



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΡΟΜΠΟΤ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ
ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΑΥΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΔΡΕΑΣ Α. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Επιβλέπων: Γεώργιος Ε. Καμπουράκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΡΟΜΠΟΤ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ
ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΑΥΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΔΡΕΑΣ Α. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ
Αν.Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΚΑΓΙΑΦΑΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΟΥΜΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

(Υπογραφή)

Ανδρέας Α.Δημητρίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright ©Ανδρέας Δημητρίου. 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η αναδιατύπωση, 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 την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους μου παρείχαν την υποστήριξη τους προκειμένου να ολοκληρώσω την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Καμπουράκη, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε με την ανάθεση της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας καθώς και για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Δημήτρη Πιπερίδη για την καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές που παρείχε ιδιαίτερα στο κατασκευαστικό κομμάτι της εργασίας.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός αυτόνομου ρομπότ που έχει την εξειδικευμένη ικανότητα να εντοπίζει την βάση φόρτισης του, να πλοηγείται προς αυτή και αφού συνδεθεί με αυτή να φορτίζει την μπαταρία τροφοδοσίας του. Μέσα από την εργασία δίνεται μια συνοπτική εικόνα της φιλοσοφίας που ακολουθείται για τον σχεδιασμό μιας ρομποτικής εφαρμογής και αναδεικνύεται η σπουδαιότητα τέτοιων επιτευγμάτων στις μέρες μας.

Σκοπίμως έχουμε χωρίσει την διπλωματική εργασία σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος ξεκινά με μια σύντομη ιστορική αναδρομή στα ρομπότ ενώ στην συνέχεια γίνεται μια στοχευόμενη περιγραφή τεχνικών πλοήγησης ρομπότ διαφορικής οδήγησης, τεχνικές που εφαρμόσαμε στην κατασκευή μας. Επίσης στο πρώτο μέρος παρουσιάζουμε ένα σύνολο από αισθητήρες, το μικροελεκτή Arduino και κάποια είδη επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

Το δεύτερο μέρος αποτελεί και το πιο ουσιαστικό κομμάτι της εργασίας αφού περιγράφει με λεπτομέρεια την πορεία κατασκευής του ρομπότ από τον σχεδιασμό των επιμέρους στοιχείων μέχρι την κατασκευή του. Η ρομποτική εφαρμογή αποτελείται από δύο ιδιοκατασκευές, ένα αυτοκινούμενο ερπυστριοφόρο ρομπότ και μια σταθερή βάση φόρτισης. Σε αυτό το μέρος παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που συναποτελούν τις δύο κατασκευές όπως αισθητήριες διατάξεις, κυκλώματα τροφοδοσίας, κυκλώματα οδήγησης κινητήρων καθώς και τα μηχανολογικά στοιχεία που υποστηρίζουν το σύστημα. Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του ρομπότ και παρουσιάζεται ο προγραμματιστικός κώδικας που φορτώθηκε στον μικροελεκτή. Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτού του μέρους κάνουμε ένα απολογισμό της κατασκευής, αναλύουμε σφάλματα και προτείνουμε τρόπους βελτίωσης του συστήματος τόσο από πλευράς υλικού όσο και από πλευράς λογισμικού.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η όλη κατασκευή συνδυάζει εφαρμογή γνώσεων από διάφορα επιστημονικά πεδία του μηχανικού όπως ρομποτικής, ηλεκτρονικής μικροϋπολογιστών και συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Η εφαρμογή στην πράξη των όσων διδαχθήκαμε σε θεωρητικό επίπεδο ανέδειξε το χάσμα που υπάρχει μεταξύ θεωρίας και πράξης και τις δυσκολίες που υπεισέρχονται στην κατασκευή τέτοιων συστημάτων.

Εν κατακλείδι θέλω να εκφράσω την ικανοποίηση μου για το αποτέλεσμα που πετύχαμε. Το ρομπότ είναι ένα κατασκευάσμα υψηλής τεχνολογίας εφοδιασμένο με ισχυρό υλικό έτοιμο να υποστηρίξει και άλλες λειτουργίες μέσω φόρτωσης επιπλέον κώδικα στον μικροελεκτή του. Η χαρά της δημιουργίας έρχεται να ανταμείψει το χρόνο πολύωρης εργασίας που αφιερώθηκε.

Λέξεις Κλειδιά: αυτόνομο ρομπότ, διαφορική οδήγηση ρομπότ, ερπυστροφόρο ρομπότ, φωτοδίοδος, δέκτης υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Abstract

This thesis involves the design and implementation of an autonomous robot that has the specialized ability to identify and navigate to its charging base and once connected charge its battery. Through the project, a brief overview of the philosophy followed for the design of robotic applications is provided and the importance of such achievements nowadays is indicated.

Intentionally we split the thesis into two parts. The first part begins with a brief historical review of robots and then a description of techniques for differential robot driving becomes the main point as well as navigation techniques implemented in our construction. Also in the first part we present a set of sensors, the Arduino microcontroller and some types of rechargeable batteries.

The second part is the most substantial piece of work after describing in detail the procedure for constructing the robot from designing the components to manufacturing. The robotic application consists of two parts, an automotive tracked robot and a solid charger. In this part, all the elements that constitute the two parts, such as sensing devices, power supplies, motor drive circuits and the mechanical elements that support the system are presented. Then the operation of the robot is analyzed and the programming code loaded in to the microcontroller is illustrated. In the last chapter of this part a review of the structure is undertaken, including analyzing errors and suggesting ways to improve the system both in terms of hardware and in terms of software.

Noteworthy is the fact that the whole construction combines application knowledge from various disciplines of engineering such as robotics, microcomputer electronics and automation control systems. The practical application of what we learned in theory highlighted the gap between theory and practice and the difficulties involved in building such systems.

In conclusion I wish to express my satisfaction with the results achieved. The robot is a construction of high-tech equipped with powerful hardware ready to support other functions via introducing extra code in the microcontroller. The joy of creation rewards the long time spent.

Key Words: autonomous robot, differential drive robot, tracked vehicles, photodiode, IR receiver

Πίνακας περιεχομένων

Μέρος Α (Θεωρητικό Μέρος)

Κεφάλαιο 1 Ιστορική Αναδρομή Στα Ρομπότ.....	15
1.1Αναδρομή στα πιο σημαντικά ρομποτικά επιτεύγματα της ανθρώπινης ιστορίας	15
1.2Κατηγορίες Ρομπότ	21
1.3Ορισμός Ρομπότ	23
1.4Μέλλον των Ρομπότ	23
Κεφάλαιο 2 Τεχνικές Ρομποτικής Κίνησης	25
2.1 Εισαγωγή στην Ρομποτική Κίνηση	25
2.2 Βαθμοί Ελευθερίας Ρομπότ	26
2.3 Διαφορική Οδήγηση Ρομπότ με ερπύστριες	27
2.3.1 Εισαγωγή στην Διαφορική Οδήγηση Ρομπότ με ερπύστριες	27
2.3.2 Ορθή Κινηματική Διαφορική Οδήγηση Ερπυστριοφόρου.....	29
2.3.3 Ανάστροφη Κινηματική Διαφορικής Οδήγησης Ερπυστριοφόρου	29
2.3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τα σημεία στιγμιαίας περιστροφής ερπυστριοφόρου	30
2.3.5 Υπολογισμός σημείων στιγμιαίας περιστροφής ερπυστριοφόρου ICR.....	30
2.4 Πλοήγηση Ρομπότ	32
2.4.1 Εισαγωγή στην Πλοήγηση Ρομπότ	32
2.4.2 Σχεδιασμός Μονοπατιού με τη Μέθοδο Τεχνητών Δυναμικών Πεδίων (Artificial Potential Fields).	33
2.4.3 Αλγοριθμική τεχνική σύγκλισης συνάρτησης με την μέθοδο καθόδου (descent method).	35
2.4.4 Αλγόριθμος μέγιστης καθόδου Steepest Descent.	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Ρομποτικός Εξοπλισμός	38
3.1 Εισαγωγή	38
3.2 Αισθητήριες Διατάξεις.....	39
3.2.1 Αισθητήρια Στοιχεία Ρομπότ.....	39
3.2.2 Δίοδος Υπέρυθρης Ακτινοβολίας IR LED	40
3.2.3 Φωτοδίοδος PN & PIN.....	42
3.2.4 Ολοκληρωμένος Δέκτης Υπερύθρων TSOP	43
3.2.5 Αισθητήρας Υπερήχων	45
3.3 Μικροελεγκτές	46
3.3.1 Εισαγωγή	46
3.3.2 Arduino-Ιστορικά Στοιχεία	46
3.3.3 Μικροελεγκτής Arduino UNO	47

3.4 Μπαταρίες.....	50
3.4.1 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Μπαταριών	50
3.4.2 Επαναφορτιζόμενες Μπαταρίες	51

Μέρος Β (Κατασκευαστικό Μέρος)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Κατασκευή Ρομπότ	55
4.1 Εισαγωγή	55
4.2 Μηχανολογικό Μέρος-Σασί Ρομπότ	56
4.3 Αισθητήριες Διατάξεις Υπέρυθρης Ακτινοβολίας	57
4.3.1 Εντοπισμός Βάσης Φόρτισης με αισθητήρες Υπερύθρων	57
4.3.2 Ολοκληρωμένος Δέκτης Υπερύθρων	59
4.3.3 Βαθμονόμηση Δεκτών Υπερύθρων	61
4.4 Σύστημα Αποφυγής-Αναγνώρισης Εμποδίων	69
4.4.1 Ολοκληρωμένος Αισθητήρας Υπερήχων	69
4.4.2 Σύστημα Αισθητήρων Πρόσκρουσης	71
4.5 Κινητήρια Στοιχεία.....	73
4.5.1 Κινητήρας Mabuchi RS380PH-3270	73
4.5.2 Οδήγηση Κινητήρων με Η-γέφυρες	74
4.6 Σύστημα Φόρτισης	76
4.7 Σύστημα Τροφοδοσίας.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Κατασκευή Βάσης Φόρτισης	81
5.1 Εισαγωγή	81
5.2 Κύκλωμα Τροφοδοσίας Βάσης Φόρτισης	82
5.3 Κύκλωμα Συστήματος Φόρτισης	83
5.4 Παραγωγή σήματος υπέρυθρης Ακτινοβολίας	84
5.4.1 Κύκλωμα Ασταθούς Λειτουργίας Ολοκληρωμένου LM555	85
5.4.2 Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού LM555	86
5.4.3 Κυκλωματική Διάταξη Διαμόρφωσης σήματος υπέρυθρης ακτινοβολίας	87
5.4.4 Κύκλωμα Εκπομπής Συνεχούς Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.....	89
5.5 Συνολικό Κύκλωμα Βάσης Φόρτισης	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Κατασκευή Βάσης Φόρτισης	93
6.1 Εισαγωγή	93
6.2 Κίνηση Ρομπότ.....	95

