



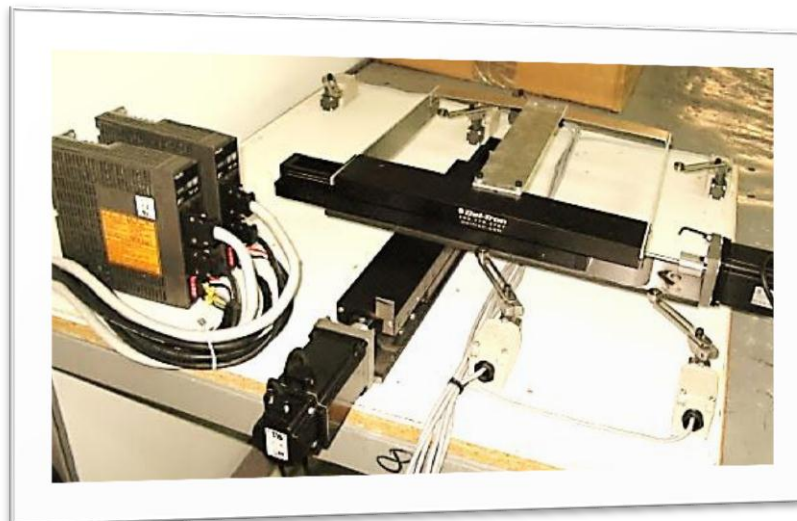
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Ανάπτυξη Ψηφιακά Καθοδηγούμενης Διάταξης Δύο Καρτεσιανών Αξόνων Κίνησης, για εργαλειομηχανή προσθετικής κατασκευής τεμαχίων κατά στρώσεις τύπου SLS/SLM»

Σύνθεση, Διασύνδεση, Παραμετροποίηση, Σχεδίαση και Προγραμματισμός Custom Λογισμικού.



Ανδρέας Π. Μιχελής

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Γεώργιος Χ. Βοσνιάκος

Αθήνα 2012

MASTER THESIS

“Development of Numerical Controlled Device of Two Cartesian Motion Axes for
an Additive Layered Manufacturing SLS/SLM Machine Tool.”

Synthesis, Interconnection, Customization, Design and Programming Custom Software.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τους γονείς μου Πέτρο και Βασιλική καθώς και τη μικρότερη αδερφή μου Αικατερίνη, για όλη την υποστήριξη που μου παρέιχαν «Ψυχική και οικονομική», καθ' ότι συντέλεσε καθοριστικά στην μέχρι τώρα Επιστημονική μου πορεία συμπεριλαμβανομένης και της ολοκλήρωσης της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Βοσνιάκο για την καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνοδοιπόρους στο εγχείρημα αυτό, τον υποψήφιο διδάκτορα Νικόλαο Κοντολάτη, καθώς και τους τεχνίτες του εργαστηρίου κατεργασιών, κ. Ν. Μελισσά και Γ. Μίχα, των οποίων οι μηχανολογικές γνώσεις και το μεράκι που επέδειξαν απεδείχθη καταλυτικής σημασίας για την διεκπεραίωση των εγχειρημάτων - κατασκευών που παρουσιάζονται κατά τα εδάφια [2.1, 6.2], και την υλοποίηση του βασικού πλαισίου της διάταξης που περιγράφεται στο εδάφιο [2.2.5].

DPMS_id: mcp10-2-27

Email: andreasmls@gmail.com

Στην «Οικογένεια μου»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής είναι η κατασκευή συστήματος ψηφιακά καθοδηγούμενης καρτεσιανής διάταξης, υπεύθυνης για την κίνηση της δέσμης Laser σε μία διάταξη μηχανής τύπου SLS/SLM. Στο εισαγωγικό κεφάλαιο πραγματοποιείται μια περιγραφή των γενικότερων χαρακτηριστικών των SLS/SLM μηχανών, και δίνονται εισαγωγικές γνώσεις σχετικά με τις αρχές αριθμητικού ελέγχου και των CNC μηχανών. Έπειτα, στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η γενική διάταξη της κατασκευής, ενώ εν τάχει απαριθμούνται τα επιμέρους τμήματα τα οποία απαρτίζουν το σύνολο της σχεδιαζόμενης διάταξης. Στο κεφάλαιο 3 αναπτύσσεται η θεωρία για τη φύση, τη λειτουργία και τον τρόπο διαχείρισης της κάρτας αυτομάτου ελέγχου Pmac, η οποία αποτελεί το κύριο μέσο διαχείρισης, εποπτείας κι επιτελικού ελέγχου του λοιπού εξοπλισμού. Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι τεχνικές εγκατάστασης, διασύνδεσης και παραμετροποίησης του εν λόγω ελεγκτή, με το υπόλοιπο μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό σύστημα. Παρατίθενται όλες οι σχετικές λεπτομέρειες και οι επιλογές που έγιναν, ενώ επόμενα, στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η δυνατότητα διαχείρισης του συνόλου της διάταξης, με τη βοήθεια μιας πιλοτικής εφαρμογής ελέγχου, καθώς και η διαδικασία υλοποίησης της. Ακολούθως στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιούνται οι απαραίτητες δοκιμές προς διεξαγωγή μετρήσεων για την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την απόκριση της διάταξης, ενώ τέλος στο κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και μελλοντικές βελτιώσεις - υλοποιήσεις σχετικά με τη διάταξη και το ευρύτερο πλαίσιο της κατασκευής.

Συμπερασματικά, η διατριβή παραθέτει τη γενικευμένη μεθοδολογία κατασκευής της διάταξης του παραπάνω καρτεσιανού συστήματος δύο βαθμών ελευθερίας, παρουσιάζοντας την δυσκολία και την ανάγκη αναγνώρισης των πραγματικών δυνατοτήτων-προδιαγραφών του διαθέσιμου εξοπλισμού, την απόδοση της διάταξης σε σχέση με τις προδιαγραφές του εξοπλισμού το περιβάλλον εφαρμογής, τις αβεβαιότητες που παρουσιάζονται και πρέπει να λυθούν με διεξαγωγή πειραμάτων, αλλά και την παραμετροποίηση του χρήστη με έμφαση στην προσαρμοστικότητα και την προστασία του παρεχόμενου εξοπλισμού. Τέλος παρατίθεται η ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων από την εκτέλεση δοκιμαστικών εφαρμογών, ενώ παρουσιάζεται η πιλοτική εφαρμογή που παρέχει επαυξημένες δυνατότητες ως προς τις επιλογές που παρέχονται στο χρήστη, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μια ικανή βάση για περαιτέρω επεκτάσεις στο επίπεδο εμπειρίας του με τη γλώσσα προγραμματισμού και τις εκάστοτε ανάγκες του.

ABSTRACT

The subject of this master thesis is to build a numerically controlled device of two Cartesian motion axes, responsible for controlling the Laser beam of an additive layered manufacturing SLS/SLM machine tool. In the introductory chapter a general description of the main characteristics of SLS/SLM machines is made, and introductory knowledge on the principles of numerical control and CNC machines is provided. Chapter 2 describes the general layout of the structure, briefly listing the individual parts of the proposed development. Chapter 3 explains the operation principles of the automation controller (Pmac), which is the main-part equipment responsible for the management, supervision and control of the related mechanical systems. Chapter 4 analyzes the installation, interconnection and configuration procedures, when connecting the controller with the remaining parts of mechanical and electrical system. Chapter 5 presents the capabilities of managing the entire system with the help of pilot control software, and the whole implementation process of the latter, as well. In chapter 6 the necessary tests conducted for assessing accuracy, reliability and responsiveness of the device are presented. Finally, in section 7 the conclusions are presented the results are analyzed regarding the whole development process, and future improvements -are suggested.

In conclusion, the general construction methodology of the above Cartesian system of two degrees of freedom is outlined, showing the difficulty and the need to recognize the real potential-specification of the equipment, the performance of the device compared to the specifications of the equipment the application environment, uncertainties that arise and must be solved by conducting experiments, and the customization of the user focus on adaptability and protection of the supplied equipment. Finally, first results from the implementation of pilot applications in standard parts processing are analyzed, while the pilot software presents enhanced user possibilities, and also a sufficient basis for further extension taking into account the level of user experience with this programming language and custom industrial needs.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	iii
Abstract	iv
Περιεχόμενα.....	v
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων	xiv
Κατάλογος Σχημάτων	xvi
Κεφ. 1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 SLS - SLM μηχανές	1
1.3 Αρχές Αριθμητικού Ελέγχου.....	4
1.3.1 Συστήματα Ανοικτού Βρόγχου	5
1.3.2 Συστήματα Κλειστού Βρόγχου	6
1.3.3 Μετρητικά Συστήματα Θέσης	7
1.3.4 Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα Συστήματος	8
1.4 Κριτήρια Ποιότητας CNC Μηχανών	9
1.5 Προγραμματισμός CNC Μηχανών.....	10
1.5.1 Συστήματα Συντεταγμένων Μηχανής.....	10
1.5.2 Συστήματα Συντεταγμένων Προγράμματος.....	10
1.5.3 Συστήματα Συντεταγμένων Τεμαχίου	11
1.5.4 Παρεμβολή (Interpolation).....	11

1.5.5 Βασικοί κώδικες G κατά «DIN 66025 / ISO 6983»	11
1.5.6 Εκτέλεση Προγράμματος	13
1.5.7 Μετα-επεξεργαστές	13
Κεφ. 2. Γενική Διάταξη Μηχανής	14
2.1 Προδιαγραφές	14
2.2 Περιγραφή Μηχανικών Μερών	14
2.2.1 Άξονες	14
2.2.2 Διατάξεις Προώσεως Deltron Lead Screw	16
2.2.3 Κινητήρες Προώσεως Faldic W Fuji Servo και Σύζευξη	17
2.2.4 Αισθητήρες Αποκωδικοποίησης Θέσης Faldic W Fuji	19
2.2.5 Τερματικοί Διακόπτες Omron wlca12-g	21
2.2.6 Τοποθέτηση - Ρύθμιση Διακοπών	24
2.3 Οδήγηση Αξόνων Διάταξης Δύο Βαθμών Ελευθερίας	24
2.4 Βαθμίδα Ενίσχυσης Κινητήρων Faldic W Servo	26
2.5 Αρχική Θέση σε Λειτουργία	28
Κεφ. 3. Η Pmac ως Ελεγκτής	30
3.1. Εισαγωγή	30
3.2 Εφαρμογές στη Βιομηχανία	31
3.3 Εκδόσεις και Προαιρετικά εξαρτήματα	31
3.4 Υπολογιστικές Δυνατότητες	33
3.5 Μεταβλητές	35
3.5.1 Μεταβλητές-I	37
3.5.2 Μεταβλητές- P και Q	38
3.5.3 Μεταβλητές-M	41

3.6 Εντολές Εκτέλεσης Πραγματικού Χρόνου	42
3.6.1 Εντολές «Jog»	44
3.6.2 Εντολή Αρχικοποίησης «Home»	47
3.6.3 Εντολές Open-Loop	49
3.7 Άξονες κίνησης & Συστήματα Συντεταγμένων	49
3.8 Προγράμματα Κίνησης	52
3.8.1 Γραμμική Παρεμβολή Linear	56
3.8.2 Παράμετροι Κίνησης	56
3.8.3 Κυκλική Παρεμβολή Circle	57
3.8.4 Γρήγορη Μεταβατική κίνηση Rapid	59
3.8.5 Κυβική Παρεμβολή Spline	60
3.8.6 Ειδική Παρεμβολή Pvt	62
Κεφ 4. Εγκατάσταση Παραμετροποίηση	63
4.1 Εισαγωγή	63
4.2 Ρύθμιση & Εγκατάσταση Υλικού	63
4.2.1 Σημεία E-Points	64
4.2.2 Σειριακή διασύνδεση	65
4.2.3 Τροφοδοσία	66
4.3 Ρmac «CUIF» και Διασυνδέσεις	67
4.3.1 Σήματα Ανάδρασης (Encoder Input)	69
4.3.2 Σήματα Μέτρου και Φοράς Εξόδου (Analog Output)	70
4.3.3 Σήματα Ενεργοποίησης Εξόδου (Enable Output)	71
4.3.4 Σήματα Κατάστασης Σφάλματος (Fault Input)	72
4.3.5 Σήματα Συμβάντων/Διακοπών (Home, Lim+, Lim- Inputs)	73

4.3.6 Τροφοδοσία και Ασφάλεια	74
4.4 Προετοιμασία Υπολογιστικού Συστήματος	75
4.4.1 Προεπισκόπηση Λογισμικού	75
4.4.2 Οδηγός PtalkDTPro	76
4.4.3 Εφαρμογή Rewin 32 PRO	80
4.4.4 Επιβεβαίωση Πρώτης Λειτουργίας	81
4.5 Παραμετροποίηση Pmac	83
4.5.1 Κινητήρες, Συστήματα Ανάδρασης & διακοπές	83
4.5.2 Ρύθμιση Κερδών και Σφαλμάτων	88
4.5.3 Ρύθμιση Διατάξεων Ενίσχυσης	94
4.6 Επισκόπηση Λειτουργιών	95
Κεφ. 5. Σχεδιασμός Εφαρμογής Ελέγχου	97
5.1 Αναπτυξιακό Περιβάλλον	97
5.2 Φιλοσοφία Προγραμματισμού	98
5.3 Προδιαγραφές Εφαρμογής	98
5.4 Διασύνδεση με Pmac	99
5.5 Τερματικό Εκτέλεσης Χρήστη	102
5.6 Σύστημα Γράφου Αναπαράστασης Θέσης/Ταχύτητας	104
5.7 Ενδείξεις Λειτουργίας Pmac Status	106
5.8 Εκτέλεση Λειτουργιών	107
5.9 Σφάλματα και Ιδιαιτερότητες	109
Κεφ. 6 Δοκιμές	110
6.1 Περιβάλλον Καταγραφής Δεδομένων Εκτέλεσης	110
6.2 Κατασκευή Κώδικα Επεξεργασίας Δοκιμών	112

6.3 Αποτελέσματα.....	114
Κεφ. 7. Συμπεράσματα.....	117
Βιβλιογραφία	119
Παράρτημα Α: Φωτογραφικό Υλικό	124
Παράρτημα Β: Περιεχόμενα αρχείου μετα-επεξεργαστή	127
Παράρτημα Γ: κώδικας-G	132

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Καρτεσιανό Σύστημα Αναφορών σε μία CNC SLS - SLM μηχανή.	1
Εικόνα 2. Αναπαράσταση της τεχνικής της πυροσυσσωμάτωσης SLS-SLM.	3
Εικόνα 3. Μικροδομές κατεργασίας με τεχνική μSL.	4
Εικόνα 4. Σύστημα Κίνησης Τραπεζιού ανοικτού βρόγχου.	5
Εικόνα 5. Σύστημα Ανοικτού Βρόγχου Ανάδρασης.	6
Εικόνα 6. Σύστημα κίνησης κλειστού βρόγχου.	6
Εικόνα 7. Αρχές Λειτουργίας CNC μηχανών.	9
Εικόνα 8. Εικονική αναπαράσταση της μηχανής.	14
Εικόνα 9. Δίδυμο σύστημα τοπολογίας SLS-SLM μηχανής.	15
Εικόνα 10. Αναπαράσταση του καρτεσιανού συστήματος κίνησης δέσμης λέιζερ σε προβολές α) άνοψη κα β) πρόοψη.	15
Εικόνα 11. Εικονική αναπαράσταση μηχανολογικής σύνθεσης του καρτεσιανού συστήματος της διάταξης.	16
Εικόνα 12. Μοντέλο αναπαράστασης διάταξη γραμμικής μετατόπισης της Del-Tron.	16
Εικόνα 13. Κοχλίας διάταξης προώσεως τετραγώνου προφίλ-κανονικού περικοχλίου.	16
Εικόνα 14. Διάταξη γραμμικής μετατόπισης 300mm της εταιρίας Del-Tron.	17
Εικόνα 15. Σύστημα διατάξεων πρόωσης X-Y-Z.	17
Εικόνα 16. Σερβοκινητήρας και βαθμίδα ενίσχυσης της σειράς "Faldic-W".	18
Εικόνα 17. Αναλυτικά στοιχεία για την διάταξη σερβοκινητήρα GYS401DC2.	18
Εικόνα 18. Διαφορετικές τεχνικές διασύνδεσης περιστρεφόμενων αξόνων κίνησης.	19
Εικόνα 19. Αυτοσχέδιο Κόπλερ διασύνδεσης της διάταξης.	19

Εικόνα 20. Υλοποίηση Καρτεσιανού συστήματος X-Y.	19
Εικόνα 21. Σερβοκινητήρας Fuji Electric της διάταξης.	20
Εικόνα 22. Αρχές λειτουργίας των αισθητήρων αποκωδικοποίησης θέσης.	21
Εικόνα 23. Χαρακτηριστικά τμήματα τοποθέτησης διακοπών ορίων και αρχικοποίησης.	22
Εικόνα 24. Προσαρμοστικοί διακόπτες ορίων της Omron.	22
Εικόνα 25. Προσθήκη πλαισίου υποστήριξης πυροδότησης συμβάντων διακοπών και τοποθετημένοι διακόπτες XHome και XLim+.	23
Εικόνα 26. Επαφές τερματικού διακόπτη Omron.	23
Εικόνα 27. Παρουσίαση των τελικών θέσεων των τερματικών διακοπών θέσεων «μηδέν» και τερματικών ορίων των αξόνων X,Y.	23
Εικόνα 28. Οθόνη ενδείξεων διάταξης ενίσχυσης.	28
Εικόνα 29. Η αναπτυξιακή PCI έκδοση της κάρτας Pmac στο κουτί της.	30
Εικόνα 30. Δυνατότητες διασύνδεσης Κινητήρων, αξόνων και συστημάτων συντεταγμένων.	50
Εικόνα 31. Δυνατότητα επιλογής γραμμικού ή περιστροφικού συστήματος αναφορών.	51
Εικόνα 32. Εμφάνιση και τοποθέτηση των e-point jumpers.	64
Εικόνα 33. Σημεία διασύνδεσης στην κάρτα υλικού της Pmac.	64
Εικόνα 34. Σήματα εισόδου-εξόδου ομαδοποιημένα σε κατηγορίες.	68
Εικόνα 35. Αυτοσχέδια κατασκευή συνδέσμου μεταξύ Pmac και CUIF.	69
Εικόνα 36. Ενδείξεις κατάστασης και IDC θύρα διασύνδεσης με την Pmac.	69
Εικόνα 37. Θέσεις τοποθέτησης των διακοπών Home, Lim+ και Lim-.	73
Εικόνα 38. Διασύνδεση CUIF με τροφοδοτικό LPQ154.	74
Εικόνα 39. Διακόπτης εκτάκτου ανάγκης τύπου Mushroom.	75
Εικόνα 40. Δομή του οδηγού Pcomm 32.	76
Εικόνα 41. Διαχειριστής Συσκευών Λειτουργικού.	77

Εικόνα 42. Γραφικό παράθεσης των διαθέσιμων αναγνωρισμένων ελεγκτών παρεχόμενο από τη βιβλιοθήκη Οδηγό εγκατεστημένη στο λειτουργικό σύστημα του ξενιστή.....	79
Εικόνα 43. Τερματικό επικοινωνίας της Pwin32 pro με την Pmac.	82
Εικόνα 44. Πληκτρολόγηση εντολής [CTRL+G] στο τερματικό χρήστη.....	82
Εικόνα 45. Εφαρμογή τροποποίησης των μεταβλητών I μέσω της σουίτας Pwin32Pro.	83
Εικόνα 46. Επιλογή τύπου του οδηγούμενου κινητήρα.....	84
Εικόνα 47. Επιλογή της αναλογικής εξόδου με βάση την οποία θα προσπελαύνεται ο σχετικός κινητήρας.	84
Εικόνα 48. Επιλογή του τύπου του αποκωδικοποιητή ανάδρασης θέσης.	85
Εικόνα 49. Επιλογή της διαφορικής εισόδου του αποκωδικοποιητή θέσης.	85
Εικόνα 50. Επιλογή του τύπου του αποκωδικοποιητή ανάδρασης ταχύτητας.....	86
Εικόνα 51. Επιλογή της διαφορικής εισόδου του αποκωδικοποιητή ταχύτητας.	86
Εικόνα 52. Ρύθμιση των σημάτων κατάστασης εισόδου (σφάλματος και διακοπών ορίων)	87
Εικόνα 53. Επιλογή του τύπου διακοπής στην οποία θα ολοκληρώνεται η διαδικασία αρχικοποίησης του κινητήρα.	87
Εικόνα 54. Διαδικασία παραμετροποίησης της απόκρισης της αναλογικής εξόδου του κινητήρα	88
Εικόνα 55. Αυτόματη διαδικασία εκτέλεσης εντολών σκαλοπατιού (Step move) για την ρύθμιση της εξόδου DAC+/-	89
Εικόνα 56. Επιβεβαίωση της μεταφόρτωσης της σχετικής I-μεταβλητής.	89
Εικόνα 57. Πραγματοποίηση κίνησης ανοικτής ανάδρασης	90
Εικόνα 58. Δυνατότητα επιλογής παραμέτρων εντολής ανοικτού κύκλου ανάδρασης.	90
Εικόνα 59. Ρύθμιση κερδών κλειστού κύκλου ανάδρασης θέσης.	91
Εικόνα 60. Δεδομένου των επιλεγμένων κερδών πραγματοποιούνται εντολές βηματικής και παραβολικής κίνησης.	91
Εικόνα 61. Γραφήματα κινήσεων ανοικτής ανάδρασης βήματος και κλειστής ανάδρασης παραβολική / βηματική αντίστοιχα.	92
Εικόνα 62. Γραφικό εκτέλεσης εντολών Jog και Home για κάθε κινητήρα ξεχωριστά.	95

Εικόνα 63. Γραφικό περιβάλλον ενδείξεων θέσης των αξόνων των κινητήρων σε παλμούς (Counts)..	96
Εικόνα 64. Το γραφικό περιβάλλον (Preview tab page) της αυτοσχέδιας εφαρμογής axis2D.....	99
Εικόνα 65. Μήνυμα εμφάνισης προτροπής λόγω λειτουργίας προστασίας εκτέλεσης αλυσίδας.	101
Εικόνα 66. Επιλογή σύνδεσης με διαθέσιμους ελεγκτές.....	102
Εικόνα 67. Το Terminal tab page της εφαρμογής axis2D.....	102
Εικόνα 68. Γράφημα αναπαράστασης Θέσης/Ταχύτητας Σταθερού χρόνου κλείστρου.	106
Εικόνα 69. Περιοχή ενδείξεων πριν και μετά την επικοινωνία με την Pmac.	107
Εικόνα 70. Τα διαφορετικά στιγμιότυπα των καταστάσεων λειτουργίας εκτέλεσης.	107
Εικόνα 71. Επεξεργαστής κώδικα θέσης μνήμης (code File: 1).....	108
Εικόνα 72. Εμφάνιση σφάλματος οδηγού PtalkDT.	109
Εικόνα 73. Πρόγραμμα καταγραφής δεδομένων ανάδρασης στην Pmac.....	111
Εικόνα 74. Γραφήματα αναπαράστασης των αναδράσεων ως προς το χρόνο και τη συχνότητα.	111
Εικόνα 75. Δοκίμιο επεξεργασίας τεχνικής «Hatch».....	113
Εικόνα 76. Δοκίμιο επεξεργασίας τεχνικής «Contour».....	113
Εικόνα 77. Διαδικασία εκτέλεσης τεχνικής «Hatch» και καταγραφή αποκρίσεων.	114
Εικόνα 78. Διαδικασία εκτέλεσης τεχνικής «Contour» και καταγραφή αποκρίσεων.....	114

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Κώδικες εκτέλεσης M	12
Πίνακας 2. Κώδικες εκτέλεσης G.	12
Πίνακας 3. Πίνακας διασυνδέσεων θύρας CN1.	27
Πίνακας 4. Τομείς της βιομηχανίας που γίνεται χρήση των ελεγκτών Pmac.....	31
Πίνακας 5. Επιπλέον επιλογές τεχνικών χαρακτηριστικών στις βασικές εκδόσεις των Pmac.....	32
Πίνακας 6. Περιφερειακά εξαρτήματα Pmac ανά κατηγορία εφαρμογής.	33
Πίνακας 7. Πίνακας περιγραφής διαδιεργασιακών προτεραιοτήτων εκτέλεσης στην Pmac.	35
Πίνακας 8. Οι τέσσερις βασικές κατηγορίες μεταβλητών στην Pmac.....	36
Πίνακας 9. Ομάδες οργάνωσης των «I-μεταβλητών».....	37
Πίνακας 10. Εμφάνιση υποδιαιρέσεων περιοχών μνήμης «Q» μεταβλητών.....	40
Πίνακας 11. Αναφορά συσχετίσεων αξονικών καρτεσιανών συστημάτων και μεταβλητών Q.....	41
Πίνακας 12. Προθέματα αριθμοί για επιλογή κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων (C.S.).....	41
Πίνακας 13. Βασικές εντολές Jog για την κίνηση των κινητήρων της διάταξης.....	44
Πίνακας 14. Εντολές Jog ανάθεσης εξωτερικής μεταβλητής M.	46
Πίνακας 15. Περιγραφή I-μεταβλητών καθορισμού συμπεριφοράς εντολών Homing.....	48
Πίνακας 16. Απαραίτητες αλλαγές σε E-point για την χρήση σειριακού διαύλου επικοινωνίας.	66
Πίνακας 17. Συνδέσεις αποκωδικοποιητή ανάδρασης CUIF-Motor Amplifier.....	70
Πίνακας 18. Συνδέσεις σήματος Analog output CUIF-Motor Amplifier.	71
Πίνακας 19. Συνδέσεις σήματος Enable output CUIF-Motor Amplifier.....	72
Πίνακας 20. Συνδέσεις σήματος Fault Input CUIF-Motor Amplifier.....	72
Πίνακας 21. Συνδέσεις σημάτων (Home, Lim+/Lim-) CUIF-Motor Amplifier.....	74

Πίνακας 22. Συγκεντρωτικός πίνακας των ρυθμίσεων των μεταβλητών I.....	94
Πίνακας 23. Ενδεικτικές τιμές ρύθμισης παραμέτρων διατάξεων ενίσχυσης.	95
Πίνακας 24. Εντολές εκκίνησης συνεδρίας εγγραφής δεδομένων ανάδρασης.	110

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Αναπαράσταση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας Rapid Prototyping.	2
Σχήμα 2. Αναπαράσταση λειτουργίας μηχανών αυτομάτου ελέγχου.	7
Σχήμα 3. Διαφορές μεταξύ ακρίβειας και επαναληψιμότητας μιας CNC μηχανής.	9
Σχήμα 4. Σύστημα συντεταγμένων κέντρου κατεργασιών, με R(αναφορά μηχανής), P(αναφορά προγράμματος), και W(αναφορά τεμαχίου).	11
Σχήμα 5. Αρχή λειτουργίας και διασύνδεσης των τμημάτων μιας διάταξης.	25
Σχήμα 6. Θύρες διασύνδεσης του ενισχυτή Faldic W Servo.	26
Σχήμα 7. Διασύνδεση με το δίκτυο τάσης μονής φάσης.	26
Σχήμα 8. Θύρες σύνδεσης του ενισχυτή Faldic W Servo.	27
Σχήμα 9. Αναπαράσταση των επιλογών του βασικού μενού της οθόνης ενδείξεων.	28
Σχήμα 10. Κατανομή εφαρμογών της Pmac σε τομείς της Βιομηχανίας.	31
Σχήμα 11. Τοπολογία καταμερισμού της εσωτερικής μνήμης στην Pmac.	36
Σχήμα 12. Εμφάνιση τροχιάς ταχύτητα της κίνησης Jog.	45
Σχήμα 13. Αναπαράσταση τροχιάς ταχύτητας εντολής "Home".	48
Σχήμα 14. Απόκριση καρτεσιανών κινήσεων (χωρίς και με) εκτέλεση γραμμικής συμπλεξής.	56
Σχήμα 15. Προβολή των Περιοχών ρύθμισης των μεταβλητών TA, TS και TM.	57
Σχήμα 16. Παρουσίαση ειδικών περιπτώσεων του πίνακα διανύσματος κατάστασης.	58
Σχήμα 17. Παραδείγματα κινήσεων κυκλικής παρεμβολής.	59
Σχήμα 18. Αποκρίσεις Κυβικής παρεμβολής τύπου Spline1.	61
Σχήμα 19. Διάταξη αυτοσχέδιου καλωδίου σειριακής διασύνδεσης Pmac/PC.	66
Σχήμα 20. Σχηματικό σύνδεσης σημάτων αποκωδικοποιητών ανάδρασης με την Pmac.	70

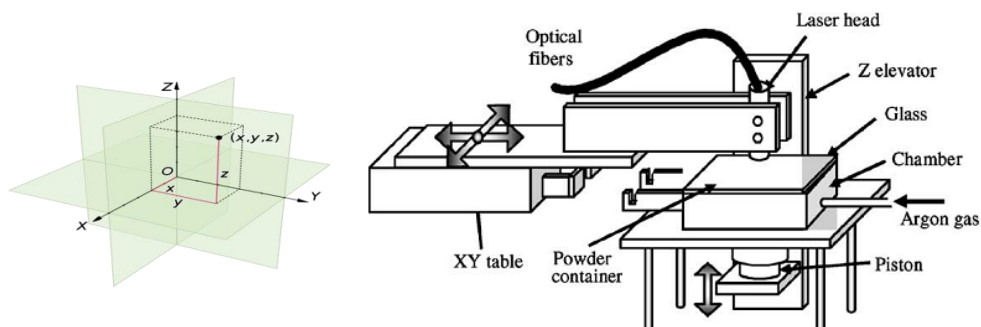
Σχήμα 21. Σχηματικό σύνδεσης σημάτων Analog με την είσοδο οδήγησης κινητήρα.....	71
Σχήμα 22. Σήμα Enable κινητήρων/ενισχυτών τύπου PNP (current source or active High).....	71
Σχήμα 23. Σήμα Enable κινητήρων/ενισχυτών τύπου NPN (current sink or active Low).	71
Σχήμα 24. Σήμα Fault τύπου PNP (current source or active High).	72
Σχήμα 25. Σήμα Fault τύπου NPN (current sink or active Low).....	72
Σχήμα 26. Σήματα θέσεων (Home, Lim+, Lim-) τύπου PNP (current source or active High) και NPN (current sink or active Low).	73
Σχήμα 27. Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης X-Y.	115
Σχήμα 28. Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης – ταχύτητας στους άξονες κίνησης X-Y συναρτήσει του χρόνου.....	115
Σχήμα 29. Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης X-Y.....	116
Σχήμα 30. Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης – ταχύτητας στους άξονες κίνησης X-Y συναρτήσει του χρόνου.....	116

ΚΕΦ. 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα διατριβή αποτελεί συνεισφορά στην κατασκευή μίας βασικής CNC μηχανής επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης πούδρας [Kilio5] με τη βοήθεια δέσμης Laser [Savao5], και θα κινείται κατά μήκος τριών γραμμικών αξόνων ως προς το επίπεδο σάρωσης του υλικού κατεργασίας (Εικόνα).

Στην παρούσα μελέτη θα υλοποιηθεί η κίνηση μόνο στους δύο άξονες κίνησης, δηλαδή στο καρτεσιανό επίπεδο «XY», ενώ στο πειραματικό σύστημα που μελετάμε ο κατακόρυφος άξονας «Z» είναι θεωρητικά υπαρκτός, αλλά μη υλοποιήσιμος λόγω έλλειψης του αντίστοιχου φυσικού εξοπλισμού (βλ. Εικόνα). Συνεπώς, ο έλεγχος της κεφαλής laser θα περιορίζεται μόνο στην παρακολούθηση της επιθυμητής τροχιάς στο επίπεδο [Leeo7] καθώς και στον καθορισμό της κατάστασης λειτουργίας (ενεργή - ανενεργή).



Εικόνα . Καρτεσιανό Σύστημα Αναφορών σε μία CNC SLS - SLM μηχανή.

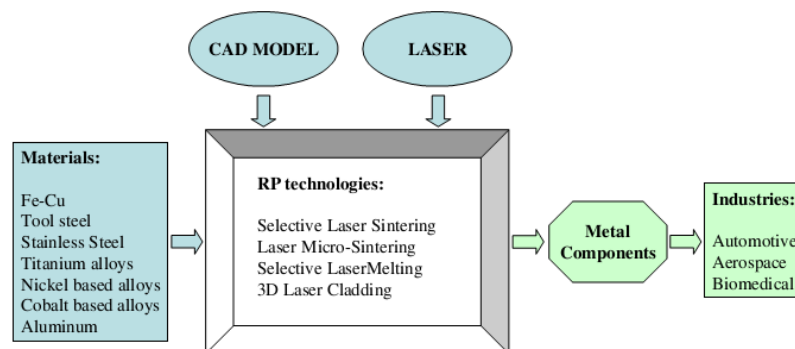
1.2 SLS - SLM ΜΗΧΑΝΕΣ

Παρά το γεγονός ότι η ταχεία πρωτοτυποποίηση και η ταχεία κατασκευή [**Rapid Prototyping**], [**Rapid Manufacturing**] είναι δύο τεχνολογίες που εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990, υπάρχουν πολλές διαφορετικές ανεπτυγμένες μέθοδοι-παραλλαγές των τεχνικών αυτών [Cer11]. Οι περισσότερο δημοφιλείς είναι μέθοδοι μοντελοποίησης εναπόθεσης τήγματος (**FDM**), στερεολιθογραφίας (**SL**), επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ (**SLS**), επιλεκτικής τήξης με λέιζερ (**SLM**) [Kruo5] και τεχνολογίες ευρύτερης 3D εκτύπωσης [**3D Printing**] [Suho8], [Hao8]. Αν και οι αρχές λειτουργίας των παραπάνω διαφέρουν αρκετά, όλες οι μέθοδοι αποτελούν τεχνικές κατεργασίας τμηματικής προσθήκης υλικού σε στρώσεις (**Layer-wise material addition techniques**) [Choi09], [Hair07].

Η Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με χρήση λέιζερ (SLS) είναι μια κατεργασία πρόσθεσης υλικού που χρησιμοποιεί ένα λέιζερ υψηλής ισχύος, όπως για παράδειγμα ένα λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , για να λιώσει επιφανειακά μικρά σωματίδια επιλεγμένου υλικού, συσσωματώνοντας τα έτσι σε μία μάζα με το επιθυμητό τρισδιάστατο σχήμα [Shigo3].

Το λέιζερ σαρώνει επιλεκτικά τμήματα του κονιοποιημένου υλικού στην επιφάνεια μιας δεξαμενής πούδρας, ενώ η τροχιά που ακολουθείται περιγράφεται με βάση τρισδιάστατη ψηφιακή περιγραφή του τεμαχίου (αρχείο CAD). Το επιθυμητό αντικείμενο παράγεται από διαδοχικές επιστρώσεις υλικού επίπεδο προς επίπεδο, ενώ σε κάθε περίπτωση ακολουθείται μία προκαθορισμένη διαδρομή ανεξαρτήτως τεχνικής και ακολουθούμενης κατεργασίας [Chao5]. Μέθοδοι, υλικά, ή βήματα παραγωγής μπορεί να ποικίλουν, ωστόσο τα πρώτα βήματα είναι σχεδόν ίδια για κάθε διαδικασία «RM» [Jacog3].

Τελικά προϊόντα μπορούν να παραχθούν από ένα ευρύ φάσμα εμπορικά διαθέσιμων κονιοποιημένων υλικών, ενώ η λίστα περιλαμβάνονται πολυμερή, όπως νάιλον (100% καθαρό ή ενισχυμένο με κεραμικά και άλλα κράματα), πολυστυρένιο, μέταλλα (direct metal laser sintering), συμπεριλαμβανομένου χάλυβα, τιτανίου και ακόμη μίγματα με κεραμική ύλη, άμμο θαλάσσης και κόνη υάλου [Sun02], [Sun05], [Lee03], [Kango4].



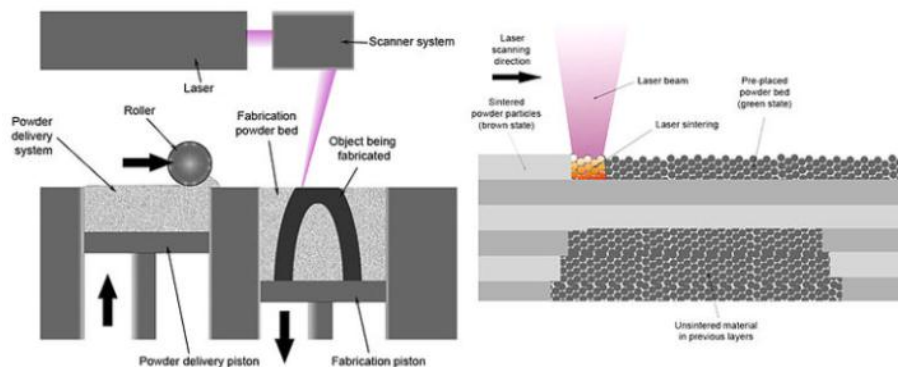
Σχήμα . Αναπαράσταση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας Rapid Prototyping.

Το 3D μοντέλο του προς κατασκευή τεμαχίου, αρχικά δημιουργείται με τη χρήση κάποιου προγράμματος CAD (Computer-Aided Design), ενώ στη συνέχεια τεμαχίζεται κατάλληλα σε μία σειρά από οριζόντια χωρο-μερίδια. Δεδομένου ότι το πάχος των στρωμάτων αυτών είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το ύψος του μοντέλου, μπορεί να διατυπωθεί ότι ένα σύνθετο τρισδιάστατο «3D» μοντέλο, μπορεί να διαιρεθεί σε μια σειρά από απλούστερα δισδιάστατα «2D» [Plus99], [Cer11].

Αποτελέσματα σε πειράματα σχετικά με την πυροσυσσωμάτωση πούδρας μετάλλων έχουν δείξει ότι το παράθυρο επεξεργασίας σε πηγές τύπου Laser CO_2 είναι αρκετά πιο μεγάλο σε σχέση με αντίστοιχες πηγές τύπου Nd:YAG, ωστόσο σε αμφότερα τα συστήματα πηγών laser, τα παράθυρα επεξεργασίας επηρεάζονται καταλυτικά από το μέγεθος και τον τύπο των σωματιδίων του υλικού επεξεργασίας [Kruto1]. Τέλος, η πυκνότητα του τελικού εξαγόμενου τεμαχίου, εξαρτάται περισσότερο από την ισχύ αιχμής της ενέργειας κατεργασίας, και λιγότερο από τη διάρκεια εκπομπής της.

Η φυσική διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές πλήρους τήξης, μερικής τήξης, ή ακόμη και υγρής φάσης πυροσυσσωμάτωσης. Ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται μπορούν να επιτευχθούν πυκνότητες κατασκευής έως 100%, με ιδιότητες ανάλογες με αυτές που προκύπτουν από συμβατικές μεθόδους κατεργασίας [Cart93]. Σε αντίθεση με τεχνικές αφαίρεσης υλικού, σχήματα αυξημένης πολυπλοκότητας μπορούν να κατασκευαστούν χωρίς πολύπλοκες μετακινήσεις του κοπτικού εργαλείου, ενώ επιπρόσθετα η μη πυροσυσσωματωμένη πρώτη ύλη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς [Grigg94].

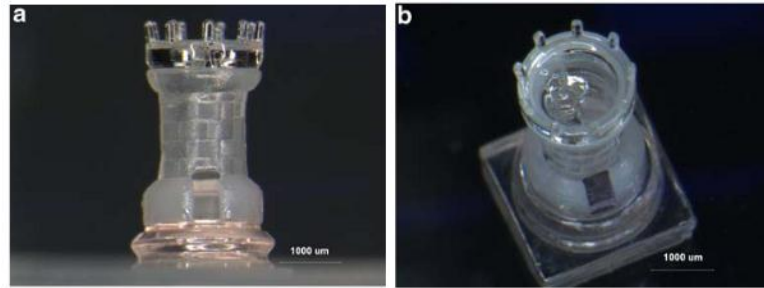
Η διαδικασία SLS με χρήση πούδρας μετάλλου έχει ως εξής. Η μηχανή προθερμαίνει το χρησιμοποιούμενο υλικό σταθερά λίγο χαμηλότερα από το σημείο τήξης του, ενώ στη συνέχεια η πηγή λέιζερ αναλαμβάνει ν' αυξήσει τη θερμοκρασία συγκεκριμένων περιοχών της επιφάνειας του μέχρι το σημείο τήξεως ή και πέρα από αυτό. Μετά από κάθε κύκλο σάρωσης της δέσμης laser στο ίδιο επίπεδο, η δεξαμενή που συγκρατεί την πούδρα χαμηλώνει κατά ένα επίπεδο πάχους ίσου με το πάχος της στρώσης του κονιοποιημένου υλικού (ισοδύναμο με το πάχος της οριζόντιας στρώσης του μοντέλου), και μια νέα στρώση υλικού εφαρμόζεται στο άνω μέρος της δεξαμενής [Wakio2]. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το τεμάχιο ολοκληρωθεί (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Αναπαράσταση της τεχνικής της πυροσυσσωμάτωσης SLS-SLM.

Μερικές SLS μηχανές χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη κονιοροποιημένο υλικό ενός μόνο συστατικού (όπως σε εφαρμογές άμεσης πυροσυσσωμάτωσης μετάλλου με χρήση δέσμης λέιζερ), ωστόσο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται πούδρες δύο συστατικών. Αποτελούνται από επικαλυμμένους κόκκους ενός υλικού από δεύτερο, ή από ετερογενή μίξη διαφορετικών υλικών. Στις περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση πούδρας ενός συστατικού, η δέσμη λέιζερ επηρεάζει οριακά την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων (surface melting), συσσωματώνοντας πυρήνες μεταξύ τους με γειτονικούς στο ίδιο επίπεδο, αλλά και με πυρήνες κόκκων σε προηγούμενα στρώματα του υλικού [Choi09].

Σε εναλλακτική υλοποίηση, η μέθοδος υγρής πυροσυσσωμάτωσης επιτυγχάνεται με την διασταύρωση σε διάταξη στοιβάς λεπτών στρώσεων από στερεοποιημένο φωτοευαίσθητο υγρό. Η προσπίπτουσα ενέργεια προκαλεί τη συσσωμάτωση των μορίων του υγρού, ενώ η κατασκευή των υμενίων δόμησης περιορίζεται σε μεγέθη της τάξης των μερικών μικρομέτρων έως δεκάδων μικρομέτρων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συστηματικά με αποτέλεσμα την κατασκευή κατάλληλων 3D μικροδομών (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Μικροδομές κατεργασίας με τεχνική μSL.

Οι περισσότερες από αυτές τις μηχανές περιορίζονται σε χρήση μόνο ενός υγρού ως πρώτης ύλης, ωστόσο τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα διάφορα υλικά, κάνουν τους ερευνητές να στρέφονται μελλοντικά στη χρήση πολλαπλών υλικών κατά τη διαδικασία κατασκευής. Για παράδειγμα στη μηχανική ιστών, πολυμερείς τρισδιάστατες δομές κριωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση αγωγών νεύρων, ενώ συνδυάζοντας διαφορετικά υλικά σε μία ενιαία δομή, μπορούμε να επιτύχουμε μηχανικές, ηλεκτρικές, χημικές ή και βιολογικές ιδιότητες καταναμημένες με επιθυμητό τρόπο [Berto4]. Η ικανότητα αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα την εδραίωση νέων εφαρμογών, οι οποίες διαφορετικά δεν θα ήταν δυνατές με χρήση των ήδη υπάρχοντων ομογενών υλικών.

1.3 ΑΡΧΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Με τη συγγραφή κώδικα αριθμητικού ελέγχου, ο χειριστής καθοδηγεί την μηχανή εξασφαλίζοντας μέγιστη ακρίβεια και επαναληψιμότητα, με τρόπο αυτόματο, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης σφάλματος κατά την διεκπεραίωση της κατεργασίας.

Το ενδιάμεσο επικοινωνίας του χειριστή με τη μηχανή αποτελεί μία μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής [Machine-Control-Unit], η οποία συνήθως βρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και επιβλέπει τις λειτουργίες της. Οι εργαλειομηχανές που οδηγούνται με τον τρόπο αυτό λέγονται **ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές** [Numerical-Control]. Σε περιπτώσεις όπου ανάμεσα στο χειριστή και τη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής παρεμβάλλεται κάποιο σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, τότε το σύστημα καλείται σαν **ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή** [Computer-Numerical-Control]. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία της εργαλειομηχανής αυτοματοποιείται ακόμη περισσότερο, ενώ ο έλεγχος της μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και από απόσταση [Distributed-Numerical-Control], [Suho8].

Παρατηρώντας περιπτώσεις σφαλμάτων όπως εκτέλεση προγράμματος με εσφαλμένες τιμές πρόωσης, οι κατασκευαστές CNC εργαλειομηχανών επιδίωξαν να παράσχουν ένα επιπλέον επίπεδο ελέγχου. Έτσι έκαναν την εμφάνιση τους οι σχετικά «σκεπτόμενες» CNC μηχανές, που ανάλογα με την εξέλιξη της κατεργασίας αναλαμβάνουν να πάρουν αποφάσεις και να επέμβουν στο πρόγραμμα εκτέλεσης [Esseo4]. Είναι εφοδιασμένες με κατάλληλες μετρητικές διατάξεις ώστε να μετρούν τη φθορά των κοπτικών εργαλείων, ενώ μπορούν να προβλέπουν την διάρκεια ζωής τους ανάλογα με τις συνθήκες αλλά και το υλικό κατεργασίας. Σε περιπτώσεις όπου η απόδοση του κοπτικού

εργαλείου έχει σημαντική απόκλιση από την αναμενόμενη, κι επιπλέον δεν δύναται ν' αντισταθμιστεί από παραμετροποίηση του λογισμικού, η αλλαγή κοπτικού πραγματοποιείται αυτόματα και η κατεργασία συνεχίζει κανονικά.

Ο αριθμητικός έλεγχος υποστηριζόμενος μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή «CNC», αποτελεί μια εξειδικευμένη μορφή αυτομάτου ελέγχου και βρίσκει εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών, αν και αρχικά αποσκοπούσε αποκλειστικά στον έλεγχο της συμβατικής κίνησης των συστημάτων των εργαλειομηχανών. Ο ακριβής ορισμός μιας αυτόματης διαδικασίας, που έχει προτείνει η EIA [Electronic-Industry-Association], παρατίθεται ακολούθως:

«Ένα σύστημα καλείται αυτόματο όταν η διακύμανση της απόκριση της εξόδου του, ελέγχεται άμεσα από την τροφοδότηση και συνυπολογισμό της κατάστασης του αυτής, στο το στάδιο της εφαρμογής του επιθυμητού σήματος εισόδου.» [Suh08]

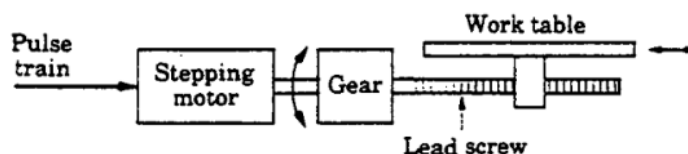
Με απλά λόγια, κάθε σύστημα αυτομάτου ελέγχου μπορούμε να πούμε ότι περιγράφεται από τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά:

- ❖ Επιτηρεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται.
- ❖ Είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση - αποκωδικοποίηση της σχετικής πληροφορίας.
- ❖ Αναλαμβάνει τη λήψη - εκτέλεση ανάλογων λογικών αποφάσεων.
- ❖ Είναι ικανό ν' αποθηκεύει ψηφιακή πληροφορία σε διαθέσιμο για το σκοπό αυτό μέσο.

Κάθε σύστημα που ενσωματώνει τα τέσσερα αυτά χαρακτηριστικά στον κύκλο λειτουργίας του χωρίς τη βοήθεια ανθρώπινου χειριστή, εξ ορισμού μπορεί να ελέγχει μία διεργασία αυτόματα.

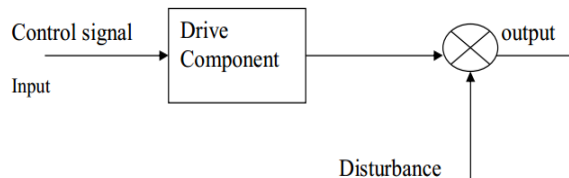
1.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου αποτελούν τις πιο απλές και λιγότερο πολύπλοκες εκδοχές συστημάτων ελέγχου, αφού στερούνται ανάδρασης. Σε συστήματα ανοικτού βρόγχου το σήμα στην είσοδο του συστήματος εμφανίζει μία δεδομένη απόκριση στην έξοδο του. Έτσι αν έχουμε ένα κινητήρα οδηγούμενο με ανοικτό βρόγχο ρεύματος, τότε για δεδομένη ένταση στην είσοδο ελέγχου θα εμφανίζεται ταχύτητα περιστροφής στον κινητήρα εξαρτώμενη από το φορτίο που αυτός θα επιδέχεται. Με δεδομένη σχέση φορτίου κινητήρα - ρεύματος εισόδου, η συμπεριφορά παραμένει ομαλή και παρέχεται ένας συμβατικός έλεγχος της απόκρισης της ταχύτητας. Ωστόσο σε περιπτώσεις που ενδέχεται το φορτίο ν' αλλάζει δυναμικά, ο έλεγχος της επιθυμητής ταχύτητας αποβαίνει αδύνατος.



Εικόνα . Σύστημα Κίνησης Τραπεζιού ανοικτού βρόγχου.

Προφανώς, συστήματα ανοικτού βρόγχου μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις στις οποίες δεν εμφανίζεται αλλαγή στις καταστάσεις του συστήματος. Τέτοιες αλλαγές στις καταστάσεις των συστημάτων αναφέρονται και ως ενοχλήσεις ή εξωτερικός θόρυβος [Jonegg]. Συστήματα ακριβείας ανοικτού βρόγχου σπάνια παρατηρούνται. Ωστόσο στις σπάνιες αυτές περιπτώσεις οι εξωτερικές ενοχλήσεις θα πρέπει να παραμένουν μηδενικές. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό σύστημα αναπαρίσταται στην (Εικόνα).

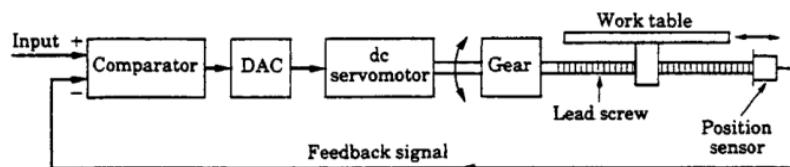


Εικόνα . Σύστημα Ανοικτού Βρόγχου Ανάδρασης.

1.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου αποτελούν πιο εξελιγμένες μορφές αυτομάτου ελέγχου, αφού είναι σε θέση ν' αντιλαμβάνονται τις συνθήκες που επικρατούν στο άμεσο περιβάλλον τους και ν' ανταποκρίνονται κατάλληλα. Συστήνονται για λειτουργία σ' εφαρμογές όπου παρατηρείται δύναμη αντίστασης στην κίνηση ή σε εφαρμογές όπου απαιτείται συνεχής επιτήρηση των αποδιδόμενων συνθηκών επεξεργασίας.

Η ανάδραση θέσης είναι τοποθετημένη απευθείας στα έδρανα της μηχανής, ώστε πραγματικά μεγέθη αποκλίσεων να μεταφέρονται αυτούσια στον ελεγκτή των κινητήρων (βλ. Εικόνα). Ο συνδυασμός ελέγχου των κινητήρων σε σχέση με την ακριβή ανάδραση θέσης, εξασφαλίζουν μια σαφή εικόνα ούτως ώστε η διάταξη να οδηγείται κατάλληλα σε δεδομένη θέση και στιγμή.



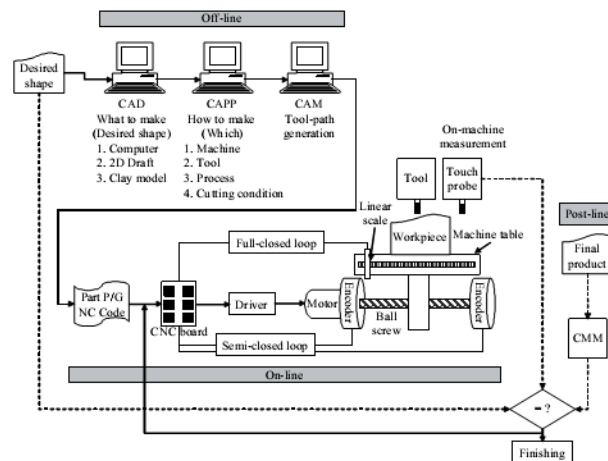
Εικόνα . Σύστημα κίνησης κλειστού βρόγχου.

Η διαφορά ανάμεσα στην επιθυμητή και την πραγματική θέση της διάταξης [Rameoo], [Nordoz], προτρέπει τον ελεγκτή να περιστρέφει τους κινητήρες κατάλληλα με δεδομένη ταχύτητα - επιτάχυνση, ώστε να ελαττώσει το σφάλμα απόκλισης έως ότου αυτό μηδενιστεί. Η απόκλιση ή η αποτυχία μηδενισμού του υπό τις πραγματικές τιμές θέσης (και όχι απόλυτα αυτές που προσμετρά ο δεδομένος αισθητήρας), αναφέρεται ως σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Η ρύθμιση του κέρδους απόκρισης είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες ελέγχου. Στη γενική περίπτωση όσο το κέρδος ελέγχου του κινητήρα K_r αυξάνεται, τόσο αυξάνονται η ταχύτητα αντίδρασης και η δυναμική ακρίβεια του συστήματος. Παρατηρείται ότι μεγάλη ρύθμιση στα κέρδη οδηγεί το σύστημα ελέγχου σε αστάθεια, ενώ σαν αστάθεια ορίζεται η αδυναμία ακινητοποίησης του συστήματος στην δεδομένη επιθυμητή θέση, λόγω των φαινομένων υπέρβασης κι επιστροφής (Overshooting/Return). Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η επιβολή υψηλής συχνότητας χρονισμού ελέγχου, ενώ κρίσιμη θεωρείται και η στιβαρότητα των εδράνων ως προς τις επιδιδόμενες τριβές και δεδομένα ακαμψίας.

1.3.3 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΣΗΣ

Οι εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου διαφέρουν από τις συμβατικές όχι μόνο λόγω της μονάδας ελέγχου, αλλά και γιατί περιλαμβάνουν μετρητικά συστήματα, αισθητήρες, κινητήρες και μηχανισμούς που είναι σε θέση να συνεργαστούν με τη μονάδα ελέγχου σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του επόμενου σχήματος (Σχήμα).

Τα μετρητικά συστήματα των εργαλειομηχανών ανήκουν στη γενικότερη οικογένεια των αισθητήρων, ενώ ονομάζονται αποκωδικοποιητές θέσης ή ταχύτητας, ανάλογα με το μέγεθος που προσμετρούν [Brow92]. Στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούν τις αρχές της οπτικής, του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού, ενώ διακινούν την πληροφορία με τη βοήθεια ψηφιακών ηλεκτρικών σημάτων. Μετρούν ανάλογα με τον άξονα κατεργασίας μήκη ή γωνίες, ενώ προσδιορίζουν την τρέχουσα θέση των στοιχείων των εργαλειομηχανών με ελάχιστη ακρίβεια μέτρησης 100 μm για αξονικούς αισθητήρες και 0.001° για αντίστοιχους περιστροφικούς.



Σχήμα . Αναπαράσταση λειτουργίας μηχανών αυτομάτου ελέγχου.

Τα μετρητικά συστήματα χωρίζονται σε άμεσα και έμμεσα, απόλυτα και βηματικά. Τα άμεσα συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής, βασίζονται σε επαγωγικές ή φωτοηλεκτρικές διατάξεις, ενώ έχουν το πλεονέκτημα της απευθείας μετατροπής της κίνησης σε ψηφιακό σήμα, που αντιστοιχεί σε κάποιο δεδομένο φυσικό μέγεθος. Αντίθετα, τα έμμεσα έχουν μικρότερη εγγενή ακρίβεια αλλά είναι φθηνότερα.

Η μετατόπιση ή η περιστροφή μετράται με δύο δυνατούς τρόπους.

Στα συστήματα που ενσωματώνουν απόλυτη ανάδραση θέσης δεν παρουσιάζεται ανάγκη για λειτουργία αρχικοποίησης κατά την έναρξη της μηχανής. Έτσι, αποτελούν μία πολύ ελκυστική υλοποίηση, μιας και σε οποιαδήποτε συνθήκη σφάλματος ή τερματισμού δεν χρειάζεται επαναμηδενισμός. Ωστόσο τα απόλυτα συστήματα μέτρησης παρουσιάζουν μεγάλο όγκο, η λειτουργία τους είναι πολύπλοκη και ευαίσθητη σε εξωτερικούς παράγοντες, καθώς επίσης έχουν αρκετά αυξημένο κόστος.

Κατά τον βηματικό τρόπο, μετράται η μετατόπιση ή η περιστροφή κάθε άξονα σε σχέση με την αρχή της κίνησης, βάσει της αρχής των βηματικών συντεταγμένων (Inc). Το μηδενικό σημείο κάθε άξονα ορίζεται μ' ένα ειδικό σημάδι πάνω σ' αυτόν, ούτως ώστε να μπορεί να το προσδιορίζει κατάλληλα ο μετρητής, ενώ σε περίπτωση διακοπής της κατεργασίας, η τρέχουσα θέση του άξονα χάνεται από τη μνήμη της μηχανής και απαιτείται επιστροφή στο μηδενικό σημείο αναφοράς. Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τρόπο μέτρησης, αφού προσδίδει αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια με το μικρότερο δυνατό κόστος, ωστόσο στην βιομηχανία των εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται και άλλα συστήματα που συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω μεθόδων, τα επονομαζόμενα και υβριδικά ή ψευδοαπόλυτα συστήματα.

1.3.4 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα χαρακτηριστικά που ορίζουν την ικανότητα μιας μηχανής ν' ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις μιας κατεργασίας είναι:

- Η Ανάλυση (BLU)
- Η Ακρίβεια, και
- Η Επαναληψιμότητα

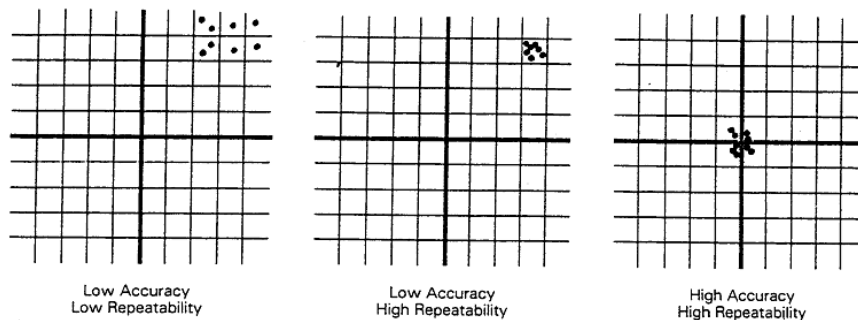
Σαν ανάλυση ελέγχου «Control resolution» (BLU) ορίζεται η απόσταση που χωρίζει δύο γειτονικά σημεία στην κίνηση ενός άξονα, και αποτελεί τη μικρότερη δυνατή μετακίνηση θέσης σ' αυτόν. Το βήμα προώσεως, η σχέση μετάδοσης της κίνησης, η γωνία βήματος σε κινητήρες ανοικτής ανάδρασης και η απόσταση μεταξύ των σχισμών στους κωδικοποιητές θέσης σε κινητήρες κλειστού βρόγχου ανάδρασης, είναι μεγέθη που επηρεάζουν απόλυτα την μέγιστη επιτεύξιμη ανάλυση συστήματος [Bunto4].

Δεν δύναται να επιτευχθούν κινήσεις μικρότερες από το βήμα ίσο με την ανάλυση ελέγχου, ενώ η προγραμματιζόμενη θέση μετάβασης σ' ένα πρόγραμμα δεν μπορεί να υπερβεί σε ανάλυση, την ανάλυση ελέγχου (BLU).

Η ακρίβεια του συστήματος CNC εξαρτάται από την ανάλυση ελέγχου, τους αλγορίθμους ελέγχου του υπολογιστικού συστήματος, και την ανακρίβεια της εκάστοτε μηχανής. Η ανακρίβεια λόγω ανάλυσης προσδιορίζεται κατά μέσο όρο στο $\frac{1}{2}$ του BLU, ενώ η ανακρίβεια του αλγορίθμου ελέγχου θεωρείται ασήμαντη, καθώς εμφανίζεται λόγω των στρογγυλοποιήσεων κατά την διεξαγωγή αριθμητικών πράξεων στον επεξεργαστή του υπολογιστικού συστήματος. Η ανακρίβειες σε μια μηχανή μπορεί να εμφανίζονται για μια σειρά από λόγους, έτσι ο σχεδιαστής της μηχανής προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την ανακρίβεια της κάτω από το όριο των $\frac{1}{2}$ BLU.

