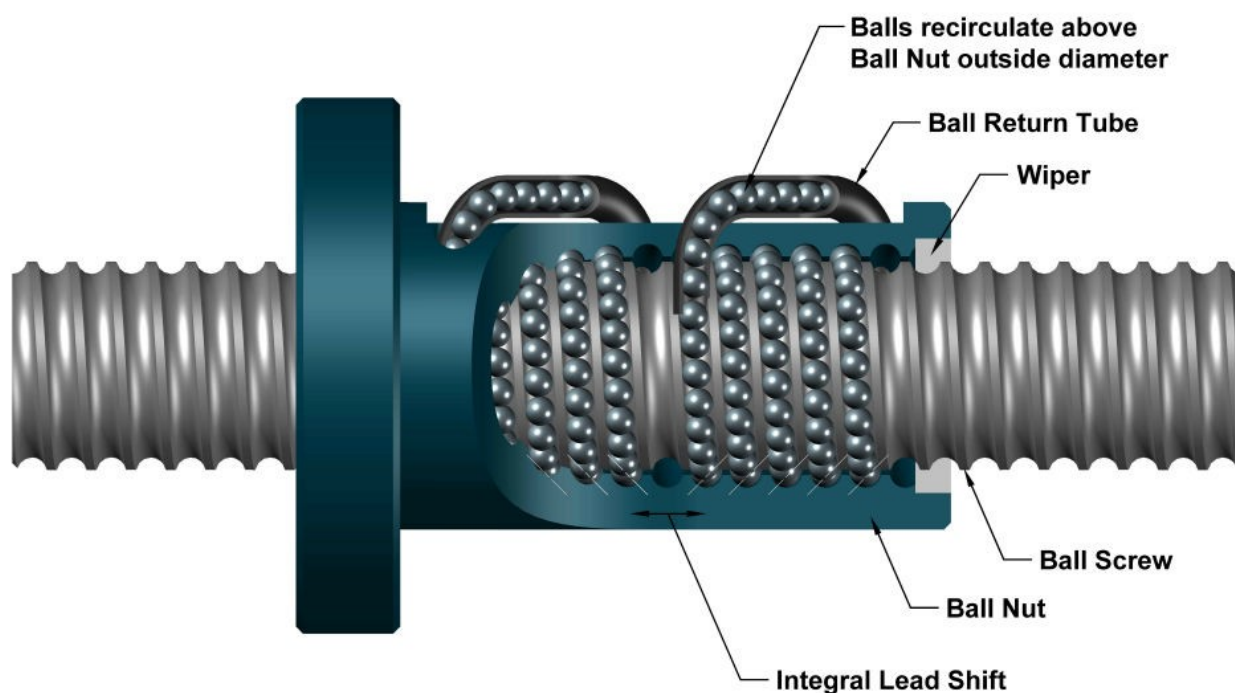
Οι σφαιρικές βίδες είναι μηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική κίνηση με υψηλή απόδοση και ακρίβεια. Αποτελούνται από έναν άξονα με σπείρωμα, γνωστό ως βίδα, και ένα παξιμάδι με ρουλεμάν. Τα ρουλεμάν κυκλοφορούν εντός των ελικοειδών αυλακώσεων της βίδας και των αντίστοιχων σπειρωμάτων του παξιμαδιού, επιτρέποντας την ομαλή και αποτελεσματική γραμμική κίνηση. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τον ορισμό και τη λειτουργία των σφαιρικών βιδών, συζητώντας τα βασικά χαρακτηριστικά, τις αρχές λειτουργίας και τις εφαρμογές τους (Smith & Brown, 2020).

Ορισμός Ball Screw

Οι σφαιρικές βίδες είναι μηχανικές συσκευές μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούν την κίνηση κύλισης των ρουλεμάν μεταξύ της βίδας και του παξιμαδιού για να μετατρέψουν την περιστροφική κίνηση σε γραμμική κίνηση. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και αποτελεσματική γραμμική κίνηση, όπως μηχανές CNC, βιομηχανικοί αυτοματισμοί, ρομποτική και αεροδιαστημικά συστήματα (Anderson, 2021).

Λειτουργία σφαιρικών βιδών

Η κύρια λειτουργία μιας σφαιρικής βίδας είναι να μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα εισόδου (βίδα) σε ακριβή γραμμική κίνηση. Αυτή η γραμμική κίνηση επιτυγχάνεται μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ της βίδας και του παξιμαδιού, τα οποία περιέχουν ελικοειδείς αυλακώσεις και σπειρώματα, αντίστοιχα. Τα ρουλεμάν μέσα στο παξιμάδι επανακυκλοφορούν μέσα στις ελικοειδείς αυλακώσεις, μετατρέποντας την περιστροφική κίνηση του κοχλίου σε γραμμική κίνηση του παξιμαδιού κατά μήκος του άξονα του κοχλίου (Jones, 2021).



External Ball Return System

Εικόνα 7^η : Ball Screw (πηγή barnesballscrew)

Βασικά χαρακτηριστικά των σφαιρικών βιδών

1. Αποδοτικότητα

Οι σφαιρικές βίδες είναι γνωστές για την υψηλή μηχανική τους απόδοση, που συνήθως κυμαίνεται από 90% έως 95%. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και του κοχλία/παξιμάδι μειώνει την τριβή, με αποτέλεσμα την αποτελεσματική μετάδοση ισχύος και την ελάχιστη απώλεια ενέργειας. Αυτή η υψηλή απόδοση καθιστά τις σφαιρικές βίδες κατάλληλες για εφαρμογές όπου η κατανάλωση ενέργειας και η συνολική απόδοση του συστήματος είναι κρίσιμοι παράγοντες (Doe, 2022).

2. Υψηλή ακρίβεια

Οι σφαιρικές βίδες προσφέρουν εξαιρετική ακρίβεια και ακρίβεια θέσης. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και του κοχλία/παξιμάδι εξασφαλίζει ελάχιστη αντίστροφη κίνηση, επιτρέποντας

ακριβή γραμμική κίνηση χωρίς σημαντικό παιχνίδι ή απώλεια κίνησης. Αυτός ο ακριβής έλεγχος κίνησης είναι ζωτικής σημασίας σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή τοποθέτηση, όπως μηχανές CNC, όπου ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και τη συνέπεια του τελικού προϊόντος (Brown, 2021).

3. Χωρητικότητα φορτίου

Οι σφαιρικές βίδες είναι σχεδιασμένες να αντέχουν υψηλά αξονικά φορτία, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές που περιλαμβάνουν μεγάλα φορτία. Η χρήση πολλαπλών ρουλεμάν καταναμημένων κατά μήκος της βίδας παρέχει κατανομή φορτίου, μειώνοντας την πίεση σε μεμονωμένα σημεία επαφής. Αυτή η χωρητικότητα φορτίου είναι απαραίτητη σε εφαρμογές όπως οι εργαλειομηχανές, όπου η σφαιρική βίδα είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση βαρέων τεμαχίων εργασίας ή κοπτικών εργαλείων με υψηλές δυνάμεις (Johnson, 2022).

4. Μείωση οπισθοδρόμησης

Η οπισθοδρόμηση, ή η ποσότητα του παιχνιδιού ή η χαμένη κίνηση, μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια και την ακρίβεια των συστημάτων γραμμικής κίνησης. Οι σφαιρικές βίδες έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν την αντίστροφη κίνηση μέσω της επαφής κύλισης μεταξύ των σφαιρών και των σπειρωμάτων βίδας/παξιμάδιου. Η κίνηση κύλισης των σφαιρών διατηρεί μια σφιχτή σύνδεση μεταξύ της βίδας και του παξιμαδιού, μειώνοντας ή εξαλείφοντας κάθε διάκενο ή αντίστροφη κίνηση. Αυτό το χαρακτηριστικό εξασφαλίζει ακριβή και επαναλαμβανόμενη γραμμική κίνηση (Smith, 2019).

5. Δυνατότητα υψηλής ταχύτητας

Οι σφαιρικές βίδες είναι ικανές να επιτύχουν γραμμική κίνηση υψηλής ταχύτητας λόγω του σχεδιασμού τους με χαμηλή τριβή. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και της βίδας/παξιμάδιου έχει ως αποτέλεσμα ελάχιστη τριβή και παραγωγή θερμότητας, επιτρέποντας γρήγορη και ομαλή κίνηση. Αυτή η ικανότητα υψηλής ταχύτητας καθιστά τις σφαιρικές βίδες

κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη τοποθέτηση ή δυναμική κίνηση, όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός και η ρομποτική (Brown & Johnson, 2021).

Εφαρμογές σφαιρικών βιδών

Οι σφαιρικές βίδες βρίσκουν εκτεταμένες εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες και μηχανολογικά συστήματα όπου απαιτείται ακριβής και αποτελεσματική γραμμική κίνηση. Μερικές κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

1. Μηχανές CNC

Οι σφαιρικές βίδες χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανές CNC, όπως φρέζες, τόνους και δρομολογητές, για ακριβή και αξιόπιστη γραμμική κίνηση κατά μήκος των αξόνων. Επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση και κίνηση του κοπτικού εργαλείου ή του τεμαχίου εργασίας, εξασφαλίζοντας υψηλής ποιότητας και συνεπείς εργασίες μηχανικής κατεργασίας (Anderson, 2019).

2. Βιομηχανικός αυτοματισμός

Οι σφαιρικές βίδες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού, όπου χρησιμοποιούνται για ακριβή τοποθέτηση, λειτουργίες γραμμής συναρμολόγησης και εφαρμογές χειρισμού υλικών. Παρέχουν αποτελεσματική και αξιόπιστη γραμμική κίνηση σε διάφορες αυτοματοποιημένες διαδικασίες (Jones, 2020).

3. Ρομποτική

Οι σφαιρικές βίδες είναι βασικά στοιχεία σε ρομποτικά συστήματα, επιτρέποντας ακριβή και επαναλαμβανόμενη γραμμική κίνηση σε βραχίονες, λαβές και αρθρώσεις ρομπότ. Συμβάλλουν στην ακρίβεια, την ταχύτητα και την αξιοπιστία των ρομποτικών κινήσεων (Doe, 2022).

4. Αεροδιαστημικά συστήματα

Οι σφαιρικές βίδες βρίσκουν εφαρμογές σε αεροδιαστημικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειών ελέγχου αεροσκαφών, των προσομοιωτών πτήσης και των δορυφορικών μηχανισμών. Παρέχουν ακριβή γραμμική κίνηση σε κρίσιμες αεροδιαστημικές εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία και απόδοση (Brown, 2021).

5. Ιατρικός εξοπλισμός

Οι σφαιρικές βίδες χρησιμοποιούνται σε ιατρικό εξοπλισμό όπως χειρουργικά ρομπότ, συσκευές απεικόνισης και συστήματα εντοπισμού θέσης ασθενών. Προσφέρουν ακριβή και ελεγχόμενη γραμμική κίνηση για ακριβείς ιατρικές διαδικασίες και διαγνωστικά (Johnson, 2022).

5.2 Πλεονεκτήματα και εφαρμογές των σφαιρικών βιδών

Οι σφαιρικές βίδες προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα γραμμικής κίνησης, καθιστώντας τις μια δημοφιλή επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και αποτελεσματική γραμμική κίνηση. Ο μοναδικός σχεδιασμός και τα χαρακτηριστικά τους παρέχουν πλεονεκτήματα όπως υψηλή απόδοση, ακρίβεια, χωρητικότητα φόρτωσης και αξιοπιστία. Αυτή η ενότητα θα επεξεργαστεί τα πλεονεκτήματα και τις εφαρμογές των σφαιρικών βιδών, επισημαίνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τις βιομηχανίες που ωφελούνται από τη χρήση τους (Smith & Brown, 2020).

Πλεονεκτήματα των σφαιρικών βιδών

1. Υψηλής απόδοσης

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των σφαιρικών βιδών είναι η υψηλή μηχανική τους απόδοση. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και των σπειρωμάτων βιδών/παξιμαδιών ελαχιστοποιεί την τριβή, με αποτέλεσμα την αποτελεσματική μετάδοση ισχύος και τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η υψηλή απόδοση καθιστά τις σφαιρικές βίδες ιδανικές για εφαρμογές όπου η απόδοση ισχύος είναι κρίσιμη ή όπου είναι επιθυμητή η εξοικονόμηση ενέργειας (Anderson, 2021).

2. Ακριβής Γραμμική Κίνηση:

Οι σφαιρικές βίδες προσφέρουν εξαιρετική ακρίβεια και ακρίβεια θέσης. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και του κοχλία/παξιμάδι εξασφαλίζει ελάχιστη αντίστροφη κίνηση, παρέχοντας ακριβή και επαναλαμβανόμενη γραμμική κίνηση. Αυτός ο ακριβής έλεγχος κίνησης είναι ζωτικής σημασίας σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια τοποθέτησης, όπως οι μηχανές CNC, όπου ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και τη συνέπεια του τελικού προϊόντος (Jones, 2021).

3. Υψηλή χωρητικότητα φορτίου

Οι σφαιρικές βίδες έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται υψηλά αξονικά φορτία, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές που περιλαμβάνουν μεγάλα φορτία. Τα πολλαπλά ρουλεμάν που κατανέμονται κατά μήκος της βίδας παρέχουν κατανομή φορτίου, μειώνοντας την πίεση σε μεμονωμένα σημεία επαφής. Αυτή η χωρητικότητα φορτίου είναι απαραίτητη σε εφαρμογές όπως οι εργαλειομηχανές, όπου η σφαιρική βίδα είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση βαρέων τεμαχίων ή εργαλείων κοπής με υψηλές δυνάμεις (Doe, 2022).

4. Μείωση οπισθοδρόμησης

Η οπισθοδρόμηση, ή η ποσότητα του παιχνιδιού ή η χαμένη κίνηση, μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια και την ακρίβεια των συστημάτων γραμμικής κίνησης. Οι σφαιρικές βίδες έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν την αντίστροφη κίνηση μέσω της επαφής κύλισης μεταξύ των σφαιρών και των σπειρωμάτων βίδας/παξιμάδιου. Η κίνηση κύλισης των σφαιρών διατηρεί μια σφιχτή σύνδεση μεταξύ της βίδας και του παξιμαδιού, μειώνοντας ή εξαλείφοντας κάθε διάκενο ή αντίστροφη κίνηση. Αυτό το χαρακτηριστικό εξασφαλίζει ακριβή και επαναλαμβανόμενη γραμμική κίνηση (Brown, 2021).

5. Δυνατότητα υψηλής ταχύτητας

Οι σφαιρικές βίδες μπορούν να επιτύχουν γραμμική κίνηση υψηλής ταχύτητας λόγω του σχεδιασμού τους με χαμηλή τριβή. Η επαφή κύλισης μεταξύ των ρουλεμάν και της βίδας/παξιμάδιου έχει ως αποτέλεσμα ελάχιστη τριβή και παραγωγή θερμότητας, επιτρέποντας

γρήγορη και ομαλή κίνηση. Αυτή η ικανότητα υψηλής ταχύτητας καθιστά τις σφαιρικές βίδες κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη τοποθέτηση ή δυναμική κίνηση, όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός και η ρομποτική (Johnson, 2022).

5.3 Συντήρηση και λίπανση σφαιρικών βιδών

Η σωστή συντήρηση και λίπανση είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και μακροζωίας των σφαιρικών βιδών. Οι τακτικές πρακτικές συντήρησης και η κατάλληλη λίπανση συμβάλλουν στη μείωση της τριβής, στην πρόληψη της φθοράς και στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου αστοχίας. Αυτή η ενότητα θα αναλύσει τη συντήρηση και τη λίπανση των σφαιρικών βιδών, συζητώντας τις βασικές πρακτικές, τις μεθόδους λίπανσης και τη σημασία της σωστής συντήρησης (Smith & Brown, 2020).

Πρακτικές Συντήρησης

1. Τακτικός έλεγχος

Πραγματοποιήστε τακτικές οπτικές επιθεωρήσεις του συγκροτήματος σφαιρικών βιδών για να ελέγξετε για τυχόν σημάδια ζημιάς, φθοράς ή μόλυνσης. Αναζητήστε ενδείξεις υπερβολικού παιχνιδιού, κακής ευθυγράμμισης ή χαλαρών συνδέσεων. Επιθεωρήστε τη σφαιρική βίδα για τυχόν ρινίσματα, ρωγμές ή παραμορφώσεις. Εάν εντοπιστούν προβλήματα κατά την επιθεώρηση, θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, όπως επισκευές ή αντικατάσταση κατεστραμμένων εξαρτημάτων (Anderson, 2021).

2. Καθάρισμα

Διατηρήστε το συγκρότημα σφαιρικής βίδας καθαρό αφαιρώντας τυχόν βρωμιά, σκόνη ή υπολείμματα που μπορεί να συσσωρευτούν στις επιφάνειες. Χρησιμοποιήστε ένα μαλακό πανί ή βούρτσα για να σκουπίσετε ή να αφαιρέσετε απαλά τους ρύπους. Αποφύγετε τη χρήση σκληρών καθαριστικών ή λειαντικών υλικών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στις επιφάνειες της σφαιρικής βίδας ή των εξαρτημάτων της. Ο τακτικός καθαρισμός βοηθά στη διατήρηση της ακεραιότητας του συγκροτήματος και αποτρέπει την είσοδο ρύπων (Jones, 2021).

3. Λάδωμα

Η σωστή λίπανση είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία και τη μακροζωία των σφαιρικών βιδών. Η λίπανση μειώνει την τριβή, ελαχιστοποιεί τη φθορά και αποτρέπει τη διάβρωση. Ακολουθήστε τις συστάσεις του κατασκευαστή για τον τύπο του λιπαντικού που θα χρησιμοποιήσετε και τη συχνότητα λίπανσης. Το διάστημα λίπανσης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως το φορτίο, η ταχύτητα και οι συνθήκες λειτουργίας. Η υπερβολική λίπανση πρέπει να αποφεύγεται καθώς μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική παραγωγή θερμότητας και άλλα προβλήματα (Doe, 2022).

Μέθοδοι λίπανσης

1. Λίπανση με γράσο

Η λίπανση με γράσο χρησιμοποιείται συνήθως για σφαιρικές βίδες καθώς παρέχει εξαιρετική λίπανση και προστασία από τη φθορά. Εφαρμόστε το συνιστώμενο γράσο στο συγκρότημα σφαιρικής βίδας χρησιμοποιώντας ένα γρασαδόρο ή άλλο κατάλληλο εξοπλισμό λίπανσης. Βεβαιωθείτε ότι το γράσο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλο το μήκος της βίδας και μέσα στο παξιμάδι. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιείτε τον κατάλληλο τύπο και ποιότητα γράσου που προτείνει ο κατασκευαστής (Brown, 2021).

2. Λίπανση λαδιού

Σε ορισμένες εφαρμογές, η λίπανση λαδιού μπορεί να προτιμάται από τη λίπανση με γράσο. Η λίπανση λαδιού παρέχει καλύτερη ψύξη και μπορεί να χειριστεί υψηλότερες ταχύτητες. Το λάδι τροφοδοτείται συνήθως στο συγκρότημα σφαιρικής βίδας μέσω ενός συστήματος λίπανσης ή ενός λουτρού λαδιού. Το λάδι πρέπει να έχει το συνιστώμενο ιξώδες και να αλλάζει περιοδικά σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (Johnson, 2022).

Σημασία της σωστής συντήρησης και λίπανσης

1. Μειωμένη τριβή και φθορά

Η σωστή συντήρηση και λίπανση συμβάλλουν στη μείωση της τριβής μεταξύ των ρουλεμάν και της βίδας/παξιμαδιού, ελαχιστοποιώντας τη φθορά και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του συγκροτήματος σφαιροβιδωτών. Η επαρκής λίπανση σχηματίζει ένα λεπτό φιλμ που διαχωρίζει τις επιφάνειες επαφής, μειώνοντας την άμεση επαφή μετάλλου με μέταλλο και αποτρέποντας την υπερβολική τριβή (Smith, 2019).

2. Βελτιωμένη απόδοση και ακρίβεια

Η τακτική συντήρηση και η λίπανση συμβάλλουν στη συνολική απόδοση και ακρίβεια του συστήματος σφαιρικών βιδών. Μειώνοντας την τριβή και τη φθορά, η σφαιρική βίδα μπορεί να λειτουργεί ομαλά και να διατηρεί την ακρίβειά της, εξασφαλίζοντας ακριβή γραμμική κίνηση και τοποθέτηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα, όπως οι μηχανές CNC και η ρομποτική (Brown & Johnson, 2021).

3. Προστασία από τη διάβρωση

Η λίπανση παρέχει επίσης ένα προστατευτικό φράγμα κατά της διάβρωσης. Βοηθά στην αποφυγή της άμεσης επαφής της υγρασίας και άλλων διαβρωτικών στοιχείων με το συγκρότημα σφαιρικής βίδας, διατηρώντας την ακεραιότητά του και αποτρέποντας τη ζημιά. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιβάλλοντα όπου η έκθεση σε υγρασία ή σκληρές συνθήκες προκαλεί ανησυχία (Anderson, 2019).

4. Εκτεταμένη διάρκεια ζωής

Η σωστή συντήρηση και η σωστή λίπανση συμβάλλουν στην παράταση της διάρκειας ζωής του συγκροτήματος σφαιρικής βίδας, μειώνοντας τη συχνότητα αντικατάστασης εξαρτημάτων και ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας. Εξασφαλίζοντας ότι η σφαιρική βίδα λειτουργεί ομαλά και με ελάχιστη φθορά, αυξάνεται η μακροζωία της, οδηγώντας σε εξοικονόμηση κόστους και βελτιωμένη παραγωγικότητα μακροπρόθεσμα (Jones, 2020).

6 Σχεδιασμός κατασκευής

Για τον σχεδιασμό της εν λόγω εργαλειομηχανής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Inventor της Autodesk. Κατά τον σχεδιασμό αυτής επιλέχθηκαν υλικά και εξαρτήματα τα οποία υπάρχουν στο εμπόριο. Οι διαστάσεις της μηχανής επιλέχθηκαν με γνώμονα τέτοιον ώστε να δύναται εύκολα η μετακίνηση της και σύγχρονος να επιτευχθεί η μείωση του απαιτούμενου χώρου. Όλα τα παραπάνω έχουν ως απόρροια να ελαχιστοποιηθεί το κόστος της μηχανής καθώς είναι μια μηχανή εκπαιδευτικού χαρακτήρα.

6.1 Σχεδιασμός σκελετού εργαλειομηχανής

Ο σκελετός της εργαλειομηχανής αποτελείται από κομμάτια προφίλ αναδυσμένου αλουμινίου τύπου V slot . Οι λόγοι που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο υλικό είναι η εύκολη επεξεργασία του , η δυνατότητα της εύκολης προσαρμογής διαφόρων ειδικών τεμαχίων όπως στηρίγματα αξόνων , καθώς η ευκολία στην συνδέση μεταξύ τους χρησιμοποιώντας Tee nuts μαζί με ειδικούς συνδέσμους .

