



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Μελέτη Ελέγχου-Λειτουργίας
του Ρομποτικού Μηχανισμού Τύπου Γερανογέφυρας Talos



Νικόλαος Ιωαν. Βιτζηλαίος

Επιβλέπων

Νικόλαος Χρ. Τσουρβελούδης, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά
Οκτώβριος 2004

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί για εμένα όχι μόνο την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης αλλά και την εκπλήρωση της επιθυμίας για την εκπόνηση μιας ερευνητικής εργασίας που το κύριο μέρος της θα είναι πρακτικό και όχι θεωρητικό. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, Δρ. Νικόλαο Τσουρβελούδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της εργασίας και για την συνεχή υποστήριξή του. Η συμβολή του στην διεκπεραίωση του έργου ήταν καθοριστική καθώς μου παρείχε οτιδήποτε χρειαζόμουν.

Στην συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω τον Μηχανικό Η/Υ & Πληροφορικής Πιπερίδη Σάββα, ΕΤΕΠ του Εργαστηρίου Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τις συμβουλές του και το χρόνο που αφιέρωσε για την κατασκευή του Talos.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Νεκτάριο Χαιρέτη από το Εργαστήριο Εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης για την βοήθεια του στην κατασκευή του κουτιού που φιλοξενεί το σύστημα ελέγχου του Talos.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης Τσιναράκη Γιώργο και Δοϊτσίδα Λευτέρη, για την υποστήριξη και συμπαράστασή τους στην εκτέλεση αυτής της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στους κυρίους Bernard Dwersteg και Axel Stab, τεχνικών των εταιρειών απ' όπου αγοράστηκαν τα απαραίτητα εξαρτήματα για το Talos, για την υποστήριξή τους και την άμεση ανταπόκριση τους στις απορίες μου και στα όποια τεχνικά προβλήματα παρουσιάσθηκαν στην διάρκεια κατασκευής του έργου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και την οικογένειά μου για την συνεχή τους υποστήριξη.

Νίκος Βιτζηλαίος
Οκτώβριος 2004

Αφιερωμένη στους γονείς μου
για την υποστήριξή τους
σε κάθε μου βήμα

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
1.1 Πρόλογος	8
1.2 Ρομπότ τύπου Gantry	8
1.3 Περιγραφή του προβλήματος	9
1.4 Δομή εργασίας	12
Κεφάλαιο 2: Βηματικοί Κινητήρες (Stepper Motors)	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Τι είναι ο βηματικός κινητήρας;	13
2.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	14
2.4 Είδη βηματικών κινητήρων	16
2.5 Σύστημα Ελέγχου Βηματικού Κινητήρα	19
2.6 Μέθοδοι βηματισμού	19
Κεφάλαιο 3: Λειτουργικά Στοιχεία	21
3.1 Κινητήρες	21
3.2 Οδηγοί κινητήρων	23
3.3 Ο οδηγός TMCM-035	23
3.4 Ο ελεγκτής TMCM-301	26
3.5 Baseboard M35S	27
3.6 Τροφοδοσία	29
3.7 Υπολογιστική μονάδα ελέγχου	30
3.8 Ολοκλήρωση της κατασκευής	31
3.9 Η τελική μορφή του TALOS	32
Κεφάλαιο 4: Η γλώσσα προγραμματισμού TMCL	35
4.1 Εισαγωγή στην TMCL	35
4.2 Βασικές εντολές της TMCL	36
4.2.1 Εντολές κίνησης	36
4.2.2 Εντολές παραμέτρων	36
4.2.3 Εντολές ελέγχου εισόδων-εξόδων	37
4.2.4 Εντολές ελέγχου προγράμματος	37
4.2.5 Εντολές υπολογισμού	38
4.3 Το περιβάλλον προγραμματισμού TMCL IDE	38
4.3.1 Εγκατάσταση	39
4.3.2 Το μενού "File"	40
4.3.3 Το μενού "TMCL"	40
4.3.4 Εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο	40
4.3.5 Κωδικοποίηση προγράμματος	41
4.3.6 Φόρτωμα του προγράμματος	42
4.3.7 Η συνάρτηση "Main File"	42
4.3.8 Οι εντολές "Start", "Stop", "Continue"	43
4.3.9 Αποκωδικοποίηση προγράμματος	43
4.3.10 Το μενού "Setup"	44
4.3.11 Επιλογές αποκωδικοποιητή	44
4.3.12 Επιλογές σύνδεσης	45
Κεφάλαιο 5: Η λειτουργία του TALOS	46
5.1 Προετοιμασία	46

5.2 Λειτουργία	46
5.2.1 Αποθήκευση συντεταγμένων	46
5.2.2 Δημιουργία και Εκτέλεση Προγράμματος	47
5.2.3 Κώδικας Παραδείγματος.....	47
 Συμπεράσματα – Επεκτάσεις	49
 Βιβλιογραφία	50

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1-1: Το ρομπότ τύπου Gantry.....	10
Εικόνα 1-2: Το ρομπότ TALOS στην αρχική του κατάσταση	10
Εικόνα 1-3: Η αρπάγη του TALOS και η τροφοδοσία αέρα υψηλής πίεσης σε αυτή	11
Εικόνα 2-1: Βηματικός κινητήρας μεταβλητής αντίστασης	16
Εικόνα 2-2: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη	17
Εικόνα 2-3: Υβριδικός βηματικός κινητήρας	18
Εικόνα 2-4: Βηματικός κινητήρας με μαγνητικό δίσκο	18
Εικόνα 3-1: Βηματικός κινητήρας του ρομπότ TALOS	22
Εικόνα 3-2: Οι τέσσερις κινητήρες του TALOS	22
Εικόνα 3-3: Ο οδηγός TMCM-035 της Trinamic Microchips.....	24
Εικόνα 3-4: Οριζόντια και κάθετη σύνδεση των pins	24
Εικόνα 3-5: Ο ελεγκτής TMCM-301 της Trinamic Microchips	26
Εικόνα 3-6: Το Baseboard M35S της Axelstab	28
Εικόνα 3-7: Εμπρός και πίσω όψη του τροφοδοτικού της PALS	30
Εικόνα 3-8: Ο ανεμιστήρας της εταιρείας Redpoint.....	32
Εικόνα 3-9: Η τελική μορφή του TALOS.....	32
Εικόνες 3-10, 3-11: Το κουτί που φιλοξενεί το σύστημα ελέγχου του TALOS	33
Εικόνα 4-1: Το κυρίως παράθυρο του περιβάλλοντος TMCL-IDE	39
Εικόνα 4-2: Το παράθυρο διαλόγου “Direct Mode”	41
Εικόνα 4-3: Η διαδικασία της κωδικοποίησης	42
Εικόνα 4-4: Διαδικασία φορτώματος προγράμματος στον ελεγκτή.....	42
Εικόνα 4-5: Η εντολή καθορισμού βασικού αρχείου.....	43
Εικόνα 4-6: Η διαδικασία αποκωδικοποίησης ενός προγράμματος	44
Εικόνα 4-7: Ιδιότητες αποκωδικοποιητή	44
Εικόνα 4-8: Ιδιότητες σύνδεσης	45

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 4-1: Εντολές κίνησης	36
Πίνακας 4-2: Εντολές παραμέτρων	37
Πίνακας 4-3: Εντολές ελέγχου εισόδων-εξόδων.....	37
Πίνακας 4-4: Εντολές ελέγχου προγράμματος	37
Πίνακας 4-5: Εντολές υπολογισμού.....	38

Περίληψη




Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη και τη δημιουργία ενός συστήματος ελέγχου για ένα ρομποτικό μηχανισμό τύπου γερανογέφυρας (gantry robot). Η μελέτη αυτή θα εφαρμοσθεί σε ένα υπάρχον gantry robot, το οποίο βρίσκεται στο Εργαστήριο Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Έτσι έχοντας την βασική δομή του ρομπότ και τους κινητήρες του, θα μελετηθεί και θα κατασκευασθεί σύστημα ελέγχου. Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει διεξοδικό έλεγχο της κατασκευής του ρομπότ, έρευνα αγοράς κατάλληλου εξοπλισμού, κατασκευής του συστήματος ελέγχου και κατασκευής λογισμικού ικανού να ελέγξει το ρομπότ. Στόχος είναι το συγκεκριμένο ρομπότ να καταστεί πλήρως λειτουργικό και να ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το όνομα που επιλέχθηκε για το παρόν project και το ρομπότ είναι TALOS.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Η Ρομποτική ως ερευνητική πλατφόρμα και τεχνολογία εφαρμογής γνωρίζει μεγάλη άνθηση και αποδοχή τις τελευταίες δεκαετίες. Οι λόγοι αυτής της εξέλιξης έχουν να κάνουν τόσο με τα (οικονομικά κυρίως) οφέλη που προκύπτουν από την αυτοματοποίηση και τον εκσυγχρονισμό της παραγωγής σε βιομηχανικό επίπεδο όσο και με τις προσδοκίες και προοπτικές που τροφοδοτούνται από τα αποτελέσματα σε επιστημονικό επίπεδο [3]. Ο ρόλος αυτός της ρομποτικής ενισχύεται από τον απλό κόσμο ο οποίος πλέον δεν βλέπει την Ρομποτική σαν μια απόμακρη τεχνολογία αλλά σαν κάτι χρήσιμο, καθώς εμφανίζονται με τον καιρό ρομποτικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου.

Στις μέρες μας ωστόσο η Ρομποτική εφαρμόζεται ως επί το πλείστον στην βιομηχανία όπου χρησιμοποιείται κατά κόρον στην αυτοματοποίηση της παραγωγής. Οι εφαρμογές της Ρομποτικής είναι πολλές κι έτσι μπορεί κάποιος να τις συναντήσει σε πολλά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας μιας βιομηχανίας. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις ακόλουθες εφαρμογές:

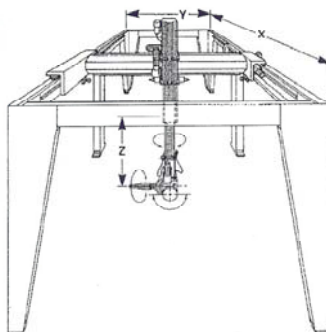
-  Ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για συναρμολόγηση, βαφή και πακετάρισμα εξαρτημάτων.
-  Έντροχα αυτοκινούμενα ρομπότ για τη μεταφορά φορτίων.
-  Ρομποτικές γερανογέφυρες που διαχειρίζονται αυτόματα το αποθηκευτικό σύστημα (χώροι αποθήκευσης) μιας βιομηχανίας.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τους ρομποτικούς μηχανισμούς τύπου γερανογέφυρας.

1.2 Ρομπότ τύπου Gantry

Το είδος ρομπότ με το οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το ρομπότ τύπου γερανογέφυρας (Gantry robot). Τα ρομπότ αυτά είναι ορθογωνικά με τρεις βαθμούς ελευθερίας κατ' ελάχιστο και έξι κατά μέγιστο και τοποθετούνται στην οροφή του τόπου εργασίας. Ρομπότ τοποθετημένα σε πάγκους εργασίας με σχεδιασμό gantry δεν περιλαμβάνονται συνήθως στον ορισμό αυτό. Ένα ρομπότ gantry μπορεί να κινηθεί κατά τους άξονες x και y διανύοντας σχετικά μεγαλύτερες αποστάσεις από ένα ρομπότ τοποθετημένο στο δάπεδο με υψηλές ταχύτητες, ενώ ταυτόχρονα παρέχει και πολύ υψηλό βαθμό ακρίβειας τοποθέτησης. Τα χαρακτηριστικά του ρομπότ gantry περιλαμβάνουν μεγάλους χώρους

εργασίας, ικανότητα ανύψωσης μεγάλων φορτίων, κινητή τοποθέτηση στην οροφή, και τη δυνατότητα και ευελιξία λειτουργίας σε ένα χώρο εργασίας ισοδύναμο με αυτόν πολλών ρομπότ δαπέδου [3]. Στο σχήμα 1-1 βλέπουμε την διάταξη ενός ρομπότ gantry.



Σχήμα 1-1: Ρομπότ τύπου Gantry

Οι άξονες x , y και z ενός ρομπότ gantry ορίζονται ως ακολούθως:

- Άξονας x : Ταχεία Ολίσθηση (runway). Αυτός είναι ο επιμήκης άξονας, συνήθως αποτελούμενος από τις παθητικές πλάγιες ράβδους της δομής του ρομπότ gantry.
- Άξονας y : Γεφύρωση (bridge). Αυτός είναι ο εγκάρσιος άξονας, το ενεργητικό στοιχείο του ρομπότ, ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω στις ράβδους ταχείας ολίσθησης και υποστηρίζει το φορτίο του ρομπότ gantry.
- Άξονας z : Τηλεσκοπικός Σωλήνας ή Ιστό (mast). Αυτός είναι ο κάθετος άξονας που ανυψώνει το φορτίο.

Το ρομπότ που είναι προσαρτημένο πάνω στη δομή gantry μπορεί να διαθέτει έναν από τους ρομποτικούς σχηματισμούς που περιγράψαμε προηγουμένως. Η όλη δομή μπορεί να είναι τοποθετημένη σε μία υπερυψωμένη θέση πάνω από το χώρο εργασίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με ένα μικρών διαστάσεων gantry robot το οποίο έχει κατασκευαστεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς κι έχει ως στόχο να παρουσιάσει τη δομή και τις βασικές λειτουργίες μεγάλων gantry robots των οποίων η χρήση αναφέρθηκε προηγουμένως. Στην συνέχεια, όπου ακολουθεί η περιγραφή του προβλήματος, θα δοθούν περισσότερες πληροφορίες για το ρομπότ με το οποίο θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή.

1.3 Περιγραφή του προβλήματος

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη λειτουργίας\ελέγχου ενός ρομποτικού μηχανισμού τύπου γερανογέφυρας. Ένα τέτοιο ρομπότ υπάρχει στο Εργαστήριο Ευφυών Συστημάτων & Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και είναι αυτό των Εικόνων 1-1 και 1-2.



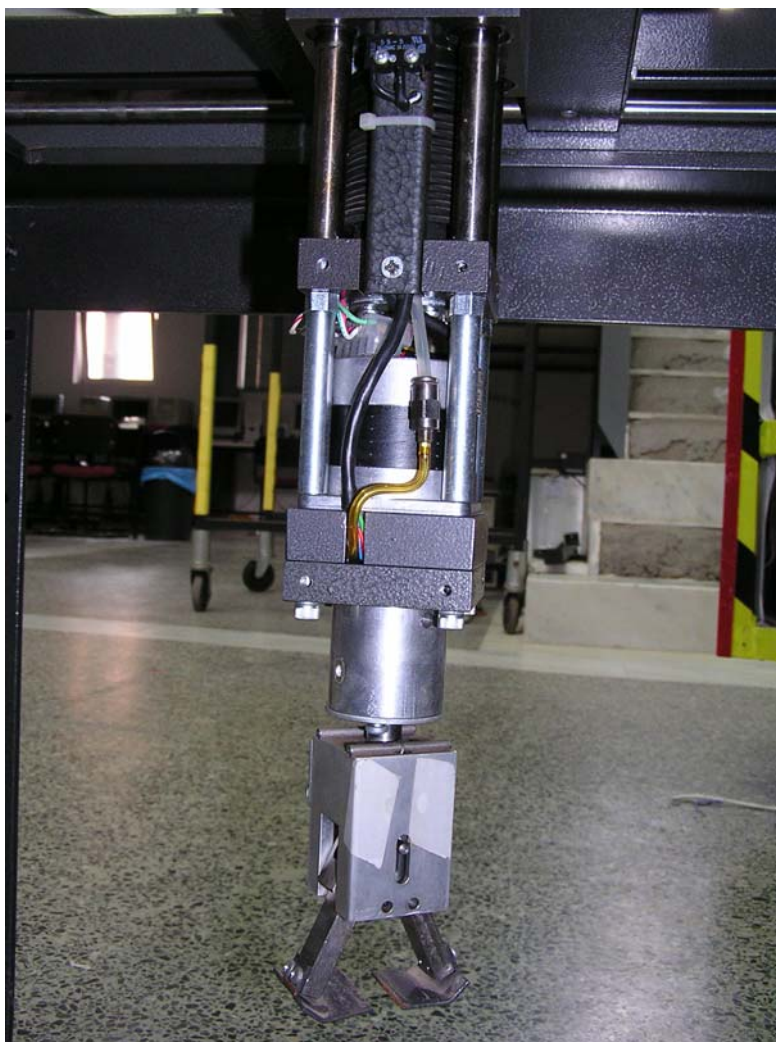
Εικόνα 1-1: Το ρομπότ τύπου Gantry



Εικόνα 1-2: Το ρομπότ TALOS στην αρχική του κατάσταση

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-1, το ρομπότ αποτελείται από ένα τραπέζι ορθογωνικής διατομής το οποίο στηρίζεται σε τέσσερα πόδια-βάσεις που το κρατούν σε κάποια απόσταση από το έδαφος. Αυτό διακρίνεται καλύτερα στην Εικόνα 1-2 όπου φαίνεται ξεκάθαρα η ορθογωνική διατομή. Οι διαστάσεις της ορθογωνικής διατομής είναι 800x600 mm ενώ το ύψος των βάσεων είναι 600mm. Στο επίπεδο της ορθογωνικής διατομής το ιστίο κινείται σε δύο διευθύνσεις κατά τους άξονες x και y , ενώ στο επίπεδο των βάσεων το ιστίο κινείται κατακόρυφα κατά τον άξονα z .