Η επαναληψιμότητα αποτελεί ένα στατιστικό όρος που σχετίζεται με την ποιότητα και την ακρίβεια της κίνησης. Αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος τοποθέτησης της κεφαλής μιας μηχανής να επανέρχεται σε προγραμματισμένη θέση, ενώ η απόκλιση από το σημείο ελέγχου (σφάλμα) αποτελεί μία κανονική κατανομή. Η επαναληψιμότητα μετράται με +/- 3σ όπου «σ», είναι η τυπική απόκλιση, ενώ σχεδόν πάντα η επαναληψιμότητα είναι καλύτερη από την ακρίβεια της

μηχανής. Η μηχανική ανακρίβεια μπορεί να θεωρηθεί ως δεδομένο επαναληψιμότητας, ενώ στο επόμενο σχήμα διακρίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω χαρακτηριστικών.

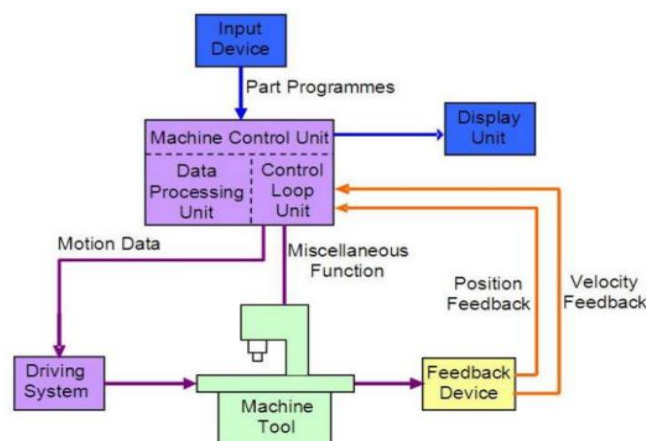


Σχήμα . Διαφορές μεταξύ ακρίβειας και επαναληψιμότητας μιας CNC μηχανής.

1.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ CNC ΜΗΧΑΝΩΝ

Κάθε CNC σύστημα απαρτίζεται από τα εξής έξι σημαντικότερα μέρη:

- Διαχείριση σημάτων εισόδου και προγράμματα εκτέλεσης
- Συσκευή αυτομάτου ελέγχου μηχανής
- Κινηματικό μηχανισμό πρόωσης
- Κινητήρες
- Ανάδραση Κατάστασης
- Διεπαφή Διαχείρισης



Εικόνα . Αρχές Λειτουργίας CNC μηχανών.

Οι δυνατότητες του λογισμικού ελέγχου συχνά επεκτείνονται στην αντιστάθμιση της αξονικής χάρης κοχλιών κίνησης, στην αντιστάθμιση σφαλμάτων θέσης των αξόνων, στην αντιστάθμιση θερμικών παραμορφώσεων της μηχανής κτλ. [Gleio7], [Verl10], [Frey10].

Η πληρότητα του λογισμικού ελέγχου φαίνεται με την υλοποίηση modules όπως:

- Διαγνωστικές και τηλε-διαγνωστικές εφαρμογές για τυχόν βλάβες της μηχανής
- Ενσωμάτωση λειτουργικότητας τρισδιάστατης σχεδίασης στερεού CAD
- Χρήση τρισδιάστατων γραφικών solid modeling για την προσομοίωση της κατεργασίας.
- Παραθυρικό περιβάλλον στη διεπαφή μηχανής-χρήστη.
- Δυνατότητα στατιστικής παρακολούθησης της κατεργασίας (SPC)
- Δυνατότητα σύνδεσης με εφαρμογές χρονικού προγραμματισμού των εργασιών της μηχανής ή απλά σύνδεσης με εξωτερικές βάσεις δεδομένων όπου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού.
- Προσαρμοστικός έλεγχος κατεργασιών.

Αναφορικά με τη σχεδιαζόμενη διάταξη, αυτή αποτελεί μια τυπική εφαρμογή SLS-SLM μηχανών σύμφωνα με τα εξής κριτήρια:

- Επιθυμητή ακρίβεια ανώτερη από 100μm .
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής κινητήρων μικρότερη από 20 rpm.
- Μέγιστη αξονική διαδρομή περί τα 300 mm
- Συνολική ισχύς διάταξης μικρότερη από 5 KWatt.

1.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ CNC ΜΗΧΑΝΩΝ

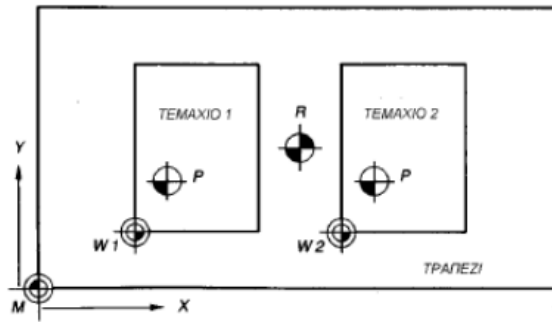
Ο προγραμματισμός αριθμητικού ελέγχου έχει σκοπό τη δημιουργία ενός προγράμματος τεμαχίου (part program) το οποίο, είτε εισάγεται στη μονάδα αριθμητικού ελέγχου με σειρά εντολών ISO (κοινά αποδεκτές από όλους τους κατασκευαστές μονάδων ελέγχου), είτε πλήρως αυτοματοποιημένα από λογισμικό CAM με χρήση λογισμικού προσαρμογής στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της μηχανής, που είναι γνωστό και ως «μετά-επεξεργαστής» (post-processor) [Pislo4].

1.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΗΣ

Πρόκειται για ένα ή περισσότερα συστήματα συντεταγμένων που ορίζονται στη μηχανή και δεν μπορούν να αλλάξουν μέσω προγράμματος. Συνήθως η αρχή των συντεταγμένων του συστήματος CNC βρίσκεται σε σημείο προσπελάσιμο, ενώ εάν το ένα σημείο δεν είναι φυσικά προσπελάσιμο, τότε στη θέση του χρησιμοποιείται κάποιο εναλλακτικό.

1.5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Πρόκειται για σύστημα συντεταγμένων στο οποίο αναφέρονται άμεσα όλες οι συντεταγμένες του προγράμματος CNC. Επιλέγεται ελεύθερα από τον προγραμματιστή με γνώμονα την διευκόλυνση των υπολογισμών προγραμματισμού. Επίσης μπορεί να μετασχηματισθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρόγραμμα για διαφορετικό προσανατολισμό του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή.



Σχήμα . Σύστημα συντεταγμένων κέντρου κατεργασιών, με R(αναφορά μηχανής), P(αναφορά προγράμματος), και W(αναφορά τεμαχίου).

1.5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΕΜΑΧΙΟΥ

Αυτό είναι παράλληλο με το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής και η αρχή του επιλέγεται ελεύθερα από τον προγραμματιστή. Είναι χρήσιμο όταν υφίστανται κατεργασία πολλά τεμάχια ταυτόχρονα στερεωμένα στο τραπέζι της ίδιας εργαλειομηχανής.

1.5.4 ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (INTERPOLATION)

Οι τύποι παρεμβολής που υπάρχουν ουσιαστικά καθορίζουν τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να κινηθεί το εργαλείο σε σχέση με το τεμάχιο. Οι συνηθέστεροι τύποι παρεμβολής είναι η γραμμική και η κυκλική. Στη γραμμική παρεμβολή αρκεί να δοθούν τα άκρα ευθύγραμμου τμήματος, ενώ στην κυκλική παρεμβολή αρκεί να δοθεί το κέντρο του τόξου ή η ακτίνα και τα δύο άκρα του τόξου. Η Γραμμική παρεμβολή εκτελείται στο χώρο, ενώ η κυκλική παρεμβολή εκτελείται σε επίπεδο συνήθως παράλληλο σε ένα από τα τρία καρτεσιανά επίπεδα. Λιγότερο συνηθισμένοι τύποι παρεμβολής είναι η ελικοειδής και η παρεμβολή splines [Cheno4], [Namo4], [Mao4].

1.5.5 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ G ΚΑΤΑ «DIN 66025 / ISO 6983»

Προγραμματιστικά όλα τα προγράμματα κατεργασίας σε μηχανές CNC, ανάγονται σε αλληλουχίες και συνδυασμούς τυποποιημένων εντολών, κίνησης και ενεργειών γνωστών σαν Κώδικας G [DIN 66025], [ISO 6983], [Chano4]. Η χρήση G-κώδικα προάγει τη συμβατότητα των προγραμμάτων από εργαλειομηχανή σε εργαλειομηχανή, ενώ οι κώδικες που παρουσιάζονται στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται στον προγραμματισμό μιας τυπικής φρέζας CNC με σύστημα ελέγχου της εταιρείας FANUC. Η κύρια ενέργεια ενός «μπλοκ» (δηλαδή μιας πλήρους γραμμής ενός G-κώδικα κατεργασίας) ορίζεται από τον κώδικα προετοιμασίας G, και η δευτερεύουσα ενέργεια (αν υπάρχει) από τον κώδικα βοηθητικών λειτουργιών M. Οι δύο αυτοί κώδικες ακολουθούνται πάντα από ένα διψήφιο ακέραιο αριθμό η τιμή του οποίου, καθορίζει για τον μεν κώδικα G μια ενέργεια κατεργασίας, για τον δε κώδικα M μια λειτουργία ελέγχου. Ο κώδικας G συνοδεύεται από μια σειρά δεδομένων που είναι απαραίτητα στην περιγραφή μιας ενέργειας (συντεταγμένες του σημείου προορισμού [X,Y,Z]), και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου (F). Για τον κώδικα M, ο διψήφιος αριθμός που ακολουθεί είναι αρκετός για τον ορισμό της λειτουργίας ελέγχου. Υπάρχουν

όμως και περιπτώσεις κατά τις οποίες ο κώδικας M πρέπει να συνοδεύεται από κάποιο συμπληρωματικό στοιχείο (όπως π.χ. η εντολή M03 S2000).

Κώδικας	Λειτουργία
M00	Προσωρινή διακοπή προγράμματος
M03	Ξεκίνημα περιστροφής ατράκτου CW
M04	Ξεκίνημα περιστροφής ατράκτου CCW
M05	Σταμάτημα περιστροφής ατράκτου
M06	Αλλαγή εργαλείου
M08	Ψύξη σε λειτουργία
M09	Ψύξη εκτός λειτουργίας
M30	Τέλος εκτέλεσης προγράμματος
M70	Κατοπτρικό είδωλο στον άξονα X
M71	Κατοπτρικό είδωλο στον άξονα Y
M80	Ακύρωση κατοπτρικού ειδώλου στον άξονα X
M81	Ακύρωση κατοπτρικού ειδώλου στον άξονα Y
M98	Κλήση υπορουτίνας
M99	Επιστροφή από υπορουτίνα

Πίνακας . Κώδικες εκτέλεσης M

Κώδικας	Λειτουργία
G00	Ευθύγραμμη κίνηση με τη μέγιστη πρόωση (καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων)
G01	Ευθύγραμμη κίνηση με προγραμματισμένη πρόωση (καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων)
G02	Δεξιόστροφη κυκλική κίνηση, CW (καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων)
G03	Αριστερόστροφη κυκλική κίνηση, CCW (καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων)
G04	Χρονοκαθυστέρηση
G17	Επιλογή επιπέδου XY
G18	Επιλογή επιπέδου XZ
G19	Επιλογή επιπέδου YZ
G20	Διαστάσεις σε in
G21	Διαστάσεις σε mm
G90	Απόλυτες συντεταγμένες
G91	Σχετικές συντεταγμένες
G92	Ορισμός νέου σημείου αναφοράς
G98	Επιστροφή εργαλείου στο αρχικό επίπεδο
G99	Επιστροφή εργαλείου στο επίπεδο R

Πίνακας . Κώδικες εκτέλεσης G.

1.5.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η εκτέλεση προγράμματος γίνεται συνήθως με τρεις τρόπους:

- Αυτόματα, όπου το πρόγραμμα εκτελείται σαν σύνολο χωρίς παρέμβαση του χειριστή εκτός της αυξομείωσης προώσεων και ταχυτήτων ατράκτου.
- Χειροκίνητα, όπου εκτελείται μία εντολή μόνο όπως αυτή εισάγεται (πληκτρολογείται) από τον χειριστή.
- Εντολή προς εντολή, όπου το πρόγραμμα εκτελείται εντολή προς εντολή για έλεγχο και διασφάλιση της ορθότητας του.

Κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης όλων των μεταβλητών κατάστασης της μηχανής, ώστε να ελέγχεται η καλή λειτουργία.

Πριν την εκτέλεση της κατεργασίας για πρώτη φορά βάσει του προγράμματος στη μηχανή CNC είναι απαραίτητος ο έλεγχος ορθότητας του προγράμματος. Ένας τρόπος να γίνει αυτό είναι στο ίδιο το σύστημα ελέγχου της μηχανής. Γίνεται προσομοίωση των κινήσεων της μηχανής με λογισμικό σε γραφικό περιβάλλον και με τους άξονες της μηχανής ακινητοποιημένους (machine Lock). Η προσομοίωση βασίζεται συνήθως σε επίπεδες προβολές του τεμαχίου και της τροχιάς του εργαλείου, αλλά στα πιο ισχυρά συστήματα βασίζεται και σε τρισδιάστατα μοντέλα στερεών. Αντίστοιχη δυνατότητα υπάρχει και «off-line» σε αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα, αλλά εκεί, κατά κανόνα δεν προσομοιώνονται τόσο καλά οι διάφορες ιδιαιτερότητες του συστήματος ελέγχου της εκάστοτε εργαλειομηχανής.

1.5.7 ΜΕΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ

Ο μετά-επεξεργαστής είναι υπεύθυνος για την μετατροπή του αρχείου CL (Cutter Location data) στο συγκεκριμένο πρότυπο της μηχανής και μονάδας ελέγχου που πρόκειται να εκτελεστεί το πρόγραμμα. Λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε CNC μηχανής, όπως το μήκος των αξόνων κίνησης, τον αριθμό αξόνων σύγχρονης παρεμβολής, τον τρόπο εναλλαγής εργαλείων και συνθηκών εργασίας, και εξάγει τις κατάλληλες εντολές (M, G, F, κτλ) [Kimo3], [Parkoo].

Ένας μετά-επεξεργαστής αποτελείται από τα τμήματα των «parser», «executor», «path generator», «macro executor», και «error handler», ενώ μπορεί να παρέχει ενδείξεις χρόνου επεξεργασίας, προειδοποιητικά μηνύματα προστασίας για μετατροπές εκτός προδιαγραφών κτλ. Προγραμματιστικές μονάδες που είναι διασυνδεδεμένες με το τμήμα του μετα-επεξεργαστή αποτελούν, η μονάδα ανάκτησης του προγράμματος εισόδου, και η μονάδα παρεμβολής, υπεύθυνη για την εξαγωγή των σημείων παρεμβολής τροχιάς.

ΚΕΦ. 2. ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΗΣ

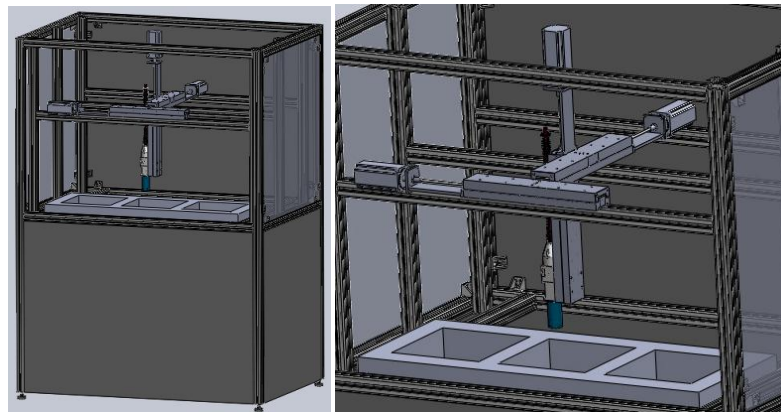
2.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Η σχεδιαζόμενη διάταξη αποτελεί μια τυπική εφαρμογή SLS-SLM μηχανών σύμφωνα με τα εξής κριτήρια:

- Επιθυμητή ακρίβεια θέσης ανά άξονα ανώτερη από 5μm.
- Μέγιστη γραμμική ταχύτητα ανά άξονα 6m/min.
- Μέγιστη διαδρομή ανά άξονα 300mm.
- Πάχος στρώματος σκόνης (layer) 50-250μm.
- Διάμετρος δέσμης laser στην έξοδο 600-900μm.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ

Η διάταξη και η τοπολογία της μηχανής έχει οριστικοποιηθεί από προηγούμενη μελέτη (παραπομπή σε τεχνική έκθεση Ν. Κοντολάτη), εικόνες αναπαράστασης της αντίστοιχης μακέτας παρουσιάζονται στην (Εικόνα):

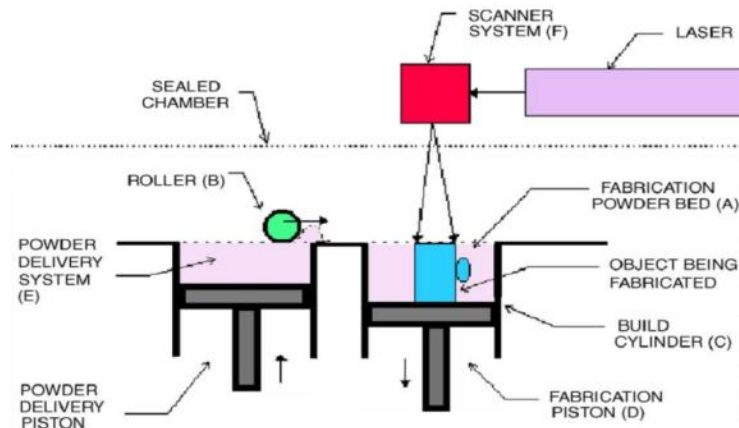


Εικόνα . Εικονική αναπαράσταση της μηχανής.

2.2.1 ΆΞΟΝΕΣ

Για να έχει ο αναγνώστης μία πιο σφαιρική εικόνα της λειτουργίας σχετικά με τη σχεδιαζόμενη διάταξη, αμέσως επόμενα θα παρουσιάσουμε συνοπτικά το γενικότερο πλάνο της συγκεκριμένης SLS-SLM μηχανής.

Μια μηχανή SLS-SLM όπως έχει αναφερθεί και προγενέστερα, απαρτίζεται από δύο βασικά τμήματα. Το πρώτο αποτελεί το σύστημα δεξαμενών συγκράτησης και διαχείρισης του προς επεξεργασία υλικού, ενώ το δεύτερο και πιο σημαντικό τμήμα, αποτελεί το σύστημα καθοδήγησης και εστίασης της ακτίνας Laser («Scanner System» όπως φαίνεται αντίστοιχα και στην Εικόνα) [Santo6], [Jameg3].

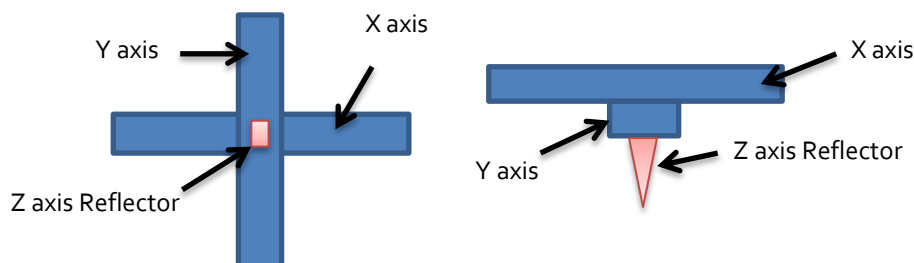


Εικόνα . Δίδυμο σύστημα τοπολογίας SLS-SLM μηχανής.

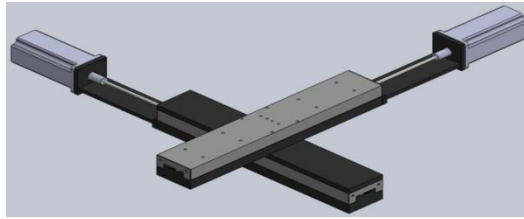
Η δομή της μηχανής περιλαμβάνει χαρακτηριστικά σταθερού τραπέζιου εναπόθεσης τεμαχίου και κινητής κεφαλής (κατά τους υλοποιήσιμους άξονες "X,Y"), ενώ έχουμε θεωρήσει τον φανταστικό άξονα των "Z" σαν ένα επιμέρους σύστημα καθοδήγησης - εστίασης της δέσμης ενεργού κατεργασίας. Το σύστημα τραπέζιου X-Y πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Διαχειρίσιμο βάρος μικρότερο δυνατό (μετακίνηση μόνο του συστήματος κατόπτρων)
- Ακρίβεια κίνησης της τάξης των 10 μm.
- Ικανοποιητικές δυνατότητες σε ταχύτητα/επιτάχυνση σημειακής μεταγωγής.
- Επαυξημένη διαχείριση κίνησης (B-splines).
- Έλεγχος της αποδιδόμενης ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω γνωρίσματα, επιλέξαμε να υλοποιήσουμε μία αρκετά συμβατική λύση, όπως παρουσιάζεται διαγραμματικά στις επόμενες εικόνες, (βλ. Εικόνα και Εικόνα).



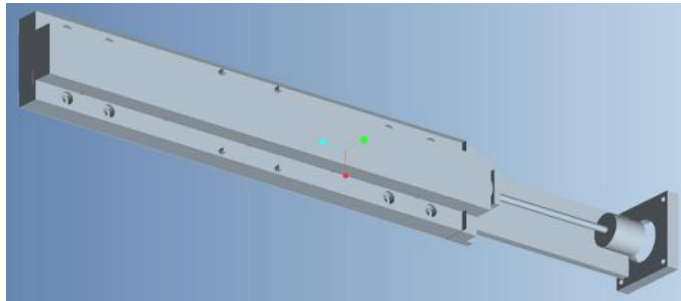
Εικόνα . Αναπαράσταση του καρτεσιανού συστήματος κίνησης δέσμης λέιζερ σε προβολές α) άνοψη και β) πρόοψη.



Εικόνα . Εικονική αναπαράσταση μηχανολογικής σύνθεσης του καρτεσιανού συστήματος της διάταξης.

2.2.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΩΣΕΩΣ DELTRON LEAD SCREW

Οι μετακινήσεις των αξόνων X και Y εκτελούνται με τη βοήθεια κινητήρων που θα περιγράψουμε σε επόμενη ενότητα. Οι περιστροφικές κινήσεις των κινητήρων αυτών, μετατρέπονται σε γραμμικές μετατοπίσεις στις διατάξεις προώσεως.



Εικόνα . Μοντέλο αναπαράστασης διάταξη γραμμικής μετατόπισης της Del-Tron.

Εν προκειμένω χρησιμοποιείται κοχλίας κίνησης, μόνο που στην περίπτωση αυτή το σπείρωμα του κοχλίας έχει προφίλ τριγωνικό . Η μορφή αυτή προσδίδει ικανοποιητική λύση, ενώ εν γένει η γραμμική ταχύτητα, η κινούμενη μάζα και το κόστος υλοποίησης, παραμένουν σε ικανοποιητικά χαμηλά επίπεδα [Prit98].



Εικόνα . Κοχλίας διάταξης προώσεως τετραγώνου προφίλ-κανονικού περικοχλίου.

Η διάταξη που έχουμε στην διάθεση μας διαθέτει κοχλίας τετραγώνου προφίλ (Εικόνα). Στην περίπτωση αυτή το περικόχλιο είναι κατασκευασμένο από ειδικά κατεργασμένο πολυμερές, ώστε να αντέχει σε θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις, ωστόσο ο ρυθμός περιστροφής του κοχλίας κίνησης περιορίζεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή στο όριο των 20rpm ή αντίστοιχα 1200 rpm .

Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα, επιτυγχάνονται με τη βοήθεια συζυγών περικοχλίων και ενός ελάσματος που παρεμβάλλεται στο ενδιάμεσο και τα συγκρατεί υπό συνεχή τάση. Με τον τρόπο αυτό

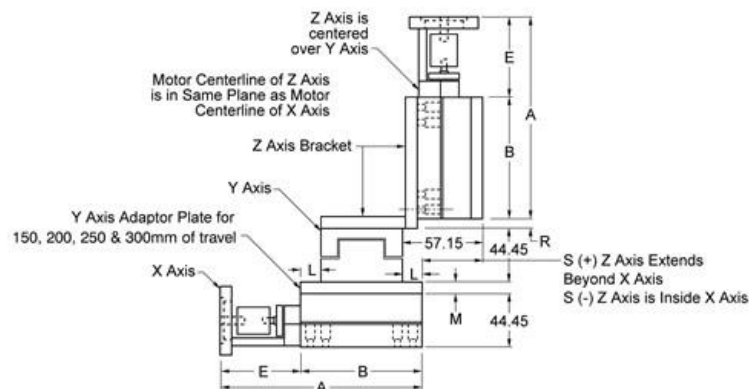
τα συζυγή σπειρώματα αλληλοεξουδετερώνουν τα μεταξύ τους διάκενα, εξαλείφοντας έτσι και τον τζόγο που αποτελεί ένα πάγιο πρόβλημα κατά την εναλλαγή φοράς μετατόπισης της διάταξης.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που μας παρέχει ο κατασκευαστής, η συγκεκριμένη γραμμική διάταξη προώσεως έχει τη δυνατότητα γραμμικής μετατόπισης 300mm με βήμα 2mm ανά περιστροφή του κοχλία, ενώ μπορεί να παρέχει ακρίβεια και επαναληψιμότητα της τάξης των 3μm ανά διάστημα μετατόπισης 25 χιλιοστών, για στατικά φορτία μέχρι το όριο των 40 Kg.



Εικόνα . Διάταξη γραμμικής μετατόπισης 300mm της εταιρίας Del-Tron.

Η διάταξη προώσεως αποτελείται από δύο βασικά τμήματα. Το έδρανο βάσης και το βαγόνι μετατόπισης. Ανάλογα με τη θέση περιστροφής του κοχλία κίνησης, το βαγόνι μετατίθεται σε ανάλογη θέση με οριακή μετατόπιση 150 χιλιοστών προς κάθε διεύθυνση. Η διάταξη διαθέτει επιπλέον μια αξονική προέκταση επί του άξονα του κοχλία, της τάξης των 120 χιλιοστών, ώστε να γίνεται εφικτή η κίνηση του βαγονιού χωρίς σύγκρουση με τον κινητήρα προώσεως και το σχετικό coupler (Εικόνα). Η διάταξη που φιλοξενεί τα κάτοπτρα ανάκλασης της ακτίνας Laser πραγματοποιείται με την κατάλληλη σειριακή διασύνδεση υπό γωνία 90 μοιρών των τριών γραμμικών αξόνων πρόωσης, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα .



Εικόνα . Σύστημα διατάξεων πρόωσης X-Y-Z.

2.2.3 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΡΟΩΣΕΩΣ FALDIC W FUJI SERVO ΚΑΙ ΣΥΖΕΥΞΗ

Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων πρόωσης των αξόνων είναι:

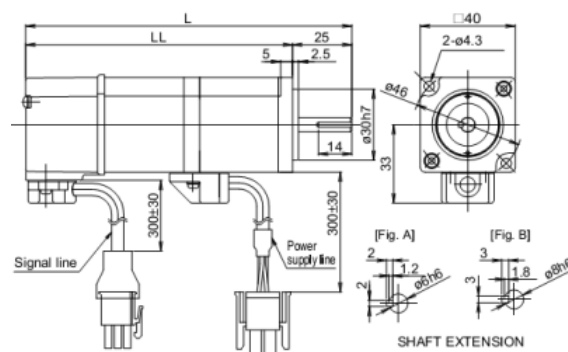
- Σταθερή ροπή στρέψης σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας των κινητήρων.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής σε περιπτώσεις ταχείας κίνησης έως 6000 rpm.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής τουλάχιστον τέσσερις φορές παραπάνω της ονομαστικής ροπής κινητήρα.

Στην υλοποιούμενη διάταξη χρησιμοποιείται μία εκδοχή κινητήρα σύγχρονου εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος υποστηρίζεται από μία κατάλληλη βαθμίδα ενίσχυσης [Pritgo]. Οι κινητήρες και οι διατάξεις ενίσχυσης αποτελούν υλοποίηση της εταιρείας "Fuji Servo Systems" με κωδικό όνομα σειράς "Faldic-W" (Εικόνα).



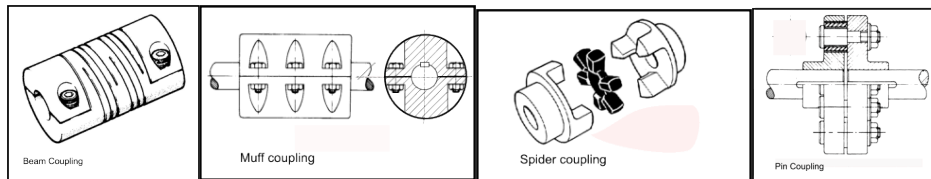
Εικόνα . Σερβοκινητήρας και βαθμίδα ενίσχυσης της σειράς "Faldic-W".

Η αρχή λειτουργίας προσεγγίζεται στον απευθείας έλεγχο της κατάστασης θέσης του ρότορα του κινητήρα, από τη διάταξη ενίσχυσης [Altioo]. Ενδεικτικά, ο κινητήρας αποτελείται από δύο βασικά τμήματα που μπορούν να εντοπιστούν χωροταξικά στο εμπρόσθιο και αντίστοιχα στο οπίσθιο τμήμα του (βλ. Εικόνα). Το εμπρόσθιο τμήμα του αποτελεί το σύστημα του στάτη και του ρότορα ενώ στο όπισθεν τμήμα του εσωκλείεται μία βαθμίδα ανάδρασης θέσης, ανάλυσης 17bit πληροφορίας. Ο ενισχυτής υποστήριξης επιτελεί το ρόλο του ρυθμιστή της διάταξης, παρέχοντας τη δυνατότητα αυτόνομου κλειστής ανάδρασης ελέγχου στην έξοδο του. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάγνωση της θέσης του ρότορα και την διαρκή διόρθωση του, λαμβάνοντας υπ' όψιν την αιτούμενη από το σύστημα διαχείρισης θέση, καθώς και τις εσωτερικές συνθήκες ροπής, ισχύς, ταχύτητας, κτλ. Τέτοια συστήματα κλειστού βρόγχου ελέγχου αναφέρονται και ως «**Σερβομηχανισμοί ή Σερβοκινητήρες**». Περισσότερα για την βαθμίδα ενίσχυσης, τη ρύθμιση και την διαχείριση, θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο αναλυτικότερα.



Εικόνα . Αναλυτικά στοιχεία για την διάταξη σερβοκινητήρα GYS401DC2.

Η σύνδεση του άκρου του ρότορα και του κοχλία κίνησης επιτυγχάνεται με «Κόπλερ» (Cou)(βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Διαφορετικές τεχνικές διασύνδεσης περιστρεφόμενων αξόνων κίνησης.

Για να συνδεθούν επιτυχώς τα αξονικά τμήματα μεταξύ τους, τα κέντρα περιστροφής των δύο αξόνων πρέπει να ταυτίζονται. Κάτι τέτοιο ωστόσο στην πράξη δύσκολα πραγματοποιείται και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ελαστική συγκράτηση ώστε επιπλέον να απορροφούνται τυχόν εκκεντρότητες ή κραδασμοί κατά την απότομη εκκίνηση ή τερματισμό της κίνησης.

Πιθανοί τρόποι σύνδεσης παρουσιάζονται στην (Εικόνα). Στην προκειμένη περίπτωση κατασκευάστηκε ένα ενδιάμεσο υλοποίησης μεταξύ της εκδοχής "Muff" και "Beam Coupling", όπως παρουσιάζεται στην (Εικόνα).



Εικόνα . Αυτοσχέδιο Κόπλερ διασύνδεσης της διάταξης.

Η αξονική σύσφιξη που επιχειρείται με τη βοήθεια κοχλιών τύπου «alen», φαίνεται καταρχήν αποτελεσματική, ενώ παράλληλα αποτελεί μία φτηνή λύση. Ωστόσο, δεν μπορεί να απορροφήσει κραδασμούς, ούτε να διατηρήσει την σύσφιξη της για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς επιπλέον επίβλεψη.

Η επιτυχής διασύνδεση των επιμέρους μηχανικών συστημάτων φαίνεται στην (Εικόνα), ενώ παρουσιάζει εμφανείς ομοιότητες με την αντίστοιχη εικονική προσομοίωση (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Υλοποίηση Καρτεσιανού συστήματος X-Y.

2.2.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ FALDIC W FUJI

Οι κωδικοποιητές θέσης, αποτελούν το σημαντικότερο μέσο «αυτογνωσίας» της μηχανής. Ανήκουν στη γενικότερη οικογένεια των αισθητήρων και είναι υπεύθυνοι για την επαρκή γνώση θέσης και ταχύτητας των διατάξεων κίνησης (Pos). Αποτελούν αισθητήρες με τους οποίους προσμετρείται η γωνιακή μετατόπιση ενός στρεφόμενου άξονα, ενώ κατά κύριο λόγο εφαρμόζεται σε άξονες κινητήρων, όπου εκτός από την μετατόπιση, με παραγωγή του σήματος, μπορεί να μετρηθεί και η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής. Τέλος, με κατάλληλη ανίχνευση παλμών μπορεί να προσδιοριστεί και η φορά περιστροφής [Baehob], [Browg2].

Στην κατασκευή που μοντελοποιούμε δεν έχουν τοποθετηθεί εξωτερικοί αισθητήρες ανάδρασης, αλλά γίνεται χρήση των υψηλής ακρίβειας, βηματικού τύπου, σερβοκινητήρων της διάταξης. Οι σερβοκινητήρες συνδέονται κατάλληλα με την μονάδα υποστήριξης - ενίσχυσης, η οποία με τη σειρά της αναδιανέμει τα σήματα του αισθητήρα ανάδρασης θέσης στις συσκευές ελέγχου υψηλότερου επιπέδου.

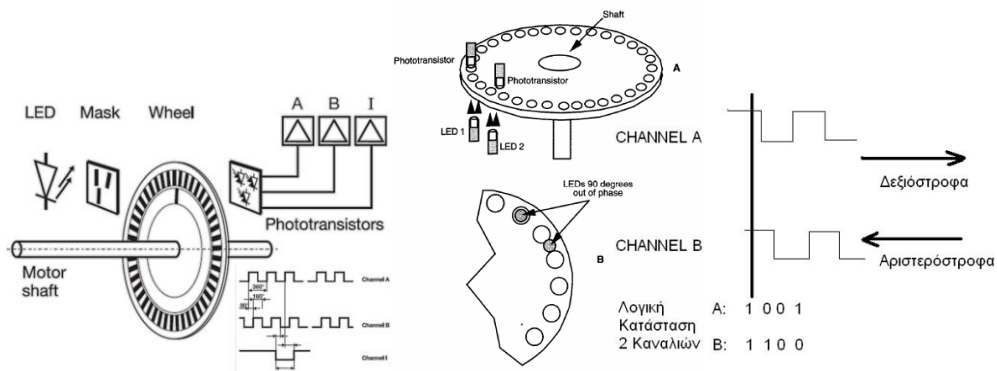
Μελλοντικά μπορεί να γίνει η τοποθέτηση και εξωτερικού τύπου διατάξεων ανάδρασης απόλυτου τύπου θέσης και αναφοράς, ώστε να παρέχεται ανάδραση ακριβής θέσης του συστήματος σε σχέση με την τράπεζα, και ν' απαλείφονται τυχόν ανακρίβειες από την γραμμική μετατόπιση στα συστήματα κοχλία - περικοχλίου.



Εικόνα . Σερβοκινητήρας Fuji Electric της διάταξης.

Ο incremental encoder αποτελείται από έναν δίσκο ο οποίος έχει πολλές οπές κατανεμημένες ομοιόμορφα στην περιφέρεια του. Στη μια πλευρά του υπάρχει φωτισμός από μία πηγή LED, έτσι ώστε το φως να διέρχεται από τις οπές και να συναρτά στην άλλη πλευρά ένα ευαίσθητο φωτοτρανζίστορ. Τα φωτοτρανζίστορ είναι συνήθως διπολικά τρανζίστορ με ευαίσθητη ένωση CB (συλλέκτης-βάση). Έχουν δηλαδή παρόμοια λειτουργία με αυτήν ενός BJT τρανζίστορ με ορθά πολωμένη την CE (συλλέκτη-εκπομπού). Κάθε φορά που το φως του LED προσπίπτει στο φωτοτρανζίστορ, αυτό δίνει στην έξοδο του μια τάση ανάλογη της έντασης της ακτινοβολίας που προσέπεσε πάνω του. Ωστόσο, καθώς ο κινητήρας περιστρέφεται, περιστρέφεται και ο δίσκος του incremental encoder. Αυτή η εναλλαγή φωτός και σκότους στον αισθητήρα - φωτοτρανζίστορ, οδηγεί σε μια σειρά τετραγωνικών παλμών τάσης στα άκρα του. Ο αριθμός των οπών που υπάρχουν επηρεάζει την ακρίβεια του αισθητήρα, ενώ όσο περισσότερες οπές διατίθενται τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια επιτυγχάνεται καθώς μπορεί να μετρηθεί ολόένα και μικρότερη γωνιακή μετατόπιση. Οι incremental encoders διατίθενται από 16 μέχρι και 5000 οπές, ενώ μία τυπική διάταξη 500 οπών μπορεί να δώσει ακρίβεια μέτρησης γωνίας ($360^\circ/500 = 0,72^\circ$).

Συνήθως η έξοδος από τα φωτοτρανζίστορ περνά μέσα από ένα Schmitt-Trigger. Αυτό είναι ένα κύκλωμα το οποίο εξομαλύνει τις καμπύλες σήματος τις οποίες παίρνουμε από τα φωτοτρανζίστορ, κι έτσι οι τάσεις εξόδου κυμαίνονται μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής, ενώ όλες οι άλλες αποκόπτονται.

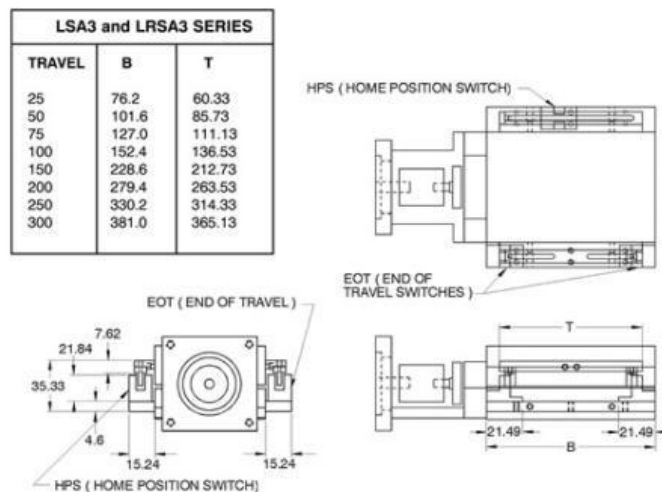


Εικόνα . Αρχές λειτουργίας των αισθητήρων αποκωδικοποίησης θέσης.

Με βάση τον παραπάνω μηχανισμό, ένας incremental encoder μπορεί να μετρήσει πόσες σπείρες διήλθαν από την ακτίνα του LED και άρα πόσες μοίρες περιστράφηκε ο κινητήρας. Όμως δεν μπορεί να πει αν ο κινητήρας περιστράφηκε προς τη μια ή την άλλη φορά και ακόμα περισσότερο, δεν μπορεί να δώσει απάντηση για το μέγεθος της περιστροφής αν ο κινητήρας έχει περιστραφεί στην διάρκεια της μέτρησης κατά διαστήματα και προς τις δύο πλευρές. Για αυτό το λόγο υπάρχουν τα quadrature incremental encoders οι οποίοι δεν είναι τίποτα άλλο παρά incremental encoders τα οποία έχουν δύο LED και δύο φωτοτρανζίστορ τοποθετημένα με διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους. Ο τρόπος λειτουργίας του quadrature incremental encoder είναι ο ακόλουθος. Όταν ο κινητήρας κινείται δεξιόστροφα το channel A δίνει σαν λογική έξοδο «1001» ενώ το channel B ταυτόχρονα «1100». Εάν ο κινητήρας κινείται αριστερόστροφα το channel A δίνει σαν λογική έξοδο «1001» ενώ το channel B ταυτόχρονα «0011». Έτσι το channel A δίνει την απόσταση, καθώς παραμένει το ίδιο, ενώ το channel B δίνει την φορά περιστροφής. Η δομή αυτή δίνει 4 διαφορετικές δυάδες σημάτων στα 2 κανάλια και μας επιτρέπει να αυξήσουμε την ακρίβεια του αισθητήρα μας κατά 4 φορές. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε 4 φορές μακρότερη ελάχιστη γωνία μετατόπισης από αυτή που μας δίνει ο αριθμός των σπείρων του incremental encoder.

2.2.5 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ OMRON WLCA12-G

Οι τερματικοί διακόπτες αποτελούν ένα από τα πλέον σημαντικά συστήματα διακοπών [Wecko1]. Λαμβάνουν το ρόλο σηματοδότησης ενός σφάλματος ορίου μετάθεσης, ή πολλές φορές επιτελούν το ρόλο του σημείου αναφοράς-αρχής των καρτεσιανών αξόνων του συστήματος. Στις διατάξεις προώσεως υπήρξε η δυνατότητα ενσωματωμένων αισθητήρων τερματικών διαδρομών (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Χαρακτηριστικά τμήματα τοποθέτησης διακοπών ορίων και αρχικοποίησης.

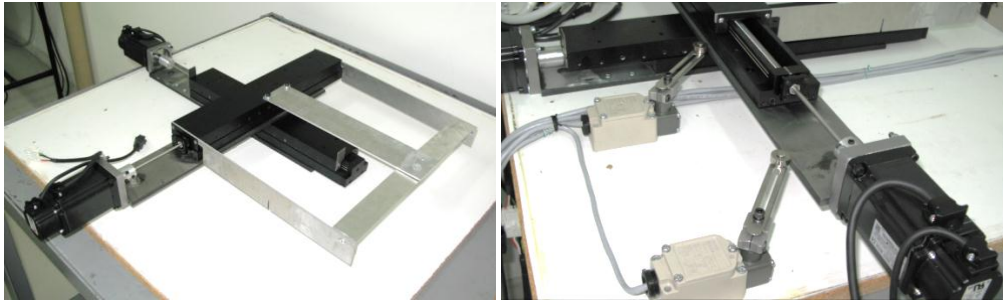
Το βασικότερο πλεονέκτημα της επιλογής αυτή θα ήταν ότι δεν θα χρειαζόμασταν εξωτερικές διατάξεις έναυσης των σχετικών συμβάντων. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, επιλέξαμε την ξεχωριστή αγορά εξωτερικών διακοπών βιομηχανικών προδιαγραφών προστασίας και αξιοπιστίας της εταιρείας "Omron" (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Προσαρμοστικοί διακόπτες ορίων της Omron.

Οι εξωτερικοί διακόπτες ήταν αρκετά ογκώδεις για να ενσωματωθούν πάνω στις διατάξεις προώσεως, και έπρεπε να βρεθούν τα κατάλληλα σημεία, ώστε η τοποθέτηση των αισθητήρων για κάποιον άξονα, να μην παρεμποδίζει την λειτουργία της διάταξης, ή την τοποθέτηση των αντίστοιχων αισθητήρων των υπολοίπων αξόνων.

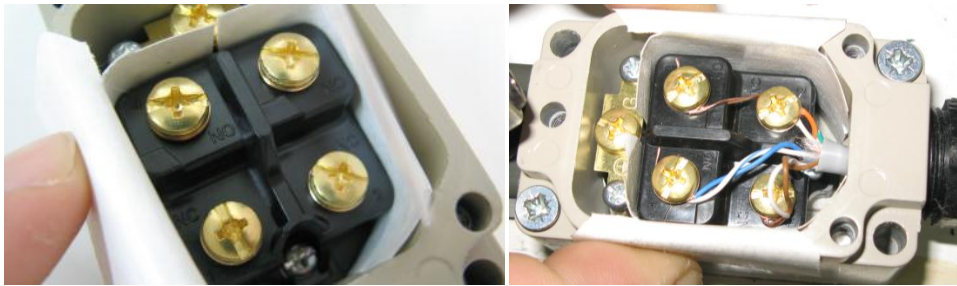
Το εγχείρημα αυτό αποδείχτηκε αξιοσημείωτα δύσκολο. Εγκαταλείποντας την αρχική δυνατότητα τοποθέτησης των διακοπών μαζί με τις διατάξεις προώσεως, δεν υπήρχε διαφορετική εναλλακτική από την κατασκευή και ενσωμάτωση ενός εξωτερικού πλαισίου, ειδικού για την ενεργοποίηση των σχετικών διακοπών. Για τον συγκεκριμένο σκοπό κατασκευάστηκε αλουμινένιο πλαίσιο το οποίο στερεώθηκε στο βαγόνι της δεύτερης διάταξης προώσεως Υ. Η συγκεκριμένη προσθήκη μπορεί να παρατηρηθεί καθαρά στην (Εικόνα), ενώ η τελική μορφή της διάταξης φαίνεται την (Εικόνα), όπου έχουν τοποθετηθεί σωστά και οι τερματικοί διακόπτες μαζί τα υπόλοιπα συστήματα υποστήριξης.



Εικόνα . Προσθήκη πλαισίου υποστήριξης πυροδότησης συμβάντων διακοπών και τοποθετημένοι διακόπτες XHome και XLim+.

Οι διακόπτες της Omron παρουσιάζουν υψηλές προδιαγραφές ποιότητας, ενώ είναι σχεδιασμένοι ν' αποκρίνονται κάτω από δυσμενείς συνθήκες εργασίας. Ο τύπος διασύνδεσης που προσφέρουν προσδιορίζεται είτε σε NO [Normal Open], είτε σε NC [Normal Close].

Ωστόσο για λόγους ασφαλείας και διεκπεραίωση της συμβατότητας μεταξύ της διάταξη «CUIF» που περιγράφεται στην ενότητα [4.3], και του Omron διακόπτη, επιβάλλεται ταυτόχρονη διασύνδεση και των δύο παραπάνω μορφών (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Επαφές τερματικού διακόπτη Omron.

Κατά τη συνδεσμολογία αυτή, η διακοπή του σήματος NC πυροδοτεί την διακοπή σήματος στον ελεγκτή αυτομάτου ελέγχου (Pmac), ενώ η επίτευξη εκπομπής του σήματος NO πυροδοτεί τις κατάλληλες οπτικές ενδείξεις στο πάνελ της διάταξης «CUIF».



Εικόνα . Παρουσίαση των τελικών θέσεων των τερματικών διακοπών θέσεων «μηδέν» και τερματικών ορίων των αξόνων X,Y.

Τέλος, η διασφάλιση των ορίων κίνησης κατά τις μέγιστες αξονικές διαδρομές των γραμμικών αξόνων X , Y , απαιτεί την τοποθέτηση τεσσάρων διαφορετικών διακοπών στα θετικά και στα αρνητικά της κίνησης, ενώ για την επιβολή των μηχανικών σημείων αρχικοποίησης των διατάξεων επιβάλλεται η τοποθέτηση δύο επιπλέον τέτοιων διακοπών. Ο ένας σηματοδοτεί την θέση «μηδέν» του άξονα των X , ενώ ο δεύτερος αντίστοιχα τη θέση «μηδέν» του άξονα των Y (βλ. Εικόνα).

2.2.6 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ - ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ

Η ρύθμιση της θέσης και της γωνίας τοποθέτησης των κλείστρων των διακοπών, πραγματοποιείται σύμφωνα με τις τρεις επόμενες αρχές. Κατ' αρχήν θα πρέπει να τονίσουμε ότι η διαδικασία ρύθμισης αποτελεί μία μονόδρομη διαδικασία. Αυτό σηματοδοτεί ότι για να προσεγγίσουμε τις βέλτιστες ρυθμίσεις, θα πρέπει να το κινηθούμε συμβατικά με την τεχνική της δοκιμής και μετέπειτα διόρθωσης (Trial & Error procedures). Οι βασικές αρχές παρατίθενται επόμενα:

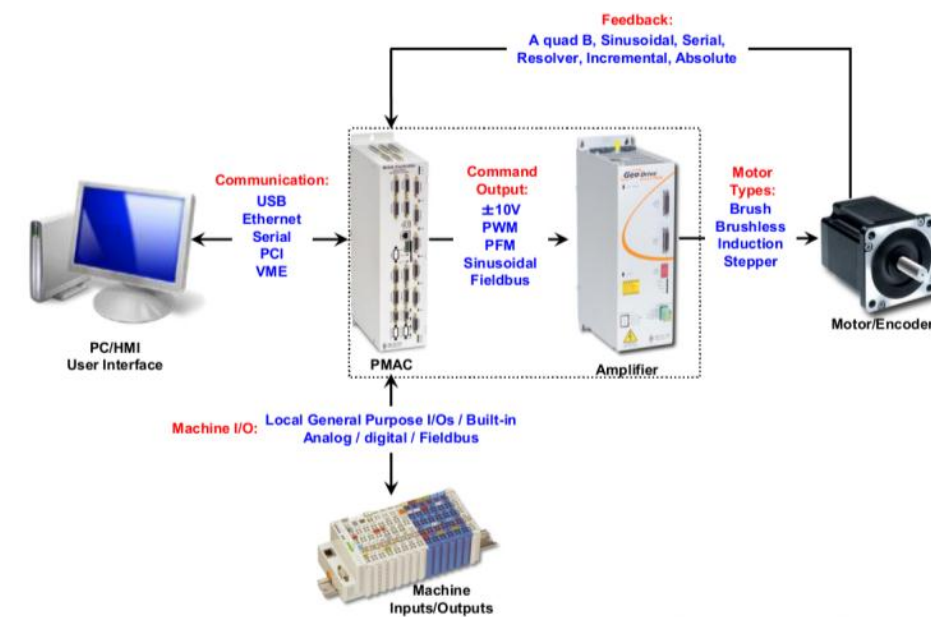
- Τοποθετούμε τους διακόπτες αρχής και τέλους σε κάθε άξονα ξεχωριστά, φροντίζοντας να μην παρεμποδίζεται η κίνηση σε κανένα από τους παρόντες άξονες του σχηματιζόμενου επιπέδου (όσο και αν ακούγεται εύκολο αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα εγχειρήματα, μιας και πρέπει να προβλεφθούν όλες οι δυνατές επιτρεπόμενες τροχιές, τερματίζοντας κατάλληλα τις οριακές συμπεριφορές).
- Λαμβάνουμε υπόψη ότι από τη στιγμή που θα πυροδοτηθεί μια διακοπή το σύστημα δεδομένων των τιμών μέγιστης ταχύτητας και επιβράδυνσης, θ' ακινητοποιηθεί σε απόσταση «α», από το σημείο διακοπής. Άρα φροντίζουμε να υπάρχει ο απαραίτητος χώρος ώστε η διάταξη να μην συγκρουστεί με κάποιο διακόπτη, και αυτός να έχει κατάλληλο περιθώριο περιστροφής των κινητών του κλείστρων, ώστε να μην υποστεί μηχανικές καταπονήσεις σε σημείο όπου μπορεί να καταστραφεί.
- Τέλος, τοποθετούμε τους διακόπτες αρχικοποίησης θέσης «μηδέν» σε σημείο κατάλληλο ώστε να μην παρεμποδίζεται η κίνηση κατά τον κανόνα [1], αλλά να πραγματοποιείται πιο έγκαιρη διακοπή στους διακόπτες θέσης «μηδέν» από τους διακόπτες οριακής θέσης «Lim+». Αυτό κρίνεται απαραίτητο γιατί διαφορετικά δεν θα πυροδοτείται η διακοπή εύρεσης θέσης μηδέν μιας που θα έχει πυροδοτηθεί παράλληλα και η διακοπή οριακής κίνησης.

2.3 ΟΔΗΓΗΣΗ ΑΞΟΝΩΝ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΥΟ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Στο σημείο αυτό έχει επιτευχθεί η μηχανολογική διασύνδεση των τμημάτων των διατάξεων πρόωσης και των κινητήρων οδήγησης με τη βοήθεια κατάλληλα κατασκευασμένων συνδετήρων (Copler) [Ling4], [Weckoz]. Επίσης, έχουν πραγματοποιηθεί οι τοποθετήσεις των τερματικών διακοπών στις σωστές θέσεις του πλαισίου στήριξης της διάταξης, ενώ έχει ολοκληρωθεί και η ηλεκτρική διασύνδεση των κινητήρων και των σχετικών αναδράσεων με τους αντίστοιχους ενισχυτές.

Ωστόσο, στο σημείο αυτό πρέπει να παρέχουμε κάποιο πρώιμο συμβατικό τρόπο ελέγχου των κινητήρων, και κατ' επέκταση της διάταξης των δύο βαθμών ελευθερίας, ώστε να βεβαιώσουμε ότι το σύστημα λειτουργεί κανονικά μέχρι το ένθεν σημείο της σύνθεσης, και πως η διάταξη λειτουργεί κατά το προκαθορισμένο θεωρητικό τρόπο. Με αυτό το ενδιαμέσο βήμα ελέγχου είμαστε σε θέση να προγνώσουμε πιθανές λανθάνουσες καταστάσεις, όπως επίσης να συνεισφέρουμε στον περιορισμό του εύρους σεναρίων εσφαλμένης κατάστασης από τη λίστα πιθανών πραγματοποιηθέντων συμβάντων μίας λανθάνουσας συμπεριφοράς.

Η οδήγηση των αξόνων πρόωσης X, Y στο επίπεδο πριν τη διασύνδεση με τη μονάδα ελεγκτή αυτομάτου ελέγχου, επιτυγχάνεται μέσω των διατάξεων ενίσχυσης των αντίστοιχων κινητήρων, ενώ η γενικότερη αρχή λειτουργίας του ηλεκτρομηχανικού πλάνου της διάταξης παρέχεται στο (Σχήμα).



Σχήμα . Αρχή λειτουργίας και διασύνδεσης των τμημάτων μιας διάταξης.

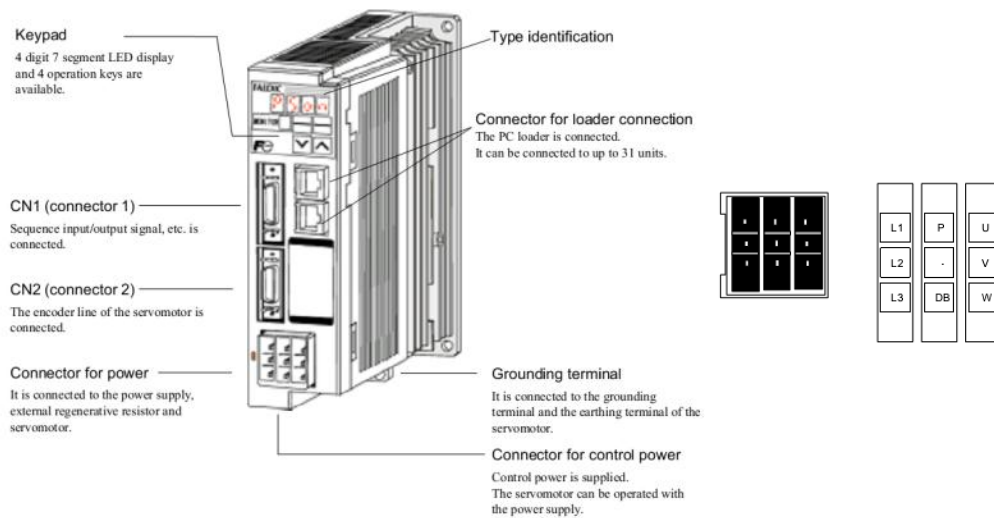
Κατά το παραπάνω σχήμα, το πλάνο διασύνδεσης έχει ως εξής: Οι κινητήρες που ελέγχουν μία μηχανολογική διάταξη συνδέονται με τις διατάξεις ενίσχυσης, και αυτοί με τη σειρά τους με το τερματικό διασύνδεσης του ελεγκτή αυτομάτου ελέγχου «CUIF». Στο (Σχήμα) φαίνεται πως η ανάδραση θέσης από τους κινητήρες του συστήματος τροφοδοτούνται κατευθείαν στο ενδιαμέσο σύστημα «CUIF» της PMAC. Ωστόσο στην υλοποίηση της δικής μας εφαρμογής, η επιλογή που έγινε για το σύστημα κινητήρων και διατάξεων ενίσχυσης, προϋποθέτει η ανατροφοδότηση κατάστασης να παρέχεται πρωταρχικά στο σύστημα ενίσχυσης, επιτρέποντας τη λειτουργία του δευτερεύοντος συστήματος σαν αυτόνομο σύστημα σερβοκίνησης.

Πληροφορικά, στα συστήματα σερβοκίνησης διατίθενται ένας ή και περισσότεροι κύκλοι ανάδρασης, διατηρώντας τη δυνατότητα συμπεριφοράς ως ένα υβριδικό σύστημα οδήγησης. Κατά το αυτό, η βαθμίδα ενίσχυσης με τον κινητήρα είναι συνδεδεμένα με κλειστού τύπου ανατροφοδότηση κατάστασης, ενώ η εντολή θέσης - ταχύτητας στην είσοδο του ενισχυτή μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη φύση και τη δυναμική του πρωτεύοντος συστήματος ελέγχου.

Τέλος, η διαχείριση των διατάξεων πραγματοποιείται σε πρώτη φάση μέσω των βαθμίδων ενίσχυσης της διάταξης, μιας και αυτές είναι ικανές να διαχειρίζονται τους κινητήρες και τις αντίστοιχες με αυτούς διατάξεις, με έλεγχο κλειστού κύκλου ανατροφοδότησης κατάστασης.

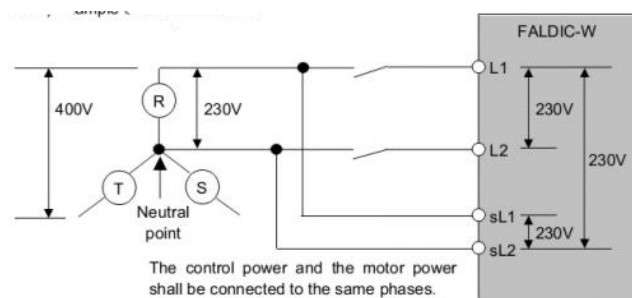
2.4 ΒΑΘΜΙΔΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ FALDIC W SERVO

Η βαθμίδα των διατάξεων ενίσχυσης διαθέτει συγκεκριμένες θύρες διασύνδεσης, όπως αυτές παρουσιάζονται στο (Σχήμα).



Σχήμα . Θύρες διασύνδεσης του ενισχυτή Faldic W Servo.

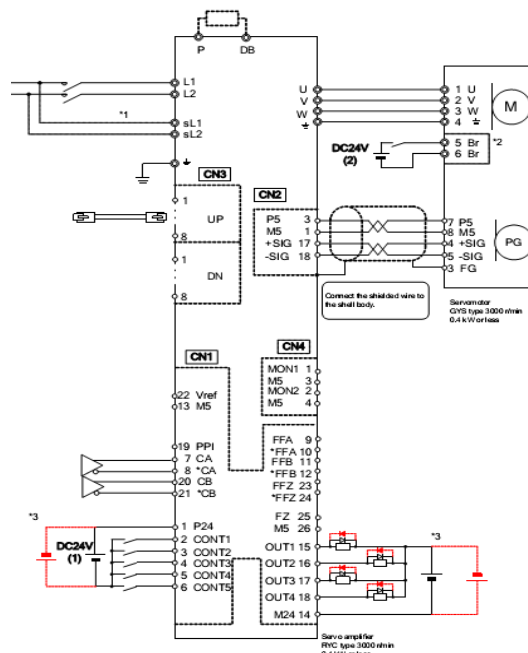
Στο κάτω αριστερά μέρος της διάταξης εφαρμόζεται η τάση τροφοδοσίας δικτύου 220V, ενώ για την επίτευξη της σύνδεσης πραγματοποιήθηκε κατάλληλη τοποθέτηση βύσματος στο καλώδιο παροχής (L2, L2/sL1,sL2), σύμφωνα με το επόμενο σχήμα.



Σχήμα . Διασύνδεση με το μονοφασικό δίκτυο τάσης .

Η σύνδεση με τον κινητήρα πραγματοποιείται στις θύρες CN2 και [u, v, w] στο κάτω δεξιά μέρος αντίστοιχα, με την πρώτη να δέχεται τα σήματα από τον κωδικοποιητή ανάδρασης θέσης, και η δεύτερη ν' αποτελεί την έξοδο ρεύματος προς τα δικτυώματα του κινητήρα. Η διάταξη διαθέτει επιπλέον θύρες σειριακής διασύνδεσης με υπολογιστικό σύστημα για «on-line» παραμετροποίηση, ενώ μπορεί κάλλιστα να παραμετροποιείται και μέσω του κατάλληλου συστήματος ενδείξεων και πλήκτρων προσπέλασης, που βρίσκονται στο άνω τμήμα της. Οι διασυνδέσεις σχετικά με τον έλεγχο και την παροχή όλων των απαραίτητων σημάτων, μεταξύ των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και της

βαθμίδας ενίσχυσης, πραγματοποιείται μέσω της θύρας CN1, ενώ αυτό υλοποιείται σύμφωνα με το (Σχήμα) και τις ενδείξεις του (Πίνακας).



Σχήμα . Θύρες σύνδεσης του ενισχυτή Faldic W Servo.