6.2.1 Ευθύγραμμη Κίνηση	95
6.2.2 Επιτόπια Περιστροφή	96
6.3 Υπολογισμός Έντασης Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.....	97
6.4 Αναγνώριση-Αποφυγή Εμποδίων	99
6.4.1 Αποφυγή Εμποδίων με αισθητήρες υπερήχων	99
6.4.2 Αποφυγή Εμποδίων με διακόπτες πιέσεως	100
6.5 Έλεγχος Στάθμης Τάσης Επαναφορτιζόμενης Μπαταρίας.....	100
6.6 Ελεύθερη μετακίνηση στο χώρο	102
6.7 Σάρωση Χώρου για εντοπισμό της Βάσης Φόρτισης.....	105
6.8 Πλοήγηση προς την βάση φόρτισης	107
6.9 Διαδικασία «Προσγείωσης»-Φόρτισης.....	109
6.10 Συνολικός Κώδικας	112
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Εντοπισμός Σφαλμάτων και Τρόποι Αντιμετώπισης τους-Συμπεράσματα	121
7.1 Εισαγωγή	121
7.2 Σφάλματα Εμποδίων	122
7.3 Αστοχία Εύρεσης Βάσης Λόγω Παράσιτης Ακτινοβολίας	123
7.4 Δυσκολία εντοπισμού βάσης φόρτισης λόγω εξασθένισης υπέρυθρου σήματος.....	125
7.5 Σφάλματα Φόρτισης.....	125
7.5 Συμπεράσματα	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Περιεχόμενα Συνοδευτικού οπτικού Δίσκου (cd).	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Φωτομετρικά Μεγέθη	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1.1.1_ Μηχανισμός Αντικυθήρων.	15
Σχήμα 1.1.2_ Ρομποτικός Ιππότης Leonardo da Vinci.	15
Σχήμα 1.1.3_ Το τηλεχειριζόμενο πλοίο του Nicola Tesla.	16
Σχήμα 1.1.4_ Το ρομπότ της Westinghouse Electric Corporation.	16
Σχήμα 1.1.5_ Ρομποτικός Βραχίονας "Unimate".	16
Σχήμα 1.1.6_ Το αυτοκινούμενο ρομπότ "Shakey".	17
Σχήμα 1.1.7_ Το τροχοφόρο ρομπότ "Lunokhod".	17
Σχήμα 1.1.8_ Το οχτάποδο ρομπότ "Dante II".	18
Σχήμα 1.1.9_ Το "Mars Pathfinder" της NASA.	18
Σχήμα 1.1.10_ Ο "Asimo" της Honda.	18
Σχήμα 1.1.11_ Το ρομποτικό σκουπάκι "Roomba".	19
Σχήμα 1.1.12_ Το "Opportunity" της NASA.	19
Σχήμα 1.1.13_ Το τετράποδο ρομπότ "BigDog".	19
Σχήμα 1.1.14_ Ο βοηθός αστροναυτών "Robonaut2".	20
Σχήμα 1.1.15_ Το "Curiosity" της NASA.	20
Σχήμα 1.2.1_ Βαδίζον Ρομπότ Dante II της NASA.	22
Σχήμα 1.2.2_ Ρομπότ δυναμικής ευστάθειας με δύο τροχούς.	22
Σχήμα 1.2.3_ Ιπτάμενο Ρομπότ Helios της NASA.	22
Σχήμα 1.2.4_ Υποβρύχιο Ρομπότ του πανεπιστημίου της Αυστραλίας.	22
Σχήμα 2.2.1_ Κίνηση Ερπυστριοφόρου.	26
Σχήμα 2.3.1.1_ Σημεία Στιγματικής Περιστροφής Ερπυστριοφόρου.(ICR)	28
Σχήμα 2.3.5.1_ Υπολογισμός σημείων Στιγματικής Περιστροφής Ερπυστριοφόρου.(ICR)	31
Σχήμα 2.4.2.1_ Μέθοδος Τεχνητών Δυναμικών Πεδίων.	34
Σχήμα 2.4.4.1_ Λογικό Διάγραμμα μεθόδου μεγίστης καθόδου (Steepest Descent).	37
Σχήμα 3.2.2.1_ Συνηθέστερη μορφή IR Led.	40
Σχήμα 3.2.2.2_ Πολικά Διαγράμματα Κατανομής Φωτεινής Έντασης I_e	41
Σχήμα 3.2.2.3_ Ένταση Φωτισμού (E) σε σχέση με την απόσταση	41
Σχήμα 3.2.3.1_ Φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε P-N ημιαγωγό.	42
Σχήμα 3.2.3.2_ Εσωτερική δομή PIN φωτοδίοδου.	43
Σχήμα 3.2.4.1_ Εσωτερική Δομή Ολοκληρωμένου Δέκτη Υπερύθρων TSOP	44
Σχήμα 3.2.4.2_ Διάγραμμα απόκρισης Ολοκληρωμένου Δέκτη Υπερύθρων TSOP	44
Σχήμα 3.2.5.1_ Λειτουργία Αισθητήρα Υπερήχων.	45
Σχήμα 3.3.1.1_ Μικροελεκτές από τις εταιρείες Atmel, Maxim και Texas Instruments.	46
Σχήμα 3.3.3.1_ Αντιστοιχία ακροδεκτών μικροελεκτή ATmega328 με του ακροδέκτες του Arduino.	47
Σχήμα 3.3.3.2_ Arduino Uno R3.	49
Σχήμα 4.2.1_ Το ερπυστριοφόρο ρομπότ με την ικανότητα αναζήτησης της βάσης φόρτισης του.	56
Σχήμα 4.3.1.1_ Κύκλωμα Δεκτών Υπερύθρης Ακτινοβολίας.	58
Σχήμα 4.3.1.2_ Silicon PIN BPW41N.	58
Σχήμα 4.3.1.3_ Ακτινική Ευαισθησία Δέκτη(BPW41N).	58
Σχήμα 4.3.1.4_ Φασματική Ευαισθησία Δέκτη (BPW41N).	58
Σχήμα 4.3.2.1_ Κύκλωμα σύνδεσης Tsop στο arduino.	59

Σχήμα 4.3.2.2_ TSOP4840	60
Σχήμα 4.3.2.3_ Ακτινική Ευαισθησία Δέκτη (TSOP4840)σε σχέση με την απόσταση.	60
Σχήμα 4.3.2.4_ Διάγραμμα Σχετικής Ευαισθησίας Δέκτη(TSOP4840) σε σχέση με το μήκος Κόμματος προσπίπτουσας ακτινοβολίας.	60
Σχήμα 4.3.2.5_ Απόκριση Δέκτη(TSOP4840) Σε Παραπλήσιες Συχνότητες Φέρουσας ακτινοβολίας Πομπού.	60
Σχήμα 4.3.3.1_ Απόκριση δέκτη σε συνάρτηση με την απόσταση $V_m=f(d)$.	62
Σχήμα 4.3.3.2_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Α)	65
Σχήμα 4.3.3.3_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης (Περιοχής Α).	65
Σχήμα 4.3.3.4_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Β).	66
Σχήμα 4.3.3.5_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης(Περιοχής Β).	66
Σχήμα 4.3.3.6_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Γ).	67
Σχήμα 4.3.3.7_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης(Περιοχής Γ).	67
Σχήμα 4.3.3.8_ Πολικό Διάγραμμα Εντοπισμού Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.	68
Σχήμα 4.4.1.1_ Ολοκληρωμένος Αισθητήρας Υπερήχων HC-SR04.	69
Σχήμα 4.4.1.2_ Σύνδεση αισθητήρα υπερήχων στο μικροελεκτή Arduino.	70
Σχήμα 4.4.1.3_ Αισθητήρες Υπερήχων στο Ρομπότ.	70
Σχήμα 4.4.2.1_ Σύστημα Αισθητήρων Πρόσκρουσης Στο Κάτω Μέρος.	71
Σχήμα 4.4.2.2_ Κυκλωματική Διάταξη μικρό-διακοπών.	71
Σχήμα4.5.1.1_ Διαστάσεις Κινητήρα RS380PH-3270.	73
Σχήμα 4.5.1.2_ Χαρτογράφηση Κινητήρα RS380PH-3270.	73
Σχήμα 4.5.1.3_ Σύστημα Κίνηση Ρομπότ-Gearbox.	73
Σχήμα 4.5.2.1_ Οδήγηση Κινητήρων με Η-γέφυρες.	74
Σχήμα 4.5.2.2_ Το Κύκλωμα με τις δύο Η-γέφυρες που οδηγούν τους κινητήρες του ρομπότ. ..75	
Σχήμα 4.5.2.3_ Εσωτερική Δομή BDX53C-NPN και BDX54C-PNP.	76
Σχήμα 4.5.2.4_ Οι δύο Η-γέφυρες στην πλακέτα της κατασκευής μας.	76
Σχήμα 4.6.1_ Διαμεσολαβητής και παροχέας σε επαφή.	77
Σχήμα4.7.1_ Κύκλωμα Τροφοδοσίας Ρομπότ.	78
Σχήμα4.7.2_ Γραφική μέτρησης τάσης τροφοδοσίας από το σύστημα μέτρησης τάση.	79
Σχήμα4.7.3_ Μπαταρία ni-cd 9,6V της NitroXRC.	79
Σχήμα4.7.4_ Φορτιστής μπαταριών νικελίου καδμίου της RadioShack.	80
Σχήμα5.2.1_ Κύκλωμα τροφοδοσίας Βάσης Φόρτισης.	82
Σχήμα5.2.2_ Μείωση Κυμάτωσης με πυκνωτή εξομάλυνσης.	82
Σχήμα5.3.1_ Συνολικό Κύκλωμα Φόρτισης	83
Σχήμα5.4.1.1_ Κύκλωμα Ασταθούς Λειτουργίας με LM555 timer.	85
Σχήμα5.4.2.1_ Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού LM555 timer	86
Σχήμα5.4.2.2_ Διαμόρφωση πριονωτού σήματος.	87
Σχήμα5.4.2.3_ Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.	87

<i>Σχήμα5.4.2.4_Έξοδος των δύο timers σε προσομοίωση του κυκλώματος στο Pspice.</i>	<i>89</i>
<i>Σχήμα5.4.4.1_Κύκλωμα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας.</i>	<i>90</i>
<i>Σχήμα5.4.4.2_Πρόσοψη Βάση Φόρτισης.</i>	<i>90</i>
<i>Σχήμα5.5.1_Συνολικό Κύκλωμα Βάσης Φόρτισης.</i>	<i>91</i>
<i>Σχήμα5.5.2_Πλακέτα Βάσης φόρτισης στο κάτω μέρος του ξύλινου πλαισίου βάσης.</i>	<i>92</i>
<i>Σχήμα6.1.1_Διάγραμμα Λειτουργίας Ρομπότ.</i>	<i>94</i>
<i>Σχήμα6.5.1_Διάγραμμα Λειτουργίας Ελεύθερης μετακίνησης.</i>	<i>103</i>
<i>Σχήμα 7.2.1_Παρεμβολή Π-εμποδίου</i>	<i>122</i>
<i>Σχήμα 7.3.1_Αστοχία Ρομπότ λόγω παράσιτης ακτινοβολίας.</i>	<i>123</i>
<i>Σχήμα 7.3.2_Λαμβανόμενο σήμα υπέρυθρης ακτινοβολίας.</i>	<i>124</i>
<i>Σχήμα 7.3.3_RF Tracker Locator της εταιρείας Gozens.</i>	<i>126</i>
<i>Σχήμα 7.4.1_Χαρακτηριστική Φόρτισης.</i>	<i>126</i>

ΜΕΡΟΣ Α
(ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ)

Κεφάλαιο 1

Ιστορική Αναδρομή Στα Ρομπότ.

1.1 Αναδρομή στα πιο σημαντικά ρομποτικά επιτεύγματα της ανθρώπινης ιστορίας.

Η ανάγκη του ανθρώπου για ρομποτικές μηχανές που θα επιτελούν εργασίες ξεκίνησε να δημιουργεί ρομπότ στη φαντασία του από τα πανάρχαια χρόνια για να φτάσει τους τελευταίους αιώνες να κατασκευάσει πολύ αξιόλογα ρομποτικά επιτεύγματα.

Εάν συντρέξουμε στην Ελληνική μυθολογία συναντούμε τον Τάλως, ένα ρομπότ δώρο από το θεό Δία προς την ερωμένη του Ευρώπη που τελικά παραχωρήθηκε από αυτήν στον βασιλιά Μίνωα για να προστατεύει το νησί του την Κρήτη. Αυτό που συναρπάζει είναι αναφορές από τον Πλάτωνα και τον Απολλώνιο τον Ρόδιο που παρουσιάζουν τον Τάλω ως ένα υπερφυσικό ρομπότ φτιαγμένο από χαλκό με μεγάλη ταχύτητα, τεράστια δύναμη που εκτελούσε περιπολίες στο νησί και καταπόντιζε τα εχθρικά πλοία είτε εκτοξεύοντας προς αυτά μεγάλους ογκόλιθους είτε καίγοντας τα με φωτιές που έβγαζε από το σώμα του.

-(428 - 347 π.Χ) Έχουμε αναφορές για μια ιπτάμενη μηχανή επονομαζόμενη ως πετομηχανή ή περιστέρα η οποία κατασκευάστηκε από τον Αρχύτα τον Τιραντικό. Σύμφωνα με τις αναφορές η μηχανή είχε αεροδυναμικό σχεδιασμό, χρησιμοποιούσε ατμό για αερίωση και είχε δυνατότητα πτήσης μέχρι και 200 μέτρα.

-(150-100π.Χ) Κατασκευάστηκε ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων γνωστός και ως αστρολάβος μια αυτοματοποιημένη συσκευή με ωρολογιακή δομή η οποία μπορούσε να προβλέψει τις θέσεις των πλανητών.



Σχήμα 1.1.1

-(1136-1206) Ο Άραβας Al-Jazari κατασκεύασε το πρώτο ανθρωποειδές ρομπότ με υδραυλικούς μηχανισμούς που ήταν προγραμματισμένο να κρούει τύμπανα για να προσφέρει μουσική ψυχαγωγία.

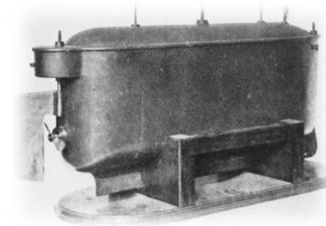


-(1452-1519) Ο Ιταλός Leonardo da Vinci σχεδίασε με λεπτομέρεια ένα ανθρωποειδές ρομπότ ιπότη με πανοπλία το οποίο ανασηκωνόταν και επέτρεπε κινήσεις στα χέρια και το κεφάλι. Τα σχέδια σώζονται μέχρι και σήμερα αλλά η κατασκευή δεν έχει βρεθεί.

Σχήμα 1.1.2

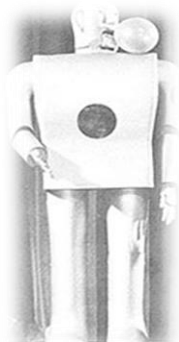
-(1796) Ο Ιάπωνας Hisashige Tanaka κατασκεύασε ρομποτικούς μηχανισμούς που σέρβιραν τσάι και μηχανισμούς που μπορούσαν να ζωγραφίσουν ιδεογράμματα.

-(1898) Ο Nicola Tesla κατασκευάζει το πρώτο τηλεχειριζόμενο πλοίο το οποίο χρησιμοποιούσε ραδιοκύματα για τον χειρισμό του.



Σχήμα 1.1.3

-(1921) Ο Τσέχος συγγραφέας Karel Capek στο θεατρικό του έργο “Rossum’s Universal Robots “ εισάγει για πρώτη φορά στη σύγχρονη εποχή την έννοια του ρομπότ. Πρόκειται για ένα μηχανικό κατασκεύασμα που ονομάζει robot από την τσέχικη λέξη robota που σημαίνει καταναγκαστική εργασία.



-(1930) Η αμερικάνικη εταιρία Westinghouse Electric Corporation κατασκευάζει ανθρωποειδές ρομπότ που περπατά μιλά και καπνίζει.

