ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών

Διπλωματική Εργασία

Παραμετροποίηση και υλοποίηση μονάδας ελέγχου εργαλειομηχανής laser βάσει ανοιχτής πλατφόρμας λογισμικού

Ζουμπούλης Γ. Παναγιώτης

Επιβλέπων: Δρ. Γεώργιος - Χριστόφορος Βοσνιάκος, καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

`

`

.....

Παναγιώτης Γ. Ζουμπούλης

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτης Γ. Ζουμπούλης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

`

`

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έρχεται να σημάνει την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Κινείται στα πλαίσια της αναζωογόνησης μιας παλαιάς CNC εργαλειομηχανής κοπής laser για λειτουργία της με χρήση ανοικτού και κατά συνέπεια δωρεάν λογισμικού ελέγχου. Βάσει της φύσης της, η εργασία δίνει την ευκαιρία στον νέο μηχανικό, αλλά και σε οποιοδήποτε αναγνώστη σε ένα βαθμό, να γνωρίσει μια εργαλειομηχανή στην πιο απλή μορφή της, να ταυτοποιήσει ένα ένα τα κομμάτια που την απαρτίζουν, μηχανικά και ηλεκτρικά, και τον τρόπο που αυτά αλληλεπιδρούν ώστε η μηχανή να λειτουργήσει και να επιτελέσει το έργο της. Ακόμα, αποτελεί και μια γνωριμία με το ανοικτό λογισμικό linuxcnc, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός ευρύτατου φάσματος εργαλειομηχανών με το ιδιαίτερο πλεονέκτημα ότι δεν προσθέτει επιπλέον κόστος για την αγορά, ή την αδειοδότησή του και εισάγει μια φιλοσοφία η οποία στην Ελλάδα του 2017 μπορεί να ωφελήσει εξαιρετικά τη βιομηχανία εφόσον αξιοποιηθεί κατάλληλα από τους μηχανικούς στην παραγωγή.

Δράττομαι της ευκαιρίας να αποδώσω τις απαραίτητες ευχαριστίες σε όλους όσοι συνετέλεσαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας:

Κατ’ αρχάς οφείλω τις μεγαλύτερες ευχαριστίες στον Δρ. Γ.Χ. Βοσνιάκο, καθηγητή της Σχολής και επιβλέποντα της εργασίας αυτής, τόσο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και διδακτικό θέμα, όσο και για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγησή του καθ όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου απέναντι σε όλα τα μέλη του εργαστηρίου που ουδέποτε αρνήθηκαν οποιαδήποτε βοήθεια και ειδικά τον Κερασιώτη Κωνσταντίνο, ο οποίος παρείχε πάντα τις κατάλληλες συνθήκες ώστε η εργασία να συνεχίζεται απερίσπαστα.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον φίλο και συνεργάτη Κωνσταντίνο Γεροδήμο, ο οποίος αποτέλεσε στήριγμα και έδινε έμπνευση στις προσπάθειές μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου που με στήριξε καθ’ όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και εξακολουθεί να με στηρίζει.

`

`

Περίληψη

Στη διπλωματική αυτή εργασία θα παρουσιαστεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε με στόχο τον εκσυγχρονισμό του συστήματος ελέγχου κίνησης ενός παλαιού κέντρου κατεργασιών laser. Η εργαλειομηχανή ανήκει και βρίσκεται στο εργαστήριο Τεχνολογίας των Κατεργασιών, έχοντας δωρηθεί από τη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών εν έτει 2010.

Ο αρχικός έλεγχος της κίνησης γινόταν μέσω PLC και σύστημα CNC1060 με αναλογικό έλεγχο των σερβοκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος Schneider της εργαλειομηχανής. Καθώς ο προγραμματισμός του PLC έχει σβηστεί από τη μνήμη και στα πλαίσια προσαρμογής ενός πιο σύγχρονου ελεγκτή στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε λογισμικό LinuxCNC (πρώην Enhanced Machine Controller, ή EMC2). Το LinuxCNC είναι ευρέως διαδεδομένο ανοικτό λογισμικό ελέγχου εργαλειομηχανών που προσαρμόζεται σε κάθε κέντρο κατεργασιών, εφόσον ο προγραμματιστής γνωρίζει τις παραμέτρους (λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά) του συστήματός του, χωρίς επιπλέον κόστος παρά μόνο για την αγορά καρτών διεπαφής με Η/Υ από τον οποίο θα πραγματοποιείται ο χειρισμός.

Στα πλαίσια της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον βασικές εργασίες συντήρησης της εργαλειομηχανής (αντικατάσταση λιπαντικών στα κινούμενα μέρη και φθαρμένων εξαρτημάτων, αφαίρεση σκουριάς όπου αυτό είναι δυνατόν) και η επικαιροποίηση των ηλεκτρικών συνδέσεων κατόπιν της αποσύνδεσης του αρχικού CNC και PLC και διασύνδεσης με τον Η/Υ και το LinuxCNC.

`

`

Abstract

In this diploma thesis takes place a presentation of the process followed in order to achieve the modernization of the motion control system of an outdated industrial laser cutter. The machine is property of and located at the laboratory of Manufacturing Technology at the School of Mechanical Engineering, given from the School of Naval Engineering since 2010.

Initially, control of the motion was achieved via PLC and a CNC1060 system, by analog control of the AC Schneider servomotors on the machine. On account of the PLC programming having been erased from memory and within the context of adapting a modern controller to the system we used LinuxCNC software (previously named Enhanced Machine Controller, or EMC2), which is a widely used open software for controlling manufacturing machines that can fit in any machine, provided that the user knows the parameters (functioning and geometric characteristics) of the system in check, without adding costs to the process except the ones necessary to buy interface cards to connect with the controlling computer.

Additionally, basic maintenance operations were performed on the machine (lubricant changes on moving parts, replacing broken parts and removing rust wherever possible) and electric connections were updated after connecting the controlling computer.

`

`

Περιεχόμενα

Πρόλογος **4**

Περίληψη **5**

Abstract **6**

1. Εισαγωγή **13**
- **1.1 Εισαγωγή** **13**
- **1.2 Αριθμητικός Έλεγχος Εργαλειομηχανών (CNC)** **14**
- **1.3 Προγράμματα CNC** **16**
- **1.4 Άξονες Μηχανής CNC και Συστήματα Συντεταγμένων** **18**
- **1.5 Ελεγκτές CNC** **21**
  - 1.5.1 Ελεγκτές τύπου υλικού και λογισμικού (hardware & software controllers) 21
  - 1.5.2 Ελεγκτές CNC λογισμικού ανοικτής αρχιτεκτονικής 22
- **1.6 Βιβλιογραφική ανασκόπηση** **24**

2. Στοιχεία Hardware κέντρων κατεργασίας CNC **29**
- **2.1 Δομικά μέρη εργαλειομηχανών** **29**
  - 2.1.1 Βάση – Σκελετός 29
  - 2.1.2 Τράπεζα κατεργασίας 30
  - 2.1.3 Κεφαλή επεξεργασίας 32
  - 2.1.4 Περίβλημα ασφαλείας 34
  - 2.1.5 Δοχείο λυμμάτων 35
- **2.2 Μηχανισμοί κίνησης** **36**
  - 2.2.1 Γραμμικοί οδηγοί 36
  - 2.2.2 Κινητήρες πρόωσης 37
  - 2.2.3 Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης 40
- **2.3 Hardware Σύστηματος Ελέγχου** **43**
  - 2.3.1 Οδηγοί – Ενισχυτές Βηματικών κινητήρων & Σερβοκινητήρων 44
- **2.4 Μετρητικά όργανα και αισθητήρες** **45**
  - 2.4.1 Αναλυτής – Resolver 46
  - 2.4.2 Κωδικοποιητής – Encoder 47
  - 2.4.3 Διακόπτες Οριακοί – Αρχικοποίησης 49
- **2.5 Βοηθητικά συστήματα** **50**
- **2.6 Ηλεκτρολογικό Υλικό** **50**

3. Κέντρα Κατεργασιών δέσμης Laser **51**
- **3.1 Κατεργασίες με δέσμη υψηλής ενέργειας** **51**
- **3.2 Κατεργασία κοπής με laser** **54**
- **3.3 Κέντρα κατεργασιών laser** **56**
- **3.4 Κέντρο κατεργασιων Laser Nd YAG του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών** **58**

4. LinuxCNC **81**
- **4.1 Εισαγωγή** **81**
- **4.2 Η λειτουργία του LinuxCNC** **84**
- **4.3 Γραφικό περιβάλλον LinuxCNC** **85**

`

4.4 Διεπαφή μέσω ηλεκτρονικών καρτών της Mesa Electronics 87
4.5 Εισαγωγή στοιχείων της εργαλειομηχανής – Οδηγός pncconf 89
5. Εργασίες Αποκατάστασης Κέντρου Κατεργασιών 105
5.1 Εισαγωγή 105
5.2 Διαλογή και τακτοποίηση εξαρτημάτων 107
5.3 Καθαρισμός και συντήρηση εξαρτημάτων και επιφανειών 108
6. Συνδέσεις Ηλεκτρολογικών και Ηλεκτρονικών Στοιχείων 111
6.1 Ηλεκτρολογικές συνδέσεις 111
6.1.1 Σύνδεση του κέντρου κατεργασιών με δίκτυο τριφασικής παροχής ηλ. ρεύματος 111
6.1.2 Συνδέσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σερβοκινητήρων 114
6.1.3 Συνδέσεις αναλυτών (resolvers) σερβοκινητήρων 118
6.1.4 Συνδέσεις οριακών διακοπτών & αρχικοποίησης 120
6.2 Συνδεσμολογίες Ηλεκτρονικών 121
6.2.1 Συνδεσμολογία NUM Servomac AC Monodrive 122
6.2.2 Συνδεσμολογία Mesa 7i77 123
6.2.3 Συνδεσμολογία Mesa 5i25 126
7. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα 127
7.1 Ολοκλήρωση εργασιών και δοκιμές λειτουργικότητας διαθέσιμης διάταξης 127
7.1.1 Δοκιμή της λειτουργίας των οριακών διακοπτών και αρχικοποίησης 127
7.1.2 Δοκιμή λειτουργίας κινητήρων και ενισχυτών 128
7.2 Συμπεράσματα 132
7.3 Μελλοντική εργασία 132
Βιβλιογραφία 135
Επιπλέον πηγές 137
Παραρτήματα 139
A – Σχεδιαγράμματα Συνδεσμολογίας MESA 7i77 139
B – Σφάλματα NUM MNDA AC Monodrives 143

`

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η Βιομηχανική Επανάσταση στα μέσα του 18ου αιώνα έφερε ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο η επεξεργασία των υλικών και η παρασκευή αγαθών λαμβάνει χώρα στον τομέα της παραγωγής. Από τη βιοτεχνία και την επεξεργασία των πρώτων υλών με το χέρι ή με απλά εργαλεία, η ανθρωπότητα οδηγήθηκε με αλματώδη ρυθμό στη βιομηχανία, όπου οι εργασίες πλέον εκτελούνται από μεγάλου και βαρέος τύπου μηχανήματα. Η εισαγωγή των αυτοματισμών στην παραγωγή έγινε σταδιακά, δίνοντας τη δυνατότητα στις παραγωγικές αυτές μηχανές να πραγματοποιούν σύνθετες εργασίες χωρίς την ανάγκη της ανθρώπινης παρέμβασης κατά τη διάρκεια αυτών. Σε μεγάλες γραμμές παραγωγής συναντώνται διαρκώς μηχανήματα που επιτελούν, αυτόματα μεν, αλλά μια συγκεκριμένη λειτουργία (τη συνεχή κίνηση ενός ιμάντα μεταφοράς, την εναπόθεση υλικού σε δοχεία που κινούνται πάνω στον εν λόγω ιμάντα, την κίνηση εργαλείων διαμόρφωσης κτλ.)

Εικόνα 1: Αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής πλαστικών μπουκαλιών

Οι παραπάνω μηχανές κατασκευάζονται με στόχο την επίτευξη μεγάλης παραγωγής σε μικρό χρονικό διάστημα, εκτελώντας την ίδια διεργασία επαναληπτικά με μεγάλη ταχύτητα. Οποιαδήποτε αλλαγή στη γραμμή παραγωγής παλαιότερα απαιτούσε επαναπρογραμματισμό του συστήματος, ο οποίος συχνά ήταν χρονοβόρος και επέτασε διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας και αντικατάσταση μέρους του εξοπλισμού (καλούπια, ακροφύσια, εργαλεία) για την προσαρμογή στα νέα δεδομένα. Σε γραμμές όπως αυτή της Εικόνας 1, όπου παράγεται το ίδιο αγαθό σε μεγάλη ποσότητα τέτοιου είδους αλλαγές συμβαίνουν προγραμματισμένα και όχι ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, στον τομέα κατεργασίας υλικών και σε μικρότερες γραμμές, οι αλλαγές στον προγραμματισμό είναι συνεχείς και τα τεμάχια που καλείται η γραμμή να παράγει διαφοροποιούνται συνεχώς.

Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται πρέπει να μπορούν να μεταβάλλουν τη λειτουργία τους γρήγορα και αποτελεσματικά, καθώς μια διαδικασία προσαρμογής όπως της γραμμής της Εικόνας 1 θα ήταν ασύμφορη από πολλές οπτικές γωνίες. Τα κέντρα στα οποία πραγματοποιούνται οι κατεργασίες, οι λεγόμενες

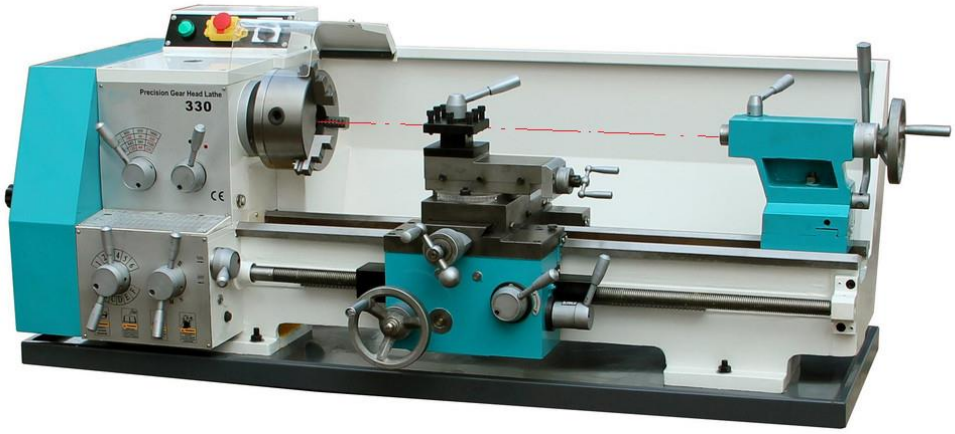
`

εργαλειομηχανές, προκειμένου να προσαρμόζονται εύκολα και ταχύτατα σε οποιαδήποτε νέα δεδομένα της παραγωγής έχει επικρατήσει να λειτουργούν με βάση τον Αριθμητικό Έλεγχο μέσω Υπολογιστή (Computer Numerical Control – CNC).

1.2 Αριθμητικός Έλεγχος Εργαλειομηχανών (CNC)

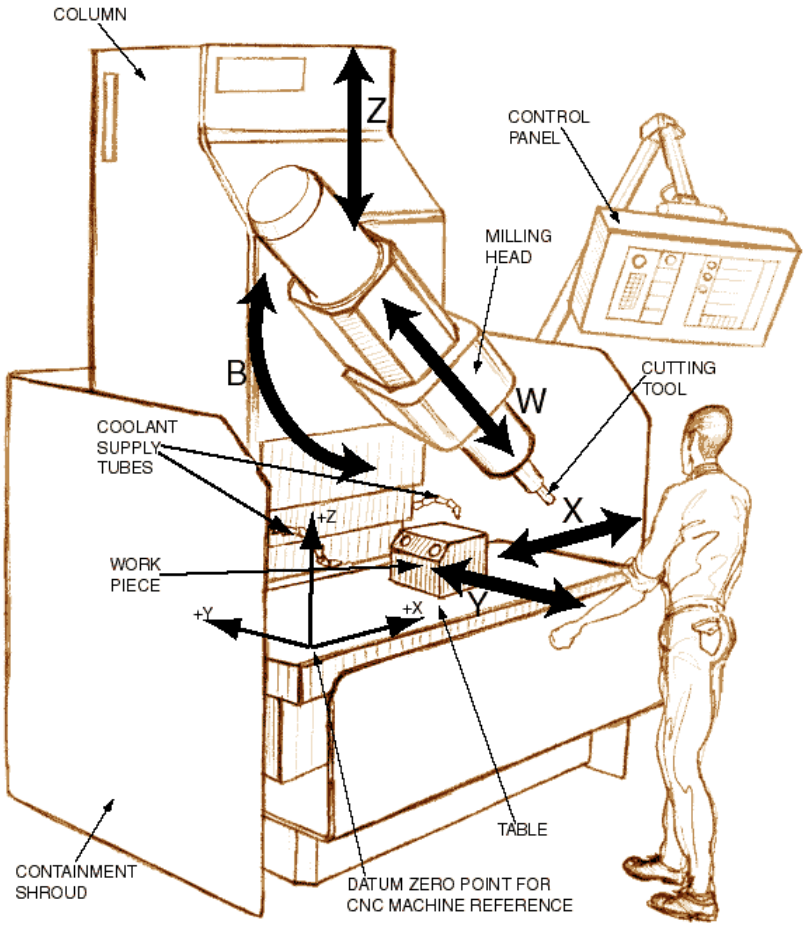
Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών είναι ο τύπος ελέγχου που χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές για την αναφορά στη θέση και την κίνηση των αξόνων της μηχανής για τον ορισμό εργαλείων, στροφών ατράκτου και την εκτέλεση βοηθητικών λειτουργιών όπως είναι ο ψεκασμός του ψυκτικού υλικού σε κατεργασίες κοπής.

Στον όρο “άξονες της μηχανής” υπάγονται οι διακριτές γραμμικές ή περιστροφικές κινήσεις που η εργαλειομηχανή μπορεί να παράξει μέσω των επενεργητών (κινητήρων) της κατά τη λειτουργία της και απαιτούνται για την επίτευξη της κατεργασίας. Παραδείγματα των κινήσεων αυτών φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 2, 3 και 4)



Εικόνα 2: Περιστροφική κίνηση επί του κύριου άξονα τόρνου

`



Εικόνα 3: Συνδυασμός τεσσάρων γραμμικών και μιας περιστροφικής κίνησης σε κέντρο συμβατικής κοπής CNC

Ο αριθμητικός έλεγχος έχει τις ρίζες του στις αρχές του 20ου αιώνα. Πατέρας του θεωρείται ο John T. Parsons, μηχανουργός, ο οποίος αναζητώντας έναν τρόπο υπολογισμού της σύνθετης γεωμετρίας για την παραγωγή μεταλλικών πτερυγίων για τα πολεμικά ελικόπτερα των ΗΠΑ, μαζί με τον Frank L. Stulen χρησιμοποίησαν τον Απρίλιο του 1946 διάτρητες ταινίες στο εργαστήριο πτερυγώσεων της αεροπορικής βάσης Wright-Patterson, στην Πολιτεία του Ohio. Οι ταινίες ανάγνωσης οδηγούσαν το κοπτικό εργαλείο σε 200 διακριτά σημεία με στόχο την προσέγγιση της τελικής γεωμετρίας των πτερυγίων με καινοτόμο ακρίβεια για τα δεδομένα της εποχής. Αργότερα, το 1949, ο Parsons απευθύνθηκε στο εργαστήριο σερβομηχανισμών του MIT του Gordon S. Brown ο οποίος ανήγαγε την ιδέα του στην πρώτη άριθμητικά ελεγχόμενη εργαλειομηχανή (Numerical Controlled – NC) το 1950, εισάγοντας την παρεμβολή της κίνησης του κοπτικού μεταξύ των συντεταγμένων που δίνονταν στο πρόγραμμα της διάτρητης ταινίας.

Τα χρόνια που ακολούθησαν, η εξέλιξη των αριθμητικά ελεγχόμενων εργαλειομηχανών ήταν θεαματική. Για τον προγραμματισμό νεότερων μηχανών, ο χρήστης έπρεπε να συμπληρώσει τις ταχύτητες και τα σημεία της γεωμετρίας του και η διάτρητη κάρτα παραγόταν με αυτόματο τρόπο για την εκάστοτε κατεργασία. Με τη δραστική πτώση των τιμών των υπολογιστικών συστημάτων τη δεκαετία του 60 και

`

την είσοδο των μικροεπεξεργαστών στην αγορά τη δεκαετία του 70 κάθε κέντρο κατεργασιών πλέον διέθετε τον δικό του υπολογιστή, ο οποίος αναλάμβανε και χειριζόταν τη λειτουργία του. Αυτή η κατηγορία μηχανών έλαβε την ονομασία CNC (Computer Numerical Controlled).

Η ιστορική αναδρομή ολοκληρώνεται στη σημερινή εποχή, όπου αριθμητικά ελεγχόμενες από Η/Υ εργαλειομηχανές βρίσκονται σε κάθε μηχανουργείο, ενώ μικρότερα συστήματα, όπως είναι οι συσκευές laser engraving και οι 3D printers απαντώνται ακόμα και σε χώρους γραφείου. Οι υπολογιστικές μονάδες δεν απαιτούν επιπλέον χώρο.

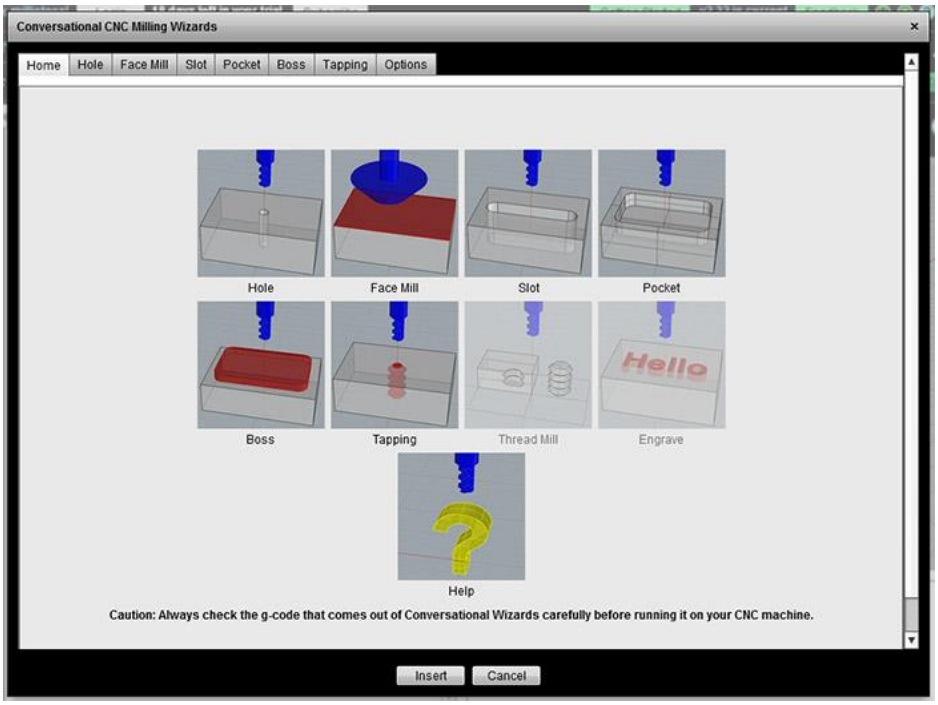
Το σημαντικό πλεονέκτημά τους έναντι ενός χειροκίνητου κέντρου κατεργασιών ανάγεται τόσο στην δυνατότητα κατεργασιών ακρίβειας με υψηλή επαναληψιμότητα οι οποίες είναι αδύνατο να επιτευχθούν από ανθρώπινο χέρι. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή μεταξύ των δεδομένων σημείων, η οποία σε περιπτώσεις καμπυλών και σύνθετων γεωμετριών αποτυπώνει με τεράστια ακρίβεια την ιδεατή γεωμετρία. Επιπλέον παρέχουν μεγάλη ευκολία του προγραμματισμού της κατεργασίας, καθώς ο χρήστης δίνει μόνο τις βασικές παραμέτρους της (ταχύτητες περιστροφής και πρόωσης και βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά) και ο υπολογιστής σχεδιάζει την κατεργασία κατά τρόπο αυτόματο. Πλέον, με την ανάπτυξη και τη διάδοση των λογισμικών CAM (Computer Aided Manufacturing) ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προγραμματίσει την κατεργασία του σε τριδιάστατο γραφικό περιβάλλον, με πολύ καλή αντίληψη του σχεδίου και να προσομοιώνει τα αποτελέσματα της κατεργασίας του πριν τη θέσει σε εφαρμογή, αποφεύγοντας έτσι ακόμα περισσότερα λάθη στην παραγωγή.

1.3 Προγράμματα CNC

Τα προγράμματα CNC αποτελούν μια σειρά εντολών οι οποίες αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή – ελεγκτή και εκτελούμενες διαδοχικά ελέγχουν την αλληλεπίδραση της εργαλειομηχανής με το τεμάχιο κατά την κατεργασία. Ο χρήστης δημιουργεί τις εντολές σε κατάλληλη γλώσσα με τη σειρά που επιθυμεί να εκτελεστούν, είτε σε κάποιο αρχείο το οποίο φορτώνεται στη μνήμη της μηχανής, είτε απευθείας στο τερματικό της.

Ο προγραμματισμός μιας εργαλειομηχανής CNC γίνεται σε διαφορετικές γλώσσες, παρ' ότι σχεδόν όλες μεταφράζονται στις ίδιες εντολές εν τέλει για τον υπολογιστή. Η πρώτη από τις δύο κυριότερες κατηγορίες γλωσσών είναι οι ανωτέρου επιπέδου (conversational) γλώσσες (MSL, Compact II κτλ.) που χρησιμοποιούν λέξεις για να περιγράψουν συγκεκριμένες λειτουργίες της μηχανής (pocket, boss, tapping, face milling, slot κτλ.) και προσαρμόζονται στα εκάστοτε δεδομένα με μεταβλητές παραμέτρους. Καθιστούν τον προγραμματισμό πιο εύληπτο για το χρήστη, αλλά ο υπολογιστής πρέπει τις μεταφράσει σε χαμηλότερο επίπεδο, τη σειρά εντολών ISO.

`



Εικόνα 4: Παράδειγμα Conversational CNC

Η δευτερη κατηγορία είναι γλώσσες που στηρίζονται σε σειρά από απλές εντολές ISO, κοινά αποδεκτές από όλους τους κατασκευαστές, αλλιώς word address format. Λιγότερο εύληπτες, χρησιμοποιούν αριθμητικούς κωδικούς για να περιγράψουν τις λειτουργίες της μηχανής. Οι εντολές οργανώνονται σε ομάδες που ονομάζονται blocks. Σε κάθε block αναφέρεται ο αύξων αριθμός της γραμμής και οι κωδικοί που ορίζουν τις επιθυμητές από το χρήστη λειτουργίες, συνοδευόμενοι από κατάλληλους αριθμούς που σηματοδοτούν τα δεδομένα κάθε λειτουργίας (ρυθμός πρόωσης, στροφές κοπτικού εργαλείου, συντεταγμένες αρχής και τέλους κίνησης). Οι ενέργειες που η μηχανή μπορεί να εκτελέσει είναι οι λειτουργίες προπαρασκευής (G-code), οι βοηθητικές λειτουργίες (M-code), καθώς και κάποιες πρόσθετες εντολές που έχουν να κάνουν με την επιλογή του εργαλείου κοπής, ψεκασμό ψυκτικού υλικού, προώσεις κτλ.). Παράδειγμα ενός block προγράμματος CNC φαίνεται στην Εικόνα 5, παρακάτω.

`

Block 1		%
2		O0004
3	N10	G21
4	N20	G40 G90
5	N30	G54 X… Z…
6	N40	T0100 M42
7	N50	G96 S450 M03
8	N60	G00 G41 X72 Z0 T0101 M08
9	N70	G01 X0
10	N80	G00 Z5
11	N90	G42 X72
12	N100	G71 U1 R3
13	N110	G71 P120 Q190 U1 W1 F0.05
14	N120	G00 X0
15	N130	G01 Z0
16	N140	G03 X20 Z-20
17	N150	G01 Z-45
18	N160	X40 Z-80
19	N170	Z-105
20	N180	G02 X70 Z-120
21	N190	G01 X75
22	N200	G00 X100 Z20
23	N210	G70 P120 Q190 F0.03
24	N220	G00 G40 X100 Z20 T0100
25	N230	M09
26	N240	M30
27		%

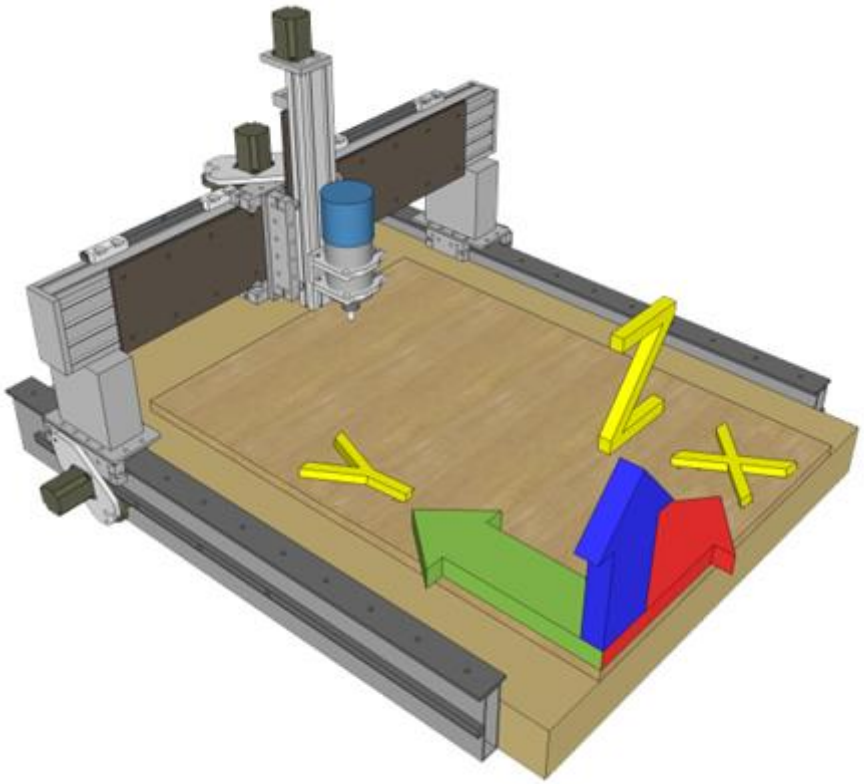
Εικόνα 5: Παράδειγμα προγράμματος CNC σε σειρά εντολών ISO

1.4 Άξονες Μηχανής CNC και Συστήματα Συντεταγμένων

Βασικός παράγοντας για μια επιτυχημένη κατεργασία αποτελεί η γνώση του χώρου μέσα στον οποίο έχει τη δυνατότητα να δράσει η μηχανή και ο τρόπος με τον οποίο το επιτυγχάνει. Το εργαλείο και το προσδεμένο στη μηχανή κατεργαζόμενο τεμάχιο μετακινούνται στον τρισδιάστατο χώρο εντός της μηχανής, ανάλογα με το σχεδιασμό της. Οι άξονες συντεταγμένων και ο τρόπος καθορισμού της θετικής κατεύθυνσης κίνησης για εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου περιγράφονται στο ISO-841 (1974) και στα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα (DIN, BS κτλ).

Ορίζεται δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα για τους κύριους γραμμικούς άξονες X, Y και Z της εργαλειομηχανής (Εικόνα 6). Σε περίπτωση περισσοτέρων γραμμικών αξόνων χρησιμοποιούνται τα γράμματα U,V και W για τους δευτερεύοντες άξονες (οι οποίοι είναι παράλληλοι με τους αντίστοιχους κύριους άξονες), ενώ τα P,Q και R σημαίνουν τους βοηθητικούς άξονες που μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικές διευθύνσεις.

`



Εικόνα 6: Σύστημα κύριων γραμμικών αξόνων εργαλειομηχανής CNC

Οι περιστροφικοί άξονες συμβολίζονται με A, B, και C και ορίζονται με βάση τις κύριες καρτεσιανές διευθύνσεις X, Y, Z με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία κοιτώντας προς τη θετική τους κατεύθυνση.

Σε περιπτώσεις γεφυρών μεγάλων εργαλειομηχανών, χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά δείκτες (συνήθως 1 και 2) στους άξονες X, Y, ανάλογα με το ποιός κινητήρας χρησιμοποιείται για την κίνηση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και σε μικρότερα μηχανήματα όπου ο δεύτερος άξονας έχει μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης και χρησιμοποιείται για μικρές κατεργασίες ακριβείας.

Για τον καθορισμό θετικής κατεύθυνσης σε κάθε γραμμικό άξονα θεωρείται πάντοτε η σχετική κίνηση του εργαλείου σε σύστημα αναφοράς ακίνητο ως προς το τεμάχιο. Στην περίπτωση όπου κινείται το τεμάχιο, η κατεύθυνση που ορίζεται σαν θετική είναι η πραγματική (αντίθετα με αυτήν της περίπτωσης ακίνητου τεμαχίου) αλλά το σύμβολο του αντίστοιχου άξονα τονίζεται για διευκρίνηση, δηλ. +X’, +Y’ κτλ. Αυτή η σύμβαση απαλλάσσει τον προγραμματιστή από την ανάγκη προσαρμογής του συστήματος συντεταγμένων στην ιδιαίτερη κατασκευή διαφορετικών μηχανών.

`

Οι κανόνες προσανατολισμού σε μηχανές φρεζαρίσματος, ή διάτρησης, που μοιάζουν κατασκευαστικά με την εργαλειομηχανή που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική είναι οι ακόλουθοι:

- Ο άξονας Z είναι παράλληλος με την κύρια άτρακτο, με θετική κατευθυνση προς τα πάνω
- Ο άξονας X ορίζεται ο άξονας εκείνος με τη μεγαλύτερη διαδρομή (travel distance)
- Ο άξονας Y προκύπτει από τους άλλους 2 μέσω του κανόνα του δεξιού χεριού

Οι εργαλειομηχανές CNC επιτρέπουν τη χρήση των πολικών συντεταγμένων (γωνιακή μέτρηση) ή/και των καρτεσιανών συντεταγμένων (γραμμική μέτρηση) για τον προγραμματισμό τους. Ο τόρνος χρησιμοποιεί το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων για να δείξει τη θέση ή την κίνηση. Στο καρτεσιανό σύστημα, όλες οι θέσεις στον τρισδιάστατο χώρο δίνονται με αποστάσεις από ένα σημείο αναφοράς. Δύο μέθοδοι προγραμματισμού χρησιμοποιούνται σε CNC γλώσσες εντολών για να δείξουν αυτές τις θέσεις ή κινήσεις: απόλυτες και οι βηματικές. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Εξαιτίας αυτού, οι περισσότερες σύγχρονες εργαλειομηχανές CNC μπορούν να προγραμματιστούν σε ένα συνδυασμό των μεθόδων αυτών. Στο απόλυτο μετρητικό σύστημα κάθε σημείο κατά μήκος της διαδρομής του άξονα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη τιμή του σήματος εξόδου αν πρόκειται για αναλογική μέτρηση ή σε συγκεκριμένο αριθμό βημάτων πάνω από τον αριθμό βημάτων αναφοράς ο οποίος αντιστοιχεί στο μηδέν του άξονα, αν πρόκειται για ψηφιακή μέτρηση. Στο βηματικό σύστημα μετριέται η διαφορά του τελικού από το αρχικό σημείο της μέτρησης σε πολλαπλάσια βημάτων (υποδιαιρέσεων της κλίμακας) μέτρησης. Για το συσχετισμό της διαφορικής μέτρησης με κάποιο απόλυτο μέγεθος (συντεταγμένη) υπάρχει κάποιο απόλυτο σημείο αναφοράς στο οποίο εξ ορισμού αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη τιμή μέτρησης. Το σημείο αναφοράς καθορίζεται με μηχανικό, ηλεκτρικό ή μαγνητικό τρόπο.

Το βηματικό σύστημα έχει το μειονέκτημα σε σχέση με το απόλυτο ότι αν δεν περάσει πρώτα ο άξονας από το συγκεκριμένο σημείο αναφοράς δεν μπορεί να ληφθεί οποιαδήποτε μέτρηση. Συνεπώς αν διακοπεί η λειτουργία της μηχανής πρέπει να επιστρέψει ο άξονας στο σημείο αναφοράς και να επαναδιαγράψει την ίδια τροχιά - διαδρομή ώστε να φθάσει στο σημείο όπου ήταν ακριβώς όταν συνέβη η διακοπή και από το οποίο και πέρα θα συνεχίσει. Έτσι τα απόλυτα συστήματα έχουν επικρατήσει.

Το ψευδοαπόλυτο σύστημα συνδυάζει ουσιαστικά μια βηματική κλίμακα χαμηλής ανάλυσης με μια βηματική κλίμακα υψηλής ανάλυσης, συνήθως σε τρόπο ώστε η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων της κλίμακας χαμηλής ανάλυσης να έχει συστηματική απόκλιση μιας υποδιαίρεσης της κλίμακας υψηλής ανάλυσης. Έτσι, σε ενδεχόμενη διακοπή λειτουργίας ο άξονας αρκεί να διατρέξει διάστημα με δύο σημεία της κλίμακας χαμηλής ανάλυσης για να γίνει δυνατός ο υπολογισμός της απόλυτης θέσης του

`

1.5 Ελεγκτές CNC

1.5.1 Ελεγκτές τύπου υλικού και λογισμικού (hardware & software controllers)

Ο ελεγκτής ενός συστήματος αριθμητικού ελέγχου αποτελεί το συνδυασμό των ηλεκτρονικών συσκευών και του λογισμικού που διαχειρίζονται τα σήματα εισόδου και εξόδου, προγραμματίζουν την τροχιά μέσω της συνδυασμένης κίνησης των αξόνων της εργαλειομηχανής και αναλαμβάνουν την εκτέλεση των βοηθητικών εργασιών.

Μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του ‘60 ο αυτόματος έλεγχος των βιομηχανικών μηχανών πραγματοποιούνταν μέσω λογικών διατάξεων ρελέ που διαχειρίζονταν τη ροή των ηλεκτρικών σημάτων. Από τις αρχές του 1970 η ανάπτυξη των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLCs) εισήλθε δυναμικά στο χώρο των βιομηχανικών εφαρμογών αντικαθιστώντας τις παραπάνω διατάξεις.

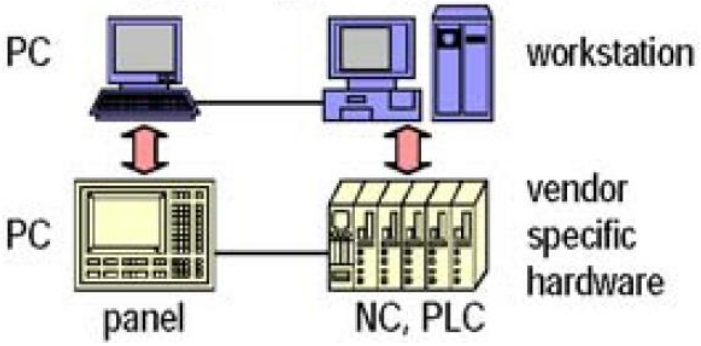
Μια μονάδα PLC ουσιαστικά αποτελεί ένα ψηφιακό υπολογιστή. Διαθέτει ένα σύνολο εισόδων και εξόδων και μια κύρια μονάδα επεξεργασίας που διαχειρίζεται τις εξόδους με τροφοδοσία από τις εισόδους και με βάση τον εσωτερικό προγραμματισμό. Ο προγραμματισμός του γίνεται μέσω κλιμακωτών λογικών διαγραμμάτων (Ladder Logic) που στηρίζονται στη λογική συσχέτιση εισόδων – εξόδων. Παλαιότερες μονάδες απαιτούσαν ειδικό τερματικό για τον προγραμματισμό τους, ενώ σε πιο σύγχρονες γίνεται μέσω υπολογιστή με κατάλληλο λογισμικό και θύρα διασύνδεσης (USB, Ethernet, Serial κτλ).

Εικόνα 7: Παράδειγμα σύγχρονου PLC

Μέχρι και τη δεκαετία του ’90 οι ελεγκτές είχαν τη μορφή ενσωματωμένης στην ηλεκτρονική διάταξη της εργαλειομηχανής συσκευής και διέθεταν προγραμματισμό ο οποίος αφορούσε αποκλειστικά τη λειτουργία του κέντρου (dedicated controller). Οι συσκευές αυτές ήταν είτε μονάδες PLC, είτε οι λεγόμενοι PACs (programmable automation controllers), είτε κάποια άλλη προγραμματιζόμενη ενσωματωμένη συσκευή με που διέθετε μικροεπεξεργαστή για αριθμητικό έλεγχο (NC controller). Οι παραπάνω ελεγκτές αποτελούν τους λεγόμενους *ελεγκτές υλικού* (**hardware/ “hard” controllers**). Από τις αρχές του 1990 άρχισε να διαδίδεται η χρήση *ελεγκτών λογισμικού* (**software/ “soft” controllers**). Οι ελεγκτές αυτού του τύπου έχουν

`

τη μορφή προγράμματος, εγκατεστημένου σε διακριτό επιτραπέζιο Η/Υ διασυνδεδεμένου στη διάταξη της εργαλειομηχανής μέσω κατάλληλου διαύλου επικοινωνίας. Ο Η/Υ διαθέτει ανεξάρτητο λειτουργικό σύστημα και μπορεί παράλληλα με τον έλεγχο του κέντρου κατεργασίας να επιτελεί και άλλες εργασίες, ή να ελέγχει περισσότερες από μια εργαλειομηχανές.



Εικόνα 8: Hardware vs Software CNC controller

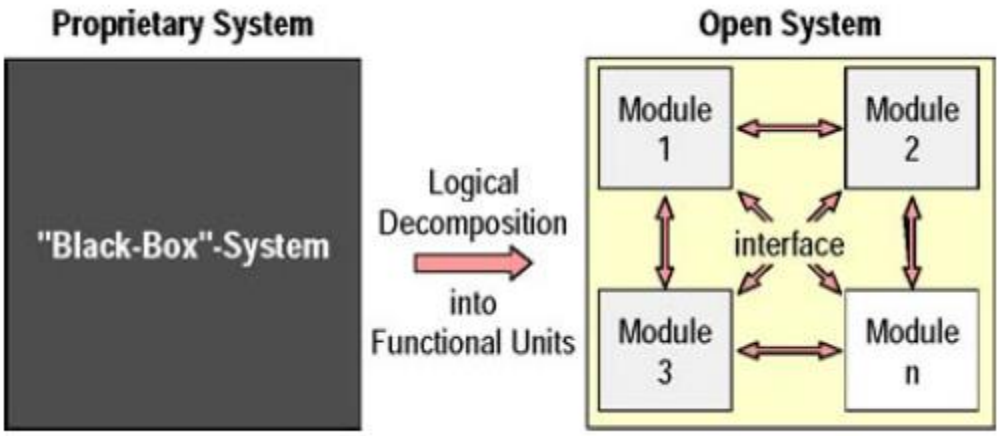
Τις τελευταίες δεκαετίες οι soft CNC controllers έχουν βιώσει μεγάλη διάδοση στα συστήματα αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανών, ιδιαίτερα στον τομέα της χρήσης ελεγκτών ανοικτής αρχιτεκτονικής. Απαιτούν λειτουργικά συστήματα με δυνατότητα διαχείρισης εφαρμογών πραγματικού χρόνου (Real Time Operating Systems – RTOS), δηλαδή της άμεσης επεξεργασίας σημάτων εισόδου και τη χωρίς καθυστέρηση αποστολή των αντίστοιχων σημάτων εξόδου.

1.5.2 Ελεγκτές CNC Λογισμικού Ανοικτής Αρχιτεκτονικής

Τα εμπορικά λογισμικά CNC είναι κλειστά για το χρήστη. Ο μηχανικός τυπικά μπορεί μόνο να προγραμματίσει τη μηχανή για την κατεργασία μέσω της προγραμματιστικής διεπαφής της δίνοντας εντολές χειροκίνητα, ή φορτώνοντας κάποιο αρχείο κατεργασίας. Ο πηγαίος κώδικας που διέπει τη λειτουργία, τη μετάφραση των εντολών, και γενικότερα την εσωτερική δομή του προγράμματος συνήθως δεν είναι διαθέσιμος για επεξεργασία από το χρήστη (back box).

Τα συστήματα ελέγχου ανοικτής αρχιτεκτονικής (Open Architecture Control – OAC Systems) αποτελούν μια τάση των τελευταίων 20 ετών περίπου και περιλαμβάνουν λογισμικό ελέγχου ανοικτού κώδικα. Ο ορισμός ενός ανοικτού ελεγκτή Ο χρήστης έχει πρόσβαση στα δομικά μέρη του προγράμματος και μπορεί να τα μεταβάλλει κατά βούληση προκειμένου να προσαρμόσει το σύστημα στις δικές του παραμέτρους. Κατά συνέπεια τα συστήματα OAC αποσκοπούν στη συμβατότητα με εξαρτήματα hardware διαφορετικών κατασκευαστών οδηγώντας έτσι σε μεγάλη ευελιξία.

`



Εικόνα 9: Διαφορά μεταξύ εμπορικών και ανοικτής αρχιτεκτονικής συστημάτων ελέγχου

Τα ΟΑC χρησιμοποιούνται όλο και ευρύτερα στην προσπάθεια εκσυχρονισμού παλαιών συστημάτων CNC, ή για την προσθήκη δυνατότητας αριθμητικού ελέγχου σε συμβατικές εργαλειομηχανές (εφαρμογές **retrofitting**). Η ιδέα της αναβάθμισης ενός υπάρχοντος συστήματος, ή της μετατροπής ενός συμβατικού κέντρου κατεργασίας σε CNC, με πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες, ταχύτητα και ακρίβεια και ταυτόχρονα με πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με αυτό της αγοράς ενός νέου μηχανήματος του εμπορίου στρέφει όλο και περισσότερους μηχανικούς στη μελέτη των δυνατοτήτων των ελεγκτών ανοικτής αρχιτεκτονικής.

`

1.6 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Καθώς οι ελεγκτές ανοικτής αρχιτεκτονικής κερδίζουν έδαφος στη βιομηχανία του ελέγχου κίνησης, χάρη στην ευελιξία και το εύρος των δυνατοτήτων που προσφέρουν, δημοσιεύονται όλο και περισσότερες μελέτες που αφορούν τόσο την ενσωμάτωσή τους σε πραγματικές διατάξεις κέντρων κατεργασιών, όσο και την ανάπτυξή και την επέκτασή τους.

Ο Gunter Pritschow [1] το 2001 συντόνισε τη συγγραφή μιας μελέτης σχετικά με τις ρίζες, το παρόν και τη μελλοντική πορεία των ανοικτών ελεγκτών. Θεωρεί πως οι ελεγκτές ανοικτής αρχιτεκτονικής αποτελούν το κλειδί για την επίτευξη πλήρως επαναρυθμιζόμενων συστημάτων κατεργασιών. Μιλά για μειωμένα κόστη και αύξηση ευελιξίας στα οποία οδηγεί η ευρεία συμβατότητα υλικού των συστημάτων ΟΑC και τονίζει τα πλεονεκτήματά τους τόσο για το σχεδιαστή και τον ακαδημαϊκό, όσο και για τον τελικό χρήστη. Εισάγει την έννοια του «βαθμού ανοικτότητας» ο οποίος χαρακτηρίζει ένα λογισμικό ελέγχου με βάση την ελευθερία τροποποίησής του και τις δυνατότητες προσαρμογής του σε διαφορετικά περιβάλλοντα λειτουργίας. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη η βασική προϋπόθεση για την ύπαρξη πραγματικά ανοικτών ελεγκτών με ευρεία συμβατότητα υλικού κάθε κατασκευαστή είναι ο κατακερματισμός του συστήματος ελέγχου σε καλά ορισμένους λειτουργικούς σπονδύλους (functional modules) με ξεκάθαρα πρωτόκολλα για τη μεταξύ τους επικοινωνία. Εαν οι διεπαφές τυποποιηθούν σε ένα πρότυπο ευρείας αποδοχής θα εξασφαλιστεί η συμβατότητα ακόμα και σε ετερογενή περιβάλλοντα. Ωστόσο θέτει τον προβληματισμό της ύπαρξης άλυτων ζητημάτων νομικής και τεχνικής φύσης που αφορούν τη χρήση τους. Τα συμπεράσματα της μελέτης εστιάζουν στο γεγονός πως, εφόσον τηρηθούν οι προδιαγραφές και οριστεί ένα διεθνές πρότυπο διεπαφής μεταξύ των δομικών μερών των ανοικτών ελεγκτών, υπάρχει η αισιοδοξία πως στο μέλλον η συμβατότητα θα επιτυγχάνεται απλώς με τη σύνδεση των εξαρτημάτων (plug-n-play).

Οι Won Soo Yun, Byung-Kwon Min και Zbigniew J. Pasek [2] αναλύουν το χάσμα που υπάρχει ακόμα στη σύγχρονη αγορά για την πλήρη ενσωμάτωση των ανοικτών ελεγκτών στη βιομηχανία. Τονίζουν επανειλημμένα, όπως και οι Gunter et al [1] την ανάγκη ανάπτυξης παγκοσμίου ανοικτού προτύπου που θα επιτρέπει τη διασύνδεση κάθε λογισμικού με κάθε υλικό στοιχείο μιας CNC διάταξης. Αναφέρουν τις δυνατότητες που μπορεί ο έλεγχος μέσω PC να δώσει μέσω της χρήσης του διαδικτύου στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των τμημάτων μιας βιομηχανικής μονάδας. Παρουσιάζουν δυο εφαρμογές ανοικτών ελεγκτών τις οποίες έχουν οι ίδιοι αναπτύξει, ένα σύστημα τηλε-επισκόπησης που συλλέγει πληροφορίες για τη λειτουργία της CNC διάταξης μέσω δικτύου και ένα λογισμικό προσομοίωσης που βασίζεται σε ανοικτό κώδικα και μοντελοποιεί τη λειτουργία μιας εργαλειομηχανής εισάγοντας πραγματικά στοιχεία hardware.