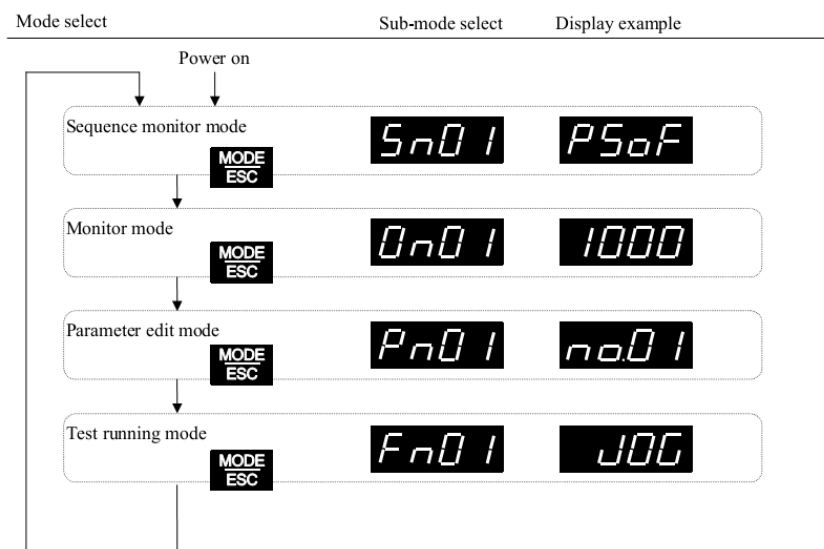
Terminal symbol	Pin No.	Name	Function and meaning
P24 M24	1 14	Power supply for sequence input/output	Power supply input for sequence input/output signals (+24VDC, 0.3A)
CONT1 CONT2 CONT3 CONT4 CONT5	2 3 4 5 6	Sequence input	Sequence input signals. The following signals are allocated by the factory settings. (+24VDC, 10 mA) CONT 1: Operation command (RUN) CONT 2: Reset (RST) CONT 3: (Not specified) CONT 4: (Not specified) CONT 5: (Not specified)
OUT1 OUT2 OUT3 OUT4	15 16 17 18	Sequence output	Sequence output signals. The following signals are allocated by the factory settings. (Max. +30VDC / 50mA) OUT1: Ready (RDY) OUT2: Positioning end (PSET) OUT3: Alarm detection: b-contact (ALMb) OUT4: (Not specified)
PPI CA *CA CB *CB	19 7 8 20 21	Pulse string input	PPI: Power supply input for open collector (24 VDC +5%/-5%) CA, *CA, CB, *CB (max. input frequency: 1 MHz) CA, CB (max. input frequency: 200 kHz) The pulse string form can be chosen from command pulse and sign, forward/reverse rotation pulse, and two signals having 90-degree phase difference.
FFA *FFA FFB *FFB FFZ *FFZ FZ M5	9 10 11 12 23 24 25 26	Frequency dividing output	Frequency dividing output terminals. Two signals having 90-degree phase difference in proportion to the rotation of the servomotor are output. (Differential output) The FZ terminal is an open-collector output. (Max. +30VDC, 50mA) M5: Reference potential
Vref	22	Analog input	Input terminal of analog voltage. The speed command voltage for speed control and the torque command voltage for torque control are input. The standard potential is M5 terminal.

Πίνακας . Πίνακας διασυνδέσεων θύρας CN1.

Οι ενδείξεις που φέρει στην σχετική οθόνη (βλ. Εικόνα), εμπίπτουν σε μία από τις τέσσερις βασικές επιλογές (βλ. Σχήμα), ενώ κάθε μια από αυτές εμπίπτει σε μία ολόκληρη κατηγορία παραμέτρων ή εντολών ρύθμισης.



Εικόνα . Οθόνη ενδείξεων διάταξης ενίσχυσης.



Σχήμα . Αναπαράσταση των επιλογών του βασικού μενού της οθόνης ενδείξεων.

Τα τέσσερα διαθέσιμα πλήκτρα επιτελούν μια σειρά από διαφορετικές λειτουργίες αναλόγως με το σημείο και την εμφάνιση της ανάλογης ένδειξης στην σχετική οθόνη.

2.5 ΑΡΧΙΚΗ ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Έχοντας παρουσιάσει τα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του εξοπλισμού, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη διασύνδεσης μεταξύ τους κατά τρόπο δυνατόν βέλτιστο. Σκοπός της διαδικασίας αυτής αποτελεί η εξεύρεση της ιδεατής τομής μεταξύ των δυνατοτήτων των επιμέρους συνεργαζομένων τμημάτων, με βασικό γνώμονα την επίτευξη μίας ομαλής λειτουργίας και την αύξηση της αποδοτικότητας της συνολικής κατασκευής.

Στη φάση αυτή έχουν ολοκληρωθεί οι διαδικασίες σχετικά με τη μηχανολογική αλλά και την ηλεκτρολογική διασύνδεση μεταξύ των τμημάτων της κατασκευής, των κινητήρων και των διατάξεων ενίσχυσης. Η εκκίνηση ως τόσο μιας τελευταίας διαδικασίας ελέγχου, προκειμένου να προβούμε στη διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο τάσης, κρίνεται απαραίτητη. Ο έλεγχος

κρίνεται επιτακτικός ώστε να διασφαλίσουμε κατά το ελάχιστο δυνατό βαθμό την πιθανότητα λάθους συνδεσμολογίας, καθώς και τις όποιες δυσμενείς συνέπειες επιφέρει αυτή στην πράξη.

Μερικά από τα ενδεχόμενα που θα πρέπει να προσέξουμε σε κάθε περίπτωση είναι να έχουν γίνει όλες οι συνδεσμολογίες σύμφωνα με τα εγχειρίδια διασύνδεσης, να μην υπάρχουν εμφανή σημεία απογύμνωσης των καλωδιώσεων που να επιτρέπουν την βραχυκύκλωση αγωγών διαφορετικού δυναμικού, ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης να είναι ενεργοποιημένος για πρόληψη τυχόν απρόσμενων ενεργειών κατά την πρώτη εκκίνηση, ενώ τέλος θα πρέπει να έχουν ακολουθηθεί με ευλάβεια στο σύνολο τους οι προτεινόμενες ενέργειες ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι σε ενδεχόμενη λανθάνουσα κατάσταση οι χρήστες θα παραμείνουν ασφαλείς και οι λειτουργίες των μηχανικών μερών ελεγχόμενες αντίστοιχα (IEC).

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών συναρμολόγησης, και προτού προβούμε σ' εξειδικευμένες διαδικασίες παραμετροποίησης της Pmac, θα πρέπει να βεβαιωθούμε **έμπρακτα** και όχι μόνο οπτικά, ότι η συνδεσμολογία έχει εκτελεστεί σωστά. Οι βασικές λειτουργίες πρέπει να παραμένουν ενεργές, το σύστημα να καθίσταται ευσταθές, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει αυτό ν' ανταποκρίνεται με τον αναμενόμενο θεμιτό τρόπο. Η συγκεκριμένη διαδικασία κρίνεται μείζονος σημασίας και θα πρέπει να εφαρμόζεται επιμελώς σε όλα τα στάδια της κατασκευής. Δύναται να εκτελείται σε μία επαναλαμβανόμενη βάση, προκαθορισμένου κύκλου εργασιών ή προόδου (SVV), εξασφαλίζοντας έτσι ότι οι προσθήκες που πραγματοποιούνται τμηματικά στο υλικό και το λογισμικό, δεν εμφανίζουν αστοχίες, λογικά ή άλλα σφάλματα (IEE).

Η διαδικασία ελέγχου επιτελείται πρωταρχικά με εκτέλεση συμβατικών εντολών «Jog» μέσω των διατάξεων ενίσχυσης, ενώ στην πορεία της υλοποίησης με τη βοήθεια επιτελικών εντολών «Jog», μέσω της κάρτας αυτομάτου ελέγχου (Pmac).

Η ακολουθία των βημάτων στα πλήκτρα και την οθόνη των διατάξεων ενίσχυσης, για την εκτέλεση εντολών βηματισμού «Jog», έχει ως εξής:

- Συνδέουμε τη διάταξη στην παροχή τάσης δικτύου και περιμένουμε 5 δευτερόλεπτα αυτή να εκκινήσει στην κανονική της κατάσταση με ένδειξη «PSoF».
- Στη συνέχεια πιέζουμε το πλήκτρο «Mode/Esc», επαναλαμβανόμενα μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη «Fno1», και έπειτα κρατάμε πατημένο για ένα δευτερόλεπτο το πλήκτρο «ENT», μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη «JOG».
- Με πίεση άλλης μια φοράς του πλήκτρου «ENT», τροφοδοτούνται με ρεύμα οι κινητήρες και εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη «_JOG», ενώ πιέζοντας τα πλήκτρα «άνω βέλος» πραγματοποιείται κίνηση θετικής φοράς με ένδειξη «PJOG», και «κάτω βέλος» κίνηση ανάστροφης φοράς με ένδειξη «nJOG».

ΚΕΦ. 3. Η ΡMAC ΩΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ρmac (Programmable Multi-Axis Controller) είναι μια αυτόνομη κάρτα αυτομάτου ελέγχου ενώ αποτελεί μία καλά προσαρμόσιμη υλοποίηση μεταξύ ενός ισχυρού ελεγκτή ηλεκτρικών κινητήρων (Mot) και ενός συστήματος on-line ελέγχου «RCP» (Rap). Αποτελεί κατάλληλη υλοποίηση για μία σειρά από εναλλακτικές διεργασίες σε συνδυασμό με διαφορετικούς τύπους αισθητήρων, ενισχυτών, κινητήρων και παθητικών συστημάτων διαχείρισης, ενώ για την αξιοποίηση όλου του εύρους των δυνατοτήτων του διατιθέμενου εξοπλισμού, έχει εξοπλιστεί κατάλληλα με δυνατότητες προσαρμογής στις διάφορες ιδιομορφίες του εκάστοτε ελεγχόμενου συστήματος.

Στην πράξη λειτουργεί σαν ένα αυτόνομο τμήμα υλικού, με επεξεργαστικές δυνατότητες ισάξιες εκείνων ενός υπολογιστή γραφείου. Είναι ικανή να εκτελεί τα δικά της αποθηκευμένα προγράμματα σε πραγματικό χρόνο, ενώ μπορεί να διαχειρίζεται ταυτόχρονες εκτελέσεις διεργασιών με εναλλαγή δια-διεργασιακών προτεραιοτήτων.



Εικόνα . Η αναπτυξιακή PCI έκδοση της κάρτας Ρmac στο κουτί της.

Κεντρικός επεξεργαστής της Ρmac είναι ο γνωστός «Motorola DSP56001». Παρέχει την ταχύτητα, την ευελιξία και την ικανότητα να διαχειρίζεται επαρκώς έως και τριάντα δύο ταυτόχρονους άξονες κίνησης. Αυξημένες απαιτήσεις σε ακρίβεια, επαναληψιμότητα, ταχύτητα, ισχύ και στιβαρότητα, δεν αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα για τον συγκεκριμένο ελεγκτή, ενώ τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να ελεγχθούν σε συνδυασμό μεταξύ τους ή και ανεξάρτητα. Επιπλέον ο έλεγχος που παρέχει η Ρmac στους οκτώ άξονες της βασικής της έκδοσης, μπορεί να πραγματοποιείται σε συνεργασία μεταξύ τους, σε συντεταγμένη ή και διαφορεική κίνηση.

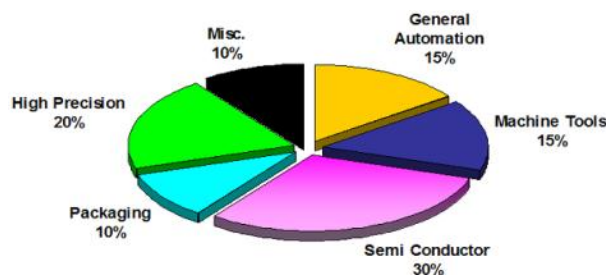
3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η Pmac συνεργάζεται με ένα πλήθος από διαφορετικά συστήματα, περιφερειακές συσκευές και ανάγκες εφαρμογών. Ενδεικτικά μπορεί να διαχειριστεί εφαρμογές που απαιτούν συντονισμένη κίνηση ακριβείας τάξεως μικρομέτρων, έως και εφαρμογές διατήρησης ροπής εκατοντάδων δεκάδων watt.

Τομείς της βιομηχανίας στους οποίους μπορεί να ενταχθεί με επιτυχία αντικατοπτρίζονται επιγραμματικά στον επόμενο πίνακα:

Ημιαγωγοί	Wafer Handling, Slicing, Wire Bonding
Αεροδιαστημική	Flight Simulations, Manufacturing, Inspection
Εργαλειομηχανές	Mills, Lathes, Grinders, EDM, Water Jet, Turning Center, Laser Cutting, Bending Punching, Micro/Nano Machining
Παραγωγή	Optical Grinding, Sewing, Turbine Blades
Ακριβής τοποθέτηση	Telescope, Sub-Micron Positioning, DNA Sampling
Ιατρική	M.R.I. Machines, Laser Eye Surgery, Optical Surface Grinding, Stint Inspection
Διαχείριση υλικών	Mixing, Cutting, Packaging, Conveyor Belt, Pick & Place, Robotics, Process Production

Πίνακας . Τομείς της βιομηχανίας που γίνεται χρήση των ελεγκτών Pmac.



Σχήμα . Κατανομή εφαρμογών της Pmac σε τομείς της Βιομηχανίας.

3.3 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Η κάρτα αυτομάτου ελέγχου «Pmac» διατίθεται σε τέσσερις βασικές εκδόσεις υποστηριζόμενες από επιπλέον προαιρετικά εξαρτήματα, εξειδικευμένα για συγκεκριμένους σκοπούς κι εφαρμογές. Οι τέσσερις αυτές εκδόσεις είναι οι: **Pmac-Mini**, **Pmac-Lite**, **Pmac-STD** και **Pmac-VME**.

Οι κυριότερες διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις παραπάνω υλοποιήσεις, είναι η ποικιλία προδιαγραφών λειτουργίας, η θωράκιση από εξωτερικές παρεμβολές, ο τύπος των διαύλων

επικοινωνίας, η ισχύς και τέλος ο αριθμός και η ποιοτική διαφοροποίηση του τρόπου διασύνδεσης με βασικές ή προαιρετικές περιφερειακές συσκευές.

Η έκδοση της Pmac που έχουμε στην διάθεση μας, είναι η «Lite». Μπορεί να διαχειριστεί κλασικού τύπου μηχανισμούς «SERVO», ενώ διαθέτει ακρίβεια κρυστάλλου +/- 100ppm. Στη βασική έκδοση ελέγχονται τέσσερις ανεξάρτητοι άξονες κίνησης, ενώ κάνοντας χρήση κατάλληλου προαιρετικού εξοπλισμού, μπορεί να φτάσει τους 32. Στα σημαντικά της χαρακτηριστικά συγκαταλέγονται τα 4Mbyte ανεξίτηλης Flash μνήμης γι' αποθήκευση προγραμμάτων εκτέλεσης, τα 3 Mbyte O-wait-state flash-backed Static RAM γι' αποθήκευση σημαντικών μεταβλητών κατάστασης, ενώ παρέχεται η δυνατότητα φιλοξενίας προγραμμάτων ταχείας εκτέλεσης «Uncompiled», κίνησης και PLC. Η Pmac μπορεί να λειτουργεί σαν αυτόνομη βιομηχανική διάταξη, ή να βρίσκεται σε επικοινωνία με ένα σύστημα υπολογιστή (μέσω σειριακής διασύνδεσης RS232/422 ή παράλληλη θύρα PCI-Bus). Τέλος, έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι πλήρως συμβατή με προγράμματα που έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικές εκδόσεις ελεγκτών Pmac.

Πλέον των βασικών εκδόσεων, παρέχεται η δυνατότητα εξειδίκευσης μίας παραγγελία βάση κάποιων συγκεκριμένων επιπρόσθετων επιλογών. Αυτές συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα ως εξής:

OPTION-2	On board 8kx16 Dual Ported PAM for PCI
OPTION-10	Basic Firmware version specification
OPTION-5AF	Default CPU configuration: 40 MHz
OPTION-5CF	80 MHz DSP563xx CPU
OPTION-6	Extended servo algorithm Firmware
OPTION-6L	Multi-block look ahead Firmware
OPTION-12	8-Channel Onboard 12-bit A/D Converter
OPTION-12A	Additional 8-Channel Onboard 12-bit A/D Converter (Requires OPT-12)
OPTION-15	2-Channel V to F Converters for Analog Input
OPTION-16	16K x 24 Battery-Backed Parameter RAM

Πίνακας . Επιπλέον επιλογές τεχνικών χαρακτηριστικών στις βασικές εκδόσεις των Pmac.

Οι παραπάνω επιλογές αφορούν την βασική βαθμίδα του ελεγκτή, ενώ αποτελούν αρκετά σημαντικής αξίας για την προσαρμοστικότητα των εκδόσεων των Pmac στις εκάστοτε ανάγκες εφαρμογής της βιομηχανίας. Η δυνατότητα προσθαφαίρεσης κατάλληλων χαρακτηριστικών κατά τη διαδικασία της παραγγελίας, παρέχει το πλαίσιο για μία ομαλή και απροβλημάτιστη λειτουργία στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Τέλος, πέρα από την βασική βαθμίδα υλικού της Pmac, είναι διαθέσιμα και μια σειρά από δευτερεύοντα περιφερειακά εξαρτήματα, σχεδιασμένα να λειτουργούν σε συνδυασμό με τις βασικές

εκδόσεις. Αυτά, αν κι εμφανίζουν μεγάλη διασπορά ως προς τους τομείς εφαρμογής τους, μπορούν να συνοψιστούν επιγραμματικά στον επόμενο πίνακα:

AXIS BREAKOUT BOARDS	ACC-8D - 4 channel breakout board, monolithic terminal block, IDC headers ACC-8P - 4 channel breakout board, monolithic terminal block
FEEDBACK INTERFACE BOARDS	ACC-28A - 4 Channel Analog-to-Digital Converter Board
DIGITAL I/O BOARDS	ACC-34AA - 32 Inputs and 32 Outputs Optically Isolated, I/O board ACC-34B - 32 Inputs and 32 Outputs for Opto-22 ACC-35A - Thumbwheel Port Differential Line Driver, Local ACC-35B - Thumbwheel Port Differential Line Driver, Receiver ACC-36P - 16-Channel 12 Bit A/D Converter Board
SERVO INTERFACES BOARDS	ACC-24P - 4 Axis Analog +/-10V Servo Interface Breakout Board ACC-51P - x4096 High-Resolution Sine Wave Encoder Interpolator
COMMUNICATION INTERFACE BOARDS	ACC-26A - Serial Communications Optical Isolation Board
POWER SUPPLY	ACC-2A - Power Supply - +/-15V 0.4 A & +5V HBAA-40W ACC-2B - Power Supply - +/-15V (0.8 A) & +5V HBAA-40W
CABLE ACCESSORIES	ACC-21F - Cable 50-pin card-edge to 34-pin IDC header for PMAC (1) JOPT connector ACC-21FH - Cable for PMAC JOPT Connector ACC-21G - Cable 50-pin card-edge to 50-pin IDC header ACC-3D - 3-meter (10 ft) RS-232 or RS-422 flat cable, DB-25 to IDC-26 ACC-3L - 3-Meter (10 ft) serial cable RS-232 flat cable, DB-9 female to IDC-10 female
MISCELLANEOUS ACCESSORIES	ACC-1LS - Lithium Battery ACC-40 - On-site 2-Day Field Service and Training
DISPLAY ACCESSORIES	ACC-12A - 40x2 LCD Backlit Display ACC-12C1 - Vacuum Fluorescent Display Unit ACC-12D - Display Port Transmitter
WARRANTY	ACC-22 - Extended Two Year Warranty

Πίνακας . Περιφερειακά εξαρτήματα Pmac ανά κατηγορία εφαρμογής.

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Η Pmac ως πολυεκτελεστικός («Multi-threading») πραγματικού χρόνου υπολογιστής, είναι σε θέση να εκτελεί διαδικασίες καθορισμού προτεραιοτήτων ώστε να διασφαλίζει την εκτέλεση κρίσιμων λειτουργιών (όταν αυτό απαιτείται), καθώς επίσης και ότι οι υπόλοιπες εν αναμονή

διεργασίες θα εκτελεστούν εντός ενός εύλογου χρονικού διαστήματος. Το σχήμα προτεραιοτήτων ιεραρχικής εκτέλεσης διεργασιών έχει σκοπίμως αποκρυφτεί από τον χρήστη κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό, ενώ παρέχεται στο ποσοστό που αυτό κρίνεται απαραίτητο, η δυνατότητα παραμετροποίησης του επεξεργαστή της για κατάλληλη εφαρμογή σε εξειδικευμένες περιπτώσεις που αυτό απαιτείται.

Η ιεραρχία των επιπέδων εκτέλεσης των διεργασιών έχει ως εξής:

1. SINGLE CHARACTER I/O:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Επιβλέπει σε πρώτη προτεραιότητα την αποστολή και την λήψη χαρακτήρων (ένα σε κάθε κύκλο επανάληψης), από και προς το συνεργαζόμενο υπολογιστικό σύστημα, ανάλογα με τον τύπο της διασύνδεσης (σειριακή ή PCI Bus). Η συγκεκριμένη διεργασία ολοκληρώνεται κάθε 200 nSec ανά χαρακτήρα ωστόσο δεν καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό επεξεργαστικού χρόνου, συγκρινόμενη με την σημαντικότητα της ενημέρωσης (για εντολές σε αναμονή από ή προς το σύστημα υποστήριξης). Ας σημειωθεί εδώ ότι ο παραπάνω χρόνος δεν συμπεριλαμβάνει τον χρόνο εκτέλεσης της παραληφθείσας εντολής, παρά μόνο την κοινοποίηση της σε χαμηλότερης προτεραιότητας διεργασία.
2. COMMUTATION UPDATE:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η διαδικασία ενημέρωσης της φάσης και της συχνότητας του εναλλασσόμενου ρεύματος στα δίκτυα των κινητήρων αποτελεί την αμέσως δεύτερη πιο σημαντική προτεραιότητα της Pmac. Για κάθε κινητήρα που ελέγχεται από την κάρτα με έλεγχο φάσης η διεργασία αυτή καταλαμβάνει από 2 έως 3 μsec για κάθε κύκλο ενημέρωσης, κι εξαρτάται από το ρολόι χρονισμού στο ποίο έχει ρυθμιστεί η Pmac καθώς και τους συνδετήρες E98, E29-E33. Η αρχική ρύθμιση για την συχνότητα ενημέρωσης έχει ορισθεί στα 9KHz (110μsec cycle), ενώ για κάθε κινητήρα που οδηγείται με αυτό τον τρόπο απαιτείται το 3% της συνολικής επεξεργαστικής ισχύος της Pmac.
3. SERVO UPDATE:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Στο συγκεκριμένο επίπεδο πραγματοποιούνται διεργασίες σχετικά με τον υπολογισμό του επόμενου σημείου μετακίνησης της ελεγχόμενης διάταξης, ανάκτηση της πληροφορίας σχετικά με την πραγματική θέση των αξόνων, ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται η απόκριση ελέγχου βάσει της διαφοράς των προηγούμενων δύο μέχρι την ολοκλήρωση της διεργασίας. Για κάθε ενεργό κινητήρα που ελέγχεται, η συγκεκριμένη διεργασία διαρκεί 30μsec για κάθε κύκλο ενημέρωσης του κινητήρα, καθώς και επιπλέον 30μsec για την διαδικασία αποκωδικοποίησης της ανακτώμενης πληροφορίας από αισθητήρες ανάδρασης θέσης κ.τ.λ. Η συχνότητα λειτουργίας της συγκεκριμένης διεργασίας εξαρτάται από το ρολόι χρονισμού στο ποίο έχει ρυθμιστεί η Pmac, καθώς και τους συνδετήρες E98, E29-E33 και E3-E6. Η αρχική ρύθμιση συχνότητας ενημέρωσης έχει ορισθεί στα 2,26 KHz, και για κάθε ενεργό κινητήρα καταλαμβάνεται το 7% της συνολικής επεξεργαστικής ισχύος της κάρτας.
4. REAL-TIME INTERRUPT TASKS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Οι διακοπές πραγματικού χρόνου αποτελούν το τέταρτο υψηλότερο επίπεδο προτεραιοτήτων της Pmac, και πραγματοποιούνται άμεσα μετά από τις διεργασίες ενημέρωσης Servo. Ο ρυθμός ενημέρωσης ελέγχεται κατάλληλα από την τιμή της παραμέτρου I8 με ακριβή εκκίνηση μετά από I8+1 κύκλους ενημέρωσης Servo. Στο συγκεκριμένο επίπεδο πραγματοποιούνται δύο σημαντικές διεργασίες. <ul style="list-style-type: none"> a. <u>PLC Program ο Exec</u>: Το «PLC ο» είναι ένα εξειδικευμένο Plc πρόγραμμα, και πρέπει να εκτελείται σε μεγαλύτερη προτεραιότητα από τα υπόλοιπα προγράμματα της κατηγορίας του. Συγκεκριμένα είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση όλων των διακοπών πραγματικού

	<p>χρόνου από τη στιγμή που μία κλήση RTI έχει ολοκληρωθεί. Η εκτέλεση της συγκεκριμένης διεργασίας αποτελεί ίσως το πιο επικίνδυνο εκτελούμενο τμήμα κώδικα, μιας και είναι αυτό το οποίο κρίνεται υπεύθυνο για την ρύθμιση των χρονομεριδίων και ότι συνεπάγεται η ανταλλαγή διεργασιικών πόρων στον κεντρικό επεξεργαστή της διάταξης.</p> <p>b. <u>Motion Program Move Planning</u>: Αναφέρεται αποκλειστικά στην ανάγνωση και εκτέλεση προγραμμάτων κίνησης, κατεβασμένων στη μνήμη της Pmac από τον χειριστή της. Κάθε στιγμή που μια επόμενη ενέργεια από το αρχείο κώδικα προετοιμάζεται να εκτελεστεί, δημιουργείται παράλληλα μία μεταβλητή δείκτης, που υποδηλώνει το χρονικό σημείο στο οποίο αυτή θα εκτελεστεί μετά την επιστροφή της τελευταίας κλήσης RTI.</p>
5. BACKGROUND TASKS:	<p>➤ Κατά την εμφάνιση χρονομεριδίου όπου δεν περιμένει προς εκτέλεση κάποια διεργασία από τα προηγούμενα επίπεδα προτεραιοτήτων, τότε εκτελείται με ιεραρχική σειρά, μία από τις επόμενες διεργασίες ελέγχου.</p> <p>a. <u>PLC Programs 1-31</u>: Πραγματοποιείται η εκτέλεση των προγραμμάτων PLC από 1-31. Μεταξύ των εκτελέσεων παράλληλα η Pmac εκτελεί τις διεργασίες «housekeeping» και απαντήσεις σε πιθανές αιτήσεις από το σύστημα υποστήριξης.</p> <p>b. <u>Compiled PLC Programs 1-31</u>: Πραγματοποιείται η εκτέλεση των PLCC προγραμμάτων στο παρασκήνιο, μετά από την πρώτη εκτέλεση των κανονικών PLC προγραμμάτων</p> <p>c. <u>Host Command Response</u>: Πραγματοποιείται κάθε ενέργεια σχετική με την απάντηση και την λογική εκτέλεση εντολών σχετιζόμενες με ικανοποίηση αιτημάτων από και προς το συνεργαζόμενο σύστημα υπολογιστή. Για παράδειγμα η λήψη του χαρακτήρα carriage Return («CR») στη σειριακή διασύνδεση, σηματοδοτεί την συλλογή όλων των προηγούμενων χαρακτήρων από την Pmac και την αναγνώριση τους σαν εντολή εκτέλεσης γραμμής.</p> <p>d. <u>General Housekeeping</u>: Μεταξύ των εκτελέσεων των παραπάνω διεργασιών, η Pmac εκτελεί στο παρασκήνιο και μια σειρά από ελέγχους σχετικούς με την σωστή ενημέρωση των μεταβλητών κατάστασης της, καθώς και θέματα ασφάλειας όπως έλεγχος τερματικών διακοπών, σφάλματα ακολουθίας, κίνησης εκτός ορίων, αστοχίες κ.τ.λ.</p> <p>e. <u>PriorityLevel Optimization</u>: Η Pmac στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, διαθέτει επαρκή υπολογιστική ισχύ για την εκπλήρωση των ζητούμενων ενεργειών. Η εκτέλεση ωστόσο συγκεκριμένων εφαρμογών αυστηρής οριοθέτησης επιπέδου ιεραρχίας εκτέλεσης, μπορεί να προκαλέσει μικροπροβλήματα στην αποδοτικότητα των υπολοίπων. Για το λόγο αυτό απαιτείται η επίβλεψη, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση από τη συγκεκριμένη διεργασία.</p>

Πίνακας . Πίνακας περιγραφής διαδιεργασιικών προτεραιοτήτων εκτέλεσης στην Pmac.

Πηγή χρονισμού για όλα τα συμβάντα αποτελεί το ρολόι κρυστάλλου που φιλοξενεί στο εσωτερικό του ο επεξεργαστής της Motorola, ταλαντούμενο σε αυστηρή συχνότητα 117.9648 MHz.

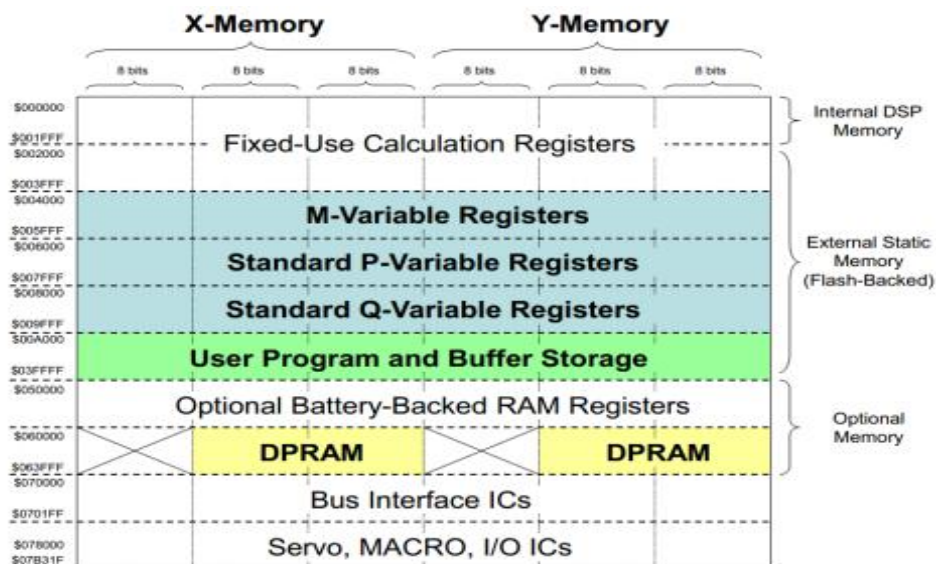
3.5 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Οι μεταβλητές που υποστηρίζει ο κεντρικός επεξεργαστής της Pmac, μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση το κριτήριο χρησιμότητας/λειτουργίας και εν γένει διαχωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες.

VARIABLE TYPES	
I-VARIABLES	INITIALIZATION & SETUP VARIABLES HAVE PREDEFINED MEANINGS
P-VARIABLES	GENERAL PURPOSE USER VARIABLES W/48-BIT FLOATING POINT FORMAT GLOBAL ACCESS (REGARDLESS OF COORDINATE SYSTEM)
Q-VARIABLES	GENERAL PURPOSE USER VARIABLES W/48-BIT FLOATING POINT FORMAT SPECIFIC TO A COORDINATE SYSTEM
M-VARIABLES	PROVIDE USER ACCESS TO MEMORY AND I/O USERS DEFINE ADDRESS, OFFSET, AND BIT WIDTH.

Πίνακας . Οι τέσσερις βασικές κατηγορίες μεταβλητών στην Pmac.

Οι τρεις τελευταίες από τις τέσσερις παραπάνω κατηγορίες αποτελούν τις «μεταβλητές χρήστη», ενώ προσεγγίζουν το σεβαστό πλήθος των 2^{13} (8192) καταχωρητών, μεγέθους λέξης (Word) ή αντίστοιχης μορφής 48-bit floating point. Τα περιεχόμενα της πρώτης κατηγορίας, σχετίζονται ειδικότερα με την παραμετροποίηση της Pmac, όπως και με την αρχικοποίηση εσωτερικών και εξωτερικών λειτουργιών. Μια γενική εικόνα για το πώς είναι καταμερισμένος ο χώρος αποθήκευσης μεταβλητών κατάστασης στο εσωτερικό της Pmac, αναπαρίσταται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα . Τοπολογία καταμερισμού της εσωτερικής μνήμης στην Pmac.

Οι πρώτες 16384 θέσεις μνήμης είναι στη διάθεση του επεξεργαστή για εσωτερική χρήση, ενώ οι επόμενες 24576 που φαίνονται οριοθετημένες σε τρεις ξεχωριστές περιόδους, αποτελούν άμεσα προσπελάσιμες θέσεις για τον χειρισμό των αποκρίσεων της διάταξης. Οι συγκεκριμένες θέσεις

μνήμης (υποπεριπτώσεις αναλόγως με την επιλογή των προαιρετικών χαρακτηριστικών στην Pmac), παρέχουν μία σημαντική ευελιξία, ενώ έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν τα περιεχόμενα τους και μετά τον τερματισμό - απουσία τάσης τροφοδοσίας στην κάρτα και το αντίστοιχο σύστημα υποστήριξης. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις όπου η αυτόνομη λειτουργία του ελεγκτή κρίνεται επιτακτική, μιας και που χωρίς αυτή τη δυνατότητα θα επιβαλλόταν σε κάθε επανεκκίνηση της διάταξης, να γίνεται (εκ του μηδενός) κατάλληλος εφοδιασμός με τα σχετικά προγράμματα αρχικοποίησης, κίνησης και ελέγχου. Τέλος, οι υπόλοιπες θέσεις μνήμης που εμφανίζονται στο σχετικό σχήμα, αποτελούν είτε θέσεις μνήμης προαιρετικού εναλλακτικού εξοπλισμού, είτε διευθυνσιοδοτημένες θέσεις προσπέλασης των A/D και D/A των εισόδων/εξόδων της διάταξης.

Όλοι οι τύποι μεταβλητών στην Pmac, λειτουργούν κάτω από μία σαφώς τυποποιημένη ονοματολογία και εντολές ανάκλησης. Ο χρήστης δεν έχει δικαίωμα να ορίζει τις δικές του μεταβλητές, ενώ ακόμη και σε εξειδικευμένες εφαρμογές με την αναπλήρωση «macro», ο χρήστης συντάσσει τη δική του ονοματολογία κατά την επεξεργασία του κώδικα. Ωστόσο, κατά την εγγραφή του στην κάρτα διατηρείται η αρχικά προκαθορισμένη.

Ένας τύπος μεταβλητής ορίζεται γράφοντας τον κατάλληλο συνδυασμό ενός εκ των τεσσάρων διαθέσιμων τύπων (I, P, Q, και M), ακολουθούμενο από τον σχετικό αριθμό υπόδειξης (0 ~ 1023). Καθένας από τους τέσσερις τύπους μεταβλητών έχει το δικό του τρόπο σύνταξης αλλά και ιδιότητες.

3.5.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ-I

Οι μεταβλητές τύπου «I», γενικά προορίζονται για την ρύθμιση των συνθηκών σχετικά με την ιδανική για την εφαρμογή μας συμπεριφορά. Αποτελούν δεδομένες θέσεις στη μνήμη της κάρτας, ενώ εμφανίζουν προκαθορισμένο αρχικοποιημένο περιεχόμενο και εύρος επιτρεπόμενων τιμών. Οι περισσότερες είναι μήκους λέξης ακεραίου (integer), ενώ το περιθώριο των τιμών τους ορίζεται εξειδικευμένα για κάθε μία από αυτές. Ο συνολικός τους αριθμός είναι «1024», από την «I0» έως την «I1023», και είναι οργανωμένες σε ομάδες όπως παρατίθεται επόμενα:

I0 -- I79	General card setup.
I80 -- I99	General Resolver setup.
I185 -- I199	Coordinate system 1 setup.
I200 -- I284	Motor #2 setup.
I285 -- I299	Coordinate system 2 setup.
~	~
I800 -- I884	Motor #8 setup.
I885 -- I899	Coordinate system 8 setup.
I900 -- I979	Encoder 1 – 16 setup
I980 -- I1023	Reserved for future use.

Πίνακας . Ομάδες οργάνωσης των «I-μεταβλητών».

Η τιμή εκχώρησης μίας μεταβλητής I μετά του αναλόγου τελεστή της, μπορεί να είναι είτε σταθερή, είτε μία έκφρασή της. Οι εντολές εκχώρησης αποτελούν «**εντολές εκτέλεσης πραγματικού χρόνου**» όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο, και εκτελούνται άμεσα (εάν φυσικά δεν εγγράφονται σε ενδιάμεση μνήμη όταν αποστέλλονται στην Pmac).

```
I120 = 45
I120 = (I120+P25*3)
```

Ο περιορισμός εύρους λήψης τιμών δεν προκαλεί κάποιο σφάλμα στην περίπτωση που τελικά παραβιαστεί, ωστόσο η τιμή την οποία θα εμφανίζει η μεταβλητή μετά από μία τέτοια καταχώρηση θα είναι η πλησιέστερα ενδεδειγμένη στα ορισμένα περιθώρια της μεταβλητής, επεξεργασμένη κατά το υπόλοιπο (modulo) του εύρους της. Για παράδειγμα, εάν έχουμε την μεταβλητή I3 με δυνατές τιμές εκχώρησης από μηδέν έως τρία (εύρος 4) και εκτελέσουμε την εντολή **I3=5**, τότε η τιμή που θα εκχωρηθεί σε αυτήν θα είναι **5 modulo 4** δηλαδή **1**.

Η εκχώρηση των αρχικών τιμών σε κάποια μεταβλητή πραγματοποιείται είτε με εξατομικευμένη εκτέλεση της εντολής, είτε με εκτέλεση σε εύρος μεταβλητών, ή τελικά με γενική επαναρχικοποίηση της κάρτας:

1. **I {constant} = ***
2. **I {constant} . . {constant} = ***
3. **\$\$\$*****

3.5.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ- P ΚΑΙ Q

Οι μεταβλητές «P» αποτελούν μεταβλητές χρήστη, γενικής προσπέλασης. Είναι μεταβλητές μη προκαθορισμένης λειτουργίας, μήκους μεταβλητής 48-bit κινητής υποδιαστολής (Floating point), ενώ αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες 1024 (από P0 έως P1023) προκαθορισμένες θέσης μνήμης της Pmac. Επιπλέον, μπορεί να τις προσπελάσει κάποιος με τον ίδιο τρόπο από οποιοδήποτε πλαίσιο αναφοράς, συμπεριλαμβανομένου και υποπρογραμμάτων καρτεσιανών συστημάτων αναφοράς.

Σε αντίθεση με τις «P», οι μεταβλητές τύπου «Q» αποτελούν υλοποιήσεις αυστηρά σχετιζόμενες με το σύστημα αναφοράς στο οποίο αναφέρονται. Κάτι τέτοιο φυσικά αποτελεί μία χρήσιμη τεχνική μεταβίβασης πληροφορίας μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων συντεταγμένων, ενώ η χρήση των μεταβλητών P αποτελεί το μέσο αποθήκευσης καθολικού τύπου μεταβλητών όπως (θέσης, απόστασης, ταχυτήτων, χρόνων, και ούτω καθ' εξής). Η χρήση των P-μεταβλητών δεν περιορίζεται όμως πρακτικά μόνο εκεί. Οι Μεταβλητές P μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν γενικότεροι πίνακες αναζήτησης (Arrays). Κάτι τέτοιο αποτελεί πραγματικά εύκολο όταν έχουμε να κάνουμε με μεταβλητές συστήματος. Η ανάγνωση των περιεχομένων μίας μεταβλητής τύπου πίνακα γίνεται πολύ απλά σε σχέση με μία κανονική ανάθεση. Η ανάγνωση πραγματοποιείται με αντικατάσταση του σταθερού τμήματος της ανάθεσης με την έκφραση αναφοράς εντός παρενθέσεως. Δηλαδή γράφουμε {έκφραση} αντί για P{σταθερά}. Για να γίνει το παραπάνω πιο κατανοητό, παραθέτουμε το επόμενο παράδειγμα κώδικα ανάγνωσης τύπου πίνακα μεταβλητών P.

```

F10
P1=101          ; Array index variable
WHILE (P1<201) ; Start loop
X(P(P1))       ; As P1 changes, the destination
               ; position changes
    DWELL100
    P1=P1+1    ; Increment the index
ENDWHILE

```

Αν θέλουμε έτσι να μεταβούμε διαδοχικά σε θέσεις που περιγράφονται από σειριακές μεταβλητές, στο εύρος P101 έως P200, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω τμήμα κώδικα για να το πετύχουμε. Αντίστοιχα η εγγραφή ενός εύρους τιμών μεταβλητών P ως πίνακα, αποτελεί κάπως πιο δύσκολο εγχείρημα. Η εγγραφή πραγματοποιείται με χρήση εμμέσου τρόπου διευθυνσιοδότησης μιας μεταβλητής. Για να το πετύχουμε αρχικά ορίζουμε μία μεταβλητή «M» να δείχνει σε μία P μεταβλητή, έστω την P0 (M0->L:\$1000). Στη συνέχεια ορίζουμε μία δεύτερη M-μεταβλητή, η οποία θα πρέπει να δείχνει στα πρώτα 12 (Low-bits) της πρώτης μεταβλητής (M0 μεγέθους Word). Αυτή ανήκει στον Y-register της M0, με τιμή \$BC00 (M10->Y:BC00,0,12). Σε αντίστοιχη περίπτωση, αν θέλαμε να διευθυνσιοδοτήσουμε την M1 θα χρησιμοποιούσαμε τον Y-register \$BC01, για την M2 την Y:\$BC02, για την M100 την Y:\$BC64(που το 64 hex είναι το 100 στο δεκαδικό) κι ούτω καθ' εξής.

Με την παραπάνω τεχνική, δίνοντας μία τιμή στην δεύτερη M μεταβλητή, αλλάζουμε την P-μεταβλητή στην οποία δείχνει η πρώτη M-μεταβλητή. Πιο συγκεκριμένα, με αναφορά στο παράδειγμα μας, η εντολή **M10=5** θα κάνει την M0 να δείχνει στην P5. Επιπλέον από τη στιγμή που η πρώτη M-μεταβλητή έχει ανατεθεί και δείχνει σε κάποια συγκεκριμένη P-μεταβλητή, αναθέτοντας μία τιμή στην συγκεκριμένη M-μεταβλητή γράφουμε την παραπάνω τιμή κατευθείαν στην P-μεταβλητή. Σαν συνέχιση του παραδείγματος μας, αν κάνουμε την ανάθεση **M0=73**, τότε θα γράψουμε την τιμή 73 στην μεταβλητή P5.

Στο τμήμα κώδικα που ακολουθεί αναπαρίσταται ακριβώς το παραπάνω. Αν θέλουμε να φτιάξουμε ένα πίνακα ημιτόνου, που να περιέχει μία εγγραφή ανά μοίρα και ν' αποθηκεύονται στις P-μεταβλητές από P0~P359, μπορούμε να το επιτύχουμε κάνοντας χρήση του επόμενου κώδικα (η χρήση των M0 και M10 θεωρείται όπως παραπάνω).

```

P1000=0        ; Starting value for array
index
WHILE (P1000<360) ; Loop until done
    M10=P1000    ; Point M0 to the proper
                 ; P-variable
    M0=SIN(P1000) ; Assign the sine value to
this
                 ; P-variable
    P1000=P1000+1 ; Increment the array index
ENDWHILE

```

Από την άλλη πλευρά, όπως έχουμε δει, οι μεταβλητές τύπου Q είναι επίσης γενικού σκοπού, μήκους μεταβλητής 48-bit floating point και ανήκουν κι αυτές σε δεσμευμένη περιοχή της μνήμης της κάρτας με μη προκαθορισμένη χρήση. Η κύρια διαφορά ωστόσο σε σχέση με τις «P», είναι η εξειδίκευση τους με αναφορά το σύστημα συντεταγμένων για το οποίο χρησιμοποιούνται. Η

παραπάνω δυνατότητα επιτρέπει σε πολλά διαφορετικά συστήματα να κάνουν χρήση ενός συγκεκριμένου προγράμματος για την μεταβολή τιμών (που ορίζονται ξεχωριστά για το καθένα τους).

Οι μεταβλητές Q είναι 1024 στο σύνολο τους, ενώ αυτές είναι διαθέσιμες στο σύνολο τους μόνο στην περίπτωση που γίνεται χρήση αποκλειστικά ενός συστήματος συντεταγμένων. Σε διαφορετική περίπτωση ο παραπάνω αριθμός Q μεταβλητών υποδιαιρείται κατάλληλα ώστε να γίνεται κατάλληλη διάθεση στα χρησιμοποιούμενα συστήματα. Οι σχετικές υποδιαιρέσεις ανάλογα με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων συστημάτων φαίνεται κατάλληλα στον επόμενο πίνακα.

Access Location	1	2	4	8	16	
\$8000 \$81FF	C.S.1 Q0-Q8191	C.S.1 Q0-Q4095	C.S.1 Q0-Q2047	C.S.1 Q0-Q1023	C.S.1	
\$8200 \$83FF				C.S.9		
\$8400 \$85FF				C.S.5 Q0-Q1023	C.S.5	
\$8600 \$87FF				C.S.13		
\$8800 \$89FF				C.S.3 Q0-Q1023	C.S.3	
\$8A00 \$8BFF			C.S.11			
\$8C00 \$8DFF			C.S.7 Q0-Q1023	C.S.7		
\$8E00 \$8FFF			C.S.14			
\$9000 \$91FF			C.S.2 Q0-Q1023	C.S.2		
\$9200 \$93FF			C.S.10			
\$9400 \$95FF		C.S.6 Q0-Q1023	C.S.6			
\$9600 \$97FF		C.S.15				
\$9800 \$99FF		C.S.4 Q0-Q1023	C.S.4			
\$9A00 \$9BFF		C.S.12				
\$9C00 \$9DFF		C.S.8 Q0-Q1023	C.S.8			
\$9E00 \$9FFF		C.S.16				

Πίνακας . Εμφάνιση υποδιαιρέσεων περιοχών μνήμης «Q» μεταβλητών.

Στη γενική περίπτωση, δεν παρέχεται κάποια προστασία από λανθασμένη εγγραφή σε περιοχή διαφορετικού συστήματος από το εκάστοτε επιλεγμένο. Για το λόγο αυτό η ευθύνη λειτουργίας και σωστής εκτέλεσης των προγραμμάτων μεταβιβάζεται αποκλειστικά στον προγραμματιστή.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υπορουτίνες **κινηματικής ανάλυσης**, οι επόμενες μεταβλητές Q δεσμεύονται για την κατάλληλη υλοποίηση των υπολογισμών σ' αυτές. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές P1 έως P32 είναι δεσμευμένες για την αναπαράσταση θέσης στους κινητήρες από 1 έως 32, ενώ αντίστοιχα οι Q1 έως Q9 δεσμεύονται για την αξονική αναφορά των αντίστοιχων καρτεσιανών συστημάτων.

Reserved Q-Variable	Axis Letter	Reserved Q-Variable	Axis Letter	Reserved Q-Variable	Axis Letter
Q1	A	Q4	U	Q7	X
Q2	B	Q5	V	Q8	Y
Q3	C	Q6	W	Q9	Z

Πίνακας . Αναφορά συσχετίσεων αξονικών καρτεσιανών συστημάτων και μεταβλητών Q.

Η ανάγνωση και η ανάθεση στις συγκεκριμένες μεταβλητές πραγματοποιείται με τον τρόπο της έμμεσης ανάθεσης, όπως αυτό υλοποιείται και στις Ρ-μεταβλητές, ωστόσο χρειάζεται να γίνει μία επιπλέον δήλωση ως προς την θέση αναφοράς του εκάστοτε επιλεγμένου συστήματος. Αναφορικά σε σχέση με το αρχικό μας παράδειγμα, αν εκτελέσουμε την ανάθεση $M_{10}=1024 + 17$ τότε θα έχουμε κάνει την M_0 να δείχνει στην μεταβλητή Q_{17} του πρώτου συστήματος συντεταγμένων, ενώ η επιλογή του κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων γίνεται με την αλλαγή του προθέματος αριθμού. Στη συνέχεια παραθέτουμε τους συγκεκριμένους αριθμούς για την περίπτωση χρήσης οκτώ διαφορετικών συστημάτων συντεταγμένων.

C.S. 1:	1024	C.S. 5:	1152
C.S. 2:	1536	C.S. 6:	1664
C.S. 3:	1280	C.S. 7:	1408
C.S. 4:	1792	C.S. 8:	1920

Πίνακας . Προθέματα αριθμοί για επιλογή κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων (C.S.)

3.5.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ-M

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή της Ρmac, δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο κύκλο επαναλήψεων θεωρείται **αποδοτικότερο** να αποθηκεύονται σε κατάλληλες μεταβλητές τύπου «M». Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μικρότερος χρόνος προσπέλασης τους, ενώ η επεξεργαστική δυνατότητα παραμένει αντίστοιχα διαθέσιμη για δευτερεύουσες διεργασίες σε ανάγκη.

Σε περιπτώσεις όπου τα κρίσιμα δεδομένα δεν γίνεται εφικτό να προσπελαστούν από κατάλληλες «M-μεταβλητές» τότε **σε αυτές και μόνο τις περιπτώσεις**, προτείνεται η αποθήκευση στις «M-μεταβλητές» κατάλληλων δεικτών, που να δείχνουν στην διεύθυνση με τα ζητούμενα δεδομένα. Έτσι μπορούμε να μεταβιβάσουμε αποδοτικότερα διευθύνσεις μνήμης με τα απαιτούμενα δεδομένα, και όχι την αντιγραφή εκ' μεταφοράς του συνόλου των καταχωρητών της ζητούμενης μεταβλητής.

Οι μεταβλητές τύπου «M», αποτελούν μεταβλητές ειδικού σκοπού που ορίζονται με μία συγκεκριμένη μορφή σύνταξης. Στη γενική περίπτωση χρειάζεται να ορίσουμε τη θέση αποθήκευσης, τον τύπο μεταβλητής, καθώς και το απαιτούμενο μέγεθος. Μια M-μεταβλητή μπορεί να είναι τύπου **bit**, **nibble (4bits)**, **byte (8bits)**, **1-1/2 bytes (12bits)**, **double-byte (16bits)**, **2-1/2 bytes (20bits)**, **24-bit word**, **48-bit fixed point double word**, **48-bit floating-point double word**, ή ακόμη να είναι σε μία ειδική μορφή για την δυνατότητα χρήσης της επιπρόσθετης επιλογής **dual-ported RAM**. Είναι στο σύνολο 1024 μεταβλητές, από M_0 έως M_{1023} , ενώ η ανάγνωση των περιεχομένων μπορεί να γίνει με χρήση είτε σταθεράς τιμής ανάθεσης, είτε με αναφορά σε δεύτερη μεταβλητή $M(P1+20)$. Σε αντίθετη περίπτωση όταν εγγράφουμε μία τιμή στην M μεταβλητή αυτή απαιτείται να είναι σταθερά. Για τον ορισμό των M μεταβλητών απαιτείται μία συγκεκριμένη σύνταξη, με την οποία θ' ασχοληθούμε στη συνέχεια.

M9->Y: \$10F0, 8, 8

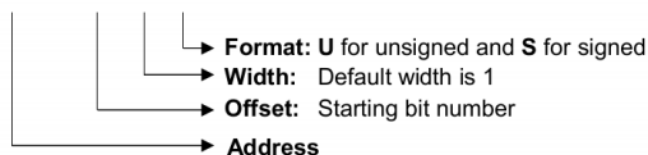
Αρχικά ορίζουμε τον αριθμό της «M-μεταβλητής», η οποία στο παράδειγμα μας αποτελεί την μεταβλητή με όνομα «M9». Στη συνέχεια ορίζουμε τον τύπο και το μέγεθος της μεταβλητής με χρήση του συμβολισμού τέλεσης ("->") και δεξιότερα όλα τα γνωρίσματα που αυτή απαιτεί. Ο ορισμός μίας μεταβλητής M είναι τύπου «modal» και με την έκφραση αυτή εννοούμε, ότι δεν υπάρχει ανάγκη επανάληψης διαδικασίας ορισμού μίας μεταβλητής, παρά μόνο στην περίπτωση που χρειαστεί αυτή ν' αλλάξει κάποια από τις ιδιότητες της.

Οι τύποι τους οποίους μπορεί να πάρει μία M μεταβλητή περιγράφονται από το σχετικό πρόθεμα κατά την διαδικασία ορισμού της, ενώ μπορεί έχουν τις επόμενες μορφές:

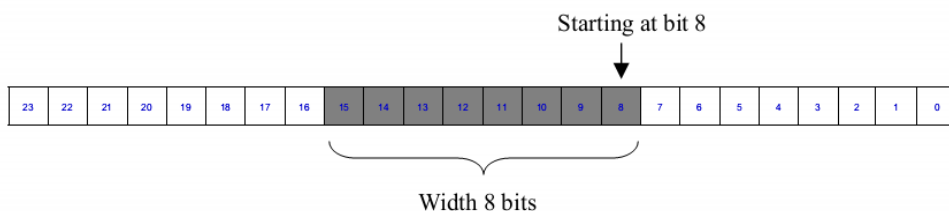
X: 1 to 24 bits fixed-point in X-memory
 Y: 1 to 24 bits fixed-point in Y-memory
 D: 48 bits fixed-point across both X- and Y-memory
 L: 48 bits floating-point across both X- and Y-memory
 DP: 32 bits fixed-point (low 16 bits of X and Y) (for use in dual-ported RAM)
 F: 32 bits floating-point (low 16 bits of X and Y) (for use in dual-ported RAM)
 TWD: Multiplexed BCD decoding from Thumbwheel port
 TWB: Multiplexed binary decoding from Thumbwheel port
 TWS: Multiplexed serial I/O decoding from Thumbwheel port
 TWR: Multiplexed serial resolver decoding from Thumbwheel port
 *: No address definition; uses part of the definition word as general-purpose variable

Δεν αρκεί όμως μόνο αυτό για την οριοθέτηση μίας M-μεταβλητής. Τις περισσότερες φορές απαιτείται να ορίσουμε τη διεύθυνση του register που επιθυμούμε, το bit έναρξης, το πλήθος των δεσμευμένων bit, καθώς και το πρότυπο αποκωδικοποίησης της πληροφορίας. Τα παραπάνω περιγράφονται πιο χαρακτηριστικά στο επόμενο παράδειγμα απεικόνισης της δέσμευσης των bit στη μνήμη.

M9->Y: \$10F0, 8, 8, U



Y: \$10F0 (open memory) bit-by-bit:



3.6 ΕΝΤΟΛΕΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Πολλές από τις εντολές που δέχεται από το χρήστη ή το περιβάλλον της η Pmac, είναι εντολές εκτέλεσης πραγματικού χρόνου. Τα σήματα που φτάνουν στον επεξεργαστή της Pmac με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, πρέπει να ξεχωριστούν ιεραρχικά και εν συνεχεία να εκτελεστούν από ένα δεύτερο

(ανάλογο της διεργασίας) επίπεδο προτεραιοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι σε διαφορετική φάση γίνεται η αναγνώριση του αιτήματος ή του εισερχόμενου γεγονότος από την Ρmac, και σε διαφορετικό η απόκριση με βάση το συγκεκριμένο ερέθισμα.

Οι εντολές εκτέλεσης πραγματικού χρόνου καλούνται εναλλακτικά και ως «On-line» εντολές, ενώ συνήθως είναι ορισμένες να εκτελούνται σε αρκετά υψηλό επίπεδο εκτελούμενης προτεραιότητας. Μετά την εκτέλεση μίας «on-line» εντολής, η πληροφορία σχετικά με την αίτηση και τα δεδομένα της εκτέλεσης δεν διατηρούνται για μετέπειτα χρήση. Έτσι είναι ανέφικτο να πραγματοποιηθεί ανάκληση σε παλαιότερες εκτελεσθείσες εντολές. Αν χρειαστεί να ελέγξουμε κάποιες από τις λειτουργίες τους, ο μόνος τρόπος που αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, είναι μέσω των αποτελεσμάτων των ενεργειών που συνέβησαν κατά τον προηγούμενο χρόνο.

Η εγγραφή συγκεκριμένων εντολών εκτέλεσης στο τερματικό επικοινωνίας του χρήστη, απαιτεί αυτός να γνωρίζει αρκετά καλά την ιδιότητα των χρησιμοποιούμενων επιλεγμένων εντολών. Υπάρχουν εντολές που μπορούν να εκτελεστούν με άμεσο τρόπο, ενώ άλλες που απαιτείται να έχει προηγηθεί μία διαδικασία εκκίνησης κατάλληλης συνεδρίας μνήμης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί παρόμοια με αυτήν της σύνταξης ενός αρχείου προγράμματος στο τερματικό αντίστοιχου υπολογιστή γραφείου, ενώ η βασική διαφορά προσεγγίζεται στο ότι το πληκτρολογούμενο πρόγραμμα εγγράφεται σε ενός είδους ενδιάμεση μνήμη. Η ενδιάμεσος αυτή μνήμη καλείται «Buffer», ενώ το τελικό πρόγραμμα μπορεί να εκτελεστεί με τη βοήθεια μίας δεύτερης εντολής σχετική με την εκκίνηση της διαδικασίας εκτέλεσης της παραπάνω συνεδρίας.

Σε περιπτώσεις όπου κληθείσες εντολές δεν ανταποκρίνονται κατάλληλα στις προδιαγραφές εκτέλεσης της κάρτας, τότε δημιουργείται κι επιστρέφεται στον χρήστη μία εγγραφή σφάλματος σχετική με το εν λόγω περιστατικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τη στιγμή δημιουργίας του σφάλματος, η Ρmac αγνοεί τα υπόλοιπα δεδομένα στην ίδια γραμμή εντολών εκτέλεσης (μέχρι δηλαδή τον πρώτο ανιχνεύσιμο χαρακτήρα «CR»). Το τελευταίο σηματοδοτεί, πως αν επιδιώκουμε την ταυτόχρονη ομαδική εκτέλεση μίας σειράς εντολών και δημιουργηθεί σε κάποια από αυτές σφάλμα, τότε ακυρώνεται η εκτέλεση και των υπολοίπων (ειδικότερα αυτών που βρίσκονται δεξιά της εντολής που δημιούργησε το σφάλμα).

Οι εντολές εκτέλεσης πραγματικού χρόνου οργανώνονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Σε εντολές σχετικά με τους **οδηγούμενους κινητήρες**, εντολές σχετικά με το **εκάστοτε επιλεγμένο σύστημα αξόνων-συντεταγμένων**, καθώς και εντολές **γενικής φύσεως** ανεξαρτήτως τύπου διασύνδεσης της Ρmac και του συστήματος υποστήριξης (PC).

Οι εντολές κινητήρων χωρίζονται σε δύο βασικές υποκατηγορίες. Στις εντολές υπεύθυνες για την προσπέλαση-ρύθμιση των κινητήρων της εκάστοτε διάταξης, και σε εντολές σχετικά με την αναφορά καταστάσεων λειτουργιών σε αυτούς.

Η πρώτη κατηγορία εντολών, αναφέρονται σε λειτουργίες όπως: την επιλογή του εκάστοτε απαιτούμενου προσπελάσιμου κινητήρα «#n», κίνηση σε διευθυνσιοδοτημένους κινητήρες «Jog», «go Home», «search Home», «open loop» καθώς και ότι σχετίζεται με ρυθμίσεις περιόδων και προδιαγραφών των εντολών κίνησης αυτών.

Η δεύτερη κατηγορία εντολών αναφοράς καταστάσεων, σχετίζεται με το πιο επιτελικό τμήμα του ελέγχου της διάταξης. Υπάρχουν πολύ λίγοι εξειδικευμένοι τύποι εντολών τέτοιων αναφορών, μερικοί από τους οποίους αναφέρονται στη θέση των κινητήρων, στην ταχύτητα περιστροφής, στο σφάλμα ακολουθίας, και εν γένει με αναφορές κατάστασης σημαντικών μεταβλητών συστήματος.

Οι τύποι εντολών ανάθεσης μεταβλητών της μορφής «**P1=1**» αποτελούν εντολές εκτέλεσης πραγματικού χρόνου, και σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας εκτελούνται άμεσα. Αυτό όμως δεν συμβαίνει και στις περιπτώσεις που έχει εκκινήσει κάποια συνεδρία τερματικού «Buffer». Αντίστοιχα εντολές του τύπου «**X1000 Y1000**», δεν αποτελούν εντολές άμεσης εκτέλεσης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να πληκτρολογούνται αποκλειστικά σε κατάσταση συνεδρίας. Στην περίπτωση αυτή οι εντολές που πληκτρολογεί ο χρήστης, ανακατευθύνονται στην περιοχή της ενδιάμεσου μνήμης με σκοπό την συγγραφή κάποιου προγράμματος κίνησης ή αντίστοιχου προγράμματος τύπου PLC, όπως αυτά που θα δούμε στις επόμενες ενότητες.