Στο κάτω μέρος του ιστίου υπάρχει μια αρπάγη (gripper), η οποία δύναται να περιστραφεί γύρω από τον άξονα της, γύρω δηλαδή από τον άξονα περιστροφής r . Για το άνοιγμα-κλείσιμο της αρπάγης χρησιμοποιείται αέρας υψηλής πίεσης του οποίου η παροχή ρυθμίζεται με μια ηλεκτροβαλβίδα. Στην Εικόνα 1-3 βλέπουμε την αρπάγη καθώς και την παροχή αέρα σε αυτή.



Εικόνα 1-3: Η αρπάγη του TALOS και η τροφοδοσία αέρα υψηλής πίεσης

Για την κίνηση σε κάθε άξονα, υπεύθυνοι είναι τέσσερεις βηματικοί κινητήρες. Στόχος της παρούσης εργασίας είναι να κατασκευαστεί ένα σύστημα ελέγχου αυτών των κινητήρων. Επομένως, η όλη κατασκευή βασίζεται στο υπάρχον ρομπότ gantry κι έχει να κάνει με τον έλεγχο της λειτουργίας του. Έτσι από το υπάρχον ρομπότ κρατάμε μόνο την σιδηροκατασκευή του τραπέζιού και των στηριγμάτων του καθώς και τους βηματικούς κινητήρες που κινούν το ιστίο του ρομπότ. Έτσι η εργασία ανάγεται στην μελέτη και την κατασκευή ενός συστήματος ελέγχου των κινητήρων και κατά συνέπεια του ρομπότ.

1.4 Δομή εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι παρόμοια με την αλληλουχία των ενεργειών που ακολουθήσαμε για την επίλυση του προβλήματος.

Αρχικά έγινε μια βιβλιογραφική έρευνα για τους βηματικούς κινητήρες. Στόχος αυτής της έρευνας ήταν η κατανόηση της δομής και του τρόπου λειτουργίας τους ώστε να κατασκευασθεί στη συνέχεια κατάλληλο σύστημα ελέγχου. Έτσι η παρούσα διπλωματική ξεκινάει με μία σύντομη παρουσίαση των βηματικών κινητήρων. Θα παρουσιασθούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους, τα είδη τους καθώς και η αρχή λειτουργίας τους.

Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν τα λειτουργικά στοιχεία του προβλήματος. Θα παρουσιασθούν όλα τα εξαρτήματα που αποκτήθηκαν για την κατασκευή του συστήματος ελέγχου και θα δοθεί το δομικό διάγραμμα ελέγχου του ρομπότ ώστε να γίνει κατανοητή η διασύνδεση αυτών των εξαρτημάτων. Για κάθε εξάρτημα παρουσιάζεται ένα σύντομο θεωρητικό υπόβαθρο, η λειτουργία του, η εγκατάστασή του στη μονάδα ελέγχου καθώς και η αλληλεπίδρασή του με τις άλλες συσκευές.

Στην συνέχεια θα δείξουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να ελεγχθεί το ρομπότ χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό υπολογιστή. Θα παρουσιασθεί η διασύνδεση του υπολογιστή με το σύστημα ελέγχου και θα γίνει μια παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό.

Τέλος θα παρουσιασθούν κάποιες εφαρμογές ελέγχου, τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την ολοκλήρωση της κατασκευής καθώς και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις στην κατασκευή και λειτουργία του TALOS.

Κεφάλαιο 2: Βηματικοί Κινητήρες (Stepper Motors)

Το TALOS διαθέτει όπως είδαμε τέσσερις βηματικούς κινητήρες. Κατά συνέπεια η εργασία ξεκινάει με τη μελέτη αυτού του είδους κινητήρων. Στόχος είναι να δούμε ποια είναι η δομή τους και κυρίως ποιος είναι ο τρόπος λειτουργίας τους. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί από τον τρόπο λειτουργίας τους θα καθοριστεί και το είδος του ελέγχου που μπορούμε να τους ασκήσουμε.

2.1 Εισαγωγή

Ο βηματικός κινητήρας δεν είναι πρόσφατη επινόηση. Ήδη από το 1920 είχε χρησιμοποιηθεί στις γυροσκοπικές πυξίδες. Κατά τα τελευταία χρόνια, ο βηματικός κινητήρας χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε καθημερινές εφαρμογές. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην αλματώδη ανάπτυξη των συστημάτων αυτοματισμού μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, που βελτιώνουν συνεχώς τη συμπεριφορά των βηματικών κινητήρων [2].

Οι συμβατικοί κινητήρες συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, κινητήρες DC και AC αντίστοιχα, λειτουργούν με μία συνεχώς εφαρμοζόμενη τάση εισόδου και στις περισσότερες περιπτώσεις παράγουν μία συνεχή κυκλική κίνηση. Οι περισσότεροι κινητήρες του εμπορίου είναι μιας φάσης, εφοδιασμένοι με δύο καλώδια ή και με τρία στην περίπτωση που υπάρχει και καλώδιο γείωσης. Το ρεύμα εισέρχεται μέσω του ενός καλωδίου στον κινητήρα και εξέρχεται μέσω του άλλου καλωδίου.

Εν αντιθέσει με αυτούς τους κινητήρες, ένας βηματικός κινητήρας (Step ή Stepping ή Stepper Motor) δεν παράγει συνεχή κίνηση όταν υπόκειται σε συνεχή τάση εισόδου. Παραμένει σε μία συγκεκριμένη θέση για όσο διάστημα η τροφοδοσία είναι ανοιχτή. Για να μπορέσει να κινηθεί ο βηματικός κινητήρας είναι απαραίτητη η συνεχής αλλαγή της πολικότητας της ηλεκτρικής φάσης.

2.2 Τι είναι ο βηματικός κινητήρας;

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτές μηχανικές κινήσεις. Ο άξονας ή η άτρακτος ενός βηματικού κινητήρα περιστρέφεται κατά διακριτά αυξανόμενα βήματα όταν ηλεκτρικοί παλμοί εφαρμόζονται με την κατάλληλη αλληλουχία στον κινητήρα. Η περιστροφή του κινητήρα σχετίζεται άμεσα με αυτούς τους εφαρμοζόμενους παλμούς. Έτσι, η αλληλουχία των παλμών σχετίζεται με την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα. Η ταχύτητα περιστροφής συνδέεται άμεσα με την συχνότητα των εισερχόμενων παλμών. Τέλος, το μήκος περιστροφής εξαρτάται από τον αριθμό των εφαρμοζόμενων παλμών.

Επομένως οι βηματικοί κινητήρες είναι, όπως όλοι οι κινητήρες, ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς, αλλά αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία καθώς η λειτουργία τους είναι απόλυτα καθορισμένη (απόκριση σε ψηφιακά σήματα που έρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου). Η απόκριση σε κάθε ψηφιακό σήμα είναι το γύρισμα του στροφείου (ρότορα) κατά μία δεδομένη γωνία, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Αυτή η κίνηση καλείται βήμα, γι' αυτό και οι κινητήρες αυτού του είδους ονομάζονται βηματικοί.

2.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Οι κινητήρες γενικά διαχωρίζονται σε πολλές κατηγορίες. Έτσι έχουμε για παράδειγμα κινητήρες AC και DC (εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος), σερβοκινητήρες και βηματικούς κινητήρες. Ανάλογα με την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί ο κινητήρας, επιλέγεται ο κατάλληλος από τις διάφορες αυτές κατηγορίες, καθώς κάθε είδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα του βηματικών κινητήρων είναι τα εξής:

- Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι ανάλογη του εισερχόμενου παλμού. Ο κατασκευαστής του κινητήρα δίδει αυτή τη γωνία στα χαρακτηριστικά του (συνήθως σε μοίρες ανά βήμα).
- Ο βηματικός κινητήρας ασκεί μέγιστη ροπή αδράνειας όταν βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας (εφόσον τα πηνία τροφοδοτούνται με ρεύμα), σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC).
- Οι μετακινήσεις είναι ακριβείς καθώς οι βηματικοί κινητήρες έχουν ακρίβεια 3-5 % σε κάθε βήμα και αυτό το σφάλμα δεν είναι προσθετικό από βήμα σε βήμα. Έχουμε δηλαδή μεγάλη ακρίβεια θέσης και μη συσσωρευτική απόκλιση.
- Έχουν εξαιρετική απόκριση στο ξεκίνημα-σταμάτημα της λειτουργίας τους καθώς και στην αντιστροφή της διεύθυνσης περιστροφής. Δεν απαιτείται μηχανικό φρένο για την επιβράδυνση και ακινητοποίησή τους.
- Είναι πολύ αξιόπιστοι καθώς δεν υπάρχουν ψήκτρες(καρβουνάκια) στον κινητήρα. Επομένως η ζωή του κινητήρα εξαρτάται μόνο από τη ζωή του εδράνου κύλισης.
- Η απόκριση του κινητήρα σε εισερχόμενους ψηφιακούς παλμούς δίνει την δυνατότητα του ελέγχου ανοικτού βρόχου (open loop operation) με μεγάλη ακρίβεια, κάνοντας τον κινητήρα ευκολότερα και φθηνότερα ελέγξιμο. Ο έλεγχος ανοικτού βρόχου σημαίνει ότι δεν χρειάζεται στο σύστημα ελέγχου να υπάρχει ανάδραση με

πληροφορίες για τη θέση του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι αποφεύγονται έξοδα για ακριβούς αισθητήρες θέσης και συσκευές ανάδρασης. Η θέση του συστήματος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί σε κάθε στιγμή αν κρατούνται ως δεδομένα οι εισερχόμενοι παλμοί στον κινητήρα. Έτσι ξεκινώντας από μία θέση μπορώ, υπολογίζοντας τον αριθμό και το είδος των παλμών, να υπολογίσω τη θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.

- Είναι δυνατόν να επιτευχθεί πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής για φορτία που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον άξονα του κινητήρα.
- Μπορεί να επιτευχθεί μεγάλο εύρος ταχυτήτων καθώς η ταχύτητα είναι ανάλογη της συχνότητας των εισερχόμενων παλμών.
- Είναι εύκολη η διασύνδεση και ο έλεγχός τους από υπολογιστή, σε αντίθεση με τους κινητήρες DC.

Τα μειονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι τα ακόλουθα:

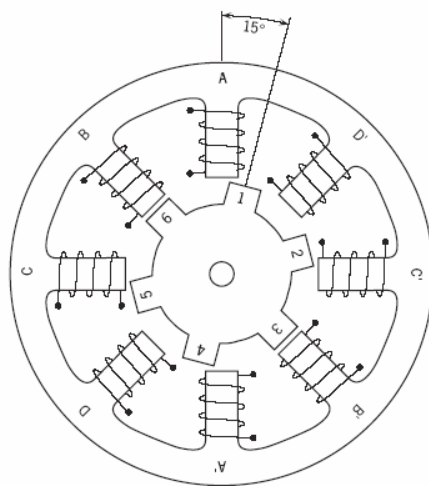
- Η λειτουργία του κινητήρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα θορυβώδης εάν αυτός δεν ελέγχεται σωστά.
- Δεν είναι εύκολη η λειτουργία τους σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες.
- Έχουν περιορισμένες δυνατότητες στην μετακίνηση φορτίων μεγάλης αδράνειας.
- Δεν έχουν ευρεία γκάμα μεγεθών και ισχύος.
- Όταν χρησιμοποιούνται σε φορτία με υψηλή τριβή και με έλεγχο ανοικτού βρόχου, το σφάλμα θέσης αυξάνεται.

2.4 Είδη βηματικών κινητήρων

Υπάρχουν 3 βασικά είδη βηματικών κινητήρων:

- Μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (Variable-reluctance)
- Μόνιμου μαγνήτη (Permanent-magnet)
- Υβριδικοί (Hybrid)

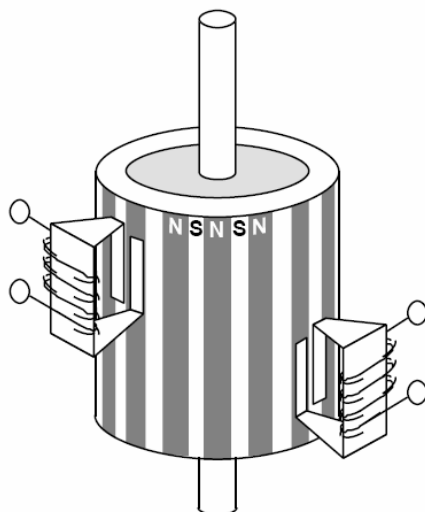
Στην Εικόνα 2-1 βλέπουμε τη διατομή ενός βηματικού κινητήρα μεταβλητής αντίστασης (VR). Αυτό το είδος βηματικού κινητήρα είναι το παλαιότερο και η δομή του είναι η πιο εύκολα κατανοητή. Αποτελείται από έναν ρότορα μαλακού σιδήρου με οδοντώσεις και έναν στάτορα με πόλους. Οι κινητήρες VR δεν χρησιμοποιούν μόνιμο μαγνήτη. Σαν αποτέλεσμα, ο ρότορας μπορεί να κινηθεί χωρίς περιορισμούς καθώς δεν του ασκείται ροπή όταν δεν ρέει ρεύμα στον κινητήρα.



Εικόνα 2-1: Βηματικός κινητήρας μεταβλητής αντίστασης

Ο κινητήρας της Εικόνας 2-1 έχει τέσσερα ζεύγη πόλων στον στάτορα (A, B, C, D και αντίστοιχα A', B', C', D'). Όταν ενεργοποιείται η φάση A, οι οδοντώσεις 1 και 4 του ρότορα ευθυγραμμίζονται με τους πόλους A και A' λόγω μαγνητικής έλξης. Στην Εικόνα 1 βλέπουμε τι συμβαίνει όταν απενεργοποιείται η φάση A και ενεργοποιείται η φάση B. Οι οδοντώσεις 3 και 6 ευθυγραμμίζονται με τους πόλους B και B' και έτσι ο ρότορας στρέφεται κατά 15 μοίρες κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Στην συνέχεια απενεργοποιείται η φάση B και ενεργοποιείται η C, έλκοντας τις οδοντώσεις 2 και 5. Τέλος, ενεργοποιείται και η φάση D και στη συνέχεια ο κύκλος εναλλαγής φάσεων επαναλαμβάνεται. Η περιστροφή κατά φορά αντίστροφη της φοράς των δεικτών του ρολογιού, επιτυγχάνεται αντιστρέφοντας τη σειρά εναλλαγής των φάσεων.