Ο Ma et al. [3] παρουσιάζουν την ανάπτυξη ενός συστήματος ανοικτής αρχιτεκτονικής αριμθητικού ελέγχου σε προσωπικό Η/Υ, βάση ανοικτού ελεγκτή ανοικτής σπονδυλωτής (Open Modular Architecture Controller – OMAC). Επιλέγουν hardware και software και μέθοδο υλοποίησης και διερευνούν στατικές μεθόδους μοντελοποίησης του ελεγκτή, ενώ παρουσιάζουν μέσα από διαγράμματα τη δυναμική συμπεριφορά της παραπάνω μοντελοποίησης. Στη συνέχεια εγκαθιστούν μονάδα λογισμικού με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης με στόχο την ανάπτυξη βιβλιοθηκών και πραγματοποιούν δοκιμή του συστήματος ελέγχου σε φρέζα 3 αξόνων κατεργάζοντας δοκιμαστικά κάποια καλούπια πλαστικών εξαρτημάτων. Τα πειραματικά αποτελέσματα της δοκιμής επιβεβαιώνουν την ανοικτότητα του συστήματος

`

που χαρακτηρίζεται από ευελιξία, μεγάλο βαθμό επαναχρησιμοποίησης και αναδιάρθρωσης, φορητότητας, επεκτασιμότητας και κλιμάκωσης, κριτήρια που έχουν τεθεί από την ομάδα του Gunter [1] και χαρακτηρίζουν το βαθμό ανοικτότητας ενός ΟΑC.

Ο Chi Yonglin [4] θίγει το ζήτημα της αξιολόγησης των ανοικτών ελεγκτών. Η ελευθερία που προσφέρουν τα συστήματα ΟΑC έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πλήθους διαφορετικών αρχιτεκτονικών και μεθόδων υλοποίησης. Ο Yonglin, αναγνωρίζοντας τη σημασία της χρήσης ανοικτών ελεγκτών και τη διάδοσή τους σχεδιάζει μια μέθοδο σύγκρισης και αξιολόγησης ελεγκτών ανοικτής αρχιτεκτονικής. Ορίζει πολυδιάστατο χώρο, του οποίου οι διαστάσεις αντιστοιχούν στις απαιτήσεις που καλείται ο ελεγκτής να καλύψει (requirement dimensions) και τις μεθόδους υλοποίησης που είναι διαθέσιμες (architectural dimensions). Θέτει κανόνες (rules) οι οποίοι αντιστοιχούν στις σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων, όπως μια συνάρτηση δίνει συσχέτιση μεταξύ διαστάσεων σε ένα καρτεσιανό τριδιάστατο χώρο. Καταρτίζει πίνακες βαθμολόγησης με βάση τα κριτήρια ανοικτότητας και τις δυνατότητες υλοποίησης και αθροίζοντας μέσω ειδικής εξίσωσης καταλήγει σε συνολική βαθμολογία που χαρακτηρίζει ένα σύστημα ΟΑC. Δοκιμαστικά συγκρίνει τα πρότυπα NGC (Αμερική), OSACA (Ευρώπη), OSEC (Ιαπωνία) και OMAC της Ford και της General Motors και καταλήγει σε ποσοτικά συμπεράσματα.

Ο Zhang et al. [5] στο άρθρο τους αναπτύσουν ένα σύστημα ελέγχου ανοιχτής αρχιτεκτονικής και αναλύουν το υλικό και το λογισμικό μιας πλατφόρμας ενός συστήματος CNC. Στη δομή του hardware δίνεται έμφαση στο δίαυλο επικοινωνίας USB (Universal Serial Bus), ως περιβάλλον και πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ του CNC συστήματος και της εργαλειομηχανής. Στη δομή του λογισμικού το άρθρο [5] ασχολείται αρχικά με το λειτουργικό σύστημα σε εφαρμογές ελέγχου. Οι συγγραφείς επιλέγουν το σύστημα Linux και κατ επέκταση το RT-Linux ως το κατάλληλο λειτουργικό σύστημα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που απαιτεί ο έλεγχος κίνησης. Το άρθρο καταλήγει στην παρουσίαση των λειτουργιών του λογισμικού βάση ιεραρχίας και την περιγραφή των λειτουργιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου.

Οι Yusri Yusof και Kamran Latifa [6] ασχολούνται με τη διεπαφή και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ενός συστήματος CNC και της εργαλειομηχανής που ελέγχει. Ξεκινούν κάνοντας αναφορά στα διεθνή πρότυπα ISO 6983 (G & M Code language) και ISO 14649 (STEP- NC) που ορίζουν και τυποποιούν την ερμηνεία των εντολών ελέγχου της μονάδας CNC από τη μηχανική διάταξη κίνησης. Εκμεταλλευόμενοι τη διαλειτουργικότητα των ανοικτών ελεγκτών και την τάση στροφής σε ελεγκτές λογισμικού εγκατεστημένους σε Η/Υ που δημιουργούν προχωρούν στην ανάπτυξη ενός συστήματος λογισμικού μετάφρασης εντολών συμβατό με τα παραπάνω πρότυπα για χρήση με ανοικτά λογισμικά προγραμματισμένο σε περιβάλλον LabVIEW. Στο άρθρο [6] αναλύεται η εσωτερική δομή του λογισμικού οι ενότητες που το απαρτίζουν και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Ο Ren Qiang [7] στη δημοσίευσή του πραγματοποιεί μια σύγχρονη ανασκόπηση στην τεχνολογία των ανοικτών ελεγκτών. Εστιάζει στη σημασία επιλογής κατάλληλου λειτουργικού συστήματος που να υποστηρίζει λειτουργίες πραγματικού χρόνου. Παραθέτει τα πλεονεκτήματα του RTLinux σε εφαρμογές τέτοιου τύπου και αναλύει τη δομή και την τεχνολογία διεπαφής συστημάτων SERCOS (Serial Real-time Communication Systems) που αποτελούν ευρέως διαδεδομένα συστήματα για τη διεπαφή μεταξύ ψηφιακών ελεγκτών και μονάδων οδήγησης.

`

Οι M. Minhat, V. Vyatkin, X. Xu, S. Wong, Z. Al-Bayaa [8] αναπτύσουν ένα νέο μοντέλο ελεγκτή ανοικτής αρχιτεκτονικής για τον έλεγχο εργαλειομηχανών. Ο ελεγκτής βασίζεται σε πρωτόκολλο επικοινωνίας STEP-NC και IEC 61499 και είναι δομημένος στρωματικά για τη διευκόλυνση της ανεξαρτητοποίησης μεταξύ προσομοίωση και πραγματικής μηχανής, ώστε να επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή του σε διαφορετικές μηχανικές διατάξεις. Στη δημοσίευση παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή του συστήματος και η δοκιμαστική υλοποίησή του σε φρέζα κατακόρυφου άξονα με διασύνδεση μέσω παράλληλης θύρας.

Τα συστήματα ΟΑΕ βασίζονται στη δυνατότητα επιλογής του υλικού εξοπλισμού με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ελευθερία. Για το λόγο αυτό οι ανοικτοί ελεγκτές ανήκουν στην κατηγορία των ελεγκτών λογισμικού και δε συναντώνται προγραμματισμένοι σε αποκλειστικές διατάξεις (dedicated set-ups). Η αντικατάσταση κλειστών ελεγκτών από ανοικτού τύπου εν γένει σημαίνει αυτόματα τη διάδοση των συστημάτων ελέγχου λογισμικού (soft controllers). **Ο Staroveški et al. [9]** παρουσιάζουν μια εφαρμογή ενός ανοικτού ελεγκτή σε λειτουργικό περιβάλλον Linux σε μια μικρή πλατφόρμα φρεζαρίσματος για τεμάχια δοκιμών. Ο ελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο EMC (Enhanced Machine Controller, πρόδρομος του LinuxCNC). Στο άρθρο παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής του EMC, καθώς και η δομή της πλατφόρμας δοκιμών (testbed), και οι λεπτομέρειες της εφαρμογής. Στο τέλος συνοψίζονται τα αποτελέσματα της κοπής τεμαχίων τρισδιάστατης γεωμετρίας και αναγνωρίζεται η ακαδημαϊκή και εκπαιδευτική σημασία του EMC.

Μια ακόμη εφαρμογή ανοικτού ελέγχου με βάση το Linux, χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα του EMC παρουσιάζουν **οι Tie Duan, Ronnie Baroud, Daniel Amato και Albert LaRoe [10].** Η ομάδα των φοιτητών πραγματοποίησε την υλοποίηση του ανοικτού συστήματος ελέγχου σε μια εργαλειομηχανή τόρνευσης (retrofitting), αναβαθμίζοντας τη λειτουργικότητά της και επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής της. Η δημοσίευση περιλαμβάνει αναλυτικά τα στοιχεία της διάταξης, τη συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και τα αποτελέσματα των επιτυχών όπως κρίθηκαν από τους συγγραφείς δοκιμών.

Η πλατφόρμα του EMC, ή EMC2 όπως είχε μετονομασθεί το 2011 μετονομάστηκε εξ ολοκλήρου σε LinuxCNC. **Ο Staroveški et al. [11]** το Δεκέμβριο του 2013 παρουσίασαν μια γενική επισκόπηση της πλατφόρμας του LinuxCNC και των εφαρμογών του στη δημοσίευσή τους με τίτλο: “LinuxCNC – The Enhanced Machine Controller: Application and an Overview”. Η δοκιμή του λογισμικού πραγματοποιήθηκε σε μια παλιά εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος 3 αξόνων. Οι κινήσεις των αξόνων πραγματοποιούνταν από σερβοκινητήρες αναλογικού ελέγχου ταχύτητας ±10V και για τη διασύνδεση της εργαλειομηχανής με τον Η/Υ ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν κάρτες διεπαφής της Mesa Electronics, συγκεκριμένα τις Mesa 5i20 και 5i22. Η παραπάνω εργασία περιλάμβανε αρκετά κοινά σημεία με την παρούσα διπλωματική και κατά τη διάρκεια εκπόνησής της ανατρέχθηκε αρκετές φορές για καθοδήγηση και σύγκριση των διατάξεων.

Οι εργασίες μετασκευής (retrofitting) εργαλειομηχανών με χρήση ανοικτών ελεγκτών βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη σύγχρονη βιομηχανία, διότι περιορίζουν τα κόστη που εναλλακτικά θα αποδίδονταν σε απόκτηση νέου εξοπλισμού και αναβαθμίζουν τον υπάρχοντα εξοπλισμό αυξάνοντας έτσι την αξία του για τον ιδιοκτήτη. **Οι Abhi Chaudhary, Tasmeem Ahmad Khan και Amit Raj Varshney [12]** και οι **Pradeep Kumar Gupta, Kunal Sharma and Vibhu Tripathi [13]** στις αντίστοιχες δημοσιεύσεις τους

`

παρουσιάζουν τα οικονομικά οφέλη των εργασιών retrofitting. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η μετασκευή και αναβάθμιση εργαλειομηχανών οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας των βιομηχανικών μονάδων με τρόπο αποδοτικό από πλευράς κόστους

`

`

2. Στοιχεία Hardware κέντρων κατεργασίας CNC

Στη βιομηχανία συναντώνται πολλών ειδών κέντρα κατεργασίας αριθμητικού ελέγχου που επιτελούν ένα τεράστιο εύρος διαφορετικών κατεργασιών. Οι πλέον συνήθεις εργαλειομηχανές τέτοιου είδους είναι οι CNC τόρνοι και φρέζες, που πραγματοποιούν συμβατική αφαίρεση υλικού με μηχανική κοπή, καθώς και τα CNC κέντρα μη συμβατικής κατεργασίας, ένα εκ των οποίων πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική. Ενώ κάθε είδος εργαλειομηχανής έχει τις ιδιαιτερότητές του, τόσο στη γεωμετρία όσο και στη λειτουργία που επιτελεί τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα CNC σύστημα κατεργασίας είναι κοινά.

Το βασικό χαρακτηριστικό που κάνει ένα σύστημα CNC να ξεχωρίζει από την αντίστοιχη συμβατική εργαλειομηχανή που επιτελεί ίδιου τύπου κατεργασία είναι μια πληθώρα μετρητικών και αισθητηρίων οργάνων, κινητήρων και μηχανισμών που λειτουργούν υπό τις εντολές μιας μονάδας ελέγχου με σκοπό την αυτόματη, γρήγορη και ευέλικτη λειτουργία της.

2.1 Δομικά Μέρη Εργαλειομηχανών

2.1.1 Βάση - Κορμός

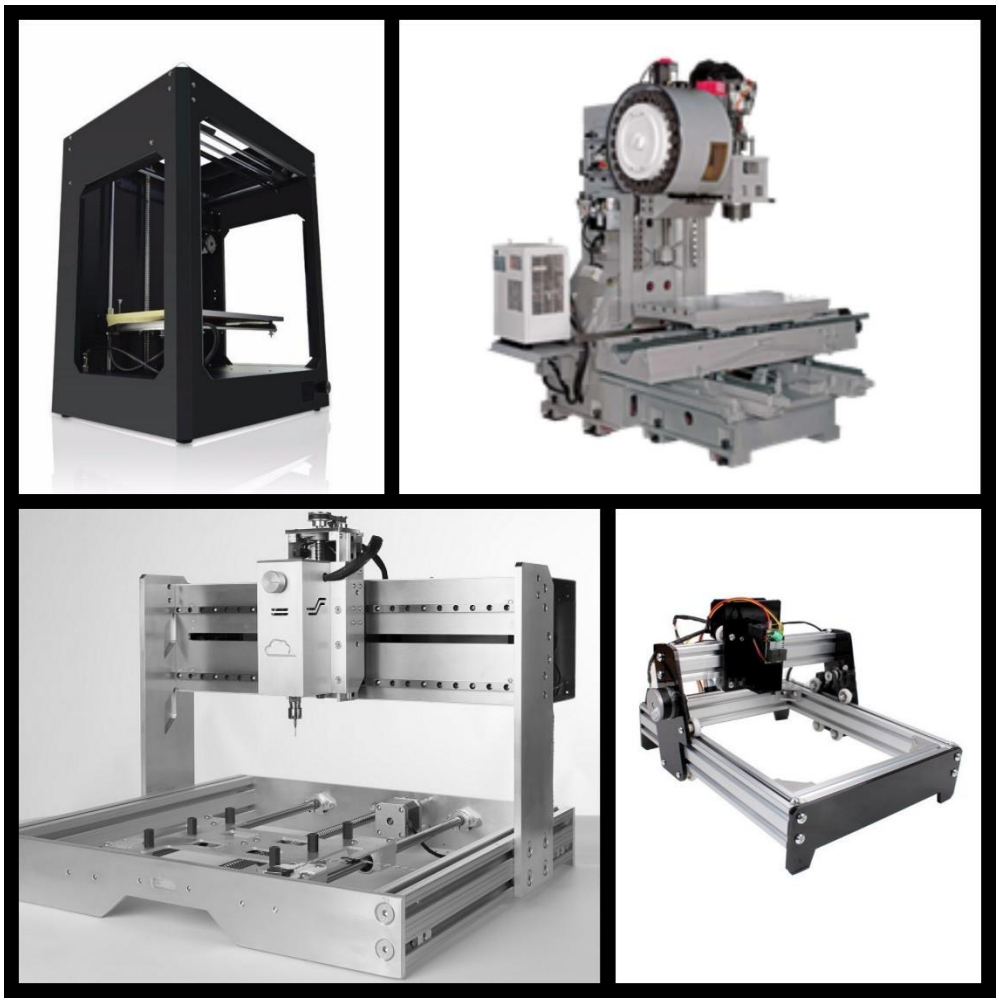
Η βάση, ή ο σκελετός της εργαλειομηχανής εδράζει όλα τα κινητά και σταθερά μέρη της και παραλαμβάνει όλα τα στατικά και δυναμικά φορτία που προκύπτουν από τις κινήσεις των αξόνων και την αλληλεπίδραση της εργαλειομηχανής με το τεμάχιο.

Εικόνα 10: Σκελετός Εργαλειομηχανής από συγκολλητά προφίλ χάλυβα

Αποτελείται κατά βάση από συγκολλητές κοιλοδοκούς, στραντζαριστά προφίλ και κομμάτια δομικού χάλυβα. Παράδειγμα μιας τέτοιας δομής, σε απογυμνωμένη μορφή φαίνεται στην Εικόνα 10.

`

Σε βαρύτερες κατασκευές, ιδίως συμβατικής κοπής όπου τα φορτία της κατεργασίας είναι μεγάλα και απαιτείται αυξημένη στιβαρότητα, η κατασκευή περιλαμβάνει χυτά μέρη μεγαλύτερης μάζας. Αντιθέτως, σε ελαφρές εφαρμογές, όπως pcb milling centers, 3d printers και laser engravers ο σκελετός της μηχανής μπορεί να αποτελείται εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο, ή διαμορφωμένα ελάσματα.



Εικόνα 11: Βαρέα και ελαφρά μηχανήματα cnc

2.1.2 Τράπεζα κατεργασίας

Η τράπεζα ενός κέντρου κατεργασίας είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία προσδένεται το τεμάχιο που υπόκειται κατεργασία και αλληλεπιδρά με τα εργαλεία. Αποτελείται από μια επίπεδη πλάκα μετάλλου, υψηλής επιπεδότητας, με κατάλληλες αυλακώσεις και διαμορφώσεις που επιτρέπουν την πρόσδεση τεμαχίων μέσω εξαρτημάτων συγκράτησης (μέγγενες, πείρους, κοχλίες, νύχια). Οι τράπεζες αυτού του είδους είναι κινούμενες κατά τουλάχιστον έναν άξονα κίνησης της εργαλειομηχανής, τα δε εργαλεία κινούνται κατά τον κατακόρυφο άξονα, καθ' ύψος «στήλης» (column type) που περιλαμβάνεται στη δομή του κορμού της μηχανής.

`

Εικόνα 12: Τράπεζα και πρόσδεση τεμαχίων

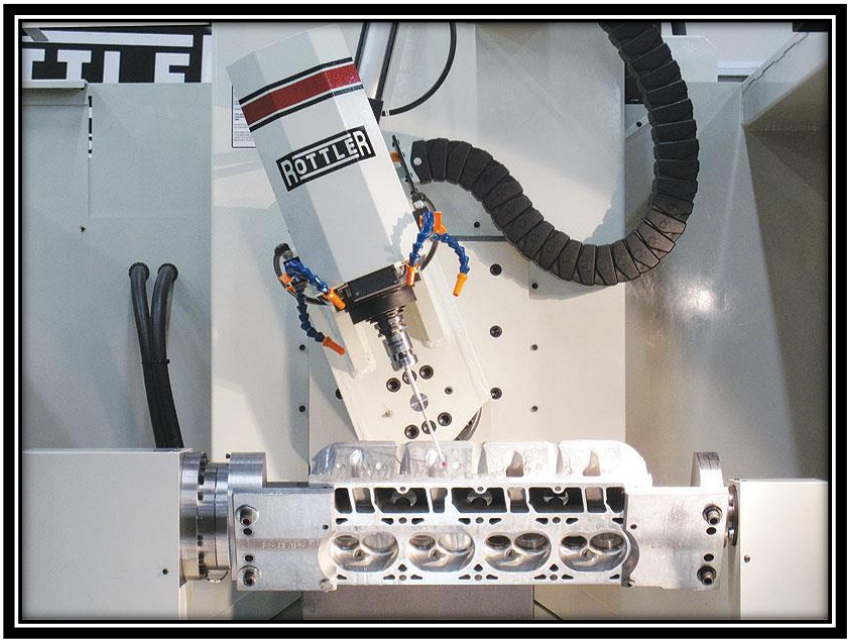
Σε εργαλειομηχανές που κατεργάζονται τεμάχια μεγάλης επιφάνειας, ελάσματα, φύλλα πολυμερών ή ξυλεία, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συνεχής τροφοδοσία υλικού ο παραπάνω σχεδιασμός δεν ευδοκιμεί. Αντίθετα η τράπεζα καταλαμβάνει μεγάλο μέρος της βάσης και είναι σταθερή, ή αποτελείται από μεταφορικό ιμάντα. Η δε πρόσδεση των τεμαχίων γίνεται πλευρικά. Το εκάστοτε εργαλείο κινείται πάνω από την τράπεζα με μηχανισμό «γέφυρας» (gantry type), ο οποίος οφείλει την ονομασία του στην αμφιέριστη στήριξή του εκατέρωθεν της τράπεζας. Ο μηχανισμός αυτός υλοποιείται ευκολότερα σε κέντρα κατεργασιών με μικρά φορτία κατεργασίας, διότι στηρίζεται σε κινητά έδρανα με περιορισμένες αντοχές. Ωστόσο κάνει την εμφάνισή του και σε βαρύτερες κατασκευές, με την προυπόθεση να περιορίζεται ο όγκος και η μάζα των κινούμενων μερών και να χρησιμοποιούνται μεγάλες και στιβαρές εδράσεις.

`

Εικόνα 13: Εργαλειομηχανές τύπου γέφυρας (gantry)

2.1.3 Κεφαλή Επεξεργασίας

Το ίδιο το κέντρο κατεργασίας στηρίζεται στο σκελετό του και το κατεργαζόμενο τεμάχιο προσδένεται στην τράπεζα, όπως έχει προαναφερθεί. Η διεπαφή μεταξύ τους και η επεξεργασία του τεμαχίου γίνεται μέσω της κεφαλής του κέντρου.

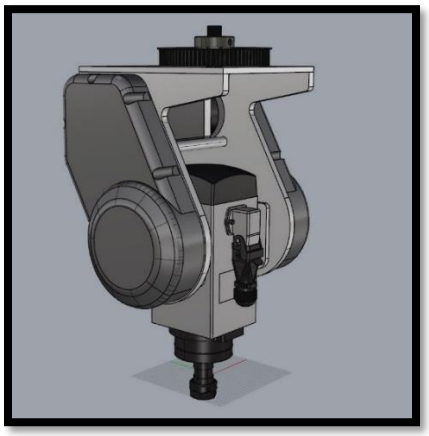


Εικόνα 14: Κεφαλή κατεργασίας κέντρου cnc πολλαπλών αξόνων

Η κεφαλή μιας εργαλειομηχανής αποτελεί το εξάρτημα αυτό πάνω στο οποίο προσδένεται το εργαλείο, είτε πρόκειται για ένας υψηλόστροφος κινητήρας με προσαρτημενο κονδύλι συμβατικής κοπής, είτε

`

πρόκειται για ένα ακροφύσιο μέσα από το οποίο εξέρχεται υγρό υδροκοπής, ή μια εστιασμένη κοπτική δέσμη laser. Ακόμα περιλαμβάνει το σύστημα ψεκασμού ψυκτικού αέρα, ή υγρού. Οι βαθμοί ελευθερίας της κινήσης της κεφαλής διαφέρουν μεταξύ κέντρων κατεργασιών και εξαρτώνται καθαρά από το σχεδιασμό της κατασκευής. Από γραμμική κατακόρυφη κίνηση σε ένα απλό 3-αξονικό κέντρο κατεργασιών κοπής laser, μέχρι συνδυασμό κινήσεων τύπου ρομποτικού βραχίονα σε σύγχρονα κέντρα πολλών αξόνων, όπου σημαντική είναι η πρόσβαση του εργαλείου στο τεμάχιο υπό διαφορετικές γωνίες.



Εικόνα 15: Κεφαλή κοπής με περιστροφικούς βαθμούς ελευθερίας κίνησης

Εργαλειοφορέας

Ο εργαλειοφορέας συνεργάζεται με την κεφαλή για την εναλλαγή εργαλείων. Σε εργαλειομηχανές αφαίρεσης υλικού παίρνει συνήθως μορφή δίσκου πάνω στον οποίο συγκρατώνται όλα τα εργαλεία που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στην κατεργασία, όπως φαίνεται παρακάτω:

Εικόνα 16: Εργαλειοφορέας κέντρου κοπής καθέτου άξονα (VMC)

Σε κάθε στάδιο της κατεργασίας όπου απαιτείται διαφορετικό εργαλείο, ο εργαλειοφορέας περιστρέφεται και τοποθετεί το κατάλληλο εργαλείο στην κεφαλή, αφού παραλάβει το ήδη φορτωμένο.

`

Σε κέντρα μη συμβατικής αφαίρεσης υλικού, όπως είναι οι εργαλειομηχανές laser, τα κέντρα κοπής plasma, ή τα κέντρα υδροκοπής οι εργαλειοφορείς συχνά παραλείπονται διότι η φύση της κατεργασίας είναι τέτοια που δεν απαιτεί εναλλαγή εργαλείων. Ωστόσο, σε σύγχρονα συστήματα μη συμβατικής κοπής μπορεί να παρατηρηθούν εργαλειοφορείς που συγκρατούν εργαλεία μέτρησης (probes) για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των τεμαχίων πάνω στην τράπεζα. Άλλη μια χρήση τους σε υβριδικά κέντρα κατεργασιών είναι ολόκληρη η εναλλαγή κεφαλής για τη μετάβαση σε εντελώς διαφορετικό τύπο κατεργασίας. Για παράδειγμα, από 3d εκτύπωση μετάλλου σε συμβατικής κοπής φρέζα για το φινίρισμα των εκτυπωμένων αντικειμένων.

Εικόνα 17: Κέντρο 3d εκτύπωσης μετάλλου και συμβατικής αποβολής υλικού

2.1.4 Περίβλημα Ασφαλείας

Τελευταίο από τα δομικά χαρακτηριστικά μιας εργαλειομηχανής είναι το περίβλημα μέσα στο οποίο περιορίζεται η κατεργασία. Σε κέντρα επεξεργασίας αποβολής υλικού η ασφάλεια, τόσο των εργαζομένων στο εγγύ περιβάλλον της κατεργασίας, όσο και της ίδιας της κατεργασίας από εξωτερικές αιτίες είναι ζωτικής σημασίας. Οι μηχανικές κινήσεις, τα απόβλιττα από την αποβολή υλικών, οι αυτόματες αλλαγές εργαλείων, η κακή συγκράτηση τεμαχίων, μπορούν να οδηγήσουν σε ατύχημα αναπάντεχα. Για το λόγο αυτό τα κέντρα κατεργασίας πάντοτε περικλείονται από ειδικά κουβούκλια τα οποία ασφαλίζουν κατά την κατεργασία και δεν επιτρέπουν εξωτερική αλληλεπίδραση με τον άμεσο χώρο επεξεργασίας των τεμαχίων.

`

Εικόνα 18: Κουβούκλια προστασίας εργαλειομηχανών

Σε περιπτώσεις μεγάλων βιομηχανικών κέντρων κατεργασίας, ιδιαίτερα στην περίπτωση μηχανών συνεχούς τροφοδοσίας υλικού κατεργασίας με ιμάντα και παλαιότερες εργαλειομηχανές το κουβούκλιο παραλείπεται, ωστόσο είναι απαραίτητο να τηρούνται οι κανονισμοί στο ρουχισμό ασφαλείας του προσωπικού και να οριοθετείται αυστηρά ο χώρος πρόσβασης γύρω από το μηχάνημα για την αποφυγή ατυχημάτων από τα κινούμενα μέρη.

2.1.5 Δοχείο λυμμάτων

Κάτω από την τράπεζα συνήθως υπάρχει ειδικά διαμορφωμένος χώρος στον οποίο συγκεντρώνονται τα απόβλιττα και τα υγρά της κατεργασίας. Το δοχείο πρέπει να είναι προσβάσιμο για την εκκένωσή του, ενώ τα υγρά κοπής πρέπει να κατευθύνονται προς ειδικό φίλτρο για την επαναχρησιμοποίησή τους.

Εικόνα 19: Δοχείο συλλογής υγρού κοπής και αποβλίττων

`

2.2 Μηχανισμοί κίνησης

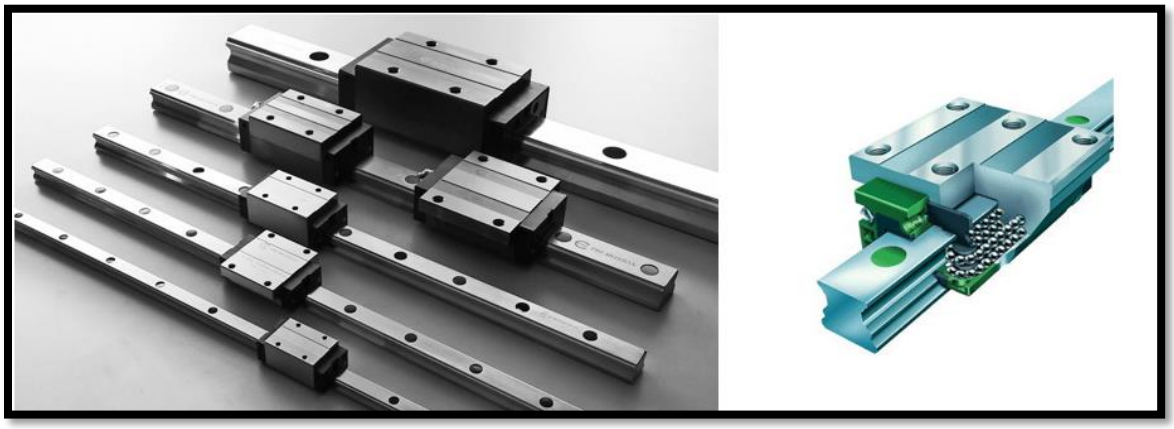
Στους μηχανισμούς κίνησης μιας εργαλειομηχανής περιλαμβάνονται τα εξαρτήματα που εξασφαλίζουν την πρόωση και περιστροφή στους άξονες και εν γένει την αλληλεπίδραση μεταξύ εργαλείου και τεμαχίου.

2.2.1 Οδηγοί

Οι οδηγοί ενός συστήματος κίνησης περιορίζουν τους βαθμούς ελευθερίας επιτρέποντας μόνο κίνηση προς μια κατεύθυνση (άξονα). Οι πλέον συνήθεις οδηγοί που συναντώνται σε εργαλειομηχανές ανήκουν σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες:

Ράγες σταθερού προφίλ

Η ράγες διαθέτουν συγκεκριμένο προφίλ και βρίσκονται στερεωμένες σε σταθερή επιφάνεια, ή επιφάνεια που κινείται μόνο προς κάποια άλλη κατεύθυνση. Το φορείο συνδέεται με το εξάρτημα του οποίου η κίνηση επιδιώκεται. Η γεωμετρία της ράγας συνεργαζόμενη με τη γεωμετρία του φορείου κατευθύνει το μηχανισμό κατά μήκος αυτής. Η διεπαφή μεταξύ της ράγας και του εδράνου του φορείου πραγματοποιείται με ανακυκλοφορούντα σφαιρίδια εντός του φορείου, είτε με τροχούς κύλισης. Λύση που προσφέρει ακρίβεια και αντοχή στην κατασκευή, αλλά δαπανηρή από πλευράς κόστους των εξαρτημάτων.



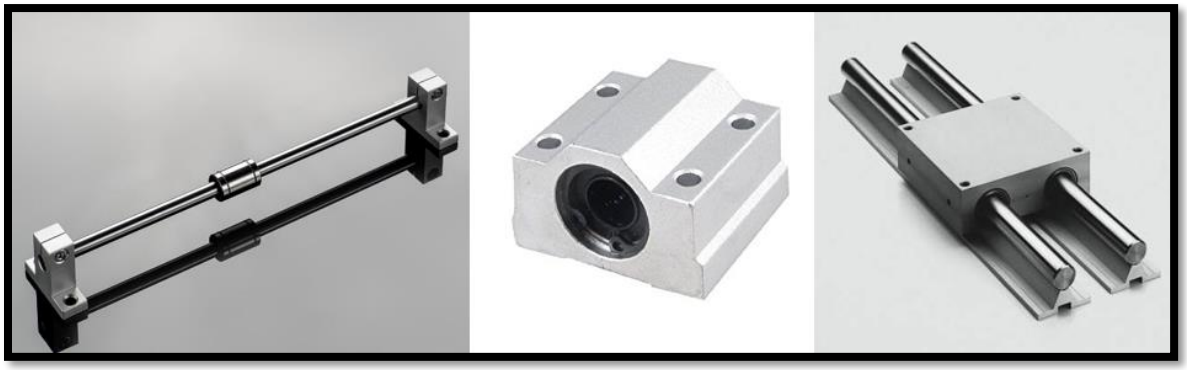
Εικόνα 20: Ράγες σταθερού προφίλ και έδρανο ανακυκλοφορούντων σφαιρίδιων

`

Εικόνα 21: Ράγες σταθερού προφίλ με φορείο με τροχούς κύλισης

Άξονες κυκλικής διατομής

Η λογική είναι η ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, ωστόσο η ράγα αντικαθιστάται από ατσάλινο άξονα κυκλικής διατομής και ως οδηγοί χρησιμοποιούνται ένσφαιρα γραμμικά ρουλεμάν. Δεν προσφέρει την ποιότητα κατασκευής της ράγας, ωστόσο αποτελεί πολύ πιο οικονομική λύση. Σε κατασκευές με χαμηλά φορτία οι άξονες είναι αμφιέριστοι και υπόκεινται σε καμπτικά φορτία κατά το ελεύθερο μήκος τους, ενώ σε εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια και στιβαρότητα χρησιμοποιούνται άξονες πάνω σε βάση που μηδενίζει το ελεύθερο μήκος τους.



Εικόνα 22: Άξονες κυκλικής διατομής και γραμμικά ένσφαιρα έδρανα κύλισης

2.2.2 Κινητήρες πρόωσης

Η κίνηση τόσο στις κύριες ατράκτους, όπου βρίσκονται προσαρμοσμένα τα εργαλεία, όσο και στους άξονες πρόωσης απαιτεί ακρίβεια, ασφάλεια και καλή δυναμική συμπεριφορά σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Ταυτόχρονα είναι σημαντική η ελαχιστοποίηση του θορύβου, της φθοράς, των ταλαντώσεων, των θερμικών φαινομένων, ο περιορισμός του όγκου και η μη αναγκαιότητα συχνής συντήρησης. Οι παραπάνω

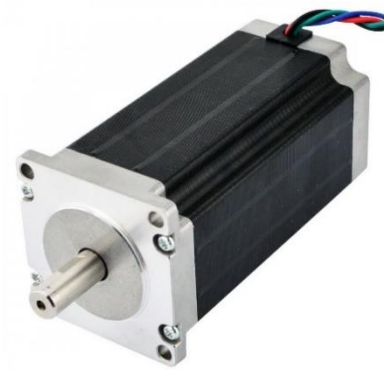
`

απαιτήσεις ικανοποιούνται μέσω σερβομηχανισμών που αναλαμβάνουν τον έλεγχο και την υλοποίηση των κινήσεων.

Τα βασικά στοιχεία που περιλαμβάνει ένας σερβομηχανισμός είναι τα εξής:

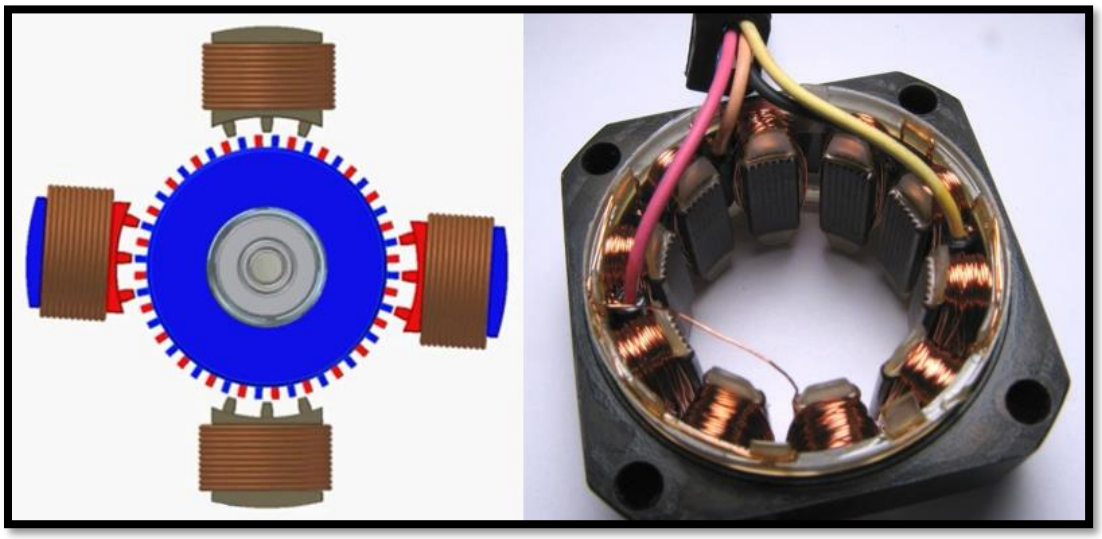
- Ο ίδιος ο κινητήρας. Σχεδόν σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται είτε βηματικοί κινητήρες, είτε σερβοκινητήρες.
- Ενσωματωμένο στον κινητήρα αναλογικό, ή ψηφιακό μετρητικό όργανο στροφών (στους βηματικούς παραλείπεται)
- Ενσωματωμένο στον κινητήρα φρένο (σε πολλές εφαρμογές παραλείπεται και η πέδη γίνεται ηλεκτρονικά)
- Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα.
- Πιθανώς μηχανικός συμπλέκτης
- Πιθανώς μετρητικό σύστημα μετατόπισης, συνήθως συνδεδεμένο πάνω στον άξονα για άμεση, ή έμμεση μέτρηση
- Πιθανώς κιβώτιο ταχυτήτων, ή μειωτήρας

Οι **βηματικοί κινητήρες** διαιρούν μια πλήρη περιστροφή του ρότορά τους σε έναν αριθμό ίσων «βημάτων». Ο στάτοράς τους περιλαμβάνει ένα διακριτό αριθμό οδοντωτών ηλεκτρομαγνητών, τοποθετημένα σε τέτοια διάταξη γύρω από το ρότορα, ο οποίος έχει τη μορφή γραναζιού. Οι ηλεκτρομαγνήτες διεγείρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος. Μόλις ο πρώτος ηλεκτρομαγνήτης διεγερθεί ευθυγραμμίζει το κοντινότερο δόντι του ρότορα με τη γεωμετρία του, προκαλώντας έτσι μια στοιχειώδη περιστροφή κατά μικρή γωνία, το λεγόμενο **βήμα**. Με διαδοχική διέγερση των μαγνητών, οι στοιχειώδεις περιστροφές προστίθενται και συνιστούν την ολοκληρωμένη κίνηση του κινητήρα.



Εικόνα 23: Βηματικός κινητήρας προτύπου NEMA

`



Εικόνα 24: Δρομέας και Στάτης Βηματικού κινητήρα

Εφόσον οι βηματικοί κινητήρες περιστρέφονται κατά ένα βήμα για κάθε παλμό που δέχονται και άρα, θεωρητικά τουλάχιστον δεν απαιτούν ταχύμετρο και ανάδραση για τον έλεγχό τους, ο έλεγχος της θέσης και της ταχύτητας γίνεται απλούστερος, απλά με τον έλεγχοτου αριθμού και του ρυθμού των παλμών. Ο έλεγχος ενός μηχανισμού που κινείται με βηματικό κινητήρα συνεπώς είναι ανοικτού βρόγχου.

Οι βηματικοί κινητήρες είναι πολύ πιο οικονομικοί από τους σερβοκινητήρες, αλλά έχουν αρκετά μειονεκτήματα έναντι αυτών. Η έλλειψη ελέγχου κλειστού βρόγχου τους καθιστά επιρρεπείς σε απώλεια ακρίβειας σε περιπτώσεις μεγάλων φορτίων, όπου παρατηρείται απώλεια βημάτων, ή στη συνάντηση κάποιου απρόβλεπτου εμποδίου κατά την κίνηση. Οι μέγιστες ροπές και επιταχύνσεις που μπορούν ακόμα και οι μεγαλύτεροι βηματικοί να υποστηρίξουν είναι περιορισμένες. Επιπλέον, λόγω έλλειψης επάρκειας ανάλυσης της κίνησης σε αριθμό βημάτων μπορεί να απαιτηθεί η προσθήκη κιβωτίου μετάδοσης.

Οι **σερβοκινητήρες** αποτελούν την καλύτερη λύση τόσο σε ακρίβεια όσο και σε ταχύτητα, αλλά απαιτούν οπωσδήποτε έλεγχο κλειστού βρόγχου και συνήθως κοστίζουν αρκετά περισσότερο από βηματικούς αντιστοίχου μεγέθους. Η ίδια η έννοια του σερβοκινητήρα είναι σύνθετη, καθώς δεν αποτελεί απλώς μια κατηγορία κινητήρων. Είναι ένα συναρμολόγημα ενός κατάλληλου κινητήρα, συνεχούς, ή εναλλασσόμενου ρεύματος, στην άτρακτο του οποίου βρίσκεται προσαρτημένο ένα μετρητικό όργανο, ένας αναλυτής (resolver), ένας κωδικοποιητής (encoder), μια ταχογεννήτρια κ.α. το οποίο τροφοδοτεί τον ελεγκτή σε κάθε στιγμή λειτουργίας με πληροφορίες για την θέση, ή την ταχύτητα της ατράκτου, επιτυγχάνοντας έτσι έλεγχο κλειστού βρόγχου. Ο ελεγκτής με την ανάδραση που λαμβάνει από το μετρητικό όργανο προσαρμόζει το ηλεκτρικό ρεύμα που δέχεται ο σερβοκινητήρας

Εικόνα 25: Σερβοκινητήρας βιομηχανικού τύπου

`

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα σερβοκινητήρα μπορεί να είναι οι ακόλουθοι:

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη
- Σύγχρονοι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος
- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με εξωτερική διέγερση
- Ασύγχρονοι (επαγωγικοί κινητήρες)

Ιδιαίτερα οι δύο τελευταίες κατηγορίες χρησιμοποιούνται για την κίνησης κύριας ατράκτου, όπου απαιτείται συνεχής αλλαγή στροφών κατόπιν υψηλών φορτίων κατεργασίας και πρέπει οπωσδήποτε να περιορίζονται οι ταλαντώσεις και να εξασφαλίζεται αρκετή ισχύς.

2.2.3 Μηχανισμός μετάδοσης Κίνησης

Η ισχύς των κινητήρων, προκειμένου να μετατραπεί σε πρόωση των αξόνων της μηχανής απαιτούν ένα σύνολο εξαρτημάτων.

Κοχλίας κίνησης

Βασικός μηχανισμός για τη μετάδοση της κίνησης είναι ο κοχλίας κίνησης. Η εξαναγκασμένη περιστροφή του από τον κινητήρα αναγκάζει ειδικό περικόχλιο σε γραμμική κίνηση.

Εικόνα 26: Τραπεζοειδής κοχλίας κίνησης με περικόχλιο

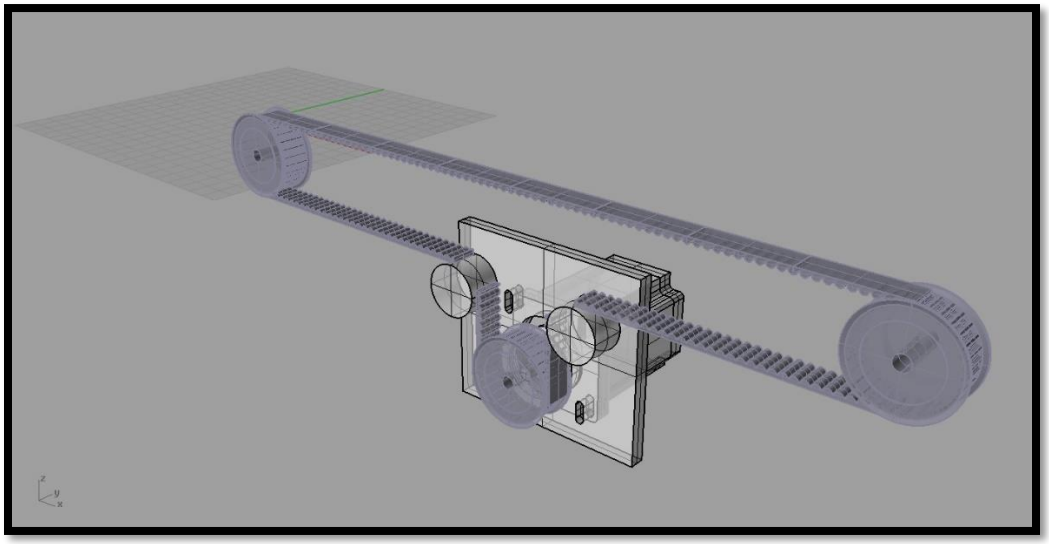
Το σπείρωμα τέτοιων κοχλιών είναι συνήθως κυκλικής διατομής, διότι σε εφαρμογές όπου είναι αναγκαία μηδενική αξονική χάρη μεταξύ του περικοχλίου και του κοχλία παρεμβάλλονται ανακυκλοφορούντα σφαιρίδια τα οποία κυλούν μέσα από τη διατομή και επιτρέπουν τη χωρίς τριβές κίνηση του περικοχλίου με κατάλληλη σύσφιξη.

`

Εικόνα 27: Ένσφαιρο περικόχλιο και κοχλίας κίνησης κυκλικού σπειρώματος

Ιμάντας - Τροχαλία

Σε μερικές περιπτώσεις, έναντι κοχλία κίνησης, κάποια συστήματα πρόωσης χρησιμοποιούν ιμάντες και τροχαλίες. Ο ιμάντας πλεονεκτεί έναντι του κοχλία στην επίτευξη μεγαλύτερων προώσεων, λόγω της διαμέτρου της τροχαλίας.



Εικόνα 28: Σύστημα πρόωσης με τροχαλία και ιμάντα

Οικονομική μέθοδος, ωστόσο ο ιμάντας φθείρεται πολύ γρηγορότερα από τον κοχλία κίνησης και η μεγαλύτερη ταχύτητα και η ελαστικότητα του ιμάντα οδηγεί σε απώλεια ακρίβειας.

Κανόνας – πινιόν

Αξίζει ν αναφερθεί πως σε αρκετές εφαρμογές η πρόωση επιτυγχάνεται και με τη χρήση μηχανισμού κανόνα πινιόν.

`

Εικόνα 29: Σύστημα πρόωσης με κανόνα και πινιόν

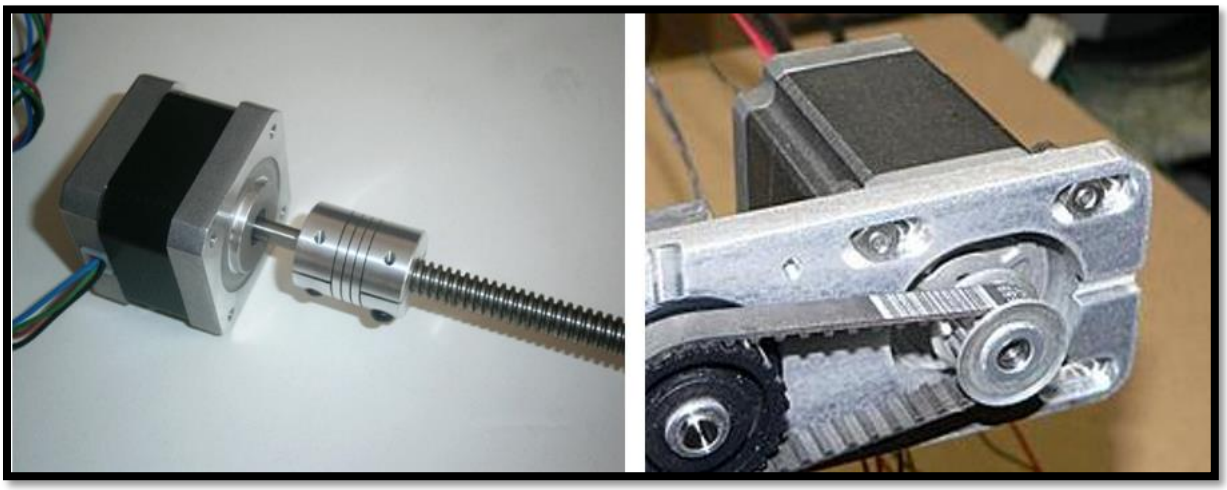
Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να εξασφαλίσει ταχύτητα και στιβαρότητα. Σε εφαρμογές όπου ο άξονας διανύει μεγάλες αποστάσεις διαδρομής ο κοχλίας κίνησης παραμορφώνεται εξ αιτίας των καμπτικών φορτίων και ταλαντώνεται έντονα. Τα μειονεκτήματα αυτά δεν πλήττουν τον κανόνα, καθώς είναι στερεωμένος κατά μήκος της διαδρομής σε πολλά σημεία και όχι αμφιέριστος, οδηγώντας έτσι σε σταθερότερες διατάξεις με λιγότερο θόρυβο. Το συνολικό κόστος έναντι ενός μεγάλου μήκους κοχλία κίνησης είναι αισθητά χαμηλότερο. Ωστόσο η ακρίβεια είναι περιορισμένη και η διάταξη απαιτεί κινούμενο κινητήρα προσαρμοσμένο στο πινιόν.

Διασύνδεση κινητήρα (coupling) με το μηχανισμό κίνησης

Για τη μετάδοση της ισχύος από την άτρακτο του κινητήρα στον κοχλία κίνησης, την τροχαλία, ή το πινιόν αντίστοιχα χρησιμοποιούνται μηχανικές συνδέσεις, τα λεγόμενα κόπλερ. Τα κόπλερ μπορεί να είναι απλοί συνδετικοί κύλινδροι που συσφίγγουν με πλευρικό παρέμβυσμα σκουληκόβιδας, ή και πιο σύνθετα εξαρτήματα τα οποία να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν και μηχανική αποσύμπλεξη σε περίπτωση αυξημένων πέρα από τα όρια φορτίων στον άξονα κίνησης.