3.6.1 ΕΝΤΟΛΕΣ «JOG»

Για την εκτέλεση οποιασδήποτε on-line εντολής κινητήρα, κρίνεται απαραίτητο να έχουμε επιλέξει πρώτα κάποιον συγκεκριμένο από το σύνολο των διαθέσιμων κινητήρων για το σκοπό αυτό. Η διευθυνσιοδότηση επιτυγχάνεται με την εντολή «**#n**», ενώ τη θέση του χαρακτήρα «n» αντικαθιστά ο αριθμός του προς επιλογή κινητήρα, με ενδεικτικό εύρος τιμών από 1 έως 8 (για την βασική έκδοση της Ρmac). Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω, αν πληκτρολογήσαμε την γραμμή κώδικα «**#1J+#2J-**» στο τερματικό χρήστη, θα διευθυνσιοδοτούνταν σειριακά οι κινητήρες «ένα» και «δύο», εκτελώντας σχεδόν παράλληλα σε αυτούς κινήσεις στον πρώτο προς τα θετικά της φορά περιστροφής του, ενώ αντίστοιχα στον δεύτερο προς τα αρνητικά. Μερικές από τις βασικές εντολές «Jog» που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία ελέγχου των κινητήρων της διάταξης, περιγράφονται κατάλληλα στον επόμενο πίνακα:

Command	Description
J+	Jog positive indefinitely
J-	Jog negative indefinitely
J/	Jog stop (closed-loop stop)
J=	Jog back to last programmed position
J={constant}	Jog to specified absolute position (cts)
J^{constant}	Jog specified incremental distance relative to current actual position (cts)
J: {constant}	Jog specified incremental distance relative to present commanded position (cts)

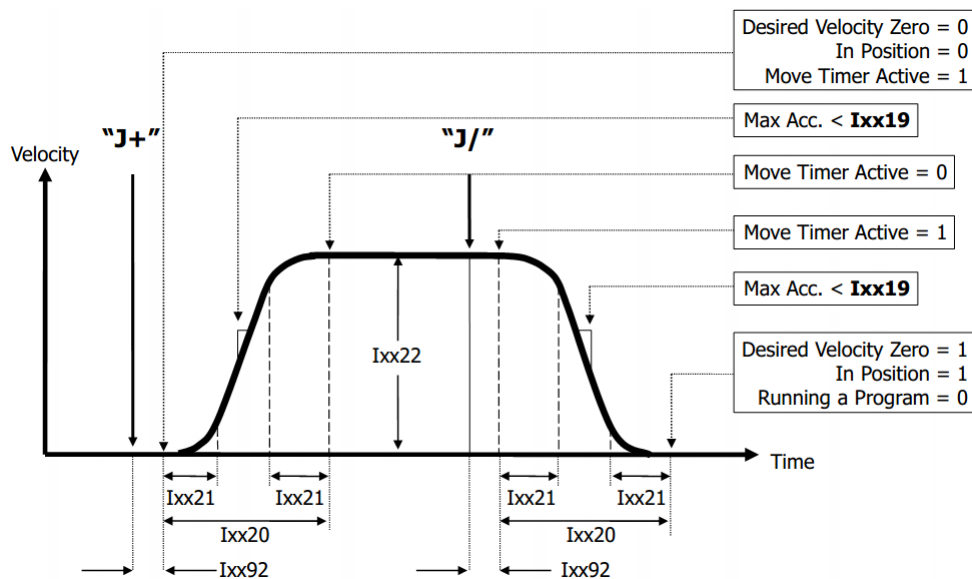
Πίνακας . Βασικές εντολές Jog για την κίνηση των κινητήρων της διάταξης

Η εντολή διευθυνσιοδότησης κινητήρα «**#n**» είναι τύπου "modal". Αυτό σημαίνει πώς αν δεν αλλάξουμε ρητά τον επιλεγμένο κινητήρα με επανεκτέλεση της συγκεκριμένης εντολής, όλες οι επόμενες ενέργειες απευθύνονται αποκλειστικά στον αρχικά επιλεγμένο κινητήρα.

Η κίνηση των κινητήρων σε αυτό το επίπεδο ελέγχου δεν μπορεί να μετρηθεί συμβατικά, αλλά πραγματοποιείται αποκλειστικά με μέτρηση παλμών ανατροφοδότησης του συσχετιζόμενου με τον κινητήρα αισθητήρων ανάδρασης. Έτσι οι εντολές Jog, μας επιτρέπουν να κινηθούμε μετρώντας παλμούς άλλοτε προς τα θετικά της περιστροφής του κινητήρα και άλλοτε προς τα αρνητικά, ενώ μας παρέχεται η δυνατότητα αν το επιθυμούμε να επιστρέψουμε στην τελευταία θέση πριν την εκτέλεση των εντολών μετακίνησης Jog.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι πρωταρχικές εντολές «J+» και «J-» εκκινούν μία διαδικασία κίνησης των κινητήρων χωρίς να ελέγχεται άλλη παράμετρος ασφαλείας ως προς την φύση της κίνησης. Αντίθετα ο τερματισμός τους, δεν πραγματοποιείται αυτόματα αλλά θα πρέπει να εκτελεστεί η αντίστοιχη εντολή παύσης «J/».

Για λόγους ασφαλείας και αποφυγή καταστροφικών συνεπειών στην οδηγούμενη διάταξη, κρίνεται απαραίτητο να έχουμε φροντίσει ώστε οι παράμετροι ταχύτητας και επιτάχυνσης των παραπάνω να είναι σχετικά μικρές, πριν εκτελέσουμε για πρώτη φορά κάποια εντολή Jog η άλλη εντολή κίνησης. Επιπρόσθετα, πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι οι διακοπές στους τερματικούς διακόπτες της διάταξης είναι ενεργοποιημένες και πως έχει επιβεβαιωθεί ότι αυτές ενεργοποιούνται σωστά.



Σχήμα . Εμφάνιση τροχιάς ταχύτητα της κίνησης Jog.

Η ταχύτητα και η επιτάχυνση εμφανίζονται ρητά κατά την εκτέλεση μίας εντολής Jog. Πιο ειδικά, διακρίνονται χαρακτηριστικές περιόδους που προσδίδουν τιμές στα παραπάνω γνωρίσματα, ενώ παρατηρούμε ότι η κίνηση ξεκινά αρκετά ομαλά με μία γραμμική αύξηση και μείωση της επιτάχυνσης μέχρι ενός μεγίστου ορίου ταχύτητας, και στη συνέχεια εκμηδενίζονται με τον ίδιο καλά ορισμένο και γενικά ομαλό τρόπο.

Υπεύθυνες για τον τρόπο και την ποιότητα της κίνησης των εντολών Jog, είναι κάποιες I-μεταβλητές στη μνήμη της Ρmac. Οι Ix19, Ix20, Ix21 και Ix22 καθορίζουν τα αντίστοιχα γνωρίσματα σχετικά με τη μέγιστη επιτρεπόμενη επιτάχυνση, την περίοδο επιτάχυνσης-επιβράδυνσης, την καμπύλη ταχύτητας «S», καθώς και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κίνησης. Οι παραπάνω τιμές

θα πρέπει να είναι προσεκτικά βαλμένες, μιας και που υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί από το λογισμικό και την φύση της λειτουργίας. Οι Ιχ20 και Ιχ21 δεν πρέπει ποτέ να είναι και οι δύο μηδενικές γιατί σ' αυτή την περίπτωση θα παρουσιαστεί σφάλμα διαίρεσης με μηδέν στον αλγόριθμο κίνησης, οδηγώντας τελικά σε μία αρκετά ακανόνιστη λειτουργία. Στην περίπτωση που η Ιχ20 είναι μικρότερη από δύο φορές την Ιχ21, τότε η Ιχ20 αυτορυθμίζεται στο χαμηλότερο δυνατό μέγεθος που είναι δυο φορές η τιμή της Ιχ21. Στην περίπτωση που οι Ιχ20 και Ιχ21 είναι αρκετά μικρές και η κλίση της Ιχ19 τις υπερβαίνει, την επιτάχυνση ρυθμίζει αποκλειστικά η Ιχ19 αδιαφορώντας για βελτιστοποίηση καμπύλης «S» και χρόνου κορυφής μέγιστης ταχύτητας. Οι ελάχιστες τιμές επιτάχυνσης για τις Ιχ20 και Ιχ21, πρέπει να είναι ένα και μηδέν αντίστοιχα ώστε να μην προκαλούνται σφάλματα αδρανοποίησης της εξόδου. Τέλος, η Ιχ22 συμβάλει στον έλεγχο της μέγιστης δυνατής ταχύτητας με την οποία μπορεί να εκτελεστεί μία εντολή Jog, ενώ μετράται σε παλμούς ανάδρασης ανά milliseconds.

Πέρα από τις συμβατικές εντολές απόλυτης τιμής ανάθεσης, υπάρχουν και εναλλακτικές μορφές εντολών Jog, με τις οποίες μπορεί κανείς να ορίσει έμμεσα την θεμιτή τιμή μετάβασης, ορίζοντας κατάλληλα μία M-μεταβλητή που φιλοξενεί τα δεδομένα θέσης ξεχωριστά για κάθε ένα κινητήρα.

Command	Description
J=*	Jog to position (in counts) specified in the variable jog register
J^+	Jog the incremental distance specified in the variable jog register relative to present actual position
J:*	Jog the incremental distance specified in the variable jog register relative to present commanded position

Πίνακας . Εντολές Jog ανάθεσης εξωτερικής μεταβλητής M.

Όλοι οι κινητήρες φιλοξενούν μία εξειδικευμένη διεύθυνση μνήμης για το συγκεκριμένο σκοπό. Οι θέσεις (L:\$082B για τον κινητήρα ένα, L:\$08EB για τον κινητήρα δύο κτλ.), είναι σχεδιασμένες να φιλοξενούν είτε θέση μετάβασης είτε απόσταση κίνησης και χρησιμοποιούνται για να φιλοξενούν τα δεδομένα μετάβασης της επόμενης κλήσης.

Μία επιπλέον ελευθερία που παρέχεται στις εντολές Jog, είναι η χρήση διακοπών. Οι διακοπές είναι πολύ σημαντικές στην έγκαιρη αναγνώριση και αποτελεσματική διαχείριση των σχετικών συμβάντων. Η εκτέλεση μιας εντολής σε παραλληλία με την κανονική εκτέλεση της κίνησης Jog επιτρέπει τον έλεγχο της διακοπής για όλο το διάστημα της κίνησης, εκτελώντας μία προκαθορισμένη τερματική κίνηση σε συσχέτιση με το τελικό σημείο προορισμού (εάν φυσικά ενεργοποιηθεί η σχετική διακοπή). Η λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με αυτή που πραγματοποιείται κατά την εκτέλεση εύρεσης του σημείου εκκίνησης «HOME», μόνο που σε αυτή την περίπτωση δεν αλλάζει το αρχικό σημείο εκκίνησης.

Η συγκεκριμένη λειτουργία ορίζεται ξεχωριστά για κάθε κινητήρα, με την πρόσθεση στο τέλος της εντολής Jog μίας εγγραφής $\wedge\{\text{constant}\}$. Ανάλογα με την τιμή που έχει αυτή η σταθερά (θετική ή αρνητική), τόση απόκλιση σε παλμούς ανάδρασης θα έχει και το σημείο μετάβασης (με εφαρμογή της σχετικής διακοπής), από το αρχικά προκαθορισμένο.

J=10000 \wedge 100 , J=* \wedge -50 or J: 50000 \wedge 0.

Στα παραδείγματα, η τιμή πριν το σύμβολο εκθέτη « \wedge » αποτελεί την τελική θεμιτή τιμή μετάβασης, ενώ δεξιά του είναι ο αριθμός σε παλμούς ανάδρασης που τελικά η διάταξη θα αποκλίνει σε περίπτωση εμφάνισης της σχετικής διακοπής.

3.6.2 ΕΝΤΟΛΗ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ «HOME»

Οι εντολές «Homing» αποτελούν μια ιδιαίτερη περίπτωση εντολών Jog. Συνδυάζουν αποδοτικά τη χρήση διακοπών, ενώ έχουν σαν βασικό σκοπό την εύρεση μίας βασικής θέσης αναφοράς απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία των αξόνων κίνησης μίας διάταξης. Η θέση αναφοράς κάθε άξονα είναι τις περισσότερες φορές δεδομένη και ορίζεται σαν ένα σημείο στην αρχή ή το μέσο της διαδρομής του άξονα κίνησης. Ωστόσο, κάτι τέτοιο προϋποθέτει ότι η διάταξη που μας ενδιαφέρει φιλοξενεί τον κατάλληλο σχετικό εξοπλισμό και είναι σε θέση ν' ανιχνεύει τα συγκεκριμένα ειδικά σημεία.

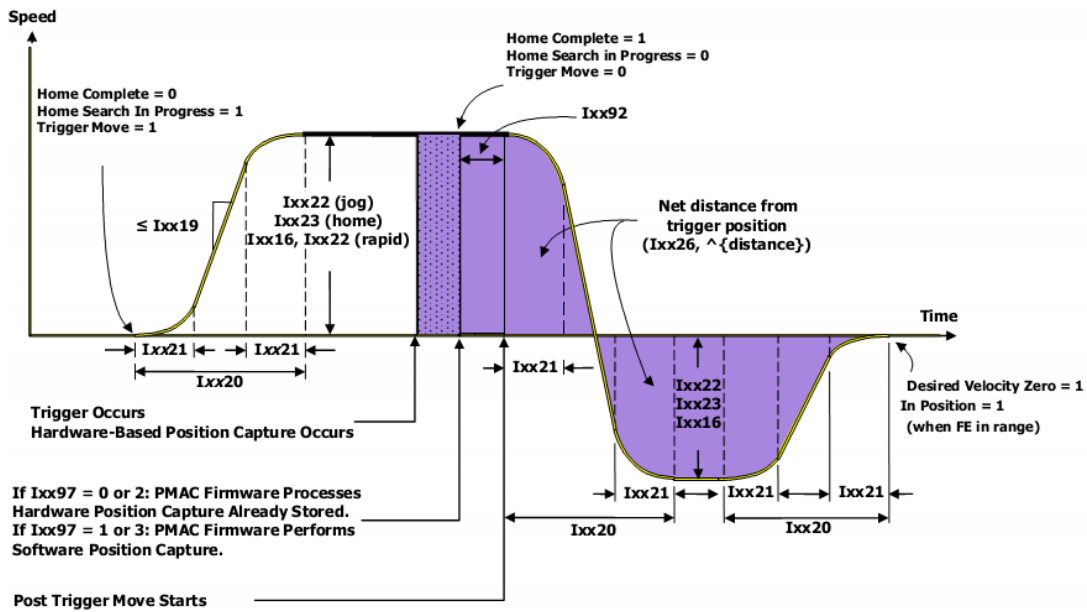
Στην περίπτωση που η διάταξη πρόωσης δεν διαθέτει απόλυτο σύστημα ανάδρασης, τότε πριν την εκτέλεση κάποιας εντολής Jog και για τουλάχιστον μια φορά μετά από κάθε εκκίνηση της μηχανής, πρέπει να εκτελείται μία διαδικασία αρχικοποίησης.

Η φιλοσοφία των εντολών αρχικοποίησης ή «Homing» είναι αρκετά απλή. Μετά από κάθε εκκίνηση της Ρmac, η αναφορά που αυτή έχει για τις θέσεις των αξόνων κίνησης, είναι στο σημείο μηδέν. Στην πραγματικότητα οι διατάξεις βρίσκονται σε μια μη καθορισμένη θέση, πιθανόν εκεί που ευρίσκοντο πριν τον τελευταίο τερματισμό της. Με την εκτέλεση ωστόσο της εντολής «**HOME**» ή «**HM**», η Ρmac καλείται να ενεργοποιήσει μία διαδικασία εύρεσης-αρχικοποίησης του εκάστοτε διευθυνσιοδοτημένου κινητήρα πρόωσης. Η διεύθυνση κίνησης, η ταχύτητα και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη που περιγράφουν την μορφή της εκτελούμενης κίνησης, μπορούν να παραμετροποιηθούν κατάλληλα μέσω εγγραφής σε κάποιες I-μεταβλητές μνήμης της Ρmac.

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας, θα πρέπει να έχουν οριστεί οι κατάλληλες διακοπές για το σκοπό αυτό. Η Ρmac φιλοξενεί δύο είδη διακοπών. Το πρώτο αναφέρεται στην αναγνώριση συμβάντων εισόδου από αποκωδικοποιητές ή άλλες εισερχόμενες πηγές, ενώ το δεύτερο στα συμβάντα που προκλήθηκαν από λανθασμένες λειτουργίες ή γενικότερα συμβάντα ειδικού σκοπού.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να οριστεί η επιλογή διακοπής για την πυροδότηση της θέσης αναφοράς «Home» είναι αρκετοί. Συνήθως για το σκοπό αυτό έχει τοποθετηθεί ένας επιπλέον τερματικός διακόπτης κοντά σε κάθε αξονική διάταξη, και πυροδοτεί τη σχετική διακοπή αναρρύθμισης της θέσης μηδέν.

Η απόκριση μιας εντολής αναζήτησης «HM» αναπαρίσταται κατάλληλα στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα . Αναπαράσταση τροχιάς ταχύτητας εντολής "Home".

Παρατηρώντας την καμπύλη ταχύτητας του παραπάνω σχήματος, η εκκίνηση της διεργασίας δεν διαφοροποιείται κατά πολύ από αυτήν μίας απλής εντολής Jog. Για την ακρίβεια η αρχική κίνηση περιγράφεται από τις ίδιες I-μεταβλητές της Jog, με επιπλέον τις Ix16, Ix23, Ix26, Ix92 και Ix97, που είναι αφιερωμένες καθαρά σε ότι έχει να κάνει με την συμπεριφορά στα τερματικά τμήματα της διάταξης και την ομαλή επαναφορά στο σημείο πυροδότησης μηδέν. Για την πλήρη εικόνα των μεταβλητών που ελέγχουν την συμπεριφορά της παραπάνω εντολής παραθέτουμε τον επόμενο πίνακα I-μεταβλητών.

Ixx16: Motor xx Maximum Program Velocity	Ixx23: Motor xx Home Speed and Direction
Ixx19: Motor xx Maximum Jog/Home Acceleration	Ixx26: Motor xx Home Offset
Ixx20: Motor xx Jog/Home Acceleration Time	Ixx92: Motor xx Jog Move Calculation Time
Ixx21: Motor xx Jog/Home S-Curve Time	Ixx97: Motor xx Position Capture & Trigger Mode
Ixx22: Motor xx Jog Speed	

Πίνακας . Περιγραφή I-μεταβλητών καθορισμού συμπεριφοράς εντολών Homing.

Αν χρειαστούμε τη μηδενική τιμή σε κάποιο άλλο σημείο, παρέχονται οι επόμενες πρακτικές.

Κατά την πρώτη μπορούμε να αρχικοποιήσουμε κανονικά τη διάταξη στο μηχανικό σημείο «μηδέν», κάπου στην αρχή του άξονα. Στη συνέχεια μοντελοποιούμε μέσω λογισμικού τη θέση μηδέν, με βάση τη διαφορά όλων των τιμών του προγράμματος από την τιμή offset, που αποτελεί την επιθυμητή τιμή μηδενισμού. Φυσικά αυτό απαιτεί να είναι εφικτή η επέμβαση στον κώδικα του εκτελέσιμου προγράμματος. Η δεύτερη δυνατότητα μπορεί να εμπεριέχει την μεταφορά του τερματικού διακόπτη της διάταξης στην περιοχή του επιθυμητού σημείου, και ρύθμιση των μεταβλητών «I» ώστε να πετύχουμε το ακριβές σημείο αρχικοποίησης. Η συγκεκριμένη επιλογή βέβαια, επιβάλλει μια σειρά από επεμβάσεις στο υλικό μέρος της διάταξης και για το λόγο αυτό δεν θεωρείται η πλέον αποδοτική, ειδικά εάν παρατηρούνται συχνές εναλλαγές στη θέση του επιθυμητού σημείου.

Τέλος, μία καλύτερη δυνατότητα, είναι αυτή της εκτέλεσης της εντολής «**HOMEX**». Η διαδικασία έχει ως εξής: Αρχικά πρέπει να γίνει η εύρεση της πραγματικής μηχανικής θέσης «μηδέν». Στη συνέχεια, με τη βοήθεια μίας εντολής jog μεταβαίνουμε στο επιθυμητό σημείο μηδενισμού «Offset». Τέλος, εκτελούμε την on-line εντολή «Homez». Η συγκεκριμένη θα φροντίσει ώστε να γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στους καταχωρητές θέσης όλων των αξόνων, ώστε το επιλεγμένο σημείο ν' αποτελεί πλέον το νέο σημείο μηδενισμού της διάταξης.

Όπως έχουμε αναφέρει πρωτύτερα, για την σωστή και ασφαλή εκτέλεση των παραπάνω διεργασιών, οφείλουμε κατά τη διαδικασία πειραματισμού με την μηχανική μας διάταξη, να υπάρχει ενεργός έλεγχος τερματικών διακοπών και ασφάλεια υπέρβασης ροπής στους κινητήρες αυτής. Περισσότερα σχετικά με τη λειτουργία και τη ρύθμιση των τερματικών διακοπών θα δούμε στο κεφάλαιο πέντε, σχετικά με την παραμετροποίηση της Pmac.

3.6.3 ΕΝΤΟΛΕΣ OPEN-LOOP

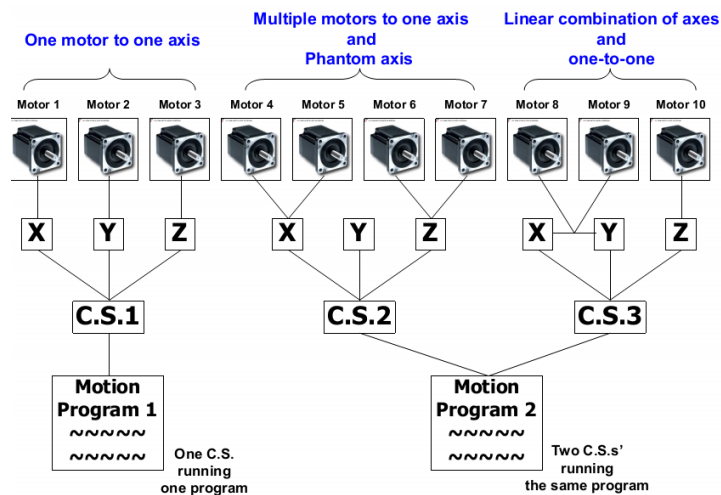
Πρόκειται για υλοποίηση κίνησης των κινητήρων μιας διάταξης, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη την ανάδραση θέσης κλειστού βρόχου. Η εκτέλεση της πραγματοποιεί το άνοιγμα του βρόχου ανάδρασης της Pmac και εν συνεχεία πραγματοποιεί την κίνηση συνυπολογίζοντας το θεμιτό βαθμό απόδοσης της εξόδου του κινητήρα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιείται για διαγνωστικούς σκοπούς, ή την παραμετροποίηση της λειτουργίας απόκρισης των ενισχυτών διατάξεων, ωστόσο σε περιπτώσεις μπορεί ν' αποτελεί μέρος κανονικών προγραμμάτων κίνησης.

Η έναρξη της συγκεκριμένης διαδικασίας πραγματοποιείται με την εκτέλεση της εντολής **O {constant}**. Η συγκεκριμένη είναι μία On-line διεργασία, ενώ στη θέση της σταθεράς **{constant}** πρέπει να μπει το ποσοστό του βαθμού απόδοσης της εξόδου του κινητήρα. Η τιμή σταθεράς **{constant}** ρυθμίζεται σε σχέση με την τιμή της μεταβλητής Ix69, που αποτελεί τη μέγιστη δυνατή απόδοση του κινητήρα. Η παραπάνω εντολή είναι συσχετισμένη ξεχωριστά για κάθε κινητήρα της διάταξης, ενώ η ίδια μπορεί ν' αποτελεί ή όχι μέρος κάποιου εξειδικευμένου προγράμματος κίνησης.

Στην περίπτωση που απαιτείται η χρήση **μεταβλητής** στη θέση της **σταθεράς {constant}**, τότε μπορούμε να ορίσουμε μία κατάλληλη M-μεταβλητή. Ορίζοντας μία μεταβλητή M να δείχνει στον καταχωρητή αποτελέσματος φίλτρου «Filter result register» (X:\$003A, για τον κινητήρα ένα), μπορούμε αφού εκτελέσουμε την εντολή **Oo**, να κάνουμε τη σχετική ανάθεση στην M-μεταβλητή και ουσιαστικά να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα με έμμεσο τρόπο.

3.7 ΑΞΟΝΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

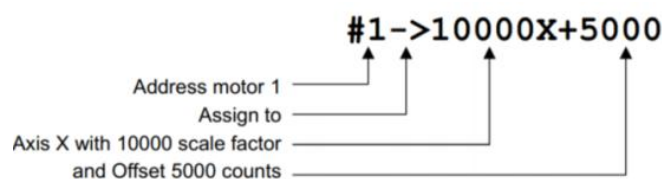
Η Pmac έχει τη δυνατότητα να οδηγεί μέχρι «τριάντα δύο» παράλληλους κινητήρες. Διαθέτει «εννέα» διαφορετικούς άξονες αναφορών, ενώ για κάθε ένα που χρησιμοποιεί έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται έως «οκτώ» παράλληλους κινητήρες αλληλεπίδρασης. Κάθε σύστημα συντεταγμένων μπορεί να ορίζεται από διαφορετικούς άξονες αναφοράς, ενώ τα συστήματα των συντεταγμένων είναι το πολύ δέκα έξι, βλ. Εικόνα .



Εικόνα . Δυνατότητες διασύνδεσης Κινητήρων, αξόνων και συστημάτων συντεταγμένων.

Ενδεικτικά, είναι ικανή να συνδυάζει αρκετούς κινητήρες ανά άξονα κίνησης, διαφορετικούς άξονες για κάθε σύστημα συντεταγμένων, ενώ μπορεί να εκτελεί παράλληλα προγράμματα κίνησης σε διαφορετικά υποσυστήματα, και όλα αυτά κάτω από το ίδιο επεξεργαστικό περιβάλλον.

Οι άξονες αναφορών αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο εποπτείας της κίνησης στην μηχανή της Pmac. Οι εντολές εκτέλεσης προγράμματος, μπορούν να εκτελεστούν μόνο σε ενεργούς άξονες αναφορών, ενώ αυτοί μπορούν να περιγραφούν με χρήση κάποιου από τα ενδεδειγμένα για το σκοπό αυτό γράμματα: {X,Y,Z}, [U,V,W], [A,B,C]}. Για κάθε άξονα χρειάζεται να οριστούν παράλληλα και οι μονάδες μέτρησης σε αναλογία με τους παλμούς ανάδρασης. Επιπρόσθετα, δίνεται η δυνατότητα να ορίζεται ένας επιπλέον αριθμός επονομαζόμενο «offset», με τη βοήθεια του οποίου ορίζεται η θέση αρχικοποίησης «μηδέν» του συγκεκριμένου άξονα. Ο αριθμός αυτός ορίζεται σαν απόσταση, υπό τη μορφή παλμών ανάδρασης από την μηχανική θέση «Home» του κινητήρα. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα παραπάνω εκτελούμε την επόμενη δήλωση:



Με την παραπάνω, ορίζουμε τον κινητήρα «ένα» ν' ανήκει στον άξονα των X με υποδιαίρεση για κάθε μονάδα κίνησης του X, 10000 παλμούς εισόδου από τον αποκωδικοποιητή θέσης του κινητήρα «ένα». Αντίστοιχα, το σημείο μηδέν για τον άξονα των X, θα είναι 5000 παλμοί προς την θετική φορά του άξονα σε σχέση με το μηχανικό σημείο αρχικοποίησης του κινητήρα «Home».

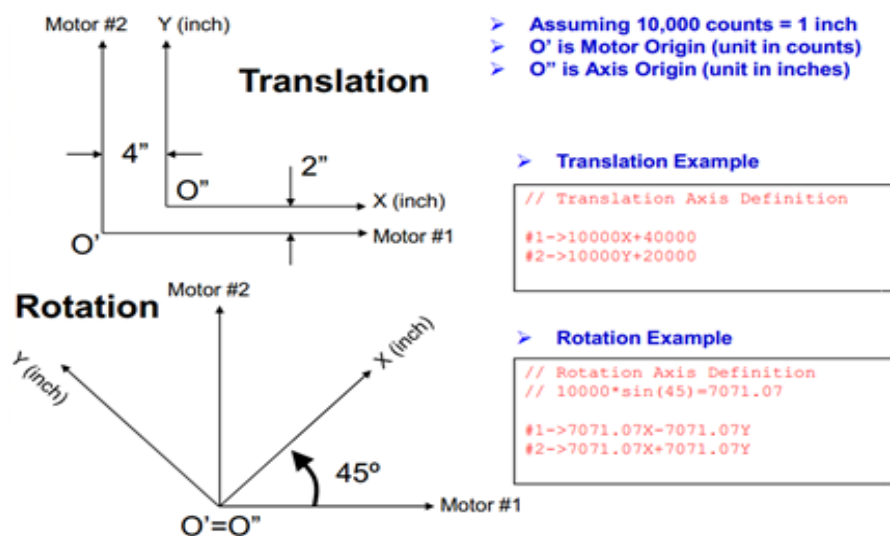
Σαν καρτεσιανό σύστημα ορίζουμε τη δυνατότητα ομαδοποίησης δύο ή τριών αξόνων αναφοράς με τρόπο τέτοιο ώστε κάθε κίνηση στο επίπεδο που ορίζεται από αυτούς (X, Y, Z), ν' αποτελεί ένα γραμμικό συνδυασμό από κινήσεις των ανεξάρτητων κινητήρων του. Επιπλέον, στο παραπάνω σύστημα υπάρχει η δυνατότητα να εκτελεστούν πέρα από την κανονική γραμμική κίνηση των παραπάνω αξόνων, και περιστροφή του πλαισίου αυτών. Αυτό επιτελείται με τη βοήθεια των I, J και K πινάκων της Pmac, που έχουν σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό. Στην περίπτωση που χρειαστεί να γίνει

γραμμικός συνδυασμός δύο ή περισσότερων κινητήρων για ένα άξονα, αυτό πραγματοποιείται με επέκταση της κανονικής δήλωσης, όπως στο επόμενο παράδειγμα:

$$\#1 \rightarrow 8660.25X - 5000Y$$

$$\#2 \rightarrow 5000X + 8660.25Y$$

Στην περίπτωση αυτή, έχουμε μία περιστροφή 30° στο καρτεσιανό σύστημα, ενώ κάθε κίνηση κατά τον άξονα X (ή αντίστοιχα Y), υποχρεώνει σε κίνηση και τους δύο σχετιζόμενους κινητήρες (1, 2). Οι δυνατότητες κυκλικής παρεμβολής, εξομάλυνσης ακμών και μεταφοράς πλαισίου αναφορών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μόνο για τους άξονες X, Y, Z, ενώ αν θέλουμε αυτό να εφαρμοστεί και στους υπολοίπους, θα πρέπει να το κάνουμε συμβατικά, με εκτέλεση κατάλληλων συντεταγμένων κίνησης αυτών.



Εικόνα . Δυνατότητα επιλογής γραμμικού ή περιστροφικού συστήματος αναφορών.

Σαν **περιστροφικό σύστημα** ορίζεται ένα σύστημα αναφορών αξονικών περιστροφών, αλλά με αδυναμία συσχέτισης των κινήσεων των κινητήρων του. Στα συστήματα αυτά παρέχεται η δυνατότητα πλήρων περιστροφών ελεγχόμενων από την κατάσταση της μεταβλητής Iχχ27, καθώς αντίστοιχες δυνατότητες επιλογής βέλτιστης τροχιάς κίνησης.

Τέλος σαν **άξονας συνισταμένης ταχύτητας ορίζεται** ένα **καρτεσιανό** σύστημα αναφοράς, στο οποίο εκτελούνται κατάλληλοι υπολογισμοί ώστε οι κινήσεις στους αντίστοιχους κινητήρες να εκτελούνται με βάση μία σταθερή συνισταμένη ταχύτητα του τελικού κινούμενου σημείου. Ο υπολογισμός συνισταμένης ταχύτητας γίνεται με τη βοήθεια πινάκων απόκλισης ταχύτητας για κάθε κινητήρα διαιρούμενο με τον αντίστοιχο χρόνο κίνησης, ενώ οι προκαθορισμένοι άξονες συνισταμένης ταχύτητας είναι οι X, Y, Z.

Ένα σύστημα συντεταγμένων ορίζεται σαν μία ομάδα από διαφορετικούς άξονες κίνησης, συντεταγμένους κάτω από την ίδια βάση χρονισμού. Σαν βάση χρονισμού ορίζεται το μικρότερο δυνατό βήμα εκτέλεσης μίας εντολής προγράμματος κίνησης και είναι υπεύθυνο για την επιτήρηση της ταχύτητας αλλά και το συγχρονισμό σύνθετων κινήσεων ανάμεσα στους άμεσα διευθυνσιοδοτημένους κινητήρες. Ένα σύστημα συντεταγμένων έχει τη δυνατότητα να εκτελεί

προγράμματα κίνησης, ακόμη κι αν σε αυτό είναι εγγεγραμμένος μόνο ένας κινητήρας. Το αντίθετο όμως δεν είναι εφικτό. Κινητήρες που δεν έχουν εγγραφεί σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων, δεν μπορούν να εκτελέσουν κάποιο πρόγραμμα εντολών κίνησης παρά μόνο εντολές μετάβασης θέσης Jog.

Στη γενική περίπτωση, αν χρειαζόμαστε κάποιους κινητήρες να λειτουργούν υπό μορφή συντεταγμένης κίνησης, τότε η καλύτερη ιδέα είναι να τους εντάξουμε στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, ενώ αν τους χρειαζόμαστε να λειτουργούν καθ' όλα ανεξάρτητα, τότε το σοφότερο θα ήταν να τοποθετηθούν σε διαφορετικά συστήματα. Γενικώς, διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων μπορούν να εκτελούν διαφορετικά ή ίδια προγράμματα κίνησης, σε διαφορετικούς ή αλληλεπικαλυπτόμενους χρόνους εκτέλεσης.

Με βάση την συγκεκριμένη λογική, εύκολα κατανοούμε ότι για να ορίσουμε ένα σύστημα συντεταγμένων, θα πρέπει αρχικά να εγγράψουμε τους κινητήρες στα κατάλληλα συστήματα αξόνων κίνησης, και εν συνεχεία να ορίσουμε τους επιθυμητούς άξονες στο άμεσα προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιγράφεται σχετικά στο επόμενο απόσπασμα κώδικα, ενώ η επιλογή του συστήματος πραγματοποιείται με την εκτέλεση της εντολής «&n», και όπου «n» ο αριθμός του επιθυμητού συστήματος.

```

> Define a coordinate system
  Clear all previous definition with following commands
  Undefine           ; Clear axis definition of current addressed C.S.
  Undefine All       ; Clear axis definition of all C.S.
  #n->0              ; Assign all motors to zero (undefined) axes
  Now address a C.S. and assign motors to axes in that C.S.

> Preliminary Example (No Scale Factor)
  // Axis and Coordinate System Definition
  Undefine All       ; clear all axis definition of all C.S.
  &1                 ; address C.S. 1 using "&"
  #1->X              ; address Motor 1 using "#"
                    ; assign Motor 1 to X axis using "->"
  &2                 ; address C.S. 2
  #2->X              ; assign Motor 2 to X axis in C.S. 2
  #3->Y              ; assign Motor 3 to Y axis in C.S. 2

```

Οι εντολές «Undefine» και «Undefine all» είναι απαραίτητες σε κάθε επαναπροσδιορισμό ενός συστήματος συντεταγμένων, για το λόγο του ότι η εγγραφή κινητήρων σ' αυτό, υπό μορφή αξόνων και κινητήρων, είναι πάντα προσθετική.

3.8 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η Pmac υλοποιεί ίσως την καλύτερη δυνατή μίξη προγραμματισμού. Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά που μπορεί να παρέχει μία γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου (όπως πχ. η Visual Basic), ενώ ταυτόχρονα εκμεταλλεύεται τη λειτουργικότητα που αποδίδουν οι χαμηλότερου επιπέδου εντολές μηχανής «G-code» (RS-274) (Ger).

Μπορεί να φιλοξενεί στη μνήμη της ανά πάσα στιγμή 224 προγράμματα κίνησης, ενώ κάθε σύστημα συντεταγμένων μπορεί να τρέχει οποιοδήποτε από τα αποθηκευμένα προγράμματα ανεξάρτητα από το αν κάποιο άλλο τρέχει ακριβώς το ίδιο πρόγραμμα. Έχει τη δυνατότητα να εκτελεί οκτώ παράλληλα προγράμματα, όσα είναι και τα συστήματα συντεταγμένων που μπορεί να διαχειριστεί, ενώ κάθε πρόγραμμα κίνησης μπορεί να κάνει κλήσεις σε οποιοδήποτε άλλο, διαβιβάζοντας αν κρίνεται απαραίτητο σε κάθε περίπτωση τα σχετικά ορίσματα.

Έχοντας κάνει κατάλληλη παραμετροποίηση στον τρόπο με τον οποίο η Pmac μεταφράζει εντολές στο εσωτερικό της, έχει τη δυνατότητα να εκτελεί αυτούσια προγράμματα κώδικα μηχανής «G». Διαθέτει όλες τις υπολογιστικές και λογικές δομές διαβίβασης εντολών ίδιες με αυτές που υλοποιούνται από μία ισχυρή γλώσσα υπολογιστή, ενώ είναι σε θέση να εκτελεί μαθηματικές και λογικές πράξεις, όπως αυτές εκτελούνται σε ανάλογες εφαρμογές PLC (Pro).

Τα προγράμματα που δύνανται να εκτελεστούν από την Pmac, επιβάλλεται να συντάσσονται σχεδόν πάντα υπό τη μορφή χαρακτήρων κειμένου. Η εγγραφή γίνεται, είτε κατευθείαν στο τερματικό διασύνδεσης χρήστη από το σύστημα υποστήριξης, είτε σ' ένα αρχείο κανονικού κειμένου και εν συνεχεία μεταβιβάζονται μέσω του σειριακού διαύλου σ' αυτή. Η εκτέλεση του παραπάνω κώδικα γίνεται σε επόμενο βήμα, με κατάλληλη διαδικασία εκκίνησης, παύσης, ή ακόμη και βηματικής εκτέλεσης στις γραμμές των εντολών του σχετικού αρχείου.

Η κατασκευή ενός προγράμματος κίνησης αποτελείται από τα επόμενα βήματα:

- Ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων με τους άξονες και τους κινητήρες αυτών.
- Εκκινούμε μία κατάλληλη συνεδρία «Buffer» ώστε ν' αρχίσουμε την εγγραφή του προγράμματος.
- Επιλέγουμε μία εντολή κίνησης ανάμεσα στις (Linear, Circle1, Circle2, Spline1, Spline2, Rapid, ή PVT).
- Επιλέγουμε τον τρόπο μέτρησης του συστήματος κίνησης ανάμεσα σε απόλυτο και βηματικό.
- Ορίζουμε την μέγιστη ταχύτητα κίνησης, επιτάχυνσης και χρόνων χρονισμού.
- Εισάγουμε την επιθυμητή τροχιά κίνησης.
- Κατεβάζουμε το πρόγραμμα στην Pmac, και τέλος,
- επιβλέπουμε την εκτέλεση του με την εντολή «&n Bm R», όπου n είναι ο αριθμός του εκτελούμενου συστήματος συντεταγμένων και m ο αριθμός του προγράμματος κίνησης που θέλουμε να εκτελεστεί.

Η μηχανή εκτέλεσης της Pmac υποστηρίζει αρκετά υψηλού επιπέδου εντολές ροής εκτέλεσης όπως οι «while..loop» και «If..else», ενώ παράλληλα συνυπάρχουν λογικοί και αριθμητικοί τελεστές πράξεων. Υποστηρίζονται εντολές «Case» με εκτέλεση της εντολής «Go to», ενώ η κλήση «Call» ή «Go Sub» προσφέρει τη δυνατότητα να εκτελούμε κλήσεις σε υπορουτίνες ή κλήση σε άλλα προγράμματα της Pmac. Η δυναμική κλήση σε υπορουτίνες μπορεί να φτάσει μέχρι το δέκατο πέμπτο επίπεδο αναδρομής. Ωστόσο για να εκτελεστεί μία κλήση Call, θα πρέπει να οριστεί ο αριθμός προγράμματος και η επιθυμητή γραμμή μετάβασης. Αυτό πραγματοποιείται με την επόμενη σύνταξη:

CALL 20.15000

Η παραπάνω κλήση θα προκαλέσει τον τελεστή θέσης εκτέλεσης να μεταβεί στο πρόγραμμα με αριθμό 20 και σειρά N15000, όπου δύναται να συνεχίσει την εκτέλεση κανονικά μέχρι να ολοκληρωθούν οι εγγραφές του παρόντος αρχείου, ή να διαβαστεί κάποια εντολή επιστροφής «Return».

Στο επόμενο τμήμα κώδικα παραθέτουμε συνοπτικά τα βήματα εργασίας-κατασκευή ενός προγράμματος κίνησης:

```
// Step 1: Define Coordinate System (C.S.) and Axis Definitions
&1                ; Select C.S. #1
#1->1000X          ; Assign motor 1 to the X axis w/ 1000 counts per user unit
#2->500Y           ; Assign motor 2 to the Y axis w/ 500 counts per user unit

// Step 2: Create opening bracket of motion program
Open Prog 1 Clear ; Opening bracket, defining this as Prog 1

// Step 3: Define Move Mode
Linear             ; Select linear move mode

// Step 4: Define Position Programming Modes
Abs               ; Selects absolute position programming mode

// Step 5: Define Speed, Acceleration, and Move Time Parameters
TA 125            ; 125 ms acceleration time
TS 35             ; 35 ms S-Curve time
TM 1000           ; 1000 ms move time before deceleration
                  ; Total move time is TM + TA = 1125 ms
                  ; Note: Can also use feedrate (F) rather than TM

// Step 6: Program the Moves
X 10 Y 20         ; Move X to 10 user units, move Y to 20 user units
// Create closing bracket of motion program
Close             ; Closing bracket
```

Αρκετές από τις εντολές που εισάγονται στην Pmac είναι τροποποιητικές ή γνωστές ως «Modal». Αυτό σημαίνει πώς ο τύπος δεδομένων η ενεργειών που ελέγχει η αυτή παραμένει στη μνήμη του ελεγκτή μέχρι κάποια άλλη εκτέλεση να την ακυρώσει. Σ' αυτές συγκαταλέγονται οι εντολές επιλογής τροχιάς κίνησης (Linear, Circle, Spline, Rapid, και PVT), οι εντολές σχετικά με την απόλυτη θέση ή την τμηματική απόσταση (ABS/INC), καθώς οι εντολές μέγιστης ταχύτητας κίνησης και χρονισμού (F, TA, TS, και TM αντίστοιχα).

Οι εντολές εκτέλεσης κίνησης αποτελούνται από ένα γράμμα άξονα κίνησης (που αποτελεί το άμεσα επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων), ακολουθούμενο από μία ή δύο εκφράσεις σταθερής ή μεταβλητής τιμής. Οι παραπάνω εκφράσεις αναλόγως με τις επιλογές που είναι ενεργές στην κάρτα μπορεί να υποδηλώνουν θέση προορισμού, απόσταση, ή ακόμη και ταχύτητα κίνησης. Στην περίπτωση που σε μία γραμμή εκτέλεσης παραταχθούν παραπάνω από ένας άξονες κίνησης, τότε η εκτέλεση τους πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε μία συντεταγμένη κίνηση του εν λόγω συστήματος. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου η εκτέλεση πραγματοποιείται σειριακά, τότε η κίνηση μπορεί να ολοκληρώνεται κάνοντας στάσεις ανάμεσα στις διαδοχικές εκτελέσεις ή να παραμένει σε συνεχή πλήρη κίνηση, αναλόγως με τις επιλογές εκτέλεσης που έχουν γίνει ενεργές.

Έχουμε μιλήσει για τους δύο τρόπους συγγραφής κώδικα εκτέλεσης. Στο σημείο αυτό θα επικεντρωθούμε περισσότερο στον τρόπο κατά τον οποίο, η συγγραφή του κώδικα πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο από το τερματικό εκτέλεσης του χρήστη, με χρήση συνεδρίας «Buffer», και κατανοώντας την ιεραρχία των λειτουργιών του τερματικού χρήστη.

Στη γενική περίπτωση, όταν παραλαμβάνεται μία εντολή από την Ρmac μέσω της διασύνδεσης, τότε αυτή σπεύδει να την εκτελέσει και να επιστρέψει πίσω στο τερματικό τα σχετικά με την εκτέλεση αποτελέσματα. Στην περίπτωση συνεδρίας «Buffer», ο χρήστης πρέπει να ενημερώσει την Ρmac ότι οι επόμενοι αποσπελλόμενοι χαρακτήρες δεν αποτελούν σημείο άμεσης εκτέλεσης, αλλά αποτελούν απόσπασμα ενός προγράμματος κίνησης που θα πρέπει ν' αποθηκεύσει σε κατάλληλο σημείο της μνήμης της. Αυτό δε επιτυγχάνεται με σχετικές δηλώσεις εκκίνησης και τερματισμού της διαδικασίας προσωρινής αποθήκευσης «Buffer». Η δήλωση εκκίνησης γίνεται με την εντολή «**Open Prog n**», όπου η αντικαθίσταται με τον αριθμό του προγράμματος που θέλουμε ν' αποθηκεύσουμε, ενώ με την ολοκλήρωση του προγράμματος μας πληκτρολογούμε την εντολή «**Close**» επισημαίνοντας κατάλληλα τέλος του.

Κάθε φορά που εκτελείται μία εντολή «Open», η Ρmac εκκινεί μια συνεδρία γι' αυτό τον αριθμό προγράμματος, με περιεχόμενο ότι ακριβώς είχε από πριν στη μνήμη της για το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Επομένως, για να συνθέσουμε ένα νέο πρόγραμμα σε μια θέση μνήμης, πρέπει να δηλώσουμε ρητά ότι θέλουμε αυτή ν' αδειάσει από προηγούμενο περιεχόμενο, και αυτό πραγματοποιείται με εκτέλεση της εντολής «**Clear**». Σε αντίθετη περίπτωση το νέο πρόγραμμα θα εγγραφεί στο τέλος του προηγούμενου αρχείου, σαν μία διαδικασία επέκτασης.

Η εκτέλεση ενός προγράμματος κίνησης, ορίζεται σαν ξεχωριστή εντολή. Αρχικά κρίνεται αναγκαίο να ορίσουμε το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο θα εκτελεστεί το πρόγραμμα κίνησης, υποδηλώνοντας το μέσω της εντολής «&n» (όπου στη θέση του n αντικαθιστούμε τον ενδεδειγμένο αριθμό συστήματος). Στη συνέχεια επιλέγουμε κάποιο πρόγραμμα στη μνήμη και το εκτελούμε με χρήση της εντολής «B {constant} R». Ο χαρακτήρας «B» υποδηλώνει ότι η άμεσα επόμενη σταθερά, αναφέρεται στο επιλεγμένο πρόγραμμα συνεδρίας «Buffer» το οποίο θα εκτελεστεί. Ο χαρακτήρας «R» υποδηλώνει την εκκίνηση του επιλεγμένου προγράμματος μνήμης, ενώ τέλος, μπορούμε να σταματήσουμε την εκτέλεση στο συγκεκριμένο πρόγραμμα με την εκτέλεση του χαρακτήρα «S», ή την ακύρωση όλων των εκτελούμενων προγραμμάτων στην Ρmac με εκτέλεση του συνδυασμού «<CTRL-S>».

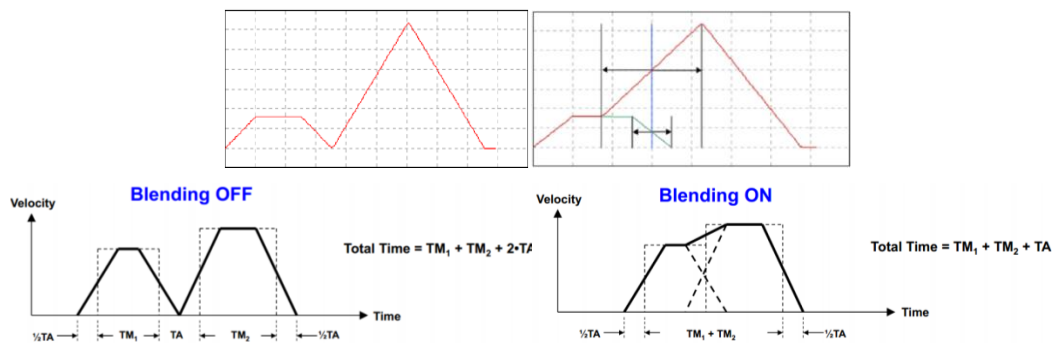
Πριν από κάθε εντολή εκτέλεσης προγράμματος είναι απαραίτητο να βεβαιωθούμε ότι έχει ενεργοποιηθεί έλεγχος ανάδρασης κλειστού βρόγχου, εκτελώντας μια εντολή κλεισίματος του βρόγχου ανάδρασης. Αυτή ολοκληρώνεται με τον συνδυασμό των χαρακτήρων «CTRL+A». Ο έλεγχος απόδοσης των κινητήρων της διάταξης ρυθμίζεται με την εντολή «%k», όπου k ένας αριθμός από το μηδέν έως το εκατό. Για την επιλογή πλήρους απόδοσης εξόδου πληκτρολογούμε «%100», ενώ για φίμωση της εξόδου «%0» αντίστοιχα. Αν προκύψει κάποιος λόγος αστάθειας της απόκρισης του συστήματος, μπορούμε ανά πάσα στιγμή ν' αποκόψουμε την παροχή σήματος ελέγχου στους κινητήρες με την εντολή «CTRL+K». Σε αντίθετη περίπτωση, αν απλά θέλουμε να σταματήσει η

συνεχής εκτέλεση προγράμματος μετά την ολοκλήρωση της παρούσης εκτελούμενης εντολής, τότε η κατάλληλη εντολή είναι η «CTRL+Q».

Στις επόμενες ενότητες θα εστιάσουμε στις εντολές κίνησης που μπορεί να υποστηρίξει η Ρmac, με εξειδίκευση στις δυνατότητες ευελιξίας των αλγορίθμων κατασκευής που αυτοί επιτελούν.

3.8.1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ LINEAR

Μία από τις απλούστερες κατηγορίες εντολών εκτέλεσης είναι αυτή της παρεμβολής γραμμικών κινήσεων «Linear». Σε αυτή την κατηγορία η κίνηση επιτελείται εκτελώντας ευθύγραμμες κινήσεις προς το σημείο στόχου, διατηρώντας μια σταθερή προεπιλεγμένη επιτάχυνση, ταχύτητα και αντίστοιχη επιβράδυνση πριν την προσέγγιση του στόχου. Στην περίπτωση που παραπάνω από μία συνεχόμενες κινήσεις επιλεγθούν να εκτελεστούν χωρίς ενδιάμεσες ρητές εντολές παύσης (Delay, Dwell, wait), τότε η Ρmac θα εκτελέσει τις παραπάνω κινήσεις εφαρμόζοντας σύμπλεξη κατά τα σημεία τερματισμού και εκκίνησης των σειριακών κύκλων εργασίας, με χαρακτηριστικά ταχύτητας κι επιτάχυνσης όπως αυτές ορίζονται στην εκκίνηση από θέση στάσης.

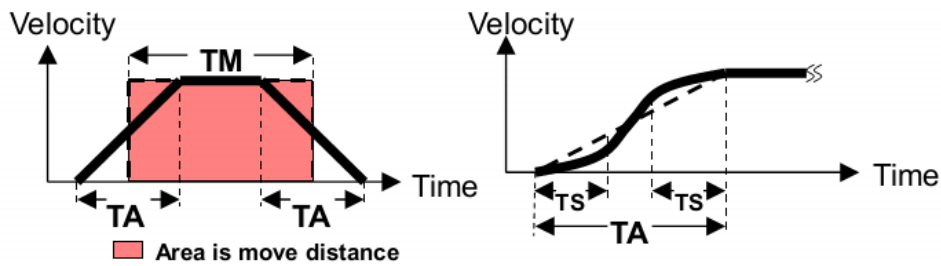


Σχήμα . Απόκριση καρτεσιανών κινήσεων (χωρίς και με) εκτέλεση γραμμικής σύμπλεξης

Η γραμμική παρεμβαλλόμενη κίνηση είναι η προεπιλεγμένη κατηγορία κίνησης στην Ρmac, ωστόσο αν χρειαστεί να την επανακατοχυρώσουμε, αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση της αλφαριθμητικής εντολής «Linear». Τέλος, σε αντιστοιχία με το πρωτόκολλο «RS-274 G-code» η παραπάνω περιγραφόμενη κίνηση αποτελεί μία αντίστοιχη εκδοχή της «G01».

3.8.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η επιτάχυνση που εμφανίζεται κατά την προσέγγιση (από και προς) της μέγιστης ταχύτητας για τις εκτελέσεις των εντολών (Linear, Circle1 και Circle2), μπορεί να είναι τετραγωνικού προφίλ, γραμμικής μεταβολής, προφίλ ταχύτητας S-καμπύλης ή συνδυασμός των παραπάνω. Η τελική μορφή της εκτελούμενης κίνησης ορίζεται από την τιμή των μεταβλητών «TA» και «TS». Η «TA» αντιστοιχεί στα περιεχόμενα της Ix88 μεταβλητής συστήματος και είναι υπεύθυνη για το χρόνο επιταχυνόμενης κίνησης, ενώ η «TS» αντιστοιχεί στα περιεχόμενα της μεταβλητής Ix88 και υποδεικνύει το χρόνο προφίλ S-καμπύλης.



Σχήμα . Προβολή των Περιοχών ρύθμισης των μεταβλητών TA, TS και TM.

Στην περίπτωση που η τιμή του χρόνου «TA» είναι μικρότερη από το διπλάσιο του χρόνου κίνησης «TS», τότε η τιμή της «TA» αναπροσαρμόζεται αυτόματα στο διπλάσιο της «TS». Σε περίπτωση που θέλουμε να μην εμφανίζεται προφίλ καμπύλης S, τότε θα πρέπει η «TS» να ορισθεί στο μηδέν. Το μέγιστο όριο της επιτάχυνσης που μπορεί να επιτευχθεί ορίζεται από τα περιεχόμενα της μεταβλητής Ix17 σε παλμούς ανά msec².

Για τον καθορισμό του χρονικού σημείου στο οποίο το κινούμενο σημείο θα φτάσει στον προορισμό του, υπάρχουν δύο δυνατότητες. Κατά την πρώτη ορίζουμε το χρόνο που θα κάνει το σημείο να μεταβεί στον προορισμό του μέσω της «TM»(Move Time). Κατά τη δεύτερη ορίζουμε την επιθυμητή ταχύτητα κίνησης των κινητήρων μέσω της εντολής «F»(Feed). Η «TM» υποδεικνύει το χρόνο που θα κινείται η κεφαλή μέχρι να φτάσει στο επιθυμητό σημείο μείον τον χρόνο «TA», ενώ η «F {constant}» θα δηλώσει μία ρητή τιμή ταχύτητας. Αν δεν έχουμε δηλώσει ρητά πώς επιβλέπεται η ταχύτητα του κινούμενου σημείου, τότε η «F {constant}» θα υποδείξει την αξονική ταχύτητα κίνησης σε κάθε άξονα ίση με την constant. Στην περίπτωση που απαιτείται σύνθετη κίνηση σε παραπάνω από έναν άξονες, θα πρέπει να ορίσουμε κατάλληλα τον τρόπο που υπολογίζεται η συνισταμένη ταχύτητα μέσω της εντολής «Frac(axes)». Τα απαραίτητα στοιχεία κίνησης ορίζονται από την επόμενη συνάρτηση.

$$F = \frac{\text{Distance}}{TM}$$

Τέλος, με την επιλογή της «ABS» ο προγραμματιστής δηλώνει ότι το σύστημα μέτρησης είναι απόλυτου τύπου, ενώ με την «INC» δηλώνει απόσταση μετάβασης σε σχέση με την παρούσα θέση. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα προγράμματος εκτέλεσης.

```
Linear           ; Linear move mode
TM 1000 TA 500 TS 0 ; Move time 1000 msec, Acc. Time 500 msec, No S-Curve Time
Abs             ; Absolute endpoint mode
X 20 Y 10      ; Go to X=20, Y=10
```

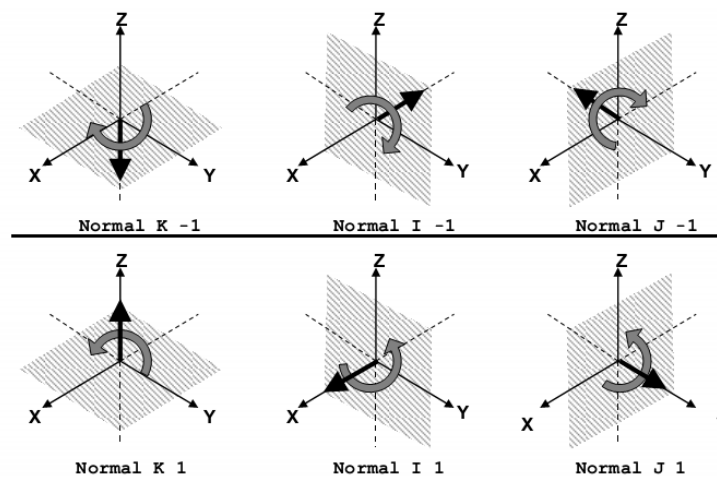
3.8.3 ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ CIRCLE

Η Ρmac συγκεκριμένα είναι σε θέση να ενεργοποιεί την κυκλική παρεμβολή σε συστήματα μέχρι τριών αξόνων κίνησης στο καρτεσιανό επίπεδο των [X, Y, Z]. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνουμε πριν αρχίσουμε να εκτελούμε εντολές κυκλικής παρεμβολής είναι να ορίσουμε κατάλληλα

τον πίνακα διανυσμάτων κατάστασης [I, J, K] που αντιστοιχεί στο πλαίσιο αναφοράς σε σχέση με τους άξονες {X, Y, Z} αντίστοιχα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εκτέλεσης μίας εντολής «Normal» που σαν ορίσματα έχει τις τιμές των ανάλογων διανυσμάτων κατά τους άξονες X, Y, Z πχ:

NORMAL I0.866 J0.5 K0.0

Σε απλές περιπτώσεις, αν θέλουμε να ορίσουμε τη φορά και τον προσανατολισμό αποκλειστικά στα πλαίσια ενός καρτεσιανού επιπέδου, αρκεί να επιλέξουμε τις τιμές ορισμάτων της Normal με μία από τις έξι επιλογές του Σχήμα .



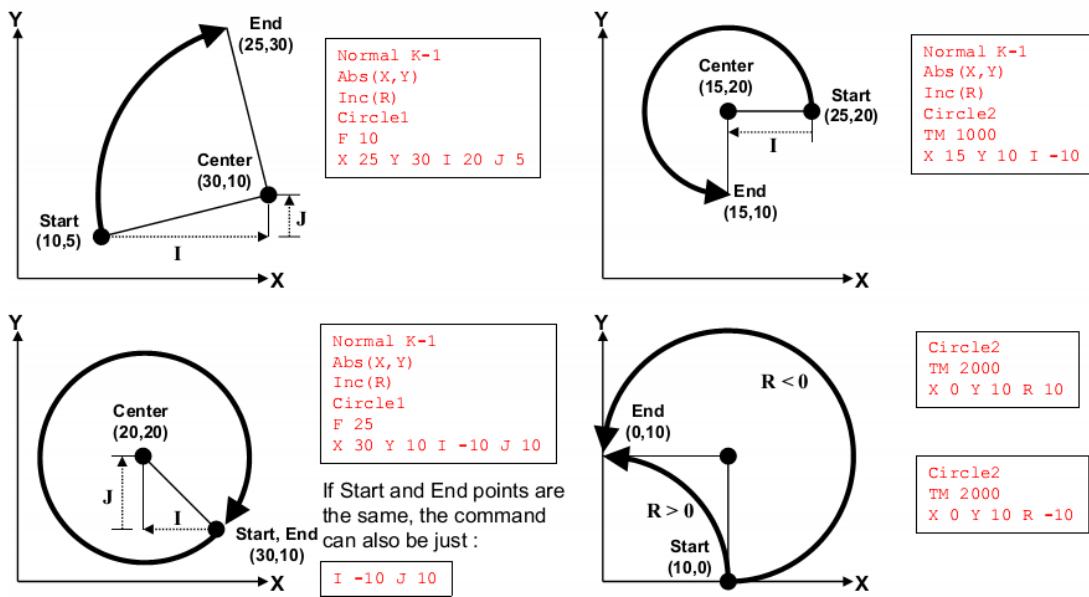
Σχήμα . Παρουσίαση ειδικών περιπτώσεων του πίνακα διανύσματος κατάστασης.

Η φορά διαγραφής του κύκλου είναι ωρολογιακής ή αντιωρολογιακή με βάση τον **κανόνα του δεξιού αντίχειρα** σε σχέση με την ορισμένη φορά του πίνακα κατάστασης. Σύμφωνα με αυτή τη δέσμευση, για να εκτελέσουμε μία ωρολογιακή κυκλική κίνηση χρησιμοποιούμε την εντολή «CIRCLE1», ενώ για την ανθρωρολογιακή την εντολή «CIRCLE2».

