



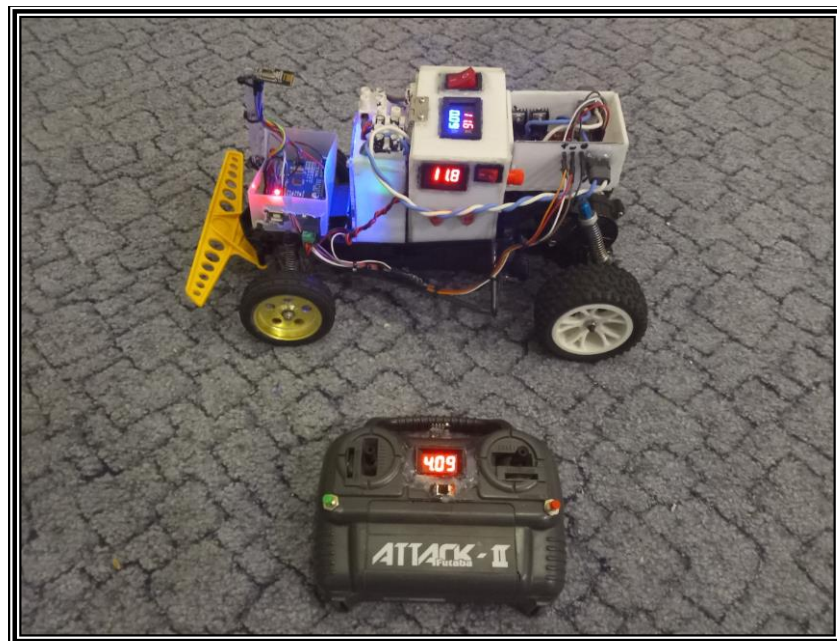
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος



**Φοιτητής: Δημήτριος Ρήγας – Ρηγόπουλος
ΑΜ: 50106828**

**Επιβλέπων:
Διονύσης Κανδρής**

Καθηγητής

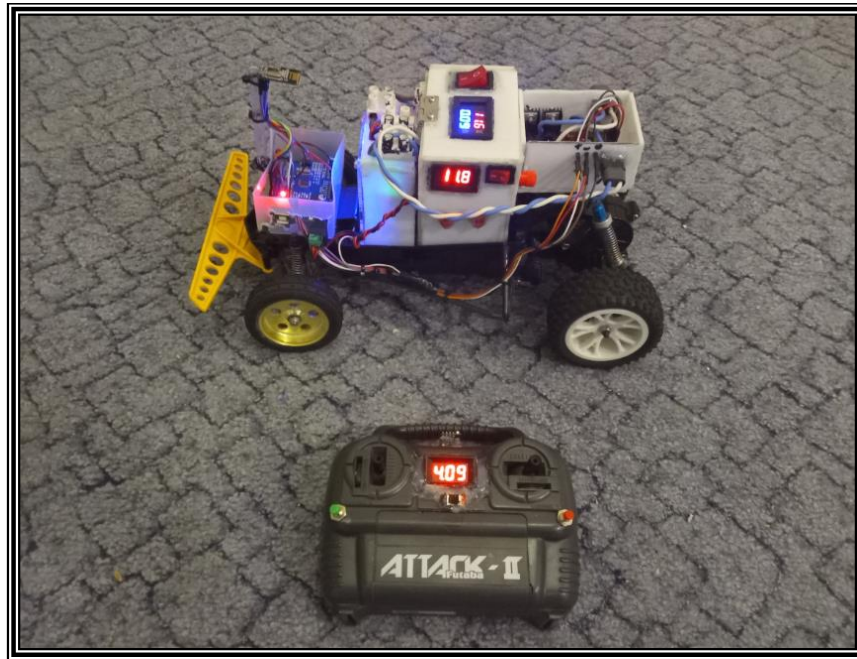
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Development and Programmable Control of a Robotic Vehicle.



Student: Dimitrios Rigas – Rigopoulos
Registration Number: 50106828

Supervisor
Dionisis Kandris

Professor

ATHENS-EGALEO, OCTOBER 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Διονύσης Κανδρής, Καθηγητής	Γρηγόρης Κουλούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής	Ηλίας Ζώης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Δημήτριος Ρήγας – Ρηγόπουλος,
Οκτώβριος 2023.**

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Δημήτριος Ρήγας Ρηγόπουλος του Νικολάου , με αριθμό μητρώου 50106828 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών
Δημήτριος Ρήγας Ρηγόπουλος



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος καθώς και την δημιουργία μίας εφαρμογής απομακρυσμένου ελέγχου του. Παρότι η ανάπτυξη του συγκεκριμένου αντικειμένου θα μπορούσε να υλοποιηθεί με χρήση έτοιμων τμημάτων, επιλέχθηκε το κάθε τμήμα της κατασκευής να αναπτυχθεί εκ νέου. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μία εισαγωγή σε θέματα γύρω από το τομέα της ρομποτικής. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται και αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάπτυξη των υποσυστημάτων. Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η σύνοψη της εργασίας, καταγράφονται τα τεχνικά προβλήματα και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης.

Λέξεις – κλειδιά

Ρομποτική, κινητά ρομπότ, επενεργητές, αρθρώσεις, διαφορικό σύστημα, γέφυρα οδήγησης, σερβοκινητήρας, σύστημα τροφοδοσίας, μικροελεγκτής, απομακρυσμένος έλεγχος, διαμόρφωση εύρους παλμού , πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Abstract

The subject of this thesis is the study, design and development of a wheeled robotic vehicle as well as the creation of a remote control application. Although the development of this particular object could be implemented using ready-made parts, it was chosen to develop each part of the structure from scratch.

In the first chapter of the thesis, an introduction to topics regarding the domain of Robotics is made. The second chapter describes and analyzes the methodology adopted during the development of the subsystems. Finally, in the third chapter, the work is summarized, the technical problems are recorded and the conclusions drawn and proposals for future development made are presented.

Keywords

Robotics, mobile robots, actuators, joints, differential system, H-bridge, servomotor, power system, microcontroller, remote control, pulse width modulation, communication protocol.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Εικόνων	9
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	14
Σκοπός και στόχοι	14
Μεθοδολογία.....	15
Καινοτομία	15
Δομή	15
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή στα ρομποτικά συστήματα.....	16
1.1 Εισαγωγή 1 ^{ου} κεφαλαίου.....	16
1.2 Τι ορίζεται ως ρομπότ.	16
1.3 Περιγραφή δομής ενός ρομποτικού συστήματος.....	17
1.3.1 Σύστημα Ελέγχου	18
1.3.2 Υποσύστημα Αίσθησης.	20
1.3.3 Μηχανολογικό υποσύστημα - σύστημα κίνησης.	22
1.4 Η επιστήμη της ρομποτικής.....	30
1.4.1 Ρομπότ σταθερής βάσης - Ρομποτικοί χειριστές. (Robotic Manipulator)	31
1.4.2 Κινούμενα ρομπότ (Mobile robots).....	36
1.5 Εισαγωγή στα τηλεχειριζόμενα τροχοφόρα ρομποτικά οχήματα.	39
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάπτυξη τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.....	46
2.1 Εισαγωγή 2 ^{ου} κεφαλαίου.....	46
2.2 Η προέλευση ρομποτικού οχήματος.....	46
2.2.1 Παρουσίαση των πρωταρχικών υποσυστημάτων.....	46
2.2.2 Εισαγωγή στα μηχανολογικά χαρακτηριστικά του οχήματος.....	49
2.2.3 Μετατροπές στα μηχανικά μέρη.....	53
2.3 Μελέτη του συστήματος τροφοδοσίας και διανομής ισχύος.....	55
2.3.1 Η μελέτη της επιλογής των εξαρτημάτων.....	56
2.3.2 Σχεδιασμός του συστήματος τροφοδοσίας και υπολογισμός της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος στα υποσυστήματα του οχήματος.	61
2.3.3 Κατασκευαστική πορεία του συστήματος τροφοδοσίας.	63
2.3.4 Πειραματικές δοκιμές και μετρήσεις.....	68
2.4 Μελέτη των συστημάτων πίσω κίνησης και διεύθυνσης.....	70
2.4.1 Επιλογή κατάλληλου κυκλώματος οδήγησης και προσδιορισμός των εξαρτημάτων για τα συστήματα της κίνησης και της διεύθυνσης.	70
2.4.2 Σχεδιασμός και ανάλυση του κυκλώματος οδήγησης του κινητήρα DC.....	74
2.4.3 Κατασκευαστική πορεία και προσαρμογή του κυκλώματος H-bridge επάνω στο όχημα.	77
2.4.4 Δοκιμές λειτουργίας και πειραματικές μετρήσεις επάνω στα συστήματα διεύθυνσης και πίσω κίνησης.	80
2.4.5 Ρύθμιση servomotor , έλεγχος συστήματος διεύθυνσης μπροστινών τροχών	84
2.5 Απομακρυσμένος έλεγχος ρομποτικού οχήματος.....	85
2.5.1 Διερεύνηση και επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων.....	85
2.5.2 Σχεδίαση του συστήματος απομακρυσμένης επικοινωνίας μεταξύ του χειριστήριου και του ρομποτικού οχήματος.....	89
2.5.3 Κατασκευαστική πορεία συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.	93
2.5.4 Πειραματικές μετρήσεις και δοκιμές στην λειτουργία του ασύρματου χειριστήριου.	99
2.6 Προγραμματισμός μικροελεγκτών σε χειριστήριο και ρομποτικό όχημα.....	102

2.6.1	Περιγραφή κώδικα του Arduino εκπομπός (Transmitter code).....	103
2.6.2	Περιγραφή κώδικα του Arduino δέκτης (Receiver code)	106
3	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	110
3.1	Σύνοψη εργασίας	110
3.2	Προβλήματα και αντιμετώπιση	110
3.3	Συμπεράσματα	113
3.4	Προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη	114
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	115
	Τεχνικά Φυλλάδια Κατασκευαστών (Datasheets)	121
	Παράρτημα Α	123
	Περιγραφή κώδικα του Arduino εκπομπός (Transmitter code)	123
	Περιγραφή κώδικα του Arduino δέκτης (Receiver code)	125

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΤΕΡ RS-380SH [4].....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ LI-ION PANASONIC NCR18650B 3400MAH [8].....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ BMS PROTECTION BOARD [9].....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ DC-DC BUCK CONVERTER 5-32V, 3A [11]	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ DC-DC BUCK CONVERTER 4-32V, 10A [11]	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ USB DC-DC BUCK CONVERTER 7-24V, 3A [11].....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8 ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ POWERBANK ΚΑΙ ΤΟΥ STEPDOWN CASE.	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9 ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΣΤΙΣ ΕΞΟΔΟΥΣ ΤΩΝ DC- DC ΚΑΙ Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΕ ΝΑ ΑΠΟΔΩΣΕΙ ΤΟ POWERBANK.	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LM741CN AMPLIFIER [12]	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ N-MOSFET IRFZ44N [13]	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.12 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΟΔΟΥ UF600J [14].....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SERVOMOTOR FUTABA S3003 [15].....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14 ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ H – BRIDGE ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ.	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.15 ΤΑ ΤΡΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΤΩΝ PWM ΠΑΛΜΩΝ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.16 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ.	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.17 ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ-Η.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.18 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟΥ ARDUINO UNO [30].....	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.19 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ NRF24L01 MODULE	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.20 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ TP4056 [28].....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.21 ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.22 PINOUT ΤΩΝ ARDUINO ΚΑΙ ΤΩΝ NRF24L01 ΤΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ.....	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.23 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ ΕΚΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.24 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΑΛΦΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΚΤΕΛΕΣΕΙ ΤΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ.....	105

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΝΟΗΣΕ Ο ISAAC ASIMOV [44].....	17
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΑΡΘΡΩΣΗ [46].....	17
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [47].....	18
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ NVIDIA® JETSON NANO™ DEVELOPER KIT [48].....	19
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΑΝΩ ΜΕΡΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ : ΣΤΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΟΠΩΣ OFFSET, SLOPE OF SENSITIVITY. ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ : ΣΤΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΟΠΩΣ ACCURACY, PRECISION. [50].....	20
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ [50]	20
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΙΔΙΟΔΕΚΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΞΩΔΕΚΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ [52].....	21

ΕΙΚΟΝΑ 8 ΛΑΒΙΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΗΝ ΣΤΙΓΜΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΥΛΙΚΟΥ [56].....	23
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΛΑΒΙΔΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΝΩΝ ΧΑΛΥΒΑ [57].....	23
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΛΑΒΙΔΑ ΕΛΞΗΣ Η ΟΠΟΙΑ ΑΝΥΨΩΝΕΙ ΚΙΒΩΤΙΑ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ [57].....	23
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΜΑΡΚΑΔΟΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΙΑΣ ΛΑΒΙΔΑΣ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ [58].....	24
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΙΑΣ ΑΡΠΑΓΗΣ ΒΕΡΝΟΥΛΛΙ [60].....	24
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ. ΔΕΞΙΑ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ [61].....	26
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΕΙΔΗ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ [61].....	26
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΗ [63].....	28
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΘΕΣΗΣ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ [65].....	28
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ ΒΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [69].....	29
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΚΙΒΩΤΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ [70].....	30
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΒΑΣΕΙΣ [73].....	32
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΑΙ ΑΝΟΙΧΤΟ ΒΡΟΓΧΟ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ [46].....	32
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ [78].....	34
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ GANTRY [77].....	34
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ [78].....	35
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ [78].....	35
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ SCARA [78].....	36
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ DELTA [78].....	36
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΜΠΝΕΥΣΤΕΙ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ [72]....	37
ΕΙΚΟΝΑ 28 AVG ΡΟΜΠΟΤ ΠΟΥ ΤΥΛΙΓΕΙ ΡΟΛΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ [82].....	38
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΤΕΤΡΑΠΟΔΟ ΡΟΜΠΟΤ "BIGDOG" ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ ΓΙΑ ΝΑ ΚΟΥΒΑΛΑΕΙ ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΑΣΧΙΖΟΝΤΑΣ ΑΝΩΜΑΛΟ ΕΔΑΦΟΣ [83].....	38
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΤΟ OSIBOT HEAVY ROV ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΟΧΗΜΑ ΒΑΡΕΩΣ ΤΥΠΟΥ [85].....	39
ΕΙΚΟΝΑ 31 AERYON SCOUT ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΜΙΚΡΟ ΤΕΤΡΑΚΟΠΤΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙ ΣΤΙΣ ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ [86].....	39
ΕΙΚΟΝΑ 32 NASA MARS ROVER [89].....	40
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ SV1000 [90].....	40
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΤΕΣΣΕΡΕΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΡΟΧΩΝ [91].....	41
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ [97].....	44
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΔΙΕΠΑΦΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΟΜΠΟΤ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ANDROID ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ [101], ΔΕΞΙΑ: ΔΙΕΠΑΦΗ ΜΕΣΩ ΟΘΟΝΗΣ ΑΦΗΣ ΠΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ ΣΤΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ROS ΚΑΙ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΥΣ ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤ, ΤΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΟΠΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΟΔΟ ΜΙΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΙ [102].....	45
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΟΧΗΜΑ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ MINICRAFT MODEDLS , INC. BOX 3577, TORRANCE, CA. 90510 [1].....	46
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΗ ΜΟΡΦΗ [1].....	47
ΕΙΚΟΝΑ 39 Η ΚΕΡΑΙΑ ΜΕ ΤΟΝ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΣΤΟΝ ΔΕΚΤΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΜΕΤΑΒΑΛΕΙ ΤΗΝ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 41 Η ΨΗΚΤΡΑ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΤΕΡ ΠΙΣΩ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 42 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 43 ΕΛΑΤΗΡΙΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ (ΚΕΝΤΡΙΚΑ), ΆΞΟΝΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΡΟΣΤΙΝΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (ΔΕΞΙΑ) [1].....	49

ΕΙΚΟΝΑ 44 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ SERVOMOTOR ΣΤΟ ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΣΑΣΙ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ [1]	50
ΕΙΚΟΝΑ 45 ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ [1]	50
ΕΙΚΟΝΑ 46 ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΙΣΩ ΚΙΝΗΣΗΣ [1]	50
ΕΙΚΟΝΑ 47 BRUSHED DC ELECTRIC MOTOR. [5]	51
ΕΙΚΟΝΑ 48 ΜΟΤΕΡ RS-380SH	51
ΕΙΚΟΝΑ 49 ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΤΕΡ RS-380SH [4]	52
ΕΙΚΟΝΑ 50 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΤΕΡ ΕΠΑΝΩ ΣΤΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.	52
ΕΙΚΟΝΑ 51 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 52 ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 53 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	54
ΕΙΚΟΝΑ 54 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΡΟΔΕΛΩΝ ΣΤΑ ΑΝΩ ΑΚΡΑ ΤΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ	54
ΕΙΚΟΝΑ 55 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΡΟΧΩΝ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 56 ΚΕΛΙΑ ΤΥΠΟΥ LI-ION PANASONIC NCR18650B 3400ΜΑΗ	56
ΕΙΚΟΝΑ 57 ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΑΣΗΣ-ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ DATASHEET LI-ION PANASONIC NCR18650B ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ [8]	57
ΕΙΚΟΝΑ 58 BM098-3S-40A LI-ION BATTERY PROTECTION BOARD [9]	57
ΕΙΚΟΝΑ 59 LED DC VOLT – AMPERE METER 100V, 10A [10]	59
ΕΙΚΟΝΑ 60 DC-DC BUCK CONVERTER 5-32V, 3A [11]	59
ΕΙΚΟΝΑ 61 DC-DC BUCK CONVERTER 4-32V, 10A [11]	60
ΕΙΚΟΝΑ 62 USB DC-DC BUCK CONVERTER 7-24V, 3A [11]	60
ΕΙΚΟΝΑ 63 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ POWERBANK ΚΑΙ STEPDOWN CASE ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΙΝΑ-ΤΙ	62
ΕΙΚΟΝΑ 64 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΗΚΗΣ POWERBANK	63
ΕΙΚΟΝΑ 65 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ Η ΘΗΚΗ ΤΟΥ POWERBANK.	64
ΕΙΚΟΝΑ 66 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΛΙΘΙΟΥ	64
ΕΙΚΟΝΑ 67 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΑΝΩ ΜΕΡΟΥΣ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΟΙ ΜΠΟΡΝΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ. ΔΕΞΙΑ: Ο ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ON – OFF ,ΤΟ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.	65
ΕΙΚΟΝΑ 68 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ BMS PROTECTION BOARD ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΛΕΜΑΣ ΕΞΟΔΟΥ.	65
ΕΙΚΟΝΑ 69 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	65
ΕΙΚΟΝΑ 70 ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΓΥΜΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΦΩΝ ΜΕ ΣΙΛΙΚΟΝΗ	66
ΕΙΚΟΝΑ 71 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΠΙΣΩ ΟΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΟΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΕΙ ΟΙ STEPDOWN CONVERTER ΔΕΞΙΑ: Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ STEPDOWN CASE	66
ΕΙΚΟΝΑ 72 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΠΟ DC ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ. ΔΕΞΙΑ: Η ΚΛΕΜΑ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ BMS BOARD, ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	67
ΕΙΚΟΝΑ 73 ΚΛΕΜΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΟ STEPDOWN CASE	67
ΕΙΚΟΝΑ 74 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΛΙΘΙΟΥ. ΔΕΞΙΑ: ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	68
ΕΙΚΟΝΑ 75 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΈΝΔΕΙΞΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΤΗΣ LED ΘΘΟΝΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ. ΔΕΞΙΑ: ΈΝΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	68
ΕΙΚΟΝΑ 76 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ STEPDOWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΗΣ H – BRIDGE. ΔΕΞΙΑ: ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ STEPDOWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΩΝ SERVOMOTOR ΚΑΙ ARDUINO.	69
ΕΙΚΟΝΑ 77 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΤΟΥ ΜΟΤΕΡ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ (ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΣΤΑ 0,680Α), ΔΕΞΙΑ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΤΟΥ ΜΟΤΕΡ ΜΕ ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ (ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΣΤΑ 7,61Α)	69
ΕΙΚΟΝΑ 78 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ-Η [16]	70
ΕΙΚΟΝΑ 79 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ LM741CN. [12]	71
ΕΙΚΟΝΑ 80 PINOUT N-MOSFET IRFZ44N [13]	71
ΕΙΚΟΝΑ 81 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ULTRAFASST ΔΙΟΔΟΣ UF600J [14]	72

ΕΙΚΟΝΑ 82 SERVOMOTOR FUTABA S3003 [15].....	73
ΕΙΚΟΝΑ 83 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ Η – BRIDGE ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NI MULTISIM 14.	74
ΕΙΚΟΝΑ 84 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ [18]	75
ΕΙΚΟΝΑ 85 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ Η-BRIDGE.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 86 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ-Η.	77
ΕΙΚΟΝΑ 87 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Ο ΧΩΡΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ-Η. ΔΕΞΙΑ: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.	78
ΕΙΚΟΝΑ 88 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΠΛΑΪΝΗ ΟΨΗ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ.ΔΕΞΙΑ: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ Η-BRIDGE.	78
ΕΙΚΟΝΑ 89 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΗΚΗΣ ΣΤΟΝ ΧΩΡΟ, ΕΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ. ΔΕΞΙΑ: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ Η-BRIDGE ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 90 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΕΙΣΟΔΟΙ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ. ΔΕΞΙΑ: Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ-Η ΜΕ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DC.	79
ΕΙΚΟΝΑ 91 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ VTHRESHOLD ΣΤΗΝ ΔΙΟΔΟ SHOTTKY 1N5822 (0,23V). ΔΕΞΙΑ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ VTHRESHOLD ΣΤΗΝ ΔΙΟΔΟ ULTRAFASΤ UF600J (0,52V).....	81
ΕΙΚΟΝΑ 92 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΤΟΥ Μ.Φ. ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ SHOTTKY 1N5822 (28,6 MS). ΔΕΞΙΑ: : ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΤΟΥ Μ.Φ. ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ ULTRAFASΤ UF600J (35,2 MS).....	81
ΕΙΚΟΝΑ 93 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ Η-BRIDGE.	82
ΕΙΚΟΝΑ 94 ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΟΡΙΑΚΗ ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ ΣΤΙΣ 70 ΜΟΙΡΕΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 95 ΔΕΞΙΑ ΟΡΙΑΚΗ ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ ΣΤΙΣ 130 ΜΟΙΡΕΣ	84
ΕΙΚΟΝΑ 96 ΓΩΝΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΡΟΣΤΙΝΩΝ ΤΡΟΧΩΝ ΣΤΙΣ 100 ΜΟΙΡΕΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 97 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ PINS ΕΝΟΣ ARDUINO UNO [31].....	86
ΕΙΚΟΝΑ 98 NRF24L01 MODULE ,ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ [33]	87
ΕΙΚΟΝΑ 99 ΠΛΑΚΕΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΛΙΘΙΟΥ TP4056 [28].....	88
ΕΙΚΟΝΑ 100 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ [39].....	90
ΕΙΚΟΝΑ 101 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ NRF24L01 MODULE ΚΑΙ ARDUINO UNO [33].....	91
ΕΙΚΟΝΑ 102 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΙΝΑ-TI.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 103 Η ΑΡΧΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ ΣΕ ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 104 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΘΗΚΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ. ΔΕΞΙΑ: ΠΡΟΧΕΙΡΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	94
ΕΙΚΟΝΑ 105 ΤΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΘΗΚΗΣ	94
ΕΙΚΟΝΑ 106 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ LED ΣΤΟ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 107 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΥΟ BUTTON ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	95
ΕΙΚΟΝΑ 108 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ARDUINO UNO ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΟ JOYSTICK	96
ΕΙΚΟΝΑ 109 ΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΤΟΥ DC JACK ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΠΑΤΑΡΙΟΘΗΚΗ.	96
ΕΙΚΟΝΑ 110 ΤΟ ΚΛΥΚΛΩΜΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 111 ΥΠΟΔΟΧΕΣ ΤΩΝ JUMPER WIRES ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 112 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ NRF24L01 MODULE ΚΑΙ Η ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΘΥΡΑ USB . ΔΕΞΙΑ: ΤΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΡΦΗ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 113 ΤΟ ARDUINO UNO ΚΑΙ Η ΚΕΡΑΙΑ NRF24L01 ΕΠΑΝΩ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 114 Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ ΟΤΑΝ Η ΛΑΒΗ ΤΟΥ JOYSTICK ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΕΡΜΑ ΔΕΞΙΑ	100
ΕΙΚΟΝΑ 115 Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ ΟΤΑΝ Η ΛΑΒΗ ΤΟΥ JOYSTICK ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 116 Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ ΟΤΑΝ Η ΛΑΒΗ ΤΟΥ JOYSTICK ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΕΡΜΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	100
ΕΙΚΟΝΑ 117 ΕΙΚΟΝΑ 2.81 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ARDUINO IDE [40]	102
ΕΙΚΟΝΑ 118 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΑΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ BMS PROTECTION BOARD	111
ΕΙΚΟΝΑ 119 ARDUINO MODULES HC-05 BLUETOOTH ΚΑΙ NRF24L01.....	112

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ADC: Analog to digital converter

BMS: Battery management systems

IDE: Integrated development environment

LED: Light-emitting diode

PWM: Pulse-width modulation

ROS: Robot operating system

SOP: Small-outline package

SPI: Serial Peripheral Interface

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τάσεις της παγκόσμιας αγοράς φανερώνουν ότι οι υπηρεσίες Ρομποτικής θα αυξηθούν εκθετικά τα επόμενα χρόνια και αυτό επιβεβαιώνεται από την εξάπλωση των ρομποτικών εφαρμογών σε όλους τους τομείς της σύγχρονης ζωής. Η χρήση των ρομποτικών συστημάτων στην βιομηχανία, αυτοματοποιεί τις μεθόδους παραγωγής αποφέροντας αύξηση της ταχύτητας στην εκτέλεση των εργασιών, αποφυγή των εργατικών ατυχημάτων, βελτίωση των υπηρεσιών και μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής. Σύμφωνα με το ινστιτούτο ρομποτικής των Η.Π.Α. (Robot Institute of America) με τον όρο ρομπότ χαρακτηρίζεται ένας προγραμματιζόμενος πολύ λειτουργικός μηχανισμός, σχεδιασμένος να υλοποιεί συγκεκριμένες ενέργειες με κατάλληλα προγραμματισμένες κινήσεις. Τα ρομπότ χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες τα κινητά και τα ρομπότ σταθερής βάσης. Ο όρος κινητό ρομπότ απευθύνεται σε μηχανικές κατασκευές που διαθέτουν δυνατότητα αυτόνομης η καθοδηγούμενης κίνησης. Στη μελέτη του συγκεκριμένου τομέα δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα τα τελευταία χρόνια καθώς πολλά ερευνητικά ιδρύματα εμπλουτίζουν τη διεθνή βιβλιογραφία με εξελίξεις στο πεδίο των κινούμενων ρομπότ. Τα κινούμενα τηλεχειριζόμενα ρομποτικά οχήματα μπορούν να πλοηγηθούν μέσα σε ελεγχόμενα και μη περιβάλλοντα, καθοδηγούμενα από μία απομακρυσμένη συσκευή ελέγχου την οποία διαχειρίζεται ένας χειριστής. Τα προηγμένα συστήματά τους σε συνδυασμό με το πλήθος των αισθητήρων που διαθέτουν προλαμβάνουν την έγκαιρη ενημέρωση του χειριστή τους για την κατάσταση του χώρου στον οποίο κινούνται ή εργάζονται. Το πεδίο εφαρμογής τους, εκτείνεται από τη βιομηχανία, και τον οικιακό αυτοματισμό, έως διαστημικές ή υποβρύχιες εξερευνητικές αποστολές και στρατιωτικές επιχειρήσεις.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στη παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ένα τροχοφόρο ρομποτικό όχημα μικρής κλίμακας τύπου buggy καθώς και ένα φορητό ασύρματο χειριστήριο για τον απομακρυσμένο έλεγχο του οχήματος. Παρουσιάζονται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη των υποσυστημάτων του ρομποτικού συστήματος όπως και θέματα γύρω από τομείς της ρομποτικής. Εξετάζεται επίσης το πρόβλημα μελέτης των μηχανικών μερών του οχήματος καθώς και ο σχεδιασμός των υποσυστημάτων παροχής ενέργειας, κίνησης, πλοήγησης και απομακρυσμένου ελέγχου. Τέλος περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που μεσολάβησε κατά την ανάπτυξη κάθε επιμέρους τμήματος καθώς και οι τεχνικές δυσκολίες με τον τρόπο αντιμετώπισης τους.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η κατανόηση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος το οποίο θα μπορεί να καθοδηγηθεί στο χώρο μέσω ενός ασυρμάτου χειριστηρίου. Βασικοί στόχοι πλην της σχεδίασης και της ανάπτυξης αποτέλεσαν η τροποποίηση των μηχανικών μερών του οχήματος ώστε να μπορεί να διαχειριστεί περισσότερο βάρος, να περιοριστούν οι μηχανικές καταπονήσεις κατά την οδήγηση και να γίνει πιο σωστά η κατανομή των εξαρτημάτων. Η εξοικονόμηση του χώρου, έγινε μέσω συγκεκριμένης τοποθέτησης των εξαρτημάτων διευκολύνοντας την πρόσβαση σε αυτά σε ενδεχόμενη αντικατάστασή τους. Επίσης συμπεριλήφθηκε η απαραίτητη υποδομή στο όχημα ώστε μελλοντικά να μπορεί αναβαθμιστεί με την ενσωμάτωση ενός συστήματος αίσθησης.

Μεθοδολογία

Για την σχεδίαση και την υλοποίηση ενός ρομποτικού οχήματος καθώς και της εφαρμογής ελέγχου του, θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να προσδιοριστεί το είδος της χρησιμότητας της συγκεκριμένης εφαρμογής και σε δεύτερο στάδιο να επεξηγηθούν αναλυτικά τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτήθηκε όσο και το υλικό και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκαν. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία αφορά την υλοποίηση της δομής ενός τηλεχειριζόμενου ρομποτικού οχήματος και ενός ασύρματου χειριστηρίου που επικοινωνούν μεταξύ τους σε διάταξη δέκτη – εκπομπού καθώς και των διασυνδέσεων των μεταξύ τους εξαρτημάτων. Στη πορεία αναλύονται διεξοδικά όλα τα επιμέρους στάδια της μελέτης επιλογής εξαρτημάτων, του σχεδιασμού και της κατασκευής για όλα τα υποσυστήματα φτάνοντας στο στάδιο προγραμματισμού του ρομπότ που γίνεται σε γλώσσα υψηλού επιπέδου. Μέσω του προγραμματισμού υλοποιείται η λειτουργία του απομακρυσμένου ελέγχου του ρομποτικού οχήματος. Επίσης μία επιπλέον σημαντική σχεδιαστική παράμετρο αποτελεί το είδος του προτύπου επικοινωνίας που χρησιμοποιείται μεταξύ των δύο συσκευών ώστε να περιορίζονται όσο το δυνατό περισσότερο τα σφάλματα κατά την μετάδοση των εντολών.

Καινοτομία

Πρόκειται για μία εργασία που αποσκοπεί στην δημιουργία και κατασκευή ενός τηλεχειριζόμενου ρομποτικού τροχοφόρου οχήματος ικανό για οδήγηση στην ύπαιθρο όπως και σε ομαλό έδαφος. Τόσο η δομή όσο και η κατασκευή του οχήματος βασίζονται στην μορφή ενός οχήματος buggy μικρής κλίμακας ενώ η απομακρυσμένη του λειτουργία στηρίζεται στις βασικές αρχές οδήγησης μέσω τηλεχειρισμού. Επίσης το υπάρχον σύστημα διαθέτει την κατάλληλη υποδομή για την δυνατότητα αναβάθμισης μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων η ενός ελεγκτή τεχνητής νοημοσύνης.

Δομή

Η δομή της συγκεκριμένης εργασίας χωρίζεται σε τρία βασικά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στις κατηγορίες και τα είδη των ρομποτικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται γενικότερα όπως και στα βασικότερα δομικά τους χαρακτηριστικά. Γίνεται μία επιπλέον εμβάθυνση στην κατηγορία των τηλεχειριζόμενων τροχοφόρων ρομπότ αναφέροντας τα κυριότερα υποσυστήματα τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός του ρομποτικού συστήματος καθώς και τα στάδια των ενδιαμέσων πειραματικών δοκιμών που ακολούθησαν. Επίσης αναφέρονται αναλυτικά τα εργαλεία, οι μέθοδοι και το ειδικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη των ηλεκτρονικών διατάξεων. Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται η σύνοψη της εργασίας, τα προβλήματα που προέκυψαν και οι τρόποι αντιμετώπισης τους, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή στα ρομποτικά συστήματα.

1.1 Εισαγωγή 1^{οο} κεφαλαίου

Το πρώτο μέρος της εργασίας αυτής εστιάζει στα διάφορα είδη των ρομποτικών συστημάτων και στους τομείς τους οποίους βρίσκουν εφαρμογή ενώ το δεύτερο μέρος επικεντρώνεται περισσότερο στην ανάπτυξη ενός τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος και του τρόπου απομακρυσμένου ελέγχου του. Επίσης στο πρώτο μέρος, γίνεται μία εξοικείωση του αναγνώστη με τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά των ρομπότ, των βασικών διατάξεων και των τμημάτων που χρησιμοποιούν ενώ προς το τέλος του κεφαλαίου γίνεται περεταίρω εμβάθυνση στο τομέα των τροχοφόρων τηλεχειριζόμενων ρομποτικών οχημάτων καθώς και των υποσυστημάτων που διαθέτουν.

1.2 Τι ορίζεται ως ρομπότ.

Η εξέλιξη των μηχανών που κατασκευάζει ο άνθρωπος από την αρχαιότητα μέχρι και την σημερινή εποχή αντικατοπτρίζεται από την ανάπτυξη των ρομποτικών συστημάτων. Η λέξη ρομπότ προέρχεται από την Τσέχικη λέξη *Robota* που σημαίνει καταναγκαστική εργασία ενώ η ίδια η λέξη επίσης σημαίνει σκλάβος. Ο επίσημος ορισμός ο οποίος δίνεται και περιγράφει των ρομπότ είναι επαναπρογραμματιζόμενα αυτοκινούμενα η τηλεχειριζόμενα μηχανήματα, καταλληλά σχεδιασμένα έτσι ώστε να εκτελούν μία ποικιλία λειτουργιών και διαδικασιών. Μία ρομποτική μηχανή μπορεί να εκτελεί διάφορες λειτουργίες με ταχύτητα και ακρίβεια, καθοδηγούμενη από μία εξωτερική συσκευή ελέγχου η ενός ενσωματωμένου χειριστήριου. Οι ρομποτικές μηχανές αναπτύσσονται τάχιιστα με το σκοπό να αντικαταστήσουν την παρουσία του ανθρώπου σε επικίνδυνα περιβάλλοντα εργασίας η τον ίδιο τον άνθρωπο στις εργασίες που κάνει λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειας και επαναληψιμότητας που παρέχουν σε διαδικασίες παραγωγής [41] [42].

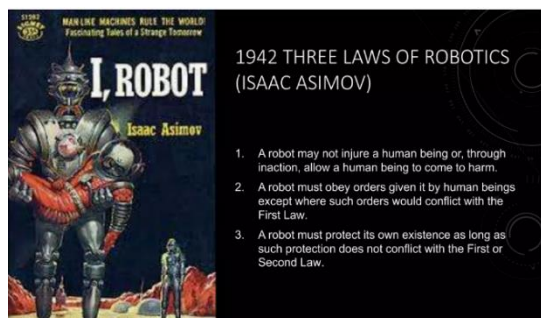
Τα ρομπότ δεν πρέπει να συγχέονται με τις κοινές αυτοματοποιημένες συσκευές διότι οι δύο αυτές έννοιες διαχωρίζονται από άποψη τεχνοτροπίας και λειτουργικότητας. Οι βασικότερες διαφορές που έχει ένα κοινό ρομπότ σε σχέση με μία αυτοματοποιημένη μηχανή είναι:

- Πρέπει να έχει την δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της ψηφιακής μνήμης.
- Πρέπει να έχει την δυνατότητα συλλογής ερεθισμάτων από τον περιβάλλοντα χώρο, να μπορεί να επεξεργάζεται τα νέα δεδομένα και βάσει αυτών και των εντολών που έχει , να παίρνει αποφάσεις.
- Πρέπει να είναι ευπροσάρμοστο, δηλαδή να μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να εκτελεί μία ποικιλία εφαρμογών.

Μεγάλη ήταν η συνεισφορά στην επιστήμη και ειδικά στον τομέα της ρομποτικής από τον Ρώσο συγγραφέα Isaac Asimov ο οποίος επινόησε τους τρεις νόμους που πρέπει να διέπουν κάθε ρομποτική μηχανή [44].

- *Τα ρομπότ δεν πρέπει να βλάπτουν τον άνθρωπο με άμεσο τρόπο αλλά ούτε και μέσω της αδράνειας τους.*

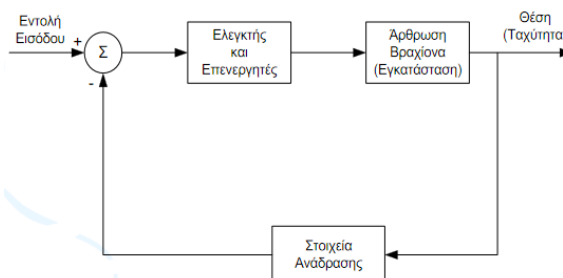
- Τα ρομπότ πρέπει να υπακούνε στον άνθρωπο, εκτός και εάν οι εντολές τους αντιβαίνουν στον πρώτο νόμο.
- Τα ρομπότ πρέπει να προστατεύουν την ύπαρξη τους εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο και τον δεύτερο νόμο.



Εικόνα 1 Οι τρεις νόμοι που επινόησε ο Isaac Asimov [44]

1.3 Περιγραφή δομής ενός ρομποτικού συστήματος.

Γενικά, υπάρχουν διάφοροι τύποι ρομπότ οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε πολλά και ποικίλα περιβάλλοντα εργασίας για διαφορετικές χρήσεις. Ασχέτως όμως από την λειτουργία για την οποία αναπτύσσεται ένα ρομπότ, όλα παρουσιάζουν ομοιότητες όσο αφορά τα δομικά τους συστατικά. Τα δύο δομικά συστατικά μέρη στα οποία βασίζεται η δομή όλων ρομπότ αποτελούν το μηχανικό και το ηλεκτρονικό μέρος. Στο μηχανικό μέρος ανήκουν όλα εκείνα τα μηχανικά εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται από ένα ρομπότ για να καταφέρει να ολοκληρώσει την κίνηση του ενώ στο ηλεκτρονικό μέρος ανήκουν όλα εκείνα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και οι διατάξεις στα οποία το ρομπότ βασίζει τη παροχή της τροφοδοσίας του, την συλλογή των ερεθισμάτων από τον εξωτερικό χώρο και την επεξεργασία των δεδομένων. Ο έλεγχος ενός ρομπότ περιλαμβάνει τρεις διακριτές φάσεις κατά την λειτουργία του ,την αντίληψη, την επεξεργασία και την δράση. Η αντίληψη πραγματοποιείται μέσω των ποικίλων αισθητήρων που διαθέτει και του παρέχουν τις πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον η της ίδιας του της κατάστασης. Για παράδειγμα οι αισθητήρες σε έναν ρομποτικό χειριστή του δίνουν πληροφορία για την θέση των αρθρώσεων ή του τελικού άκρου εργασίας. Στην συνέχεια οι πληροφορίες αυτές υποβάλλονται σε επεξεργασία ώστε να μεταδοθούν ως τα κατάλληλα σήματα στους επενεργητές. Οι επενεργητές κινούν συντονισμένα την μηχανική δομή του ρομπότ ολοκληρώνοντας τις απαιτούμενες ενέργειες κίνησης και δύναμης [43], [45].



Εικόνα 2 Τυπικό διάγραμμα ελέγχου σε μία ρομποτική άρθρωση [46]

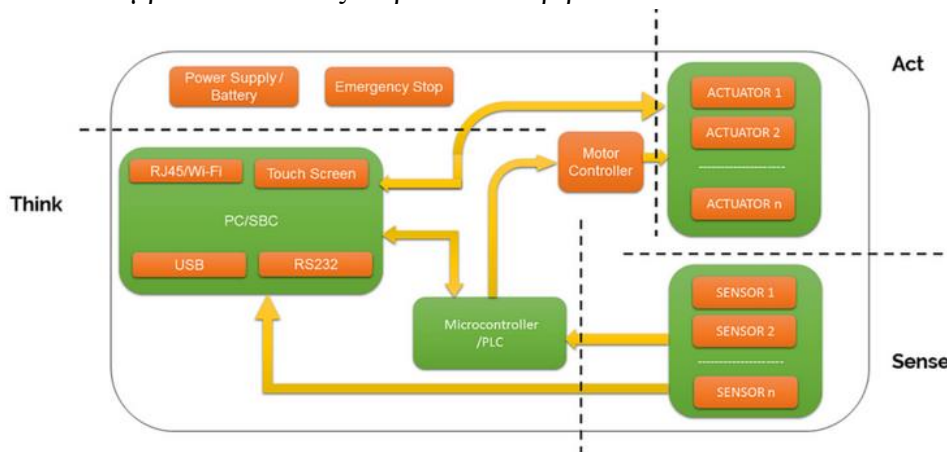
Επομένως όσον αφορά τα δομικά συστατικά κάθε τύπου και κατηγορίας ρομποτικού συστήματος, ανεξάρτητα από την είδος της πολυπλοκότητα τους , αποτελούνται από τρία κύρια μέρη, **μηχανολογικό υποσύστημα – σύστημα κίνησης, υποσύστημα αίσθησης και σύστημα ελέγχου.**

1.3.1 Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου πρόκειται για το τμήμα του ρομπότ από όπου περνούν όλες οι εντολές, λαμβάνονται όλες οι αποφάσεις και γενικότερα ελέγχεται η ευρύτερη του συμπεριφορά. Ένας ελεγκτής παρέχει την απαραίτητη νοημοσύνη που χρειάζεται ένα ρομποτικό σύστημα ώστε το ίδιο να είναι σε θέση να προσδιορίζει τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, να τα μετατρέπει σε μορφή χρήσιμης πληροφορίας, να διαμορφώνει τις εντολές ελέγχου που πρόκειται να αποσταλούν στις μονάδες παραγωγής κίνησης (actuators) και να πραγματοποιεί στοιχειώδεις εργασίες [43] [47]. Τα βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται σε κάθε ρομποτικό σύστημα ελέγχου είναι τα ακόλουθα:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας η οποία μπορεί να είναι είτε ένας μικροεπεξεργαστής είτε ένας μικροελεγκτής, αναλόγως τις ζητούμενες επεξεργαστικές επιδόσεις και την πολυπλοκότητα των ενεργειών που πρέπει να εκτελεί το ρομπότ.
- Μνήμη συστήματος ,ώστε να φορτώνεται το λογισμικό ελέγχου και να καταχωρούνται τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες.
- Οι κατάλληλοι δίαυλοι και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για την διασύνδεση του μικροελεγκτή με τα υπόλοιπα περιφερειακά όπως αισθητήρες, επενεργητές κτλ.
- Προδιαγεγραμμένο λογισμικό και υλικό που να λειτουργεί ως η διεπαφή μεταξύ του χρήστη και του ρομποτικού συστήματος πραγματοποιώντας έτσι την γενικότερη εποπτεία αυτού.

Ο ρόλος του μικροελεγκτή στο σύστημα ελέγχου, που απεικονίζεται στην Εικόνα 3, θα μπορούσε να παραλληλιστεί με το ρόλο ενός εγκεφάλου ο οποίος σκέφτεται και παίρνει αποφάσεις σύμφωνα με τα ερεθίσματα που λαμβάνει από το εξωτερικό του περιβάλλον



Εικόνα 3 Τυπικό διάγραμμα ροής ενός ρομποτικού συστήματος [47]

Στα σύγχρονα εμπορικά ρομποτικά συστήματα οι τεχνικές ελέγχου είναι εξαιρετικά πολύπλοκες, ενσωματώνουν πολλαπλούς αισθητήρες και τελεστές, έχουν πολλούς αλληλοεπιδρώντες βαθμούς ελευθερίας (DOF) και απαιτούν διεπαφές χειριστή, περιβάλλοντα προγραμματισμού και δυνατότητες σε πραγματικό χρόνο. Συχνά είναι διασυνδεδεμένα με ευρύτερα δίκτυα επικοινωνίας ενώ σε αρκετές περιπτώσεις ενσωματώνουν τεχνολογίες IoT. Η πρόοδος προς τις «ανοιχτές ή «υβριδικές»

αρχιτεκτονικές έχουν βοηθήσει τους προγραμματιστές ρομποτικού λογισμικού να προχωρήσουν πέρα από τις παραδοσιακές έννοιες των «κλειστών» συστημάτων ελέγχου των ρομπότ. Οι ελεγκτές ανοιχτής αρχιτεκτονικής μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στις αυξανόμενες απαιτήσεις ενός ευρύτερου φάσματος ρομποτικών εφαρμογών [43]. Μία πλατφόρμα ανοιχτής αρχιτεκτονικής η οποία προορίζεται για ανάπτυξη προχωρημένων ρομποτικών εφαρμογών είναι το **NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit**. Το συγκεκριμένο αναπτυξιακό είναι ένας μικρός ισχυρός υπολογιστής που επιτρέπει την παράλληλη εκτέλεση πολλαπλών νευρονικών δικτύων όπως για εφαρμογές ταξινόμησης εικόνων, ανίχνευσης αντικειμένων, επεξεργασίας ομιλίας, κτλ [48]. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αναπτυξιακού NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit.



	NVIDIA Jetson Nano Dev Kit-B01	reComputer Jetson Nano 4G Advance Dev Kit (10-1-H0)
AI performance	472 GFLOPS	
GPU	128-core NVIDIA Maxwell™	
CPU	Quad-core ARM A57 @ 1.43 GHz	
Memory	4GB 64-bit LPDDR4 25.6GB/s	
Storage	microSD (Card not included)	16 GB eMMC
Video encoder	4Kp30 4x 1080p30 9x 720p30 (H.264/H.265)	4K30 2x1080p60 4x1080p30 4x720p60 9x720p30 (H.265 & H.264)
Video decoder	8Kp60 2x 4Kp30 8x 1080p30 18x 720p30 (H.264/H.265)	4K60 2x 4K30 4x 1080p60 8x 1080p30 9x 720p60 (H.265 & H.264)
Gigabit Ethernet	1 x RJ45 Gigabit Ethernet (10/100/1000)	
USB	4 x USB 3.0 Type A Connector 1 x Micro-USB port for 5V power input, or for Device Mode	4 x USB 3.0 Type A Connector 1 x Micro-USB port for Device mode
Fan connector	1 x Fan connector (5V PWM)	
Camera connector	2 x CSI Camera (15 pos, 1mm pitch, MIPI CSI-2)	
Display	1 x HDMI Type A	
M.2 key	1 x M.2 Key E	1 x M.2 Key E (Disabled) 1 x M.2 Key M
RTC socket	1 x RTC socket	
GPIO pin	1 x 40-Pin header	
Power input	DC Jack 5V=3A; Micro-USB 5V=2A	DC Jack 12V/2A
Dimension	100 mm x 80 mm x 29 mm (no case)	130mm x120mm x 50mm(with case)

Εικόνα 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit [48]

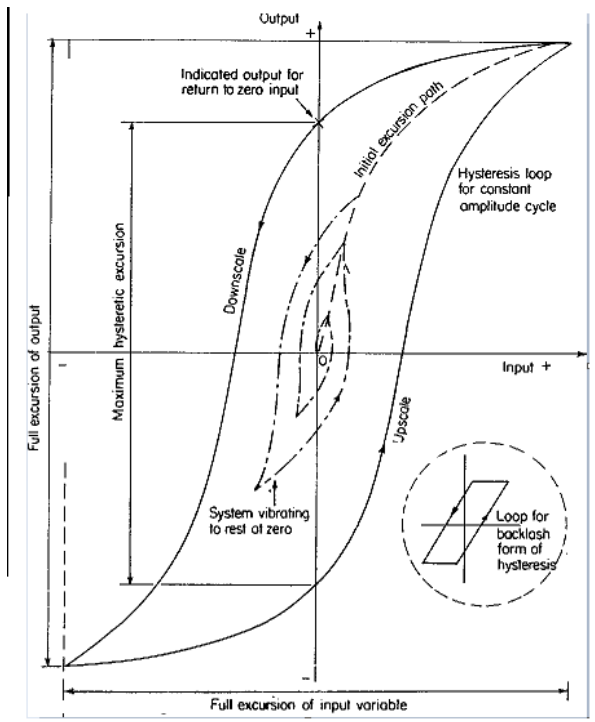
Τα συστήματα ελέγχου των ρομποτικών εφαρμογών μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας. Παρακάτω αναφέρονται οι συνηθέστερες περιπτώσεις συνεργασίας μεταξύ ενός ανθρώπου και ενός ρομπότ ανάλογα με το βαθμό αλληλεπίδρασης και ελέγχου.