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του σκελετού της εργαλειομηχανής παρουσιάζονται παρακάτω:

- V-Slot 3030 mm L= 1000mm
- V-Slot 2020 mm L= 2000mm
- Ειδικοί σύνδεσμοι



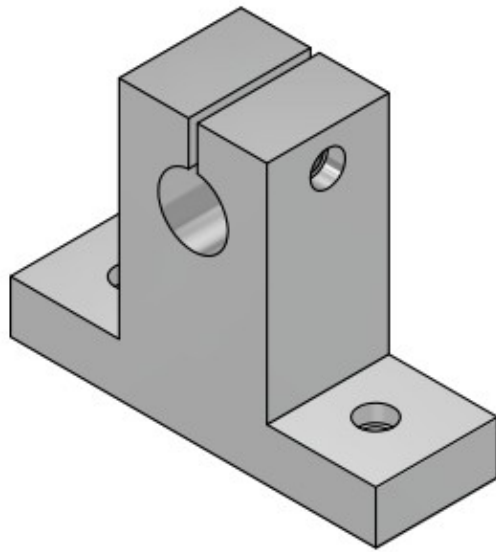
Εικόνα 8^η : Σκελετός εργαλειομηχανής

Ο σκελετός αποτελείται από τα παρακάτω:

- V-Slot 3030 mm L= 450mm 2 ΤΕΜΑΧΙΑ
- V-Slot 2020 mm L= 240mm 2 ΤΕΜΑΧΙΑ
- V-Slot 2020 mm L= 375mm 2 ΤΕΜΑΧΙΑ
- V-Slot 2020 mm L= 450mm 2 ΤΕΜΑΧΙΑ

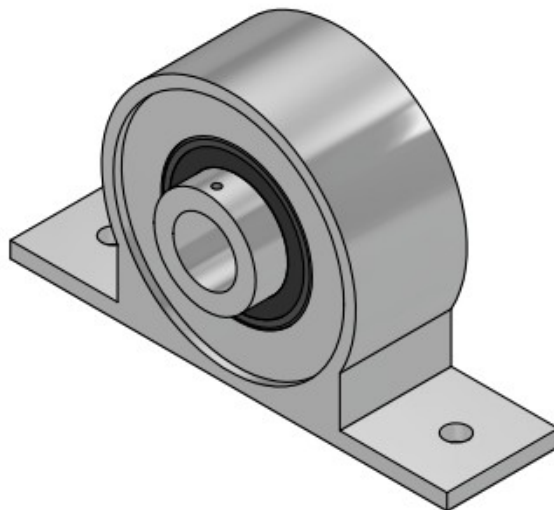
6.2 Σχεδιάσμος εξαρτημάτων εργαλειομηχανής

Για την συγκράτηση των αξόνων χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω ειδικό τεμάχιο. Είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και έχει μια οπή 9mm απο την οποία περνάει ο άξονας , 2 οπές στήριξης 8mm στην βάση καθώς και άλλη μια οπή με σπείρωμα M5 η οποία συγκρατεί τον άξονα στην θέση του.



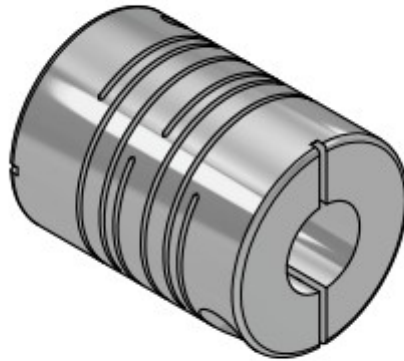
Εικόνα 9^η : Linear Rail shaft Support guide 8mm

Για την συγκράτηση των ατέρμονων κοχλιών κίνησης επιλέχθηκε το παρακάτω έδρανο ολίσθησης όπου η εσωτερική διάμετρος του είναι 8mm και για την συγκράτηση του κοχλία έχει δυο οπές με σπείρωμα M2 και δύο σκουλικόβιδες . Στην βάση είχε δυο οπές διαμέτρου 4mm.



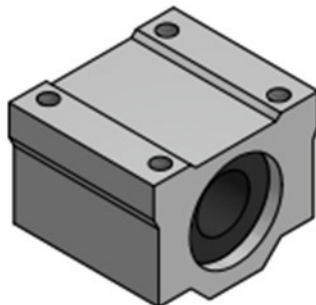
Εικόνα 10^η : Pillow Block Ball Bearing 8mm

Όσον αφορά την σύνδεση του ατέρμονα κοχλία και του βηματικού κινητήρα χρησιμοποιήθηκαν αλουμινένια εύκαμπτα Shaft Coupler από 8mm σε 8mm , το οποίο απαρτιζόταν από τέσσερις σκουλικόβιδες M2 , δυο για την συγκράτηση του κοχλία και άλλες δυο για την συγκράτηση του coupler στο shaft του βηματικού κινητήρα .



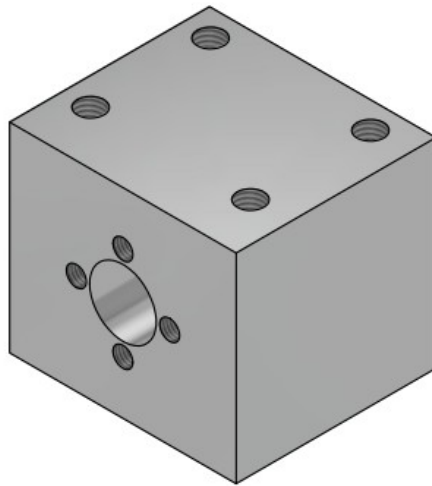
Εικόνα 11¹ : Alluminium flex shaft 8mm to 8mm

Για την κίνηση των φορέων επάνω στους άξονες χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά ρουλεμάν με βάση διαμέτρου 8mm τα οποία έχουν 4 οπές με σπειρώμα M4 ώστε να συνδεθεί με το φορείο.



Εικόνα 12^η : Γραμμικό ρουλεμάν με βάση

Έπειτα, όσον αφορά την κίνηση των φορέων στους ατέρμονες κοχλίες χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω ειδικά τεμάχια. Το παρακάτω αποτελείται από τέσσερις οπές με σπείρωμα M4 ώστε να συνδεθεί με το φορείο, μια κεντρική οπή 10 mm αλλά και άλλες τέσσερις οπές με σπείρωμα M2 ώστε να συνδεθεί με ένα ειδικό περικόχλιο .



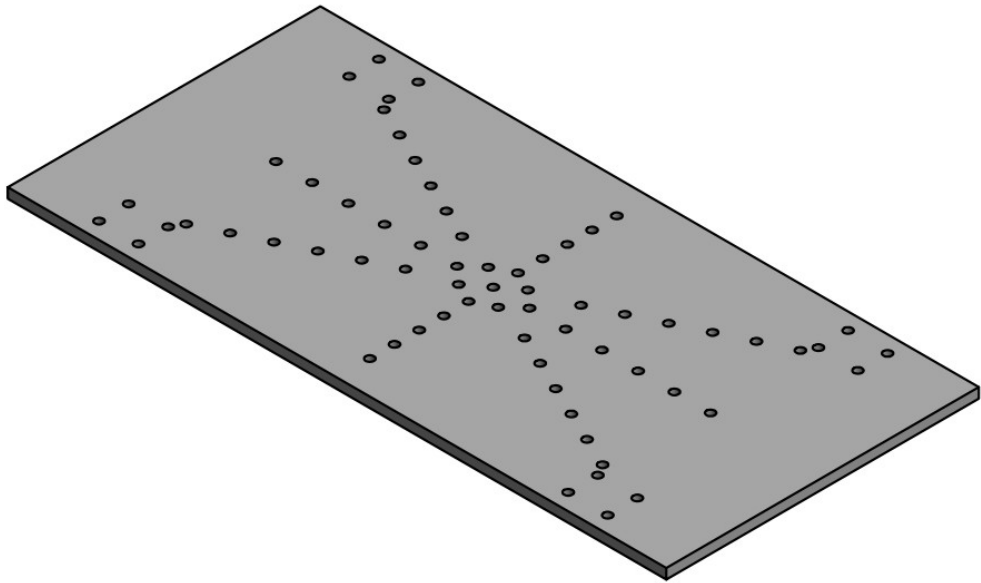
Εικόνα 13^η : Nut Housing for lead screw

Για την μεταφορά της κίνησης από τον ατέρμονα κοχλία στο φορείο χρησιμοποιήθηκε ένα περικόχλιο. Το οποίο απαρτίζεται από μια κεντρική οπή με σπείρωμα καθώς και τέσσερις οπές 2 mm ώστε να συνδεθεί το το Nut Housing.

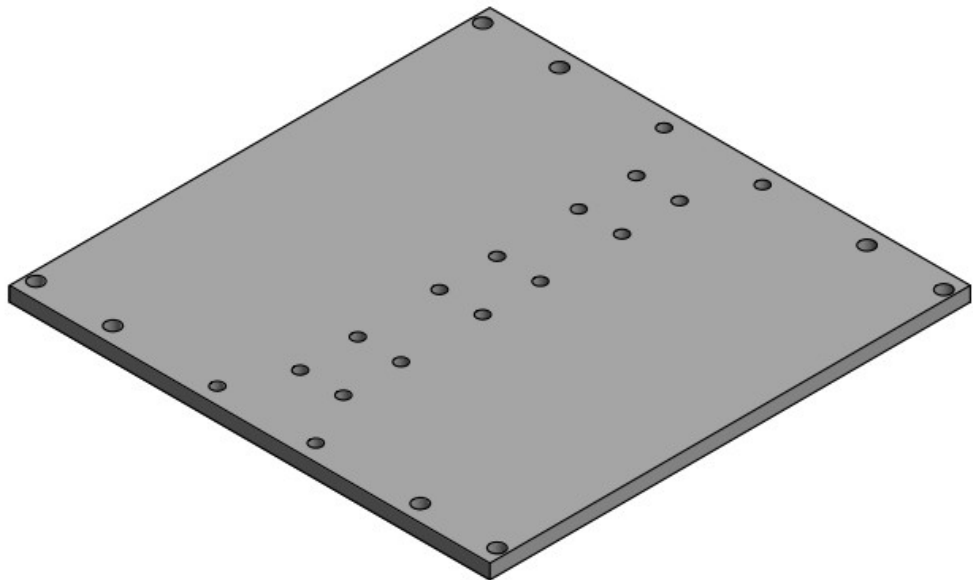


Εικόνα 14^η :Περικόχλιο τραπεζοειδή κοχλία

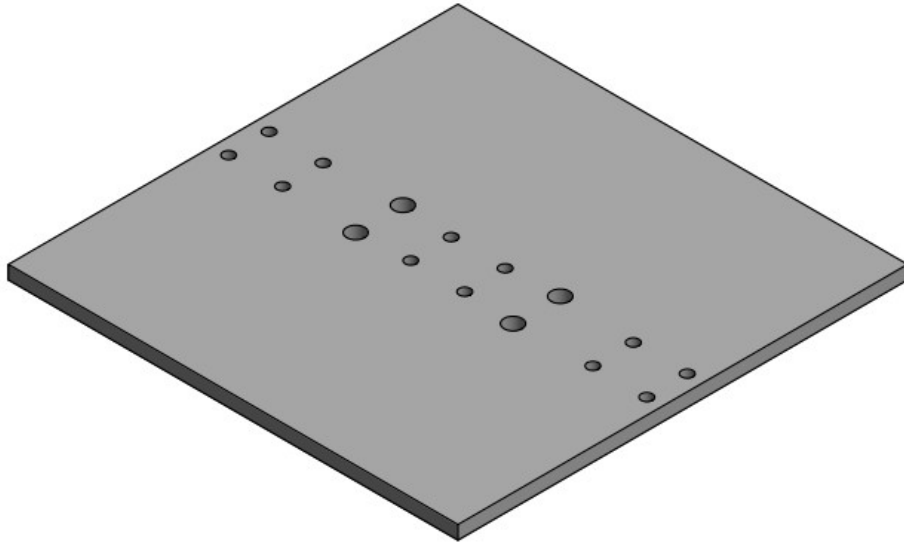
Τα φορείς των αξόνων κατασκευάστηκαν από αλουμίνιο 6mm.



Εικόνα 14^η : Φορείο Υ άξονα



Εικόνα 15^η : Φορείο Χ άξονα



Εικόνα 16^η : Φορείο Z άξονα

Το φορείο του X άξονα είναι διαστάσεων 400X190 mm (16^η εικόνα) καθώς τα φορεία των Y και Z αξόνων είναι διαστάσεων 200X200 (εικόνα 15^η και 17^η). Η κατασκευή τους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Laser .

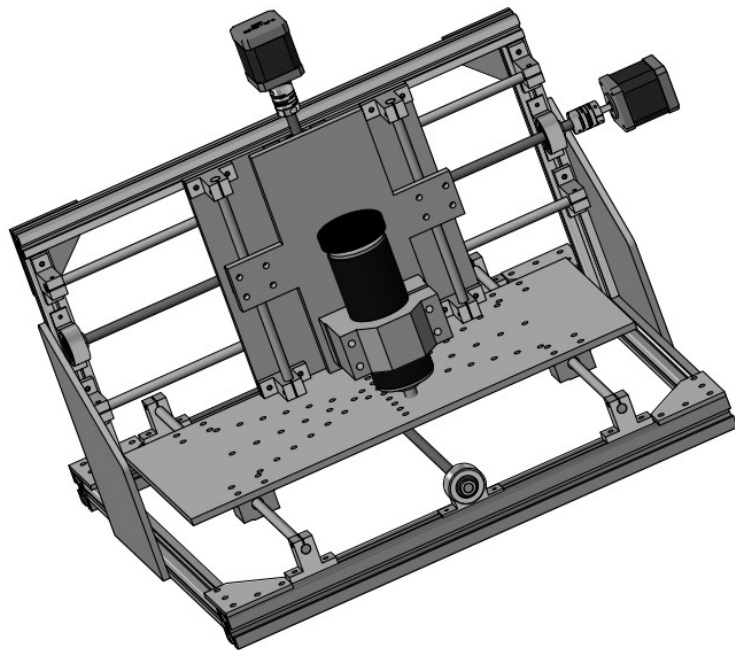
Άξονες και Ατέρμονες κοχλίες εργαλειομηχανής

Οι άξονες της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαμέτρου 8mm και είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα GCR15 και επιχρωμιωμένοι 1-2μm .

Οι τραπεζοειδείς κοχλίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι T8 κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα.

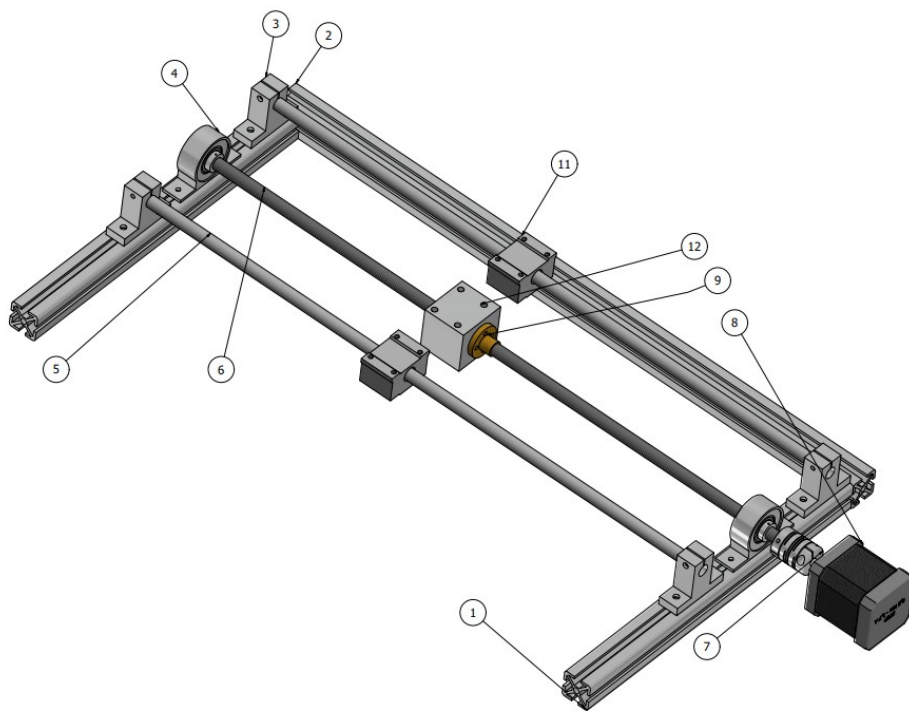
6.3 Ανάλυση μηχανικών εξαρτημάτων αξόνων κατεργασίας

Η παρουσίαση των επιμέρων τεμαχίων θα παρουσιαστεί τρισδιάστατα ώστε να γίνει πιο ευκολά κατανοητή. Ωστόσο στο παράρτημα θα παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα μηχανολογικά σχέδια με τις απαραίτητες διαστάσεις .



Εικόνα 17^η : Τρισδιάστατη απεικόνιση εργαλειομηχανής

Σε πρώτο στάδιο θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του πρώτου άξονα ο οποίος είναι ο διαμήκης άξονας κατεργασίας η αλλιώς Χ άξονας. Το παραπάνω παρουσιάζεται στην 19^η εικόνα.



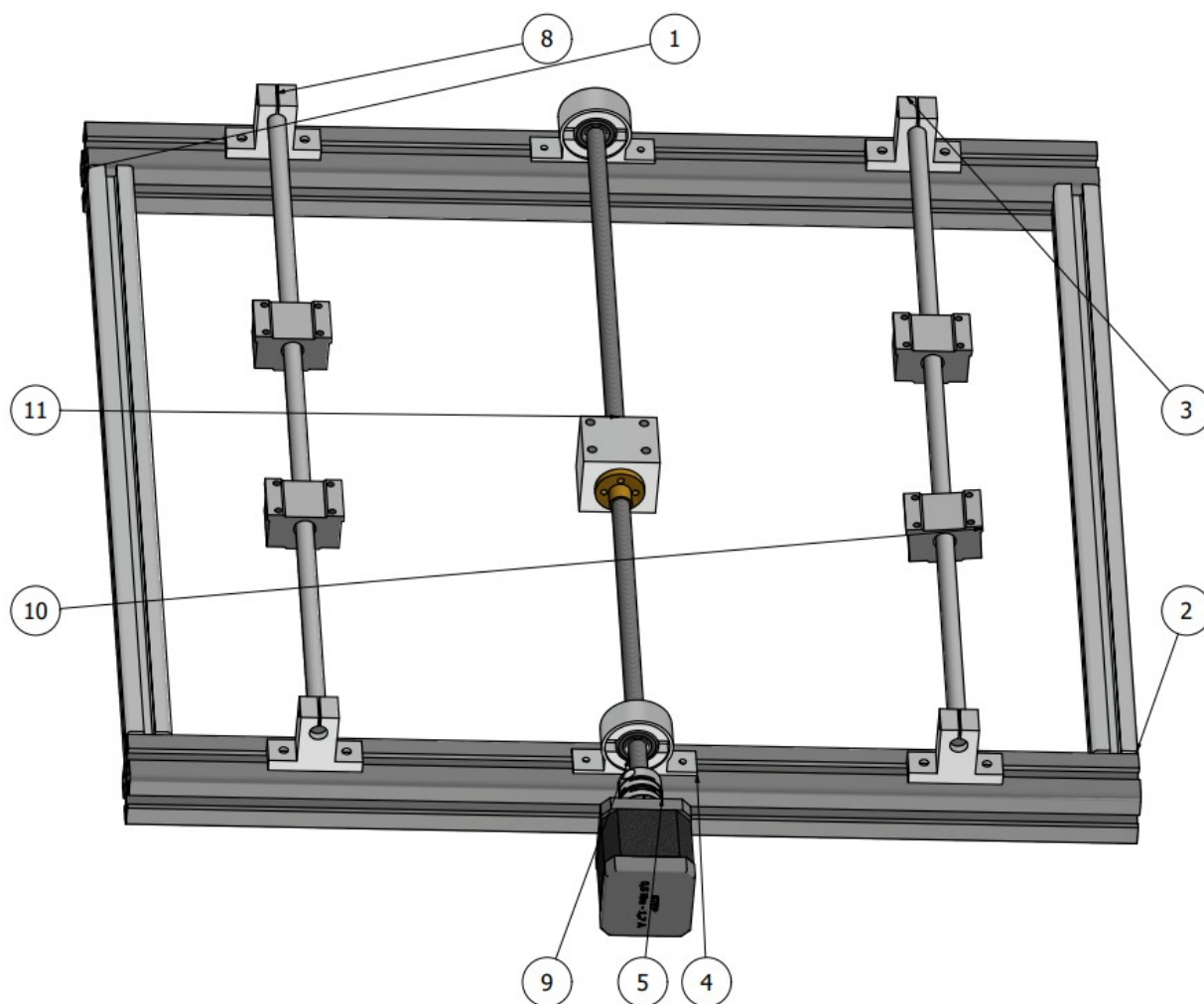
Εικόνα 18^η : Στοιχεία κατασκευής διαμήκη άξονα

PARTS LIST		
Νούμερο τεμαχίου	Είδος τεμαχίου	Αριθμός τεμαχίων
1	Aluminium V-slot 2020 L240mm	2
2	Aluminium V-slot 2020 L450mm	1
3	Linear rail shaft guide support 8mm	4
4	Pillow Block Ball Bearing 8mm	2
5	Precision shaft-8mm L440mm	2
6	Τραπεζοειδής κοχλίας T8 L450mm	1
7	Aluminium Flex Shaft Coupler 8mm to	1

	8mm	
8	Nema step motor 0.5 Nm 1.7A	1
9	Περικόχλιο T8	1
11	Γραμμικό Ρουλεμάν με Βάση - 8mm - SC8UU	2
12	Nut Housing for lead screw	1

Πίνακας 6.1: Κατάλογος εξαρτημάτων διαμήκη άξονα κατεργασίας

Στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του δεύτερου άξονα ο οποίος είναι ο διαμήκης άξονας κατεργασίας η αλλιώς Y άξονας.



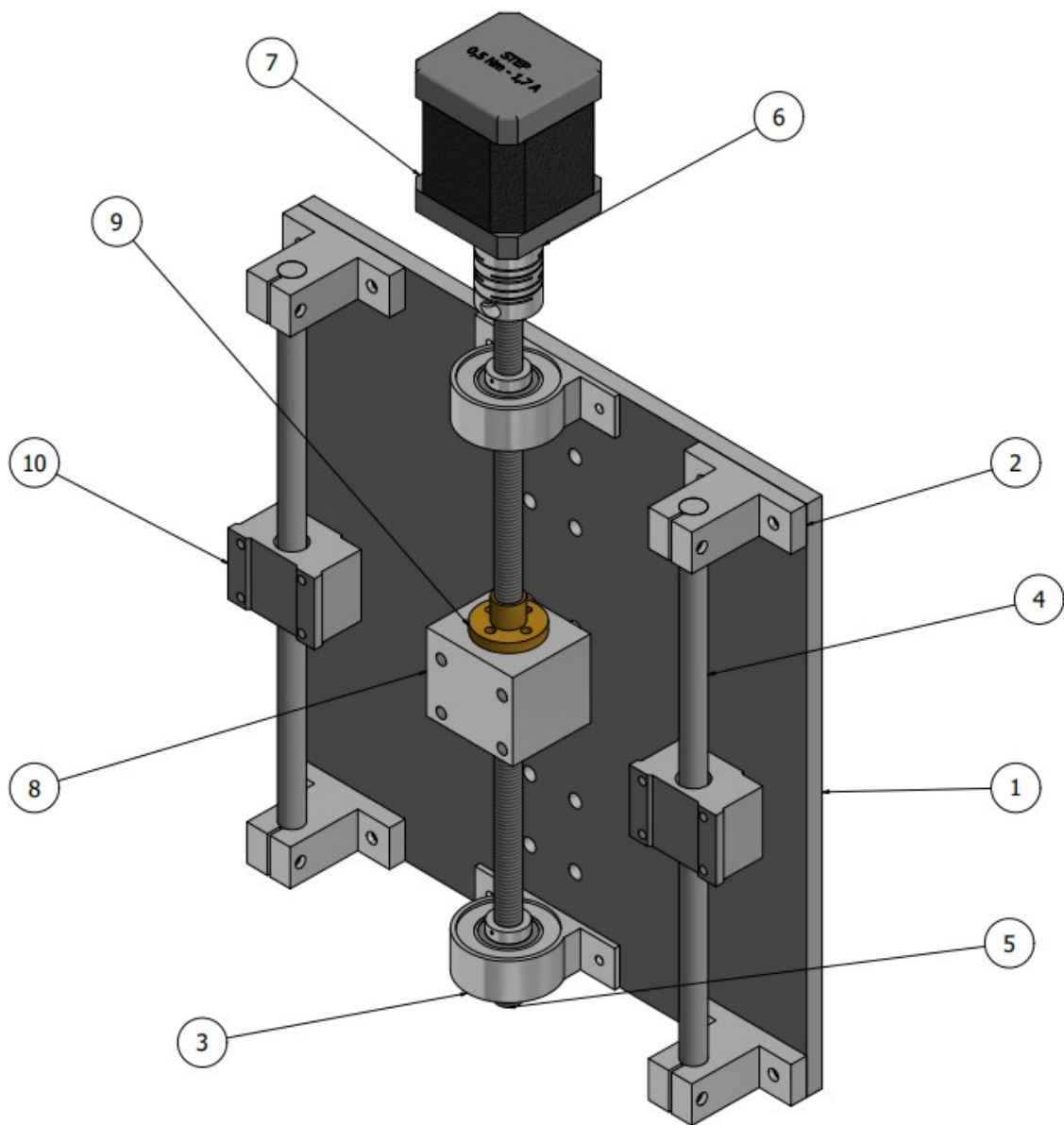
Εικόνα 19^η : Στοιχεία κατασκευής διαμήκη άξονα

PARTS LIST		
Νούμερο τεμαχίου	Είδος τεμαχίου	Αριθμός τεμαχίων
1	Aluminium V-slot 3030 L450mm	2
2	Aluminium V-slot 2020 L375mm	2
3	Linear rail shaft guide support 8mm	4
4	Pillow Block Ball Bearing 8mm	2
5	Aluminium Flex Shaft Coupler 8mm to	1

	8mm	
6	Nema step motor 0.5 Nm 1.7A	1
7	Περικόχλιο T8	1
8	Precision shaft-8mm L440mm	2
9	Τραπεζοειδής κοχλίας T8 L450mm	1
10	Γραμμικό Ρουλεμάν με Βάση - 8mm - SC8UU	4
11	Nut Housing for lead screw	1

Πίνακας 6.2: Κατάλογος εξαρτημάτων εγκάρσιου άξονα κατεργασίας

Τέλος θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του τρίτου άξονα ο οποίος είναι ο κατακόρυφος άξονας κατεργασίας η αλλιώς Z άξονας.