Σχήμα 1.1.4

-(1941-1942) Ο Ρώσος συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov παρουσιάζει το ρομπότ ως ένα «αυτόματο» με ανθρώπινη μορφή και απαλλαγμένο από συναισθήματα προγραμματισμένο να υπακούει συγκεκριμένες αρχές ηθικής συμπεριφοράς.

Οι τρεις βασικοί νόμοι είναι:

1. Το ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειας του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.
2. Το ρομπότ πρέπει να υπακούει στις ανθρώπινες εντολές εκτός αν αυτές έρχονται σύγκρουση με τον πρώτο νόμο.
3. Το ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη εκτός και εάν η ενέργεια του αυτή τείνει να καταπατήσει τους πρώτους δύο νόμους.

-(1948) Κατασκευάζεται το πρώτο αυτόνομο ρομπότ στο πανεπιστήμιο του Bristol της Αγγλίας με το όνομα Elsie με πλοήγηση βασιζόμενη σε ερεθίσματα από αισθητήρες φωτός.

-(1954-1956) Ο George Devol κατασκευάζει τον πρώτο προγραμματιζόμενο ψηφιακά βράχυνα επονομαζόμενο Unimate και μαζί με το Joseph Engelberger επηρεαζόμενοι από τον Isaac Asimov δημιουργούν την πρώτη εταιρία κατασκευής ρομπότ.



Σχήμα 1.1.5

-(1961) Η εταιρία General Motors-USA αγοράζει και εγκαθιστά τον πρώτο βιομηχανικό βραχίονα Unimate ο οποίος χρησιμοποιείται για διαχείριση του καυτού μετάλλου από μια γραμμή παραγωγής χυτηρίου.

-(1963) Σχεδιάζεται το πρώτο ρομποτικό χέρι “Rancho arm” για ανθρώπους με αναπηρία το οποίο ελέγχεται από υπολογιστή. Με έξι ορθώσεις είχε την ικανότητα να αναπαριστά τις κινήσεις του ανθρώπινου χεριού.

-(1970) Το SRI (Stanford Research Institute) δημιουργεί το πρώτο αυτοκινούμενο ρομπότ “Shakey” με δείγματα τεχνητής νοημοσύνης. Το ρομπότ είχε την δυνατότητα πλοήγησης μέσα σε δωμάτια, ανοιγοκλείσιμο θυρών, ενεργοποίηση διακοπών και άλλες καινοτόμες για την εποχή του λειτουργίες.



Σχήμα 1.1.6



-(1969-1977) Η Σοβιετική Ένωση στέλνει για εξερεύνηση στη σελήνη τροχοφόρα οχήματα με το προσωνύμιο Lunokhod.

Σχήμα 1.1.7

-(1975-1976) Η NASA στέλνει δύο μη επανδρωμένα διαστημικά σκάφη στον πλανήτη Άρη στα πλαίσια του προγράμματος Viking. Τα διαστημικά σκάφη στέλνουν ένα πλήθος φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης για την κατανόηση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης του πλανήτη και την πιθανότητα ύπαρξης ζωής.

-(1979-1980) Στο πανεπιστήμιο Bundeswehr του Μονάχου κατασκευάζονται από την ομάδα Ernst Dickmanns τα πρώτα ρομποτικά αυτοκίνητα με δυνατότητα αυτόνομης πλοήγησης τα οποία δοκιμάστηκαν σε άδειους δρόμους με ταχύτητες που έφταναν το 60m/h.

-(1982) Παρουσιάζεται ένας νέος τύπος ρομπότ από τον Reymond Clavel στη Πολυτεχνική Σχολή της Λωζάννης στην Ελβετία. Πρόκειται για το Delta Robot, ένας τύπος Parallel Robot.

-(1987) Το HRL (Hughes Research Laboratories) κατασκευάζει την πρώτη, χαρτογραφημένη και βασιζόμενη σε αισθητήρες, αυτόνομη λειτουργία ενός ρομποτικού οχήματος.

-(1990) Ο Joseph Engelberger μαζί με την ομάδα του ξεκινούν τον σχεδιασμό των πρώτων εμπορικών αυτόνομων ρομπότ που θα χρησιμοποιηθούν για ιατρικούς σκοπούς.



-(1993-1994) Η NASA στέλνει το Dante I, ένα ρομπότ με οχτώ πόδια που είχε σαν αποστολή την συλλογή αερίων και δείγματος στην Ανταρκτική. Μία βλάβη στα καλώδια δεν επέτρεψε στο ρομπότ να εισέλθει στο ενεργό ηφαίστειο. Ένα χρόνο μετά ο Dante II εισήλθε με επιτυχία στο ηφαίστειο φέροντας εις πέρας την αποστολή του.

Σχήμα 1.1.8

-(1994) Ο Δρ. John Adler κατασκευάζει το CyberKnife ένα ρομποτικό μηχάνημα κατάλληλο για την ακτινοχειρουργική το οποίο μπορούσε να προσφέρει μια εναλλακτική θεραπεία στην αφαίρεση όγκων.

-(1996–1997) : Η NASA στέλνει στον Άρη το Mars Pathfinder το οποίο προσεδαφίζει στην επιφάνεια του πλανήτη ένα τηλεκατευθυνόμενο όχημα , το Sojourner, το οποίο είχε ως σκοπό την εξερεύνηση της επιφάνειας, δεχόμενο εντολές από τη Γη. Περίπου 17.000 εικόνες στάλθηκαν πίσω στη γη όπως και χρήσιμες πληροφορίες ανάλυσης πετρωμάτων, και μετρολογικών συνθηκών.



Σχήμα 1.1.9

-(1996-1997) Η IBM δημιουργεί ένα υπολογιστή ικανό να παίζει σκάκι το Deep Blue. Η πρώτη έκδοση του Deep Blue το 1996 δεν στάθηκε ικανή να νικήσει τον παγκόσμιο πρωταθλητή Garry Kasparov κάτι που πέτυχε η δεύτερη έκδοση.



-(2000) Η Honda μετά από δύο δεκαετίες έρευνας σε ρομπότ με ανθρώπινη συμπεριφορά παρουσιάζει τον Asimo ένα ανθρωπόμορφο ρομπότ που μπορεί να τρέξει, να αναρριχηθεί σε σκάλες να αναγνωρίζει πρόσωπα και φωνές να μετακινεί αντικείμενα και να ανταποκρίνεται σε απλές φωνητικές εντολές.

Σχήμα 1.1.10

-(2001) Το μη-επανδρωμένο αεροσκάφος Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk εκτελεί με επιτυχία μια πτήση που διήρκεσε είκοσι δύο ώρες από την στρατιωτική βάση της Καλιφόρνιας στο Εδιμβούργο της νότιας Αυστραλίας.

-(2002) Η εταιρία iRobot κυκλοφορεί το γνωστό αυτόνομο ρομποτικό σκουπάκι πατώματος με το όνομα Roomba.

Σχήμα 1.1.11



-(2003) Η NASA εκτόξευσε τα δίδυμα σκάφη του προγράμματος Mars Exploration Rover Mission. Το όχημα Spirit προσγειώθηκε μέσα στον κρατήρα Gusev, που πιστεύεται ότι κάποτε ήταν μία λίμνη, αναζητώντας την ιστορία του νερού της περιοχής. Το όχημα Opportunity προσγειώθηκε



στο Planum Meridiani, όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες αιματίτη, που επίσης αποδεικνύουν την ύπαρξη νερού στην επιφάνεια κατά το παρελθόν. Όλες οι έρευνες των οχημάτων αυτών επιβεβαίωσαν πέρα από κάθε αμφιβολία την ύπαρξη πολύ μεγάλων ποσοτήτων υγρού νερού στην επιφάνεια του Άρη κατά το παρελθόν, καθώς και την παλαιά ύπαρξη αλμυρής θάλασσας όπως στη Γη.

Σχήμα 1.1.12

-(2005) Στο 2^ο DARPA Grand Challenge 5 αυτόνομα οχήματα τερματίζουν σε μια off-road διαδρομή που περιλάμβανε υπόγειες σήραγγες, στενές στροφές και ανώμαλο έδαφος.

-(2006) Το Cornell University κυκλοφορεί το “Starfish” ένα τετράποδο ρομπότ το οποίο είναι προγραμματισμένο να αναγνωρίζει τα στοιχεία του και μέσω ανάλυσης μαθαίνει να τα χρησιμοποιεί. Έτσι ακόμα και αν κάποιο πόδι του είναι χαλασμένο αυτό μπορεί να επαναπροσδιορίσει τον τρόπο της κίνησης του.



-(2007) Η Boston Dynamic παρουσιάζει μέσω ενός βίντεο που κυκλοφόρησε, τον “BigDog”. Πρόκειται για ένα τετράποδο ρομπότ ικανό να μεταφέρει μεγάλα φορτία σε ανώμαλα και ολισθηρά εδάφη με εξαιρετική ισορροπία. Το συγκεκριμένο επίτευγμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε πολεμικές αποστολές για μεταφορά εφοδίων σε δύσβατες περιοχές.

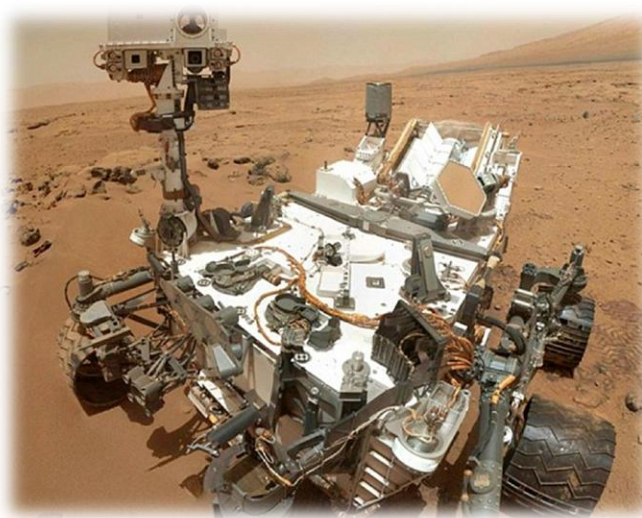
Σχήμα 1.1.13



-(2010) Ο πλέον εξελιγμένος βοηθός αστροναυτών Robonaut2 στέλνεται στο διάστημα προκειμένου να αναλύσουν οι επιστήμονες την επιδεξιότητα του σε διαστημικό περιβάλλον ώστε μια μέρα με τις απαραίτητες βελτιώσεις να μπορεί να επιτελεί τις διάφορες εργασίες των διαστημικών σταθμών.

Σχήμα 1.1.14

-(2011) Το ρομπότ Curiosity που στοίχησε δυόμισι δισεκατομμύρια δολάρια, εκτοξεύεται στον Άρη με κύριο αντικειμενικό στόχο να εξετάσει αν ο γειτονικός πλανήτης ήταν ποτέ φιλόξενος για τη ζωή. Το Curiosity προσεδαφίστηκε μέσα στον κρατήρα Γκέιλ, το μεγάλο βάθος του οποίου, θα



επιτρέψει στο ρομποτικό γεωλόγο να εξετάσει τι κρύβεται κάτω από την απέραντη, άνυδρη έρημο που καλύπτει σήμερα σχεδόν ολόκληρο τον πλανήτη πρώτα δείγματα έχουν ήδη συλλεχθεί και η ανάλυση τους από τα ενσωματωμένα εργαστήρια του διαστημικού ρομπότ έδειξε ότι υπάρχει πιθανότητα να υπήρξε μικροβιακή ζωή στο πλανήτη παλαιότερα.

Σχήμα 1.1.15

-(2016) Επιτυχία του Curiosity ώθησε την Nasa να προωθήσει μια νέα διαστημική αποστολή στον πλανήτη Άρη με ένα προηγμένο ρομπότ το InSight. Προκειται για ένα προηγμένο ρομπότ το οποίο αναμένεται να στοιχήσει 350 εκατομμύρια ευρώ και θα είναι έτοιμο για εκτόξευση μέσα στο 2016. Αποστολή του ρομπότ είναι να τοποθετήσει εξειδικευμένα όργανα μετρήσεως στην επιφάνεια του Άρη για να καταφέρουν να διαπιστώσουν οι επιστήμονες σε ποια κατάσταση βρίσκεται ο πυρήνας του πλανήτη. Επιπλέον το InSight θα εκτελέσει μια σειρά σεισμολογικών ερευνών.

1.2 Κατηγορίες ρομπότ

Κάνοντας μια αναδρομή στην ιστορία των ρομπότ παρατηρούμε ότι υπάρχει μια πληθώρα επιτευγμάτων που μπορούν να κατανεμηθούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την θέση τους στο χώρο. Οι δύο αυτές κατηγορίες είναι:

Ρομπότ σταθερής Βάση: εδώ κατατάσσονται τα ρομπότ που δεν κινούνται αλλά έχουν την δυνατότητα να κινούν άλλα αντικείμενα. Τα πιο διαδεδομένα ρομπότ αυτής της κατηγορίας είναι οι ρομποτικοί βραχίονες που αποτελούνται από ένα σύνολο αρθρώσεων, συνδέσμων και εργαλείων, που συναντούμε σε πολλές βιομηχανικές εργασίες.