- Τηλεχειρισμός. Όταν ο χειριστής ελέγχει και καθορίζει την κάθε κίνηση και την κάθε αλλαγή επενεργητή.
- Εποπτικός έλεγχος. Όταν ο χειριστής καθορίζει γενικές κινήσεις ή αλλαγή θέσης αλλά το ρομπότ αποφασίζει για συγκεκριμένες κινήσεις των επενεργητών του.
- Αυτονομία σε επίπεδο εργασίας. Όταν ο χειριστής καθορίζει μόνο την εργασία και το ρομπότ καταφέρνει μόνο του να την ολοκληρώσει.
- Πλήρης αυτονομία. Όταν το ρομπότ καθορίζει και εκτελεί όλες τις εργασίες του χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου.

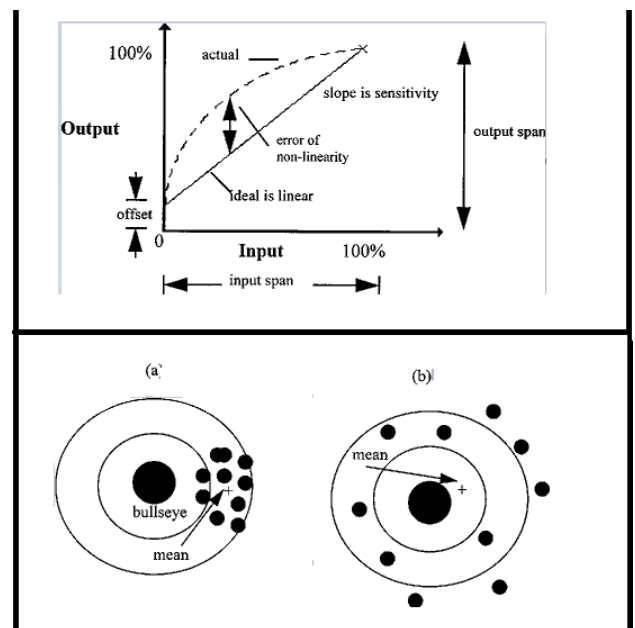
1.3.2 Υποσύστημα Αίσθησης.

Οι αισθητήρες είναι τα όργανα που επιτρέπουν σε ένα ρομπότ να συλλέγει πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο γύρω του αλλά και για την ίδια του κατάσταση. Με χρήση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες, ένα ρομπότ μπορεί να έχει επίγνωση της τρέχουσας κατάστασης του αλλά και να είναι σε θέση, να προσαρμόσει την συμπεριφορά του ανάλογα στο χώρο. Οι αισθητήρες είναι συσκευές που μπορούν να μετρούν ένα μέγεθος και να το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Το παραγόμενο σήμα οδηγείται μέσω ενός κλειστού βρόγχου ανάδρασης πίσω στην είσοδο του ελεγκτή και συγκρίνεται με μία επιθυμητή τιμή. Τα είδη των αισθητήρων που υπάρχουν, ποικίλουν ανά τεχνικά χαρακτηριστικά και είδος χρησιμότητας. Οι αισθητήρες βάσει της μορφής του σήματος που παράγουν στην έξοδο, ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, τους αναλογικούς και τους ψηφιακούς. Στους αναλογικούς αισθητήρες το σήμα εξόδου αποτελείται από συνεχείς τιμές τάσης ενώ στους ψηφιακούς από διακριτές τιμές στο πεδίο του χρόνου [49] Μερικά από τα πιο κοινά χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν οι περισσότεροι αισθητήρες είναι:

- Ακρίβεια (*accuracy*)
- Ακρίβεια προσέγγισης (*precision*)
- Εύρος τιμών εισόδου (*range*)
- Συστηματικό σφάλμα (*bias*)
- Ευαισθησία (*sensitivity*)



Εικόνα 6 Εμφάνιση φαινομένου υστέρησης στην λειτουργία ενός αισθητήρα [50]



Εικόνα 5 Άνω μέρος Εικόνας : Στατικά χαρακτηριστικά αισθητήρα όπως offset, slope of sensitivity. Κάτω μέρος Εικόνας : Στατικά χαρακτηριστικά αισθητήρα όπως accuracy, precision. [50]

- Υστέρηση (*hysteresis*)
- Νεκρή ζώνη (*dead zone*)
- Ελάχιστο σήμα κατοφλίου (*offset*)
- Διακριτική ικανότητα (*resolution*)

Η επιλογή του καταλληλότερου τύπου αισθητήρα αποτελεί παράμετρο ζωτικής σημασίας στην λειτουργικότητα ενός ρομπότ διότι το υποσύστημα αίσθησης είναι εκείνο που ενημερώνει τον χρήστη αν το σύστημα του ρομπότ λειτουργεί ομαλά. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στις ρομποτικές εφαρμογές διακρίνονται στους ιδιοδεκτικούς (Proprioceptive) και στους εξωδεκτικούς (Exteroceptive). Η κατηγοριοποίηση αυτή των αισθητήρων προκύπτει από το είδος της χρήσης και της τοποθέτησή τους μέσα στο ρομποτικό σύστημα και όχι εξαιτίας του ίδιου του τύπου του αισθητήρα. Οι ιδιοδεκτικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας των επενεργητών που βρίσκονται εντός του ρομπότ ενώ οι εξωδεκτικοί χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των εξωτερικών δεδομένων και για την κίνηση του ρομπότ ανάμεσα από τα φυσικά εμπόδια [46] [51] Μερικοί τύποι ιδιοδεκτικών και εξωδεκτικών αισθητήρων παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι ιδιοδεκτικοί αισθητήρες (Proprioceptive) μετρούν :

- θέση αρθρώσεων
 - ποτενσιόμετρα (potentiometers)
 - οπτικοί κωδικοποιητές (absolute / incremental)
 - ταχύτητα αρθρώσεων
 - ταχύμετρα (tachometers)
- δυνάμεις και ροπές
 - αισθητήρες δύναμης-ροπής (force-torque sensors).



Εικόνα 7 Ιδιοδεκτικοί και εξωδεκτικοί τύποι αισθητήρων [52]

Οι εξωδεκτικοί αισθητήρες (Exteroceptive) μετρούν :

- αισθητήρες αφής (tactile sensors)
- αισθητήρες προσέγγισης (proximity sensors)
- αισθητήρες ευρούς (range sensors)
 - υπερηχητικοί (ultrasonic sensors)
 - Laser Range Finders
 - αισθητήρες υπερύθρων (infrared sensors)
- Κάμερες.

Ένας εναλλακτικός τρόπος ταξινόμησης των αισθητήρων είναι ο διαχωρισμός τους σε παθητικούς και ενεργητικούς. Οι παθητικοί αισθητήρες μετρούν παθητικά την περιβαλλοντική ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα τους ενώ οι ενεργοί αισθητήρες στέλνουν ενέργεια προς το περιβάλλον για να καταφέρουν να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις. Μερικά παραδείγματα παθητικών αισθητήρων είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας, τα μικρόφωνα και οι κάμερες. Η ενεργητική ανίχνευση μπορεί να

επιτύχει μεγαλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την παθητική λόγω της δυνατότητας ελέγχου των μετρήσεων. Ωστόσο, οι μετρήσεις μερικές φορές επηρεάζονται από τυχαία σφάλματα, τα οποία είναι δύσκολο ή αδύνατο να μοντελοποιηθούν. Στους ενεργούς αισθητήρες περιλαμβάνονται quadrature encoders, αισθητήρες υπερήχων και laser rangefinders [53].

1.3.3 Μηχανολογικό υποσύστημα - σύστημα κίνησης.

Το υποσύστημα κίνησης είναι υπεύθυνο για την συντονισμένη κίνηση ολόκληρου του ρομπότ η για την μερική κίνηση επιμέρους τμημάτων του. Τα τμήματα τα οποία απαρτίζουν το σύστημα κίνησης είναι οι σύνδεσμοι, οι αρθρώσεις, το τελικό στοιχείο δράσης, οι επενεργητές και τα ενδιάμεσα στοιχεία μετάδοσης κίνησης. Οι αρθρώσεις, οι σύνδεσμοι και το τελικό στοιχείο δράσης εντοπίζονται ως επί το πλείστον σε ρομποτικούς χειριστές σταθερής βάσης καθώς και σε εφαρμογές κινούμενων ρομπότ τα οποία διαθέτουν εγκατεστημένους επάνω τους ρομποτικούς βραχίονες [41], [43]. Όλα τα προαναφερθέντα μηχανικά τμήματα, συνεργάζονται εναρμονισμένα μεταξύ τους ώστε να ολοκληρώνεται οποιαδήποτε κινητική λειτουργία του ρομπότ με επιτυχία. Η κινητική λειτουργία αυτή μπορεί να αφορά μόνο την κίνηση του ρομπότ στο περιβάλλοντα χώρο ή την συμμετοχή του κατά την εξέλιξη μίας επαναλαμβανόμενης κατασκευαστικής διαδικασίας ή την επεξεργασία ενός αντικειμένου.

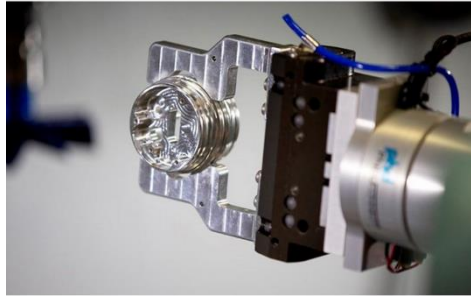
ι. Τελικό στοιχείο δράσης ή τελικός τελεστής.

Το τελικό στοιχείο δράσης ενός ρομπότ μπορεί να είναι οποιοδήποτε εργαλείο (tool) η λαβίδα (gripper) που εγκαθίστανται στο τελικό του άκρο. Ο τελικός τελεστής επιτρέπει στο ρομπότ να υλοποιεί μία συγκεκριμένη εργασία επάνω σε ένα αντικείμενο. Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των εργασιών που εκτελούνται από τα βιομηχανικά, ερευνητικά, στρατιωτικά ρομπότ, ο τελικός τελεστής μπορεί να κατασκευάζεται μόνο κατά παραγγελία, αποκλειστικά και ειδικά για μία μόνο συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή [55].

ο Λαβίδες (grippers).

Οι λαβίδες είναι τελεστές οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούνται για να πιάνουν η να χειρίζονται αντικείμενα κατά την εργασία ενός ρομπότ. Επειδή τα αντικείμενα που χειρίζονται μπορεί έχουν διάφορα σχήματα μεγέθη και βάρη, οι λαβίδες μπορεί σχεδιάζονται μόνο για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και χρήσης της κάθε λαβίδας, χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

- Τις λαβίδες μηχανικής πίεσης (Impactive Grippers), οι οποίες χρησιμοποιούν δαγκάνες η μηχανικά δάκτυλα ασκώντας απευθείας μηχανική πίεση επάνω στο αντικείμενο το οποίο χειρίζονται ώστε να το επεξεργαστούν η να το ανυψώσουν. Επίσης όσα περισσότερα μηχανικά δάκτυλα διαθέτουν τόσο ακριβέστερο χειρισμό επιτυγχάνουν.



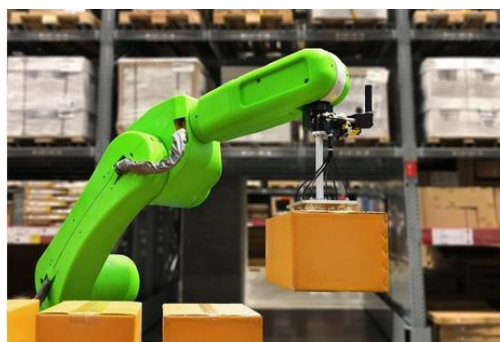
Εικόνα 8 Λαβίδα μηχανικής πίεσης την στιγμή της συγκράτησης ενός υλικού [56]

- Τις λαβίδες διείσδυσης (Ingressive Grippers), οι οποίες χρησιμοποιούν βελόνες η αιχμηρά στελέχη ώστε να διεισδύουν στην επιφάνεια των αντικειμένων και με τον τρόπο αυτό να τα επεξεργάζονται. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως ο χειρισμός ινών άνθρακα και γυαλιού, όπου η φυσική σύλληψη του αντικειμένου δεν είναι τόσο δυνατή και αποτελεσματική.



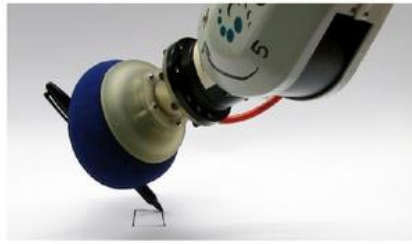
Εικόνα 9 Λαβίδα διείσδυσης σε επεξεργασία ινών γάλυβα [57]

- Τις λαβίδες έλξης (Astrictive Grippers), οι οποίες μέσω της εφαρμογής ελκτικών δυνάμεων μπορούν να βεντουζώνουν επάνω στην επιφάνεια ενός υλικού. Οι δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια του υλικού μπορεί να είναι είτε μαγνητικές, είτε ηλεκτροστατικές είτε στατικές κτλ. Συνήθως χρησιμοποιούνται για το χειρισμό προϊόντων με ευαίσθητες επιφάνειες, όπως βαφή ή συσκευασία προϊόντα σε σακούλες.



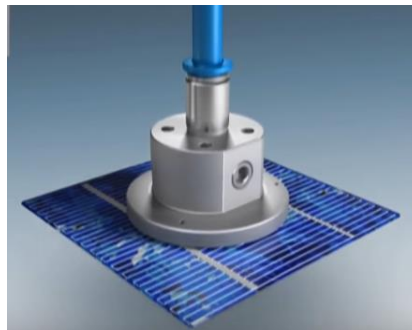
Εικόνα 10 Λαβίδα έλξης η οποία ανυψώνει κιβώτια με τη βοήθεια ηλεκτροστατικών δυνάμεων [57]

Τις λαβίδες πρόσφυσης (Contigutive Grippers), οι οποίες προσκολλώνται επάνω στην επιφάνεια ενός υλικού διαμέσου χρήσης κόλλας ή τοπικής ψύξης.



Εικόνα 11 Χειρισμός ενός μαρκαδόρου μέσω μίας λαβίδας πρόσφυσης [58]

Στις τέσσερις προηγούμενες κατηγορίες δεν συγκαταλέγονται όλες οι ρομποτικές λαβίδες κάθε τύπου. Ωστόσο υπάρχουν και βιομηχανικές λαβίδες οι οποίες εκμεταλλεύονται τη ροή του αέρα μεταξύ της αρπάγης και ενός αντικειμένου καταφέροντας έτσι με τον τρόπο αυτό να το ανυψώσουν. Οι συγκεκριμένες λαβίδες εκμεταλλεύονται την αρχή του Bernoulli [59], δημιουργούν ένα πεδίο δύναμης μέσω του αέρα, ώστε να διατηρήσουν στο χώρο εκεί ανάμεσα ένα αντικείμενο περιορισμένο.



Εικόνα 12 Μεταφορά ευαίσθητων επιφανειών με χρήση μίας αρπάγης Bernoulli [60]

Μηχανισμός λαβίδας μηχανικής πίεσεως.

Ο μηχανισμός της συγκεκριμένης λαβίδας δύο η περισσότερων εύκαμπτων η δύσκαμπτων δακτύλων λειτουργεί, ασκώντας μηχανική πίεση επάνω στην επιφάνεια ενός υλικού. Τα δάκτυλα της λαβίδας τοποθετούνται γεωμετρικά γύρω από την επιφάνεια του υλικού και καθώς αυτά κλείνουν προς τα μέσα, ασκούν μηχανική πίεση επάνω στον υλικό με σκοπό να το επεξεργαστούν, να το στρέψουν ή να το μετακινήσουν προς μία κατεύθυνση. Ο υπολογισμός της δύναμης η οποία ασκείται επάνω στο υλικό κατά την εφαρμογή των δακτύλων της λαβίδας μπορεί να υπολογιστεί μέσω της παρακάτω μαθηματικής σχέσης 1.1 [55].

$$F = \frac{m \cdot a}{\mu \cdot n} \quad (1.1)$$

Όπου F είναι η δύναμη που εφαρμόζεται επάνω στο αντικείμενο.

m : η μάζα του αντικειμένου.

a : η επιτάχυνση του αντικειμένου.

μ : ο συντελεστής τριβής.

n : το πλήθος των δακτύλων της λαβίδας.

ο **Εργαλεία (tools)**

Τελικά στοιχεία δράσης όπως οι λαβίδες αποτελούν επίσης και τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου ένα ρομπότ υποβάλλεται σε επεξεργασία αντικειμένων. Όταν ένα ρομπότ διαθέτει ως τελικό στοιχείο δράσης ένα εργαλείο, το χειρίζεται για να επεξεργαστεί ή να κόψει ένα αντικείμενο το οποίο βρίσκεται ακίνητο ή επάνω σε έναν κινούμενο διάδρομο[54]. Παραδείγματα εργαλείων τα οποία χρησιμοποιούνται ως τελικά στοιχεία δράσης στα ρομπότ (τύπου σταθερής βάσης), είναι :

- Πιστόλι συγκόλλησης τόξου (*arc welding gun*).
- Πιστόλι συγκόλλησης σημείου (*spot welding gun*).
- Πιστόλι βαφής σπρέι (*spray painting gun*).
- Εργαλείο κοπής με πίδακα νερού υπό πίεση (*water jet cutting tool*)
- Εργαλείο συναρμολόγησης (*assembly tool*)
- Άξονας διάτρησης (*rotating spindle for drilling*)

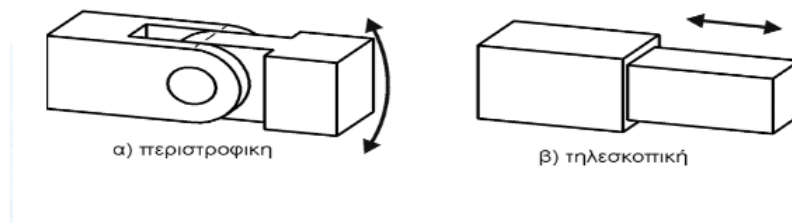
ii. Αρθρώσεις και σύνδεσμοι.

Οι αρθρώσεις αποτελούν τους μηχανισμούς που επιτρέπουν την σχετική κίνηση μεταξύ δύο συνδέσμων, μεταξύ ενός συνδέσμου και μίας βάσης ρομποτικού βραχίονα όπως και μεταξύ ενός συνδέσμου και ενός τελικού στοιχείου δράσης. Οι σύνδεσμοι είναι τα στερεά τμήματα τα οποία συνδέονται μέσω των αρθρώσεων με το σύνολο τους δημιουργεί το σκελετό ενός ρομποτικού βραχίονα. Η ικανότητα της κίνησης ενός ρομποτικού βραχίονα μέσα στο χώρο εργασίας του, περιγράφεται από ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών με βάσει τις οποίες αναπαρίστανται πλήρως η θέση των υλικών τμημάτων του στο χώρο. Το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών καθορίζει τους **βαθμούς ελευθερίας** (Degree of Freedom (DoF))του ρομποτικού συστήματος [61], [67].

ο Είδη αρθρώσεων με έναν βαθμό ελευθερίας.

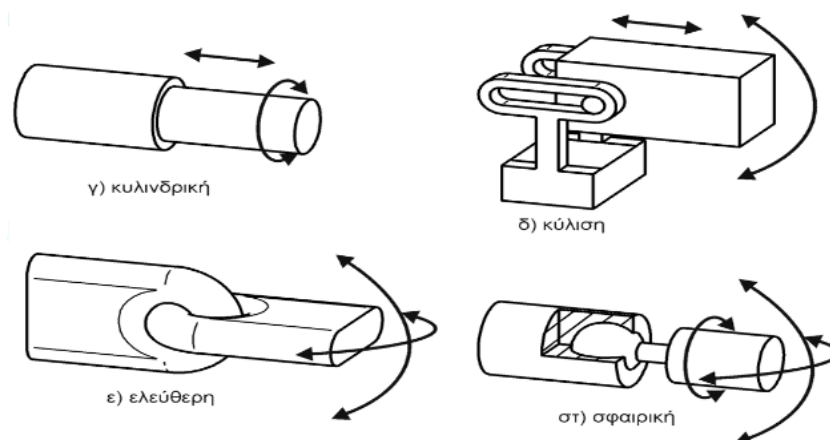
- **Περιστροφική άρθρωση**, είναι άρθρωση η οποία προσφέρει έναν βαθμό ελευθερίας στο σύστημα , επιτρέποντας στο σώμα να περιστρέφεται μόνο σε ένα επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η σχετική στρέψη μεταξύ δύο γειτονικών συνδέσμων.

- **Πρισματική άρθρωση**, είναι άρθρωση η οποία προσφέρει έναν βαθμό ελευθερίας στο σύστημα, επιτρέποντας την σχετική μετατόπιση μεταξύ δύο γειτονικών συνδέσμων. Επίσης το σώμα μετατοπίζεται στην διεύθυνση ενός εκ των δύο αξόνων αποκόποντας κάθε άλλη δυνατότητα κίνησης.



Εικόνα 13 Αριστερά: Παράδειγμα περιστροφικής άρθρωσης. Δεξιά: Παράδειγμα τηλεσκοπικής άρθρωσης [61]

- ο Είδη σύνθετων αρθρώσεων με **περισσότερους του ενός βαθμούς** ελευθερίας.
 - **Κυλινδρική άρθρωση**, είναι άρθρωση με δύο βαθμούς ελευθερίας και επιτρέπει στο σώμα μία μεταφορική κίνηση στην διεύθυνση του ενός άξονα και μία περιστροφική κίνηση γύρω από τον ίδιο άξονα.
 - **Άρθρωση κύλισης**, είναι άρθρωση με δύο βαθμούς ελευθερίας και επιτρέπει στο σώμα μία μεταφορική και μία περιστροφική κίνηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο άξονας της περιστροφικής κίνησης είναι κάθετος ως προς τον άξονα που πραγματοποιείται η μεταφορική κίνηση.
 - **Ελεύθερη άρθρωση**, είναι άρθρωση με δύο βαθμούς ελευθερίας μέσω της οποίας εκτελούνται δύο περιστροφικές κινήσεις και καμία μεταφορική.
 - **Σφαιρική άρθρωση**, είναι άρθρωση με τρεις βαθμούς ελευθερίας που παρέχει την δυνατότητα περιστροφικής κίνησης σε τρεις άξονες ενώ δεν προβλέπει καμία μεταφορική κίνηση.



Εικόνα 14 Είδη αρθρώσεων με περισσότερους του ενός βαθμούς ελευθερίας [61].

iii. Επενεργητές και ενδιάμεσα στοιχεία μετάδοσης κίνησης.

Η κίνηση ενός ρομπότ βασίζεται στους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης (επενεργητές) και στα ενδιάμεσα στοιχεία μετάδοσης κίνησης. Οι επενεργητές είναι στην ουσία μηχανές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την μετακίνηση η τον έλεγχο ενός ρομποτικού συστήματος. Για να καταφέρει να λειτουργήσει ένας επενεργητής χρειάζεται ένα σήμα ελέγχου και μία πηγή ενέργειας. Το σήμα ελέγχου το οποίο δέχεται είναι σχετικά χαμηλής ενέργειας και μπορεί να έχει την μορφή είτε ηλεκτρικής τάσης είτε πνευματικής ή υδραυλικής δύναμης. Βάσει του τρόπου λειτουργίας τους, οι επενεργητές χωρίζονται συνήθως σε τρεις κατηγορίες , τους υδραυλικούς, τους πνευματικούς και τους ηλεκτρικούς. Εκτός του μηχανισμού μετάδοσης κίνησης στον οποίο μπορεί να βασίζεται η κίνηση μίας άρθρωσης η ακόμη και ενός ολόκληρου ρομποτικού συστήματος είναι εξίσου απαραίτητη και η χρήση των ενδιάμεσων στοιχείων μετάδοσης κίνησης. Μέσω των ενδιάμεσων στοιχείων, η κίνηση που προέρχεται από έναν επενεργητή μεταδίδεται προς το υπόλοιπο σώμα στο οποίο πρέπει να καταλήξει. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί η μετάδοση της κίνησης μέσω του επενεργητή να φτάνει στο σώμα χωρίς την χρήση ενδιάμεσου στοιχείου[46], [62]. Παραδείγματα διάφορων ενδιάμεσων στοιχείων είναι:

- *Μηχανισμός με γρανάζια.*
- *Μηχανισμός με αλυσίδες.*
- *Μηχανισμός με ιμάντες και τροχαλίες.*
- *Μηχανισμός με γρανάζια και κοχλίες*

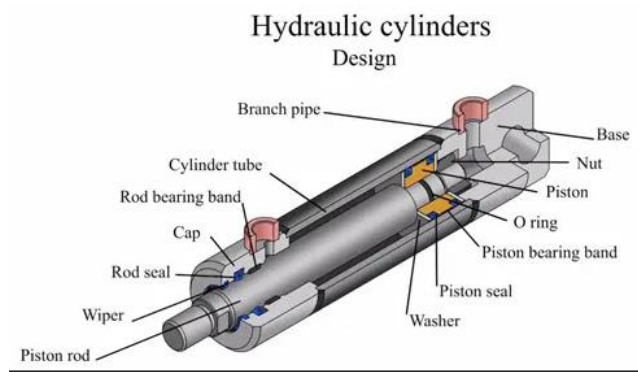
Άσχετα από το είδος του επενεργητή το οποίο χρησιμοποιείται, η μετάδοση της κίνησης ολοκληρώνεται είτε γραμμικά είτε περιστροφικά. Οι επενεργητές οι οποίοι προορίζονται για ρομποτικές εφαρμογές, πρέπει να διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά λειτουργίας: [41] [46]

- *Χαμηλή αδράνεια.*
- *Καλή αναλογία ισχύος – βάρους.*
- *Ικανότητα υψηλής επιτάχυνσης.*
- *Μεγάλο εύρος ταχυτήτων.*
- *Ακρίβεια στην επιβαλλόμενη τροχιά.*

ο **Υδραυλικός Επενεργητής (Hydraulic Actuator).**

Οι υδραυλικοί επενεργητές αποτελούνται από μία υδρομηχανική διάταξη που μέσα της βρίσκεται ένα υγρό υπό υψηλή πίεση. Η οποιαδήποτε μεταβολή μέσα στην μηχανή, προκαλεί την ροή ενός υγρού επάνω σε έναν υδραυλικό κύλινδρο ασκώντας του υδραυλική πίεση. Ο κύλινδρος στην συνέχεια ασκεί πίεση στη πίσω μεριά ενός εμβόλου. Η μηχανική κίνηση του εμβόλου συνήθως είναι είτε γραμμική είτε περιστροφική είτε ταλαντευόμενη ανάλογα με το τύπο της διάταξης. Το πλεονέκτημα της χρήσης υδραυλικών επενεργητών είναι ότι μπορούν

να ασκήσουν μεγάλες υδραυλικές δυνάμεις και ροπές σε μικρές ταχύτητες κάνοντας τους ιδανικούς σε εφαρμογές με ρομποτικούς βραχίονες [62], [63].



Εικόνα 15 Το εσωτερικό σύστημα ενός υδραυλικού επενεργητή [63]

ο Πνευματικός Επενεργητής (Pneumatic Actuator).

Οι πνευματικοί επενεργητές μετατρέπουν την ενέργεια του πεπιεσμένου αέρα σε μηχανική κίνηση. Βασίζουν την λειτουργία τους επάνω σε ένα έμβολο το οποίο βρίσκεται μέσα σε έναν κύλινδρο και κινείται με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα. Με την πίεση που ασκεί ο αέρας επάνω στο έμβολο, το έμβολο κινείται ομόρροπα προς την κατεύθυνση της δύναμης. Υπάρχουν δύο κατηγορίες από πνευματικούς επενεργητές, οι γραμμικοί και οι περιστροφικοί. Στους γραμμικούς υπάρχει μία πλαστική μεμβράνη όπου η μία της πλευρά εφάπτεται με έναν συμπαγή κυλινδρικό άξονα. Όταν εισέρχεται πεπιεσμένος αέρας από το πάνω μέρος της μεμβράνης, η μεμβράνη μαζί με τον κυλινδρικό άξονα κατεβαίνουν. Αντίστοιχα όταν εισέρχεται πεπιεσμένος αέρας από το κάτω μέρος της μεμβράνης, η μεμβράνη μαζί με τον κυλινδρικό άξονα ανεβαίνουν με αποτέλεσμα να εκτελείται σε κάθε περίπτωση γραμμική κίνηση. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι πνευματικοί επενεργητές είναι τα υψηλά επίπεδα δυνάμεων λόγω της υψηλής τους πίεσης σε σχέση με τον μικρό τους όγκο. Επίσης παρουσιάζουν πολύ γρήγορη ανταπόκριση κατά το στάδιο της εκκίνησης ή του τερματισμού της λειτουργίας τους [64], [65].



Εικόνα 16 Πνευματικός επενεργητής διαφράγματος με ρυθμιστή θέσης που τροφοδοτεί απευθείας στον ελεγκτή την πραγματική θέση της βαλβίδας [65]

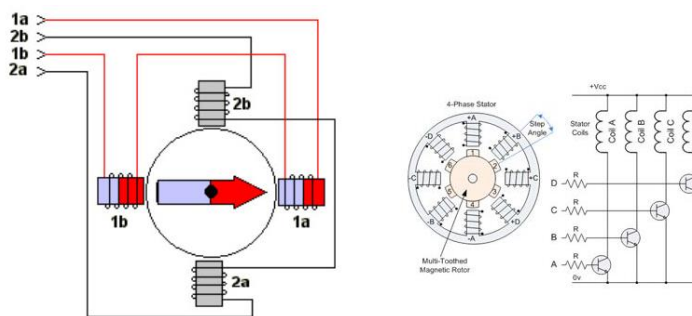
ο **Ηλεκτρικός Επενεργητής (Electric Actuator).**

Οι ηλεκτρικοί επενεργητές μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική κίνηση. Στηρίζουν την λειτουργία τους σε ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι δημιουργούν περιστροφική κίνηση στο δρομέα που διαθέτουν όταν στα άκρα τους εφαρμοστεί ηλεκτρική τάση. Η ισχύς του κινητήρα καθορίζει τη ροπή που μπορεί να παραχθεί, κατά συνέπεια και τη δύναμη που μπορεί να ασκηθεί σε μηχανική κίνηση, διαμέσου του επενεργητή. Στην πλειονότητα των ρομποτικών εφαρμογών χρησιμοποιούνται κυρίως ηλεκτρικοί επενεργητές εξαιτίας της καλύτερης διαχείρισης σε μικρά φορτία και της κυρίαρχης μορφής κίνησης που παράγουν, την περιστροφική. Οι κινητήρες ηλεκτρικού ρεύματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους κινητήρες συνεχούς (DC) και εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος. Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος συγκαταλέγονται ακόμη δύο ειδικές κατηγορίες κινητήρων, οι σερβοκινητήρες και οι βηματικοί κινητήρες. Οι δύο αυτές κατηγορίες ειδικών κινητήρων προτιμώνται για την δημιουργία κίνησης σε πολλές ρομποτικές εφαρμογές λόγω της δυνατότητας του ελέγχου της θέσης και της ταχύτητας που διαθέτουν [46], [66].

• **Βηματικός Κινητήρας (Stepper Motor)**

Είναι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς η εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς ψήκτρες, στους οποίους το κινούμενο μέρος του κινητήρα τους (δρομέας) διαγράφει διαδοχικές περιστροφικές θέσεις με συγκεκριμένη σταθερή γωνία. Η γωνία που διαγράφεται σε κάθε διαδοχική περιστροφική κίνηση είναι γνωστή ως γωνία βήματος και μπορεί να πάρει τιμές από 1,8° μέχρι 90°. Για να μπορέσει να λειτουργήσει ένας βηματικός κινητήρας χρειάζεται ένα σήμα ελέγχου στην είσοδο του το οποίο να είναι σε μορφή παλμοσειράς. Κάθε θετικός παλμός της παλμοσειράς που φτάνει, αυξάνει κατά μία θέση την περιστροφή του κινητήρα με σταθερή γωνία βήματος [68], [69]. Υπάρχουν τρία είδη βηματικών κινητήρων και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το είδος κατασκευής του δρομέα τους.

- Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη.
- Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης.
- Υβριδικός βηματικός κινητήρας.

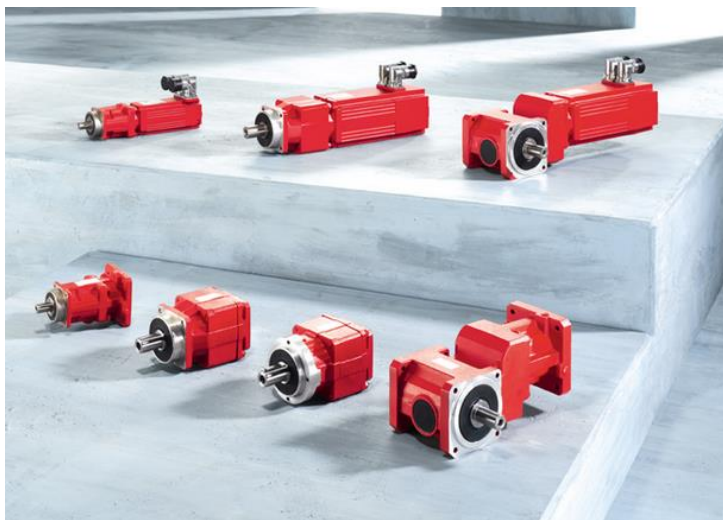


Εικόνα 17 Το εσωτερικό ενός βηματικού κινητήρα [69]

Ο στάτης του κινητήρα φέρει τυλίγματα τα οποία περιελίσσονται στον πυρήνα των πόλων ανά ζεύγη. Τα τυλίγματα αυτά είναι σε σειρά και κατά τέτοιο τρόπο διατεταγμένα στο κύκλωμα ώστε το ένα λειτουργεί ως θετικός και το άλλο ως αρνητικός πόλος κατά την λειτουργία του βηματικού κινητήρα [69].

- **Σερβοκινητήρας (Servo Motor)**

Οι σερβοκινητήρες είναι κινητήρες συνεχούς η εναλλασσόμενου ρεύματος που επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της γωνιακής η γραμμικής τους θέσης, τον έλεγχο της ταχύτητας καθώς και της επιτάχυνσης τους. Η λειτουργία ενός σερβοκινητήρα βασίζεται σε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου που αξιοποιεί την ανάδραση θέσης μέσω ενός αισθητήρα (κωδικοποιητής θέσης) τον οποίο διαθέτει στην έξοδο. Το σήμα ελέγχου που δίνεται στην είσοδο αντιπροσωπεύει την επιθυμητή θέση του σερβοκινητήρα και συγκρίνεται με το σήμα ανάδρασης το οποίο προέρχεται από τον αισθητήρα θέσης. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης μεταξύ σήματος ανάδρασης και σήματος εισόδου ονομάζεται σφάλμα και αποτελεί την τιμή της απόκλισης του σερβοκινητήρα από την επιθυμητή θέση. Η χρήση των σερβοκινητήρων είναι ευρέως διαδεδομένη στις ρομποτικές εφαρμογές καθώς και σε συστήματα CNC όπως και σε αυτοματισμούς έχοντας το ρόλο γραμμικού η περιστροφικού επενεργητή. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, της μεγάλης ακρίβειας που προσφέρουν αλλά και της λιγοστής ισχύς που χρειάζονται, οι σερβοκινητήρες επιλέγονται να τοποθετούνται συνήθως στις αρθρώσεις ενός ρομποτικού βραχίονα η στο σύστημα διεύθυνσης των τροχοφόρων ρομποτικών οχημάτων [70], [71].



Εικόνα 18 Βιομηχανικοί σερβοκινητήρες με κιβώτια ταχυτήτων [70]

1.4 Η επιστήμη της ρομποτικής

Ρομποτική είναι η επιστήμη που ασχολείται με την ανάπτυξη και την μελέτη ρομποτικών συστημάτων. Περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την κατασκευή αλλά και τον χειρισμό των ρομπότ. Ως

επιστήμη αποτελεί παρακλάδι της μηχανικής επιστήμης και συνδυάζει κλάδους όπως της μηχανολογίας, της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής. Ανεξάρτητα από το γεγονός, ότι η ρομποτική τεχνολογία βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς γενικά, η ανάπτυξη πρωτοτύπων ρομπότ βρίσκεται ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο. Η αιτία αυτή οφείλεται στην έλλειψη βαθύτερης κατανόησης των μηχανισμών ελέγχου που επιτρέπουν στον άνθρωπο να χειρίζεται με πιο επιδέξιο τρόπο τις διαδικασίες στην καθημερινότητα του. Το γεγονός ότι τα ρομπότ μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών μέσα από τους κλάδους της έρευνας και της βιομηχανίας αλλά και από πιο κοινότερες εφαρμογές της καθημερινότητας, κάνει εντονότερα αισθητή την παρουσία αλλά και την αλληλεπίδραση τους προς τον άνθρωπο[43],[72].

Κατά το πέρασμα του χρόνου η ρομποτική ενσωματώνεται όλο και περισσότερο σε σύγχρονα περιβάλλοντα εργασίας και παραγωγής. Ορισμένοι από τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή η ρομποτική είναι:

- *Διαστημικές αποστολές.*
- *Στρατιωτικές εφαρμογές.*
- *Επιστημονική έρευνα.*
- *Βιομηχανία και Παραγωγή προϊόντων.*
- *Ιατρικές επεμβάσεις και Φαρμακοβιομηχανία.*
- *Κατασκευές και Μεταφορές.*
- *Οικιακές εφαρμογές.*
- *Εκπαίδευση και Ψυχαγωγία.*

Οι τύποι των ρομπότ ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη λειτουργία, την μέθοδο ελέγχου η το είδος της εφαρμογής τους. Ορισμένα ρομπότ μπορεί να χρειάζονται μερικώς η εξ ολοκλήρου την συμβολή ενός χειριστή ώστε να λειτουργήσουν ενώ άλλα να μπορούν να λειτουργούν εντελώς αυτόνομα. Οι δύο κύριες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα ρομπότ είναι, τα κινούμενα ρομπότ (Robot Locomotive) και τα ρομπότ σταθερής βάσης τα οποία είναι οι ρομποτικοί χειριστές (Robotic Manipulator). Τα κινούμενα ρομπότ μπορούν διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως ευκολία στην κίνηση, πηγή τροφοδοσίας, αυτονομία ελέγχου η δυνατότητα τηλεχειρισμού ενώ στα ρομπότ σταθερής βάσης εντοπίζονται χαρακτηριστικά όπως συντονισμένη κίνηση των μηχανικών τμημάτων, ισορροπία, επαναληψιμότητα και μεγάλη ακρίβεια στην εργασία τους.

1.4.1 Ρομπότ σταθερής βάσης - Ρομποτικοί χειριστές. (Robotic Manipulator)

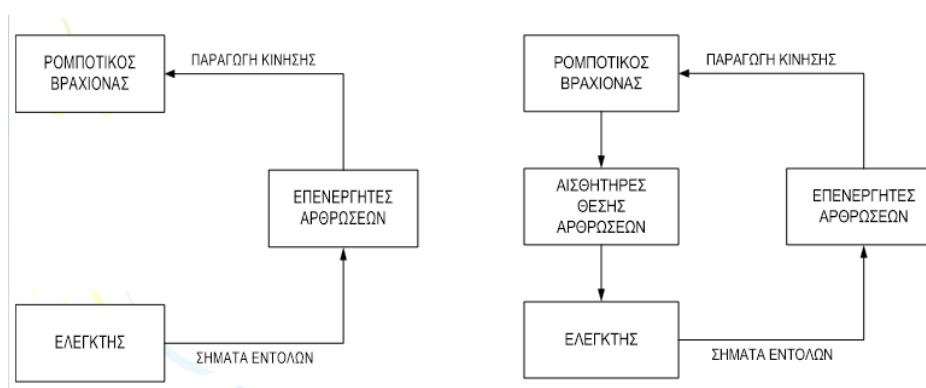
Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας στις βιομηχανίες μαζικής παραγωγής, αντικαθιστά τους ανθρώπους με μηχανές οι οποίες είναι πιο εξειδικευμένες στο να εκτελούν μία σειρά εργασιών για την παραγωγή προϊόντων. Ο κύριος λόγος αυτοματοποίησης των διαδικασιών και των υπηρεσιών που γίνεται εφικτός μέσω της τεχνολογικής εξέλιξης, είναι η αύξηση της παραγωγικότητας, η

βελτίωση της ποιότητας και η ελεξιμότητα των μέσων παραγωγής [74]. Τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν καταστεί ως τα κύρια συστατικά της αυτοματοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας στις σύγχρονες γραμμές παραγωγής. Ο γενικότερος όρος που περιγράφει τα βιομηχανικά ρομπότ σταθερής βάσης είναι επαναπρογραμματιζόμενες μηχανές, σχεδιασμένες να μετακινούν αντικείμενα, να χρησιμοποιούν εργαλεία ή άλλες εργασίες μέσω μίας ποικιλίας προγραμματιζόμενων κινήσεων [73].



Εικόνα 19 Βιομηχανικοί ρομποτικοί χειριστές σταθερής βάσης [73]

Η μηχανική δομή ενός ρομποτικού χειριστή συντελείται από ένα πλήθος στερεών συνδέσμων οι οποίοι διασυνδέονται μεταξύ τους διαμέσου των αρθρώσεων. Οι σύνδεσμοι μαζί με τις αρθρώσεις δημιουργούν το σκελετό του ρομποτικού βραχίονα ο οποίος εξασφαλίζει την μηχανική κίνηση του ρομπότ. Η άρθρωση που συνδέει το τελικό στοιχείο δράσης με το υπόλοιπο ρομπότ είναι αυτή που προσφέρει το βαθμό επιδεξιότητας στο σύστημα. Ο σκελετός ενός ρομποτικού χειριστή σχηματίζει μία κινηματική αλυσίδα η οποία χαρακτηρίζεται ως ανοικτή όταν δεν υπάρχει αισθητήρας ανάδρασης στην έξοδο και ως κλειστή όταν το ρομποτικό σύστημα διαθέτει βρόγχο ανάδρασης [73],[75].



Εικόνα 20 Διάγραμμα συστήματος ελέγχου ενός ρομποτικού βραχίονα με κλειστό και ανοιχτό βρόγχο ανάδρασης [46]

Τα κυριότερα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν την ποιότητα λειτουργίας ενός βιομηχανικού βραχίονα είναι η ακρίβεια, η επαναληψιμότητα, το ωφέλιμο βάρος φορτίου και ο βαθμός ελευθερίας [74].

- Ακρίβεια, είναι το μέγεθος που περιγράφει την ικανότητα ενός ρομπότ να προσεγγίζει την επιθυμητή θέση. Η ακρίβεια προκύπτει από το σφάλμα της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής θέσης του ρομπότ. Μπορεί να βελτιωθεί με την προσαρμογή περισσότερων ή πιο σύνθετων αισθητήρων στο σύστημα ενώ μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την διασύνδεση των επιμέρους μηχανικών τμημάτων, την ταχύτητα, τον χώρο εργασίας του ρομπότ κτλ.
- Επαναληψιμότητα, είναι το μέγεθος που περιγράφει την ικανότητα ενός ρομποτικού βραχίονα να επιστρέφει στο ίδιο σημείο με το σημείο εκκίνησης ύστερα από ένα πλήθος επαναλήψεων. Συνήθως μετά από ορισμένους κύκλους λειτουργίας εμφανίζεται απόκλιση κατά την επιστροφή του ρομπότ στην αρχική θέση που έχει προγραμματιστεί. Εντός του διαστήματος εκείνου που προκύπτει μέσω της απόκλισης από την προγραμματισμένη θέση, υπολογίζεται η επαναληψιμότητα.
- Ωφέλιμο βάρος φορτίου, είναι το μέγεθος που περιγράφει την ποσότητα βάρους που μπορεί να μεταφέρει η να διαχειριστεί ένας ρομποτικός βραχίονας με το τελικό στοιχείο εργασίας.
- Βαθμός ελευθερίας, είναι συνήθως ο ίδιος αριθμός με τον αριθμό των αξόνων που απαιτούνται ώστε ένας ρομποτικός βραχίονας να μπορεί να προσεγγίζει οποιοδήποτε σημείο μέσα στον χώρο εργασίας του. Το πλήθος των βαθμών ελευθερίας ενός ρομποτικού χειριστή υπολογίζεται μέσω της παρακάτω μαθηματικής σχέσης (1.2) [76].

$$DOF = m \cdot (N - J - 1) + \sum_{i=1}^J f_i \quad (1.2)$$

Όπου DOF οι βαθμοί ελευθερίας του ρομποτικού χειριστή.

m : παίρνει τις τιμές έξι και τρία ανάλογα με την δυνατότητα κίνησης του ρομπότ στο χώρο εργασίας.

N : το πλήθος των στέρεων συνδέσμων.

J : το πλήθος των αρθρώσεων.

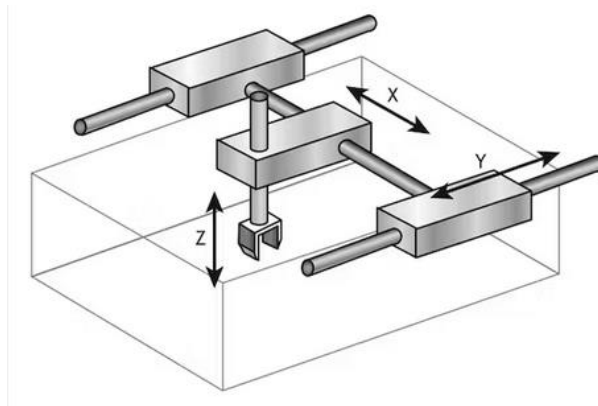
f_i : το πλήθος των βαθμών ελευθερίας για κάθε άρθρωση του ρομπότ.

Η ταξινόμηση των ρομποτικών χειριστών σε κατηγορίες προκύπτει από την γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου εργασίας τους. Ο χώρος εργασίας ενός βραχίονα σταθερής βάσης ορίζεται ως ο χώρος εκείνος που αποτελείται από όλα τα σημεία στα οποία μπορεί να τοποθετηθεί το τελικό στοιχείο δράσης. Οι διάφοροι ρομποτικές χειριστές βάσει της διαμόρφωσης του χώρου εργασίας τους, ταξινομούνται ως εξής:

i. Ρομποτικός χειριστής καρτεσιανής διαμόρφωσης (Cartesian).

Τα καρτεσιανά η και αλλιώς γραμμικά ρομπότ σταθερής βάσης διαθέτουν τρεις αρθρώσεις ώστε να εργάζονται στο καρτεσιανό σύστημα. Χρησιμοποιούν ράγες οδήγησης για να

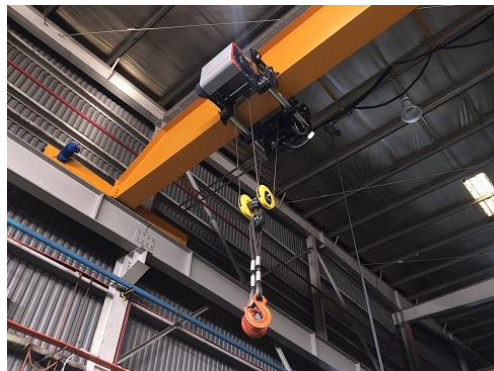
μετακινούνται ενώ περιορίζονται μόνο σε ευθύγραμμη κίνηση. Τυπικές εργασίες των χειριστών καρτεσιανής διαμόρφωσης συνηθίζεται να είναι επιλογή και τοποθέτηση αντικειμένων, συναρμολόγηση, ηλεκτροσυγκόλληση τόξου [77], [78].



Εικόνα 21 Ρομποτικός χειριστής καρτεσιανής διαμόρφωσης [78]

ii. Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης Gantry

Τα ρομπότ διαμόρφωσης Gantry είναι χειριστές σταθερής βάσης καρτεσιανής διαμόρφωσης όμως διαφέρουν από τα κλασσικά καρτεσιανά ως προς τον αριθμό των αρθρώσεων που διαθέτουν στο τελικό άκρο εργασίας. Οι βραχίονες του συγκεκριμένου τύπου προσεγγίζουν ένα αντικείμενο από πάνω ενώ οι κλασσικοί καρτεσιανοί βραχίονες το προσεγγίζουν από το πλάι. Γενικότερα οι γερανογέφυρες είναι ρομπότ τύπου Gantry και διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως υψηλή ακρίβεια και σχετική δυσκαμψία.