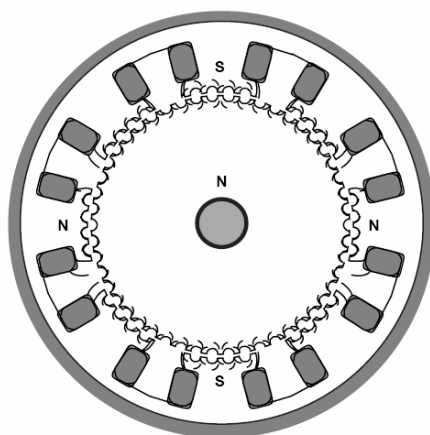
Στην Εικόνα 2-2 βλέπουμε έναν βηματικό κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (PM). Οι κινητήρες PM είναι βηματικοί κινητήρες χαμηλού κόστους και χαμηλής ακρίβειας με τυπικές γωνίες στροφής $7,5^\circ$ με 15° (48-24 βήματα ανά περιστροφή). Οι κινητήρες αυτοί, όπως γίνεται αντιληπτό από το όνομά τους, έχουν τοποθετημένους μόνιμους μαγνήτες στην δομή του κινητήρα. Η διαφορά τους από τους PM είναι ότι ο ρότορας δεν έχει πλέον οδοντώσεις. Αντίθετα, ο ρότορας είναι μαγνητισμένος με εναλλασσόμενους βόρειους και νότιους πόλους τοποθετημένους σε ευθεία γραμμή, παράλληλη στον άξονα του κινητήρα. Αυτοί οι μαγνητισμένοι πόλοι προσδίδουν αυξημένη μαγνητική ροή και εξαιτίας αυτού του γεγονότος ο κινητήρας PM παρουσιάζει αυξημένη ροπή σε σχέση με τον κινητήρα VR, δουλεύοντας σε χαμηλές ταχύτητες. Οι κινητήρες αυτού του είδους παρουσιάζουν μια μικρή ροπή αδράνειας ακόμη και όταν τα πηνία δεν είναι ενεργοποιημένα.



Εικόνα 2-2: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

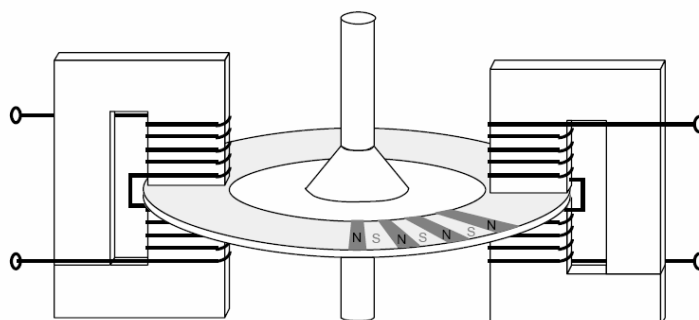
Στην Εικόνα 2-3 βλέπουμε τη διατομή ενός υβριδικού βηματικού κινητήρα (HB). Οι κινητήρες αυτοί είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι βηματικοί κινητήρες στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ο κινητήρας HB κοστίζει περισσότερο από τον PM αλλά παρέχει καλύτερη απόδοση ως προς την ακρίβεια στη γωνία στροφής, τη ροπή και την ταχύτητα. Οι τυπικές ονομαστικές τιμές για την γωνία στροφής ενός υβριδικού βηματικού κινητήρα είναι $3,6^\circ$ έως $0,9^\circ$ (100-400 βήματα ανά περιστροφή).

Ο υβριδικός κινητήρας συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των κινητήρων PM και VR. Ο ρότορας έχει πολλαπλές οδοντώσεις όπως ο κινητήρας VR και περιέχει έναν αξονικό ομόκεντρο μαγνήτη γύρω από τον άξονα του κινητήρα. Έτσι οι υβριδικοί κινητήρες παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες ροπής και κρατήματος.



Εικόνα 2-3: Υβριδικός βηματικός κινητήρας

Οι δύο πιο διαδεδομένοι κινητήρες είναι οι υβριδικοί και οι μόνιμου μαγνήτη. Σε μια κατασκευή, αν ο σχεδιαστής δεν είναι σίγουρος για το ποιος βηματικός κινητήρας είναι ο κατάλληλος, θα πρέπει πρώτα να αξιολογήσει τον PM κινητήρα καθώς είναι σημαντικά φθηνότερος. Εάν ο PM δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του, τότε ο υβριδικός κινητήρας ίσως είναι η καλύτερη επιλογή.



Εικόνα 2-4: Βηματικός κινητήρας με μαγνητικό δίσκο.

Υπάρχουν ωστόσο και μερικοί βηματικοί κινητήρες ειδικής κατασκευής. Στην Εικόνα 2-4 βλέπουμε ένα βηματικό κινητήρα με μαγνητικό δίσκο. Σε αυτόν τον κινητήρα ο ρότορας είναι ένας δίσκος με πολλούς μικρούς διαδοχικούς πόλους. Αυτός ο κινητήρας έχει κάποια πλεονεκτήματα, όπως πολύ χαμηλή αδράνεια και μία βελτιστοποιημένη μαγνητική ροή χωρίς να υπάρχει διασύνδεση ανάμεσα στα δύο πηνία του στάτορα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα για κάποιες εφαρμογές.

2.5 Σύστημα Ελέγχου Βηματικού Κινητήρα

Ένας βηματικός κινητήρας δεν μπορεί να δουλέψει μόνος του, αλλά χρειάζεται ένα σύστημα ελέγχου. Ένα σύστημα ελέγχου βηματικού κινητήρα περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Υπολογιστής/PLC/Τερματικό:** Χρησιμοποιείται για να αποστέλλονται εντολές στο σύστημα, π.χ. περιστροφή κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού για 1000 βήματα.
- **Ελεγκτής(Controller):** Ένας μικροεπεξεργαστής που παράγει παλμούς βημάτων και σήματα κατεύθυνσης για τον οδηγό. Ο ελεγκτής τυπικά εκτελεί επίσης πολλές ακόμα περίπλοκες λειτουργίες και εντολές, π.χ. υπολογίζει τα κατάλληλα σήματα ώστε να γίνει μια συνδυασμένη κίνηση. Οι περισσότεροι ελεγκτές έχουν ενσωματωμένη μνήμη, οπότε μπορούν να αποθηκεύσουν πληθώρα εντολών.
- **Οδηγός(Driver) ή Ενισχυτής(Amplifier):** Μετατρέπει τα σήματα-εντολές του ελεγκτή στην απαραίτητη ισχύ για την ενεργοποίηση των πηνίων του κινητήρα. Αναλαμβάνει δηλαδή για κάθε σήμα από τον ελεγκτή να δώσει το κατάλληλο ρεύμα στον κινητήρα. Υπάρχουν πολλά είδη οδηγών, με διαφορετικές δυνατότητες τροφοδοσίας και διάφορες τεχνολογίες κατασκευής. Κατά την σχεδίαση ενός συστήματος ελέγχου κίνησης ενός κινητήρα, η επιλογή του οδηγού είναι κρίσιμη γιατί δεν είναι όλοι οι οδηγοί κατάλληλοι για την οδήγηση όλων των κινητήρων.
- **Τροφοδοτικό(Power Supply):** Σε περίπτωση που κανένα από τα παραπάνω στοιχεία του κυκλώματος δεν έχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας ρεύματος, απαιτείται η χρήση τροφοδοτικού(μπαταρία ή μετασχηματιστής) που θα τροφοδοτεί το σύστημα.

2.6 Μέθοδοι βηματισμού

Για ένα βηματικό κινητήρα, ένα βήμα ορίζεται ως η περιστροφή του ρότορα κατά μία γωνία, ως απόκριση του κινητήρα σε ένα παλμό. Ωστόσο το είδος των βημάτων που μπορεί να εκτελέσει ένας κινητήρας δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να οδηγήσουμε τον κινητήρα. Έτσι οι βηματικοί κινητήρες έχουν αρκετές μεθόδους βηματισμού. Το είδος του βηματισμού που εκτελεί ο κινητήρας εξαρτάται από τον οδηγό που χρησιμοποιούμε. Οι βασικότερες μέθοδοι βηματισμού είναι οι ακόλουθες:

Μέθοδος Πλήρους Βήματος (Full-Step Mode)

Ένας βηματικός κινητήρας με ονομαστική τιμή στροφής 1,8 μοίρες, εκτελεί για μία πλήρη περιστροφή 200 πλήρη βήματα. Στη λειτουργία πλήρους βήματος, ο κινητήρας “βηματίζει” με την ονομαστική γωνία στροφής. Υπάρχουν ωστόσο 2 παραλλαγές αυτής της μεθόδου, ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες φάσεις. Η μέθοδος μίας φάσης εκτελείται όταν ο κινητήρας λειτουργεί με μία μόνο ενεργοποιημένη φάση κάθε φορά. Αυτή η λειτουργία απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα ισχύος από τον οδηγό και συνίσταται η χρήση της σε σταθερές ταχύτητες όταν γνωρίζουμε πλήρως τα φορτία του κινητήρα. Υπάρχει επίσης η λειτουργία 2 φάσεων, όπου ο κινητήρας λειτουργεί με χρήση 2 ενεργοποιημένων φάσεων κάθε φορά. Η λειτουργία 2 φάσεων προσδίδει 30-40% περισσότερη στρεπτική ροπή στον κινητήρα απ’ ότι η λειτουργία μίας φάσης, χρειάζεται όμως τη διπλάσια ισχύ από τον οδηγό.

Μέθοδος Μισού Βήματος (Half-Step Mode)

Η λειτουργία μισού βήματος εναλλάσσει τις λειτουργίες μίας και δύο φάσεων με αποτέλεσμα κάθε βήμα πλέον να είναι το μισό του πλήρους βήματος. Ένας κινητήρας με 200 πλήρη βήματα ανά περιστροφή μπορεί να κάνει 400 βήματα ανά περιστροφή με λειτουργία μισού βήματος. Προφανώς αυτή η μέθοδος είναι πιο ακριβής καθώς διπλάσιο εύρος τιμών μετατόπισης. Παρόλο που μερικές φορές υπάρχει ελαφριά μείωση της τιμής της ροπής, αυτή η λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ομαλότητας και της ακρίβειας στην κίνηση για χαμηλές ταχύτητες καθώς και την μείωση του θορύβου του κινητήρα.

Μέθοδος Μικρο-βημάτων (Micro-Step Mode)

Σε αυτή τη μέθοδο, η ονομαστική γωνία στροφής ενός κινητήρα μπορεί να διαιρεθεί σε πολλές μικρότερες γωνίες. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας με γωνία στροφής 1,8 μοίρες κάνει 200 βήματα για μία πλήρη περιστροφή. Αν η λειτουργία των μικρο-βημάτων έχει την τιμή 10, τότε κάθε μικρο-βήμα θα στρέφει τον κινητήρα κατά 0,18 μοίρες και θα χρειάζονται 2000 βήματα για μια πλήρη περιστροφή. Τα μικρο-βήματα παράγονται κατανέμοντας το ρεύμα στα 2 πηνία ακολουθώντας ημιτονοειδείς και συνημιτονοειδείς συναρτήσεις. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια θέσης ή η κίνηση γίνεται με χαμηλά φορτία χωρίς υψηλές τριβές και κραδασμούς.

Κεφάλαιο 3: Λειτουργικά Στοιχεία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιασθούν όλα τα λειτουργικά στοιχεία του προβλήματος. Ως λειτουργικά στοιχεία του TALOS αναφέρονται οι διατάξεις που κάνουν το ρομπότ λειτουργικό. Κοινό χαρακτηριστικό των λειτουργικών στοιχείων είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους [5]. Στα λειτουργικά στοιχεία περιλαμβάνονται και οι κινητήρες.

Όπως ειπώθηκε, για την κατασκευή του συστήματος ελέγχου των βηματικών απαιτείται η αγορά ενός συνόλου λειτουργικών ώστε να μπορέσουν να λειτουργήσουν οι κινητήρες και να ελεγχθούν. Τα λειτουργικά αυτά στοιχεία είναι:

- ✚ Οδηγός κινητήρα (Driver)
- ✚ Ελεγκτής κινητήρα (Controller)
- ✚ Βάση-πλακέτα για την δημιουργία διασύνδεσης ανάμεσα σε οδηγό-ελεγκτή-υπολογιστή
- ✚ Τροφοδοτικό
- ✚ Υπολογιστής

3.1 Κινητήρες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κινητήρες του TALOS είναι βηματικοί και υπάρχουν στο ρομπότ από την αρχική του κατασκευή. Στην αρχή της μελέτης της παρούσας εργασίας δοκιμάστηκαν, δούλεψαν σωστά κι έτσι δεν κρίθηκε σκόπιμη η αντικατάστασή τους.

Πρόκειται για τέσσερεις βηματικούς κινητήρες της εταιρείας SHINANO KENSHI, μοντέλο STH-55D216. Οι ονομαστικές τιμές λειτουργίας τους είναι 1,2V και 2A ενώ το βήμα τους είναι 1,8 μοίρες. Στην Εικόνα 3-1 παρουσιάζεται ένας από τους τέσσερεις κινητήρες.

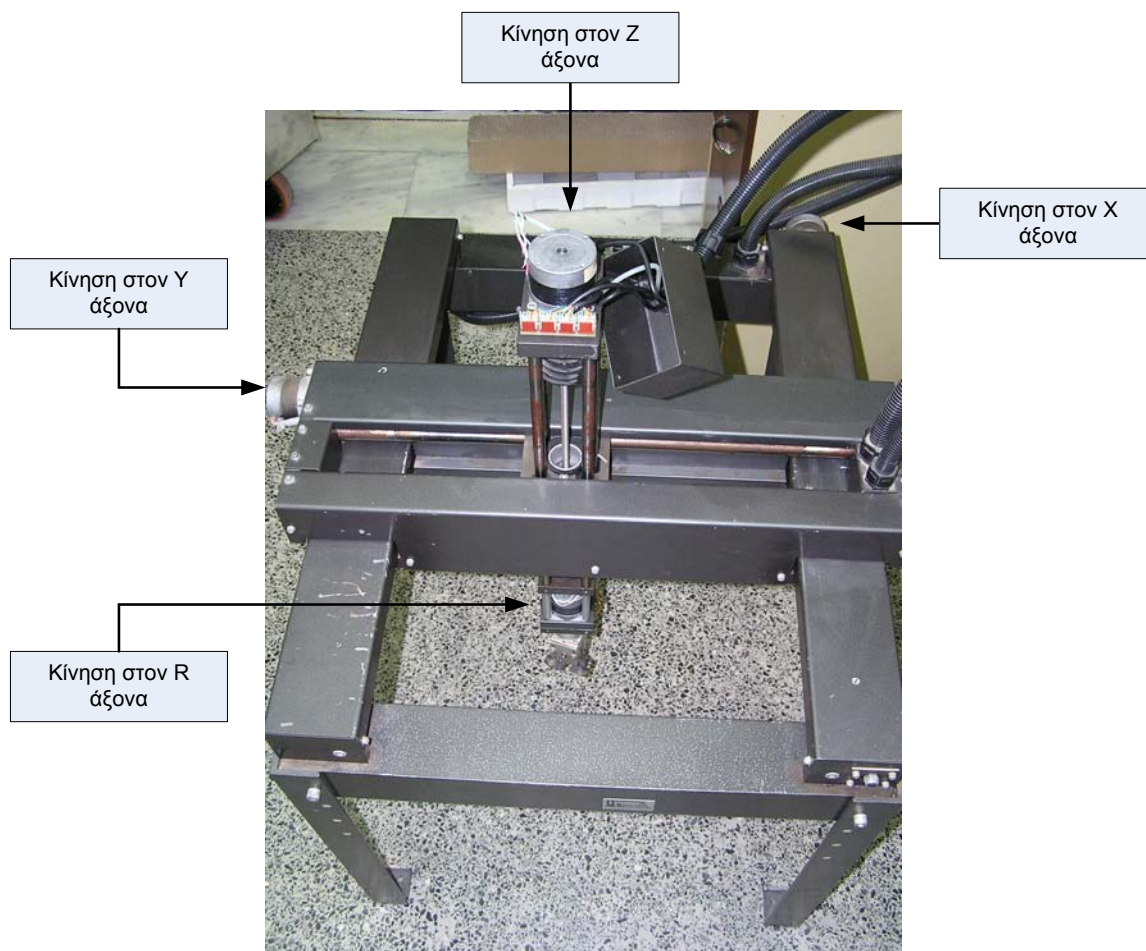
Οι τέσσερεις βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται στο TALOS για την παραγωγή των ακόλουθων κινήσεων:

- ✚ τρεις κινητήρες χρησιμοποιούνται για την κίνηση στους 3 άξονες X, Y και Z
- ✚ ένας κινητήρας χρησιμοποιείται για την περιστροφή της αρπάγης (άξονας περιστροφής R)

Στην Εικόνα 3-1 βλέπουμε τον κινητήρα που βρίσκεται στην κορυφή του ιστίου και ευθύνεται για την κίνηση στον Z άξονα. Στην Εικόνα 3-2 παρουσιάζονται οι θέσεις και των τεσσάρων κινητήρων.