Σε περιπτώσεις όπου ο κινητήρας δεν μπορεί κατασκευαστικά να τοποθετηθεί στο κατάλληλο σημείο για άμεση σύνδεση με το μηχανισμό κίνησης χρησιμοποιείται τροχαλία με ιμάντα χρονισμού, ή ζεύγος οδοντωτών τροχών.

`



Εικόνα 30: (Αριστερά) Σύνδεση με Κόπλερ, (Δεξιά) Μεταφορά ισχύος με ιμάντα

2.3 Hardware Συστήματος Ελέγχου

Το επόμενο κομβικό μέρος μιας διάταξης CNC είναι το σύνολο των εξαρτημάτων που διαχειρίζονται τα σήματα και ελέγχουν την κίνηση. Ο γενικός έλεγχος όλων των λειτουργιών και των κινήσεων γίνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, ενσωματωμένου, ή συνδεδεμένου με την εργαλειομηχανή (soft or PC-based controller), ή με κατάλληλα προγραμματισμένο ελεγκτή, PLC, PAC, ή άλλους αποκλειστικούς ελεγκτές (dedicated hard controllers).

Εικόνα 31: Κονσόλα ενσωματωμένου ελεγκτή ελέγχου εργαλειομηχανής

`

Εικόνα 32: Η/Υ ελέγχου εργαλειομηχανής

2.3.1 Οδηγοί – Ενισχυτές Βηματικών κινητήρων & Σερβοκινητήρων

Τόσο οι βηματικοί κινητήρες, όσο και οι σερβοκινητήρες για τη λειτουργία τους χρειάζονται ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία λαμβάνοντας τις εντολές του ελεκγτή, τις προωθούν και τις μετασχηματίζουν κατάλληλα για την επίτευξη της επιθυμητής κίνησης.

Οι βηματικοί κινητήρες συνδέονται με τους οδηγούς τους (drivers ή drive units / drives). Οι drivers δέχονται ως είσοδο τα σήματα (signals) από το σύστημα ελέγχου και προσαρμόζουν τους παλμούς που στέλνουν ως έξοδο απευθείας στο βηματικό κινητήρα. Ο έλεγχος όπως προαναφέρθηκε είναι ανοικτού βρόγχου, επομένως δεν υπάρχει κάποια ανάδραση από τον κινητήρα, εκτός από ειδικές περιπτώσεις υβριδικών βηματικών κινητήρων που περιλαμβάνουν μετρητικά όργανα για έλεγχο κλειστού βρόγχου.

Εικόνα 33: Οδηγός – Drive βηματικού κινητήρα

`

Οι οδηγοί των σερβοκινητήρων έχουν συχνά την ονομασία σερβο-ενισχυτές (servo – amplifiers) διότι παραλαμβάνουν σήματα χαμηλής ισχύος από το σύστημα ελέγχου και το ενισχύουν σε σήμα ισχύος της τάξης μεγέθους λειτουργίας του κινητήρα. Παρ ό,τι ενίσχυση πραγματοποιείται και στα drives των βηματικών κινητήρων η ονομασία αυτή επικρατεί κυρίως σε μηχανισμούς σερβοκινητήρων. Η λογική είναι η ίδια με τους βηματικούς κινητήρες με μόνη εξαίρεση ότι ο σερβοενισχυτής πρέπει να μπορεί να παραλαμβάνει σήμα ανάδρασης από το μετρητικό όργανο του σερβοκινητήρα και να το μεταδίδει στον ελεγκτή.

Εικόνα 34: Σερβοκινητήρας μαζί με τη μονάδα οδήγησής του

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ενισχυτές έχουν ενσωματωμένο πάνελ, ή οθόνη ένδειξης που δίνει πληροφορίες για τη θέση, την ταχύτητα και τη γενικότερη κατάσταση του κινητήρα που οδηγεί. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης, ή ο συντηρητής μπορεί ανά πάσα στιγμή να έχει πλήρη εικόνα για κάθε κινητήρα. Σε εφαρμογές σερβοκινητήρων με ενσωματωμένο φρένο η διαχείριση της εμπλοκής και απεμπλοκής του φρένου γίνεται εξίσου μέσω του ενισχυτή.

Σε σύγχρονα συστήματα ελέγχου, οι ενισχυτές τείνουν να συγχωνευθούν με το σύστημα ελέγχου. Ο στόχος είναι η ύπαρξη ενός κεντρικού υπολογιστή στον οποίο θα πραγματοποιούνται απευθείας όλες οι συνδέσεις, οδηγώντας έτσι στη μείωση του όγκου και της πολυπλοκότητας εξ αιτίας του πλήθους των εξαρτημάτων.

2.4 Μετρητικά όργανα και αισθητήρες

Για την επίτευξη οποιουδήποτε ελέγχου σε ένα αριθμητικά ελεγχόμενο κέντρο κατεργασιών είναι αναγκαία η γνώση της θέσης του εργαλείου σε σχέση με το τεμάχιο σε κάθε στιγμή. Αυτή επιτυγχάνεται μέσα από μια σειρά μετρητικών συστημάτων σε κάθε άξονα, ή άτρακτο της μηχανής, ενώ συμπληρώνεται από αισθητήρια όργανα που καλύπτουν άλλες μετρήσεις πέραν της θέσης, όπως την ταχύτητα, τη δύναμη κτλ.

Η μέτρηση θέσης γίνεται είτε **άμεσα**, είτε **έμμεσα**. Τα **άμεσα** συστήματα είναι προσαρμοσμένα πάνω στον άξονα κίνησης και μετράνε τη μετατόπισή του. Παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί η

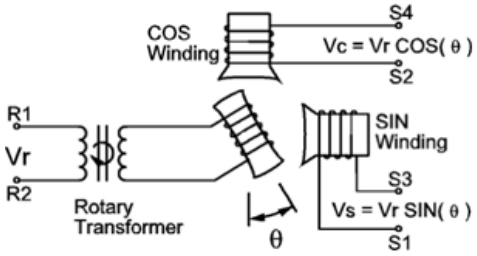
`

κωδικοποιημένη ταινία επί γραμμικού άξονα. **Έμμεσα** είναι τα συστήματα που μετασχηματίζουν τη γραμμική κίνηση του άξονα σε περιστροφική, είτε εκμεταλλεύονται την ήδη περιστροφική κίνηση του μηχανισμού μετάδοσης (πχ. του κοχλία κίνησης). Ενώ τα άμεσα συστήματα διέπονται από τεράστια ακρίβεια, καθώς δεν πλήττωνται από σφάλματα λόγω μετάδοσης κίνησης, ή χάρης μεταξύ κοχλία και περικόχλιου κίνησης, είναι ακριβότερα και προσθέτουν όγκο στην κατασκευή.

Η μέτρηση της θέσης μπορεί να γίνει επίσης **αναλογικά**, ή και **ψηφιακά**. Η διάκριση μεταξύ των δυο επιλογών δεν μπορεί να γίνει πάντα, καθώς η έξοδος ενός αναλογικού σήματος μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό παλμό μέσω μετατροπέα ή αντίστροφα, ανάλογα με τον τρόπο ανάγνωσης και επεξεργασίας του.

2.4.1 Αναλυτής - Resolver

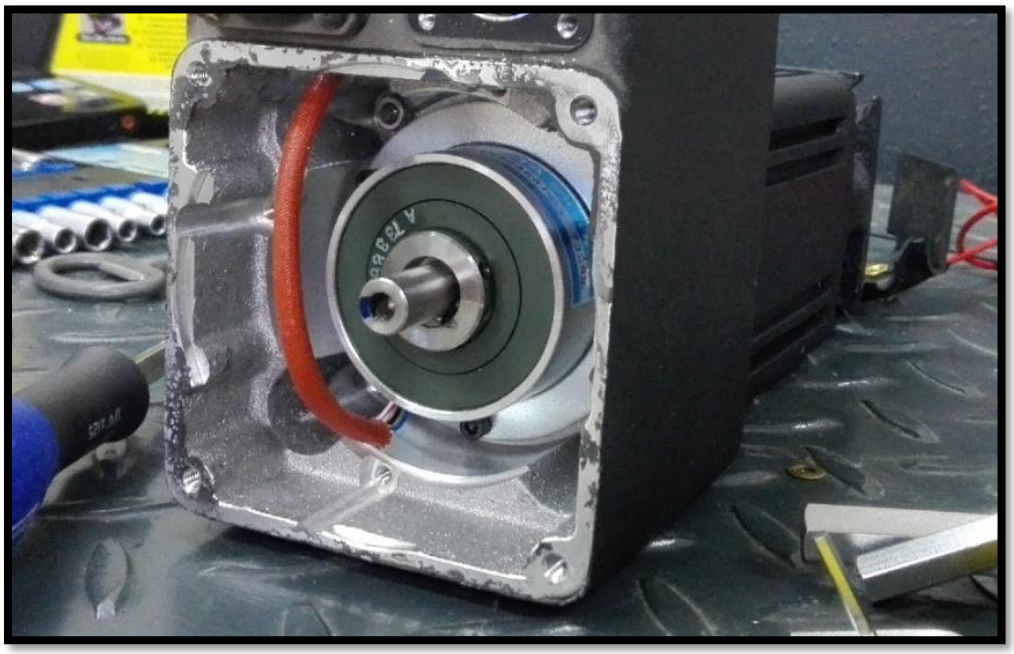
Αναλογική μέτρηση θέσης γίνεται μέσω ενός **αναλυτή (resolver)**. Ο αναλυτής είναι ηλεκτρική μηχανή, που αποτελείται από 2 τυλίγματα υπό γωνία π/2 στο στάτη και ένα τύλιγμα στο δρομέα της, ή και αντίστροφα. Ο δρομέας τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση και με την περιστροφή του επάγει εναλλασσόμενο ρεύμα στα δυο τυλίγματα του στάτη.



Εικόνα 35: Σχέδιο αρχής λειτουργίας resolver

Το πλάτος των δυο σημάτων τάσης μεταβάλλεται περιοδικά με το ημίτονο και το συνημίτονο αντίστοιχα της γωνίας περιστροφής, ενώ η συχνότητα του επαγόμενου ρεύματος δε διαφέρει από τη συχνότητα τροφοδοσίας του δρομέα. Το σήμα δηλαδή αναλύεται σε δυο συνιστώσες. Η γωνία θ του παραπάνω σχήματος μπορεί να προσδιοριστεί από το λόγο των δυο αυτών συνιστωσών.

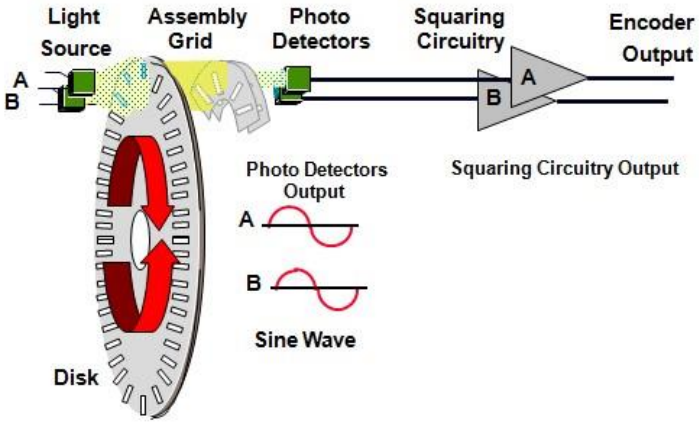
`



Εικόνα 36: Resolver προσαρμοσμένος στην άτρακτο σερβοκινητήρα

2.4.2 Κωδικοποιητής - Encoder

Η ψηφιακή μέτρηση σήματος γίνεται με κωδικοποιητές (encoders). Οι encoders και συγκεκριμένα οι βηματικοί περιστροφικοί οπτικοί encoders που χρησιμοποιούνται κατά πλειοψηφία σε σερβομηχανισμούς αποτελούνται από ένα συναρμολόγημα περιστροφικών κλιμάκων, που παρεμβάλονται μεταξύ πηγής φωτός και φωτοδιόδου.



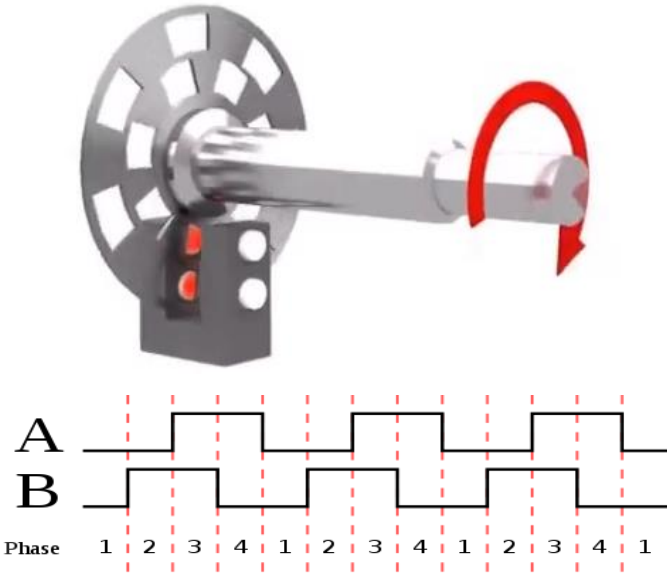
Εικόνα 37 Σχέδιο αρχής λειτουργίας περιστροφικού encoder

`

Η παρεμβολή των κινούμενων κλιμάκων δημιουργεί ημιτονοειδή σήματα, τα οποία μετατρέπονται από το ηλεκτρονικό σύστημα σε τετραγωνικούς παλμούς.

Η ανάγνωση και η καταμέτρηση του πλήθους και της συχνότητας των παλμών μας δίνει την πληροφορία της ταχύτητας περιστροφής (rpm).

Η υπέρθεση δύο παλμών διαφοράς φάσης 90° μας πληροφορεί για τη φορά περιστροφής.



Εικόνα 38: Περιστροφικός βηματικός encoder δύο παλμών διαφοράς φάσης & Τετραγωνικοί παλμοί περιστροφικού encoder

Συχνά τους παλμούς A και B συμπληρώνει ο παλμός-δείκτης Z (Zero marker). Ο παλμός αυτός προκύπτει μια φορά σε κάθε πλήρη περιστροφή της ατράκτου του κινητήρα και χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της καταμέτρησης των παλμών A και B και την ακριβή τοποθέτηση του άξονα στην αρχή του μηδενικού του σημείου.

Η πυκνότητα της κλίμακας του encoder δίνει το πλήθος παλμών ανά περιστροφή και την ακρίβεια με την οποία ο σερβομηχανισμός ελέγχει την κίνηση. Για παράδειγμα, 3072 παλμοί/περιστροφή προσδίδουν ακρίβεια ίση με 0.117◦ η οποία πολλαπλασιαζόμενη με το βήμα του κοχλία κίνησης, ή τη σχέση μετάδοσης του ιμάντα δίνει την τελική ακρίβεια της γραμμικής κίνησης του σερβομηχανισμού.

Αισθητήρες ταχύτητας

Εκτός από αισθητήρες θέσης-μετατόπισης, ευρέως χρησιμοποιούμενοι είναι οι αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας. Ταχύμετρα, ή ταχογεννήτριες, μετρούν την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η μέτρηση μέσω ολοκλήρωσης μπορεί να οδηγήσει στη μετατόπιση και αντίστροφα, όπου χρειάζεται έλεγχος ταχύτητας, μέσω κυκλώματος, ή λογισμικού παραγώγισης προκύπτει η ταχύτητα κάθε στιγμή.

`

Εναλλακτικοί Αισθητήρες θέσης

Η μέτρηση της θέσης μπορεί να πργματοποιηθεί και μέσω μετασχηματιστών LVDT, αλλά για μικρές αποστάσεις. Χρησιμοποιείται σε μικρές εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη ανάλυση.

Αισθητήρες θερμοκρασίας

Η χρήση θερμοστοιχείων και θερμίστορ είναι συνήθης για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία της εργαλειομηχανής. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταφράζεται σε τάση, ή διαφορά στην αντίσταση. Είναι σημαντικός ο έλεγχος της θερμοκρασίας, καθώς οι διαστολές που μπορεί να παρουσιαστούν στους μηχανισμούς του κέντρου κατεργασιών μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια ακρίβειας, ή καταστροφή υλικού.

Αισθητήρες δύναμης

Χρησιμοποιούνται καθαρά για την προστασία της μηχανής, συνήθως παραλείπονται και η δύναμη μετράται έμμεσα

2.4.3 Διακόπτες Οριακοί – Αρχικοποίησης

Σε κάθε άξονα πρόωσης υπάρχουν πάντα διακόπτες που σηματοδοτούν τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να κινηθεί το σύστημα επί το συγκεκριμένο άξονα. Οι διακόπτες βρίσκονται τοποθετημένοι κατάλληλα ώστε όταν τα κινούμενα μέρη τείνουν να βγουν εκτός της επιτρεπόμενης περιοχής ο διακόπτης ενεργοποιείται και στέλνει εντολή στον ελεγκτή για διακοπή της κίνησης.

Εικόνα 39: Τερματικός Διακόπτης άξονα κίνησης

Μια συνήθης διάταξη σε μια βαθμίδα (άξονα) πρόωσης περιλαμβάνει 3 διακόπτες. Δυο οριακούς (limit switches), οι οποίοι επιτελούν ακριβώς την παραπάνω λειτουργία και ένα διακόπτη αρχικοποίησης (home switch) ο οποίος χρησιμοποιείται με παρόμοιο τρόπο όταν η μηχανή αναζητά τις αρχές του συστήματος συντεταγμένων της. Σε πολλά κέντρα κατεργασιών ο διακόπτης αυτός παραλείπεται και η λειτουργία του επιτελείται από έναν από τους δυο οριακούς.

`

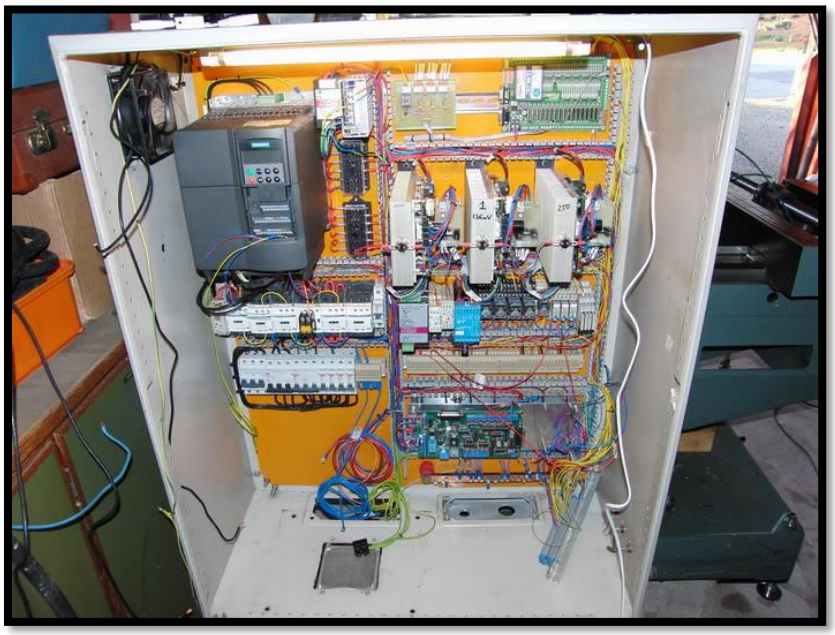
2.5 Βοηθητικά συστήματα

Για τη λειτουργία μιας μηχανής απαιτούνται συχνά βοηθητικά κυκλώματα διαχείρισης υγρών και αέρα. Μια εργαλειομηχανή laser χρειάζεται κυκλοφορία αέρα προστασίας της δέσμης και κυκλοφορία υγρού ψύξης για το θάλαμο παραγωγής της δέσμης αντίστοιχα. Ομοίως σε ένα κέντρο υδροκοπής και γενικώς σε πολλές εργαλειομηχανές χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας για μικρές on-off κινήσεις, συγκράτηση εργαλείων και ψύξη. Επομένως, αντλίες και συμπιεστές συναντώνται σε κάθε κέντρο κατεργασιών CNC.

2.6 Ηλεκτρολογικό υλικό

Όντας πολύπλοκα ηλεκτρομηχανικά συστήματα, τα κέντρα κατεργασίας CNC διαθέτουν ηλεκτρολογικό φοριαμό, μια μεγαλύτερη έκδοση ηλεκτρολογικού πίνακα που περιλαμβάνει όλα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα της εργαλειομηχανής. Στο φοριαμό περιλαμβάνονται:

- Η κεντρική τροφοδοσία ισχύος της μηχανής
- Ασφάλειες, Διακόπτες και Ρελέ προστασίας
- Μετασχηματιστές της παροχής του δικτύου, για όποιες εφαρμογές την απαιτούν
- Οδηγούς - Ενισχυτές Κινητήρων
- Το hardware του συστήματος ελέγχου
- Απαραίτητα εξαρτήματα για τα επι μέρους στοιχεία του κέντρου (πχ. Ηλεκτρολογικά στοιχεία του συστήματος παραγωγής της δέσμης laser)



Εικόνα 40: Ηλεκτρολογικός φοριαμός μικρής εργαλειομηχανής CNC

`

3. Κέντρα Κατεργασιών δέσμης laser

3.1 Κατεργασίες με δέσμη υψηλής ενέργειας

Οι κατεργασίες αυτές είναι μη συμβατικές καθώς αποτελούν υποκατηγορία των θερμοηλεκτρικών κατεργασιών (με εξαίρεση την υδροκοπή). Χρησιμοποιούν μια εστιασμένη δέσμη, φωτός, ηλεκτρονίων κτλ. υψηλής πυκνότητας ενέργειας η οποία προσπίπτει στο κατεργαζόμενο τεμάχιο και προκαλεί την επεξεργασία του (αφαίρεση υλικού, επιφανειακή κατεργασία, συγκόλληση κ.α.). Στις κατεργασίες αυτές ανήκουν:

- Η κατεργασία με δέσμη laser (laser beam machining, LBM)
- Η κατεργασία με δέσμη πλάσματος (plasma beam machining, PBM)
- Η κατεργασία με δέσμη ηλεκτρονίων (electron beam machining, EBM)
- Η κατεργασία υδροκοπής (waterjet machining)

Συνοπτικά, οι αρχές που διέπουν κάθε μια από τις παραπάνω κατεργασίες παρατίθενται παρακάτω:

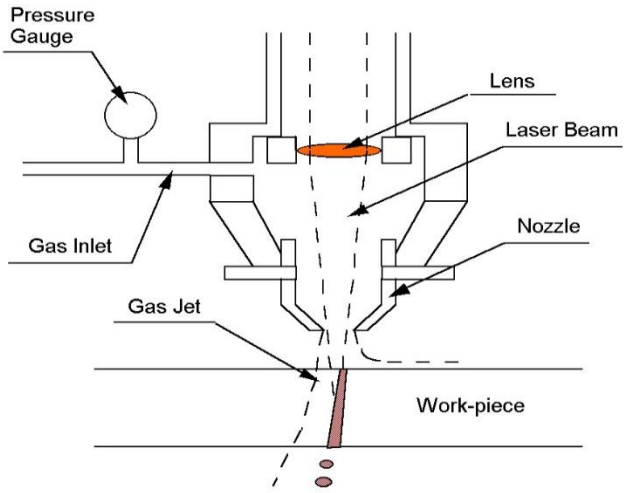
Κατεργασία με δέσμη laser

Ο όρος laser αποτελεί ακρώνυμο του Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Η εκπομπή laser είναι μια πυκνή δέσμη παραλλήλων και εν φάσει ακτίνων με εννιαίο μήκος κύμματος σε ορατές ή υπέρυθρες συχνότητες.

Η συγκεντρωμένη και προσανατολισμένη δέσμη μπορεί να εστιασθεί από έναν απλό φακό παρέχοντας έτσι μια πολύ μεγάλη πυκνότητα ενέργειας, τάξης μεγέθους των MW/mm2.

Μια προσπίπτουσα σε υλικό εστιασμένη δέσμη laser χωρίζεται σε 3 μέρη, το ανακλώμενο μέρος της, το απορροφώμενο και το διερχόμενο (σε αδιαφανή υλικά το τρίτο μέρος απουσιάζει).

Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα όπως η ακτινοβολία Laser προσπίπτει στην επιφάνεια ενός μεταλλικού υλικού αρχίζει μια έντονη κίνηση ηλεκτρονίων της επιφάνειας του υλικού εξ αιτίας της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου. Από το ρεύμα που δημιουργείται και λόγω πεπερασμένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υλικού εμφανίζεται το φαινόμενο Joule με αποτέλεσμα της αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών στοιβάδων του.



Εικόνα 41: Αρχή κοπής με δέσμη laser

Η συνεχής αυτή αύξηση της θερμοκρασίας υπό την επίδραση ακτινοβολίας οδηγεί στην τήξη του υλικού στην περιοχή πρόσπτωσης. Η τήξη μειώνει την αγωγιμότητα του υλικού και ταυτόχρονα οδηγεί σε

`

αύξηση της απορροφητικότητάς του. Εαν η θερμοκρασία ανέβει σε ακόμα υψηλότερα επίπεδα λόγω εντονότερης ακτινοβολίας παρατηρείται εξάτμιση και απομάκρυνση του υλικού.

Εκμεταλλευόμενη τις παραπάνω επιδράσεις της ακτινοβολίας laser στα υλικά, η βιομηχανία έχει καθιερώσει μεθόδους κατεργασίας υλικών με βάση τη δέσμη laser. Συγκεκριμένα η ακτινοβολία χρησιμοποιείται για:

- Κοπή
- Συγκόλληση
- Επιφανειακή κατεργασία
- Επίστρωση
- Φωτολιθογραφία
- 3D printing

Τα κέντρα κατεργασιών που χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο αποτελούνται από 3 έως 5 άξονες συνήθως, ενώ είναι συνηθισμένη και η ενσωμάτωση μονάδων παραγωγής και εστίασης δέσμης laser σε ρομποτικούς βραχίονες, για συγκόλληση, ή και αποβολή υλικού. Αναλυτικότερη περιγραφή και φωτογραφικό υλικό για τα κέντρα κατεργασιών με δέσμη laser θα παρατεθούν παρακάτω.

Κατεργασία με δέσμη πλάσματος

Η κατεργασία αυτή χρησιμοποιείται για κοπή, διάτρηση και συγκόλληση μεταλλικών, αγώγιμων υλικών. Μια δέσμη συμπιεσμένου αερίου εκτοξεύεται από συγκλίνον ακροφύσιο προς το έλασμα προς κατεργασία. Ταυτόχρονα με τη σύνδεση ηλεκτροδίων μεταξύ του μηχανισμού του ακροφυσίου και του τεμαχίου σχηματίζεται ηλεκτρικό τόξο το οποίο ιονίζει και μετατρέπει τμήμα του αερίου σε πλάσμα. Η θερμότητα του πλάσματος προκαλεί απότομη και τοπική τήξη του τεμαχίου, ενώ ταυτόχρονα η μεγάλη ταχύτητα εξόδου της ροής από το ακροφύσιο απομακρύνει το τηγμένο υλικό από την περιοχή της κοπής.

Εικόνα 42: CNC Κοπή μετάλλων με δέσμη plasma

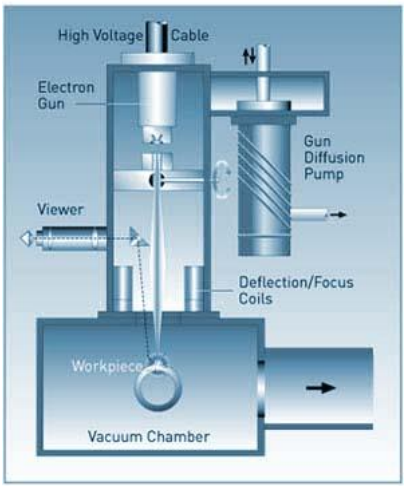
`

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα σε CNC κέντρα κατεργασιών 3 αξόνων, τύπου γέφυρας, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα για 2D κοπές ελασμάτων καλής ποιότητας. Με κατάλληλο έλεγχο, όπως και η δέσμη του laser, έτσι και η δέσμη πλάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κατεργασίες συγκόλλησης.

Εικόνα 43: CNC Εργαλειομηχανή κοπής Plasma τύπου γέφυρας (gantry type)

Κατεργασία με δέσμη ηλεκτρονίων (EBM)

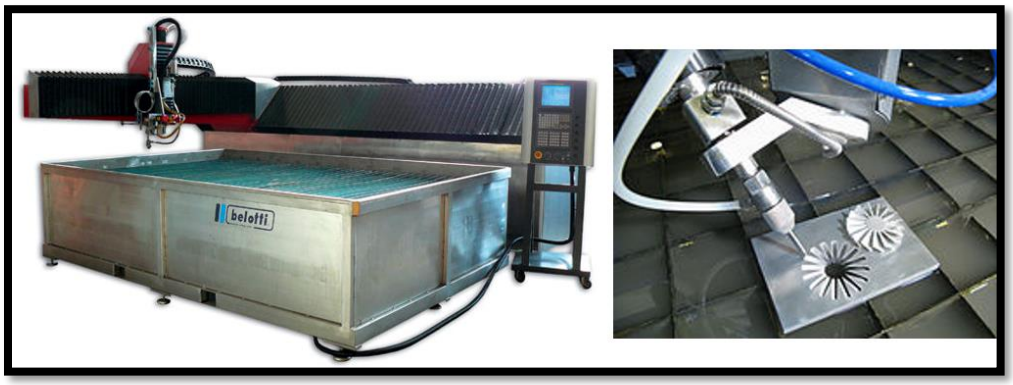
Η κατεργασία αυτή χρησιμοποιεί μια συμπυκνωμένη δέσμη επιταχυνόμενων ηλεκτρονίων, την οποία η μηχανή κατεργασίας κατευθύνει προς το τεμάχιο. Η δέσμη προσπίπτει στην επιφάνεια του τεμαχίου και προκαλεί εξάτμιση του υλικού. Χρησιμοποιείται κυρίως για κατεργασίες διάτρησης λείαν υψηλής ακρίβειας, καθώς και σε κατεργασίες συγκόλλησης. Έχει υψηλό κόστος, καθώς η όλη διαδικασία της κατεργασίας πρέπει να λάβει χώρα σε ειδικό θάλαμο κενού, γι αυτό σε περιπτώσεις όπου η κατεργασία δεν απαιτεί ακρίβεια που δε γίνεται να επιτευχθεί από άλλες μεθόδους προτιμώνται κοπές, ή συγκολλήσεις laser ή πλάσματος.



Εικόνα 44: Αρχή λειτουργίας EBM

`

Κατεργασία υδροκοπής

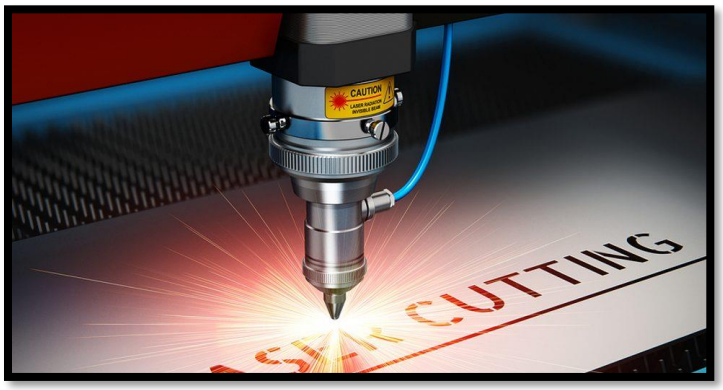


Εικόνα 45: Εργαλειομηχανή και κατεργασία υδροκοπής

Κατεργασία αφαίρεσης υλικού εξίσου διαδεδομένη με την κοπή με δέσμη laser. Η αφαίρεση επιτυγχάνεται μέσω εστιασμένης δέσμης νερού υψηλής πίεσης, η οποία προσπίπτωντας με ορμή στην επιφάνεια του τεμαχίου προκαλεί είτε διάτμηση, εαν το υλικό είναι όλκιμο, είτε τοπική θραύση, εαν το υλικό είναι αντίστοιχα ψαθυρό. Η κατεργασία αυτή χρησιμοποιείται για τη μηχανική κοπή σκληρών υλικών με υψηλή θερμική αντίσταση και ενσωματώνεται σε κέντρα κατεργασιών τουλάχιστον 3 αξόνων, τύπου γέφυρας, πάνω στην οποία συχνά ενσωματώνονται άλλοι 2 άξονες για την επίτευξη πιο περίπλοκων γεωμετριών, ή σε ρομποτικούς βραχίονες. Η κατασκευή του σκελετού αυτών των κέντρων κατεργασίας απαιτεί ειδικό δοχείο κάτω από την τράπεζα κατεργασίας για την συλλογή των υδάτων κοπής.

3.2 Κατεργασία Κοπής με laser

Η κοπή με εστιασμένη δέσμη laser ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στις αρχές του 1970 για την κατεργασία σκληρών και δυσκατέργαστων υλικών.



Εικόνα 46: CNC κοπή μεταλλικού ελάσματος

`

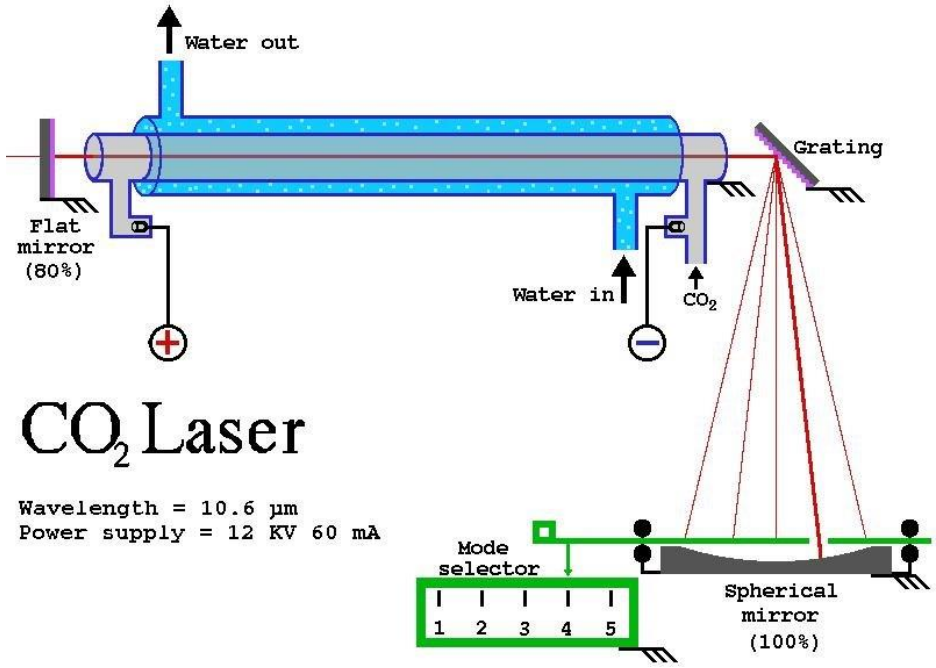
Ανάλογα με το φορέα δημιουργίας της δέσμης διακρίνουμε τα laser σε στερεάς κατάστασης, αερίου, υγρού και ημιαγωγού.

Ανάλογα με τον τρόπο εκπομπής της δέσμης διακρίζουμε τα συνεχούς εκπομπής και παλμικά.

Τα βιομηχανικά laser συνδυάζονται με συστήματα αριθμητικού ελέγχου κίνησης (NC) καθώς και με ρομπότ και χρησιμοποιούνται σε αυτοματοποιημένες διεργασίες.

Laser κοπής CO_2

Μεγαλύτερη διάδοση στη βιομηχανία εμφανίζει το laser με αέριο CO_2. Η δέσμη ισχύος μέχρι μερικών kW παράγεται εντός σωλήνα ο οποίος περιέχει αέριο μίγμα αποτελούμενο από CO_2, N_2 και He, ενώ συχνά μπορεί να περιέχονται και υδρατμοί, υδρογόνο H_2 ή και άτομα Ξένον (Xe).



Εικόνα 47: Αρχή παραγωγής και εστίασης δέσμης laser κατεργασίας

Ο σωλήνας, περιβάλλεται από εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος τον ψύχει είτε χρησιμοποιώντας κάποιο υγρό, είτε με αέρα. Διαρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο ερεθίζει τα άτομα του αερίου προσδίδοντάς τους ενέργεια. Η ενέργεια αυτή απελευθερώνεται με τη μορφή φωτονίων. Στα δυο άκρα του σωλήνα έχουν τοποθετηθεί 2 κάτοπτρα. Το ένα έχει 100% ανακλαστικότητα, ενώ το δεύτερο έχει ένα μικρό ποσοστό διαπερατότητας (~2%) Τα δυο κάτοπτρα δεν επιτρέπουν τη φυγή του φωτός και προσανατολίζουν τη δέσμη κατά μήκος του σωλήνα. Η δέσμη που σχηματίζεται έχει πολύ μεγάλη περιεκτικότητα ενέργειας, βρίσκεται στο φάσμα των υπέρυθρων ακτινων και έχει μήκος κύμματος περίπου 10.6μm. Δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι.

`

Η προσανατολισμένη ακτίνα του ενισχυμένου φωτός εξέρχεται από το ημιπερατό κάτοπτρο και με κατάλληλα τοποθετημένα ψυχώμενα κάτοπτρα καθοδηγείται μέσα από τη μηχανή στην τράπεζα όπου βρίσκεται προσδεμένο το τεμάχιο. Στο ακροφύσιο η δέσμη εστιάζεται από ειδικό φακό σε αρκετά μικρότερη διάμετρο, αυξάνοντας έτσι την πυκνότητα ενέργειας και εξέρχεται από αυτό περιβαλλόμενη από βοηθητικό αέριο (O_2, N_2 ή αέρα) το οποίο ενισχύει τη μεταφορά της θερμότητας κατά τη φορά της δέσμης, μειώνοντας τη διασπορά της και υποστηρίζοντας έτσι την επίτευξη καθαρότερων κοπών.

3.3 Κέντρα Κατεργασιών laser

Η κοπή με laser βρίσκει τεράστια και ευρύτατη εφαρμογή στη βιομηχανία, τα δε κέντρα κατεργασιών που τη χρησιμοποιούν είναι κατ' εξοχήν αριθμητικά ελεγχόμενα.

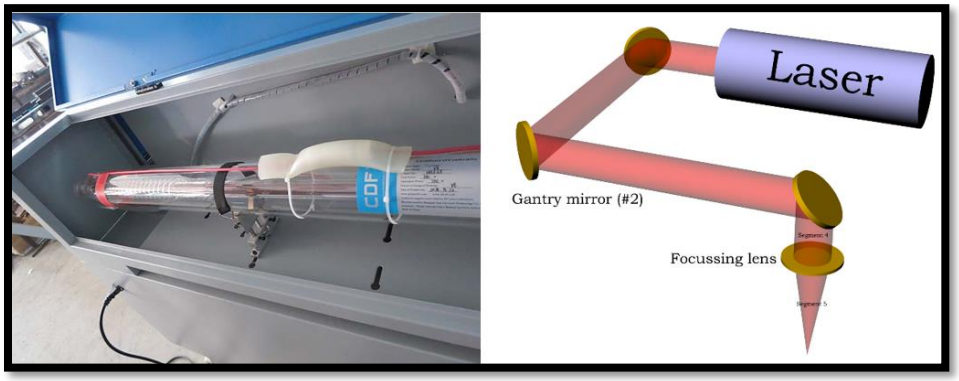
Η κατεργασία κοπής με laser έχει το πλεονέκτημα ότι διαθέτει μηδενικά φορτία κατεργασίας. Η αφαίρεση υλικού γίνεται σε μικροσκοπική κλίμακα μέσω τήξης και εξάτμισης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την ανάγκη κατεργασίας μεγάλων φύλλων μετάλλου ως επί τω πλείστω οδήγησε στην επικράτηση μηχανών σταθερής τράπεζας, τύπου γέφυρας, όπως στην παρακάτω εικόνα. Το φύλλο του υλικού τοποθετείται στο επίπεδο και συγκρατείται εάν αυτό είναι απαραίτητο πλευρικά ώστε να μην καλύπτεται επιφάνεια προς αφαίρεση.

Εικόνα 48: Κέντρο κατεργασίας laser

`

Σε περιπτώσεις παλαιότερων κέντρων κατεργασίας, ή σε βιομηχανικά μηχανήματα πολύ υψηλής ισχύος δέσμης όπου κατεργάζονται μεγάλου όγκου (αλλά μικρής σχετικής επιφάνειας) τεμάχια, ο σχεδιασμός μπορεί να είναι και τύπου στήλης, όπως σε μια συμβατική φρέζα, όπως θα φανεί παρακάτω, στην εργαλειομηχανή του Τομέα Κατεργασιών που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

Ο σωλήνας παραγωγής της δέσμης laser συγκρατείται σε σταθερή θέση και η δέσμη μεταφέρεται στην κεφαλή κοπής μέσω κατόπτρων.



Εικόνα 49: Παραγωγή και μηχανισμός ανακατεύθυνσης δέσμης laser

Η δέσμη καταλήγει σε ακροφύσιο το οποίο περιλαμβάνει ειδικό φακό εστίασης που συγκεντρώνει τη δέσμη στο σημείο κοπής. Κατά την έξοδο της δέσμης από το ακροφύσιο, μέσω συστήματος κυκλοφορίας αερίου η δέσμη περιβάλλεται από αέριο προστασίας. Ο σκοπός του αερίου είναι να αποτρέψει τη διασπορά θερμότητας από τη δέσμη πριν αυτή προσπίψει στην επιφάνεια του τεμαχίου, αλλά και να υποβοηθήσει στην απομάκρυνση του τηγμένου υλικού και τον άμεσο καθαρισμό της περιοχής κατεργασίας.

Για την αποφυγή αντανάκλασης της δέσμης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει, τόσο σε φθορά του τεμαχίου όσο και σε καταστροφή της κεφαλής σε περίπτωση αντίστροφης ροής η επιφάνεια της τράπεζας συνηθως κατασκευάζεται σε μορφή διαμπερών κυψελών, ή κάποια δικτυωτή γεωμετρία μικρής επιφάνειας που να μην περιλαμβάνει συμπαγή επίπεδα εμπόδια ακριβώς κάτω από το τεμάχιο.

Εικόνα 50: Δικτύωμα επιφάνειας πρόσδεσης ελασμάτων κατεργασίας εργαλειομηχανής laser

`

3.4 Κέντρο Κατεργασιών Laser Nd YAG του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών

Το κέντρο κατεργασιών που απασχολεί την παρούσα διπλωματική ανήκει στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ. Παραχωρήθηκε στον Τομέα το 2010 από το Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κατόπιν απόφασης του Πρυτανικού Συμβουλίου της για διαγραφή και απομάκρυνση του εξοπλισμού από τους χώρους της.

Το μηχανικό κέντρο κατεργασιών μαζί με τη μονάδα του Laser είχε παραχωρηθεί μέσω δωρεάς το 2004 από το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ-Ι.Η.Δ.Λ.) στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Η απόφαση για διαγραφή και απομάκρυνση στηριζόταν στο γεγονός ότι δεν έγινε ποτέ δυνατή η λειτουργία της τράπεζας, εξ αιτίας της απώλειας ζωτικών προγραμμάτων του PLC που ελέγχουν το σταθμό εργασίας που προήλθε από το μεγάλο διάστημα μη λειτουργίας του συστήματος κατά την περίοδο πριν αυτό μεταφερθεί στο χώρο του ΕΜΠ. Το 2007 το ίδιο εργαστήριο έλαβε νέα δωρεά από το Ινστιτούτο μια νέα μηχανική διάταξη CNC ελέγχου παρόμοιας μονάδας laser, η οποία για αντίστοιχους λόγους κρίθηκε άχρηστη και δεν τέθηκε επίσης ποτέ σε λειτουργία.

Όταν το 2010 επικυρώθηκε η απόφαση καταστροφής του κριθέντος εξοπλισμού ως άχρηστου και άνευ μουσειακής αξίας, την κηδεμονία και αποθήκευσή του ανέλαβε ο Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ. Μετά από διαλογή αποφασίστηκε να κρατηθούν στο χώρο η μονάδα laser, το μικρότερων διαστάσεων κέντρο κατεργασίας και η κεφαλή εστίασης του laser. Η επιλογή έγινε με κριτήρια την κατάσταση των δύο εργαλειομηχανών και τις συνολικές διαστάσεις τους, καθώς η διάταξη του μεγαλύτερου κέντρου κατεργασίας ήταν περίπου 3 φορές μεγαλύτερη και ογκώδης. Από τα ηλεκτρικά και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αποθηκεύτηκαν και από τις δύο μηχανές, οι ηλεκτρολογικοί φοριαμοί, οι κινητήρες, οι τερματικοί διακόπτες και οι καλωδιώσεις με στόχο τη χρήση των επιπλέον εξαρτημάτων ως ανταλλακτικά σε περιπτώσεις βλάβης, ή φθοράς.

Η εργαλειομηχανή διαθέτει:

- Πηγή συνεχούς δέσμης laser αερίου CO_2 ισχύος 4kW (παλμικά 8kW) κατασκευασμένη από τη σκωτσέζικη εταιρία Laser Ecosse Ltd.

- Μηχανική τράπεζα κατεργασιών 3 αξόνων κίνησης με σύγχρονους τριφασικούς σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος Schneider (telemecanique). Το τραπέζι κινείται γραμμικά κατά το οριζόντιο επίπεδο (X και Y). Ο τρίτος άξονας του τραπεζιού είναι ο περιστροφικός A, ο οποίος συμπληρωματικά θα συμπεριληφθεί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εαν και εφόσον το διαθέσιμο λειτουργικό υλικό (ενισχυτές, κινητήρες κτλ.) επαρκέσει αρχικά για τη λειτουργία των 3 βασικών γραμμικών αξόνων κίνησης.

- Μονάδα Ελέγχου NUM με σύστημα CNC 1060, PLC και σχετική οθόνη κονσόλα HMI.

- Ρυθμιστή εστίασης – απόστασης κεφαλής κοπής laser (κατά τον κατακόρυφο άξονα Z) Precitec.

`

Παρακάτω φαίνεται μια πλήρης όψη της εργαλειομηχανής μαζί με τη μονάδα παραγωγής laser και το φοριαμό ηλεκτρονικών.

Εικόνα 51: Εργαλειομηχανή Laser Ecosse Τομέα Κατεργασιών

Πηγή δέσμης laser CO2

Το πηγαίο μέρος του κέντρου κατεργασιών, στο οποίο παράγεται η δέσμη κοπής. Διαθέτει το μεγαλύτερο αποτύπωμα όγκου της μηχανής, με διαστάσεις 2.40 x 1.70 x 0.90 m.

Ανήκει στην κατηγορία υψηλής ισχύος σε ό,τι αφορά τα κοπτικά laser με δυνατότητα κοπής ελασμάτων με πάχη τάξεως πάχους 60mm. Laser τέτοιας ισχύος χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από τη ναυπηγική βιομηχανία. Κατά τη διαμονή του εξοπλισμού στο εργαστήριο ναυπηγικής τεχνολογίας πραγματοποιήθηκε δοκιμή και η μονάδα παραγωγής του laser τέθηκε σε λειτουργία και κρίθηκε πλήρως αξιοποιήσιμη.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής δε θα υπάρξει ενασχόληση με τη μονάδα παραγωγής της δέσμης laser, αλλά μόνο με τον μηχανικό κέντρο κατεργασίας, ωστόσο για λόγους πληρότητας θα γίνει αναφορά των βασικών μερών της μονάδας του Laser.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 52, η μονάδα παραγωγής είναι τοποθετημένη σε μεταλλική βάση. Η έξοδος της δέσμης του laser γίνεται από ειδικό αγωγό στο μπροστινό μέρος της. Η είσοδος των αερίων της παραγωγής του laser στη μονάδα και του ψυκτικού υγρού γίνεται από υδραυλικούς συνδέσμους στο πίσω μέρος, στο οποίο υπάρχουν και υποδοχές για την σύνδεση μέσω παράλληλων θυρών της μονάδας με το σύστημα ελέγχου.

`

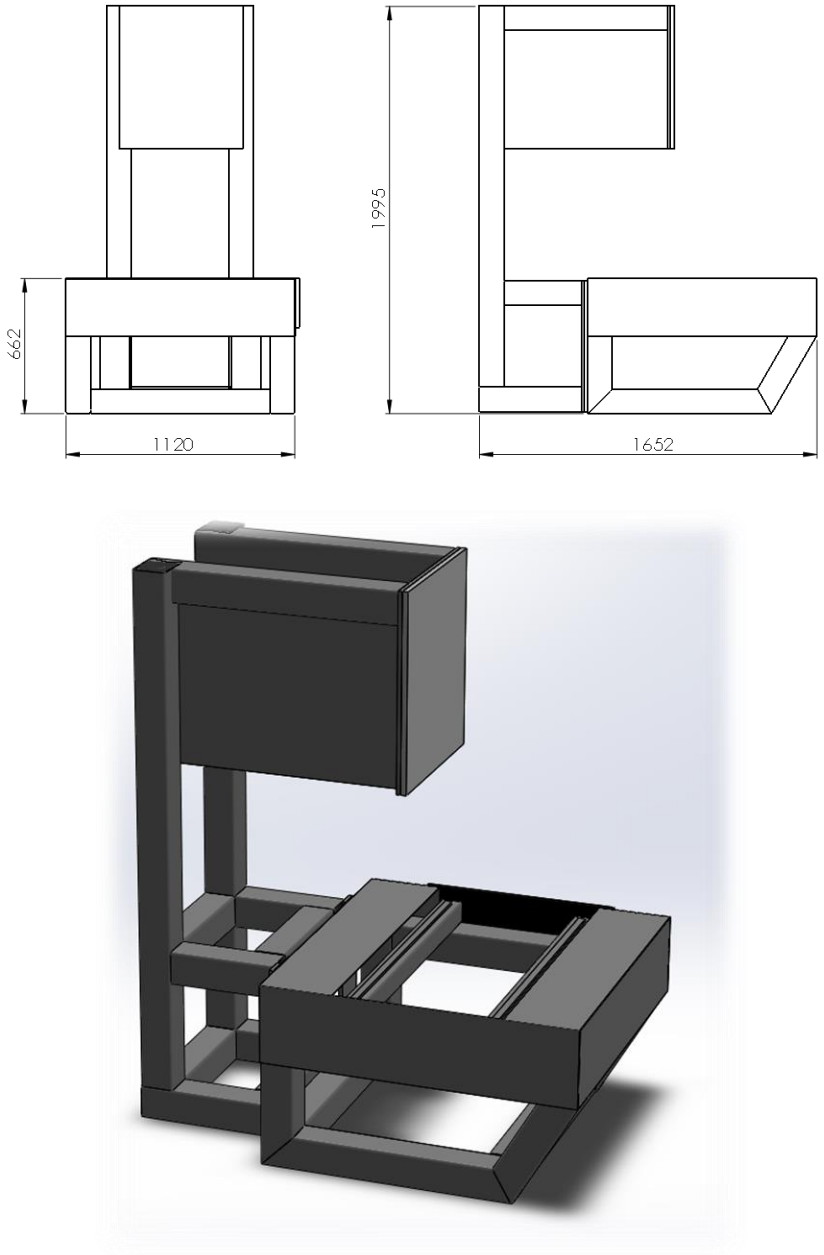
Εικόνα 52: Επισκόπηση της μονάδας παραγωγής της δέσμης laser

Εσωτερικά της μονάδας το μεγαλύτερο όγκο καταλαμβάνει το σύστημα κυκλοφορίας των αερίων και του ψυκτικού μέσου καθώς και το κύκλωμα μετασχηματισμού υψηλής τάσης για την παραγωγή της δέσμης. Στο πάνω μέρος διακρίνεται και ο αγωγός διέγερσης για την πηγή της δέσμης laser ο οποίος περιβάλλεται από τις σωληνώσεις του εναλλάκτη θερμότητας.