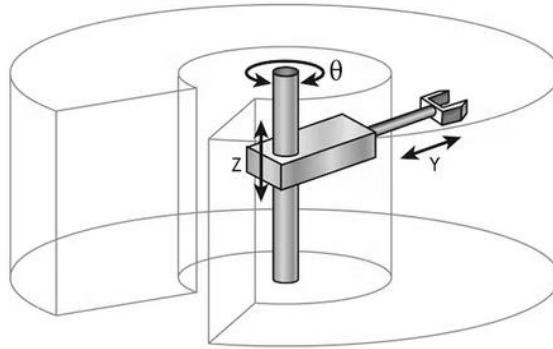


Εικόνα 22 Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης Gantry [77]

iii. Ρομποτικός χειριστής κυλινδρικής διαμόρφωσης (Cylindrical)

Τα ρομπότ κυλινδρικής διαμόρφωσης διαθέτουν μία περιστροφική άρθρωση για τη περιστροφική τους κίνηση και μία πρισματική για την μεταφορική τους. Εξαιτίας της σύνθετης δομής τους, ο χώρος εργασίας μέσα στον οποίο εργάζονται σχηματίζει μία

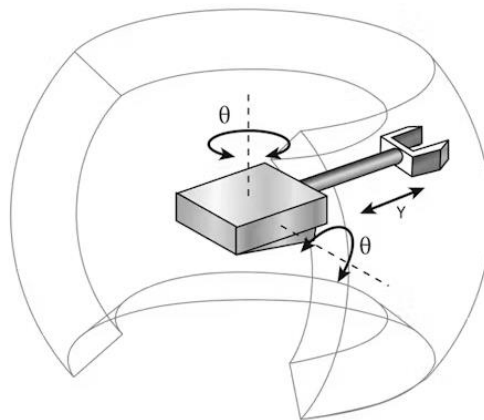
κυλινδρική γεωμετρία. Συνήθως προτιμώνται για την εκτέλεση εργασιών όπως λείανση, συναρμολόγηση, χειρισμό εργαλειομηχανών, σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση.



Εικόνα 23 Ρομποτικός χειριστής κυλινδρικής διαμόρφωσης [78]

iv. Ρομποτικός χειριστής σφαιρικής διαμόρφωσης (Spherical)

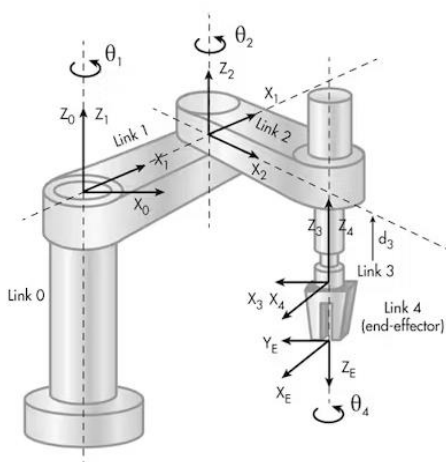
Τα ρομπότ σφαιρικής διαμόρφωσης διαθέτουν ένα συνδυασμό δύο περιστροφικών και μίας γραμμικής άρθρωσης ,προσδίδοντας έτσι στο σύστημα τους τρεις βαθμούς ελευθερίας. Μπορούν να εργάζονται σε σφαιρικό χώρο εργασίας παρουσιάζοντας μικρή δυσκαμψία και μεγάλη ακρίβεια κατά την εργασία τους. Συναντώνται σε εφαρμογές όπου η κύρια εργασία είναι η βαφή, η έγχυση υγρού, η ηλεκτροσυγκόλληση τόξου.



Εικόνα 24 Ρομποτικός χειριστής σφαιρικής διαμόρφωσης [78]

v. Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης SCARA.

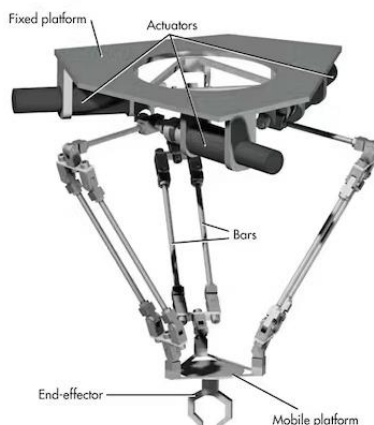
Τα ρομπότ διαμόρφωσης τύπου SCARA διαθέτουν μία άρθρωση που είναι υπεύθυνη για την μεταφορική κίνηση του ρομπότ όπως επίσης και άλλες δύο αρθρώσεις για την περιστροφική κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση εκτελείται σε κυλινδρικό χώρο εργασίας και τα ρομπότ αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται για τον υψηλό βαθμό ακρίβειας και επαναληψιμότητας που παρουσιάζουν. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργασίες διάτρησης, συναρμολόγησης, επιλογής και τοποθέτησης κτλ.



Εικόνα 25 Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης SCARA [78]

vi. Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης DELTA.

Τα συγκεκριμένα ρομπότ είναι ρομπότ σταθερής βάσης και αποτελούνται από τρία τμήματα που το καθένα διαθέτει από δύο συνδέσμους. Όλοι οι σύνδεσμοι έχουν το ένα άκρο τους συνδεδεμένο σε μία κοινή βάση. Επίσης διαθέτουν μία περιστροφική άρθρωση που επιτρέπει στο τελικό στοιχείο δράσης να κινείται μέσα σε έναν χώρο εργασίας γεωμετρίας κώνου. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα και ακρίβεια κατά την εργασία τους ενώ η χρήση τους προτιμάται συνήθως σε εφαρμογές επιλογής και μεταφοράς, τοποθέτησης, ταξινόμησης, συγκόλλησης και συναρμολόγησης.

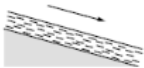
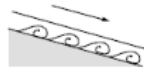

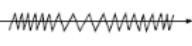


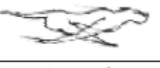







Εικόνα 26 Ρομποτικός χειριστής διαμόρφωσης DELTA [78]

1.4.2 Κινούμενα ρομπότ (Mobile robots).

Κάθε κινούμενο ρομπότ διαθέτει μηχανισμούς κίνησης που του επιτρέπει να κυκλοφορεί στο περιβάλλοντα χώρο. Επειδή η ποικιλία των τύπων κίνησης είναι πολύ μεγάλη, η επιλογή του καταλληλότερου τύπου κίνησης αποτελεί, ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στο σχεδιασμό. Οι περισσότεροι τύποι κίνησης εκτός της κίνησης με την χρήση τροχών, οφείλουν την έμπνευσή τους σε βιολογικά συστήματα κίνησης τα οποία έχουν παρατηρηθεί μέσα στο φυσικό κόσμο. Οι

συνηθέστεροι τρόποι κίνησης οι οποίοι συναντώνται στα κινούμενα ρομπότ είναι είτε τροχοί είτε αρθρωτά μηχανικά πόδια. Το είδος και ο τύπος της κίνησης εξαρτώνται πάντα από το τύπο περιβάλλοντος στον οποίο πρόκειται να μετακινείται το ρομπότ[43], [81].

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Εικόνα 27 Μηχανισμοί κίνησης που έχουν εμπνευστεί από βιολογικά συστήματα [72]

Οι δημοφιλέστεροι τύποι κινούμενων ρομπότ μπορούν συνοψισθούν σε τέσσερις κατηγορίες.

- Τροχοφόρα ρομπότ (*Wheel Robots*), τα οποία χωρίζονται στα αυτόνομα τροχοφόρα, στα αυτόματα καθοδηγούμενα και στα τηλεκατευθυνόμενα τροχοφόρα ρομπότ.
- Βαδίζοντα ρομπότ (*Legged Robots*).
- Υποβρύχια ρομπότ (*Underwater Robots*).
- Εναέρια ρομπότ (*Aerial Robots*).

▪ Τροχοφόρα ρομπότ (*Wheel Robots*)

Για λόγους σταθερότητας τα περισσότερα τροχοφόρα ρομπότ συνηθίζεται να διαθέτουν τέσσερις τροχούς. Από άποψη ενεργειακής απόδοσης είναι τα πιο αποδοτικά όταν κινούνται σε επίπεδες επιφάνειες διότι οι τροχοί τους δεν χάνουν ενέργεια κατά την κύλιση. Επιπλέον η κίνηση με τη χρήση τροχών προσφέρει ευκολότερο έλεγχο σε σχέση με άλλους τύπους κίνησης. Συνήθως αποτελούνται από ένα άκαμπτο σώμα και ένα σύστημα τροχών από ακουμπάει στο έδαφος. Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AGV) είναι φορητά τροχοφόρα ρομπότ τα οποία συναντώνται στην βιομηχανία και στις αποθήκες στην μεταφορά μεγάλων εμπορευμάτων. Η πλοήγηση τους γίνεται ακολουθώντας σημαδεμένες γραμμές ή καλώδια κατά μήκος του εδάφους τα οποία ανιχνεύουν με χρήση ενσωματωμένης κάμερας ή ακτινών laser[81],[82].



Εικόνα 28 AVG ρομπότ που τυλίγει ρολό πλαστικού [82]

- Βαδίζοντα ρομπότ (Legged Robots)

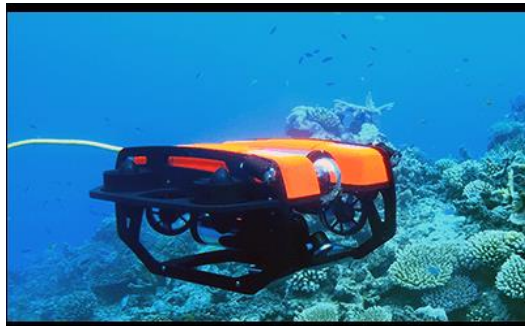
Τα συγκεκριμένα ρομπότ χρησιμοποιούν αρθρωτά άκρα ως μηχανικά πόδια για να μπορούν να εκτελούν την κίνηση τους στο έδαφος. Οι μέθοδοι μετακίνησης τους είναι πιο πολύπλοκες σε σχέση με τα τροχοφόρα ρομπότ και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία, ισορροπία και καλύτερο έλεγχο σε ανώμαλο έδαφος. Όσα περισσότερα μηχανικά πόδια διαθέτουν τόσο καλύτερη ισορροπία πετυχαίνουν ειδικά όταν πρόκειται σε περιπτώσεις αναρρίχησης σε πλαγιές. Τα βαδίζοντα ρομπότ με δύο πόδια ονομάζονται ανθρωποειδή ρομπότ και έχουν σχεδιαστεί για να μοιάζουν με ανθρώπινα όντα τόσο στη μορφή όσο και στη λειτουργία [79], [83].



Εικόνα 29 Τετράποδο ρομπότ "BigDog" το οποίο αναπτύχθηκε για να κουβαλάει φορτίο διασχίζοντας ανώμαλο έδαφος [83]

- Υποβρύχια ρομπότ (Underwater Robots)

Τα υποβρύχια ρομπότ είναι εμπνευσμένα από τα ψάρια και κινούνται κάτω από το νερό. Με την χρήση επενεργητών που κινούν προπέλες και πτερύγια καταφέρνουν να κάνουν ελιγμούς και να επιταχύνουν μέσα στο νερό. Γνωστά ως τηλεχειριζόμενα υποβρύχια οχήματα (ROV) χρησιμοποιούνται σε επιστημονικές εφαρμογές για την μελέτη και την εξερεύνηση του ωκεανού. Αντίθετα τα αυτόνομα υποβρύχια ρομπότ (AUV) δεν απαιτούν εξωτερικό χειριστή και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ομάδας των υποθαλάσσιων ερευνητικών υποβρυχίων[84],[85].



Εικόνα 30 Το OSIBOT HEAVY ROV είναι ένα τηλεχειριζόμενο υποβρύχιο όχημα βαρέως τύπου [85]

- Εναέρια ρομπότ (Aerial Robots)

Τα εναέρια ρομποτικά οχήματα μπορούν να πετάνε, κάνοντας χρήση από έλικες η φτερά και συνήθως μοιάζουν με αεροπλάνα ή τετρακόπτερα (Quadcopters). Τα drones είναι ένας τύπος τετρακόπτερου μη επανδρωμένου ρομποτικού εναέριου οχήματος που είναι εξοπλισμένος με κάμερες, αισθητήρες και συστήματα τεχνητής νοημοσύνης ώστε να μπορεί να πλοηγείται με κάποιον βαθμό αυτονομίας. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους και βάρους τους, τα drones μπορούν να ελίσσονται απότομα και με μεγάλη ευκολία στον αέρα κατά την διάρκεια της πτήσης τους. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως αεροψεκασμοί, αεροφωτογράφιση ή στρατιωτική επιτήρηση[80],[86].



Εικόνα 31 Aeryon Scout είναι ένα μικρό τετρακόπτερο που έχει αναπτυχθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες [86]

1.5 Εισαγωγή στα τηλεχειριζόμενα τροχοφόρα ρομποτικά οχήματα.

Τα τηλεχειριζόμενα ρομποτικά οχήματα είναι οχήματα τα οποία ακολουθούν την πορεία που ορίζει ένας χειριστής μέσω μίας συσκευής ελέγχου. Η συσκευή ελέγχου μπορεί να είναι είτε συνδεδεμένη απευθείας επάνω στο ρομπότ είτε να επικοινωνεί ασύρματα. Μέσω της συσκευής αυτής, παρέχεται η δυνατότητα στο χειριστή να ελέγχει μία ποικιλία λειτουργιών του ρομπότ όπως την ταχύτητα του, την κίνηση του ή άλλες. Το ρομποτικό όχημα μπορεί να διαθέτει κάμερες και αισθητήρια μέσα με τα οποία να ενημερώνει τον χειριστή για την κατάσταση του ή να του παρέχει πληροφορίες για τον χώρο στον οποίο κινείται. Τα τηλεχειριζόμενα ρομποτικά οχήματα βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς της έρευνας ή

της βιομηχανίας [87],[88]. Για παράδειγμα το MarsRover (Εικόνα 32) είναι ένα τροχοφόρο ρομποτικό όχημα που έχει αναπτυχθεί από την NASA (National Aeronautics and Space Administration) για την εξερεύνηση της επιφάνειας του πλανήτη Άρη. Ο τηλεχειρισμός του πραγματοποιείται από την Γη ενώ διαθέτει και αυτόνομη λειτουργία κίνησης [89].



Εικόνα 32 NASA Mars rover [89]

Ένα ακόμη παράδειγμα τηλεχειριζόμενου ρομποτικού οχήματος είναι το τετρακινητήριο SV1000. Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί τύπος ρομποτικού οχήματος εξωτερικού χώρου, προορισμένο για βιομηχανικές εφαρμογές και σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί σε ποικίλες κατηγορίες ανώμαλου εδάφους [90].



Εικόνα 33 Τηλεχειριζόμενο ρομποτικό όχημα SV1000 [90]

Διαμέσου της εξελικτικής πορείας των τηλεχειριζόμενων τροχοφόρων ρομποτικών οχημάτων, έχουν προκύψει πέντε σημαντικές ερευνητικές προκλήσεις οι οποίες είναι κυρίαρχες στον ερευνητικό τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας των τροχοφόρων οχημάτων. Οι προκλήσεις αυτές παραμένουν ανοικτές ως προς την διεθνή έρευνα και απασχολούν συχνά τους ειδικούς όταν έρχονται αντιμέτωποι με τον σχεδιασμό ενός νέου τηλεχειριζόμενου τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος:

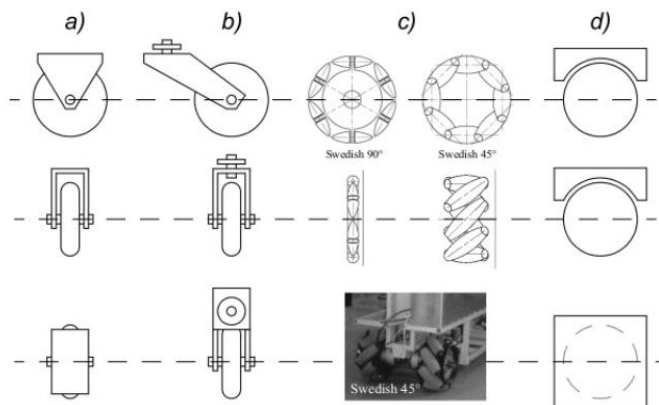
- Καταλληλότερος τύπος τροχού.
- Παροχή τροφοδοσίας.
- Αισθητήρες και ρομποτική όραση.

- Τηλεχειρισμός – Απομακρυσμένος έλεγχος.
- Διεπαφή χειριστή.

1) Κατάλληλότερος τύπος τροχού

Κατά το στάδιο του σχεδιασμού ενός ρομποτικού οχήματος ο σχεδιαστής έχει να επιλέξει ανάμεσα σε πολλές διαφορετικές διατάξεις και είδη τροχών. Ο συνδυασμός που θα προκύψει ανάμεσα από την διάταξη και το είδος των τροχών θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την ευστάθεια, την ευελιξία και την ελεγχιμότητα του ρομποτικού οχήματος. Στο σύστημα Ackermann [92] τα τροχοφόρα οχήματα χρησιμοποιούν δυο κατευθυνόμενους τροχούς στο εμπρόσθιο μέρος και δύο μη κατευθυνόμενους στο πίσω μέρος. Οι πίσω τροχοί βρίσκονται σε κοινό άξονα και συνδέονται με το κινητήρα ενώ οι μπροστινοί τροχοί διαμορφώνουν το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος. Τα περισσότερα τροχοφόρα οχήματα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε οι τροχοί τους να βρίσκονται συνεχώς σε επαφή με το έδαφος. Εάν διαθέτουν τέσσερις η και περισσότερους τροχούς τότε χρησιμοποιείται κατάλληλο σύστημα αναρτήσεων ώστε να εξασφαλίζεται ότι όλοι οι τροχοί του οχήματος θα έχουν επαφή με το έδαφος [91]. Τα είδη των τροχών τα οποία χρησιμοποιούνται στα τροχοφόρα ρομποτικά οχήματα είναι τέσσερα και παρουσιάζονται παρακάτω.

- Ο συμβατικός τροχός, διαθέτει δύο βαθμούς ελευθερίας και εκτελεί περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα του και από το σημείο επαφής.
- Ο τροχός τύπου Castor, διαθέτει δύο βαθμούς ελευθερίας, έχει μεγάλη κατευθυντικότητα και εκτελεί περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα του και από το σημείο επαφής.
- Ο Σουηδικός τροχός, διαθέτει τρεις βαθμούς ελευθερίας και έχει την ικανότητα περιστροφικής κίνησης γύρω από το σημείο επαφής, γύρω από τον άξονα του και γύρω από τα καρούλια.
- Ο σφαιρικός τροχός, είναι πολυκατευθυντικός και μπορεί να περιστρέφεται προς κάθε κατεύθυνση.



Εικόνα 34 Τέσσερις κατηγορίες τροχών [91]

2) Παροχή τροφοδοσίας

Οι δημοφιλέστεροι τρόποι παροχής ενέργειας στις ρομποτικές εφαρμογές είναι είτε μέσω μπαταριών είτε μέσω του ηλεκτρικού δικτύου παροχής ενέργειας. Στην περίπτωση ενός τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος η περίπτωση της τροφοδοσίας μέσω ηλεκτρικού δικτύου θα αποτελούσε αποτρεπτικό παράγοντα διότι το ρομπότ θα περιοριζότανε κινητικά εξαιτίας των καλωδίων του. Επόμενος η πρακτικότερη μέθοδος τροφοδοσίας των ρομποτικών τροχοφόρων οχημάτων παραμένει η χρήση μπαταριών. Γενικότερα οι μπαταρίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς μπαταρίες δεν είναι σχεδιασμένες να επαναφορτίζονται όπως οι δευτερογενείς καθώς μόλις εξαντληθούν οι χημικές τους αντιδράσεις δεν μπορούν να αντιστραφούν διαμέσου επαναφόρτισης. Ωστόσο στα τροχοφόρα ρομποτικά οχήματα συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται δευτερογενείς τύπου μπαταρίες οι οποίες διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως μικρό βάρος και μέγεθος και μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, βελτιώνοντας έτσι την συνολική απόδοση του οχήματος [93]. Οι συνηθέστεροι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών που χρησιμοποιούνται γενικότερα σε εφαρμογές τροχονόμων ρομποτικών οχημάτων είναι:

Μπαταρίες Ιόντων λιθίου.

Η δομή των μπαταριών αυτών αποτελείται από μία κάθοδο με χημική σύσταση μεταλλικό οξείδιο του λιθίου και από μία άνοδο χημικής σύστασης άνθρακα σε μορφή γραφίτη. Κατά την διάρκεια της ηλεκτρικής φόρτισης απελευθερώνονται θετικά ιόντα από το οξείδιο του μετάλλου και κατευθύνονται από την κάθοδο μέσω ενός ηλεκτρολύτη προς την άνοδο ώστε να ενωθούν με το ηλεκτρόδιο του άνθρακα. Οι πολλαπλές φορτίσεις και εκφόρτισης προκαλούν την αλλοίωση της χημικής σύστασης των στοιχείων της μπαταρίας με αποτέλεσμα να επέρχεται η φυσική της γήρανση. Τα περισσότερα από τα σημερινά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου, αν και η ακριβής χημεία των στοιχείων τους διαφέρει από αυτή των μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης [12].

Μπαταρίες Μόλυβδου – θεικού οξέος.

Οι συγκεκριμένες μπαταρίες αποτελούνται από συστοιχίες επαναφορτιζόμενων στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Τα στοιχεία της μπαταρίας είναι πλάκες μόλυβδου βυθισμένες μέσα σε υγρό θεικού οξέος. Η διάταξη στο εσωτερικό της μπαταρίας αποτελείται από έξι στοιχεία των 2V που συνδέονται σε σειρά σχηματίζοντας συνολική τιμή τάσης 12V στα άκρα της μπαταρίας. Είναι σχεδιασμένες ώστε να παρέχουν υψηλές τιμές ισχύος κατά την χρήση τους ενώ σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου εμφανίζουν κακή σχέση, μεταξύ βάρους και ενεργειακής πυκνότητας. Στα παλαιότερα ηλεκτρικά οχήματα συνηθίζονταν η χρήση μπαταριών μόλυβδου λόγω της πιο ώριμης τότε τεχνολογίας τους, της υψηλότερης διαθεσιμότητας στην αγορά και του μειωμένου κόστους [94].

3) Αισθητήρες και ρομποτική όραση

Από τα πιο σημαντικά μελήματα στην λειτουργία ενός ρομπότ είναι η συλλογή πληροφοριών και η ανάλυση γεγονότων σχετικά με το περιβάλλον του ώστε να μπορεί να προβεί σε μία απόφαση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της πραγματοποίησης μετρήσεων από αισθητήρες ή κάμερες που συλλέγουν συγκεκριμένα δεδομένα από το περιβάλλον. Ο σκοπός της συλλογής των δεδομένων αυτών είναι η μετέπειτα επεξεργασία τους για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Όπως αναφέρθηκε και στην υποενότητα 1.3.2 (Υποσύστημα Αίσθησης) στο σχεδιασμό ρομποτικών συστημάτων χρησιμοποιούνται δύο τύποι αισθητήρων, οι ιδιοδεκτικοί και οι εξωδεκτικοί [51][95].

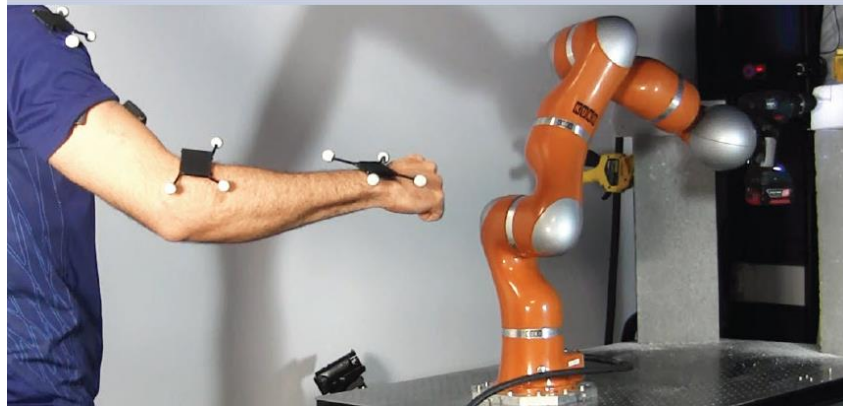
✚ **Στους ιδιοδεκτικούς ανήκουν αισθητήρες όπως,** Ανίχνευσης θέσης δρομέα (οπτικοί κωδικοποιητές ή ποτενσιόμετρα), Μέτρηση τάσης μπαταρίας (ψηφιακά βολτόμετρα), Ταχύτητα κινητήρα (στροφόμετρα ή αισθητήρες Hall), Επιτάχυνσης (επιταχυνσιόμετρα), Μέτρηση ροπής (ψηφιακά ροπόμετρα) ενώ **στους εξωδεκτικούς ανήκουν,** Ανίχνευσης εμποδίων από απόσταση (αισθητήρες υπερήχων ή υπέρυθρης ακτινοβολίας), Ανίχνευση αφής (αισθητήρες πίεσης), προσανατολισμού στο χώρο (γυροσκόπια ή πυξίδες). Επίσης στους εξωδεκτικούς αισθητήρες κατατάσσονται οι κάμερες και οι ανιχνευτές laser (Lidar). Οι κάμερες είναι οπτικοί αισθητήρες που διαθέτουν δυνατότητα να μετρούν την ένταση του φωτός όταν αυτό ανακλάται σε ένα αντικείμενο [96]

✚ Η διαδικασία σχηματισμού μίας Εικόνας μέσω κάμερας προέρχεται από την διαδικασία προβολής του τρισδιάστατου χώρου σε μία δισδιάστατη επιφάνεια. Μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού, η αίσθηση του βάθους χάνεται, μη διακρίνοντας εάν το καταγεγραμμένο αντικείμενο είναι κοντά ή μακριά η πιο ήταν το αρχικό του μέγεθος. Επάνω σε αυτή την αρχή λειτουργίας και στην χρήση οπτικής ανατροφοδότησης στηρίζεται **η ρομποτική όραση.** Ένα ρομποτικό σύστημα όρασης μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες κάμερες οι οποίες συνδέονται με τον ελεγκτή του ρομπότ. Η όραση αποτελεί μέρος του κλειστού βρόγχου ανάδρασης ενός ρομπότ και μέσω αυτής του επιστρέφονται εικόνες από το εξωτερικό του περιβάλλον τις οποίες ερμηνεύει σε αυτό το οποίο βλέπει [43], [96].

4) Τηλεχειρισμός – Απομακρυσμένος έλεγχος.

Τηλεχειρισμός σημαίνει ο έλεγχος μίας μηχανής από απόσταση. Ένας χειριστής ελέγχει ένα σύστημα από απόσταση ενσύρματα η ασύρματα, χρησιμοποιώντας μία συσκευή τηλεχειρισμού. Η ανάγκη για τηλεχειρισμό και απομακρυσμένο έλεγχο προέκυψε εξαιτίας των εργασιών που έπρεπε να ολοκληρωθούν σε αφιλόξενα περιβάλλοντα η σε επικίνδυνες συνθήκες εργασίας για τον άνθρωπο με αποτέλεσμα η πρόσβαση σε αυτά να γίνεται εφικτή μόνο μέσω των ρομπότ. Το κυριότερο πρόβλημα που προκύπτει από την χρήση του

τηλεχειρισμού είναι η καθυστέρηση της πληροφορίας που μεταδίδεται μεταξύ χειριστή και ρομπότ εάν η απόσταση είναι πολύ μεγάλη. Επίσης ένα επιπλέον ζήτημα που προκύπτει κατά την διάρκεια τηλεχειρισμού είναι η ποιότητα και η δυνατότητα ανάδρασης των πληροφοριών από το τηλεχειριζόμενο όχημα προς τον χειριστή [97][98].



Εικόνα 35 Τηλεχειρισμός ενός εργαστηριακού ρομποτικού βραχίονα [97]

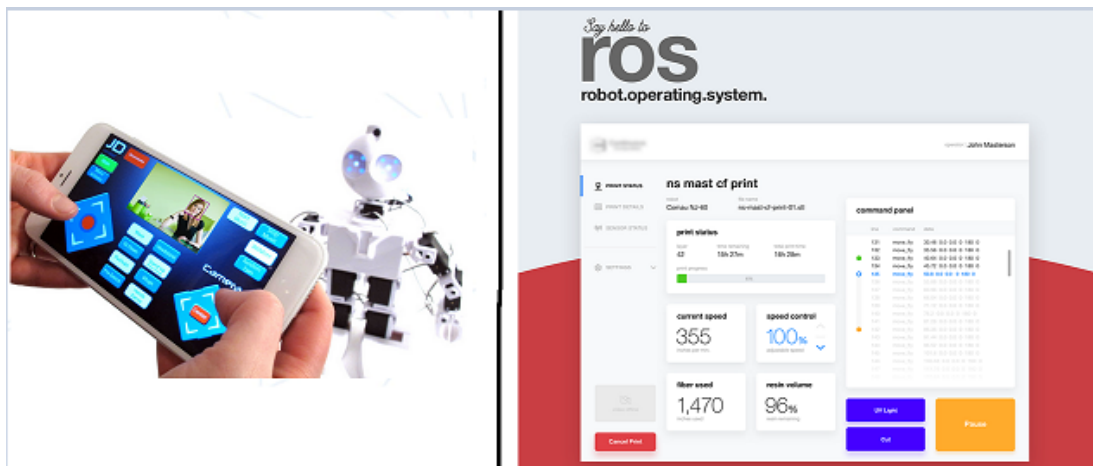
Η αξιοποίηση των μεθόδων τηλεχειρισμού παρήγαγε καινοτομία σε πλήθος εφαρμογών τόσο στο τομέα της βιομηχανίας όσο και στο τομέα της έρευνας. Μερικές από τις εφαρμογές στις οποίες η χρήση του τηλεχειρισμού αποτελεί μοναδική λύση είναι:

- ✚ Διαστημικές αποστολές , ρομποτικά μηχανήματα αναλαμβάνουν την εξερεύνηση αφιλόξενων περιοχών επάνω στην επιφάνεια ενός πλανήτη ή την επισκευή ενός εξωτερικού τμήματος διαστημικού σταθμού ενώ τηλεχειρίζονται από ανθρώπους στην Γη.
- ✚ Θαλάσσιες εξερευνήσεις, τηλεχειριζόμενα υποβρύχια ρομπότ συμμετέχουν σε αποστολές χαρτογράφησης των κοιλάδων του ωκεανού σε πολύ μεγάλα βάθη.
- ✚ Επιχειρησιακές εφαρμογές, όπου ένα τηλεχειριζόμενο ρομποτικό όχημα με μηχανικά χέρια αναλαμβάνει την εξουδετέρωση ενός εκρηκτικού μηχανισμού, ελεγχόμενο από ανθρώπους που βρίσκονται σε ασφαλή χώρο [99.]

5) Διεπαφή χρήστη.

Μία διεπαφή χρήστη επιτρέπει σε έναν χειριστή να επιτηρεί ή να ελέγχει καθώς και να ενημερώνεται για τις ενδείξεις (μέσω της ίδιας της διεπαφής) σχετικά με την κατάσταση ή την λειτουργία ενός ρομπότ. Οι διεπαφές γενικότερα μπορεί να έχουν την μορφή ενός λογισμικού με γραφικό περιβάλλον το οποίο προβάλλεται σε μία οθόνη αφής και ερμηνεύει τα αιτήματα που δίνει ο χειριστής σε εντολές προς το ρομπότ. Ωστόσο η διεπαφή ελέγχου ενός ρομπότ μπορεί να είναι και ένα ασύρματο χειριστήριο που διαθέτει joystick, buttons και μηχανισμούς που παραγάγουν ηχητικές ή φωτεινές ενδείξεις για την λειτουργία του ρομπότ. Σε ορισμένες περιπτώσεις πιο σύνθετων και προηγμένων ρομποτικών εφαρμογών η διεπαφή

χρήστη μπορεί να φιλοξενείται σε έναν υπολογιστή και οι εντολές προς το ρομπότ να αποστέλλονται μέσω διαδικτύου. Σε κάθε είδος διεπαφής, ο χειριστής θα εισαγάγει τις απαραίτητες εντολές για την εκτέλεση των επιθυμητών λειτουργιών από το ρομπότ, επόμενος ο τρόπος χειρισμού της διεπαφής που προσφέρεται, συνηθίζεται να είναι απτός και ευνόητος τουλάχιστον στις εμπορικές ρομποτικές εφαρμογές [100][101]



Εικόνα 36 Αριστερά: Διεπαφή ελέγχου ρομπότ σε λειτουργικό σύστημα Android κινητού τηλεφώνου [101], Δεξιά: Διεπαφή μέσω οθόνης αφής που σχεδιάστηκε στο λειτουργικό σύστημα ROS και επιτρέπει στους χειριστές βιομηχανικών ρομπότ να παρακολουθούν όλες τις κινήσεις του ρομπότ, τις ρυθμίσεις όπως και την πρόοδο μίας διεργασίας που εκτελεί [102]

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάπτυξη τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.

2.1 Εισαγωγή 2^{ου} κεφαλαίου.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής και αναλυτική περιγραφή όλων των επιμέρους υποσυστημάτων και στοιχείων από τα οποία απαρτίζεται το ρομποτικό όχημα, τόσο του τρόπου ανάπτυξης των κυκλωμάτων τροφοδοσίας, κίνησης και του απομακρυσμένου ελέγχου όσο και των υπευθύνων μηχανικών μερών για την κίνηση του οχήματος. Παρουσιάζονται οι υπολογισμοί και οι μετρήσεις οι οποίες έγιναν σε όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις του οχήματος, προσομοιώνονται τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα με τη χρήση ειδικού λογισμικού ενώ γίνεται η περιγραφή τους μέσω σχηματικού διαγράμματος και τέλος του κεφαλαίου αναλύεται η σύνθεση του κώδικα για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την λειτουργία της ρομποτικής εφαρμογής.

2.2 Η προέλευση ρομποτικού οχήματος.

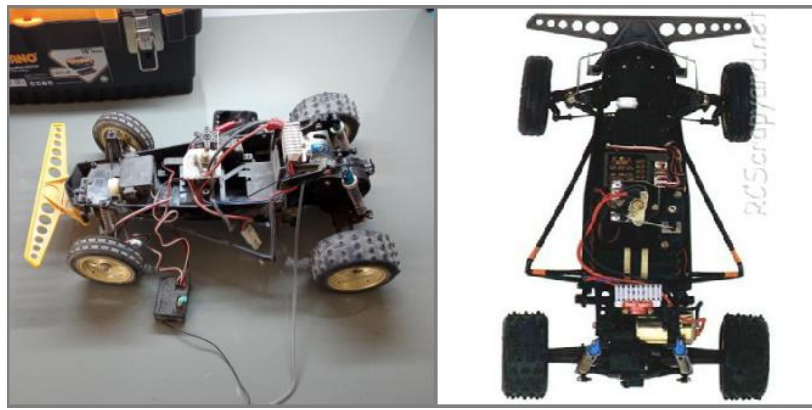
Προοριζόμενο για ερασιτεχνικό μοντελισμό, το όχημα της Εικόνας 37 θεωρείται κλώνος του Tamiya Grasshopper, δομημένο σε ένα σασί από ρητίνη ABS, με χυτευμένο αμάξωμα ABS, σφραγισμένο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης, διαφορικός τύπος γρاناζιού, πίσω σπειροειδές ελατήριο πάνω από τους αποσβεστήρες τριβείς και τους δακτυλίους.



Εικόνα 37 Όχημα ερασιτεχνικού μοντελισμού της εταιρίας MINICRAFT MODELS, INC. BOX 3577, Torrance, CA. 90510 [1]

2.2.1 Παρουσίαση των πρωταρχικών υποσυστημάτων.

Το Tamiya Grasshopper είναι ένα μοντέλο υψηλής επίδοσης, σχεδιασμένο ώστε να προορίζεται για οδήγηση σε ανώμαλο έδαφος. Η απομακρυσμένη λειτουργία του βασίζεται σε ένα kit ραδιοελέγχου το οποίο αποτελείται από το σύστημα της κεραίας που βρίσκεται εγκατεστημένο επάνω στο όχημα και ενός ασύρματου τηλεχειριστηρίου. Τα υποσυστήματα τα οποία βρίσκονταν στο εσωτερικό του οχήματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 38.

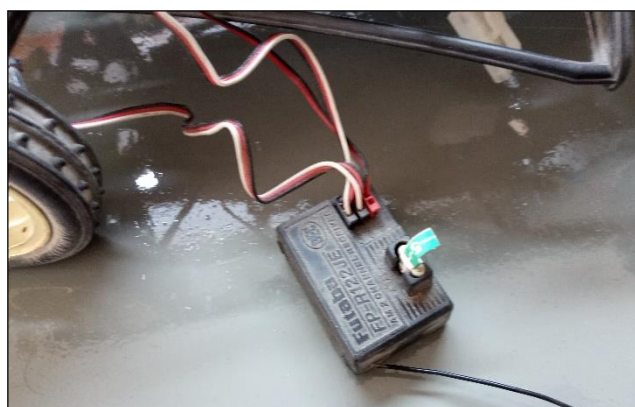


Εικόνα 38 Το εσωτερικό του οχήματος σε πρωταρχική μορφή [1]

Τα στοιχειώδη υποσυστήματα στα οποία βασιζότανε η λειτουργία του οχήματος είναι τα εξής:

- *Kit ραδιοελέγχου αποτελούμενο από ένα σετ εκπομπού και δέκτη.*
- *Σύστημα διεύθυνσης.*
- *Σύστημα οπισθοπορείας – εμπροσθοπορείας.*
- *Battery rack ως πηγή τροφοδοσίας.*

Οι εντολές ελέγχου που δεχότανε το όχημα μεταδιδόντουσαν με τη μορφή ραδιοσημάτων διαμέσου της κεραίας του εκπομπού απευθείας προς την κεραία του δέκτη. Στη συνέχεια αφού λαμβάνονταν από τον δέκτη, δροσολογιόντουσαν προς τον μικροελεγκτή για να επεξεργαστούν και μέσω του μικροελεγκτή μεταφραζόντουσαν στις εντολές κίνησης του οχήματος. Στην Εικόνα 39 απεικονίζονται τα μέρη του συστήματος του μικροελεγκτή και της κεραίας του δέκτη.



Εικόνα 39 Η κεραία με τον μικροελεγκτή στον δέκτη του οχήματος

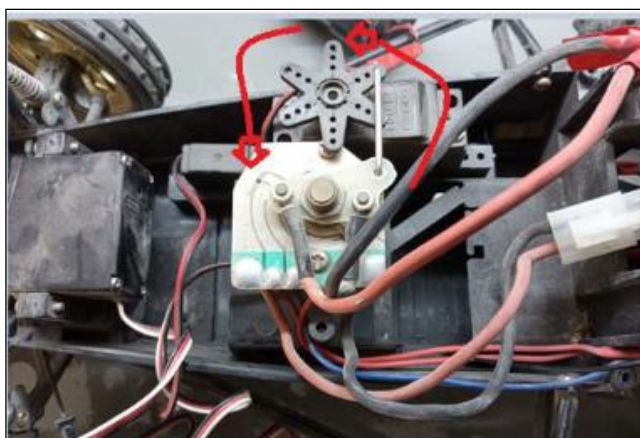
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 39 από το σύστημα του δέκτη απολήγουν **3 σετ καλωδίων**:

- Το πρώτο σετ καλωδίων κατέληγε σε ένα servomotor στο μπροστινό μέρος του οχήματος, το οποίο ήταν υπεύθυνο για την λειτουργία του συστήματος διεύθυνσης.

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.

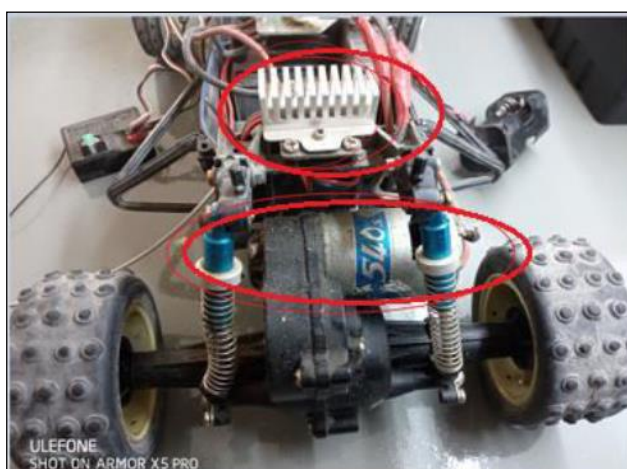
- Το δεύτερο σετ κατέληγε στον speed controller ,ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την κίνηση των πίσω τροχών.
- Το τρίτο σετ ήταν συνδεδεμένο στο Battery pack για την παροχή τροφοδοσίας.

Στο συγκεκριμένο σύστημα οδήγησης, η εκκίνηση και η αλλαγή φοράς των πίσω τροχών γινότανε ηλεκτρομηχανικά. Μία μεταλλική μεμβράνη η οποία δημιουργούσε επαφή σε 2 αγώγιμες διαδρομές, χαραγμένες επάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια (Εικόνα 40), άλλαζε θέση περιστροφικά μέσω της λειτουργίας ενός servomotor. Στη περίπτωση που η μεταλλική μεμβράνη πετύχαινε επαφή σε μία από τις δύο αγώγιμες διαδρομές της μεταλλικής επιφάνειας, παρέχονταν τροφοδοσία στο σύστημα των πίσω τροχών και ξεκινούσε την περιστροφή τους. Εάν η μεταλλική μεμβράνη επιτύγγανε επαφή στην αντίθετη αγώγιμη διαδρομή τότε η πολικότητα της τάσης άλλαζε και οι δύο πίσω τροχοί ξεκίναγαν να περιστρέφονται αντίστροφα.



Εικόνα 40 Ηλεκτρομηχανικό σύστημα το οποίο μεταβάλλει την πολικότητα της τάσης περιστροφής.

Στο πίσω μέρος του οχήματος βρίσκονταν εγκατεστημένα μια αντίσταση ισχύος με βιδωμένη ψήκτρα και το μοτέρ το οποίο ήταν υπεύθυνο για την εκκίνηση των πίσω τροχών (διακρίνεται στην Εικόνα 41).



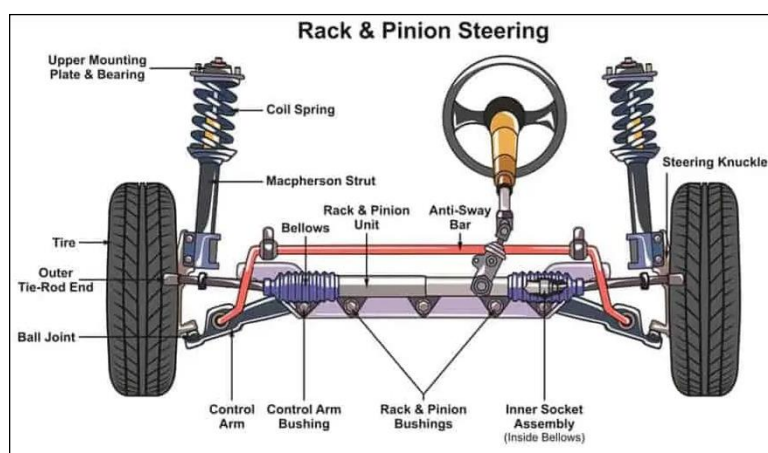
Εικόνα 41 Η ψήκτρα απαγωγής θερμότητας της αντίστασης ισχύος και το μοτέρ πίσω κίνησης.

2.2.2 Εισαγωγή στα μηχανολογικά χαρακτηριστικά του οχήματος.

Όπως πολλά τροχοφόρα ρομποτικά οχήματα έτσι και το Tamiya Grasshopper είναι ένα όχημα το οποίο διαθέτει σύστημα διεύθυνσης μπροστινών τροχών και σύστημα πίσω κίνησης τροχών. Το σύστημα διεύθυνσης μπροστινών τροχών, επιτρέπει σε ένα όχημα να αλλάζει την διεύθυνση της πορείας του ενώ κινείται ενώ το σύστημα πίσω κίνησης είναι υπεύθυνο για την κίνηση και του φρεναρίσματος του οχήματος. Το σύστημα της πίσω κίνησης συναποτελείτε από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης που είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό μοτέρ και βρίσκονται εγκατεστημένα μαζί στο πίσω μέρος του οχήματος.

- **Περιγραφή του συστήματος διεύθυνσης.**

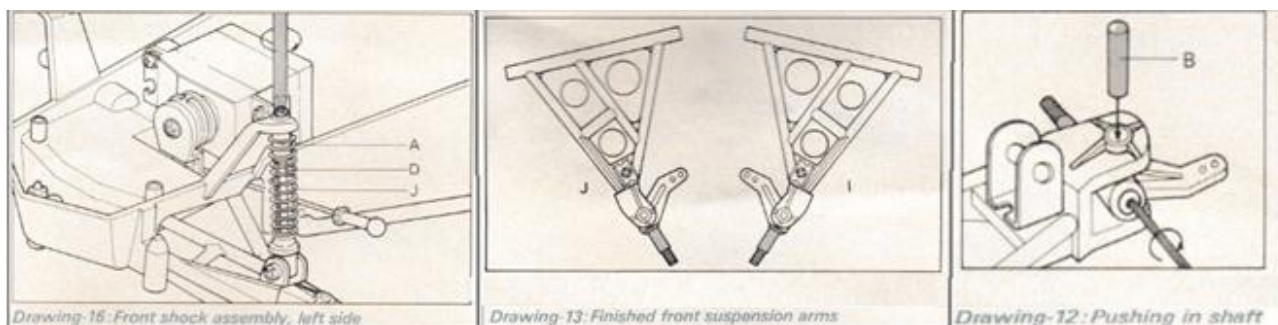
Τα επιμέρους εξαρτήματα τα οποία απαρτίζουν το σύστημα διεύθυνσης ενός πραγματικού αγωνιστικού οχήματος για ανώμαλο έδαφος απεικονίζονται στην Εικόνα 42.



Εικόνα 42 Περιγραφή ενός πραγματικού συστήματος διεύθυνσης.

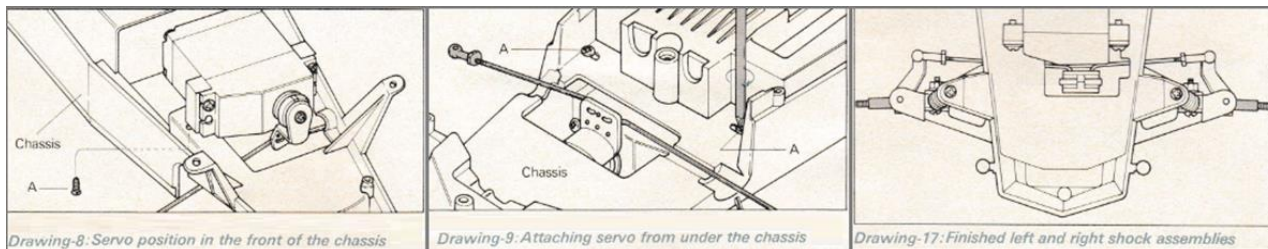
Τα κυριότερα εξαρτήματα πλην των τροχών, τα οποία απαρτίζουν το σύστημα διεύθυνσης είναι:

- Οι αναρτήσεις με τα ελατήρια..
- Οι βραχίονες των αναρτήσεων.
- Οι άξονες διεύθυνσης των μπροστινών τροχών.



Εικόνα 43 Ελατήρια αναρτήσεων (αριστερά), Βραχίονες αναρτήσεων (κεντρικά), Άξονες διεύθυνσης των μπροστινών τροχών (δεξιά) [1]

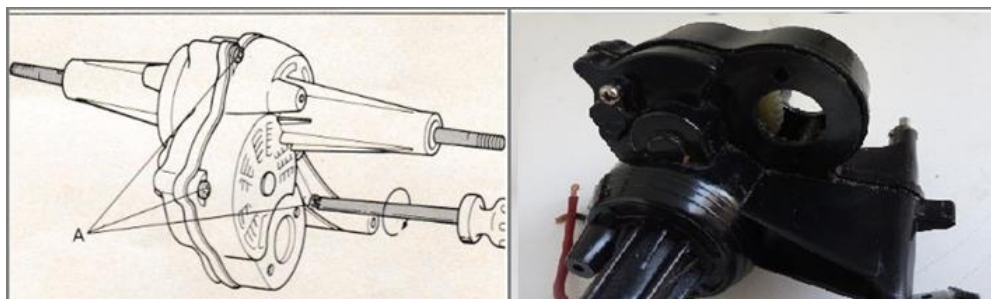
Η γωνιακή θέση των μπροστινών τροχών μεταβάλλεται μέσω ενός σερβοκινητήρα ο οποίος είναι τοποθετημένος στο μπροστινό μέρος του σασί. Επάνω στην κεφαλή του σερβοκινητήρα βρίσκεται προσαρμοσμένο ένα πλαστικό στέλεχος το οποίο συγκρατεί μαζί τους δύο παράλληλους άξονες των τροχών. Οι άξονες των τροχών οι οποίοι λειτουργούν ως η προέκταση της κίνησης του σερβοκινητήρα, στρέφουν τους τροχούς είτε δεξιά είτε αριστερά ανάλογα με την γωνιακή θέση στην οποία έχει φτάσει το σέρβο.



Εικόνα 44 Τοποθέτηση του servomotor στο μπροστινό μέρος του σασί του οχήματος [1]

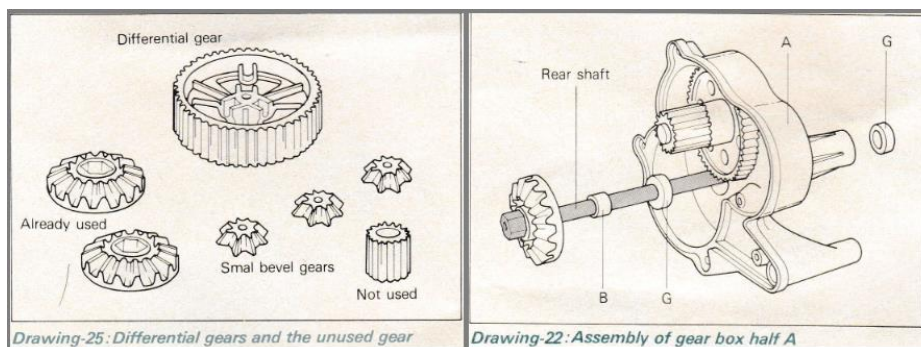
- **Περιγραφή του συστήματος παραγωγής πίσω κίνησης.**

Το ρομποτικό όχημα πρόκειται να κινείται με την χρήση τροχών στο έδαφος, επόμενος η κίνηση των τροχών παράγεται εντός του κιβώτιου μετάδοσης κίνησης και από εκεί μεταδίδεται στους άξονες περιστροφής των πίσω τροχών.