Εικόνα 20^η : Εικόνα 6.14 Στοιχεία κατασκευή κατακόρυφου άξονα

PARTS LIST		
Νούμερο τεμαχίου	Είδος τεμαχίου	Αριθμός τεμαχίων
1	Βάση Z άξονα 200X200X6mm	1
2	Linear rail shaft guide support 8mm	4

3	Pillow Block Ball Bearing 8mm	2
4	Precision shaft-8mm L200mm	2
5	Τραπεζοειδής κοχλίας T8 L300mm	1
6	Aluminium Flex Shaft Coupler 8mm to 8mm	1
7	Nema step motor 0.5 Nm 1.7A	1
8	Nut Housing for lead screw	1
9	Περικόχλιο T8	1
10	Γραμμικό Ρουλεμάν με Βάση - 8mm - SC8UU	2

Πίνακας 6.3: Κατάλογος εξαρτημάτων κατακόρυφου άξονα κατεργασίας

7 Ηλεκτρονικό και Ηλεκτρολογικό κομμάτι εργαλειομηχανής

Τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

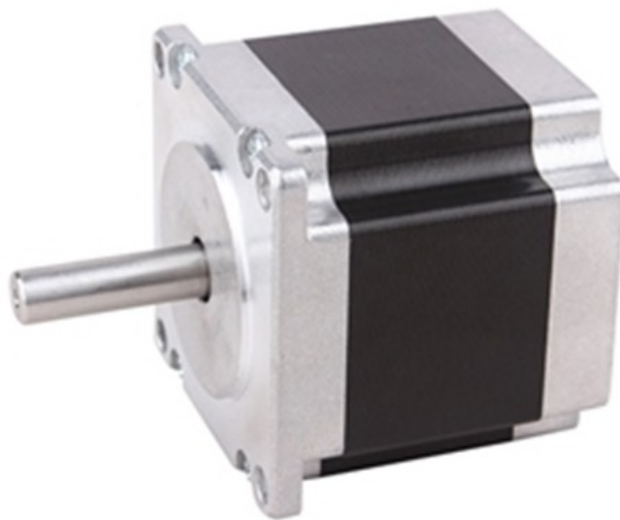
1. Βηματικοί Κινητήρες

Οι βήματικοί κινητήρες που έχουν επιλεγεί για τη χρήση στην εργαλειομηχανή είναι τύπου NEMA 23. Ο συγκεκριμένος τύπος βηματικού κινητήρα παρέχει επαρκή ροπή για τις απαιτήσεις των διαφόρων εργασιών που θα εκτελεί η μηχανή. Η επιλογή αυτή βασίζεται στην ανάγκη για αξιόπιστη και ισχυρή κίνηση, προσφέροντας ταυτόχρονα αποδοτικότητα και ακρίβεια στην εκτέλεση των εργασιών.

Step Angle (degrees)	1.8
Steps/rev	200
Rated Voltage	3.0 V

Rated Current	3A/phase
2-Phase	(4 wires)
Holding Torque	180N.cm
Dimensions	76x56x56mm
Weight	1kg
Shaft Diameter	8mm
Shaft Length	19mm

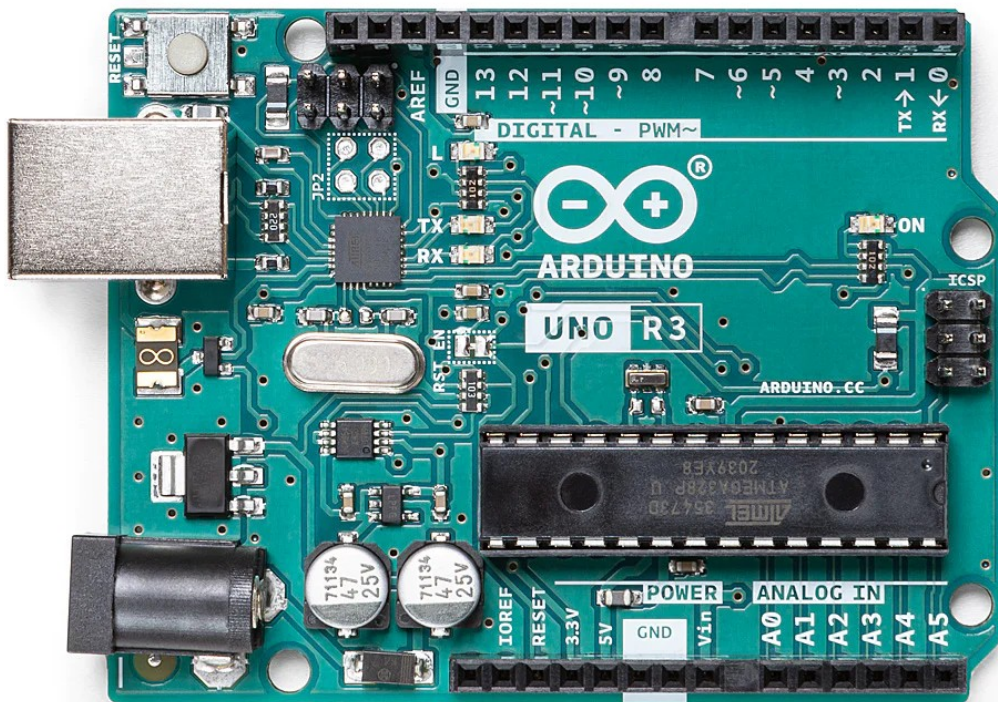
Πίνακας 7.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα NEMA 23



Εικόνα 21^η : Nema 23 stepper motor(πηγή Ato)

2. Κεντρική πλακέτα

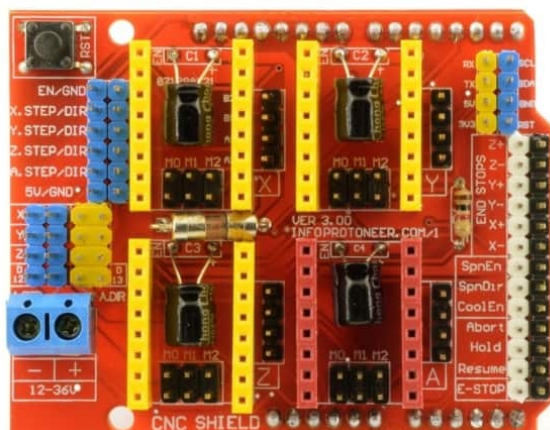
Για την επικοινωνία με τον υπολογιστή και την μεταβίβαση εντολών στους βηματικούς κινητήρες χρειάζεται μια κεντρική πλακέτα. Υπάρχουν αρκετές οικονομικές επιλογές για την κεντρική πλακέτα. Στο συγκεκριμένο μηχανήμα θα χρησιμοποιηθεί ένα Arduino Uno V3.



Εικόνα 22^η : Arduino Uno V3 .(<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>)

3. Cnc Shiled V3

Σε συνεργασία με το Arduino θα χρησιμοποιηθεί και ένα CNC shield V3 .Αυτή η πλακέτα είναι μια προέκταση του arduino-uno-rev3 και καθιστά εφικτό τον έλεγχο όλων των απαραίτητων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων για την λειτουργία της εργαλειομηχανής.



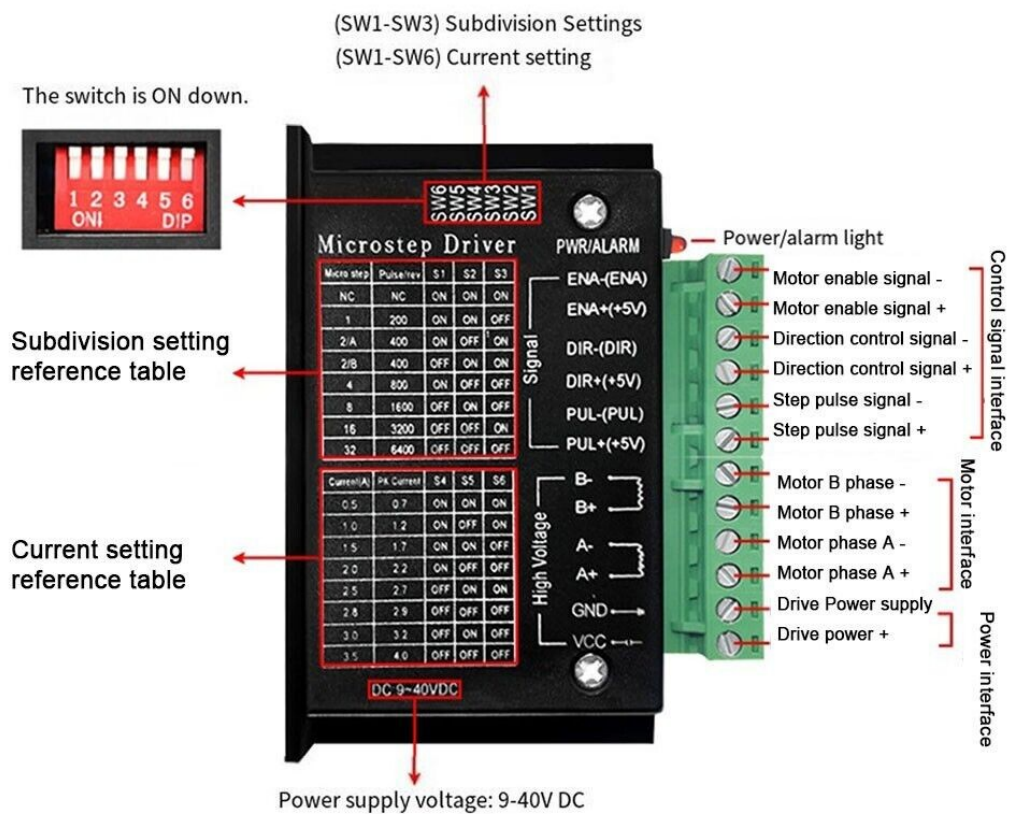
Εικόνα 23^η: CNC shield V3

4. TB6600 drivers

Για την οδήγηση των βηματικών κινητήρων επιλέχθηκαν οι drivers TB6600.

Μοντέλο	TB6600
Τάση τροφοδοσίας	10-40 Volt DC
Ρεύμα τροφοδοσίας	3.5 A
Micro Stepping	NC,1,1/A,1/B,4,8,16,32

Πίνακας 7.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά TB6600



Εικόνα 24^η: TB-6600 DRIVER

5. Κινητήρας κοπής

Ο κινητήρας κοπής της εργαλειομηχανής θα είναι τύπου Machifit ER11 Chuck CNC 500W Spindle Motor όπως παρουσιάζεται στην 26^η εικόνα.



Εικόνα 26^η: Machifit ER11 Chuck CNC 500W Spindle Motor (πηγή topsystems)

Input	AC 110-220V
Spindle Motor	500W

Spindle Speed	3000-12000 rpm
Motor diameter	52mm
Current	6A
Coolant	Air

Πίνακας 7.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Machifit ER11 Chuck CNC 500w spindle motor

8 Συναρμολόγηση εργαλειομηχανής

8.1 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Για την κατασκευή καθώς και την συναρμολόγηση των επιμέρους στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω.

1. Μετρητικά όργανα

- Αναλογικό Παχύμετρο
- Μέτρο

2. Εργαλεία

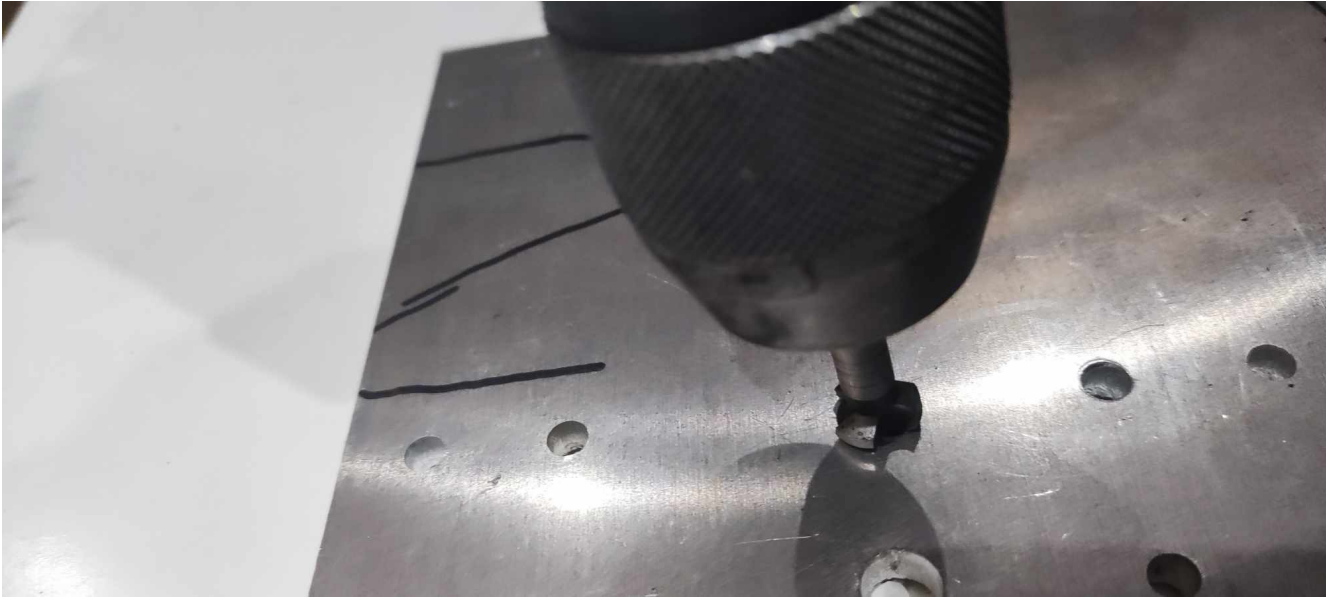
- Κλειδιά Allen
- Λίμες κατεργασίας
- Κολαούζα
- Τρυπάνι Χειρός

3. Εργαλειομηχανές

- Laser Κοπής
- Δισκοπρίονο

8.2 Συναρμολόγηση Εργαλειομηχανής

Τα φορεία των αξόνων κόπηκαν σε Laser , ύστερα πραγματοποιήθηκε φρεζάρισμα στις τρύπες έτσι ώστε να μην προεξέχουν οι βίδες. Στο φορείο του άξονα X ανοίχθηκαν σπειρώματα M4 ώστε να συνδεθούν τα Linear rail shaft guide support & Pillow Block Ball Bearing.



Εικόνα 27^η : Φρεζάρισμα οπών



Εικόνα 28^η : Δημιουργία σπειρωμάτων M4 με κολαούζο

Έπειτα ξεκίνησε η συναρμολόγηση του σκελετού και η τοποθέτηση των διαφόρων εξαρτημάτων.

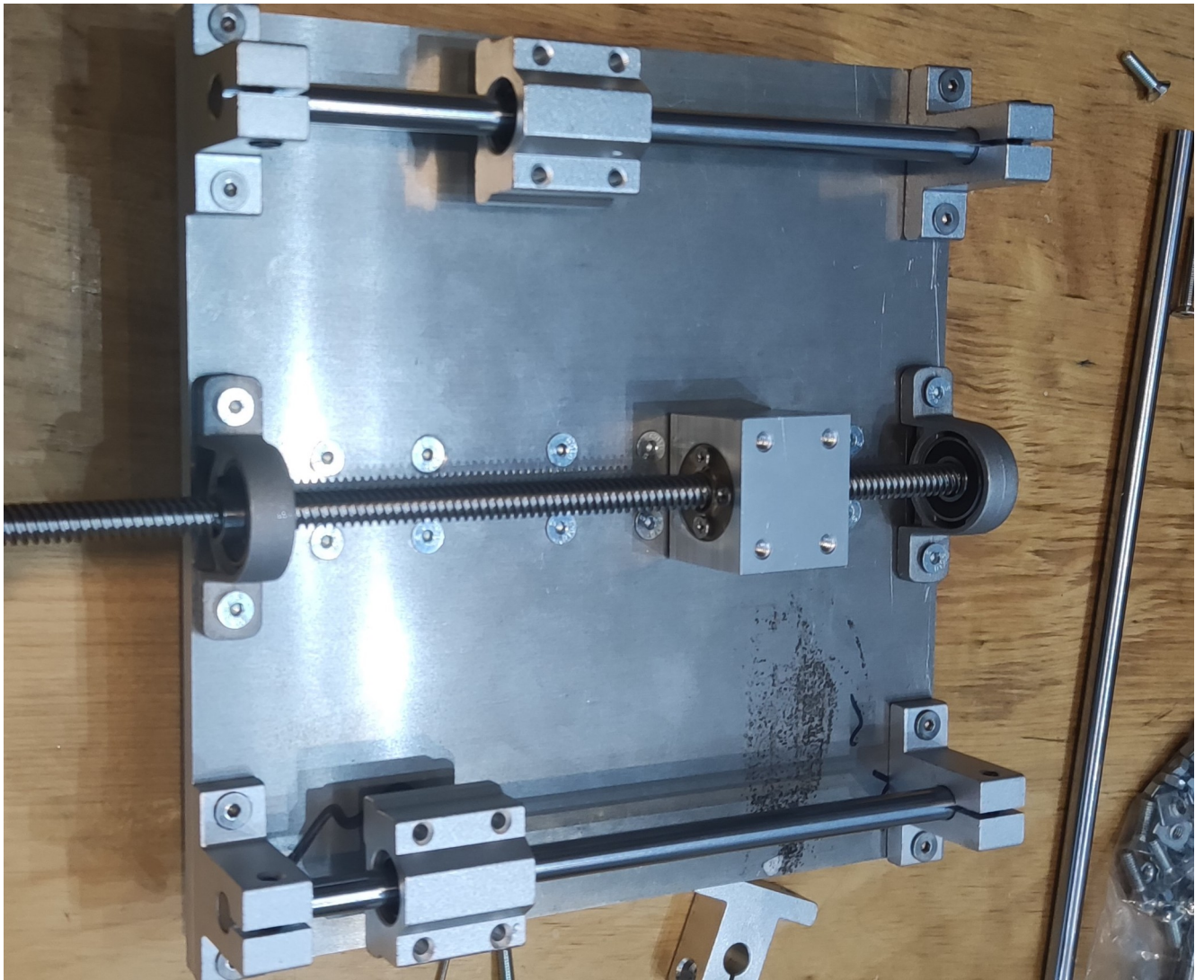


Εικόνα 29^η: Προετοιμασία ειδικού τεμαχίου σύνδεσης με T-NUT



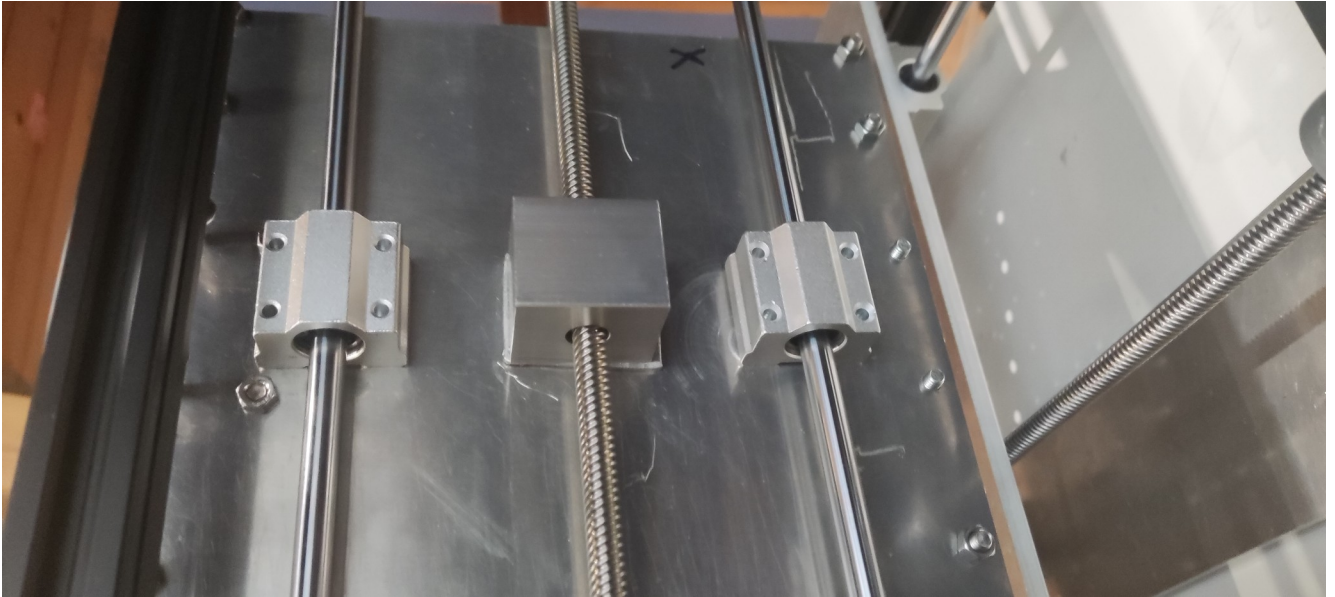
Εικόνα 30^η : Σύνδεση V-slot

Στη συνέχεια ξεκίνησε η προετοιμασία της τοποθέτησης όλων των φορέων και των στοιχείων τους.