`

Βάση Μηχανής & Τραπέζι 3 αξόνων

Η βάση της μηχανής αποτελείται από συγκολλητές κοιλοδοκούς τετραγωνικής διατομής 120X120mm. Την κατασκευή συμπληρώνουν όπου απαιτείται μεταλλικά ελάσματα πάχους 10mm, καθώς και λεπτά ελάσματα πάχους 1.5mm και κάποιες μικρότεροι κοιλοδοκοί τετραγωνικής διατομής.



Εικόνα 53: Σχέδιο και βασικές διαστάσεις σκελετού της εργαλειομηχανής laser

`

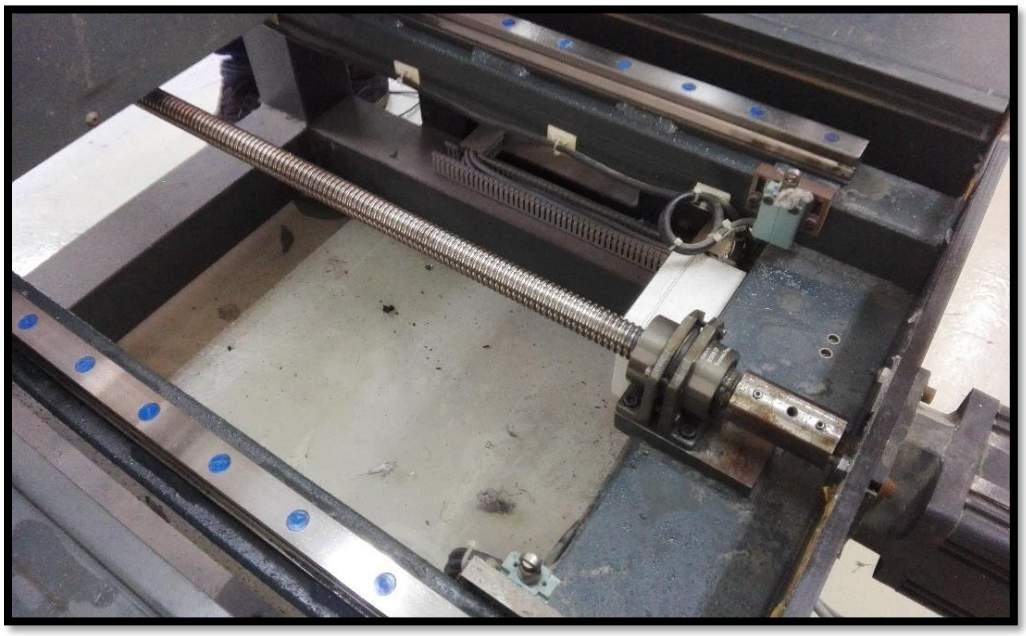
Ο σχεδιασμός είναι τύπου στήλης (column type) με κινητή τράπεζα και σταθερή μονάδα οπτικών. Σχεδίαση παλαιού τύπου, καθώς πρόκειται για μια εργαλειομηχανή κατασκευής του 1994, έχει γίνει με μέριμνα τον τεράστιο όγκο της μονάδας παραγωγής της δέσμης laser και εξυπηρετεί την κατεργασία τεμαχίων μικρής σχετικά επιφάνειας, αλλά αρκετά μεγάλου πάχους.

Το τραπέζι του κέντρου κατεργασιών κινείται γραμμικά στο οριζόντιο επίπεδο (άξονες X και Y) επάνω σε γραμμικούς οδηγούς τύπου ράγας με μηχανισμό με κοχλία κίνησης και με ξεχωριστή άτρακτο και τσοκ περιστροφικά γύρω από τον άξονα X (άξονας A).

Εικόνα 54: Η τράπεζα 3 αξόνων (X Y A) της εργαλειομηχανής

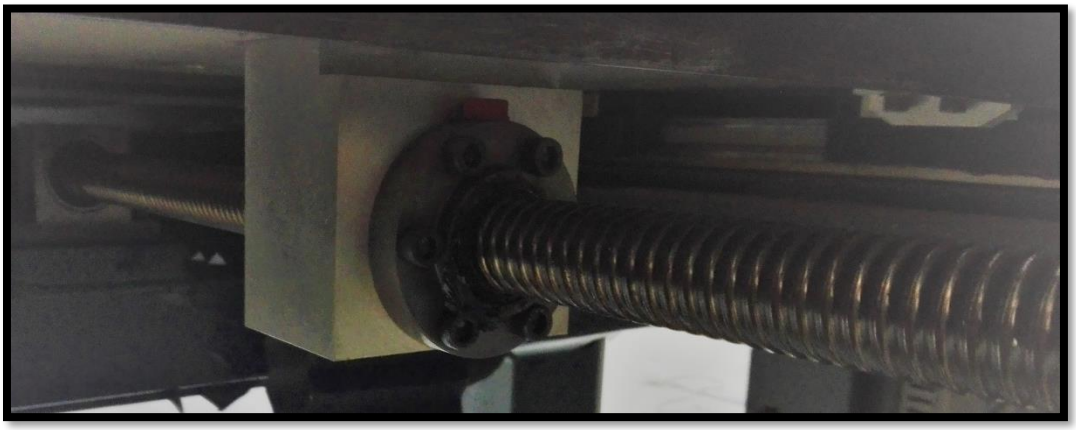
Η κύρια βαθμίδα κίνησης είναι εκείνη του άξονα X, πάνω στην οποία εδράζεται το βαγόνι της βαθμίδας του άξονα Y, και ο περιστροφικός άξονας A. Ο μηχανισμός κίνησης φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:

`



Εικόνα 55: Κοχλίας κίνησης άξονα X

Το βαγόνι οδηγείται από ζεύγος παράλληλων προφίλ στερεωμένων σε μεταλλικά ελάσματα συγκολλημένα απευθείας στο σκελετό. Η κίνηση επιτυγχάνεται μέσω κοχλία κίνησης σπειρώματος κυκλικής διατομής 2505, δηλαδή εξωτερικής **διαμέτρου Φ25** και **βήματος 5mm**, απευθείας συνδεδεμένο με coupler στο σερβοκινητήρα. Η κίνηση από τον κοχλία στη βαθμίδα μεταδίδεται μέσω περικόχλιου με ανακυκλοφορούντα σφαιρίδια εδραζόμενο σε μπλοκ μετάλλου:



Εικόνα 56: Περικόχλιο κίνησης άξονα X

`

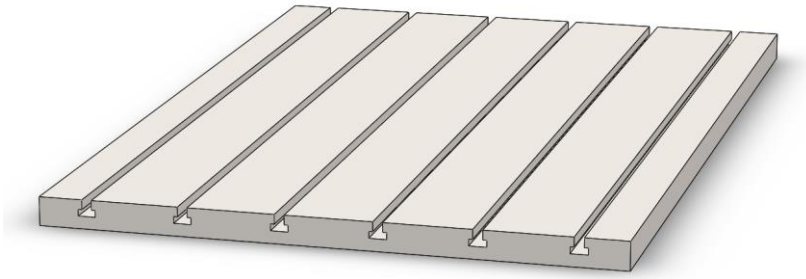
Η εδράσεις του κοχλία βρίσκεται επίσης συγκολλημένες στο σκελετό. Είναι απλού τύπου με ένσφαιρο έδρανο κύλισης. Το κόπλερ είναι εξίσου απλού τύπου, χαλύβδινο, χωρίς ελατήριο, με δύο πλευρικές οπές για σκουληκόβιδα σύσφιξης της ατράκτου του κινητήρα και του άκρου του κοχλία.

Η απόσταση που μπορεί να διανύσει η βαθμίδα του άξονα Χ ανέρχεται στα 655mm περίπου, μετρώντας το καθαρό μήκος του κοχλία κίνησης και αφαιρώντας το μήκος του εδράνου του κοχλία κίνησης.

Για τον άξονα Υ ο μηχανισμός κίνησης ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική και υλοποιείται με τα ακριβώς ίδια εξαρτήματα και διανύει ίση απόσταση 655mm. Η διαφορά που παρουσιάζει βρίσκεται στις βάσεις των γραμμικών οδηγών, οι οποίες είναι αρκετά ψηλότερες από τα ελάσματα της βαθμίδας του άξονα Χ, καθώς λειτουργούν ως αποστάτες για την ανύψωση και εξαφάλιση του απαιτούμενου χώρου για τις καλωδιώσεις και το κουτί διακλαδώσεων που στεγάζεται στο βαγόνι:

Εικόνα 57: Διάταξη οδηγών και κοχλία κίνησης άξονα Υ

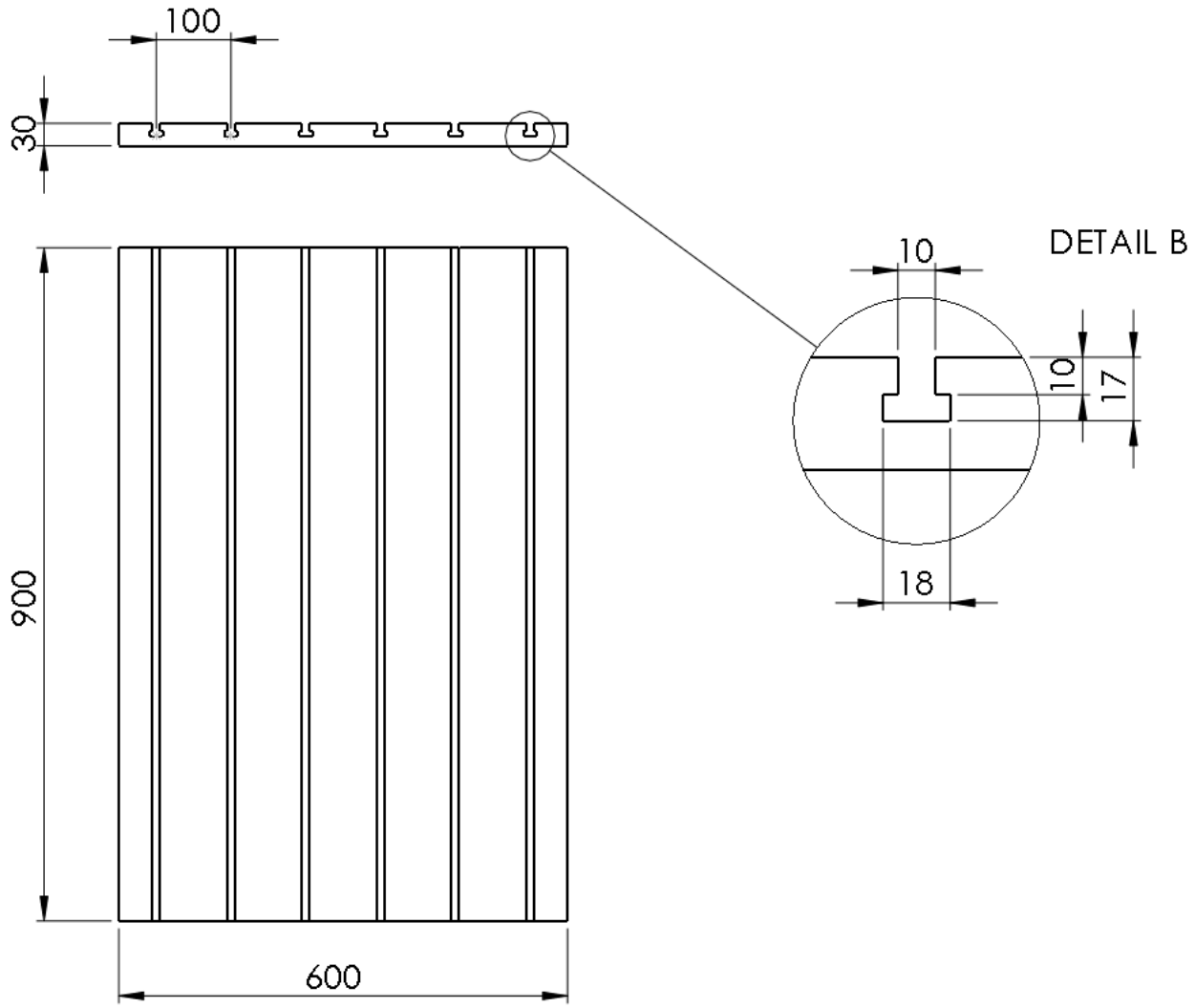
Το βαγόνι της βαθμίδας του άξονα Υ καλύπτεται από το τραπέζι του μηχανικού κέντρου κατεργασίας.



Εικόνα 58: 3d σχέδιο αυλακωτής επιφάνειας της τράπεζας

`

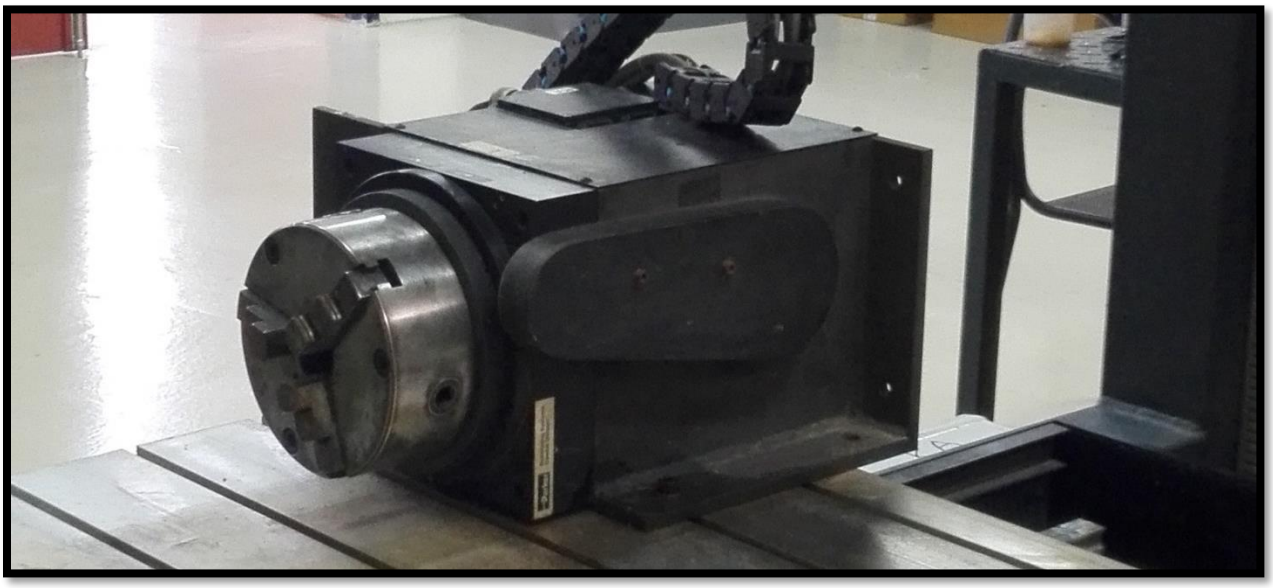
Η επιφάνεια είναι επίπεδη με αυλακώσεις για την προσθήκη εξαρτημάτων συγκράτησης, κατεργασμένη από συμπαγή χάλυβα και έχει τις ακόλουθες διαστάσεις:



Εικόνα 59: 2d σχέδιο τράπεζας και βασικές διαστάσεις

Στην επιφάνεια του τραπεζιού είναι προσαρτημένη η βαθμίδα περιστροφικής κίνησης του άξονα Α. Η βαθμίδα έχει μορφή που προσομοιάζει τόρνο, με τσοκ για τη συγκράτηση τεμαχίων. Η κίνηση δίνεται με σερβοκινητήρα μικρότερο από τους κινητήρες των αξόνων Χ και Υ, η μετάδοση της κίνησης πραγματοποιείται με σύστημα τροχαλίας – ιμάντα:

`



Εικόνα 60: Διάταξη περιστροφικού άξονα Α

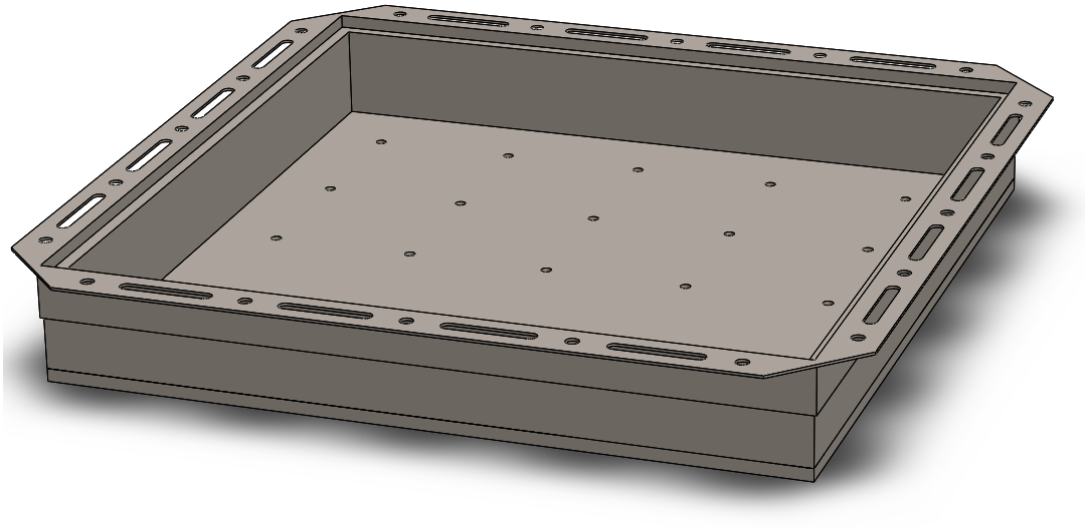
Η ύπαρξη του συγκεκριμένου άξονα επιτρέπει την περιφερειακή κοπή και διάνοιξη οπών σε προφίλ δομικού χάλυβα, ή απλώς την αξονοσυμμετρική αφαίρεση υλικού.

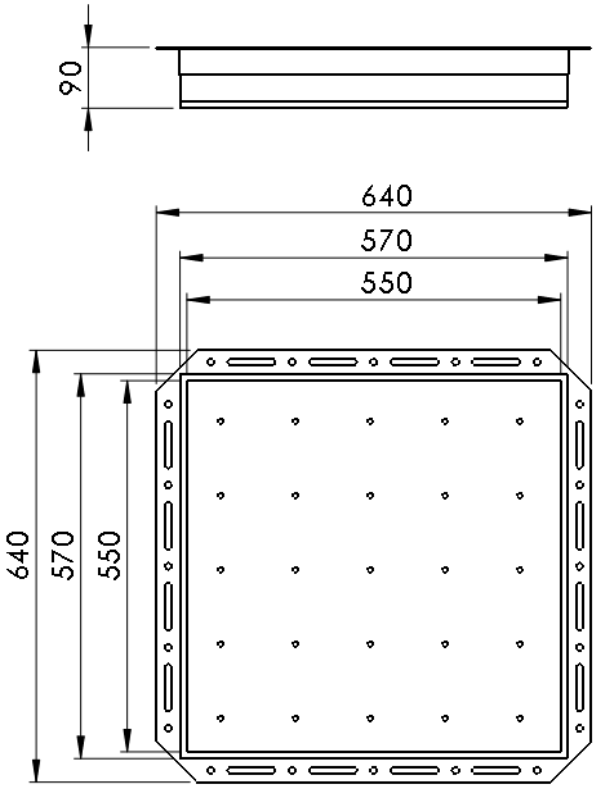
Εικόνα 61: Παράδειγμα λειτουργία περιστροφικού άξονα σε κέντρο κατεργασίας δέσμης laser

Επειδή η επίπεδη συμπαγής επιφάνεια της τράπεζας δεν ενδείκνυται για την κατεργασία με δέσμη laser, προσδεμένο πάνω σε αυτή βρίσκεται και ειδικό δοχείο πάνω στο οποίο μπορούν να συγκρατηθούν ελάσματα και το οποίο διαθέτει αρκετό βάθος για τη διασπορά της δέσμης μετά την κοπή του τεμαχίου και την αποφυγή αντιστροφής ροής (backflow).

`

Οι βασικές διαστάσεις του δοχείου όπως μετρήθηκαν και καταγράφηκαν είναι οι ακόλουθες:





Εικόνα 62: Σχέδιο και βασικές διαστάσεις δοχείου κατεργασίας

`

Σύστημα κίνησης κεφαλής εστίασης

Η εργαλειομηχανή δίνει δυνατότητα για μία ακόμη γραμμική κίνηση, κατά τον κατακόρυφο άξονα Z. Η κίνηση επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο με τις βαθμίδες του οριζοντίου επιπέδου, με μικρότερο όμως κοχλία κίνησης 2005, εξωτερικής διαμέτρου Φ20 και βήματος 5mm και γραμμικούς οδηγούς. Ο σκοπός της κεφαλής εστίασης είναι η τοποθέτηση του ακροφύσιου στο κατάλληλο ύψος σε σχέση με το τεμάχιο για την κατεργασία του. Λόγω της θεσης του κινητήρα, ο οποίος βρίσκεται εδρασμένος στον κλωβό του εξαερισμού της μηχανής, παράλληλα, αλλά όχι συγραμμικά με τον άξονα του κοχλία, η μετάδοση κίνησης γίνεται με σύστημα τροχαλίας – ιμάντα.

Εικόνα 63: Βαθμίδα κατακόρυφης κίνησης (άξονας Z)

Τα οπτικά προσανατολισμού και εστίασης της δέσμης, καθώς και το ακροφύσιο δε βρίσκονται τοποθετημένα στην κεφαλή εστίασης. Η έκθεση των κατόπτρων στο περιβάλλον του εργαστηρίου είναι δυνατό να οδηγήσει στη φθορά τους και, εφόσον στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δε θα λειτουργήσει η μονάδα του laser δεν υπήρξε λόγος προσάρτησής τους στο μηχανισμό της κεφαλής.

Κινητήρες Κίνησης

Το σύστημα κίνησης των τεσσάρων αξόνων του κέντρου κατεργασιών στηρίζεται σε σερβοκινητήρες της γαλλικής εταιρίας βιομηχανικών αυτοματισμών και ελέγχου Telemechanique, η οποία υπάγεται στην επίσης γαλλική Schneider Electrics. Η κατασκευή των κινητήρων έχει γίνει στην Ιταλία. Για την κίνηση του άξονα X χρησιμοποιείται το ακόλουθο μοντέλο κινητήρα:

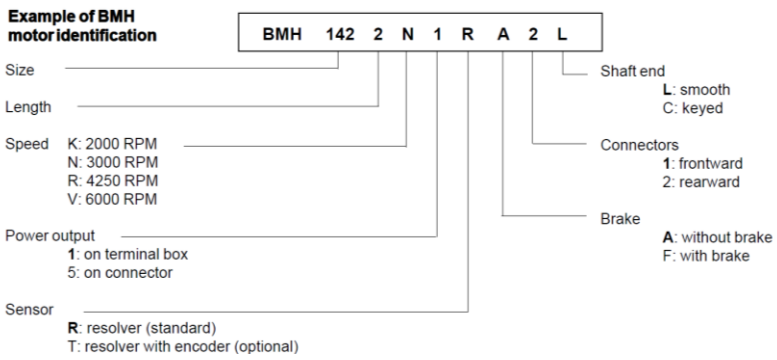
`

Εικόνα 64: Ετικέτα σερβοκινητήρα άξονα X

Τα χαρακτηριστικά προκύπτουν από την ετικέτα του κινητήρα, η οποία φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Λαμβάνονται οι ακόλουθες πληροφορίες:

Σερβοκινητήρας δίχως ψύκτρες, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)			
Μοντέλο	BMH 095 2 N 1 R A 2 C		
Ροπή ακινητοποίησης / μέγιστη $T_{stall/peak}$	4.3	17	Nm
Ρεύμα ακινητοποίησης / μέγιστο $I_{stall/peak}$	3.5	14	A
Μέγιστες στροφές n_{max}	3000		min^{-1}
Ροπή αδράνειας J	0.3		gm^2
Ονομαστική Τάση V_{rated}	300		V

Βάσει του εγχειρίδιου χρήσης του ενισχυτή του σερβοκινητήρα μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες με βάση την ονομασία του μοντέλου και μόνο, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα:



Εικόνα 65: Επεξήγηση ονοματολογίας κινητήρα

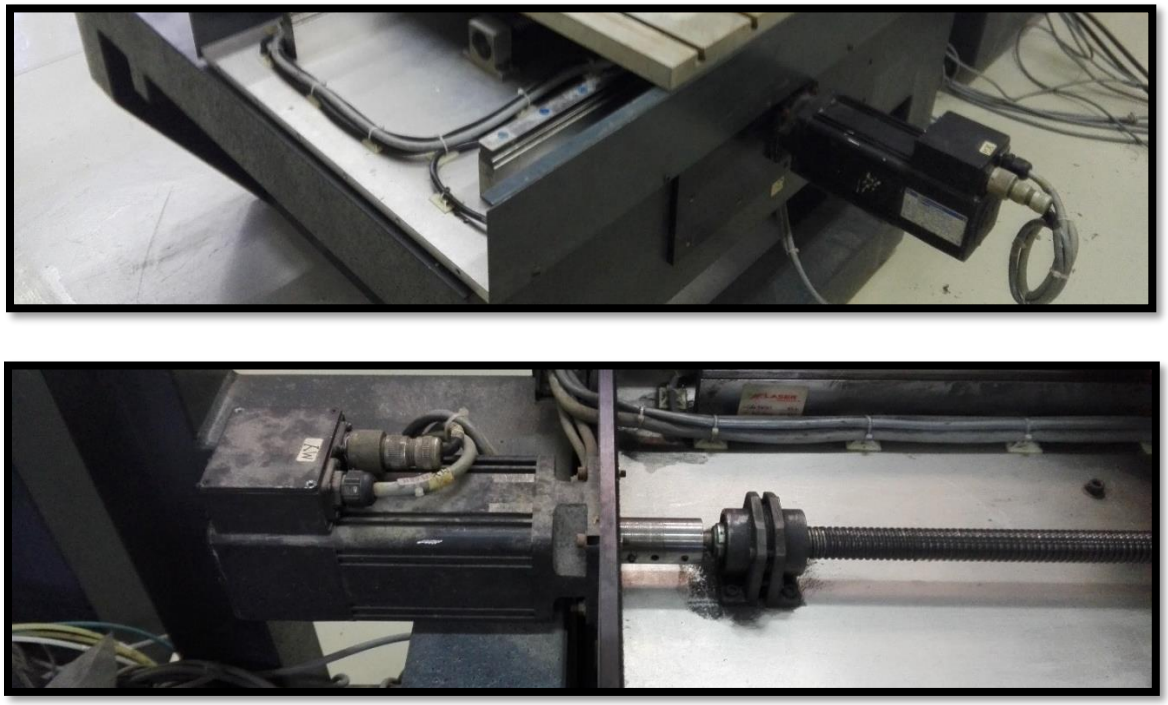
`

Από την ονομασία δηλαδή του συγκεκριμένου μοντέλου, γνωρίζουμε ότι πρόκειται για:

- Σύγχρονο Κινητήρα μεσαίας κατηγορίας ροπής αδράνειας (κωδικός **BMH**, βάση της ιστοσελίδας του κατασκευαστή)
- Τετράγωνης φλάντζας πλευράς 95mm (**095**)
- Μήκους **2** “stacks”. Το μέγεθος αυτό έχει να κάνει με τον αριθμό δρομέων που έχουν τοποθετηθεί σε σειρά για την επίτευξη μεγαλύτερης ροπής, χωρίς αύξηση των υπολοίπων διαστάσεων του κινητήρα. Ο αριθμός 2 σημαίνει ότι εσωτερικά ο κινητήρας έχει 2 δρομείς σε σειρά στην ίδια άτρακτο.
- Μέγιστες στροφές 3000 RPM (**N**)
- Με έξοδο καλωδίων τροφοδοσίας πεδίου σε τερματικό και όχι απευθείας σε βύσμα (**1**)
- Με ενσωματωμένο αναλυτή (resolver) για τον έλεγχο κίνησης (**R**)
- Χωρίς φρένο (**A**)
- Με τους συνδέσμους για την σύνδεση των καλωδίων να είναι στραμμένοι προς την πίσω πλευρά του κινητήρα (**2**)
- Με άτρακτο που διαθέτει σφηναύλακα (**C**)

Τα ίδια χαρακτηριστικά ισχύουν και για τον κινητήρα του άξονα Y. Η μόνη διαφορά σε αυτή την περίπτωση είναι ότι ο άξονας Y διαθέτει το μοντέλο **BMH 095 2 N 1 R A 1 C**, το οποίο διαθέτει συνδέσμους καλωδίων στραμμένους προς τα εμπρός του κινητήρα.

Φωτογραφίες των σερβοκινητήρων των οριζοντίων αξόνων φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 26: Κινητήρες αξόνων X και Y

`

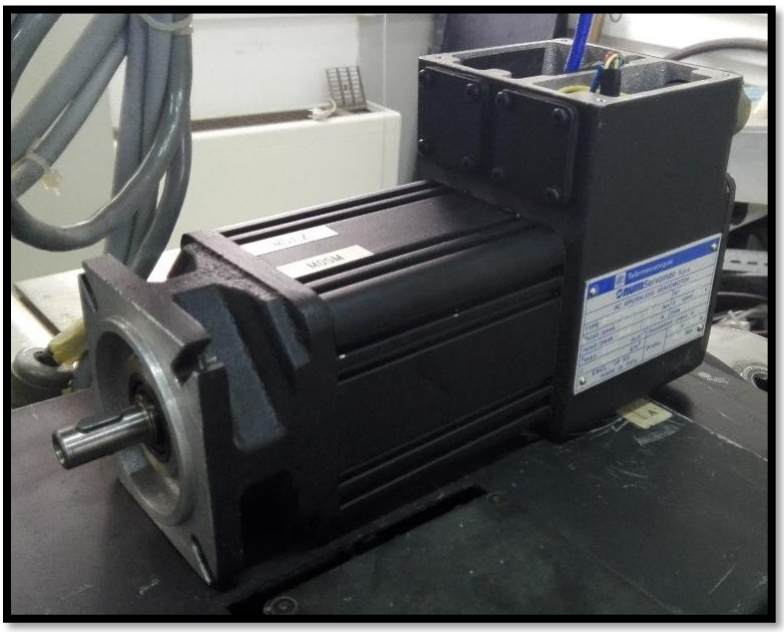
Για τον άξονα Α και τον κατακόρυφο Ζ χρησιμοποιείται ένα μικρότερο μοντέλο κινητήρα, το οποίο στην περίπτωση του άξονα Ζ ειδικά διαθέτει φρένο. Η παρουσία του φρένου είναι αναγκαία στην περίπτωση του κατακόρυφου άξονα, καθώς η κεφαλή εστίασης οφείλει να κλειδώνει στη θέση στην οποία επιλέγει ο χρήστης με απόλυτη ακρίβεια,. Από την ετικέτα και την ονομασία του μοντέλου αυτή τη φορά εξάγουμε τις εξής πληροφορίες:

Σερβοκινητήρας δίχως ψύκτρες, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)				
Μοντέλο	BMH 075 1 N 1 R F 2 C			
Ροπή ακινητοποίησης / μέγιστη $T_{stall}/_{peak}$	1.5	5	Nm	
Ρεύμα ακινητοποίησης / μέγιστο $I_{stall}/_{peak}$	2.2	9	A	
Μέγιστες στροφές n_{max}	3000		min^{-1}	
Ροπή αδράνειας J	0.11		gm^2	
Ονομαστική Τάση V_{rated}	300		V	
Φρένο	Τάση	24V	Ρεύμα	0.5A
	Ροπή		2.5 Nm	

Η διαφορά στην ονομασία του μοντέλου του κινητήρα περιορίζεται στα εξής χαρακτηριστικά:

- Τετράγωνης φλάντζας πλευράς 75mm (**075**)
- Με φρένο (**F**) (μόνο για τον κινητήρα του άξονα Ζ, ο κινητήρας του 4^{ου} άξονα έχει ένδειξη Α)

Φωτογραφία του σερβοκινητήρα του κατακόρυφου άξονα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 67: Σερβοκινητήρας άξονα Ζ

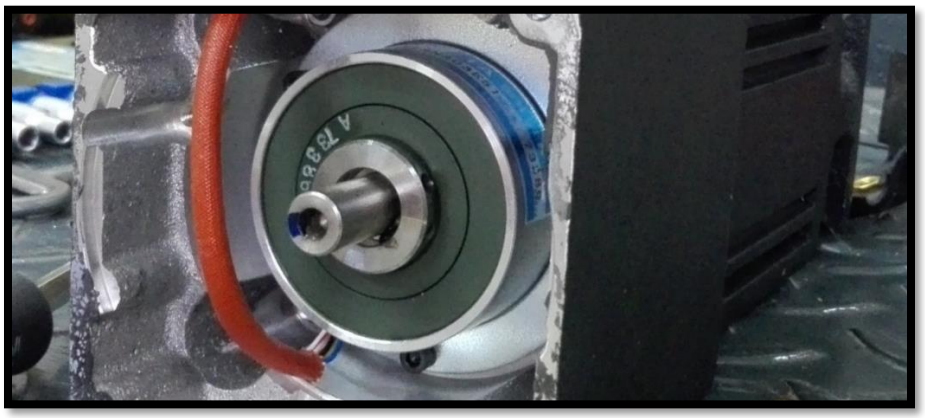
`

Όλοι οι παραπάνω κινητήρες διαθέτουν επίπεδο προστασίας IP65. Αυτό σημαίνει ότι κατά EN 60529, DIN 40050 είναι απόλυτα μονωμένοι έναντι εισχώρησης σκόνης, ή ξενου σώματος στο εσωτερικό τους, καθώς και υδατοστεγείς έναντι υδρόπτωσης χαμηλής πίεσης από πάσα κατεύθυνση.

Το φρένο των κινητήρων όπου υπάρχει είναι μονίμως ενεργοποιημένο και αποτρέπει την κίνηση της ατράκτου, ακόμα και χειροκίνητα. Απεμπλέκεται με την εφαρμογή τάσης 24V στους ακροδέκτες του. Βάσει του εγχειριδίου χρήσης και συντήρησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στον έλεγχο του κινητήρα ο χρόνος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του φρένου, αμέληση του οποίου οδηγεί σε διάγνωση σφάλματος.

Αναλυτές (resolvers) κινητήρων

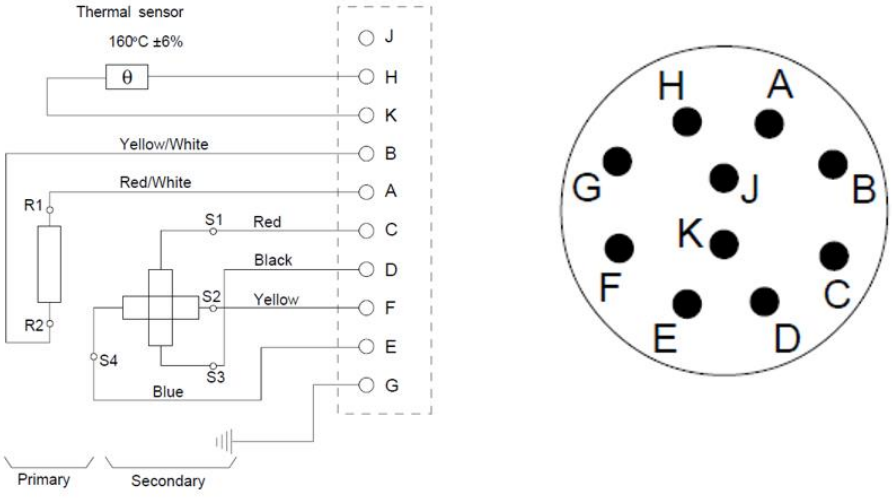
Για τη μέτρηση θέσης οι σερβοκινητήρες διαθέτουν ενσωματωμένο αναλυτή στην άτρακτό τους. Παρακάτω φαίνεται ο αναλυτής του κινητήρα του άξονα της κεφαλής εστίασης.



Εικόνα 68: Resolver σερβοκινητήρα του άξονα Z

Ο resolver της διάταξης αποτελείται από ένα πρωτεύον τύλιγμα και δύο δευτερεύοντα τα οποία καταλήγουν σε σύνδεσμο κυκλικής διατομής 10 επαφών, μαζί με τους ακροδέκτες θερμοστοιχείου που παρέχει πληροφορίες στον ελεγκτή για τη θερμοκρασία του κινητήρα. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:

`

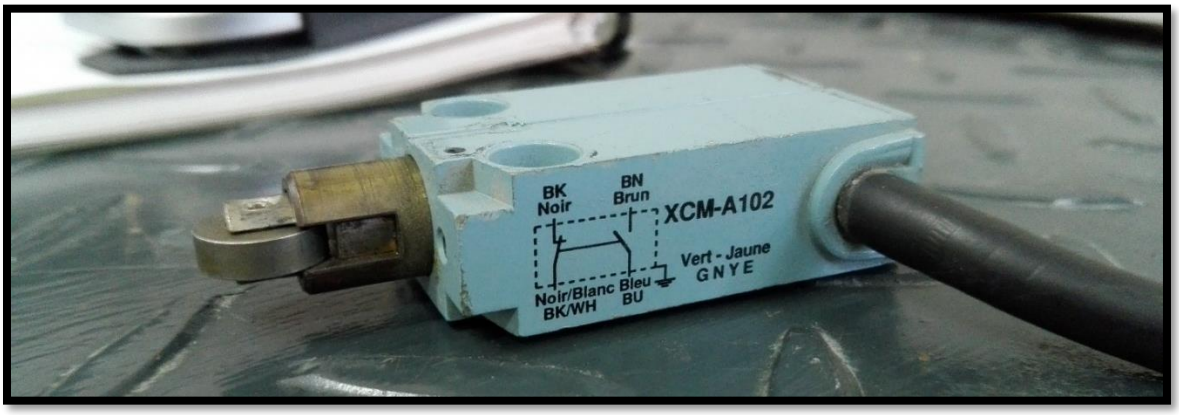


Εικόνα 69: Συνδεσμολογία και διάταξη βύσματος resolver

Το θερμοστοιχείο, μόλις η θερμοκρασία υπερβεί τα όρια που φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα ανοίγει το κύκλωμα. Το σήμα από τη διακοπή λειτουργίας του θερμοστοιχείου καταλήγει στον ελεγκτή τερματίζοντας άμεσα τη λειτουργία του κινητήρα και της κατεργασίας. Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το θερμοστοιχείο για έλεγχο της θερμοκρασίας αρκεί να γεφυρώσει τα άκρα του, δηλαδή τις επαφές Η και Κ.

Διακόπτες Οριακοί – Αρχικοποίησης

Σε κάθε βαθμίδα γραμμικής κίνησης υπάρχουν τοποθετημένοι 2 οριακοί διακόπτες και ένας διακόπτης αρχικοποίησης.



Εικόνα 70: Τερματικός διακόπτης Telemecanique XCMA102

`

Όλοι οι διακόπτες είναι μοντέλα XCM-A102 της εταιρίας Telemechanique. Περιλαμβάνουν κύκλωμα κανονικά ανοικτό και κανονικά κλειστό, ανάλογα την επιλεγείσα συνδεσμολογία, όπως φαίνεται από το διάγραμμα στην παραπάνω φωτογραφία.

Ακόμα, διαθέτουν επίπεδο προστασίας IP67, αποκλείωντας είσοδο σκόνης και ξένων σωμάτων στο εσωτερικό τους και είσοδο νερού σε συνθήκες παροδικού εμβαπτισμού, υπό δοσμένη πίεση και χρόνο, ενώ λειτουργούν χωρίς μετασχηματιστή στην τάση του δικτύου.

Χρησιμοποιούνται κατά την έναρξη λειτουργίας του κέντρου κατεργασιών, όπου η μηχανή ορίζει τις αρχές του συστήματος συντεταγμένων της και αποτρέπουν τη μετακίνηση των βαθμίδων εκτός ορίων κατά την κατεργασία.

Μονάδα Οδήγησης Σερβοκινητήρων

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ο φοριαμός που στεγάζει τα ηλεκτρονικά ελέγχου του κέντρου κατεργασιών. Ο αρχικός του έλεγχος πραγματοποιούνταν μέσω του plc και η διεπαφή με το χρήστη επιτυγχανόταν μέσω της οθόνης-κονσόλας.

Εικόνα 71: Φοριαμός, διάταξη servodrives και PLC ελέγχου της εργαλειομηχανής

`

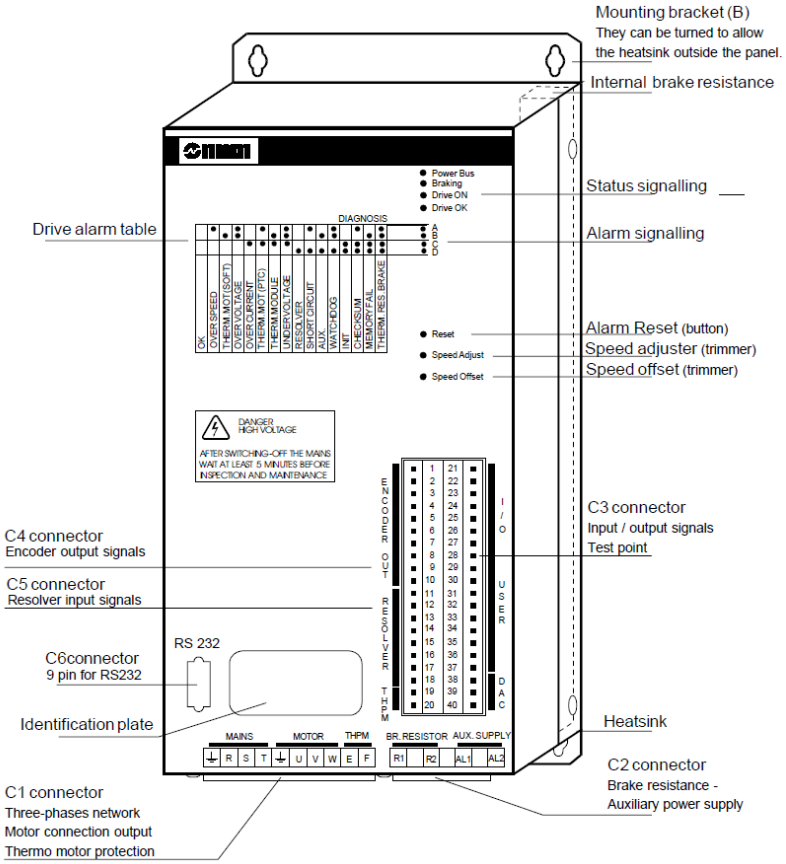
Στην αριστερή φωτογραφία φαίνεται ο φοριαμός με την κονσόλα, ενώ στην κάτω το παλιό σύστημα ελέγχου της εργαλειομηχανής, το PLC. Στα δεξιά φαίνονται οι 4 μονάδες οδήγησης (drives) των σερβοκινητήρων, μια για κάθε άξονα.

Μονάδες οδήγησης Σερβοκινητήρων (Servo drive units)

Οι σερβοκινητήρες του κέντρου κατεργασιών οδηγούνται από Num Servomac AC Monodrives. Οι συσκευές αυτές συνδέονται με τους κινητήρες και το σύστημα ελέγχου, διαμεσολαβούν στην επικοινωνία μεταξύ αυτών και φροντίζουν για την παροχή ισχύος στους κινητήρες.

Επιπλέον δέχονται ως είσοδο τα σήματα από τον resolver του κινητήρα και προσομοιώνουν σήματα εξόδου από βηματικό κωδικοποιητή οθρογωνισμού (incremental quadrature encoder) μέσω του υποσυστήματος encoder simulation, γεγονός που επιτρέπει τον ψηφιακό έλεγχο του συστήματος κίνησης με τη μετατροπή του αναλογικού σήματος από την άτρακτο του κινητήρα σε κωδικοποιημένους παλμούς.

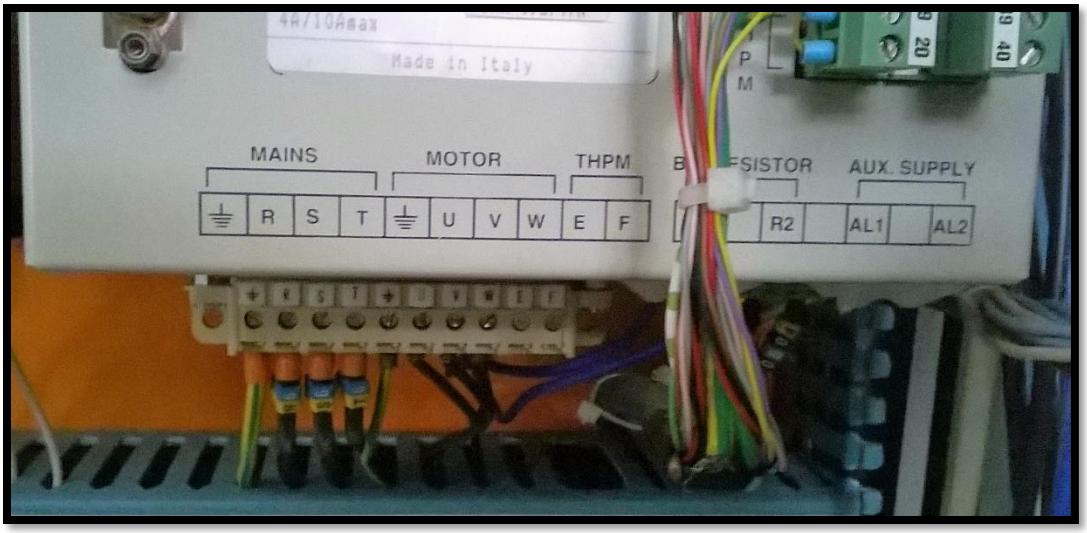
Το παρακάτω διάγραμμα βρίσκεται στο εγχειρίδιο χρήσης της μονάδας του drive και περιγράφει τα βασικά της μέρη:



Εικόνα 72: Διάγραμμα συνδέσμων εισόδων/εξόδων σερβοενισχυτή AC Monodrive

`

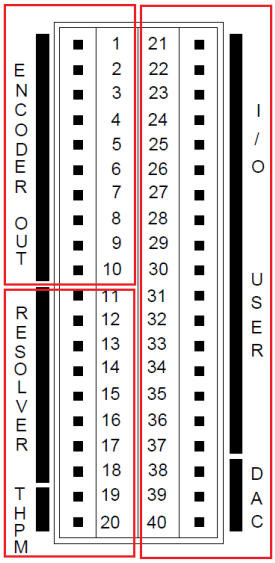
Όλες οι συνδέσεις ισχύος, από το δίκτυο και προς τον κινητήρα γίνονται στο κάτω μέρος της συσκευής, στο σύνδεσμο C1.



Εικόνα 73: Σύνδεσμος C1. Διαχείριση I/O ισχύος τροφοδοσίας

Το σήμα του resolver καταλήγει στο σύνδεσμο **C5**, ενώ από τον **C4** εξέρχονται οι παλμοί, ακολουθώντας πρότυπο επικοινωνίας RS 422.

Η είσοδος και έξοδος σήματος από το χρήστη γίνονται μέσω του συνδέσμου **C3**, ο οποίος περιλαμβάνει και κάποιες απολήξεις για ψηφιοαναλογική μετατροπή σήματος.

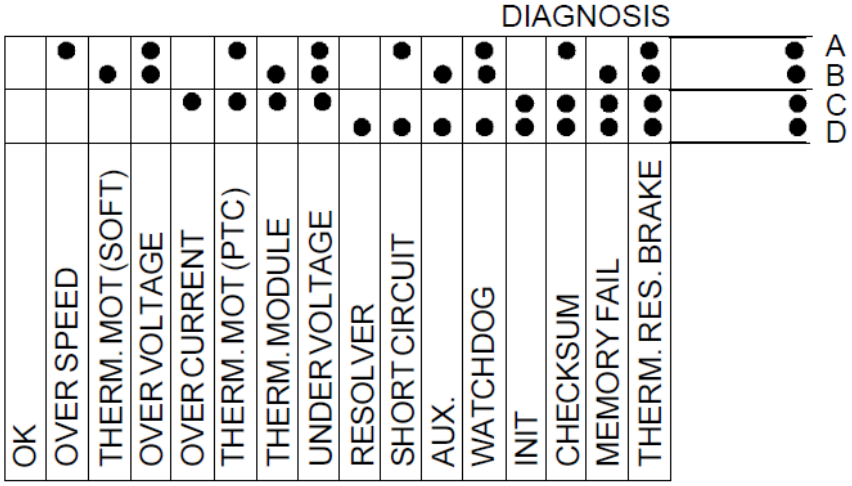


Εικόνα 74: Σύνδεσμοι C3, C4 και C5 διαχείρισης σημάτων

`

Ο σύνδεσμος **C6** διαθέτει υποδοχή σειριακής θύρας RS 232 και μπορεί με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού του κατασκευαστή, μη διαθέσιμο στην παρούσα φάση να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση και μερικό έλεγχο της μονάδας.