Οι εντολές εκτέλεσης «CIRCLE», έχουν τη δυνατότητα να δέχονται σημείο προορισμού και μέτρο τετημένων/τεταγμένων του τόξου που πρέπει να εκτελεστεί ή σημείο προορισμού και ακτίνα κέντρου κύκλου, βλ. παραδείγματα στο Σχήμα .

```
X{X Pos.} Y{Y Pos.} Z{Z Pos.} I{data} J{data} K{data}
X{X Pos.} Y{Y Pos.} Z{Z Pos.} R{Radius}
```

Αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση απόλυτων ή σχετικών συντεταγμένων παίζει σημαντικό ρόλο για τον σωστό προσδιορισμό των συντεταγμένων μετάβασης στο μοντέλο μας, ωστόσο για την εκτέλεση των εντολών χρησιμοποιούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (INC/ABS) που έχουμε περιγράψει σε προηγούμενη ενότητα. Οι τιμές [I, J, K] των ορισμάτων των εντολών «Circle» μπορούν να οριστούν σαν απόσταση από το σημείο εκκίνησης αν χρησιμοποιήσουμε το βηματικό μοντέλο (INC) ή σαν απόσταση από την αρχή των αξόνων του ορισμένου πλαισίου αναφοράς της «Normal» με χρήση του απόλυτου μοντέλου (ABS).



Σχήμα . Παραδείγματα κινήσεων κυκλικής παρεμβολής.

3.8.4 ΓΡΗΓΟΡΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ RAPID

Η μεταβατική κίνηση «Rapid» είναι αντίστοιχη της εντολής «G00» στα συστήματα κωδικοποίησης (RS-274 G-code). Είναι ευθύγραμμη κίνηση στο σύστημα συνδυασμού των αξόνων κίνησης, ενώ δεν επιτρέπεται ποτέ να συμπλέκεται με άλλου είδους εντολές. Στη γενική περίπτωση αποτελεί μία εντολή μετάβασης jog από σημείο σε σημείο, επιβάλλοντας τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα και επιτάχυνση.

Οι θέσεις μνήμης Ixx16, Ixx19, Ixx20, Ixx21 και Ixx22 είναι υπεύθυνες για την μέγιστη ταχύτητα και επιτάχυνση σε κάθε κινητήρα της διάταξης. Εάν η τιμή της Isx79 είναι μηδενική, τότε επιτηρούνται όλοι οι κινητήρες και ρυθμίζεται η ταχύτητα τους κατάλληλα ώστε να μεγιστοποιείται ο χρόνος μετάβασης σε σχέση με τις ελάχιστες ταχύτητες κίνησης. Αυτό σημαίνει ότι τη μέγιστη ορισμένη ταχύτητα θα την χρησιμοποιήσει μόνο ο κινητήρας που εκτελεί τη μέγιστη μετακίνηση, ενώ αντίθετα αν η τιμή της Isx79 είναι «ένα», τότε ο κάθε κινητήρας κινείται με τη μέγιστη ατομική ταχύτητα κίνησης.

Η κίνηση «Rapid» έχει μία επιπλέον δυνατότητα. Μπορεί να εκτελεστεί και με χρήση πυροδότησης συμβάντος. Συγκεκριμένα, με χρήση της εντολής X{data}^Z{data} υποδηλώνουμε την μετακίνηση μέχρι να παρουσιαστεί κάποιο συμβάν πυροδότησης, και στη συνέχεια μεταβαίνουμε κατά το σχετικό με την πυροδότηση βήμα. Αν για παράδειγμα έχουμε την εντολή **X50⁻⁵**, τότε η τιμή «50» είναι η θέση μετάβασης (αναλόγως με το αν χρησιμοποιούμε απόλυτο ή σχετικό σύστημα μέτρησης), ενώ η τιμή «-5» είναι η **σχετική απόσταση** που θα πρέπει να μεταβεί η διάταξη σε περίπτωση εμφάνισης διακοπής, ανεξαρτήτως συστήματος μέτρησης που έχουμε επιλέξει. Οι διακοπές είναι ανεξάρτητες για κάθε κινητήρα και ορίζονται κατάλληλα όπως ακριβώς επιλέγεται η διακοπή για την εύρεση της θέσης αρχικοποίησης «Home» που θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

3.8.5 ΚΥΒΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ SPLINE

Η Pmac είναι σε θέση να εκτελεί κινήσεις παρεμβολής σε καμπύλες Spline 5^{ου} βαθμού, ενώ υποστηρίζονται οι εντολές Spline1 (uniform rational B spline) και Spline2 (NURBS).

Η λειτουργία των Spline εντολών έχει να κάνει με τον τεμαχισμό της κίνησης σε χρονικά τμήματα όπου για κάθε ένα από αυτά αναλαμβάνει να εκτελέσει μία απλούστερη τεχνικά κίνηση. Για την Spline1 ο τεμαχισμός της εκτελούμενης τροχιάς γίνεται με χρήση ισομερών χρονικών διαστημάτων που αναλογούν στο χρονικό διάστημα που περιγράφεται από την μεταβλητή συστήματος «TA». Για κάθε ένα από αυτά τα διαστήματα, η Pmac αναλαμβάνει να ορίσει ένα σημείο προορισμού (όπου υποτίθεται αρχίζει το επόμενο διάστημα κίνησης «TA») και για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ορίζει μία συγκεκριμένη κυβική τροχιά (θέσης/χρόνου) για κάθε άξονα κίνησης. Αυτό είναι απαραίτητο ώστε να μην υπάρχουν περιθώρια απρόσμενης αλλαγής στο προφίλ της ταχύτητας ή της επιτάχυνσης για το δεδομένο χρονικό διάστημα. Το τελικό σημείο θέσης για κάθε ένα από αυτά τα διαστήματα μπορεί να διαφοροποιηθεί ελάχιστα ώστε η κίνηση να είναι πιο ομαλή και να συμμορφώνεται με τις ποιοτικές τιμές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Η λειτουργία των Spline1 εντολών, βασίζεται αποκλειστικά στη χρήση χρονομεριδίων ίσων με την τιμή του χρόνου της μεταβλητής «TA». Αυτή μπορεί να πάρει μόνο τιμές τύπου «Integer», ενώ σε περιπτώσεις καταχώρησης μη ακέραιας τιμής, αυτή στρογγυλοποιείται στην κοντινότερη ακέραια δυνατή τιμή. Ωστόσο μία τέτοια αλλαγή θα επηρεάσει τις τιμές ταχύτητας και των χρονομεριδίων της τροχιάς. Ο υπολογισμός των σημείων της πραγματικής τροχιάς πραγματοποιείται με βάση μία συνάρτηση εύρεσης, όπου WP(n) είναι η πραγματική θέση σημείου και X(n) το επιθυμητό σημείο.

$$WP(n) = \frac{X(n-1) + 4X(n) + X(n+1)}{6}$$

Κατά την ίδια διαδικασία, η Pmac υπολογίζει και τις τιμές ταχύτητας για κάθε άξονα κίνησης κατά τα διαστήματα μετάβασης των χρονομεριδίων της κίνησης, βάσει της μέσης ταχύτητα μετάβασης μεταξύ δύο διαδοχικών τμημάτων προς κάθε διεύθυνση της τροχιάς.

$$V(n) = \frac{[X(n+1) - X(n)] + [X(n) - X(n-1)]}{2 * TA} = \frac{X(n+1) - X(n-1)}{2 * TA}$$

Η τιμή «TA» είναι σταθερή σε όλο το μήκος της κίνησης της εντολής spline1. Σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια εκτέλεσης πραγματοποιηθεί αλλαγή της συγκεκριμένης τιμής, τότε η εκτέλεση σταματά, και για το υπόλοιπο διάστημα της κίνησης επαναυπολογίζεται η παραπάνω διαδικασία με την νέα τιμή της «TA». Στην περίπτωση πολύ μικρών τιμών της «TA» έχει παρατηρηθεί ότι η κίνηση γίνεται αρκετά ανώμαλα με έντονες διακυμάνσεις στην ταχύτητα και την επιτάχυνση.

Η Spline2 λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τη Spline1. Δεν χρειάζεται όμως συγκεκριμένο μέγεθος για την τιμή του χρονομεριδίου, κάνοντας την έτσι μία μη ομοιόμορφη δομή για την οποία δεν απαιτείται μέση συνάρτηση βαρών προσδιορισμού τροχιάς θέση-ταχύτητας σε συνάρτηση με το χρόνο. Η συγκεκριμένη ελευθερία την κάνει πιο ευέλικτη από την Spline1, αλλά με επιπλέον

υπολογιστικό κόστος της τάξης του 20%. Επιπλέον, τρία διαδοχικά τμήματα μίας τροχιάς Spline2 δεν πρέπει να υπερβαίνουν την χρονική περίοδο εκτέλεσης των 8,388,608 mSec, δηλ. περίπου 2 hr και 20 min.

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα απλό παράδειγμα κώδικα παρεμβολής Spline2 για την σύνταξη προγραμμάτων κίνησης.

```

Undefine All
End Gat
Del Gat
Close
&1
#1->1000X           ; 1000 counts is 1 user unit for X axis
#2->1000Y           ; 1000 counts is 1 user unit for Y axis
I42 = 0             ; Use TM to adjust Spline move time

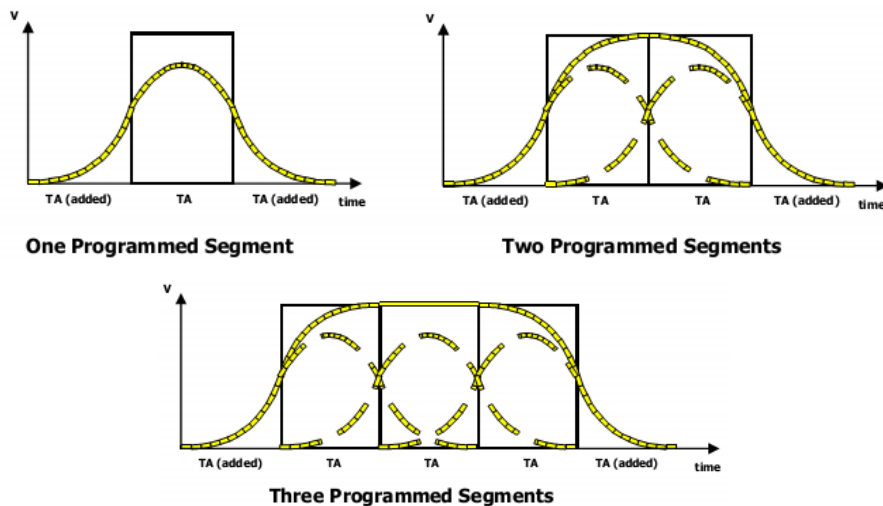
Open Prog 3 Clear

Home 1,2            ; Home motors 1 and 2
Abs                 ; Absolute position programming
Spline1 TM 1000     ; Set up move mode and move time
X 1 Y -1            ; Move X to 1 user units, Y to -1 user units
X 2 Y -2            ; Move X to 2 user units, Y to -2 user units
X 3 Y -3            ; Move X to 3 user units, Y to -3 user units
Dwell 0             ; Do not blend into next move

Spline2 TM 250      ; Set up move mode and move time
Dwell 0             ; Do not blend into next move
X 2 Y -2            ; Move X to 2 user units, Y to -2 user units
TM 100              ; Adjust move time on the fly
X 1 Y -1            ; Move X to 1 user units, Y to -1 user units
TM 10               ; Adjust move time on the fly
X 0 Y 0             ; Move X to 0 user units, Y to 0 user units

Close

```



Σχήμα . Αποκρίσεις Κυβικής παρεμβολής τύπου Spline2.

Τέλος η ρμας είναι σε θέση να παρέχει αντιστάθμιση θέσης ακτίνας εργαλείου CCR (Cutter Compensation Radius), κάνοντας ρύθμιση είτε P-μεταβλητών είτε σταθερών μεταβλητών, με την εντολή CCR.

CCR(P10+0.0625)

Ωστόσο κατά τη διαδικασία αυτή, χρειάζεται να ορισθεί η φορά της θέσης αντιστάθμισης μέσω των εντολών «CC1» για αριστερή αντιστάθμιση και «CC2» για δεξιά αντιστάθμιση της προγραμματισμένης τροχιάς κίνησης. Οι CC1 και CC2 μπορούν να παραλληλιστούν με τις αντίστοιχες «G41» και «G42» του κώδικα μηχανής G (RS-274). Τέλος, αν θέλουμε ν' απενεργοποιήσουμε την αντιστάθμιση κεφαλής, αρκεί να εκτελέσουμε την εντολή «CC0», αντίστοιχη της «G40».

3.8.6 ΕΙΔΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ PVT

Για τους πιο απαιτητικούς χρήστες και ανάγκες εφαρμογών, η ρmac έχει εισαγάγει έναν εναλλακτικό τρόπο προσδιορισμού της τροχιάς εκτέλεσης με ορισμό της ακριβούς τριπλέτας βήματος [Θέσης-Ταχύτητας-Χρόνου] κίνησης, ή (PVT:Position-Velocity-Time).

Η οριοθέτηση των παραπάνω γίνεται αρχικά με επιλογή του χρόνου του κάθε βήματος, μέσω της εντολής **PVT {data}**. Τα δεδομένα αποτελούν μία μεταβλητή, σταθερά ή έκφραση, της οποίας τα δεδομένα είναι τύπου «Integer» και απεικονίζουν τον παραπάνω χρόνο σε milliseconds.

Ο προγραμματισμός των κινήσεων επιτυγχάνεται είτε διατηρώντας το ίδιο χρονικό διάστημα για κάθε βήμα εκτέλεσης, είτε αλλάζοντας το δυναμικά με επανεκτέλεση της παραπάνω εντολής. Ο ορισμός της βηματικής κίνησης επιτυγχάνεται με εγγραφές του τύπου της επόμενης δήλωσης για κάθε άξονα κίνησης ξεχωριστά.

{axis}{data} : {data}

Τα δεδομένα «axis» αναπαριστούν το όνομα-χαρακτήρα αναπαράστασης του άξονα που επιθυμούμε να κινηθεί. Τα πρώτα «data» αποτελούν την θέση ή την απόσταση μετάβασης ανάλογα με τον τύπο αναπαράστασης μέτρησης (ABS/INC), ενώ τα δεύτερα «data» υποδεικνύουν την ταχύτητα τελειώματος της κίνησης στην επιθυμητή θέση.

Η εκτέλεση ειδικών εντολών PVT συνήθως συνδυάζεται με ανάστροφη κινηματική, πρόγνωση προγραμμάτων κίνησης κλπ, κάτι που είναι εκτός των πλαισίων της παρούσης εργασίας.

ΚΕΦ 4. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρουσιάζεται μια διαδικασία ελέγχου, προκειμένου να προβούμε στη διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο τάσης. Ο έλεγχος είναι απαραίτητος ώστε να διασφαλίσουμε κατά το ελάχιστο δυνατό βαθμό την πιθανότητα λάθους συνδεσμολογίας, καθώς και τις όποιες δυσμενείς συνέπειες επιφέρει αυτή στην πράξη.

Μερικά από τα ενδεχόμενα που θα πρέπει να προσέξουμε σε κάθε περίπτωση είναι να έχουν γίνει όλες οι συνδέσεις σύμφωνα με τα εγχειρίδια διασύνδεσης, να μην υπάρχουν εμφανή σημεία απογύμνωσης των καλωδιώσεων που επιτρέπουν την βραχυκύκλωση αγωγών διαφορετικού δυναμικού, ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης να **είναι ενεργοποιημένος** για πρόληψη τυχόν απρόσμενων ενεργειών κατά την πρώτη εκκίνηση, ενώ τέλος θα πρέπει να έχουν ακολουθηθεί με ευλάβεια στο σύνολο τους οι προτεινόμενες ενέργειες για την ασφάλεια του χρήστη και τον έλεγχο των μηχανικών μερών (IEC).

Στα επόμενα εδάφια περιγράφονται όλες οι παράμετροι των οποίων η ρύθμιση κρίνεται απαραίτητη για την επίτευξη ικανοποιητικής λειτουργίας στο πειραματικό μας σύστημα. Πραγματοποιούνται διαδικασίες που σχετίζονται με την εγκατάσταση της Pmac τόσο από πλευράς λογισμικού στο υπολογιστικό σύστημα, όσο και από πλευράς παραμετροποίησης του υλικού. Πραγματοποιείται η σύνδεση του εξοπλισμού με το τερματικό της Pmac «CUIF», ενώ εκτελούνται όλες οι ενέργειες παραμετροποίησης ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της διάταξης με ανάδραση κλειστού βρόγχου.

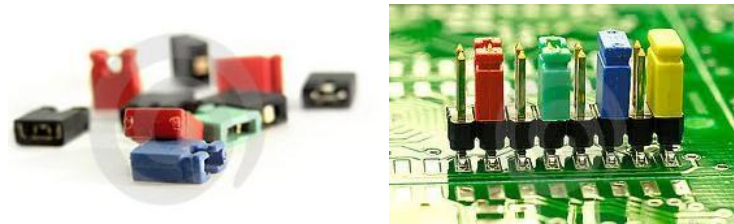
Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, ο πιο άμεσος τρόπος να διαχειριστούμε το φάσμα καταστάσεων μίας CNC μηχανής, δεν αποτελεί άλλος από την παρακολούθηση της εικόνας που ο ίδιος ο ελεγκτής λαμβάνει από το διαχειριζόμενο υλικό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας ελέγχου λογισμικού (Sof).

4.2 ΡΥΘΜΙΣΗ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

Η ευελιξία της Pmac οφείλεται στη δυνατότητα να ενσωματώνει ποικιλία από χαρακτηριστικά γνωρίσματα, σαν επιλογές συνδέσεων επάνω στο υλικό της. Η παραμετροποίηση τους, απαιτεί ο προγραμματιστής - υπεύθυνος ρύθμισης, να είναι συνειδητά εξοικειωμένος με την διαχείριση ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ενώ απαιτούνται γνώσεις διαχείρισης ηλεκτρικών ρευμάτων και μικροηλεκτρονικών διατάξεων.

4.2.1 ΣΗΜΕΙΑ E-POINTS

Στην επιφάνεια της Pmac φιλοξενούνται εξαρτήματα που συνιστούν στην ικανότητα της να προσαρμόζεται σε διαφορετικές περιστάσεις. Ωστόσο, αρκετές φορές κρίνεται απαραίτητο να διαφοροποιηθεί ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούν τα διάφορα υποσυστήματα μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση των «e-points». (Εικόνα) Ειδικοί ακροδέκτες με τους οποίους επιλέγονται καταστάσεις λειτουργίας, ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται ιδιότητες, ενώ αποτελούν το κύριο μέσο επικοινωνίας του ελεγκτή με τον έξω κόσμο και το ελεγχόμενο σύστημα.



Εικόνα . Εμφάνιση και τοποθέτηση των e-point jumpers.

Αποτελούν κόμβοι διασύνδεσης, ενώ με τη βοήθεια κατάλληλων βραχυκυκλωτήρων κατάστασης, διατηρούν δύο λογικές σύνδεσης ή εν δυνάμει και περισσότερες. Από πλευρά ασφαλείας, κάθε σημείο σύνδεσης θα πρέπει να ελέγχεται οπτικά σύμφωνα με το εγχειρίδιο της εκάστοτε έκδοσης υλικού, καθώς μπορεί για συγκεκριμένη λειτουργία, συνδέσεις σε μία έκδοση να πρέπει να μείνουν μη επιλεγμένες, ενώ σε άλλη να επιτελούν βιώσιμης σημασίας επιλογές. Έτσι ο χειριστής μπορεί να περιορίζει την ενεργοποίηση ή μη ενεργοποίηση μίας λειτουργίας, ή ακόμη και την αυστηρά μοναδική ενεργοποίηση, από μερικές υπάρχουσες επιλογές (επιλογή δυναμικών καταστάσεων). Οργανώνονται σε κατάλληλες ομάδες ώστε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά να ελέγχονται από γειτονικά e-points, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ενδεχόμενων σφαλμάτων τροποποίησης από το χρήστη.



Εικόνα . Σημεία διασύνδεσης στην κάρτα υλικού της Pmac.

Η Pmac παραδίδεται με προεγκατεστημένη μια βασική παραμετροποίηση γενικής χρήσης. Αν και η συγκεκριμένη ρύθμιση δεν επαρκεί ώστε να ελεγχθεί επαρκώς κάποιος κινητήρας, είναι απαραίτητη ώστε μετά την ενεργοποίηση της, να παρέχεται η δυνατότητα επικοινωνίας μέσω τερματικού χρήστη. Αυτός είναι και ο μόνος τρόπος επιβεβαίωσης της κατάστασης λειτουργίας της.

Σε κάθε περίπτωση, μετά από παρεμβάσεις στο υλικό ή σε συνδεσμολογίες άλλης φύσης, επιβάλλεται να επανεξεταστούν διεξοδικά οι καταστάσεις των συνδέσεων πριν την τροφοδοσία υπό τάση και εκκίνηση του ελεγκτή. Κάτι τέτοιο κρίνεται αναγκαίο, ώστε ν' αποφευχθούν

βραχυκυκλώσεις με αρνητικές συνέπειες για την πρόοδο και την αξιοπιστία του υπάρχοντος εξοπλισμού.

4.2.2 ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ

Ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνεί η Pmac με το εξωτερικό περιβάλλον και ειδικότερα με το υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης, περιορίζεται σε δύο διαθέσιμες επιλογές για την συγκεκριμένη έκδοση υλικού. Η πρώτη επιλογή είναι παράλληλα μέσω διαύλου BUS, ενώ κατά τη δεύτερη με σειριακή σύνδεση διαύλου RS232 ή διαύλου βιομηχανικών προδιαγραφών RS422.

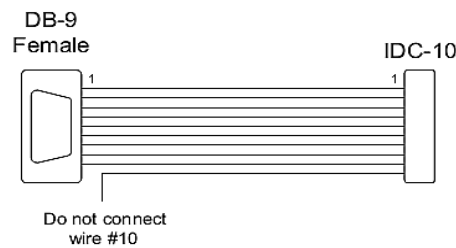
Η ακολουθούμενη επιλογή διασύνδεσης έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές υλοποίησης. Το σύστημα ελέγχου πρέπει κατά τα βιομηχανικά πρότυπα λειτουργίας να είναι γαλβανικά απομονωμένο από το σύστημα υποστήριξης, ή από οποιαδήποτε άλλο σύστημα ξεχωριστής πηγής τάσης/έντασης κτλ. Ωστόσο πίσω από αυτή την τοποθέτηση, κρύβονται μια σειρά από βασικούς κανόνες λειτουργίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων και γενικότερων κανόνων ασφάλειας.

Η σύνδεση μέσω του διαύλου «BUS» επιβάλλει πως η κάρτα αυτομάτου ελέγχου θα συνδεθεί στο εσωτερικό του συστήματος υποστήριξης και συγκεκριμένα σε μια από τις διαθέσιμες θύρες της μητρικής του κάρτας. Αυτό προϋποθέτει ότι η κάρτα αυτομάτου ελέγχου θα μοιράζεται την τροφοδοσία του συστήματος υποστήριξης και ότι φυσικά συνεπάγεται αυτό για την φορητότητα την ευελιξία και την ασφαλή λειτουργία της διάταξης. Ωστόσο η τοποθέτηση και η εκκίνηση της Pmac μέσω του διαύλου «Bus», πραγματοποιείται ευκολότερα αντικατοπτριζόμενη με τις εναλλακτικές σειριακές διασυνδέσεις.

Ενδεικτικά, για την εκκίνηση της Pmac σε κατάσταση σειριακού διαύλου επιβάλλεται να έχουμε τοποθετήσει την κάρτα σε ξεχωριστό ασφαλές χώρο φιλοξενίας ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, να προμηθευτούν τα κατάλληλα καλώδια σειριακής διασύνδεσης με τους αντίστοιχους μετατροπείς (τάσης/έντασης->έντασης/τάσης) για την διασύνδεση σε μία σειριακή θύρα του υπολογιστικού συστήματος, ενώ τέλος θα πρέπει να παρασχεθούν στον ελεγκτή οι κατάλληλες τάσεις από ξεχωριστές πηγές τροφοδοσίας. Όλα τα παραπάνω φυσικά είναι βασικές προϋποθέσεις για την εκκίνηση και την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας με την κάρτα αυτομάτου ελέγχου.

Στην περίπτωση που επιλέξουμε την διασύνδεση μέσω σειριακού διαύλου, θα πρέπει να προμηθευτούμε ή κατασκευάσουμε το σχετικό καλώδιο εγκαθίδρυσης επικοινωνίας. Η κατασκευή εκτελείται χρησιμοποιώντας κατάλληλο παράλληλου τύπου «IDC» ακροδέκτη, για το άκρο που θα συνδεθεί στην Pmac, και ένα θηλυκό DB-9 ακροδέκτη για το άκρο σύνδεσης με τη θύρα υπολογιστή.

Στην περίπτωση που αγοράσουμε έτοιμο το καλώδιο σύνδεσης (με το αντίστοιχο αντίτιμο φυσικά), ο κωδικός παραγγελίας προαιρετικού εξαρτήματος είναι «Acc-3L», ενώ ο αντίστοιχος μετατροπέας σημάτων στάθμης (RS232/RS422) έχει κωδικό «Acc-26». Η χρήση μετατροπέων στάθμης είναι απαραίτητη μιας και που η Lite έκδοση της Pmac υποστηρίζει μόνο σήματα προτύπου «RS-422». Η διάταξη φαίνεται κατάλληλα στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα . Διάταξη αυτοσχέδιου καλωδίου σειριακής διασύνδεσης Pmac/PC.

Η χρήση σειριακού διαύλου είναι επιτακτική για τη λειτουργία και την ομαλή συνεργασία της Pmac με συστήματα και διατάξεις στο χώρο ενός εργαστηρίου. Ωστόσο στα πλαίσια της διαδικασίας εγκατάστασης και ρύθμισης του υλικού, απαιτείται η εφαρμογή τεχνικά πιο γρήγορων - δραστικών λύσεων. Έτσι σε πρώτη φάση επιλέγεται η παράλληλη σύνδεση της Pmac με το υπολογιστικό σύστημα, ενώ με την ολοκλήρωση της παραμετροποίησης της, δύναται να τροποποιηθεί κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο.

Για την διασύνδεση με δίαυλο Bus δεν χρειάζεται να τροποποιήσουμε κάποιο σημείο «E-points» στο υλικό, καθώς το ρόλο αυτό τον αναλαμβάνει το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστικού συστήματος. Σε αντίθεση, αν κάνουμε χρήση σειριακού διαύλου, απαιτείται η παραμετροποίηση των επόμενων συνδέσεων.

<i>E44-E47, E48</i>	Επιλέγουν την επιθυμητή ταχύτητα διασύνδεσης «Baud Rate» από τις διαθέσιμες υποδιαιρέσεις της συχνότητας χρονισμού του ρολογιού του κεντρικού CPU, ενώ η επιλογή χρονισμού της CPU παραμετροποιείται κατάλληλα και από την E48.
<i>E49</i>	Επιλέγει την ενεργοποίηση ή όχι ελέγχου ισοτιμίας στον δίαυλο επικοινωνίας με το υπολογιστικό σύστημα. Με επιλογή της θέσης «1-2» δεν έχουμε ενεργό έλεγχο, ενώ με απουσία συνδετήρα έχουμε έλεγχο περιττού ψηφίου.
<i>E110-E111</i>	Υπεύθυνες για την επιλογή πρωτοκόλλου σειριακής διασύνδεσης, θέσεις «1-2» για τύπο διασύνδεσης RS232 και «2-3» για RS422.

Πίνακας . Απαραίτητες αλλαγές σε E-point για την χρήση σειριακού διαύλου επικοινωνίας.

4.2.3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

Η Pmac για να επέλθει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας απαιτεί τρεις διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας, ενώ είναι χωρισμένη σε δύο διαφορετικές ηλεκτρικές περιοχές, γαλβανικά απομονωμένες μεταξύ τους.

<i>2A @ +5V (+/- 5 %) (10W)</i>
<i>0.3A @ +12 ~ +15V (4.5W)</i>
<i>0.25A @ -12 ~ -15V (3.8W)</i>

Για τη μεταβίβαση σημάτων μεταξύ των παραπάνω στις διατάξεις ελέγχου, χρησιμοποιούνται οπτικές ζεύξεις (Optocouplers), ενώ τροφοδοτούνται από διαφορετικές πηγές τάσης και διαχωρίζονται συμβατικά σε Ψηφιακή (Digital Power Supply) και Αναλογική (Analog Power Supply) αντίστοιχα.

Η ψηφιακή τροφοδοσία είναι υπεύθυνη για την λειτουργία του «ψηφιακού» μέρους του ελεγκτή, δηλαδή με την τροφοδοσία του επεξεργαστή και τον ηλεκτρονικών μερών, ενώ η αναλογική ασχολείται με την οδήγηση σημάτων από και προς τον έξω κόσμο (CUIF ή άλλες διατάξεις).

Στην περίπτωση που η Pmac τοποθετηθεί στο σύστημα ξενιστή (Host), τότε λαμβάνει αυτόματα την τάση Vdigital από το σύστημα τροφοδοσίας του διαύλου Bus. Έτσι σ' αυτή την περίπτωση δεν επιτρέπεται η σύνδεση εξωτερικής τροφοδοσίας για την Vdigital. Αντίθετα σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας, όπου δηλαδή η επικοινωνία πραγματοποιείται με σειριακό τρόπο, επιβάλλεται η τροφοδοσία +5VDC στις επαφές 1/2 και Gnd στις 3/4 της Pmac (Οι επαφές είναι διαφορετικές από αυτές του τερματικού διασύνδεσης CUIF, όπως θα δούμε σε επόμενη ενότητα).

Η αναλογική τροφοδοσία (Vanalog) είναι γαλβανικά απομονωμένη από την ψηφιακή για ευνόητους λόγους. Ωστόσο παρέχεται η δυνατότητα παράκαμψης της επιλογής αυτής μέσω της ρύθμισης των επόμενων e-points (E85, E87, E88, E89, E90). Στην περίπτωση αυτή ακυρώνεται η γαλβανική απομόνωση των σχετιζόμενων σημάτων, ενώ χρειάζεται επισταμένη προσοχή χρήσης της ακύρωσης της γαλβανικής προστασίας, όταν η Pmac δεν εμπίπτει σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας. Η τροφοδοσία +12~15VDC επιβάλλεται στην επαφή 59 (A+15), ενώ η -12~15VDC στην 60(A-15). Τέλος, σε κάθε περίπτωση πρέπει να συνδεθεί και η αναφορά γης στην επαφή 58 (AGND).

Η εγκατάσταση ολοκληρώνεται με τοποθέτηση της Pmac σε μία ελεύθερη θύρα PCI, στη μητρική κάρτα του υπολογιστικού συστήματος (Host), ενώ με την ολοκλήρωση της διαδικασίας και την σύζευξη της Pmac με το τερματικό CUIF (που θ' ασχοληθούμε στη συνέχεια), το σύστημα μπορεί να τεθεί υπό κανονική λειτουργία.

4.3 PMAC «CUIF» ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

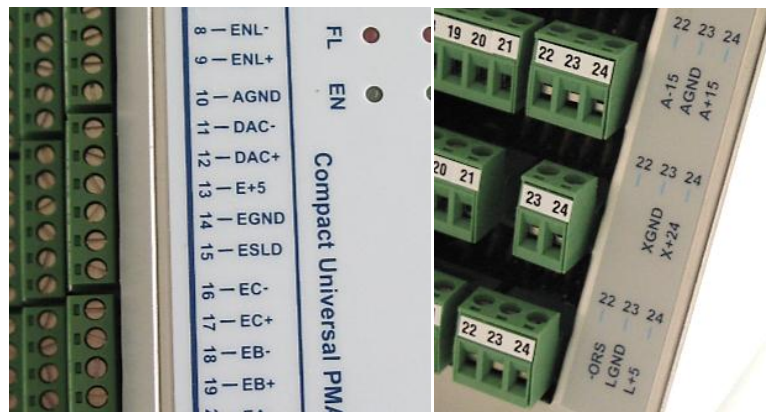
Η διάταξης «Pmac-CUIF» (Compact Universal PMAC Isolator & Filter) αποτελεί το ενδιάμεσο επικοινωνίας της Pmac με τον έξω κόσμο. Τεχνικά είναι υπεύθυνη για την διαφύλαξη του ευαίσθητου εξοπλισμού του κυκλώματος ελέγχου (Pmac) από απρόσμενες εξωτερικές παρεμβάσεις στο σύστημα οδήγησης ισχύος, ενώ παρέχει γαλβανική απομόνωση στα σήματα ενισχυτών-κινητήρων, στα σήματα ανάδρασης και σήματα συμβάντων-διακοπών. Διαθέτει διατάξεις φίλτρων ελάττωσης κανονικού ή διαφορικού θορύβου στις γραμμές εισόδου/εξόδου, ενώ προστατεύει αρνητικές συνέπειες προκαλούμενες από αιχμές τάσης, βρόχους γείωσης και βραχυκυκλώσεις.

Χαρακτηριστικά που ενσωματώνει:

- Οπτικά απομονωμένα κανάλια αναφοράς 24 VDC για τις εξόδους Home, Limit, Fault, Enable motor σε κάθε άξονα ελέγχου.

- Γαλβανικά απομονωμένες θύρες εισόδου αποκωδικοποιητών ανάδρασης.
- Οι ομάδες σημάτων κινητήρα και αποκωδικοποιητών τροφοδοτούνται αυτόνομα, ενώ είναι απομονωμένες από κάθε άλλο κύκλωμα, προάγοντας έτσι την ευελιξία και την αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων τροφοδοσίας.
- Η σύνδεση με άλλα κυκλώματα πραγματοποιείται μ' ένα γρήγορο, εύχρηστο και τακτοποιημένο τρόπο εγκατάστασης καλωδίων.
- Οι θύρες διασύνδεσης είναι πλήρους αποσπώμενου τύπου, για γρήγορη εναλλαγή αξόνων κίνησης, ενώ τέλος,
- Παρέχεται σύστημα συγκράτησης ράγας εργοταξιακού προτύπου DIN, για καλύτερη δυνατή συμβατότητα και ευκολία στην τοποθέτηση.

Πρόκειται για μία συσκευή που είναι σε θέση να εξυπηρετεί τη διασύνδεση με τέσσερις διαφορετικούς άξονες κίνησης, ενώ είναι συμβατή με τους γνωστότερους ελεγκτές αυτομάτου ελέγχου.



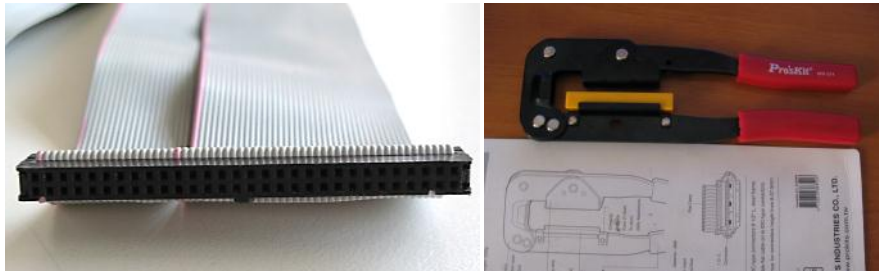
Εικόνα . Σήματα εισόδου-εξόδου ομαδοποιημένα σε κατηγορίες.

Διαχειρίζεται τα σήματα εισόδου και εξόδου ομαδοποιημένα σε κατηγορίες γαλβανικά μονωμένες μεταξύ τους, τις υποστηρίζει με ανεξάρτητα κυκλώματα τροφοδοσίας, ενώ αυτές κατηγοριοποιούνται με κοινή βάση αναφοράς στις επόμενες ομάδες:

- Σήματα διακοπών Home, Upper Limit(-Lim) και Lower Limit (+Lim), έχουν δυναμικό αναφοράς 24VDC (X+24/XGND), ενώ μπορούν να είναι τύπου NPN ή PNP ανάλογα με τις επιλογές που έχουν γίνει κατά την εγκατάσταση των E-point στο υλικό της Pmac.
- Είσοδοι αποκωδικοποιητών ανάδρασης διαφορικού τύπου (EA, EB, EC), έχουν δυναμικό αναφοράς 5VDC (E+5/EGND), ενώ η τροφοδοσία κάθε άξονα είναι ανεξάρτητη από τους υπόλοιπους.
- Έξοδοι αναλόγου σήματος οδήγησης κινητήρων (DAC+/DAC-), έχουν τάση αναφοράς (A+15/A-15/AGND και D+5V/DGND). Η τροφοδοσία του ψηφιακού μέρους (ελεγκτή) της Pmac, μπορεί να εφαρμόζεται από τη συγκεκριμένη θύρα.
- Ανεξάρτητη τροφοδοσία της διάταξης CUIF μέσω της (L+5/LGND).
- Σήματα σφάλματος (FLT+/FLT-), μεμονωμένα για κάθε άξονα, όσο και γαλβανικά απομονωμένα από κάθε άλλη τάση αναφοράς.

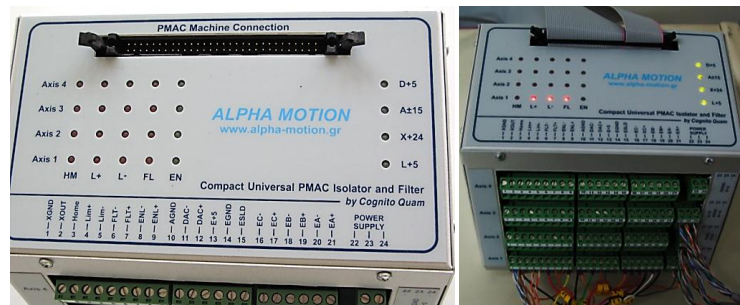
- Σήματα ενεργοποίησης εξόδου κινητήρων «Enable» (ENL+/ENL-), επίσης γαλβανικά απομονωμένα από κάθε άλλη τάση αναφορά της διάταξης.

Η διασύνδεση με την Pmac πραγματοποιείται μέσω της ειδικής θύρας «60 pin IDC connector» (Pmac machine connection), ενώ επί σκοπό έγινε ιδιοκατασκευή του σχετικού συνδέσμου. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικού αριθμού (40 και 20 κλώνων αντίστοιχα) καλωδιοταινίες μήκους 1,5 μέτρου, ενώ με τη βοήθεια ειδικού εργαλείου ομοιόμορφης συμπίεσης τοποθετήθηκαν στα δύο τους άκρα οι τερματικοί συνδετήρες (60pin) έκαστος. (βλ. Εικόνα)



Εικόνα . Αυτοσχέδια κατασκευή συνδέσμου μεταξύ Pmac και CUIF.

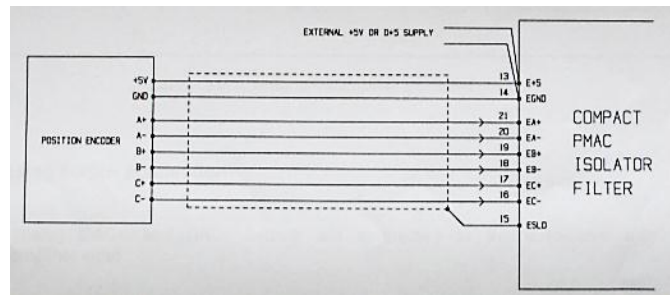
Οι ενδείξεις στην πρόσοψη της διάταξης είναι υπεύθυνες για λειτουργίες σε κάθε άξονα διαχείρισης ξεχωριστά, ενώ επιτηρούν την κατάσταση των σημάτων: Home, άνω ορίου κίνησης, κάτω ορίου κίνησης, σήμα σφάλματος Fault, σήματα ενεργοποίησης κινητήρα Enable, και την κατάσταση δυναμικού τροφοδοσίας για τις D+5, A+/-15, X+24, L+5 (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Ενδείξεις κατάστασης και IDC θύρα διασύνδεσης με την Pmac.

4.3.1 ΣΗΜΑΤΑ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ (ENCODER INPUT)

Η σύνδεση των σημάτων ανάδρασης της Pmac με τα διαχειριζόμενα υποσυστήματα, γίνεται μέσω της κατάλληλης ομάδας διαφορικής εισόδου (EA+/-, EB+/-, EC+/-) στους συνδετήρες τύπου «EIA422». Αυτοί έχουν δυνατότητα ομαδικής αφαίρεσης για εύκολη αντικατάσταση, ενώ συνοδεύονται από ισχυρό σπείρωμα μηχανικής συναρμογής του αντίστοιχου αγωγού.



Σχήμα . Σχηματικό σύνδεσης σημάτων αποκωδικοποιητών ανάδρασης με την Pmac.

Η αναφορά των σημάτων λαμβάνεται από την έξοδο του αποκωδικοποιητή θέσης του κινητήρα, ωστόσο στην περίπτωση μας λαμβάνεται από την έξοδο αναφοράς, του υπεύθυνου για τη διαχείριση του κινητήρα, ενισχυτή.

Για τον περιορισμό του θορύβου στα σχετικά σήματα, κρίνεται απαραίτητο να συνδεθεί η θωράκιση του καλωδίου μεταφοράς στην ενδεδειγμένη για το σκοπό θύρα «ESLD», ενώ όλα τα σήματα εισόδου να τερματιστούν με μία εν σειρά αντίσταση της τάξης των 100Ω, ακριβώς πριν την διασύνδεση με την CUIF (θέσεις 16 έως 21). Τέλος, θα πρέπει να παρασχεθεί εξωτερικά η τάση (E+5/EGND) στο σύστημα των αποκωδικοποιητών, ώστε αυτοί να επέλθουν σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας.

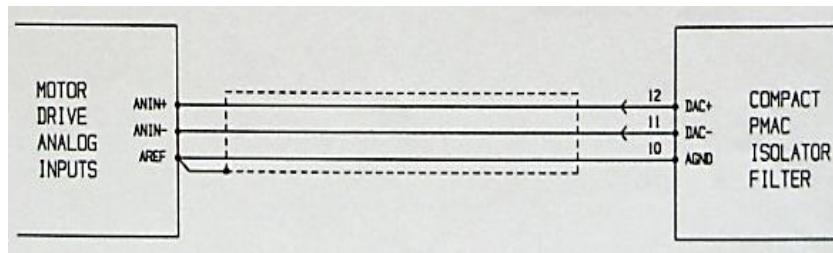
Ακολουθεί η αντιστοχία συνδεσμολογίας της CUIF και του ενισχυτή των σερβοκινητήρων Faldic, ενώ αυτό πραγματοποιείται επαναλαμβανόμενα για όλους τους κινητήρες της διάταξης.

Τύπος Σήματος	Αρίθμηση Σημάτων «CUIF»	Αρίθμηση Σημάτων Ενισχυτή Faldic
E+5V	13	-
EGND	14	-
EA+	21	9
EA-	20	10
EB+	19	11
EB-	18	12
EC+	17	23
EC-	16	24
ESLD	15	FG

Πίνακας . Συνδέσεις αποκωδικοποιητή ανάδρασης CUIF-Motor Amplifier.

4.3.2 ΣΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΑΣ ΕΞΟΔΟΥ (ANALOG OUTPUT)

Η έξοδος Analog (DAC+/DAC-) είναι υπεύθυνη για την διαφορική οδήγηση ρεύματος/ταχύτητας της διάταξης ενίσχυσης των κινητήρων, ενώ επιπρόσθετα πρέπει να παρέχεται η αναφορά «AGND» για την απαλοιφή παρασιτικών φαινομένων ρεύματος βρόγχου κτλ.



Σχήμα . Σχηματικό σύνδεσης σημάτων Analog με την είσοδο οδήγησης κινητήρα.

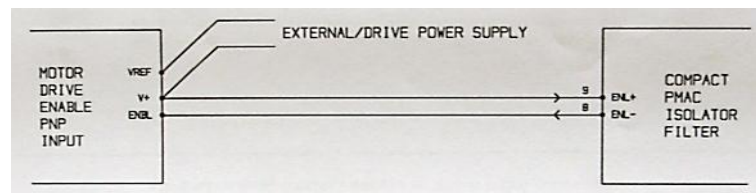
Ακολουθεί η αντιστοιχία συνδεσμολογίας της CUIF και του ενισχυτή των σερβοκινητήρων Faldic, ενώ αυτό πραγματοποιείται επαναλαμβανόμενα για όλους τους κινητήρες της διάταξης.

Τύπος Σήματος	Αρίθμηση Σημάτων «CUIF»	Αρίθμηση Σημάτων Ενισχυτή Faldic
DAC+	12	22
DAC-	11	-
AGND	10	13

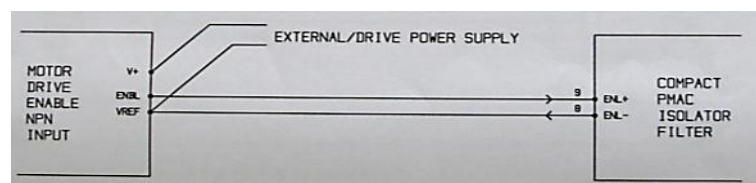
Πίνακας . Συνδέσεις σήματος Analog output CUIF-Motor Amplifier.

4.3.3 ΣΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ (ENABLE OUTPUT)

Η διαφορική έξοδος ενεργοποίησης εξόδου κινητήρα (ENL+/ENL-) είναι υπεύθυνη για τα σήματα ενεργοποίησης των κινητήρων της διάταξης. Αν δεν παρέχεται κατάλληλα το συγκεκριμένο σήμα οι ενισχυτές «σκοτώνουν» την έξοδο των κινητήρων (Kill Motor), ενώ συνδυάζεται με συμβάντα εκτάκτου ανάγκης τερματισμού λειτουργίας (emergency STOP) ή ενέργειες βρόγχων ελέγχου ασφαλείας (από την πλευρά του συστήματος ελέγχου). Η οδήγηση των σημάτων προς τους ενισχυτές μπορεί να είναι τύπου NPN ή PNP, αναλόγως με την σύνδεση που θα εφαρμοστεί. Σε κάθε περίπτωση η είσοδος ρεύματος είναι η ENL+, ενώ η επιστροφή (ελεγχόμενο σήμα) είναι η ENL-.



Σχήμα . Σήμα Enable κινητήρων/ενισχυτών τύπου PNP (current source or active High).



Σχήμα . Σήμα Enable κινητήρων/ενισχυτών τύπου NPN (current sink or active Low).

Ακολουθεί η αντιστοιχία συνδεσμολογίας της CUIF και του ενισχυτή των σερβοκινητήρων Faldic, ενώ αυτό πραγματοποιείται επαναλαμβανόμενα για όλους τους κινητήρες της διάταξης.

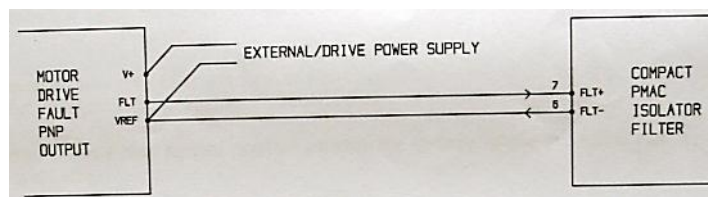
Τύπος Σήματος	Αρίθμηση Σημάτων «CUIF»	Αρίθμηση Σημάτων Ενισχυτή Faldic
ENL+	9	2
ENL-	8	GND
GND Reference	1	14

Πίνακας . Συνδέσεις σήματος Enable output CUIF-Motor Amplifier.

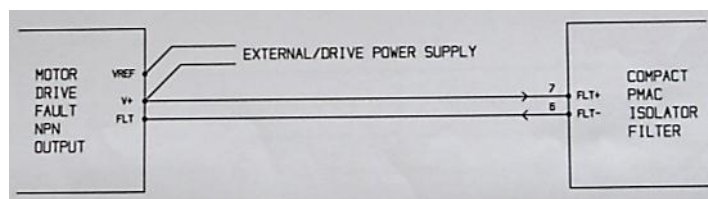
4.3.4 ΣΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ (FAULT INPUT)

Το σήμα σφάλματος μεταδίδεται από την διάταξη ενίσχυσης προς τον ελεγκτή αυτομάτου ελέγχου. Σχετίζεται με την λανθάνουσα κατάσταση στην οποία μπορεί να βρεθεί για κάποιο λόγο η διάταξη ενίσχυσης, ενώ συνήθως προκύπτει από υπέρβαση των ορίων ροπής στρέψης ή θερμικής καταπόνησης του κινητήρα.

Τα σήματα FLT+/FLT- έχουν δυναμικό 24 VDC, ενώ η συνδεσμολογία μπορεί να είναι τύπου NPN ή PNP.



Σχήμα . Σήμα Fault τύπου PNP (current source or active High).



Σχήμα . Σήμα Fault τύπου NPN (current sink or active Low).

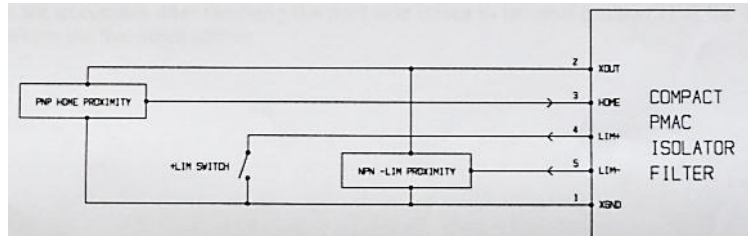
Ακολουθεί η αντιστοιχία συνδεσμολογίας της CUIF και του ενισχυτή των σερβοκινητήρων Faldic, ενώ αυτό πραγματοποιείται επαναλαμβανόμενα για όλους τους κινητήρες της διάταξης.

Τύπος Σήματος	Αρίθμηση Σημάτων «CUIF»	Αρίθμηση Σημάτων Ενισχυτή Faldic
Fault+	7	XOUT
Fault-	6	17

Πίνακας . Συνδέσεις σήματος Fault Input CUIF-Motor Amplifier.

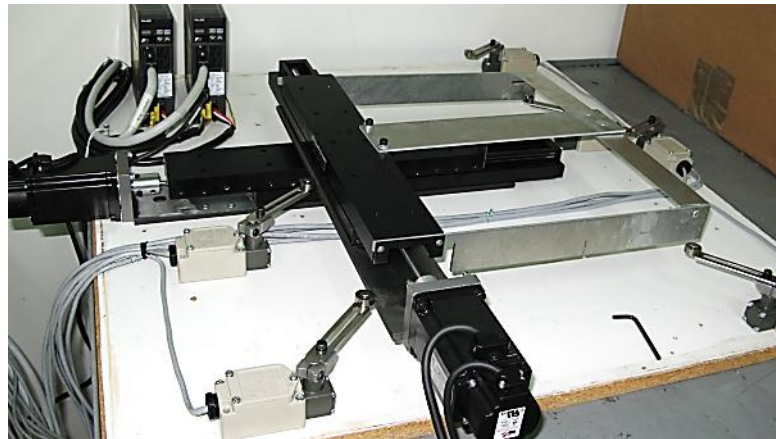
4.3.5 ΣΗΜΑΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ/ΔΙΑΚΟΠΩΝ (HOME, LIM+, LIM- INPUTS)

Τα σήματα (Home, Lim+, Lim-) αποτελούν σήματα διακοπών. Είναι υπεύθυνα για την ειδοποίηση των διατάξεων ελέγχου για προσέγγιση των άνω και κάτω ορίων κίνησης, ενώ η θέση Home αποτελεί τη θέση αρχικοποίησης του κινητήρα ή θέση «μηδέν».



Σχήμα . Σήματα θέσεων (Home, Lim+, Lim-) τύπου PNP (current source or active High) και NPN (current sink or active Low).

Τα παραπάνω σήματα έχουν δυναμικό 24 VDC, ενώ βάση αναφοράς τη XGND. Στη γενική περίπτωση προσφέρουν την δυνατότητα και NPN και PNP σύνδεσης, ωστόσο η προτιμώμενη εκδοχή είναι η NPN(current sink or active Low) ώστε όταν κλείνει το κύκλωμα διακόπτη να ενεργοποιείται η «fail safe» κατάσταση διακοπής ρεύματος, ενώ παράλληλα ενεργοποιείται η ενδεικτική λυχνία στην πρόσοψη της CUIF.



Εικόνα . θέσεις τοποθέτησης των διακοπών Home, Lim+ και Lim-.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή οι διακοπές ορίων και η θέση αρχικοποίησης (Home) λαμβάνονται από εξωτερικούς βιομηχανικούς διακόπτες ακριβείας, ενώ έχουν πακτωθεί σε κατάλληλα σημεία της διάταξης για το σκοπό αυτό (βλ.Εικόνα).

Ακολουθεί η αντιστοιχία συνδεσμολογίας της CUIF και των διακοπών ορίων θέσης/Home.

Τύπος Σήματος	Αρίθμηση Σημάτων «CUIF»	Προσδιορισμός διακόπτη
Home	3	Normal XOUT/ Connect XGND
Lim+	4	Normal XOUT/ Connect XGND

Lim-	5	Normal XOUT/ Connect XGND
------	---	------------------------------

Πίνακας . Συνδέσεις σημάτων (Home, Lim+/Lim-) CUIF-Motor Amplifier.

4.3.6 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η τροφοδοσία της P_{mac} πραγματοποιείται μέσω του τερματικού CUIF, ενώ οι βασικές από αυτές είναι οι (D+5, A+/-15, X+24, L+5). Στην περίπτωση που η P_{mac} έχει επιλεγθεί να τοποθετηθεί στο σύστημα ξενιστή (Host) σαν μία κάρτα διασύνδεσης «pci Bus», τότε η τάση λειτουργίας του επεξεργαστή ($V_{digital D+5}$) λαμβάνεται από το ίδιο το σύστημα. Έτσι οι αντίστοιχες τροφοδοσίες στο τερματικό CUIF θα πρέπει να μείνουν ελεύθερες (όχι συνδεδεμένες), σε άλλη περίπτωση θα προκληθούν βραχυκυκλώματα και σοβαρές βλάβες στα συστήματα ξενιστή-ελεγκτή.

Οι τροφοδοσίες A+/-15, X+24, L+5, λαμβάνονται από ένα βιομηχανικό τροφοδοτικό AC/DC (LPQ154), ενώ παρέχονται κανονικά στις ενδεδειγμένες περιοχές [22, 23, 24] της CUIF (βλ.Εικόνα).



Εικόνα . Διασύνδεση CUIF με τροφοδοτικό LPQ154.

Τέλος, για την ενεργοποίηση των συστημάτων ενίσχυσης απαιτείται η τροφοδοσία τάσης +24VDC στην είσοδο ενεργοποίησης του εκάστοτε ενισχυτή. Με βάση την συγκεκριμένη τάση μεταφέρονται όλα τα σήματα ελέγχου και ανάδρασης, ενώ ο ίδιος ο ενισχυτής επιβλέπει την παροχή της επισταμένα. Σε περίπτωση που αυτή διακοπεί, αυτόματα σηματοδοτείται η ακινητοποίηση του ελεγχόμενου κινητήρα, ενώ στη συνέχεια διακόπτεται κάθε παροχή οδήγησης προς τους κινητήρες.

Στα περισσότερα συστήματα αυτομάτου ελέγχου ένα πιεστικός διακόπτης τύπου «μανιταριού» (mushroom) είναι τοποθετημένος σε άμεσα προσβάσιμη θέση. Σε περίπτωση ανάγκης (με την ενεργοποίηση του από το χρήστη), ακινητοποιούνται άμεσα οι λειτουργίες και οι διατάξεις της μηχανής (βλ.Εικόνα). Η ύπαρξη του κρίνεται επιτακτική για την επιτήρηση της ασφάλειας του χειριστή αλλά και των μηχανικών μερών.



Εικόνα . Διακόπτης εκτάκτου ανάγκης τύπου Mushroom.

Για το συγκεκριμένο σκοπό συνδέθηκαν εν σειρά η παροχή τάσης +24VDC της CUIF (X+24) με τον διακόπτη «Mushroom» (στην κατάσταση «Normal Connect»), και εν συνεχεία με την είσοδο στους ενισχυτές θέση P24 (pin 1).

4.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με την εφαρμογή των κανονισμών ασφαλείας είμαστε σε θέση να συνδέσουμε την κατασκευή στο δίκτυο και στη συνέχεια να εκκινήσουμε τις διατάξεις υποστήριξης καθώς και το «υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης» ή «σύστημα ξενιστή» (**Host**). Το σύστημα υποστήριξης συνήθως αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, που παρέχει τη δυνατότητα πολλαπλού τρόπου επικοινωνίας με το χρήστη και το περιβάλλον του αντίστοιχα. Μπορεί να χρησιμοποιεί το σειριακό δίαυλο για την επικοινωνία μέσω μίας σειράς αλφαριθμητικών εντολών με την Pmac, ενώ παράλληλα το γραφικό περιβάλλον στην διαδραστική οθόνη να εμφανίζει πληροφορίες και διαδικασίες εξουσιοδότησης εκτέλεσης πραγματικού χρόνου (OTF).

Κατά τη διαδικασία εκκίνησης είθισται να παραχωρείται ένα μικρό χρονικό διάστημα μέχρι το σύστημα να φθάσει σε κατάσταση ετοιμότητας δηλ. «**κατάσταση κανονικής λειτουργίας**». Στη συνέχεια είναι δυνατή η εκτέλεση του ενδιάμεσου λογισμικού και η επίτευξη σειριακής διασύνδεση με την Pmac. Η σειριακή διασύνδεση αποτελεί το μόνο διαθέσιμο μέσο επικοινωνίας, ώστε να δοκιμαστεί επαρκώς – και να διαπιστωθούν ενδεχόμενες καταστάσεις σφάλματος, οι οποίες είτε πρέπει να αποφευχθούν είτε να γίνουν διαχειρίσιμες (Fau).

4.4.1 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Το ρόλο του ενδιάμεσου μεταξύ του υλικού του προγραμματιστή, παίζει το λογισμικό οδήγησης «PtalkPro». Στην συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία εγκατάστασης των σχετικών με την διαδικασία προγραμμάτων:

1. Αρχικά θα πρέπει να γίνει απεγκατάσταση οποιασδήποτε εφαρμογής παλαιότερης έκδοσης που έχει να κάνει σχετικά με την διαχείριση ή την ρύθμιση των παραμέτρων της αναπτυξιακή κάρτας Pmac.
2. Επόμενο βήμα αποτελεί η εγκατάσταση της βασικής σουίτας εργαλείων της Pmac το Rewin 32 Pro. Παράλληλα εγκαθίστανται και όλα τα δευτερεύοντα εργαλεία διαχείρισης -

παραμετροποίησης της κάρτας, καθώς και μία βασική έκδοση του οδηγού Pcomm 32. Ο τελευταίος επιτρέπει ένα μέγιστο αριθμό «ερωτήσεων» προς την Pmac, πέραν του οποίου διακόπτεται η επικοινωνία με την κάρτα για την ενεργές συνεδρίες, και τέλος,

3. Εγκατάσταση της επέκτασης του οδηγού PtalkDTPro. Για την ολοκλήρωση της απαιτείται ένας πραγματικός ή εικονικός οδηγός δισκέτας.

Στο ρόλο της εφαρμογής που απαρτίζει το λογισμικό διαχείρισης, μπορούμε να επιλέξουμε μία από τρεις βασικές επιλογές

A). Εκκίνηση της σουίτας Pmac NC32 ή Pmac Pro.
B). Εκκίνηση της εφαρμογής Pwin 32Pro.
Γ). Εκκίνηση αυτοσχέδιας εφαρμογής

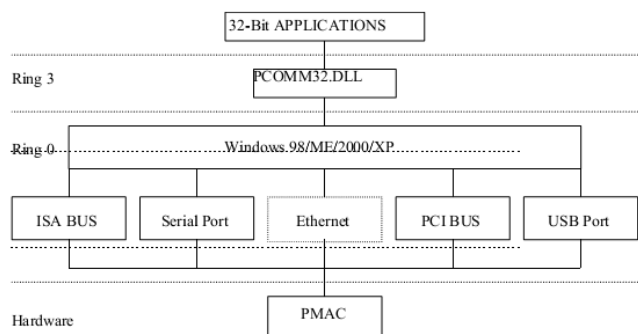
Η πρώτη εφαρμογή αποτελεί μία «Σουίτα» εργαλείων βάση της οποίας μπορούμε να παραμετροποιήσουμε την Pmac και να την χρησιμοποιήσουμε κατευθείαν για εκτέλεση εξειδικευμένων εντολών συγκεκριμένης κατηγορίας μηχανής κατεργασιών. Η σουίτα αυτή δεν είναι διαθέσιμη στην υπάρχουσα διανομή.

Ως προς την εκτέλεση της αυτοσχέδιας εφαρμογής, γίνεται αναλυτικότερη αναφορά σε μεταγενέστερη ενότητα της παρούσης διατριβής.

Στη συνέχεια κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί η πλατφόρμα «**Pwin 32 Pro**» και τα εργαλεία που μας παρέχει για συστηματική παραμετροποίηση του συστήματος, αφού προηγηθεί η παρουσίαση του οδηγού ενδιάμεσου «PtalkDTPro».