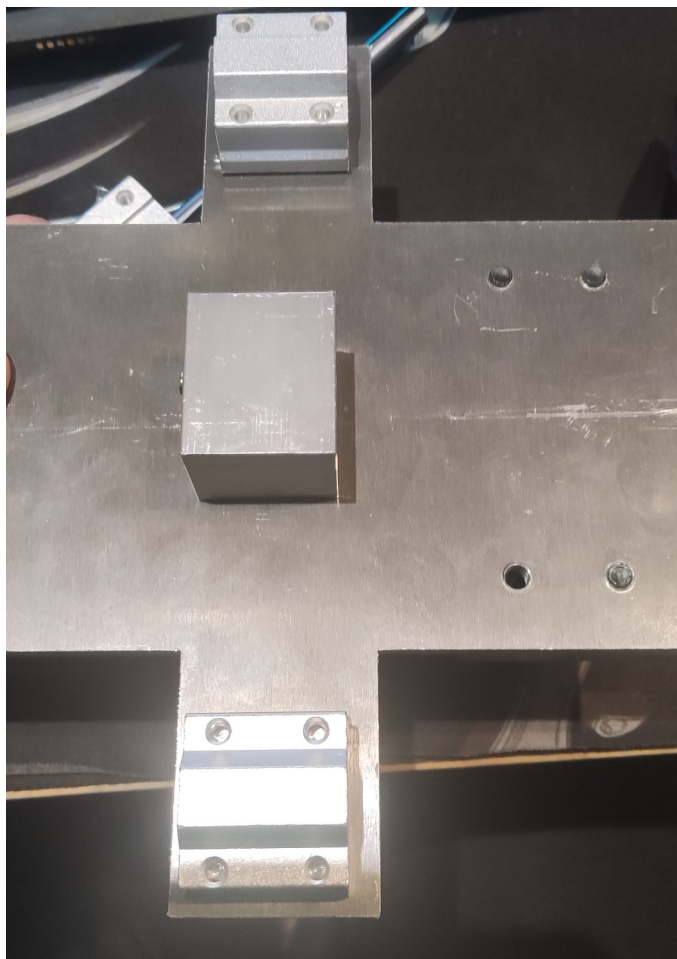


Εικόνα 31^η: Προετοιμασία φορείου χ άξονα για τοποθέτηση

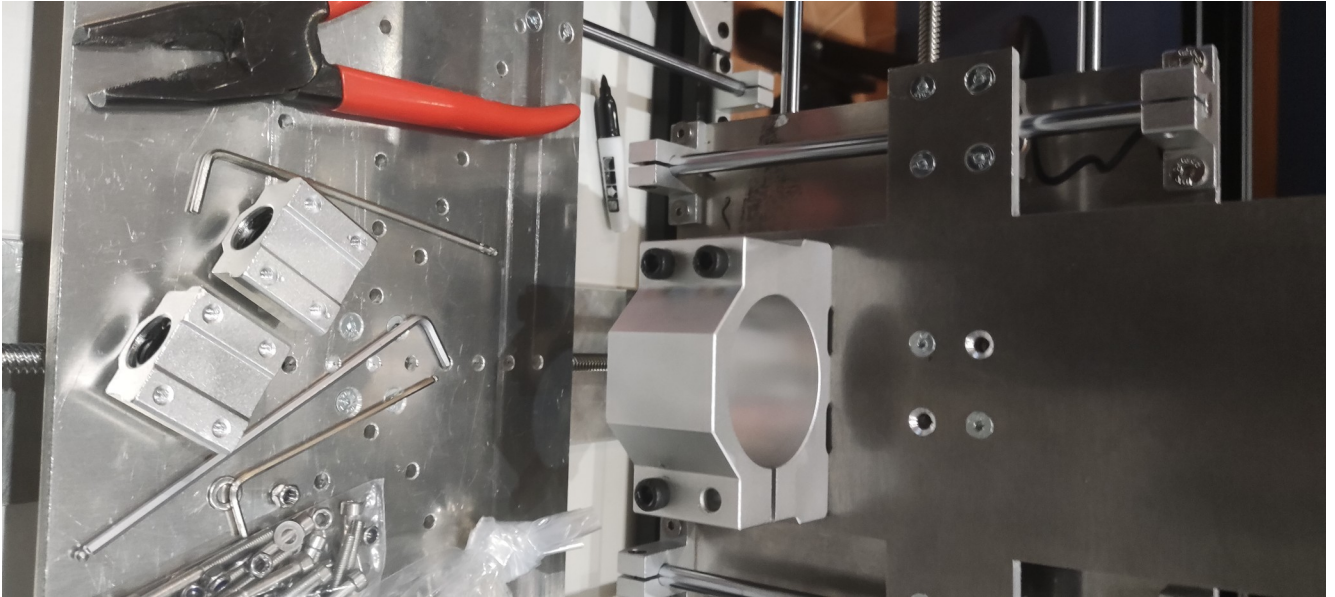
Για την προετοιμασία του φορείου του Χ άξονα συνδέθηκαν τα Linear rail shaft guide και τα pillow block bearing με το φορείο του Χ άξονα και περάστηκαν τα γραμμικά ρουλεμάν στις γλίστρες (Precision shaft), και το nut housing μαζί με τον κοχλία του στον άξονα. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η προετοιμασία και η τοποθέτηση και το φορείο του Υ άξονα.



Εικόνα 32^η: Φορείο X άξονα τοποθετημένο στην μηχανή

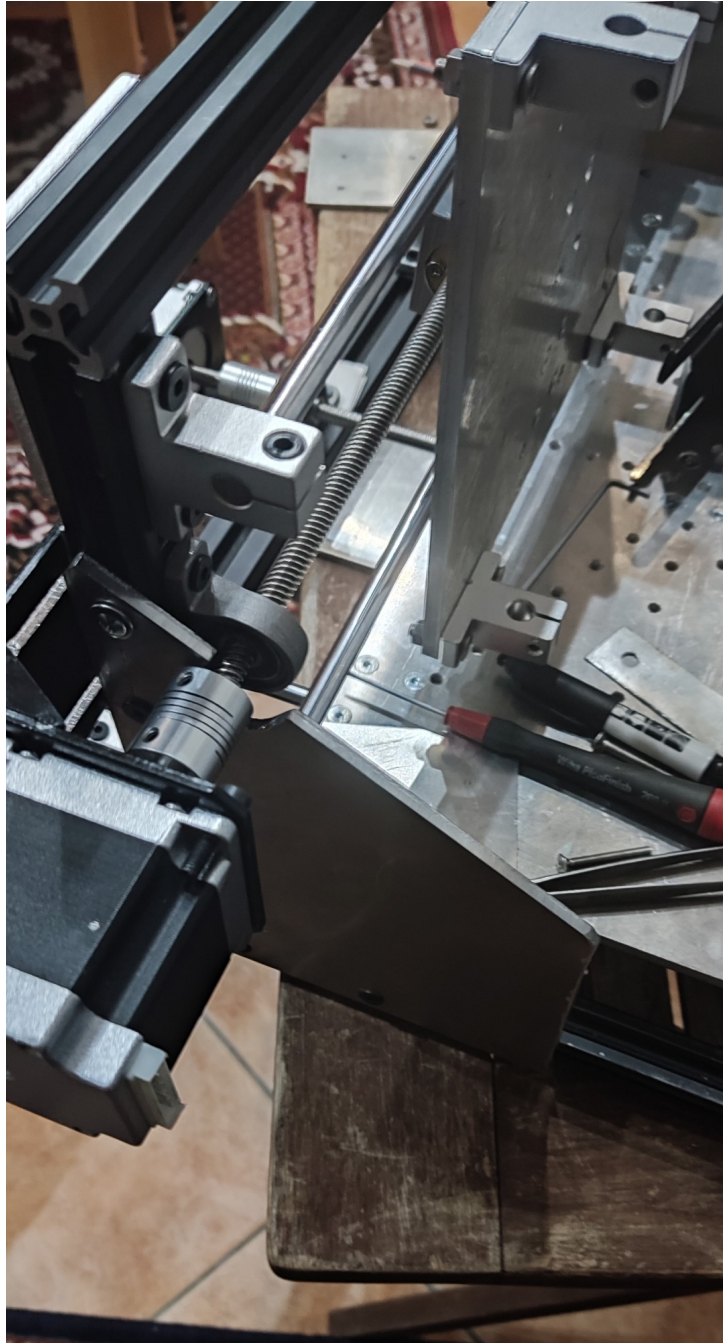


Εικόνα 33^η : Προετοιμασία φορείου Z άξονα



Εικόνα 34^η : Τοποθέτηση φορείου Z άξονα

Τέλος συνδέθηκαν οι βηματικοί κινητήρες στον σκελετό της μηχανής χρησιμοποιώντας της κατάλληλες βάσεις , και συναρμολογήθηκαν τα shaft των κινητήρα με τα Coupling και τον αντίστοιχο άξονα.



Εικόνα 35^η : Εφαρμογή βηματικού κινητήρα με Coupler.

Αφού ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση της μηχανής πραγματοποιήθηκε έλεγχος ότι όλοι οι κοχλίες κίνησης περιστρέφονται και μετακινούν τα φορεία χωρίς την ύπαρξη αντίστασης.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε γρασάρισμα όλων των κοχλιών κίνησης και του άξονα ολίσθησης. Είναι άξιο να σημειωθεί η σημαντικότητα της λίπανσης όλων των στοιχείων της κίνησης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η λιγότερη δυνατή τριβή μεταξύ κινητών στοιχείων.

Τέλος, επιτατικός κρίνεται ο συχνός έλεγχος των κινητών μερών της μηχανής για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει αρκετή λιπαντική ουσία έτσι ώστε όταν κρίνεται αναγκαίο να προσθέτετε , καθώς και η διατήρηση αυτής καθαρή.

8.3 Ηλεκτρονικό κομμάτι της εργαλειομηχανής

Μετά την περάτωση της κατασκευής της εργαλειομηχανής σε επόμενο στάδιο έχει το ηλεκτρονικό κομμάτι .Για την συναρμολόγηση των επιμέρους στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω.

1. Μετρητικά όργανα

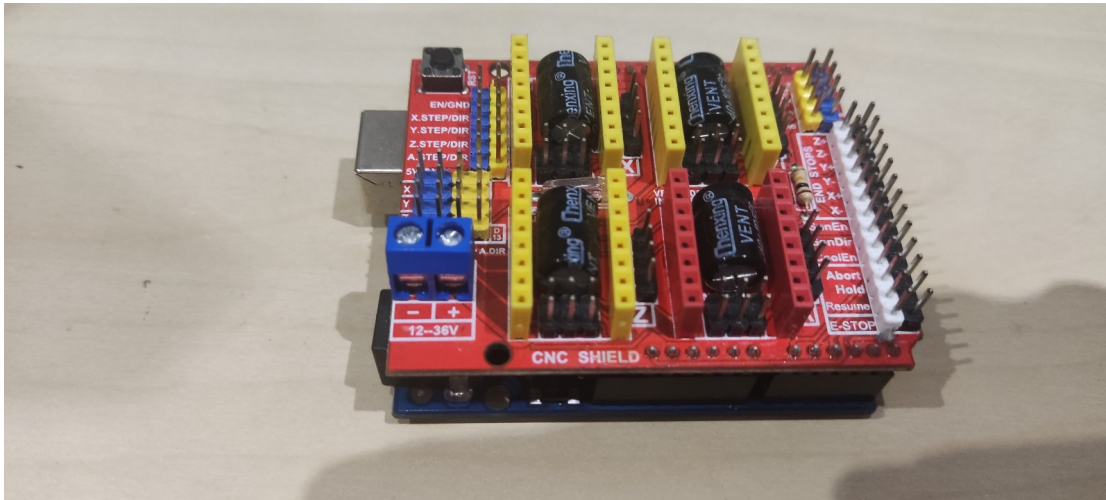
- Πολύμετρο

2. Εργαλεία

- Κοφτάκι
- Κατσαβίδι
- Μονωτική ταινία

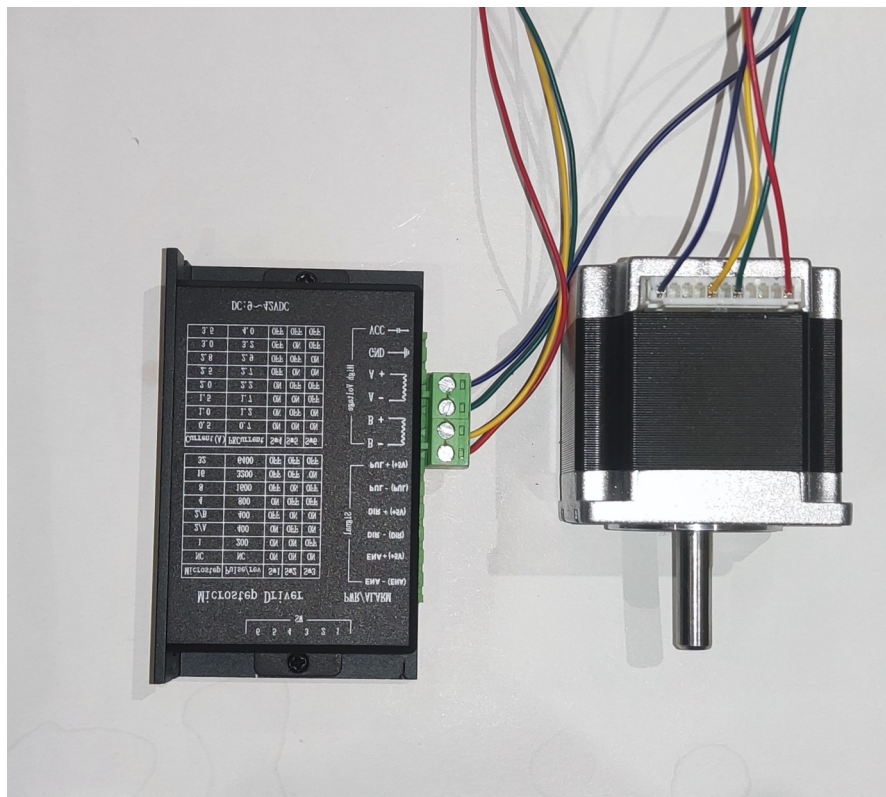
3. Υλικά

- Jumper wires
- τερματικοί διακόπτες
- Μονωτική ταινία
- Θερμοστελόμενο



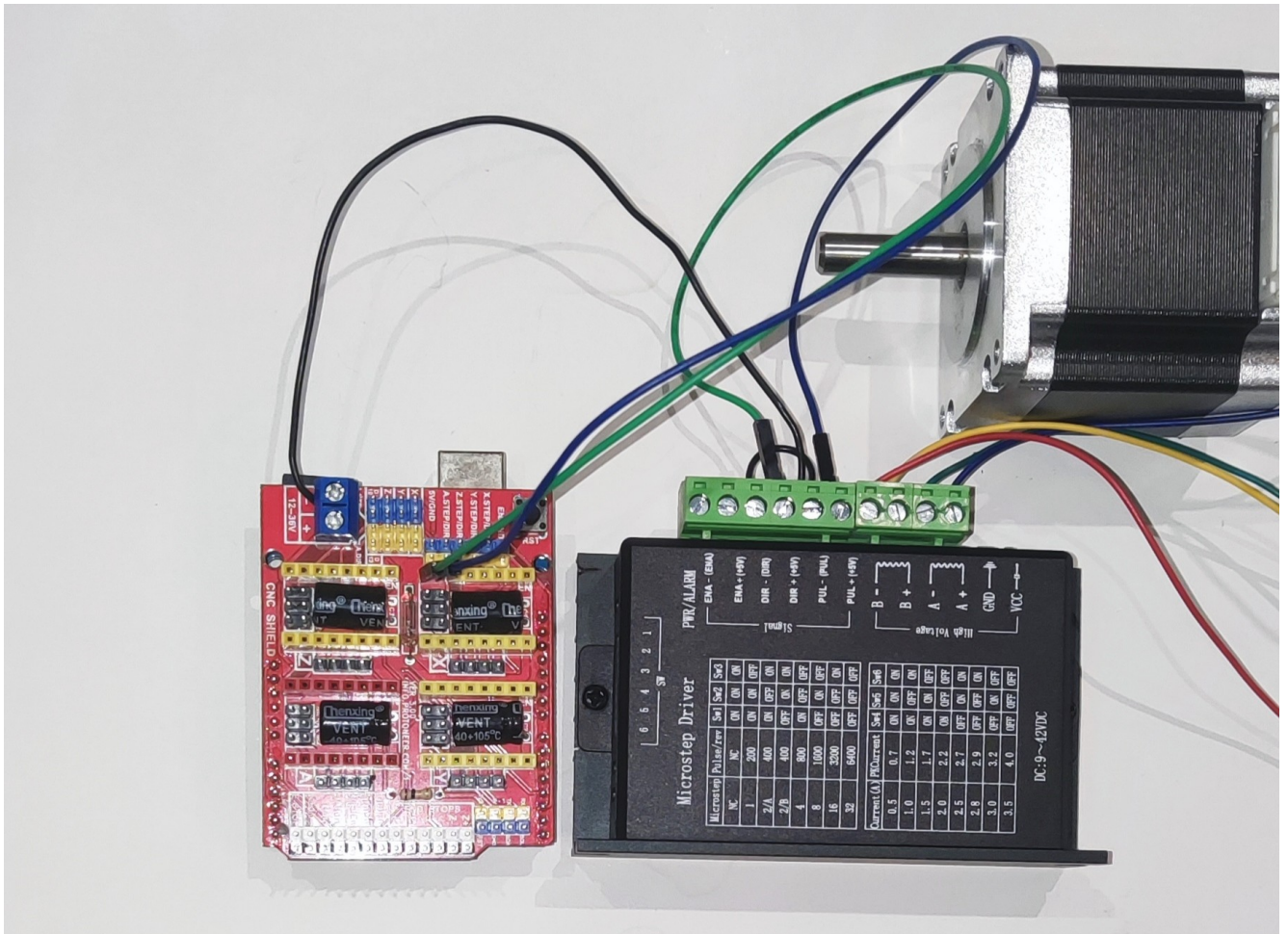
Εικόνα 36^η : Σύνδεση Arduino & CNC shield

Για την σύνδεση του arduino-uno-rev3 με το CNC shield V3 πρέπει να τοποθετηθεί η μια κάρτα πάνω στην άλλη και να ασκηθεί λίγη πίεση ώστε οι «ακίδες» να θηλυκώσουν στο arduino-uno.



Εικόνα 37^η: Σύνδεση TB6600 με βηματικό κινητήρα

Στην συνέχεια συνδέεται ο βηματικός κινητήρα με το driver TB6600. Για να το πραγματοποιηθεί αυτό είναι αναγκαία η χρήση του πολυμέτρου έτσι ώστε να γίνει η σωστή σύνδεση των ζευγαριών καλωδίων. Στην προκειμένη περίπτωση συνδέεται το κίτρινο με το κόκκινο και το πράσινο με το μπλε. Έπειτα συνδέεται το ένα ζεύγος με το A- και A+ και το άλλο με το B- και B+ όπως διαγαίνεται στη εικόνα 38^η.

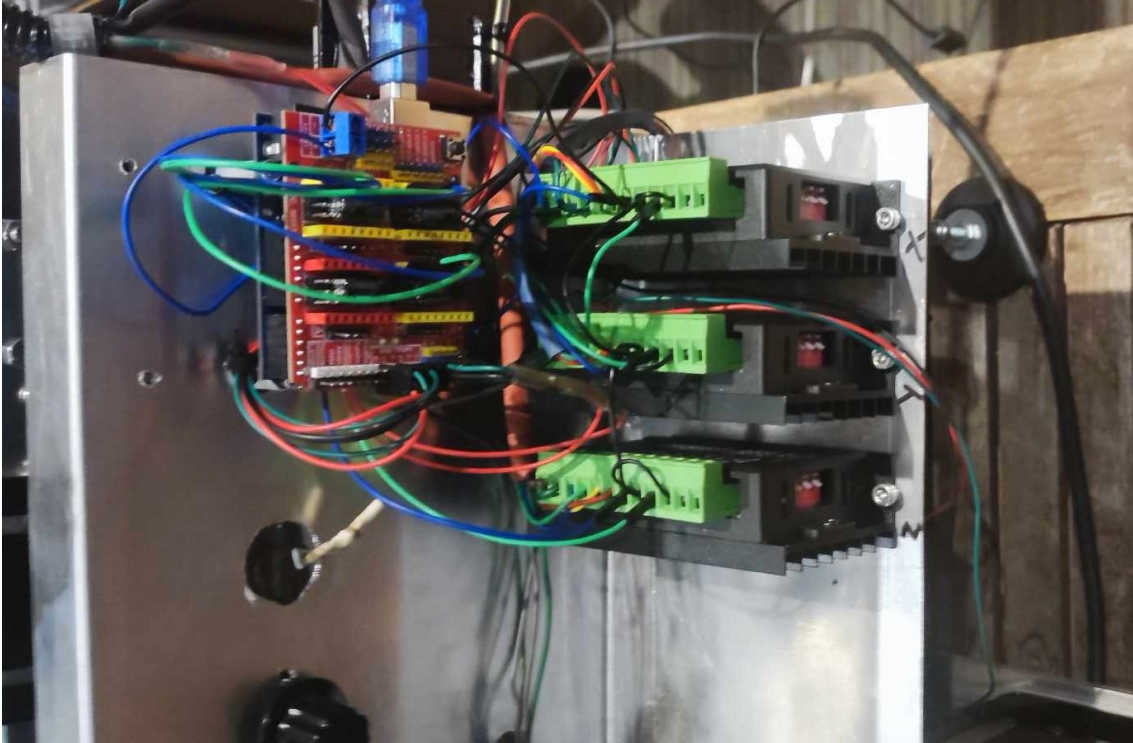


Εικόνα 38^η : Σύνδεση TB6600 με cnc shield

Χρησιμοποιώντας jumper wires γίνεται η σύνδεση του PUL+(+5V) & DIR +(+5V) με το pin της εικόνας. Ύστερα γεφυρώνονται το PUL-(PUL) με το DIR-(DIR) και συνδέεται το - της πλακέτα cnc shield με το PUL-(PUL). Μετά γίνεται η τροφοδοσία με ρεύμα στον οδηγό συνδέοντας το VCC με την αρνητική πλευρά της τροφοδοσίας και το GND με την θετική πλευρά.

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται και για τα υπόλοιπα στοιχεία.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή μιας βάσης έτσι ώστε να τοποθετηθούν όλα τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά στοιχεία της μηχανής. Έπειτα, η βάση αυτή τοποθετήθηκε πάνω στην μηχανή.

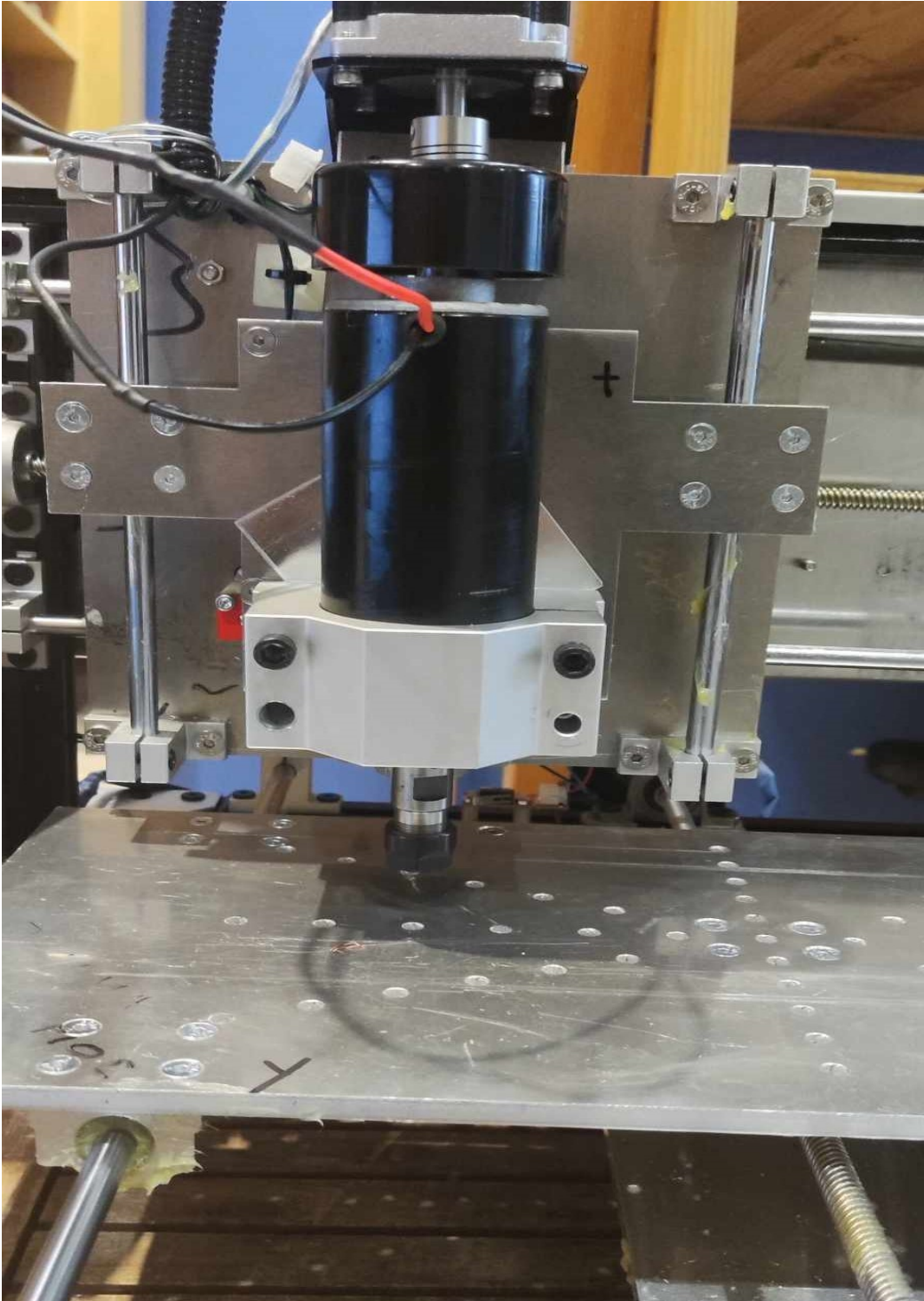


Εικόνα 39^η : Τελικό αποτέλεσμα ηλεκτρονικού μέρους



Εικόνα 40^η : Τελικό αποτέλεσμα ηλεκτρονικού μέρους

Τέλος, συνδέθηκε και το Spindle με το τροφοδοτικό του. Για την σύνδεση είναι αρκετά σημαντικό το spindle να περιστρέφεται με δεξιά φορά. Στην περίπτωση της αριστερής περιστροφής πρέπει να αλλαχθεί η σύνδεση των καλωδίων.