Εικόνα 45 Κιβώτιο μετάδοσης κίνησης [1]

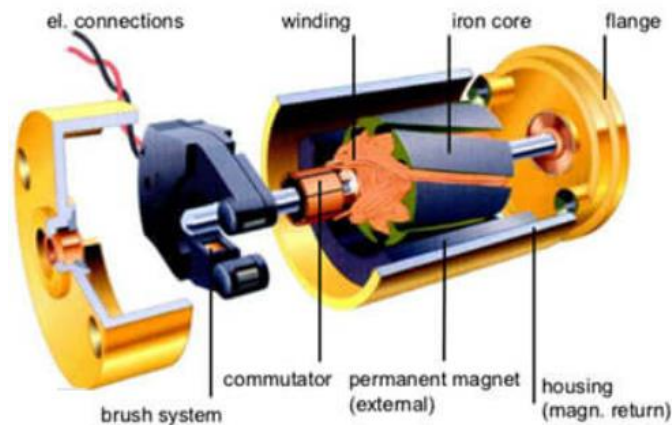
Στο εσωτερικό του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης βρίσκονται το διαφορικό μαζί με τα πλανητικά γρανάζια (απεικονίζονται στην Εικόνα 46). Με την εκκίνηση της σύμπλεξης των γραναζιών παράγεται η κίνηση στους πίσω τροχούς του οχήματος ενώ τίθεται σε λειτουργία και το διαφορικό σύστημα. Η ενεργοποίηση της διαφορικής λειτουργίας επιβάλλει στον εσωτερικό τροχό του οχήματος να μειώσει τη ταχύτητα περιστροφής του καθώς το όχημα αλλάζει πορεία και ταυτόχρονα να διατηρήσει ποσοστό της αρχικής ταχύτητας περιστροφής.



Εικόνα 46 Κιβώτιο μετάδοσης πίσω κίνησης [1]

- **Περιγραφή του μοτέρ.**

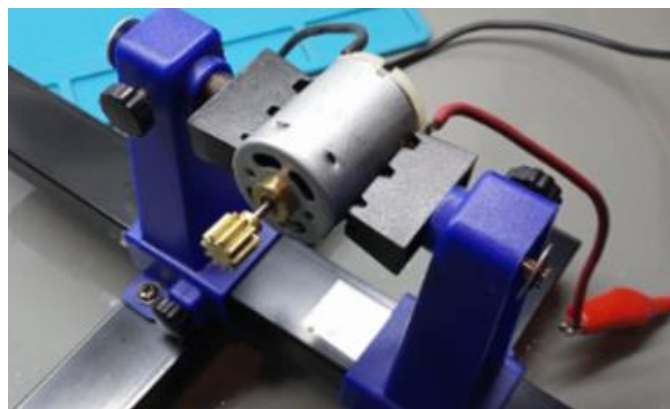
Παρότι η δομή του οχήματος μιμείται πιστά την κατασκευή ενός πραγματικού buggy το σύστημα μετάδοσης κίνησης που διαθέτει είναι μονοτάχυτο όπως και ορισμένων ηλεκτρικών ποδηλάτων. Το σύστημα μετάδοσης πίσω κίνησης, είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε η εκκίνηση του ηλεκτρικού brushed DC μοτέρ [5] που συνδέεται στο κιβώτιο μετάδοσης να προκαλεί τη σύμπλεξη μεταξύ των διαφορικών γραναζιών.



Εικόνα 47 Brushed DC electric motor. [5]

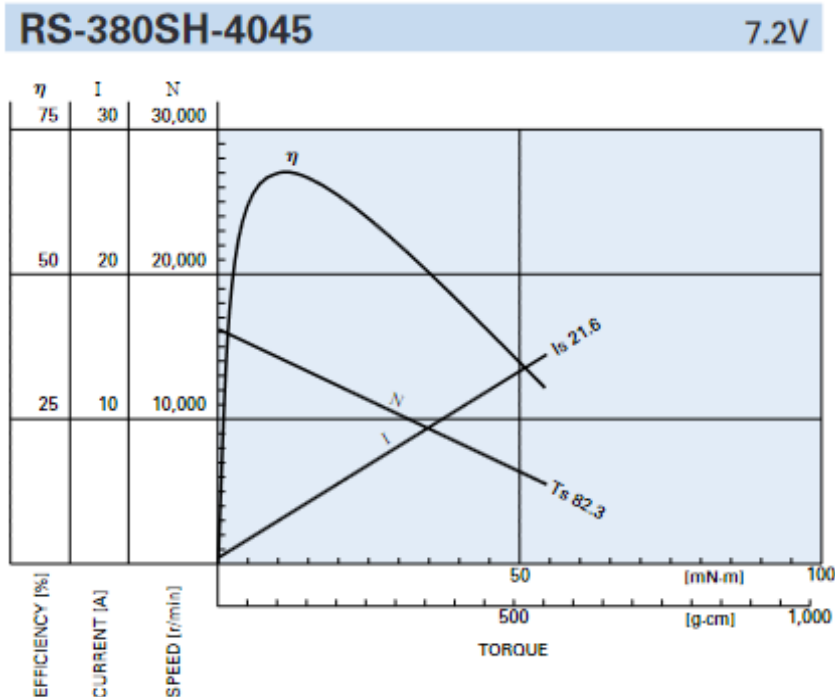
Το brushed DC μοτέρ που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το RS-380SH (Εικόνα 48) και προορίζεται για εφαρμογές τροχοφόρων οχημάτων σε ανώμαλο έδαφος. Στον πίνακα 2.1 αναγράφονται οι χαρακτηριστικές τιμές των μεγεθών της λειτουργίας του μοτέρ RS-380SH για:

- Την ταχύτητα περιστροφής,
- Τις μέγιστες τιμές ρεύματος και ροπής με ή και χωρίς φορτίο.
- Του βαθμού απόδοσης.



Εικόνα 48 Μοτέρ RS-380SH .

Οι τρεις χαρακτηριστικές οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα περιγράφουν την σχέση της δύναμης ροπής (άξονας X) με τα αντίστοιχα μεγέθη του ρεύματος (I), της ταχύτητας περιστροφής (N) και του βαθμού απόδοσης (η) (άξονες Y) για το RS-380SH.



I. Η χαρακτηριστική ευθεία που περιγράφει την ζητούμενη τιμή ρεύματος του μοτέρ RS-380S συναρτήσει της ροπής είναι μία ευθεία η οποία τείνει να αυξάνει γραμμικά κατά την αύξηση των τιμών της ροπής ενώ ταυτόχρονα η χαρακτηριστική ευθεία της ταχύτητα περιστροφής τείνει να φθίνει.

II. Η χαρακτηριστική του βαθμού απόδοσης αποδίδεται ως μία καμπύλη η οποία εμφανίζει μέγιστο ακρότατο περίπου στην σημείο με τιμή ροπής 100 g·cm

Εικόνα 49 Γράφημα τιμών της λειτουργίας του μοτέρ RS-380SH [4]

Model RS - 380SH	NO LOAD	MAX EFFICIENCY	STALL
TORQUE (mN*m)	---	10.9	82.3
TORQUE (g*cm)	---	111	839
SPEED (r/min)	16.200	14.060	---
CURRENT (A)	0.5	3.29	21.6
VOLTAGE (V)	3 ~ 9 (7.2 CONSTANT)		

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικές τιμές λειτουργίας του μοτέρ RS-380SH [4]

Για την τοποθέτηση του μοτέρ εντός της υποδοχής του κιβωτίου μετάδοσης χρησιμοποιήθηκε ένας πλαστικός προσαρμογέας ο οποίος βιδώθηκε επάνω στο μπροστινό μέρος του μοτέρ. Το μοτέρ τοποθετήθηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε το οδοντωτό στέλεχος που εμπεριέχεται στο δρομέα να κάνει επαφή εσωτερικά με τα δόντια του διαφορικού γραναζιού.



Εικόνα 50 Εγκατάσταση του μοτέρ επάνω στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης.

2.2.3 Μετατροπές στα μηχανικά μέρη.

Με γνώμονα την ευνοϊκότερη και πιο λειτουργική τοποθέτηση των ηλεκτρονικών υποσυστημάτων επάνω στο όχημα μεσολάβησαν ορισμένες μετατροπές στο χώρο της καμπίνας του όπως και στα κινητά μέρη του. Έγινε τροποποίηση των αναρτήσεων και της εσωτερικής του καμπίνας ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται περισσότερο φορτίο ενώ κρίθηκε απαραίτητη η αντικατάσταση των παλαιωμένων τροχών.

- **Διαμόρφωση της εσωτερικής καμπίνας.**

Για την εργονομικότερη τοποθέτηση των υποσυστημάτων της τροφοδοσίας και του διαμοιρασμού της ισχύος, μετρήθηκε και διαμορφώθηκε κατάλληλος χώρος εντός της καμπίνας του οχήματος έτσι ώστε να τοποθετηθούν με ακρίβεια τα προαναφερθέντα υποσυστήματα. Αφαιρέθηκαν τα προϋπάρχοντα πλαστικά μέρη της καμπίνας και η επιφάνεια καθαρίστηκε προκειμένου να είναι αρκούντως επίπεδη χωρίς κυρτώσεις όπως φαίνεται και στην Εικόνα 51.



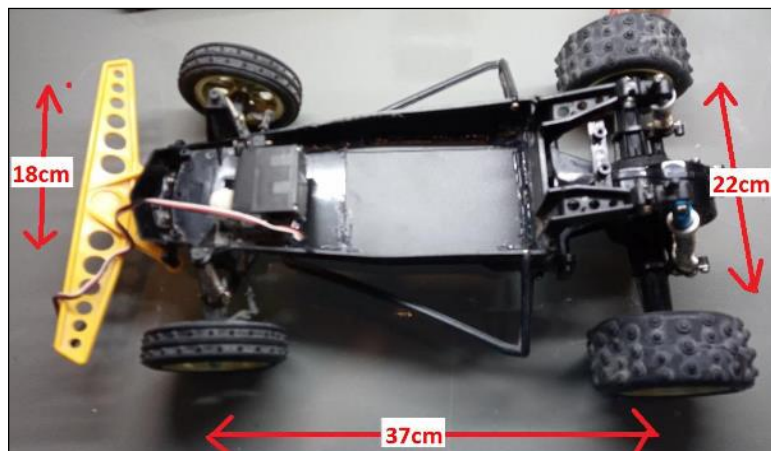
Εικόνα 51 Διαμόρφωση εσωτερικής καμπίνας

Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις του εσωτερικού κενού χώρου της καμπίνας, δημιουργήθηκε αντίστοιχα μία πλαστική επιφάνεια η οποία τοποθετήθηκε επάνω στον τροποποιημένο χώρο. Η πλαστική επιφάνεια κολλήθηκε επάνω στη διαμορφωμένη καμπίνα αποτελώντας την βάση τοποθέτησης των ηλεκτρονικών υποσυστημάτων της τροφοδοσίας και του διαμοιρασμού της ηλεκτρικής ισχύος.



Εικόνα 52 Επικάλυψη εσωτερικής καμπίνας

Μετά από την εσωτερική τροποποίηση του οχήματος, μεσολάβησε η μέτρηση των διαστάσεων του και ο υπολογισμός των μηχανικών του χαρακτηριστικών με τις τιμές να συμπληρώνονται στον Πίνακα 2.2.



Εικόνα 53 Διαστάσεις οχήματος

Μηχανικά Χαρακτηριστικά	
Μήκος	37 cm
Πλάτος	18 & 22 cm
Βάρος (χωρίς φορτίο)	1,1 kg
Βάρος (με πλήρες φορτίο)	2,3 kg
Απόσταση πλαισίου από το έδαφος	5 cm
Κίνηση	Σε 2 τροχούς
Οδήγηση	Διαφορική

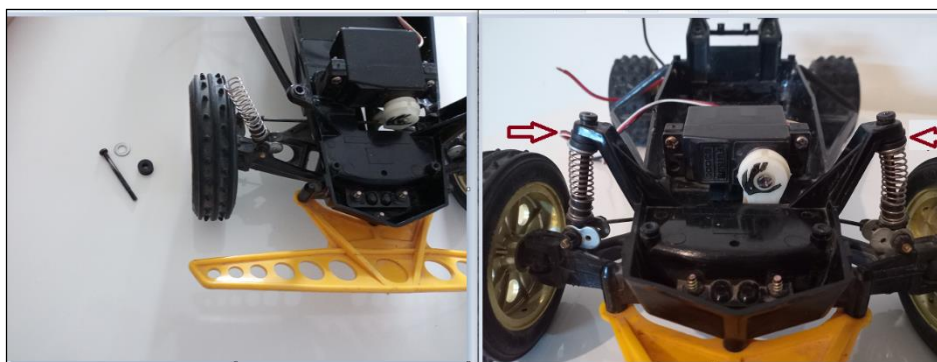
Πίνακας 2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά οχήματος

Εξαιτίας των μηχανικών αναρτήσεων που διαθέτει το όχημα στους πίσω και στους μπροστινούς τροχούς δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο βάρος το οποίο μπορούσε να διαχειριστεί το σκάφος του οχήματος. Σε φορτίο βάρους μεγαλύτερου των 1,1 κιλών το όχημα βυθιζότανε στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα τα

ελατήρια των αναρτήσεων να συσπειρώνονται στην μέγιστη παραμόρφωση τους.

- **Τροποποίηση των μπροστινών αμορτισέρ.**

Το περισσότερο φορτίο του οχήματος βρίσκονταν τοποθετημένο στο κέντρο της διαμορφωμένης καμπίνας. Εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης φορτίου στο συγκεκριμένο σημείο της καμπίνας,



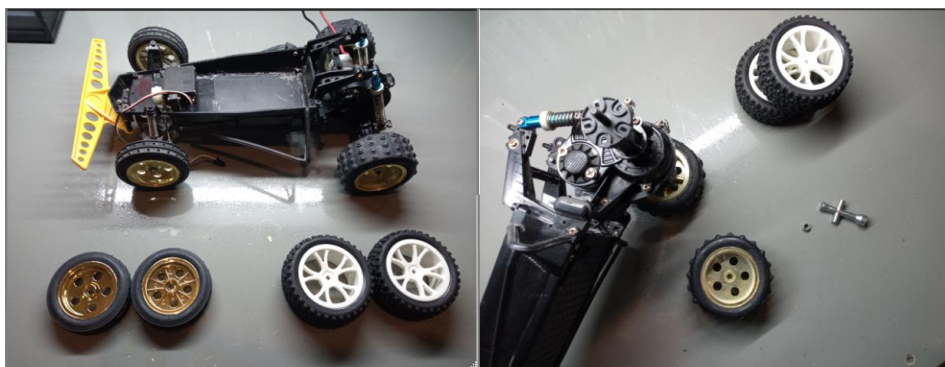
Εικόνα 54 Τοποθέτηση πλαστικών ροδελών στα άνω άκρα των ελατηρίων

παρουσιάζονταν μία μόνιμη παραμόρφωση στα ελατήρια των αναρτήσεων με συνέπεια το όχημα να βυθίζεται στο εσωτερικό του δημιουργώντας πρόβλημα στην οδηγική του

συμπεριφορά. Γενικότερα σε κάθε ελατήριο αποδίδεται ένας συγκεκριμένος δείκτης σκληρότητας, δηλαδή ένα μέγεθος το οποίο περιγράφει το λόγο της δύναμης που παραμορφώνει το ελατήριο, προς το μέγεθος της παραμόρφωσης που προκαλείται [6]. Επομένως για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, προστέθηκαν δύο πλαστικές ροδέλες στα άνω άκρα των δύο ελατηρίων αντίστοιχα με σκοπό την μετατόπιση τους σε μία νέα μόνιμη θέση ισορροπίας (η οποία φαίνεται στην Εικόνα 54). Με την προσθήκη των δύο πλαστικών ροδελών στα άνω άκρα των ελατηρίων, επιτράπηκε στο όχημα να διαχειρίζεται περισσότερο φορτίο στο εσωτερικό της καμπίνας του συγκριτικά με πριν και ταυτόχρονα η απόσταση μεταξύ του εδάφους – σασί, διατηρήθηκε σταθερή.

- **Αντικατάσταση παλαιωμένων τροχών.**

Λόγω της παλαιότητας και της φθοράς των ελαστικών στους οπίσθιους και στους εμπρόσθιους τροχούς, κρίθηκε προτιμητέα η αντικατάστασή τους. Για την αντικατάστασή τους επιλέχθηκαν δύο νέα σετ πίσω και μπροστινών τροχών αντίστοιχα. Οι νέοι τροχοί ήταν κλίμακας 1/10 προοριζόμενοι για αγωνιστικό όχημα και κατάλληλα σχεδιασμένοι για οδήγηση σε ανώμαλο έδαφος. Με τη χρήση ενός σωληνωτού κλειδιού αφαιρέθηκαν οι παλαιοί τροχοί του οχήματος (όπως φαίνεται στην Εικόνα 55) και επάνω στα άκρα των αξόνων τοποθετήθηκαν οι νέοι τροχοί έχοντας πρώτα υποστεί μετατροπή στο πλαστικό μέρος της ζάντας. Η συγκράτηση των τροχών επάνω στους άξονες του οχήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μεταλλικού παξιμαδιού το οποίο είναι βιδωμένο στην εξωτερική πλευρά των τροχών.



Εικόνα 55 Τοποθέτηση των νέων τροχών του οχήματος

2.3 Μελέτη του συστήματος τροφοδοσίας και διανομής ισχύος

Αρχικός σκοπός της μελέτης, ήταν η ενεργειακή αυτονομία του οχήματος, επομένως μελετήθηκε και σχεδιάστηκε ένα PowerBank βασισμένο σε μπαταρίες ιόντων λιθίου το οποίο εξασφαλίζει την πλήρη ενεργειακή επάρκεια στο όχημα. Το PowerBank παρέχει την αδιάληπτη τάση τροφοδοσίας στα επιμέρους υποσυστήματα του οχήματος εξασφαλίζοντας επάρκεια 2 ωρών. Η παρεχόμενη ισχύς, διαμοιράζεται στα επιμέρους υποσυστήματα του οχήματος μέσω της δημιουργίας μίας διάταξης τριών DC – DC Stepdown Converter με τον καθένα τους να υποστηρίζει και από ένα διαφορετικό υποσύστημα. Τα κυκλώματα τα οποία υποστηρίζονται από τους DC – DC μετατροπείς είναι μια γέφυρα οδήγησης (H-bridge), μία αναπτυξιακή πλακέτα Arduino και ένα servomotor όπως και διατάξεις αισθητήρων που πρόκειται να προστεθούν σε μελλοντική εφαρμογή. Ο διαμοιρασμός της συνολικής ισχύος του συστήματος επιλέχθηκε να υλοποιηθεί διαμέσου τριών stepdown εν αντιθέσει

με την χρήση μόνο ενός, διότι με τον τρόπο αυτόν περιορίζονται φαινόμενα όπως η ανεξέλεγκτη θερμική επιβάρυνση των εξαρτημάτων εντός της θήκης των Stepdown.

2.3.1 Η μελέτη της επιλογής των εξαρτημάτων

Βάσει των απαιτήσεων που τέθηκαν, σχετικά με τις δυνατότητες και με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τα οποία πρόκειται να έχει το ρομποτικό όχημα, επιλέχθηκαν εξαρτήματα τα οποία επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή απόδοση τόσο σε ενέργεια όσο και σε φυσικό μέγεθος.

i. Μπαταρίες συστήματος

Στη σύνθεση του PowerBank χρησιμοποιήθηκαν 9 μπαταρίες τύπου Li-ion Panasonic NCR18650B, 3400mAh συνδεδεμένες παράλληλα ανά συστοιχίες των τριών και με τις συστοιχίες τους συνδεδεμένες σε σειρά έτσι ώστε η μετρούμενη τιμή τάσης στα άκρα των μπαταριών να υπολογίζεται στα 12,6 V.



Εικόνα 56 Κελιά τύπου Li-ion Panasonic NCR18650B 3400mAh

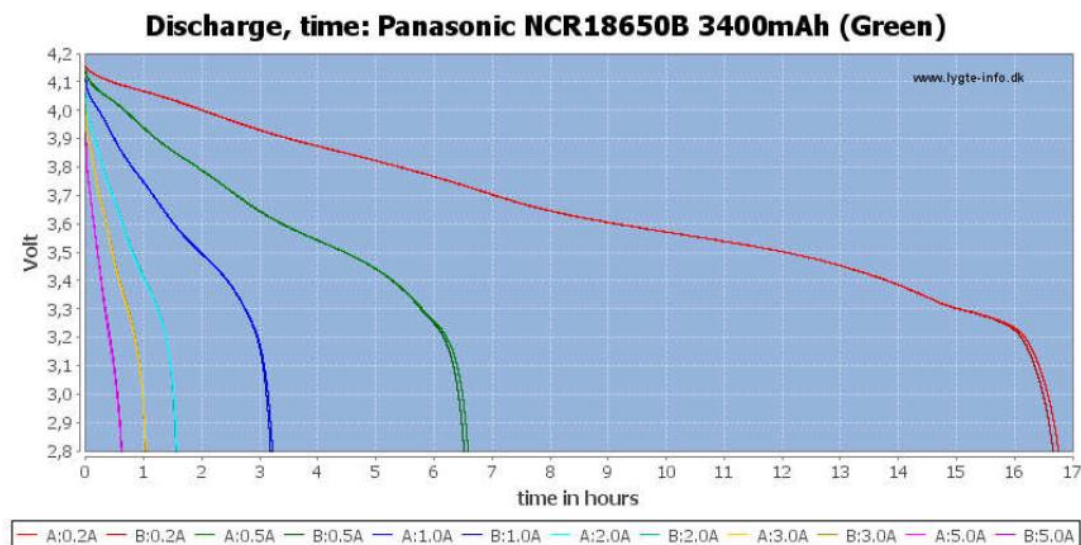
Name	Panasonic NCR18650B 3400mAh (Green)						
Cell	Panasonic NCR18650B						
Supplier	cn qualti goods				Date:	6-2012	
Size	Weight:	45.9 g	Length:	65 mm	Diameter:	18.3 mm	
Info	Top:	flat	Bottom:	metal	Rated A:		
Test condition	Charge voltage:		4.2	Termination current:			0,1
Test current (A)	0,2	0,5	1	2	3	5	
Measured capacity (Ah)	3,326	3,270	3,197	3,128	3,103	3,080	
Measured energy (Wh)	12,142	11,856	11,472	11,014	10,727	10,296	
PCB protection trip current (A)	NA						
Calculated internal resistance (ohm)	0,11						

This is the latest cells from Panasonic with the highest capacity.
The cell used can be discharged down to 2.5 volt, in my test I only discharges to 2.8 volt, i.e. I do not measure the full capacity.
But then, not all lights will be able to use the full capacity.

Πίνακας 2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Li-ion Panasonic NCR18650B 3400mAh [8]

Στο γράφημα της Εικόνας 56 απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές ευθείες που περιγράφουν την μείωση της τάση φόρτισης μιας μπαταρίας NCR18650B σε συνάρτηση με ζητούμενες τιμές έντασης. Η χαρακτηριστική κόκκινου χρώματος παρουσιάζει, την γραμμική μείωση της τάσης κατά τη πάροδο του χρόνου με τιμή εντάσεως στα 2 A ενώ η χαρακτηριστική με το βυσσινή χρώμα παρουσιάζει την γραμμική μείωση της τάσης αποφόρτισης με σταθερή τιμή εντάσεως στα 5 A. Από την μεταξύ σύγκριση των δύο χαρακτηριστικών προκύπτει ότι η χαρακτηριστική με την μικρότερη

κλίση είναι η περίπτωσης της πιο αργής αποφόρτισης της μπαταρίας , δηλαδή η χαρακτηριστική με την τιμή εντάσεως 2 A.

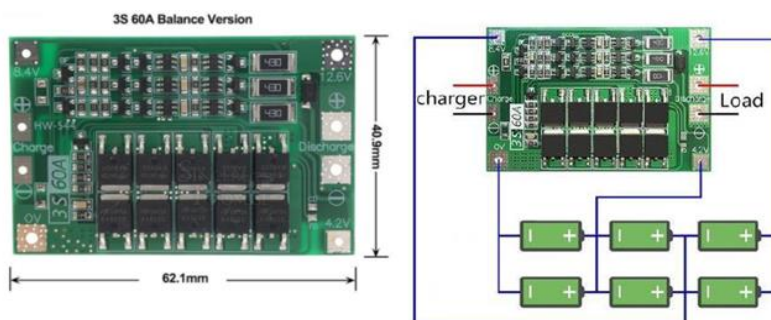


Εικόνα 57 Γράφημα τάσης-ρεύματος από το datasheet Li-ion Panasonic NCR18650B κατά τη φάση της εκφόρτισης [8]

ii. Το κύκλωμα προστασίας και συμμετρικής φόρτισης των μπαταριών.

Στις περισσότερες εφαρμογές επαναφορτιζόμενων μπαταριών γίνεται συνήθως χρήση συγκεκριμένων διατάξεων προστασίας. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις προστασίας αυτές (γνωστές και ως BMS protection board) είναι υπεύθυνες για τον εποπτικό έλεγχο και την ορθή λειτουργία των μπαταριών , εξασφαλίζοντας τους την μέγιστη διάρκεια ζωής . Η προστασία που παρέχουν, αποτρέπει τις μπαταρίες λιθίου

από το να βρεθούν σε ανεπιθύμητες καταστάσεις λειτουργίας οι οποίες θα οδηγούσαν στην καταστροφή τους όπως υπερφόρτωση ή πλήρης αποφόρτιση της τάσης, υπερέντασης ή βραχυκυκλώματος στην έξοδο. Η συχνότερη αιτία καταστροφής των μπαταριών λιθίου είναι η



Εικόνα 58 BM098-3S-40A Li-ion Battery Protection Board [9]

υπερθέρμανση η οποία προκαλείται από τα φαινόμενα της υπερέντασης κατά την φόρτιση η την εκφόρτωση των μπαταριών ή του βραχυκυκλώματος στην έξοδο. Χωρίς τη χρήση ενός κυκλώματος προστασίας, σε μία εφαρμογή επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου, τα στοιχεία της μπαταρίας δεν θα λειτουργούσαν μέσα στα ασφαλή και επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας τα οποία προτείνει ο κατασκευαστής, με κίνδυνο οι μπαταρίες να υποστούν ταχεία γήρανση ή και καταστροφή. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε χρήση ενός BMS 3S Li-ion Battery Protection Board (Εικόνα 58) το οποίο παρέχει προστασία των κελιών της μπαταρίας τόσο κατά την διαδικασία της φόρτισης όσο και

της εκφόρτωσης. Διαμέσου του BMS Protection Board δημιουργείται μία ομοιόμορφη συμμετρική τιμή τάση φόρτισης σε όλα τα κελιά της μπαταρίας μέχρι να φτάσουν στην τιμή τάσης φόρτισης των 4,25 V , όταν η τιμή τάσης φόρτισης υπερβεί τα 4,25V η τροφοδοσία διακόπτεται για την αποφυγή υπερφόρτισης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του BMS Protection Board παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4 απευθείας από το datasheet του BM098-3S-40A [9].

3S40A : Electric parameter	Min	Max	Unit
Self consuming current	12	24	uA
Overcharge protection voltage	4.2	4.3	V
Balance charging start voltage	4.17	4.23	V
Balance current	95	105	mA
Balance charging Power	1.17	1.43	W
Over-discharge protection voltage A	2.4	2.6	V
Voltage after over discharge protection	2.8	3.2	V
Voltage after over discharge protection	3.2	3.8	V
Over-discharge recovery voltage	2.9	3.3	V
Rds (on)	2.5	3.5	mΩ
Over-current protection current (-S)	54	66	A
Over-current protection current (-B & -E)	70	90	A
Over-current delay time	100	200	ms
Continue work current	0	40	A
Continue output power	0	504	W
Environment temperature	-40	85	°C

Fault phenomenon	Fault Checking and Causes	Action
Unable to charge	Measure the voltage of 3 batteries. If the voltage of one group of batteries is exceeds about 4.25V, the protection board will start overcharge protection.	Match the batteries well, and don't mix the good batteries with the bad ones (normal function, no warranty)
Unable to discharge	Measure the voltage of 3 groups of batteries. If the voltage of one group of batteries is less than 2.7V, the protection board will start overcharge protection.	Match the batteries well, and don't mix the good batteries with the bad ones (normal function, no warranty)
Charge / discharge failure	0V, 4.2V, 8.4V, 12.6V wrong connection	Rewire or renew the board (Human fault, no warranty)
Overcharge/over-discharge failure	0V, 4.2V, 8.4V, 12.6V wrong connection	Rewire or renew the board (Human fault, no warranty)
Discharge protection	Check the battery pack whether has sufficient discharge capacity and the starting current of the load whether exceeds the over-current protection current of the protective board.	Replacement of batteries with stronger discharge or protective board with larger current (beyond working range, no warranty by return)
Element virtual welding	There is no connection between one pin of the component and PCB welding.	
Element continuous welding	There is a short circuit between two or more pins of a component.	Remove components and re-weld (Maintainable by return)
Electrostatic breakdown A	In the absence of electricity, measure the G, D and S pins of MOS transistors. If the forward and reverse resistances of any two pins are 0Ω, it has been damaged.	Removal and replacement MOSFETs transistors
Electrostatic breakdown B	Remove the MOSFET's transistors and measure the resistance values of G and D poles, G and S pins. If there is breakdown, the resistance should be infinite under normal conditions.	Removal and replacement MOSFETs transistors

Πίνακας 2.2.4 Ηλεκτρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του BMS Protection Board [9]

iii. Προβολή των ενδείξεων της τάσης και της έντασης τροφοδοσίας.

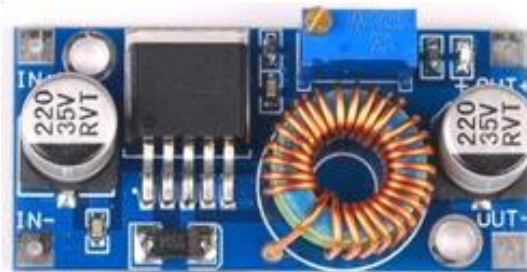
Για την καλύτερη εποπτεία των μεταβολών στις τιμές της τάσεως και της εντάσεως της τροφοδοσίας, τοποθετήθηκε στην έξοδο του BMS Board του PowerBank ένα DC Volt – Ampere Meter 100V, 10A τύπου LED. Μέσω της χρήσης του DC Volt – Ampere Meter προβάλλονται οι ενδείξεις της τροφοδοσίας για το χρονικό διάστημα το οποίο το όχημα βρίσκεται σε λειτουργία.



Εικόνα 59 LED DC Volt – Ampere Meter 100V, 10A [10]

iv. Τροφοδοσία Arduino Uno & servomotor.

Για την τροφοδοσία της μονάδας ελέγχου του οχήματος (επιλέχθηκε ένα Arduino Uno) και του servomotor χρησιμοποιήθηκε ένας DC-DC Buck Converter ο οποίος διαθέτει ρυθμιζόμενη τάση 5-32V και ρεύμα στα 3A. Η δυνατότητα παροχής τροφοδοσίας της εξόδου του προσαρμόστηκε στα 6 V και 3 A. Στο πίνακα 2.5 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά.



Εικόνα 60 DC-DC Buck Converter 5-32V, 3A [11]

Input Voltage	5 - 32V
Adjustable Output Voltage	1 - 32V
Output recommended current	0 - 4,5A
Output recommended power	50W
Working temperature	40 ~ 85 degrees
Operating frequency	180 KHz
Highest conversion efficiency	95%
Short circuit protection	Yes
Over temperature protection	Yes
Input reverse protection	No

Πίνακας 2.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά DC-DC Buck Converter 5-32V, 3A [11]

v. Τροφοδοσία της γέφυρας οδήγησης-H.

Εξαιτίας των υψηλών επιδόσεων ισχύος του μοτέρ αποφασίστηκε ότι η γέφυρα οδήγησης-H η οποία θα οδηγεί τον DC κινητήρα πρέπει να διαθέτει ξεχωριστή παροχή τροφοδοσίας από τα υπόλοιπα υποσυστήματα του οχήματος. Επομένως για τη παροχή τροφοδοσίας της γέφυρας οδήγησης- H

επιλέχθηκε ένας DC-DC Stepdown Converter ο οποίος διαθέτει ρυθμιζόμενη τάση εξόδου στα 4-32V και ρυθμιζόμενο ρεύμα με μέγιστη τιμή τα 10A. Οι τιμές εξόδου στον Stepdown της γέφυρας προσαρμόστηκαν στα 4 V και 7,5 A. Στο πίνακα 2.6 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά.



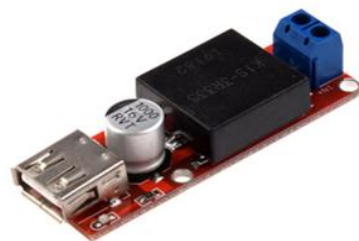
Εικόνα 61 DC-DC Buck Converter 4-32V, 10A [11]

Input Voltage	4 - 32V
Adjustable Output Voltage	1,2 - 32V
Output recommended current	0 - 10A
Output recommended power	80W
Working temperature	40 ~ 85 degrees
Operating frequency	150 KHz
Highest conversion efficiency	98%
Short circuit protection	Yes
Over temperature protection	Yes
Input reverse protection	No

Πίνακας 2.6 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά DC-DC Buck Converter 4-32V, 10A [11]

vi. Τροφοδοσία των αισθητήρων.

Το ρομποτικό όχημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης τόσο στο σύστημα ελέγχου του όσο και στη προσθήκη αισθητήρων. Για την τροφοδοσία των αισθητήρων επιλέχθηκε ένας USB DC-DC Stepdown Converter ο οποίος διαθέτει σταθερή τιμή τάσης εξόδου στα 5V και ρεύμα 3A. Στο Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά.



Εικόνα 62 USB DC-DC Buck Converter 7-24V, 3A [11]

Input Voltage	7 - 24V
Output Voltage	5 V
Output recommended current	0 - 3A
Output recommended power	15 W
Working temperature	40 ~ 85 degrees

Operating frequency	340 KHz
Highest conversion efficiency	95%
Output ripple	30mV
Overcurrent Protection	Yes

Πίνακας 2.7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά USB DC-DC Buck Converter 7-24V, 3A [11]

Εφόσον μελετήθηκαν οι προσφερόμενες λύσεις και προσδιορίστηκαν τα ηλεκτρονικά στοιχεία και τα υλικά που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του Powerbank και του Stepdown Case δημιουργήθηκε ένας πίνακας με το πλήθος αυτών.

<i>A/A</i>	<i>Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα & Υλικά.</i>	<i>Τεμάχια</i>
Powerbank		
1	Li -ion Batteries 18650 3.7V	9
2	BMS Protection Board	1
3	LED DC Volt - Ampere Meter 100V, 10A	1
4	LED DC Volt Meter 30V	1
5	Διακόπτες ON - OFF	2
6	Μπόρνες τροφοδοσίας	2
7	Κλέμες καλωδίων	6
Stepdown Case		
8	DC to DC Stepdown Converter	3
9	Κλέμες καλωδίων	6
10	Διάτρητη πλακέτα	1

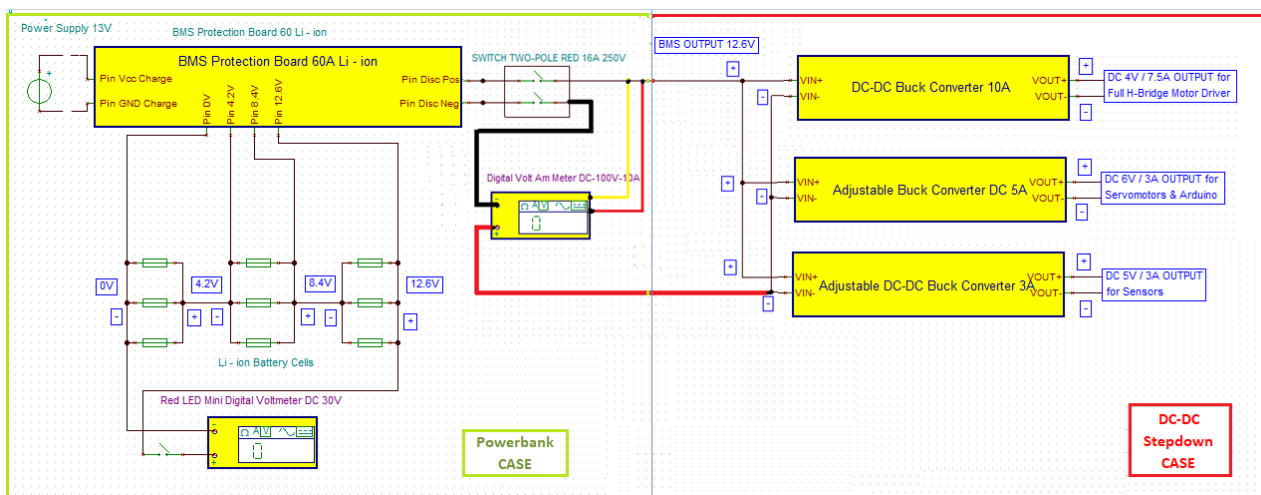
Πίνακας 2.8 Το πλήθος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και των υλικών για την δημιουργία του Powerbank και του Stepdown Case.

2.3.2 Σχεδιασμός του συστήματος τροφοδοσίας και υπολογισμός της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος στα υποσυστήματα του οχήματος.

Στη παρακάτω Εικόνα 63 απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα και ο τρόπος διασύνδεσης μεταξύ των εξαρτημάτων των Powerbank και Stepdown Case.

- Στο αριστερό τμήμα της Εικόνας 63 εντοπίζεται το μπλοκ του BMS board στο οποίο διακρίνονται οι 8 ακροδέκτες εισόδου και εξόδου. Οι δύο αριστεροί ακροδέκτες λαμβάνουν τη τάση φόρτισης από το τροφοδοτικό ενώ οι δυο ακροδέκτες στα δεξιά είναι οι έξοδοι της τροφοδοσίας προς τον διπολικό διακόπτη. Οι ενδιάμεσοι ακροδέκτες στο BMS board είναι υπεύθυνοι για τη συμμετρική και ομοιόμορφη φόρτιση των μπαταριών λιθίου. Ακριβώς κάτω από το μπλοκ του BMS απεικονίζονται οι συστοιχίες των μπαταριών ιόντων λιθίου ενώ στο κάτω μέρος της Εικόνας εντοπίζεται το ψηφιακό βολτόμετρο για την ένδειξη της τάσης φόρτισης των μπαταριών κατά την λειτουργία της φόρτισης.

- Στο κέντρο της Εικόνας 63, επάνω στις εξόδους του BMS board συνδέεται ο διπολικός διακόπτης ο οποίος επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος προς το υπόλοιπο κύκλωμα. Κάτω από τον διπολικό διακόπτη βρίσκεται τοποθετημένο το ψηφιακό βολτόμετρο αμπερόμετρο με τις ενδείξεις του ρεύματος και της τάσης τροφοδοσίας που απαιτούν τα υποσυστήματα κ άθολη την διάρκεια λειτουργίας του οχήματος.
- Στο δεξί μέρος της Εικόνας 63 διακρίνονται οι τρεις DC-DC Stepdown Converter οι οποίοι λαμβάνουν τη τροφοδοσία διαμέσου του διπολικού διακόπτη τροφοδοσίας στην έξοδο του PowerBank. Οι Stepdown Converter είναι υπεύθυνοι για τον μετασχηματισμό της τροφοδοσίας στις κατάλληλες τιμές ισχύος που χρειάζονται τα υποσυστήματα του οχήματος καθώς και για τον διαμοιρασμό της.



Εικόνα 63 Σχηματικό διάγραμμα των Powerbank και Stepdown Case στο λογισμικό TINA-TI.

Στο πίνακα 2.9 υπολογίζονται η συνολική κατανάλωση ισχύος των υποσυστημάτων του οχήματος την στιγμή που αυτά βρίσκονται στη λειτουργία της μέγιστης κατανάλωσης ισχύος όπως επίσης και οι μέγιστες τιμές τάσεως και εντάσεως που μπορεί να αποδώσει το Powerbank. Η συνεχόμενη λειτουργία του οχήματος επιφέρει τη σταδιακή μείωση της τιμής της τάσης των μπαταριών αυξάνοντας ταυτόχρονα την ζήτηση σε ανάλογες τιμές ρεύματος. Για τον υπολογισμό της μέγιστης καταναλισκόμενης ισχύος του οχήματος υπολογίστηκαν για κάθε μία πιθανή τιμή τάσης εκφόρτισης μία αντίστοιχη τιμή έντασης έτσι ώστε το ισοζύγιο της καταναλισκόμενης ισχύος να παραμένει σταθερό. Η συνολική μέγιστη καταναλισκόμενη τιμή ισχύος υπολογίστηκε στα 65,25 W.

Διαμοιρασμός της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος στα υποσυστήματα του οχήματος.								
Οι ρυθμισμένες τιμές ρεύματος και τάσης στις εξόδους των Buck Converter.	V	A	Conversion efficiency	W	Οι τιμές ρεύματος για κάθε αντίστοιχη τιμή τάσης ώστε το ισοζύγιο της μέγιστης καταναλισκόμενης ισχύος του οχήματος να παραμένει 65,25 W.	V	A	W
Buck Converter DC -DC H-BRIDGE Motor Driver 4,0V 7,5A	4	7,5	98%	30,6		12,6	5,18	65,25
Buck Converter DC -DC SERVOMOTOR & ARDUINO 6,0V 3A	6	3	95%	18,9		10,5	6,21	
USB Buck Converter DC -DC 5V 3A SENSORS	5	3	95%	15,75		9,2	7,09	
<i>Η μέγιστη κατανάλωση ισχύος όλων των υποσυστημάτων του οχήματος ταυτόχρονα σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας.</i>						65,25	7,8	

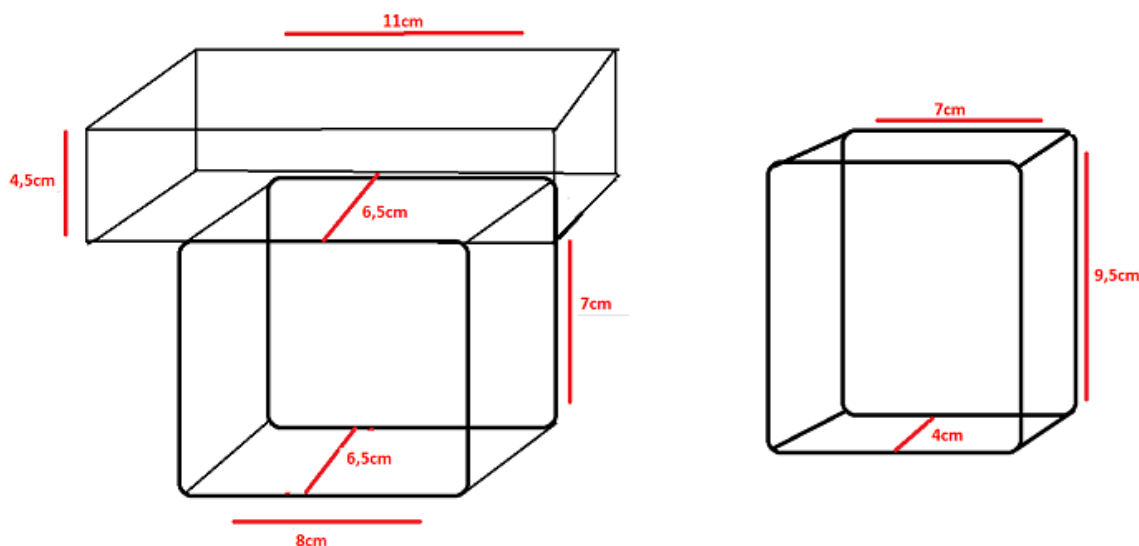
Πίνακας 2.9 Οι τιμές της τάσεως και της εντάσεως στις εξόδους των DC- DC και η μέγιστη απαιτούμενη τιμή της ισχύος την οποία θα μπορούσε να αποδώσει το Powerbank.

*Διευκρινίσεις:

- 1) Η αποδιδόμενη ισχύς των 65,25W από το Powerbank προκύπτει μόνο κατά τη περίπτωση όπου όλα τα υποσυστήματα του οχήματος καταναλώνουν ταυτόχρονα τις μέγιστες δυνατές τιμές της ζητούμενης ισχύος.
- 2) Οι τιμές των τάσεων στο δεξί μέρος του πίνακα επιλέχθηκαν έτσι ώστε να βρίσκονται ανάμεσα στις ακραίες τιμές των τάσεων πλήρους φόρτισης (12,6V) και χαμηλότερης επιτρεπόμενης τιμής εκφόρτισης (7,8V) των μπαταριών λιθίου. Όταν η τάση φόρτισης υπερβεί την τιμή των 12,6V το BMS board διακόπτει την παροχή τροφοδοσίας στην είσοδο του Powerbank παρέχοντας έτσι προστασία από υπερφόρτωση στα κελιά της μπαταρίας ενώ όταν η τιμή της τάσης μειωθεί κάτω των 7,8V τότε διακόπτει την παρεχόμενη τροφοδοσία προς το υπόλοιπο κύκλωμα για τη προστασία από αποφόρτιση. Με τον τρόπο προστασίας αυτόν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των μπαταριών λιθίου διατηρούνται αναλλοίωτα και εξασφαλίζεται ο μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης- εκφόρτισης.

- Σχέδια της δημιουργίας θηκών για τα Powerbank και Stepdown Case.

Για την προφύλαξη των DC – DC Stepdown Converters, των μπαταριών αλλά και των υπόλοιπων εξαρτημάτων που πρόκειται να αποτελέσουν τις διατάξεις του Powerbank και του Stepdown Case, σχεδιάστηκαν δύο θήκες από αδιάφανο Plexiglas. Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις τόσο στον εσωτερικό χώρο του σασί του οχήματος όσο και των εξαρτημάτων που τοποθετούνται εντός των θηκών, σχεδιάστηκαν και κόπηκαν τα ανάλογα πλαστικά κομμάτια.



Εικόνα 64 Αριστερά: Διαστάσεις θήκης PowerBank.

Δεξιά: Διαστάσεις θήκης Stepdown Case.

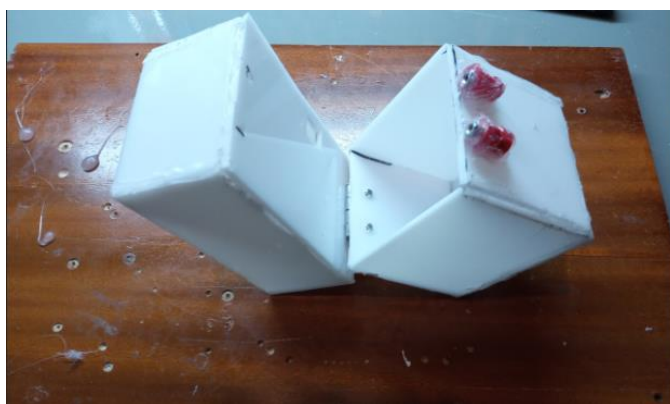
2.3.3 Κατασκευαστική πορεία του συστήματος τροφοδοσίας.

Ύστερα από την δημιουργία θηκών για τη συσκευασία των εξαρτημάτων του Powerbank και του Stepdown Case ακολούθησε η τοποθέτηση των εξαρτημάτων εντός σε αυτές και στην συνέχεια έγιναν οι συνδέσεις των καλωδίων όπως και οι κολλήσεις των επαφών. Η επιλογή των εξαρτημάτων τα οποία πρόκειται να συνθέσουν το Powerbank διαμορφώθηκε βάσει των μέγιστων ανοχών σε τιμές ρεύματος. Το BMS protection board σε λειτουργία εκφόρτωσης μπορεί να διαχειριστεί ρεύμα εντάσεως έως και 15 A διατηρώντας τη θερμοκρασία του σταθερή σε τιμές θερμοκρασίας δωματίου. Ο κεντρικός διακόπτης ενεργοποίησης του Powerbank και ολόκληρου του οχήματος μπορεί να

διαχειριστεί ένταση ρεύματος μέχρι 15A ενώ το ψηφιακό βολτόμετρο-αμπερόμετρο το οποίο βρίσκεται συνδεδεμένο σε σειρά με τον κεντρικό διακόπτη μέχρι και 10A. Τα καλώδια εκφόρτισης του Powerbank που απολήγουν από την έξοδο του BMS protection board και καταλήγουν στην είσοδο του Stepdown Case επιλέχθηκαν να είναι διατομής ίση με 1,5mm².