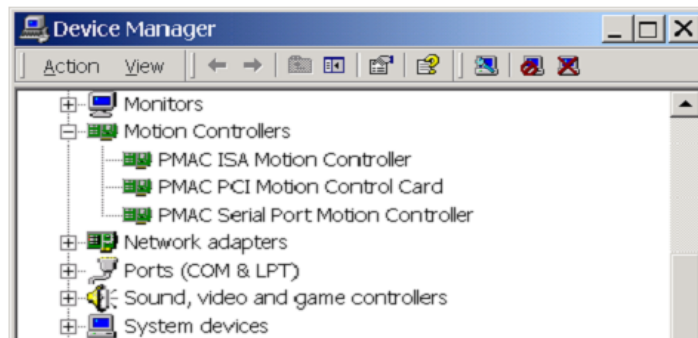
4.4.2 ΟΔΗΓΟΣ PTALKDTPRO

Ο οδηγός «Ptalk DT Pro» ή εναλλακτικά «Pcomm 32 Pro» αποτελεί τη βάση της επικοινωνίας της Pmac με τον έξω κόσμο. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από ένα σύνολο 400 διαφορετικών συναρτήσεων εκτέλεσης, οργανωμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να προάγεται η στιβαρότητα, η ταχύτητα, και η δυνατότητα μεταφερσιμότητας εκτέλεσης σε υπολογιστικές πλατφόρμες. Υποστηρίζει τις περισσότερες από τις εκδόσεις των λειτουργικών Microsoft Windows 32bit, και πληθώρα από διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Εικόνα . Δομή του οδηγού Pcomm 32.

Με την ολοκλήρωση της σύνδεσης και την εγκατάσταση των απαραίτητων οδηγών, το υλικό της Pmac συνήθως αναγνωρίζεται σχεδόν αυτόματα από το λειτουργικό σύστημα εμφανίζοντας μία ειδική κατηγορία εγγραφής στο διαχειριστή συσκευών, την «System/MotionControllers». Αν έχουν πραγματοποιηθεί όλα σωστά θα πρέπει να εμφανίζεται επίσης μία εγγραφή σειριακής διασύνδεσης όπως στην (Εικόνα).



Εικόνα . Διαχειριστής Συσκευών Λειτουργικού.

Τα πρωτόκολλα διασύνδεσης του υλικού της Pmac με το υποψήφιο πρόγραμμα διαχείρισης και το λειτουργικό, είναι πέντε όπως φαίνονται στην (Εικόνα), ενώ απαρτίζουν δύο διαφορετικές κατηγορίες.

➤ Θύρες Plug & Play

- ❖ Σύνδεση με τη μητρική πλακέτα του συστήματος ξενιστή PCI Bus.
- ❖ Σύνδεση μέσω απλούστερης τεχνικής, δηλ. θύρας USB.

➤ Θύρες Non-Plug & play

- ❖ Σύνδεση μέσω του διαύλου ISA.
- ❖ Σύνδεση μέσω κλασικής σειριακής θύρας.
- ❖ Σύνδεση τοπικού δικτύου τύπου Ethernet.

4.4.2.1 Κλήσεις σε Συναρτήσεις

Η βιβλιοθήκη του οδηγού "Ptalk DT" περιλαμβάνει 500 συναρτήσεις.

Οι συναρτήσεις χωρίζονται σε οκτώ βασικές κατηγορίες :

- ❖ Αρχικοποίησης, Τερματισμού και Παραμέτρων
- ❖ Επικοινωνίας προτύπου χαρακτήρων ASCII
- ❖ Ομαδοποιημένης μεταφόρτωσης αρχείων από και προς την Pmac
- ❖ Καταγραφής Δεδομένων και στατιστικών
- ❖ Συμβάντων Διακοπών
- ❖ Πληροφοριών Σειριακής Διασύνδεσης
- ❖ Μεταβλητών
- ❖ Άλλων λειτουργιών

Οι σημαντικότερες συναρτήσεις εξ αυτών εμπεριέχονται στις κατηγορίες αρχικοποίησης και τερματισμού, ομαδοποιημένης μεταφόρτωσης αρχείων και τέλος του διαύλου λήψης-αποστολής χαρακτήρων κωδικοποίησης ASCII. Η επικοινωνία με την Pmac επιτυγχάνεται με βάση συγκεκριμένη διαδικασία όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

4.4.2.2 Η φιλοσοφία Αρχικοποίησης

Σε πρώτη φάση η κάθε διεργασία που επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποια κάρτα αυτομάτου ελέγχου θα πρέπει να εκκινήσει μία διαδικασία συνεδρίας. Με αυτό τον τρόπο η οδηγός βιβλιοθήκη κάθε φορά που κάποια εφαρμογή κάνει μία ερώτηση (Query), είναι σε θέση ν' αποστέλλει τις κατάλληλες εντολές και να επιστρέφει τις απαντήσεις στον ερωτώμενο με ασφάλεια και αξιοπιστία, έχοντας χρεώσει σε αυτόν, τον κωδικό της σχετικής συναλλαγής. Ωστόσο σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου συνηθίζεται να υπάρχουν αρκετοί αυτοματισμοί είναι σχεδόν αδύνατο να διαχειρίζονται εξ ολοκλήρου από ένα και μοναδικό ελεγκτή. Έτσι τις περισσότερες φορές τα συστήματα ξενιστές επιτελούν παράλληλα λειτουργίες κατανεμητών φόρτου εργασίας, ενώ ταυτόχρονα προσπαθούν να εξισορροπούν τις αλυσίδες λογικής εκτέλεσης μικρού χρόνου αναμονής.

Συνεπώς, ένα σύστημα ξενιστής πρέπει να μπορεί να διασυνδέεται και να συνομιλεί με παραπάνω από έναν ελεγκτές, στις διακριτές τιμές χρόνου που τους αναλογεί. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας τους ελεγκτές σε δίκτυο μεταξύ τους, ενώ το λογισμικό του συστήματος ξενιστή θα πρέπει να εντοπίσει και να εκκινήσει συνεδρία με την κατάλληλη μονάδα ελέγχου στο ανάλογο χρονομερίδιο.

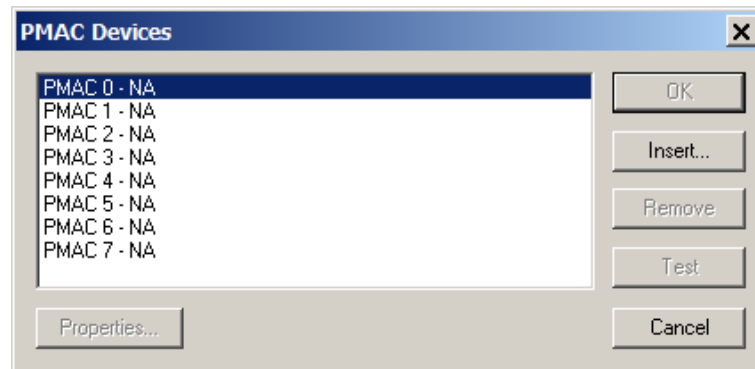
Οι παραπάνω διαδικασίες ολοκληρώνονται μέσα από μια σειρά συναρτήσεων της βιβλιοθήκης οδηγού και συγκεκριμένα με τις:

- ❖ PmacSelectDevice()
- ❖ PmacConfigure()
- ❖ OpenPmacDevice()
- ❖ ClosePmacDevice()
- ❖ LockPmac()
- ❖ ReleasePmac()

Με τη βοήθεια της «SelectDevice()» η εφαρμογή ελέγχου τροφοδοτείται από τη βιβλιοθήκη οδηγό με μια λίστα από τις διαθέσιμες αναγνωρισμένες κάρτες αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση που δεν έχει αποθηκευμένη πληροφορία από προγενέστερη συναλλαγή για το ποιος ελεγκτής εκτελεί συγκεκριμένη διεργασία ώστε να προβεί στη διευθυνσιοδότηση του, μεταβιβάζει στο χρήστη το κόστος απόφασης ώστε αυτός να έχει τη δυνατότητα ν' αποφανθεί σχετικά (Εικόνα). Στη συνέχεια με τη βοήθεια της «Configure()» μεταβιβάζουμε στη διεργασία ελέγχου παραμέτρους σχετικά με τις ιδιότητες της διευθυνσιοδότησης, ενώ τελικά ενεργοποιούμε και απενεργοποιούμε τον δίαυλο με τις «OpenDevice()» και «CloseDevice()» αντίστοιχα.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω οι «LockPmac()» και «ReleasePmac()» επιτελούν ένα διαφορετικό σκοπό.

Σε συστήματα όπου παραπάνω από μία διεργασίες ανταγωνίζονται μεταξύ τους για το ποια θα επικοινωνήσει πρώτη με το αντίστοιχο υλικό, παρατηρούνται αξιοσημείωτα προβλήματα διεκδίκησης πόρων. Για το λόγο αυτό, όταν μία διεργασία αποκτήσει πρόσβαση στον δίαυλο τότε εκτελεί την "Lock". Αυτή, όπως φανερώνει και η ονομασία της, «Κλειδώνει» και κρατά την κυριότητα του μέσου, για το χρονικό διάστημα έως ότου εκτελεστεί αντίστοιχα μία κλήση της "Release". Κατά το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα, όταν ένας δίαυλος έχει κλειδωθεί σε μία συγκεκριμένη διεργασία, καμία άλλη δεν έχει δικαίωμα πάνω του, ενώ πιθανές εκτελέσεις από άλλες διεργασίες της "Lock" επιστρέφουν με μία ένδειξη σχετικού σφάλματος.



Εικόνα . Γραφικό παράθεσης των διαθέσιμων αναγνωρισμένων ελεγκτών παρεχόμενο από τη βιβλιοθήκη Οδηγό εγκατεστημένη στο λειτουργικό σύστημα του ξενιστή.

Λειτουργίες εφαρμογών που έχουν να κάνουν με ενημέρωση ενδείξεων πραγματικού χρόνου (όπως είναι π.χ. οι μεταβλητές κατάστασης της μηχανής ή οι μεταβλητές θέσεων, ταχυτήτων, κτλ.), τείνουν είτε ν' αποτυγχάνουν είτε να εμφανίζουν με μεγάλη καθυστέρηση τις αντίστοιχες αλλαγές. Αυτό συμβαίνει διότι όταν μία διεργασία κλειδώσει το κανάλι επικοινωνίας μόνο για τον εαυτό της, δεν δεσμεύεται για το πόσο μεγάλο χρονικό διάστημα θα παραμείνει σε αυτή την κατάσταση, αποτρέποντας έτσι την διεκδίκηση του διαύλου από άλλες διεργασίες ίδιας ή μεγαλύτερης σημαντικότητας.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα παρατίθεται αναλυτικά κατά την παρουσίαση των μεθόδων διασύνδεσης της αυτοσχέδιας εφαρμογής axis2D.

4.4.2.3 Επικοινωνία με Ελεγκτή

Από τη στιγμή που μία διεργασία έχει αποκτήσει ενεργό δίαυλο με μία διευθυνσιοδοτημένη κάρτα ελέγχου, είναι σε θέση ν' αποστείλει εντολές προς αυτήν αλλά και να δεχτεί πίσω τα προκύπτοντα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας ενδιάμεση αποθήκευση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Αυτό είναι απαραίτητο ώστε να μην χάνεται πληροφορία από κατακερματισμό ή από ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων στον δίαυλο.

Ωστόσο οι κάρτες αυτομάτου ελέγχου διαχειρίζονται το δίαυλο επικοινωνίας σαν ένα ανοικτό αρχείο αποθηκευόμενης πληροφορίας.

Όταν μία εφαρμογή εκκινεί την συναλλαγή αλφαριθμητικών χαρακτήρων που πιθανόν απαρτίζουν κάποια εντολή εκτέλεσης προς την κάρτα, η δεύτερη προβαίνει στην σειριακή

αποθήκευση των χαρακτήρων στο ενδιάμεσο αρχείο πληροφορίας. Όταν δε η αποστολή της πληροφορίας ολοκληρωθεί κανονικά, τότε αναλαμβάνει μέσω ειδικών μηχανισμών αντιπαράλληλισμού να ελέγξει εάν η πληροφορία αυτή αντιστοιχεί σε κάποια εγγενή διαδικασία εκτέλεσης και αν ναι, τότε την εκτελεί. Κατά τον ίδιο με πρωτύτερα τρόπο επιστρέφει στην αιτούμενη διεργασία τα προκύπτοντα αποτελέσματα, ενώ σε διαφορετική περίπτωση επιστρέφει ένα κωδικό σφάλματος.

Από την μεριά των διεργασιών, η διαδικασία αποστολής, εκτέλεσης και λήψης δεδομένων από και προς τις κάρτες ελέγχου, πραγματοποιείται με κλήση σε συγκεκριμένες συναρτήσεις βιβλιοθήκης. Η αποστολή αλφαριθμητικών χαρακτήρων πραγματοποιείται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μέσω κωδικοποίησης τύπου Ascii, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις προσφέρεται η αποστολή της πληροφορίας στο δεκαεξαδικό σύστημα .

Μερικές από τις αντίστοιχες εντολές βιβλιοθήκης ειδικού σκοπού:

- ❖ SendChar(), για χαρακτήρες ελέγχου
- ❖ SendLine(), για strings
- ❖ GetResponse(), για strings
- ❖ GetControlResponse(), για χαρακτήρες ελέγχου
- ❖ GetLineACK(), λήψη αποτελεσμάτων από ενδιάμεσο αρχείο μνήμης
- ❖ IsLineWaiting() για ειδοποίηση ότι τα αποτελέσματα αναμένουν στο ενδιάμεσο αρχείο μνήμης
- ❖ Flush(), διακοπή διαύλου επικοινωνίας και άδεια του ενδιάμεσου αρχείου αποθήκευσης δεδομένων

Με την κλήση των DownloadFile() και UploadFile() μεταβιβάζονται στην Pmac αρχεία εκτελέσιμου κώδικα, αρχεία ρυθμίσεων, καθώς και να λαμβάνουμε πίσω αρχεία καταγραφής συντεταγμένων κλπ.

4.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ PEWIN 32 PRO

Η εφαρμογή Pwin 32 υποστηρίζεται σε «Windows Xp» και «Windows 7». Με αυτή ο χρήστης ελέγχει, παραμετροποιεί, αλλά και εξφαλματώνει την πολυαξονική κάρτα αυτομάτου ελέγχου (Programmable Multi-axis Controller) «PMAC». Οι ρυθμίσεις που επιτρέπονται μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής έχουν ως βασικό σκοπό την ευκολία στην επιτήρηση, αλλά και τη συντήρηση του υλικού αυτομάτου ελέγχου.

Ωστόσο πρέπει να τονίσουμε ότι δεν υπάρχει κάποια δέσμευση, είτε από πλευράς υλικού, είτε από πλευράς λογισμικού που να μας επιβάλει την παραμετροποίηση μόνο μέσω της συγκεκριμένης πλατφόρμας. Αλλαγές σε μεταβλητές ή όποιες άλλες ρυθμίσεις, μπορούν να πραγματοποιηθούν κάλλιστα και μέσω του βασικού τερματικού διαχείρισης του χρήστη ή μέσω οποιουδήποτε εναλλακτικού τρόπου πρόσβασης σε δίαυλο επικοινωνίας με την κάρτα αυτομάτου ελέγχου.

Το κεντρικό παράθυρο επικοινωνίας αποτελείται από ένα τυπικό Split Container, μέσα στο οποίο εμφανίζονται τα γραφικά περιβάλλοντα των εξειδικευμένων εργαλείων της σουίτας, ενώ το

βοηθητικό μενού λειτουργιών δίνει τη δυνατότητα ν' αποθηκεύονται οι τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται υπό τη μορφή συνεδριών.

Οι πιο ενδιαφέρουσες λειτουργίες που ενσωματώνονται στην εφαρμογή «Pewin32Pro», ομαδοποιούνται στα επόμενα:

- ❖ Προβολή Μεταβλητών Συστήματος
 - Μεταβλητές I
 - Μεταβλητές P
 - Μεταβλητές Q
 - Μεταβλητές M

- ❖ Επισκόπηση Λειτουργιών
 - Τερματικό χρήστη
 - Θέσεις-Ταχύτητες Κινητήρων
 - Λειτουργίες Μετατόπισης Βήματος
 - Καταστάσεις κινητήρων
 - Συστήματα Συντεταγμένων

- ❖ Εργαλεία Παραμετροποίησης
 - P1 Setup Pro
 - Test Pro
 - Tuning Pro
 - Plot Pro

4.4.4 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Συνοψίζοντας λοιπόν την κατάσταση έως αυτή τη στιγμή, το σύστημα απαρτίζεται από δύο κινητήρες τοποθετημένους σε μία ορθογώνια σχέση μεταξύ τους. Με τη βοήθεια συσχετισμένων γραμμικών διατάξεων κίνησης τύπου κοχλία-περικοχλίου, συντίθεται ένα καρτεσιανό πλέγμα κίνησης της θεωρητικής κεφαλής της μηχανής κατεργασίας. Οι δύο Κινητήρες, οι ενισχυτές οδήγησης, οι αισθητήρες ανάδρασης θέσεων καθώς και οι διακόπτες αρχικοποιήσεων - ορίων ασφαλείας, είναι όλα συνδεδεμένα με το ενδιάμεσο τερματικό της Pmac (CUIF), ενώ σε προηγούμενο στάδιο έχει επιβεβαιωθεί η ηλεκτρική συνδεσιμότητα αυτών.

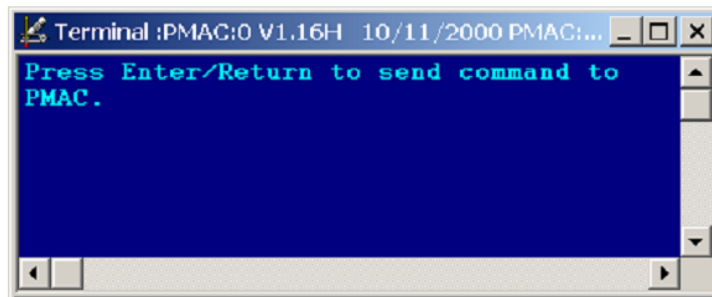
Στο σημείο αυτό εκκινούμε το σύστημα ξενιστή, και τροφοδοτούμε κανονικά την Pmac ώστε να δοκιμάσουμε για πρώτη φορά την επικοινωνία με την κάρτα αυτομάτου ελέγχου. Σκοπός της διαδικασίας είναι να επιβεβαιωθεί σε πρώτη φάση η ολική λειτουργική ακεραιότητα της διάταξης και όχι τόσο η ποιότητα της απόκριση της.

Για την πρώτη εκκίνηση της διάταξης αποσυνδέθηκε ο ευαίσθητος και ακριβής εξοπλισμός των γραμμικών διατάξεων προώσεως από τους κινητήρες, επιβάλλοντας μικρή χαλάρωση στους συνδετήρες μεταφοράς ροπής (coupler). Έτσι οι κινητήρες είναι σε θέση να εργάζονται ελεύθερα,

χωρίς φορτίο και περιορισμούς ως προς τη φορά, τον αριθμό και την ταχύτητα περιστροφής. Επιπλέον έχουμε φροντίσει ώστε οι διατάξεις ενίσχυσης να μην είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο τάσης, ενώ ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης είναι σε κατάσταση αποκοπής, μη επιτρέποντας έτσι την απόκριση οποιασδήποτε εξόδου προς τους κινητήρες.

Μετά την εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος, και αφού αυτό έχει σταθεροποιηθεί επαρκώς, εκκινούμε την εφαρμογή «Pewin 32 Pro». Σκοπός της παρούσης διαδικασίας είναι η επικοινωνία με την κάρτα αυτομάτου ελέγχου, και η επιβεβαίωση της σωστής απόκρισης της σε πιθανή εκτέλεση αλφαριθμητικής εντολής.

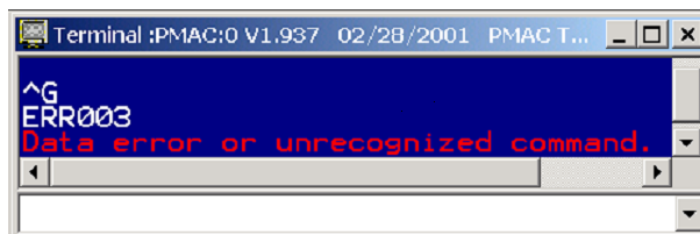
Σε επόμενο βήμα, από το μενού επιλογών της εφαρμογής επιλέγουμε την εμφάνιση του τερματικού επικοινωνίας (terminal window), μέσω του μονοπατιού [ViewMenu->Terminal], ενώ στην οθόνη μας θα πρέπει να εμφανιστεί αντίστοιχα η εφαρμογή τερματικού χρήστη (Εικόνα).



Εικόνα . Τερματικό επικοινωνίας της Pewin32 pro με την Pmac.

Ωστόσο βέβαια, πριν από την εμφάνιση της συγκεκριμένης εφαρμογής, θα πρέπει η εφαρμογή να μας ζητήσει να επιλέξουμε την επιθυμητή κάρτα αυτομάτου ελέγχου, με την οποία θα επιχειρήσει να συνδεθεί. Αυτό πραγματοποιείται με το παραστατικό επιλογής όπως εμφανίζεται στην (Εικόνα). Αν μετά τη διαδικασία επιλογής ελεγκτή δεν προκύψει κάποιο σφάλμα, τότε μπορούμε να προβούμε στην εκτέλεση μιας μη αναγνωρίσιμης εντολής, ώστε να δούμε πως θ' αποκριθεί σ' αυτή η Pmac.

Για την επιβεβαίωση πληκτρολογούμε στην περιοχή εισόδου εντολών κάτω από το τερματικό τον συνδυασμό πλήκτρων [CTRL+G] (Εικόνα).



Εικόνα . Πληκτρολόγηση εντολής [CTRL+G] στο τερματικό χρήστη.

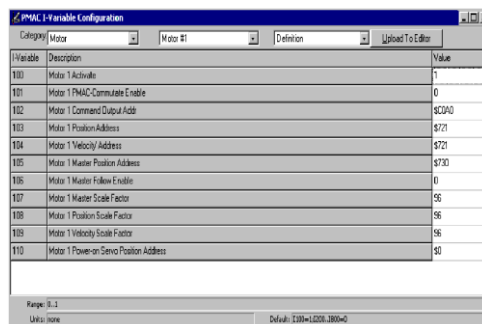
Αν όλα έχουν εξελιχθεί σωστά, θα πρέπει η κάρτα αυτομάτου ελέγχου να επιστρέψει ένα κωδικό αναφοράς σφάλματος (ERR 003) και την επεξήγηση σφάλματος δηλωμένη στη συνέχεια με κόκκινη εμφανή γραμματοσειρά.

4.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΡΜΑC

Η διαδικασία σχετίζεται με την τροποποίηση των μεταβλητών κατάστασης της κάρτας ελέγχου, ώστε κινητήρες και οι αντίστοιχα συσχετιζόμενες βαθμίδες, να συνδυάζονται κατάλληλα με σκοπό την επίτευξη ελέγχου ανάδρασης κλειστού βρόγχου.

Η παραμετροποίηση του τρόπου με τον οποίο η Ρmac συσχετίζει τα σήματα και τις αναδράσεις στο εσωτερικό της, ορίζονται αυστηρά από μια σειρά μεταβλητών τύπου «I». Αλλαγές σχετικά με τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών ή όποιες άλλες ρυθμίσεις, μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω του βασικού τερματικού χρήστη, την ειδική εφαρμογή παραμετροποίησης από το menu της Rewin23pro (βλ. Εικόνα), ή με τη βοήθεια άλλων αυτοματοποιημένων διεργασιών επιβολής βασικών ρυθμίσεων, όπως με τις εφαρμογές (P1 Set Up και Ρmac Tuning).

Για την παραμετροποίηση των κινητήρων και μετέπειτα των σχετικών αναδράσεων, υπεύθυνες είναι δύο βασικές ομάδες I-μεταβλητών. Αυτές, που σχετίζονται με την παραμετροποίηση των κινητήρων και καταλαμβάνουν ανά ομάδες των ογδόντα έξι τις θέσεις από 1100 έως 1886, και αυτές, που είναι υπεύθυνες για τον τύπο και τη συσχέτιση των αναδράσεων. Είναι χωρισμένες ανά πεντάδες από τη θέση 1900 έως 1939 για τους οκτώ κινητήρες αντίστοιχα, ενώ οι ομάδες των ογδόντα έξι είναι χωρισμένες σε ανεξάρτητες κατηγορίες για κάθε κινητήρα, στις επόμενες οκτώ: (Definition, Safety, Movement, Basic Servo, Extended Servo Loop, Servo Loop, Commutation και Backlash).



Variable	Description	Value
110	Motor 1 Activate	1
111	Motor 1 P1MAC-Commutate Enable	0
112	Motor 1 Command Output Addr	800A0
113	Motor 1 Position Address	8721
114	Motor 1 Velocity Address	8721
115	Motor 1 Master Position Address	8720
116	Motor 1 Master Follow Enable	0
117	Motor 1 Master Scale Factor	50
118	Motor 1 Position Scale Factor	56
119	Motor 1 Velocity Scale Factor	56
110	Motor 1 Power-on Servo Position Address	80

Εικόνα . Εφαρμογή τροποποίησης των μεταβλητών I μέσω της σουίτας Rewin23Pro.

Η διαδικασία ανάλυσης μία προς μία των παραπάνω I-μεταβλητών κρίνεται αρκετά χρονοβόρα και αποπροσανατολιστική, για το λόγο αυτό παραμετροποιούμε αρχικά την Ρmac με τη βοήθεια μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας ρυθμίσεων, και στη συνέχεια θ' ασχοληθούμε πιο ειδικά με την ανάλυση των επηρεαζόμενων παραμέτρων.

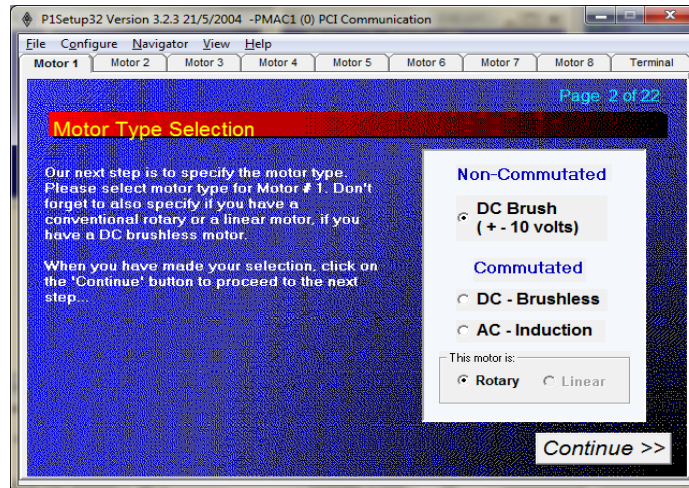
Η εφαρμογή που εκτελούμε ονομάζεται «P1Setup2» και ανήκει στην βασική σουίτα εργαλείων εγκατάστασης της Rewin23Pro. Σ

Τέλος, στη συνέχεια περιγράφεται βήμα-βήμα η διαδικασία σχετικά με τη ρύθμιση των κινητήρων, των αναδράσεων και των τερματικών διακοπών.

4.5.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ & ΔΙΑΚΟΠΕΣ

Για την ολοκλήρωση του επόμενου οδηγού ρυθμίσεων, απαιτείται καλή γνώση των παραμέτρων του υλικού της Pmac, γενικότερες έννοιες αυτομάτου ελέγχου, όπως και γνώσεις σχετικά με την μορφολογία και τις απαιτήσεις της οδηγούμενης διάταξης.

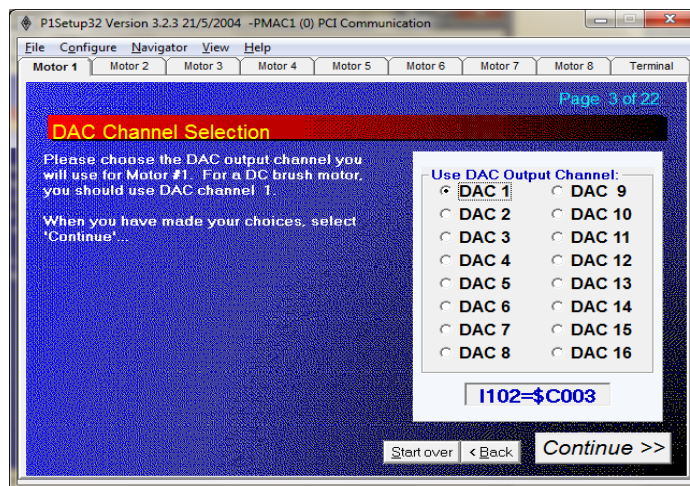
Στην (Εικόνα) παρουσιάζεται η διαδικασία παραμετροποίησης του πρώτου κινητήρα της διάταξης. Με ορίζοντα την επιτυχή ρύθμιση των παραμέτρων είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τον τρόπο συνδεσμολογίας των υποσυστημάτων με την Pmac, ενώ ειδικότερα την κατάσταση και τον τύπο συνδεσμολογίας των σημάτων εισόδου (PNP/NPN).



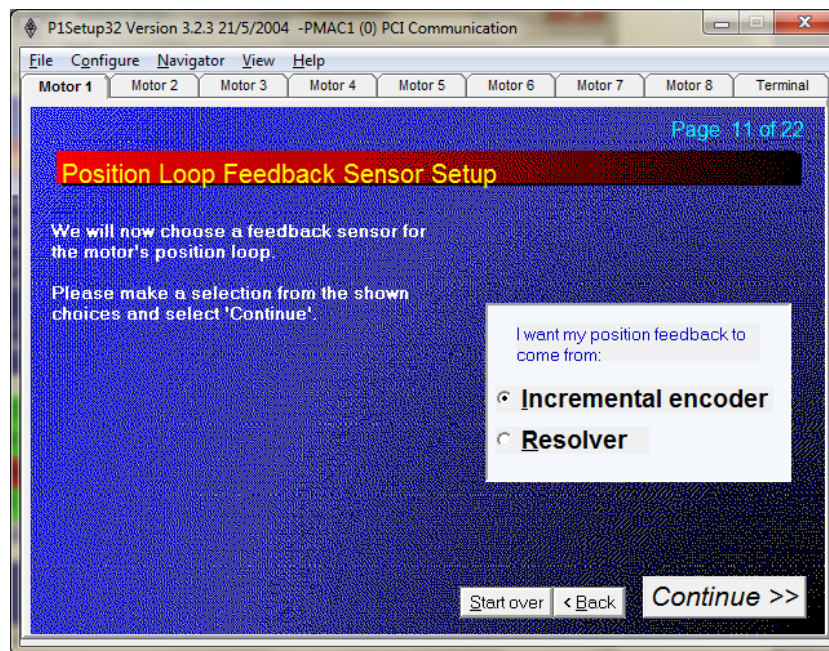
Εικόνα . Επιλογή τύπου του οδηγούμενου κινητήρα.

Σε επόμενο βήμα επιλέγεται ο τύπος και ο τρόπος οδήγησης των κινητήρων που χρησιμοποιούνται, ενώ παραχωρείται η δυνατότητα επιλογής γραμμικού ή περιστροφικού τύπου κινητήρα.

Αμέσως μετά δηλώνεται η αναλογική έξοδος που είναι συνδεδεμένη η βαθμίδα ενίσχυσης του άμεσα σχετιζόμενου κινητήρα, ενώ αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί ισάξια συμβατικά από το τερματικό εκτέλεσης εντολών προγραμματιστή. Συμβατικά αρκεί ν' αναθέσουμε τη δεκαεξαδική τιμή «C003» στην μεταβλητή «I102».



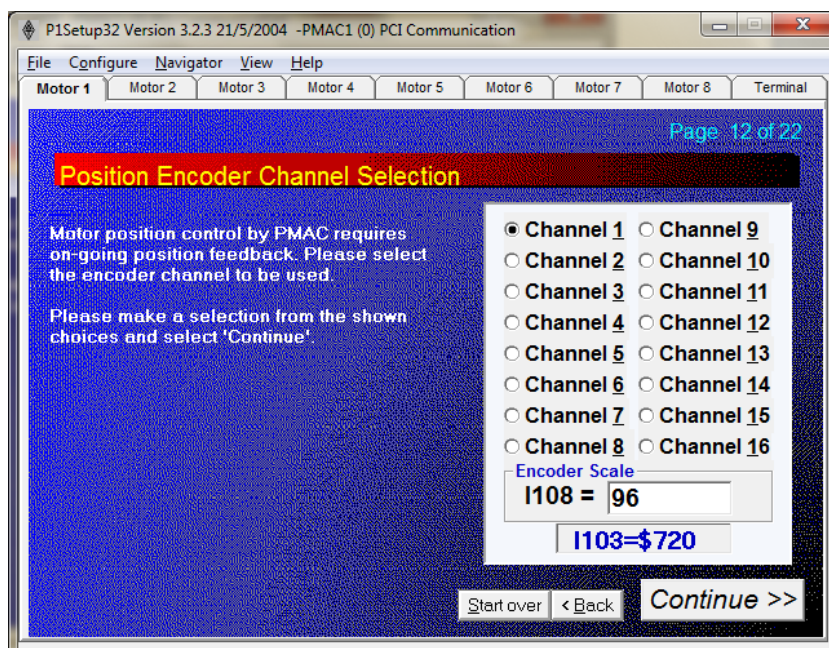
Εικόνα . Επιλογή της αναλογικής εξόδου με βάση την οποία θα προσπελαύνεται ο σχετικός κινητήρας.



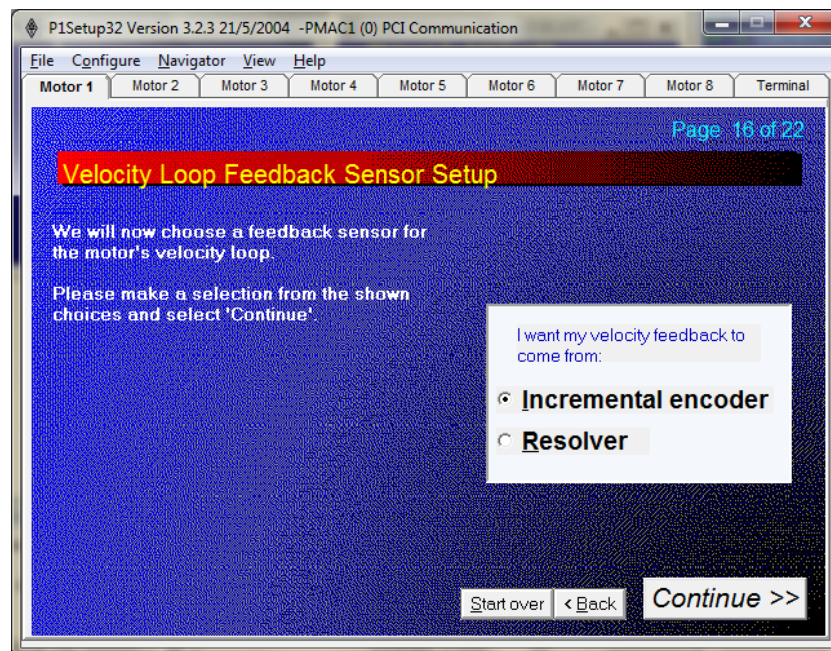
Εικόνα . Επιλογή του τύπου του αποκωδικοποιητή ανάδρασης θέσης.

Επιλέγεται ο τύπος του αισθητήρα ανάδρασης (γραμμικού ή περιστροφικού τύπου), ενώ όπως και προγενέστερα απαιτείται ο προσδιορισμός της θέσης εισόδου από την οποία λαμβάνεται το σήμα ανάδρασης θέσης.

Η συμβατική εκτέλεση στο τερματικό χρήστη, ισοδυναμεί με ανάθεση της δεκαεξαδικής τιμής «96» στην μεταβλητή «I108» και «720» στην «I103» αντίστοιχα.



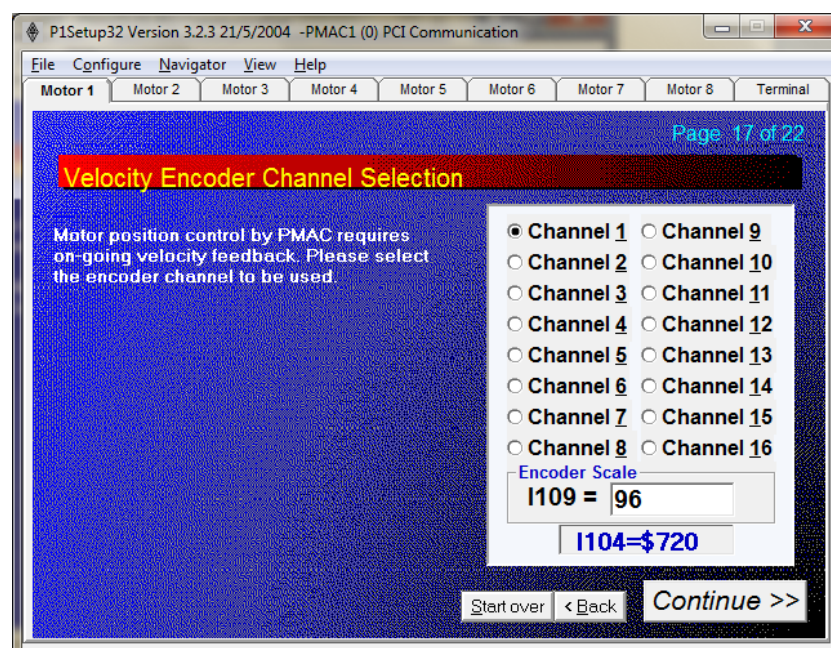
Εικόνα . Επιλογή της διαφορικής εισόδου του αποκωδικοποιητή θέσης.



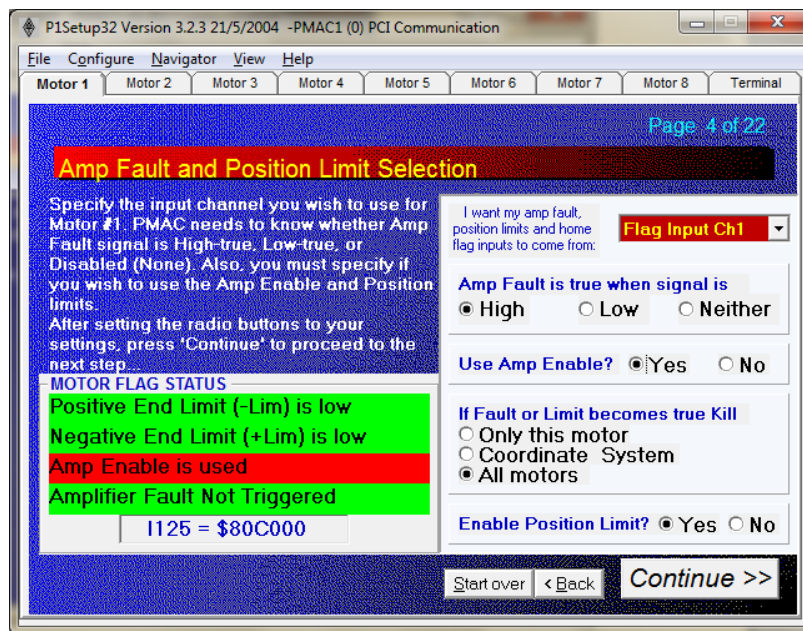
Εικόνα . Επιλογή του τύπου του αποκωδικοποιητή ανάδρασης ταχύτητας.

Παρόμοια επιλέγεται ο τύπος του αισθητήρα ανάδρασης ταχύτητας (τύπου γραμμικού ή περιστροφικού), ενώ αντίστοιχα απαιτείται ο προσδιορισμός της θέσης εισόδου από την οποία λαμβάνεται το σήμα ανάδρασης ταχύτητας.

Η συμβατική εκτέλεση στο τερματικό χρήστη, ισοδυναμεί με ανάθεση της δεκαεξαδικής τιμής «96» στην μεταβλητή «I109» και «720» στην «I104» αντίστοιχα.

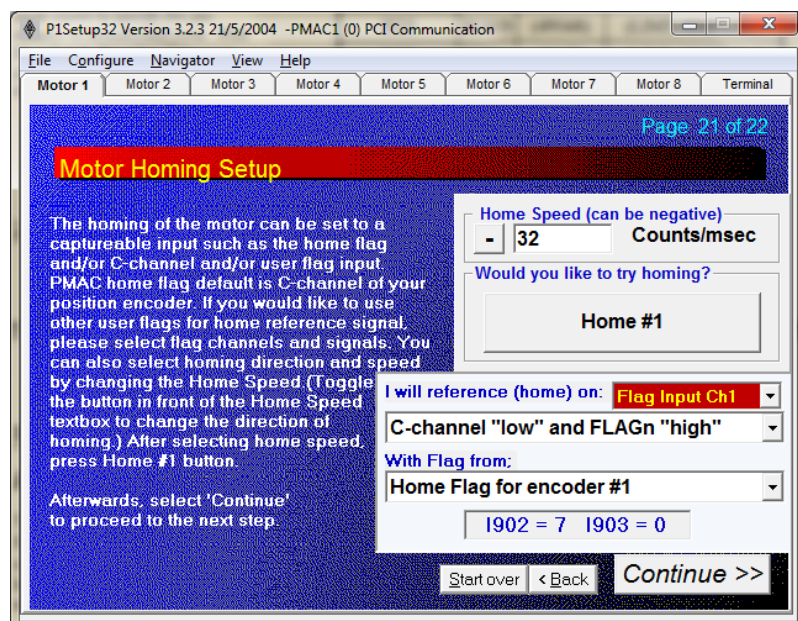


Εικόνα . Επιλογή της διαφορικής εισόδου του αποκωδικοποιητή ταχύτητας.



Εικόνα . Ρύθμιση των σημάτων κατάστασης εισόδου (σφάλματος και διακοπών ορίων)

Στα τελευταία δύο βήματα ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται τα συμβάντα διακοπών σε συνδυασμό με τις μηχανικές διακοπές του υλικού. Έτσι για την ολοκλήρωση του συγκεκριμένου βήματος θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι στην διάταξη (CUF) όλοι οι μηχανικοί έλεγχοι ορίου (Lim+, Lim- και Home).



Εικόνα . Επιλογή του τύπου διακοπής στην οποία θα ολοκληρώνεται η διαδικασία αρχικοποίησης του κινητήρα.

Στην Εικόνα ορίζεται η κατάσταση στάθμης σήματος στην οποία πυροδοτείται η διακοπή σφάλματος Fault, ενώ παρέχεται η δυνατότητα επιλογής ενεργοποίησης ή όχι της στάθμης εξόδου «Enable». Ορίζεται ο έλεγχος της διάταξης για συμβάντα διακοπών υπέρβασης ορίου μέγιστης

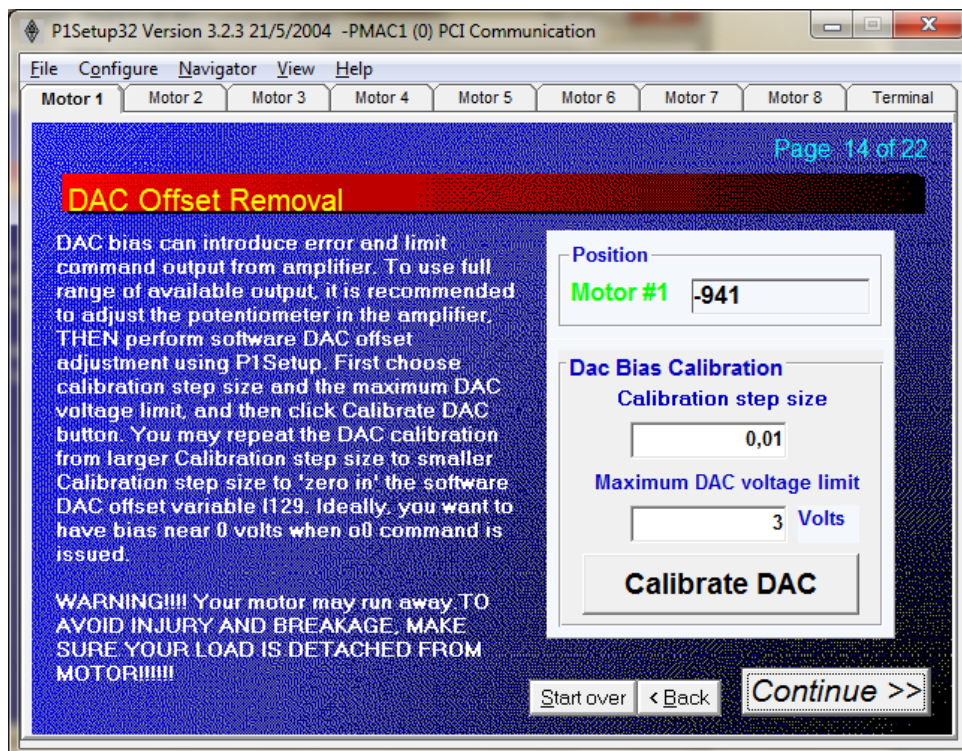
διαδρομής, ενώ τέλος, επιλέγεται η ενέργεια αντίδρασης της P_{mac} στην περίπτωση αναγνώρισης σήματος σφάλματος σε κάποιο κινητήρα.

Στην Εικόνα ορίζεται η φορά και η ταχύτητα κίνησης του κινητήρα προς προσέγγιση του σημείου τοποθέτησης του διακόπτη αρχικοποίησης HOME, ενώ επιλέγεται το σύνολο των σημάτων διακοπής που αξιολογούνται ώστε ν' ολοκληρωθεί κατάλληλα μία αίτηση εύρεσης αρχικής θέσης. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα να εκτελούνται πραγματικές εντολές εύρεσης αρχικής θέσης, έτσι ώστε να επιβλέπεται η διαδικασία εύρεσης της θέσης Home αλλά και η επιτυχή ενεργοποίηση των διακοπών ακραίων ορίων. Με τον τρόπο αυτό είμαστε βέβαιοι ότι έχουν εισαχθεί οι πλέον σωστές αλλά και ασφαλείς ρυθμίσεις.

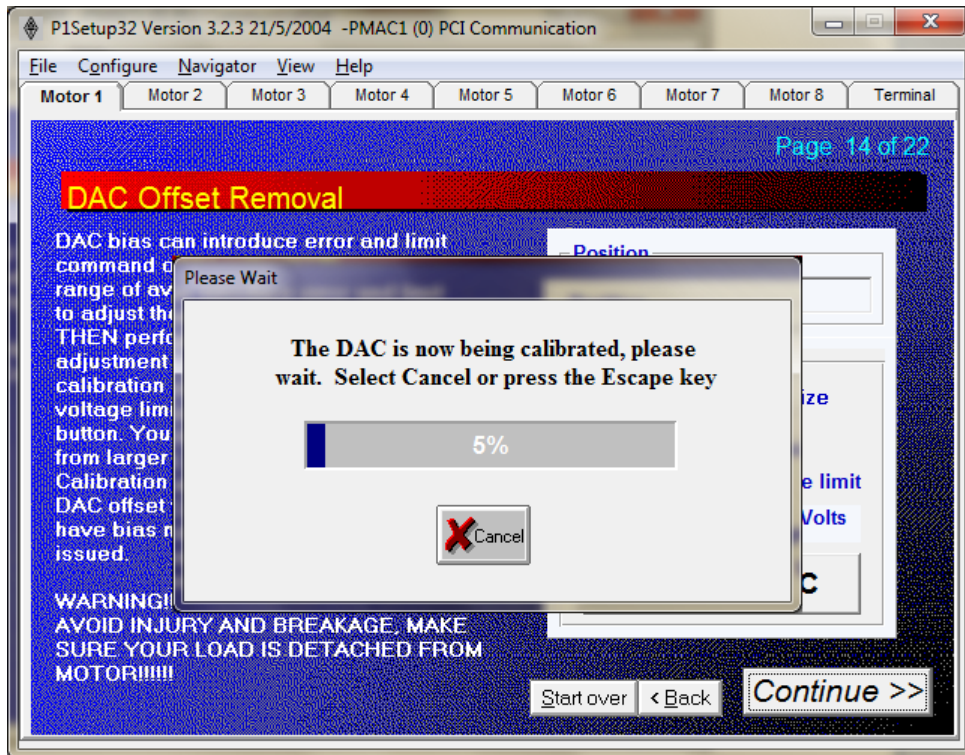
Τέλος πρέπει να επισημάνουμε, πως η παραπάνω διαδικασία κρίνεται επαναλήψιμη για το σύνολο των διευθυνσιοδοτούμενων κινητήρων, φροντίζοντας ο καθένας από αυτούς να έχει ρυθμιστεί, να δέχεται και ν' αποκρίνεται στις σωστές θύρες εισόδου/εξόδου, αυτές με τις οποίες έχει συνδεθεί και ηλεκτρικά.

4.5.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΕΡΔΩΝ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

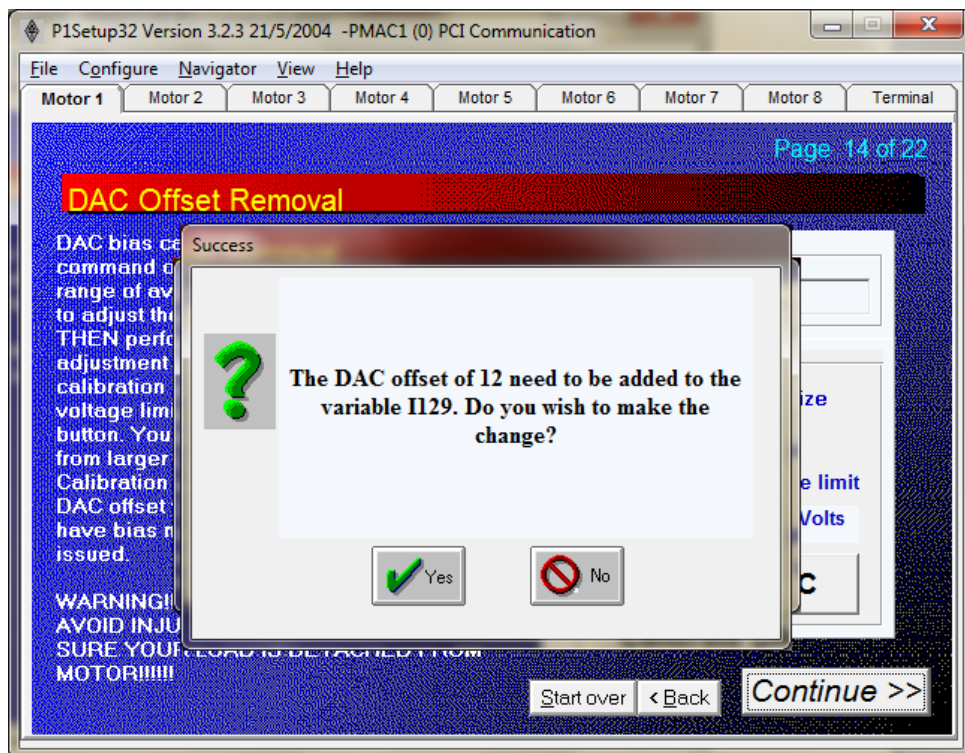
Κατά τη διαδικασία παραμετροποίησης και ελέγχου της ανάδρασης πραγματοποιούνται εντολές απόκρισης πραγματικού χρόνου, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται τα αποτελέσματα από το ίδιο σύστημα. Έτσι παρατηρώντας τις αποκλίσεις των αιτηθέντων σημάτων από τις πραγματικές τιμές, είμαστε σε θέση να ρυθμίζουμε τις διατάξεις κατά τρόπο ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή συμπεριφορά αποκρίσεων [Hara89], [Jeon00], [Saka86], [Tsaio5].



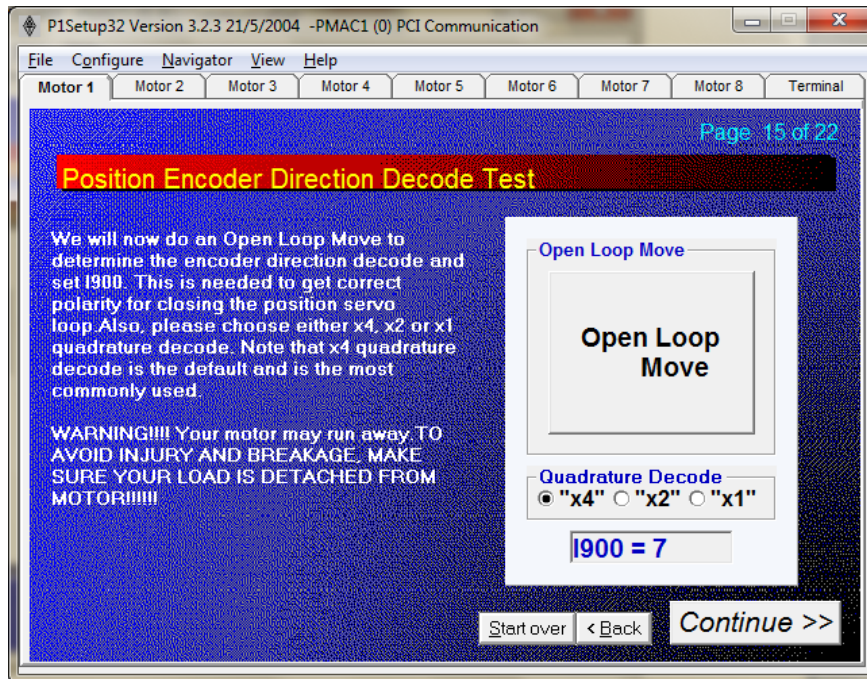
Εικόνα . Διαδικασία παραμετροποίησης της απόκρισης της αναλογικής εξόδου του κινητήρα



Εικόνα . Αυτόματη διαδικασία εκτέλεσης εντολών σκαλοπατιού (Step move) για την ρύθμιση της εξόδου DAC+/-

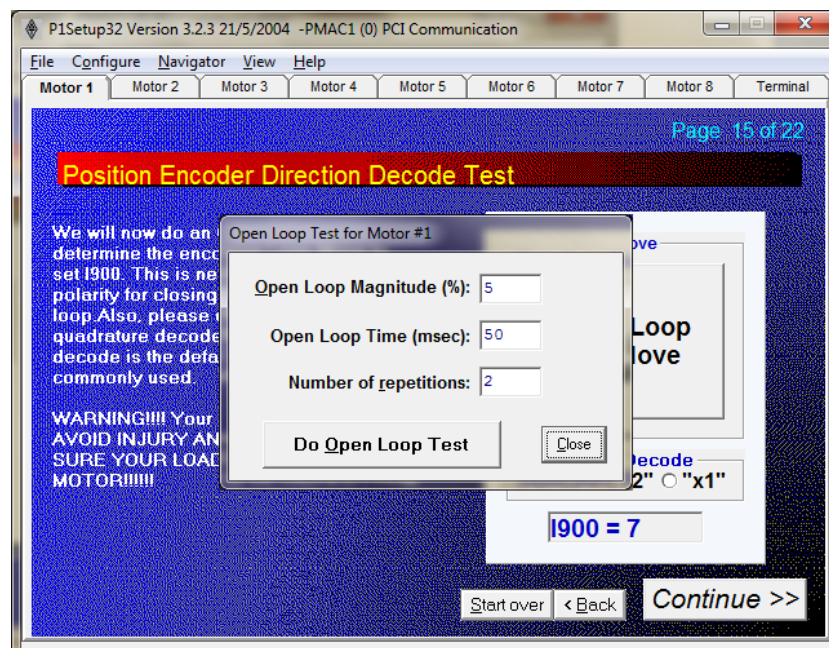


Εικόνα . Επιβεβαίωση της μεταφόρτωσης της σχετικής I-μεταβλητής.

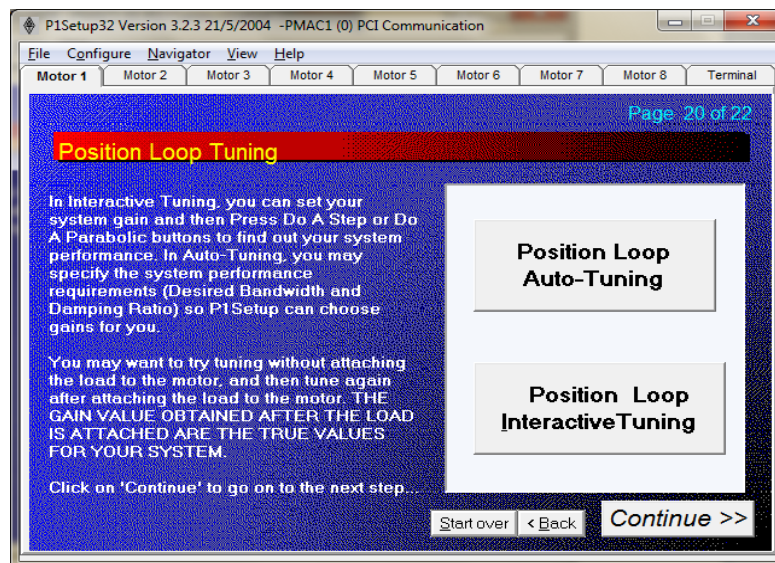


Εικόνα . Πραγματοποίηση κίνησης ανοικτής ανάδρασης

Κατά την διαδικασία εκτέλεσης εντολών κύκλου ανοικτής ανάδρασης οι κινητήρες θα πρέπει να είναι αποσυνδεδεμένοι από τα συστήματα γραμμικής πρόωσης. Ο έλεγχος σε αυτή τη φάση είναι απαραίτητος για να ορίσουμε τη θετική φορά περιστροφής του κινητήρα σε σχέση με τον αποκωδικοποιητή ανάδρασης θέσης/ταχύτητας. Αν δεν είναι η αναμενόμενη την παραμετροποιούμε είτε μέσω ρύθμισης του σήματος της Pmac είτε μέσω της ενισχύουσας διάταξης (όπως θα δούμε στην επόμενη ενότητα).



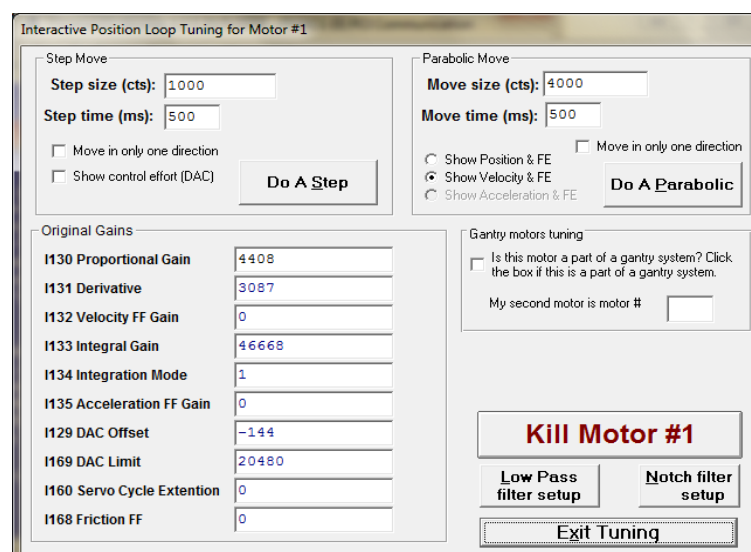
Εικόνα . Δυνατότητα επιλογής παραμέτρων εντολής ανοικτού κύκλου ανάδρασης.



Εικόνα . Ρύθμιση κερδών κλειστού κύκλου ανάδρασης θέσης.

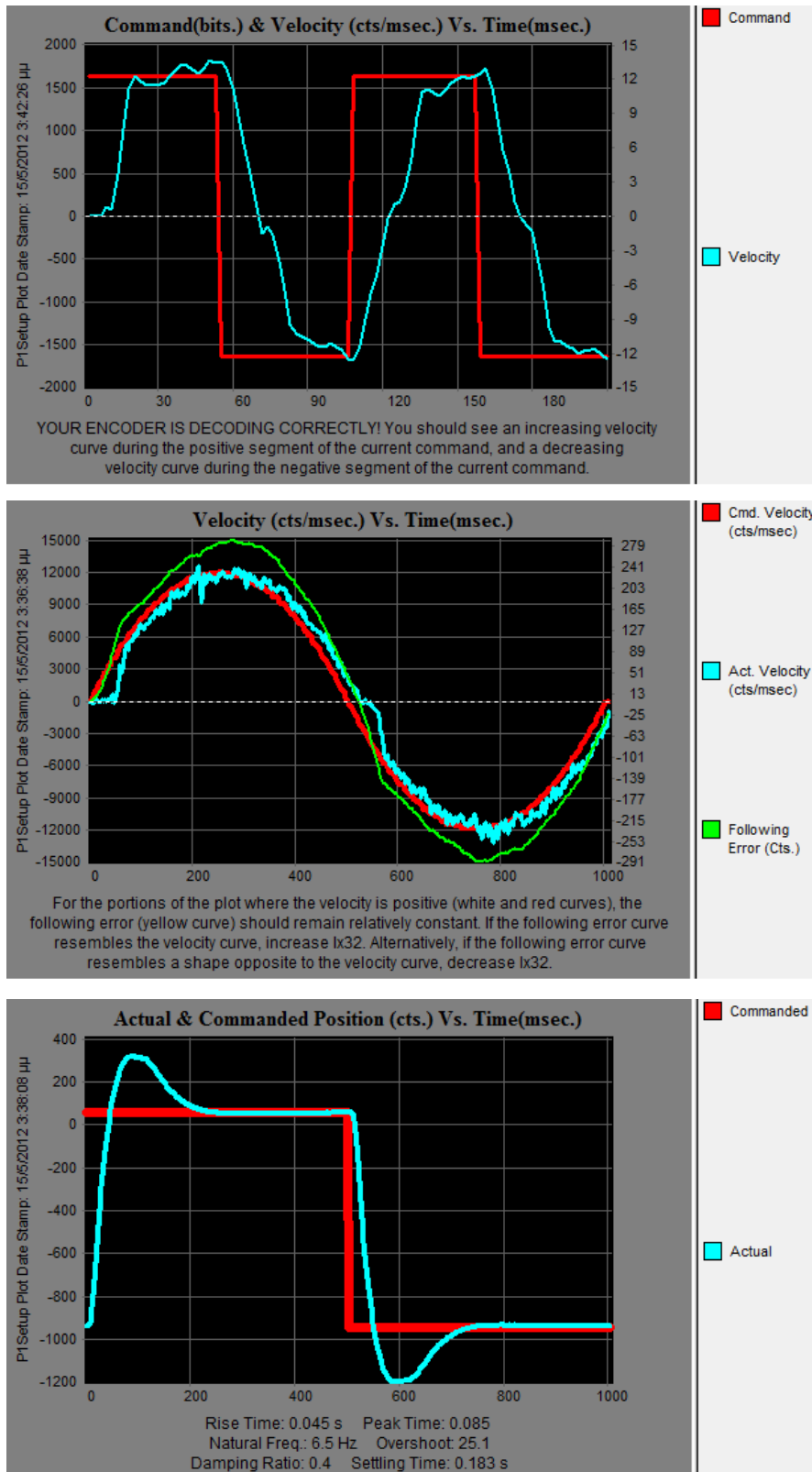
Κατά τη διαδικασία ρύθμισης των κερδών πρέπει να συνδεθούν οι διατάξεις γραμμικής προώσεως στους κινητήρες, ώστε αυτοί να ρυθμιστούν υπό το φορτίο και την αδράνεια της διαχειριζόμενης διάταξης. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία ρύθμισης των κερδών σε δεύτερο χρόνο, αφότου έχουν συνδεθεί κανονικά. (Fine-tuning)

Επιπλέον παρέχονται δύο επιλογές ρύθμισης κερδών. Μία πιο αυτοματοποιημένη κατά την οποία δηλώνουμε την επιθυμητή απόκριση του συστήματος (εύρος ζώνης και λόγο απόσβεσης) και αναλαμβάνει η διεργασία την επιλογή των ενδεικτικών τιμών κέρδους, και μία περισσότερο χειροκίνητη (trial&error), κατά την οποία επιλέγει ο προγραμματιστής τα κέρδη και μπορεί να εκτελεί κινήσεις παραβολής και βήματος, μέχρι να πετύχει τις επιθυμητές τιμές απόκρισης.