Κινούμενα Ρομπότ: σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία τα κινούμενα ρομπότ έχουν την δυνατότητα να κινούνται μέσα στο χώρο ανάλογα με την επιτρεπτότητα του βαθμού ελευθερίας τους. Ανάλογα με το χώρο για την μετακίνηση μπορεί να χρησιμοποιούν τροχούς, προπέλες, μηχανές jet κ.α. Οι κυριότερες υποκατηγορίες είναι:

- Έντροχα: i) στατικής ευστάθειας με 3 ή 4 τροχούς ii) δυναμικής ευστάθειας κίνηση πάνω σε μπάλα ή σε 2 τροχούς iii) κατευθυντικής κίνησης(omnidirectional) με τροχούς Mecanum.
- Βαδίζοντα Ρομπότ: χρησιμοποιούν μηχανικά πόδια για την κίνηση τους, συνήθως είναι δίποδα τετράποδα και εξάποδα. Έχουν μεγάλη ικανότητα αποφυγής εμποδίων και αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη.
- Ιπτάμενα ρομπότ: πρόκειται για μη επανδρωμένα ρομπότ που εκτελούν εναέριες πτήσεις συνήθως σε συνθήκες υψηλού κινδύνου όπως σε πολεμικές ή αστροναυτικές επιχειρήσεις. Συνήθως χρησιμοποιούν έλικες ή μηχανές jet .
- Υποβρύχια ρομπότ: ρομπότ ικανά να φτάσουν σε μεγάλα βάθη για εξερεύνηση του θαλασσιού βυθού κάτι που για τον άνθρωπο είναι απαγορευτικό λόγω των μεγάλων πιέσεων. Διακρίνουμε δύο είδη α)ROV (remote operated vehicles) όπου το υποβρύχιο κατευθύνεται μέσω καλωδίου από το μητρικό πλοίο και AUV(autonomous underwater vehicles) όπου το ρομπότ λειτουργά αυτόνομα στο βυθό για την επίτευξη κάποιας εργασίας.
- Νανορομπότ: όπως υποδηλώνει και το όνομα πρόκειται για ρομπότ στην κλίμακα του νανομέτρου. Βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο αλλά είναι ιδιαίτερα υποσχόμενα στο τομέα της ιατρικής. Εικάζεται ότι στο μέλλον νανορομποτάκια θα μπορούν να κυκλοφορούν στο ανθρώπινο αίμα όταν εντοπίζουν κάποιο πρόβλημα να το επιδιορθώνουν.



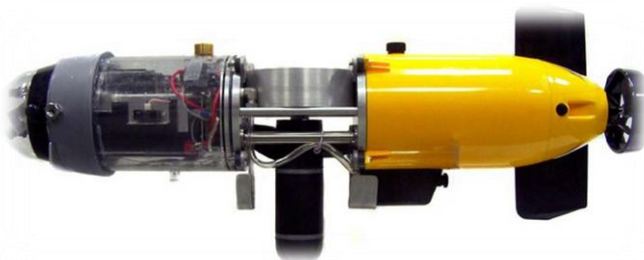
Σχήμα 1.2.1_Βαδίζον Ρομπότ Dante II της NASA σε ανάβαση στην Αλάσκα για εξερεύνηση ηφαιστείου.



Σχήμα 1.2.2_Ρομπότ δυναμικής ευστάθειας με δύο τροχούς.



Σχήμα 1.2.3_Ιπτάμενο Ρομπότ Helios της Nasa.



Σχήμα 1.2.4_Υποβρύχιο Ρομπότ του πανεπιστημίου της Αυστραλίας (university of Western Australia).

1.3 Ορισμός Ρομπότ

Κάνοντας μια ανασκόπηση στην ιστορική αναδρομή και την κατηγοριοποίηση των ρομπότ που παρουσιάσαμε, παρατηρούμε ότι είναι δύσκολο να ορίσουμε την έννοια του ρομπότ μονοσήμαντα. Εποπτικά το ρομπότ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αυτόνομο σύστημα του οποίου ο προγραμματισμός δίνει την εντύπωση ότι ενεργεί κατά βούληση. Το υλικό του κομμάτι σε συνδυασμό με το προγραμματιστικό του κομμάτι του επιτρέπουν να εκτελεί ένα σύνολο εργασιών.

Τα τέσσερα βασικά μέρη που συναποτελούν ένα ρομπότ είναι:

Α) Μηχανολογικό σύστημα που περιλαμβάνει και το ογκωδέστερο τμήμα του ρομπότ. Αποτελείται από εξαρτήματα όπως κινητήρες, αρθρώσεις, οδηγούς, σασί και γενικά τα στοιχεία που θα ενεργήσουν για την εκτέλεση της εργασίας του μεταβάλλοντας το εξωτερικό περιβάλλον του ρομπότ.

Β) Σύστημα Αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Το σύστημα αυτό μέσα από ένα σύνολο αισθητήρων μετατρέπει τα εξωτερικά ερεθίσματα σε ηλεκτρικά σήματα που δίνουν χρήσιμες πληροφορίες στο σύστημα ελέγχου για το περιβάλλον όπως εμπόδια, αποστάσεις, θερμοκρασίες, ακτινοβολίες κτλ.

Γ) Σύστημα Ελέγχου το οποίο μπορεί να παρομοιασθεί με το μυαλό του ρομπότ. Λαμβάνοντας τα ηλεκτρικά σήματα από το τμήμα αλληλεπίδρασης υπολογίζει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται και οδηγά κατάλληλα το μηχανολογικό σύστημα για επίτευξη της εργασίας του. Ο τρόπος που δρα είναι συνήθως μια ακολουθία κώδικα που είναι φορτωμένη σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα και περιλαμβάνει γνώσεις από πεδία όπως τεχνητή νοημοσύνη, αυτόματος έλεγχος κ.α.

Δ) Σύστημα Τροφοδοσίας το οποίο παρέχει στο ρομπότ την απαραίτητη ενέργεια για να ενεργοποιήσει τα υπόλοιπα συστήματα του. Συνήθως πρόκειται για ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από κάποια μπαταρία, μετασχηματιστή κ.α.

1.4 Μέλλον των Ρομπότ

Τα ρομπότ στις μέρες μας αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας. Τα ρομποτικά επιτεύγματα είναι πλήρως συνυφασμένα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και όσο η τεχνολογία προχωρεί τόσο πιο αξιόλογα και τελειοποιημένα ρομπότ θα δημιουργούνται. Η ιστορία έχει δείξει ότι οι επιστήμονες είναι ικανοί να υλοποιήσουν τις εμπνεύσεις που συλλαμβάνει ο ανθρώπινος νους. Έτσι όπως στην σύγχρονη εποχή έχουμε δημιουργήσει ρομπότ τα οποία πριν δεκάδες χρόνια φάνταζαν δημιουργήματα της φαντασίας, έτσι πολύ πιθανόν στο μακρινό μέλλον να έχουμε ρομποτικά συστήματα που στις μέρες θεωρούνται άπιαστα όνειρα.

Κάνοντας μια προεπισκόπηση των πλέον σύγχρονων τεχνολογικών επιτευγμάτων που έχουν κατασκευαστεί ή βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης ή είναι ακόμα σε ερευνητικό επίπεδο, μπορούμε να προβλέψουμε την θέση που θα κατέχουν τα ρομπότ μέσα στην επόμενη δεκαετία. Το ρομπότ θα είναι ένας έμπιστος συνεργάτης και βοηθός του ανθρώπου που θα δουλεύει πλάι του τόσο σε εργασιακό επίπεδο όσο και στο μεγαλύτερο μέρος της καθημερινότητας του.

Τα « Έξυπνα» ρομπότ που είδη είναι εγκατεστημένα σε βιομηχανίες θα αυξηθούν σε αριθμό και θα τελειοποιηθούν απαλλάσσοντας τον άνθρωπο από επίπονες και χρονοβόρες διαδικασίες. Η ποιότητα ζωής του ανθρώπου θα βελτιωθεί αισθητά αφού ένα σύνολο από ρομποτικές εφαρμογές θα προσδώσουν μεγαλύτερη ασφάλεια και άνεση στην καθημερινότητα του. Ρομποτικά συστήματα πλοήγησης αυτοκινήτου, συστήματα ενεργειακής διαχείρισης, αυτοματισμοί, συστήματα υποστήριξης αποφάσεων είναι μόνο λίγα παραδείγματα της επερχόμενης ρομποτικής καθημερινότητας.

Σημαντική επίσης αναμένεται να είναι η συμβολή της ρομποτικής στα διάφορα επιστημονικά πεδία και ειδικότερα στον τομέα της ιατρικής. Υπολογίζεται ότι στο άμεσο μέλλον ο κάθε ασθενής θα έχει τον προσωπικό του ρομπο-γιατρό που θα είναι σε θέση να εξετάζει τον ασθενή να κάνει διάγνωση και να προτείνει λύση στο πρόβλημα του. Εικάζεται ότι στο μακρινό μέλλον νανορομποτάκια θα μπορούν να κυκλοφορούν στο ανθρώπινο αίμα και όταν εντοπίζουν κάποιο πρόβλημα θα το επιδιορθώνουν.

Συμπερασματικά να αναφέρουμε ότι μέχρι σήμερα τα ρομπότ βοήθησαν τον άνθρωπο και συνέβαλαν στην ανάπτυξη των επιστημών. Εξαίρεση αποτελούν ρομποτικές εφαρμογές για σκοπούς πολέμου οι οποίες δυστυχώς είναι και οι πιο εξελιγμένες αλλά κάθε άλλο παρά βοήθεια προσφέρουν στον άνθρωπο. Είναι στο χέρι μας να επιδιώξουμε την ορθή χρήση της τεχνολογίας αλλιώς ίσως μια μέρα ο άνθρωπος να καταστεί υπόδουλος των ρομπότ όπως προβάλλεται σε σύγχρονες ταινίες επιστημονικής φαντασίας.

Κεφάλαιο 2

Τεχνικές Ρομποτικής Κίνησης

2.1 Εισαγωγή στην Κίνηση Ρομπότ.

Η κίνηση ενός ρομπότ στον περιβάλλοντα χώρο είναι ίσως η πιο βασική λειτουργία του ρομπότ και προϋποθέτει ένα σύνολο από ενεργείες που πρέπει να εκτελεστούν αφότου γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί και μετρήσεις. Το ρομπότ πρέπει να έχει την δυνατότητα μέσω του εξοπλισμού του να κατανοεί την θέση του στο χώρο να μπορεί να εντοπίζει το επιθυμητό σημείο προορισμού και να είναι σε θέση να σχεδιάσει το μονοπάτι που θα το οδηγήσει στο στόχο του. Στη συνέχεια με κατάλληλους υπολογισμούς θα υπολογίσει μια βέλτιστη τροχιά βάση του μονοπατιού και ελέγχοντας τα συστήματα κίνησης (τροχούς, έλικες, κ.α) θα οδηγηθεί στο επιθυμητό σημείο αποφεύγοντας εμπόδια και επικίνδυνες καταστάσεις.

Παρατηρούμε ότι η ρομποτική κίνηση παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα και επιβάλλει την ορθή συνεργασία μεταξύ υλικού και λογισμικού συστήματος. Ευτυχώς λόγω της ανάπτυξης της ρομποτικής έχει μοντελοποιηθεί η κίνηση των ρομπότ ανάλογα με το είδος της κίνησης τους κάτω από ένα μαθηματικό υπόβαθρο. Υπάρχουν συστηματοποιημένες τεχνικές ρομποτικής κίνησης που μπορούν να εφαρμοστούν από τον εκάστοτε σχεδιαστή ρομπότ.

Στο παρόν κεφάλαιο θα κάνουμε μια παρουσίαση της ρομποτικής κίνησης στοχευόμενη όμως στις ανάγκες της κατασκευής μας. Συγκεκριμένα θα αναλύσουμε και θα εξηγήσουμε την διαφορική κίνηση ερπυστριοφόρου μέσω ορθής και ανάστροφης κινηματικής κίνησης. Επίσης θα αναφέρουμε τους παράγοντες δημιουργούν ολίσθηση επηρεάζοντας τα σημεία στιγμιαίας περιστροφής του ερπυστριοφόρου και τελικώς την συνολική κίνηση.

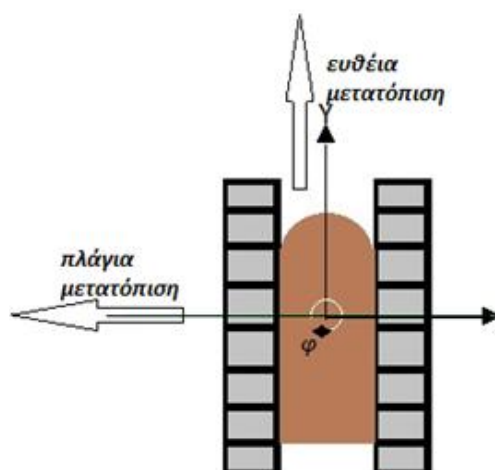
Στο υπόλοιπο μέρος του παρόντος κεφαλαίου γίνεται μια εισαγωγή στην πλοήγηση ρομποτικών συστημάτων και παρουσιάζεται η μέθοδος τεχνητών δυναμικών πεδίων, τεχνική που εφαρμόσαμε και στην κατασκευή μας. Επιπλέον παραθέτονται αλγοριθμικές τεχνικές σύγκλισης της εν λόγω μεθόδου.

2.2 Βαθμοί ελευθερίας ρομπότ DOF(degrees of freedom).

Ανάλογα με την κίνηση που εκτελεί κάθε ρομπότ, πρέπει να διαθέτει και τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας δηλαδή όσο περισσότερους βαθμούς ελευθερίας έχει τόσο πιο ευκίνητο είναι.