- **Συναρμολόγηση της θήκης του Powerbank**

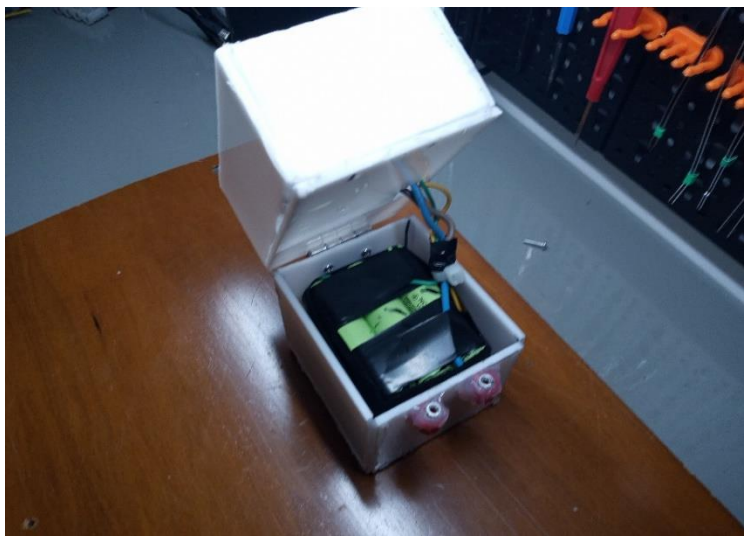
Αρχικά κόπηκαν τα κομμάτια Plexiglas για τη δημιουργία του κάτω μέρους της θήκης του Powerbank και κολλήθηκαν μεταξύ τους για να σχηματιστεί ο χώρος στον οποίο τοποθετούνται οι μπαταρίες λιθίου. Στην συνέχεια δημιουργήθηκε το άνω μέρος της θήκης ώστε να γίνει τοποθέτηση και των υπόλοιπων εξαρτημάτων. Στην Εικόνα 65 έχει ολοκληρωθεί το άνω και κάτω μέρος της θήκης για να ακολουθήσει η προσαρμογή των εξαρτημάτων του Powerbank.



Εικόνα 65 Ολοκληρωμένη η θήκη του Powerbank.

- **Προσαρμογή των εξαρτημάτων εντός της θήκης.**

Εφόσον ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση της θήκης του Powerbank, ακολούθησε μία δοκιμαστική τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων στον εσωτερικό της χώρο με σκοπό την καλύτερη διεύθυνση τους. Στη Εικόνα 66 τοποθετούνται οι μπαταρίες Li-ion στο κάτω μέρος της θήκης ενώ η καλωδίωση μεταξύ των κελιών διοχετεύεται προς το επάνω μέρος. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 67 στο άνω πλαϊνό μέρος της θήκης τοποθετούνται ο διακόπτης ON – OFF του βολτόμετρου φόρτισης όπως και το βολτόμετρο για την ένδειξη της τιμής φόρτισης.



Εικόνα 66 Τοποθέτηση των μπαταριών λιθίου.



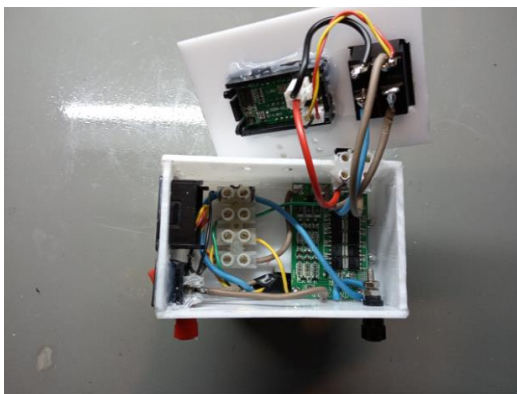
Εικόνα 67 Αριστερά: Το εσωτερικό του άνω μέρους της θήκης και στο πίσω μέρος οι μπόρνες τροφοδοσίας.
Δεξιά: Ο διακόπτης ON – OFF ,το βολτόμετρο με την ένδειξη της τιμής φόρτισης.

Ακολούθησε η εγκατάσταση του BMS Protection Board στη δεξιά μεριά εντός του άνω πλαισίου της θήκης και υλοποιήθηκε η συνδεσμολογία με τα υπόλοιπα προ εγκατεστημένα εξαρτήματα. Στην οροφή της θήκης τοποθετείται ο διπολικός διακόπτης της τροφοδοσίας του συστήματος, ακριβώς δίπλα από το ψηφιακό βολτόμετρο αμπερόμετρο.



Εικόνα 68 Τοποθέτηση του BMS Protection Board και της κλέμας εξόδου.

Μετά την διαδικασία της τοποθέτησης όλων των εξαρτημάτων εντός της θήκης, ακολούθησαν οι κολλήσεις μεταξύ των καλωδίων και των αντίστοιχων επαφών. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του μήκους των καλωδίων τα οποία πρόκειται να βρίσκονται εντός της θήκης ούτως ώστε να περιορίζονται οι πιέσεις επάνω στα τοιχώματα και στην οροφή της θήκης κατά την συσκευασία.



Εικόνα 69 Ολοκλήρωση των συνδέσεων μεταξύ των εξαρτημάτων.

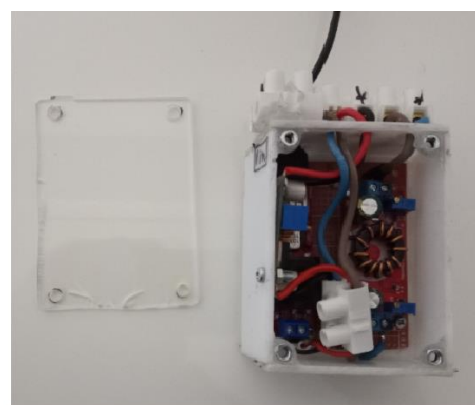
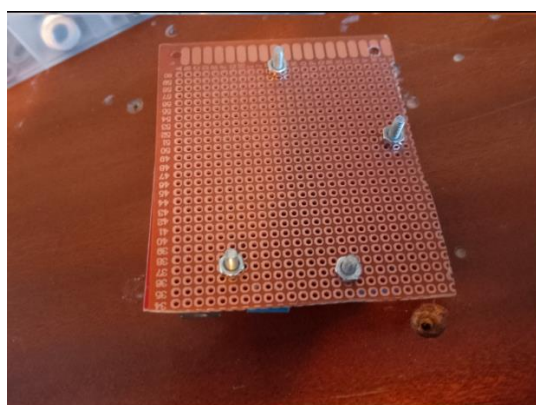
Πριν από το τελικό στάδιο της τελικής ενσωμάτωσης του Powerbank, για λόγους προληπτικής προστασίας των εξαρτημάτων από τυχόν βραχυκυκλώματα απογυμνωμένων καλωδίων και των επαφών, όλες οι απογυμνωμένες επιφάνειες επικαλύφθηκαν με μονωτική σιλικόνη.



Εικόνα 70 Επικάλυψη των απογυμνωμένων μερών και επαφών με σιλικόνη

- **Συναρμολόγηση θήκης Stepdown Case και προσαρμογή των εξαρτημάτων**

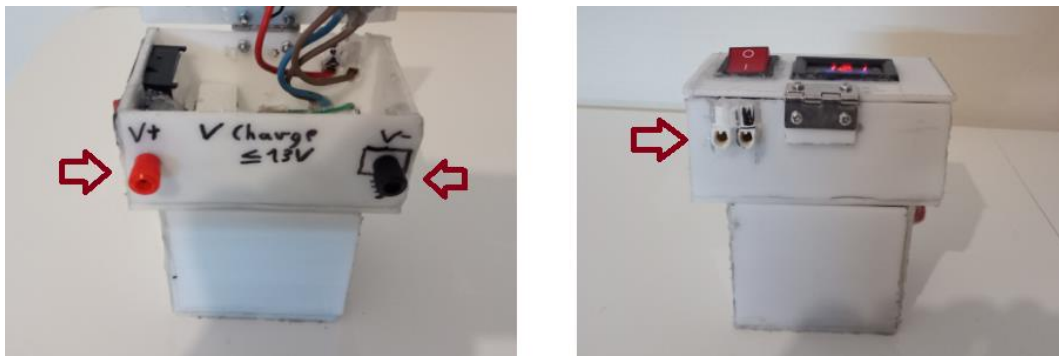
Μετρήθηκαν και κόπηκαν κομμάτια Plexiglas Case για την δημιουργία της θήκης των τριών Stepdown Converter. Στην πρόσοψη της θήκης επιλέχθηκε να τοποθετηθεί διάφανο Plexiglas ώστε οι φωτεινές ενδείξεις των Stepdown Converter να είναι ορατές κατά τη λειτουργία του οχήματος. Στη συνέχεια τα αδιάφανα μέρη τη θήκης κολλήθηκαν μεταξύ τους με σιλικόνη ενώ το διάφανο πλαίσιο βιδώθηκε επάνω στην πρόσοψη. Για την κατάλληλη προσαρμογή των Stepdown Converter εντός της θήκης χρησιμοποιήθηκε μία διάτρητη πλακέτα επάνω στην οποία βιδώνονται. Μετά την τοποθέτηση της διάτρητης πλακέτας εντός του Stepdown Case, καλωδιώθηκαν οι επαφές των Stepdown Converter με τις αντίστοιχες κλέμες εισόδου και εξόδου.



Εικόνα 71 Αριστερά: Η πίσω όψη της διάτρητης πλακέτας όπου έχουν προσαρμοστεί οι Stepdown Converter Δεξιά: Η ολοκλήρωση του Stepdown Case

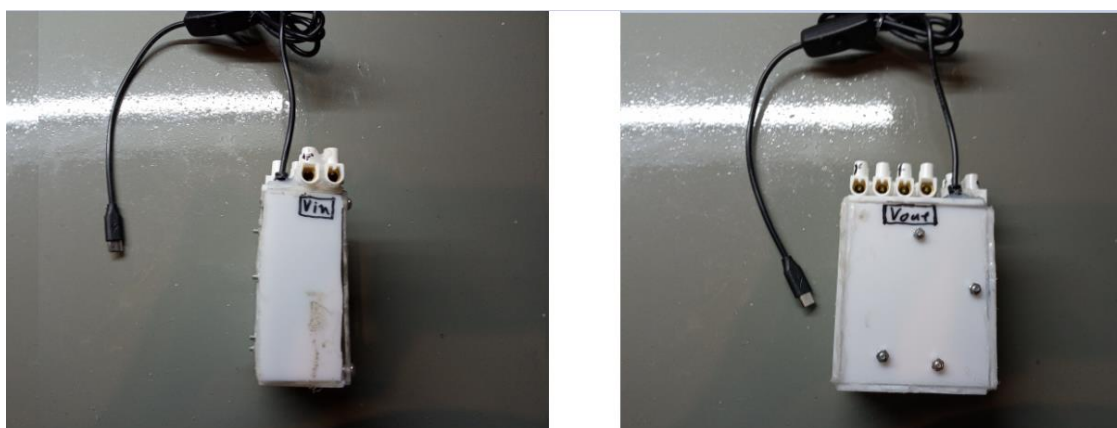
- **Περιγραφή Pinout σε Powerbank και Stepdown Case**

Στο δεξί μέρος της Εικόνα 72 διακρίνονται οι 2 μπόρνες τροφοδοσίας ,μία για το υψηλό και μία για το χαμηλό δυναμικό της τάσης φόρτισης των μπαταριών. Η κλέμα που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της Εικόνας 72 αποτελεί την έξοδο του BMS Protection board και την είσοδο για την τροφοδοσία του Stepdown Case.



Εικόνα 72 Αριστερά: Η είσοδος της τροφοδοσίας φόρτισης από DC τροφοδοτικό. Δεξιά: Η κλέμα εξόδου του BMS Board, υπεύθυνη για την παροχή της τροφοδοσίας του συστήματος

Όλα τα Stepdown Converter τροφοδοτούνται μέσω μίας κοινής παροχής εισόδου η οποία βρίσκεται συνδεδεμένη στην έξοδο του Powerbank. Το κάθε Stepdown Converter είναι κατάλληλα ρυθμισμένο ώστε να παρέχει στην αντίστοιχη βαθμίδα που τροφοδοτεί την ανάλογη τιμή ισχύος. Στο δεξί μέρος της Εικόνα 73 διακρίνονται έξι κλέμες τροφοδοσίας , δύο για κάθε μία βαθμίδα. Η κλέμα στα αριστερά της Εικόνας 73 παίρνει ως είσοδο την έξοδο από το Powerbank και την διανέμει στους μετατροπείς, η κλέμα που βρίσκεται στο κέντρο στα δεξιά της Εικόνας 73 παρέχει την τροφοδοσία στο servomotor και στο Arduino ενώ η πρώτη κλέμα από τα αριστερά της θήκης παρέχει τη τροφοδοσία που χρειάζεται το κύκλωμα οδήγησης του μοτέρ. Το καλώδιο USB – C χρησιμοποιείται αποσκοπώντας στην μελλοντική επέκταση του συστήματος αίσθησης του ρομποτικού οχήματος με την προσθήκη αισθητήρων.



Εικόνα 73 Κλέμες εισόδου και εξόδου στο Stepdown Case

2.3.4 Πειραματικές δοκιμές και μετρήσεις

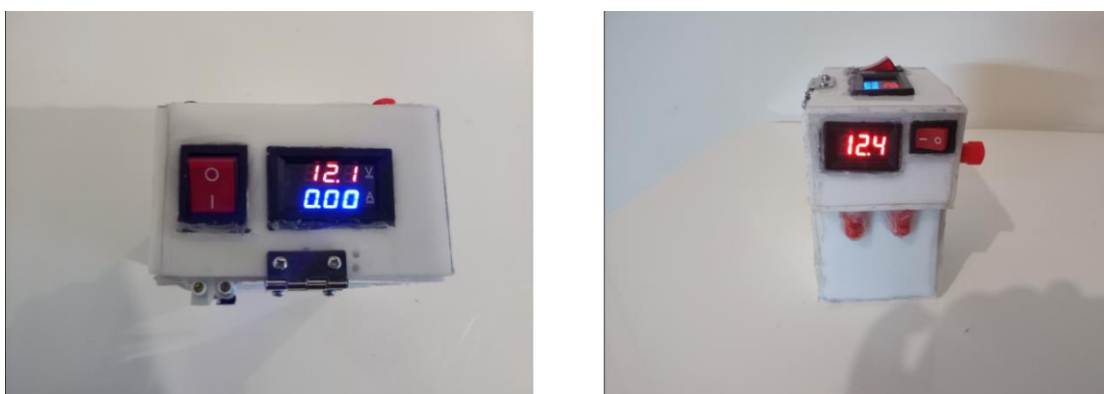
Στο σημείο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών και των μετρήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στις διατάξεις του Powerbank και των Stepdown Converter με σκοπό τον έλεγχο της καλής λειτουργίας. Στη πορεία παρουσιάζονται οι δοκιμές οι οποίες έγιναν κατά την διαδικασία του ελέγχου των συστημάτων και αναλύονται οι πειραματικές μετρήσεις.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επάνω στις μπαταρίες λιθίου. Η τιμή τάσης για τη κάθε μία συστοιχία μπαταριών μετρήθηκε στα 3,70 – 4,20 V ενώ η συνολική τιμή τάσης στα άκρα των τριών συστοιχιών μετρήθηκε στα 12.6 V. Η προσφερόμενη χωρητικότητα της διάταξης υπολογίστηκε στα 10.200mAh. Στη συνέχεια γίνεται μία πλήρης φόρτιση των μπαταριών όπως και απεικονίζεται στην Εικόνα 74. Η μέγιστη τιμή τροφοδοσίας φόρτισης στα άκρα του Powerbank ενδείκνυται μέχρι τα 13 V ενώ η δυνατότητα φόρτισης που επιτρέπεται να φτάσει η μπαταρία είναι έως και 12.6 V.



Εικόνα 74 Αριστερά: Φόρτιση των μπαταριών λιθίου. Δεξιά: Το στάδιο πριν την ολοκλήρωση της φόρτισης

Έγινε έλεγχος καλής λειτουργίας των ενδείξεων και των δύο DC LED οθονών που βρίσκονται επάνω στο Powerbank έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι οι προβαλλόμενες ενδείξεις ανταποκρίνονται στις πραγματικές τιμές των μεγεθών τάσης και ρεύματος .



Εικόνα 75 Αριστερά: Ένδειξη των τιμών τάσεως και εντάσεως της LED οθόνης τροφοδοσίας. Δεξιά: Ένδειξη της τάσης φόρτισης των μπαταριών

Για την τροφοδοσία της γέφυρας-H, ρυθμίστηκε το dimmer της τάσης εξόδου στον αντίστοιχο Stepdown στα 4.0 V (~3,96) ενώ η τιμή της τάσης εξόδου για τη τροφοδοσία του Arduino και του Servomotor (για τον έλεγχο των μπροστινών τροχών) ρυθμίστηκε στα 6.0 V



Εικόνα 76 Αριστερά: Τάση εξόδου Stepdown για την τροφοδοσία της H – bridge. Δεξιά: Τάση εξόδου Stepdown για την τροφοδοσία των Servomotor και Arduino.

Σε λειτουργία πλήρους φορτίου το ρεύμα εκκίνησης του μοτέρ RS-380SH υπέρβαινε την τιμή ρεύματος των 10 A ,επομένως ο DC – DC Stepdown Converter του κυκλώματος οδήγησης επιλέχθηκε, ώστε να διαθέτει περιοριστή ρεύματος εξόδου με μέγιστη τη τιμή ρεύματος αυτήν των 10 A. Το dimmer του περιοριστή ρυθμίστηκε έτσι ώστε να επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος εντάσεως μέχρι και 7,6 A. Ύστερα από θερμομέτρηση επάνω στα εξαρτήματα του DC – DC Stepdown Converter στην διέλευση τιμής ρεύματος 7,6 A τα επίπεδα της θερμοκρασίας που αναπτυσσόταν στο ολοκληρωμένο ισχύος του Stepdown κυμαίνονταν μεταξύ των επιτρεπτών ορίων θερμοκρασίας (τα επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας για το ολοκληρωμένο ισχύος δίνονταν στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή 55 °C) [11].

Αφού ρυθμίστηκε ο περιοριστής ρεύματος με μέγιστη την τιμή των 7,6 A, μετρήθηκε η ένταση του μοτέρ για τις περιπτώσεις λειτουργίας χωρίς φορτίο και με πλήρες φορτίο όπως και φαίνεται στην Εικόνα 77. Με μηδενική μηχανική αντίσταση επάνω στους τροχούς του οχήματος, η ταχύτητα περιστροφής των τροχών έφτανε στην μέγιστη τιμή της με σταθερή την τιμή του ζητούμενου ρεύματος τα 0,68 A ενώ όταν οι τροχοί βρισκόνταν πλήρως ακινητοποιημένοι δηλαδή σε κατάσταση υπό πλήρες φορτίο τότε η τιμή του ρεύματος έφτανε τα 7,61 A η οποία είναι ίδια και με την τιμή του ρεύματος εκκίνησης του μοτέρ.



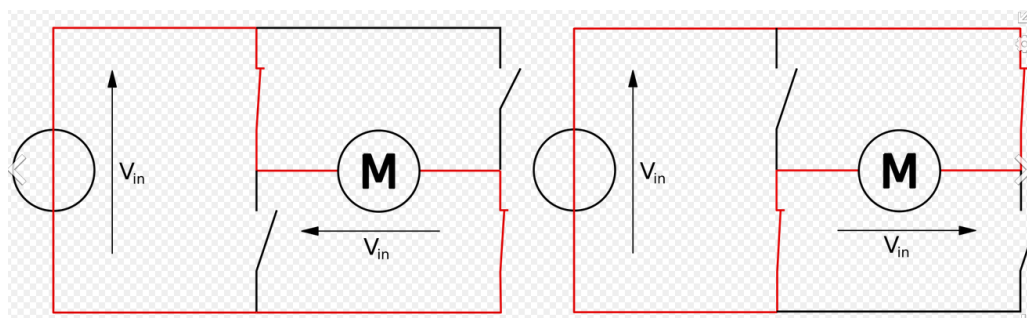
Εικόνα 77 Αριστερά: Μέτρηση της εντάσεως του μοτέρ χωρίς φορτίο (ζητούμενο ρεύμα στα 0,680A), Δεξιά: Μέτρηση της εντάσεως του μοτέρ με πλήρες φορτίο (ζητούμενο ρεύμα στα 7,61A).

2.4 Μελέτη των συστημάτων πίσω κίνησης και διεύθυνσης.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται η σχεδίαση, η ανάλυση και η υλοποίηση των συστημάτων της κίνησης και της διεύθυνσης του οχήματος. Γίνεται αναζήτηση της καταλληλότερης μεθόδου οδήγησης του κινητήρα DC των πίσω τροχών. Σχεδιάζεται και προσομοιώνεται η λειτουργία ενός κυκλώματος οδήγησης για τον κινητήρα DC. Ακολουθεί η τοποθέτηση των εξαρτημάτων του κυκλώματος επάνω σε μία δοκιμαστική πλακέτα (breadboard) και υλοποιείται ένα κύκλωμα της πειραματικής διάταξης. Στη συνέχεια ακολουθεί το στάδιο της κατασκευής της πλακέτα και η πραγματοποίηση μίας σειράς πειραματικών μετρήσεων επάνω στα εξαρτήματα που την αποτελούν. Πριν την εγκατάσταση της πλακέτας επάνω στο όχημα δημιουργήθηκε μία θήκη συσκευασίας από Plexiglass για τη προστασία της πλακέτας. Προς το τέλος της ενότητας ρυθμίζεται το servomotor και εντοπίζεται η συγκεκριμένη τιμή γωνίας στην οποία ευθυγραμμίζονται οι μπροστινοί τροχοί του οχήματος όπως και οι οριακές τιμές για τις δύο γωνίες στρέψεως. Όλες οι δοκιμές λειτουργίας που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν με τη χρήση ενός Arduino Uno το οποίο παράγαγε παλμούς διαμορφωμένου πλάτους (PWM) ως σήματα ελέγχου για τα συστήματα της κίνησης και της διεύθυνσης του οχήματος.

2.4.1 Επιλογή κατάλληλου κυκλώματος οδήγησης και προσδιορισμός των εξαρτημάτων για τα συστήματα της κίνησης και της διεύθυνσης.

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι ελέγχου των κινητήρων DC, υλοποιούνται μέσω του συνδυασμού διαμορφωμένων σημάτων μικρού πλάτους και συγκεκριμένων κυκλωμάτων οδήγησης. Τα κυκλώματα οδήγησης λαμβάνουν στην είσοδο τους ένα σήμα ελέγχου χαμηλής τάσης όπου στη συνέχεια το μετατρέπουν σε σήμα υψηλού ρεύματος. Υπάρχει πληθώρα τέτοιων κυκλωμάτων στο τομέα της οδήγησης κινητήρων DC όμως η επιλογή του εκάστοτε κυκλώματος καθορίζεται από το είδος της εφαρμογής. Η κίνηση των κινητήρων DC βασίζεται στην δημιουργία μαγνητικών πεδίων από ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι απαιτούν σημαντικά ποσά ηλεκτρικού ρεύματος. Την οδήγηση τέτοιων υψηλών ρευμάτων την αναλαμβάνουν κυκλώματα οδήγησης όπως οι γέφυρες οδήγησης H (H-Bridge). Η χρήση κυκλωμάτων τύπου γέφυρας-H είναι αρκετά διαδεδομένη σε οδήγηση κινητήρων DC και σε ρομποτικές εφαρμογές ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα κίνησης. Μέσω της λειτουργίας μίας γέφυρας-H επιτρέπεται σε ένα κινητήρα DC να περιστρέφεται σε δύο η και περισσότερες διαφορετικές κατευθύνσεις ανάλογα με την πολικότητα της τάσης η οποία εφαρμόζεται στα άκρα του. Στη παρακάτω Εικόνα 78 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας μίας γέφυρας οδήγησης H-bridge [17]

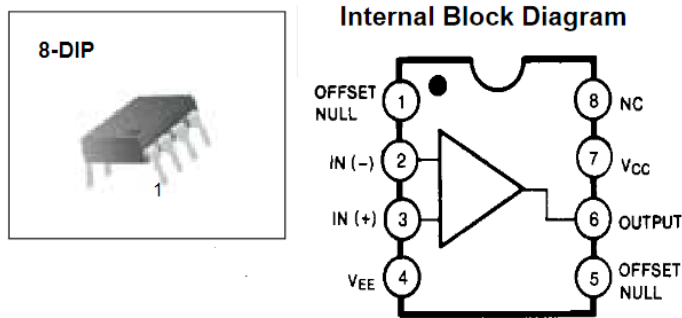


Εικόνα 78 Διάγραμμα λειτουργίας ενός κυκλώματος γέφυρας-H [16]

Η βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση ενός κυκλώματος γέφυρας οδήγησης Η είναι να έχει προηγηθεί η κατάλληλη και επαρκής έρευνα για την πιο σωστή επιλογή των εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στην σύνθεση μίας γέφυρας οδήγησης συνηθίζεται να διαθέτουν συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως, μικρούς χρόνους ανάκτησης επαφής, υψηλή συχνοτική απόκριση και αντοχή σε υψηλές αποδόσεις ηλεκτρικής ισχύος.

i. Ενίσχυση των σημάτων ελέγχου του κυκλώματος οδήγησης.

Τα σήματα των παλμών τα οποία δέχεται σαν είσοδο το κύκλωμα ελέγχου της γέφυρας οδήγησης ήταν ανίσχυρα για να μπορέσουν να θέσουν το κύκλωμα οδήγησης σε λειτουργία. Επομένως για την ενίσχυση του πλάτους των σημάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο τελεστικοί ενισχυτές της σειράς LM741CN. Στο πίνακα 2.10 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ενισχυτή.



Εικόνα 79 Σχηματικό τελεστικού ενισχυτή LM741CN. [12]

Power supply Voltage	+ - 18 V
Differential Voltage	30 V
Input Voltage	+ - 15 V
Bandwidth	0,1 – 100 kHz
Input bias Current	80 – 500 nA
Output short circuit Current	40 mA
Input Resistance	2.0 MΩ
Operating Temperature	0 ~ 70°C

Πίνακας 2.10 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά LM741CN Amplifier [12]

ii. Τα διακοπτικά στοιχεία της γέφυρας-Η.

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

Εικόνα 80 Pinout N-MOSFET IRFZ44N [13]

Η λειτουργία μιας γέφυρας οδήγησης-Η βασίζεται στην διακοπτική λειτουργία 4 ενεργών στοιχείων τα οποία ανοίγουν και κλείνουν ανά ζεύγη ανάλογα με τη επιθυμητή κατεύθυνσή του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα DC. Εξαιτίας της υψηλής διακοπτικής λειτουργίας που παρουσιάζεται σε μια γέφυρα οδήγησης και λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της, τα διακοπτικά στοιχεία τα οποία επιλέχτηκαν για την σύνθεση του κυκλώματος της γέφυρας-Η ήταν 4 N-CHANNEL MOSFET της σειράς IRFZ44N. Στο

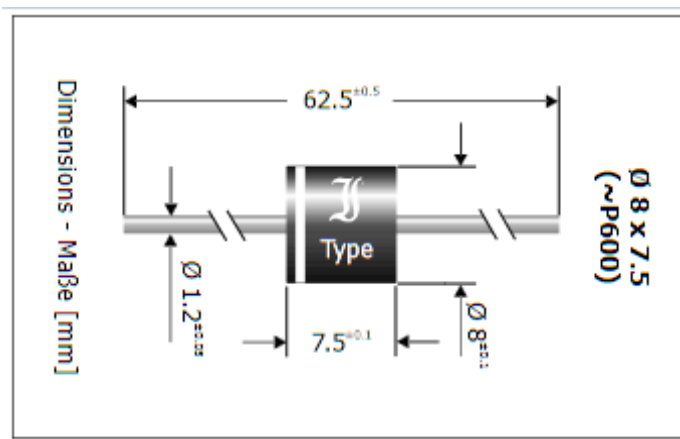
πίνακα 2.11 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των N-MOSFET IRFZ44N.

Drain-source voltage (V_{DS})	55 V
Gate threshold voltage (V_{GS})	3.0 V
Drain current (DC) (I_D)	49 A
Gate source leakage current (I_{GSS})	1 ~ 20 μ A
Drain-source resistance ($R_{DS(ON)}$)	22 m Ω
Total power dissipation (P_{tot})	110 W
Gate-source charge (Q_{gs})	15 nC
Reverse recovery time (t_{rr})	47 ns

Πίνακας 2.11 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά N-MOSFET IRFZ44N [13]

iii. Εκτόνωση των μεταβατικών φαινομένων.

Για την εκτόνωση των ακμών τάσης λόγω των μεταβατικών φαινομένων, στην σχεδίαση του κυκλώματος της γέφυρας οδήγησης συμπεριλήφθηκαν 4 Ultrafast δίοδοι της σειράς UF600J. Οι συγκεκριμένες δίοδοι προορίζονται για εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων και επιλέχθηκαν εξαιτίας των πολύ μικρών χρόνων σβέσης που εμφανίζουν σε περιπτώσεις ύπαρξης μεταβατικού φαινομένου. Στο πίνακα 2.12 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της διόδου UF600J.



Εικόνα 81 Διαστάσεις Ultrafast δίοδος UF600J [14]

Repetitive peak reverse voltage	600 V
Max. forward voltage	1.2 V
Max. average forward rectified current	6.0 A
Max. load current	60 A
Leakage current	10 μ A
Junction temperature	-50 ~ 175 $^{\circ}$ C
Reverse recovery time	100 ns
Features of semiconductor	Ultrafast diode

Πίνακας 2.12 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά διόδου UF600J [14]

iv. Η δυνατότητα στρέψης του συστήματος διεύθυνσης.



Εικόνα 82 Servomotor Futaba s3003 [15]

Για τον έλεγχο της θέσης των αξόνων σε ρομποτικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια ειδικοί κινητήρες που λέγονται σερβοκινητήρες. Το μηχανικό μέρος του συστήματος διεύθυνσης του οχήματος είναι συνδεδεμένο με το κινούμενο άκρο ενός σερβοκινητήρα. Η θέση του κινούμενου άκρου του σερβοκινητήρα καθορίζει και την τελική γωνία στρέψης στην οποία θα καταλήξουν οι 2 μπροστινοί τροχοί. Στο πίνακα 2.13 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά και τα μηχανολογικά χαρακτηριστικά του Servomotor Futaba s3003.

Operating Voltage	4.8 - 6.0 V
Required Pulse (Square Wave)	3.0 – 5.0 V
Current Drain (6.0V)	8 mA /idle
Stall Torque (6.0V)	56.8 oz/in. (4.1kg.cm)
Operating Speed (6.0V)	0.19sec/60 degrees at no load
Gear Type	All Nylon Gears
360 Modifiable	Yes
Operating Temperature	-20 ~ 60°C

Πίνακας 2.13 Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά Servomotor Futaba s3003 [15]

Εφόσον ολοκληρώθηκε η μελέτη και ο προσδιορισμός των ηλεκτρονικών στοιχείων και των υλικών τα οποία είναι απαραίτητα για την κατασκευή της γέφυρας Η και του συστήματος διεύθυνσης δημιουργήθηκε μία λίστα με το πλήθος αυτών. Το πλήθος τους αναγράφεται στο παρακάτω πίνακα 2.14.

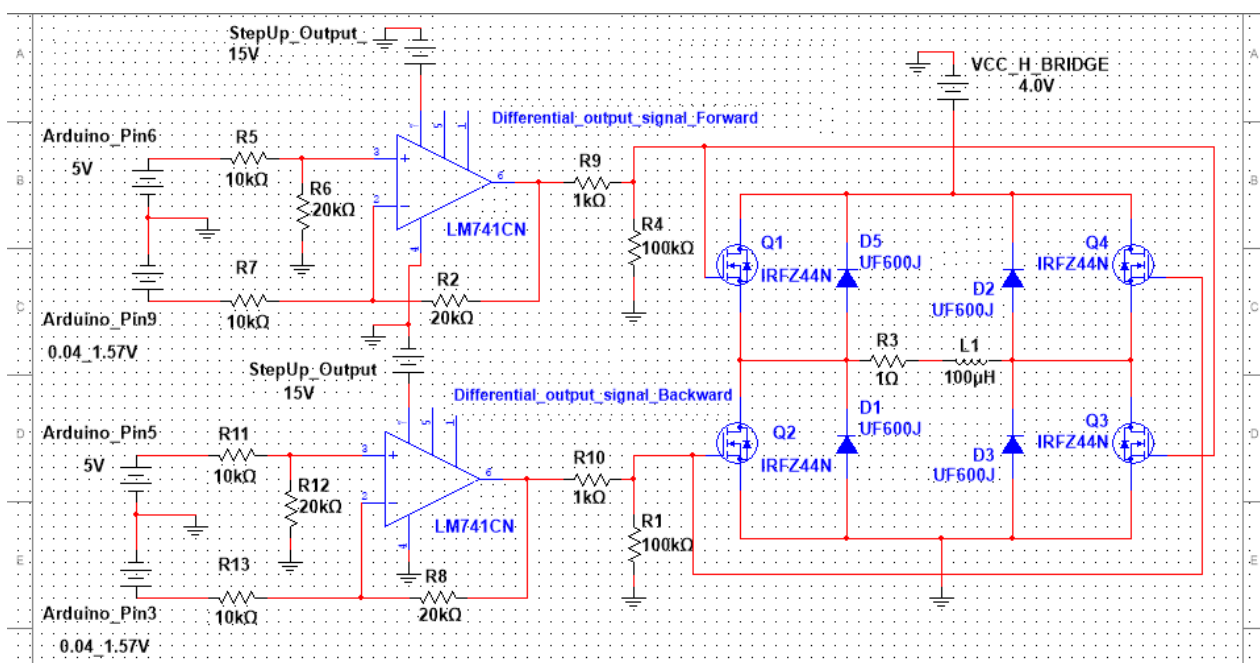
A/A	Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα & Υλικά.	Τεμάχια
Κύκλωμα H - Bridge		
1	Τελεστικοί ενισχυτές LM741CN	2
2	N-Mosfet IRFZ44N	4
3	Ultrafast δίοδοι UF600J	4
4	DC to DC StepUp Converter	1
5	Ωμικές αντιστάσεις (Kohm)	12
6	Power Supply Connectors (Ζεύγη M – F)	2

7	Διάτρητη πλακέτα	1
Σύστημα διεύθυνσης		
8	Servomotor Futaba s3003	1

Πίνακας 2.14 Το πλήθος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και των υλικών για την δημιουργία της H – bridge και του συστήματος διεύθυνσης.

2.4.2 Σχεδιασμός και ανάλυση του κυκλώματος οδήγησης του κινητήρα DC.

Η δυνατότητα της κίνησης του ρομποτικού οχήματος βασίζεται εξ ολοκλήρου στη λειτουργία του Brushed DC motor RS – 380SH σε συνδυασμό με το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης των πίσω τροχών. Για την οδήγηση του RS – 380SH motor, σχεδιάστηκε και προσομοιώθηκε στο λογισμικό NI Multisim 14 το κύκλωμα μίας γέφυρας H – bridge. Το ηλεκτρονικό σχέδιο του κυκλώματος της H – bridge αποτυπώνεται στην Εικόνα 83 που ακολουθεί παρακάτω.



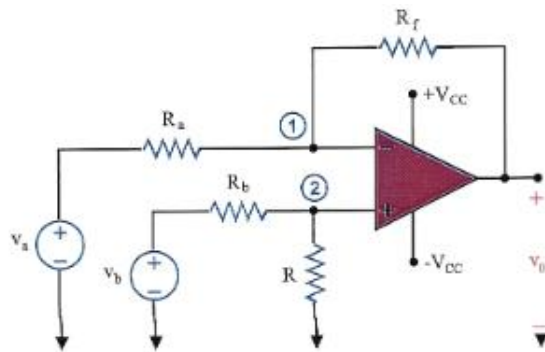
Εικόνα 83 Σχηματικό κυκλώματος H – bridge στο λογισμικό NI Multisim 14.

- **Περιγραφή της σύνθεσης του κυκλώματος H-bridge.**

Όπως παρατηρείται, το εικονιζόμενο κύκλωμα της γέφυρας οδήγησης της Εικόνας 83 αποτελείται από δύο μέρη.

- Στα αριστερά της Εικόνας 83 βρίσκεται το μέρος του κυκλώματος που είναι υπεύθυνο για την ενίσχυση των χαμηλών σημάτων τα οποία προέρχονται από τις εξόδους του μικροελεγκτή. Τα ανίσχυρα σήματα ελέγχου οδηγούνται στις εισόδους δύο τελεστικών ενισχυτών της σειράς LM741CN οι οποίοι βρίσκονται σε διάταξη διαφορικού ενισχυτή. Οι δύο ενισχυτές, λαμβάνουν ως είσοδο τα σήματα διαμορφωμένου πλάτους (PWM) από τα Pin εξόδου του μικροελεγκτή και εμφανίζουν την διαφορά των δύο σημάτων στην έξοδο ενισχυμένη επί δύο φορές. Εάν τα σήματα

της εισόδου είναι κοινά μεταξύ τους τότε ο διαφορικός ενισχυτής κάνει απόρριψη κοινού σήματος. Ο τύπος για την ενίσχυση σε έναν διαφορικό ενισχυτή ,δίνεται στην παρακάτω σχέση 2.1 :



$$\frac{R_a}{R_f} = \frac{R_b}{R} , \quad V_O = \frac{R_f}{R_a} (V_b - V_a) \quad (2.1)$$

Εικόνα 84 Τοπολογία Διαφορικού Ενισχυτή
[18]

- Στα δεξί μέρος της Εικόνας 83 βρίσκονται τοποθετημένα τα ηλεκτρονικά στοιχεία που συνθέτουν το κύκλωμα της διακοπτικής λειτουργίας. Η γέφυρα τύπου H αποτελείται από 4 N-MOSFET ισχύος της σειράς IRFZ44N συνδεδεμένα μεταξύ τους κατά ζεύγη. Είναι συνδεδεμένα κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, σε κάθε φορά που άγουν να σχηματίζουν μόνο μία επιτρεπόμενη διαδρομή στη πορεία του ρεύματος. Παράλληλα σε κάθε ένα N-MOSFET βρίσκεται συνδεδεμένη μία Ultrafast δίοδος της σειράς UF600J για την προστασία του N-MOSFET από τα μεταβατικά φαινόμενα που δημιουργούνται κατά την εναλλαγή της πολικότητας της τάσης στα άκρα του κινητήρα DC. Το DC motor RS – 380SH επιλέχθηκε να προσομοιωθεί με μία αντίσταση του 1 Ω σε σειρά με ένα πηνίο 100 μH. Στο κύκλωμα γίνεται εφαρμογή κατάλληλης τιμής τάσης έτσι ώστε τα τέσσερα N-MOSFET να μεταφέρονται στην γραμμική περιοχή λειτουργίας τους. Για να βρεθούν τα N-MOSFET στη γραμμική περιοχή λειτουργίας τους, πρέπει η τιμή της τάσης η οποία εφαρμόζεται επάνω στην επαφή μεταξύ της πύλης (G) και της πηγής (S) να υπερβαίνει τη τιμή $V_{threshold}$ του N-MOSFET. Η τιμή $V_{threshold}$ των συγκεκριμένων N-MOSFET IRFZ44N δίνεται από το Datasheet του κατασκευαστή στα 3V. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις των τριών καταστάσεων λειτουργίας στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα N-MOSFET:

$$Cut\ off\ Region: V_{GS} \leq V_{Threshold} , I_D = 0 \quad (2.2)$$

$$Saturation\ Region : V_{GS} \geq V_{Threshold} , V_{GS} - V_{Threshold} \leq V_{DS} , I_D \neq 0 \quad (2.3)$$

$$Linear\ Region : V_{GS} \geq V_{Threshold} , V_{GS} - V_{Threshold} \geq V_{DS} , I_D \neq 0 \quad (2.4)$$

- Η τάση τροφοδοσίας που παρέχεται στους δύο τελεστικούς LM741CN είναι στη τιμή των 15V και δίνεται από την ρυθμιζόμενη έξοδο ενός DC to DC Step Up Converter όπως φαίνεται στο σχηματικό της Εικόνας 83. Η παροχή της τροφοδοσίας του κυκλώματος της γέφυρας-H

δίνεται απευθείας από τον αντίστοιχο DC to DC Stepdown Converter, με την τάση εξόδου ρυθμισμένη στα 4V.

- **Επεξήγηση του τρόπου ελέγχου για το κύκλωμα H-bridge.**

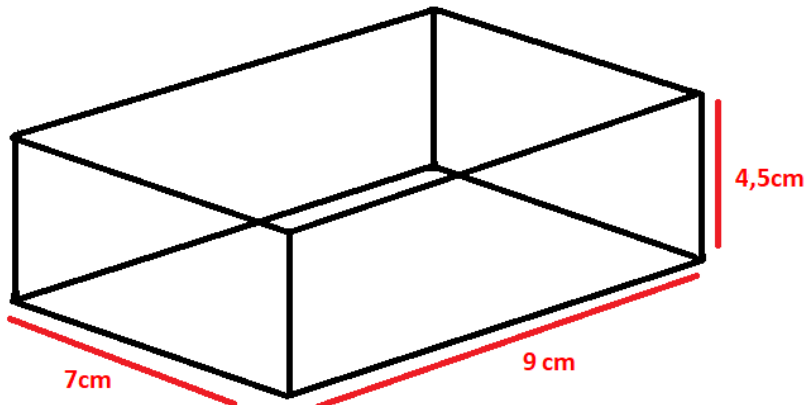
Μέσω του κυκλώματος της γέφυρας οδήγησης και των συνδυασμών διαφορετικών τιμών τάσης PWM που εφαρμόζονται στις εισόδους των δύο τελεστικών ενισχυτών επιτυγχάνονται τρία διαφορετικά αποτελέσματα κίνησης τα οποία μπορεί να επιτελέσει το ρομποτικό όχημα. Τα τρία αποτελέσματα κίνησης που προκύπτουν, επεξηγούνται και αναλύονται στο παρακάτω πίνακα 2.15.

Το αποτέλεσμα της κίνησης του οχήματος.	Η κατάσταση λειτουργίας των N-MOSFET ανά ζεύγη.	Οι τιμές των PWM παλμών από τα αντίστοιχα Arduino PINS.			
		PIN3 ~	PIN5 ~	PIN6 ~	PIN9 ~
Εμπρόσθια κίνηση	Q1 – Q3 ON	10	-	255	-
	Q2 – Q4 OFF	-	10	-	2<VALUE<80
Οπίσθια κίνηση	Q1 – Q3 OFF	2<VALUE<80	-	10	-
	Q2 – Q4 ON	-	255	-	10
Φρενάρισμα	Q1 – Q3 OFF	10	-	10	-
	Q2 – Q4 OFF	-	10	-	10

Πίνακας 2.15 Τα τρία αποτελέσματα κίνησης που προκύπτουν από τον συνδυασμό των PWM παλμών .

- Εάν στις τέσσερις εισόδους των τελεστικών εφαρμοστεί παλμός με εύρος 10 (0,2V) τότε προκύπτει απόρριψη κοινού σήματος εισόδου από τους τελεστικές ενισχυτές ενώ στις δύο εξόδους τους εμφανίζεται η τιμή των 0V. Με μηδενική τιμή της τάσης εξόδου των ενισχυτών οι πύλες των N-MOSFET οι οποίες είναι συνδεδεμένες στις εξόδους των τελεστικών δεν διεγείρονται από τάση με αποτέλεσμα τα N-MOSFET παραμένουν σβηστά. Η κατάσταση της λειτουργίας αυτής διατηρεί το κινητήρα DC σε ακινησία ενώ στη περίπτωση που το όχημα βρίσκεται εν κινήσει λειτουργεί ως φρενάρισμα.
- Εάν στις δύο εισόδους μόνο του ενός τελεστικού εφαρμοστεί παλμός PWM εύρους 10 (0,2V) ενώ στις εισόδους του δεύτερου τελεστικού εφαρμοστεί συνδυασμός διαφορετικών τιμών τάσης PWM παλμού τότε η ενισχυμένη διαφορά της τάσης μεταξύ των δύο σημάτων εμφανίζεται στην έξοδο του δεύτερου τελεστικού. Η ενισχυμένη τάση στην έξοδο του τελεστικού, προκαλεί διέγερση στο αντίστοιχο ζευγάρι των N-MOSFET με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μεταξύ των δυο παράλληλων N-MOSFET μία αγωγή διαδρομή στην πορεία του ρεύματος και το DC motor RS – 380SH να αρχίσει να περιστρέφεται προς μία κατεύθυνση.

- Σχεδιασμός θήκης προστασίας για το κύκλωμα H-bridge.



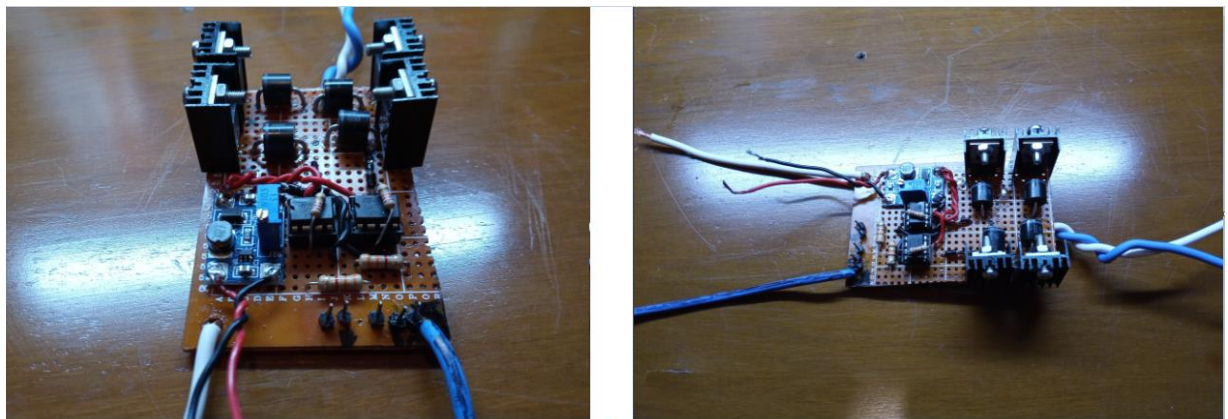
Εικόνα 85 Διαστάσεις της θήκης H-bridge

Για την προσαρμογή του κυκλώματος H-bridge στο πίσω μέρος του οχήματος σχεδιάστηκε μία θήκη από αδιάφανο Plexiglas. Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις του χώρου οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος του οχήματος, ακριβώς επάνω από τις αναρτήσεις των τροχών πίσω κίνησης, σχεδιάστηκαν οι ανάλογες διαστάσεις σε ένα κομμάτι από Plexiglass και

κόπηκαν τα κομμάτια της θήκης.

2.4.3 Κατασκευαστική πορεία και προσαρμογή του κυκλώματος H-bridge επάνω στο όχημα.

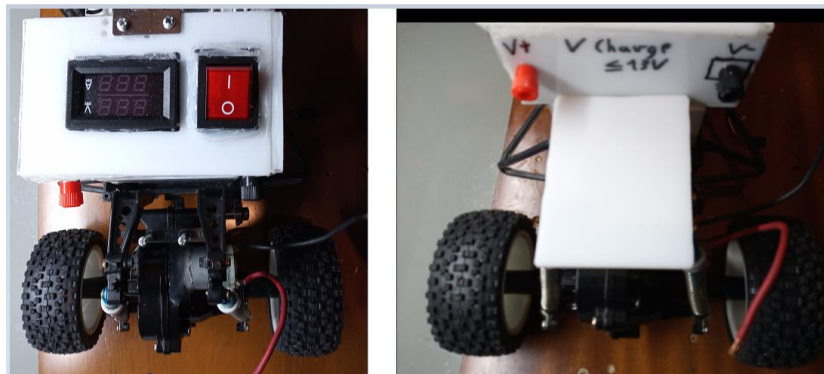
Το κύκλωμα της γέφυρας-H αναπτύχθηκε και ενσωματώθηκε επάνω σε μία διάτρητη πλακέτα. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα της γέφυρας απαρτίζεται από το κύκλωμα ελέγχου το οποίο βρίσκεται στο αριστερό μέρος της πλακέτας της Εικόνας 86 και από το κύκλωμα ισχύος στο δεξί μέρος της πλακέτας. Στην παρακάτω Εικόνα 86 παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη πλακέτα του κυκλώματος H-bridge.



Εικόνα 86 Ολοκληρωμένο το κύκλωμα της γέφυρας-H.