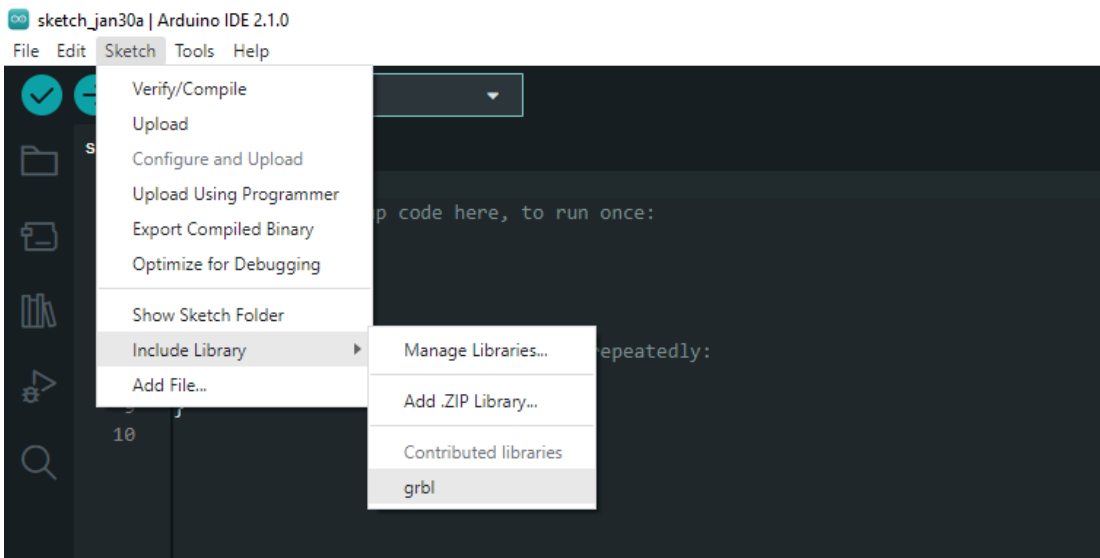
Εικόνα 41^ο : Σύνδεση spindle στην μηχανή

8.4 Παραμετροποίηση της εργαλειομηχανής

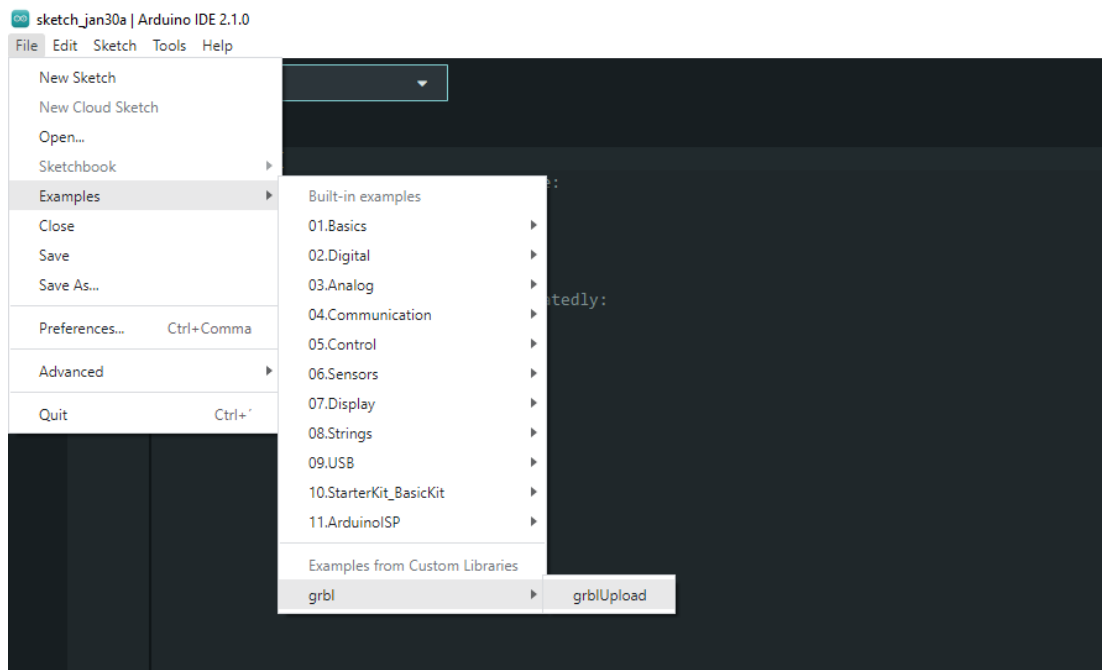
Η εργαλειομηχανή χρειάζεται ένα πρόγραμμα CAM για την δημιουργία του G- κώδικα καθώς και ένα λογισμικό που θα ελέγχει την κίνηση των βηματικών κινητήρων και θα εκτελεί τον G-κώδικα. Το GRBL είναι ένα από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό.

Για την εγκατάσταση του λογισμικού πρέπει πρώτα να γίνει η εγκατάσταση του Arduino IDE στον υπολογιστή. Μέσω αυτού του λογισμικού δύναται δυνατός ο προγραμματισμός του Arduino.

Έτσι αφού εγκαταστήσουμε το GRBL μπορεί να το γίνει το upload στο arduino .



Εικόνα 42^η : Εισαγωγή GRBL στο Arduino IDE

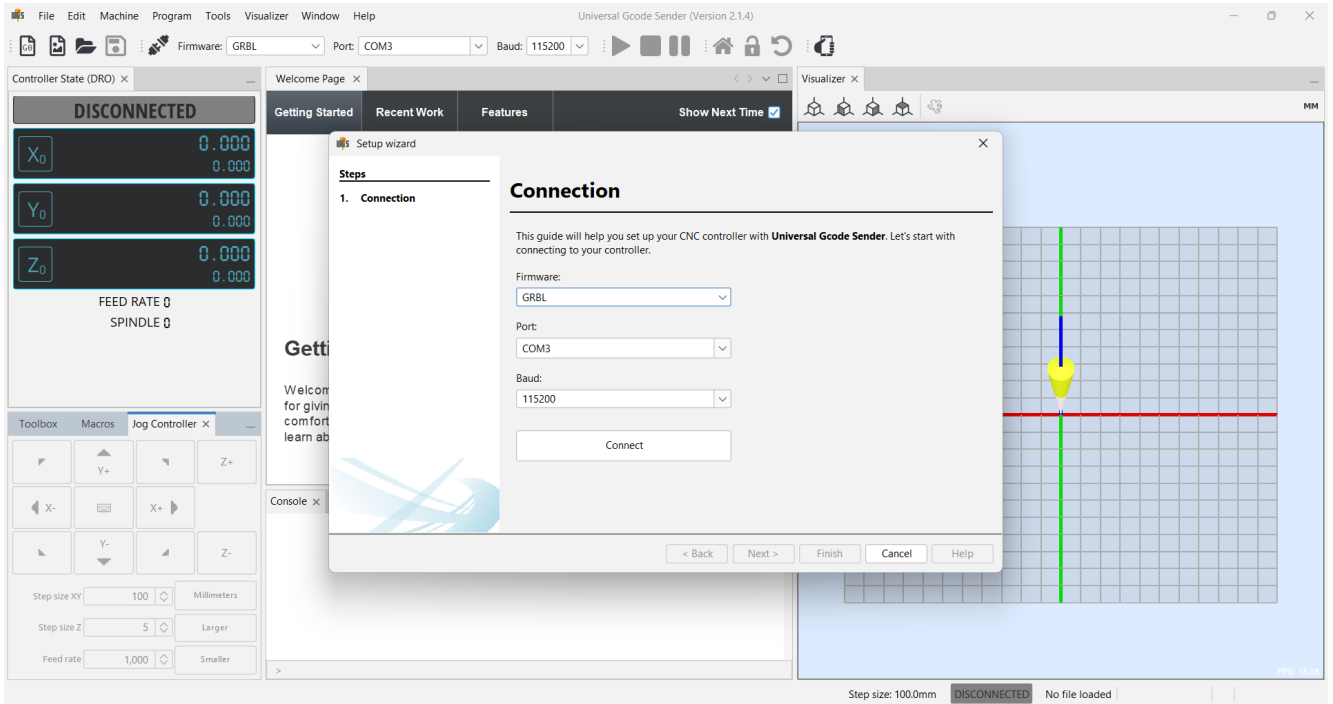


Εικόνα 43^η : Εισαγωγή του GRBL στο Arduino μας

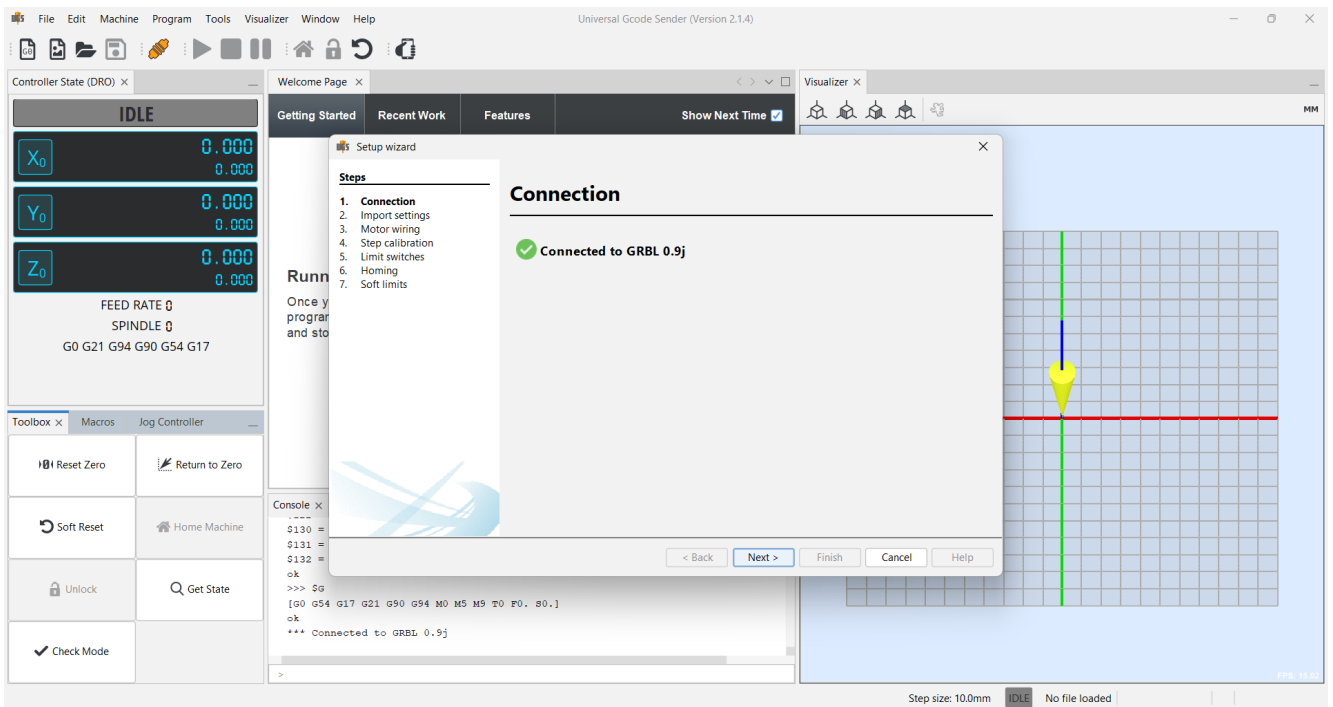
8.5 Ρύθμιση εργαλειομηχανής μέσω Universal G- code Sender (UGS)

Σε επόμενο στάδιο γίνεται η σύνδεση της εργαλειομηχανής με τον υπολογιστή και αρχίζει η διαδικασία της παραμετροποίησης. Για την παραμετροποίηση της μηχανής χρησιμοποιείται το Universal G-code sender (UGS), το οποίο είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο CNC εργαλειομηχανών.

Έπειτα συνδέεται η μηχανή με τον υπολογιστή και αρχίζει το setup wizzard από το UGS. Το setup wizzard είναι ένα εργαλείο που μας βοηθά να ρυθμίσουμε τις βασικές παραμέτρους της CNC μηχανής. Για την σύνδεση της μηχανής επιλέγεται το σωστό Port που είναι συνδεδεμένο το arduino , στη προκειμένη περίπτωση είναι το COM 3. Τέλος επιλέγεται το BAUD 115200 και πατείτε Connect.

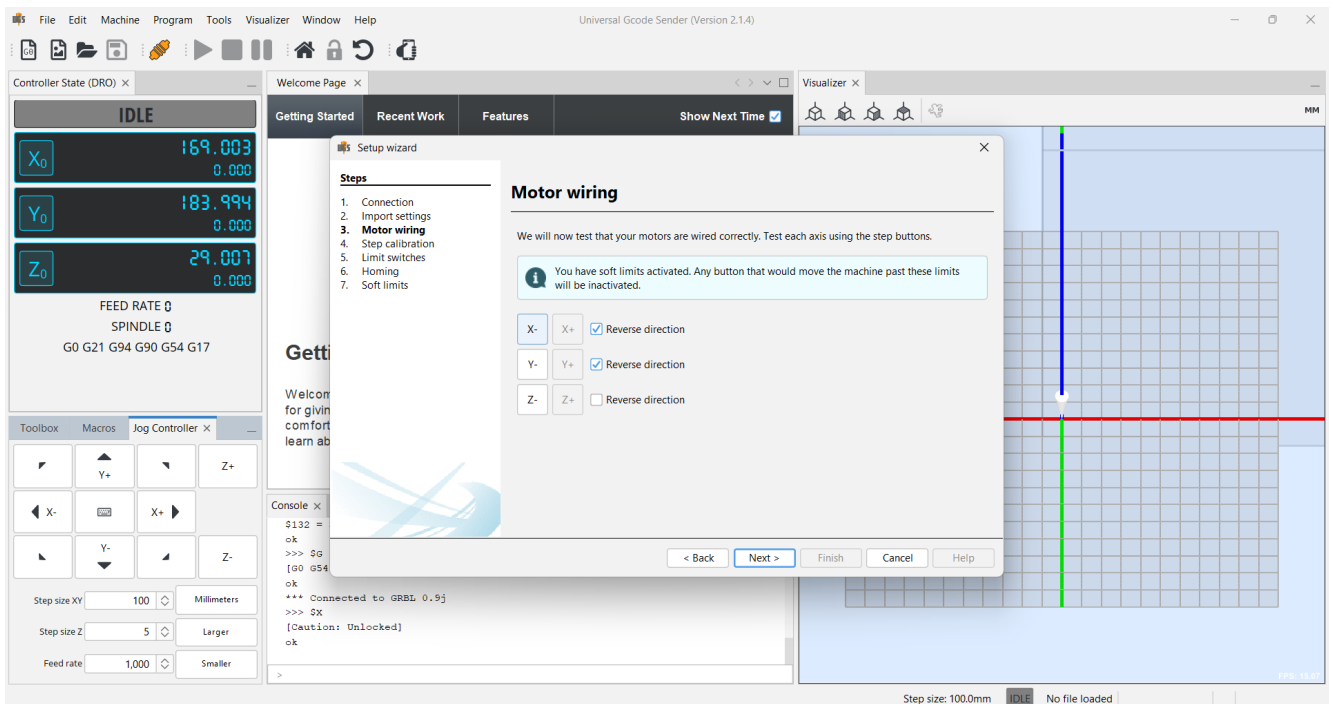


Εικόνα 44^η : Setup Wizzard UGS - Connection



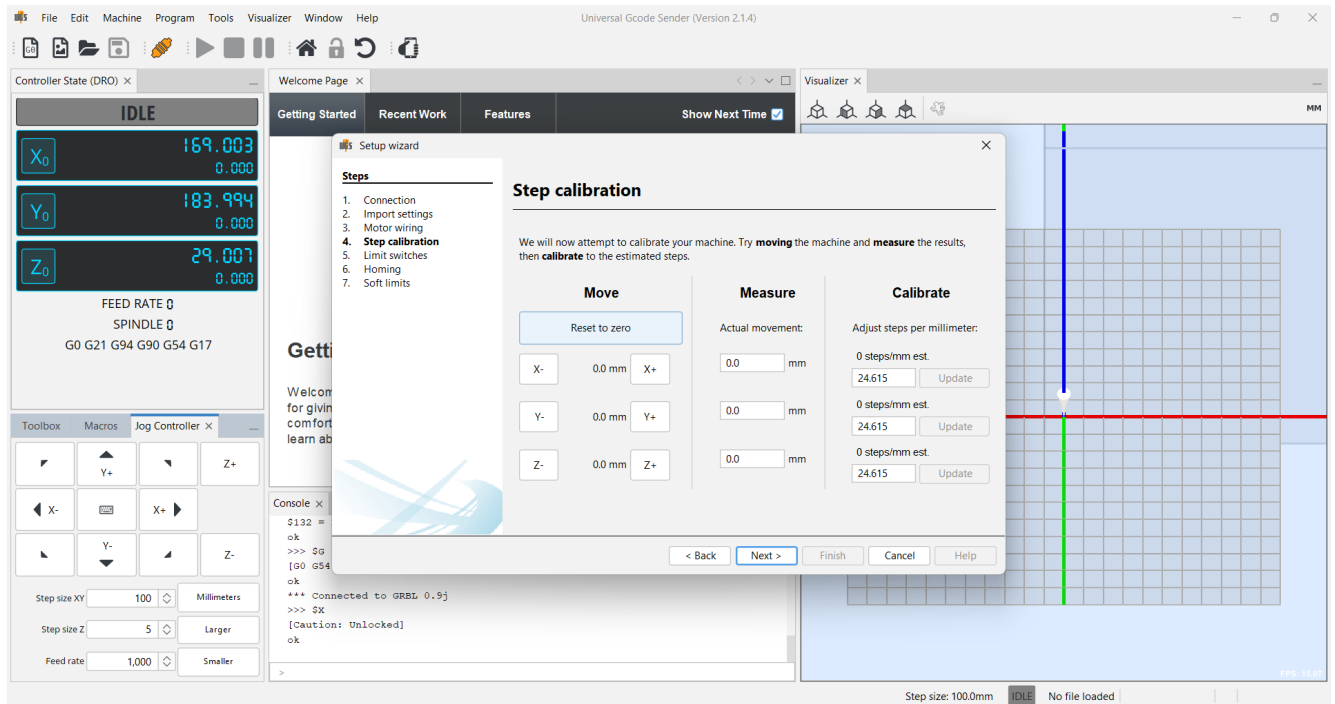
Εικόνα 45^η : Setup Wizzard UGS - Connection

Αφού πατηθεί Next το UGS έχει την επιλογή να χρησιμοποιήσει τις υπάρχουσες ρυθμίσεις. Στην προκειμένη περίπτωση δεν υπάρχουν και έτσι συνεχίζεται το επόμενο βήμα το οποίο είναι η φορά κίνησης των κινητήρων. Πατώντας το X+ παρατηρείται σε ποια κατεύθυνση μετακινείται το φορείο. Στη περίπτωση που επιθυμούμε την μετακίνηση με αντίθετη φορά επιλέγεται το Reverse direction.



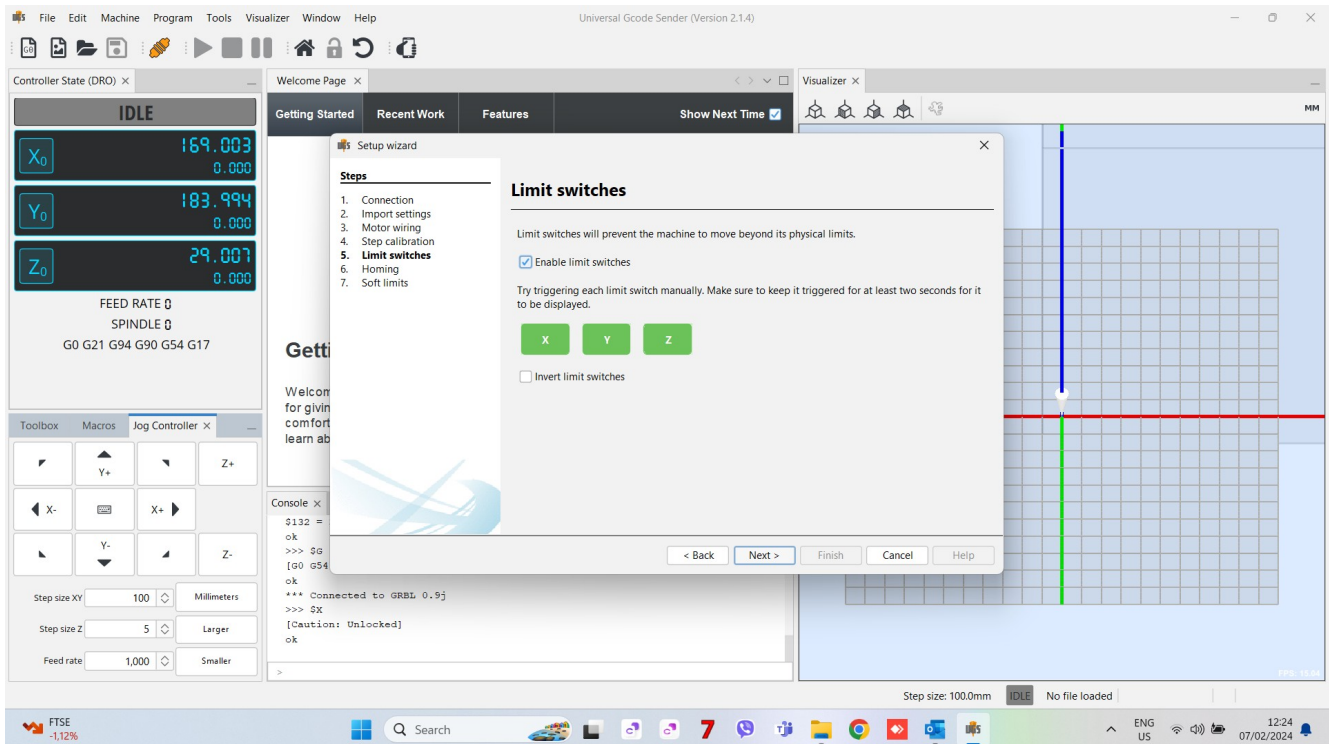
Εικόνα 46^η : Setup Wizzard UGS -Motor Wiring

Σε επόμενο στάδιο θα πραγματοποιηθεί η ρύθμιση των βηματικών κινητήρων για τους οποίους πρέπει να μετρηθούν οι αποστάσεις του κάθε άξονα από ένα σταθερό σημείο και να μετακινηθούν πατώντας τα X Y & Z (+.-). Έπειτα, θα μετρηθεί η μετατόπιση κάθε άξονα από το σταθερό σημείο τους και θα συμπληρωθεί η πραγματική μετακίνηση των αξόνων. Το πρόγραμμα παρουσιάζει τα steps/mm, και πατείτε update. Πλέον οι βηματικοί κινητήρες γνωρίζουν πόσα βήματα χρειάζεται να κάνουν για να μετακινήσουν τα φορεία 1 mm.