Το πάνελ με τις φωτεινές ενδείξεις στο άνω αριστερό μέρος της μονάδας χρησιμοποιείται για τη διάγνωση σφαλμάτων στη λειτουργία του drive. Ο κατάλληλος συνδυασμός φωτεινών ενδείξεων παραπέμπει μέσω του εγχειριδίου χρήσης σε διαφορετικό σφάλμα. Σε περίπτωση διάγνωσης σφάλματος απαιτείται η διακοπή της τροφοδοσίας, η επιδιόρθωσή του και η αναμονή για την πλήρη απόφόρτιση του κυκλώματος του drive (χρόνικής διάρκειας ~1 λεπτού) μέχρι την επανεκίνησή του.



Εικόνα 75: Ενδείξεις διάγνωσης σφαλμάτων του drive

Δίπλα στο σειριακό σύνδεσμο βρίσκεται η ετικέτα της μονάδας. Από την ετικέτα λαμβάνουμε πληροφορίες για το μοντέλο του drive, καθώς και τους κινητήρες που μπορεί να υποστηρίξει. Συγκεκριμένα η παρούσα διάταξη χρησιμοποιεί τα ακόλουθα μοντέλα για τους αντίστοιχους άξονες:

Εικόνα 76: Διάταξη και μοντέλα ενισχυτών στο φοριαμό της εργαλειομηχανής

`

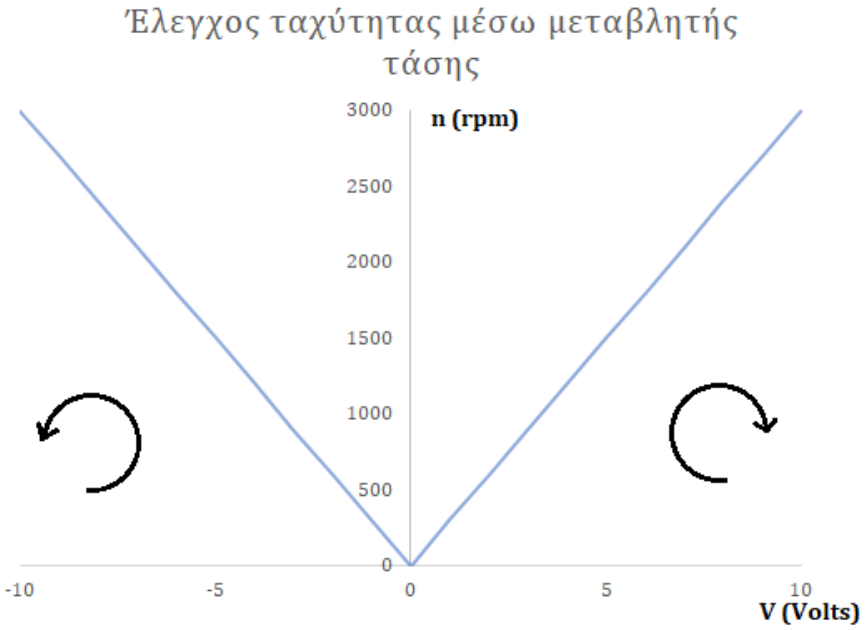
Τα χαρακτηριστικά των drives όπως δίνονται στο εγχειρίδιο βάση μοντέλου είναι τα εξής:

AC Monodrive	MNDA 010	MNDA 015
Ονομαστικό ρεύμα (rms)	4	7
Μέγιστο ρεύμα (rms)	7.1	10.6
Μέγιστο ρεύμα (A)	10	15
Θερμική διάχυση σε ονομαστικό ρεύμα (W)	100	110
Κύρια παροχή ισχύος	3 φάσεων, 400V +10/-20% 50/60Hz	
Μονοφασική παροχή ισχύος βοηθητικού ελέγχου	400V +10/-20% 50/60Hz 40 VA	
Αντίσταση εσωτερικής πέδης	68Ω - 150 W	
Λογικά σήματα εισόδου	15/24V DC ±5% 10mA	
Αναφορά (ταχύτητας)	Αναλογική ±10V DC	
Αναλογικά σήματα εξόδου	±10V – 6mA	
Λογικά σήματα εξόδου	15/24V DC ±5% I_{max} = 20mA/40mA	
Βοηθητική έξοδος τάσης	24V DC I_{max} = 100mA ±10V DC I_{max} = 7mA	
Γενικά Χαρακτηριστικά		
Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας	0 έως 40◦C, μείωση 1.7% ον. ρεύματος ανά έως τους τους 60◦C	
Θερμοκρασία περιβάλλοντος και αποθήκευσης	-25◦C έως +70◦C	
Ύψόμετρο	1000m, μείωση 1.7% ον. ρεύματος ανά 100m	
Βαθμός σχετικής υγρασίας	μέγιστη 90%, χωρίς συμπύκνωση	
Βαθμός προστασίας	IP20	
Προστασία	Περιορισμός ρεύματος φόρτισης (αργή εκκίνηση)	
Θερμική προστασία	Του κινητήρα στους 160◦C Της μονάδας του drive στους 90◦C	
Προστασία έναντι τάσης	έναντι διακοπτόμενης τάσης υψηλής τάσης-χαμηλής τάσης βλάβης δικτύου	
Προστασία έναντι ρεύματος	έναντι βραχυκυκλώματος υπερφόρτωσης κινητήρα υπερακόντισης ρεύματος εκκίνησης κλειδώματος δρομέα	
Προστασία έναντι ταχύτητας	κατ επιλογήν προστασία έναντι υψηλής ταχύτητας	
Προστασία resolver	έναντι βραχυκυκλώματος	
Γενικές Διαστάσεις		
Διαστάσεις	272 X 162 X 170 mm	
Βάρος	6kg	

`

Συνοψίζοντας τον παραπάνω πίνακα οι μονάδες οδήγησης λειτουργούν απευθείας εντός του τριφασικού δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και διαθέτουν μηχανισμούς προστασίας, τόσο των ίδιων όσο και των κινητήρων που οδηγούν. Το drive του άξονα X έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί μεγαλύτερα ρεύματα, καθώς καλείται να μετακινήσει το μεγαλύτερο συνολικό βάρος, όντας η βασική βαθμίδα κίνησης της εργαλειομηχανής.

Οι Num AC Monodrives πραγματοποιούν αναλογικό έλεγχο της ταχύτητας του σερβοκινητήρα. Ο ελεγκτής αποστέλλει σήμα συνεχούς ρεύματος μεταβλητής τάσης, μεταξύ των ορίων -10V έως +10V. Το μέτρο τάσης αυτής μεταφράζεται γραμμικά σε συγκεκριμένη τιμή ταχύτητας για τον κινητήρα, ενώ το πρόσημο καθορίζει τη φορά περιστροφής. Ειδικότερα, έχουμε:



Εικόνα 77: Αντιστοιχία τάσης ελέγχου - ταχύτητας περιστροφής κινητήρα

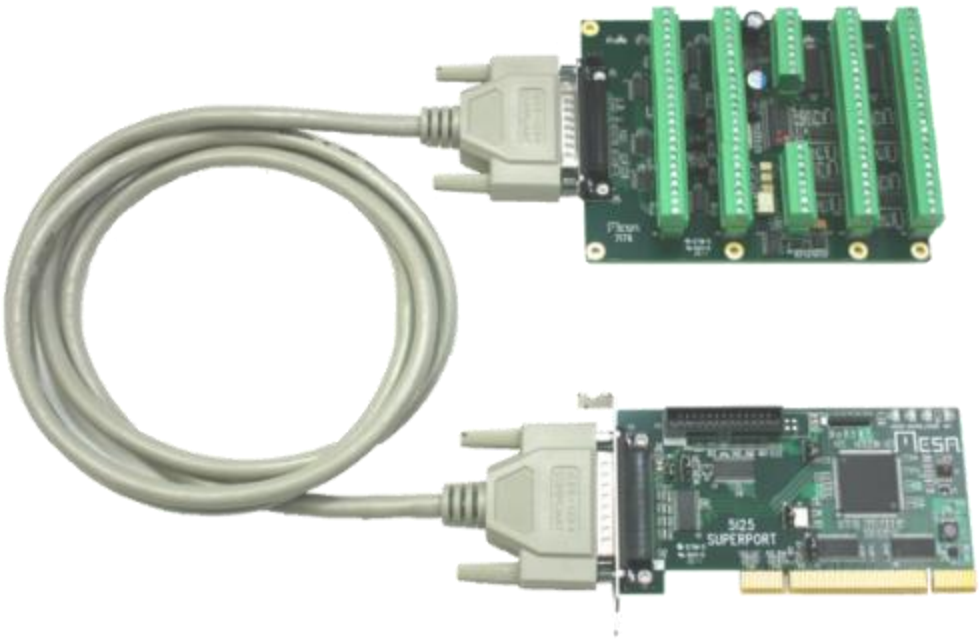
Η φορά περιστροφής που αντιστοιχεί στο κάθε πρόσημο εξαρτάται καθαρά από τη συνδεσμολογία του συνδέσμου C3. Περισσότερες πληροφορίες για τους συνδέσμους εισόδου εξόδου σημάτων και τη συνδεσμολογία των drives θα δοθούν στο Κεφάλαιο 6.

Σύστημα Ελέγχου

Στην αρχική του κατάσταση το κέντρο κατεργασίας laser του εργαστηρίου λειτουργούσε μέσω προγραμματισμένου PLC, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 71. Η μονάδα του PLC διαχειριζόταν την κίνηση των 4 αξόνων, την παραγωγή και τον έλεγχο της δέσμης laser, τη διαχείριση των υποσυστημάτων και της ροής υγρών και αέρα της εργαλειομηχανής, καθώς και τη διεπαφή με το χρήστη μέσω της κονσόλας και της οθόνης.

`

Λόγω της απώλειας προγραμματισμού του plc και στα πλαίσια εκσυγχρονισμού του συστήματος πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση του plc και σύνδεση των drives των σερβοκινητήρων με Η/Υ. Η διασύνδεση έγινε μέσω καταλλήλων ηλεκτρονικών καρτών της εταιρίας MESA Electronics, συγκεκριμένα το ζεύγος Mesa 7i77 και Mesa 5i25.



Εικόνα 78: Κάρτες διασύνδεσης Mesa 7i77 και Mesa 5i25

Η περιγραφή της διάταξης και της λειτουργίας των καρτών διασύνδεσης, καθώς και η αναγκαιότητα της προσθήκης τους στο σύστημα θα γίνει στο Κεφάλαιο 6, αφότου γίνει πρώτα η εισαγωγή στο λογισμικό LinuxCNC που θα χρησιμοποιηθεί για τον νέο έλεγχο του συστήματος κίνησης.

`

4. LinuxCNC

4.1 Εισαγωγή

Το LinuxCNC (παλαιότερη ονομασία EMC2, "Enhanced Machine Controller") είναι ένα δωρεάν, ανοιχτού κώδικα GNU / Linux σύστημα λογισμικού που υλοποιεί αριθμητικό έλεγχο εργαλειομηχανών CNC από ηλεκτρονικούς υπολογιστές γενικής χρήσης. Πρόκειται για ανοικτό λογισμικό, το οποίο αναπτύσσεται από εθελοντές χρήστες ανά τον κόσμο που αποτελούν και την κοινότητα των χρηστών του. Εγκαθιστάται εύκολα σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή και λειτουργεί σε περιβάλλον Linux, κυρίως στις εκδόσεις Ubuntu και Debian. Η χρήση του δεν περιορίζεται σε αυτές τις εκδόσεις, ωστόσο το αρχείο εγκατάστασης που κυκλοφορεί στην ιστοσελίδα του λογισμικού περιλαμβάνει αυτές τις εκδόσεις και η εγκατάσταση και λειτουργία του σε κάποια άλλη έκδοση απαιτεί περισσότερες ενέργειες από την πλευρά του χρήστη, καθώς και ρυθμίσεις για τη συμβατότητα.

Εικόνα 79: Λογότυπο LinuxCNC

Μέσω του λογισμικού linuxcnc είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος διαφόρων ειδών εργαλειομηχανών. Οι συνηθέστερες περιπτώσεις περιλαμβάνουν τόρνους, κέντρα φρεζαρίσματος και διάτρησης, ενώ υπάρχει δυνατότητα ελέγχου ρομποτικών βραχιόνων, 6ποδων ρομπότ και γενικώς εργαλειομηχανών που περιλαμβάνουν μέχρι και 9 άξονες.

Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί σε επενεργητές και εξαρτήματα διαφορετικών ειδών. Σερβοκινητήρες, βηματικοί κινητήρες, ρελέ και γραμμικά σωληνοειδή, βαλβίδες και διακόπτες είναι μερικές από τις επιλογές του χρήστη για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής.

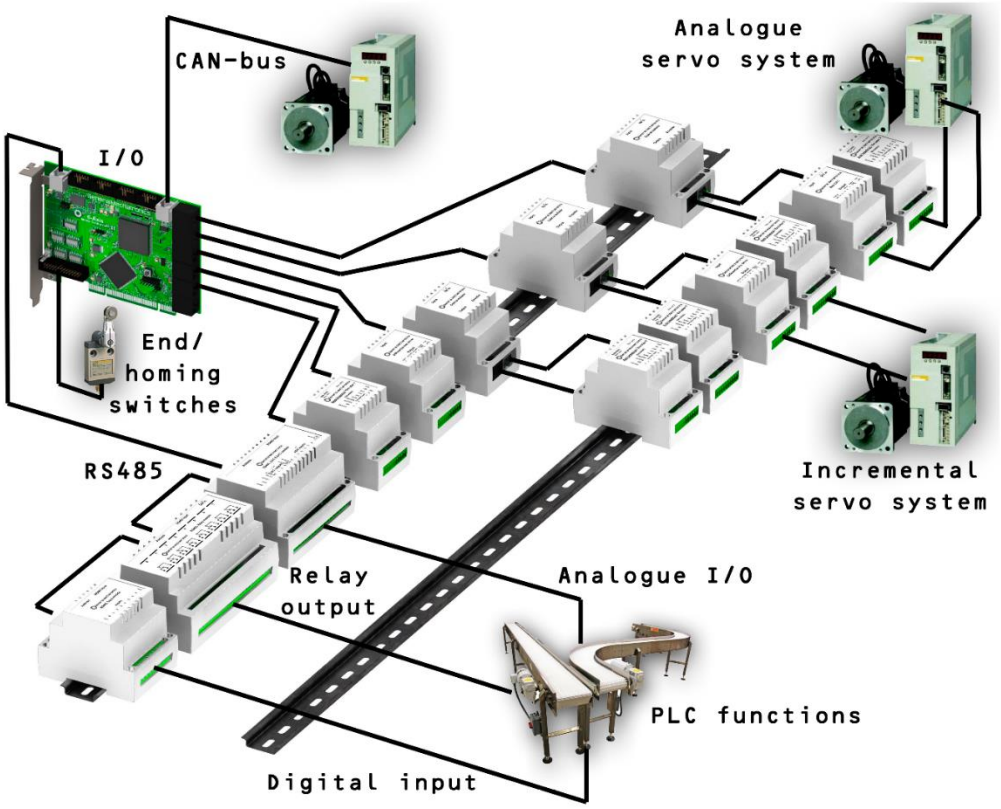
Το LinuxCNC περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ευμετάβλητο γραφικό περιβάλλον (GUI), το οποίο ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει στις απαιτήσεις της εφαρμογής του.
- Μεταγλωττιστή (interpreter) του G-κώδικα σε γλώσσα RS-274.
- Σύστημα παρακολούθησης της κίνησης των αξόνων της μηχανής σε πραγματικό χρόνο (real time) μέσα από το GUI.
- Έλεγχο και διαγνωστικά της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανικών εξαρτημάτων και των αισθητήριων της εργαλειομηχανής.

`

- Προσαρμογή σε κάθε είδους εργαλειομηχανή μέσω κεντρικού αρχείου ρυθμίσεων (configuration) και σχεδιασμού «εικονικής πλακέτας» (HAL Layer).
- Δυνατότητα προγραμματισμού PLC μέσα από λογισμικό με κλιμακωτά διαγράμματα (ladder).

Ο έλεγχος μέσω LinuxCNC υποστηρίζει αναλογικούς και ψηφιακούς σερβομηχανισμούς με κλειστό βρόχο ανάδρασης από το λογισμικό στον υπολογιστή. Έλεγχος ανοικτού βρόχου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση βηματικών κινητήρων. Τα σήματα μεταφέρονται είτε απευθείας μέσω παράλληλης θύρας στον Η/Υ, είτε διέρχονται πρώτα μέσα από ειδικές ηλεκτρονικές κάρτες διεπαφής, που δημιουργούν τις προϋποθέσεις αλληλεπίδρασης με την εν λόγω παράλληλη θύρα.



Εικόνα 80: Παράδειγμα διάταξης ελέγχου. Σύνδεση ηλεκτρομηχανικών εξαρτημάτων με κάρτα παράλληλης θύρας Η/Υ

Οι λειτουργίες ελέγχου της κίνησης περιλαμβάνουν:

`

- αντιστάθμιση μήκους και ακτίνας εργαλείου
- απόκλιση της πορείας από την ιδεατή
- διάνοιξη σπειρωμάτων
- συγχρονισμένη κίνηση αξόνων
- προσαρμογή ταχύτητας πρόωσης (adaptive feed rate) ανάλογα με την κατεργασία
- συνεχή έλεγχο της ταχύτητας, πρόωσης άξονα, ή ατράκτου.

Ο έλεγχος δεν περιορίζεται σε καρτεσιανά συστήματα συντεταγμένων. Το λογισμικό περιέχει έτοιμες ρυθμίσεις (configurations) για την προσαρμογή σε εξάποδα ρομπότ και συστήματα με περιστροφικούς συνδέσμους, συγκεκριμένα παραδείγματα τα ρομπότ τύπου PUMA και SCARA.

Το LinuxCNC χρησιμοποιεί επεκτάσεις πραγματικού χρόνου (real-time extensions). Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουν την εκτέλεση εργασιών μέσα σε πολύ στενά χρονικά πλαίσια, της τάξης των δεκάδων microsecond. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική, καθώς ελαχιστοποιεί τα τις καθυστερήσεις στην εκτέλεση πράξεων και την έκδοση εντολών για την κατεργασία. Η δυνατότητα διεργασιών πραγματικού χρόνου δεν είναι δεδομένη σε κάθε διανομή Linux. Γι αυτό έχει επιλεγεί η έκδοση Debian Wheezy’s με την οποία διανέμεται το Linuxcnc και έχει προεγκατεστημένη τη δυνατότητα αυτή.

Το λογισμικό LinuxCNC σε μορφή .ISO το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διαθέσιμο από τον σύνδεσμο:

http://www.linuxcnc.org/linuxcnc-2.7-wheezy.iso και πρόκειται για την έκδοση LinuxCNC 2.7.

Η εγκατάσταση έγινε μέσω USB σε μονάδα Η/Υ με κατάλληλα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Τα κατώτατα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτεί το LinuxCNC αναγράφονται στο εγχειρίδιο χρήστη και είναι τα ακόλουθα:

- Αρχιτεκτονική Η/Υ: 32 bit.
- Μνήμη RAM: τουλάχιστον 512Mb για την ομαλή λειτουργία του LinuxCNC και του αντίστοιχου λειτουργικού συστήματος Linux, σε νεότερες εκδόσεις Linux, ιδιαίτερα στην Ubuntu απαιτείται τουλάχιστον 1Gb μνήμης RAM.
- Επεξεργαστής: Τουλάχιστον Pentium II, με συχνότητα 400MHz και πάνω.
- Αποθηκευτικός χώρος: Τουλάχιστον 4Gb.

`

Με βάση τις σύγχρονες δυνατότητες των Η/Υ οι απαιτήσεις του LinuxCNC είναι ελάχιστες και ακόμα και ένας παλιός Η/Υ μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αυξάνοντας έτσι την οικονομικότητα που προσφέρει η χρήση του.

Ακόμα και αν οι προδιαγραφές πληρούνται, φορητοί Η/Υ πρέπει να αποφεύγονται, καθώς αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα με τις διεργασίες πραγματικού χρόνου.

Επιπλέον δε συνιστάται η χρήση του λογισμικού σε Η/Υ που δε διαθέτουν διακριτή κάρτα γραφικών, αλλά ενσωματωμένη στον επεξεργαστή.

4.2 Η Λειτουργία του LinuxCNC

Το χαρακτηριστικό εκείνο που δίνει στο LinuxCNC την ευελιξία στην προσαρμογή και το καθιστά ένα πρόγραμμα για κάθε είδους έλεγχο κινητήρων και συσκευών είναι ο τρόπος με τον οποίο είναι εσωτερικά δομημένο. Η μεταφορά εντολών και πληροφορίας γίνεται **στρωματικά** ως εξής:

- Ο χρήστης αλληλεπιδρά με το γραφικό περιβάλλον (GUI) όπως προαναφέρθηκε. Δίνει τις εντολές και λαμβάνει πληροφορίες για την κατάσταση και τυχόν ύπαρξη σφαλμάτων.

- Πίσω από το γραφικό περιβάλλον, η μετάφραση του G-κώδικα και η διευθέτηση των ακολουθιών εντολών που πρέπει να πραγματοποιηθούν γίνονται στο επίπεδο Εκτέλεσης Διεργασιών (EMCTASK).

- Από τον EMCTASK οι εντολές που αφορούν κίνηση σχεδιάζονται και μεταβιβάζονται μέσω του Διαχειριστή Κίνησης (EMCMOT) σε πραγματικό χρόνο. Στον EMCMOT γίνεται ο σχεδιασμός της τροχιάς και μεταδίδονται οι εντολές για τη μετακίνηση των αξόνων.

- Σε παράλληλο επίπεδο με τον EMCMOT βρίσκεται ο Διαχειριστής Θυρών I/O (EMCIO), το επίπεδο στο οποίο οργανώνονται όλα τα σήματα εισόδου-εξόδου από και προς τον Η/Υ για τα οποία δεν απαιτείται πραγματικός χρόνος.

- Πριν τα σήματα εξέλθουν στις ελεγχόμενες συσκευές περνούν από την εικονική πλακέτα (HAL). Η εικονική πλακέτα μπορεί να περιλαμβάνει οποιαδήποτε ηλεκτρονικά εξαρτήματα θα μπορούσαν να συναντηθούν σε μια πραγματική πλακέτα, προσομοιώνοντας τη λειτουργία τους σε επίπεδο λογισμικού. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την λειτουργία οποιασδήποτε διάταξης hardware, χωρίς να είναι απαραίτητη η υλική παρουσία των εξαρτημάτων. Αυτό το στοιχείο δίνει την απαράμιλη

`

ευελιξία στο LinuxCNC για τον έλεγχο οποιασδήποτε ηλεκτρομηχανικής διάταξης πέραν των εργαλειομηχανών.

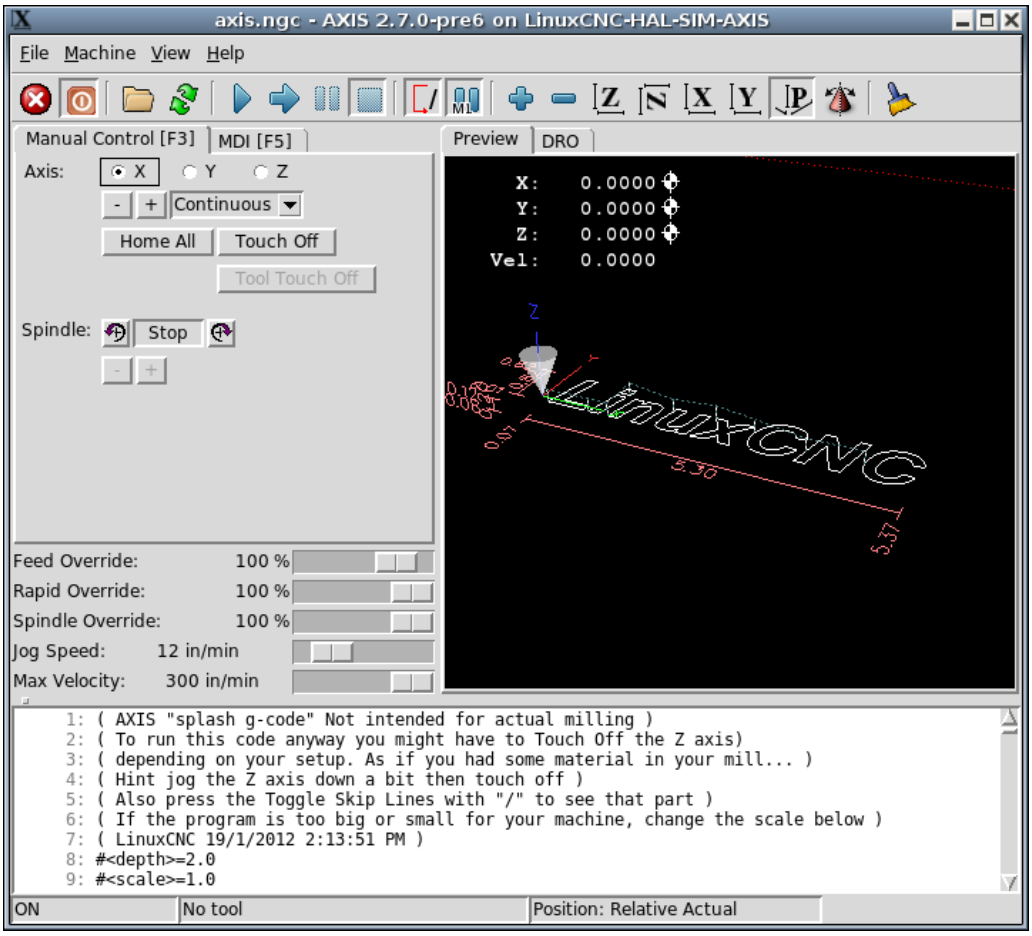
- Αφού τα σήματα, τόσο πραγματικού χρόνου (παλμοί σερβοκινητήρων, ανάδραση encoders κτλ) όσο και μη πραγματικού χρόνου (ενεργοποίηση, ή παύση κυκλοφορίας λιπαντικού, ή ψυκτικού, αλλαγή εργαλείου, μεταβολή στροφών ατράκτου κτλ) καταλήγουν στις φυσικές συσκευές και οι διεργασίες υλοποιούνται στην ηλεκτρομηχανική διάταξη του κέντρου κατεργασιών.

4.3 Γραφικό περιβάλλον LinuxCNC

Το γραφικό περιβάλλον του LinuxCNC παρομοιάζει την κονσόλα εργαλειομηχανής και κατ' επέκτασην περιλαμβάνει όλες τις βασικές λειτουργίες της.

Το γεγονός ότι το LinuxCNC είναι ανοικτό λογισμικό, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται πολλά και διαφορετικά γραφικά περιβάλλοντα. Το δημοφιλέστερο είναι το AXIS GUI το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της εργαλειομηχανής laser του τομέα:

`



Εικόνα 81: Παράδειγμα περιβάλλοντος AXIS GUI

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει το AXIS GUI μιας εφαρμογής χάραξης σε επίπεδη επιφάνεια σε κέντρο κατεργασίας 3 αξόνων. Κάτω φαίνεται η διαδοχή των εντολών του G-κώδικα βάση του αρχείου της κατεργασίας που έχει φορτωθεί. Οι συντεταγμένες των αξόνων δίνουν πληροφορία για την απόλυτη θέση του εργαλείου σε πραγματικό ρόνο Στο βασικό μενού. Πλήκτρα για την εκκίνηση, την παύση και τη διακοπή, καθώς και για την προσπέλαση και επιτόπου επεξεργασία του φορτωμένου κώδικα. Πληροφορίες για την πρόωση και τις στροφές της ατράκτου καθώς και παράθυρο προεπισκόπησης και επισκόπησης της κατεργασίας.

Δίνονται τρεις διαφορετικές επιλογές για την εισαγωγή εντολών. Χειροκίνητα (Manual), Αυτόματα (Auto), και MDI (Manual Data Input). Η χειροκίνητη λειτουργία επιτρέπει την κίνηση προς μια κατεύθυνση με ένα πλήκτρο, ή κατάλληλο μοχλό (jog) ή κάποια απλή λειτουργία, όπως είναι η ενεργοποίηση της βαλβίδας του ψυκτικού υγρού. Η αυτόματη λειτουργία εκτελεί τις όλες τις εντολές που έχουν εισαχθεί από ένα ολόκληρο αρχείο g-κώδικα. Η αυτόματη εισαγωγή εντολών MDI επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει μεμονωμένες εντολές G-κώδικα για την εκτέλεσή τους χωρίς την ανάγκη σύνταξης αρχείου κατεργασίας.

`

4.4 Διεπαφή μέσω ηλεκτρονικών καρτών της Mesa Electronics

Για τη διασύνδεση του κέντρου κατεργασιών με τον Η/Υ και το λογισμικό LinuxCNC κατέστη αναγκαία η προμήθεια και χρήση ειδικών ηλεκτρονικών καρτών διεπαφής. Οι σερβομηχανισμοί είναι αναλογικού τύπου, ελέγχου ταχύτητας και για τον απευθείας έλεγχο των αξόνων μεσω παράλληλης θύρας θα χρειαζόταν εκτενής προγραμματισμός του HAL από το μηδέν, ώστε να διαχειρίζεται παλμούς που να προσομοιώνουν την αναλογική μεταβολή της τάσης ελέγχου σε πραγματικό. Πιθανότατα θα χρειαζόταν ούτως, ή άλλως και η προσθήκη κάποιας υλικής διάταξης ενίσχυσης, ή αντιστροφής πολικότητας, καθώς η παράλληλη θύρα διαχειρίζεται σήματα τάσης 3.3V και 5V, αφήνοντας έτσι εκτός εμβέλειας τις τιμές από 5V έως 10V.

Μια καλή επιλογή καρτών διεπαφής κρίθηκε πως είναι το σετ καρτών της εταιρίας Mesa Electronics, 7i77 & 5i25.

Η **Mesa 5i25** είναι μια FPGA τύπου κάρτα, field-programmable gate array - συστοιχία επιτόπια προγραμματιζόμενων πυλών που συνδέεται μέσω θύρας περιφερειακού διαύλου PCI απευθείας στη μητρική πλακέτα του Η/Υ. Απλούστερα, πρόκειται για μια γενικής χρήσεως προγραμματιζόμενη κάρτα I/O.

Εικόνα 82: Κάρτα διεπαφής Mesa 5i25

Η 5i25 χρησιμοποιεί μια τυπική παράλληλη θύρα DB25F για την επικοινωνία της με τα εξαρτήματα της ελεγχόμενης εργαλειομηχανής.

Η διαφορά της από μια απλή κάρτα παράλληλης θύρας εστιάζεται στο γεγονός ότι κάθε μια μεμονωμένη είσοδος, ή έξοδος της 5i25 διαθέτει ξεχωριστά προγραμματιζόμενη χρήση και κατεύθυνση σήματος. Ταυτόχρονα, υπάρχουν έτοιμα κομμάτια κώδικα (firmware modules) ενσωματωμένα στον οδηγό εγκατάστασης του linuxCNC που καθιστά εύκολη την διασύνδεσή της με συστήματα που περιλαμβάνουν encoders, βηματικούς κινητήρες, ψηφιακούς και αναλογικούς σερβομηχανισμούς. Επιπλέον υπάρχουν επίσης έτοιμα αρχεία ρυθμίσεων (configuration files) που καθιστούν την κάρτα συμβατή με θυγατρικές κάρτες, όπως είναι η Mesa 7i77 χωρίς ανάγκη για πολύπλοκες ρυθμίσεις κάθε στοιχείου I/O ξεχωριστά. Η

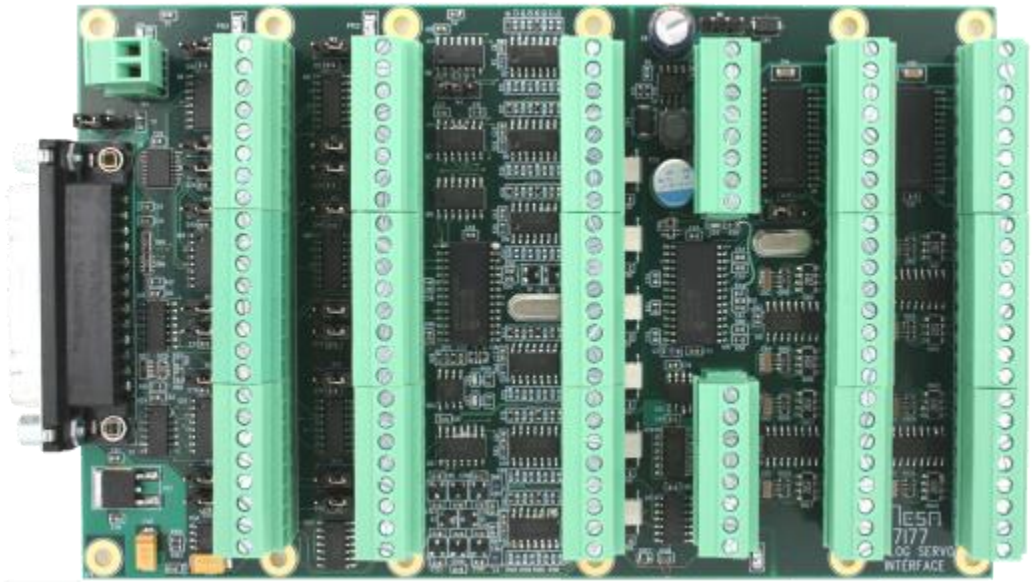
`

παράλληλη θύρα της λειτουργεί σε τάσεις 3.3V και 5V και διαθέτει επίσης και 34 ξεχωριστές επαφές I/O στις οποίες μπορεί να τοποθετηθεί κατάλληλο τερματικό.

Η **Mesa 7i77** είναι θυγατρική κάρτα της 5i25 (daughterboard) σχεδιασμένη ειδικά για τη διασύνδεσή της με αναλογικούς σερβομηχανισμούς έως και 6 άξονων. Περιλαμβάνει συνδέσμους για

- 6 εξόδους αναλογικού ελέγχου ±10V
- 6 εξόδους σήματος drive enable, το σήμα που επιτρέπει στο drive να διαχειριστεί σήματα ελέγχου κίνησης
- 6 εισόδους encoders με index (καταχωρητή αριθμού στροφών ατράκτου, Z marker)
- 48 απομονωμένες επαφές I/O γενικής χρήσης, για τον έλεγχο επί μέρους λειτουργιών (σήματα τερματικών, διαχείριση ψυκτικού μέσου, αλλαγές εργαλείων κτλ) εκ των οποίων:
    - 32 εισόδους (inputs) επιτρεπόμενης τάσης από 5V έως 32V.
    - 16 εξόδους (outputs) μεταβαλλόμενης τάσης από 5V έως 28V
- 1 σειριακή θύρα RS-422 για την επέκταση της κάρτας με άλλες θυγατρικές κάρτες σε περίπτωση που οι επαφές της 7i77 δεν επαρκούν

Η συνδεσμολογία της κάρτας 7i77 για τη σύνδεσή της με τα εξαρτήματα της εργαλειομηχανής θα περιγραφεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6. Κάποια στοιχεία αυτής θα παρουσιαστούν στην επόμενη παράγραφο, κατά την περιγραφή της διαδικασίας της ρύθμισης και παραμετροποίησης του LinuxCNC



Εικόνα 83: Κάρτα διεπαφής Mesa 7i77

`

Οι έξοδοι διαθέτουν προστασία έναντι βραχυκυκλώματος και μπορούν να διαχειριστούν μέγιστο φορτίο ρεύματος ίσο με 300mA. Όλες οι καλωδιώσεις καταλήγουν σε αποσπώμενα τερματικά μπλοκ (φύσσες) συγκράτησης με κοχλία 3.5mm.

Η Mesa 7i77 συνδέεται με την Mesa 5i25 μέσω καλωδίου παράλληλης θύρας DB25F. Η συνεργασία των καρτών γίνεται προφανής κατά τη διαδικασία ρύθμισης του LinuxCNC και της εισαγωγής των στοιχείων της εργαλειομηχανής, που περιγράφεται παρακάτω.

4.5 Εισαγωγή Στοιχείων της Εργαλειομηχανής – Οδηγός pncconf

Γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά του κέντρου κατεργασιών, τα μεγέθη των κινητήρων, το εύρος κίνησης των αξόνων και τους τύπους των τερματικών διακοπτών και των λοιπών εξαρτημάτων, η σύνδεση και ρύθμιση του LinuxCNC γίνεται εύκολα μέσω του προγράμματος pncconf.

Το pncconf είναι ένα πρόγραμμα που επιτρέπει τη ρύθμιση των παραμέτρων σε γραφικό περιβάλλον, καθοδηγώντας το χρήστη βήμα προς βήμα στην καταχώρηση των στοιχείων της εργαλειομηχανής και τη ρύθμιση του περιβάλλοντος στο οποίο θα λειτουργεί το LinuxCNC. Βασίζεται στο πρόγραμμα stepconf που επιτελεί το ίδιο ακριβώς έργο για βηματικούς κινητήρες, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση σερβομηχανισμών και υποστηρίζει αναλογικό έλεγχο ταχύτητας.

Η εισαγωγή των στοιχείων της εργαλειομηχανής γίνεται ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

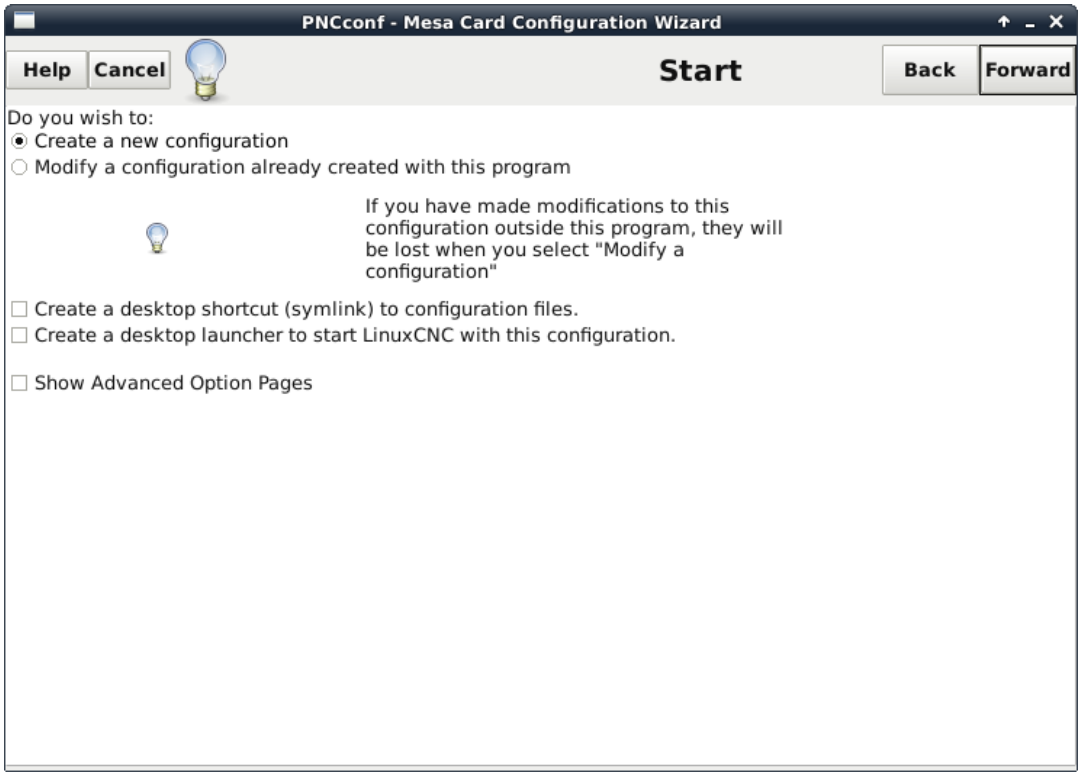
`

Εικόνα 84: Εισαγωγικό παράθυρο οδηγού pncconf

Παρατηρούμε ότι ολόκληρη η εφαρμογή έχει σχεδιασθεί για λειτουργία με κάρτες διασύνδεσης της Mesa Electronics, γεγονός που επιταχύνει και διευκολύνει τη διαδικασία ρύθμισης.

Στο πρώτο παράθυρο ο χρήστης επιλέγει μεταξύ της δημιουργίας νέου, ή της επεξεργασίας ήδη υπάρχοντος αρχείου ρύθμισης (configuration file). Το αρχείο ρύθμισης περιέχει αποθηκευμένες τις παραμέτρους μιας εργαλειομηχανής και μπορεί να φορτωθεί από το LinuxCNC ανά πάσα στιγμή για τον έλεγχο της συγκεκριμένης εργαλειομηχανής. Η εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών configuration files δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μεταβαίνει από εργαλειομηχανή σε εργαλειομηχανή γρήγορα και απλά, χωρίς την ανάγκη εκ νέου ρύθμισης των παραμέτρων.

`

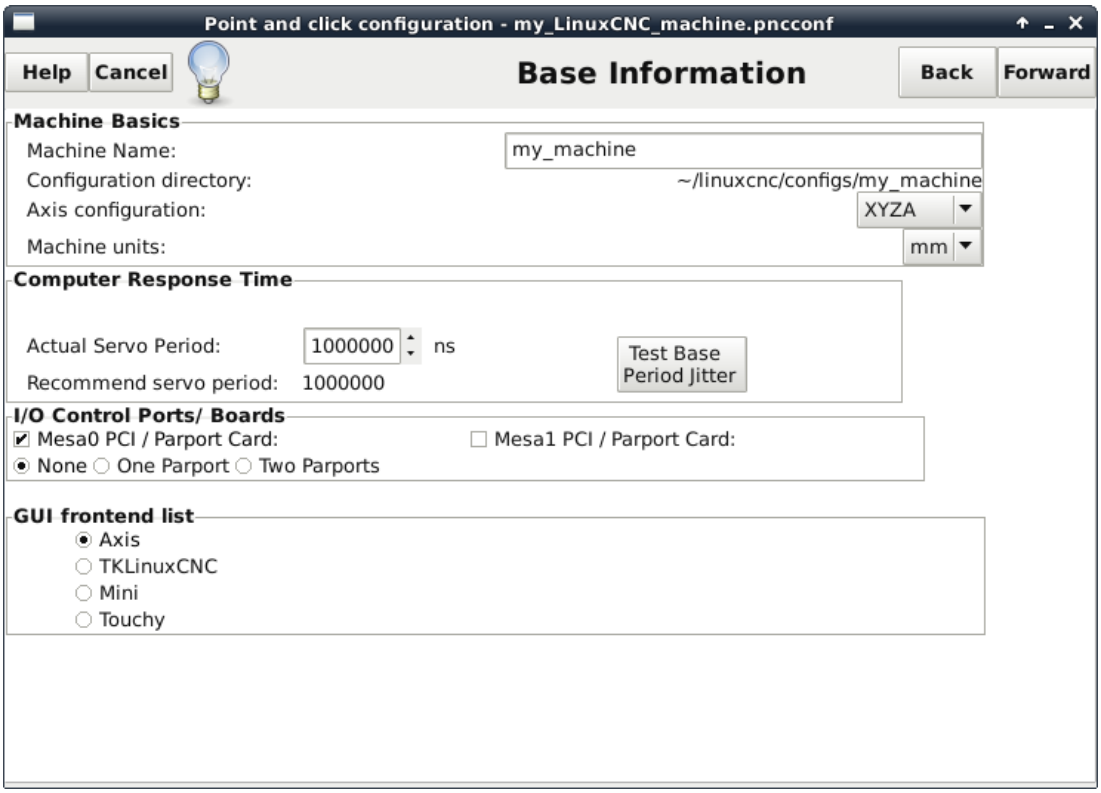


Εικόνα 85: Επιλογή μεταξύ νέας ρύθμισης, ή επεξεργασίας υπάρχουσας

Στο δεύτερο παράθυρο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ νεας ρύθμισης για το LinuxCNC, ή την προσπέλαση και επεξεργασία κάποιας υπάρχουσας. Η δυνατότητα επεξεργασίας παλαιότερης ρύθμισης επιτρέπει την εύκολη μετατροπή μιας υπάρχουσας διάταξης ελέγχου. Αν για παράδειγμα σε μια εργαλειομηχανή αντικατασταθεί κάποιος κινητήρας, ή προστεθεί κάποιος νέος αισθητήρας δε χρειάζεται να γίνει ρύθμιση από την αρχή.

Ακολουθεί το παράθυρο στο οποίο ο χρήστης δίνει τις βασικές πληροφορίες της διάταξης:

`



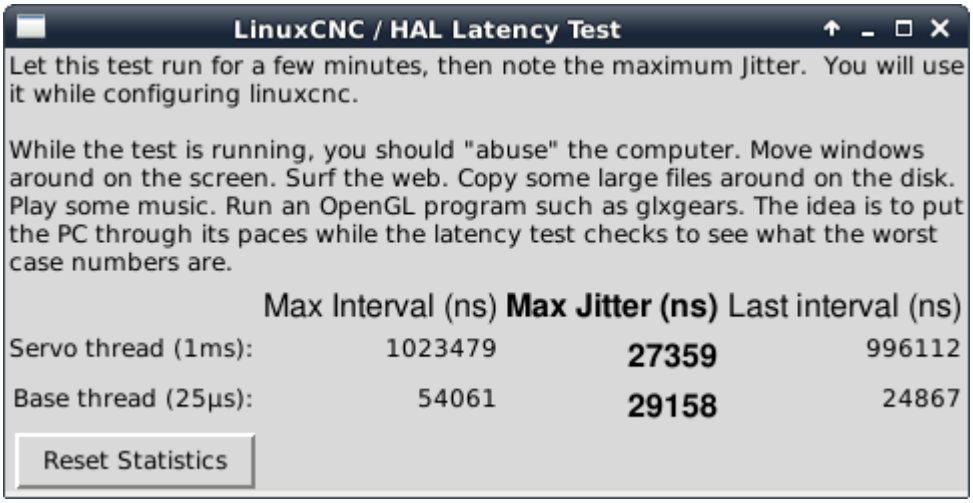
Εικόνα 86: Παράθυρο βασικών πληροφοριών ρύθμισης

Συγκεκριμένα ζητώνται:

- το όνομα του αρχείου ρύθμισης (στην προκειμένη περίπτωση my_machine) στο οποίο θα αποθηκευτούν οι παράμετροι της εργαλειομηχανής.
- τη βασική διάταξη των αξόνων (εδώ XYZA)
- την περίοδο απόκρισης των σερβομηχανισμών, μικρότερη περίοδος οδηγεί σε καλύτερη απόκριση, αλλά μεγαλύτερες απαιτήσεις επεξεργαστή και επιβάρυνση του λογισμικού. Η κατάλληλη τιμή της προκύπτει μετά από latency test, που δοκιμάζει τις δυνατότητες του Η/Υ. Κρατάμε τη συνιστώμενη τιμή των 1000000 ns. Σε περίπτωση που παρουσιαστούν προβλήματα στη λειτουργία με τη συγκεριμένη τιμή περιόδου, η τιμή μπορεί να μεταβληθεί εύκολα μέσω του pncconf.
- τη χρησιμοποιούμενη βασική κάρτα διασύνδεσης (Mesa 5i25) και την ύπαρξη ή όχι άλλης παράλληλης θύρας. Στην περίπτωσή μας το σετ 7i77 και 5i25 επαρκεί και δε χρειάζεται να δηλωθεί και να χρησιμοποιηθεί άλλη παράλληλη θύρα
- το γραφικό περιβάλλον, GUI (Axis)

`

Για την επιβεβαίωση της ικανότητας του Η/Υ να διαχειριστεί τη λειτουργία του LinuxCNC πρέπει να πραγματοποιηθεί Δοκιμή Χρόνου Καθυστέρησης (Latency Test). Η δοκιμή ξεκινάει με την επιλογή «Test Base Period Jitter» και πραγματοποιείται στο παρακάτω παράθυρο:



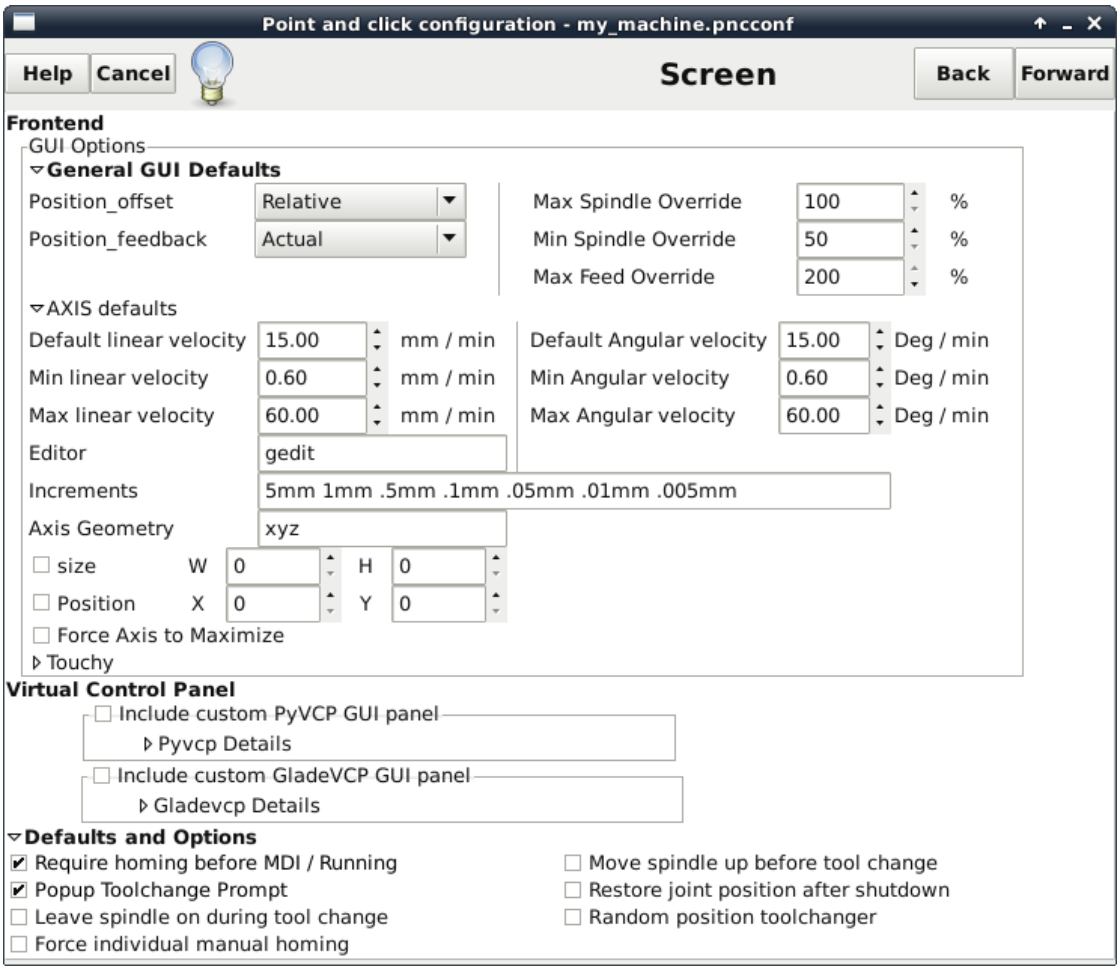
Εικόνα 87: Δοκιμή χρονοκαθυστέρησης

Κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής, το LinuxCNC τρέχει σήματα πραγματικού χρόνου που μιμούνται την πραγματική του λειτουργία. Καταγράφει το χρόνο μετάδοσης και επιστροφής των σημάτων και υπολογίζει την καθυστέρηση εξ αιτίας της υπολογιστικής ανεπάρκειας του Η/Υ. Ουσιαστικά μετρά τη δυνατότητα του επεξεργαστή να ανταποκρίνεται επαρκώς σε εξωτερικά σήματα εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Τιμές μέχρι τα 50000ns του max jitter είναι αποδεκτές, ενώ μεγαλύτερες τιμές σημαίνουν πως ο επιλεγμένος υπολογιστής δεν αποτελεί καλή επιλογή για τη λειτουργία του LinuxCNC.