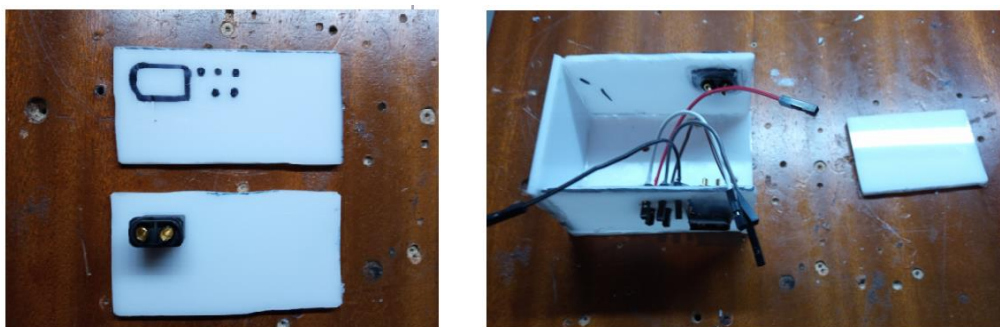
Πριν την κατασκευή του κυκλώματος προηγήθηκε, εκτίμηση για την ευνοϊκότερη κατανομή των εξαρτημάτων επάνω στην διάτρητη πλακέτα, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις ενδιάμεσες αποστάσεις μεταξύ των εξαρτημάτων για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης. Ξεκινώντας τη διαδικασία της κατασκευής οι τελεστικοί ενισχυτές δεν κολλήθηκαν απευθείας επάνω στην διάτρητη πλακέτα αλλά στη θέση τους κολλήθηκαν κατάλληλες θήκες (Dip Sockets) ώστε να τοποθετηθούν επάνω σε αυτές με ασφάλεια. Μετά την ολοκλήρωση των κολλήσεων, έγινε ένας τυπικός έλεγχος

για την ύπαρξη ανεπιθύμητων βραχυκυκλωμάτων η κατεστραμμένων διαδρομών στην κάτω όψη της πλακέτας ή άλλων κατασκευαστικών αστοχιών οι οποίες μπορεί να προέκυψαν κατά την διαδικασία της κόλλησης. Στη συνέχεια μετρήθηκαν οι διαστάσεις του πίσω μέρους του οχήματος και έγινε πρόχειρη προσαρμογή του κάτω μέρους της θήκης. Εντοπίστηκαν τα κατάλληλα σημεία εκείνα στα οποία πρόκειται να βιδωθεί η θήκη επάνω στο σασί του οχήματος και ακολούθησε η δημιουργία των εσοχών για την τοποθέτηση των βιδωστατών.



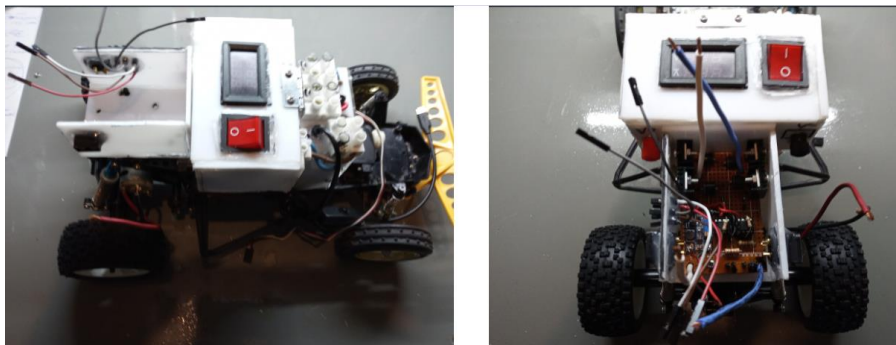
Εικόνα 87 Αριστερά: Ο χώρος τοποθέτησης της θήκης της γέφυρας-H. Δεξιά: Εκτίμηση των σημείων εγκατάστασης των προσαρμογέων στήριξης.

Μαρκαρίστηκαν στην πλαϊνή όψη της θήκης τα σημεία όπου πρόκειται να γίνει η προσαρμογή των υποδοχέων τροφοδοσίας καθώς και των καλωδίων του σήματος ελέγχου. Στην συνέχεια στα δεξιά της Εικόνας 88 ολοκληρώνεται η προσαρμογή των υποδοχέων εισόδου και εξόδου του κυκλώματος της γέφυρας – H στις δύο πλαϊνές όψεις της θήκης. Με τον τρόπο αυτό η σύνδεση και η αποσύνδεση των καλωδίων γίνεται με απλότητα και ευκολία. Ακολούθησε το στάδιο της συναρμολόγησης, όπου τα επιμέρους τμήματα κολλήθηκαν μεταξύ τους με σιλικόνη, φέρνοντας έτσι την θήκη στην τελική της μορφή.



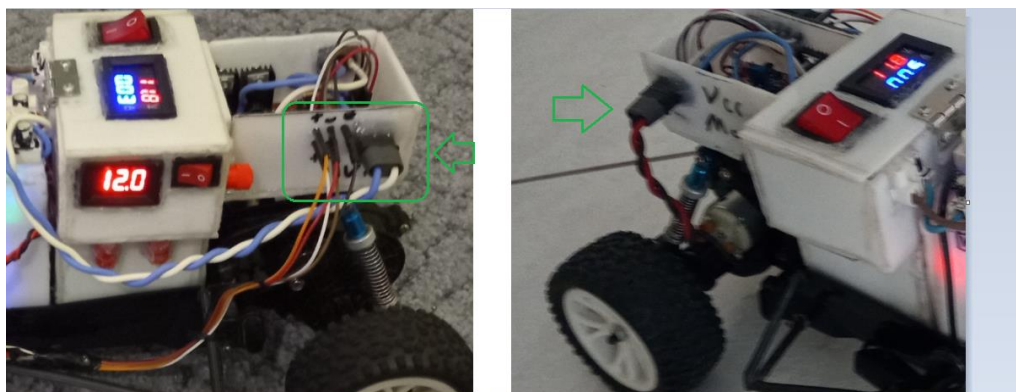
Εικόνα 88 Αριστερά: Πλαϊνή όψη της θήκης για την προσαρμογή των καλωδίων. Δεξιά: Ολοκλήρωση της θήκης H-bridge.

Μετά την κατασκευή της θήκης, έγινε η εγκατάσταση της επάνω από το χώρο του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Για την στήριξη της επάνω στο σασί χρησιμοποιήθηκαν βιδωστάτες οι οποίοι βιδώθηκαν επάνω στο σασί και επάνω σε αυτούς βιδώθηκε το πλαίσιο της θήκης. Ακολούθησε η προσαρμογή της πλακέτας του κυκλώματος H-bridge μέσα στον εσωτερικό χώρο της θήκης και βιδώθηκε επάνω στο πλαστικό πλαίσιο για τη σταθερότερη συγκράτησή της.



Εικόνα 89 Αριστερά: Εγκατάσταση θήκης στον χώρο, επάνω από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης. Δεξιά: Τοποθέτηση της πλακέτας H-bridge εντός της θήκης.

Πριν την λειτουργία της πλακέτας H-bridge προηγήθηκε το στάδιο της συνδεσμολογία της με το υπόλοιπο όχημα οπότε πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες συνδέσεις στην είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος. Στην είσοδο του κυκλώματος της γέφυρας-H όπως φαίνεται και στην Εικόνα 90, καταλήγουν δυο καλώδια τροφοδοσίας από την έξοδο της ακριανής κλέμας του Stepdown Case τα οποία παρέχουν την τροφοδοσία της γέφυρας και κατά επέκταση στον κινητήρα DC. Επίσης καταλήγουν και πέντε jumper wires τα οποία ξεκινούν από PWM PINS του Arduino και είναι υπεύθυνα για τα σήματα ελέγχου γέφυρας-H. Στην έξοδο του κυκλώματος όπως απεικονίζεται στα δεξιά της Εικόνας 90, συνδέονται δύο καλώδια τα οποία καταλήγουν στα άκρα του κινητήρα DC για την οδήγηση της ζητούμενης ισχύος. Τα καλώδια της τροφοδοσίας της εισόδου όσο και της εξόδου του κυκλώματος της γέφυρας-H επιλέχθηκαν να είναι διατομής $1,5 \text{ mm}^2$ εξαιτίας των υψηλών τιμών της έντασης ρεύματος που απαιτείται από τον κινητήρα του οχήματος.



Εικόνα 90 Αριστερά: Είσοδοι της τροφοδοσίας και των σημάτων ελέγχου. Δεξιά: Η σύνδεση μεταξύ της εξόδου της γέφυρας-H με τον κινητήρα DC.

Η διασύνδεση των επαφών του κυκλώματος H-bridge και του servomotor υλοποιήθηκε με τη χρήση κλεμοσειρών και καλωδίων πρωτοτύπων (jumper wires). Τα καλώδια πρωτοτύπων χρησιμοποιήθηκαν στη μεταφορά του σήματος από τον μικροελεγκτή προς το κύκλωμα της H-bridge και του Servomotor. Στο παρακάτω πίνακα 2.16 που ακολουθεί, αποτυπώνεται η συνδεσμολογία όλων των συνδέσεων μεταξύ των Arduino, Stepdown Case, H-bridge και Servomotor.

Used Arduino Uno Pins	Χρωματισμός Καλωδίων	Περιγραφή των καλωδίων σήματος.
Pin 3~	Πορτοκαλί Arduino. -> Πορτοκαλί H-bridge	Arduino PWM 0,04 - 1,57 V, H-bridge BACKWARD
Pin 5~	Βυσσινί Arduino. -> Κόκκινο H-bridge	Arduino PWM 5 V, H-bridge BACKWARD
Pin 6~	Γκρι Arduino. -> Καφέ H-bridge	Arduino PWM 5 V, H-bridge FORWARD
Pin 9~	Άσπρο Arduino. -> Άσπρο H-bridge	Arduino PWM 0,04 - 1,57 V, H-bridge FORWARD
Pin Ground	Μαύρο Arduino -> Μαύρο H-bridge	Common Ground
Pin 10~	Άσπρο Arduino -> Άσπρο Servomotor	Servomotor Operation
Stepdown Case Outputs (S.C.)	Χρωματισμός Καλωδίων	Περιγραφή των καλωδίων τροφοδοσίας.
Κεντρική Κλέμα	Κόκκινο S.C. -> Κόκκινο Servomotor & Κόκκινο Arduino	Υψηλό δυναμικό για την τροφοδοσία του Servomotor και του Arduino.
Κεντρική Κλέμα	Μαύρο S.C. -> Μαύρο Servomotor & Μαύρο Arduino	Χαμηλό δυναμικό για την τροφοδοσία του Servomotor και του Arduino.
Ακριανή Αριστερή Κλέμα	Άσπρο S.C.-> Άσπρο 1,5 mm ² H-bridge	Υψηλό Δυναμικό Τροφοδοσίας H-bridge
Ακριανή Αριστερή Κλέμα	Μπλε S.C.-> Μπλε 1,5 mm ² H-bridge	Χαμηλό Δυναμικό Τροφοδοσίας H-bridge

Πίνακας 2.16 Διασύνδεση των καλωδίων στα συστήματα της κίνησης και της διεύθυνσης.

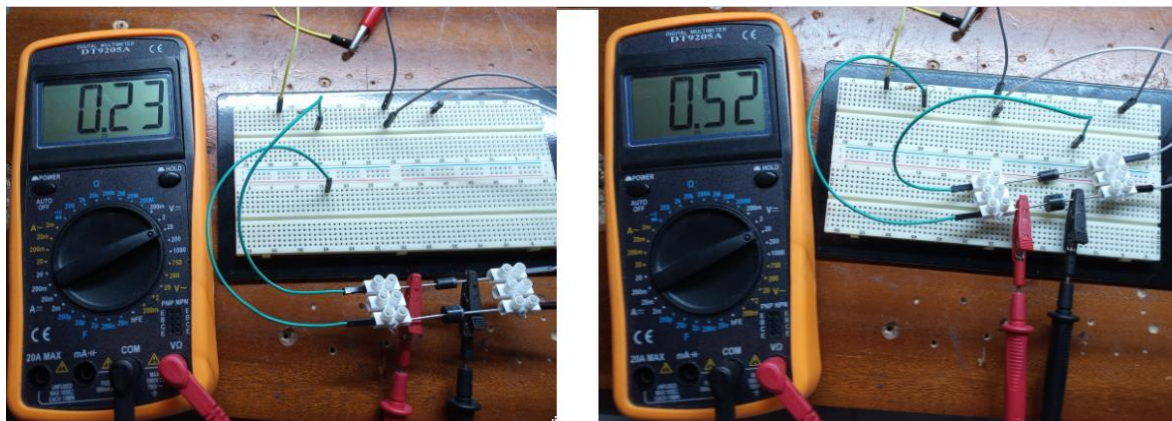
2.4.4 Δοκιμές λειτουργίας και πειραματικές μετρήσεις επάνω στα συστήματα διεύθυνσης και πίσω κίνησης.

Αμέσως μετά το στάδιο της μελέτης και πριν τα στάδια της σχεδίασης και της κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές λειτουργίας επάνω στα εξαρτήματα και στις ηλεκτρονικές διατάξεις τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την σύνθεση των συστημάτων της διεύθυνσης και της κίνησης. Η πραγματοποίηση των πειραματικών δοκιμών αυτών με την συγκέντρωση των κατάλληλων μετρήσεων έδωσε σημαντική γνώση για τον τρόπο λειτουργίας των εξαρτημάτων όπως και φάνηκε χρήσιμη στην υλοποίηση των μετέπειτα υποσυστημάτων.

- **Επιλογή της καταλληλότερης Flyback διόδου.**

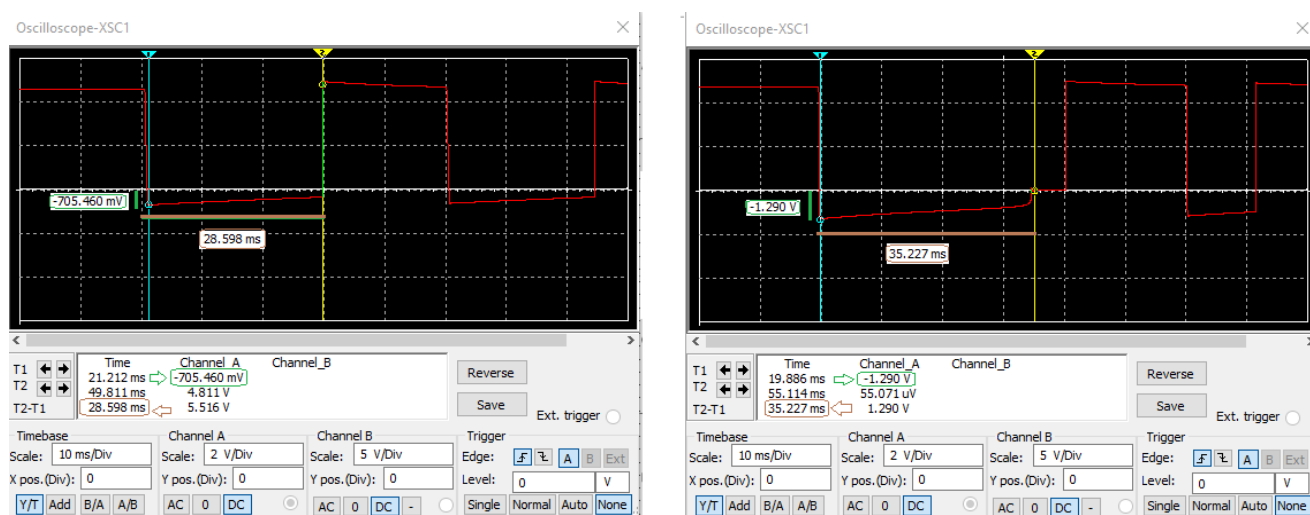
Η κάθε εναλλαγή στην πολικότητα της τάσης στα άκρα του κινητήρα DC αποτελούσε αιτία εμφάνισης μεταβατικών φαινομένων. Το μεταβατικό φαινόμενο εμφανιζόταν με την μορφή ακμών τάσης στο παλμικό σήμα της εξόδου της γέφυρας οδήγησης ενώ εκτονώνονταν επάνω στα διακοπτικά στοιχεία του κυκλώματος. Κατά την χρονική περίοδο της εκτόνωσης, παρατηρήθηκε ταχύτερη αύξηση της θερμοκρασίας επάνω στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα DC όπως και στις επιφάνειες των N-MOSFET. Για την ταχύτερη εκτόνωση του μεταβατικού φαινομένου αλλά και για την μείωση του χρόνου ανόδου του σήματος, μέχρι την έλευση στη μόνιμη του κατάσταση,

χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διόδοι, συνδεδεμένες παράλληλα σε καθένα από τα τέσσερα N-MOSFET. Για την επιλογή της καταλληλότερης διόδου έγιναν προσομοιώσεις και συγκεντρώθηκαν πειραματικές μετρήσεις ανάμεσα σε διόδους Shottky της σειράς 1N5822 και σε διόδους Ultrafast της σειράς UF600J. Με τη χρήση πολύμετρου μετρήθηκαν οι τάσεις κατωφλίου (V_{th}) και στους δύο τύπους των διόδων όπως και καταγράφηκαν τα στιγμιότυπα από τις προσομοιώσεις για τον προσδιορισμό του ταχύτερου χρόνου σβέσης.



Εικόνα 91 Αριστερά: Μέτρηση του V_{th} στην diόδο Shottky 1N5822 (0,23V). Δεξιά: Μέτρηση του V_{th} στην diόδο Ultrafast UF600J (0,52V).

Στα αριστερά της Εικόνας 91 με την χρήση ενός πολύμετρου πραγματοποιείται μέτρηση της πτώσης τάσης επάνω στην επαφή της diόδου Shottky 1N5822 με την τιμή του V_{th} να υπολογίζεται στα 0,23V, όπως αντίστοιχα στα δεξιά της Εικόνας 91 η μέτρηση του V_{th} της επαφή της diόδου Ultrafast UF600J υπολογίζεται στα 0,52V. Στην Εικόνα 92, υπολογίζονται οι χρόνοι σβέσης του μεταβατικού φαινομένου για κάθε μία περίπτωση diόδου σε προσομοιώσεις που έγιναν στο λογισμικό NI Multisim 14.

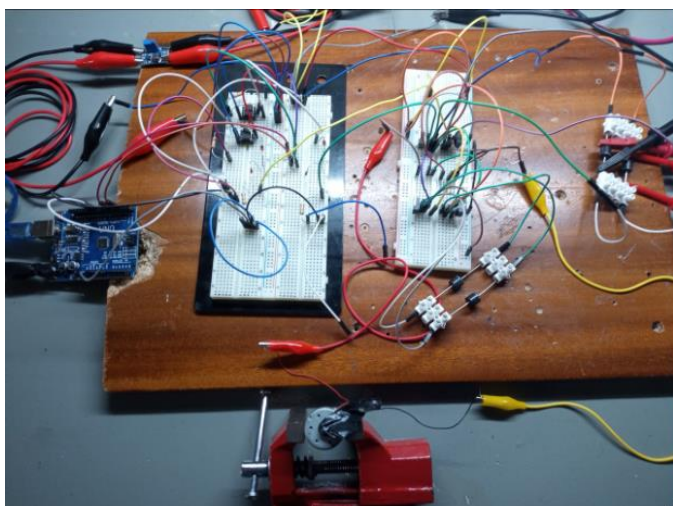


Εικόνα 92 Αριστερά: Μέτρηση κατά την διάρκεια της εκτόνωσης του Μ.Φ. της diόδου Shottky 1n5822 (28,6 ms). Δεξιά: : Μέτρηση κατά την διάρκεια της εκτόνωσης του Μ.Φ. της diόδου Ultrafast UF600J (35,2 ms).

Στις πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στις δύο διόδους, η τάση τροφοδοσίας είχε ρυθμιστεί στα 5 V ενώ η τιμή του ρεύματος διέλευσης των διόδων ήταν στα 10 A. Οι πειραματικές δοκιμές έγιναν μέσω ενός μεταγωγικού διακόπτη ο οποίος βραχυκύκλωνε και ανοιχτοκύκλωνε την διάταξη των διόδων με σκοπό να παρατηρηθεί η διάρκεια του χρόνου εκτόνωσης του μεταβατικού φαινομένου. Ιδανικά η εκτόνωση του μεταβατικού φαινομένου με τη χρήση των διόδων στο κύκλωμα θα έπρεπε να συμβαίνει σε ακαριαίο χρόνο όμως εξαιτίας των παρασιτικών χωρητικότητων και των χρόνων ανάκτησης επαφής που συναντώνται σε κάθε μία μη ιδανική διάοδο, μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα καθυστέρησης μέχρι και την πλήρη εκτόνωση του μεταβατικού φαινομένου [23]. Από τις πειραματικές δοκιμές που μεσολάβησαν, παρατηρείται ότι ο χρόνος εκτόνωσης στην διάοδο Shottky 1v5822 είναι κατά 6,6 ms μικρότερος σε διάρκεια συγκριτικά με τον χρόνο εκτόνωσης της διόδου Ultrafast UF600J. Τελικά για την κατασκευή του κυκλώματος H-bridge χρησιμοποιήθηκαν δύο Ultrafast UF600J, εξαιτίας της μεγαλύτερης ανοχής θερμοκρασίας που παρουσιάζουν επάνω στην επαφή T_j ($T_j \text{ Max} = 175^\circ\text{C}$) [14] και της έντασης συνεχούς ρεύματος που μπορούν να διαχειριστούν βάσει του datasheet του κατασκευαστή.

- **Πειραματική διάταξη της γέφυρας-H και μετρήσεις τιμών τάσης..**

Για την εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του κυκλώματος H-bridge προηγήθηκε μία πειραματική



Εικόνα 93 Πειραματική διάταξη του κυκλώματος H-bridge.

διάταξη, με την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων επάνω σε μια δοκιμαστική πλακέτα (Breadboard). Στην συνέχεια συγκεντρώθηκαν μετρήσεις για τις τιμές της τάσης στην είσοδο και στην έξοδο της κάθε μία βαθμίδας εντός της πειραματικής διάταξης.

Η πειραματική διάταξη της γέφυρας υλοποιήθηκε κάνοντας χρήση δύο breadboard. Στο πάνω αριστερό μέρος της Εικόνας 93 εντοπίζεται ο DC to DC StepUp Converter ο οποίος είναι υπεύθυνος για την τροφοδοσία των δύο τελεστικών ενισχυτών που βρίσκονται στο πρώτο breadboard από αριστερά. Ακριβώς

δεξιά στο μικρότερο breadboard βρίσκονται τοποθετημένα τα N-MOSFET στη διάταξη γέφυρας-H. Δύο ζεύγη κλεμών συγκρατούν τις Ultrafast διόδους οι οποίες είναι συνδεδεμένες παράλληλα στα κανάλια των N-MOSFET. Με τη χρήση τεσσάρων PINS ενός Arduino παρέχονται PWM παλμοί στις εισόδους των δύο τελεστικών για τον έλεγχο της περιστροφικής κίνησης και τέλος ως φορτίο στη έξοδο της διάταξης χρησιμοποιείται ένα brushless motor μικρής ισχύος, το οποίο συγκρατείται μέσα σε μία μέγγενη.

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διάταξης της γέφυρας-H, πραγματοποιήθηκε με επιτυχία μία ελεγχόμενη περιστροφική κίνηση του κινητήρα χαμηλής ισχύος και ως προς τις δύο κατευθύνσεις και ακολούθησε η κατασκευή της πλακέτας του κυκλώματος οδήγησης σε διάτρητη πλακέτα. Ύστερα από την ολοκλήρωση κατασκευής, έγινε εφαρμογή κατάλληλης τιμής τάσης στην είσοδο

του κυκλώματος της γέφυρας H και ελήφθησαν πειραματικές μετρήσεις για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του κυκλώματος. Δόθηκε τροφοδοσία τιμής 4 V από την έξοδο του παλμοτροφοδοτικού στην είσοδο ενώ εφαρμοζόντουσαν ταυτόχρονα παλμοί PWM μέσω ενός Arduino στις τέσσερις εισόδους των τελεστικών ενισχυτών. Στην έξοδο της γέφυρας-H βρίσκονταν συνδεδεμένο το brushed DC RS-380SH με αποτέλεσμα να περιστρέφει προς μία κατεύθυνση. Στη συνέχεια για το προσδιορισμό του εύρους των τιμών της τάσης λειτουργίας του brushed DC RS-380SH, πραγματοποιήθηκε μία σειρά από μετρήσεις στην έξοδο της κάθε μία βαθμίδα του κυκλώματος. Οι τιμές της τάσης και της έντασης που καταγράφηκαν, συγκεντρώνονται στον Πίνακα 2.17 που ακολουθεί.

AnalogWrite (Integer Value) { Έυρος PWM }	Arduino PWM Pin, Output Voltage (V)	Η τιμή διαφοράς ανάμεσα στην τάση του PWM και της τάσης αναφοράς των 5 Volt στην είσοδο των τελεστικών.	Η τιμής της ενισχυμένης διαφοράς επί 2 φορές στην έξοδο των τελεστικών LM741CN. (V)	Οι τιμές της τάσης εξόδου της H-bridge. (V)	Η τιμή του ρεύματος που διαρρέει το μοτέρ RS - 380SH υπό πλήρες φορτίο στο όχημα. (A)
80	1,57	3,43	6,79	2,82	5,92
70	1,37	3,63	7,19	3,21	6,65
60	1,18	3,82	7,58	3,53	7,36
50	0,98	4,02	7,96	3,75	7,61
40	0,78	4,22	8,36	3,79	7,61
30	0,59	4,41	8,74	3,82	7,61
20	0,39	4,61	9,13	3,87	7,61
10	0,20	4,80	9,51	3,89	7,61
2	0,04	4,96	9,88	3,91	7,61

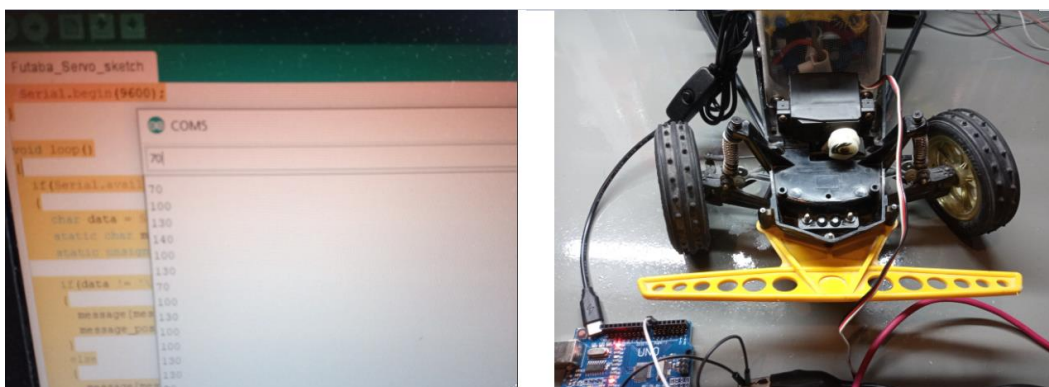
Πίνακας 2.17 Εύρος τιμών τάσης από την λειτουργία της γέφυρας-H.

Σε ένα brushless DC motor η ταχύτητα περιστροφής του άξονα του, καθορίζεται από την τιμή της τάσης πόλωσης η οποία εφαρμόζεται επάνω στα άκρα του ενώ η τιμή της ζητούμενης έντασης που το διαρρέει εξαρτάται από την ροπή που αναπτύσσεται επάνω στο άξονα περιστροφής. Στον Πίνακα 2.17 αναλύονται τιμές τάσης και έντασης οι οποίες μετρήθηκαν κατά την λειτουργία του κυκλώματος της γέφυρας-H με συνδεδεμένο το brushed DC RS-380SH στην έξοδο. Αρχικά δίνονται παλμοί PWM από τα PINS του Arduino στις εισόδους των τελεστικών ενισχυτών οι οποίοι κυμαίνονται στο εύρος των τιμών από 0,04 έως και 1,57V. Οι τελεστικοί ενισχυτές οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε τοπολογία ενισχυτή διαφορών , παράγουν την διαφορά τάσης μεταξύ των δύο σημάτων της εισόδου (όπως φαίνεται στην στήλη 3 του πίνακα 2.17) εμφανίζοντας την ενισχυμένη επί δύο φορές στην έξοδο (όπως φαίνεται στην στήλη 4). Οι τιμές τάσης οι οποίες εμφανίζονται στην έξοδο της γέφυρας-H και εφαρμόζονται στα άκρα του κινητήρα DC καταγράφονται στην στήλη 5 ενώ στην στήλη 6 καταγράφονται οι τιμές της έντασης που ζητάει ο κινητήρας DC για να περιστρέφει υπό πλήρες φορτίο και στις ανάλογες τιμές τάσης της στήλης 5.

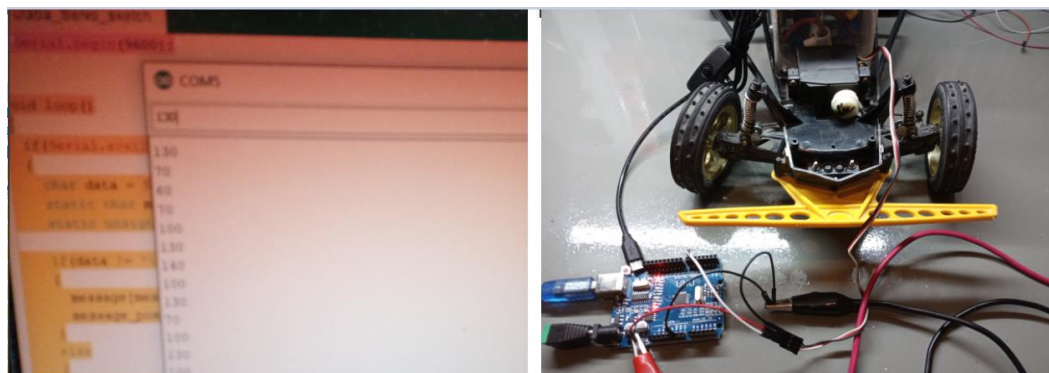
2.4.5 Ρύθμιση servomotor , έλεγχος συστήματος διεύθυνσης μπροστινών τροχών

Η υλοποίηση του συστήματος διεύθυνσης του οχήματος βασίζεται επάνω στην λειτουργία ενός servomotor (Futaba S3003) το οποίο ανάλογα με την γωνιακή θέση στην οποία βρίσκεται, καθορίζει και την φορά στρέψης των μπροστινών τροχών. Ο έλεγχος μέσω του servomotor πραγματοποιείται, στέλνοντας PWM παλμούς από το PIN 10 του Arduino το οποίο έχει οριστεί ως έξοδο, προς την είσοδο σήματος του servo.

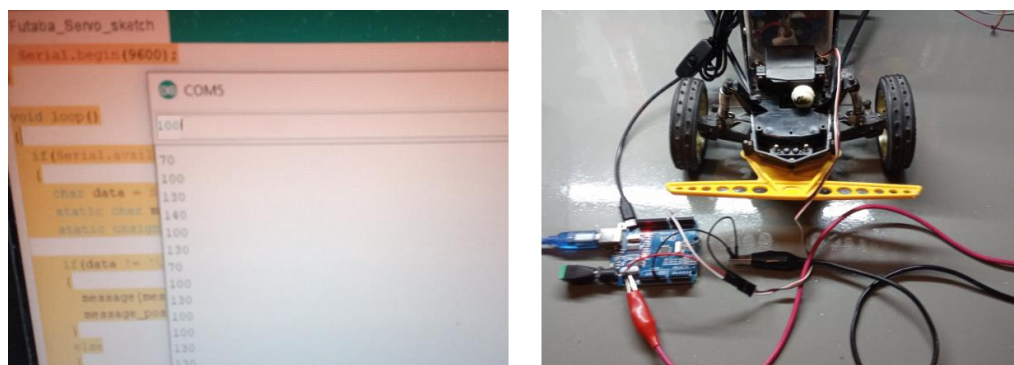
Ύστερα από σειρά πειραματικών δοκιμών εντοπίστηκαν η γωνία ευθυγράμμισης των μπροστινών τροχών του οχήματος όπως και οι μοίρες για τις οριακές θέσεις στρέψης του servomotor Futaba S3003. Οι μοίρες για τις δύο οριακές θέσεις των μπροστινών τροχών προσδιορίστηκαν στις τιμές των 70 και 130 μοιρών ενώ η γωνία της ευθυγράμμισης των μπροστινών τροχών εντοπίστηκε στις 100 μοίρες. Στις επόμενες εικόνες , δίνονται διαδοχικά , τιμές γωνίας στο σειριακό μόνιτορ του Arduino μέσω υπολογιστή και τα αποτελέσματα της στρέψης των μπροστινών τροχών .



Εικόνα 94 Αριστερή οριακή γωνία στρέψης στις 70 μοίρες



Εικόνα 95 Δεξιά οριακή γωνία στρέψης στις 130 μοίρες



Εικόνα 96 Γωνία ευθυγράμμισης των μπροστινών τροχών στις 100 μοίρες

Το servomotor Futaba S3003 διαθέτει την δυνατότητα περιστροφικής κίνησης 360 μοιρών. Από τις δοκιμές των εικόνων 94 και 95 παρατηρήθηκε ότι τα όρια στρέψης των μπροστινών τροχών λόγω της μηχανικής κατασκευής του συστήματος διεύθυνσης περιορίζονται ανάμεσα στο διάστημα των 70 και των 130 μοιρών. Για τις αλλαγές της διεύθυνσης της πορείας του οχήματος, χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι δύο μέγιστες τιμές γωνίας στρέψης των 70 και 130 μοιρών, χωρίς τη χρήση άλλων ενδιάμεσων τιμών γωνίας, έτσι ώστε το όχημα να μπορεί να στρίβει με την μέγιστη κλίση.

2.5 Απομακρυσμένος έλεγχος ρομποτικού οχήματος

Για τον απομακρυσμένο έλεγχο του ρομποτικού οχήματος, μελετήθηκε, σχεδιάστηκε, και διαμορφώθηκε ένα ασύρματο χειριστήριο χαμηλής κατανάλωσης του οποίου η λειτουργία βασίστηκε στο τρόπο ελέγχου και οδήγησης των τηλεχειριζόμενων ρομποτικών οχημάτων. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο μέγεθος των εξαρτημάτων λόγω του περιορισμένου εσωτερικού χώρου που προσφέρονταν από το πλαστικό σασί του χειριστηρίου όπως και στην υλοποίηση του τρόπου της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ του χειριστηρίου και του ρομποτικού οχήματος, ξεπερνώντας τα προβλήματα ασυμβατότητας τα οποία προκύπταν.

2.5.1 Διερεύνηση και επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων

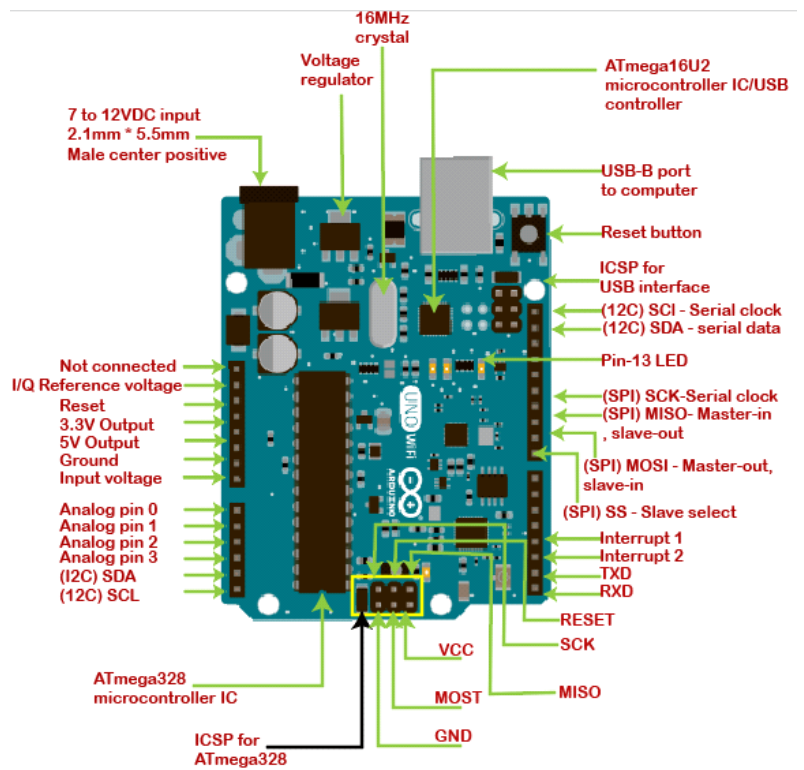
Διερευνήθηκαν οι προσφερόμενες λύσεις τόσο στο τρόπο υλοποίησης της ασύρματης επικοινωνίας όσο και στα κριτήρια επιλογής των μονάδων ελέγχου του χειριστηρίου και του οχήματος. Στη συνέχεια της υποενότητας απαριθμούνται τα απαραίτητα εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον κεντρικό έλεγχο και την επεξεργασία των εντολών του οχήματος, για την αποκατάσταση της απομακρυσμένης επικοινωνίας και της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ του οχήματος και του χειριστηρίου όπως και της μεθόδου φόρτισης του χειριστηρίου.

1. Επιλογή κεντρικής μονάδας ελέγχου και μονάδας απομακρυσμένου ελέγχου.

Το σημαντικότερο κομμάτι στην κατασκευή ενός ρομποτικού συστήματος είναι το τμήμα ελέγχου του. Στις περισσότερες περιπτώσεις το τμήμα αυτό αποτελείται από μία κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία επικοινωνεί με τα περιφερειακά συστήματα του ρομπότ. Στη συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας και ελέγχου αλλά και ως μονάδα του απομακρυσμένου ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν δύο αναπτυξιακές πλακέτες τύπου Arduino Uno. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο αναπτυξιακό λόγω της ευρείας ποικιλίας έτοιμων βιβλιοθηκών που προσφέρονται δωρεάν από την κοινότητα, που το υποστηρίζει, της πληθώρας των διαφορετικών υλοποιήσεων, του ανοικτού κώδικα και τον περιφερειακών shield που διαθέτει και τέλος της απλότητας που προσφέρει στην εργασία σε σχέση με αρκετούς μικροελεγκτές του εμπορίου. Το Arduino Uno είναι μία δημοφιλή πλακέτα ανοικτού κώδικα που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 και μπορεί να προγραμματιστεί μέσω της γλώσσας wiring της οποίας οι εντολές όπως και οι βιβλιοθήκες είναι υλοποιημένες σε γλώσσα C++. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης ρομποτικής εφαρμογής βασίστηκε στη αποκλειστική συνεργασία μεταξύ δύο Arduino Uno με το ένα να αποτελεί τον απομακρυσμένο εντολέα και το δεύτερο στο ρόλο του εκτελεστή εντολών. Το

ένα Arduino βρίσκεται τοποθετημένο στο μπροστινό μέρος του οχήματος, υπεύθυνο για την λήψη και την επεξεργασία των εντολών ελέγχου και οδήγησης.

σης ενώ το δεύτερο Arduino βρίσκεται τοποθετημένο εντός του χειριστήριου που έχει τον ρόλο του εκπομπού και χρησιμοποιείται ως απομακρυσμένος εντολής του οχήματος. Στον Πίνακα 2.18 παρουσιάζονται οι δυνατότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που διαθέτει το αναπτυξιακό Arduino Uno σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο που προσφέρεται από τον κατασκευαστή [29].



Εικόνα 97 Περιγραφή των PINS ενός Arduino Uno [31]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
LED_BUILTIN	13
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
Clock Speed	16 MHz
Flash Memory	32 KB (of which 0.5 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
USB connector	USB-B
Communication	UART,SPI,I2C,ICSP

Πίνακας 2.18 Τεχνικά χαρακτηριστικά του αναπτυξιακού Arduino Uno [30]

2. Υλοποίηση της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των δύο Arduino.



Εικόνα 98 nRF24L01 Module ,περιφερειακό ασύρματης επικοινωνίας [33]

Για την εγκαθίδρυση της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των δύο Arduino χρησιμοποιούνται δύο nRF24L01 Module. Τα περιφερειακά nRF24L01 είναι ολοκληρωμένα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος που προορίζονται για χρήση σε βιομηχανικές και επιστημονικές εφαρμογές. Είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν στην μπάνα συχνότητων γύρω από τα 2.4 GHz ενώ η ενσύρματη διασύνδεση τους με το Arduino υλοποιείται μέσω χρήσης του πρωτοκόλλου σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας SPI [35]. Για να καταφέρουν δύο nRF24L01 Module να εκπέμπουν και να λάβουν δεδομένα το ένα με το άλλο πρέπει πρώτα να έχει οριστεί μία συγκεκριμένη συχνότητα επικοινωνίας μεταξύ των δύο περιφερειακών η οποία αναφέρεται ως κανάλι

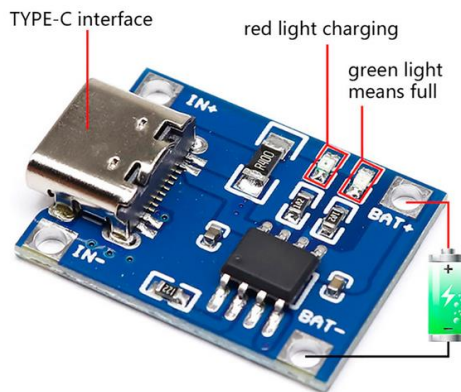
ή δίαυλος. Μέσω του κοινού καναλιού επιτρέπεται στα περιφερειακά να επικοινωνούν και να ανταλλάζουν δεδομένα , κ άθολή την διάρκεια λειτουργίας τους. Σε μία αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ δύο περιφερειακών nRF24L01 δεν επιτρέπεται στο καθένα να λειτουργεί την ίδια χρονική στιγμή σαν πομπός και δεκτής αλλά σε διαδοχικές χρονικές στιγμές οι οποίες ορίζονται από το χρονισμό του μικροελεγκτή με τον οποίο συνεργάζονται. Το chip του nRF24L01 είναι σε θέση να υποστηρίξει 125 διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας (1 – 125) με τη συχνότητα επικοινωνίας του κάθε καναλιού να διαμορφώνεται στο 1 MHz. Ένα nRF24L01 module έχει την δυνατότητα, να μπορεί να αλληλοεπιδρά ταυτόχρονα με άλλα έξι διαφορετικά nRF24L01 module όπως π.χ μία ασύρματη τοπολογία έξι εκπομπών προς έναν δέκτη. Ο κατώτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να μεταδοθεί μέσω του καναλιού επικοινωνίας είναι 250 kbps ενώ ο ανώτερος μέχρι 2 Mbps. Στο πίνακα 2.19 που ακολουθεί δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός nRF24L01 Module [27][33]

Operating voltage	1.9 – 3.6V
Max. operating current	12.3mA
Standby current	22μA
Logic inputs	5V tolerant
Frequency range	2.4 – 2.5GHz ISM band
Data rates	250Kbps / 1Mbps / 2Mbps
Sent and Received Data Size Packet	28 bytes (max each time)
Max. output power	0dBm
Communication range	100m (open space)
RF Channels	125 different channels
MCU Communication	SPI

Πίνακας 2.19 Τεχνικά χαρακτηριστικά nRF24L01 Module

3. Η πλακέτα φόρτισης της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας λιθίου του χειριστήριου.

Η συγκεκριμένη πλακέτα προορίζεται για τη φόρτιση επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου. Το TP4056 είναι ένας πλήρης γραμμικός φορτιστής, ο οποίος παρέχει σταθερή τιμή ρεύματος και τάσης (CC/CV) κατά την φόρτιση μπαταριών ιόντων λιθίου μίας κυψέλης. Το SOP package και ο μικρός αριθμός εξωτερικών εξαρτημάτων το καθιστούν ιδανικό για φορητές εφαρμογές ενώ μπορεί να λειτουργήσει και απευθείας μέσω Η/Υ ή σταθεροποιημένου τροφοδοτικού μέσω της θύρας USB C που διαθέτει. Η τάση εξόδου είναι προσαρμοσμένη στα 4.2 V ενώ μπορεί να αποδώσει τιμή ρεύματος μέχρι και 1 A κατά την φάση φόρτισης. Στο πίνακα 2.20 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτα φόρτισης.



Εικόνα 99 Πλακέτα φόρτισης επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου TP4056 [28]

Chip	TP4056
Input voltage:	4.5V-5.5V
Full charge voltage	4.2 V
Charging Current	1A (adjustable)
Charge module	Linear charging
Charge precision	1.5%
Work temperature	-10° to +85°
Led indicator	Red is charging, Green is full charged
Reverse polarity	NO
Board size	22x17x10mm
Input interface	USB Type-C

Πίνακας 2.20 Τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας TP4056 [28]

Έγινε η μελέτη και ο προσδιορισμός όλων των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και των υλικών ώστε να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της σύνθεσης του χειριστήριου αλλά και της κεντρικής μονάδας ελέγχου του οχήματος. Στην παρακάτω λίστα παρουσιάζονται όλα τα εξαρτήματα και τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή.

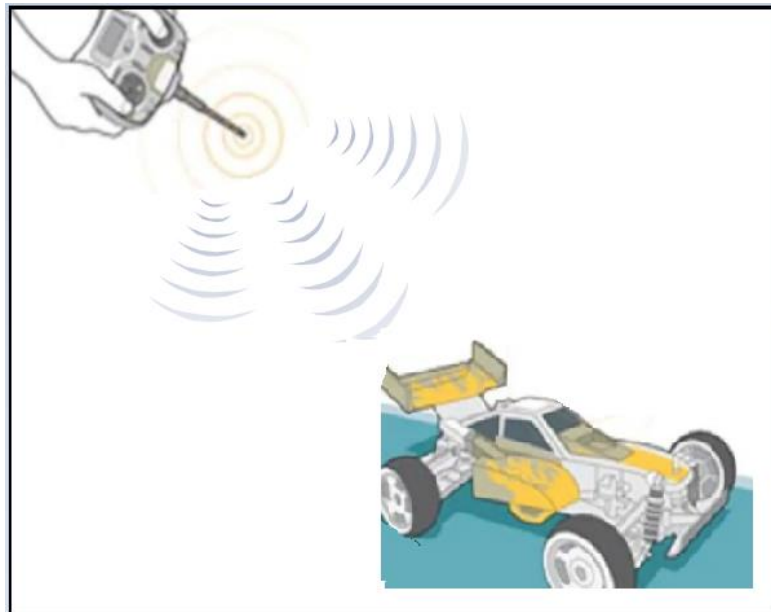
A/A	Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα & Υλικά.	Τεμάχια
Χειριστήριο Ρομποτικού Οχήματος		
1	Arduino Uno	2
2	nRF24L01 Modules	2

3	TP4056 Module	1
4	DC to DC StepUp Converter	1
5	DC to DC Stepdown Converter	1
6	LED DC Volt Meter 3- 30V	1
7	Διακόπτης ON - OFF	1
8	Push Button Small 7mm	2
9	Potentiometer Linear 5 Kohm	2
10	Ωμικές αντιστάσεις 1 Kohm	2
11	Li -ion Batteries 18650 3.7V	1
12	Joysticks	2
13	Power supply DC jack	1
14	Battery Holder 1x18650	1
15	Διάτρητη πλακέτα	1
16	Jumper Wires	20

Πίνακας 2.21 Το πλήθος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και των υλικών τα οποία χρειάστηκαν για την δημιουργία του χειριστηρίου και της κεντρικής μονάδας ελέγχου του οχήματος

2.5.2 Σχεδίαση του συστήματος απομακρυσμένης επικοινωνίας μεταξύ του χειριστηρίου και του ρομποτικού οχήματος.

Ως τηλεχειριζόμενο όχημα ορίζεται κάθε όχημα το οποίο ελέγχεται ή κατευθύνεται απομακρυσμένα μέσω της χρήσης κάποιας εξωτερικής συσκευής. Αυτή συνήθως είναι μία συσκευή ραδιοελέγχου η οποία μέσω των ραδιοκυμάτων που εκπέμπει, αποστέλλει τις κατάλληλες εντολές ελέγχου στο όχημα για την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών που μπορεί να κάνει. Τα τηλεχειριζόμενα οχήματα εντοπίζονται σε πληθώρα επιστημονικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας σε επικίνδυνα περιβάλλοντα εργασίας, όπως για παράδειγμα η εξερεύνηση σε απομονωμένες περιοχές ή σε μεγάλα βάθη των ωκεανών[38]. Μια επιπλέον δημοφιλή χρήση των ρομποτικών οχημάτων μικρής κλίμακας τα οποία ελέγχονται μέσω τηλεχειρισμού είναι εκείνη των ερασιτεχνών χειριστών. Ο τρόπος ελέγχου μέσω των ραδιοκυμάτων είναι ο πιο συνήθης, καθώς η εμβέλεια δράσης του ρομποτικού οχήματος δεν περιορίζεται από κάποιο μήκος καλωδίου ή δεν απαιτείται άμεση οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη όπως στην περίπτωση των εφαρμογών υπέρυθρης ακτινοβολίας.

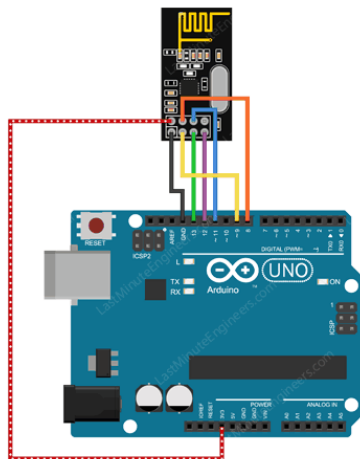


Εικόνα 100 Απομακρυσμένος έλεγχος τηλεχειριζόμενου οχήματος [39]

Στη συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή ο σχεδιασμός ενός ασύρματου χειριστηρίου κρίθηκε απαραίτητος για τη πραγματοποίηση του απομακρυσμένου ελέγχου. Μέσω των εισόδων που διαθέτει ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του χειριστηρίου, λαμβάνει τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα τα οποία επεξεργάζεται και στην συνέχεια τα μεταφράζει σε εντολές. Η δημιουργία των ηλεκτρικών σημάτων αυτών είναι αποτέλεσμα εξωτερικών διεγέρσεων που προκαλούνται από το πάτημα ενός Button ή η μεταβολή στην τιμή μίας αντίστασης ενός ποτενσιόμετρου το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Μόλις ο μικροελεγκτής του χειριστηρίου λάβει στις εισόδους του τα εισερχόμενα σήματα, τα επεξεργάζεται για να σχηματίσει μία μορφή πληροφορίας προς μετάδοση και στην συνέχεια μετασχηματίζει την πληροφορία κατάλληλα ώστε να μπορέσει να την εκπέμψει μέσω της κεραίας του εκπομπού. Τα εκπεμπόμενα σήματα λαμβάνονται από την κεραία του δέκτη στο ρομποτικό όχημα και μετά από επεξεργασία τους μέσω του μικροελεγκτή μεταφράζονται στο αποτέλεσμα της οδήγησης του ρομποτικού οχήματος.