Εικόνα . Δεδομένου των επιλεγμένων κερδών πραγματοποιούνται εντολές βηματικής και παραβολικής κίνησης.

Παρατίθενται τα γραφήματα της εικόνας Εικόνα σαν αποκρίσεις μετά την επιλογή των κερδών που περιγράφονται στη συνέχεια.



Εικόνα . Γραφήματα κινήσεων ανοικτής ανάδρασης βήματος και κλειστής ανάδρασης παραβολική / βηματική αντίστοιχα.

Οι I-μεταβλητές που είναι υπεύθυνες για την σωστή παραμετροποίηση της απόκρισης των διατάξεων, συγκεντρώνονται στον επόμενο πίνακα. Ενδεικτικά, παρατηρούμε ότι οι Ix02 έχουν

διαφορετικές τιμές για τους δύο κινητήρες, μιας και η Ιχ02 είναι υπεύθυνη για την επιλογή κατάλληλου Dac εξόδου στην CUIF. Αντίστοιχα και οι διευθύνσεις ανάγνωσης σημάτων διακοπών κινητήρα Ιχ25.

<i>I-μεταβλητή</i>	<i>Ενδεικτική τιμή κινητήρα Χ=1</i>	<i>Ενδεικτική τιμή κινητήρα Χ=2</i>
ΙΧ0	3713707	3713707
ΙΧ00	1	1
ΙΧ01	0	0
ΙΧ02	\$C003	\$C002
ΙΧ03	\$720	\$721
ΙΧ04	\$720	\$721
ΙΧ05	\$73F	\$73F
ΙΧ06	0	0
ΙΧ07	96	96
ΙΧ08	96	96
ΙΧ09	96	96
ΙΧ10	\$0	\$0
ΙΧ11	32000	32000
ΙΧ12	16000	16000
ΙΧ15	0.25	0.25
ΙΧ16	32	32
ΙΧ17	0.05	0.05
ΙΧ18	0	0
ΙΧ19	0.015625	0.015625
ΙΧ20	0	0
ΙΧ21	50	50
ΙΧ22	32	32
ΙΧ23	-23	-23
ΙΧ24	0	0
ΙΧ25	\$E0C000	\$E0C004
ΙΧ28	160	160
ΙΧ29	-186	-186
ΙΧ30	22521	22521
ΙΧ31	11280	11504
ΙΧ34	1	1
ΙΧ63	4194304	4194304
ΙΧ64	0	0
ΙΧ65	16	16
ΙΧ66	0	0
ΙΧ67	4194304	4194304
ΙΧ69	20480	20480

<i>l170</i>	1	1
<i>l171</i>	1000	1000
<i>l172</i>	85	85
<i>l179</i>	-30	-30
<i>l183</i>	\$C001	\$C009
<i>l187</i>	500	500
<i>l188</i>	50	50
<i>l189</i>	1000	1000
<i>l190</i>	1000	1000
<i>l193</i>	\$806	\$806
<i>l194</i>	1644	1644
<i>l195</i>	1644	1644
<i>l197</i>	1	1

Πίνακας . Συγκεντρωτικός πίνακας των ρυθμίσεων των μεταβλητών I.

4.5.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας διασύνδεσης των κινητήρων με τους γραμμικούς άξονες πρόωσης επιβάλλεται να έχουν ορισθεί κάποιες επιπρόσθετοι παράμετροι πρόληψης και ασφάλειας στους ενισχυτές των κινητήρων [Nordoz], [Pislo4].

Ωστόσο η βασική ρύθμιση των διατάξεων ενίσχυσης έχει πραγματοποιηθεί σε προηγούμενο στάδιο, αυτό της ηλεκτρικής διασύνδεσης με τους κινητήρες της διάταξης και τον επιτελικό έλεγχο της ορθής λειτουργίας αυτών.

Χαρακτηριστικά, θα πρέπει να ενσωματωθούν κριτήρια προστασίας σχετικά με την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κίνησης, καμπύλη επιτάχυνση, ροπής αλλά και χαρακτηριστικά καταστολής κραδασμών και ανώτατου σφάλματος ακολουθίας.

Για τους παραπάνω λόγους, κρίνεται απαραίτητη η ρύθμιση των παραμέτρων που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

<i>Μεταβλητή</i>	<i>Ενδεικτική τιμή</i>
<i>Pno1/no:01</i>	16384
<i>Pno1/no:02</i>	25
<i>Pno1/no:04</i>	3
<i>Pno1/no:06</i>	1.0
<i>Pno1/no:09</i>	1
<i>Pno1/no:12</i>	15
<i>Pno1/no:25</i>	13
<i>Pno1/no:34</i>	1200
<i>Pno1/no:35</i>	0.300

<i>Pno1/no:36</i>	0.300
<i>Pno1/no:37</i>	0.500
<i>Pno1/no:38</i>	0.500

Πίνακας . Ενδεικτικές τιμές ρύθμισης παραμέτρων διατάξεων ενίσχυσης.

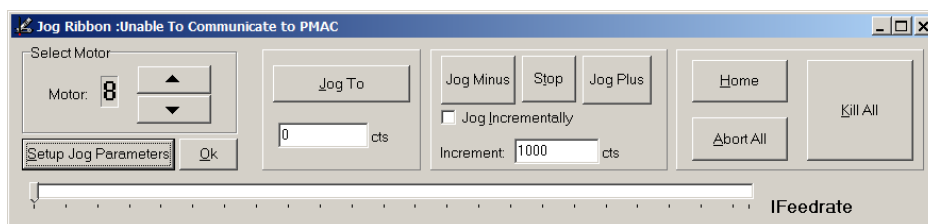
Ενδεικτικά, η No.04 είναι υπεύθυνη για τη φορά περιστροφής και τη φάση οδήγησης των σημάτων Dac+/-, η NO.25 υπεύθυνη για την προστασία ανώτερου ρεύματος οδήγησης, ενώ οι 35 έως 38 ρυθμίζουν τις επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις των κινήσεων.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η προστασία ρεύματος αποδείχτηκε εξαιρετικά χρήσιμη κατά τις διαδικασίες αρχικοποίησης και ρύθμισης των τερματικών θέσεων των διατάξεων προώσεως. Αυτό παρουσιάστηκε στις περιπτώσεις όπου οι διακοπές ακραίων ορίων δεν πυροδοτήθηκαν λόγω λάθους προγραμματισμού στις σχετικές I-μεταβλητές της Pmac, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της προστασίας ρεύματος των διατάξεων ενίσχυσης. Το παραπάνω συμβάν είχε αίσιο αποτέλεσμα λόγω της έγκαιρης ακινητοποίησης των κινητήρων των γραμμικών διατάξεων, προτού προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στα αντίστοιχα υποσυστήματα κοχλία-περικοχλίου.

4.6 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Στο σημείο αυτό έχουν ολοκληρωθεί οι διαδικασίες εγκατάστασης/ παραμετροποίησης της Pmac. Η διάταξη είναι πλήρως λειτουργική, ενώ μπορούν πλέον ν' αξιοποιηθούν όλες οι δυνατότητες ελέγχου υπό μορφή προγραμμάτων εκτέλεσης ή εντολών πραγματικού χρόνου. Η εκτέλεση μπορεί να πραγματοποιηθεί από το τερματικό χρήστη της Pwin32Pro, ή από οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή συνδεδεμένη με την κάρτα αυτομάτου ελέγχου της διάταξης.

Για την εκτέλεση εντολών πραγματικού χρόνου μπορούμε αρχικά να χρησιμοποιήσουμε το γραφικό περιβάλλον που παρέχεται για το σκοπό αυτό (Εικόνα).



Εικόνα . Γραφικό εκτέλεσης εντολών Jog και Home για κάθε κινητήρα ξεχωριστά.

Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των καταστάσεων αρχικοποίησης, μετάβασης θέσης τύπου Jog αλλά και ελέγχου ταχύτητας μετάβασης.

Ο έλεγχος της θέσης σημείου μπορεί να ανακτηθεί είτε με εκτέλεση της εντολής <CTRL-P> στη γραμμή εντολών του τερματικού, είτε από το αντίστοιχο πρόγραμμα (Εικόνα).

	Position	Velocity
# 1:	36858.5 Cts	70.6 Cts/S
# 2:	65669.5 Cts	0.0 Cts/S
# 3:	37046.5 Cts	0.0 Cts/S
# 4:	0.0 Cts	0.0 Cts/S
# 5:	0.0 Cts	0.0 Cts/S
# 6:	0.0 Cts	0.0 Cts/S
# 7:	0.0 Cts	0.0 Cts/S
# 8:	0.0 Cts	0.0 Cts/S

Εικόνα . Γραφικό περιβάλλον ενδείξεων θέσης των αξόνων των κινητήρων σε παλμούς (Counts).

Σε κάθε περίπτωση, οι δυνατότητες εκτέλεσης εντολών κίνησης μέσω των παραπάνω μορφών περιορίζεται στην ελευθερία γραμμικών μεταβάσεων, ή έλεγχο σε καθ' ένα κινητήρα της διάταξης ξεχωριστά.

Έτσι, η σύνταξη προγραμμάτων συντεταγμένης κίνησης είναι απαραίτητη προϋπόθεση όταν χρειάζεται να εκτελούνται λειτουργίες σε κατάσταση ισάξια μίας αυτόματης επαναλαμβανόμενης διαδικασίας.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα απλοϊκό παράδειγμα προγράμματος συντεταγμένης κίνησης, ενώ σε επόμενη ενότητα θα περιγραφεί η δυνατότητα εκτέλεσης προγραμμάτων μέσω μιας αυτοσχέδιας εφαρμογής ελέγχου.

```

UNDEFINE ALL
&1
%100
#1->4096X
#2->4096Y
FRAX(X, Y)
OPEN PROG 1
CLEAR
ABS
F10
RAPID X0 Y0
LINEAR X30 Y50
NORMAL K-1
CIRCLE1 X20 Y20 R20
LINEAR X0 Y0
CLOSE
B1 R

```

ΚΕΦ. 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο σκοπός των όσων παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι η προσκόμιση γνώσης για την διαχείριση και τον προγραμματισμό της διάταξης ελέγχου Ρmac και κατ' επέκταση τον έλεγχο της ευρύτερης μηχανής. Στο κεφάλαιο αυτό προσπαθούμε ν' αξιοποιήσουμε την υπάρχουσα γνώση, με στόχο τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας διαδραστικής εφαρμογής υπολογιστή που θα επιτρέψει τη λειτουργία της διάταξης αυτόνομα και ανεξάρτητα από το παρεχόμενο περιβάλλον διαχείρισης (Pewin32 Pro).

5.1 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Visual Studio και συγκεκριμένα στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic. Το κεντρικό μενού, περιέχει όλες τις εντολές που χρειάζεται ο προγραμματιστής για τη δημιουργία μιας εφαρμογής, ενώ η φόρμα εργασίας που προβάλλεται αποτελεί το σημείο εκκίνησης του σχεδιασμού κάθε εφαρμογής Visual Basic.

Ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη (user interface) ξεκινά πάντοτε από τη δημιουργία μιας φόρμας εργασίας πάνω στην οποία θα «χτιστούν» όλα τα υπόλοιπα τμήματα της εφαρμογής. Η εφαρμογή μπορεί να περιέχει μία ή περισσότερες φόρμες εργασίας, ενώ ο αριθμός των φορμών που θα σχεδιαστούν είναι συνήθως ανάλογος του μεγέθους της εφαρμογής. Διαφορετικές φόρμες μπορεί να χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή δεδομένων ή την εμφάνιση ενημερωτικών στοιχείων κτλ. Ωστόσο πρέπει ν' αποφεύγεται η εκτεταμένη χρήση τους για λόγους λειτουργικότητας, αλλά και της δυσκολίας κατανόησης - απομνημόνευσης των επιπρόσθετων χαρακτηριστικών.

Η Visual Basic υποστηρίζει τρεις τύπους εργαλείων, τα εσωτερικά (**Intrinsic Controls**), τα **ActiveX** και τα ένθετα (**Insert able Objects**). Τα εσωτερικά εργαλεία είναι βασικά εργαλεία όπως ετικέτες, εικόνες, χρονομετρητές κτλ. Εμπεριέχονται στο εκτελέσιμο αρχείο της Visual Basic και εμφανίζονται στην εργαλειοθήκη της εφαρμογής. Για τα εργαλεία τύπου ActiveX υποστηρίζονται δύο τύποι με επέκταση ονόματος «.OCX» και «.VBX». Τα OCX ActiveX εκμεταλλεύονται την σύγχρονη OLE (Object Linking and Embedding) τεχνολογία και χρησιμοποιούνται στις 32 και 16-bit εκδόσεις, ενώ τα VBX εργαλεία είναι παλαιότερης μορφής και παρέχονται για λόγους συμβατότητας με παλαιότερες εκδόσεις. Τέλος τα ένθετα αντικείμενα είναι αντικείμενα ή εφαρμογές που έχουν κατασκευαστεί σαν άλλου τύπου αρχείου εκτέλεσης, αλλά μπορούμε να τα προσθέσουμε σαν εξωτερικές εφαρμογές στο Visual Studio.

Μετά την προσθήκη ενός ActiveX εργαλείου ή ενός ένθετου αντικειμένου στην εργαλειοθήκη του Visual Studio, μπορούμε να το χειριστούμε κανονικά σαν ένα εσωτερικό εργαλείο της γλώσσας.

Ωστόσο, σκοπός του κεφαλαίου αυτού, δεν αποτελεί η παρουσίαση της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic, αλλά η αξιοποίηση της μονοσήμαντα προς ολοκλήρωση της κατασκευής της παρούσης εφαρμογής. Για το λόγο αυτό, στις επόμενες ενότητες θα επιμείνουμε στα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες της εφαρμογής ελέγχου, ενώ θα επεκταθούμε γενικότερα στην περιγραφή των προγραμματιστικών τεχνικών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της.

5.2 ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η φιλοσοφία ανάπτυξης μίας εφαρμογής διαφοροποιείται ανάλογα με το περιβάλλον μέσα στο οποίο πρόκειται να εργαστεί. Στο περιβάλλον των Windows ο προγραμματιστής πρέπει να έχει πάντοτε υπόψη του, ότι πρόκειται να εργαστεί μέσα σε ένα γραφικό περιβάλλον και να έχει επίγνωση του ότι προϋποθέτει αυτό. Η εφαρμογή πρέπει να σχεδιάζεται βλέποντας πάντα από την πλευρά του χρήστη, ενώ εκμεταλλευόμενη τις δυνατότητες του άμεσου περιβάλλοντος να συνιστά ένα φιλικό και ταυτόχρονα λειτουργικό μέσο επικοινωνίας χρήστη-εφαρμογής.

Ο σχεδιασμός ξεκινά πάντοτε με τη δημιουργία της διασύνδεσης επικοινωνίας. Σε μία εφαρμογή που εργάζεται σε περιβάλλον windows και Visual Basic, η ροή εκτέλεσης καθορίζεται κάθε φορά από τις αντιδράσεις του χρήστη και του συστήματος. Ο χρήστης κάθε χρονική στιγμή είναι ο κυρίαρχος της εφαρμογής και μπορεί να επεμβαίνει και να καθοδηγεί τη ροή εκτέλεσης, στέλνοντας ένα μήνυμα (message) ή προκαλώντας ένα γεγονός (event) μέσω γραφικών αντικειμένων. Στη ροή εκτέλεσης λόγο έχει και το ίδιο το σύστημα ή η διασυνδεδεμένη κάρτα αυτομάτου ελέγχου. Μπορεί να προκαλεί εσωτερικά μηνύματα ή την παραγωγή συμβάντων, μεταβάλλοντας καταλυτικά τις συνθήκες μέσα στο περιβάλλον εργασίας.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ροή εκτέλεσης εξαρτάται από την επικοινωνία του χρήστη με τα αντικείμενα της εφαρμογής, γίνεται κατανοητό ότι δε μπορούμε να προχωρήσουμε στη συγγραφή του κώδικα αν δεν ορίσουμε αρχικά τις πιθανές παρεμβάσεις κατά τη διαδικασία εκτέλεσης της εφαρμογής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ανάπτυξη μιας εφαρμογής ορίζεται σαν διαδικασία τριών βημάτων.

- Σχεδιασμός του τρόπου επικοινωνίας χρήστη-εφαρμογής.
- Καθορισμός της αρχικής συμπεριφοράς των αντικειμένων της εφαρμογής μέσω των ιδιοτήτων που την χαρακτηρίζουν.
- Δημιουργία και εκσφαλμάτωση των ρουτινών κώδικα.

5.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η Visual Basic διαθέτει δύο διαφορετικούς τρόπους για τη δημιουργία γραφικών σε μία εφαρμογή. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε τα εργαλεία γραφικών (πρωτογενή), είτε μεθόδους γραφικών (δευτερογενή). Έτσι σχεδιάζουμε σημεία, γραμμές, πλαίσια, κύκλους και άλλα γεωμετρικά σχήματα και τροποποιούμε τη μορφή και τη θέση εμφάνισης τους πάνω στη φόρμα. Ωστόσο για ν'

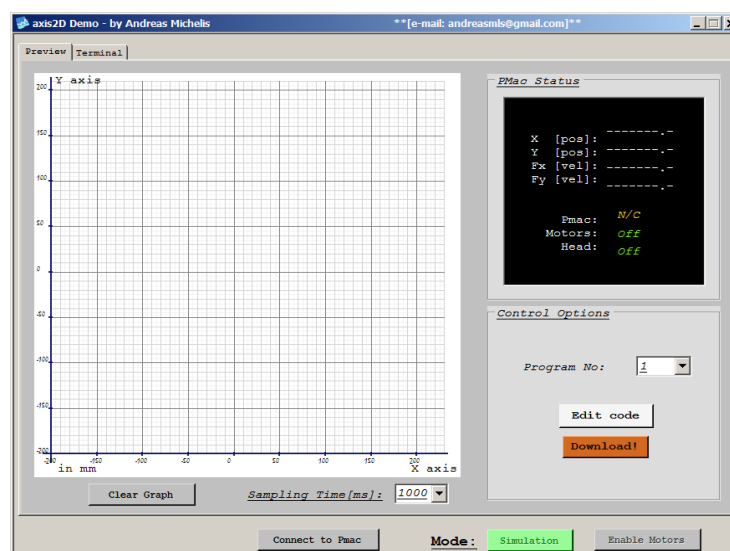
αποφανθούμε για το πώς θα είναι το πλαίσιο λειτουργίας και η δομή των αντικειμένων που θα φιλοξενεί η εφαρμογή μας, θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε τις προδιαγραφές λειτουργιών της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Οι προδιαγραφές λειτουργίας στοιχειοθετούν γενικά τα επόμενα:

- Επικοινωνία και διαχείριση σειριακής διασύνδεσης με την Pmac.
- Συγκράτηση και προβολή της τροχιάς θέσης-ταχύτητας στο καρτεσιανό επίπεδο κίνησης [X, Y].
- Ενδείξεις πραγματικής θέσεως και ταχύτητας κίνησης των αξόνων.
- Εμφάνιση καταστάσεων κινητήρων, κεφαλής κοπτικού εργαλείου και συνδεσιμότητας με την Pmac.
- Δυνατότητα χειροκίνητων μεταβάσεων Jog και εντολών εύρεσης θέσης αρχικοποίησης.
- Δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας 10 προγραμμάτων πριν την μεταβίβαση και εκτέλεση από την Pmac.
- Δυνατότητες αυτόματης εκτέλεσης προγράμματος, ή βηματική εκτέλεση σειριακών εντολών.
- Δυνατότητα παύσης εκτέλεσης ή πλήρη τερματισμού.
- Ασφάλεια κατά την εκτέλεση των εντολών με δυνατότητα προβολής μηνυμάτων επιβεβαίωσης.
- Υλοποίηση αλυσίδων εκτέλεσης για επαυξημένη ασφάλεια χρήσης με ενδεδειγμένη προτροπή του χρήστη.
- Συμβατική επικοινωνία διασύνδεσης τερματικού με την Pmac.

5.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΡΜΑC

Μία από τις βασικές λειτουργίες της εφαρμογής αποτελεί η διασύνδεση με την Pmac και η διαχείριση σφαλμάτων.



Εικόνα . Το γραφικό περιβάλλον (Preview tab page) της αυτοσχέδιας εφαρμογής axis2D.

Τον έλεγχο της επικοινωνίας του διαύλου με το λογισμικό, αναλαμβάνει το συμβάν αλλαγής κατάστασης του κουμπιού «Connect to Pmac»βλ. (Εικόνα). Η παρέμβαση του χρήστη πυροδοτεί μία ρουτίνα εκτέλεσης κατά την οποία σε πρώτη φάση επιχειρείται η αποστολή εντολών εκκίνησης διαύλου με την Pmac, κλείδωμα του διαύλου επικοινωνίας με πρόσβαση μόνο στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιούνται διεργασίες αρχικοποίησης σύμφωνα με αποθηκευμένες επιλογές για τις βασικές ρυθμίσεις, καθώς και ενέργειες ενημέρωσης καταστάσεων του γραφικού της εφαρμογής.

```

If Button1.Text = "Connect to Pmac" Then
  If (AxPTalkDT1.SelectDevice <> False) Then
    AxPTalkDT1.Enabled = True
    error_handling_enabled = True
    cmd = ""
    Try
      Dim objRdr1 As New System.IO.StreamReader("settings.dat")
      Try
        Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
        While (objRdr1.EndOfStream = False)
          cmd = objRdr1.ReadLine
          cmd = cmd & Chr(13)
          Call AxPTalkDT1.GetResponse(res, cmd)
        End While
        objRdr1.Close()
        Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
      Catch ex As Exception
        objRdr1.Close()
        Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
      End Try
    End Try
  End Try
  Catch ex As Exception
  End Try

  ComboBox1_SelectionChangeCommitted(sender, e)
  ComboBox2_SelectionChangeCommitted(sender, e)

  ComboBox3_SelectedIndexChanged(sender, e)
  ComboBox5_SelectedIndexChanged(sender, e)
  ComboBox6_SelectedIndexChanged(sender, e)

  Button1.Text = "Disconnect!"
  Button1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.GradientActiveCaption
  Button2.Enabled = True
  Label6.Text = "Connected!"
  Label6.ForeColor = System.Drawing.Color.OrangeRed
  Button3.Enabled = True
  Timer2.Enabled = False
  ComboBox2.Enabled = False
  TerminalText.Enabled = True
  Timer1.Enabled = True
End If

```



```

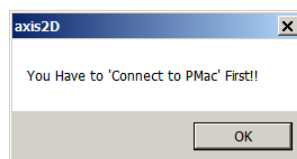
Else
    Timer1.Enabled = False
    control_cmd = Asc("K") - Asc("A") + 1
    Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
    Call AxPTalkDT1.GetControlResponse(res, control_cmd)
    cmd = "$$$ " & Chr(13)
    Call AxPTalkDT1.GetResponse(res, cmd)
    Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
    AxPTalkDT1.Enabled = False
    Button1.Text = "Connect to Pmac"
    Button1.BackColor = System.Drawing.SystemColors.GradientInactiveCaption
    If Button2.Text = "KILL Motors!" Then
        Button2_Click(sender, e)
    End If
    Button2.Enabled = False
    Label16.Text = "N/C"
    Label16.ForeColor = System.Drawing.Color.Gold
    Label12.Text = "-----"
    Label13.Text = "-----"
    Label14.Text = "-----"
    Label15.Text = "-----"
    Timer2.Enabled = False
    ComboBox2.Enabled = True
    TerminalText.Enabled = False
End If

```

Στην συζυγή περίπτωση όπου το αντικείμενο είναι σε συνδεδεμένη κατάσταση με ένδειξη «Disconnect», τότε με πυροδότησης συμβάντος χρήστη, εκτελούνται όλες οι ενέργειες απενεργοποίησης των διατάξεων και ασφαλούς ακινητοποίησης των κινητήρων, καθώς και η αποδέσμευση της Pmac από το δίαυλο επικοινωνίας. Τέλος, ενημερώνονται οι κατάλληλες ενδείξεις στο γραφικό περιβάλλον και γίνεται ενεργοποίηση της προστασίας εκτελέσεων «αλυσίδας».

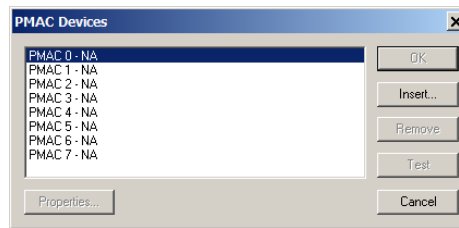
Η προστασία εκτέλεσης αλυσίδας αποτελεί μία αρχιτεκτονική υλοποίηση του γραφικού της εφαρμογής κατά την οποία ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει μόνο θεμιτά κατάλληλες ενέργειες, ενώ δευτερεύουσες είναι προσωρινά απενεργοποιημένες αποτρέποντας πιθανά σφάλματα λειτουργίας ή απρόβλεπτες εμπόδες καταστάσεις συστήματος.

Παράδειγμα μίας τέτοιας λειτουργίας εμφανίζεται στην (Εικόνα), κατά την οποία εμφανίζεται σχετικό μήνυμα προτροπής διασύνδεσης της εφαρμογής με την Pmac, όταν ο χρήστης επιχειρεί να μεταφορτώσει ένα πρόγραμμα κίνησης στην κάρτα αυτομάτου ελέγχου, προτού συνδεθεί φυσικά με αυτή.



Εικόνα . Μήνυμα εμφάνισης προτροπής λόγω λειτουργίας προστασίας εκτέλεσης αλυσίδας.

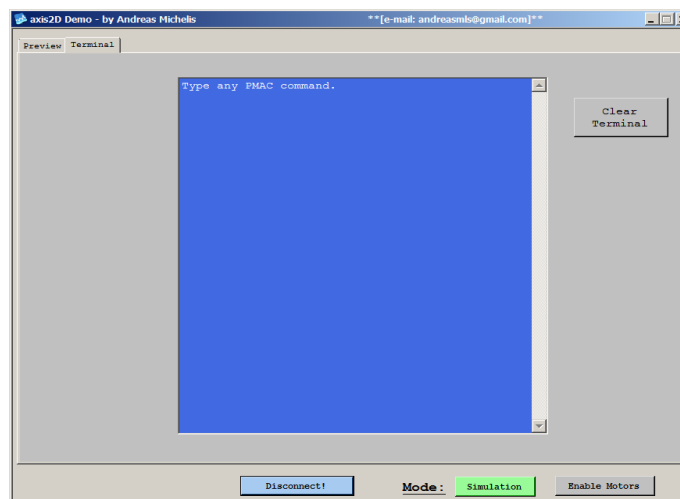
Η επιτυχή κλήση της συνάρτησης SelectDevice(), ενεργοποιεί την εμφάνιση του περιβάλλοντος επιλογής διαθέσιμων ελεγκτών με τους οποίους είναι σε θέση να συνδεθεί η εφαρμογή, ενώ επιτρέπεται η προσθήκη ή αφαίρεση καθώς και ο έλεγχος απόκρισης των συσκευών, προτού εγκαθιδρυθεί η κανονική σύνδεση με το λογισμικό.



Εικόνα . Επιλογή σύνδεσης με διαθέσιμους ελεγκτές.

5.5 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΧΡΗΣΤΗ

Η ιεραρχία χρήσης-λειτουργίας του γραφικού (execution mode), χωρίζεται σε δύο βασικές δομές. Η πρώτη έχει να κάνει με την αυτοματοποιημένη διαμεταγωγή δεδομένων διαχείρισης από την ίδια την εφαρμογή, ενώ συμβάντα που ο χρήστης πυροδοτεί, ισοδυναμούν με αλληλουχίες εντολών που η εφαρμογή φροντίζει να μεταβιβάζει στην Pmac. Η δεύτερη παραδίδει τον πλήρη έλεγχο της κάρτας αυτόματου ελέγχου στο χρήστη, ενώ αυτό υλοποιείται μέσω της δυνατότητας εκτέλεσης εντολών σε υλοποιημένο τερματικό επικοινωνίας. Οι δύο παραπάνω τρόποι υλοποιούνται ξεχωριστά στα δύο «tab pages» που φιλοξενεί η βασική φόρμα της εφαρμογής preview και terminal (βλ. Εικόνα , Εικόνα).



Εικόνα . Το Terminal tab page της εφαρμογής axis2D.

Κατά την επιλογή εμφάνισης του «Terminal Tab», η επιλογή κατάστασης λειτουργίας απενεργοποιείται προσωρινά, υλοποιώντας την προστασία αλυσίδας. Για λόγους ασφαλείας ο χρήστης είναι σε θέση να παροπλίσει τους κινητήρες της διάταξης πυροδοτώντας το κουμπί ενεργοποίησης/απενεργοποίησης κινητήρων (Enable Motors), ενώ μπορεί επίσης να εκτελέσει τις ενέργειες συμβατικά μέσω εγγραφής εντολών στο τερματικό.

Το τερματικό είναι σε θέση να συγκρατεί και να παρουσιάζει νέες και παλαιότερες εντολές εκτέλεσης, καθώς και τις αποκρίσεις της κάρτας αυτομάτου ελέγχου προς το χρήστη. Σε περίπτωση που θέλουμε να πραγματοποιηθεί εκκαθάριση του ιστορικού, αυτό υλοποιείται με την πυροδότηση του κουμπιού «Clear Terminal».

Κατά την πληκτρολόγηση αλφαριθμητικών χαρακτήρων στο τερματικό, αυτοί καταγράφονται σένα τμήμα ενδιάμεσου μνήμης, ενώ παράλληλα ελέγχονται ποιοτικά μέχρι να εμφανιστεί ο χαρακτήρας <CR> «Carriage return», που σηματοδοτεί τον τερματισμό εισόδου και την πυροδότηση αποστολής των δεδομένων. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αποστολής πραγματοποιείται εκκαθάριση στο τμήμα ενδιάμεσου μνήμης, ενώ ο κέρσορας εισόδου στο τερματικό, τοποθετείται στην αρχή της επόμενης σειράς εγγραφών.

```
Dim KeyAscii As Short = Asc(eventArgs.KeyChar)
Select Case KeyAscii
Case 8
    If position > 1 Then
        position = position - 1
        line_buf = VB.Left(line_buf, position - 1)
    Else
        position = 1
        line_buf = ""
    End If
Case 13
    Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
    Call AxPTalkDT1.SendLine(line_buf)
    PMACLockCount = 10000
    position = 0
    line_buf = ""
Case Else
    line_buf = line_buf & Chr(KeyAscii)
    position = position + 1
End Select
If KeyAscii = 0 Then
    eventArgs.Handled = True
End If
```

Με την αποστολή των αλφαριθμητικών εντολών προς την Pmac, αυτή αναλαμβάνει την εκτέλεση τους και την επιστροφή των αποτελεσμάτων απόκρισης σε χρονικό διάστημα ανάλογο της φύσης της αιτούμενης εντολής. Για την συλλογή των αποκρίσεων και την παράθεση τους στο γραφικό αντικείμενο (τερματικό χρήστη), υπεύθυνη είναι μία διαδικασία χρονοδιακοπής. Η συγκεκριμένη είναι σε θέση να συλλέγει τις αποκρίσεις της κάρτας αυτομάτου ελέγχου, ενώ σε περίπτωση περεταίρω καθυστέρησης πέραν ενός προκαθορισμένου χρονικού ορίου απάντηση, διακόπτει την επικοινωνία και το κλείδωμα της με αυτή, αποτρέποντας έτσι μία μόνιμη κατάσταση σφάλματος αδυναμίας απόκρισης (Dead Lock).

```

Static response As String
Static i, j, k As Short
If TabControl1.SelectedIndex = 1 And position = 0 Then
    If AxPTalkDT1.IsLineWaiting <> False Then
        response = ""
        Call AxPTalkDT1.GetLineACK(response)
        Call ShowData(TerminalText, response)
        Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
        PMACLockCount = 0
    End If
    If (PMACLockCount > 0) Then
        PMACLockCount = PMACLockCount - 1
        If (PMACLockCount = 0) Then
            Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
        End If
    End If
    error_handling_enabled = False
    response = ""
    Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
    Call AxPTalkDT1.GetResponse(response, line_buf)
    Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
    Call ShowData(TerminalText, response)
    position = 1
    line_buf = ""
Else
    error_handling_enabled = True
End If

```

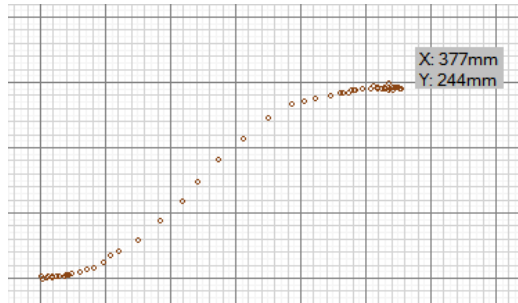
5.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΡΑΦΟΥ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΘΕΣΗΣ/ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Η καρτέλα προεπισκόπησης «PreviewTab» χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές περιοχές. Στο μεγαλύτερο τμήμα της φιλοξενείται το γραφικό σύστημα αναπαράστασης θέσης/ταχύτητας, στο άνω δεξιά τμήμα φιλοξενείται η περιοχή ενδείξεων λειτουργίας «Pmac Status», ενώ στο κάτω δεξιά η περιοχή βαθμονομημένων εντολών ελέγχου λειτουργιών «Control Options».

Το γραφικό σύστημα αναπαράστασης αποτελείται από ένα αντικείμενο «PictureBox» μέσα στο οποίο «ζωγραφίζονται» κατάλληλα οι σχετικές ενδείξεις. Σχεδιάζονται δύο άξονες αναφοράς θέσης οι X,Y, ενώ με τη βοήθεια κατάλληλων εγγραφών μπορούμε να προσδιορίζουμε τη σχετική θέση/ταχύτητα του κινητού σημείου. Αρχικά, σχεδιάζονται οι υποδιαιρέσεις όμοιες με αυτές που περιέχει ένα «μιλιμετρέ» χαρτί, ενώ στη συνέχεια σχεδιάζεται η βαθμονόμηση των αξόνων σε αντιστοιχία με τις μέγιστες διαδρομές της διάταξης κατά τους άξονες της (βλ. Εικόνα).

Οι ενδείξεις θέσης ζωγραφίζονται σαν μικροσκοπικοί κύκλοι στο περιβάλλον του PictureBox. Η ιδιαιτερότητα σ' αυτό το εγχείρημα είναι ότι η τοποθέτηση κάθε νέου κύκλου πραγματοποιείται με τη βοήθεια χρονομετρητή σταθερού βήματος πυροδότησης, ενώ το βήμα μπορεί να ελεγχθεί από μια κατάλληλη επιλογή από το «drop down list» δεξιότερα της ετικέτας «Sampling Time».

Ο χρονομετρητής φροντίζει κάθε δεδομένο χρονικό διάστημα (που έχει οριστεί από το χρήστη), να τροφοδοτεί το πλάνο με ένα κυκλικό σημάδι ανάλογο της θέσης στην οποία βρίσκεται το κινητό σημείο. Με την τεχνική αυτή όσο χαμηλότερη ταχύτητα κίνησης έχει το κινούμενο σημείο, τόσο πιο συνωστισμένα θα είναι τα σημεία θέσης στο γράφημα, ενώ όσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης τόσο αυτά θ' απομακρύνονται γραμμικά προς τη μονάδα του χρόνου (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Γράφημα αναπαράστασης Θέσης/Ταχύτητας Σταθερού χρόνου κλείστρου.

Κατά την εισαγωγή του κέρσορα στην περιοχή του γραφήματος, εμφανίζεται στο επάνω τμήμα του και δεξιότερα η ένδειξη της ακριβούς θέσης x,y στην οποία δείχνει αυτός ανά πάσα στιγμή στο γράφημα, επιτρέποντας έτσι στο χρήστη να έχει επίγνωση της θέσης ενδιαφέροντος ανεξαρτήτως ανάλυσης οθόνης υπολογιστικού συστήματος και βαθμονόμησης. Το τμήμα κώδικα που υλοποιεί την ένδειξη θέσης κέρσορα παρατίθεται επόμενα:

```
Dim x1 As Double = ((e.X - 20) / xdiv) + xdimstart
Dim y1 As Double = ydimend - ((e.Y - 10) / ydiv)
spot1.Text = String.Format("X: {0}mm" & vbCrLf + "Y: {1}mm", Int(x1.ToString - 1), Int(y1.ToString + 2))
spot1.Location = New System.Drawing.Point(e.X + 25, e.Y - 15)
```

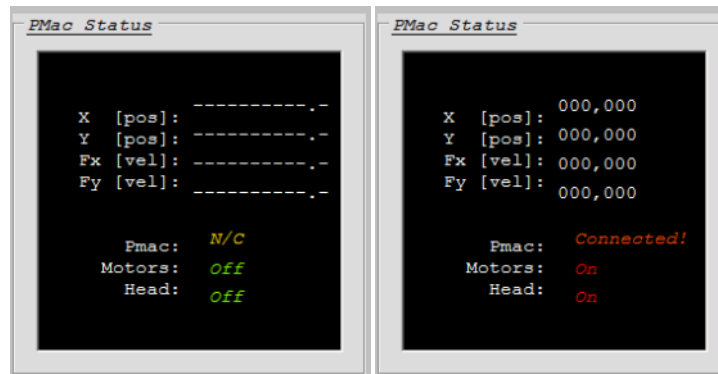
Ενώ στη συνέχεια, παρατίθενται η ρουτίνα που επικαλείται την καταγραφή της θέσης του κινητού σημείου, κατά τις στιγμές πυροδότησης του χρονομετρητή.

```
If xold <> x Or yold <> y Then
    addheadpoint(New System.Drawing.Point(x, y))
    xold = x
    yold = y
End If
```

Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα καθαρισμού του γραφήματος, η οποία πραγματοποιείται με την εκτέλεση συμβάντος του κουμπιού «Clear Graph».

5.7 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ PMAC STATUS

Στο άνω δεξιά τμήμα της εφαρμογής φιλοξενείται η περιοχή ενδείξεων λειτουργίας «Pmac Status» και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις καταστάσεις στις οποίες επέρχεται η εφαρμογή κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Οι ενδείξεις αφορούν τις τιμές πραγματικού χρόνου θέσης - ταχύτητας των αξόνων της διάταξης, ενώ περιλαμβάνονται και τρεις ετικέτες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος. Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής τροφοδοτούνται κάποιες αρχικές τιμές ενδείξεων, ενώ στη συνέχεια τη θέση τους καταλαμβάνουν πραγματικά δεδομένα (βλ. Εικόνα).

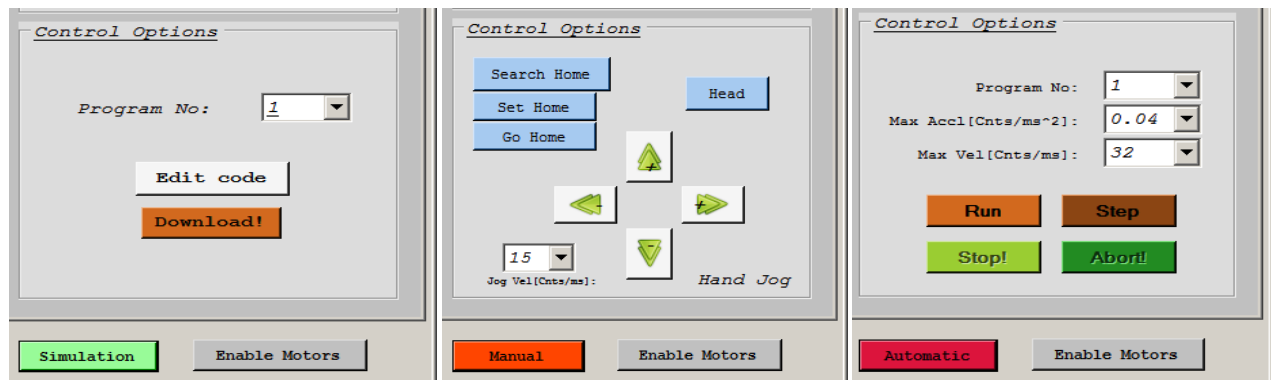


Εικόνα . Περιοχή ενδείξεων πριν και μετά την επικοινωνία με την Pmac.

Η αλλαγή των τιμών-ενδείξεων στις ετικέτες πραγματοποιείται κατά την πυροδότηση συμβάντων σχετικών με τα περιεχόμενα των ετικετών, ενώ για την σωστή ενημέρωση υπεύθυνη είναι η ρουτίνα χειρισμού του συμβάντος διακοπής.

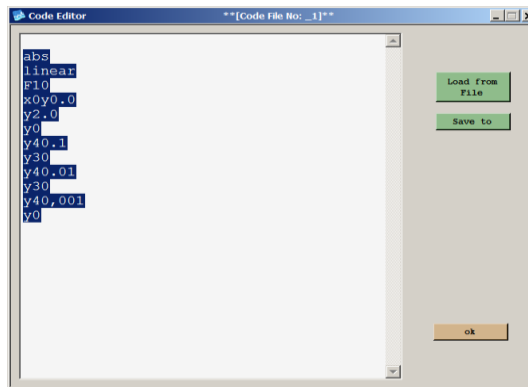
5.8 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Οι λειτουργίες που εκτελούνται από το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες σχετιζόμενες με τη φύση τους. Αυτές αποτελούν τις «Simulation», «Manual» και «Automatic Control» (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Τα διαφορετικά στιγμιότυπα των καταστάσεων λειτουργίας εκτέλεσης.

Στην περίπτωση της Simulation ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τη θέση προγράμματος που επιθυμεί (μία από τις δέκα διαθέσιμες), ενώ στη συνέχεια μπορεί να επεξεργαστεί τα περιεχόμενα μέσω του ενσωματωμένου επεξεργαστή κώδικα (βλ. Εικόνα). Ο επεξεργαστής έχει τη δυνατότητα να εισαγάγει περιεχόμενα από αποθηκευμένα αρχεία στην μνήμη του σκληρού δίσκου, ενώ μπορεί να τα αποθηκεύει αντίστοιχα μέσω των σχετικών διακοπών χρήστη. Τέλος μπορεί να μεταφορτώσει στην Pmac το τμήμα του κώδικα που επιθυμεί μέσω της διακοπής του αντικειμένου «Download».



Εικόνα . Επεξεργαστής κώδικα θέσης μνήμης (code File: 1).

Ο κώδικας που εκτελείται κατά την πυροδότηση της διακοπής επεξεργασίας προγράμματος παρατίθεται επόμενα:

```

Form2.Text = "Code Editor"
Dim stringfile As String = "codeFile" & ComboBox1.SelectedItem & ".pmc"
Form2.CodeText.Text = ""
Try
    Dim objRdr1 As New System.IO.StreamReader(stringfile)
    Try
        Form2.CodeText.Text = objRdr1.ReadToEnd
    Catch ex As Exception
        objRdr1.Close()
    End Try
    objRdr1.Close()
Catch ex As Exception
    Dim objWtr1 As New System.IO.StreamWriter(stringfile)
    objWtr1.Close()
End Try
Form2.ShowDialog()
cmd = "list program" & ComboBox1.SelectedItem & Chr(13)
res = ""
Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
Call AxPTalkDT1.GetResponse(res, cmd)
Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
Form2.CodeText.Text = res

```

Στην κατηγορία του Manual ελέγχου παρατίθενται οι δυνατότητες ελέγχου σχετικά με τις κινήσεις Jog, την μετάβαση στην θέση Home του συστήματος αξόνων, τον ορισμό νέας θέσης Home και την εύρεση της μηχανικής θέσης στην αρχή των αξόνων. Παρέχεται δυνατότητα ενεργοποίησης της δέσμης ενέργειας, με την ενεργοποίηση της οποίας πραγματοποιείται η καταγραφή δεδομένων θέσης στον γράφο αναπαράστασης της διάταξης, ενώ δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας εκτέλεσης των εντολών Jog.

Σαν παράδειγμα παρατίθεται επόμενα ο κώδικας εύρεσης της αρχικής μηχανικής θέσης Home:

```

If Button2.Text = "Enable Motors" Then
    MsgBox("You Have to 'Enable Motors' First!!")
Else
    cmd = "#1" & Chr(13) & "HM" & Chr(13) & "#2" & Chr(13) & "HM" & Chr(13)
    Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
    Call AxPTalkDT1.GetResponse(res, cmd)
    Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
End If

```

Τέλος, στην κατηγορία αυτομάτου ελέγχου προσδίδεται η δυνατότητα ελέγχου του επιθυμητού προγράμματος εκτέλεσης (ένα από αυτά που έχουν μεταφορτωθεί προγενέστερα), ενώ παρέχεται η

δυνατότητα ελέγχου των μέγιστων ταχυτήτων και επιταχύνσεων κίνησης, καθώς και της βηματικής ή αυτόματης εκτέλεσης του επιλεγμένου προγράμματος (βλ. Εικόνα). Η αποστολή της εντολής εκτέλεσης του επιλεγμένου προγράμματος «Run» πραγματοποιείται με την εκτέλεσης του επόμενου τμήματος κώδικα:

```

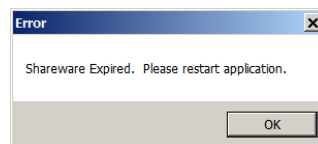
If Button2.Text = "Enable Motors" Then
    MsgBox("You Have to 'Enable Motors' First!!")
Else
    Panel13.Enabled = False
    Panel12.Enabled = False
    ComboBox4.Enabled = False
    Button5.Enabled = False
    Button7.Enabled = False
    ComboBox1.Enabled = False
    Button9.Enabled = False
    Button19.Enabled = False
    Button8.Enabled = True
    ComboBox5.Enabled = False
    ComboBox6.Enabled = False
    Button3.Enabled = False
    If Button10.Enabled = True Then
        cmd = "R" & Chr(13)
    Else
        cmd = "B" & ComboBox4.SelectedItem.ToString & "R" & Chr(13)
    End If
    Call AxPTalkDT1.LockPMAC()
    Call AxPTalkDT1.GetResponse(res, cmd)
    Call AxPTalkDT1.ReleasePMAC()
    Button10.Enabled = True
End If

```

5.9 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ

Το δυσκολότερο τμήμα της κατασκευής σε μια εφαρμογή είναι αυτό της επαλήθευσης της ορθής λειτουργίας. Ο προγραμματιστής πρέπει να διαθέτει εμπειρία για ν' αντιπαρέρχεται τα διάφορα προγραμματιστικά εμπόδια, ενώ στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, τα μακράν σοβαρότερα σφάλματα, είναι αυτά που δεν εντοπίζονται εύκολα και αποτελούν τα λεγόμενα λογικά σφάλματα.

Σφάλματα εμφανίστηκαν κατά την αποστολή και λήψη εντολών εκτέλεσης στο τερματικό του χρήστη, στην ακριβή ένδειξη του γράφου αναπαράστασης θέσεως, σε καταστάσεις διαχείρισης αλφαριθμητικών λιστών «Strings», ενώ σφάλματα μπορεί να εμφανίζονται και από τον οδηγό ενδιάμεσο PtalkDT, στην περίπτωση που δεν έχει γίνει η εγκατάσταση του σωστά (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Εμφάνιση σφάλματος οδηγού PtalkDT.

ΚΕΦ. 6 ΔΟΚΙΜΕΣ

Με την ολοκλήρωση της εφαρμογής ελέγχου, δίνεται η δυνατότητα εκτέλεσης προγραμμάτων κίνησης συντεταγμένης μορφής με πιο αυτοματοποιημένο και συνάμα παραγωγικό τρόπο. Ωστόσο, για ν' αποφανθούμε σε τι ποσοστό πραγματοποιείται αυτό, θα πρέπει να διεξάγουμε κάποια πειράματα ως προς την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα, την ποιότητα κίνησης, και τα υπόλοιπα θεμιτά χαρακτηριστικά που διέπουν τη διάταξη. Ένας τρόπος να πραγματοποιηθεί αυτό, είναι με εξωτερική παρατήρηση. Η διάταξη περιβάλλεται από ειδικό εξοπλισμό (Συμβολόμετρα και άλλα όργανα) που είναι σε θέση να μετρούν με αρκετά καλή ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της συντεταγμένης κίνησης, τα οποία εν συνεχεία συγκεντρώνονται και διατίθενται προς περαιτέρω ανάλυση.

Η δεύτερη και ωστόσο ευκολότερη εκδοχή, πραγματοποιείται με την διατύπωση μιας μικρής παραδοχής. Θεωρούμε λοιπόν πώς από το σημείο στο οποίο είναι συνδεδεμένοι οι διατάξεις ανάδρασης, μέχρι το σημείο στο οποίο μεταφέρεται η πραγματική κίνηση (τράπεζα - κινούμενο σημείο), η σύμπλεξη των μηχανικών μερών είναι ιδανική και δεν παρατηρούνται μηχανικά φαινόμενα χάρης και τζόγου. Κατά τον τρόπο αυτό μετρώντας την ανάδραση της διάταξης, είμαστε σε θέση να έχουμε μία ικανοποιητική ένδειξη για τις τιμές ακρίβειας θέσης, ταχύτητας και επαναληψιμότητας.

6.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

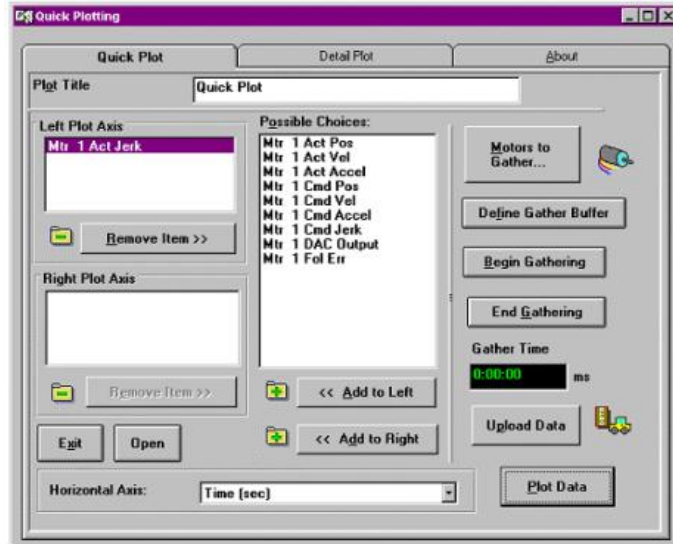
Η καταγραφή των δεδομένων πραγματοποιείται στο εσωτερικό της κάρτας αυτομάτου ελέγχου. Παρέχεται το εξειδικευμένο για το σκοπό αυτό λογισμικό «PMAC Quick Plot», ενώ υπάρχει επίσης η δυνατότητα εκκίνησης συνεδρίας εγγραφής δεδομένων μέσω του τερματικού εκτέλεσης, με χρήση των επόμενων εντολών (βλ. Πίνακας).

Command	Abbreviation	Description
Delete Gather	Del Gat	Erases the data gathering buffer
Define Gather [<code>{constant}</code>]	Def Gat	Sets up a data gathering buffer using all open memory or of the specified [<code>{constant}</code>] size
Gather	Gat	Start data gathering on the next servo interrupt
End Gather	End Gat	Stop data gathering
List Gather	List Gat	Report back to the host the contents of the data gather buffer

Πίνακας . Εντολές εκκίνησης συνεδρίας εγγραφής δεδομένων ανάδρασης.

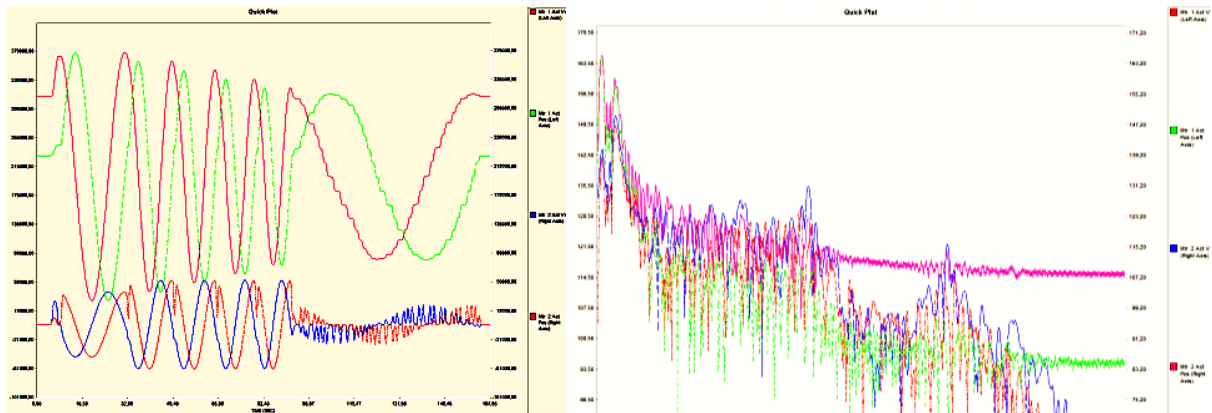
Η διαδικασία καταγραφής πραγματοποιείται με βάση το χρόνο καταγραφής του συμβάντος εκτέλεσης. Έτσι σε κάθε συνεδρία με την εκκίνηση συλλογής δεδομένων καταγράφονται τα σχετικά μεγέθη ανάδρασης συναρτήσει ενός προκαθορισμένου χρονικού βήματος.

Η εφαρμογή «Quick Plot» παρέχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων με βάση τα συστήματα αναφορά επιλεγμένων κινητήρων και του ορισμού των αξόνων αναπαράστασης των καταγεγραμμένων αποτελεσμάτων (βλ. Εικόνα).



Εικόνα . Πρόγραμμα καταγραφής δεδομένων ανάδρασης στην Ρmac.

Η έξοδος μπορεί να είναι οι τιμές των μετρήσεων παρατεταγμένες σε πίνακα, ή γραφήματα ως προς το χρόνο ή τη συχνότητα (βλ.Εικόνα).



Εικόνα . Γραφήματα αναπαράστασης των αναδράσεων ως προς το χρόνο και τη συχνότητα.

Τέλος παρατίθεται ένα παράδειγμα προγράμματος κίνησης που εκτελεί και συνεδρία καταγραφής αποτελεσμάτων ανάδρασης θέσης.

```

/***** Set-up and Definitions *****/
Undefine All ; Undefine all coordinate definitions
End Gat; End any data gathering that might be happening presently
Del Gat; Erase any defined gather buffer
Close      ; Make sure all buffers are closed
&1        ; Coordinate System 1
#1->1000X  ; Assign motor 1 to the X-axis - 1 program unit
           ; of X is 1000 encoder counts of motor #1

/***** Motion Program Text *****/

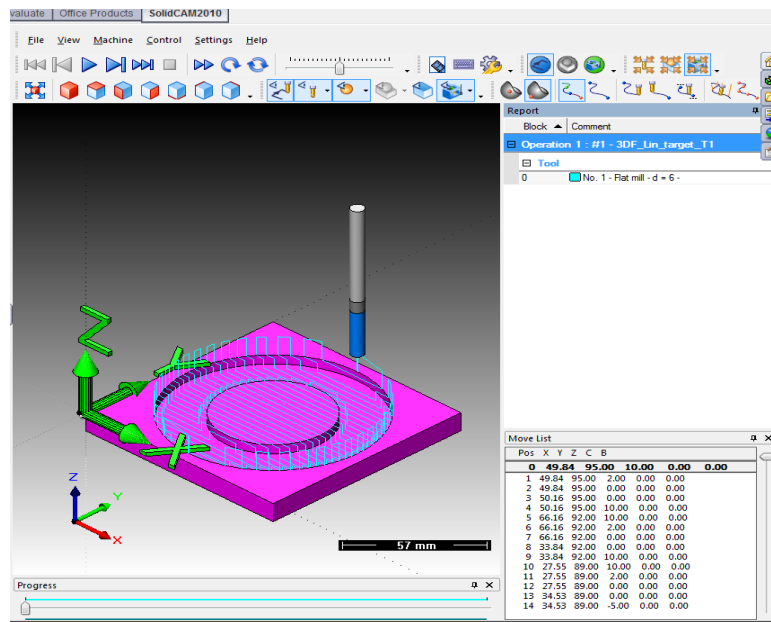
Open Prog 1 Clear ; Open buffer for program entry, Program #1
Linear          ; Blended linear interpolation move mode
Abs             ; Absolute mode - moves specified by position
TA 500         ; Set 1/2 sec (500 msec) acceleration time
TS 0           ; Set no S-curve acceleration time
F 5            ; Set feedrate (speed) of 5000 units(cts)/sec
CMD"End Gat"   ; Stop gathering
CMD"Del Gat"   ; Deletes the gather buffer
CMD"Def Gat"   ; Allocates all the available memory as gather buffer
Dwell 0        ; Force CMD lines to execute
CMD"Gat"       ; Starts gathering of the data
Dwell 0        ; Force CMD lines to execute
X 10           ; Move X-axis to position 10000
Dwell 500      ; Stay in position for 1/2 sec (500 msec)
X 0            ; Move X-axis to position 0
Dwell 0        ; Force CMD lines to execute
CMD"End Gat"   ; Send On-line command to stop data gathering
Dwell 0        ; Force CMD lines to execute
Close          ; Close buffer - end of program

```

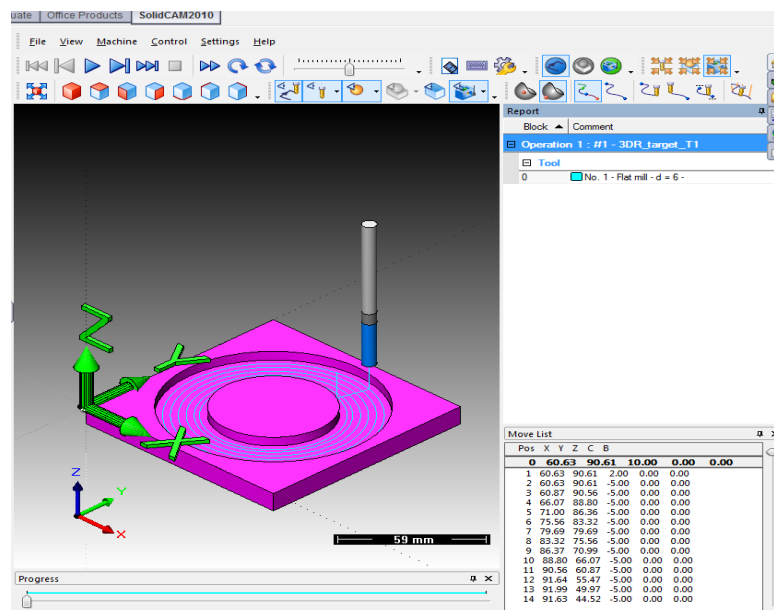
6.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Η ακρίβεια, η αξιοπιστία και η ποιότητα απόκρισης της διάταξης αναδεικνύονται με την εκτέλεση συγκεκριμένων μοτίβων κίνησης, όπως αυτά της συντεταγμένης κίνησης «Hatch» και «Contour».

Για την υλοποίηση των ενδεδειγμένων μοτίβων επιλέχθηκε η κατασκευή δύο δοκιμίων κυκλικής ποκέτας, σε ένα πρόγραμμα εικονικής αναπαράστασης τρισδιάστατου μοντέλου (SolidCad), και στη συνέχεια με την εισαγωγή του μοντέλου στο εργαλείο (SolidCam-SolidWorks) επιλέξαμε την διεξαγωγή της επεξεργασίας με δύο διαφορετικούς τύπους μετακίνησης του κοπτικού εργαλείου. Η πρώτη εκτέλεση αναφέρεται στην υλοποίηση της κατεργασίας με μοτίβο κίνησης τύπου «Hatch», ενώ η δεύτερη αντίστοιχα με «Contour» (βλ. Εικόνα , Εικόνα).