Εικόνα 3-1: Βηματικός κινητήρας του ρομπότ TALOS



Εικόνα 3-2: Οι τέσσερις κινητήρες του TALOS

3.2 Οδηγοί κινητήρων

Οι οδηγοί κινητήρων είναι οι συσκευές οι οποίες ρυθμίζουν την ισχύ του κινητήρα. Λειτουργούν περιορίζοντας την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνουν οι κινητήρες. Το σήμα για το πόση ισχύς θα δοθεί στους κινητήρες δίδεται από τον ελεγκτή του συστήματος. Έτσι στο TALOS ο χρήστης δίδει την κατάλληλη εντολή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, αυτή μεταφέρεται στον ελεγκτή, μεταφράζεται κατάλληλα και στην συνέχεια δίδεται η εντολή στον οδηγό για την παροχή της αντίστοιχης ισχύος.

Στην περίπτωση των βηματικών κινητήρων αυτή η διαδικασία δεν είναι τόσο απλή όσο τους σερβοκινητήρες. Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας των βηματικών κινητήρων ο οδηγός δεν πρέπει μόνο να δίνει την ανάλογη ισχύ στον κινητήρα, αλλά να τη δίνει και με τον κατάλληλο τρόπο. Έτσι θα πρέπει να παράγει τους ανάλογους παλμούς ώστε να ενεργοποιείται σε κάθε χρονική στιγμή το κατάλληλο πηνίο και με την κατάλληλη πολικότητα.

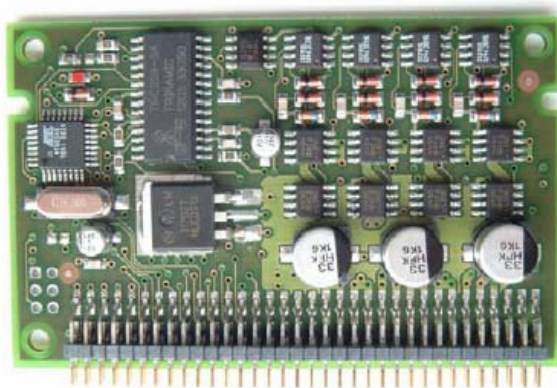
Κάνοντας κάποιος μια έρευνα αγοράς θα δει ότι είναι διαθέσιμη μια πληθώρα οδηγών κινητήρων. Ωστόσο πρέπει να σημειώσουμε τα εξής:

- ✚ Στην διαδικασία που ακολουθήσαμε για την αγορά εξοπλισμού, αρχικά έγινε προσπάθεια για εύρεση ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Κατασκευάζονται συστήματα του τύπου «2 σε 1» όπου στην ίδια πλακέτα συνδυάζονται ο οδηγός και ο ελεγκτής. Υπάρχουν ακόμη, ολοκληρωμένα συστήματα για τρεις κινητήρες τα οποία σε μια μόνο πλακέτα συνδυάζουν οδηγούς και ελεγκτές κατάλληλους για τον ταυτόχρονο έλεγχο τριών κινητήρων. Μια τέτοια λύση δεν ήταν δυνατόν να εφαρμοσθεί στο TALOS καθότι οι κινητήρες είναι τέσσερις. Ακόμη όμως κι αν θέλαμε να δοκιμάσουμε μια μέση λύση, με την αγορά ενός συστήματος για τρεις και ενός για έναν κινητήρα ξεχωριστά, αυτό δεν μπορεί να γίνει καθότι στο εμπόριο δεν κυκλοφορούν ολοκληρωμένα συστήματα που να ικανοποιούν τις ονομαστικές απαιτήσεις των βηματικών κινητήρων του TALOS.
- ✚ Η ποικιλία οδηγών και ελεγκτών στην αγορά είναι μεγάλη. Ωστόσο η έρευνα αγοράς ιδιαίτερα για οδηγούς ήταν ιδιαίτερη δύσκολη καθότι η παλαιότητα των βηματικών κινητήρων του TALOS είναι τέτοια που τα ονομαστικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους δεν συναντούνται στους σημερινούς κινητήρες και κατά συνέπεια δεν κατασκευάζονται πολλοί οδηγοί που να πληρούν αυτά τα χαρακτηριστικά.

3.3 Ο οδηγός TMCM-035

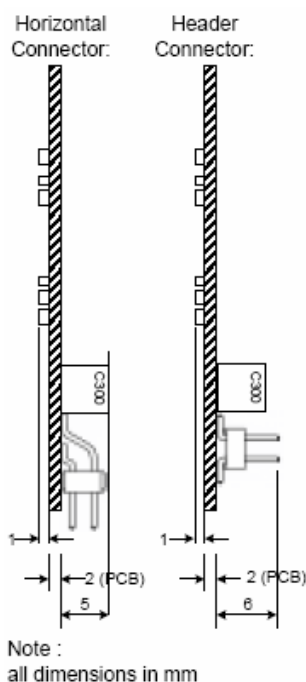
Για την οδήγηση των κινητήρων του TALOS επιλέχθηκε ο οδηγός TMCM-035 της εταιρείας Trinamic Microchips GmbH Γερμανίας (Εικόνα 3-3). Ο οδηγός αυτός δύναται να οδηγήσει έναν διπολικό βηματικό κινητήρα δύο φάσεων με μέγιστη ένταση ρεύματος ανά

πηνίο 5A και μέγιστη τάση 50V. Η κατασκευή του βασίζεται στο τσιπ TMC239 της ίδιας εταιρείας. Η διασύνδεση ανάμεσα στη μονάδα ελέγχου και τον οδηγό TMCM-035 επιτυγχάνεται μέσω SPI ή Step/Direction ή αναλογικού πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Η μέγιστη ένταση ρεύματος μπορεί να επιλεχθεί μέσω εξωτερικών εισόδων. Οι διαστάσεις του είναι 80x50 mm. Στην περίπτωση του TALOS χρησιμοποιείται το SPI interface (θα εξηγηθεί στη συνέχεια γιατί). Για την λειτουργία του ο οδηγός χρειάζεται τάση 5V DC.



Εικόνα 3-3: Ο οδηγός TMCM-035 της Trinamic Microchips

Ο οδηγός διαθέτει 64 pins (2x32) για την σύνδεσή του με τον ελεγκτή. Υπάρχει δυνατότητα για κάθετη ή οριζόντια σύνδεση. Στην Εικόνα 3-3 τα pins είναι κατασκευασμένα για κάθετη σύνδεση. Στην Εικόνα 3-4 βλέπουμε πως διατάσσονται τα pins σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 3-4: Οριζόντια και κάθετη σύνδεση των pins

Ο οδηγός έχει σχεδιαστεί για οδήγηση μικροβηματισμού δίνοντας ρεύμα ημιτονοειδούς κυματομορφής και στα δύο πηνία. Το μέγιστο ρεύμα (peak) μπορεί να είναι μέχρι 5A. Το μέσο ρεύμα υπολογίζεται διαιρώντας το μέγιστο με 1,41, οπότε το μέγιστο RMS ρεύμα μπορεί να είναι μέχρι 3,5 A.

Η συμπαγής κατασκευή του οδηγού δεν επιτρέπει την συνεχή οδήγηση με πλήρη ένταση ρεύματος (5A) εξαιτίας της αυξημένης θερμότητας που παράγεται και η οποία ελαττώνει το χρόνο ζωής κινητήρα και οδηγού. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί εάν χρησιμοποιηθεί σύστημα ψύξης ώστε η θερμοκρασία του οδηγού να μένει κάτω από τους 85°C. Τα φυσικά όρια που υφίστανται είναι τα ακόλουθα:

- Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία περιβάλλοντος για λειτουργία μέχρι τα 3,5A RMS (=5A peak) είναι 40°C.
- Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία περιβάλλοντος για λειτουργία μέχρι τα 2,5A RMS (=3,5A peak) είναι 60°C.
- Εάν ο οδηγός συνδεθεί οριζόντια σε κάποια πλακέτα, τότε επιβάλλεται η χρήση ανεμιστήρα για λειτουργία σε ρεύμα άνω των 2.0A RMS.
- Για κάθε μια φάση, η ένταση του ρεύματος πρέπει να μειώνεται στο 70% των ανωτέρω τιμών κατά τη διάρκεια της ακινησίας του κινητήρα.
- Η μέγιστη ένταση ρεύματος για οδήγηση πλήρους βήματος (και με τα 2 πηνία ενεργοποιημένα) είναι 3.5A.
- Για συνεχή λειτουργία σε εντάσεις άνω των 2.5A RMS είναι απαραίτητη η χρήση συστήματος ψύξης. Ο οδηγός δεν θα πρέπει να συνδέεται οριζόντια όταν πρόκειται να οδηγεί συνεχώς σε εντάσεις άνω των 2.5A RMS.

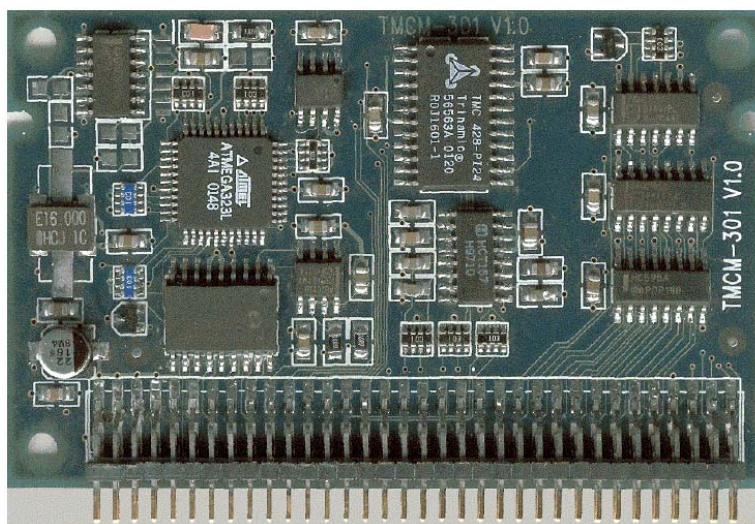
Αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι ότι η λειτουργία του οδηγού γίνεται με βάση την ένταση του ρεύματος και όχι την τάση. Στόχος είναι σε κάθε χρονική στιγμή η ένταση του ρεύματος σε κάθε πηνίο του κινητήρα να έχει συγκεκριμένη τιμή. Έτσι η τάση διαμορφώνεται σε κάθε χρονική στιγμή ανάλογα με τη ζητούμενη ένταση. Έτσι το βασικό χαρακτηριστικό για τη λειτουργία των βηματικών κινητήρων του TALOS είναι τα 2A ρεύματος και όχι τα 1.2V της τάσης.

Τα 2A ονομαστική ένταση ρεύματος του κινητήρα είναι τιμή RMS. Επομένως ο κινητήρας πρέπει να οδηγηθεί με ρεύμα μέγιστης εντάσεως 2.8A ($1.41 \cdot 2A$). Αυτή είναι και η τιμή ρεύματος την οποία θέτουμε ως τιμή λειτουργίας των κινητήρων στο TALOS. Είναι προφανές ότι εφόσον έχουμε τέσσερις κινητήρες, αποκτήθηκαν τέσσερις οδηγοί.

3.4 Ο ελεγκτής TMCM-301

Η κάρτα ελέγχου ή ελεγκτής, αναλαμβάνει το ρόλο του διαμεσολαβητή ανάμεσα στο χρήστη και το ρομπότ. Ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για την μεταφορά πληροφορίας και εντολών από την υπολογιστική μονάδα στους οδηγούς των κινητήρων και αντίστροφα. Γι' αυτό το λόγο η αξιοπιστία της κάρτας είναι σημαντική για τη λειτουργία του ρομπότ καθώς θα πρέπει τα σήματα να μεταφέρονται εγκαίρως και κυρίως χωρίς θόρυβο και σφάλμα.

Για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων επιλέχθηκε ελεγκτής της ίδιας εταιρείας (Trinamic Microchips) για λόγους απόλυτης συμβατότητας. Ο ελεγκτής TMCM-031 είναι ένας ελεγκτής τριών αξόνων για διφασικούς βηματικούς κινητήρες, δηλαδή ελέγχει από έναν έως τρεις κινητήρες συγχρόνως. Βασίζεται στο υψηλής απόδοσης τσιπ ελέγχου TMC428 της ίδιας εταιρείας. Ένας τέτοιος ελεγκτής φαίνεται στην Εικόνα 3-5.



Εικόνα 3-5: Ο ελεγκτής TMCM-301 της Trinamic Microchips

Ο ελεγκτής αυτός προσφέρει ένα πλήρες σύστημα ελέγχου κίνησης με χαμηλό κόστος και μικρό μέγεθος, προσθέτοντας μόνο εξωτερικούς οδηγούς κινητήρων με SPI interface. Το SPI interface χρησιμοποιείται για την βέλτιστη λειτουργία και διασύνδεση ανάμεσα στον ελεγκτή και τους οδηγούς. Χρησιμοποιώντας άλλο interface, ο ελεγκτής δεν μπορεί να ελέγξει 3 κινητήρες συγχρόνως.

Ο ελεγκτής TMCM-301 μπορεί να ελεγχθεί εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας CAN ή RS-232/RS-485 πρωτόκολλο επικοινωνίας. Είναι δυνατή επίσης και η αυτόνομη λειτουργία του ελεγκτή. Το πλεονέκτημά του είναι ότι η μεταφορά δεδομένων από τον υπολογιστή στον ελεγκτή δεν είναι υπερμεγέθης καθώς όλες οι υπολογισμοί του ελέγχου γίνονται εσωτερικά στον ελεγκτή. Το τσιπ TMC-428 δηλαδή είναι ένας μικροεπεξεργαστής.

Ο ελεγκτής παρέχει ακόμη ένα πλήρες περιβάλλον προγραμματισμού και χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού TMCL (Trinamic Motion Control Language) μπορούμε να κατασκευάσουμε γρήγορα και εύκολα προγράμματα για τον έλεγχο της κίνησης. Όλες οι διαδικασίες της TMCL αποθηκεύονται σε μνήμη EEPROM μεγέθους 16KByte, η οποία είναι ενσωματωμένη στον ελεγκτή και μπορεί να προσπελαστεί με χρήση ενός από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που προαναφέρθηκαν.

Επιπλέον, ο ελεγκτής δύναται να ελέγξει και ψηφιακές εισόδους-εξόδους ενώ εμπεριέχει και 32 KByte flash memory για την αποθήκευση προγραμμάτων (σε περιπτώσεις όπου επιθυμούμε stand-alone operation). Το μέγεθος του ελεγκτή είναι 80x50 mm. Διαθέτει 64 pins για τη σύνδεσή του και ισχύουν τα ίδια με τους οδηγούς (υπάρχει κάθετη και οριζόντια σύνδεση).

Η τάση λειτουργίας του ελεγκτή είναι 5V DC και για τη σωστή λειτουργία του αυτή η τάση πρέπει να κυμαίνεται από 4.75V DC μέχρι 5.25V DC. Το ρεύμα που απαιτείται από τον ελεγκτή για την ορθή λειτουργία του είναι περίπου 300mA. Η παροχή τάσης των κινητήρων δεν χρειάζεται στον ελεγκτή καθώς οι οδηγοί εφαρμόζονται εξωτερικά. Αυτό συντελεί στην αύξηση της ταχύτητας του ελέγχου και στη μείωση της θερμοκρασίας του ελεγκτή καθώς οι εφαρμοζόμενες τάσεις και εντάσεις είναι σαφώς μικρότερες. Πάντως για την ασφαλή λειτουργία του, ο ελεγκτής TMCM-301 πρέπει να δουλεύει σε περιβάλλον με μέγιστη θερμοκρασία 70°C.