- **Περιγραφή της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ του εκπομπού και του δέκτη του ρομποτικού συστήματος.**

Η υλοποίηση της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ χειριστηρίου και ρομποτικού οχήματος βασίστηκε σε μία διάταξη με δύο Arduino Uno και δύο nRF24L01 modules τα οποία λειτουργούσαν σε ρόλους εκπομπού και δέκτη. Η επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ των nRF24L01 modules και των Arduino Uno πραγματοποιήθηκε μέσω χρήσης πρωτοκόλλου σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας SPI. Στη παρακάτω Εικόνα 101 διακρίνεται η συνδεσμολογία μεταξύ των ακροδεκτών ενός nRF24L01 modules και των θυρών ενός Arduino Uno όπως επίσης περιγράφεται και η λειτουργία για τον κάθε ένα ακροδέκτη αντίστοιχα. Η συνδεσμολογία μεταξύ ενός nRF24L01 modules και ενός Arduino είναι διαφορετική για κάθε διαφορετική έκδοση του Arduino με αποτέλεσμα αν η συνδεσμολογία δεν ακολουθηθεί σωστά τότε η μετάδοση των δεδομένων να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί.



GND is the ground pin. It has a square marking to distinguish it from the other pins.

VCC supplies power to the module. It can range from 1.9 to 3.9 volts. You can connect it to your Arduino's 3.3V output. Please keep in mind that connecting this to the 5V pin will most likely damage your nRF24L01+ module.

CE (Chip Enable) is an active-high pin. When enabled, the nRF24L01 will either transmit or receive, depending on the mode.

CSN (Chip Select Not) is an active-low pin that is typically held HIGH. When this pin goes low, the nRF24L01 begins listening for data on its SPI port and processes it accordingly.

SCK (Serial Clock) accepts clock pulses from the SPI bus master.

MOSI (Master Out Slave In) is the SPI input for the nRF24L01.

MISO (Master In Slave Out) is the SPI output of the nRF24L01.

Εικόνα 101 Συνδεσμολογία μεταξύ nRF24L01 module και Arduino Uno [33]

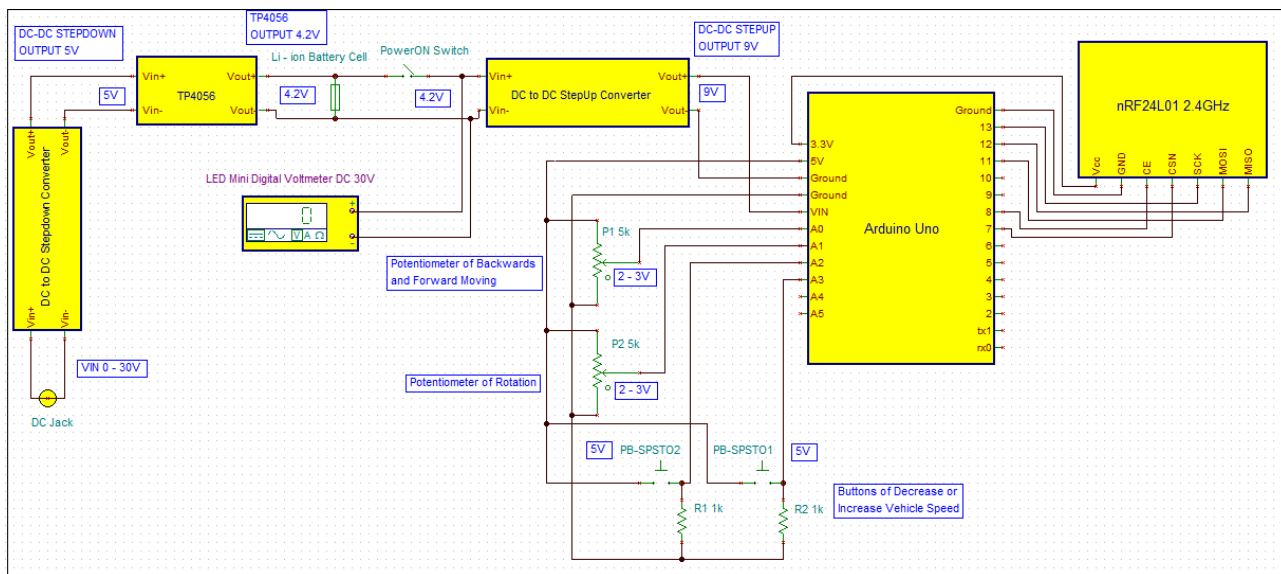
Στη Εικόνα 101 διακρίνονται οι οκτώ ακροδέκτες του nRF24L01 από τους οποίους οι επτά καταλήγουν στις θύρες του Arduino. Ο ακροδέκτης που βρίσκεται αποσυνδεδεμένος στο nRF24L01 είναι το Pin IRQ το οποίο έχει την χρήση διακοπής εξωτερικού συμβάντος και δεν χρησιμεύει κάπου στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Η λειτουργία των υπόλοιπων επτά ακροδεκτών επεξηγείται ως εξής:

1. *GR* . ακροδέκτης γείωσης.
2. *Vcc*, ακροδέκτης τροφοδοσίας 1,9 – 3,9V.
3. *CE* , όταν ο ακροδέκτης είναι ενεργός τότε το *nRF24L01* μπορεί να μεταδώσει η να λάβει δεδομένα.
4. *CSN*, όταν ο ακροδέκτης βρίσκεται σε χαμηλό δυναμικό τότε το *nRF24L01* μπορεί να λάβει δεδομένα μέσω της θήρας *SPI* και να τα επεξεργαστεί αντίστοιχα.
5. *SCK*, δέχεται παλμούς ρολογιού μέσω του διαύλου *SPI*.
6. *MOSI*, η είσοδος δεδομένων του *SPI*.
7. *MISO*, η έξοδος δεδομένων του *SPI*.

Η έναρξη της επικοινωνίας μεταξύ των δύο nRF24L01 ξεκινάει με το Arduino εκπομπό το οποίο βρίσκεται εντός του χειριστηρίου να αποστέλλει πακέτα δεδομένων που αφορούν την οδήγηση του οχήματος. Στην περίπτωση που τα πακέτα ληφθούν από το Arduino του οχήματος τότε διαμέσου του nRF24L01 αποστέλλεται πάλι πίσω στον εκπομπό το μήνυμα acknowledgement ως απάντηση ότι τα δεδομένα παρελήφθησαν. Εάν το μήνυμα acknowledgement ληφθεί από το nRF24L01 εκπομπό τότε η επικοινωνία μεταξύ του εκπομπού και του δέκτη τερματίζεται επιτυχώς.

- Σχεδίαση της ηλεκτρονικής διάταξης του χειριστηρίου.

Η σχεδίαση του συστήματος του χειριστηρίου βασίστηκε κυρίως σε εξαρτήματα τα οποία προσέδιδαν στο σύστημα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως η μεγάλη εμβέλεια εκπομπής και η χαμηλή κατανάλωση ισχύος, επιτυγχάνοντας με το τρόπο αυτό φορητότητα και αυτονομία στην συσκευή. Η ασύρματη μετάδοση των δεδομένων από το χειριστήριο προς το ρομποτικό όχημα, υλοποιήθηκε με ένα Arduino Uno και ένα nRF24L01 module σε ρόλο εκπομπού. Η παροχή της συνεχούς τάσης τροφοδοσίας προς το σύστημα του εκπομπού διαμορφώθηκε από επιπλέον περιφερειακά εξαρτήματα. Στη Εικόνα 102 απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα και ο τρόπος διασύνδεσης μεταξύ των εξαρτημάτων τα οποία συνθέτουν το κύκλωμα του ασύρματου χειριστηρίου.



Εικόνα 102 Σχηματικό διάγραμμα των κυκλωμάτων του χειριστηρίου στο λογισμικό TINA-TI.

Στα αριστερά της Εικόνας 102 εντοπίζεται το DC Jack τροφοδοσίας και το μπλοκ του Stepdown Converter που λαμβάνει την τάση εισόδου μέσω του DC Jack και την διαμορφώνει στη κατάλληλη τιμή τάσης εξόδου των 5V την οποία χρειάζεται το TP4056. Η πλακέτα TP4056 διαμορφώνει στην έξοδο της την τιμή τάσης των 4,2V η οποία προβλέπεται για την ισορροπημένη φόρτιση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών li – ion 18650. Στην έξοδο της πλακέτας TP4056 υπάρχει τοποθετημένος ένας κεντρικός διακόπτης υπεύθυνος για την ενεργοποίηση του χειριστηρίου. Παράλληλα στα άκρα του διακόπτη λειτουργίας βρίσκεται συνδεδεμένο ένα ψηφιακό βολτόμετρο τύπου LED του οποίου οι φωτεινές ενδείξεις ενημερώνουν για το επίπεδο της τάσης της μπαταρίας li – ion 18650 όσο το χειριστήριο βρίσκεται σε λειτουργία. Η τροφοδοσία του συστήματος παρέχεται από μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία τύπου li – ion 18650 η οποία συνδέεται στην έξοδο της πλακέτας TP4056 και στην είσοδο του διακόπτη λειτουργίας.

- Στο κεντρικό μέρος της Εικόνας του σχηματικού διαγράμματος, βρίσκεται ένας StepUp Converter ο οποίος δέχεται σαν είσοδο την τάση της μπαταρίας λιθίου για να την ανυψώνει στην τιμή της τάσης εξόδου των 9V ως τροφοδοσία του αναπτυξιακού. Επίσης στο κέντρο της Εικόνας διακρίνονται δύο ποτενσιόμετρα και δύο Button τα οποία είναι υπεύθυνα για την δημιουργία των εξωτερικών ερεθισμάτων που δέχεται στις εισόδους του ο μικροελεγκτής. Τα

ερεθίσματα αυτά σε μορφή ηλεκτρικού σήματος λαμβάνονται από τις εισόδους A0 – A3 του μικροελεγκτή, με σκοπό την επεξεργασία τους και την μετάφραση τους σε χρήσιμη πληροφορία.

- Τέλος στα δεξιά της Εικόνας 102 διακρίνεται το nRF24L01 module, το οποίο διασυνδέεται με το Arduino μέσω των επτά ακροδεκτών που διαθέτει. Δεσμεύονται πέντε από τις δεκατρείς ψηφιακές και δύο από τις αναλογικές θύρες του Arduino ώστε το nRF24L01 module να δεχθεί και να μεταδώσει τα δεδομένα. Οι πρώτοι δύο ακροδέκτες του nRF24L01 module δεσμεύουν την θύρα τροφοδοσίας των 3.3V και μία θύρα γείωσης, οι ακροδέκτες MISO, MOSI και SCK δεσμεύουν συγκεκριμένες ψηφιακές θύρες στο Arduino ενώ οι υπόλοιποι δύο ακροδέκτες CS και CSN δεσμεύουν θύρες οι οποίες ορίζονται μέσω του κώδικα του ελεγκτή.

2.5.3 Κατασκευαστική πορεία συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.

Ύστερα από τα στάδια της μελέτης και της σχεδίασης, ακολούθησε η κατασκευή του συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου. Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα σημαντικότερα στάδια από τη κατασκευαστική πορεία του ασύρματου χειριστηρίου, η συνδεσμολογία μεταξύ των εξαρτημάτων (Pinout Πίνακας 2.22) όπως και η ερμηνεία της λειτουργίας του κάθε ενός ακροδέκτη. Για τον κεντρικό εγκέφαλο του χειριστηρίου χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino Uno το οποίο μέσω των αναλογικών του εισόδων δέχεται εξωτερικά ηλεκτρικά ερεθίσματα από το πάτημα ενός Button ή από την μεταβολή ενός Joystick που βρίσκονται τοποθετημένα επάνω στο χειριστήριο. Τα ηλεκτρικά αυτά ερεθίσματα λαμβάνονται μέσω των αναλογικών θυρών και επεξεργάζονται από τον μικροελεγκτή για να έρθουν στη μορφή της κατάλληλης ψηφιακής πληροφορίας προς μετάδοση. Η τροφοδοσία του χειριστηρίου βασίζεται στην χρήση μίας μπαταρίας λιθίου τύπου Li – ion 18650 της οποίας η τάση ανυψώνεται στα 9V μέσω ενός StepUp Converter. Στη συνέχεια τα 9V παρέχονται στην θύρα Vin για την τροφοδοσία του Arduino. Οι υπόλοιπες τροφοδοσίες των περιφερειακών button, Joystick και nRF24L01 module παρέχονται μέσω των αναλογικών θυρών των 5V και 3.3V του Arduino.

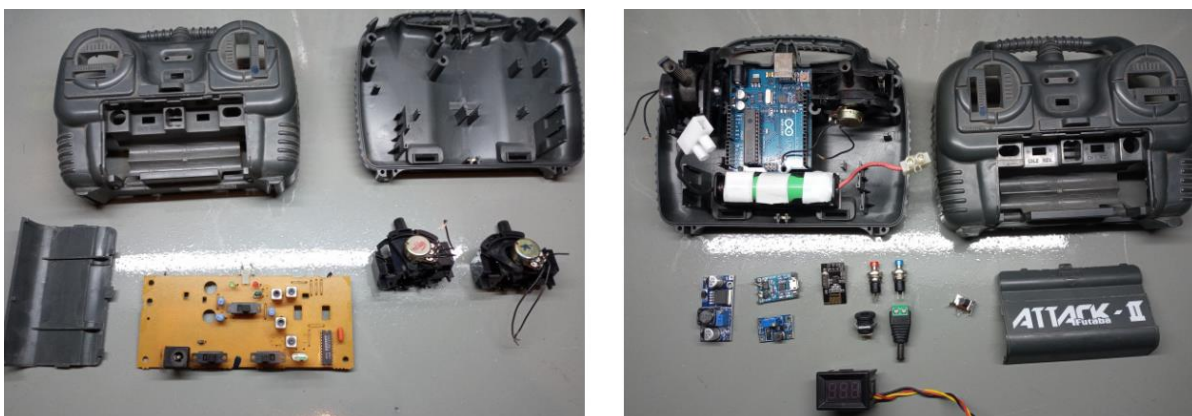
Αξιολογώντας την κατάσταση στην οποία βρισκόταν η πλαστική θήκη του αρχικού χειριστού, εκτιμήθηκε ότι μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί ως η θήκη για την δημιουργία ενός νέου χειριστηρίου. Οπότε ξεκίνησε η διαδικασία αποσυναρμολόγησης και αναδιαμόρφωσης της.



Εικόνα 103 Η αρχική μορφή του χειριστηρίου σε ανενεργή κατάσταση

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.

Έγινε αποσυναρμολόγηση όλων των προ υπάρχοντων εξαρτημάτων που βρισκόντουσαν εγκατεστημένα εντός του εσωτερικού χώρου της πλαστικής θήκης και ακολούθησε μία πρόχειρη ανακατανομή νέων εξαρτημάτων τα οποία εγκαθίστανται στη συνέχεια.



Εικόνα 104 Αριστερά: Αποσυναρμολόγηση της αρχικής θήκης του χειριστηρίου. Δεξιά: Πρόχειρη κατανομή των νέων εξαρτημάτων

Μετά από μια πρόχειρη κατανομή των εξαρτημάτων εντός της θήκης ,υπολογίστηκαν οι ανάλογες διαστάσεις στον εσωτερικό της χώρο ώστε η κατανομή των νέων εξαρτημάτων να είναι όσο το δυνατόν πιο ευνοϊκή και ομοιόμορφη. Στη συνέχεια της κατασκευής το πάνω και το κάτω μέρος της θήκης επεξεργάστηκαν και τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ώστε να μπορούν εγκατασταθούν τα αντίστοιχα εξαρτήματα εντός και εντός της θήκης .



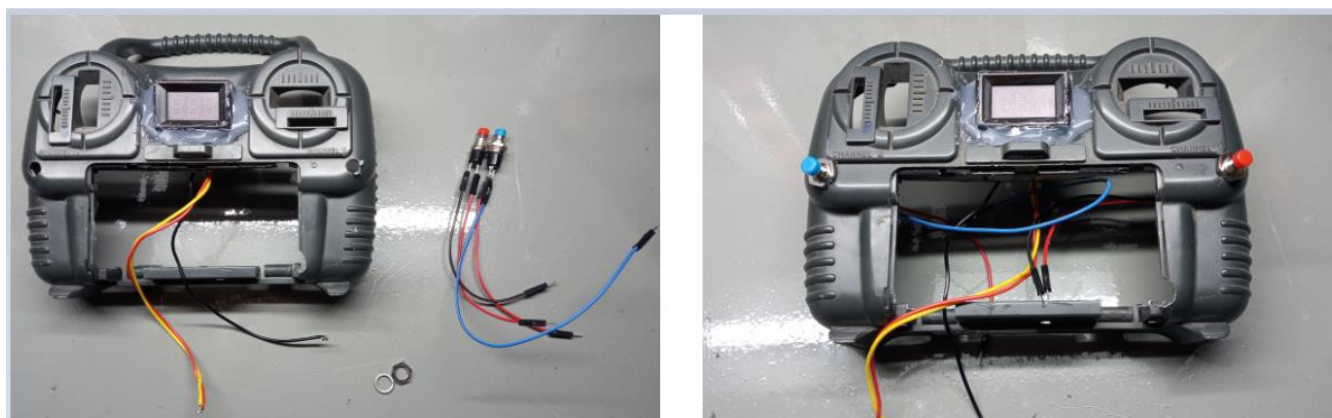
Εικόνα 105 Τα τροποποιημένα μέρη της θήκης

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα στην υποενότητα 2.5.2 , το χειριστήριο θα διαθέτει διάφορα περιφερειακά εξαρτήματα, υπεύθυνα για την δημιουργία των ηλεκτρικών ερεθισμάτων αλλά και της προβολής των ενδείξεων της τάσης μπαταρίας. Τα περιφερειακά αυτά πρόκειται να είναι τα Buttons ,τα Joystick, η LED οθόνη και ο κεντρικός διακόπτης του χειριστηρίου. Στην παρακάτω Εικόνα φαίνεται η προσαρμογή του διακόπτη λειτουργίας όπως και της LED οθόνης στο κέντρο του εξωτερικού πλαισίου της θήκης.



Εικόνα 106 Προσαρμογή του διακόπτη και της οθόνης LED στο χειριστήριο

Τα δύο button που διαθέτει το χειριστήριο ρυθμίζουν την αύξηση ή την μείωση της ταχύτητας που αναπτύσει το ρομποτικό όχημα. Το καθένα από τα δύο Button, έχει στον ακροδέκτη εξόδου του συνδεδεμένη μία ωμική αντίσταση του 1KOhm η οποία γειώνεται έχοντας χρήση ως αντίσταση pull-down. Η ύπαρξη μίας αντίστασης pull-down η οποία έχει το ένα της άκρο γειωμένο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν χρησιμοποιείται στην είσοδο ενός ADC. Ο ADC ως ψηφιακό κύκλωμα για να θεωρήσει ότι υπάρχει μία αλλαγή στην λογική κατάσταση της εισόδου του, πρέπει να λάβει μία ακαριαία θετική ακμή τάσης. Τα δυο Button για την ρύθμιση της ταχύτητας του οχήματος τοποθετούνται αντίστοιχα στο δεξί και στο αριστερό άκρο της θήκης ενώ βιδώνονται επάνω στο πλαίσιο.

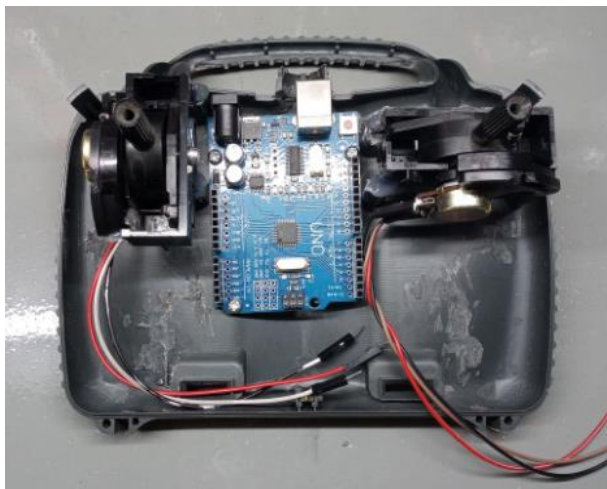


Εικόνα 107 Προσαρμογή των δύο button ταχύτητας

Για την ευνοϊκότερη και ευκολότερη συνδεσμολογία όλων των καλωδίων των περιφερειακών εξαρτημάτων όπως και του nRF24101 module, η θέση της τοποθέτησης του Arduino Uno επιλέχτηκε να γίνει στο κέντρο του κάτω μέρους της θήκης. Στη συνέχεια εντοπίστηκαν και σηματοδότηκαν τα σημεία εκείνα όπου θα γίνει η δημιουργία των εσοχών. Μέσα από τις εσοχές αυτές θα περαστούν οι βίδες συγκράτησης της πλακέτας του Arduino, διατηρώντας το έτσι σταθεροποιημένο εντός της

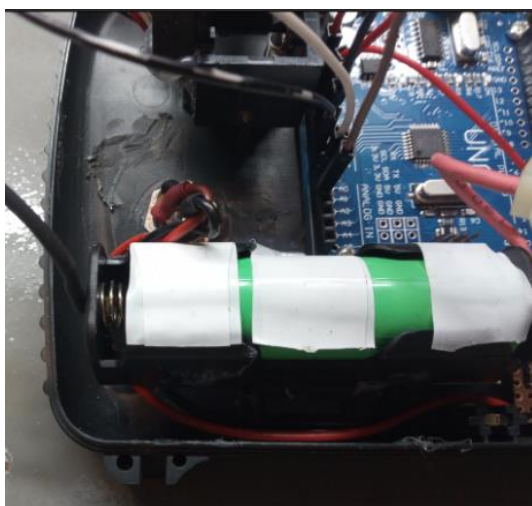
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.

θήκης. Κατόπιν τα δύο Joystick του χειριστηρίου εγκαταστάθηκαν επάνω σε δύο ειδικές βάσεις προσαρμογής και στην συνέχεια για την καλύτερη συγκράτηση τους κολλήθηκαν με σιλικόνη.



Εικόνα 108 Εγκατάσταση του Arduino Uno και των δύο Joystick

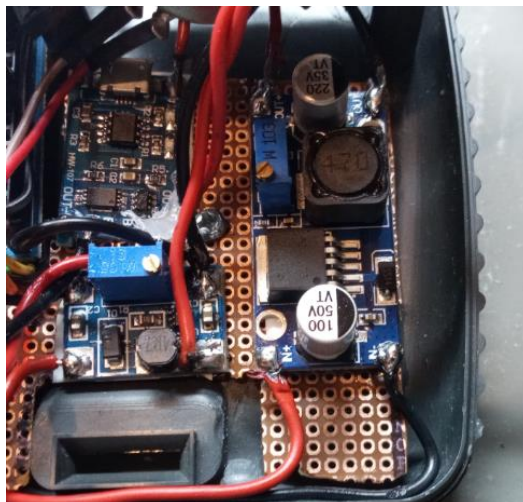
Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε μία μπαταριοθήκη για την καλύτερη ασφάλεια της μπαταρίας και εντός της μπαταριοθήκης ενσωματώθηκε μία μπαταρία λιθίου Li – ion 18650. Η μπαταριοθήκη στερεώθηκε στο κάτω αριστερό μέρος της πλαστικής θήκης και κολλήθηκε εκεί με κόλλα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μία εσοχή στην πίσω πλευρά της θήκης έτσι ώστε να εγκατασταθεί εκεί το DC Jack της φόρτισης του χειριστηρίου. Τα καλώδια από τις επαφές του DC Jack , περάστηκαν από την κάτω μεριά της μπαταριοθήκης μέχρι να καταλήξουν στην είσοδο του Stepdown Converter. Η τιμή της τάσης τροφοδοσίας την οποία μπορεί να διαχειριστεί ο συγκεκριμένος Stepdown Converter είναι από 5 έως 30V.



Εικόνα 109 Τα καλώδια του DC Jack κάτω από την μπαταριοθήκη.

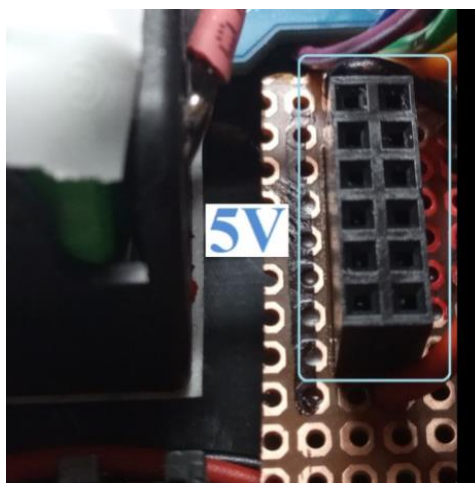
Τα εξαρτήματα τα οποία συνθέτουν το κύκλωμα τροφοδοσίας του χειριστηρίου προσαρμόστηκαν και κολλήθηκαν επάνω σε μία διάτρητη πλακέτα διπλής όψεως για την ευνοϊκότερη προσαρμογή τους στο εσωτερικό χώρο της θήκης. Η διάτρητη πλακέτα βιδώθηκε στο δεξί κάτω μέρος της θήκης

και ακολούθησαν οι συνδέσεις μεταξύ των πλακετών όπως φαίνεται και στην Εικόνα 110. Η πλακέτα του Stepdown Converter στα δεξιά της Εικόνας λαμβάνει σαν είσοδο τη τάση φόρτισης μέσω του DC Jack και την υποβιβάζει στην τιμή τάσης των 5V που χρειάζεται το TP4056. Το TP4056 διαμορφώνει την τάση των 5V στην τάση εξόδου των 4,2V, την προβλεπόμενη τιμή φόρτισης για μπαταρίες λιθίου. Η πλακέτα του StepUp Converter η οποία βρίσκεται τοποθετημένη στα αριστερά του Stepdown Converter, λαμβάνει ως τάση εισόδου την τάση της μπαταρίας ανυψώνοντας την στα 9V. Τα 9V λαμβάνονται ως τάση τροφοδοσίας από το Arduino μέσω της θύρας Vin.



Εικόνα 110 Το κικλωμα της τροφοδοσίας του χειριστηρίου

Για την τροφοδοσία των περιφερειακών εξαρτημάτων κολλήθηκαν επάνω στην διάτρητη πλακέτα δύο σειρές με 12 υποδοχές για Jumper wires. Τα άκρα των υποδοχών αυτών είναι βραχυκυκλωμένα σε σειρά μεταξύ τους από την κάτω όψη της πλακέτας δημιουργώντας έτσι δύο σειρές των έξι υποδοχών. Στην πρώτη σειρά των έξι υποδοχών παρέχονται τα 5V που χρειάζονται τα περιφερειακά απευθείας από το αναλογικό PIN των 5V του Arduino ενώ στην δεύτερη σειρά συνδέεται ένα καλώδιο γείωσης. Για την λειτουργία του κάθε περιφερειακού του χειριστηρίου (τα δύο button και τα δύο joystick) δεσμεύονται από ένα ζεύγος υποδοχών 5V και γείωσης.



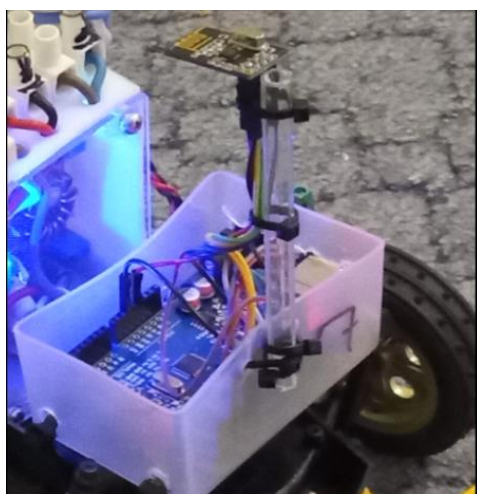
Εικόνα 111 Υποδοχές των jumper wires για την τροφοδοσία των περιφερειακών

Μετά την προσαρμογή όλων των εξαρτημάτων εντός της θήκης του χειριστηρίου και της ολοκλήρωσης της συνδεσμολογίας των μεταξύ τους καλωδίων, δημιουργήθηκε μία εσοχή στο πάνω μέρος της θήκης για την εγκατάσταση του nRF24L01 module που αποτελεί την κεραία του εκπομπού. Επίσης στην ίδια εσοχή προνοήθηκε να βρίσκεται και η σειριακή θύρα USB B που διαθέτει το Arduino Uno για τον προγραμματισμό του μέσω υπολογιστή. Η ψηφιακή ένδειξη των 4,06V η οποία διακρίνεται στην ψηφιακή οθόνη LED της Εικόνας 112 δείχνει το επίπεδο φόρτισης της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας λιθίου του χειριστηρίου.



Εικόνα 112 Αριστερά: Η εγκατάσταση του nRF24L01 module και η σειριακή θύρα USB . Δεξιά: Το ολοκληρωμένο χειριστήριο στην τελική του μορφή

Το κατασκευαστικό κομμάτι του ρομποτικού οχήματος και του χειριστηρίου ολοκληρώνεται με την εγκατάσταση μίας πλαστικής θήκης με την δεύτερη πλακέτα του Arduino Uno στο μπροστινό μέρος του ρομποτικού οχήματος. Παράλληλα τοποθετείται και συνδέεται το δεύτερο nRF24L01 module στα PINS του Arduino του ρομποτικού οχήματος το οποίο έχει το ρόλο του δέκτη στην ασύρματη επικοινωνία. Το δεύτερο Arduino πρόκειται να αποτελεί τον εγκέφαλο του ρομποτικού οχήματος και έχει ως αρμοδιότητα να μεταφέρει τις εντολές τις οποίες δέχεται από το ασύρματο χειριστήριο στα επιμέρους υποσυστήματα της κίνησης και της διεύθυνσης.



Εικόνα 113 Το Arduino Uno και η κεραία nRF24L01 επάνω στο όχημα

Η πλήρη συνδεσμολογία και η χρησιμότητα των θυρών των δύο Arduino που δεσμεύονται από τους ακροδέκτες της κεραίας nRF24L01 του χειριστηρίου και της κεραίας nRF24L01 του ρομποτικού οχήματος παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

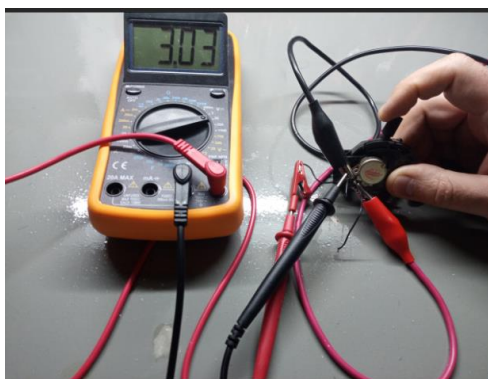
Αναθέσεις των Arduino PINS των περιφερειακών και του nRF24L01 του χειριστηρίου (Trasmitter).		
Used Arduino Uno Pins	Χρωματισμός Καλωδίων	Περιγραφή Λειτουργίας
Pin 7	Πορτοκαλί	CSN
Pin 8	Κίτρινο	CE
Pin 11~	Μπλε	MOSI
Pin 12	Μοβ	MISO
Pin 13	Πράσινο	SCK
Pin 3.3V	Κόκκινο	nRF24L01 Power supply
Pin GR	Μαύρο	nRF24L01 Ground
Pin 5V	Κόκκινο	Τροφοδοσία των εξωτερικών ερεθισμάτων.
Pin GR	Μαύρο	Γείωση των εξωτερικών ερεθισμάτων.
A0	Αριστερό Ποτενσιόμετρο	Forward and Backward movement
A1	Δεξι Ποτενσιόμετρο	Tires Rotation
A2	Κόκκινο Button	Speed decrease
A3	Πράσινο Button	Speed increase
Αναθέσεις των Arduino PINS των περιφερειακών και του nRF24L01 του οχήματος (Receiver).		
Used Arduino Uno Pins	Χρωματισμός Καλωδίων	Περιγραφή Λειτουργίας
Pin 7	Πορτοκαλί	CSN
Pin 8	Κίτρινο	CE
Pin 11~	Μπλε	MOSI
Pin 12	Μοβ	MISO
Pin 13	Πράσινο	SCK

Πίνακας 2.22 Pinout των Arduino και των nRF24L01 του εκπομπού και του δεκτή

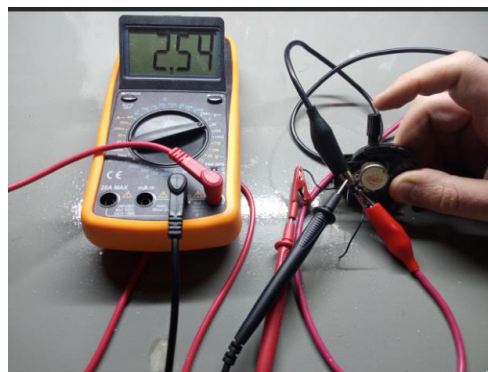
2.5.4 Πειραματικές μετρήσεις και δοκιμές στην λειτουργία του ασύρματου χειριστηρίου.

Πριν από το στάδιο της κατασκευής του ασύρματου χειριστηρίου, πραγματοποιήθηκε μία σειρά από πειραματικές δοκιμές για τον προσδιορισμό των κατάλληλων τιμών λειτουργίας των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται αλλά και του τρόπου υλοποίησης των εξωτερικών διεγέρσεων οι οποίες θα λαμβάνονται από τις αναλογικές εισόδους του ο μικροελεγκτής. Η δημιουργία μιας εξωτερικής διέγερσης προέρχεται είτε από την μεταβολή της θέσης των λαβών δύο διαφορετικών Joystick είτε από το πάτημα ενός από δύο Button που βρίσκονται τοποθετημένα επάνω στο χειριστήριο. Το κάθε Joystick διαθέτει από ένα ποτενσιόμετρο των 5 Kohm του οποίου η τιμή της αντίστασης του μειώνεται η αυξάνεται ανάλογα με την φορά της κίνησης που εκτελεί η λαβή του Joystick. Τα

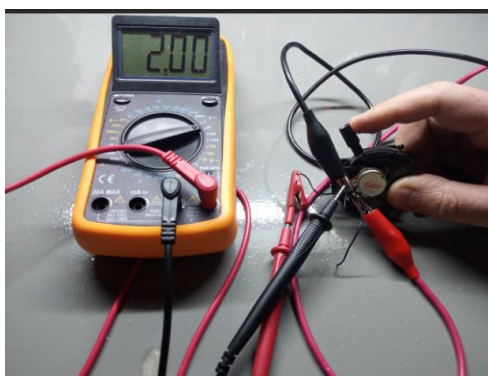
επιτρεπόμενα όρια κίνησης των δύο Joystick, καθορίζουν στα δύο ποτενσιόμετρα το εύρος των επιτρεπόμενων ωμικών τιμών οι οποίες περιορίζονται ανάμεσα στο διάστημα των 2 με 3 Kohm. Επομένως, εφαρμόζοντας στα άκρα του κάθε ενός ποτενσιόμετρου τιμή τάσης 5V, οι επιτρεπόμενες τιμές τάσης οι οποίες μπορεί να εμφανίσει το κάθε ποτενσιόμετρο στην έξοδο του, περιορίζονται ανάμεσα στο διάστημα των 2 με 3V. Οι παραγόμενες τάσεις εξόδου, λαμβάνονται μέσω των αναλογικών θυρών εισόδου του Arduino και μεταφράζονται από τον ADC του Arduino σε ακέραιες τιμές. Στις παρακάτω εικόνες 114 ,115 και 116 παρουσιάζονται οι τιμές τάσης εξόδου του ποτενσιόμετρου όταν η λαβή του Joystick που το ελέγχει βρίσκεται στη θέση αυτόματης επαναφοράς όπως επίσης και όταν η λαβή του Joystick βρίσκεται στις δύο οριακές θέσεις. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με την τάση στα άκρα του κάθε ποτενσιόμετρου να είναι 5V.



Εικόνα 114 Η τάση εξόδου του ποτενσιόμετρου όταν η λαβή του Joystick βρίσκεται τέρμα δεξιά



Εικόνα 115 Η τάση εξόδου του ποτενσιόμετρου όταν η λαβή του Joystick βρίσκεται στην θέση αυτόματης επαναφοράς



Εικόνα 116 Η τάση εξόδου του ποτενσιόμετρου όταν η λαβή του Joystick βρίσκεται τέρμα αριστερά

Η οδήγηση του ρομποτικού οχήματος στηρίχθηκε επί το πλείστον σε αναλογικό έλεγχο ο οποίος υλοποιήθηκε μέσω της χρήσης δύο Joystick. Οι ενδιάμεσες τιμές της τάσης που προκύπτουν από την μεταβολή της λαβής των δύο Joystick και κατά συνέπεια από την μεταβολή της ωμικής αντίστασης των δύο ποτενσιόμετρων, αντιστοιχίζονται σε διαστήματα ακεραίων αριθμών τα οποία συσχετίζονται με μία συγκεκριμένη εντολή κίνησης του ρομποτικού οχήματος. Οι διάφορες τιμές τάσης των εξωτερικών διεγέρσεων οι οποίες λαμβάνονται μέσω των αναλογικών εισόδων από τον ADC του Arduino, αντιστοιχίζονται σε τριψήφιους ακεραίους αριθμούς μεταξύ των αριθμών 1 και 1023 και κατατάσσονται σε αριθμητικά διαστήματα τα οποία έχουν δηλωθεί στο κώδικα του μικροελεγκτή εκπομπού. Στη συνέχεια τα αριθμητικά διαστήματα αυτά όπως και φαίνεται στον πίνακα 2.24 αντιστοιχίζονται με έναν αλφαριθμητικό χαρακτήρα. Μέσω του κώδικα στο μικροελεγκτή του δεκτή οι αλφαριθμητικοί χαρακτήρες που λαμβάνονται συσχετίζονται με την εκτέλεση μίας συγκεκριμένης ενέργειας του ρομποτικού οχήματος. Οι τιμές τάσης στις εξόδους των ποτενσιόμετρων και των button, τα διαστήματα των ακεραίων αριθμών αλλά και η αντιστοιχία του κάθε αριθμητικού διαστήματος με μία συγκεκριμένη εντολή οδήγησης παρουσιάζονται και περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Μετρούμενη τιμή τάσης στις εξόδους των ποτενσιόμετρων και των Button (V).	Αντιστοίχιση των τιμών τάσης σε ακεραίους αριθμούς όταν ο ADC του Arduino (10bit Ανάλυση) διαβάζει τάση από τις αναλογικές εισόδους A0,A1,A2,A3.	Ενέργεια που εκτελεί το ρομποτικό όχημα στο αντίστοιχο διάστημα ακεραίων.
<i>Αριστερό Ποτενσιόμετρο, μπροστά - πίσω κίνησης ρομποτικού οχήματος, Αναλογική είσοδος A0 στο Arduino, Παρεχόμενη τάση τροφοδοσίας 5V.</i>		
2,00V - 2,19V	410 - 449	FORWARD MOVEMENT
2,84V - 3,03V	581 - 620	BACKWARD MOVEMENT
2,20V - 2,35V & 2,68V - 2,83V	450 - 480 & 550 - 580	BRAKING
2,35V - 2,68V	481 - 549	INACTION
<i>Δεξί Ποτενσιόμετρο, αλλαγή διεύθυνσης των μπροστινών τροχών, Αναλογική είσοδος A1 στο Arduino, Παρεχόμενη τάση τροφοδοσίας 5V.</i>		
2,00V - 2,19V	410 - 449	ROTATION RIGHT
2,84V - 3,03V	581 - 620	ROTATION LEFT
2,20V - 2,35V & 2,68V - 2,83V	450 - 480 & 550 - 580	WHEEL ALIGNMENT
2,35V - 2,68V	481 - 549	INACTION
<i>Κόκκινο Button , μείωση της ταχύτητας του οχήματος, Αναλογική είσοδος A2 στο Arduino, Παρεχόμενη τάση τροφοδοσίας 5V.</i>		
4,99V - 5,00V	1000 - 1023	SPEED DECREASE
<i>Πράσινο Button , αύξηση της ταχύτητας του οχήματος, Αναλογική είσοδος A3 στο Arduino, Παρεχόμενη τάση τροφοδοσίας 5V.</i>		
4,99V - 5,00V	1000 - 1023	SPEED INCREASE

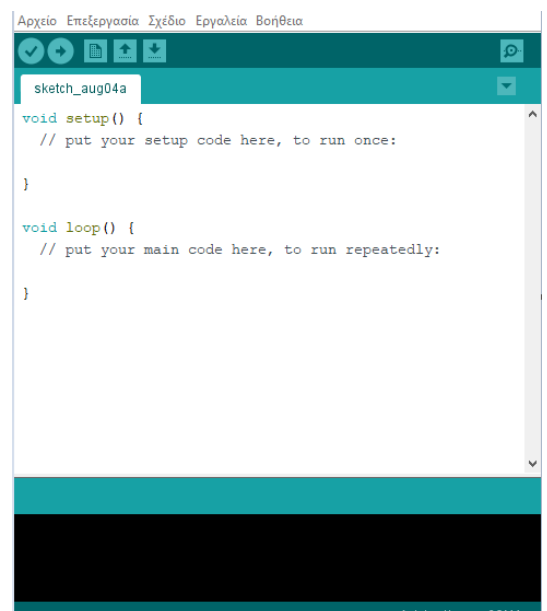
Πίνακας 2.23 Οι ενέργειες οι οποίες εκτελούνται από το ρομποτικό όχημα μέσω της εφαρμογής εξωτερικών ηλεκτρικών διεγέρσεων από τα περιφερειακά εξαρτήματα που βρίσκονται στο χειριστήριο

Στο πίνακα 2.23 παρατηρείται ότι, χρησιμοποιούνται τα ίδια αριθμητικά διαστήματα ακεραίων αριθμών για την εφαρμογή της πίσω - μπροστά κίνησης του ρομποτικού οχήματος όπως και της στρέψης των μπροστινών τροχών διότι τα δύο Joystick διαθέτουν τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Παρότι τα αριθμητικά διαστήματα που προκύπτουν είναι ίδια, οι ενέργειες οι οποίες εκτελούνται από το ρομποτικό όχημα είναι διαφορετικές σε κάθε μία περίπτωση. Όταν δοθεί από το δεξί Joystick του χειριστηρίου τιμή μέσα στο αριθμητικό διάστημα των τιμών 450 - 480 & 550 – 580 τότε το όχημα παίρνει την εντολή της ευθυγράμμισης των μπροστινών τροχών ενώ όταν στο όχημα δοθεί τιμή μέσα στο ίδιο αριθμητικό διάστημα αλλά από το αριστερό Joystick τότε το όχημα φρενάρει. Η ενέργεια η οποία προκύπτει από το αριθμητικό διάστημα των τιμών 481 – 549 είναι κοινή ως λειτουργία και για τα δύο Joystick επειδή τότε δεν δίνεται καμία εντολή προς το όχημα με αποτέλεσμα να παραμένει σε αδράνεια. Μέσα στο αριθμητικό διάστημα των 481 – 549 βρίσκονται οι ακέραιες τιμές τάσης οι οποίες εμφανίζονται στην έξοδο των ποτενσιομέτρων όταν οι λαβές των Joystick έχουν επιστρέψει πίσω στην θέση επαναφοράς τους.

2.6 Προγραμματισμός μικροελεγκτών σε χειριστήριο και ρομποτικό όχημα.

Το στάδιο του προγραμματισμού, αποτελεί και το τελευταίο στάδιο της κατασκευαστικής πορείας του ρομποτικού οχήματος. Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του ασύρματου χειριστηρίου ακολούθησε ο προγραμματισμός των δύο Arduino μέσω υπολογιστή και η υλοποίηση της λειτουργίας του απομακρυσμένου ελέγχου. Στο Arduino του χειριστηρίου εγκαταστάθηκε ο κώδικας του εκπομπού ενώ στο Arduino του ρομποτικού οχήματος εγκαταστάθηκε ο κώδικας του δέκτη. Με την ενεργοποίηση των δύο Arduino ο εγκατεστημένος κώδικας ξεκινάει να εκτελείται σε επανάληψη μέχρι η πλακέτα Arduino να απενεργοποιηθεί. Σε παράλληλο χρόνο κατά την εκτέλεση του κώδικα εγκαθιδρύεται και η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των δύο nRF24L01 modules. Τα προγράμματα τα οποία δημιουργούνται για την πλατφόρμα του Arduino χωρίζονται σε τρία μέρη [37].

- Το πρώτο μέρος, βρίσκεται πάντα στην αρχή κάθε νέου προγράμματος και εκεί δηλώνονται οι βιβλιοθήκες, οι σταθερές, οι δομές και οι global μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα όταν αυτό ξεκινάει να εκτελείται.
- Το δεύτερο μέρος εμπεριέχει την βασική ρουτίνα Setup() η οποία εκτελείται μόνο μία φορά κατά την εκκίνηση του προγράμματος. Μέσα στην ρουτίνα Setup() γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών του προγράμματος όπως και η αναφορά των Arduino Pins τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν είτε ως είσοδοι ή είτε ως έξοδοι.
- Το τρίτο μέρος του κώδικα, το αποτελεί η βασική ρουτίνα επανάληψης void loop() η



```
Archievo Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια
sketch_aug04a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Εικόνα 117 Εικόνα 2.81 Αναπτυξιακό περιβάλλον της εφαρμογής Arduino IDE [40]

οποία εμπεριέχει το κύριο κορμό του εκτελέσιμου κώδικα. Μόλις η ρουτίνα void loop() τεθεί σε λειτουργία, η επανάληψη της τερματίζεται μονάχα με την απενεργοποίηση του μικροελεγκτή ή με την χρήση κάποιας εξωτερικής διακοπής συστήματος.

Η ανάπτυξη και η απασφαλμάτωση του κώδικα ο οποίος προορίζεται για την ενσωμάτωση σε μία πλακέτα Arduino, υλοποιείται μέσα από το περιβάλλον της εφαρμογής Arduino IDE. Το συγκεκριμένο περιβάλλον είναι παρόμοιο με ενός επεξεργαστή κειμένου ο οποίος διαθέτει επιπρόσθετες δυνατότητες για την δημιουργία κώδικα. Μόλις ο κώδικας δημιουργηθεί στην περιοχή κειμένου, επικυρώνεται για τυχόν συντακτικά σφάλματα μέσω του επεξεργαστή κειμένου και στην συνέχεια φορτώνεται στην μνήμη του μικροελεγκτή. Ύστερα από την φόρτωση του κώδικα, το πρόγραμμα ξεκινάει να τρέχει αυτόματα μέχρις ότου η πλακέτα του Arduino απενεργοποιηθεί. Στην Εικόνα 117 παρουσιάζεται το περιβάλλον της εφαρμογής Arduino IDE [40].

2.6.1 Περιγραφή κώδικα του Arduino εκπομπός (Transmitter code)

Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζεται ο κώδικας του εκπομπού που έχει δημιουργηθεί για την πραγματοποίηση του απομακρυσμένου ελέγχου. Στη συγγραφή του κώδικα συμπεριλαμβάνονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες όπως οι βιβλιοθήκες <nRF24L01.h> <RF24.h> και <SPI.h> τις οποίες χρησιμοποιεί το Arduino για να καταφέρει να συνεργαστεί και να επικοινωνήσει μαζί με το nRF24L01 module.

```
Modified_Transmitter_Code
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

/* Start of Code initialization */
RF24 radio(8,7); // CE, CSN
const byte address[6] = "00001";

int potVal0 = 0;
int potVal1 = 0;
int BUTTONVal2 = 0;
int BUTTONVal3 = 0;
```

Μέσω της εντολής **const byte address[6]** δημιουργείται ένας διάυλος μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των δύο nRF24L01 module έτσι ώστε το κάθε ένα από τα δύο nRF24L01 module να μπορεί να γράφει και να διαβάζει δεδομένα μέσα από ένα κοινό διάυλο επικοινωνίας.

Στο παρακάτω απόσπασμα κώδικα ορίζονται οι εντολές αρχικοποίησης της επικοινωνίας του nRF24L01 εκπομπού προς το nRF24L01 του δέκτη.

- Αρχικά ορίζεται η ασύρματη επικοινωνία με την εντολή **radio.begin()**.
- Ρυθμίζεται η συχνότητα επάνω στην οποία θα μεταδίδονται τα δεδομένα.

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος.

- Στη συνέχεια επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η μέγιστη δυνατή ισχύς κατά την μετάδοση του εκπομπού.
- Πριν από την εκπομπή των δεδομένων ορίζεται ο διάυλος επικοινωνίας μόνο για εγγραφή δεδομένων.
- Τέλος με την εντολή **radio.stopListening()** ορίζεται το συγκεκριμένο nRF24L01 module να λειτουργεί ως εκπομπός.