Εικόνα . Δοκίμιο επεξεργασίας τεχνικής «Hatch».



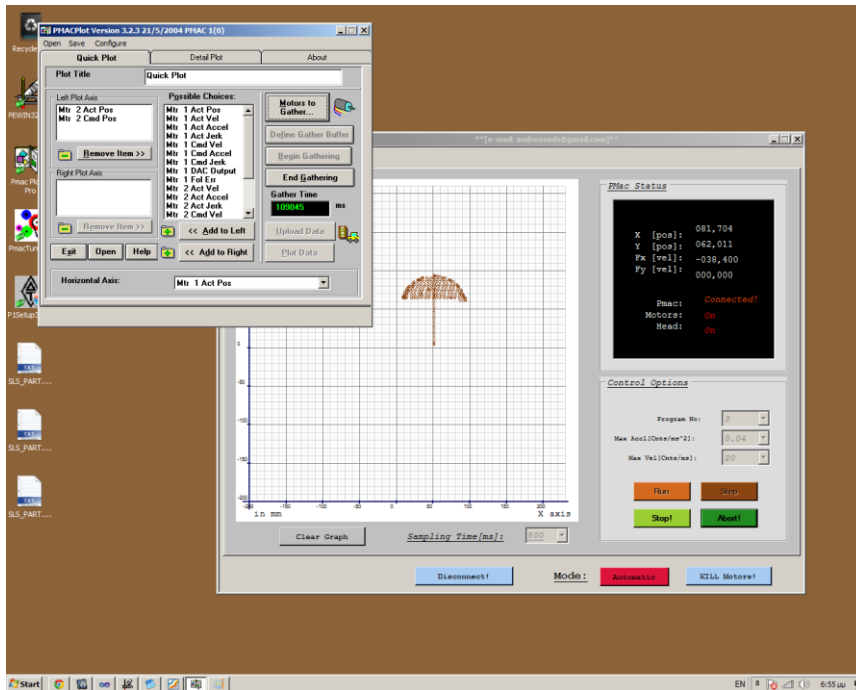
Εικόνα . Δοκίμιο επεξεργασίας τεχνικής «Contour».

Η εξαγωγή του κώδικα εκτέλεσης εξειδικευμένα για την μηχανική διάταξη με ελεγκτή την Pmac, ολοκληρώνεται με την επιλογή κατάλληλων προ- και μετα-επεξεργασιών του «GppTool» τους οποίους έχουμε παραμετροποιήσει κατάλληλα.

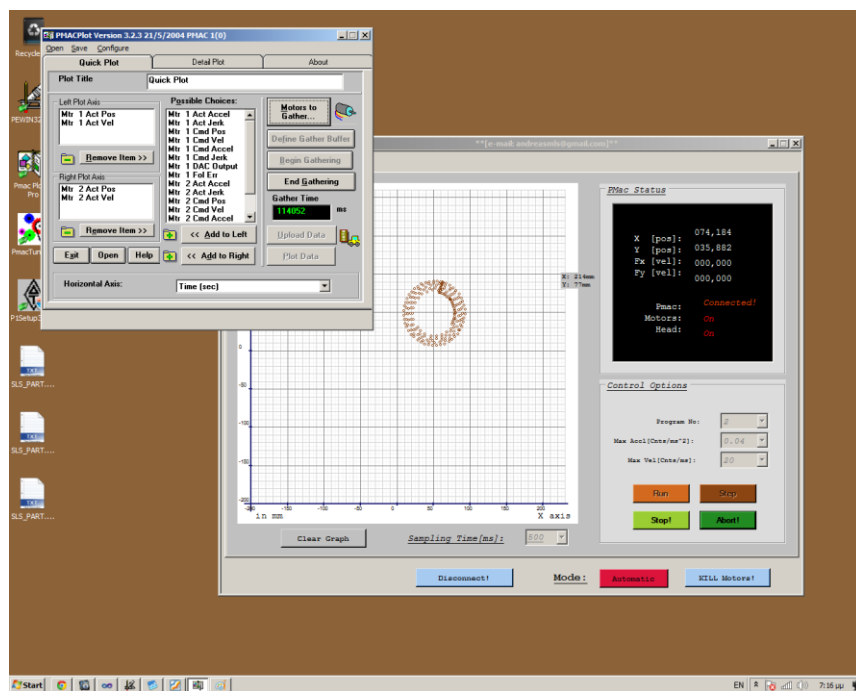
Συγκεκριμένα επιλέξαμε να τροποποιήσουμε τον προ-επεξεργαστή της «Fanuc», αλλάζοντας κατάλληλα τις ρουτίνες μετα-επεξεργασίας των εντολών εκτέλεσης εξόδου «κώδικα G» Οι μετατροπές στο αρχείο του μετα-επεξεργαστή «Fanuc.gpp» παρατίθενται στο επισυνημμένο «Παράρτημα Γ» της παρούσης εργασίας, ενώ οι εξαγόμενες εντολές εκτέλεσης για τις Hatch και Contour παρατίθενται επόμενα στο «Παράρτημα Δ».

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με την εισαγωγή του σχετικού προγράμματος για κάθε τεμάχιο στην εφαρμογή ελέγχου και εκτέλεση του κώδικα, και καταγραφή των αποκρίσεων των αισθητήρων ανάδρασης έχουμε τα επόμενα αποτελέσματα.

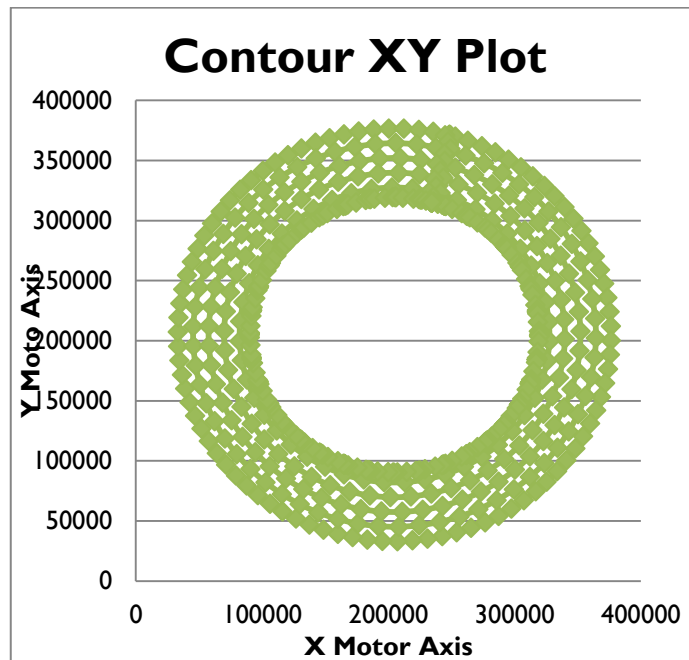


Εικόνα . Διαδικασία εκτέλεσης τεχνικής «Hatch» και καταγραφή αποκρίσεων.

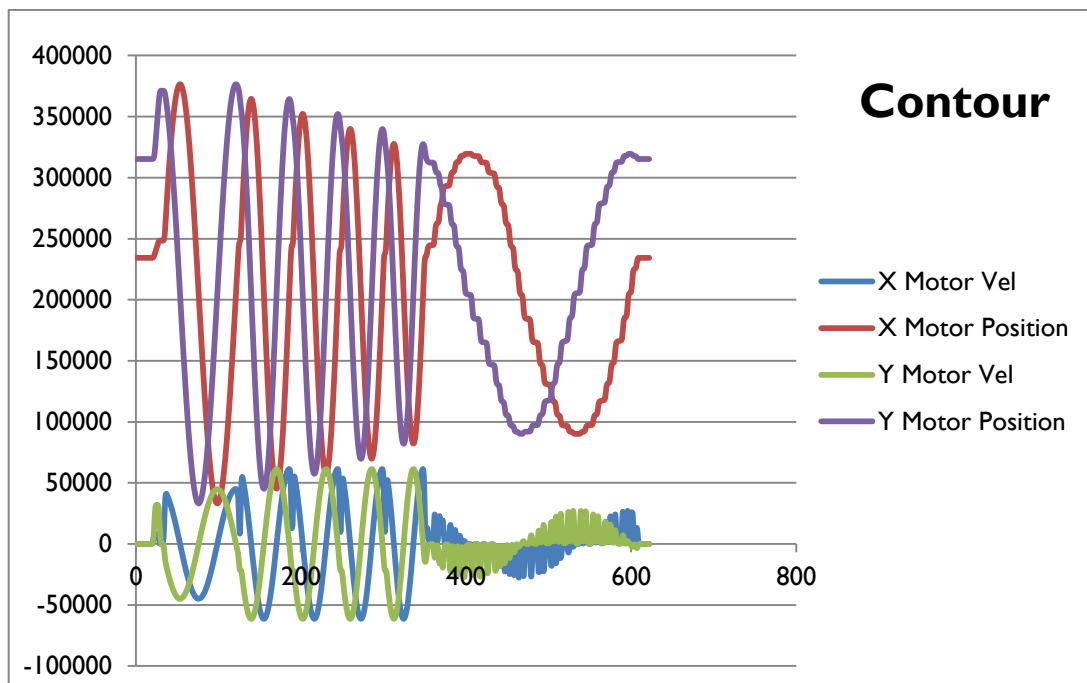


Εικόνα . Διαδικασία εκτέλεσης τεχνικής «Contour» και καταγραφή αποκρίσεων.

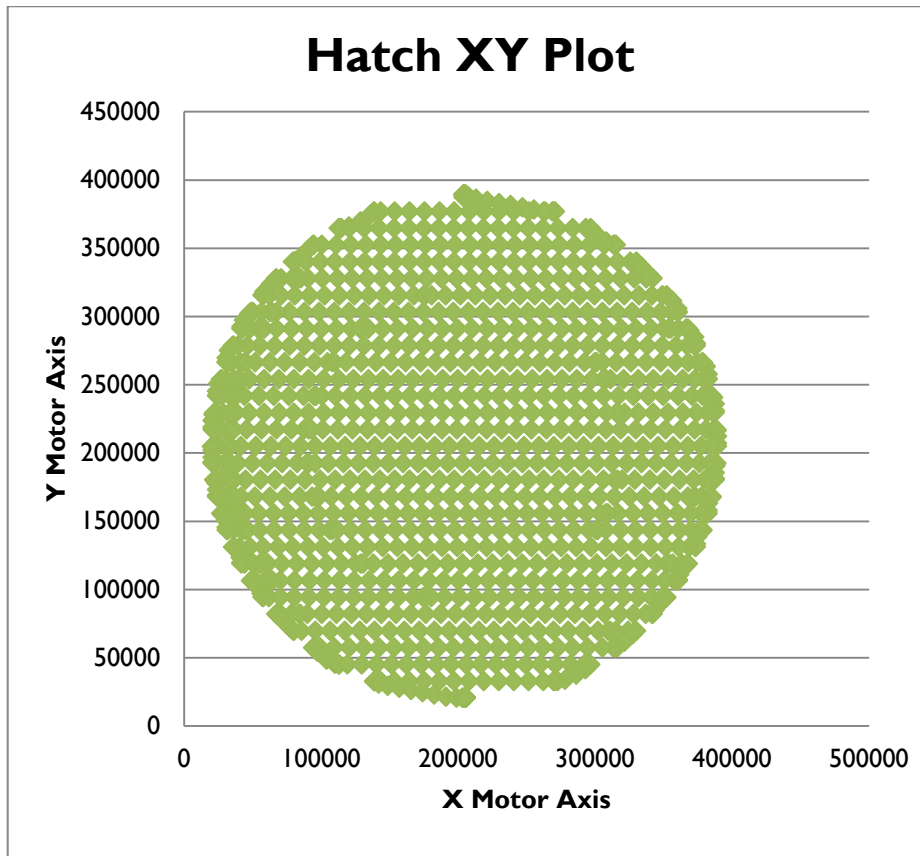
Μετά από σχετική επεξεργασία στα δεδομένα καταγραφής ώστε να συσχετιστούν σωστά και να εξάγουμε συγκρίσιμα μεγέθη σε κάθε αναπαράσταση, έχουμε τα επόμενα:



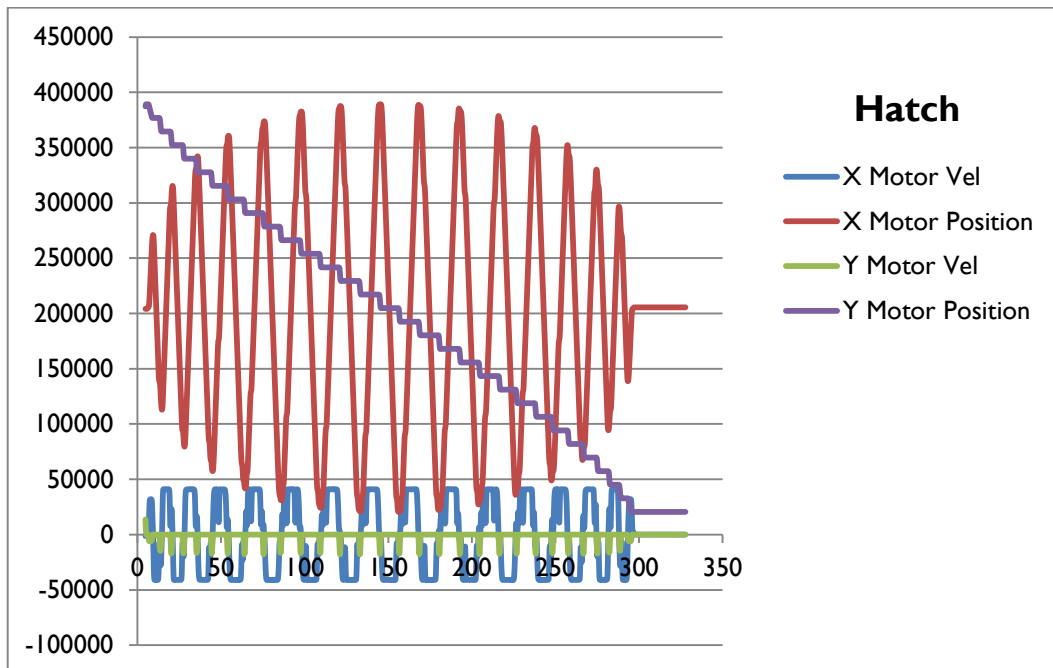
Σχήμα . Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης X-Y.



Σχήμα . Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης – ταχύτητας στους άξονες κίνησης X-Y συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα . Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης X-Y



Σχήμα . Αναπαράσταση των καταγεγραμμένων δεδομένων θέσης – ταχύτητας στους άξονες κίνησης X-Y συναρτήσει του χρόνου.

ΚΕΦ. 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή μιας διάταξης οδηγούμενης ψηφιακά μέσω υπολογιστή που είναι κατάλληλη για την κίνηση δέσμης «Laser», καθώς και η κατασκευή εφαρμογής λογισμικού ελέγχου αυτής, αποτελούν τις σημαντικότερες προσφορές της παρούσης εργασίας. Έχει αναπτυχθεί ολοκληρωμένη μελέτη για τη σύνθεση, την παραμετροποίηση, τον έλεγχο και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας ερευνητής κατά την διάρκεια κατασκευής της εν λόγω διάταξης, ενώ επιπλέον παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από την εκτέλεση δοκιμαστικών εφαρμογών σε πρότυπα τεμάχια κατεργασίας.

Η εκπόνηση της παρούσης μελέτης απαιτούσε στοιχεία διαφορετικών επιστημονικών πεδίων, τη συνδιαλλαγή με διαφορετικά περιβάλλοντα εφαρμογών και ποικιλία προγραμματιστικών εργαλείων. Αφενός, ήταν απαραίτητη η ανασκόπηση των ικανοτήτων των επιμέρους τμημάτων του εξοπλισμού. Η συλλογή και η μελέτη πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία και τις δυνατότητες διασύνδεσης, απέδωσε την ικανότητα ακριβούς παραμετροποίησης με ασφάλεια και επιτυχία, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα εσφαλμένης διαχείρισης ή ενδεχόμενης καταστροφής του ακριβού - ευαίσθητου εξοπλισμού. Αφετέρου, δόθηκε βαρύτητα στις πρακτικές εγκατάστασης και ολοκλήρωση των ηλεκτρολογικών συνδέσεων μεταξύ των κινητήρων, των ενισχυτών και της διάταξης του ελεγκτή, ενώ έγινε εκτεταμένη αναφορά στις δυνατότητες και την επιλογή του τύπου επικοινωνίας ελεγκτή - υπολογιστικού συστήματος.

Η απόδοση του συστήματος είναι συνδεδεμένη με τη φύση και τις ανάγκες του ελέγχου, ενώ είναι απόλυτα εξαρτώμενη από τη ρύθμιση των κερδών στον ελεγκτή και τις παρεμβάσεις από το εξωτερικό περιβάλλον. Η υλοποίηση αξόνων μεταγωγής με υποστήριξη συνδυασμού σύμπλεξης (μεταλλικού κοχλία - πολυμερούς περικοχλίου), περιορίζει τις προδιαγραφές μέγιστης ταχύτητας πρόωσης και στρεπτικού φορτίου, ενώ βάσει αυτών των περιορισμών κρίνεται απαραίτητη και η επαναρρύθμιση των σημείων τοποθέτησης των τερματικών διακοπών υπέρβασης ακραίων ορίων κίνησης. Αναλόγως με τη μέγιστη ταχύτητα μετάβασης, απαιτείται να ληφθούν υπόψη η απόλυτη τιμή επιτάχυνσης/επιβράδυνσης και η εκάστοτε απόσταση προστασίας που είναι τοποθετημένοι οι οριακοί διακόπτες, προτού το αντίστοιχο κινητό στοιχείο προσεγγίσει τα οριακά μηχανικά στοπ.

Ο προσδιορισμός των βέλτιστων τιμών στα παραπάνω πεδία δεν αποτελεί μία εύκολη υπόθεση, ενώ ο υπεύθυνος για την παραμετροποίηση πρέπει να είναι έμπειρος στον συγκεκριμένο τομέα, αλλά κι εξοικειωμένος με τις συγκεκριμένες διατάξεις ελέγχου. Στο συγκεκριμένο εγχείρημα υπάρχει μία επιπλέον αβεβαιότητα ως προς τον ορισμό της βέλτιστης παραμετροποίησης, ενώ για την διενέργεια των απαραίτητων πειραματισμών απαιτούνται συνθήκες αυξημένης προστασίας στις ρυθμίσεις μέγιστου ορίου ρεύματος των διατάξεων ενίσχυσης των κινητήρων της διάταξης.

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί κατά τρόπο τέτοιο ώστε να επιτρέπει επεκτασιμότητα, που σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην προσαρμοστικότητα και την δυνατότητα διασυνδέσεων που προσφέρει η κάρτα αυτομάτου ελέγχου (Pmac) με διάφορα είδη κινητήρων και μεγάλο αριθμό διαφορετικών εξωτερικών διατάξεων. Η ενσωμάτωση του επιλεγμένου τύπου σερβοκινητήρων καλύπτει πλήρως ως τις ανάγκες ισχύος και ακρίβειας ανάδρασης. Για τη βελτίωση του διαστήματος απουσίας συντήρησης και της πιστότητας μετάδοσης της κίνησης κρίνεται απαραίτητη η αντικατάσταση των υπαρχόντων συνδετήρων (couplers) από αντίστοιχους υψηλότερων προδιαγραφών. Επιπλέον για την αύξηση της ακρίβειας ανάδρασης του τελικού σημείου κίνησης, κρίνεται απαραίτητη η ενσωμάτωση επιπλέον διατάξεων ανάδρασης θέσης γραμμικής διαδρομής σε κάθε άξονα κίνησης. Η επιπρόσθετη ανάδραση δίνει την επιπρόσθετη δυνατότητα για ανάλυση της κίνησης σε διάφορες πειραματικές συνθήκες και τροχιές κατεργασίας. Τέλος με την ενσωμάτωση διατάξεων απόλυτου γραμμικού τύπου ανάδρασης απαλείφονται τα προβλήματα που συνδέονται με τυχόν παύση εκτέλεσης και αρχικοποίηση κατά την εκκίνηση των διατάξεων.

Όσον αφορά την πιλοτική εφαρμογή ελέγχου, αυτή παρέχει τη δυνατότητα εκτέλεσης αρκετών αυτοματοποιημένων διεργασιών, απομακρύνοντας το χρήστη από την ανάγκη λήψης αποφάσεων χαμηλού επιπέδου, ενώ παράλληλα είναι σε θέση να επιβλέπει οπτικά την ομαλή εκτέλεση των τροφοδοτούμενων προγραμμάτων, να αιτηθεί τον έλεγχο της διάταξης και να προβεί σε τμηματικό ή απόλυτο τερματισμό της εκτέλεσης. Η ενσωμάτωση κειμενογράφου παραμετροποίησης κώδικα προσδίδει την ελευθερία διαχείρισης των διαθέσιμων προγραμμάτων καθώς επιτρέπει την εύκολη παραμετροποίηση, την αποθήκευση ή/και την ανάκτηση τμημάτων κώδικα από αρχεία δίσκου. Τέλος η παράθεση του πηγαίου κώδικα ανάπτυξης της εφαρμογής, προσδίδει την ελευθερία παραμετροποίησης της από τον εκάστοτε χρήστη, καθώς αυτός είναι πλέον σε θέση να λειτουργεί ταυτόχρονα και ως δημιουργός. Κατ' αυτό τον τρόπο, η εφαρμογή καθίσταται προσαρμόσιμη στο επίπεδο εμπειρίας του χρήστη με την συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού και τις εκάστοτε ανάγκες του.

Πέραν των όσων πιθανών διορθώσεων αναφέρθηκαν προηγούμενα, μελλοντικές επεκτάσεις αφορούν το μηχανικό αλλά και το προγραμματιστικό τμήμα της:

- Πειραματισμός με τις μέγιστες συστημικές ταχύτητες των γραμμικών συστημάτων πρόωσης (κοχλιών-περικοχλιών).
- Προγραμματιστική επέκταση της εφαρμογής ελέγχου, ώστε να λαμβάνει ως είσοδο επεξεργασμένα αρχεία δύο διαστάσεων (2D) του αρχικού CAD 3D μοντέλου και να εκτελεί σειριακά την διαδικασία κατασκευής του μοντέλου.
- Προγραμματιστική διαχείριση των παλμών οδήγησης της δέσμης ενέργειας πηγής Laser.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Altintas Y., Erkorkmaz K., Zhu W.H. (2000) Sliding Mode Controller Design for High Speed Feed Drives. *Annals of CIRP* Vol. 49, No.1, pp. 265–270.
- Baehr A., Mutschler P. (2006) Comparison of Speed Acquisition Methods based on Sinusoidal Encoder Signals. *Proc. 8th Conference on optimisation of electrical and electronic equipment (Optim 2002)*, Brasov, Romania; May 2002, pp. 497-593.
- Bertsch A., Jiguet S., Renaud P. (2004) Microfabrication of ceramic components by microstereolithography. *J micromechanics micro-engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 42–47.
- Brown R., Schneider S., Mulligan M. (1992) Analysis of Algorithms for Velocity Estimation from Discrete Position Versus Time Data. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 39, No. 1, pp. 11-19.
- Bunte A., Beineke S. (2004) High-Performance Speed Measurement by Sup-pression of Systematic Resolver and Encoder Errors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 5, No. 1, pp. 49–53.
- Carter W.T., Jones M.G. (August 1993) Direct Laser sintering of metals, in: *Proceedings of the Fourth Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX, pp. 51–59.
- Cerit E., Lazoglu I. (2011) A CAM-based path generation method for rapid prototyping applications, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 56, pp. 319–327.
- Chang C.C. (2004) Direct slicing and G-code contour for rapid prototyping machine of UV resin spray using PowerSOLUTION macro commands. *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 23, pp. 358–365.
- Cheng C.W., Tsai M.C. (2004) Real-time Variable Feed Rate NURBS Curve Interpolator for CNC Machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 23, No. 11-12, pp. 865-873.
- Choi J.W., MacDonald E., Wicker R. (2009) Multi-material microstereolithography, *Int J. Adv. Manuf. Technol.* DOI 10.1007/s00170-009-2434-8.
- Esser G., Otto A., Geiger M., (2004) Requirements towards future laser systems for flexible manufacturing, in *Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering*, Erlangen, Germany, pp. 37–45.
- Frey S., Walther M., Verl A. (2010) Periodic Variation of Preloading in BallScrews. *Production Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 261-267.
- Gleich S. (2007) Approach for Simulating Ball Screws in Thermal Finite Element Simulation, *Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems. Journal of Machine Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 101-107.

- Grigoryants A.G., (1994) Basic of Laser Material Processing, Mir Publishers.
- Ha Y.M., Choi J.W., Lee S.H. (2008) Mass production of 3-D microstructures using projection microstereolithography. *J Mech Sci Technol*, Vol. 22, No. 3, pp. 514–521.
- Haipeng P., Tianrui Z. (2007) Generation and optimization of slice profile data in rapid prototyping and manufacturing. *J Mater Process Technol*, Vol. 187–188, pp. 623–626.
- Hara R. (1989) Apparatus for Controlling Acceleration and Deceleration for Servo Control, European Patent EP 0378708 A1, Paris.
- Jacobs P.F. (1993) Rapid Prototyping and Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography, McGraw-Hill, New York.
- James C.N. (1993) Selective laser sintering, definition of the process and an empirical sintering model. PhD thesis, The University of Texas at Austin.
- Jeon J.W., Ha Y.Y. (2000) A Generalized Approach for the Acceleration and Deceleration of Industrial Robots and CNC Machine Tools. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 47, No. 1, pp. 133-139.
- Jones S.D., Ulsoy A.G. (1999) An Approach to Control Input Shaping with Application to Coordinate Measuring Machines. *ASME Journal of Dynamic Systems Measurement Control*, Vol. 21, No. 2, pp. 242–247.
- Kang H.Y., Lee I.H., Cho D.W. (2004) Development of an assembly-free process based on virtual environment for fabricating 3D microfluidic systems using microstereolithography technology, Vol. 126, pp. 766–771.
- Kilian C. (2005) Modern Control Technology, Thompson Delmar Learning.
- Kim H.C. (2003) Internet-based intelligent CAD/CAM system for rapid product development. PhD thesis, Pusan National University Graduate School.
- Kruth J.P., Vandenbroucke B., Vaerenbergh J.V., Mercelis P. (2005) Benchmarking of different SLS/SLM processes as rapid manufacturing techniques, *Int. Conf. Polymers & Moulds Innovations (PMI)*.
- Kruth J.P., Wang X., Laoui T., Froyen L. (2001) Lasers and materials in selective laser sintering, Keynote paper, in: *Proceedings of the Third Laser Assisted Net Shape Engineering, LANE, August, Erlangen, Germany*, pp. 3–24
- Lee I.H., Cho D.W. (2003) Micro-stereolithography photopolymer solidification patterns for various laser beam exposure conditions. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* Vol. 22, pp. 410–416
- Lee S.J., Kang H.W., Kang T.Y., Kim B., Lim G., Rhie J.W., Cho D.W. (2007) Development of a scaffold fabrication system using an axiomatic approach, *journal of micromechanics and micro engineering*, Institute of physics publishing.

- Lin M.C., Ravani B., Velinsky S.A. (1994) Kinematics of the Ball Screw Mechan-ism. ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 116, pp. 849–855.
- Nam S.H., Yang M.Y. (2004) A Study on a Generalized Parametric Inter-polator with Real-time Jerk-limited Acceleration. Computer-Aided Design, Vol. 36, No. 1, pp. 27–36.
- Nordin M., Gutman P.O. (2002) Controlling Mechanical Systems with Backlash – A Survey. Automatica, Vol. 38, No. 10, pp. 1633–1649.
- Park S.M. (2000) Advanced data exchange for solid freeform fabrication. PhD thesis, The University of Texas at Austin.
- Pislaru C., Ford D.G., Holroyd G. (2004) Hybrid Modelling and Simulation of a Computer numerical Control Machine Tool Feed Drive. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part I Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 218, No. 2, pp. 111–120.
- Pritschow G., Philipp W (1990) Direct Drives for High-Dynamic Machine Tool Axes. Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 413–416.
- Pritschow G. (1998) A Comparison of Linear and Conventional Electromechanical Drives. Annals of the CIRP, Vol. 47, No. 2, pp. 541–547.
- Ramesh R., Mannan M.A., Poo AN (2000) Error Compensation in Machine Tools – A Review. Part I Geometric Cutting-force Induced and Fixture-dependent Errors. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40, No. 9, pp. 1235–1256.
- Sakano T. (1986) Acceleration/Deceleration Control System, US Patent 4,603,286, Fanuc Ltd., Assignee.
- Santos E.C., Shiomi M., Osakada K., Laoui T. (2006) Rapid manufacturing of metal components by laser forming, International journal of Machine Tools & Manufacture ,Vol. 46, No. 6, pp. 1459-1468.
- Savalani M.M., Hao L., HarrisRapid R.A. (2005) Manufacturing Research Group, Loughborough University, Loughborough, UK, Vol. 220, pp. 171-182.
- Sherif D. (2002) Process and Design for Manufacturing, Waveland Pr Inc.
- Shigley J.E., Mischke C.R. Budynas R.G. (2003) Mechanical Engineering Design, McGraw Hill.
- Suh S.H., Kang S.K., Chung D.H., Stroud I. (2008) Theory and Design of CNC Systems, Springer.
- Sun C., Zhang X. (2002) Experimental and numerical investigations on microstereolithography of ceramics. J Appl Physi, Vol. 92, No. 8, pp. 4796–4802.
- Sun C., Fang N., Wu D.M., Zhang X. (2005) Projection micro-stereolithography using digital micro-mirror dynamic mask. Sens Actuators A Phys, Vol. 121, No. 1, pp. 113–120.

- Tien CC, Wysk R.A., Wang H.P. (2005) Computer Aided Manufacturing, Prentice Hall.
- Tlusty G. (1999) Manufacturing Process and Equipment, Prentice Hall.
- Tsai M.C., Cheng M.Y., Lin K.F., Tsai N.C. (2005) On Acceleration/Deceleration Before Interpolation for CNC Motion Control. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Mechatronics, Taipei, Taiwan, Vol. 10-12, pp.382-387
- Verl A., Frey S. (2010) Correlation between Feed Velocity and Preloading in Ball Screw Drives. CIRP Annals, Vol. 59, No. 1, pp. 429-432.
- Weck M., Kruger P., Brecher C. (2001) Limits for Controller Settings with Electric Linear Direct Drives. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 41, No. 1, pp. 65-88.
- Weck M., Brecher C., Schulz A., Keiser R. (2003) Coupled Simulation of Control Loop and Structural Dynamics. Annals of the German Academic Society for Production Engineering, Vol. X, No. 2, pp. 105-110.

Πληροφορίες στον Ιστό:

- AbsoluteEncoders: http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder#Traditional_absolute_encoders.
- CartesianCoordinateRobot: http://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_robot.
- Control Theory: http://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory.
- Coupling: <http://en.wikipedia.org/wiki/Coupling>.
- Digital Control: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_control.
- Fault-Tolerant Systems: http://en.wikipedia.org/wiki/Fault-tolerant_system.
- Gerber Format: http://en.wikipedia.org/wiki/Gerber_format.
- IEC-61508: http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61508.
- IncrementalEncoders: http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder#Traditional_incremental_encoders
- MachineControlUnit: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>.
- Motor Controller: http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_controller.
- Numerical Control: http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control.

OTFProgramming: http://en.wikipedia.org/wiki/On-the-fly_programming.

PMAC SOFTWARE:

<http://www.deltatau.com/manuals/pdfs/PMAC%20AND%20PMAC2%20SOFTWARE.pdf?id=634701792238582352>.

PositionSensors: http://en.wikipedia.org/wiki/Position_sensor.

ProControl: http://en.wikipedia.org/wiki/Process_control.

Programmable Logic Controller: http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller.

Rapid Control Prototyping: http://en.wikipedia.org/wiki/Instructional_design#Rapid_prototyping.

SelectiveLaserMelting: http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_melting.

SelectiveLaserSintering: http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering.

Servomechanism: <http://en.wikipedia.org/wiki/Servomechanism>.

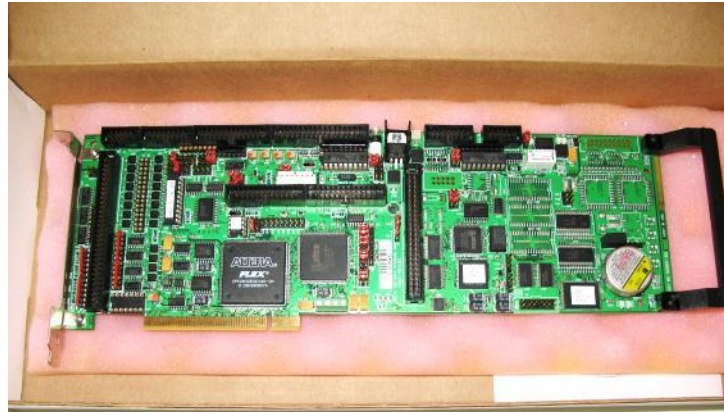
SoftwareTesting: http://en.wikipedia.org/wiki/Software_testing.

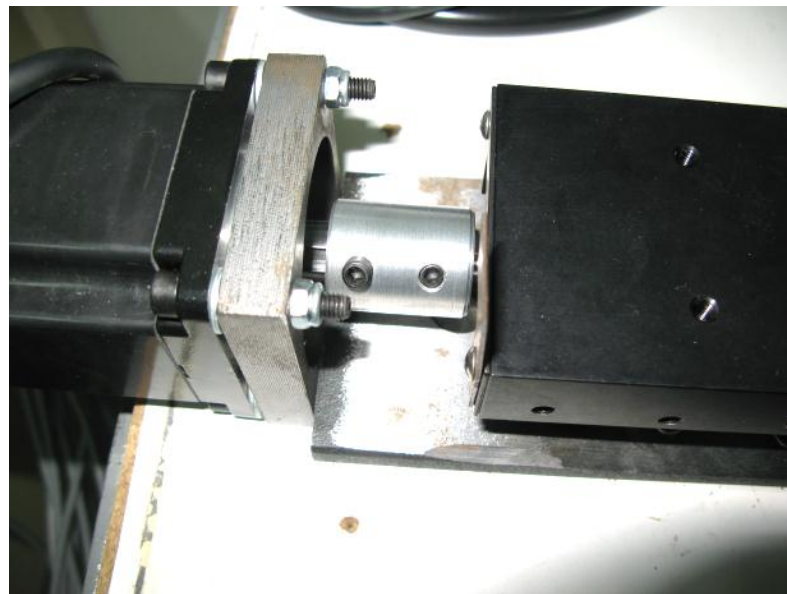
SVVP: http://en.wikipedia.org/wiki/Software_Validation_%26_Verification_Plan.

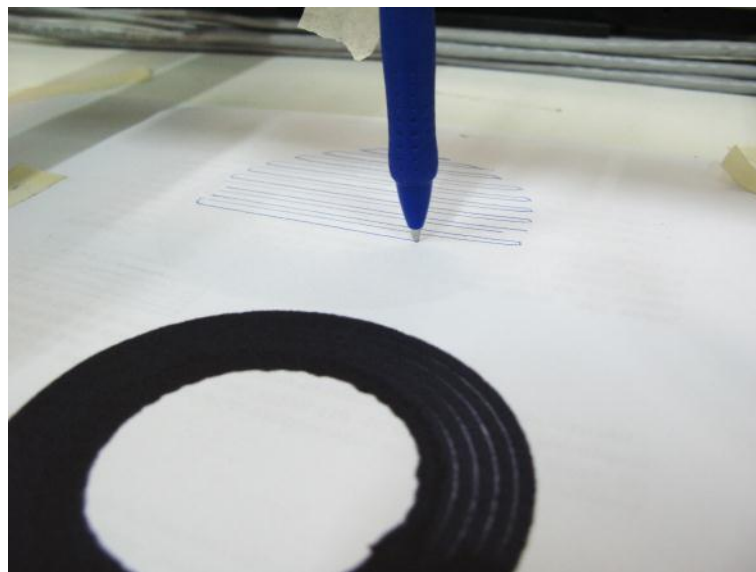
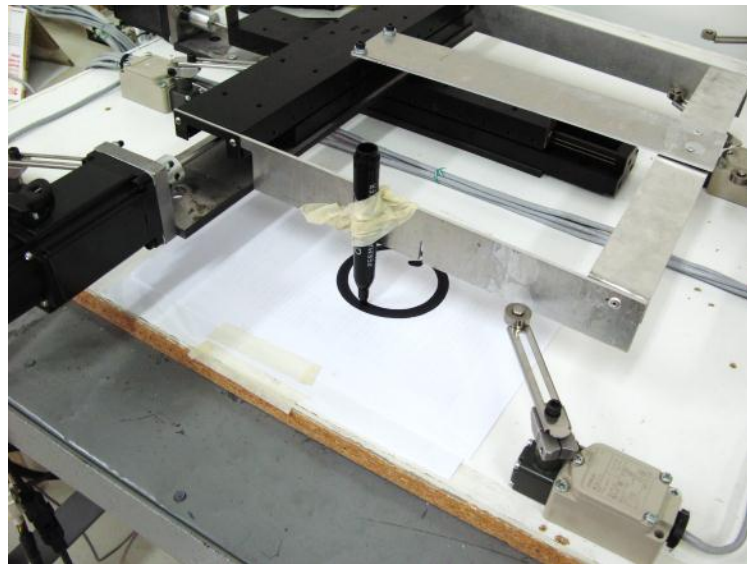
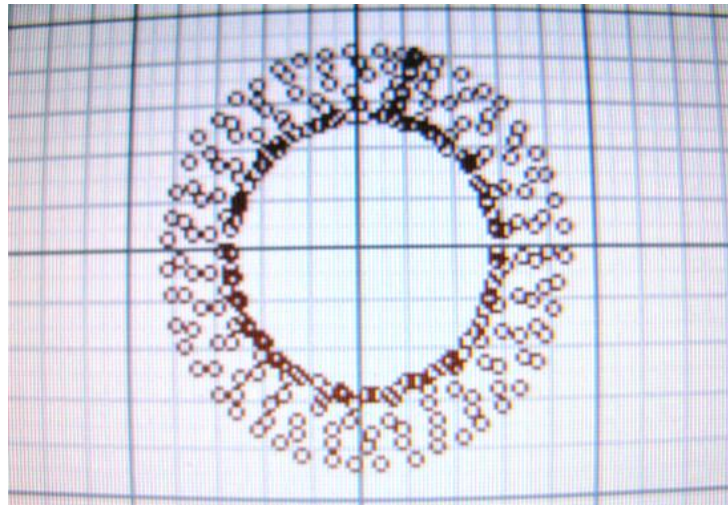
TestAutomation: http://en.wikipedia.org/wiki/Test_automation.

IEEE-829: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_829.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ







ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΑΡΧΕΙΟΥ

ΜΕΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ

```

Fanuc.gpp                                     blknum_delta = 1                               endp
-----
@init_post                                     trace "all":0                                   ; {nb, 'M98 P9010'}
global string tool_diameter_f                 endp                                           ; {nb, 'M30'}
global numeric flag1 flag2                   @start_of_file                                 endp
m_feed_flag                                   ; before tools definition                     @end_of_file
; Non GPL variables                           ;{'%'}                                         ; {nl, '%'}
num_user_procs = 1                            ;{nl, 'O'program_number, ' (';
line_labels = FALSE ; Jump to                g_file_name, ')}                               endp
N...                                           ;{nl, '( MCV-OP );' (';DATE ')}               @relative_mode
; GPL variables                               ;if rotate_used then                          gcode = 91
pre_processor = 'FANUC'                       ; gcode = 69                                  {nb, 'INC'}
numeric_def_f = '5.3'                         ; {nb, 'G'gcode}                              ;skipline = FALSE
integer_def_f = '5.0(p)'                      ;endif                                         endp
gcode_f = '2.0(p)'                            ;if mirror_used then                          @absolute_mode
mcode_f = '2.0(p)'                            ; {nb, 'G50.1 X0 Y0'}                         gcode = 90
xpos_f = '5.3'                                ;endif                                         {nb, 'ABS'}
ypos_f = '5.3'                                ;{nb, '(SUBROUTINES:                           ;skipline = FALSE
zpos_f = '5.3'                                O'first_proc_number, ' ' ..                  endp
feed_f = '4.3(p)'                             ;flag2 = 0                                     @machine_plane
tool_diameter_f = '5.3/1'                     endp                                           if machine_plane eq XY
blknum_f = '5.0(p)'                            @start_program                                ;gcode = 17
blknum_gen = false                            ; after tools definition                       {nb, 'NORMAL K-1'}
blknum_exist = true                           ;{nb, 'G80 G49 G40'}                          endif
blknum = 1                                    ; call @home_number                           ;if machine_plane eq YZ

```



```

gcode = 3                               endif                               ;{nb, 'G'gcode}

{'CIRCLE2'}                              if zpos>9 then                       flag2 = 1

else ; CW                                ;{nb, '#4K'}                          endp

gcode = 2                                 endif                                 @rotate

{'CIRCLE1'}                              endif                                 ; Not exist in FANUC 6M

endif                                     endp                                 if rotate_cancel then

{[' X'xpos] [' Y'ypos]}                  @compensation                         gcode = 69

if arc_size eq 360 then                  if side eq COMP_LEFT then            {nb, 'G'gcode}

if arc_plane eq XY then                  gcode = 41                            else

{' I'xcenter_rel, ' J'ycenter_rel}      endif                                 gcode = 68

endif                                     if side eq COMP_RIGHT then           {nb, 'G'gcode, ' X0 Y0 G91
R'angle}

if arc_plane eq YZ then                  gcode = 42                            {nb, 'G90'}

{'      J'xcenter_rel,      '          '  endif                                endif

K'ycenter_rel}                          if side eq COMP_OFF then            endp

endif                                     gcode = 40                            @fourth_axis

if arc_plane eq ZX then                  endif                                 gcode = 0

{' K'xcenter_rel, ' I'ycenter_rel}      {nb, 'G'gcode, ' '}                  {nb, 'G'gcode, ' A'angle}

endif                                     skipline = FALSE                      endp

else                                     endp                                  @change_tool

if arc_size >= 180 then                  @delay                                 if flag2 eq 0

radius = -radius                         gcode = 4                              call @home_number

endif                                     {nb      'G'gcode,      '      '      '
{' R'radius}                             P'delay_period:integer_def_f}        endif

endif                                     endp                                  flag2 = 1

if m_feed_flag eq 1                     @change_ref_point                     local logical save_blknum_gen

m_feed_flag = 0                          ; Given in absolute mode              ; {nb, 'M98 P9011'}

{' F'feed}                                gcode = 10                             ;{nb, 'G91 G28 Z0'}

else                                       {nb, 'G'gcode, 'G91 L2                ;{nb, 'G90'}
P'home_number ' X'xhome, ' Y'yhome, '
Z'zhome}

endif                                     {nb, 'G90'}

if change(zpos) then                    endp                                  ; tool_number = (tool_number -
20)

if zpos < 10 then                        @home_number                           ; endif

;{nb, '#4J'}                              gcode = 53 + home_number              ; if tool_number gt 40 and
tool_number lt 60

```

```

; tool_number = (tool_number - 40)
; endif
; if tool_number gt 60 and tool_number lt 80
; tool_number = (tool_number - 60)
; endif
;{nb, 'M01'}
blknum_gen = true
;{nb, 'M6 T'tool_number'}
blknum_gen = FALSE
if tool_type eq 0 then
; {nb, '( TOOL -'tool_number, '- DRILL DIA 'tool_diameter, ' MM )'}
endif
if tool_type eq 1 then
; {nb, '( TOOL -'tool_number, '- ROUGH DIA 'tool_diameter, ' MM )'}
endif
if tool_type eq 2 then
; {nb, '(TOOL -'tool_number, '- MILL DIA 'tool_diameter, ' R'corner_radius,' MM )'}
endif
; {nb, 'G90 G00 G40 G'(53 + home_number)}
label = first_user_proc
save_blknum_gen = blknum_gen
gcode = 43
; {nb, 'G'gcode, ' H'tool_number, ' D(tool_number+30), ''}
blknum_gen = save_blknum_gen
xpos = xnext
ypos = ynext
zpos = znext
skipline = FALSE
call @rapid_move

tool_direction = CCW
; call @start_tool
; if colent eq 0
; {nb, 'M8'}
; endif
; if colent eq 17
; {nb, 'M17'}
; endif
; if colent eq 18
; {nb, 'M18'}
; endif
endp
@message
; {nb, '(, message, ''}
endp

if drill_type eq r_boring then
gcode = 86
endif
if drill_type eq f_boring then
gcode = 89
endif
if drill_type eq tapping then
{nb, 'M29 S'spin:integer_def_f}
endif
{nb, 'G98 G'gcode, ' Z'drill_lower_z, ' R'drill_upper_z}
if drill_type eq peck then
{ ' Q'down_step}
endif
if drill_type eq f_drill or drill_type eq tapping then
{ ' P'delay:integer_def_f}
endif
if drill_type eq drilling then
gcode = 81
endif
if drill_type eq f_drill then
gcode = 82
endif
if drill_type eq peck then
gcode = 83
endif
if drill_type eq tapping then
gcode = 84
endif
if drill_type eq boring then
gcode = 85
endif

if not first_drill then
{nb, ' ', [' X'xpos], [' Y'ypos], [' Z'zpos]}
endif
if mirror_type eq MIRROR_OFF then
{nb, 'G50.1 X0 Y0'}
else
{nb, 'G51.1 ' }
if mirror_type eq MIRROR_X then
{ 'X1 Y0'}
endif

```

```

endif                                     {nb, 'G61'}                               mcode = 4
if mirror_type eq MIRROR_Y               endif                                       else ; CCW
then
                                           ; flag1 = 1                               mcode = 3
  {'X0 Y1'}
endif                                     endp                                       endif
if mirror_type eq MIRROR_XY              @end_of_job                               {' S'spin:integer_def_f, '
then                                       ; NOP                                       M'mcode}
  {'X1 Y1'}                               endp                                       endp
endif                                     ;                                           @m_feed_spin
endif                                     ===== ; if tool_direction eq CW then
                                           ; USER DEFINED                               ; mcode = 4
endp                                       PROCEDURES ; else ; CCW
@end_drill                               ;                                           ; mcode = 3
gcode = 80                               @call_simple_proc                          ; endif
{'nb, 'G'gcode}                          active(message) = FALSE                    ; if change(spin)
endp                                       active(parm1) = FALSE                      ; {nb, 'S'spin:integer_def_f, '
@halt_program                             active(parm2) = FALSE                      M'mcode}
{' M0'}                                   active(parm3) = FALSE                      ; endif
endp                                       proc_count = 1                             m_feed_flag = 1
@round_comp                               call @call_proc                            endp
; NOP                                     endp                                       @stop_tool
endp                                       @start_tool                               ; {' M5'}
@start_of_job                             if tool_direction eq CW then              Endp
if dely eq 1

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΚΩΔΙΚΑΣ-G

Τεχνική Hatch:

	<i>X28.453 F15</i>	<i>F15</i>
-----	<i>F15</i>	<i>X82.057 F15</i>
<i>ABS</i>	<i>X23. F15</i>	<i>F15</i>
<i>NORMAL K-1</i>	<i>RAPID</i>	<i>X86. F15</i>
<i>INC(R)</i>	<i>X19.406 Y83.</i>	<i>RAPID</i>
<i>FRAX(X,Y)</i>	<i>LINEAR F15</i>	<i>X88.066 Y74.</i>
<i>RAPID X49.836 Y95.</i>	<i>X24.075 F15</i>	<i>LINEAR F15</i>
<i>X49.836 Y95.</i>	<i>F15</i>	<i>X84.362 F15</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>X75.924 F15</i>	<i>F15</i>
<i>X50.164 F15</i>	<i>F15</i>	<i>X64.375 F15</i>
<i>RAPID</i>	<i>X80.594 F15</i>	<i>F15</i>
<i>X66.156 Y92.</i>	<i>RAPID</i>	<i>X35.625 F15</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>X83.541 Y80.</i>	<i>F15</i>
<i>X33.844 F15</i>	<i>LINEAR F15</i>	<i>X15.639 F15</i>
<i>RAPID</i>	<i>X79.346 F15</i>	<i>X15.636 F15</i>
<i>X27.55 Y89.</i>	<i>F15</i>	<i>X11.934 F15</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>X20.655 F15</i>	<i>RAPID</i>
<i>X34.526 F15</i>	<i>X20.653 F15</i>	<i>X10.2 Y71.</i>
<i>F15</i>	<i>X16.459 F15</i>	<i>LINEAR F15</i>
<i>X65.473 F15</i>	<i>RAPID</i>	<i>X13.634 F15</i>
<i>F15</i>	<i>X14. Y77.</i>	<i>X13.635 F15</i>
<i>X72.45 F15</i>	<i>LINEAR F15</i>	<i>X31.536 F15</i>
<i>RAPID</i>	<i>X17.943 F15</i>	<i>X31.542 F15</i>
<i>X77. Y86.</i>	<i>F15</i>	<i>X68.463 F15</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>X42.949 F15</i>	<i>F15</i>
<i>X71.548 F15</i>	<i>X42.952 F15</i>	<i>X86.365 F15</i>
<i>F15</i>	<i>X57.051 F15</i>	<i>X86.369 F15</i>

X89.8 F15	X24.807 F15	X8.202 F15
RAPID	F15	X8.203 F15
X91.243 Y68.	X9.821 F15	X22.251 F15
LINEAR F15	X9.818 F15	X22.252 F15
X87.846 F15	X6.629 F15	X77.748 F15
F15	RAPID	F15
X71.448 F15	X5.909 Y59.	X91.797 F15
F15	LINEAR F15	F15
X28.553 F15	X9.065 F15	X94.9 F15
F15	X9.066 F15	RAPID
X12.155 F15	X23.522 F15	X95. Y50.
F15	X23.523 F15	LINEAR F15
X8.757 F15	X76.477 F15	X91.994 F15
RAPID	F15	F15
X7.574 Y65.	X90.934 F15	X78. F15
LINEAR F15	F15	F15
X10.839 F15	X94.091 F15	X22.001 F15
X10.84 F15	RAPID	F15
X26.437 F15	X94.598 Y56.	X8.006 F15
X26.44 F15	LINEAR F15	X8.001 F15
X73.562 F15	X91.532 F15	X5. F15
X73.563 F15	F15	RAPID
X89.16 F15	X77.282 F15	X5.1 Y47.
F15	X77.278 F15	LINEAR F15
X92.426 F15	X22.719 F15	X8.202 F15
RAPID	F15	X8.203 F15
X93.371 Y62.	X8.469 F15	X22.251 F15
LINEAR F15	X8.467 F15	X22.252 F15
X90.179 F15	X5.402 F15	X77.748 F15
F15	RAPID	F15
X75.194 F15	X5.1 Y53.	X91.797 F15
X75.191 F15	LINEAR F15	F15

X94.9 F15	X24.807 F15	X13.634 F15
RAPID	F15	X13.635 F15
X94.598 Y44.	X9.821 F15	X31.536 F15
LINEAR F15	X9.818 F15	X31.542 F15
X91.532 F15	X6.629 F15	X68.463 F15
F15	RAPID	F15
X77.282 F15	X7.574 Y35.	X86.365 F15
X77.278 F15	LINEAR F15	X86.369 F15
X22.719 F15	X10.839 F15	X89.8 F15
F15	X10.84 F15	RAPID
X8.469 F15	X26.437 F15	X88.066 Y26.
X8.467 F15	X26.44 F15	LINEAR F15
X5.402 F15	X73.562 F15	X84.362 F15
RAPID	X73.563 F15	F15
X5.909 Y41.	X89.16 F15	X64.375 F15
LINEAR F15	F15	F15
X9.065 F15	X92.426 F15	X35.625 F15
X9.066 F15	RAPID	F15
X23.522 F15	X91.243 Y32.	X15.639 F15
X23.523 F15	LINEAR F15	X15.636 F15
X76.477 F15	X87.846 F15	X11.934 F15
F15	F15	RAPID
X90.934 F15	X71.448 F15	X14. Y23.
X90.938 F15	F15	LINEAR F15
X94.091 F15	X28.553 F15	X17.943 F15
RAPID	F15	F15
X93.371 Y38.	X12.155 F15	X42.949 F15
LINEAR F15	F15	X42.952 F15
X90.179 F15	X8.757 F15	X57.051 F15
F15	RAPID	F15
X75.194 F15	X10.2 Y29.	X82.057 F15
X75.191 F15	LINEAR F15	F15

<i>X86. F15</i>	<i>X75.924 F15</i>	<i>X34.526 F15</i>
<i>RAPID</i>	<i>X75.928 F15</i>	<i>F15</i>
<i>X83.541 Y20.</i>	<i>X80.594 F15</i>	<i>X65.473 F15</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>RAPID</i>	<i>F15</i>
<i>X79.346 F15</i>	<i>X77. Y14.</i>	<i>X72.45 F15</i>
<i>F15</i>	<i>LINEAR F15</i>	<i>RAPID</i>
<i>X20.655 F15</i>	<i>X71.548 F15</i>	<i>X66.156 Y8.</i>
<i>X20.653 F15</i>	<i>F15</i>	<i>LINEAR F15</i>
<i>X16.459 F15</i>	<i>X28.453 F15</i>	<i>X33.844 F15</i>
<i>RAPID</i>	<i>F15</i>	<i>RAPID</i>
<i>X19.406 Y17.</i>	<i>X23. F15</i>	<i>X49.836 Y5.</i>
<i>LINEAR F15</i>	<i>RAPID</i>	<i>LINEAR F15</i>
<i>X24.075 F15</i>	<i>X27.55 Y11.</i>	<i>X50.164 F15</i>
<i>F15</i>	<i>LINEAR F15</i>	<i>RAPID</i>
Τεχνική Contour:	<i>X75.561 Y83.318</i>	<i>X66.071 Y11.203</i>
-----	<i>X79.694 Y79.694</i>	<i>X60.865 Y9.437</i>
<i>ABS</i>	<i>X83.318 Y75.561</i>	<i>X55.475 Y8.365</i>
<i>NORMAL K-1</i>	<i>X86.369 Y70.993</i>	<i>X49.969 Y8.008</i>
<i>FRAX(X,Y)</i>	<i>X88.797 Y66.07</i>	<i>X44.519 Y8.366</i>
<i>RAPID X60.63 Y90.61</i>	<i>X90.563 Y60.869</i>	<i>X39.126 Y9.439</i>
<i>#4K</i>	<i>X91.635 Y55.475</i>	<i>X33.93 Y11.203</i>
<i>X60.63 Y90.61</i>	<i>X91.992 Y49.969</i>	<i>X29.003 Y13.633</i>
<i>#4K</i>	<i>X91.634 Y44.519</i>	<i>X24.435 Y16.685</i>
<i>#4J/</i>	<i>X90.562 Y39.128</i>	<i>X20.304 Y20.308</i>
<i>LINEAR F33</i>	<i>X88.799 Y33.936</i>	<i>X16.684 Y24.437</i>
<i>#4J/</i>	<i>X86.365 Y29.</i>	<i>X13.632 Y29.004</i>
<i>X60.869 Y90.563 F100</i>	<i>X83.316 Y24.437</i>	<i>X11.203 Y33.93</i>
<i>X66.065 Y88.799</i>	<i>X79.696 Y20.308</i>	<i>X9.439 Y39.126</i>
<i>X71. Y86.365</i>	<i>X75.565 Y16.685</i>	<i>X8.367 Y44.514</i>
	<i>X70.997 Y13.633</i>	<i>X8.006 Y50.</i>

X8.367 Y55.486	X67.79 Y71.609	CIRCLE1 X74.188 Y35.9 R3.
X9.439 Y60.874	CIRCLE1 X68.189 Y71.274 R3.	LINEAR X74.162 Y35.86
X11.203 Y66.071	LINEAR X71.272 Y68.191	X74.103 Y35.773
X13.633 Y70.997	CIRCLE1 X71.53 Y67.898 R3.	X74.089 Y35.752
X16.685 Y75.565	LINEAR X71.553 Y67.867	X71.609 Y32.21
X20.308 Y79.696	X71.6 Y67.802	CIRCLE1 X71.274 Y31.811 R3.
X24.437 Y83.316	X71.616 Y67.779	LINEAR Y31.81
X29. Y86.365	X74.108 Y64.221	X68.191 Y28.728
X33.936 Y88.799	CIRCLE1 X74.36 Y63.788 R3.	CIRCLE1 X67.821 Y28.413 R3.
X39.128 Y90.562	LINEAR X74.365 Y63.778	LINEAR X67.806 Y28.402
X44.514 Y91.633	X76.211 Y59.818	X64.221 Y25.892
X50. Y91.994	CIRCLE1 X76.381 Y59.359 R3.	CIRCLE1 X63.861 Y25.676 R3.
X55.486 Y91.633	LINEAR X76.385 Y59.343	LINEAR X63.814 Y25.653
X60.63 Y90.61	X77.518 Y55.118	X59.819 Y23.789
X60.039 Y87.638	CIRCLE1 X77.603 Y54.666 R3.	CIRCLE1 X59.359 Y23.619 R3.
CIRCLE1 X60.039 Y87.638 I- 10.025 J-37.655	LINEAR X77.606 Y54.634	LINEAR X59.343 Y23.615
LINEAR X59.267 Y84.739	X77.989 Y50.262	X55.118 Y22.482
CIRCLE1 X59.267 Y84.739 I- 9.253 J-34.756	CIRCLE1 X77.999 Y49.931 R3.	CIRCLE1 X54.666 Y22.397 R3.
LINEAR X58.496 Y81.84	LINEAR Y49.896	LINEAR X54.634 Y22.394
CIRCLE1 X58.496 Y81.84 I- 8.481 J-31.857	X77.995 Y49.826	X50.262 Y22.011
LINEAR X57.724 Y78.941	X77.991 Y49.765	CIRCLE1 X49.756 Y22.011 R3.
CIRCLE1 X57.724 Y78.941 I- 7.709 J-28.958	X77.609 Y45.397	LINEAR X49.747
LINEAR X57.196 Y76.961	CIRCLE1 X77.552 Y45.021 R3.	X45.397 Y22.391
X59.327 Y76.39	LINEAR X77.55 Y45.01	CIRCLE1 X45.021 Y22.448 R3.
CIRCLE1 X59.708 Y76.26 R3.	X77.544 Y44.988	LINEAR X45.01 Y22.45
LINEAR X59.718 Y76.256	X77.53 Y44.93	X44.988 Y22.456
X59.739 Y76.247	X76.39 Y40.673	X44.93 Y22.47
X59.784 Y76.227	CIRCLE1 X76.275 Y40.329 R3.	X40.673 Y23.61
X63.768 Y74.37	LINEAR X76.266 Y40.307	CIRCLE1 X40.329 Y23.725 R3.
CIRCLE1 X64.136 Y74.165 R3.	X76.248 Y40.263	LINEAR X40.307 Y23.734
LINEAR X64.178 Y74.137	X76.225 Y40.212	X40.263 Y23.752
	X74.37 Y36.232	X40.212 Y23.775

X36.232 Y25.63	LINEAR X23.744 Y59.718	RAPID
CIRCLE1 X35.84 Y25.851 R3.	X23.754 Y59.74	#4K
LINEAR X35.81 Y25.872	X23.774 Y59.785	
X32.21 Y28.391	X25.63 Y63.768	
CIRCLE1 X31.964 Y28.583 R3.	CIRCLE1 X25.835 Y64.136 R3.	
LINEAR X31.92 Y28.623	LINEAR X25.863 Y64.178	
X31.833 Y28.705	X28.391 Y67.79	
X31.799 Y28.738	CIRCLE1 X28.587 Y68.041 R3.	
X28.728 Y31.809	LINEAR X28.628 Y68.086	
CIRCLE1 X28.443 Y32.139 R3.	X28.716 Y68.179	
LINEAR X28.418 Y32.174	X28.745 Y68.209	
X25.892 Y35.779	X31.809 Y71.272	
CIRCLE1 X25.676 Y36.139 R3.	CIRCLE1 X32.139 Y71.557 R3.	
LINEAR X25.653 Y36.186	LINEAR X32.174 Y71.582	
X23.789 Y40.181	X35.779 Y74.108	
CIRCLE1 X23.678 Y40.454 R3.	CIRCLE1 X36.212 Y74.36 R3.	
LINEAR X23.66 Y40.51	LINEAR X36.222 Y74.365	
X23.625 Y40.621	X40.182 Y76.211	
X23.609 Y40.675	CIRCLE1 X40.503 Y76.339 R3.	
X22.482 Y44.882	LINEAR X40.546 Y76.353	
CIRCLE1 X22.394 Y45.37 R3.	X40.634 Y76.379	
LINEAR Y45.383	X40.675 Y76.391	
X22.011 Y49.739	X44.882 Y77.518	
CIRCLE1 X22.002 Y50.105 R3.	CIRCLE1 X45.37 Y77.606 R3.	
LINEAR Y50.127	LINEAR X45.383	
X22.005 Y50.171	X49.739 Y77.989	
X22.009 Y50.227	CIRCLE1 X50.209 Y77.993 R3.	
X22.391 Y54.603	LINEAR X50.235 Y77.991	
CIRCLE1 X22.456 Y55.015 R3.	X54.603 Y77.609	
LINEAR X22.469 Y55.066	CIRCLE1 X55.015 Y77.544 R3.	
X23.61 Y59.327	LINEAR X55.066 Y77.531	
CIRCLE1 X23.74 Y59.708 R3.	X57.196 Y76.961	