Ο ελάχιστος αριθμός βαθμών ελευθερίας που απαιτούνται για να μπορεί να μετακινείται ελεύθερα ένα ρομπότ σε κάθε σημείο του χώρου είναι **6** βαθμοί. Προσδιορίζοντας τον χώρο με τους τρεις άξονες (x,y,z) του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων το ρομπότ χρειάζεται **3** βαθμούς για την σημειακή του μετακίνηση ως προς το σύστημα συντεταγμένων και άλλους **3** βαθμούς για τον σχετικό του προσανατολισμό (α,β,γ) ως προς το σύστημα.

Ανάλογα με μηχανικά στοιχεία του ρομπότ και τον τρόπο που ελέγχονται ώστε να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον οι βαθμοί ελευθερίας του ρομπότ μπορεί να είναι ελεγχόμενοι (*controllable-DOF*) ή μη-ελεγχόμενοι (*uncontrollable-DOF*). Για παράδειγμα ένα ερπυστριοφόρο ελέγχοντας τις ταχύτητες των ερπυστριών του μπορεί να κινηθεί στο επίπεδο (x,y) . Με ίσες ταχύτητες αριστερής και δεξιάς ερπύστριας επιτυγχάνεται ευθεία μετατόπιση του (yy') και με ίσες και αντίθετες ταχύτητες επιτυγχάνεται περιστροφή φ του. Μια πλάγια μετατόπιση του όμως δεν είναι εφικτό να ελεγχθεί. Έτσι το ερπυστριοφόρο έχει **3** βαθμούς ελευθερίας εκ των οποίων μόνο οι **2** είναι ελεγχόμενοι.



Σχήμα 2.2.1_ Κίνηση Ερπυστριοφόρου.

Ανάλογα με το αριθμό των ελεγχόμενων βαθμών ελευθερίας (*CDOF*) ενός ρομπότ σε σχέση το σύνολο των βαθμών ελευθερίας (*TDOF*) του, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το σύστημα κίνησης του ως:

A) **Ολονομικό (holonomic)** αν $CDOF=TDOF$. Τα ρομπότ με τροχούς omnidirectional (κατευθυντικούς) που επιτρέπουν πλάγια μετατόπιση κατατάσσονται σε αυτή τη κατηγορία.

B) **Μη ολονομικό (nonholonomic)** αν $CDOF<TDOF$, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα αυτοκίνητα και τα ερπυστριοφόρα.

Γ)Πλεονάζοντα (**redundant**)αν CDOF>TDOF , συνήθως συναντιέται σε ρομποτικούς βραχίονες που χρησιμοποιούνται σε χειρουργικές επεμβάσεις όπου επιτελούνται λεπτεπίλεπτες επεμβάσεις.

2.3 Διαφορική Οδήγηση Ρομπότ με ερπύστριες.

2.3.1 Εισαγωγή διαφορικής οδήγησης ρομπότ με ερπύστριες.

Ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος διαφορικής οδήγησης ρομπότ είναι μέσω ερπυστριών. Δύο ερπύστριες τοποθετημένες παράλληλα στις δύο πλευρές κατά μήκος του οχήματος στρεφόμενες συνήθως από οδοντωτούς τροχούς υποβοηθούμενες από τροχούς κύλισης , του δίνουν την δυνατότητα μέσω ελέγχου των στροφών κάθε ερπύστριας να κινείται και να κατευθύνεται.

Η περιγραφή της κίνησης επιτυγχάνεται με δύο διανυσματικά μεγέθη, την γραμμική ταχύτητα U και την γωνιακή ταχύτητα ω . Το ρομπότ έχει την ικανότητα μεταβολής της γραμμικής ταχύτητας Vl και Vr για την αριστερή και δεξιά ερπύστρια αντίστοιχα. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε την κίνηση του ρομπότ ως ένα σύστημα με εισόδους τις ταχύτητες των ερπυστριών Vl και Vr και εξόδους την γωνιακή και γραμμική ταχύτητα ολόκληρου του ρομπότ.
 $(Ux, Uy, \omega) = f(Vl, Vr)$

Ux =συνιστώσα κάθετη στην διεύθυνση του οχήματος

Uy = συνιστώσα παράλληλη στην διεύθυνση του οχήματος

Το μέγεθος το βάρος το είδος των ερπυστριών του ρομπότ καθώς και η επιφάνεια στην οποία κινείται δημιουργούν δυνάμεις τριβής που επιφέρουν μεγαλύτερη ή μικρότερη ολίσθηση των ερπυστριών.

Στην περίπτωση όπου η ολίσθηση είναι αρκετά μικρή ώστε να μην επηρεάζει αισθητά την κίνηση του ερπυστριοφόρου η γραμμική ταχύτητα αποτελείται μόνο από τη y συνιστώσα και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Uy = \frac{Vl + Vr}{2}$$

Ενώ η γωνιακή ταχύτητα που προκαλεί περιστροφή κατά την κίνηση του ρομπότ δίνεται από την σχέση :

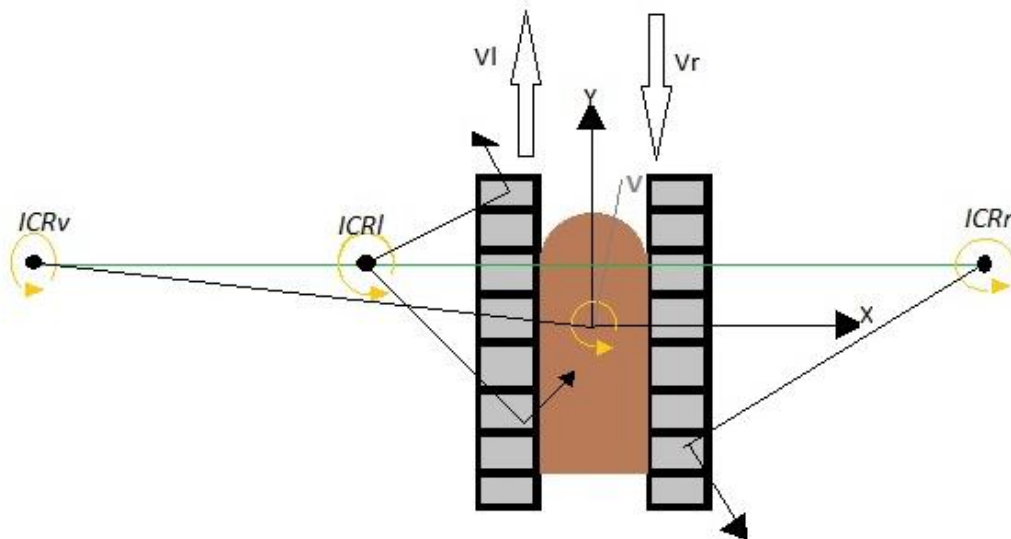
$$\omega = \frac{Vl - Vr}{d}$$

Όπου d η απόσταση μεταξύ των ερπυστριών.

Στην περίπτωση όπου η ολίσθηση είναι σημαντική η περιγραφή της κίνηση γίνεται πιο περίπλοκη. Η γραμμική ταχύτητα αποτελείται εκτός από την Uy και από μια κάθετη συνιστώσα Ux που επηρεάζει την κίνηση. Το ερπυστριοφόρο κάθε στιγμή δίνει την εντύπωση ότι περιστρέφεται με μια γωνιακή ταχύτητα ω σε απόσταση R από ένα σταθερό σημείο έτσι

μπορούμε να ορίσουμε για κάθε ερπύστρια ένα νοητό σημείο στο επίπεδο στιγμιαίας περιστροφής **ICR**(*instantaneous center of rotation*) και ένα τρίτο για το όχημα.

Το Kennedy's **ICR** θεώρημα υποδηλώνει ότι τα δύο σημεία περιστροφής **ICR_l**, **ICR_r** για την αριστερή και δεξιά ερπύστρια αντίστοιχα βρίσκονται πάνω σε μια παράλληλη ευθεία του οριζόντιου άξονα **XX'**. Επίσης στην ευθεία αυτή βρίσκεται και το σημείο στιγμιαίας περιστροφής του οχήματος **ICR_v**.



Σχήμα 2.3.1.1_ Σημεία Στιγμιαίας Περιστροφής Ερπυστριοφόρου.(ICR)

Εάν θέσουμε το κέντρο του οχήματος στην αρχή των αξόνων τότε η οριζόντια απόσταση των στιγμιαίων σημείων περιστροφής δίνεται από τις σχέσεις:

$$X\{ICR_v\} = -\frac{Uy}{\omega}$$

$$X\{ICR_l\} = \frac{Vl - Uy}{\omega}$$

$$X\{ICR_r\} = \frac{Vr - Uy}{\omega}$$

Ενώ η κατακόρυφη απόσταση που είναι ίδια για τα τρία σημεία υπολογίζεται από την εξίσωση

$$y\{ICR_v\} = y\{ICR_l\} = y\{ICR_r\} = \frac{Ux}{\omega}$$

Το σημείο **X{ICR_v}** μπορεί να παίρνει τιμές από $\pm\infty$ ανάλογα με την καμπυλότητα της κίνησης και τείνει να απειρισθεί καθώς η περιστροφική ταχύτητα παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν δηλαδή το όχημα εκτελεί κίνηση σε ευθεία γραμμή. Τα σημεία όμως **X{ICR_l}**, **X{ICR_r}** και **Y{ICR_v}** έχουν πεπερασμένη τιμή για $\omega=0$ αφού $Vl - Uy = Vr - Uy = Ux = 0$.

2.3.2 Ορθή Κινηματική Διαφορικής Οδήγησης Ερπυστριοφόρου.

Αν αντιστρέψουμε τις πιο πάνω εξισώσεις μπορούμε να υπολογίσουμε την στιγμιαία γραμμική και περιστροφική ταχύτητα του οχήματος, εάν γνωρίζουμε τα σημεία στιγμιαίας περιστροφής ως εξής:

$$Ux = \frac{Vr - Vl}{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}} y\{ICR_v\}$$
$$Uy = \frac{Vr + Vl}{2} - \frac{Vr - Vl}{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}} \left(\frac{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}}{2} \right)$$
$$\omega = \frac{Vr - Vl}{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}}$$

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η γραμμική ταχύτητα δεν παρουσιάζει κάθετη συνιστώσα Ux όταν τα κέντρα περιστροφής βρίσκονται πάνω στον οριζόντιο άξονα XX' δηλαδή $y\{ICR_v\} = 0$.

2.3.3 Ανάστροφη Κινηματική Διαφορικής Οδήγησης Ερπυστριοφόρου.

Αν μετατρέψουμε το πρόβλημα μας στη μορφή $(Vl, Vr) = f(Ux, Uy, \omega)$ μπορούμε να υπολογίσουμε τις γραμμικές ταχύτητες που πρέπει να έχουν οι ερπύστριες για να επιτευχθεί μια επιθυμητή κίνηση το οχήματος.

$$Vl = Uy + X\{ICR_l\} \cdot \omega$$

$$Vr = Uy + X\{ICR_r\} \cdot \omega$$

Δυστυχώς τα ρομπότ διαφορικής οδήγησης περιλαμβάνουν μη-ολονομικούς περιορισμούς έτσι η κάθετη συνιστώσα Ux απουσιάζει από το μοντέλο αφού δεν μπορεί να υπολογιστεί απευθείας. Επίσης παρατηρείται στις σχέσεις του μοντέλου ότι οι ταχύτητες ελέγχου των ερπυστριών είναι ανεξάρτητες του ύψους $y\{ICR\}$ των σημείων περιστροφής.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι οι εξισώσεις του ορθού και ανάστροφου κινηματικού μοντέλου προσομοιώνουν επίσης και την ιδανική περίπτωση τροχοφόρου οχήματος. Συγκεκριμένα εάν το όχημα φέρει τροχούς αντί ερπύστριες και δεν υπάρχει ολίσθηση τότε τα σημεία ICR είναι σταθερά και βρίσκονται στην ευθεία που ενώνει τους τροχούς εάν αυτοί περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στα ερπυστιοφόρα αφού λόγω της πλαγιολίσθησης τα σημεία ICR αλλάζουν δυναμικά και ξεφεύγουν από την γραμμή που ενώνει τα κέντρα των ερπυστριών.

2.3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τα σημεία στιγμιαίας περιστροφής ερπυστριοφόρου.

Η θέση των σημείων **ICR** συνδέεται με την ολίσθηση των ερπυστριών άρα επηρεάζονται από τις δυνάμεις τριβείς που αναπτύσσονται μεταξύ ερπύστριας και εδάφους.

Μια λεία ερπύστρια με σκληρό ελαστικό θα πλαγιολίσθαίνει περισσότερο από κάποια άλλη με μαλακό ελαστικό. Επίσης η ολίσθηση επηρεάζεται άμεσα από το έδαφος και την ταχύτητα του οχήματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ολίσθηση τόσο πιο μακριά είναι τα **ICR** από το όχημα.

Το κέντρο μάζας επηρεάζει σημαντικά τα σημεία **ICR** αφού εάν βρίσκεται πιο κοντά σε μία από τις δύο ερπύστριες τότε αυτή θα ολισθαίνει λιγότερο λόγω μεγαλύτερη πίεσης και το σημείο στιγμιαίας περιστροφής της θα βρίσκεται πιο κοντά στο όχημα από ότι τις άλλης. Εναλλακτικά εάν το κέντρο μάζας βρίσκεται στο μπροστινό ή πίσω μέρος του οχήματος τότε η ολίσθηση μειώνεται αφού η πίεση από το βάρος συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένο σημείο της κάθε ερπύστριας με αποτέλεσμα τα **ICR** να πλησιάζουν στο όχημα και να τοποθετούνται στην ευθεία που ενώνει τα δύο σημεία πίεσης.