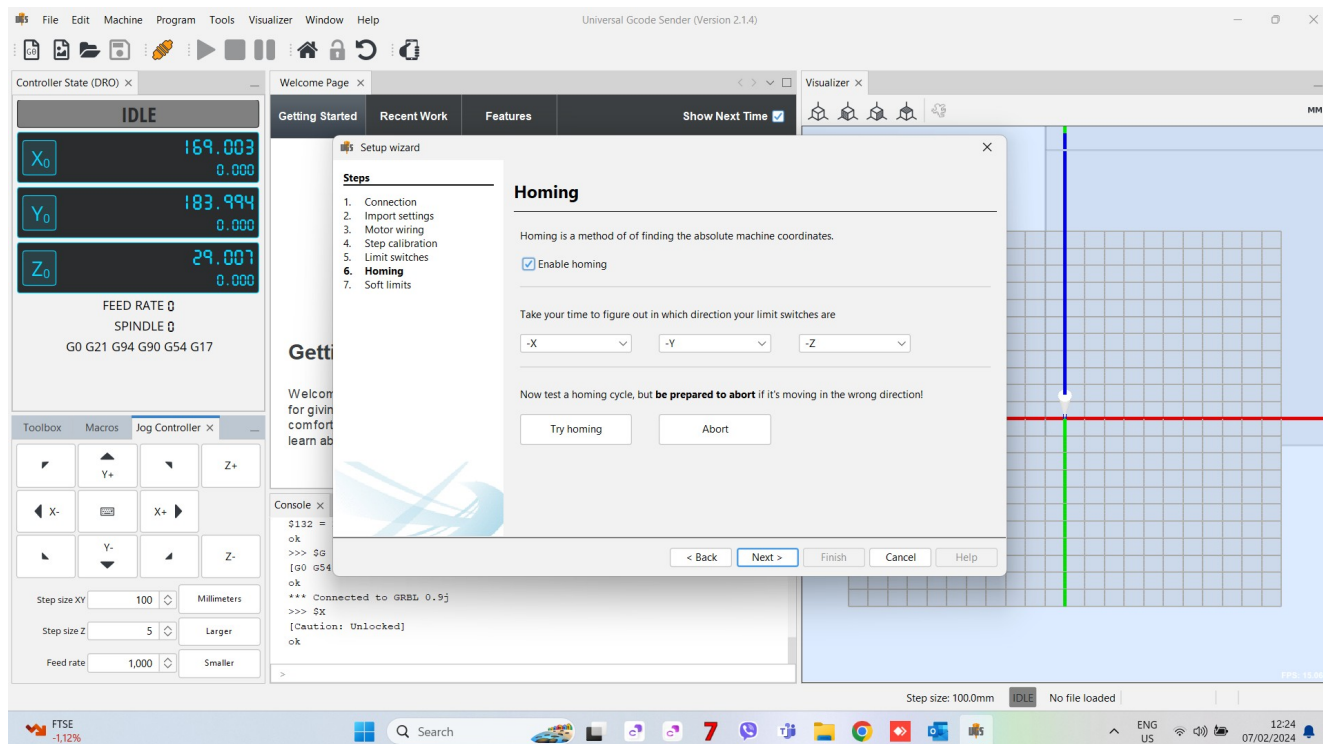
Εικόνα 25: Setup Wizzard UGS - Step calibration

Στη συνέχεια γίνεται η ενεργοποίηση των τερματικών διακοπών καθώς επιλέγεται το Enable limit switches και πατιούνται χειροκίνητα .



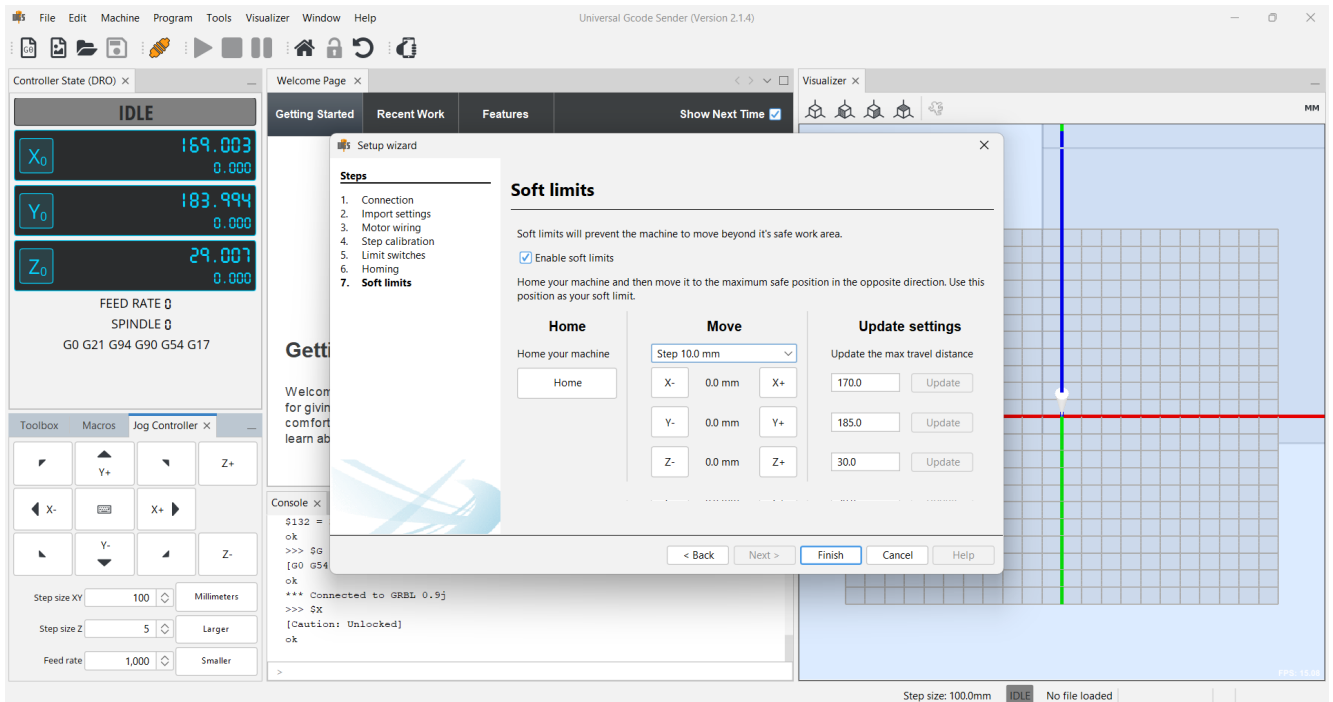
Εικόνα 48^η : Setup Wizzard UGS - Limit switches

Αφού έχουν ενεργοποιηθεί οι τερματικοί διακόπτες της μηχανής υπάρχει πλέον η δυνατότητα να παρθεί σημείο αναφοράς-Homing της μηχανής. Αρχικά ορίζεται σε ποια κατεύθυνση είναι τοποθετημένος ο κάθε τερματικός διακόπτης. Όταν επιλεγεί αυτή την λειτουργία, η μηχανή θα ξεκινήσει να μετακινεί πρώτα τον Z άξονα μέχρι να χτυπήσει τον τερματικό του διακόπτη, έπειτα θα μετακινήσει ταυτόχρονα τους X&Y άξονες μέχρι να κάνουν το ίδιο. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία Homing η μηχανή πλέον γνωρίζει το σημείο μηδέν της .



Εικόνα 49^η : Setup Wizzard UGS - Homing

Το τελικό στάδιο παραμετροποίησης της μηχανής είναι τα *soft limits* . Επειδή δεν έχουν τοποθετηθεί τερματικοί διακόπτες σε όλες τις κατευθύνσεις της κίνησης, η μηχανή δεν μπορεί να γνωρίζει ποια είναι τα όρια . Για αυτό τον λόγο κρίνεται αναγκαίος ο ορισμός κάποιων *soft limits*. Για να το πραγματοποιηθεί αυτό πατιέται το κουμπί *Home machine* , και μετά ορίζονται το βήμα κίνησης που επιθυμούμε πλησιάζεται ο κάθε άξονας στο όριο της μηχανής. Τοποθετώντας αυτά τα στοιχεία και πατώντας *update* η μηχανή θα μπορεί πλέον να γνωρίζει τα μέγιστα όρια της καθώς και δεν θα μπορεί να τα ξεπεράσει.



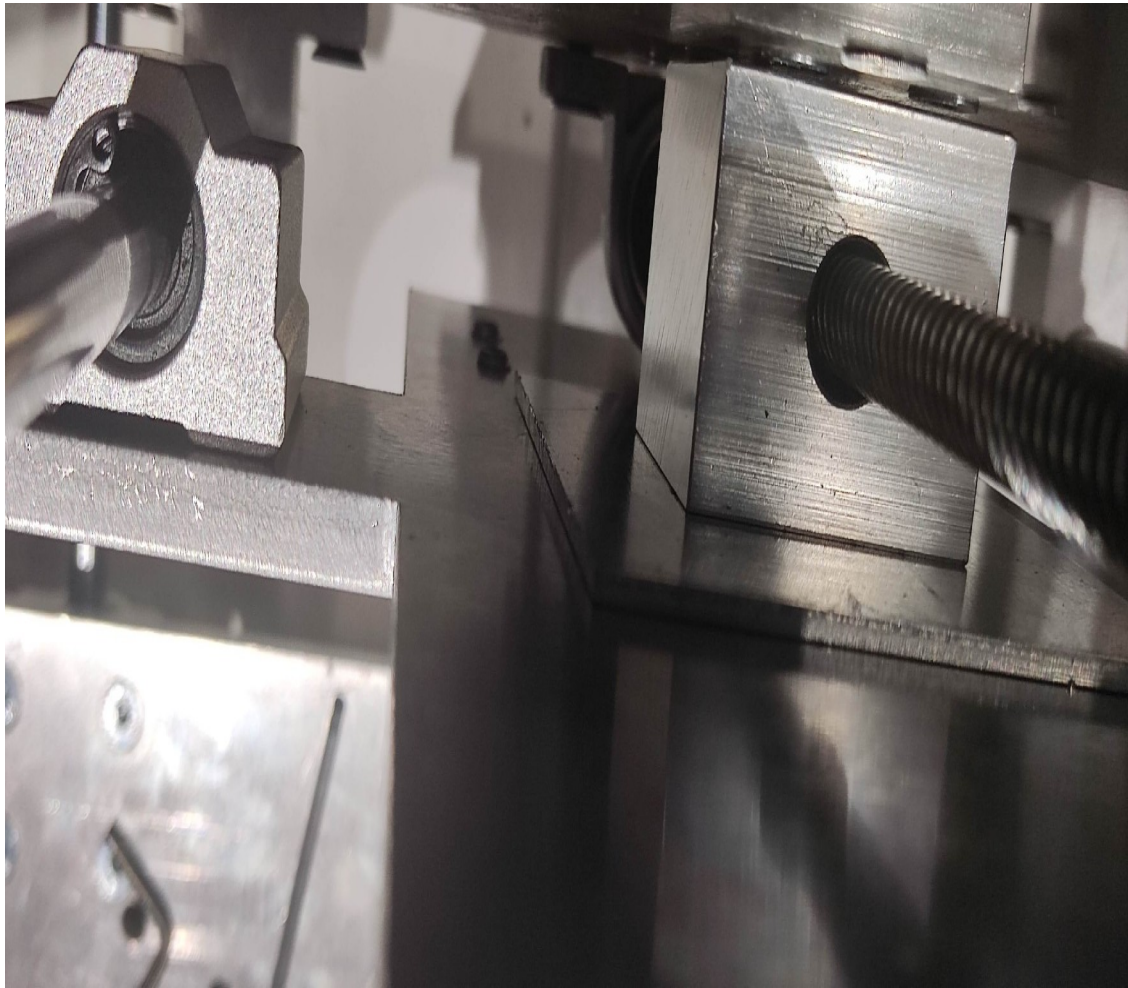
Εικόνα 50^η : Setup Wizzard UGS - Soft limits

Τελικά, η μηχανή μας είναι ολοκληρωμένη και έτοιμη για χρήση.

8.6 Δυσκολίες κατά την κατασκευή της εργαλειομηχανής

Κατά την συναρμολόγηση της εργαλειομηχανής παρατηρήθηκαν τα παρακάτω προβλήματα:

1. Αρχικά, όταν συνδέθηκαν τα φορεία πάνω στους άξονες με τα ειδικά τεμάχια παρατηρήθηκε ότι υπήρχε ένα κενό περίπου 2mm ανάμεσα στο Nut housing και στο φορείο του άξονα με αποτέλεσμα να μην περιστρέφεται σωστά ο άξονας. Ο λόγος της ύπαρξης αυτής της αστοχίας είναι ότι τα κέντρα των οπών του Linear rail shaft guide support και του Pillow Block Ball Bearing 8mm έχουν διαφορά περίπου 2mm. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος κατασκευάστηκαν αλουμινένιες προσθήκες 2mm και προσαρμόστηκαν στο Nut housing.



Εικόνα 51^η : Nut housing & προσθήκη

2. Αφού συνδέθηκε ο σκελετός χρησιμοποιώντας τα ειδικά τεμάχια σύνδεσης παρατηρήθηκε ότι η σύνδεση του σκελετού X & Y άξονα δεν ήταν στιβαρή. Επειδή αυτό το σημείο θα κρατάει Y & Z άξονα και θα δέχεται κραδασμούς λόγω του κοπτικού εργαλείου λήφθηκε η απόφαση της ενίσχυσης αυτού. Έτσι κατασκευάστηκαν 2 κομμάτια από αλουμίνιο πάχους 6mm έτσι ώστε να “δένει” τον σκελετό της μηχανής καλύτερα .



Εικόνα 52^η : Τεμάχιο σύνδεσης από αλουμίνιο

3. Όταν πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση των βηματικών κινητήρων στον σκελετό της μηχανής παρατηρήθηκε ότι, ο άξονας του κινητήρα δεν ήταν απόλυτα ευθυγραμμισμένος με τον κοχλία κίνησης. Έτσι για να αποφευχθεί το να γυρνάει στραβά το Coupler λήφθηκε η απόφαση της κατασκευής και τοποθέτησης απαραίτητων προσθηκών όπως φαίνεται στην 53^η εικόνα.



Εικόνα 53^η : Προσθήκη αλουμινίου 1mm

4. Έπειτα, υπήρξε πρόβλημα με την σύνδεση του arduino-uno-rev3 που είχα προμηθευτεί καθώς δεν το αναγνώριζε ο υπολογιστής. Έπειτα από διάφορες ενέργειες όπως η αλλαγή θύρας USB και εγκατάσταση drivers κατέληξα στο συμπέρασμα ότι το καλώδιο ήταν ελαττωματικό. Μετά την αλλαγή του καλώδιού το πρόβλημα λύθηκε.

5. Κατά την παραμετροποίηση της μηχανής με χρήση του UGS ο τερματικός διακόπτης του Z άξονα δεν δούλευε και δεν μπορούσα να κάνω homing της μηχανής γιατί το Homing cycle ξεκινά από τον Z. Αφού βεβαίωσα ότι ο διακόπτης δούλευε σωστά αλλάζοντας θέση στην πλακέτα στην θέση του διακόπτη για τον X άξονα, αποφάσισα να καταργήσω των τερματικό διακόπτη και να αλλάξω μέσα από το config file του grbl την διαδικασία homing ώστε να αγνοεί τον άξονα Z .

```
// will not be affected by pin sharing.  
// NOTE: Defaults are set for a traditional 3-axis CNC machine. Z-axis first to clear, followed by X & Y.  
#define HOMING_CYCLE_0 (1<<Z_AXIS) // REQUIRED: First move Z to clear workspace.  
#define HOMING_CYCLE_1 ((1<<X_AXIS)|(1<<Y_AXIS)) // OPTIONAL: Then move X,Y at the same time.  
// #define HOMING_CYCLE_2 // OPTIONAL: Uncomment and add axes mask to enable
```

Εικόνα 54^η : Αρχικός κώδικα grbl για homing

```
// NOTE: Defaults are set for a traditional 3-axis CNC machine. Z-axis first to clear, followed by X & Y.  
#define HOMING_CYCLE_0 (1<<X_AXIS) // REQUIRED: First move X to clear workspace.  
#define HOMING_CYCLE_1 (1<<Y_AXIS) // OPTIONAL: Then move Y  
// #define HOMING_CYCLE_2 // OPTIONAL: Uncomment and add axes mask to enable
```

Εικόνα 55^η : Αλλαγή κώδικα grbl

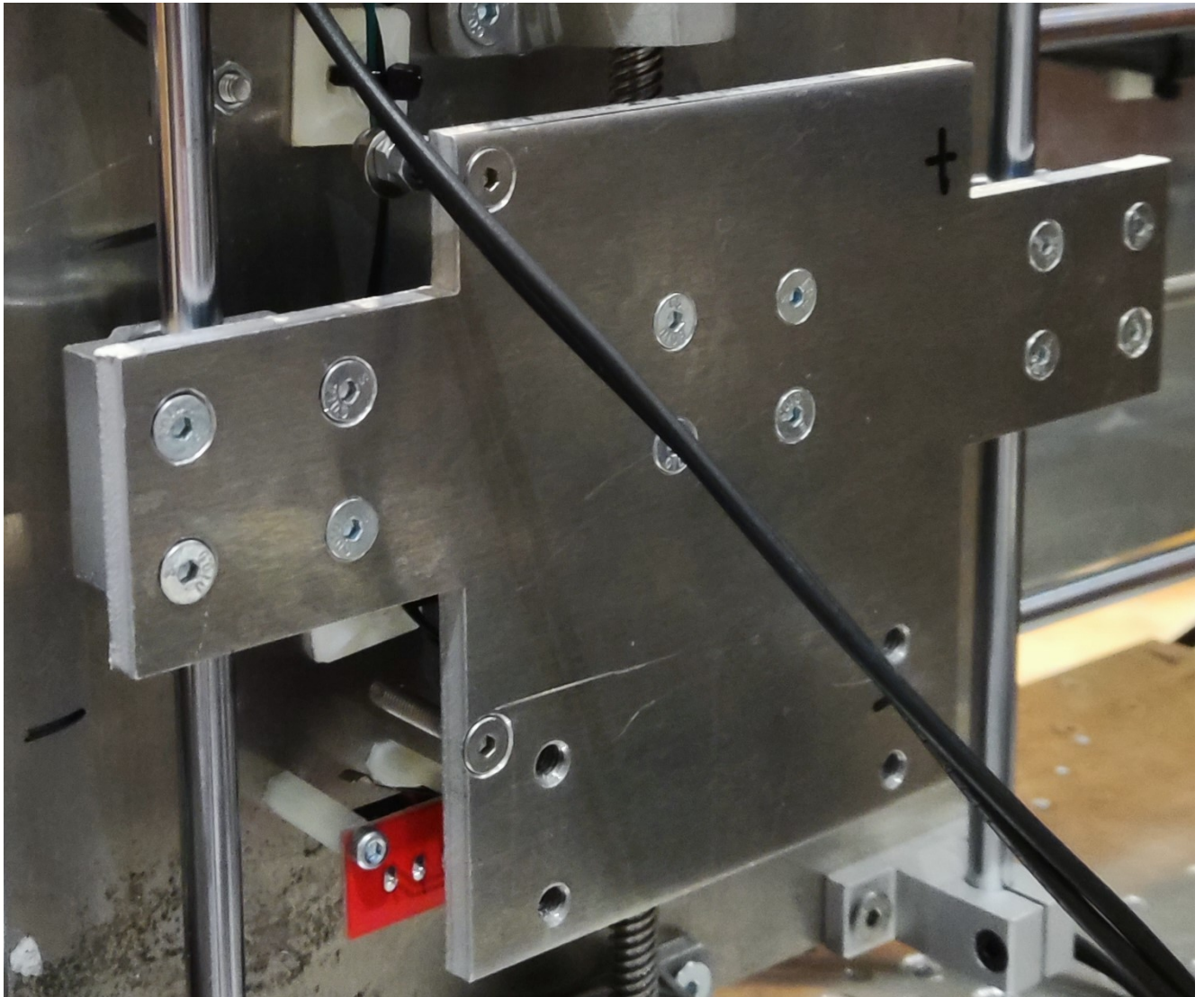
Ωστόσο με αυτό τον τρόπο λύθηκε το πρόβλημα επιφανειακά, έτσι λοιπόν συνέχισε η αναζήτηση του λόγου για τον οποίο δεν λειτουργούσε ο διακόπτης του άξονα Z. Λανθασμένα κατέληξα στο συμπέρασμα ότι το CNC shield δεν είναι συμβατό με την έκδοση 1.1 του grbl που χρησιμοποιώ. Ξαναδιαβάζοντας όμως των κώδικα του config file βρήκα ότι τα pins του cnc shield για τον άξονα Z χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση του spindle. Έλαβα την απόφαση να αλλάξω των κώδικα

κάνοντας disable αυτή την λειτουργία και να προσθέσω έναν εξωτερικό διακόπτη για την ενεργοποίηση του spindle .

```
// Enables variable spindle output voltage for different RPM values. On the Arduino Uno, the spindle  
// enable pin will output 5V for maximum RPM with 256 intermediate levels and 0V when disabled.  
// NOTE: IMPORTANT for Arduino Unos! When enabled, the Z-limit pin D11 and spindle enable pin D12 switch!  
// The hardware PWM output on pin D11 is required for variable spindle output voltages.  
#define VARIABLE_SPINDLE // Default enabled. Comment to disable.
```

Εικόνα 56^η : Αρχικός κώδικας grbl για z limit switch

Δοκιμάζοντας την μηχανή παρατηρήθηκε ότι ο αρχικός σχεδιασμός του Z άξονα ήταν ελαττωματικός καθώς όταν ανεβαίνει βρίσκει πάνω στην βάση του μοτέρ και μειώνει σημαντικά το μέγιστο όριο μετακίνησης του Z άξονα. Έτσι αποφασίστηκε να κοπεί το φορείο του Z άξονα.



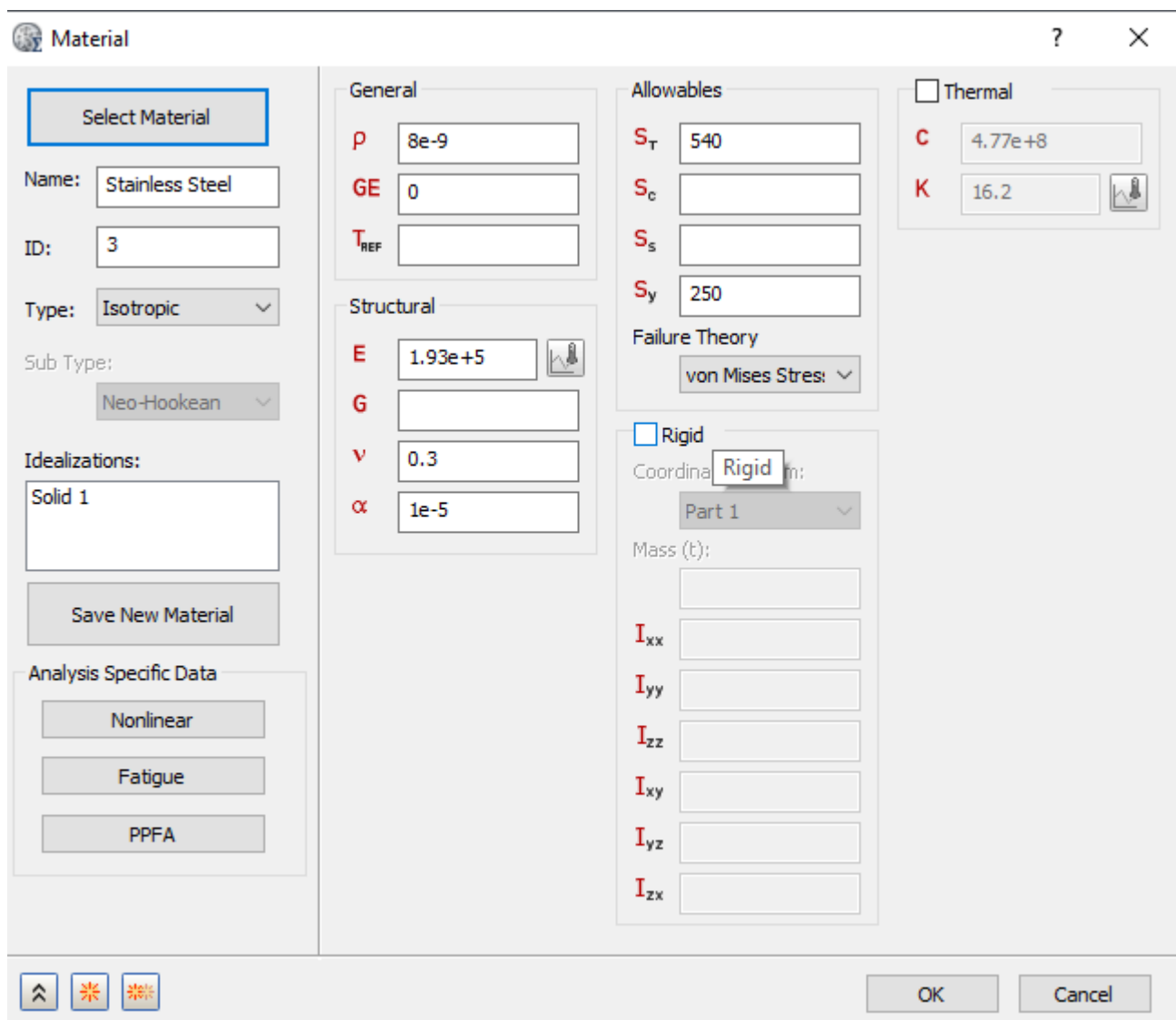
Εικόνα 57^η : Νέο φορείο Z άξονα

9 Μελέτη αξόνων με την χρήση του Inventor Nastran

9.1 Υπολογισμός μέγιστης μετατόπισης & safety factor του άξονα X με την χρήση του Nastran.