Κατά τη διεξαγωγή του Latency Test ο χρήστης πρέπει να καταπονεί τον υπολογιστή. Ανοικτά παράθυρα, πληθώρα εφαρμογών και περιήγηση στο διαδίκτυο πρέπει να απασχολούν τη μονάδα του επεξεργαστή ώστε να βγάλει σωστά αποτελέσματα. Ο χρόνος του τεστ προτίνεται να υπερβαίνει τα 15 λεπτά.

`

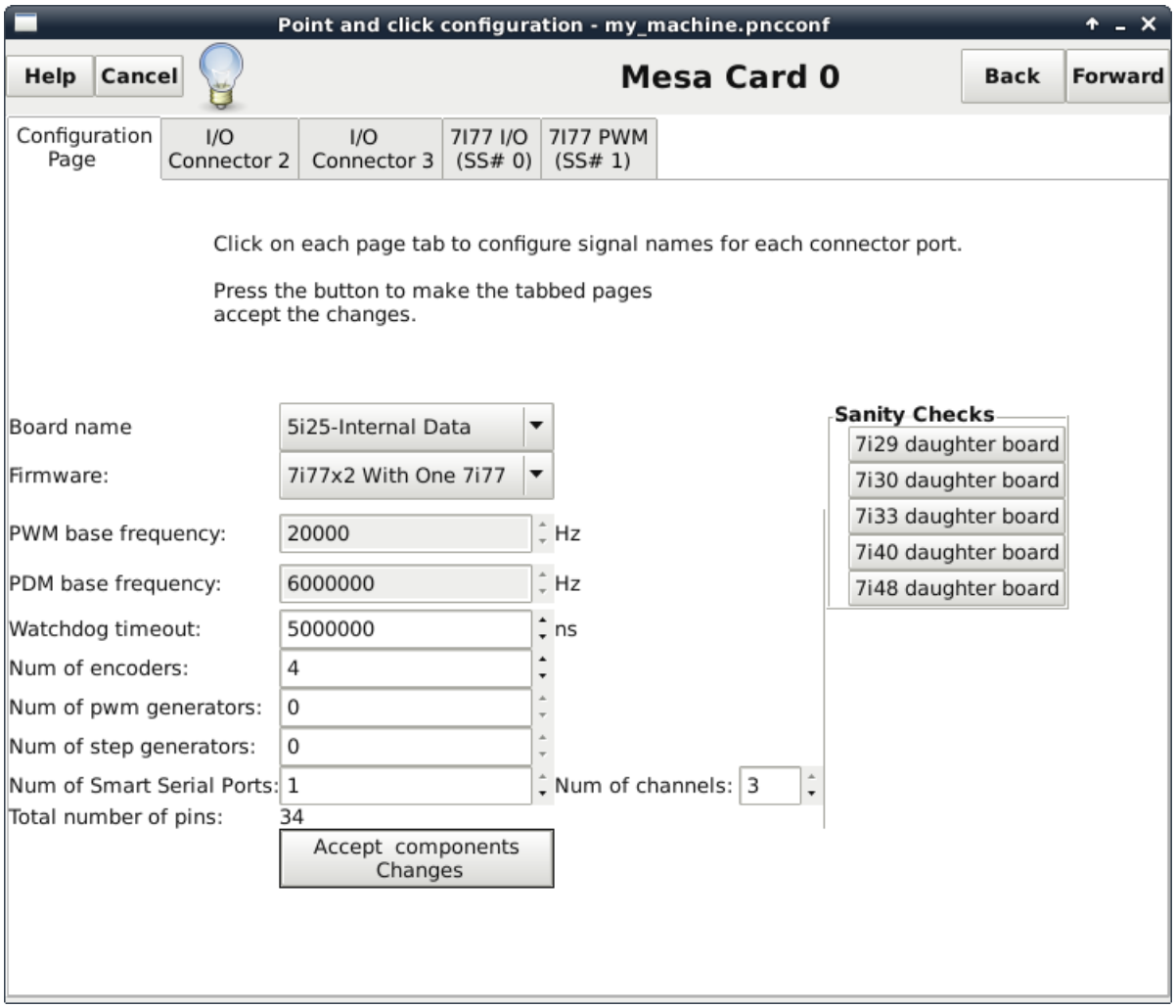
Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει βασική προσαρμογή του GUI και επιλογή προκαθορισμένων μεγεθών για τη λειτουργία της μηχανής. Τα πιο σημαντικά μεγέθη αποτελούν το ποσοστό στο οποίο ο χρήστης μπορεί χειροκίνητα να επέμβει στην ταχύτητα πρόωσης και οι προκαθορισμένες ταχύτητες. Προς το παρόν δόθηκαν μικρές ταχύτητες για την αποφυγή ατυχημάτων στις πρώτες δοκιμές του συστήματος κίνησης. Επιπλέον ορίστηκε ως προκαθορισμένη η εύρεση της αρχής του συστήματος συντεταγμένων της μηχανής πριν από την εκτέλεση εντολών MDI και ερώτηση πριν από την αλλαγή εργαλείου, η οποία όμως δε θα μας απασχολήσει, καθώς η εργαλειομηχανή δε διαθέτει εργαλειοφορέα.



Εικόνα 88: Ρύθμιση βασικών λειτουργιών και δυνατοτήτων του γραφικού περιβάλλοντος και των κινήσεων της εργαλειομηχανής

`

Ακολουθεί η επιλογή των καρτών διασύνδεσης μέσω των οποίων το LinuxCNC ελέγχει τη διάταξη του κέντρου κατεργασιών.

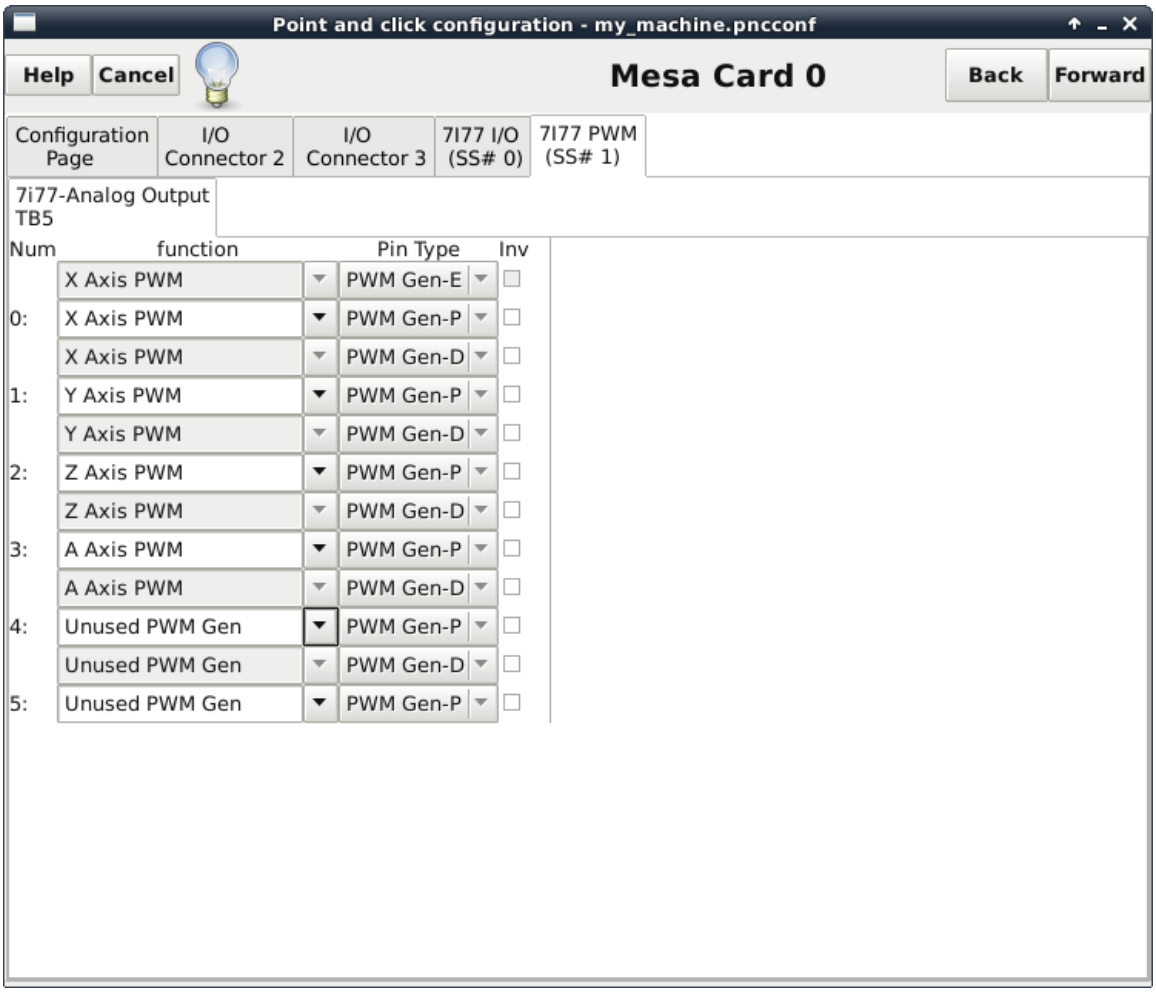


Εικόνα 89: Παράθυρο επιλογής καρτών διασύνδεσης

Υπάρχει έτοιμη επιλογή για τη Mesa 5i25, με firmware για τη χρήση της σε συνδυασμό με τη θυγατρική πλακέτα Mesa 7i77. Οι συχνότητες συμπληρώνονται αυτόματα βάση του μοντέλου της κάρτας και η επικοινωνία μεταξύ 5i25 και 7i77 γίνεται μέσω παράλληλης θύρας DB25F. Δίνοντας τον αριθμό των encoders (4) και επικυρώνοντας το πλήκτρο «Accept Components Changes» ανοίγουν καρτέλες για τη ρύθμιση των εισόδων και εξόδων της διάταξης.

`

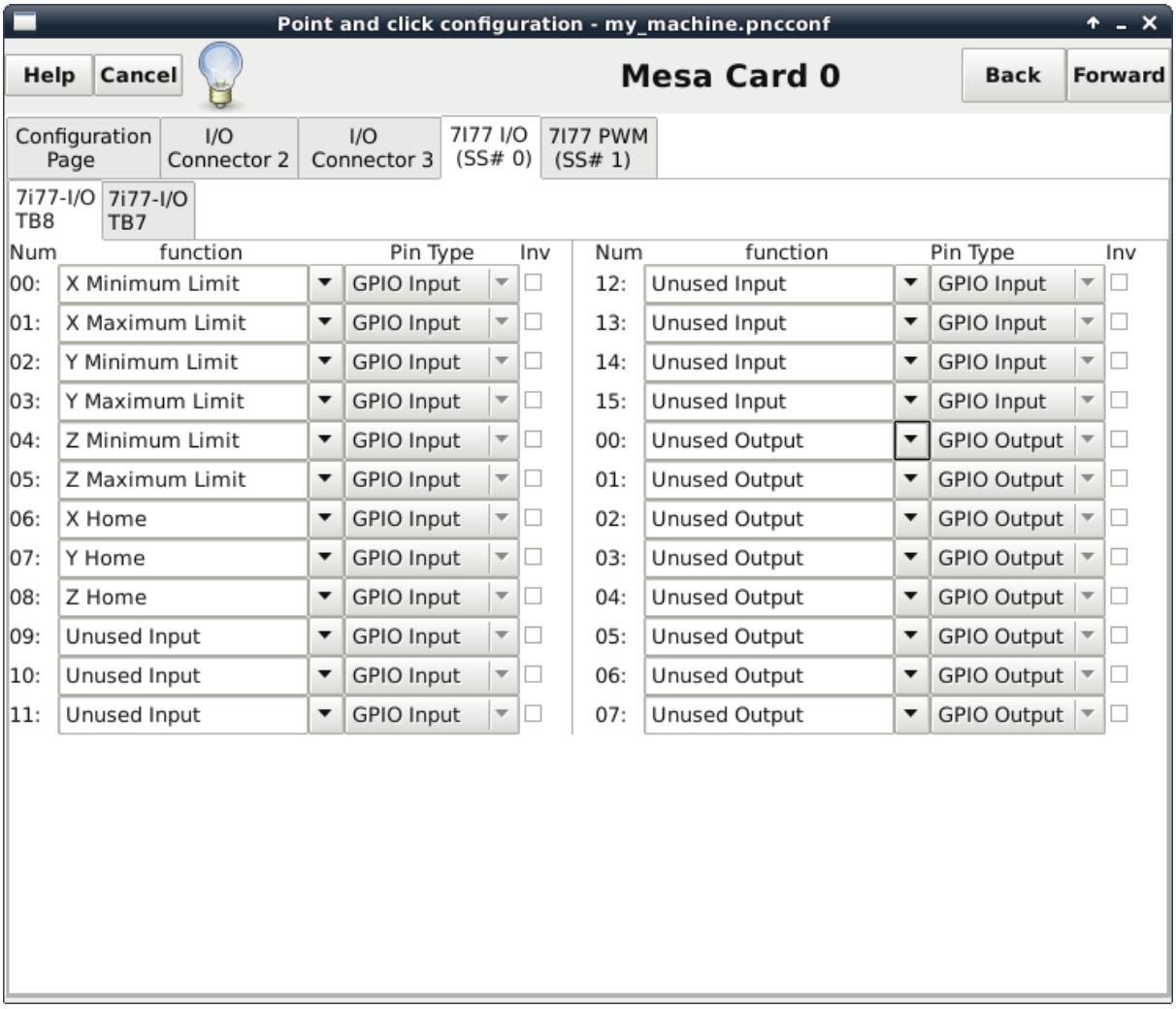
Στην καρτέλα 7i77 PWM ο χρήστης δίνει την αντιστοιχία των drives των σερβοκινητήρων με τις κατάλληλες επαφές του τερματικού μπλόκ TB5 της Mesa 7i77. Η επιλογή γίνεται εύκολα με μια κίνηση σε φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον, προϋποθέτοντας όμως τη σωστή συνδεσμολογία των καλωδίων, η οποία θα παρουσιαστεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6.



Εικόνα 90: Αντιστοίχιση επαφών με τις μονάδες οδήγησης

`

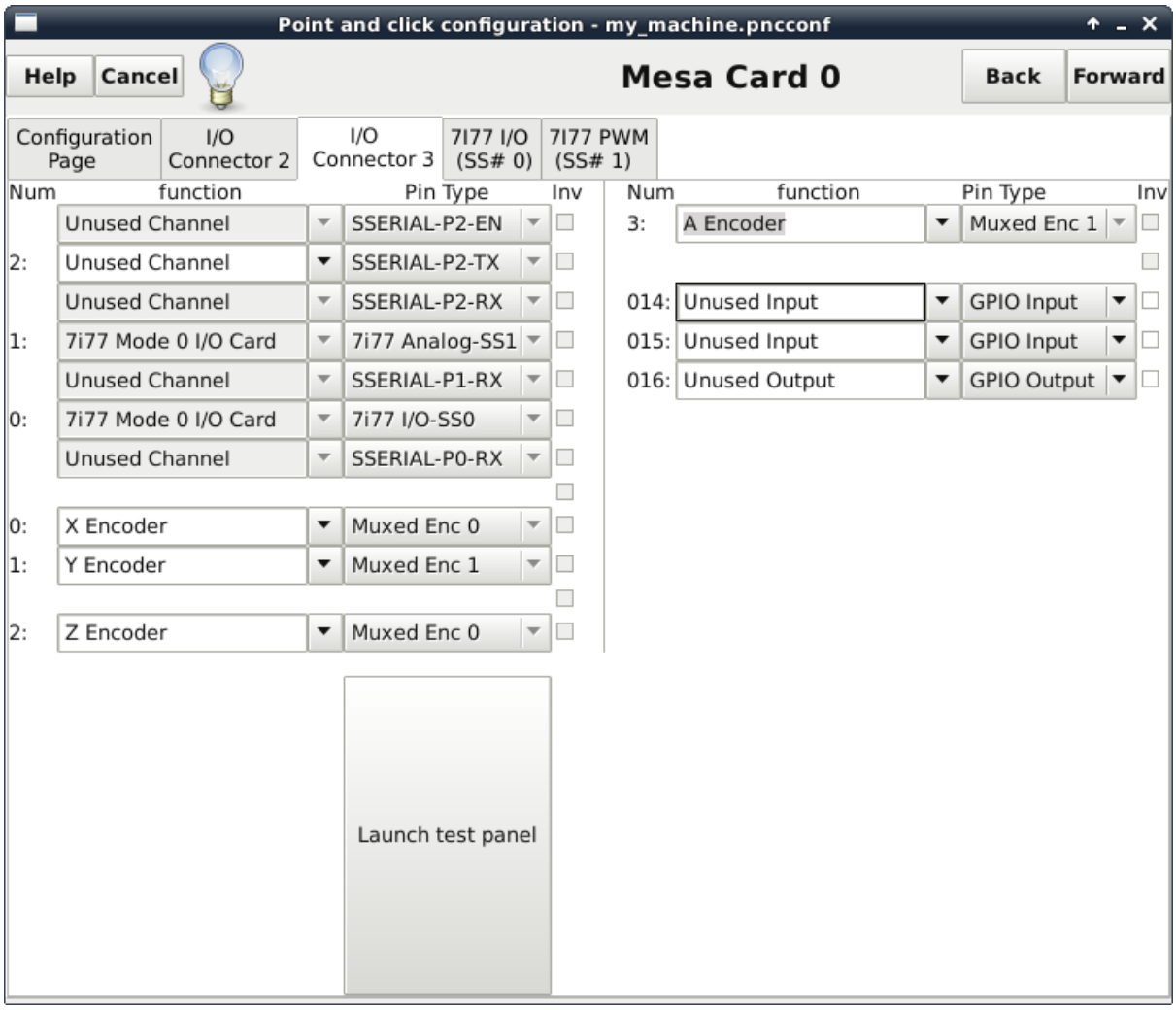
Η καρτέλα 7i77 I/O διαχειρίζεται με τον ίδιο τρόπο τις 48 ανεξάρτητες επαφές I/O της Mesa 7i77. Ο χρήστης, πολύ εύκολα αναθέτει το ρόλο κάθε εισόδου ή εξόδου. Στην παρούσα φάση έγινε απλώς αντιστοίχιση των εισόδων με τους τερματικούς διακόπτες και τους διακόπτες αρχικοποίησης, όπως φαίνεται παραπάνω. Οι υπόλοιπες διαθέσιμες I/O διατηρούν ένδειξη «unused» και μπορούν να αναλάβουν κάποια λειτουργία στο μέλλον.



Εικόνα 91: Ανάθεση λειτουργιών των επαφών I/O της Mesa 7i77

`

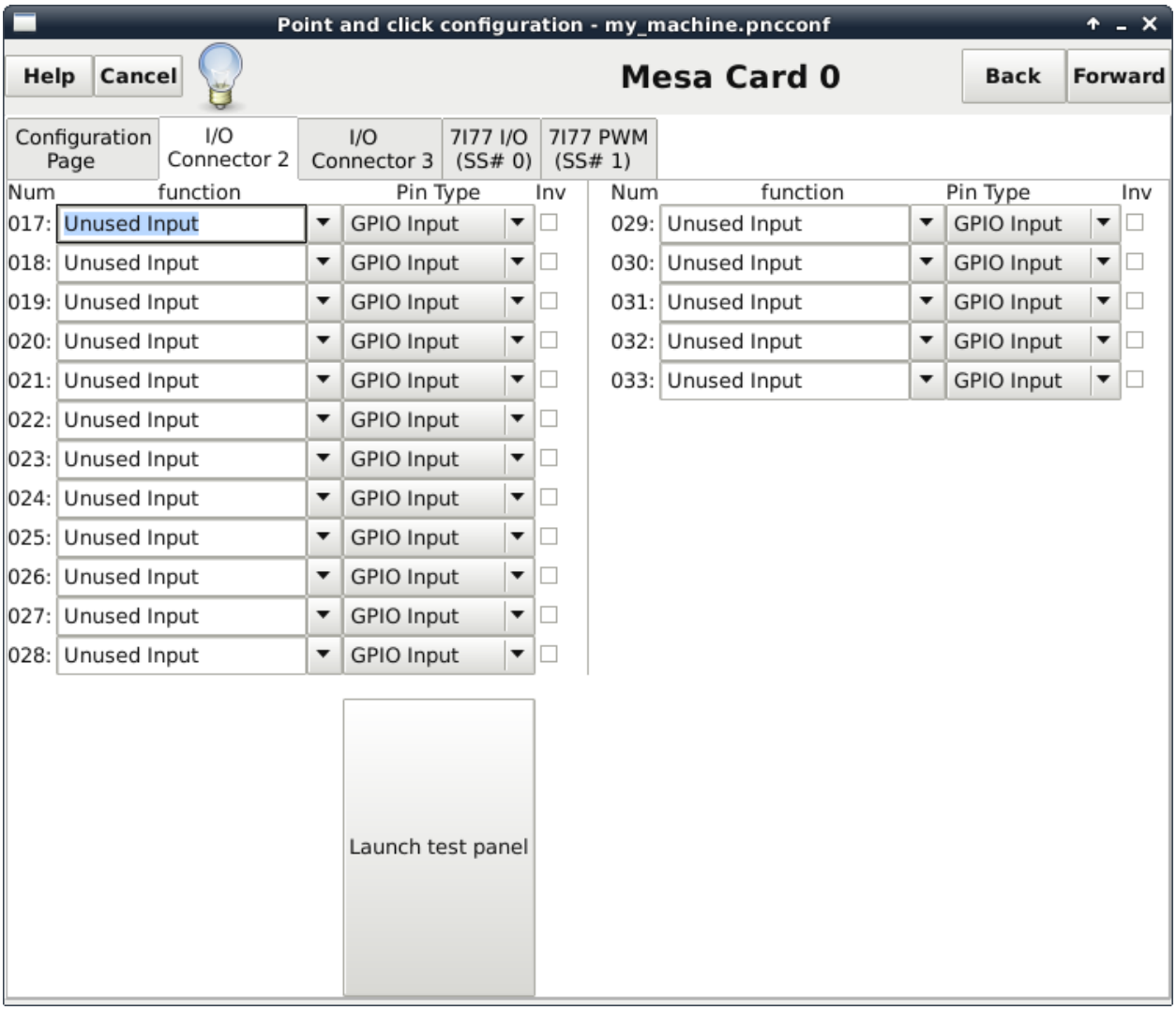
Στην καρτέλα «I/O Connector 3» ο χρήστης απλώς συμπληρώνει τις θέσεις των encoders στην πλακέτα. Πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε οι encoders να δοθούν με τη σειρά που έχουν συμπληρωθεί οι άξονες στην καρτέλα 7i77 PWM, διότι λανθασμένη αντιστοιχία θα οδηγήσει σε απώλεια ελέγχου, καθώς η ανάδραση ενός encoder θα τροφοδοτεί τον λάθος κινητήρα.



Εικόνα 92: Αντιστοιχία encoders στις επαφές της Mesa 7i77

`

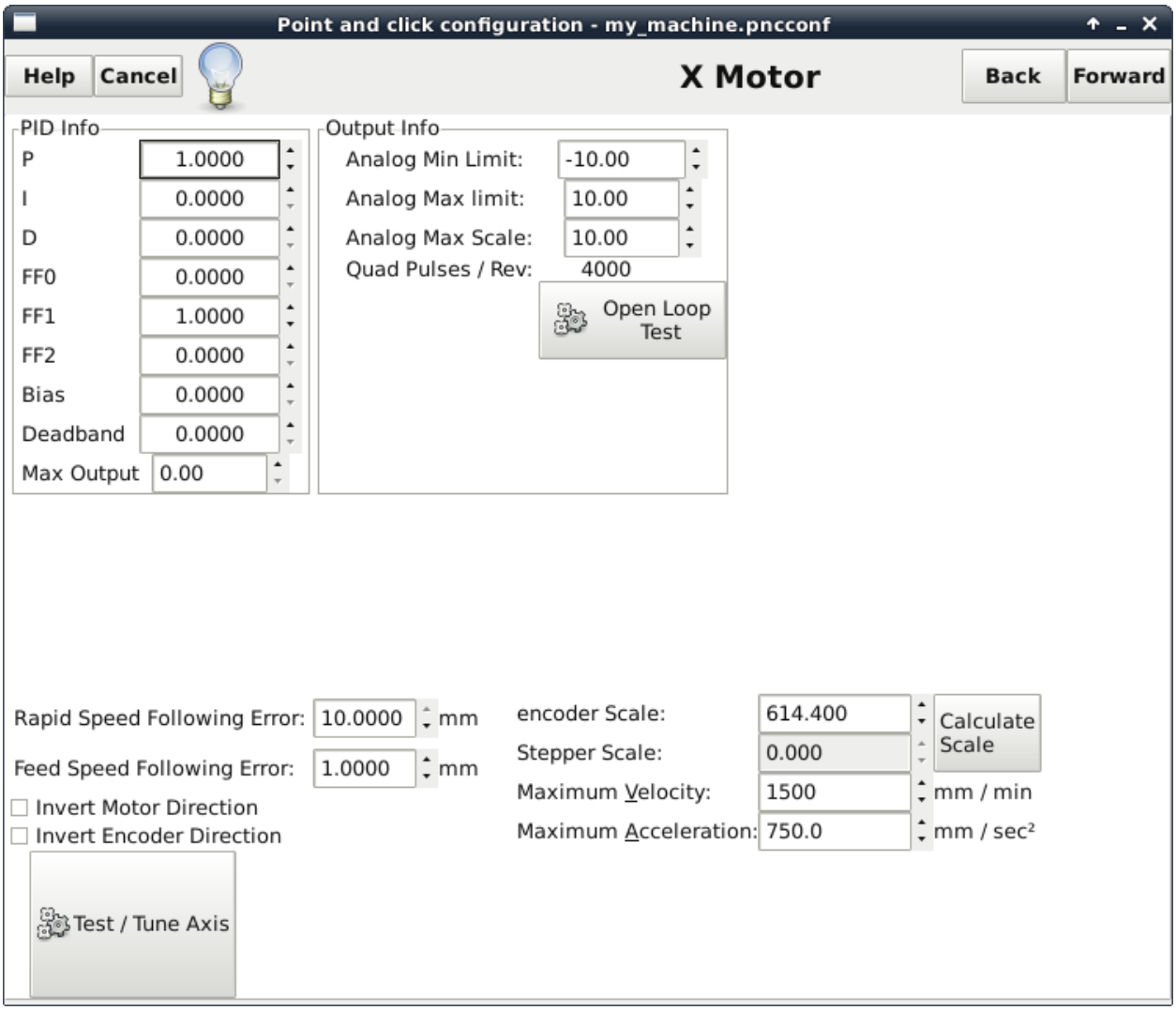
Για λόγους πληρότητας ανατρέχουμε και στην καρτέλα «I/O Connector 2», όπου εδώ ο χρήστης μπορεί να δώσει αναθέσει λειτουργίες στις 34 διαθέσιμες επαφές της Mesa 5i25. Διαθέτοντας ακόμη αρκετές αχρησιμοποίητες επαφές στην 7i77 αφήνουμε την καρτέλα κενή:



Εικόνα 93: Αχρησιμοποίητες επαφές I/O της Mesa 5i25

`

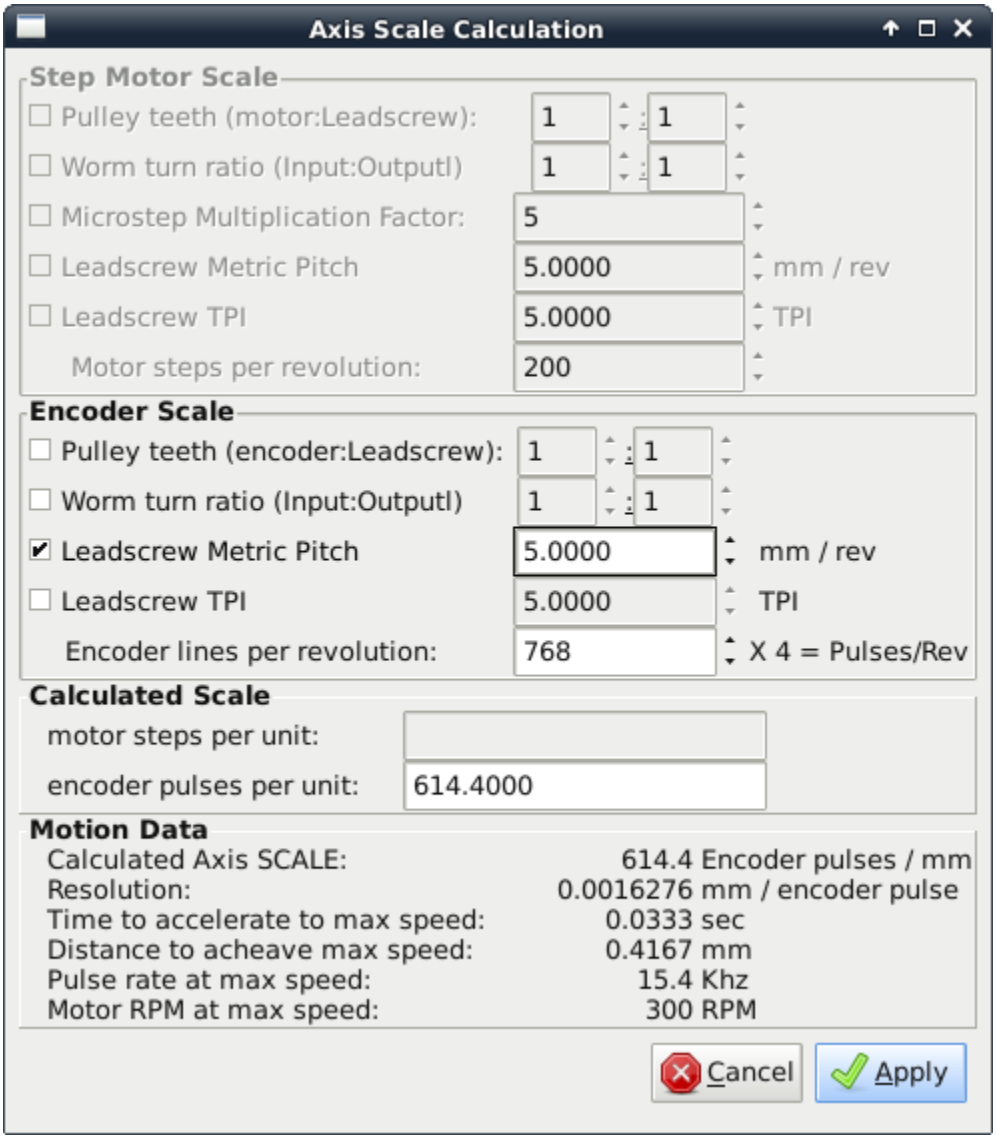
Στη συνέχεια ο οδηγός pncconf αναλαμβάνει τη ρύθμιση των σερβομηχανισμών με βάση τις παραμέτρους που λαμβάνει από το χρήστη. Ξεκινώντας από τον κινητήρα του άξονα X έχουμε:



Εικόνα 94: Ρύθμιση και δοκιμή άξονα πρόωσης X

Οι τιμές για τον έλεγχο PID για την ώρα δε συμπληρώνονται. Απαιτείται πλήρως συνδεδεμένη διάταξη για τη δοκιμή και το καλιμπράρισμα των αξόνων. Οι τιμές των P,I και D δίνονται κατόπιν της παραπάνω δοκιμής για την καλύτερη απόκριση των κινητήρων ύστερα από δοκιμές. Για τον encoder υπολογίζεται η σωστή κλίμακα, ώστε μια περιστροφή του να αντιστοιχεί σε μια περιστροφή της ατράκτου του κινητήρα. Η ρύθμιση της κλίμακας του άξονα γίνεται με το παρακάτω εργαλείο:

`



Εικόνα 95: Ρύθμιση κλίμακας του encoder

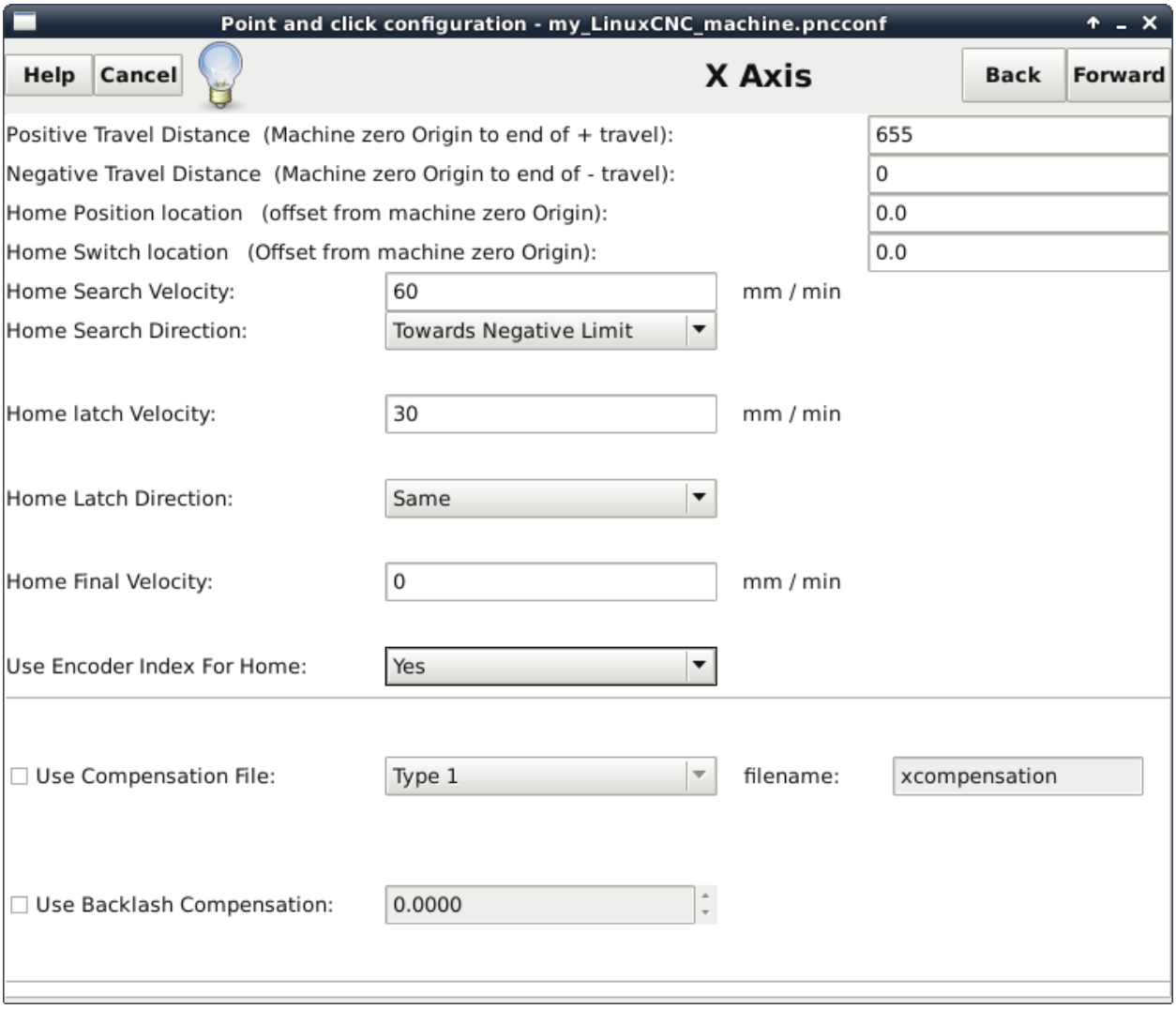
Στο πρόγραμμα δίνεται το βήμα του κοχλία κίνησης, η σχέση μετάδοσης όπου υπάρχουν τροχαλίες, ή οδοντωτοί τροχοί, καθώς και οι παλμοί του encoder ανά πλήρη περιστροφή. Από το εγχειρίδιο του σερβοενισχυτή γνωρίζουμε ότι η έξοδος σήματος του encoder γίνεται με 4 X 768 = 3072 παλμούς ανά περιστροφή, ενώ μετρώντας τους κοχλίες κίνησης γνωρίζουμε ότι έχουν βήμα 5mm. Τα μεγέθη αυτά μας δίνουν θεωρητική ακρίβεια κίνησης της μηχανικής τράπεζας κίνησης ίση με 1.6μm!

Τη ρύθμιση της κλίμακας ακολουθεί η ρύθμιση των ορίων της τάσης ελέγχου και το τεστ ανοικτού βρόγχου. Εαν ο κινητήρας και ο encoder έχουν συνδεθεί και παραμετροποιηθεί σωστά ο χρήστης μπορεί

`

να προβεί και σε τεστ και συντονισμό του άξονα, διαδικασία όμως που προϋποθέτει όλη η διάταξη να είναι πλήρως συνδεδεμένη και λειτουργική και προς το παρόν παραλείπεται.

Για κάθε άξονα κίνησης, μετά τη ρύθμιση του συστήματος κινητήρα-encoder ακολουθεί η εισαγωγή παραμέτρων για τον ίδιο τον άξονα κίνησης.



Εικόνα 96: Ρύθμιση των παραμέτρων για την κίνηση του άξονα X

`

Αρχικά δίνεται η απόσταση διαδρομής (travel distance) του άξονα. Στην περίπτωση των αξόνων X και Y το καθαρό μήκος άξονα μετρήθηκε και προέκυψε 710mm. Το μήκος του εδράνου του περικόχλίου κίνησης μαζί με το περικόχλιο συνολικά μετρήθηκαν στα 65mm (50mm το μπλοκ της έδρασης, 10mm η φλάτζα του περικοχλίου και 5mm οι κεφαλές των κοχλιών σύσφιξης).

Επομένως το travel distance των αξόνων X και Y ορίζεται στα 710 – 65 = **655mm**.

Στον άξονα Z η απόσταση διαδρομής ήταν μικρότερη. Το καθαρό μήκος του άξονα προέκυψε 350mm. Το έδρανο του κοχλία, επίσης μικρότερο προέκυψε 45mm. Συνεπώς το travel distance του άξονα Z υπολογίζεται στα 350 – 45 = **305mm**.

Η θετική κατεύθυνση του άξονα Z ορίζεται προς το έδαφος.

Η θέση του διακόπτη αρχικοποίησης ορίζεται στη θέση 0 της διαδρομής

Για λόγους ασφαλείας δίνουμε χαμηλές τιμές ταχύτητας στον άξονα κατά τη διαδικασία εντοπισμού της μηδενικής του θέσης. Μεγάλη ταχύτητα μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο διακόπτη και έλλειψη ακρίβειας λόγω της αδράνειας του συστήματος κίνησης.

Στην περίπτωση του 4^{ου} άξονα, το μήκος της διαδρομής ορίζεται από τη θέση -9999mm έως +9999mm. Με αυτό τον τρόπο το LinuxCNC αναγνωρίζει ότι ο άξονας είναι περιστροφικός και επιτρέπει την αδιάκοπη κίνησή του. Σε αυτό τον άξονα δεν υπάρχει διακόπτης αρχικοποίησης. Η εύρεση της μηδενικής θέσης γίνεται μέσω του καταμετρητή του encoder.

Σε κάθε άξονα επιλέγουμε η αρχικοποίηση να χρησιμποποιεί τον παλμό Z indexing του encoder. Η χρήση του διακόπτη από μόνου του δεν ενδείκνυται εξ αιτίας της μειωμένης ακρίβειας που προσφέρει, ως μηχανικό εξάρτημα.

Σε αυτό το στάδιο ολοκληρώνεται η εισαγωγή των παραμέτρων του κέντρου κατεργασιών. Το LinuxCNC αποθηκεύει το αρχείο configuration και είναι έτοιμο για χρήση.

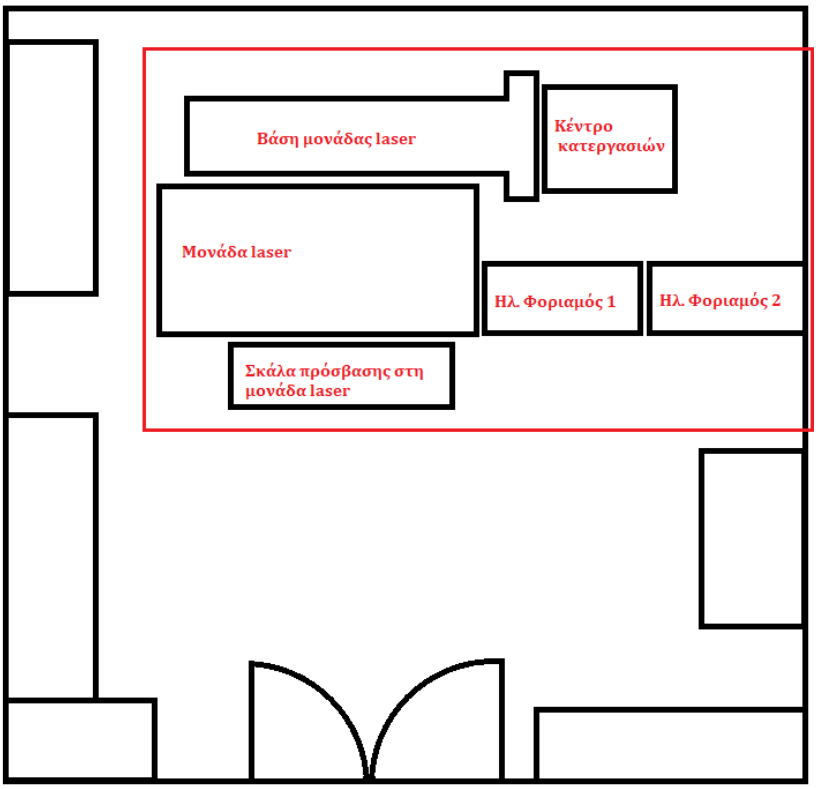
`

`

5. Εργασίες Αποκατάστασης Κέντρου Κατεργασιών

5.1 Εισαγωγή

Το κέντρο κατεργασιών laser του εργαστηρίου κατά την ανάληψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας βρισκόταν σε κατάσταση μόνιμης αποθήκευσης στο χώρο του εργαστηρίου. Η διάταξή του, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα προκαλούσε συνωστισμό στο χώρο του εργαστηρίου και δε διευκόλυνε την πρόσβαση στη διάταξη της εργαλειομηχανής.



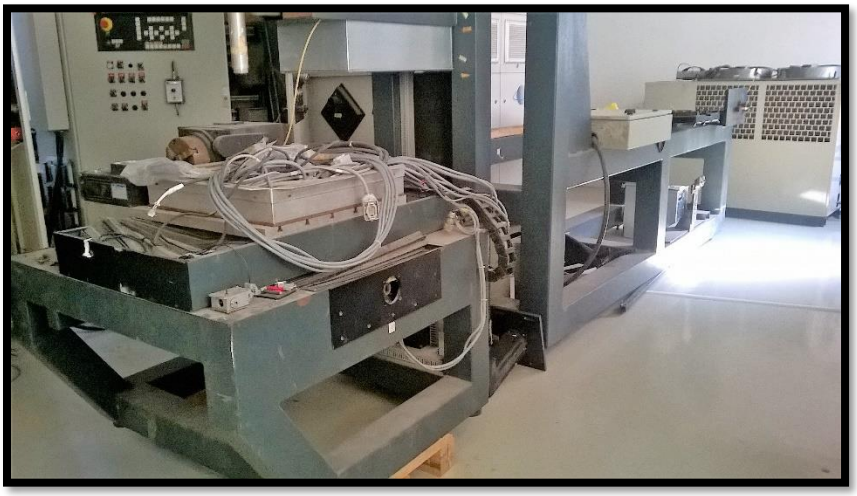
Εικόνα 97: Αρχική διάταξη εργαστηρίου

Εκ πρώτης όψεως η εργαλειομηχανή είχε ανάγκη συντήρησης και καθαρισμού λόγω της μακρόχρονης αποθήκευσής της:

- Οι καλωδιώσεις και τα εξαρτήματα που είχαν διατηρηθεί από το εργαστήριο βρίσκονταν τοποθετημένα άτακτα πάνω στην τράπεζα.

`

- Τόσο η τράπεζα των 3 αξόνων όσο και η βάση της μονάδας πατούσαν πάνω σε ξύλινες παλέτες.
- Η σκόνη είχε συσσωρευτεί στις επιφάνειες.
- Οι λιπαντικές ουσίες των αξόνων και των εδράνων είχαν στερεοποιηθεί
- Πολλές επιφάνειες είχαν καλυφθεί από σκουριά



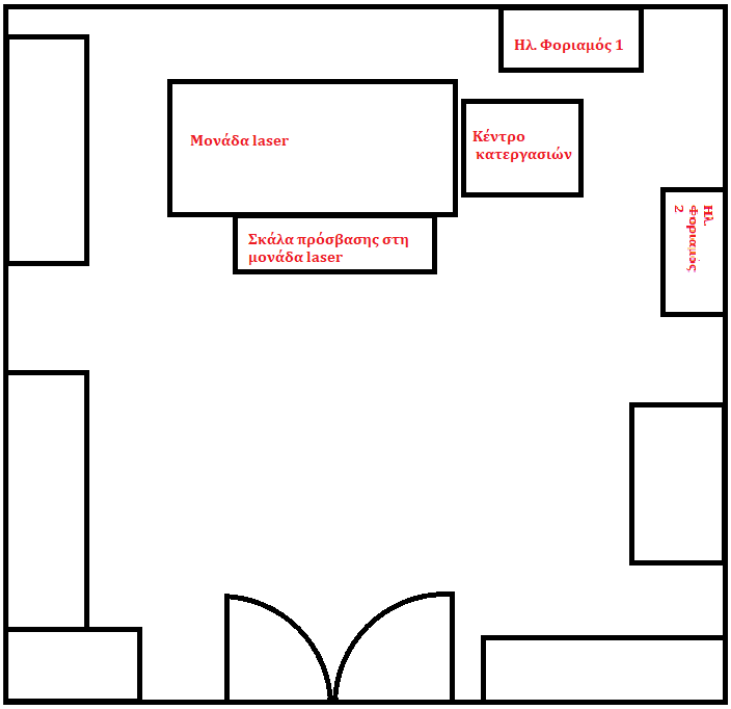
Εικόνα 98: Η αρχική διάταξη της εργαλειομηχανής σε κατάσταση αποθήκευσης

Η πρώτη εργασία που πραγματοποιήθηκε για την αποκατάσταση του κέντρου κατεργασιών ήταν η αλλαγή στη διάταξη του μέσα στο χώρο του εργαστηρίου. Η αλλαγή έγινε τόσο για την εξοικονόμηση χώρου, όσο και για την προετοιμασία της μηχανής για λειτουργία.

Η μετακίνηση των εξαρτημάτων έγινε με χρήση ανυψωτικού (κλαρκ) σε συνεργασία με τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Οι ηλεκτρικοί φοριαμοί τοποθετήθηκαν επί των τοίχων και εγγύτερα σε τριφασική παροχή ισχύος για τη σύνδεση και τη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Οι παλέτες αφαιρέθηκαν και η μοναδα του laser τοποθετήθηκε στη θέση της πάνω στη βάση της.