```
void setup() {  
  radio.begin();  
  radio.setChannel(115);  
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);  
  radio.openWritingPipe(address);  
  radio.stopListening();  
}
```

Μόλις ο εκτελέσιμος κώδικας φτάσει στη ρουτίνα επανάληψης void loop(), οι εντολές οι οποίες βρίσκονται εντός της ρουτίνας θέτονται σε επανάληψη. Αρχικά δεσμεύονται τέσσερις από τις έξι αναλογικές εισόδους του Arduino. Στη συνέχεια οι τιμές οι οποίες λαμβάνονται από τις τέσσερις εισόδους καταχωρούνται σε τέσσερις μεταβλητές ακεραίων. Οι αποθηκευμένες τιμές των ακεραίων μεταβλητών συγκρίνονται με το αν ανήκουν σε συγκεκριμένα αριθμητικά διαστήματα ακεραίων.

```
void loop()  
{  
  potVal0= analogRead(A0);  
  potVal1= analogRead(A1);  
  BUTTONVal2= analogRead(A2);  
  BUTTONVal3= analogRead(A3);  
  
  if( potVal0>0 || potVal1>0 || BUTTONVal2>0 || BUTTONVal3>0)  
  {  
    if(potVal0>580)  
    {const char text[1] = "b";  
    radio.write(&text, sizeof(text));  
    }  
    if(potVal0<450)  
    {const char text[1] = "f";  
    radio.write(&text, sizeof(text));  
    }  
    if((potVal0>=450 && potVal0<=480)|| (potVal0>=550 && potVal0<=580))  
    {const char text[1] = "s";  
    radio.write(&text, sizeof(text));}  
  }
```

```

if(potVal1>580)
{const char text[1] = "l";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(1);
}
if(potVal1<450)
{const char text[1] = "r";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(1);
}
if((potVal1>=450 && potVal1<=480)|| (potVal1>=550 && potVal1<=580))
{const char text[1] = "c";
radio.write(&text, sizeof(text));}

if(BUTTONVal2>1000 && BUTTONVal3<=1023)
{const char text[1] = "-";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(500);
}

if(BUTTONVal3>1000 && BUTTONVal2<=1023)
{const char text[1] = "+";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(500);
}
}
}

```

Ανάλογα με το αριθμητικό διάστημα στο οποίο εντοπίζεται να ανήκει η κάθε μία ακέραια τιμή, εφόσον έχει ήδη προηγηθεί μία σύγκριση μέσω μίας συνθήκης ελέγχου IF, γίνεται αντιστοίχιση των ακέραιων τιμών αυτών με έναν συγκεκριμένο αλφαριθμητικό χαρακτήρα που αποστέλλεται σαν μήνυμα προς τον δέκτη μέσω της εντολής radio.write(). Με την αποστολή του αλφαριθμητικού χαρακτήρα από του Arduino του χειριστηρίου προς το Arduino του ρομποτικού οχήματος επιτυγχάνεται η μεταβολή στην κίνηση του οχήματος. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ενέργειες οι οποίες εκτελεί το ρομποτικό όχημα για κάθε ένα διαφορετικό αλφαριθμητικό χαρακτήρα που λαμβάνει.

Εκτελούμενη ενέργεια από το όχημα.	Αλφαριθμητικός χαρακτήρας που αποστέλλεται μέσω της εντολής radio.write().
Forward Movement	f
Backward Movement	b
Braking - Stop	s
Rotation Left	l
Rotation Right	r
Wheel Alignment (Center)	c
Speed Increase	+
Speed Decrease	-

Πίνακας 2.24 Αντιστοίχιση αλφαριθμητικών χαρακτήρων με τις ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει το ρομποτικό όχημα

2.6.2 Περιγραφή κώδικα του Arduino δέκτης (Receiver code)

Οι βιβλιοθήκες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην δημιουργία του κώδικα του δέκτη είναι παρόμοιες με εκείνες της δημιουργίας του κώδικα του εκπομπού αλλά με τη προσθήκη μίας επιπλέον βιβλιοθήκης της <Servo.h>. Μέσω της βιβλιοθήκης <Servo.h> προσφέρεται ο κώδικας ο οποίος χρειάζεται το Arduino για να συνεργαστεί με το Servomotor. Στο παρακάτω απόσπασμα κώδικα εκτός από τις βιβλιοθήκες δηλώνονται και οι global μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα μέσα στην ρουτίνα επανάληψης void loop().

```
Modified_Receiver_Code
#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

/* Start of Code initialization */
RF24 radio(8,7); // CE, CSN
const byte address[6] = "00001";

char data='0';
int moved =3;
int vehicle_speed=80;
int Servodegrees = 100;
Servo myservo; // create servo object to control a servo
```

Εντός της ρουτίνας Setup() οι εντολές οι οποίες αρχικοποιούνται για την λειτουργία του δέκτη, είναι παρόμοιες και με εκείνες της ρουτίνας Setup() του εκπομπού εκτός των εντολών radio.startListening() και myservo.attach(10).

- Αρχικά με την εντολή radio.startListening() ορίζεται το συγκεκριμένο nRF24L01 module να λειτουργεί ως δέκτης.
- Με την εντολή myservo.attach(10) ορίζεται το Pin 10 του Arduino ως η έξοδο για το σήμα ελέγχου του Servomotor.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.setChannel(115);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  radio.openReadingPipe(0, address);
  radio.startListening();
  myservo.attach(10); // attaches the servo on pin 10 to the servo object
}
/* End of Code initialization */
```


Μετά την αρχικοποίηση των εντολών εντός της ρουτίνας Setup() η ροή του προγράμματος συνεχίζει με την εκτέλεση της ρουτίνας επανάληψης void loop(). Με χρήση της συνάρτησης radio.available(), η οποία είναι εμφωλευμένη εντός μίας συνθήκης IF , το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των δυο nRF24L01 module ελέγχεται για τυχόν ύπαρξη πακέτων δεδομένων τα οποία μπορεί να έχουν αποσταλεί από τον εκπομπό. Εάν στο κανάλι δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα τότε συνεχίζεται η επανάληψη της ρουτίνας void loop() κανονικά. Εάν στο κοινό δίαυλο επικοινωνίας υπάρξουν διαθέσιμα δεδομένα τότε αποθηκεύονται σε ένα πίνακα χαρακτήρων και στην συνέχεια ελέγχονται εάν αντιστοιχούν με κάποιον από τους δηλωμένους αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

```
void loop()
{
  if (radio.available())
  {
    char text[2] = " ";
    radio.read(&text, sizeof(text));
    Serial.println(text);
    for(int i;i<3;i++)
    {
      if(text[i]=='-'|| text[i]=='+' ||text[i]=='l' || text[i]=='r' ||
        text[i]=='f' || text[i]=='b' || text[i]=='s' || text[i]=='c')
        {data=text[i];}
    }
  }
}
```

Παρακάτω μέσω μίας συνθήκης IF γίνεται έλεγχος εάν ο αλφαριθμητικός χαρακτήρας ο οποίος έχει αποσταλεί μέσω του ασύρματου χειριστηρίου αφορά την αύξηση ή την μείωση της ταχύτητας του ρομποτικού οχήματος.

```
/* Increase or Decrease of vehicle speed. */
if( data == '-' || data == '+')
{ if(data == '+')
  {
    if(vehicle_speed > 1)
    {vehicle_speed=vehicle_speed-10;}
  }
  if(data == '-')
  {
    if(vehicle_speed < 80)
    {vehicle_speed=vehicle_speed+10;}
  }

  /* The PWM limits of vehicle speed. */
  if(vehicle_speed > 80)
  {vehicle_speed= 79;}
  if(vehicle_speed <1)
  { vehicle_speed=2;}
}
/* End of IF Condition ,Increase or Decrease of vehicle speed. */
```

Στην συνέχεια του κώδικα ακολουθεί, μία συνθήκη ελέγχου IF η οποία καθορίζει τις μοίρες περιστροφής των μπροστινών τροχών του συστήματος διεύθυνσης, με χρήση κάθε φορά μόνο ενός από τρεις διαφορετικούς αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

```
/* SERVO MOTOR OPERATION OF THE FRONT TIRES */
if(data=='c')// FRONT TIRES COME TO THE CENTER
{ Servodegrees = 100;
  myservo.write (Servodegrees);
}
if(data == 'r')//FRONT TIRES Turn RIGHT
{
  Servodegrees = 70;
  myservo.write (Servodegrees);
}
if(data == 'l')//FRONT TIRES Turn LEFT
{
  Servodegrees = 130;
  myservo.write (Servodegrees);
} /* END OF SERVO MOTOR OPERATION */
```

Στο παρακάτω απόσπασμα κώδικα καθορίζεται η φορά της κίνησης την οποία πρόκειται να εκτελέσει το σύστημα πίσω κίνησης του ρομποτικού οχήματος.

```
/* Start of IF Condition, FORWARD OR BACKWARD MOVEMENT */
if( data == 'f' || data == 'b')
{
  if(data == 'f') //FORWARD
  {
    analogWrite(3,10);
    analogWrite(5,10);
    analogWrite(6,vehicle_speed);
    analogWrite(9,255);
    moved=1;
  }
  else if(data == 'b') //BACKWARD
  {
    analogWrite(9,10);
    analogWrite(6,10);
    analogWrite(5,vehicle_speed);
    analogWrite(3,255);
    moved=2;
  }
} /* END of IF Condition, FORWARD OR BACKWARD MOVEMENT */
```

Η μεταβλητή **moved** στον κώδικα παίρνει τις ακέραιες τιμές 1 ή 2 ή 3 ανάλογα με την φορά της κίνησης που εκτελεί εκείνη τη στιγμή το ρομποτικό όχημα. Οι τιμές 1 ή 2 καθορίζουν τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις φρεναρίσματος του οχήματος. Όταν η μεταβλητή **moved** παίρνει τιμή 1 τότε το όχημα κινείται προς τα εμπρός και χρειάζεται να φρενάρει προς τα πίσω ενώ όταν παίρνει τη τιμή 2 τότε το όχημα κινείται προς τα πίσω και πρέπει να φρενάρει προς τα μπροστά. Στο τέλος του κώδικα στη μεταβλητή **data** αποθηκεύεται ο χαρακτήρας 0, ο οποίος δεν αντιστοιχίζεται σε καμία ενέργεια εκτέλεσης του ρομποτικού οχήματος. Με τον τρόπο αυτό το ρομποτικό όχημα αναγκάζεται να ολοκληρώσει την ενέργεια την οποία εκτελεί εκείνη την στιγμή και να σταματήσει. Στην συνέχεια μέσω της συνάρτησης `radio.available()` λαμβάνεται εκ νέου, επόμενος αλφαριθμητικός χαρακτήρας και συνεχίζεται η ροή της ρουτίνας επανάληψης. Τέλος, με την ολοκλήρωση της ρουτίνας επανάληψης `void loop()` γίνεται έλεγχος εάν ο χαρακτήρας ο οποίος έχει αποσταλεί από το ασύρματο χειριστήριο, είναι αυτός που ενεργοποιεί το φρενάρισμα όταν το ρομποτικό όχημα βρίσκεται εν κινήσει.

```
if( data == 's') //TIRES BRAKING
{
  if(moved==1)
  {
    analogWrite(9,10);
    analogWrite(6,10);
    delay(100);
    analogWrite(5,vehicle_speed);
    analogWrite(3,255);
    delay(300);
    analogWrite(5,10);
    analogWrite(3,10);
    moved=3;
  }
  if(moved==2)
  {
    analogWrite(5,10);
    analogWrite(3,10);
    delay(100);
    analogWrite(6,vehicle_speed);
    analogWrite(9,255);
    delay(300);
    analogWrite(6,10);
    analogWrite(9,10);
    moved=3;
  }data='l';
}
} //END of if(Serial.available())
data='0';
} //END of void loop()
```

3 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

3.1 Σύνοψη εργασίας

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός τροχοφόρου ρομποτικού οχήματος και μίας εφαρμογής υπεύθυνης για τον απομακρυσμένο έλεγχο. Αφού πρώτα πραγματοποιήθηκε η πλήρη θεωρητική ανάλυση των υποσυστημάτων που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα, ακολούθησε η διαδικασία της κατασκευής, φτάνοντας μέχρι και το σημείο εκείνο όπου το όχημα ήταν σε θέση να επιτελεί βασικές λειτουργίες οδήγησης μέσω του απομακρυσμένου ελέγχου. Η σύλληψη της αρχικής ιδέας ήταν να δοθεί περισσότερη έμφαση στην ανάπτυξη όλων των βασικών υποσυστημάτων που συναντώνται σε κάθε τροχοφόρο ρομποτικό όχημα με τελικό στόχο την ενοποίηση όλων μαζί. Εκτός από τις τροποποιήσεις οι οποίες έγιναν στα μηχανικά μέρη του οχήματος αναπτύχθηκαν εξ ολοκλήρου τα συστήματα της παροχής τροφοδοσίας, της κίνησης και της διεύθυνσης αλλά και του συστήματος του απομακρυσμένου ελέγχου. Τα διαδοχικά στάδια τα οποία ακολούθησαν ξεχωριστά για την ανάπτυξη του κάθε ενός υποσυστήματος ήταν η διενέργεια έρευνας, η μελέτη για την επιλογή των καταλληλότερων εξαρτημάτων, η δημιουργία σχηματικών διαγραμμάτων για την διευκόλυνση της μετέπειτα κατασκευής, η κατάστρωση πειραματικών διατάξεων, η υλοποίηση των διαδικασιών, η συλλογή μετρήσεων για την διαπίστωση της ορθής λειτουργίας και τέλος η σύνθεση του απαραίτητου κώδικα για την επίτευξη της ασύρματης επικοινωνίας και της δυνατότητας οδήγησης του ρομποτικού συστήματος. Παρότι το συγκεκριμένο ρομποτικό όχημα έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να επιτελεί βασικές λειτουργίες οδήγησης, σχεδιάστηκε ώστε να αποτελέσει μελλοντικά τη βάση για την δημιουργία μίας πιο σύνθετης εφαρμογής. Η εφαρμογή εκείνη θα διαθέτει την υποδομή για να μπορεί να ενσωματώσει πιο απαιτητικά υποσυστήματα, όπως συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και διατάξεις αισθητήρων για να αναλύει εξωτερικά δεδομένα και να κάνει πολυπλοκότερους υπολογισμούς.

3.2 Προβλήματα και αντιμετώπιση

Κατά την πορεία κατασκευής του ρομποτικού οχήματος, εμφανίστηκαν διάφορα τεχνικά ζητήματα τα οποία στάθηκαν εμπόδιο στην ολοκλήρωση της ΔΕ, όμως με τη χρήση συγκεκριμένων τεχνικών διαδικασιών και περισσότερης έρευνας εντοπίστηκαν οι κατάλληλες λύσεις και τα προβλήματα να ξεπεραστούν. Τα τεχνικά ζητήματα που προκύπταν, όφειλαν την ύπαρξη τους σε αστοχίες κατά το στάδιο του σχεδιασμού, σε κατασκευαστικές απροσεξίες ή σε λανθασμένες μετρήσεις κατά το στάδιο της πειραματικής διαδικασίας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μέγιστες ανοχές των εξαρτημάτων οι οποίες δίνονταν στο τεχνικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή έπρεπε να προσδιοριστούν και μέσω πειραματικών διατάξεων πριν προηγηθεί η ενσωμάτωσή τους στο εκάστοτε κύκλωμα ή υποσύστημα. Για την αντιμετώπιση αρκετών τεχνικών προβλημάτων έγιναν αλλαγές στο σχεδιασμό ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έγινε επαναξιολόγηση ολόκληρης της μεθόδου που είχε εφαρμοστεί. Στη συνέχεια της υποενοότητας αναλύονται κατασκευαστικά ζητήματα από την πορεία ανάπτυξης της ΔΕ, καταγράφοντας τα πέντε πιο κομβικά από αυτά όπως και τις λύσεις που βρέθηκαν για την αντιμετώπιση τους.

- **Αντιμετώπιση της προσθήκης επιπλέον βάρους στην καμπίνα του οχήματος**

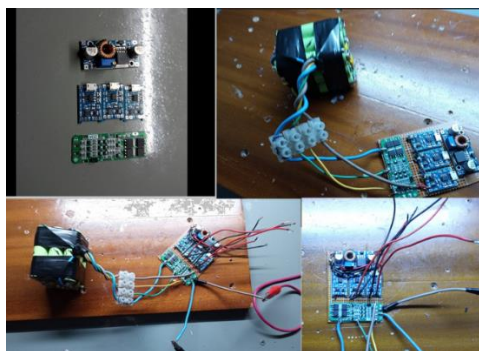
Η κατανομή βάρους σε ένα μικρό και ελαφρύ όχημα έχει φανερό επίδραση στην οδηγική του συμπεριφορά. Με την τοποθέτηση της θήκης του συστήματος τροφοδοσίας στο κέντρο του οχήματος το βάρος στο συγκεκριμένο σημείο αυξήθηκε με αποτέλεσμα τη μόνιμη συσπίρωση στα ελατήρια των μπροστινών αμορτισέρ. Η μόνιμη συσπίρωση των ελατηρίων έκανε τους μπροστινούς τροχούς διεύθυνσης να γέρνουν προς το εσωτερικό του οχήματος εμφανίζοντας μεγαλύτερη δυσκολία κατά την αλλαγή διεύθυνσης. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε προσθέτοντας από μία πλαστική ροδέλα στο πάνω μέρος καθενός ελατηρίου των μπροστινών αμορτισέρ. Η προσθήκη των πλαστικών ροδελών είχε ως επίδραση την αύξηση της σκληρότητας των ελατηρίων με αποτέλεσμα το όχημα να διαχειρίζεται περισσότερο βάρος, επιτυγχάνοντας έτσι την επαναφορά των μπροστινών τροχών διεύθυνσης στην κανονική τους θέση.

- **Επιλογή της καταλληλότερης μπαταρίας τροφοδοσίας**

Η αρχική επιλογή της μπαταρίας τροφοδοσίας ήταν μία μπαταρία μολύβδου κλειστού τύπου 12V. Η χρήση των μπαταριών μολύβδου – θεικού οξέος συναντάται κυρίως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλές τιμές ρεύματος όπως κατά το στάδιο της εκκίνησης εφαρμογών DC κινητήρων. Στη συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή έγινε αρχικά χρήση μίας μπαταρίας μολύβδου εμφανίζοντας πολύ κακή αναλογία βάρους – χωρητικότητας διότι το όχημα επιβαρύνθηκε με επιπλέον βάρος συγκριτικά με εκείνο το οποίο μπορούσε να διαχειριστεί και ταυτόχρονα η αυτονομία της ενέργειας που προσέφερε η μπαταρία ήταν ανεπαρκής σε σχέση με την ζητούμενη ενέργεια του συστήματος. Επομένως έγινε αντικατάσταση της μπαταρίας μολύβδου – θεικού οξέος με συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου τύπου 18650. Με τον τρόπο αυτό αυξήθηκε η ηλεκτρική χωρητικότητα βελτιώνοντας την ενεργειακή αυτονομία του οχήματος και πετυχαίνοντας ταυτόχρονα την μείωση του συνολικού του βάρους.

- **Αστοχία δημιουργίας κυκλώματος προστασίας των μπαταριών ιόντων λιθίου**

Η ασφαλέστερη και πιο ενδεδειγμένη φόρτιση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών ιόντων λιθίου γίνεται μέσω ηλεκτρονικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων γνωστά ως BMS protection board. Τα κυκλώματα αυτά προστατεύουν τις μπαταρίες λιθίου από την εμφάνιση βραχυκυκλώματος στην έξοδο, υπερέντασης κατά την φάση εκφόρτισης, υπερφόρτωσης ή πλήρους εκφόρτισης της τάσης ενώ παρέχουν ισορροπημένη φόρτιση των μπαταριών. Έγινε η απόπειρα κατασκευής μίας αυτοσχέδιας πλακέτας BMS protection board για τις ανάγκες του συστήματος τροφοδοσίας ,κάνοντας χρήση επιμέρους ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Η σύνθεση της πλακέτας BMS σε διάτρητη πλακέτα παρουσιάζεται στην Εικόνα 118.



Εικόνα 118 Δημιουργία αυτοσχέδιας πλακέτας BMS protection board

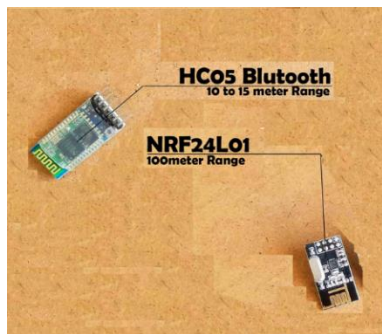
Κατά το στάδιο της δοκιμής, παρουσιάστηκε βραχυκύκλωμα στην έξοδο των TP4056 με αποτέλεσμα την αστοχία των δύο από τις τρεις πλακέτες που χρησιμοποιούνταν. Μετά την αποκατάσταση των κατεστραμμένων πλακετών παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός φόρτισης των μπαταριών ήταν πολύ αργός εξαιτίας της μικρής τιμής ρεύματος εξόδου που παρείχαν οι πλακέτες TP4056 κατά την φόρτιση. Η λύση η οποία βρέθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση ύστερα από έρευνα ήταν η αντικατάσταση του αυτοσχέδιου κυκλώματος BMS με ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος BMS του εμπορίου. Η εμπορική πλακέτα BMS ενσωμάτωνε όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά τα οποία χρειαζόνταν για την προστασία αλλά και την ομαλή φόρτιση των μπαταριών ιόντων λιθίου.

- **Επαναξιολόγηση της μεθόδου του απομακρυσμένου ελέγχου**

Ο έλεγχος επάνω στην οδήγηση του ρομποτικού οχήματος σχεδιάστηκε έτσι ώστε να υλοποιείται εξ αποστάσεως. Σε αρχικό στάδιο ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του serial monitor που διαθέτει το λογισμικό ανάπτυξης Arduino IDE μέσω υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτόν ο απομακρυσμένος έλεγχος του ρομποτικού οχήματος τέθηκε αρχικώς σε επιτυχημένη λειτουργία όμως η οδήγηση του γινόταν με δυσκολία σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα όταν το όχημα έπρεπε να φρενάρει, στέλνονταν ένας συγκεκριμένος αλφαριθμητικός χαρακτήρας μέσω του πληκτρολογίου του υπολογιστή εντός του serial monitor και στη κατάλληλη χρονική στιγμή. Έγινε λοιπόν επαναξιολόγηση του τρόπου χειρισμού και μετά από διερεύνηση κρίθηκε ότι ο χειρισμός του οχήματος έπρεπε να υλοποιηθεί μέσω κάποιας αναλογικής μεθόδου. Οι διαθέσιμες επιλογές για τη δημιουργία του απομακρυσμένου αναλογικού ελέγχου του οχήματος ήταν είτε μέσω της σύνθεσης μίας εφαρμογής λογισμικού είτε μέσω της κατασκευής ενός ασύρματου χειριστηρίου. Επιλέχθηκε λοιπόν η κατασκευή ενός ασύρματου χειριστηρίου καθώς προϋπήρχε η θήκη και τα joystick ενός παλαιότερου μοχλού σε αχρηστία. Μετά την ανακατασκευή του νέου ασύρματου χειριστηρίου η οδήγηση, η ευθυγράμμιση των μπροστινών τροχών αλλά και το σταμάτημα του οχήματος πραγματοποιούνταν μέσω των δύο joystick καθώς αυτά επανερχόντουσαν αυτόματα στην αρχική τους θέση χωρίς κάποια εξωτερική παρέμβαση.

- **Αλλαγή πρότυπου ασύρματης επικοινωνίας**

Η μετάδοση των εντολών για τον απομακρυσμένο έλεγχο του οχήματος υλοποιήθηκε αρχικά με την χρήση ασύρματου πρωτοκόλλου Bluetooth και ενός Arduino module hc-05. Το ασύρματο πρωτόκολλο Bluetooth παρείχε περιορισμένη εμβέλεια μετάδοσης δεδομένων με μέγιστη την απόσταση των 10 μέτρων. Αν η απόσταση εκπομπής ξεπερνούσε τα 10 μέτρα τότε συνέβαινε εξασθένηση του σήματος στη λήψη με αποτέλεσμα οι εντολές οι οποίες στέλνονταν προς το όχημα να φτάνουν αλλοιωμένες.



Εικόνα 119 Arduino modules HC-05 Bluetooth και NRF24L01

Η λύση η οποία επινοήθηκε ήταν η αντικατάσταση του module ασύρματης επικοινωνίας Bluetooth με ενός εξίσου συμβατό module με το Arduino Uno το οποίο εξέπεμπε στο ίδιο εύρος συχνοτήτων των 2.4 – 2.525 GHz του NRF24L01. Το συγκεκριμένο module μπορούσε να επικοινωνήσει με ένα όμοιο του μέχρι και την απόσταση των 100 μέτρων σε ανοιχτό μέρος χωρίς φυσικά εμπόδια. Επίσης προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί για την συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή διότι μπορεί να υποστηρίξει ένα δίκτυο με επιπλέον έξι διαφορετικά NRF24L01 modules τα οποία θα επικοινωνούν μεταξύ τους σε διάταξη του ενός δέκτη και πολλαπλών εκπομπών. Με τον τρόπο αυτόν προστίθεται η δυνατότητα , της μελλοντικής επέκτασης του δικτύου σε περίπτωση χρήσης περισσότερων NRF24L01 modules. Η υλοποίηση της ασύρματης επικοινωνίας διάμεσου του module Bluetooth δεν θα πρόσφερε στο υπάρχον δίκτυο την δυνατότητα επεκτασιμότητας καθώς το Bluetooth module HC-05 δεν προορίζεται για τη δημιουργία ασύρματου δικτύου πέραν των δύο συσκευών.

3.3 Συμπεράσματα

Μέσω της συγκεκριμένης κατασκευής έγινε αντιληπτό ότι η λειτουργικότητα ενός ολόκληρου συστήματος οφείλεται στην σταθερή και ομαλή λειτουργία του καθενός από τα επιμέρους υποσυστήματα του. Αν για παράδειγμα η τροφοδοσία των υποσυστημάτων δεν ήταν επαρκής στις ζητούμενες ανάγκες, τότε μία ενδεχόμενη αλλαγή στην τάση πόλωσης των εξαρτημάτων θα ήταν πολύ πιθανό να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες καταστάσεις λειτουργίας.

Κατά το στάδιο του σχεδιασμού διαπιστώθηκε ότι η παράλειψη μίας μόνο παραμέτρου, μπορούσε να οδηγήσει στον ανασχεδιασμό ολόκληρου του υποσυστήματος ή στην επαναξιολόγηση της μεθόδου σχεδίασης. Για παράδειγμα μία παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν πριν την σχεδίαση της εκάστοτε εφαρμογής είναι οι περιορισμοί του χώρου σχετικά με την τοποθέτηση των εξαρτημάτων.

Υπήρξαν διάφορα σημεία κατά την πορεία κατασκευής του ρομποτικού οχήματος, τα οποία απαιτήσαν την ανάλογη υπομονή και την ιδιαίτερη προσοχή ώστε τελικά να εντοπιστεί η αιτία του σφάλματος και να βρεθεί λύση. Τέτοιου τύπου προβλήματα ήταν οι ασυμβατότητες που συναντιούνται κυρίως στις αναπτυξιακές πλακέτες μικροελεγκτών η μικροεπεξεργαστών κατά την ενσωμάτωσή τους σε άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Συναντήθηκε πολλές φορές δυσκολία στην εύρεση ορισμένων εξαρτημάτων που δεν υπήρχαν στην τοπική αγορά και έπρεπε να παραγγελθούν από το εξωτερικό. Η κατάσταση της αναμονής καθυστέρουσε την ολοκλήρωση της κατασκευής. Τα εξαρτήματα τα οποία παραλαμβάνονταν από το εξωτερικό έπρεπε να πρώτα να ελεγχθούν και να δοκιμαστούν πειραματικά πριν την ενσωμάτωσή τους στην υπόλοιπη εφαρμογή. Ορισμένα εξαρτήματα αγοράζονταν προληπτικά σε διπλάσια ποσότητα, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί απόθεμα σε περίπτωση αστοχίας κατά την χρήση του ενός και να αποφευχθεί η παραγγελία εκ νέου με την ανάλογη χρονική καθυστέρηση. Η τακτική αυτή εξασφάλιζε, επάρκεια σε απόθεμα εξαρτημάτων όμως αύξανε το συνολικό κόστος της ΔΕ.

Τέλος, σημαντικότερη παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν πριν την έναρξη της ανάπτυξης μίας ρομποτικής εφαρμογής είναι η πρόσβαση και η διαθεσιμότητα σε κατάλληλο

εργαστηριακό εξοπλισμό. Η έλλειψη των κατάλληλων εργαλείων ή των εξειδικευμένων εργαστηριακών μηχανημάτων μπορεί να οδηγήσει ενδεχόμενος σε λανθασμένες μετρήσεις φυσικών μεγεθών, στη δυσκολία διάγνωσης ή επιδιόρθωσης βλαβών ή ακόμα και στην αστοχία του ίδιου του εξοπλισμού ή της εκάστοτε υπό ανάπτυξη εφαρμογής. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η πρόσβαση στο κατάλληλο εργαστηριακό εξοπλισμό είναι παράμετρος ζωτικής σημασίας ειδικά όταν πρόκειται για την ανάπτυξη μίας ρομποτικής εφαρμογής.

3.4 Προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη

Το ρομποτικό όχημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης τόσο στο σύστημα του ελέγχου όσο και στον αριθμό των αισθητήρων που μπορεί να δεχθεί. Ως συνέχεια της διπλωματικής αυτής εργασίας προτείνεται η αντικατάσταση των μπαταριών ιόντων λιθίου με μπαταρίες πολυμερών λιθίου για την βελτίωση των κύκλων φόρτισης και εκφόρτωσης όπως και της σημαντικής μείωσης του συνολικού βάρους του ρομποτικού οχήματος. Η συγκεκριμένη τροποποίηση θα επέφερε μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία στο όχημα και διευκόλυνση στην οδηγική του συμπεριφορά.

Συνίστανται επίσης μελλοντικά η αναβάθμιση της πλακέτας Arduino Uno με μίας πλακέτας Arduino Mega λόγω των επιπλέον διαθέσιμων θυρών που προσφέρονται. Η αξιοποίηση των προσφερόμενων θυρών θα υλοποιούταν με την ενσωμάτωση αισθητήρων κίνησης, απόστασης, μέτρησης θερμοκρασίας και άλλων, προσφέροντας έτσι στο όχημα την δυνατότητα εποπτείας των υποσυστημάτων του ή και του εξωτερικού χώρου. Εφόσον τοποθετηθούν μελλοντικά οι αισθητήρες προνοήθηκε να υπάρχει διαθέσιμος ένας επιπλέον DC to DC Stepdown Converter επάνω στο όχημα. Μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων, ο τρόπος οδήγησης του οχήματος αναβαθμίζεται καθώς αξιοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες που προσφέρει η εποπτεία των εσωτερικών και των εξωτερικών ενδείξεων.

Μία επιπλέον αναβάθμιση του ρομποτικού συστήματος θα ήταν η αντικατάσταση του μικροελεγκτή με έναν μικροεπεξεργαστή αυξάνοντας τις δυνατότητες του προγραμματισμού και εμπλουτίζοντας το ρομπότ με επιπλέον μεθόδους κίνησης και ελέγχου. Η χρήση ενός μικροεπεξεργαστή θα επέτρεπε επίσης την χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης προσδίδοντάς παραπάνω δυνατότητες επάνω στο τρόπο λειτουργίας του ρομποτικού οχήματος

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] R.C.Srapyard. (1999) 1/10 Scale Electric Buggy: Academy Road Runner.
<https://www.rcscrapyard.net/academy-road-runner.htm>
- [2] Ταξινομήσεις των συστημάτων διεύθυνσης.
<https://infoservice.com.gr/technical/leitourgies-kai-taksino%C2%B5isi-ton-systimaton-diefthynsis/>
- [3] Automotive Steering System.
<https://kneblesauto.com/services/automotive-steering-system-repair/>
- [5] Everything You Need to Know About Brushed Motors
<https://ronixtools.com/en/blog/about-brushed-motors/>
- [6] Ελατήριο , (ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF>
- [12] Nick Power, (2020). “DIY Lithium Batteries, The Guide to Function of Lithium Batteries and Build a Battery Pack for Electric Bikes” [EBook] pp. 9 - 12. Available at:
<https://www.booktopia.com.au/diy-lithium-batteries-nick-power/book/9781801864749.html>
- [16] H-bridge (Wikipedia)
<https://en.wikipedia.org/wiki/H-bridge>
- [17] H-Bridges – the Basics
<https://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>
- [18] Γρηγόριος Α. Ζαφειράκης, (2012). "ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΙΑ ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΝΟΣ DC ΚΙΝΗΤΗΡΑ (ΙΣΧΥΟΣ 2KW) ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΣ" [PDF] pp. 77 – 78.
<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16550/1/DT2013-0035.pdf>
- [19] MOSFET Threshold voltage, Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Threshold_voltage
- [20] P AND N-CHANNEL MOSFET EQUATIONS
<https://electronics.stackexchange.com/questions/108495/what-do-v-tn-and-v-t-stand-for-in-a-mosfet>
- [21] Το τρανζίστορ MOSFET (Γράφημα χαρακτηριστικών ρεύματος)
<https://learnelectronics.gr/%CF%84%CE%BFCF%84%CF%81%CE%B1%CE%BD%CE%B6%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81-mosfet/>

- [22] Trr time Diode explanation
<https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/diodes/frd.html>
- [23] Reverse Recovery Time of Diode
<https://www.electrical4u.com/reverse-recovery-time-of-diode/>
- [24] Arduino & Servo
<https://electronics.stackexchange.com/questions/178416/powering-a-futaba-s3003-servo>
- [25] Servo Motor Controlled by Arduino
<https://www.instructables.com/Arduino-Servo-Motors/>
- [29] Arduino Uno Rev3(Specification Definition)
<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [30] UNO R3 (SPEC)
<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [31] Arduino UNO Pinout Diagram
<https://www.javatpoint.com/arduino-uno-pinout>
- [32] nRF24L01 – How It Works, Arduino Interface, Circuits, Codes
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/>
- [33] How nRF24L01+ Wireless Module Works & Interface with Arduino
<https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/>
- [34] Half duplex
[https://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_(telecommunications))
- [35] What is SPI?
https://technobyte.org/arduino-communication-protocols-wired-wireless-for-iot/#What_is_SPI
- [36] Serial Peripheral Interface (SPI)
https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [37] Παναγιώτης Παπάζογλου, (2021). "Ανάπτυξη εφαρμογών με το Arduino, 3^η Έκδοση" [BOOK].
<https://qr.tziola.gr/course/arduino-3ed/>
- [38] Remote-control vehicle - Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Remote-control_vehicle

- [39] How RC work.
<https://www.businessstoday.in/magazine/how-things-work/story/rc-toys-radiowaves-21656-2011-08-04>
- [40] Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>
- [41] Bruno Siciliano, (2009). "Ρομποτική, Μοντελοποίηση, Σχεδιασμός και Έλεγχος, 1^η Έκδοση". [BOOK].
<https://www.amazon.com/Robotics-Modelling-Planning-Textbooks-Processing/dp/1846286417>
- [42] Robot (Wikipedia)
<https://en.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [43] Robotics (Wikipedia)
<https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>
- [44] Isaac Asimov and the 3 Laws of Robotics
<https://pt.slideshare.net/BGGD/isaac-asimov-and-the-3-laws-of-robotics>
- [45] A typical robotic system.
https://www.researchgate.net/figure/A-typical-robotic-system_fig1_265555758
- [46] Ηλεκτρικό και Ηλεκτρονικό Υποσύστημα ενός Ρομπότ
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/kk/Electric-Subsystem.pdf
- [47] The 'Brain' of the robot.
<https://robocademy.com/2020/04/18/how-to-choose-a-brain-for-your-robot/>
- [48] reComputer NVIDIA Jetson Nano 4GB Developer Kit (J1020)
<https://www.makersupplies.sg/products/recomputer-jetson-nano-4gb-developer-kit-jetson-10-1-h0>
- [49] Sensor
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- [50] Static and Dynamic Characteristics of Instrumentation
<https://www.semanticscholar.org/paper/Static-and-Dynamic-Characteristics-of-Sydenham/92bdb814af083cd24bbb82265955b688a4f0872a>

- [51] List of all sensors from the swarm robotic systems in Table
https://www.researchgate.net/figure/List-of-all-sensors-from-the-swarm-robotic-systems-in-Table-1-Sensors-are-divided-into_tbl1_325196678
- [52] Best Sensor Manufacturers In Kuwait
<https://www.icrfq.net/sensor-manufacturers-in-kuwait/>
- [53] Types of proprioceptive sensors for mobile robots
<https://roboticsbiz.com/types-of-propriceptive-sensors-for-mobile-robots/>
- [54] END EFFECTORS
https://www.brainkart.com/article/End-Effectors--Grippers-and-Tools_6411/
- [55] Robot end effector
https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_end_effector
- [56] Types of Grippers Used in Manufacturing
<https://www.universal-robots.com/fi/blogi/types-of-grippers-used-in-manufacturing/>
- [57] Types of End Effectors (grippers)
<https://www.tuffautomation.com/blog-1/2020/8/3/types-of-end-effectors>
- [58] Adhesion Gripper for Robotic Arms
<http://www.robotpark.com/academy/adhesion-gripper-for-robotic-arms-21004/>
- [59] Bernoulli's principle
https://en.wikipedia.org/wiki/Bernoulli%27s_principle
- [60] Festo Bernoulli Gripper OGGB
<https://www.youtube.com/watch?v=phSlc8B4kFo>
- [61] Είδη ρομποτικών αρθρώσεων.
http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08_1.pdf
- [62] Actuators
<https://en.wikipedia.org/wiki/Actuator>
- [63] What is a Hydraulic Cylinder?
<https://www.yatesind.com/what-is-a-hydraulic-cylinder>
- [64] What is a Pneumatic Actuator? | Types & Applications
<https://realpars.com/pneumatic-actuator/>

- [65] Pneumatic actuator
https://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_actuator
- [66] What is an Electric Actuator?
<https://www.norgren.com/en/support/blog/what-is-an-electric-actuator>
- [67] What is the definition of a ‘Degree of freedom’
<https://reachrobotics.com/blog/degrees-of-freedom-vs-functions-of-a-robotic-arm/>
- [68] Stepper motor
https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [69] Πως λειτουργεί ο βηματικός κινητήρας (stepper motor)
<https://getcert.gr/tutorials/arduino/pos-leitourgei-o-bematikos-kineteras-stepper-motor>
- [70] Servomotor
<https://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- [71] Servo Motors Explained and Why They’re Useful in Robotics
<https://www.automate.org/blogs/servo-motors-explained-and-why-they-re-useful-in-robotics>
- [72] Αθανασάκη Δέσποινα, (2015). "Κατασκευή ρομποτικού οχήματος με δυνατότητα αποφυγής εμποδίων" [PDF] pp. 14 – 53.
<https://apothesis.lib.hmu.gr/handle/20.500.12688/3700>
- [73] What is a Robotic Manipulator?
<https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-a-robotic-manipulator.html>
- [74] Βιομηχανικά ρομπότ
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84
- [75] Measurement Science for Manufacturing Robotics
<https://www.nist.gov/programs-projects/measurement-science-manufacturing-robotics>
- [76] 2.2. Degrees of Freedom of a Robot
<https://modernrobotics.northwestern.edu/nu-gm-book-resource/2-2-degrees-of-freedom-of-a-robot/>
- [77] Types of Industrial Robots and Their Different Uses
<https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>

- [78] What's the Difference Between Industrial Robots?
<https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21835000/whats-the-difference-between-industrial-robots>

- [79] All Types Of Robots - By Locomotion
<https://www.robotpark.com/All-Types-Of-Robots>

- [80] 40 Most Important Types of Robots
<https://businessnes.com/most-important-types-of-robots/>

- [81] Robot locomotion
https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_locomotion

- [82] Automated guided vehicle
https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle

- [83] Legged robot
https://en.wikipedia.org/wiki/Legged_robot

- [84] Autonomous underwater vehicle
https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle

- [85] OSIBOT HEAVY ROV (Complete Package)
<https://osibot.com/product/osibot-heavy-rov>

- [86] Flying Robots 101: Everything You Need To Know About Drones
<https://www.popsoci.com/technology/article/2013-03/drone-any-other-name/>

- [87] What is a Remote Control Car?
<https://www.easytechjunkie.com/what-is-a-remote-control-car.htm>

- [88] Radio-controlled car
https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-controlled_car

- [89] Mars rover
https://en.wikipedia.org/wiki/Mars_rover

- [90] Remote Control Ugv Agv Four Wheel Drive Chassis Robot
<https://www.gxsuprobot.com/Remote-Control-Ugv-Agv-Four-Wheel-Drive-Chassis-Robot-pd44448879.html>

- [91] Selection of Wheels in Robotics
<https://www.ijser.org/researchpaper/Selection-of-Wheels-in-Robotics.pdf>

- [92] Ackermann steering geometry
https://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann_steering_geometry
- [93] Batteries for Electric Vehicles
https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html
- [94] Electric vehicle battery
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery
- [95] Robotic sensors
https://en.wikipedia.org/wiki/Robotic_sensors
- [96] What Are Robotic Vision Systems?
<https://recognitionrobotics.com/what-are-robotic-vision-systems/>
- [97] Teleoperation and Shared Control
<https://hri.iit.it/teleoperation-shared-control>
- [98] Teleoperation
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/teleoperation>
- [99] What is teleoperation?
<https://formant.io/teleoperation/>
- [100] Robot-User Interfacing
https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Automation_and_Robotics/Robot-User_Interfacing
- [101] ROBOTICS SOFTWARE
<https://www.ez-robot.com/mobile-robot-software.html>
- [102] Robot Operating System - Control Interface
<https://dribbble.com/shots/8056953-Robot-Operating-System-Control-Interface#>

Τεχνικά Φυλλάδια Κατασκευαστών (Datasheets)

- [4] Motor RS - 380SH Datasheet
<http://www.mopselectric.com/ebay/mabuchirs380.pdf>
- [7] Λάστιχα ζανταρισμένα για τηλεκατευθυνόμενα , κατηγορίας 1:10 Fastr
https://www.modellsport.gr/index.php?main_page=product_info&cPath=22_46&products_id=9468

- [8] Panasonic NCR18650B (Green), Datasheet. Available at:
<https://www.shoptronica.com/files/Panasonic-NCR18650.pdf>
- [9] BMS-40A-3S-E / B / S, Datasheet. Available at:
http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/BMS-40A-3S_SGT.pdf
- [10] Digital Meter DC 100V 50A Voltmeter Ammeter, Datasheet
<https://www.hobbielektronika.hu/forum/getfile.php?id=283122>
- [11] Cableworks, Electronics Store, “DC to DC Converters”.
<https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/buck-and-boost-converters/buck-converter-step-down-dc-dc/10a-dc-dc-constant-voltage-and-current-step-down-power-supply-module/>
- [12] LM741CN/NOPB Datasheet (PDF) - Texas Instruments
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/53590/FAIRCHILD/LM741CN.html>
- [13] IRFZ44N N-MOSFET Datasheet (PDF)
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17807/PHILIPS/IRFZ44N.html>
- [14] UF600J Datasheet
<https://grobotronics.com/images/companies/1/datasheets/uf600a.pdf?1554453587779>
- [15] Futaba Servomotor S3003 Datasheet (PDF)
<https://www.es.co.th/schemetic/pdf/et-servo-s3003.pdf>
- [26] UNO R3 - Arduino Documentation
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- [27] NRF24L01 Datasheet (PDF)
https://www.mouser.com/datasheet/2/297/nRF24L01_Product_Specification_v2_0-9199.pdf
- [28] DATASHEET TP4056 Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation
<http://www.tp4056.com/d/tp4056.pdf>

Παράρτημα Α

Περιγραφή κώδικα του Arduino εκπομπός (Transmitter code)

Modified_Transmitter_Code | Arduino 1.8.9

Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια



Modified_Transmitter_Code

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

/* Start of Code initialization */
RF24 radio(8,7); // CE, CSN
const byte address[6] = "00001";

int potVal0 = 0;
int potVal1 = 0;
int BUTTONVal2 = 0;
int BUTTONVal3 = 0;

void setup() {
  radio.begin();
  radio.setChannel(115);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  radio.openWritingPipe(address);
  radio.stopListening();
}

void loop()
{
  potVal0= analogRead(A0);
  potVal1= analogRead(A1);
  BUTTONVal2= analogRead(A2);
  BUTTONVal3= analogRead(A3);

  if( potVal0>0 || potVal1>0 || BUTTONVal2>0 || BUTTONVal3>0)
  {
    if(potVal0>580)
    {const char text[1] = "b";
      radio.write(&text, sizeof(text));
    }
    if(potVal0<450)
    {const char text[1] = "f";
      radio.write(&text, sizeof(text));
    }
  }
}
```

```
if((potVal0>=450 && potVal0<=480)|| (potVal0>=550 && potVal0<=580))
{const char text[1] = "s";
radio.write(&text, sizeof(text));}
if(potVal1>580)
{const char text[1] = "l";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(1);
}
if(potVal1<450)
{const char text[1] = "r";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(1);
}
if((potVal1>=450 && potVal1<=480)|| (potVal1>=550 && potVal1<=580))
{const char text[1] = "c";
radio.write(&text, sizeof(text));}

if(BUTTONVal2>1000 && BUTTONVal3<=1023)
{const char text[1] = "-";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(500);
}
if(BUTTONVal3>1000 && BUTTONVal2<=1023)
{const char text[1] = "+";
radio.write(&text, sizeof(text));
delay(500);
}
}
}
```

Περιγραφή κώδικα του Arduino δέκτης (Receiver code)

Modified_Receiver_Code | Arduino 1.8.9

Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

```
Modified_Receiver_Code

#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

/* Start of Code initialization */
RF24 radio(8,7); // CE, CSN
const byte address[6] = "00001";

char data='0';
int moved =3;
int vehicle_speed=80;
int Servodegrees = 100;
Servo myservo; // create servo object to control a servo

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.setChannel(115);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  radio.openReadingPipe(0, address);
  radio.startListening();
  myservo.attach(10); // attaches the servo on pin 10 to the servo object
}

/* End of Code initialization */

void loop()
{
  if (radio.available())
  {
    char text[2] = " ";
    radio.read(&text, sizeof(text));
    Serial.println(text);
    for(int i;i<3;i++)
    {
      if(text[i]=='-' || text[i]=='+' || text[i]=='l' || text[i]=='r' ||
        text[i]=='f' || text[i]=='b' || text[i]=='s' || text[i]=='c')
        {data=text[i];}
    }
  }
}
```

```
/* Increase or Decrease of vehicle speed. */
if( data == '-' || data == '+')
{ if(data == '+')
  {
    if(vehicle_speed > 1)
    {vehicle_speed=vehicle_speed-10;}
  }
  if(data == '-')
  {
    if(vehicle_speed < 80)
    {vehicle_speed=vehicle_speed+10;}
  }

  /* The PWM limits of vehicle speed. */
  if(vehicle_speed > 80)
  {vehicle_speed= 79;}
  if(vehicle_speed <1)
  { vehicle_speed=2;}
}

/* End of IF Condition ,Increase or Decrease of vehicle speed. */

/* SERVO MOTOR OPERATION OF THE FRONT TIRES */
if(data=='c')// FRONT TIRES COME TO THE CENTER
{ Servodegrees = 100;
  myservo.write (Servodegrees);
}
if(data == 'r')//FRONT TIRES Turn RIGHT
{
  Servodegrees = 70;
  myservo.write (Servodegrees);
}
if(data == 'l')//FRONT TIRES Turn LEFT
{
  Servodegrees = 130;
  myservo.write (Servodegrees);
} /* END OF SERVO MOTOR OPERATION */
```

```
/* Start of IF Condition, FORWARD OR BACKWARD MOVEMENT */
  if( data == 'f' || data == 'b')
  {
    if(data == 'f') //FORWARD
    {
      analogWrite(3,10);
      analogWrite(5,10);
      analogWrite(6,vehicle_speed);
      analogWrite(9,255);
      moved=1;
    }
    else if(data == 'b') //BACKWARD
    {
      analogWrite(9,10);
      analogWrite(6,10);
      analogWrite(5,vehicle_speed);
      analogWrite(3,255);
      moved=2;
    }
  } /* END of IF Condition, FORWARD OR BACKWARD MOVEMENT */

if( data == 's') //TIRES BRAKING
{
  if(moved==1)
  {
    analogWrite(9,10);
    analogWrite(6,10);
    delay(100);
    analogWrite(5,vehicle_speed);
    analogWrite(3,255);
    delay(300);
    analogWrite(5,10);
    analogWrite(3,10);
    moved=3;
  }
  if(moved==2)
  {
    analogWrite(5,10);
    analogWrite(3,10);
    delay(100);
    analogWrite(6,vehicle_speed);
    analogWrite(9,255);
    delay(300);
    analogWrite(6,10);
    analogWrite(9,10);
    moved=3;
    data='1';
  }
} //END of if(Serial.available())
data='0';
} //END of void loop()
```