2.3.5 Υπολογισμός σημείων στιγμιαίας περιστροφής ερπυστριοφόρου ICR.

Παρατηρώντας τα μοντέλα διαφορικής κινηματικής για ερπυστριοφόρο καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μπορούμε να συμπεριλάβουμε την επίδραση της ολίσθησης υπολογίζοντας μόνο δύο σημεία ICR_l και ICR_r στο χώρο $(y\{ICR_{l,r}\}, x\{ICR_{l,r}\})$ στα οποία υπεισέρχεται και ο παράγοντας ολίσθησης.

Για τον υπολογισμό των αυτών των σημείων υπάρχουν θεωρητικές και πειραματικές μέθοδοι. Μια θεωρητική μέθοδος μπορεί να προσεγγίσει μέσω υπολογισμών των δυνάμεων που ασκούνται στην κίνηση τα σημεία στιγμιαίας περιστροφής. Δημιουργώντας ένα δυναμικό μοντέλο οχήματος και του εδάφους στο οποίο κινείται συμπεριλαμβάνοντας δυνάμεις τριβής, ροπές, τάσεις, ταχύτητες και άλλα στοιχεία που επηρεάζουν την κίνηση, μέσω επαναλαμβανόμενων προσομοιώσεων μπορούμε να μπορούμε να μοντελοποιήσουμε τα κέντρα **ICRs**. Βάση του μοντέλου μπορούμε να υπολογίσουμε τα αντίστοιχα **ICRs** του δικού μας οχήματος.

Μια εύκολη προσέγγιση που δεν περιλαμβάνει μεγάλη υπολογιστική διαδικασία είναι μέσω της πιο κάτω πειραματικής μεθόδου.

Ορίζουμε ένα δείκτη ικανότητας οδήγησης χ ως το αντίστροφο της κανονικοποιημένης απόστασης των σημείων ICR_l και ICR_r ως:

$$\chi = \frac{L}{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}} \quad (0 < \chi \leq 1)$$

Όπου L: η απόσταση των κέντρων των ερπυστριών.

Στην ιδανική περίπτωση ο δείκτης $\chi=1$ δηλαδή τα σημεία περιστροφής τοποθετούνται στο κέντρο κάθε ερπύστριας με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ολίσθηση.

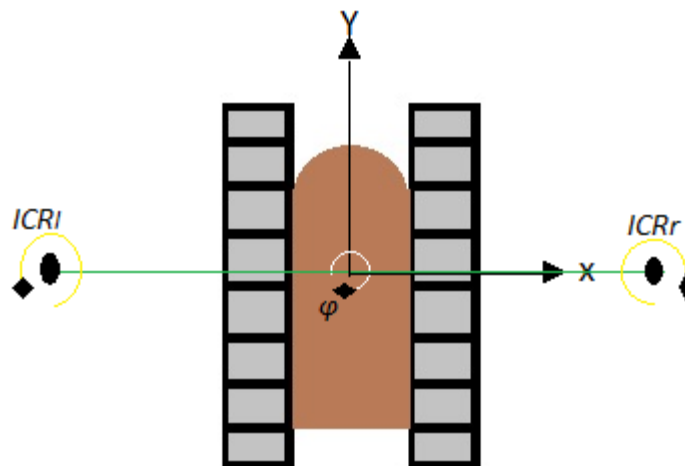
Με την ίδια λογική ορίζουμε ένα κανονικοποιημένο δείκτη εκκεντρότητας e ως εξής:

$$e = \frac{X\{ICR_r\} + X\{ICR_l\}}{X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\}} \quad (0 < e \leq 1)$$

ο δείκτης αυτός ουσιαστικά μας δείχνει πόσο συμμετρικά είναι τα δύο σημεία ICR_r και ICR_l σε σχέση με την απόσταση τους από τον κάθετο άξονα yy' . Ο συντελεστής μηδενίζεται όταν τα δύο σημεία ισαπέχουν από τον κάθετο άξονα.

Το πείραμα έχει ως εξής, θεωρούμε ότι οι θέσει ως προς τον κάθετο άξονα είναι ίσες και αντίθετες ($X\{ICR_r\} = -X\{ICR_l\}$) και βρίσκονται σε απόσταση $x\{ICR_{l,r}\} > L/2$ έξω από το όχημα. Η κατακόρυφη απόσταση θεωρείτε $y\{ICR_{l,r}\} = 0$.

Θέτουμε το ερπυστριοφόρο σε επιτόπια περιστροφή φ με ταχύτητες ερπυστριών ίσες και αντίθετες $|V_l| = |V_r|$ και υπολογίζουμε τον δείκτη χ :



Σχήμα 2.3.5.1_ Υπολογισμός σημείων Στιγμαϊάς Περιστροφής Ερπυστριοφόρου.(ICR)

$$\chi = \frac{L \cdot \varphi}{\int V_r dt - \int V_l dt}$$

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των σημείων $X\{ICR_r\} = -X\{ICR_l\}$ βάση της σχέσης

$$X\{ICR_r\} - X\{ICR_l\} = \frac{L}{\chi}$$

2.4 Πλοήγηση Ρομπότ.

2.4.1 Εισαγωγή στην Πλοήγηση Ρομπότ

Η διαδικασία πλοήγησης του ρομπότ στο χώρο είναι ίσως η σημαντικότερη λειτουργία που επιτελεί. Συνήθως η πλοήγηση του ρομπότ έχει ως στόχο την καθοδήγηση του προς κάποιο επιθυμητό σημείο με την εξασφάλιση της αποδοτικότερης διαδρομής. Για τον σκοπό αυτό το ρομπότ πρέπει να μπορεί να σχεδιάζει την διαδρομή του αποφεύγοντας πιθανά εμπόδια που μπορεί να παρεμβάλλονται μεταξύ της στιγμιαίας θέσης του και του σημείου στο οποίο επιθυμεί να φτάσει. Επίσης η πλοήγηση πρέπει να εξασφαλίζει διαδρομές οι οποίες δεν θέτουν σε κίνδυνο το ρομπότ από εξωτερικούς παράγοντες όπως υψηλές θερμοκρασίες, επικίνδυνες ακτινοβολίες κ.α.

Η πλοήγηση συνδυάζει τις τρεις πιο κάτω υπολειτουργίες:

- 1) Προσδιορισμός του Ρομπότ στο Χώρο (Localization). Η υπολειτουργία αυτή προσδιορίζει την θέση του ρομπότ στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων καθώς και την σχετική του διεύθυνση ως προς ένα σύστημα αναφοράς.
- 2) Χαρτογράφηση Χώρου (mapping). Ανάλογα με τα δεδομένα που έχει διαθέσιμα το ρομπότ για το χώρο που βρίσκεται ανά πάσα στιγμή, μπορεί να κατασκευάσει ένα χάρτη του αγνώστου χώρου.
- 3) Σχεδιασμός Μονοπατιού(Path Planning). Γνωρίζοντας την σχετική του θέση μέσα στον εποπτικό χάρτη που κατασκευάζει, το ρομπότ σχεδιάζει το μονοπάτι που πρόκειται να ακολουθήσει ώστε να φτάσει στον στόχο του.

Ο σχεδιασμός μονοπατιού είναι η βασικότερη υπολειτουργία της διαδικασίας πλοήγησης αφού θα δώσει στο ρομπότ τη βέλτιστη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει για να φτάσει στον στόχο του αποφεύγοντας εμπόδια και επικίνδυνες καταστάσεις.

Ανάλογα με τα δεδομένα της χαρτογράφησης, υπάρχουν δύο είδη σχεδιαστών μονοπατιών:

A) Τοπικοί σχεδιαστές στους οποίους παρέχεται πληροφορία για την γειτονική περιοχή του ρομπότ η οποία είναι ένα τοπικό κομμάτι του συνολικού περιβάλλοντος του ρομπότ. Το ρομπότ σχεδιάζει την διαδρομή του βάση των χαρτογραφικών δεδομένων που συλλέγει και επανασχεδιάζει περιοδικά την διαδρομή-μονοπάτι του καθώς λαμβάνει καινούργια δεδομένα. Οι πιο γνωστοί σχεδιαστές αυτού του είδους είναι ο Bug Algorithm ,Vector Field Histogram VFH και Bubble Band.

B) Καθολικοί Σχεδιαστές στους οποίους παρέχεται εξ αρχής η συνολική χαρτογράφηση του περιβάλλοντα χώρου. Συνήθως σε αυτό το είδος σχεδιάζεται εξ αρχής μόνο ένα μονοπάτι το οποίο ακολουθεί το ρομπότ για να φτάσει στο επιθυμητό σημείο εκτός και εάν προκύψει ανάγκη επανασχεδιασμού λόγω μη σταθμισμένων παραγόντων. Οι πιο γνωστοί σχεδιαστές αυτού του είδους είναι Road Maps, Rapidly-exploring Random Trees -RRT και Cell Decomposition.

Μια μεθοδολογία σχεδιασμού μονοπατιού στην οποία συναντούμε και τα δύο είδη σχεδιαστών, τοπικών και καθολικών είναι η μέθοδος των τεχνητών δυναμικών πεδίων που θα αναλύσουμε στην επόμενη ενότητα.

2.4.2 Σχεδιασμός Μονοπατιού με τη Μέθοδο Τεχνητών Δυναμικών Πεδίων (Artificial Potential Fields).

Τα τεχνητά δυναμικά πεδία προτάθηκαν για πρώτη φορά από τον Oussama Khatib το 1990. Η βασική ιδέα ήταν η δημιουργία ελκτικών και απωστικών δυνάμεων στο περιβάλλον εργασίας του ρομπότ προκειμένου να καθοδηγηθεί στον στόχο του. Η φιλοσοφία στην οποία στηρίχτηκε η τεχνική είναι η δημιουργία ελκτικών δυνάμεων από το επιθυμητό σημείο προορισμού και απωστικών δυνάμεων από τα παρεμβαλλόμενα εμπόδια για αποφυγή των συγκρούσεων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια κομψή λύση στο πρόβλημα σχεδιασμού μονοπατιού, αφού το όλο πρόβλημα μετατρέπεται σε εύρεση του βέλτιστου διαμορφωμένου πεδίου που προκύπτει από την αλληλεπίδραση των δυναμικών πεδίων στον περιβάλλοντα χώρο του ρομπότ. Έτσι αποφεύγεται ο απευθείας σχεδιασμός του μονοπατιού βάση πολύπλοκων αλγοριθμικών τεχνικών και ελαττώνεται ο κίνδυνος αστοχίας του ρομπότ. Η ιδέα των τεχνητών δυναμικών βρήκε ανταπόκριση και από άλλους επιστήμονες οι οποίοι ανέπτυξαν παρεμφερή μεθόδους στηριζόμενοι στην ιδέα αυτή. Για περισσότερες πληροφορίες μπορεί να γίνει αναδρομή στην σχετική βιβλιογραφία.

Αναλυτική Μέθοδος Τεχνητών Δυναμικών Πεδίων.

Για την μοντελοποίηση της μεθόδου κάτω από ένα μαθηματικό υπόβαθρο θεωρούμε ότι το ρομπότ βρίσκεται σε κάποια τυχαία θέση στον χώρο με συντεταγμένες (X_r, Y_r) . Επίσης στο χώρο υπάρχουν η εμπόδια που ασκούν απωστικές δυνάμεις με συντεταγμένες (X_{o_i}, Y_{o_i}) $i=\{1, n\}$ και ο επιθυμητός στόχος που ασκεί ελκτική δύναμη με συντεταγμένες (X_t, Y_t) .

Εάν το ρομπότ θεωρηθεί ως σημειακό σωματίδιο τότε το δυναμικό στο οποίο βρίσκεται συναποτελείται από την επαλληλία του δυναμικού που οφείλεται στα εμπόδια και του δυναμικού που δημιουργεί ο επιθυμητός στόχος.

$$U = U_{att} + \sum_{i=1}^n U_{rep, i}$$

Όπου **Uatt**: το ελκτικό δυναμικό το στόχου

Urep,i=το απωστικό δυναμικό του i-οστού εμποδίου.

Εφόσον πρόκειται για ένα βαθμωτό δυναμικό η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο ρομπότ δίνεται από την σχέση :

$$F = -\nabla \cdot U_{att} + \sum_{i=1}^n \nabla \cdot U_{rep, i}$$

Τεχνητό δυναμικό στόχου.