`

Η νέα διάταξη ήταν η ακόλουθη:



Εικόνα 99: Η τελική διάταξη του εργαστηρίου

5.2 Διαλογή και τακτοποίηση εξαρτημάτων

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η τακτοποίηση των καλωδιώσεων και των εξαρτημάτων που βρίσκονταν τοποθετημένα πάνω στην τράπεζα της εργαλειομηχανής. Κατά τη διαδικασία διαλογής βρέθηκε πως πολλά εξαρτήματα ανήκαν στη μεγαλύτερη εργαλειομηχανή που απορρίφθηκε από το εργαστήριο. Αυτά ήταν:

- Σωληνώσεις από το σύστημα αερισμού
- Αρκετά τμήματα ηλεκτρικών καλωδιώσεων
- Οι σερβοκινητήρες
- Οι τερματικοί διακόπτες με την πλήρη καλωδίωσή τους
- Το κέλυφος της κεφαλής εστίασης της δέσμης laser

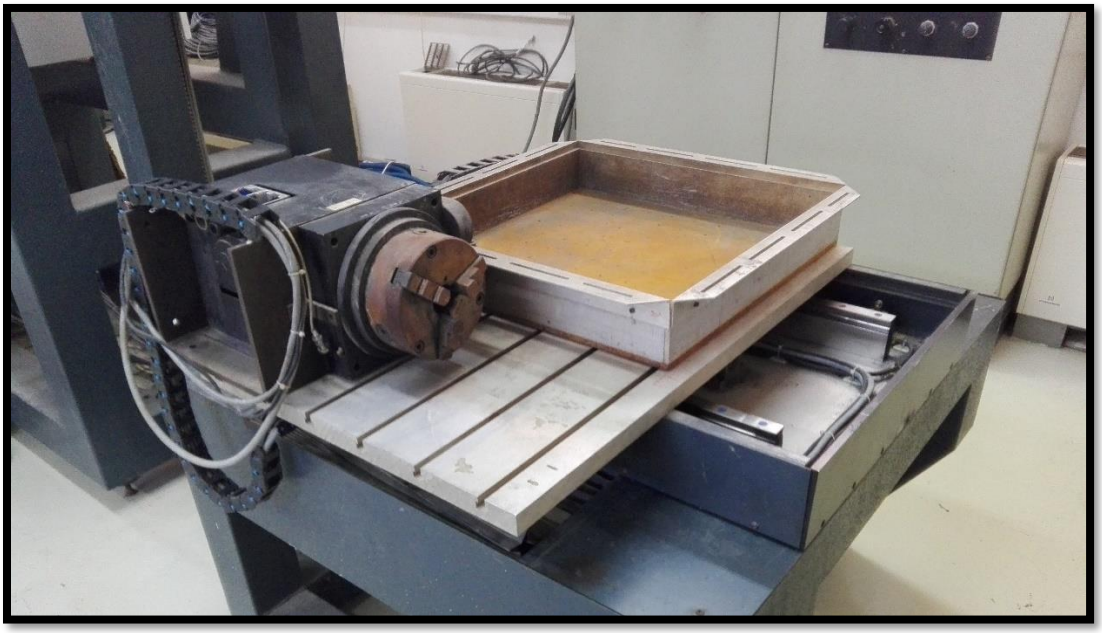
Αυτά τα εξαρτήματα απομακρύνθηκαν και αποθηκεύτηκαν καταλλήλως για χρήση ως ανταλλακτικά σε περίπτωση βλάβης των ήδη χρησιμοποιούμενων.

`

Τα υπόλοιπα εξαρτήματα ήταν οι καλωδιώσεις του κέντρου κατεργασιών, οι οποίες ταυτοποιήθηκαν, λύθηκαν και αποθηκεύτηκαν προσωρινά κάτω από τη βάση της μονάδας laser για τη μετατροπή και τη σύνδεσή τους με το φοριαμό των ηλεκτρικών.

Τέλος, τα προστατευτικά καλύμματα των μηχανισμών κίνησης κάθε άξονα αφαιρέθηκαν για καθαρισμό και προσβασιμότητα σε όλα τα τμήματα της κατασκευής.

Μετά τη διαλογή και τακτοποίηση των εξαρτημάτων η εργαλειομηχανή είχε την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 100: Η εργαλειομηχανή μετά την τακτοποίηση

5.3 Καθαρισμός και συντήρηση εξαρτημάτων και επιφανειών

Την τακτοποίηση διαδέχτηκε ο καθαρισμός και η συντήρηση της μηχανής. Οι ενέργειες σε αυτό το στάδιο ήταν οι παρακάτω:

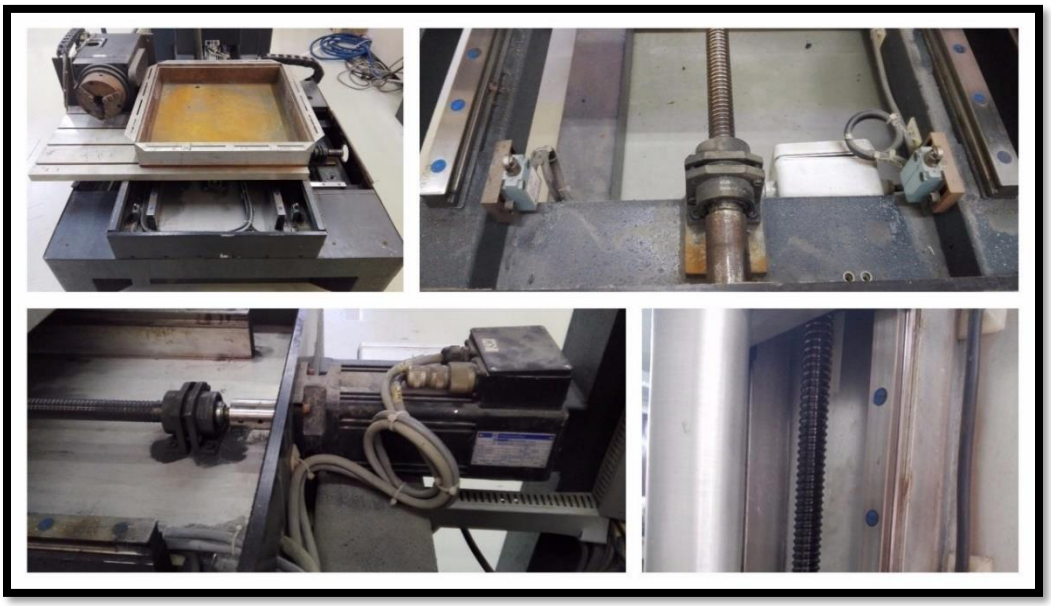
Αρχικά έγινε καθαρισμός του δοχείου κατεργασίας και του τσοκ του άξονα Α τα οποία παρουσίαζαν έντονο φαινόμενο οξείδωσης στις επιφάνειές τους. Η αφαίρεση της σκουριάς έγινε με ηλεκτρικό τριβείο και σμυριδόπανο. Το δοχείο μάλιστα αφαιρέθηκε εντελώς από την τράπεζα για τον καθαρισμό τόσο του ίδιου όσο και όλης της επιφάνειας της τράπεζας.

Οι επιφάνειες που δεν είχαν οξειδωθεί, καθώς και οι καθαρισμένες με το τριβείο περάστηκαν με υφασμάτινο πανί ποτισμένο σε πετρέλαιο.

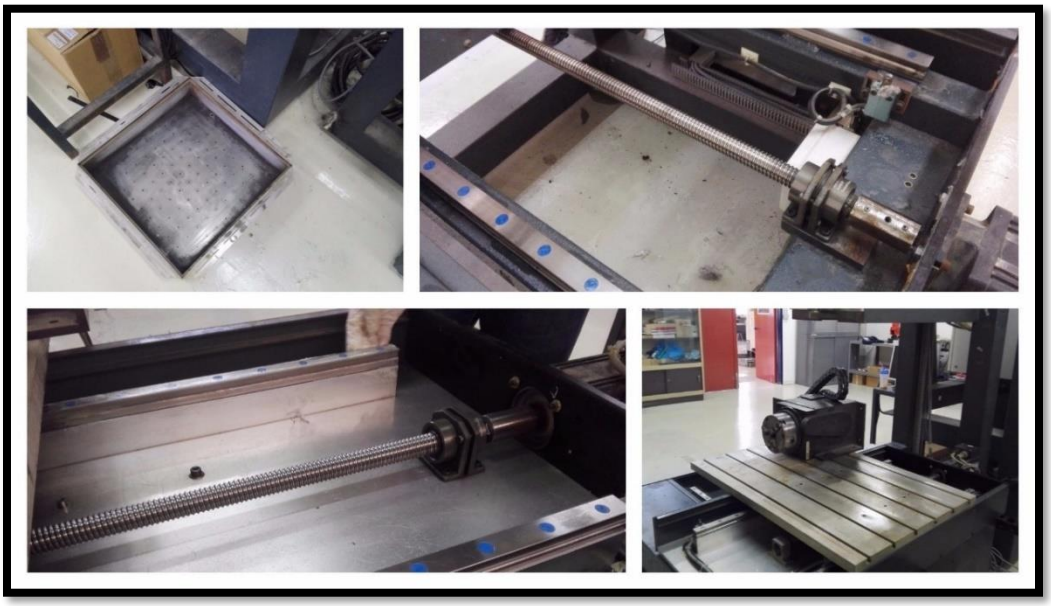
`

Οι ράγες, τα έδρανα και οι κοχλίες κίνησης αρχικά καθαρίστηκαν με πανί βαμβακερών ινών (στουπί) εμποτισμένο σε πετρέλαιο, αφαιρέθηκαν τα πολυκαιρισμένα λιπαντικά και αντικαταστάθηκαν με νέο γράσο.

Το αποτέλεσμα του καθαρισμού και της συντήρησης φαίνεται στις ακόλουθες φωτογραφίες:



Εικόνα 101: Η εργαλειομηχανή πριν τον καθαρισμό



Εικόνα 102: Η εργαλειομηχανή μετά τον καθαρισμό

`

`

6. Συνδέσεις Ηλεκτρολογικών και Ηλεκτρονικών στοιχείων

6.1 Ηλεκτρολογικές συνδέσεις

Αφότου ολοκληρώθηκαν οι εργασίες συντήρησης, καθαρισμού και η τακτοποίηση της διάταξης της εργαλειομηχανής ξεκίνησαν οι εργασίες για την επικαιροποίηση των ηλεκτρικών συνδέσεων και την τροποποίησή τους όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο.

6.1.1 Σύνδεση του κέντρου κατεργασιών με δίκτυο τριφασικής παροχής ηλ. ρεύματος

Το πρώτο βήμα έγινε με τη σύνδεση του κέντρου κατεργασιών με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η εργαλειομηχανή λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα, γι αυτό για τη σύνδεση χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη πρίζα και βύσμα 5 επαφών:

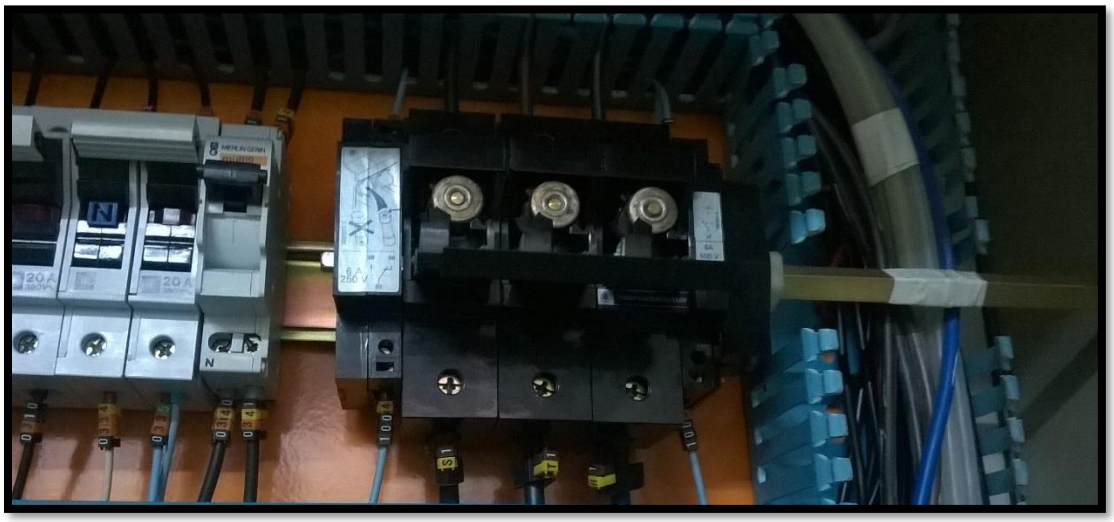
Εικόνα 103: Πρίζα 3-φασικού δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος

Οι 3 επαφές διακινούν τις φάσεις του δικτύου, η τέταρτη τον ουδέτερο και η πέμπτη τη γείωση.

Η παροχή μεταφέρεται στο φοριαμό μέσω καλωδίου μέσου τύπου NYM και καταλήγει σε μηχανικό διακόπτη υψηλού φορτίου, Telemecanique 3P9004 6A / 500V. (Εικόνα 104)

Στη συνέχεια γίνεται ο διαχωρισμός των φάσεων σε μπλοκ διανομής (Εικόνα 105) και η παροχή διανέμεται στα υπόλοιπα εξαρτήματα.

`

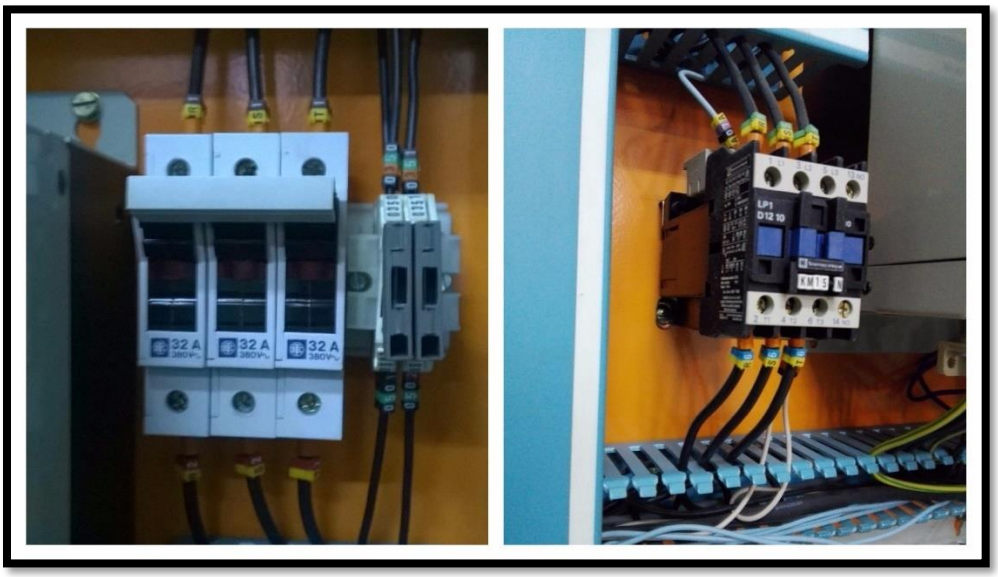


Εικόνα 104: Χειροκίνητος διακόπτης τριφασικής παροχής

Εικόνα 105: Μπλοκ διανομής τριφασικής παροχής3

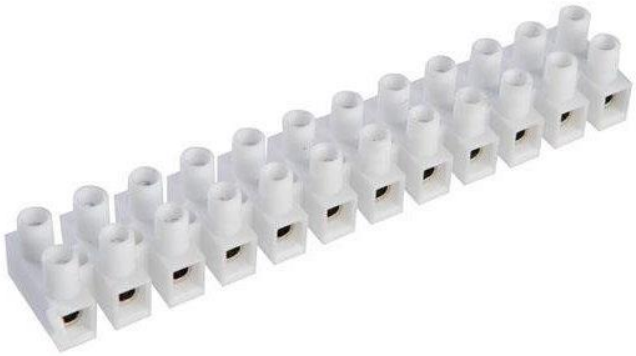
Από το μπλοκ διανομής οι φάσεις που κατευθύνονται προς τους σερβοενισχυτές διερχόμενες μέσα από πλαστικά κανάλια περνάνε διαδοχικά από ασφάλειες 32A και από Ρελέ Κανονικά Ανοικτής Επαφής (NO) συνεχούς τάσης ενεργοποίησης 24V, όπως φαίνεται στην Εικόνα 106.

`



Εικόνα 106: Ασφάλεια και ρελέ τριφασικής παροχής4

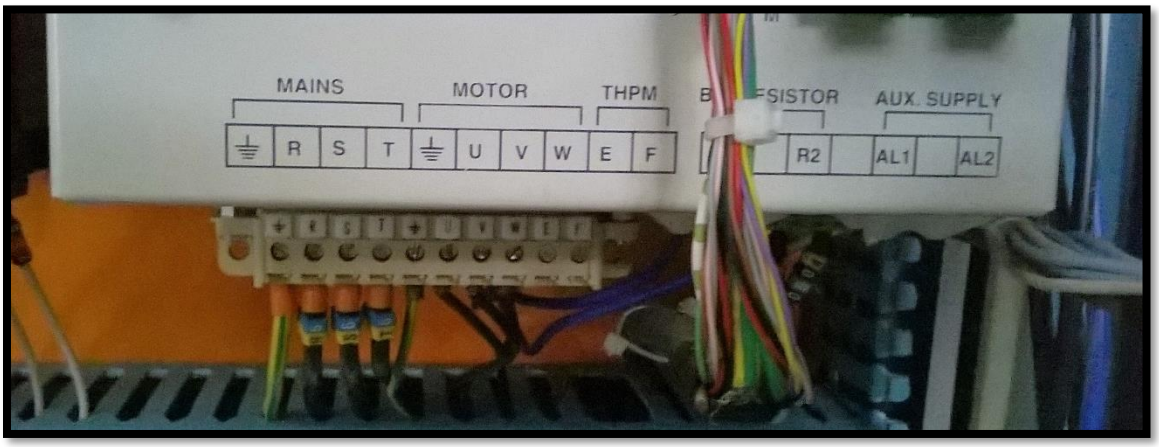
Το ρελέ παρεμβάλλεται για λόγους ασφάλειας. Η λογική του είναι πως σε περίπτωση σφάλματος η μονάδα του PLC σταματά την παροχή των 24V και τα drives δε λαμβάνουν ισχύ. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ο έλεγχος των drives θα γίνει αποκλειστικά μέσω του λογισμικού του LinuxCNC με τρόπο που θα παρουσιαστεί σε επόμενη παράγραφο. Για το λόγο αυτό τα ρελέ έχουν αφαιρεθεί και αντικατασταθεί από απλές κλέμμες.



Εικόνα 107: Απλή κλέμμα σύνδεσης καλωδίων

Η κατάληξη των καλωδίων των φάσεων, καθώς και καλωδίου γείωσης στα drives γίνεται από τη φύσσα C1, στο κάτω μέρος των συσκευών:

`

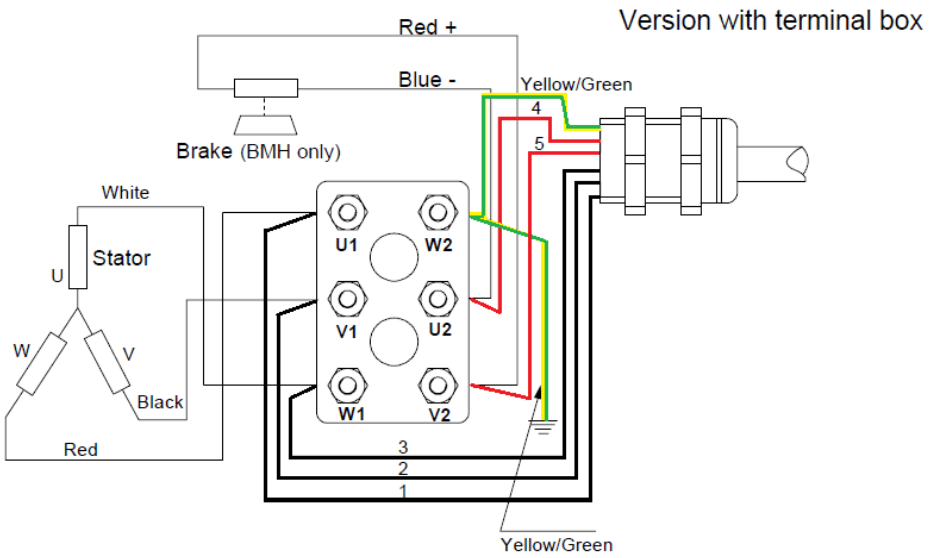


Εικόνα 108: Σύνδεση τροφοδοσίας στη μονάδα του drive και παροχή ισχύος από τη μονάδα προς τον κινητήρα (σύνδεσμος C1)

6.1.2 Συνδέσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σερβοκινητήρων

Για τη σύνδεση της παροχής των σερβοκινητήρων πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες:

Αρχικά, ελέγχθηκε η ορθότητα της συνδεσμολογίας στα τερματικά των κινητήρων, όπου οι συνδέσεις ήταν εξ αρχής περατωμένες, ενώ όπου οι καλωδιώσεις είχαν αφαιρεθεί η σύνδεση έγινε εκ νέου. Η συνδεσμολογία έγινε βάση του διαγράμματος του εγχειριδίου χρήσης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

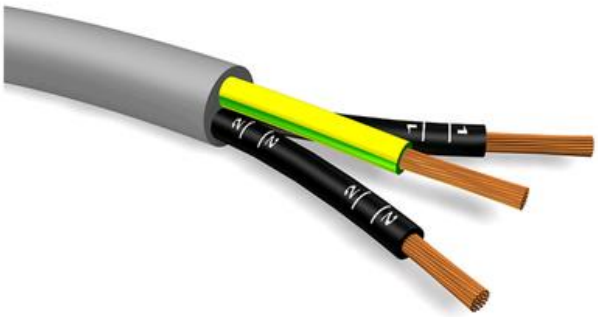


Εικόνα 109: Συνδεσμολογία τροφοδοσίας σερβοκινητήρα (με ή χωρίς φρένο)5

`

Τα καλώδια των φάσεων είναι μαύρου χρώματος και αριθμημένα. Η αντιστοιχία που ακολουθείται σε κάθε κινητήρα και drive είναι:

Φάση	***Αριθμός καλωδίου***
U	1
V	2
W	3



Εικόνα 110: Αρίθμηση καλωδίων μεταφοράς τριφασικής παροχής πεδίου6

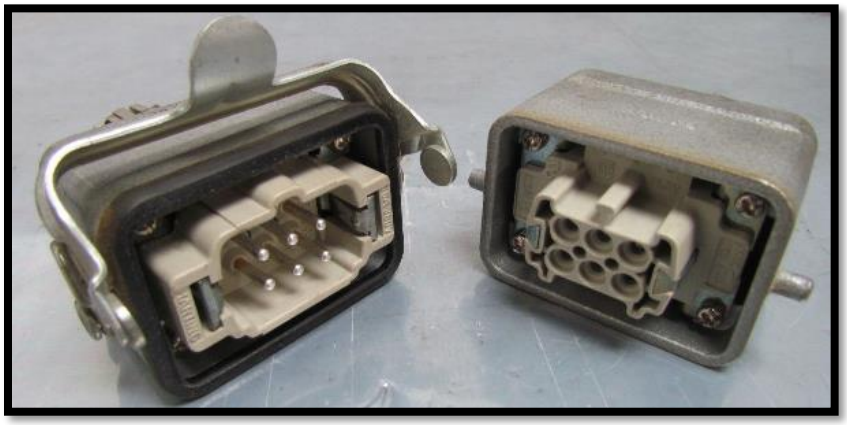
Τα καλώδια 4 και 5 που απεικονίζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 106 με κόκκινο χρώμα αφορούν μόνο την περίπτωση των κινητήρων που διαθέτουν φρένο. Η σύνδεσή τους πρέπει να γίνει με προσοχή, καθώς μια ανάστροφη πολικότητα δεν αφοπλίζει το φρένο με την εφαρμογή της τάσης των 24V και οδηγεί διακοπή λειτουργίας του drive.

Στη συνέχεια, για τη σύνδεση των σερβοκινητήρων με τα drives, αρχικά έγινε διαλογή και ομαδοποίηση των καλωδίων των παροχών και για τους 4 σερβοκινητήρες. Ο φοριαμός που χρησιμοποιούμε διαθέτει υποδοχές βιομηχανικού τύπου 16 επαφών.

Εικόνα 111: Βιομηχανικό βύσμα 16 επαφών

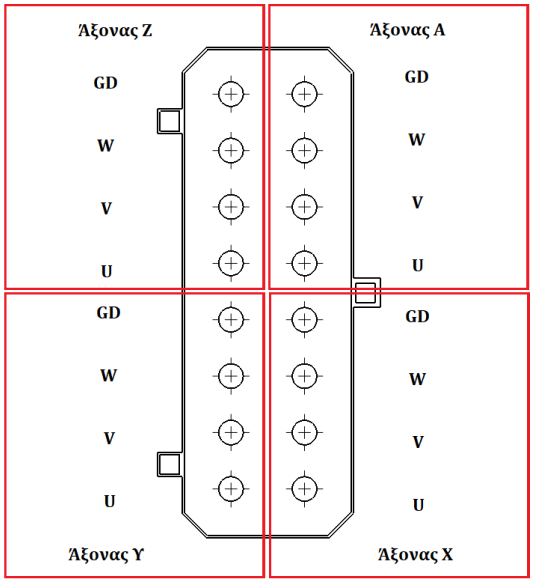
`

Ακροδέκτες των καλωδίων κάθε κινητήρα ήταν σχεδιασμένοι για σύνδεση με το δεύτερο φοριαμό, της μονάδας laser που απορρίφθηκε, ο οποίος δεν ήταν σε κατάσταση κατάλληλη για χρήση εξ αιτίας της αφαίρεσης αρκετών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων από το εσωτερικό του. Οι εν λόγω ακροδέκτες ήταν επίσης βιομηχανικού τύπου, αλλά 6 επαφών, εκ των οποίων χρησιμοποιούνταν οι τέσσερεις, τρεις για τις φάσεις και μια τέταρτη για τη γείωση.



Εικόνα 112: Βιομηχανικό βύσμα 6 επαφών

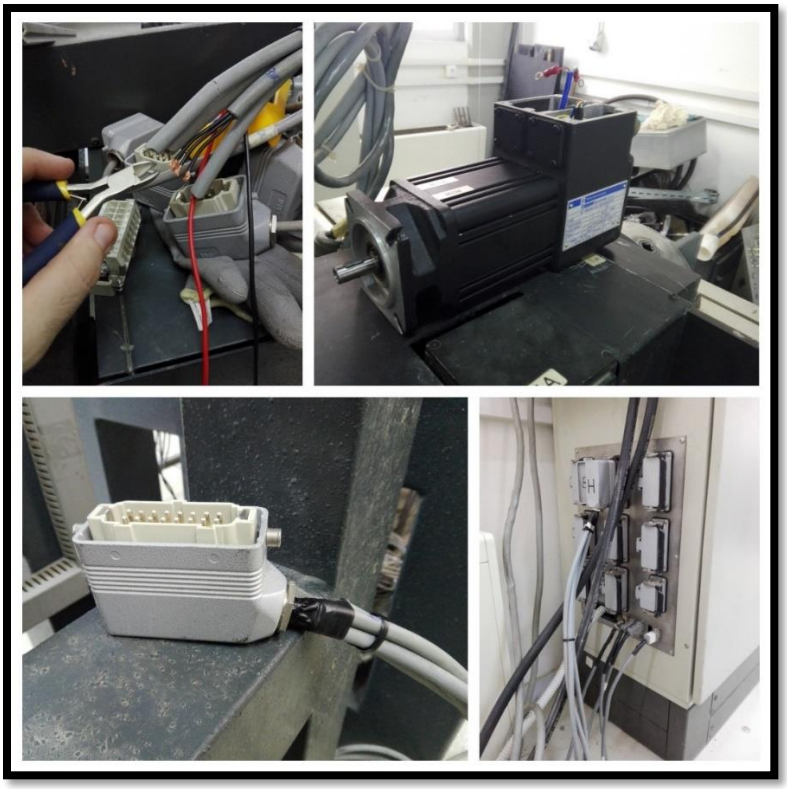
Μετά από έλεγχο των υποδοχών του φοριαμού παρατηρήθηκε ότι οι καλωδιώσεις παροχής από τα drives προς τους σερβοκινητήρες κατέληγαν σε μοναδική υποδοχή 16 επαφών. Ταυτοποιώντας ένα προς ένα τα καλώδια της υποδοχής σχεδιάστηκε η ομαδοποίηση και η μετατροπή των ακροδεκτών των 4 κινητήρων σε μοναδικό ακροδέκτη 16 επαφών. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 113: Συνδεσμολογία βύσματος παροχών σερβοκινητήρων προς το φοριαμό

`

Το τελικό αποτέλεσμα και η σύνδεση του ακροδέκτη στην υποδοχή του φοριαμού φαίνονται παρακάτω (χρησιμοποιήθηκε ο ακροδέκτης με σήμανση το γράμμα Η):



Εικόνα 114: Διαδικασία διασύνδεσης παροχής σερβοκινητήρων με το φοριαμό

Εσωτερικά του φοριαμού, από την υποδοχή οι καλωδιώσεις καταλήγουν στα drives μέσω των πλαστικών καναλιών. Καθώς η οπτική ταυτοποίηση των διαδρομών είναι δύσκολη εξ αιτίας του συνωστισμού των καλωδιώσεων εντός του φοριαμού, ο αγωγός κάθε άξονα διαθέτει αρίθμηση. Συγκεκριμένα:

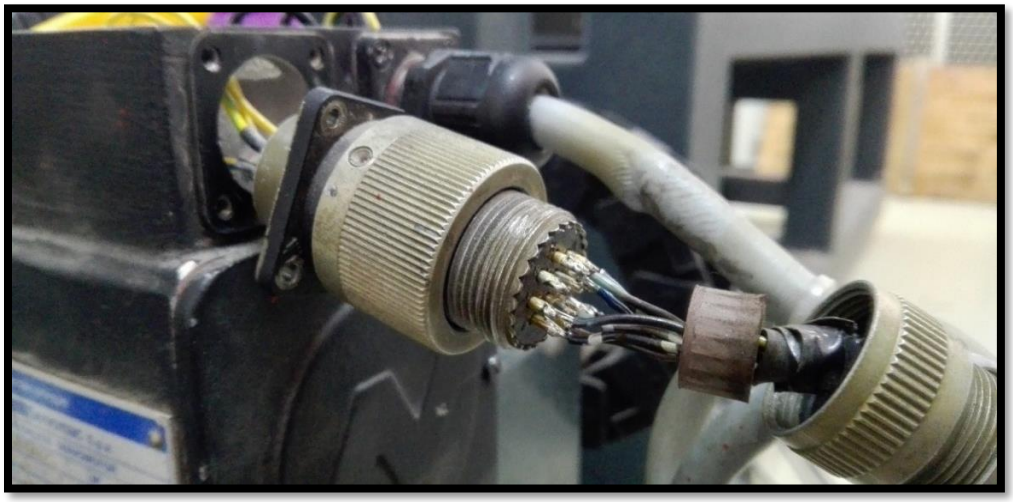
Άξονας	Αριθμός καλωδίου
X	7
Y	31
Z	32
A	8

Η αρίθμηση προϋπήρχε από την αρχική διάταξη του φοριαμού και χρησιμοποιήθηκε χωρίς αλλαγή.

`

6.1.3 Συνδέσεις αναλυτών (resolvers) σερβοκινητήρων

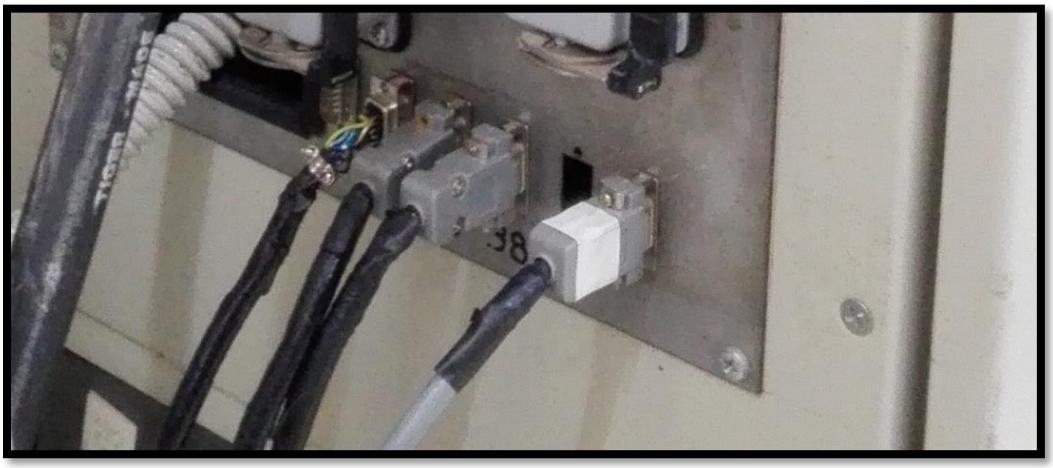
Εκτός από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ο κάθε σερβοκινητήρας στέλνει αναλογικό σήμα μέσω του resolver του στο drive για τον έλεγχο της κίνησης. Σε αντίθεση με το τερματικό της παροχής ισχύος, οι καλωδιώσεις του resolver καταλήγουν σε βύσμα 9 επαφών κυκλικής διατομής πάνω στο οποίο κουμπώνει και ασφαλίζει βιδωτά ο ακροδέκτης που συνδέει τον resolver με το φοριαμό.



Εικόνα 115: Κυκλικό βύσμα διασύνδεσης resolver και θερμοστοιχείου κινητήρα

Η συνδεσμολογία του παραπάνω ακροδέκτη, η οποία περιλαμβάνει και το θερμοστοιχείο του κινητήρα έχει παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 3 (Εικόνα 69).

Το παραπάνω καλώδιο έχει κωδικό RSCAWG 22x8 και καταλήγει σε σειριακή θύρα 15 επαφών, (High Density DE-15 VGA Port), θηλυκού ακροδέκτη. Αντίστοιχος αρσενικός ακροδέκτης υπάρχει στο πλάι του φοριαμού και η σύνδεση των resolvers πραγματοποιήθηκε ως εξής:



Εικόνα 116: Σύνδεση των σειριακών θυρών των resolvers με το φοριαμό

`

Η αντιστοιχία με τις καλωδιώσεις εσωτερικά του φοριαμού, ομοίως με τις καλωδιώσεις της παροχής έγινε χρησιμοποιώντας αρίθμηση:

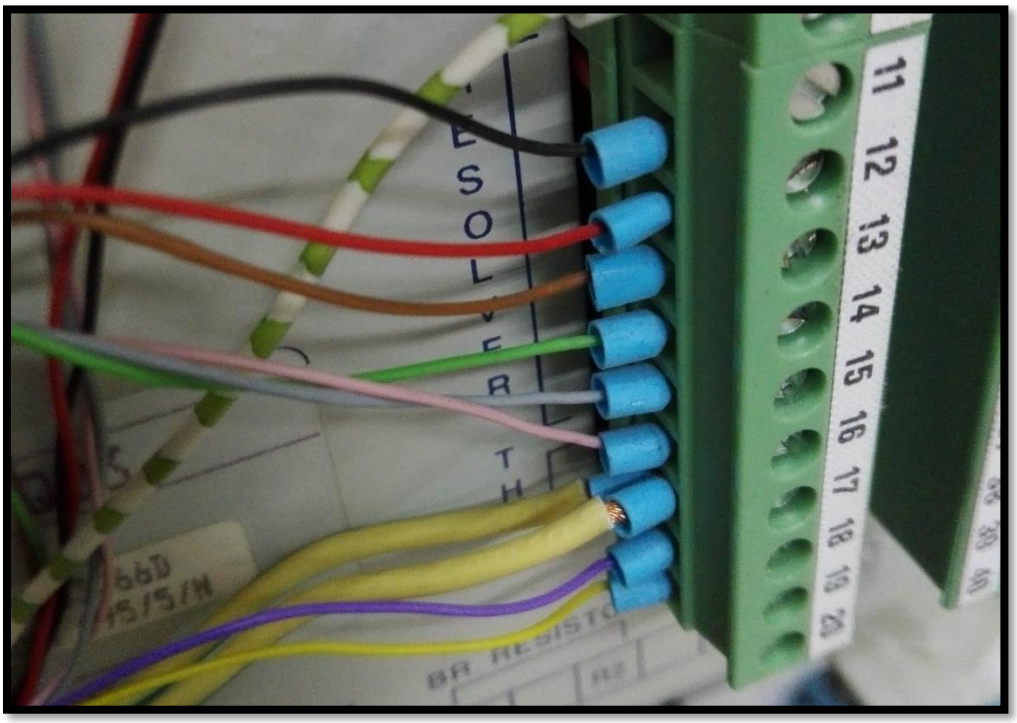
Resolver	Αριθμός καλωδίου
X	10
Y	38
Z	37
A	9

Η σύνδεση των resolver με τη συσκευή του drive γίνεται στο ***Σύνδεσμο C5***, στις επαφές 11 έως 20 ως εξής:

(οι αντιστοιχίες των καλωδίων όπως εξέρχονται από το βύσμα RSCAWG 22x8 φαίνονται στην Εικόνα 69 του Κεφαλαίου 3)

Επαφή (pin)	**Τύπος (I/O)**	**Περιγραφή**
11	-	Ελέυθερη
12	I	Δευτερέυον τύλιγμα 1 (D, E)
13	I	
14	I	Δευτερεύον τύλιγμα 2 (C, F))
15	I	
16	I	Πρωτεύον τύλιγμα (A,B)
17	I	
18	I	Γείωση (G)
19	I	Θερμοστοιχείο (H,K)
20	I	

`



Εικόνα 117: Διάταξη καλωδίων στο σύνδεσμο C5 του drive

Οι σειριακές θύρες που βρίσκονταν εγκατεστημένες εξ' αρχής στο φοριαμό δεν ήταν συμβατές με τις καλωδιώσεις των κινητήρων, καθώς προορίζονταν για χρήση με το απορριφθέν κέντρο κατεργασιών (θηλυκές υποδοχές για θηλυκό ακροδέκτη). Για το λόγο αυτό αντικαταστάθηκαν με τις θύρες και τις καλωδιώσεις των drive του δεύτερου φοριαμού.

6.1.4. Συνδέσεις οριακών διακοπτών & αρχικοποίησης

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο κάθε βαθμίδα κίνησης περιλαμβάνει ένα σετ 3 διακοπτών XCMA102 της εταιρίας Telemecanique για την αρχικοποίηση του συστήματος συντεταγμένων και τον περιορισμό της κίνησης των αξόνων εντός των κατασκευαστικών ορίων της μηχανής (hard limits).

Οι διακόπτες δίνουν τη δυνατότητα δυο διαφορετικών επιλογών στη λειτουργία τους:

Κανονικά Κλειστή Επαφή (Normally Open – NO): Επιτυγχάνεται με τη χρήση του μαύρου (BK) και του Άσπρου-Μαύρου καλωδίου (BK/WH). Το κύκλωμα του διακόπτη διαρέεται μόνιμα από ηλ. ρεύμα. Όταν η κίνηση του άξονα ενεργοποιεί το διακόπτη το κύκλωμα ανοίγει διακόπτοντας τη ροή του ρεύματος.

Κανονικά Ανοικτή Επαφή (Normally Closed – NC): Η αντίστροφη λειτουργία από την παραπάνω, χρησιμοποιεί το καφέ (BN) και το μπλε (BU) καλώδιο και με την ενεργοποίηση του διακόπτη το κύκλωμα επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος.

`

Οι διακόπτες συνδέονται σε πηγή σταθερής τάσης 24V η οποία τροφοδοτεί την κάρτα Mesa 7i77 στο ένα άκρο τους, σε αγωγό γείωσης και το άλλο άκρο τους συνδέεται σε επαφή εισόδου (input) της κάρτας. Το εγχειρίδιο χρήσης της Mesa 7i77 συνιστά λειτουργία NC των διακοπτών, έτσι ώστε οποιοδήποτε σφάλμα ή βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα του διακόπτη να γίνει άμεσα αισθητό από τον ελεγκτή εξ αιτίας της διακοπής της ροής του ρεύματος.

Το σύνολο των καλωδιώσεων των διακοπτών συγκεντρώνεται σε κουτί διακλαδώσεων στη βάση της εργαλειομηχανής (Εικόνα 118). Από το κουτί όλες οι καλωδιώσεις ομαδοποιούνται και εξέρχονται συγκεντρωμένες σε δυο αγωγούς οι οποίοι καταλήγουν σε βιομηχανικούς ακροδέκτες 16 επαφών, όπως αυτός που χρησιμοποιήθηκε για τις συνδέσεις των σερβοκινητήρων. Μετά τη σύνδεση των ακροδεκτών στην υποδοχή του φοριαμού γίνεται απευθείας η σύνδεση με την κάρτα Mesa 7i77, την κοινή παροχή 24V και τη γείωση.

Εικόνα 118: Κουτί Διακλαδώσεων καλωδιώσεων τερματικών διακοπτών7

6.2 Συνδεσμολογίες Ηλεκτρονικών

Οι συνδεσμολογίες των ηλεκτρονικών αφορούν τη διασύνδεση της κάρτας Mesa 7i77 με τα drives των σερβομηχανισμών, τους encoders και τους τερματικούς διακόπτες, καθώς και τη σύνδεσή της με τη Mesa 5i25. Ουσιαστικά αφορούν τη σύνδεση του υλικού με το σύστημα ελέγχου.

`

6.2.1 Συνδεσμολογία NUM Servomac AC Monodrive

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στα τερματικά των σερβοενισχυτών, ενώ σε προηγούμενη παράγραφο περιγράφηκε η συνδεσμολογία του τερματικού της εισόδου του resolver (***C5***) και της τροφοδοσίας του drive από το δίκτυο και εν γένει του κινητήρα από το drive. Για τη διεπαφή του drive με τον Η/Υ ελέγχου χρησιμοποιούνται οι σύνδεσμοι C4 και C3.

Σύνδεσμος C4: Έξοδος σήματος encoder

Το NUM Servomac AC Monodrive δίνει τη δυνατότητα παραλαβής του αναλογικού σήματος του αναλυτή του σερβοκινητήρα και τη μετατροπή του σε ψηφιακό παλμό encoder. Η δυνατότητα αυτή καθιστά την αναδραση των σερβομηχανισμών απολύτως συμβατή με την κάρτα mesa 7i77, καθώς για την επεξεργασία αναλογικού σήματος resolver θα απαιτούταν μια ακόμη ειδική θυγατρική κάρτα.

Η έξοδος του προσομοιωμένου encoder υλοποιείται από το σύνδεσμο C4, ο οποίος βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον C5, το σύνδεσμο εισόδου του σήματος του resolver στο drive. Χρησιμοποιεί τις επαφές με αριθμούς 1 έως 10 με την ακόλουθη διάταξη:

pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
1	A	Έξοδος (O) υπολογιστικού παλμού A
2	/A	Έξοδος (O) αντεστραμμένου υπολογιστικού παλμού A
3	B	Έξοδος (O) υπολογιστικού παλμού φάσης +90◦ B
4	/B	Έξοδος (O) αντεστραμμένου υπολογιστικού παλμού +90◦ B
5	Z	Μετρητής Z (zero marker) χρονισμένος στον 1 παλμό του encoder
6	/Z	Αντεστραμμένος Z (zero marker)
7	D	Λογική έξοδος κατεύθυνσης περιστροφής κινητήρα
8	/D	Αντεστραμένη λογική έξοδος κατεύθυνσης περιστροφής κινητήρα
9	OK	Σήμα Encoder OK για τη διάγνωση σφάλματος εαν η τάση του είναι >3.5V
10	GND	Μηδενική τάση αναφοράς

.

Το σήμα ακολουθεί πρότυπο RS 422A και δεν απαιτείται εξωτερική τροφοδοσία, καθώς το κύκλωμα του drive παρέχει την απαραίτητη ισχύ για την παραγωγή του. Κάτω από την πλακέτα μετατροπής υπάρχουν μηχανικοί διακόπτες που μεταβάλλουν τους παλμούς του σήματος encoder ανά πλήρη περιστροφή της ατράκτου του κινητήρα. Η βασική ρύθμιση είναι στους 3072 παλμούς ανά περιστροφή, με δυνατότητα μείωσης στους 1536 και 768 παλμούς.

`

Σύνδεσμος C3: Είσοδοι/Έξοδοι σημάτων ελέγχου

Τα σήματα με τα οποία το drive επικοινωνεί με τον ελεγκτή διέρχονται από τις επαφές 21 έως 40 του συνδέσμου C3. Στο πλαίσιο της εργασίας από τις επαφές αυτές θα μας απασχολήσουν οι ακόλουθες:

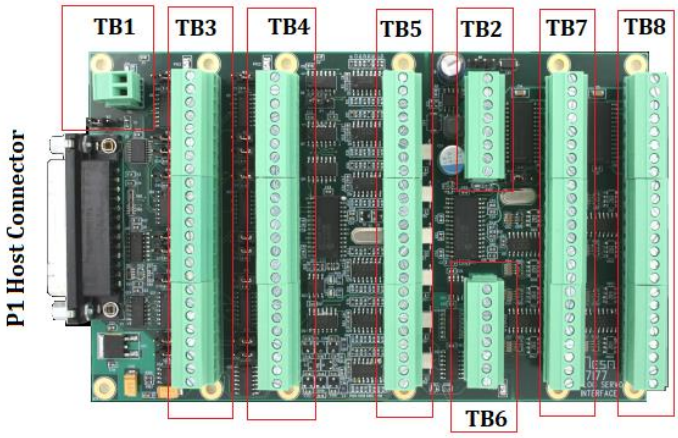
pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
25	0V (I)	Δέχεται τη μηδενική τάση αναφοράς για την εντολή Enable
27	Enable	Τροφοδοτούμενη με συνεχή τάση 15/24V ενεργοποιεί την εντολή Enable
30	Ain (I)	Είσοδος αναλογικής τάσης ελέγχου ±10V
32	GND	Μηδενική τάση αναφοράς (εσωτερική σύνδεση με τη γη)

Η εντολή Enable, ή αλλιώς εντολή «δραστικοποίησης» δηλώνει πως το drive είναι ενεργοποιημένο και μπορεί να μεταδώσει σήματα ελέγχου στον κινητήρα που οδηγεί. Εαν ο ενισχυτής δε δεχτεί την εντολή Enable εντοπίζει σφάλμα και η λειτουργία του τερματίζεται.

Η εφαρμογή τάσης από 0V έως +10V στην επαφή 30 προκαλεί δεξιόστροφη περιστροφή του κινητήρα από 0 έως 3000rpm. Οριακά ο ενισχυτής μπορεί να επιβάλλει ταχύτητα περιστροφής μέχρι και 10% μεγαλύτερη της μέγιστης, στην περίπτωση της παρούσας διάταξης 3300 rpm. Ωστόσο, καλό είναι οριακές τιμές να αποφεύγονται, καθώς μπορεί εύκολα να οδηγήσουν σε σφάλμα. Αρνητικές τιμές της τάσης (αλλαγή πολικότητας) από -10V έως 0V προκαλούν περιστροφή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Να σημειωθεί ότι αντί της επαφής 30 μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επαφή 31 με αντίθετες κατεθύνσεις περιστροφής για τα ίδια πρόσημα της τάσης.

6.2.2 Συνδεσμολογία Mesa 7i77

Η ορθή λειτουργία του κέντρου κατεργασιών υπό τον έλεγχο μέσω του LinuxCNC προϋποθέτει τη σωστή συνδεσμολογία των εξαρτημάτων της εργαλειομηχανής με με την κάρτα διεπαφής Mesa. Η διάταξη των επαφών της κάρτας Mesa 7i77 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 119: Διάταξη επαφών της Mesa 7i77 σε τερματικά μπλοκ (TB)

`

Οι επαφές τις κάρτας ομαδοποιούνται σε 8 τερματικά μπλοκ (terminal blocks) τα οποία δέχονται φύσσα με κοχλία συγκράτησης 3.5mm και μια παράλληλη θύρα για τη σύνδεσή της με κάρτα FPGA (στην περίπτωσή μας τη Mesa 5i25). Οι επαφές των τερματικών μπλοκ ακολουθούν αναλυτικά. Η παρουσίαση αντικατοπτρίζει τις επαφές όπως φαίνονται όταν η παράλληλη θύρα βρίσκεται στο αριστερό χέρι του χρήστη, όπως στην Εικόνα 119.