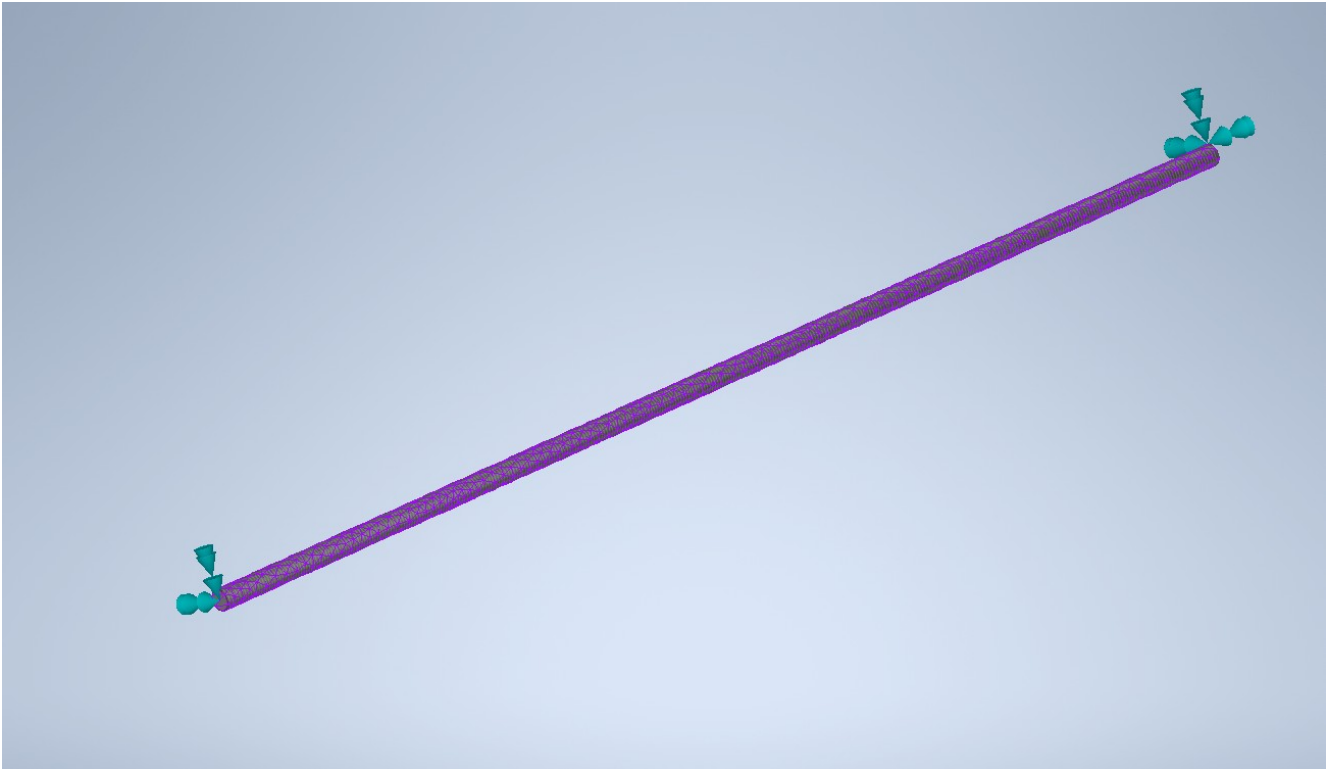
Για τον υπολογισμό της μέγιστης μετατόπισης του άξονα X πρέπει να υπολογίσουμε το συνολικό φορτίο . Έτσι υπολογίζεται το βάρος του άξονα $W=12\text{kg}$, επομένως η δύναμη που ασκείται είναι στον άξονα κίνησης του Y είναι $F=12\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 117.72 \text{ N}$.

Ο άξονας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, έτσι επιλέγουμε το κατάλληλο υλικό από την βιβλιοθήκη υλικών του Inventor.



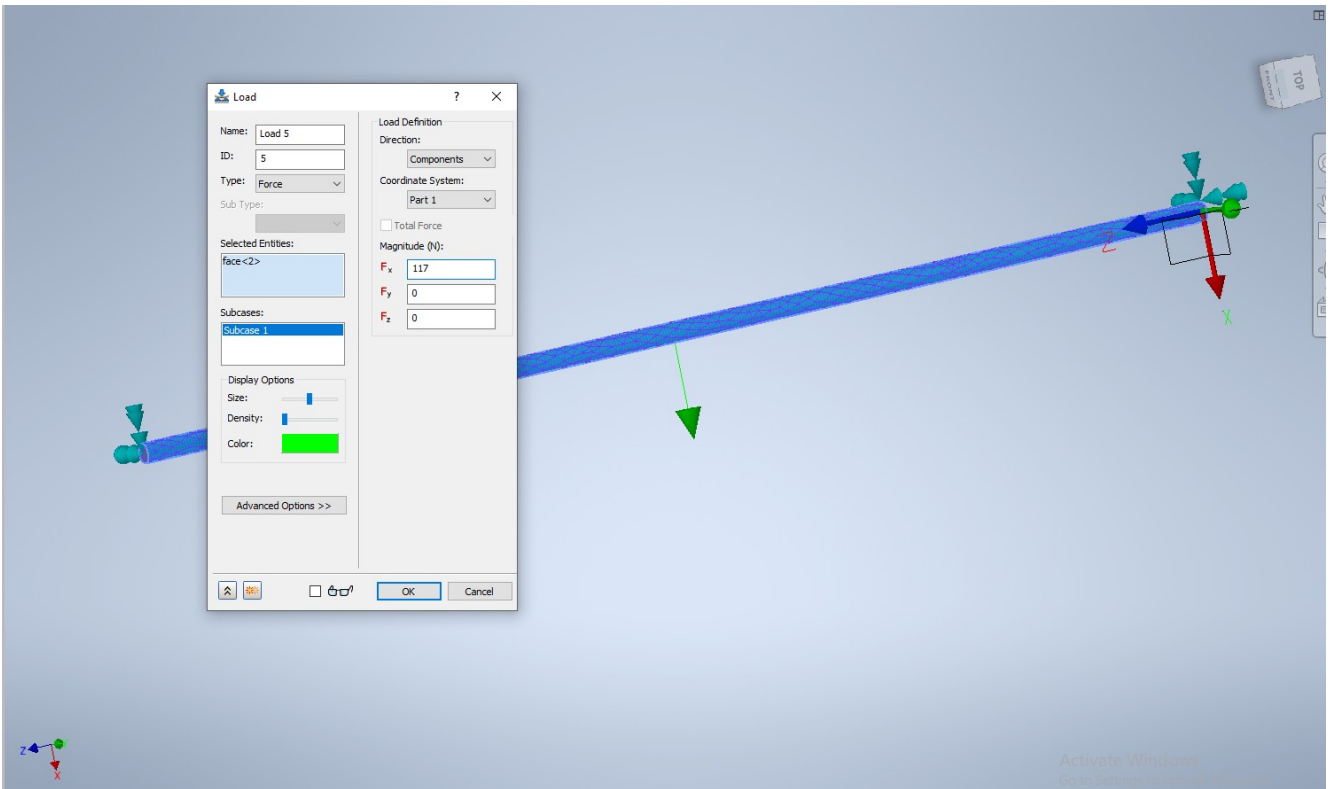
Εικόνα 26: Επιλογή υλικού X άξονα

Έπειτα επιλέγουμε τις επιφάνειες όπου είναι πακτωμένος ο άξονας .



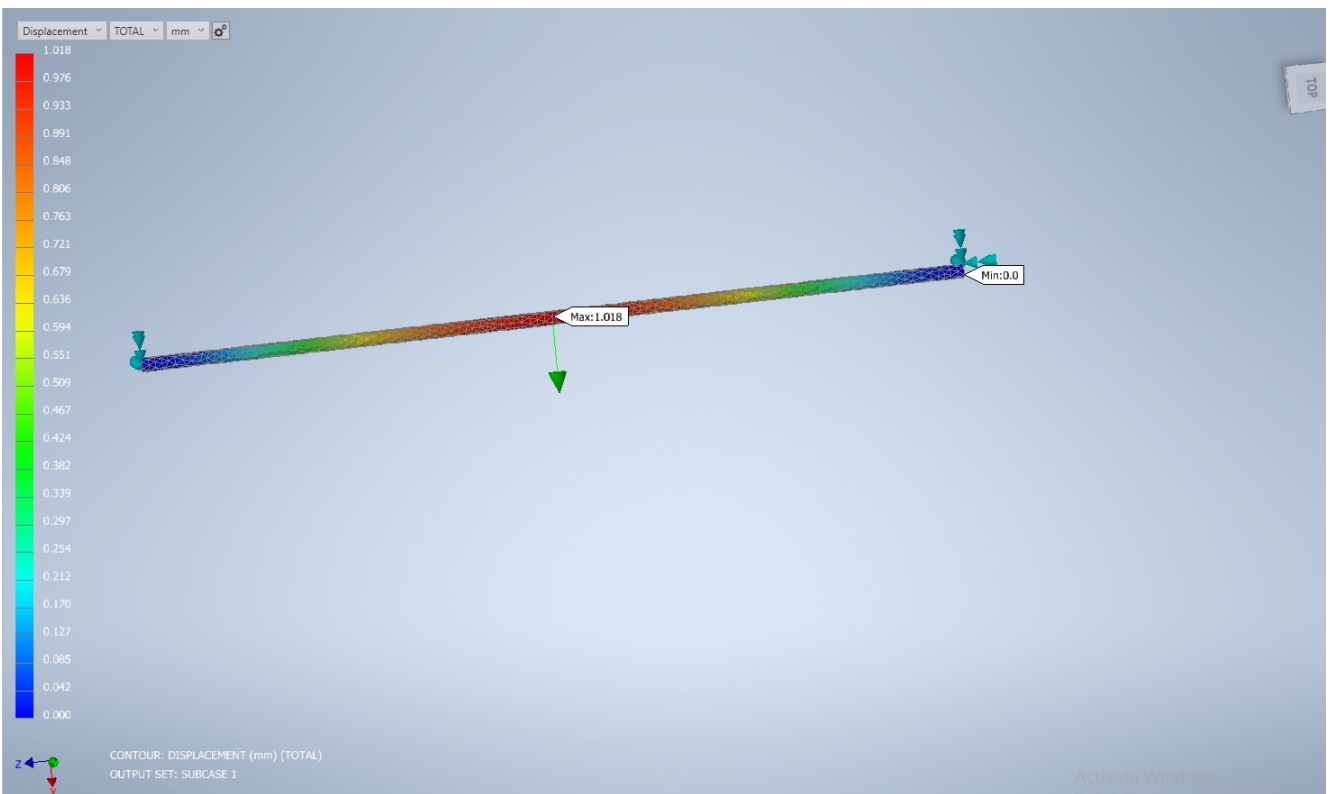
Εικόνα 27: Επιλογή πακτωμένων επιφανειών

Στην συνέχεια καταχωρούμε το φορτίο του άξονα , $F=117.72\text{N}$

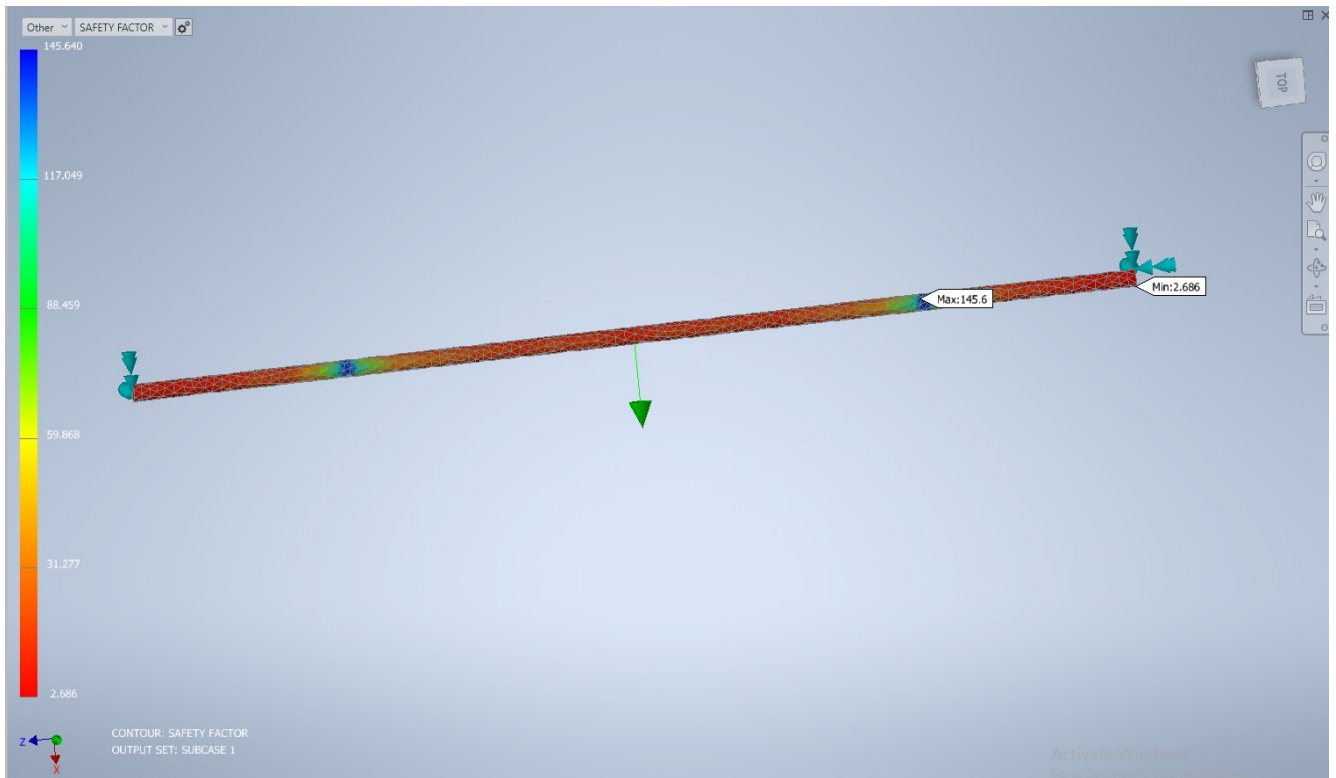


Εικόνα 28: Καταχώριση φορτίου στον άξονα κίνησης

Και τέλος πατάμε την επιλογή Run



Εικόνα 29: Μετατόπιση άξονα κίνησης



Εικόνα 30: safety factor

Παρατηρούμε σε αυτό το σημείο ότι η μέγιστη μετατόπιση στο κέντρο του άξονα είναι 1mm και έχουμε ένα Safety factor = 2.7 .

10 Περιορισμοί εργαλειομηχανής κόστος κατασκευής και μελλοντικές βελτιώσεις.

10.1 Περιορισμοί εργαλειομηχανής

Η κατασκευή της μηχανής αυτής προορίζεται για εκπαιδευτική χρήση και επιτρέπει την κατεργασία υλικών όπως αλουμίνιο, ξύλο, πλαστικό, και άλλα μαλακά υλικά. Οι μέγιστες διαστάσεις

κατεργασίας είναι 250mm x 300mm, με ύψος που φτάνει τα 25mm. Η μηχανή παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς και αποτελεσματικής επεξεργασίας των υλικών αυτών.

10.2 Χρόνος σχεδιασμού, χρόνος κατασκευής, χρόνος μελέτης

Ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε για την κατασκευή της εργαλειομηχανής ήταν περίπου 100 ώρες. Πιο αναλυτικά αναφέρονται παρακάτω αναλυτικά κάθε μια από τις απαιτούμενες ενέργειες καθώς και ο χρόνος που χρειάστηκε.

- Μελέτη εργαλειομηχανής : Επιλογή μηχανικών εξαρτημάτων, ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, μελέτη αντοχής των αξόνων χρειάστηκαν 15 ώρες.
- Σχεδιασμός εργαλειομηχανής: Για τον σχεδιασμό των επιμέρων εξαρτημάτων και την συναρμολόγηση τους χρειάστηκαν 25 ώρες.
- Κατασκευή εργαλειομηχανής: Για την συναρμολόγηση της μηχανής, την κατασκευή ειδικών τεμαχίων, για την κοπή των υλικών στις απαραίτητες διαστάσεις χρειάστηκαν 40 ώρες.
- Προγραμματισμός μηχανής και σύνδεση ηλεκτρονικών μερών χρειάστηκαν περίπου 20 ώρες.

10.3 Ανάλυση κόστους μηχανικών, ηλεκτρονικών, και ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων εργαλειομηχανής

PARTS LIST			
Είδος τεμαχίου	Αριθμός τεμαχίων	Κόστος (€)	Συνολικό Κόστος(€)
Φορείο Z άξονα 200X200X6mm	1		
Φορείο Y	1		

άξονα 200X200X6mm		60 (€)	60€
Φορείο Z άξονα 200X200X6mm	1		
V-Slot 3030 mm L= 1000mm	1	$14.5 \frac{\text{€}}{m}$	14.5€
V-Slot 2020 mm L=1000mm	2	$9.8 \frac{\text{€}}{m}$	19.6€
Precision shaft- 8mm L200mm	2	$2 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	4€
Precision shaft- 8mm L440mm	4	$4 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	16€
Τραπεζοειδής κοχλίας T8 L300mm	1	$5.9 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	5.9€
Τραπεζοειδής κοχλίας T8 L450mm	2	$9.9 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	18.8€
Linear rail shaft guide support 8mm	12		15.6€

		$1.3 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	
Pillow Block Ball Bearing 8mm	6	$2.2 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	13.2€
Nut Housing for lead screw	3 3	$2.8 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$ $2.8 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	8.4€
Aluminium Flex Shaft Coupler 8mm to 8mm	3	$3 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	9€
Περικόχλιο T8	3	$1 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	3€
Nema step motor 0.5 Nm 1.7A	3	$30 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	90€
TB660 Driver	3	$8 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	24€
Arduino Uno	1	$15 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	15€
CNC Shield	1	$3.5 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	3.5€
Spindle	1	$45 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	45€
Τροφοδοτικό Spindle	1		
Βάση Spindle	1		

Τροφοδοτικό Step motor	1	$25 \frac{\text{€}}{\text{τεμάχιο}}$	25€
Διάφοροι Κοχλίες	1	12(€)	12€
Καλώδια	1	6(€)	6€
Συνολικό Κόστος			398.5€

Πίνακας 9.1: Κατάλογος και κόστος εξαρτημάτων εργαλειομηχανής

10.4 Μελλοντικές βελτιώσεις

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού της εργαλειομηχανής πραγματοποιήθηκαν κάποια ακούσια λάθη τα οποία έγιναν αντιληπτά κατά την διάρκεια της κατασκευής και διορθώθηκαν όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η μηχανή αυτή κατασκευάστηκε λαμβάνοντάς υπόψιν σημαντικά κριτήρια, το κόστος κατασκευής, την ακρίβεια της μηχανής και την στιβαρότητα της κατασκευής.

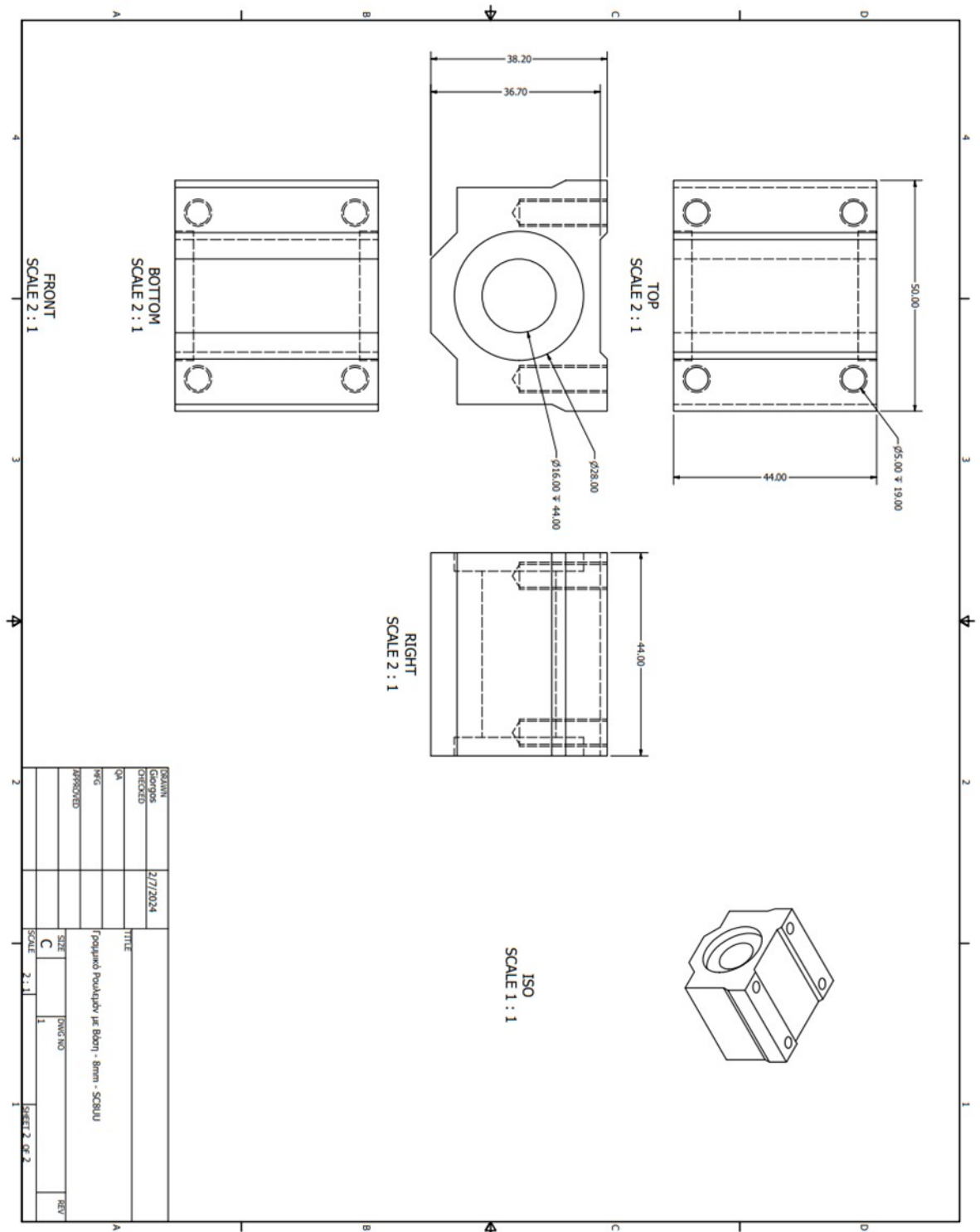
Ωστόσο υπάρχει αρκετός χώρος για σημαντικές βελτιώσεις. Για αρχή θα μπορούσαν να αλλαχθούν οι άξονες κίνησης με ball screw τα πλεονεκτήματα των οποίων αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης, θα πρόσθετε σημαντικά στην στιβαρότητα της κατασκευής η προσθήκη 2 ακόμα γραμμικών ρουλεμάν στον άξονα Z και στον άξονα X καθώς κατά τις δοκιμαστικές κοπές παρατηρήθηκε τζόγος όταν κατεργάζομαι πιο σκληρά υλικά.