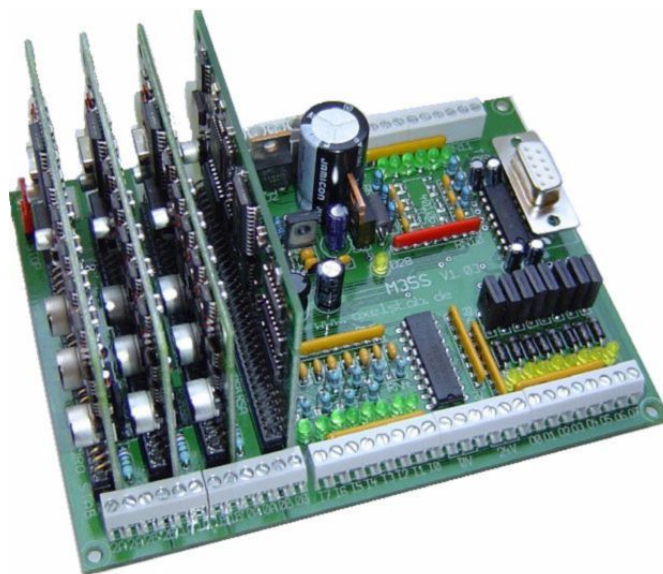
Για το TALOS αγοράστηκαν 2 ελεγκτές TMCM-301 καθώς πρέπει να ελέγξουμε 4 κινητήρες. Η διασύνδεση του ελεγκτή γίνεται με χρήση του πρωτοκόλλου RS-232, χρησιμοποιούμε δηλαδή μία σειριακή θύρα του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

3.5 Baseboard M35S

Όπως είδαμε μέχρι στιγμής, με την αγορά των τεσσάρων οδηγών και των δύο ελεγκτών έχουμε καλύψει τις ανάγκες ελέγχου όσον αφορά το hardware. Ωστόσο υπάρχει ένα πρακτικό πρόβλημα. Πως θα συνδέσουμε μεταξύ τους οδηγούς, ελεγκτές, τροφοδοσία και καλώδιο σειριακής επικοινωνίας;

Η απάντηση είναι ότι δεν είναι δυνατό να γίνει απευθείας σύνδεση όλων των παραπάνω καθώς οι οδηγοί και οι ελεγκτές έχουν 64 pins ο καθένας. Έτσι χρειαζόμαστε μια πλακέτα στην οποία θα μπορούμε να συνδέσουμε τα πάντα και η οποία θα είναι η βάση του ελέγχου. Στην περίπτωση των προϊόντων της Trinamic, υπάρχει μια άλλη γερμανική εταιρεία, η Axelstab, η οποία κατασκευάζει πλακέτες γι' αυτόν τον σκοπό. Οι πλακέτες αυτές ονομάζονται baseboards καθώς αποτελούν τη βάση όλων των άλλων πλακετών.

Από τα προϊόντα της Axelstab, επιλέχθηκε για αγορά το Baseboard M35S.



Εικόνα 3-6: Το Baseboard M35S της Axelstab

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του M35S είναι τα ακόλουθα:

- Δύναται να φιλοξενήσει εξοπλισμό ικανό για το έλεγχο τριών αξόνων με μέγιστες τιμές 50V, 5A χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα επικοινωνίας RS-232, RS-485 ή CAN.
- Χρειάζεται τροφοδοσία 24V DC, ενώ υπάρχει η δυνατότητα για σύνδεση ξεχωριστής τάσης για τους κινητήρες (π.χ. 48V)
- Διαθέτει 8 ψηφιακές εισόδους μέχρι 24V, ενώ κατά παραγγελία προσφέρονται και αναλογικές (0-24V)
- Διαθέτει 8 ψηφιακές εξόδους στα 24V, προστατευμένες με διόδους, με μέγιστη ένταση ρεύματος 1A, οι οποίες μπορούν να προγραμματιστούν και για standalone operation
- Η σύνδεση των κινητήρων είναι απλή και γίνεται μέσω screw terminals
- Έχει μικρό μέγεθος, 133x100 mm

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι το M35S αποτελεί την ιδανική περίπτωση για εμάς, καθότι δέχεται τους οδηγούς και τους ελεγκτές μας άμεσα και χωρίς μετατροπές. Στην Εικόνα 3-6 παρουσιάζεται το M35S έχοντας πάνω του τρεις οδηγούς TMCM-035 και έναν ελεγκτή TMCM-301.

Είναι προφανές ότι η χρήση του M35S μας βοηθάει άμεσα καθότι:

- Μπορούμε απ' ευθείας να προσθέσουμε πάνω στο M35S τους οδηγούς και τους ελεγκτές στα ειδικά slots που υπάρχουν για τον καθένα. Έτσι δεν χρειάζεται να ασχοληθούμε με τα pins των οδηγών και των ελεγκτών. Οι υπόλοιπες διασυνδέσεις γίνονται εσωτερικά στην πλακέτα του M35S, οπότε εμείς στην ουσία με τη χρήση του, φτιάχνουμε ένα πλήρες σύστημα ελέγχου που το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι απλά να συνδέσουμε πάνω του τους κινητήρες.
- Όπως είδαμε οι οδηγοί και οι ελεγκτές έχουν τάση λειτουργίας 5V DC. Το M35S έχει ενσωματωμένο έναν step-down regulator, ο οποίος παράγει αυτή την τάση και τροφοδοτεί κατάλληλα οδηγούς και ελεγκτές. Έτσι χρειάζεται να τροφοδοτήσουμε μόνο με μια τάση (24V DC) το M35S και αυτό παράγει τις απαιτούμενες τάσεις. Μάλιστα επειδή η τάση λειτουργίας των βηματικών κινητήρων του TALOS είναι μικρή, τα 24V DC της λειτουργίας του M35S είναι αρκετά και δεν χρειάζεται να δώσουμε ξεχωριστά μεγαλύτερη τάση για την οδήγηση των κινητήρων.
- Το M35S περιέχει στη βάση του κατάλληλο βύσμα για σύνδεση με τον υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας. Έτσι εμείς απλά συνδέουμε με κατάλληλο καλώδιο υπολογιστή και M35S και η επικοινωνία ανάμεσα στον ελεγκτή και τον υπολογιστή γίνεται άμεσα και γρήγορα.
- Με χρήση των ψηφιακών εξόδων του M35S είναι δυνατός ο άμεσος έλεγχος της ηλεκτροβαλβίδας του TALOS. Η ηλεκτροβαλβίδα θέλει τροφοδοσία 24V DC με ένταση ρεύματος 0.8A οπότε μπορούμε άμεσα να την ελέγξουμε από το M35S χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω χρήση διόδων και αντιστάσεων.
- Το μέγεθος του M35S είναι μικρό ενώ οι οδηγοί και οι ελεγκτές τοποθετούνται κάθετα σε αυτό. Έτσι το συνολικό σύστημα έχει πολύ μικρό μέγεθος και μπορεί να μπει σε ένα μικρό κουτί.

Στην περίπτωση του TALOS προχωρήσαμε στην αγορά δύο Baseboard M35S καθότι έχουμε τέσσερις οδηγούς και δύο ελεγκτές.

3.6 Τροφοδοσία

Όπως είδαμε για την σωστή λειτουργία του συστήματος απαιτείται τροφοδοσία 24V DC. Για το λόγο αυτό προχωρήσαμε στην αγορά κατάλληλου τροφοδοτικού της εταιρείας PALS (Εικόνα 3-7), μοντέλο SMS 240.



Εικόνα 3-7: Εμπρός και πίσω όψη του τροφοδοτικού της PALS

Το τροφοδοτικό αυτό δέχεται τάση δικτύου 220V AC και εξάγει τάση 24V DC. Είναι σχεδιασμένο να παρέχει αυτήν την τάση με ελάχιστο θόρυβο και χωρίς διακυμάνσεις. Η ισχύς του είναι 240 Watt δηλαδή δύναται να δώσει μέγιστη ένταση ρεύματος 10A. Εμείς για κάθε ένα σύστημα (M35S + οδηγός + ελεγκτής) χρειαζόμαστε ρεύμα της τάξεως των 3A, δηλαδή συνολικά περίπου 6A. Τροφοδοτικά όμως βρήκαμε στα 5A και 10A οπότε επιλέξαμε το μεγαλύτερο από τα δύο.

Στα θετικά του SMS 240 συγκαταλέγονται:

- Η εξαιρετικής ποιότητας, συμπαγής κατασκευή του. Οι διαστάσεις του είναι 130x90 mm ενώ το βάρος του είναι μικρό.
- Διαθέτει στο πίσω μέρος του διακόπτη λειτουργίας οπότε μπορούμε να το έχουμε συνέχεια συνδεδεμένο στο δίκτυο.
- Διαθέτει εσωτερικό ανεμιστήρα για την εξαγωγή θερμότητας, οπότε η εσωτερική του θερμοκρασία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα.

Το μόνο αρνητικό σημείο είναι η εξαιρετικά θορυβώδης λειτουργία που οφείλεται στον ανεμιστήρα. Τέλος, στην περίπτωση του TALOS παίρνουμε δύο τάσεις εξόδου, μία για κάθε M35S.

3.7 Υπολογιστική μονάδα ελέγχου

Η υπολογιστική μονάδα ελέγχου αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος αποτελεί το εργαλείο διασύνδεσης ανάμεσα στο χρήστη και στο TALOS. Χρειαζόμαστε έναν υπολογιστή για να εγκαταστήσουμε το περιβάλλον προγραμματισμού TMCL και να ετοιμάσουμε προγράμματα ελέγχου του TALOS τα οποία μέσω της σειριακής θύρας του, θα τα μεταφέρουμε στον μικροεπεξεργαστή του ελεγκτή.

Για τον έλεγχο του TALOS χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής με επεξεργαστή Intel Celeron στα 2GHz και 256MB μνήμη τυχαίας προσπέλασης. Σε αυτόν προστέθηκε κάρτα PCI ικανή να δίδει δύο έξτρα σειριακές εξόδους στον υπολογιστή. Μέσω αυτών των εξόδων και με χρήση κατάλληλων καλωδίων συνδέουμε τον υπολογιστή με τα δύο M35S. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι υπάρχει ένας φυσικός περιορισμός στην απόσταση του υπολογιστή από τα M35S, η οποία μπορεί να είναι μέχρι 1.5m.

Στον υπολογιστή εγκαθίσταται το περιβάλλον προγραμματισμού TMCL μέσω του οποίου μπορεί ο χρήστης να ελέγξει το TALOS. Η λειτουργία μπορεί να είναι αυτόνομη όταν π.χ. φορτώνουμε ένα πρόγραμμα στον ελεγκτή και το εκτελούμε, ή πραγματικού χρόνου όταν δίνουμε εντολές στον υπολογιστή που μεταφράζονται σε άμεση κίνηση του TALOS. Η όλη αυτή διαδικασία αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.

3.8 Ολοκλήρωση της κατασκευής

Για την ολοκλήρωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν ακόμη και τα ακόλουθα στοιχεία:

- Παροχή συμπιεσμένου αέρα: Για το άνοιγμα-κλείσιμο της αρπάγης απαιτείται η χρήση αέρα υψηλής πίεσης. Έτσι με την βοήθεια της ηλεκτροβαλβίδας μπορούμε ανοίγοντας-κλείνοντας την παροχή αέρα να ελέγξουμε την αρπάγη. Στο Εργαστήριο Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής υπάρχει συμπιεστής αέρα, επομένως το μόνο που χρειάστηκε ήταν η αγορά λάστιχου για την παροχή αέρα από τον συμπιεστή στο TALOS.
- Όλο το hardware ελέγχου (baseboards, controllers, drivers) και το τροφοδοτικό, τοποθετήθηκαν σε κουτί ώστε να έχουμε ένα πλήρες σύστημα ελέγχου που θα επικοινωνεί από τη μια πλευρά με τον υπολογιστή και από την άλλη με το TALOS. Για να μειώσουμε την εσωτερική θερμοκρασία του κουτιού, η οποία φθάνει σε υψηλά επίπεδα εξαιτίας των υψηλών ποσών θερμότητας που παράγονται, κρίθηκε σκόπιμη η χρήση εσωτερικού ανεμιστήρα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ανεμιστήρας της εταιρείας Redpoint. Πρόκειται για έναν πολύ ισχυρό ανεμιστήρα, διαμέτρου 12 cm ο οποίος δίδει μεγάλη παροχή αέρα στο κουτί ελέγχου του TALOS. Ο ανεμιστήρας δουλεύει με τάση 220V AC, επομένως τροφοδοτείται με ρεύμα δικτύου και δεν απαιτείται μετασχηματιστής ή τροφοδοτικό για την τροφοδοσία του. Επειδή η παροχή του αέρα και η διάμετρος εισαγωγής είναι μεγάλες, στο εξωτερικό μέρος του κουτιού και στο σημείο εισαγωγής αέρα χρησιμοποιήθηκε φίλτρο αέρα ώστε να αποφεύγεται η είσοδος σκόνης στο κουτί ελέγχου.



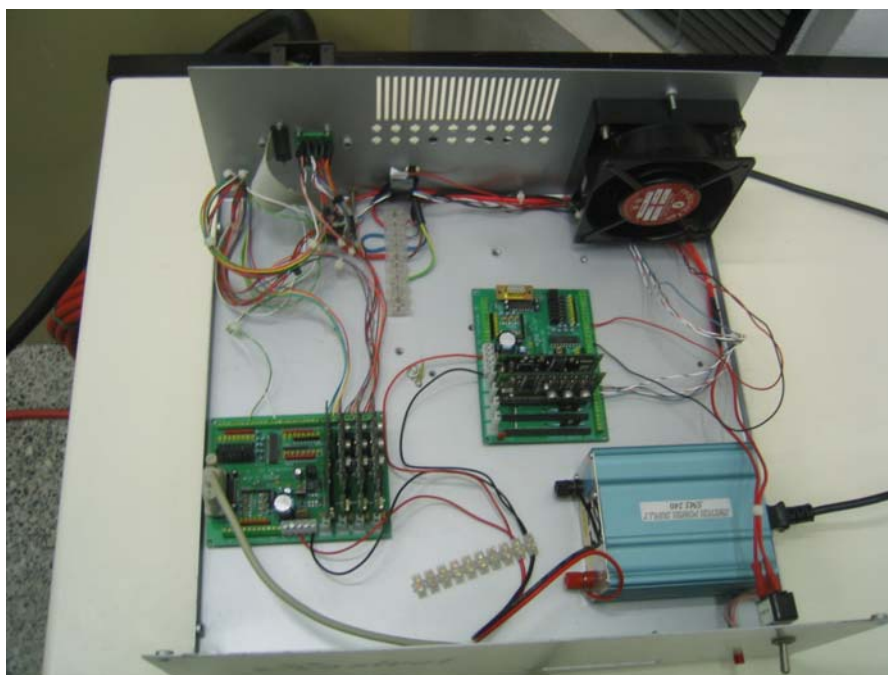
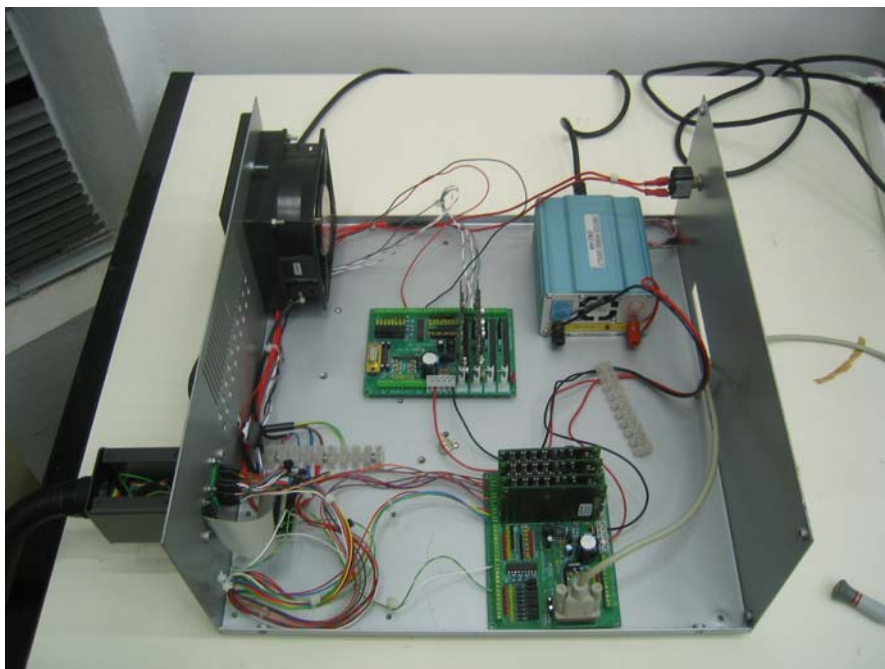
Εικόνα 3-8: Ο ανεμιστήρας της εταιρείας Redpoint

3.9 Η τελική μορφή του TALOS

Με την αγορά όλων των λειτουργικών στοιχείων που παρουσιάστηκαν, ξεκίνησε και η συναρμολόγηση του TALOS. Η τελική μορφή του παρουσιάζεται στις Εικόνες 3-9, 3-10 και 3-11.