TB1: αποτελείται από 2 επαφές για βοηθητική τροφοδοσία (aux. 5V) 5V στην κάρτα, για χρήση με encoders χωρίς εξωτερική πηγή και άλλες βοηθητικές λειτουργίες. Μπορεί να παραληφθεί η χρήση του εαν η κάρτα FPGA με την οποία συνδέεται η 7i77 μπορεί να παρέχει τροφοδοσία 5V μέσω της παράλληλης θύρας.

pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
1	+5V	Βοηθητική τάση τροφοδοσίας πεδίου +5V
2	GND	Γη

TB2: μπλοκ 8 επαφών για την κύρια τροφοδοσία (field power) της πλακέτας. Δέχεται συνεχείς τάσεις 8-32V

pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
1	GND	Γείωση των επαφών Vfield, Vin και ουδέτερος
2	NC	Χωρίς εσωτερική σύνδεση (No Connection)
3	NC	Χωρίς εσωτερική σύνδεση (No Connection)
4	Vin	Λογική είσοδος/έξοδος 8-32
5	Vfield	Κύρια τάση τροφοδοσίας πεδίου 8-32V
6	Vfield	Κύρια τάση τροφοδοσίας πεδίου 8-32V
7	Vfield	Κύρια τάση τροφοδοσίας πεδίου 8-32V
8	Vfield	Κύρια τάση τροφοδοσίας πεδίου 8-32V

TB3: αυτό το τερματικό περιλαμβάνει τις επαφές για τους 3 πρώτους encoders που υποστηρίζει η κάρτα (αρίθμηση από 0 έως 2). Κάθε encoder λειτουργεί με τις ακόλουθες 8 επαφές:

pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
1	/D	Αντεστραμένη Λογική είσοδος κατεύθυνσης περιστροφής κινητήρα
2	D	Λογική είσοδος κατεύθυνσης περιστροφής κινητήρα
3	+5V	Έξοδος τροφοδοσίας τάσης 5V προς τον encoder

`

4	/B	Είσοδος (I) αντεστραμμένου υπολογιστικού παλμού +90◦
5	B	Είσοδος (I) υπολογιστικού παλμού φάσης +90◦
6	GND	Έξοδος γης
7	/A	Είσοδος (I) αντεστραμμένου υπολογιστικού παλμού
8	A	Είσοδος (I) υπολογιστικού παλμού

TB4: ακριβώς ίδιας διάταξης με το TB3, περιλαμβάνει τις επαφές των encoders 3 έως 5

TB5: σε αυτό το τερματικό συγκεντρώνονται οι επαφές ελέγχου των αναλογικών drives. Υποστηρίζει μέχρι και 6 αναλογικές διεπαφές ±10V, με αντίστοιχη εντολή drive enable. Κάθε αναλογική διεπαφή χρησιμοποιεί 4 pins ως εξής:

pin	Συμβολισμός	Περιγραφή
1	Aout	Έξοδος αναλογικού σήματος ±10V
2	GND	Γη
3	Enable+	Θετικός πόλος εντολής enable του drive
4	Enable-	Αρνητικός πόλος εντολής enable του drive

Σε περιπτώσεις σερβοενισχυτών τύπου υψηλής ενεργείας (active high), όπου δηλαδή η εντολή δραστικοποίησης δίνεται με ροή ρεύματος η επαφή Enable+ συνδέεται με την τάση πεδίου και η Enable- με την κατάλληλη είσοδο του drive (επαφή 27 «Enable» του συνδέσμου C3)

Σε περιπτώσεις όπου ο σερβοενισχυτής είναι τύπου χαμηλής ενεργείας (active low), δηλαδή η εντολή δραστικοποίησης δίνεται με τη διακοπή της ροής του ρεύματος η επαφή Enable+ συνδέεται με την κατάλληλη είσοδο του drive (επαφή 27 «Enable» του συνδέσμου C3) και η επαφή Enable- με τη γη.

Στην περίπτωση της εργαλειομηχανής laser του τομέα οι ενισχυτές βρέθηκε με δοκιμή ότι είναι τύπου active high. Επομένως ακολουθείται η συνδεσμολογία της πρώτης περίπτωσης.

Για τον αναλογικό έλεγχο προτείνεται μονωμένο ζεύγος συστραμμένων καλωδίων που να συνδέουν την επαφή Aout με την αντίστοιχη Ain του drive (επαφή 30 του συνδέσμου C3) και τη γη GD της κάρτας με την Ain- του drive (εδώ η επαφή 32 γης του C3).

TB6: τερματικό 8 επαφών προσφέρει δυνατότητα διεπαφής με κάρτες SmartSerial της εταιρίας Mesa μέσω πρωτοκόλλου επικοινωνίας RS-422, σε περιπτώσεις που χρειάζεται επέκταση. Δε θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διάταξη, γι αυτό δεν παρουσιάζεται η συνδεσμολογία της. Αναφέρεται απλώς πως συνιστάται η χρήση του με τυποποιημένα καλώδια CAT5 ή CAT6 χωρίς ακροδέκτη και απευθείας σύνδεση των μεμονωμένων καλωδίων στις επαφές.

`

TB7 και **TB8**: τα δύο αυτά τερματικά περιλαμβάνουν το σύνολο των επαφών εισόδου και εξόδου της πλακέτας. Σε κάθε τερματικό οι πρώτες 8 επαφές (από πάνω προς τα κάτω) δίνουν έξοδο, ενώ οι υπόλοιπες 16 διαχειρίζονται σήματα εισόδου:

6.2.3 Συνδεσμολογία Mesa 5i25

Για τη σύνδεση της κάρτας 7i77 με την 5i25 δεν απαιτείται κάποιου είδους ιδιαίτερη συνδεσμολογία. Η διασύνδεσή τους γίνεται απλώς με τη χρήση του καλωδίου DB25F της παράλληλης θύρας. Η Mesa 5i25 τοποθετείται απευθείας στη μητρική πλακέτα του Η/Υ μέσω της θύρας PCI Express. Για τον έλεγχο επιλέχθηκε μια παλιά μονάδα Η?Υ που βρισκόταν στους χώρους του εργαστηρίου και πληρούσε τις ελάχιστες απαιτήσεις υλικού για τη λειτουργία του LinuxCNC. Στην περίπτωση που κατά τη δοκιμή της λειτουργίας της εργαλειομηχανής η μονάδα δεν μπορέσει να ανταπεξέλθει, θα αντικατασταθεί με νεότερη μεγαλύτερων δυνατοτήτων.

`

7. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

7.1 Ολοκλήρωση εργασιών και δοκιμές λειτουργικότητας διαθέσιμης διάταξης

Εξ' αιτίας του περιορισμένου χρόνου και καθυστερήσεων στη διαδικασία παραγγελίας και προμήθειας των ηλεκτρονικών καρτών διασύνδεσης Mesa Electronics, δεν κατέστη δυνατή η εγκατάσταση και η λειτουργία του συστήματος κίνησης της εργαλειομηχανής με βάση την παραμετροποίηση του LinuxCNC όπως αυτή παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4.

Ωστόσο έγινε πλήρης προετοιμασία της διάταξης της εργαλειομηχανής, του Η/Υ ελέγχου και αναλυτική μελέτη της συνδεσμολογίας των καρτών, ώστε το σύστημα να τεθεί άμεσα σε λειτουργία με την άφιξή τους.

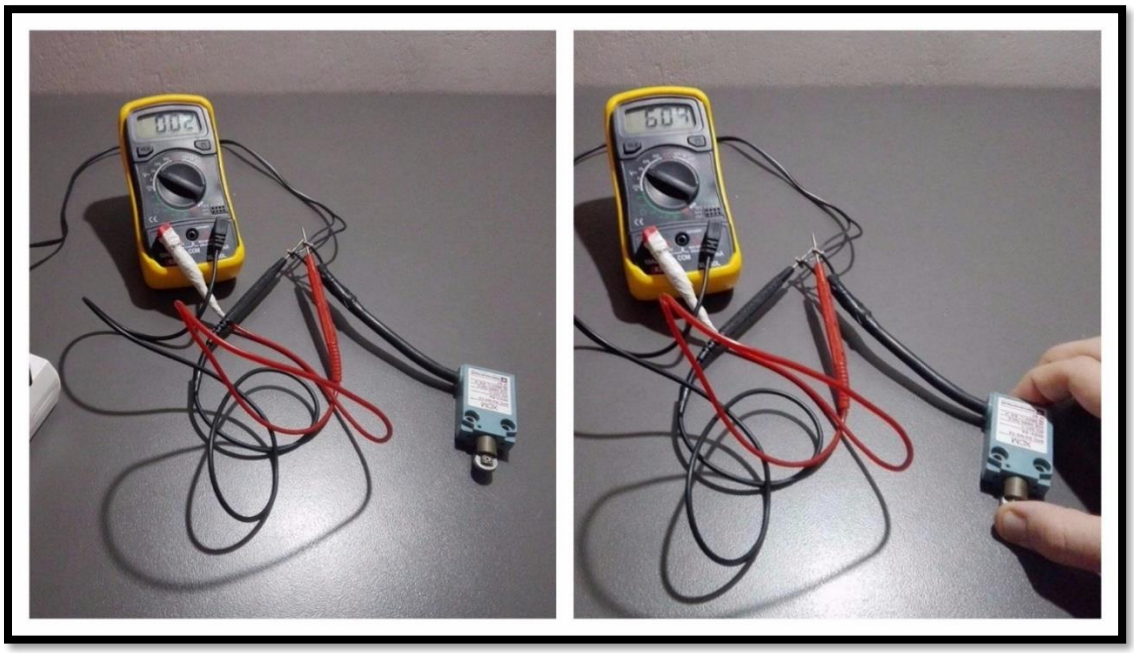
Εικόνα 120: Τελική μορφή της διάταξης της εργαλειομηχανής σε αναμονή των καρτών διασύνδεσης

Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες δοκιμές για τη διασφάλιση ότι η διάταξη θα λειτουργήσει με την άφιξη των καρτών.

7.1.1 Δοκιμή της λειτουργίας των οριακών διακοπτών και αρχικοποίησης

Στα άκρα τους εφαρμόστηκε χαμηλή συνεχής τάση με μικρό τροφοδοτικό 5.8V και με πολύμετρο επιβεβαιώθηκε η λειτουργικότητά τους και επαληθεύτηκε η συνδεσμολογία τους.

`



Εικόνα 121: Δοκιμή λειτουργίας οριακών διακοπτών

Η παραπάνω δοκιμή πραγματοποιήθηκε για κάθε διακόπτη της διάταξης κίνησης των 3 αξόνων. Παρ ό,τι η λογική στις εργαλειομηχανές CNC είναι η αποφυγή ενεργοποίησης των διακοπτών με χρήση των ορίων του λογισμικού (soft limits), είναι απαραίτητη η παρουσία τους για τη διασφάλιση της αποφυγής ατυχημάτων σε περίπτωση σφάλματος της λειτουργίας των resolvers. Η τάση δόθηκε για επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των διακοπτών σε χαμηλές τροφοδοσίες.

Τα μοντέλα των διακοπτών είναι κατασκευασμένα για λειτουργία με τάσεις έως και 300V με ροή ρεύματος έως και 6A, γεγονός που δημιουργούσε προβληματισμό για την ύπαρξη μεγάλης εσωτερικής αντίστασης που θα μπορούσε πιθανά να προκαλέσει προβλήματα με την πτώση τάσης στην περίπτωση της παροχής 24V της κάρτας 7i77. Ωστόσο μια απλή δοκιμή όπως η παραπάνω εξάλειψε κάθε αμφιβολία για τη συμβατότητά τους με κυκλώματα χαμηλής τάσης

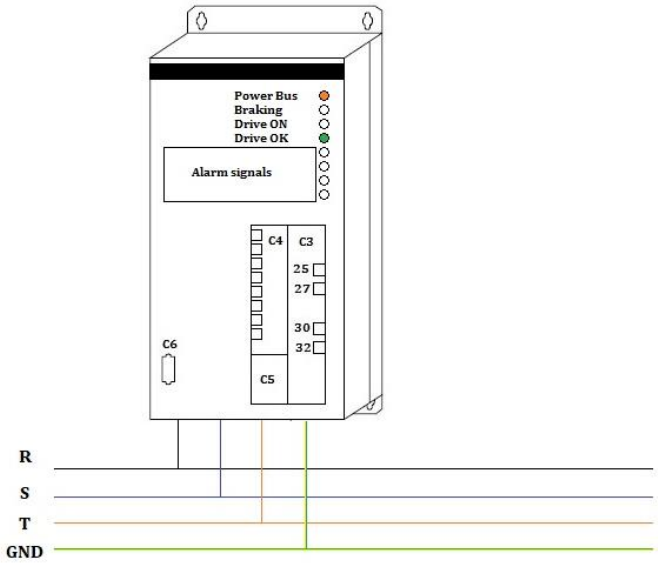
7.1.2 Δοκιμή λειτουργίας κινητήρων και ενισχυτών

Σε αυτό το στάδιο επιβεβαιώθηκε πρακτικά η σωστή συνδεσμολογία των σερβοκινητήρων, καθώς και των drives της μονάδας κατεργασίας. Ακόμα επαληθεύτηκε η λειτουργικότητα των παραπάνω συσκευών και έγινε ρύθμιση του σήματος ελέγχου των κινητήρων με τρόπο που θα παρουσιαστεί παρακάτω.

Σε πρώτη φάση κάθε μονάδα ενίσχυσης διασυνδέθηκε με το δίκτυο τριφασικής παροχής. Αφού κλείσανε οι διακόπτες ασφαλείας έγινε έλεγχος των φωτεινών ενδείξεων στο άνω δεξί μέρος της πρόσοψής τους. Και στα 4 drives παρατηρήθηκαν αναμμένες οι φωτεινές ενδείξεις «Power Bus» και «Drive OK». Οι

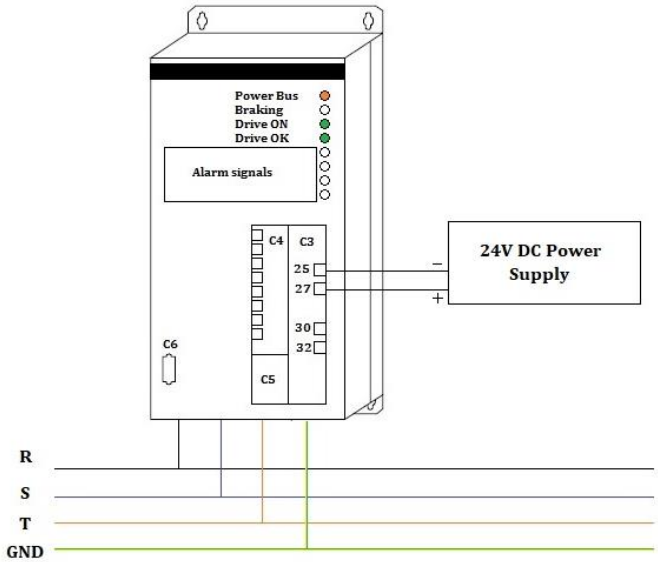
`

ενδείξεις αυτές δηλώνουν πως η μονάδα του ενισχυτή έχει επαρκή τροφοδοσία ισχύος και πως δεν εντοπίστηκε κάποιο σφάλμα στη συνδεσμολογία του κινητήρα και του resolver.



Εικόνα 122: Ένδειξη drive με παροχή τριφασικού ηλ. ρεύματος

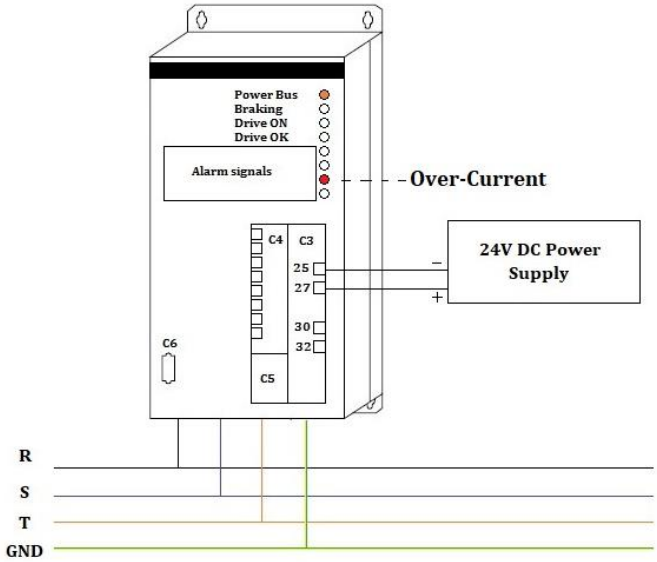
Στην επόμενη φάση της δοκιμής εφαρμόστηκε συνεχής τάση 24V μέσω τροφοδοτικού στις επαφές 27 (θετικός πόλος τροφοδοσίας πεδίου) και 25 (αρνητικός πόλος) του συνδέσμου C3 των μονάδων ενίσχυσης. Με την εφαρμογή της τάσης άναψε η φωτεινή ένδειξη «Drive On» που σημαίνει ότι έχει ενεργοποιηθεί η εντολή δραστικοποίησης (Enable) για τη λειτουργία του drive.



Εικόνα 123: Ένδειξη drive με σύνδεση επαφών 25 και 27 σε τροφοδοσία 24V DC

`

Σε αυτό το σημείο εντοπίστηκε βλάβη στον κινητήρα του άξονα Z. Η εντολή Enable προκαλούσε άμεση ανεξέλεγκτη κίνηση του άξονα χωρίς την είσοδο σήματος κίνησης από τον ενισχυτή. Η κίνηση ξεπερνούσε τα όρια στροφών του κινητήρα αμέσως και κατέληγε σε σφάλμα τύπου «over-current».



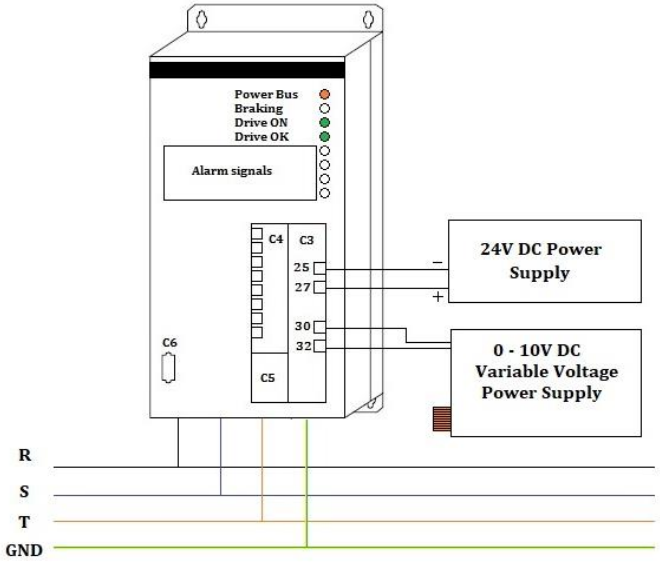
Εικόνα 1248: Ένδειξη drive άξονα Z με σφάλμα over-current

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου, αλλά και την εξακρίβωση ότι το πρόβλημα περιορίζεται στον κινητήρα και όχι στη μονάδα του drive έγινε αντικατάσταση του κινητήρα με κατάλληλο μοντέλο από το διαθέσιμο εφεδρικό υλικό. Ο νέος κινητήρας είναι ομοίου τύπου, μοντέλο **BMH0754N1RA1C**. Έχει φλάντζα ιδίου μεγέθους με τον προηγούμενο, μήκος 4 stacks (έναντι 1) και δε διαθέτει φρένο. Η απώλεια του μηχανισμού πέδης δημιουργεί ερωτήματα για τη λειτουργία της κεφαλής εστίασης σε περίπτωση που ο έλεγχος δεν επαρκεί για να συγκρατήσει τον κατακόρυφο άξονα με απόλυτη ακρίβεια στη θέση εστίασης. Με δοκιμές σε χαμηλές ταχύτητες κίνησης, που θα περιγραφούν παρακάτω ο άξονας ανταποκρίνεται με φαινομενικά ομαλές μεταβάσεις από σημείο σε σημείο. Ωστόσο, στο τέλος της παρούσας μελέτης παρέχονται σχηματικά οι συνδεσμολογίες τόσο παρουσία φρένου, όσο και χωρίς αυτού, για την περίπτωση που μελλοντικά ο κινητήρας **BMH0751N1RF2C** που αντικαταστάθηκε επισκευασθεί και επανατοποθετηθεί στο μηχανισμό κίνησης, ή στην περίπτωση που το φρένο του αφαιρεθεί και ενσωματωθεί στο νέο κινητήρα.

Στη συνέχεια έγινε δοκιμή της λειτουργίας οδήγησης των σερβοκινητήρων μέσω του drive με χειροκίνητη είσοδο σημάτων ελέγχου. Οι επαφές 30 και 32 του συνδέσμου C3 συνδέθηκαν αντίστοιχα με το θετικό και αρνητικό πόλο τροφοδοτικού πάγκου μεταβλητής τάσης. Με τη χρήση του ποτενσιόμετρου του τροφοδοτικού δοκιμάστηκαν τάσεις από 0V έως και 10V με προσοχή ώστε η κίνηση να μην υπερβεί τα όρια που ορίζουν οι διακόπτες. Στο εύρος από 0V έως 0.2V ο άξονας παρουσίαζε πολύ αργή περιστροφή και έλλειψη ευαισθησίας στις μικρές αλλαγές, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη χαμηλή ευαισθησία του ίδιου του τροφοδοτικού πάγκου. Από 0.3V έως 7V η περιστροφή των κινητήρων μεταβαλλόταν έντονα, αυξανόμενη παράλληλα με την αύξηση της τιμής της τάσης ελέγχου. Για τιμές της τάσης μεγαλύτερες των

`

7V παρατηρήθηκε διακοπή λειτουργίας των κινητήρων και εμφάνιση σφάλματος «over current», γεγονός που οφείλεται σε εσωτερική ρύθμιση της κλίμακας του ενισχυτή όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο χρήστη ρυθμίζεται μέσω του ποτενσίομετρου «Speed Adjust». Δοκιμές πραγματοποιήθηκαν και για την αντίθετη φορά περιστροφής, εναλλάσσοντας το θετικό πόλο τροφοδοσίας από την επαφή 30 στην επαφή 31, εφόσον το τροφοδοτικό δεν έδινε δυνατότητα εφαρμογής τάσης αρνητικής τιμής.



Εικόνα 1259: Συνδεσμολογία και ενδείξεις drive για τη δοκιμή κίνησης των κινητήρων

Στο τελικό στάδιων δοκιμής των drives χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό της εταιρίας NUM, το NUM Tools Analog Drives. Η απόκτησή του έγινε κατόπιν επικοινωνίας με την τεχνική υποστήριξη της εταιρίας και μάλιστα χωρίς κάποια χρέωση. Κάθε μονάδα drive συνδέεται μέσω σειριακής θύρας DB9 στο σύνδεσμο C6 σε Η/Υ. Το λογισμικό επιτρέπει το καλιμπράρισμα των μονάδων οδήγησης με αλλαγή των εσωτερικών ρυθμίσεών τους που είναι αποθηκευμένες με μορφή αριθμητικών τιμών μεταβλητών. Οι μεταβλητές μαζί με βασική επεξήγηση των τιμών τους παρατίθενται στα Παραρτήματα στο τέλος της εργασίας για μελλοντική αναφορά.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν πως οι μονάδες των ενισχυτών είναι λειτουργικές και οι κινητήρες δεν παρουσιάζουν εμφανείς μηχανικές βλάβες, πέραν του κινητήρα που αντικαταστάθηκε. Για τον έλεγχο των κινητήρων φαινομενικά οι 4 επαφές (25, 27, 30 και 32) που υποστηρίζει η κάρτα διεπαφής Mesa 7i77 επαρκούν και με κατάλληλο καλιμπράρισμα το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο κατόπιν της πλήρους σύνδεσης της διάταξης με τις κάρτες διεπαφής και το LinuxCNC όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6 αναμένεται να λειτουργούν κανονικά.

Για τους resolvers και την ορθή τους λειτουργία η μόνη ένδειξη που υπήρξε ήταν η έλλειψη εμφάνισης σφάλματος μέσω των φωτεινών ενδείξεων των drives. Με διαδοχικές δοκιμές αφαιρέθηκαν καλώδια από τις επαφές του συνδέσμου C5, όπου και άμεσα παρουσιαζόταν σφάλμα τύπου «resolver» γεγονός που μας καθησυχάζει σε ένα βαθμό για την ευαισθησία του ενισχυτή σε βλάβη του resolver.

`

7.2 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική αρχικά αφορούν τα πλεονεκτήματα και την ευελιξία που το λογισμικό LinuxCNC προσδίδει στον έλεγχο εργαλειομηχανών. Το λογισμικό προσαρμόζεται σε κάθε είδους διάταξη, το γεγονός αυτό έγινε απόλυτα εμφανές από τη βήμα-προς-βήμα ρύθμισή του στο Κεφάλαιο 4. Η δυνατότητα εφαρμογής αριθμητικού ελέγχου σε μεγάλο εύρος εργαλειομηχανών χρησιμοποιώντας το ίδιο ελεύθερο λογισμικό και έναν απλό Η/Υ μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα μιας μονάδας κατεργασιών και να αναζωογοννήσει και να εκσυγχρονίσει παλαιά μηχανήματα χωρίς ιδιαίτερη οικονομική επιβάρυνση.

Σε δεύτερη φάση, γίνεται αντιληπτή η υπεροχή της χρήσης του λογισμικού και της διάταξης των καρτών διασύνδεσης έναντι της παλαιάς διάταξης και της χρήσης του PLC:

- Το γραφικό περιβάλλον του LinuxCNC βελτιώνει την αντίληψη της λειτουργίας του κέντρου κατεργασίας του χρήστη, έναντι της παλαιωμένης κονσόλας.
- Το πλήθος των επαφών εισόδου και εξόδου των καρτών διασύνδεσης και η εύκολη παραμετροποίηση του LinuxCNC επιτρέπουν την αναβάθμιση και την επέκταση των δυνατοτήτων της λειτουργίας της εργαλειομηχανής, ανά πάσα στιγμή, ακόμα και την πλήρη μεταποίησή της εφόσον συνοδεύεται με κατάλληλη μετατροπή υλικού.
- Η ανάληψη του ελέγχου από τον Η/Υ οδηγεί σε αφαίρεση σημαντικού μέρους των καλωδιώσεων και των ηλεκτρικών εξαρτημάτων του φοριαμού, οδηγώντας έτσι σε εξοικονόμηση χώρου και απλοποίηση της συνολικής διάταξης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την αποκατάσταση της τράπεζας και των συστημάτων κίνησης οδηγούν στο προφανές συμπέρασμα πως με την κατάλληλη συντήρηση ακόμα και ένα κέντρο κατεργασιών 25 ετών χωρίς υλικές βλάβες και κατεστραμμένα εξαρτήματα μπορεί να επανέλθει σε καλή και λειτουργική κατάσταση.

7.3 Μελλοντική εργασία

Οι πρώτες εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την πραγματική ολοκλήρωση της υλοποίησης της μονάδας ελέγχου του κέντρου κατεργασιών περιλαμβάνουν τη διασύνδεση των καρτών Mesa 7i77 και 5i25 κατά την άφιξή τους στο εργαστήριο. Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει ακριβείς οδηγίες για την εγκατάστασή τους, τόσο περιγραφικά όσο και σχηματικά στα Παραρτήματα. Η ρύθμιση του LinuxCNC για το συγκεκριμένο σύστημα κίνησης έχει ήδη πραγματοποιηθεί. Το μόνο τμήμα της που δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί εξ αιτίας της έλλειψης των καρτών ήταν το καλιμπράρισμα των αξόνων, το οποίο όμως θα γίνει άμεσα με τη διασύνδεση του συστήματος.

Στη συνέχεια, αφού το σύστημα κίνησης διασυνδεθεί και διαπιστωθεί η ορθή λειτουργία των σερβομηχανισμών, είναι αναγκαία η πραγματοποίηση του ελέγχου της ακρίβειας που η εργαλειομηχανή μπορεί πετύχει. Το εργαστήριο διαθέτει σύστημα μέτρησης μετατοπίσεων Laser Doppler, με το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση ακρίβειας κατά ISO και αντιστάθμιση σφαλμάτων.

`

Το επόμενο βήμα αφορά τη λειτουργία της ίδιας της μονάδας του laser. Συντήρηση των εξαρτημάτων, ευθυγράμμιση με το σύστημα κίνησης και επανατοποθέτηση των οπτικών ανακατεύθυνσης και εστίασης της δέσμης στην εργαλειομηχανή. Διασύνδεση της μονάδας με τον Η/Υ και προγραμματισμός και υλοποίηση ενός νέου ελεγκτή για τη δέσμη μέσω του LinuxCNC.

Είναι εμφανές το μέγεθος το όγκου εργασιών που απαιτούνται για την πλήρη αποκατάσταση της εργαλειομηχανής και τη λειτουργία της. Ωστόσο, η πραγματοποίηση των παραπάνω βημάτων θα οδηγήσει στη διεύρυνση των δυνατοτήτων του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ με την προσθήκη ενός πρακτικά νέου βιομηχανικού κέντρου κατεργασιών laser υψηλής ισχύος στον εξοπλισμό του.

`

`

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσιεύσεις

1. G. Pritschow (Coordinator), Y. Altintas, F. Jovane, Y. Koren, M. Mitsuishi, S. Takata, H. van Brussel, M. Weck, K. Yamazaki, "Open Controller Architecture - Past, Present and Future", CIRP Annals Manufacturing Technology, Vol. 50, No 2, 2001, pp. 463–470.
2. W.S. Yun, B.-K. Min, Z.J. Pasek, “Open Architecture Controller Interface Implementation for Machine Tools”, IPROMS 2007 Innovative Production Machines and Systems, pp. 382 – 387.
3. X.-B. Ma, Z-Y. Han, Y.-Z. Wang, H.-Y. Fu, "Development of a PC-based Open Architecture Software-CNC System", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 20, No 3, 2007, 272-281.
4. Y. Chi, “An evaluation space for open architecture controllers”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, Vol. 26, No 4, 2005, 351-358.
5. C. Zhang, H. Wang, J. Wang, "An USB-based software CNC system", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 139, No 1, 2003, pp. 286–290.
6. Y. Yusof, K. Latifa, “New Interpretation Module for Open Archtecture Control based CNC Systems”, Procedia CIRP; Vol. 26, 2015, 729-734.
7. R. Qiang, “Research of Software Open-CNC System”, 2007, published on-line, www.paper.edu.cn
8. M. Minhat, V. Vyatkin, X. Xu, S. Wong, Z. Al-Bayaa, “A novel open CNC architecture based on STEP-NC data model and IEC 61499 function blocks”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 25, No 3, 2009, pp. 560 – 569.
9. T. Staroveški, D. Brezak, T. Udiljak, D. Majetic, "Implementation of a Linux-based CNC open control system", 12th International Scientific Conference on Production Engineering – CIM, 2009, pp. 209-216.
10. T. Duan, R. Baroud, D. Amato, A. LaRoe, “Real-Time, CNC Machine Tool Control with Linux: A Senior Design Project at MUSE”, ASEE, 2008.
11. T. Staroveški, D. Brezak, T. Udiljak, D. Majetic, “LinuxCNC – The Enhanced Machine Controller: Application and an Overview”, Technical Gazette, Vol 20, No 6, 1103-1110.
12. A. Chaudhary, T.A. Khan, A.R. Varshney, “Value Addition to Senescent Machine Tools through Retrofitting”, International Journal of Scientific Engineering and Technology, Vol. No. 2, No. 7, 2013, 642 – 646.
13. P.K. Gupta, K. Sharma, V. Tripathi, “Economical Analysis and Up Gradation of Existing Machine Tools through Retrofitting”, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 2, No. 4, 2013, 52 – 58.

`

Βιβλία:

1. «Εργαλειομηχανές CNC - Πρόχειρες Σημειώσεις», Γ.Χ. Βοσνιάκος
2. «Μη Συμβατικές Κατεργασίες – Πρόχειρες Σημειώσεις», Δ. Μανωλάκος
3. «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών», Πέτρος Ντοκόπουλος

Διπλωματικές εργασίες:

1. «Έλεγχος κεντρου τορνευσης με βαση το LinuxCNC: I. Άξονες κίνησης και άτρακτος», Ζουρτσάνος Γ. Νικόλαος **(**Μεταπτυχιακή Εργασία)
2. «Έλεγχος κεντρου τορνευσης με βαση το LinuxCNC: II Μηχανισμός εργαλείων, Κεντροφορέας και βοηθητικά συστήματα» Κοντογιάννης Β. Νικόλαος **(**Μεταπτυχιακή Εργασία)
3. «Έλεγχος βιομηχανικού ρομπότ με βάση ανοικτό λογισμικό ψηφιακής καθοδήγησης», Τσούμπας Δ. (Διπλωματική Εργασία)

Εγχειρίδια χρήσης (manuals)

1. LinuxCNC: Getting Started
2. LinuxCNC: User Manual
3. NUM Servomac AC Monodrive, Installation and Maintenance Manual
4. Mesa Electronics 7i77 Six Axis Analog Servo Plus I/O Daughtercard Manual
5. Mesa Electronics 5i25 anything I/O Manual

`

Επιπλέον πηγές

http://www.linuxcnc.org/

http://www.linuxcnc.org/index.php/english/forum/index

http://linuxcnc.org/docs/html/config/pncconf.html

http://www.moto-teleterm.gr

https://en.wikipedia.org/wiki/Resolver_(electrical)

https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder

https://quantumdevices.wordpress.com/2010/06/29/understanding-incremental-encoder-signals/

https://www.schneider-electric.com

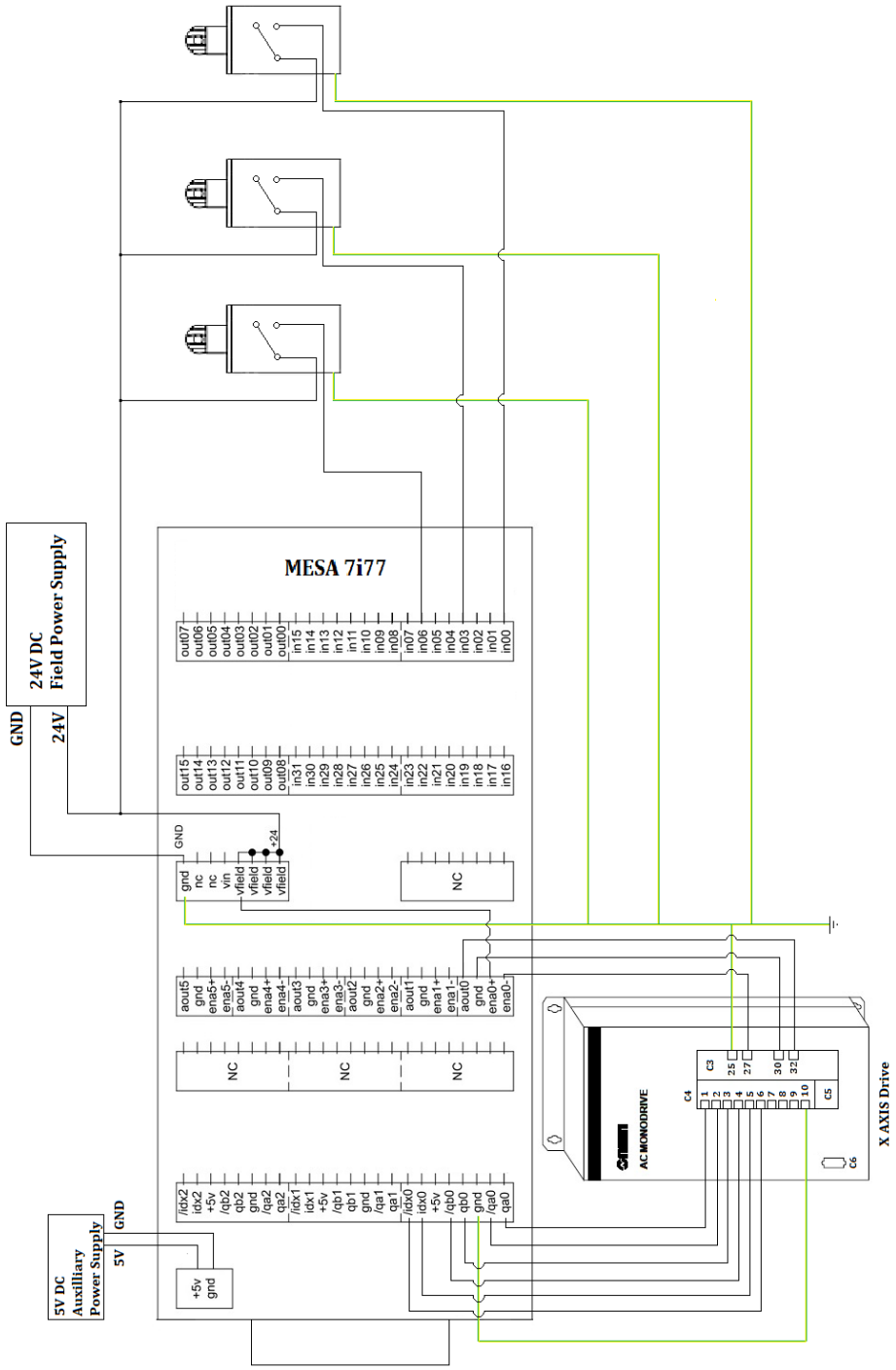
http://www.tesensors.com/uk/en/legacy-products/XCMA102T300

`

`

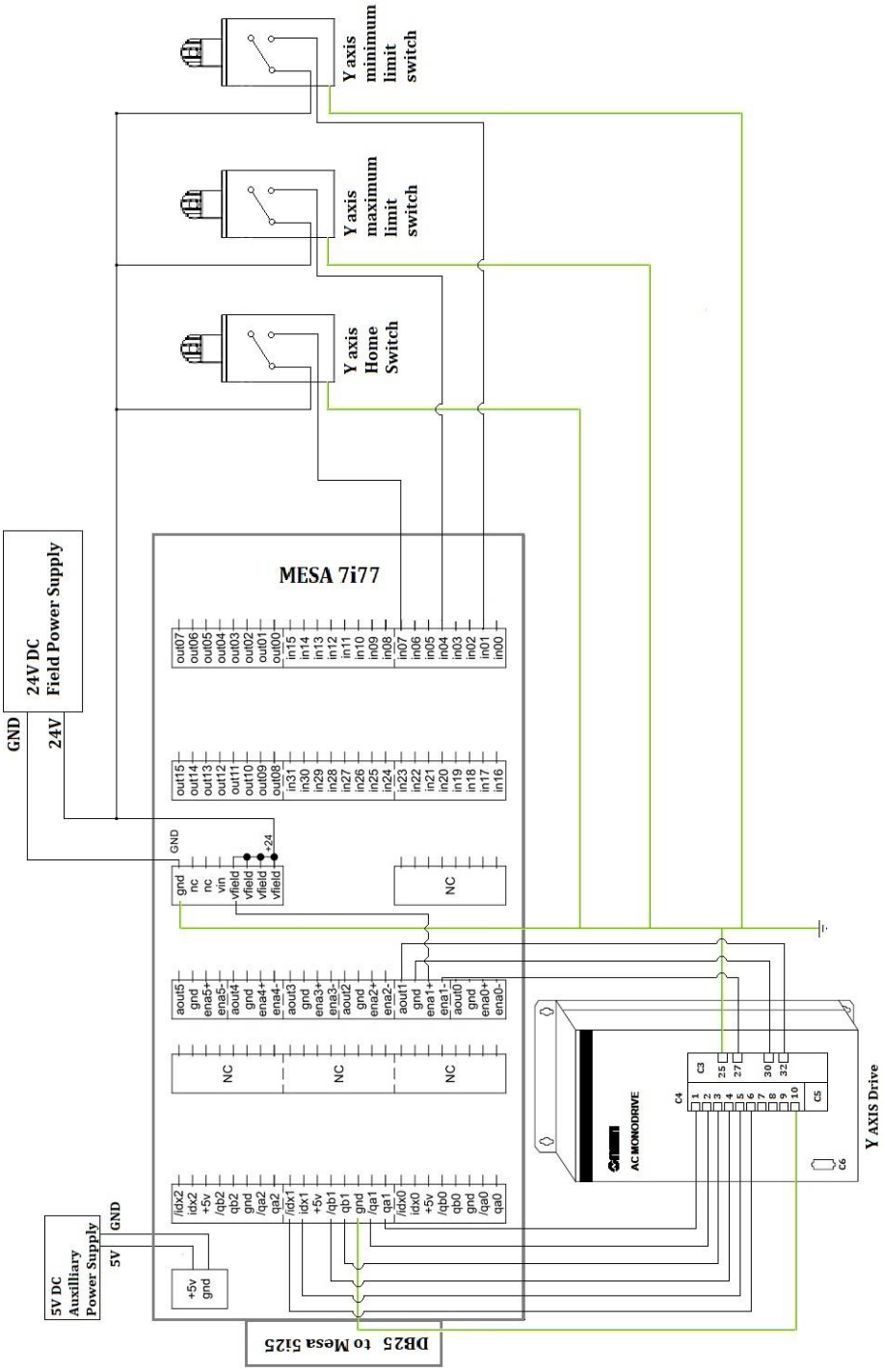
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Σχεδιαγράμματα Συνδεσμολογίας MESA 7i77

Άξονας X – Σύνδεση drive, encoder και διακοπτών



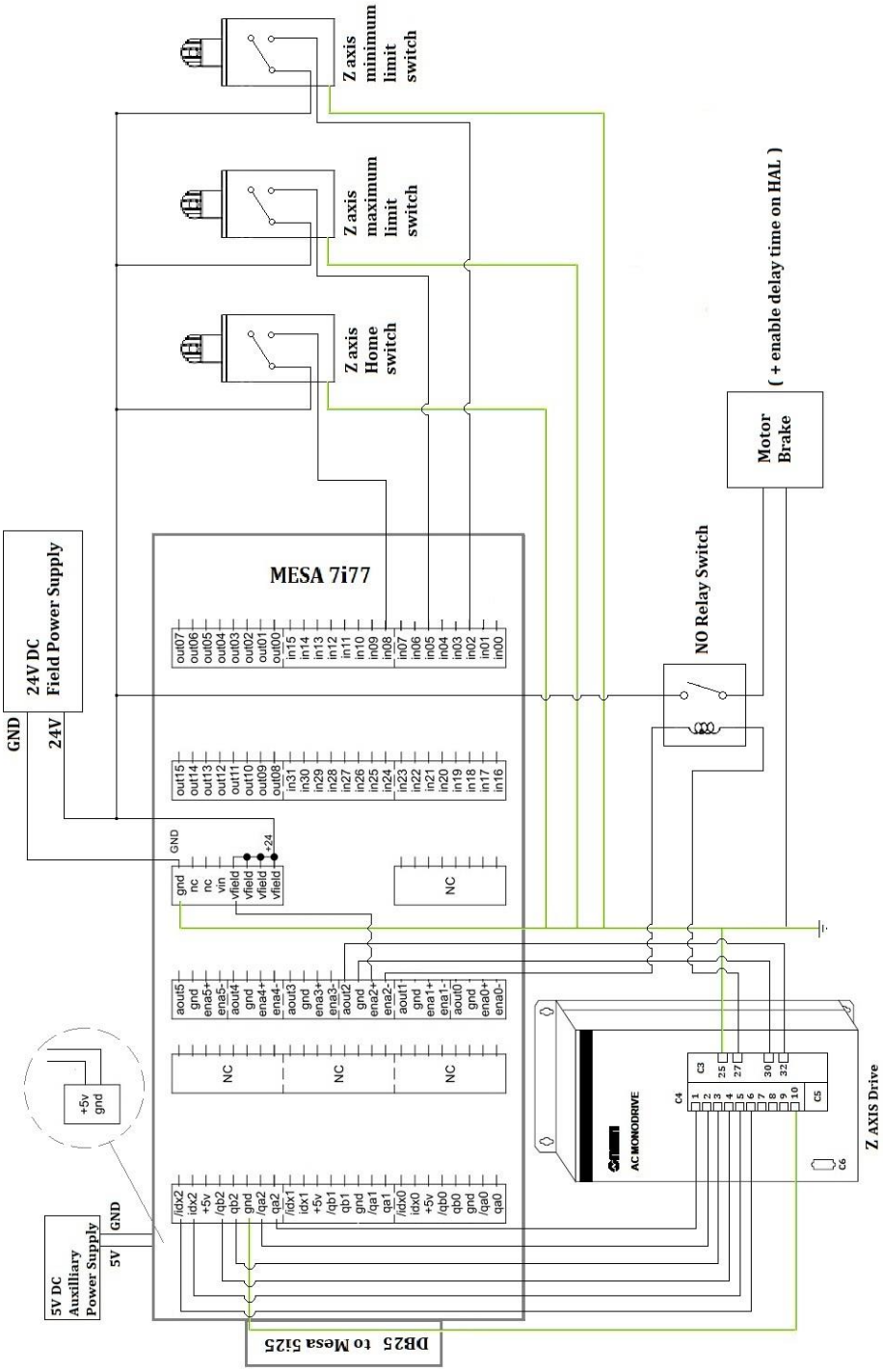
`

Άξονας Y – Σύνδεση drive, encoder και διακοπτών



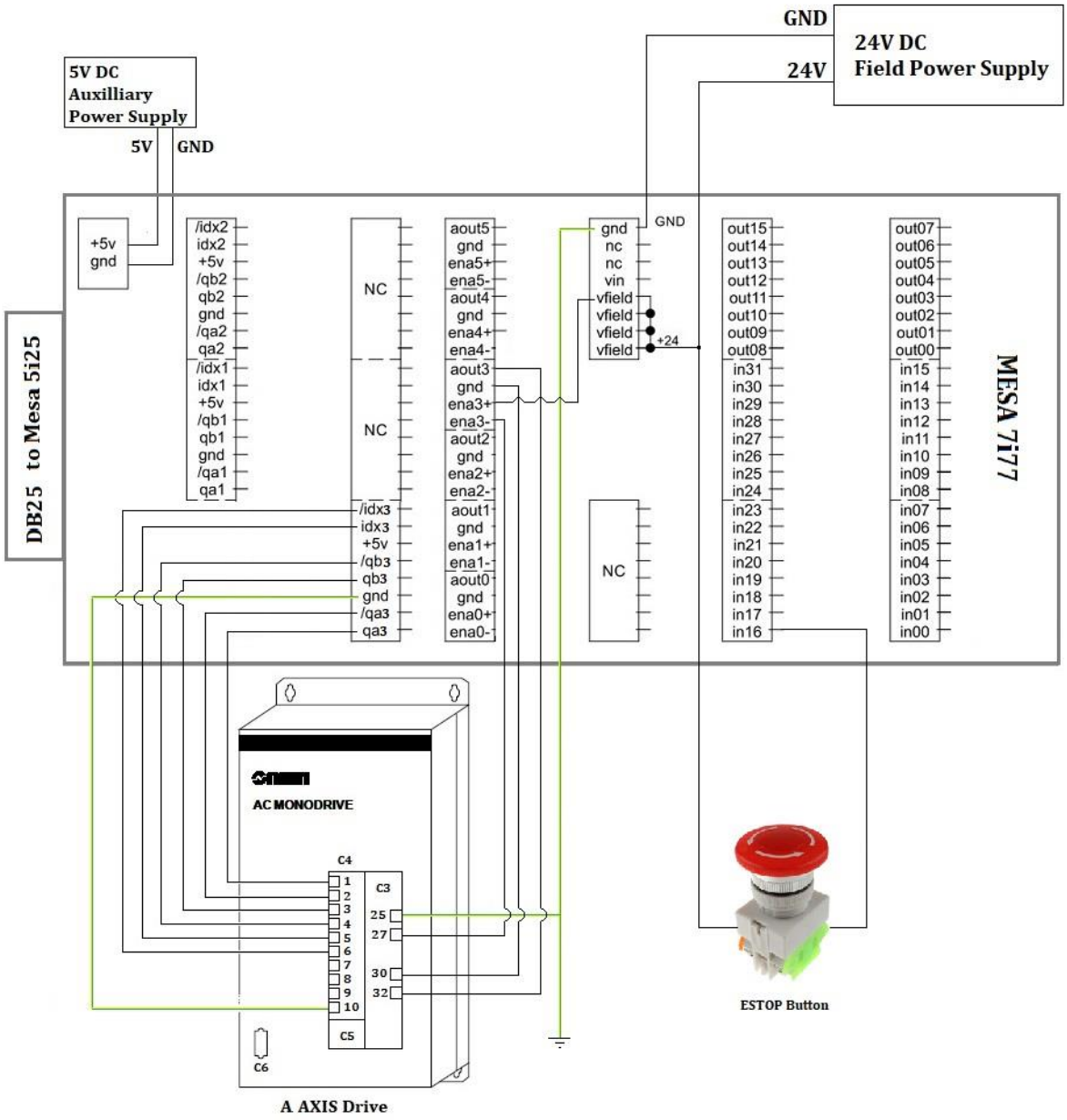
`

Άξονας Z – Σύνδεση drive, encoder, διακοπτών και φρένου (αν υπάρξει)



`

Άξονας Α – Σύνδεση drive, encoder και κομβίου ESTOP



`

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Σφάλματα NUM MNDA AC Monodrives

If none of the A,B,C,D leds are ON , the drive is in "Drive OK" condition.

Alarm signalling ❍ **= led OFF** ● **= led ON**

LED	TYPE	Alarm description	Possible cause	Possible correction
● A ❍ B ❍ C ❍ D	Over speed	Motor overspeed	The maximum speed required is higher than +20% that forseen.	- Check the value of the parameter krifv. - Check the Speed Adjust. trimmer calibration.
❍ A ● B ❍ C ❍ D	Therm. mot (soft)	Motor overheat (Software)	The motor has operated too long and overload.	Check the work cycle.
● A ● B ❍ C ❍ D	Over voltage	Bus voltage > 700V	During braking, the brake resistance has not managed to recuperate all the energy by the motor.	Check the brake resistance operating and its connection.
❍ A ❍ B ● C ❍ D	Over current	Transistors I^2t overcurrent (Software)	- Connection inversion between motor and drive. - Motor mechanically blocked.	- Check cabling. - Check mechanics.
● A ❍ B ● C ❍ D	Therm. mot PTC	Motor overheat (Motor thermal switch)	- The motor has operated too long in overload - Motor thermal switch not connected.	- Check the work cycle. - Check thermal switch between pin 19 and 20.
❍ A ● B ● C ❍ D	Therm. module	Drive overheat	The internal temperature of the box is too high.	Check correct air circulation in the box.
● A ● B ● C ❍ D	Under voltage	Bus voltage <400V	Network voltage less than 300V.	Check correct network voltage.

`

LED	TYPE	Alarm description	Possible cause	Possible correction
○ A ○ B ○ C ● D	Resolver	Interrupted or faulty resolver connections.	- Short circuit between the resolver cables. - Dispersion towards ground. - Inversion of connections.	Check connection cables between the resolver and AC MONODRIVE.
● A ○ B ○ C ● D	Short circuit	Short circuit towards ground or between motor phases.		Check power connector part of cable C1/motor.
○ A ● B ○ C ● D	Aux	Internal auxiliary power supply output KO.	Possible short circuit on auxiliary voltage. (pins 34, 35, 36).	Check cabling.
● A ● B ○ C ● D	Watch dog	Time out sofware.		- Contact NUM technical assistance.
○ A ○ B ● C ● D	Init	Processor not initiated.		- Contact NUM technical assistance.
● A ○ B ● C ● D	Checksum	Memory parameter KO.		- Contact NUM technical assistance.
○ A ● B ● C ● D	Memory fail	Memory KO.		- Contact NUM technical assistance.
● A ● B ● C ● D	Therm. res. brake	Maximum intervention time of the brake resistance.	- Load inertia applied is too high. - Short circuit towards ground of the brake resistance.	- Contact manufacturer. - Check connections.