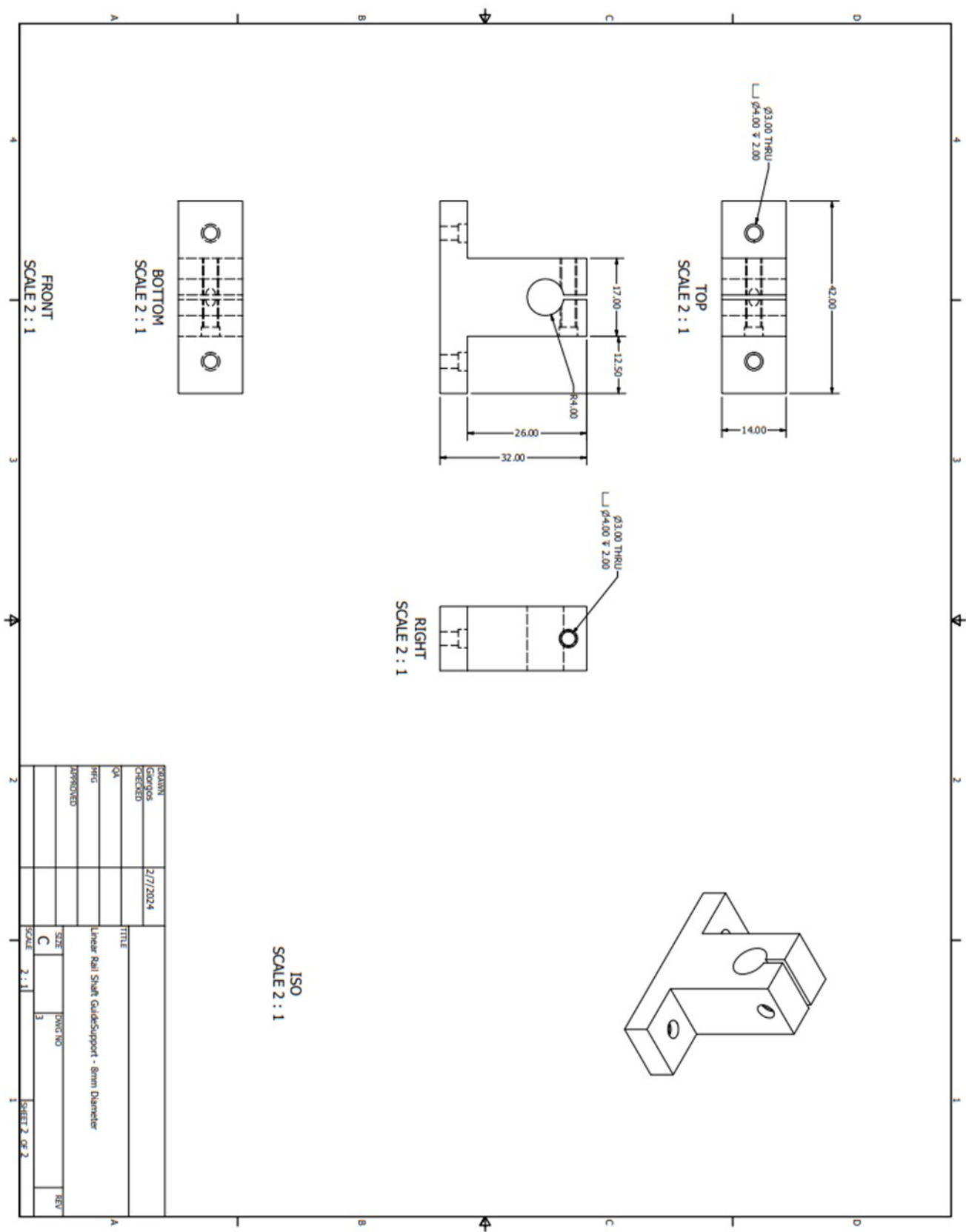
Κατά την λειτουργία της μηχανής υπάρχει έντονος θόρυβος που προέρχεται από τους βηματικούς κινητήρες. Ο λόγος που υπάρχει αυτός ο θόρυβος οφείλεται στα drivers tb6600. Αρχικά σκεφτόμουν

να χρησιμοποιήσω καλύτερους drivers, συγκεκριμένα τον Leadshine DM556E 2-Phase Digital Stepper Motor Driver 50V,5.6A. Ωστόσο επέλεξα την αρκετά οικονομικότερη επιλογή των TB6600.

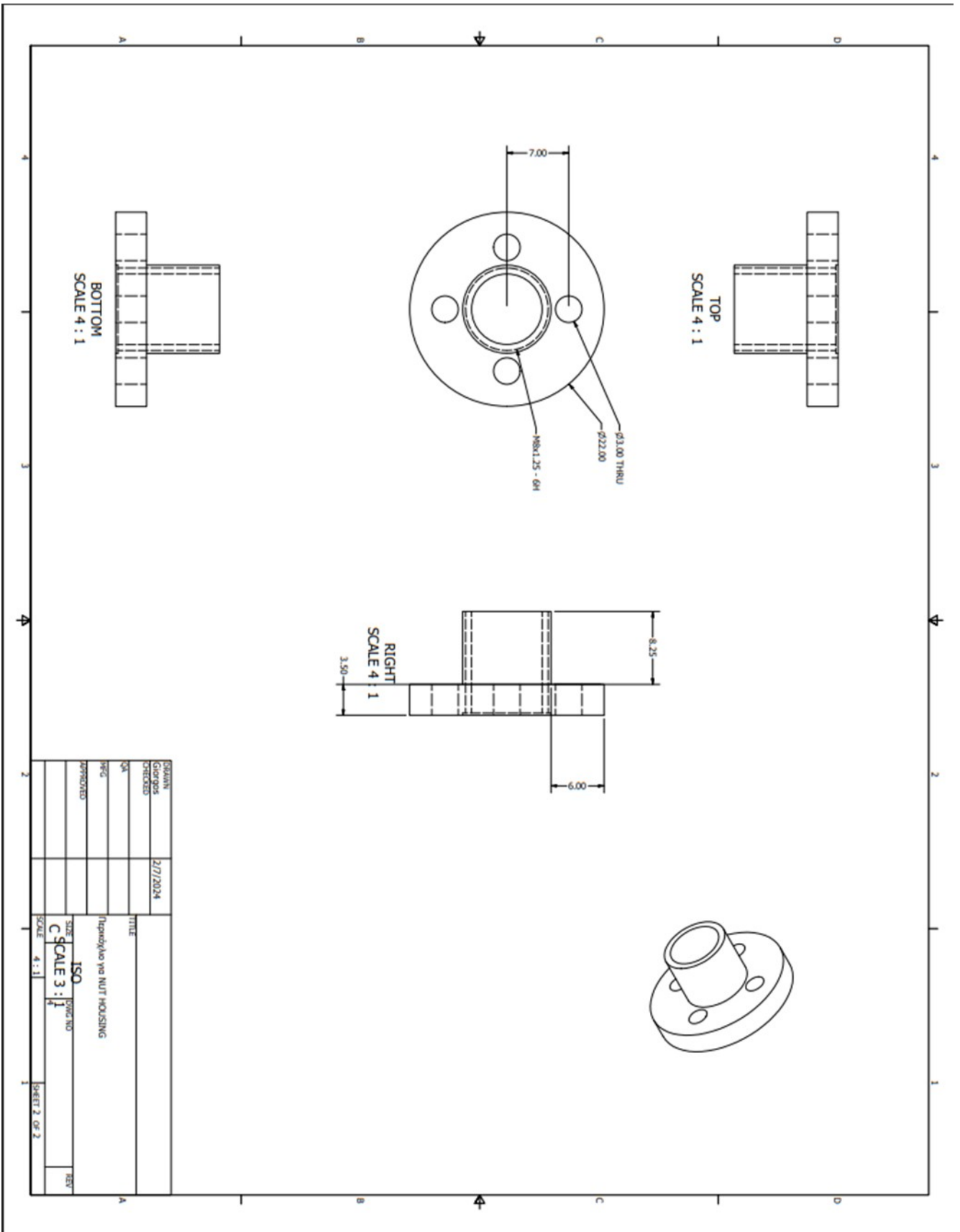
11 Παράρτημα σχεδίων



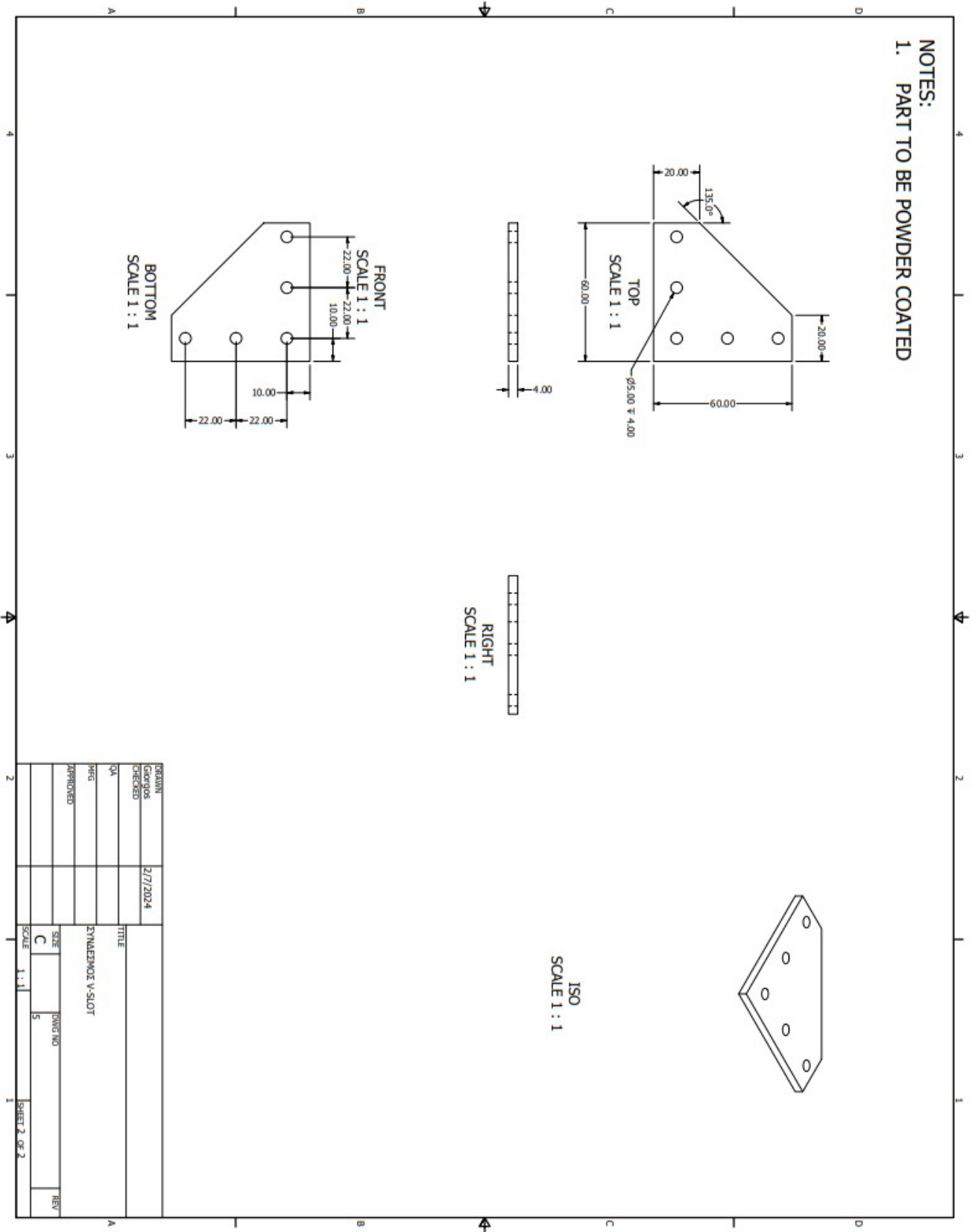
Εικόνα 59^η : Γραμμικό Ρουλεμάν με βάση 8mm



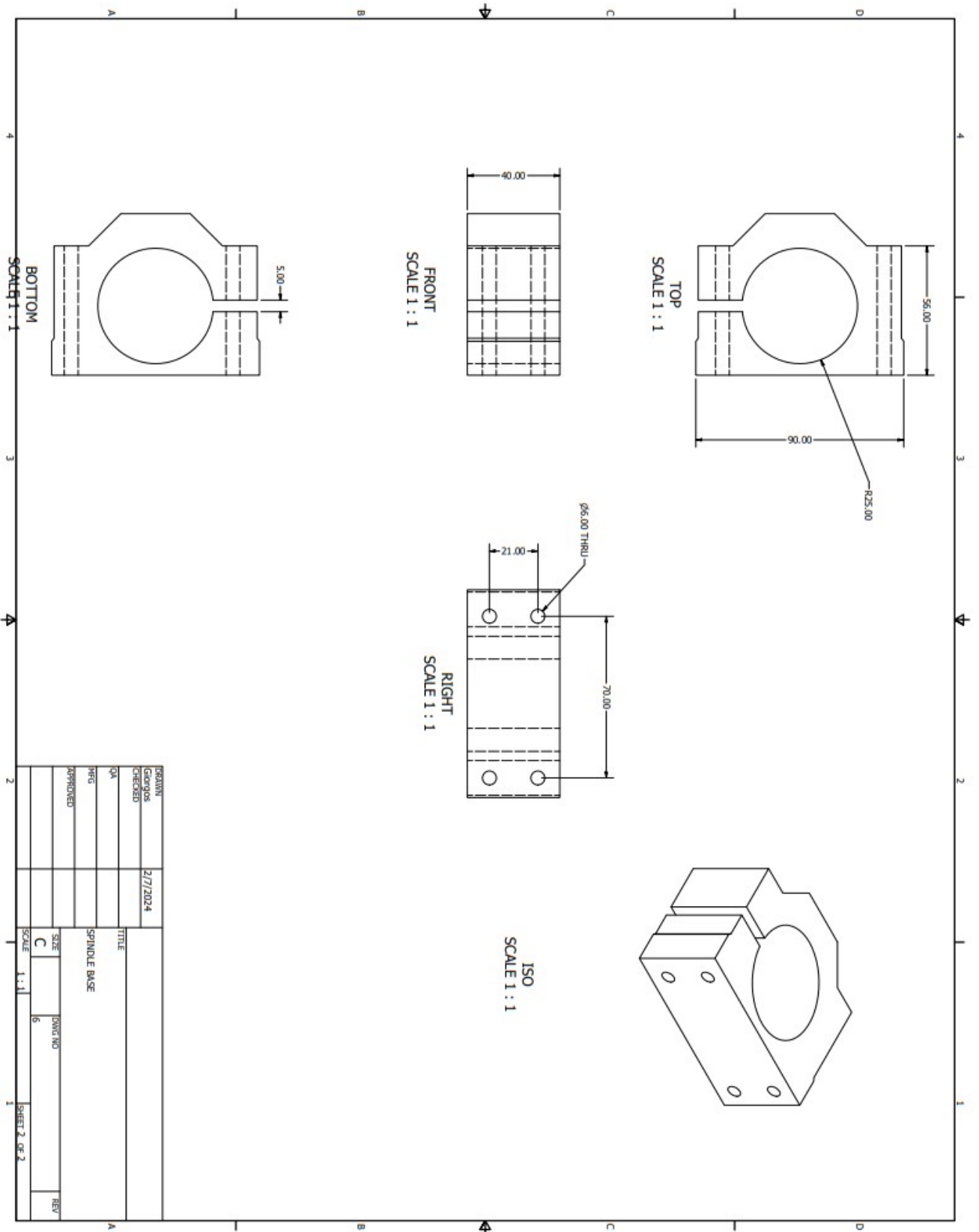
Εικόνα 61¹ : Linear rail shaft grid support - 8mm



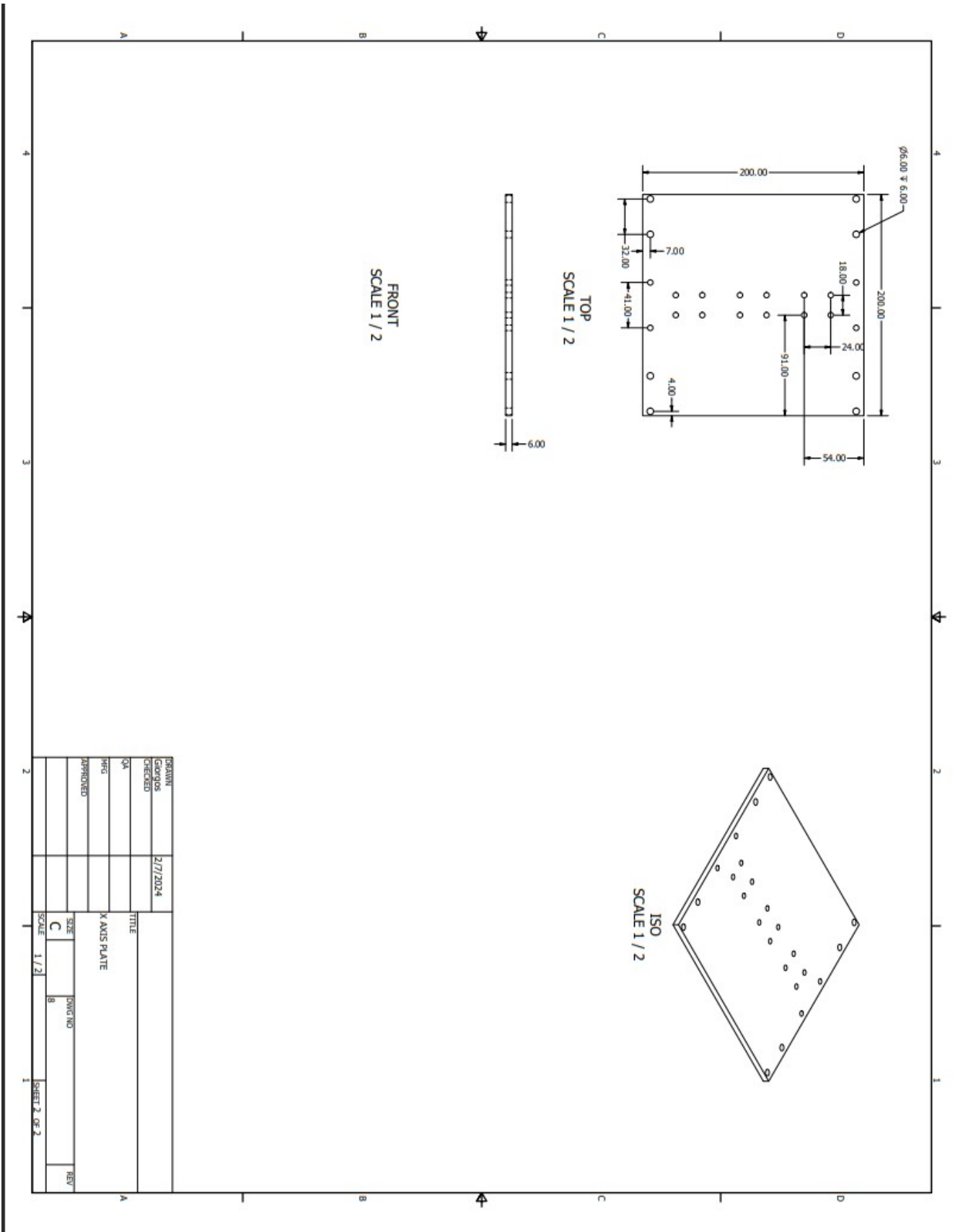
Εικόνα 62^η : Περικόχλιο για Nut Housing



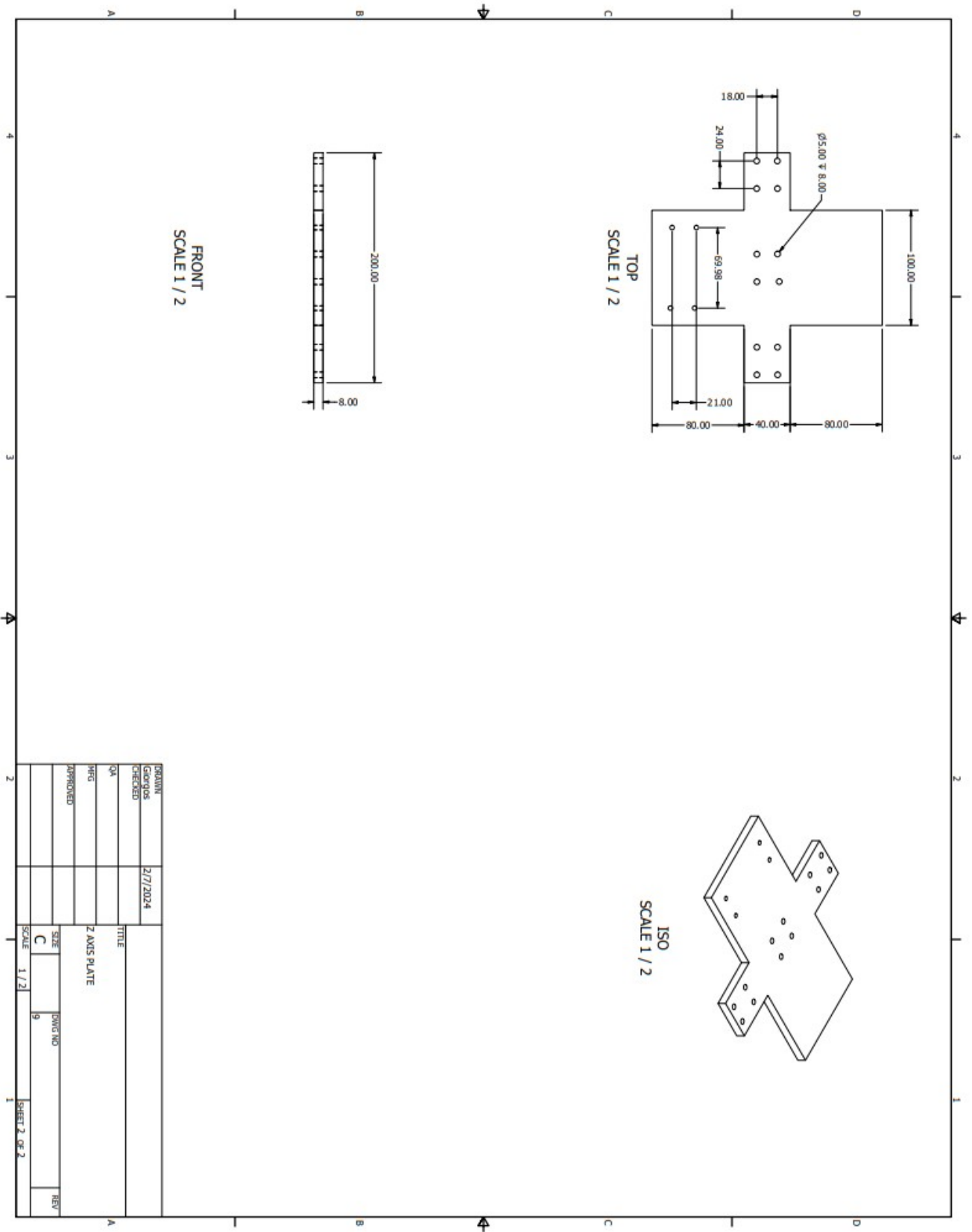
Εικόνα 63^η : ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ V-SLOT



Εικόνα 65^η: Spindle Base



Εικόνα 67^η: X Axis plate



Εικόνα 68^η: Z Axis plate

12 Βιβλιογραφία

- Sofias, K.; Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Jacques, S. Combining CAD Modeling and Simulation of Energy Performance Data for the Retrofit of Public Buildings. *Sustainability* 2023, 15, 2211, doi:10.3390/su15032211.
- Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Troussas, C.; Sgouropoulou, C. Development of an Innovative Learning Methodology Aiming to Optimise Learners' Spatial Conception in an Online Mechanical CAD Module During COVID-19 Pandemic. *Nov. Intell. Digit. Syst.* 2021, 31–39, doi:10.3233/FAIA210072.
- Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Bekas, G.; Troussas, C.; Sgouropoulou, C. Data Mining for Improving Online
- Higher Education Amidst COVID-19 Pandemic: A Case Study in the Assessment of Engineering Students. *Nov.Intell. Digit. Syst.* 2021, 157–165, doi:10.3233/FAIA210088.
- Jacques, Sebastien. (2022). Smart Control Strategies for AC Switches Used in Electric Vehicle Battery Chargers. 10.1201/9781003293989-7.
- S. Jacques, "Smart Control Strategies for AC Switches Used in Electric Vehicle Battery Chargers," 2022, pp. 165–182. doi: 10.1201/9781003293989-7.
- I. Aouichak, S. Jacques, S. Bissey, C. Reymond, T. Besson, and J.-C. Le Bunetel, "A Bidirectional Grid-Connected DC–AC Converter for Autonomous and Intelligent Electricity Storage in the Residential Sector," *Energies*, vol. 15, no. 3, Art. no. 3, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15031194.
- Smith, A., & Brown, B. (2020). Stepper Motor Control Techniques. Robotics Publishing.
- Anderson, C. (2021). Introduction to Arduino Uno. TechBooks International.
- Jones, D. (2021). Advantages and Applications of Stepper Motors. Engineering Solutions Ltd.
- Doe, J. (2022). Selection Criteria for Stepper Motors. Automation Technologies Inc.
- Brown, B. (2021). Overview of TB6600 Motor Drivers. Electronics Journal.
- Smith, A. (2019). Features and Advantages of Linear Bearings. Motion Control Publications.
- Brown, B., & Johnson, C. (2021). Programming Arduino Uno for Stepper Motor Control. Robotic Innovations Inc.
- Johnson, C. (2022). Working Principle and Features of TB6600 Drivers. Mechatronics Research Institute.