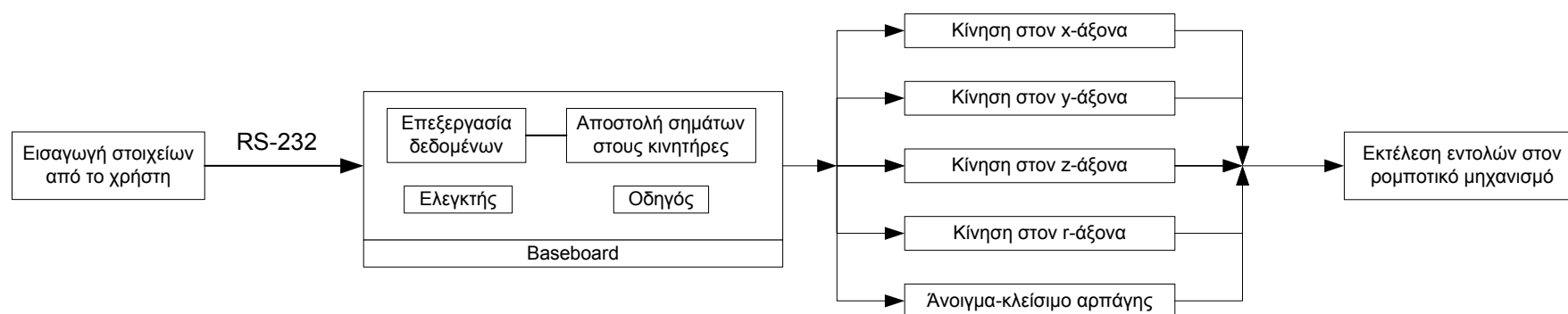
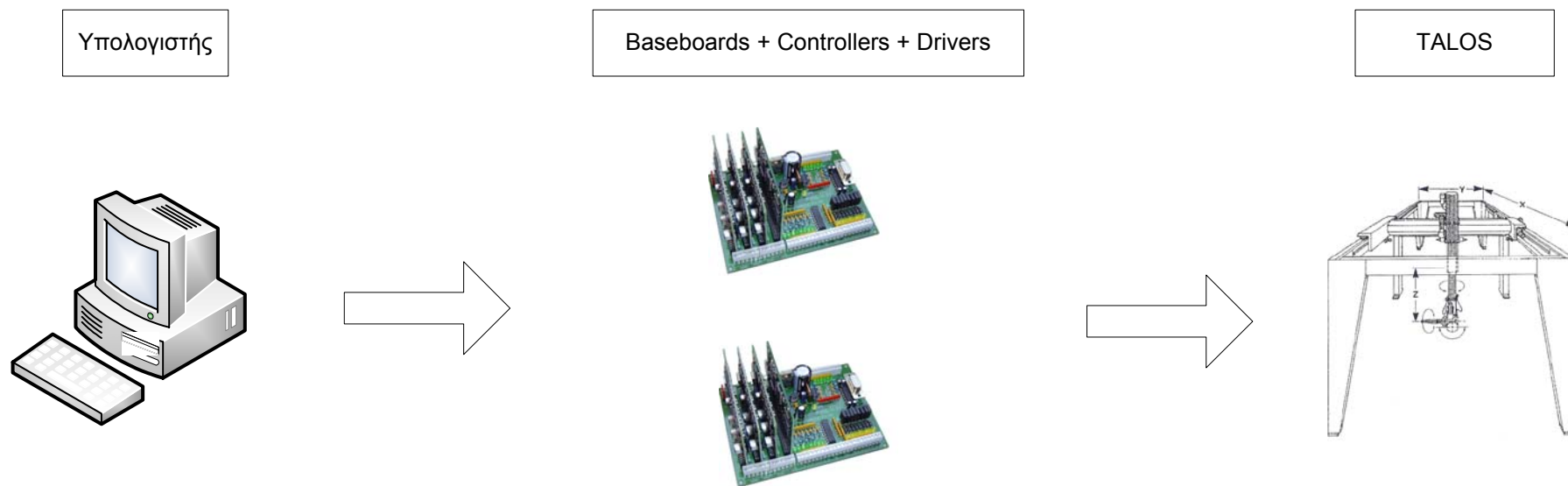
Εικόνα 3-9: Η τελική μορφή του TALOS



Εικόνες 3-10, 3-11: Το κουτί που φιλοξενεί το σύστημα ελέγχου του TALOS

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα ελέγχου του TALOS (Διάγραμμα 1), όπου παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο επιτεύχθηκε ο έλεγχός του.

Διάγραμμα Ελέγχου του TALOS



Διάγραμμα 1: Συνοπτική παρουσίαση του συστήματος ελέγχου

Κεφάλαιο 4: Η γλώσσα προγραμματισμού TMCL

Η Trinamic προσφέρει μια δική της γλώσσα προγραμματισμού για τον έλεγχο της κίνησης που γίνεται μέσω των καρτών της. Στην περίπτωση του TALOS, η ύπαρξη της TMCL σε συνδυασμό με την άριστη διασύνδεση ανάμεσα σε οδηγούς, ελεγκτές και baseboards διευκολύνει κατά πολύ τον έλεγχο. Αυτό γίνεται εξαιτίας του ενιαίου πρωτοκόλλου επικοινωνίας που ακολουθούν οι συσκευές και η TMCL. Η TMCL αναγνωρίζει άμεσα και εύκολα τις υπόλοιπες συσκευές διαμέσου της σειριακής θύρας του υπολογιστή κι έτσι δεν χρειάζεται να ασχοληθούμε στον προγραμματισμό με την επικοινωνία αυτή, κάτι που θα ήταν απαραίτητο αν χρησιμοποιούσαμε οποιαδήποτε άλλη γλώσσα προγραμματισμού.

4.1 Εισαγωγή στην TMCL

Η TMCL (Trinamic Motion Control Language) είναι η γλώσσα προγραμματισμού η οποία χρησιμοποιείται από τον χρήστη για τον έλεγχο βηματικών κινητήρων. Παρέχει ένα σύνολο δομημένων εντολών, ικανών να ελέγχουν την κίνηση των βηματικών κινητήρων. Κάθε εντολή ελέγχου της κίνησης μπορεί να δοθεί απευθείας από τον υπολογιστή ή να αποθηκευτεί στην μνήμη EEPROM του TMCM-301 ελεγκτή ώστε να δομηθεί πρόγραμμα ικανό να λειτουργήσει αυτόνομα. Για το σκοπό αυτό, δεν υπάρχουν μόνο εντολές ελέγχου της κίνησης αλλά και εντολές για τον έλεγχο της δομής του προγράμματος (όπως εντολές σύγκρισης και υπολογισμού ή λογικές εντολές πλοήγησης στο πρόγραμμα). Επομένως η TMCL αποτελεί μια ισχυρή γλώσσα προγραμματισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απευθείας έλεγχο (direct mode) ή αυτόνομο έλεγχο (program mode ή stand-alone mode).

Κάθε εντολή έχει μια δυαδική (binary) και μια μνημονική (mnemonic) αναπαράσταση. Η πρώτη χρησιμοποιείται για την αποστολή εντολών από τον υπολογιστή στον ελεγκτή σε direct mode, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται για την εύκολη χρήση των εντολών όταν υλοποιούνται εφαρμογές σε stand-alone mode. Στη δεύτερη περίπτωση αυτό επιτυγχάνεται με χρήση του TMCL IDE (Integrated Development Environment) το οποίο είναι το περιβάλλον προγραμματισμού της TMCL στο οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια. Η μνημονική μορφή είναι η μορφή των εντολών που δίνουμε εμείς όταν κατασκευάζουμε ένα πρόγραμμα. Ονομάζεται μνημονική αυτή η μορφή, καθώς όλες οι εντολές είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή η ερμηνεία τους. Για παράδειγμα, στη συνέχεια θα δούμε τις εντολές ROR και ROL που υποδηλώνουν δεξιά και αριστερή στρέψη αντίστοιχα (Rotate Right και Rotate Left). Η δυαδική μορφή είναι η μορφή η οποία γίνεται κατανοητή από το μικροεπεξεργαστή του ελεγκτή. Έτσι, ενώ εμείς εισάγουμε μνημονικές εντολές, αυτές μεταφράζονται σε δυαδική μορφή ώστε να γίνονται αντιληπτές στον ελεγκτή. Για περισσότερες πληροφορίες στον τρόπο με τον οποίο γίνεται αυτή η μετατροπή αναφέρονται στο εγχειρίδιο λειτουργίας της TMCL [6].

Υπάρχει ακόμη ένα σύνολο εντολών διαμόρφωσης μεταβλητών για κάθε άξονα και καθολικών μεταβλητών, οι οποίες επιτρέπουν την πλήρη παραμετροποίηση σχεδόν κάθε συνάρτησης που μπορεί να εκτελεστεί από τον ελεγκτή. Στη συνέχεια θα γίνει μια πιο λεπτομερής παρουσίαση της TMCL όπου θα παρουσιασθούν οι βασικές εντολές και η χρήση τους καθώς και οι δύο τρόποι λειτουργίας (direct και stand-alone) του συστήματος.

4.2 Βασικές εντολές της TMCL

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια επισκόπηση των βασικών εντολών της TMCL. Για κάθε μια εντολή θα δίδεται το όνομά της (μνημονική μορφή), η ερμηνεία της και το αποτέλεσμα της. Γίνεται αντιληπτό ότι δεν μπορεί να γίνει πλήρης ανάλυση όλων των εντολών, επομένως περισσότερες πληροφορίες παρουσιάζονται στο [6]. Οι εντολές παρουσιάζονται ανά ομάδες, ανάλογα με το είδος της λειτουργίας που εκτελούν.

4.2.1 Εντολές κίνησης

Αυτές οι εντολές ελέγχουν την κίνηση των κινητήρων. Είναι οι πιο σημαντικές εντολές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε direct ή stand-alone λειτουργία.

Πίνακας 4-1: Εντολές κίνησης

Όνομα	Ερμηνεία	Λειτουργία
ROL	Rotate left	Στροφή αριστερά
ROR	Rotate right	Στροφή δεξιά
MVP	Move to position	Μετακίνηση σε δεδομένη θέση
MST	Motor stop	Σταμάτημα κινητήρα
RFS	Reference search	Αναζήτηση σημείου αναφοράς
SCO	Set coordinate	Αποθήκευση συντεταγμένης ανά άξονα
CCO	Capture coordinate	Αποθήκευση συντεταγμένων σε όλους τους άξονες
GCO	Get coordinate	Ανάκτηση αποθηκευμένης συντεταγμένης

4.2.2 Εντολές παραμέτρων

Αυτές οι εντολές χρησιμοποιούνται για την μεταβολή, αποθήκευση και ανάκληση των παραμέτρων των αξόνων και των καθολικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αξόνων μπορούν να τεθούν ξεχωριστά για κάθε άξονα, ενώ οι καθολικές παράμετροι ελέγχουν τη συμπεριφορά του ίδιου του ελεγκτή. Οι εντολές παραμέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε direct ή stand-alone λειτουργία.

Οι παράμετροι αξόνων έχουν να κάνουν με στοιχεία όπως η επιτάχυνση, το μέγιστο ρεύμα, την ελάχιστη/μέγιστη ταχύτητα και άλλα χαρακτηριστικά λειτουργίας τα οποία τίθενται για κάθε άξονα και παραμένουν σταθερά στην εκτέλεση των προγραμμάτων.

Οι καθολικές παράμετροι σχετίζονται με την εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή αφορούν χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα διαμεταγωγής μέσω του πρωτοκόλλου RS-232.

Πίνακας 4-2: Εντολές παραμέτρων

Όνομα	Ερμηνεία	Λειτουργία
SAP	Set axis parameter	Ρύθμιση παραμέτρων άξονα
GAP	Get axis parameter	Ανάκληση παραμέτρων άξονα
STAP	Store axis parameter in EEPROM	Αποθήκευση παραμέτρων άξονα στη μνήμη ελεγκτή
RSAP	Restore axis parameter from EEPROM	Ανάκληση παραμέτρων άξονα από μνήμη ελεγκτή
SGP	Set global parameter	Ρύθμιση καθολικών παραμέτρων
GGP	Get global parameter	Ανάκληση καθολικών παραμέτρων
STGP	Store global parameter into EEPROM	Αποθήκευση καθολικών παραμέτρων στη μνήμη ελεγκτή
RSGP	Restore global parameter from EEPROM	Ανάκληση καθολικών παραμέτρων από μνήμη ελεγκτή

4.2.3 Εντολές ελέγχου εισόδων-εξόδων

Αυτές οι εντολές ελέγχουν τις θύρες εισόδου και εξόδου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε direct ή stand-alone λειτουργία.

Πίνακας 4-3: Εντολές ελέγχου εισόδων-εξόδων

Όνομα	Ερμηνεία	Λειτουργία
SIO	Set output	Ορισμός λογικής εξόδου (0 ή 1)
GIO	Get output	Ανάκληση λογικής εξόδου (0 ή 1)
SAC	Access to external SPI device	Πρόσβαση σε κάρτες SPI

4.2.4 Εντολές ελέγχου προγράμματος

Αυτές οι εντολές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής του προγράμματος (επαναλήψεις, συνθήκες ελέγχου, κλήση υπορουτινών κ.α.). Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε direct mode.

Πίνακας 4-4: Εντολές ελέγχου προγράμματος

Όνομα	Ερμηνεία	Λειτουργία
JA	Jump always	Μετακίνηση σε θέση μνήμης
JC	Jump conditional	Μετακίνηση σε θέση μνήμης υπό προϋποθέσεις
COMP	Compare accumulator with constant value	Σύγκριση μεγεθών
CLE	Clear error flags	Καθαρισμός λαθών
CSUB	Call subroutine	Κλήση υπορουτίνας
RSUB	Return from subroutine	Έξοδος από υπορουτίνα
WAIT	Wait for a specified event	Αναμονή γεγονότος
STOP	End of a TMCL program	Τέλος προγράμματος

4.2.5 Εντολές υπολογισμού

Οι εντολές αυτές χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση υπολογισμών στις εφαρμογές TMCL. Δεν έχει νόημα να χρησιμοποιηθούν σε direct mode. Για την εκτέλεση των υπολογισμών χρησιμοποιείται ένας συσσωρευτής (accumulator) και μια X μεταβλητή. Όλες οι TMCL εντολές που διαβάζουν μια τιμή, την αποθηκεύουν στο συσσωρευτή. Η μεταβλητή X μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετη μνήμη όταν γίνονται πράξεις.