Όπως αναφέραμε το επιθυμητό σημείο-στόχος πρέπει να δημιουργεί ελκτικό δυναμικό. Έτσι το δυναμικό του στόχου πρέπει να μειώνεται καθώς το ρομπότ πλησιάζει σε αυτό. Η γενική μορφή του είναι: $U_{att} = f(d)$

Όπου d είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ρομπότ και στόχου.

$$d = \sqrt{(X_r - X_t)^2 + (Y_r - Y_t)^2}$$

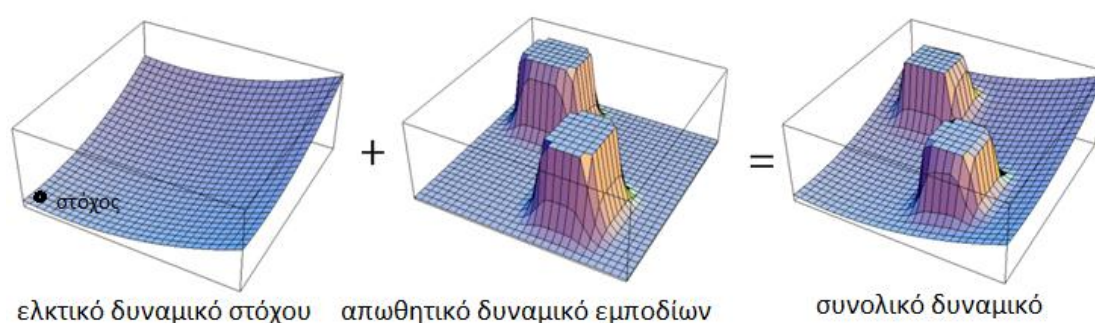
Τεχνητό δυναμικό εμποδίων.

Σε αντίθεση με το δυναμικό στόχου το δυναμικό εμποδίων πρέπει να προκαλεί απωστικές δυνάμεις στο ρομπότ. Καθώς το ρομπότ πλησιάζει κάποιο εμπόδιο πρέπει να αυξάνεται η απωστική δύναμη προκειμένου να αποτραπεί μια ενδεχόμενη σύγκρουση με το εμπόδιο. Έτσι η γενική μορφή του δυναμικού των εμποδίων είναι: $U_{rep} = f(d^{-1})$

Όπου d είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ρομπότ και εμποδίου.

$$d = \sqrt{(X_r - X_o)^2 + (Y_r - Y_o)^2}$$

Από τα πιο πάνω γίνεται κατανοητό ότι το ρομπότ τείνει να κινηθεί προς το τοπικό ελάχιστο της στιγμιαίας του θέσης για να καταφέρει να φτάσει μέσω της διαδρομής που θα ακολουθήσει στο ολικό ελάχιστο που αντικατοπτρίζει τον στόχο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που δεν παρεμβάλλονται εμπόδια στην διεύθυνση του ρομπότ και του στόχου τότε η κίνηση καθορίζεται αυστηρά από το δυναμικό του στόχου ενώ στην περίπτωση που βρίσκεται σε περιοχή εμποδίων τότε τα δυναμικά των εμποδίων θα έχουν μεγαλύτερη επίδραση από αυτό του στόχου. Πιο κάτω παραθέτουμε μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του δυναμικού πεδίου για ένα περιβάλλον με δύο εμπόδια για να γίνει πιο κατανοητή η όλη μέθοδος.



Σχήμα 2.4.2.1_ Μέθοδος Τεχνητών Δυναμικών Πεδίων.

Καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχία της μεθόδου παίζει η επιλογή της κατάλληλης συνάρτησης δυναμικού. Μια λανθασμένη επιλογή της συνάρτησης δυναμικού μπορεί να οδηγήσει σε πιθανά τοπικά ακρότατα και το ρομπότ να αστοχήσει να φτάσει στο στόχο.

Μια συχνά εφαρμοζόμενη συνάρτηση δυναμικού που χρησιμοποιείται για το ελκτικό πεδίο του στόχου είναι :

$$U_{att} = \frac{1}{2} \xi d^2$$

Όπου ξ μια σταθερά που εξαρτάται από το πεδίο και d ευκλείδεια απόσταση μεταξύ στόχου και ρομπότ.

Αντιστοίχως για απωστικό πεδίο των εμποδίων συχνά χρησιμοποιείται η συνάρτηση:

$$U_{rep} = \begin{cases} \frac{1}{2} n \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} \right)^2 & d \leq d_0 \\ 0 & d > d_0 \end{cases}$$

Όπου: n : μια σταθερά που εξαρτάται από το πεδίο

d : ευκλείδεια απόσταση μεταξύ στόχου και ρομπότ

d_0 : η ακτίνα εμβέλειας του πεδίου που παράγει το εμπόδιο

Καταληκτικά μπορούμε να υπολογίσουμε την ασκούμενη δύναμη που προκαλείται από την επαλληλία των δύο πεδίων από την σχέση:

$$F = \nabla \cdot U = \nabla U_{att} + \nabla U_{rep} = \begin{cases} -\xi \cdot d + n \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} \right) \frac{1}{d^2} & d \leq d_0 \\ -\xi \cdot d & d > d_0 \end{cases}$$

2.4.3 Αλγοριθμική τεχνική σύγκλισης συνάρτησης με την μέθοδο καθόδου (descent method).

Η μέθοδος καθόδου είναι μια αριθμητική μέθοδος επίλυσης προβλήματος βελτιστοποίησης βασισμένη σε μια αλγοριθμική τεχνική. Συγκεκριμένα σε αυτή την μέθοδο ένας αλγόριθμος υπολογίζει ένα νέο σημείο X_{i+1} όπου σε σχέση με το προηγούμενο σημείο X_i ισχύει $f(X_{i+1}) < f(X_i)$.

Χαρακτηρίστηκα γνωρίσματα για την αποδοτικότητα του αλγόριθμου είναι α) η γενική σύγκλιση που είναι η ικανότητα του να συγκλίνει στην λύση του προβλήματος και β) η ταχύτητα σύγκλισης που επιτυγχάνει.

Σε μαθηματικό επίπεδο εάν θεωρήσουμε ότι έχουμε μια συνάρτηση $f(x)$ με λύση το σημείο X_t : $f(X_t) = 0$ και ένα αρχικό σημείο X_0 τότε εάν για το εκάστοτε υπολογιζόμενο σημείο του εφαρμοζόμενου αλγορίθμου X_i ισχύει $f(X_{i+1}) < f(X_i) < f(X_0)$ τότε ο αλγόριθμος έχει την ιδιότητα γενικής σύγκλισης. Το πόσο γρήγορα ο αλγόριθμος θα οδηγήσει σε σύγκλιση του σημείου X_i στο σημείο X_t αποτελεί το μέτρο της ταχύτητα σύγκλισης.

Συνήθως η αναδρομική σχέση του αλγορίθμου είναι της μορφής $X_{i+1} = X_i + K_i h(X_i)$ όπου K_i είναι το μήκος βήματος και $h(X_i)$ διεύθυνση πορείας.

Τα βήματα που ακολουθεί ένας τέτοιος αλγόριθμος $\min[f(x): x \in f]$ είναι τα εξής:

1. Επιλογή του αρχικού σημείο X_0 και μηδενισμός δείκτη επαναλήψεων.
2. Υπολογισμός κατεύθυνσης πορείας αντιστρόφως ανάλογα της gradient $h_i = h(X_i)$.
3. Υπολογισμός μήκους βήματος $K_i \geq 0$ τέτοιο ώστε $f(X_i + h_i K_i) = \min_K f(X_i + h_i K_i)$.
4. $X_{i+1} = X_i + h_i K_i$
5. Έλεγχος συνθήκης τερματισμού. Εάν δεν ικανοποιείται επιστροφή στο βήμα 1.

Κριτήρια Τερματισμού.

Τα πιο συνήθη εφαρμοζόμενα κριτήρια τερματισμού είναι:

1. $\epsilon < f(X_{i+1}) - f(X_i) < 0$ δηλαδή η μέθοδος τερματίζεται όταν βελτίωση που επιτυγχάνει η επανάληψη της μεθόδου μειωθεί πέραν μιας σταθεράς ϵ .
2. $|\nabla f(X_i)| < \epsilon$ δηλαδή γίνεται τερματισμός της μεθόδου όταν το τρέχον υπολογιζόμενο σημείο είναι κατά προσέγγιση το επιθυμητό.
3. $|X_{i+1} - X_i| < \epsilon$ εδώ γίνεται τερματισμός της μεθόδου όταν η διαφορά του τρέχοντος υπολογιζόμενου σημείου σε σχέση με το προηγούμενο είναι μικρότερη από κάποια σταθερά τιμή ϵ .

2.4.4 Αλγόριθμος μέγιστης καθόδου Steepest Descent.

Ο αλγόριθμος μέγιστης καθόδου όπως μαρτυρεί και το όνομα του ακολουθεί την μέγιστη κλίση συνάρτησης. Τα βήματα του συνοψίζονται πιο κάτω:

1. Επιλογή του αρχικού σημείο X_0 .
2. Υπολογισμός κατεύθυνσης πορείας αντιστρόφως ανάλογα της gradient $h_i = h(X_i)$.
3. Υπολογισμός μήκους βήματος $K_i \geq 0$ τέτοιο ώστε $f(X_i + h_i K_i) = \min_K f(X_i + h_i K_i)$.
4. $X_{i+1} = X_i + h_i K_i$
5. Έλεγχος συνθήκης τερματισμού. Εάν δεν ικανοποιείται επιστροφή στο βήμα 2.

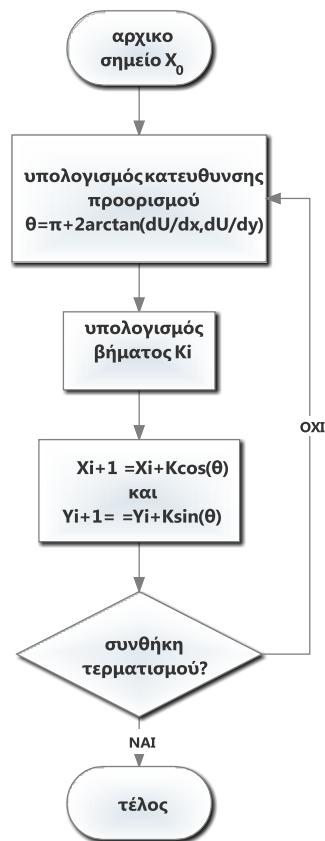
Εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης καθόδου Steepest Descent στην μέθοδο τεχνητών δυναμικών πεδίων για ρομπότ στο δισδιάστατο χώρο.

Θεωρούμε ότι έχουμε ένα ρομπότ το οποίο μπορεί να κινηθεί στο επίπεδο όπου ασκούνται απωστικές δυνάμεις από τα εμπόδια και ελκτικές δυνάμεις από τον επιθυμητό στόχο προορισμού του. Όπως περιγράψαμε στην ενότητα της μεθόδου τεχνητών δυναμικών το δυναμικό μέσα στο οποίο βρίσκεται το ρομπότ δίνεται από την σχέση:

$$U = U_{att} + \sum_{i=1}^n U_{rep,i}$$

Τώρα εάν εφαρμόσουμε τα βήματα της μεθόδου μέγιστης καθόδου ο αλγόριθμος θα έχει την μορφή:

1. Επιλογή του αρχικού σημείο X_0 .
2. Υπολογισμός κατεύθυνσης πορείας $h_i = -\nabla f(X_i) = -\nabla U_{att} + \sum_{i=1}^n \nabla U_{rep}$, i. Εναλλακτικά η γωνία κατεύθυνσης σε πολικές συντεταγμένες δίνεται από την σχέση $\theta = \pi + 2\arctan\left(\frac{dU}{dx}, \frac{dU}{dy}\right)$
3. Υπολογισμός μήκους βήματος $K_i \geq 0$ τέτοιο ώστε $f(X_i + h_i K_i) = \min_K f(X_i + h_i K_i)$. Το μήκος βήματος μπορεί να είναι σταθερό ίσο με K υπό την προϋπόθεση ότι είναι αρκετά μικρό ώστε να μην υπερπηδούνται εμπόδια.
4. $X_{i+1} = X_i + K\cos(\theta)$ και $Y_{i+1} = Y_i + K\sin(\theta)$
5. Έλεγχος συνθήκης τερματισμού. Εάν δεν ικανοποιείται επιστροφή στο βήμα 2.



Σχήμα 2.4.4.1_ Λογικό Διάγραμμα μεθόδου μέγιστης καθόδου (Steepest Descent).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ρομποτικός Εξοπλισμός

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση βασικών στοιχείων που περιλαμβάνει ο ρομποτικός εξοπλισμός. Έγινε μια σκόπιμη επιλογή μεμονωμένων στοιχείων από το σύνολο του εξοπλισμού ώστε ο αναγνώστης να είναι σε θέση να αντιληφθεί τον τρόπο λειτουργίας των διαφόρων στοιχείων που χρησιμοποιούνται στο κατασκευαστικό μέρος. Η περιγραφή και η ανάλυση των υπολοίπων στοιχείων γίνεται στο κατασκευαστικό μέρος.

Τα κεφάλαιο περιλαμβάνει την παρουσίαση τριών βασικών στοιχείων. Το πρώτο είναι οι αισθητήριες διατάξεις που χρησιμοποιούνται σε ρομποτικές εφαρμογές. Γίνεται μια γενική εισαγωγή στα διάφορα είδη αισθητήρων ενώ στην συνέχεια περιγράφουμε με λεπτομέρεια τους αισθητήρες υπερύθρων και υπερήχων. Λόγω της εκτεταμένης αναφοράς σε φωτομετρικά μεγέθη εισάγαμε ένα εμβόλιμο παράρτημα (βλ. *Παράρτημα Β*) όπου επεξηγούμε τα εν λόγω μεγέθη.

Το δεύτερο στοιχείο που παρουσιάζουμε είναι οι μικροελεκτές. Δίνεται μια γενική εικόνα του τι είναι μικροελεκτή, ποιες είναι οι δυνατότητες του και που βρίσκει εφαρμογές. Στη συνέχεια αναφερόμαστε στον μικροελεκτή Arduino εκθέτοντας κάποια ιστορικά στοιχεία που οδήγησαν στην δημιουργία του. Έπειτα παρουσιάζουμε τον μικροελεκτή Arduino UNO επεξηγώντας τα βασικότερα στοιχεία που το συναποτελούν και τις δυνατότητες που μπορεί να μας παρέχει.