Πίνακας 4-5: Εντολές υπολογισμού

Όνομα	Ερμηνεία	Λειτουργία
CALC	Calculate using the accumulator and a constant value	Υπολογισμός με χρήση συσσωρευτή και σταθερής τιμής
CALCX	Calculate using the accumulator and the X register	Υπολογισμός με χρήση συσσωρευτή και X μεταβλητής
AAP	Copy accumulator to an axis parameter	Μεταφορά τιμής συσσωρευτή σε παράμετρο άξονα
AGP	Copy accumulator to a global parameter	Μεταφορά τιμής συσσωρευτή σε καθολική παράμετρο

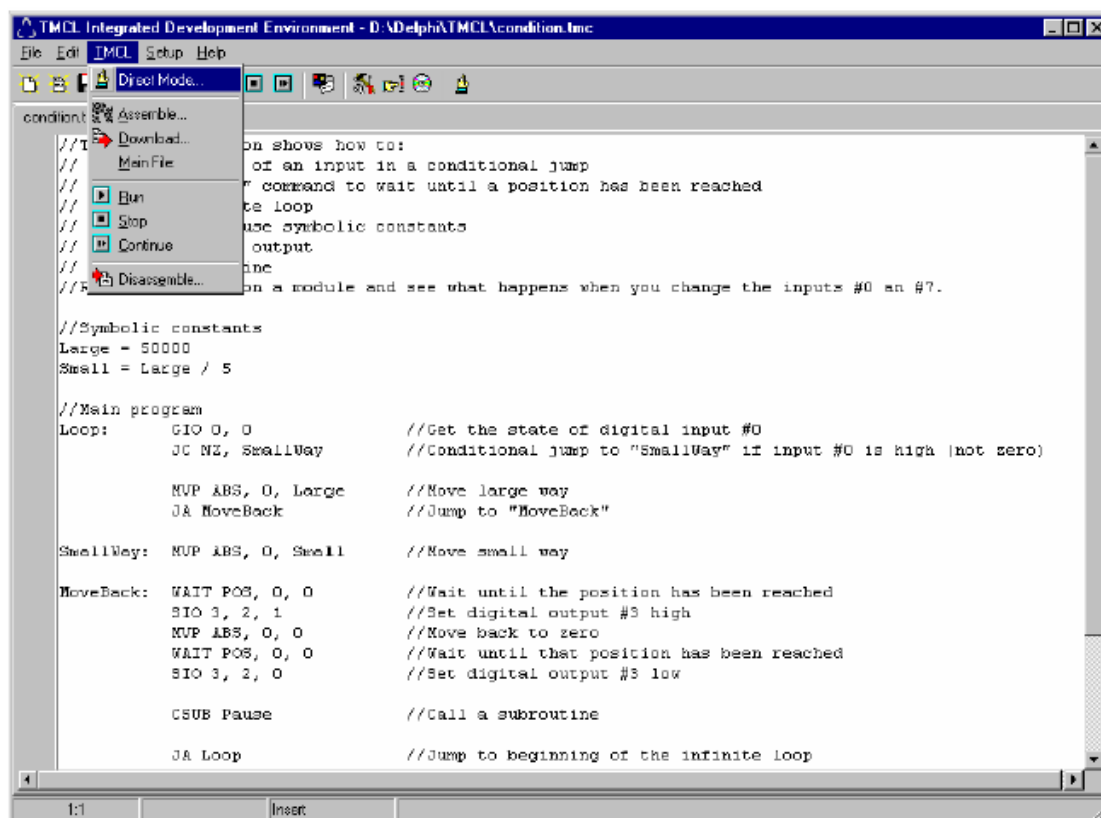
4.3 Το περιβάλλον προγραμματισμού TMCL IDE

Το TMCL IDE είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης προγραμμάτων που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αυτόνομων εφαρμογών TMCL (stand-alone) αλλά περιλαμβάνει μια συνάρτηση για χρήση εντολών TMCL σε πραγματικό χρόνο (direct mode). Πρόκειται για μία εφαρμογή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή η οποία δύναται να τρέξει σε λειτουργικό σύστημα Windows 95/98/NT/2000/XP και μεταξύ άλλων περιλαμβάνει:

- ✓ Έναν επεξεργαστή κειμένου για γράψιμο και επεξεργασία TMCL προγραμμάτων
- ✓ Έναν TCML κωδικοποιητή (assembler) για τη μετάφραση των TMCL προγραμμάτων από μνημονική σε δυαδική μορφή και το φόρτωμά τους (downloading) στον ελεγκτή.
- ✓ Έναν TMCL αποκωδικοποιητή για την ανάκτηση TMCL εφαρμογών από τον ελεγκτή και την μετάφρασή τους σε μνημονική μορφή.
- ✓ Παράθυρα διαλόγου που επιτρέπουν την εύκολη διαμόρφωση του ελεγκτή.
- ✓ Παράθυρα διαλόγου για είσοδο και εκτέλεση εντολών σε πραγματικό χρόνο.
- ✓ Συνάρτηση αναβάθμισης του firmware του ελεγκτή

4.3.1 Εγκατάσταση

Για την εγκατάσταση του περιβάλλοντος TMCL IDE στον υπολογιστή χρειάζεται απλά η αντιγραφή του αρχείου “TMCL.EXE” στον σκληρό δίσκο. Δεν χρειαζόμαστε δηλαδή κάποιο πρόγραμμα εγκατάστασης (setup), απλά τρέχουμε αυτό το εκτελέσιμο αρχείο. Στην Εικόνα 4-1 παρουσιάζεται το κύριο παράθυρο του περιβάλλοντος.



Εικόνα 4-1: Το κυρίως παράθυρο του περιβάλλοντος TMCL-IDE

Μετά την πρώτη εκκίνηση του προγράμματος, το μόνο που χρειάζεται να κάνουμε είναι να ορίσουμε την/τις σειριακή/-ες θύρες του υπολογιστή διαμέσου των οποίων θα επιτευχθεί επικοινωνία με τα baseboards. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τη συνάρτηση “Options...” του μενού “Setup” της γραμμής εργαλείων. Στο παράθυρο που ανοίγει δίδουμε την σειριακή θύρα όπου έχουμε συνδέσει το baseboard.

Στην Εικόνα 4-1 βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του περιβάλλοντος αποτελείται από έναν επεξεργαστή κειμένου ο οποίος προσδίδει την χρηστικότητα ενός οποιουδήποτε επεξεργαστή κειμένου των Windows. Μια περαιτέρω δυνατότητα που έχει προστεθεί είναι η συντόμευση Ctrl-Y η οποία διαγράφει μια γραμμή. Μερικές από τις συναρτήσεις του επεξεργαστή μπορούν να βρεθούν στο μενού “Edit”. Είναι επίσης δυνατή η επεξεργασία πολλών αρχείων προγραμμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στον επεξεργαστή με μορφή καρτελών επεξεργασίας.

4.3.2 Το μενού “File”

Το μενού αυτό περιέχει τις συναρτήσεις για το φόρτωμα και σώσιμο των αρχείων. Ορισμένες από τις συναρτήσεις μπορούν επίσης να βρεθούν στην γραμμή εργαλείων του περιβάλλοντος. Στο μενού “File” λοιπόν συναντούμε τις εξής εντολές:

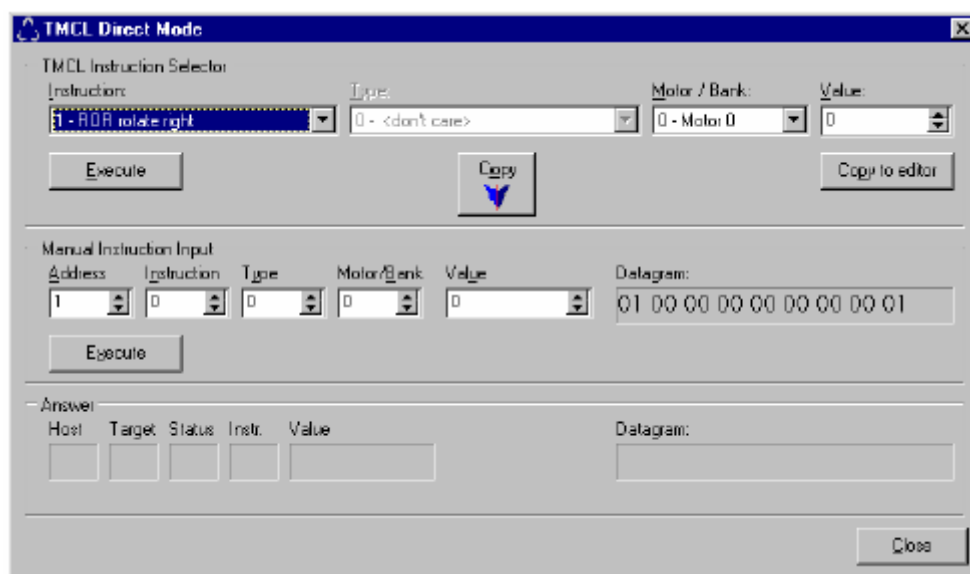
- ⇒ “New” : Αυτή η συνάρτηση ανοίγει μια νέα σελίδα επεξεργασίας, επομένως μπορεί να δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο προγράμματος.
- ⇒ “Open” : Με την επιλογή αυτής της εντολής ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου όπου ο χρήστης καλείται να επιλέξει το αρχείο προς άνοιγμα. Στη συνέχεια το πρόγραμμα του επιλεγμένου αρχείου φορτώνεται σε μια νέα σελίδα επεξεργασίας.
- ⇒ “Save”, “Save As” : Οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για το σώσιμο της σελίδας του επεξεργαστή που είναι ενεργή τη στιγμή του σωσίματος. Η δεύτερη εντολή δίνει την δυνατότητα της επιλογής της αποθήκευσης του αρχείου με νέο όνομα.
- ⇒ “Save all” : Με την χρήση αυτής της εντολής σώζονται όλα τα αρχεία τα οποία είναι ανοιχτά στον επεξεργαστή και έχουν υποστεί αλλαγές.
- ⇒ “Close” : Η εντολή αυτή κλείνει την ενεργή σελίδα επεξεργασίας. Μπορεί επίσης να επιλεγεί και από το μενού που παράγεται εάν πατήσουμε δεξί κλικ επάνω στον επεξεργαστή κειμένου.
- ⇒ “Exit” : Χρησιμοποιείται για το κλείσιμο του περιβάλλοντος TMCL IDE και ισοδυναμεί με κλείσιμο του κυρίως παραθύρου.

4.3.3 Το μενού “TMCL”

Το μενού αυτό περιέχει όλες τις συναρτήσεις που είναι απαραίτητες για την κωδικοποίηση, φόρτωση και αποκωδικοποίηση των προγραμμάτων TMCL. Περιέχει επίσης τις συναρτήσεις για την εκτέλεση και το σταμάτημα ενός προγράμματος στον ελεγκτή καθώς και τη συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο. Η κωδικοποίηση των προγραμμάτων γίνεται πάντα από τον επεξεργαστή κειμένου. Έτσι, προτού κωδικοποιηθεί ένα TMCL πρόγραμμα πρέπει πρώτα να φορτωθεί στον επεξεργαστή κειμένου.

4.3.4 Εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο

Η εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνεται με χρήση της εντολής “Direct Mode” του μενού “TMCL”. Μόλις την επιλέξουμε, παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου της Εικόνας 4-2.



Εικόνα 4-2: Το παράθυρο διαλόγου “Direct Mode”

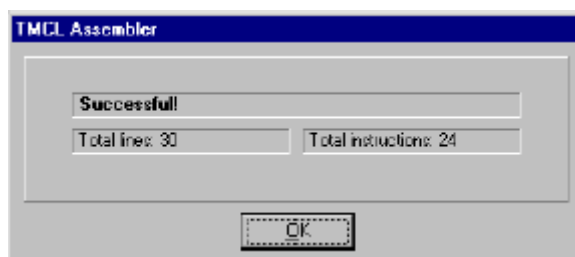
Με την εμφάνιση του παραθύρου, το TMCL IDE ελέγχει τον είδος του ελεγκτή με το οποίο είναι συνδεδεμένο. Εάν δεν μπορεί να βρεθεί το είδος του ελεγκτή (π.χ. όταν δεν έχει συνδεθεί κανένας ελεγκτής), ένα μικρό παράθυρο εμφανίζεται και ζητάει από το χρήστη να επιλέξει το κατάλληλο είδος.

Χρησιμοποιώντας το direct mode μπορούμε να στείλουμε εντολές στον ελεγκτή και να εκτελεστούν άμεσα. Στην περιοχή “TMCL Instruction Selector” του παραθύρου μπορούμε να επιλέξουμε την επιθυμητή εντολή και τις παραμέτρους της. Αφού κάνουμε την επιλογή μας, πατούμε στην εντολή “Execute” για να στείλουμε την εντολή στον ελεγκτή. Η απάντηση του ελεγκτή εμφανίζεται στην περιοχή “Answer”. Επιλέγοντας την εντολή “Copy to editor”, αντιγράφεται η επιλεγείσα εντολή στον επεξεργαστή κειμένου σε μνημονική μορφή.

Υπάρχει επίσης και η περιοχή χειροκίνητης λειτουργίας “Manual Instruction Input”. Σε αυτήν μπορεί ο χρήστης να εισάγει απευθείας τους επιθυμητούς αριθμούς κάθε ιδιότητας και να πατήσει το κουμπί “Execute” ώστε να εκτελεστεί η εντολή του. Αυτή η διαδικασία όμως δεν χρησιμοποιείται συχνά. Τέλος, η εντολή “Copy” αντιγράφει την επιθυμητή εντολή από την περιοχή “TMCL Instruction Selector” στην περιοχή Manual Instruction Input”.

4.3.5 Κωδικοποίηση προγράμματος

Για να κωδικοποιήσουμε ένα πρόγραμμα το οποίο έχουμε γράψει στον επεξεργαστή κειμένου, εκτελούμε τη συνάρτηση “Assemble” του μενού “TMCL”. Εάν στον επεξεργαστή κειμένου έχουμε ανοίξει περισσότερα από ένα αρχεία, τότε κωδικοποιείται αυτό που είναι ενεργό, εκτός κι αν έχουμε ορίσει ένα αρχείο ως βασικό (βλ. παράγραφο 4.3.7).

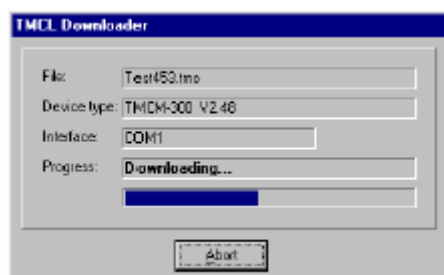


Εικόνα 4-3: Η διαδικασία της κωδικοποίησης

Εάν εντοπιστεί σφάλμα στον κώδικα κατά την διαδικασία της κωδικοποίησης, αυτό θα σημειωθεί στον επεξεργαστή και θα σταματήσει η διαδικασία. Το μήνυμα λάθους θα εμφανιστεί και στο παράθυρο της διαδικασίας της κωδικοποίησης (Εικόνα 4-3).

4.3.6 Φόρτωμα του προγράμματος

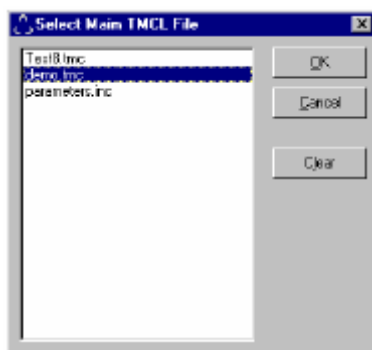
Αφού κωδικοποιήσουμε κατάλληλα ένα πρόγραμμα TMCL μπορούμε να το φορτώσουμε στον ελεγκτή. Για να γίνει αυτό πρέπει να σιγουρευτούμε ότι έχουμε συνδέσει τον ελεγκτή στην σειριακή θύρα του υπολογιστή και αυτή η θύρα είναι επιλεγμένη στο παράθυρο διαλόγου “Options”. Επιλέγοντας τη συνάρτηση “Download”, το πρόγραμμα μεταφέρεται στον ελεγκτή. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-4 και μπορούμε να την σταματήσουμε πατώντας στην εντολή “Abort”.



Εικόνα 4-4: Διαδικασία φορτώματος προγράμματος στον ελεγκτή

4.3.7 Η συνάρτηση “Main File”

Με τη χρήση αυτής της συνάρτησης (Εικόνα 4-5) μπορούμε να επιλέξουμε ένα βασικό αρχείο. Αυτό το αρχείο χρησιμοποιείται πάντα στην κωδικοποίηση, ανεξαρτήτως του αρχείου που είναι ενεργό στον επεξεργαστή κειμένου. Πατώντας “Clear” σταματάμε τη λειτουργία αυτής της συνάρτησης κι έτσι πλέον όταν γίνεται κωδικοποίηση θα γίνεται για το αρχείο που είναι ενεργό στον επεξεργαστή κειμένου.



Εικόνα 4-5: Η εντολή καθορισμού βασικού αρχείου

4.3.8 Οι εντολές “Start”, “Stop”, “Continue”

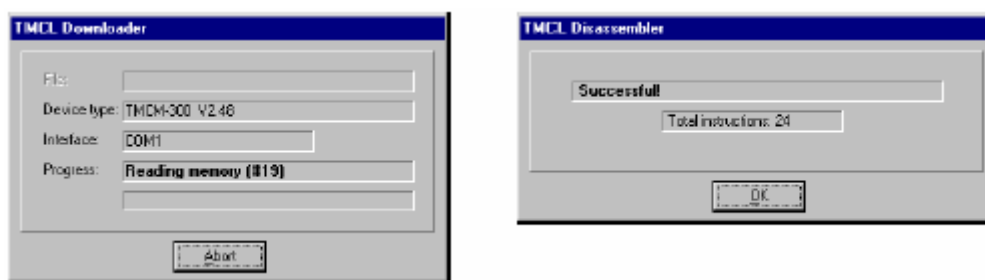
Η εντολή “Start” ξεκινά την εκτέλεση του προγράμματος που είναι αποθηκευμένο στην TMCL μνήμη του ελεγκτή, στέλνοντας απλά μια εντολή αρχικοποίησης και μια εντολή τρεξίματος σε αυτόν. Τότε ο ελεγκτής εκτελεί το πρόγραμμα ξεκινώντας από την πρώτη εντολή του προγράμματος.

Η εντολή “Stop” στέλνει εντολή σταματήματος στον ελεγκτή και σταματά την εκτέλεση ενός προγράμματος TMCL.

Η εντολή “Continue” επιτρέπει τη συνέχιση της εκτέλεσης ενός προγράμματος TMCL του οποίου έχει διακοπεί η λειτουργία του. Αυτό γίνεται με την αποστολή μια εντολής τρεξίματος (χωρίς αποστολή εντολής αρχικοποίησης όπως στην εντολή “Start”). Τότε ο ελεγκτής συνεχίζει την εκτέλεση του προγράμματος από την επόμενη εντολή από εκείνη που είχε σταματήσει.

4.3.9 Αποκωδικοποίηση προγράμματος

Η εντολή “Disassemble” διαβάζει τη μνήμη TMCL του ελεγκτή και αποκωδικοποιεί το περιεχόμενό της. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στη συνέχεια σε μια νέα σελίδα του επεξεργαστή κειμένου. Επομένως αυτή η εντολή επιτρέπει τον έλεγχο του προγράμματος που βρίσκεται κάθε στιγμή αποθηκευμένο στη μνήμη του ελεγκτή. Η διαδικασία της φόρτωσης του προγράμματος από τον ελεγκτή και της αποκωδικοποίησης παρουσιάζεται στα παράθυρα της Εικόνας 4-6. Η διαδικασία μπορεί να σταματήσει ανά πάσα στιγμή με χρήση της εντολής “Abort”.



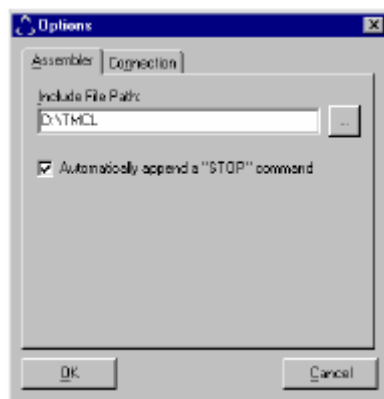
Εικόνα 4-6: Η διαδικασία αποκωδικοποίησης ενός προγράμματος.

4.3.10 Το μενού “Setup”

Το μενού “Setup” περιέχει όλες εκείνες τις συναρτήσεις που βοηθούν στην εγκατάσταση της επικοινωνίας ανάμεσα στο TMCL IDE και τον ελεγκτή και στον ορισμό ιδιοτήτων για το TMCL IDE. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατά σειρά οι εντολές του μενού “Setup”.

4.3.11 Επιλογές αποκωδικοποιητή

Οι επιλογές του αποκωδικοποιητή βρίσκονται στην σελίδα “Assembler” του παραθύρου διαλόγου “Options” (Εικόνα 4-7).



Εικόνα 4-7: Ιδιότητες αποκωδικοποιητή

Υπάρχουν οι ακόλουθες επιλογές:

- ⇒ “Include File Path” : Το σημείο στο οποίο ο αποκωδικοποιητής αναζητά αρχεία παραμέτρων για να τα χρησιμοποιήσει στο πρόγραμμα με τη βοήθεια της εντολής *#include*.
- ⇒ “Automatically append a STOP command” : Εάν αυτή η επιλογή είναι ενεργή, ο αποκωδικοποιητής προσθέτει αυτόματα μια εντολή “STOP” το τέλος κάθε προγράμματος TMCL, εφόσον βέβαια δεν υπάρχει ήδη μια τέτοια εντολή στο τέλος του προγράμματος.

4.3.12 Επιλογές σύνδεσης

Σε αυτό το σημείο επιλέγεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας και η θύρα του υπολογιστή μέσω των οποίων θα γίνει η επικοινωνία υπολογιστή και ελεγκτή. Στην περίπτωση μας η διασύνδεση θα γίνει με χρήση της σειριακής θύρας του υπολογιστή, επομένως επιλέγουμε το πρωτόκολλο RS232/RS485 (Εικόνα 4-8).



Εικόνα 4-8: Ιδιότητες σύνδεσης

Στην συνέχεια εισάγουμε τον αριθμό της σειριακής θύρας του υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθεί, την ταχύτητα διαμεταγωγής (baud rate) και την διεύθυνση (address) του ελεγκτή. Οι εργοστασιακές τιμές είναι 9600 για την ταχύτητα διαμεταγωγής και 1 για την διεύθυνση του ελεγκτή. Σε περίπτωση που δεν γνωρίζουμε τη διεύθυνση του ελεγκτή εκτελούμε την εντολή “Search”. Τότε το TMCL IDE προσπαθεί να βρει αυτόματα αυτή τη διεύθυνση.

Κεφάλαιο 5: Η λειτουργία του TALOS

Η λειτουργία του TALOS είναι ιδιαίτερα απλή, ωστόσο ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τις βασικές εντολές της γλώσσας TMCL. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα λειτουργίας του TALOS ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του.

5.1 Προετοιμασία

Για την λειτουργία του TALOS δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία. Το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι να συνδεθεί η μονάδα ελέγχου και το τροφοδοτικό με το δίκτυο ρεύματος και να ανοιχθούν οι διακόπτες λειτουργίας τους. Στη συνέχεια συνδέεται η μονάδα ελέγχου με τον υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας (εάν δεν είναι ήδη υπαρκτή αυτή η σύνδεση). Τέλος εκτελείται το περιβάλλον προγραμματισμού TMCL στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το TALOS είναι έτοιμο να ελεγχθεί από το χρήστη.

5.2 Λειτουργία

Μέσα από το περιβάλλον προγραμματισμού ελέγχονται όλες οι κινήσεις του TALOS καθώς και η αρπάγη του. Ο συνήθης τρόπος λειτουργίας των ρομπότ αυτού του είδους, είναι η αποθήκευση κάποιων θέσεων (συντεταγμένων) του συστήματος και στη συνέχεια η προσπέλαση αυτών των σημείων. Η αποθήκευση των σημείων γίνεται σε direct mode ενώ η προσπέλαση σε stand-alone mode. Στο παράδειγμα που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιασθούν και οι δύο αυτές λειτουργίες καθώς για τις ανάγκες του παραδείγματος θα θεωρήσουμε ότι ο χρήστης θέλει να μετακινήσει με το TALOS ένα αντικείμενο από μια θέση σε μια άλλη.

5.2.1 Αποθήκευση συντεταγμένων

Για να μπορέσει να κινηθεί το TALOS στην αυτόνομη λειτουργία του θα πρέπει να του δοθούν συντεταγμένες σημείων από τις οποίες θα περάσει. Ο ορισμός αυτών των σημείων γίνεται κατά την διάρκεια της απευθείας λειτουργίας (direct mode) χρήση των εντολών ROL και ROR. Με αυτές τις εντολές μετακινούμε το ρομπότ σε οποιαδήποτε θέση επιθυμούμε. Στην συνέχεια αποθηκεύουμε την επιθυμητή θέση με χρήση της εντολής SCO. Το TALOS έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης 57 (0...56) τέτοιων θέσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να γνωρίζει τις ακριβείς συντεταγμένες κάθε σημείου. Όταν θέλει να επανέλθει σε μια αποθηκευμένη θέση πρέπει μόνο να δώσει το αντίστοιχο νούμερο (0...56) της θέσης. Επίσης κάτι σημαντικό είναι ο ορισμός του σημείου 0, της αρχής δηλαδή των αξόνων. Το σημείο αυτό είναι εξαρχής

ορισμένο στο TALOS. Ωστόσο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αν επιθυμεί να ορίσει ένα νέο μηδενικό σημείο με χρήση της εντολής SAP για κάθε άξονα κίνησης. Αυτή λειτουργία είναι πολύ σημαντική καθώς το TALOS έχει 3 δυνατότητες λειτουργίας:

1. Κίνηση στο απόλυτο σύστημα συντεγμένων
2. Κίνηση στο σχετικό σύστημα συντεταγμένων
3. Κίνηση σε προκαθορισμένη θέση

Έτσι λοιπόν στο παράδειγμα της μετακίνησης ενός αντικειμένου, ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει την απευθείας λειτουργία και να ορίσει τα επιθυμητά σημείο από τα οποία θα περάσει το TALOS κατά τη διάρκεια της μετακίνησης.

Τέλος ο χρήστης καλείται να δώσει εντολή και για το άνοιγμα κλείσιμο της αρπάγης. Η αρπάγη λειτουργεί με αέρα υψηλής πίεσης και ελέγχεται με μια ηλεκτροβαλβίδα διαμέσου μιας ψηφιακής εξόδου του ελεγκτή. Στο TALOS ο έλεγχος αυτός γίνεται μέσω της εξόδου 1 (DOU-1) και με χρήση της εντολής SIO (Set Output). Η εντολή αυτή δέχεται ως όρισμα τις τιμές 0 και 1 οι οποίες αντιστοιχούν στο άνοιγμα και κλείσιμο της αρπάγης αντίστοιχα.

5.2.2 Δημιουργία και Εκτέλεση Προγράμματος

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να κατασκευάσει το πρόγραμμα αυτόνομης λειτουργίας του TALOS. Σε αυτό το πρόγραμμα θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσει την εντολή MVP (Move to Position) η οποία δέχεται ως όρισμα τις συντεταγμένες ενός σημείου και μετακινεί το ρομπότ σε αυτό το σημείο χρησιμοποιώντας παρεμβολή. Το πρόγραμμα κατασκευάζεται στον κειμενογράφο του περιβάλλοντος TMCL-IDE και “φορτώνεται” στον ελεγκτή με χρήση των εντολών Assemble και Download όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Αφού το πρόγραμμα μεταφερθεί στον ελεγκτή, ο χρήστης μπορεί να το εκτελέσει. Τότε το TALOS θα κάνει επιθυμητές κινήσεις και θα μεταφέρει το αντικείμενο.

5.2.3 Κώδικας Παραδείγματος

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιασθεί ένα δείγμα κώδικα που επιτελεί τη μετακίνηση ενός αντικειμένου από τη θέση 1 στη θέση 2. Στον κώδικα περιλαμβάνονται και σχόλια για να γίνει κατανοητή η λειτουργία του.

// Μετακίνηση αντικειμένου

MVP COORD,7,1

// Μετακίνηση στο σημείο 1. Το 7 δηλώνει ταυτόχρονη κίνηση και στους 3 άξονες

SIO 1,2,1

// Κλείσιμο της αρπάγης

MVP COORD,7,2

// Μετακίνηση στο σημείο 2

SIO 1,2,0

// Άνοιγμα της αρπάγης

MVP COORD,7,0

// Επαναφορά στο σημείο 0 (Αρχή των αξόνων)

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις εντολές και τον προγραμματισμό σε TMCL, ο χρήστης καλείται να ανατρέξει στο εγχειρίδιό της [6].

Συμπεράσματα – Επεκτάσεις

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, μελετήθηκε, αποκτήθηκε και εγκαταστάθηκε ένα πλήρες σύστημα ελέγχου για το ρομπότ TALOS. Εγκαθιστώντας το σύστημα ελέγχου στο TALOS και μελετώντας η λειτουργία του, έχουμε τα κάνουμε τις ακόλουθες επισημάνσεις:

- Το TALOS είναι ένα gantry robot το οποίο δύναται να μεταφέρει μικρού μεγέθους αντικείμενα με πολύ μεγάλη ακρίβεια εντός των ορίων του χώρου εργασίας του.
- Το γεγονός της χρήσης βηματικών κινητήρων συντελεί στην επίτευξη αυτής της ακρίβειας και ο έλεγχος γίνεται χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση αισθητήρων θέσης.
- Για τον έλεγχο του ρομπότ χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός υπολογιστής και ένα λογισμικό το οποίο είναι φιλικό προς το χρήστη. Το λογισμικό αποτελείται από απλές εντολές ελέγχου και μπορούμε εύκολα και γρήγορα να ελέγξουμε το TALOS.
- Είναι πολύ βασική η δυνατότητα λειτουργίας του TALOS είτε αυτόνομα είτε σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία πραγματικού χρόνου ο χρήστης μπορεί να μελετήσει μια προς μια τις εντολές ελέγχου και να τις κατανοήσει πλήρως βλέποντας άμεσα το αποτέλεσμα της εκτέλεσης κάθε εντολής. Στη συνέχεια μπορεί να γράψει τα δικά του προγράμματα τα οποία τρέχοντας πλέον σε αυτόνομη λειτουργία δίνουν εκπληκτικές δυνατότητες κίνησης στο TALOS.

Το ρομπότ TALOS αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα με τη χρήση του οποίου μπορεί κάποιος να εκπαιδευτεί στη λειτουργία των ρομπότ τύπου gantry. Ωστόσο κάποιες πιθανές επεκτάσεις στην κατασκευή του TALOS μπορεί να είναι οι ακόλουθες:

- Ο έλεγχος του TALOS στην παρούσα φάση γίνεται με χρήση του λογισμικού TMCL IDE. Θα μπορούσε όμως να κατασκευαστεί και ένας ασαφής ελεγκτής για τον έλεγχο του ρομπότ.
- Η παρούσα χρήση του TALOS έχει ως στόχο τη μεταφορά μικροαντικειμένων εντός των ορίων εργασίας του. Εναλλακτικά θα μπορούσε να αφαιρεθεί από το ιστίο του η αρπάγη και να προσαρμοσθεί σε αυτό μια μηχανή κοπής πλάσματος ή laser. Με αυτό τον τρόπο θα κατασκευαζόταν ένας μικρός παντογράφος.
- Μια πολύ ενδιαφέρουσα επέκταση της κατασκευής θα ήταν η κατασκευή ενός άκρου διδασκαλίας για πιο εύκολο χειρισμό του TALOS αλλά κυρίως για να γίνεται πιο εύκολα κατανοητή η λειτουργία του.

Βιβλιογραφία

- [1] Auslander, D. M. and Kempf, C. J., *Μηχανοτρονική: Προσαρμοστικότητα Μηχανικών Συστημάτων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.
- [2] Γούτης, Α., *Το ηλεκτρολογικό σχέδιο: Μέρος II*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 1996.
- [3] Εμίρης, Δ.Μ. και Κουλουριώτης, Δ.Ε., *Ρομποτική*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ-4Μ Τεκδοτική, Αθήνα, 2004
- [4] Jones, D. W. *Control of Stepping Motors*, University of Iowa, ηλεκτρονική έκδοση: <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/>
- [5] Καλουτσάκης, Γ.Κ., *Σχεδίαση και Ανάπτυξη του Αυτοκινούμενου Οχήματος Hellenak*, *Διπλωματική εργασία*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2003.
- [6] TMCL Reference and Programming Manual, Version 2.10, 2004.