Τέλος στο τρίτο μέρος αναφερόμαστε στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Γίνεται μια επεξήγηση της αρχής λειτουργία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών και των βασικών γνωρισμάτων τους. Επιπλέον γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά σε τρία είδη μπαταριών που χρησιμοποιούνται συχνά σε ρομποτικές εφαρμογές και γίνεται μια σύγκριση σχετικά με τις δυνατότητες τους.

3.2 Αισθητήριες Διατάξεις

3.2.1 Αισθητήρια στοιχεία ρομπότ.

Η ικανότητα του ρομπότ να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του επιτυγχάνεται μέσω ενός συνόλου αισθητήριων στοιχείων. Οι αισθητήρες είναι στοιχεία που έχουν μια κατάλληλη ικανότητα η οποία μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μετρούμενο φυσικό μέγεθος. Η ικανότητα αυτή μπορεί να είναι η αντίσταση, η χωρητικότητα ή οτιδήποτε άλλο το οποίο μπορεί να δώσει σε συνδυασμό με κάποια ηλεκτρική διάταξη ένα ηλεκτρικό σήμα, η μέτρηση του οποίου αντανακλά το μέγεθος του αντίστοιχου μετρούμενου φυσικού μεγέθους.

Οι αισθητήρες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους μπορούν να διαχωριστούν σε ενεργούς και παθητικούς. Οι ενεργοί αισθητήρες απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία και συνήθως σε ρομποτικές εφαρμογές εκπέμπουν κάποιο σήμα ηχητικό ή φωτεινό και μέσω της ανάκλασης του προσδιορίζουν την θέση εμποδίων.

Από την άλλη οι παθητικοί αισθητήρες δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία αλλά δημιουργούν ηλεκτρικό σήμα (π.χ μεταβολή τάσης) από μόνοι τους. Λαμβάνουν τα ερεθίσματα από το περιβάλλον τους και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα.

Ανάλογα με τον χώρο που ελέγχουν οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε *proprioceptive* (εσωτερικοί ελεγκτές) και *exteroceptive* (εξωτερικοί ελεγκτές).

Οι *proprioceptive* μετρούν δεδομένα από το ρομπότ όπως τάσεις τροφοδοσίας, ταχύτητες τροχών, θερμοκρασία στοιχείων κ.α. Οι *exteroceptive* λαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον στο οποίο αλληλεπιδρά το ρομπότ.

Οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες σε ρομπότ είναι:

Αισθητήρες Επαφής: μικροδιακόπτες (micro switch, bumpers).

Οπτικοί: εκτίμησης απόστασης με laser (laser range scanners), μονοφθαλμικής ή στεροσκοπικής (monocular/ binocular vision) όρασης, αισθητήρες φωτός, κάμερες.

Ηλεκτρομαγνητικοί: radar (radio detection and ranging)

Μηχανικοί: πίεσης, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, μετρητές κλίσης.

Ακουστικοί: αισθητήρες υπερήχων για εκτίμηση απόστασης (sonar)

Δορυφορικοί: GPS

3.2.2 Δίοδος υπέρυθρης ακτινοβολίας (Infrared Emitting Diode, IR LED).

Το φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας παρουσιάζει τα πιο κάτω χαρακτηριστικά.

Φάσμα Υπέρυθρης Ακτινοβολίας	Μήκος Κύματος	Συχνότητα	Ενέργεια Φωτονίου
	750nm-1mm	405THz-300GHz	1,24mev-1,7ev

Η δίοδος υπέρυθρης ακτινοβολίας λόγω της εσωτερικής της δομής έχει την ικανότητα να παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο φάσμα του υπερύθρου εάν εφαρμοστεί ορθή πόλωση με κατάλληλο δυναμικό στα άκρα της. Εξωτερικά δεν διαφέρει από τα γνωστά Led του εμπορίου, η ακτινοβολία όμως που εκπέμπει λόγω του μήκους κύματος της δεν γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι.



Σχήμα 3.2.2.1_Συνήθεστερη μορφή IR Led.

Συγκεκριμένα το μήκος κύματος που εκπέμπεται από μια δίοδο PN κατά την επανασύνδεση των ζευγών ηλεκτρονίων-οπών, εξαρτάται από το ενεργειακό χάσμα των ημιαγωγικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την ένωση P-N. Προσεγγιστικά η ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτονίων ($h \cdot \nu$) ισούται με το ενεργειακό χάσμα E_g .

$$E_g = E_{\text{φωτονίου}} = h \cdot \nu$$

$$h: \text{σταθερά Planck } 4.135 \ 667 \ 516 \times 10^{-15} \ \text{eV s}$$

$$\nu: \text{συχνότητα ακτινοβολίας}$$

Έτσι η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτός στην PN ένωση θα είναι ανάλογη του ενεργειακού χάσματος των ημιαγωγικών υλικών. Συνήθως οι δίοδοι υπέρυθρων είναι κατασκευασμένες από GaAs αρσενιούχο γάλλιο υλικό χαμηλού ενεργειακού διακένου ούτως ώστε να γίνεται εφικτή η παραγωγή υπέρυθρου φωτός .

Βασικά Χαρακτηρίστηκα Υπέρυθρων Διόδων IR Led.

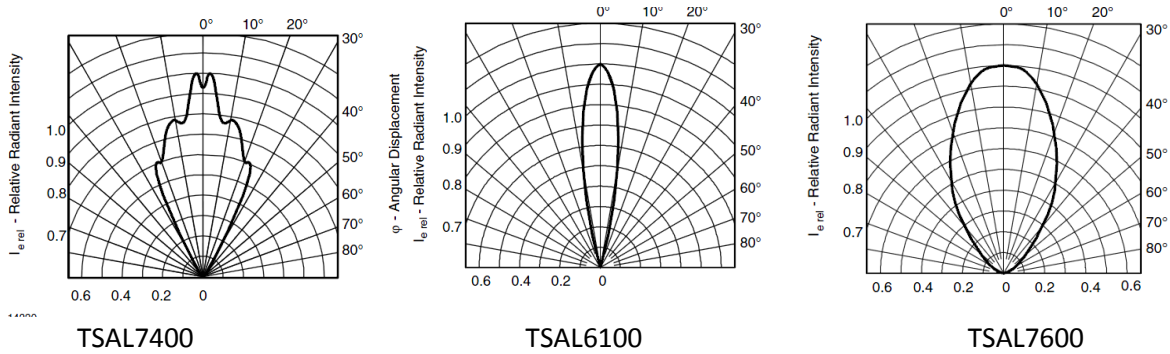
-Σχέση αναλογίας ρεύματος-φωτεινής ενέργειας:

Η παραγόμενη φωτεινή ενέργεια Q που εκπέμπεται από την IR Led είναι ανάλογη του ρεύματος ορθής πόλωσης. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό αφού δίνει την δυνατότητα μετάδοσης αναλογικού σήματος.

-Κατανομή φωτεινής Έντασης I_e .

Κατασκευαστικοί παράγοντες ρυθμίζουν την κατανομή της φωτεινής έντασης στο χώρο. Για κάθε IR Led υπάρχει διάγραμμα κατανομής της Φωτεινής του Έντασης στα φύλλα δεδομένων. Έτσι ανάλογα με την εφαρμογή μπορούμε να επιλέξουμε IR Led με μεγαλύτερη ή μικρότερη ομοιομορφία στην κατανομή της φωτεινής έντασης στο χώρο, στενή ή πιο φαρδιά ζώνη εκπομπής.

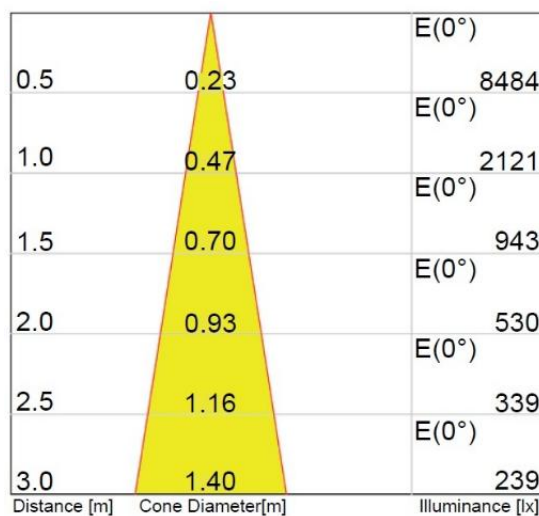
Για να γίνει πιο κατανοητό παρουσιάζουμε τα πιο κάτω πολικά διαγράμματα κατανομής φωτεινής Έντασης I_e της Vishay.



Σχήμα 3.2.2.2_ Πολικά Διαγράμματα Κατανομής Φωτεινής Έντασης I_e .

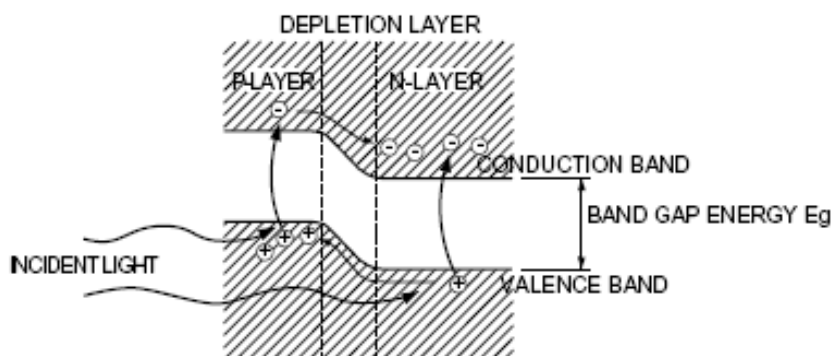
- Σχέση απόστασης-Έντασης Φωτισμού (E)

Η ένταση Φωτισμού ορίζεται ως το πηλίκο της Φωτεινής ροής Φ που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής . Προσεγγιστικά η Ένταση Φωτισμού (E) είναι αντίστροφος ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης.



Σχήμα 3.2.2.3_ Ένταση Φωτισμού (E) σε σχέση με την απόσταση.

3.2.3 Φωτοδίοδος PN & PIN.



Σχήμα 3.2.3.1_ Φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε P-N ημιαγωγό.

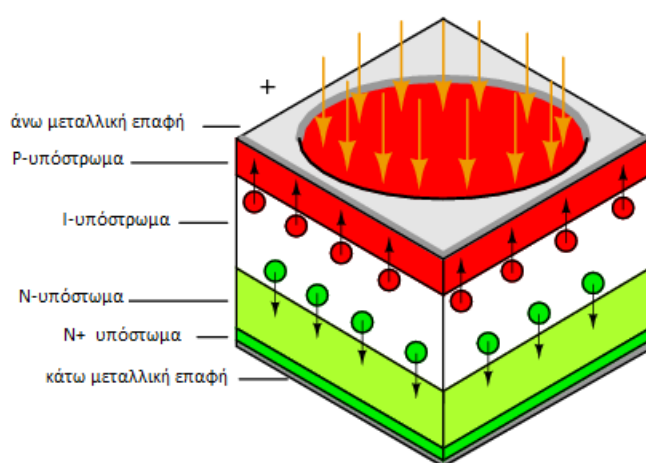
Οι φωτοдиодοι PN είναι χρήσιμοι οπτικοί ανιχνευτές και επιτελούν την αντίστροφη λειτουργία από αυτή των Leds δηλαδή μετατρέπουν το οπτικό σήμα(φως) σε ηλεκτρικό. Αποτελούνται από μια PN ένωση και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγικού υλικού μπορεί να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο δημιουργώντας έτσι ένα θετικό φορέα (οπή) και ένα αρνητικό φορέα (ηλεκτρόνιο). Ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας δημιουργούνται ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων. Οι οπές μετακινούνται προς το P-υπόστρωμα ενώ τα ηλεκτρόνια προς το N-υπόστρωμα. Λόγω αυτής της μετακίνησης ηλεκτρικών φορέων συσσωρεύεται θετικό φορτίο στο P-υπόστρωμα και αρνητικό στο N-υπόστρωμα. Εάν στα άκρα της PN φωτοδιόδου συνδεθεί ένα εξωτερικό κύκλωμα τα ηλεκτρόνια από το N-υπόστρωμα θα αρχίσουν να ρέουν προς το κύκλωμα όπως επίσης και οι οπές του P-υποστρώματος με αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι PIN φωτοдиодοι λειτουργούν όπως και οι PN με την διαφορά ότι σε αυτό τον τύπο παρεμβάλλεται μεταξύ του P-υποστρώματος και N-υποστρώματος ένα I-στρώμα (intrinsic) το οποίο είναι νοθευμένο με P φορείς. Το I-στρώμα παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση με αποτέλεσμα το πεδίο που δημιουργείται στην ένωση να είναι πολύ ισχυρό. Επίσης λόγω της παρεμβολής του I-στρώματος διευρύνεται η ζώνη αραίωσης αυξάνοντας τον αριθμό των ζευγών οπών-ηλεκτρονίων στην ζώνη αυτή και κατ' επέκταση αυξάνεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Επίσης οι PIN φωτοдиодοι μπορούν να ανιχνεύουν με μεγαλύτερη ευαισθησία υπέρυθρη ακτινοβολία κάτι που δύσκολα επιταχύνεται από την PN φωτοδόδο αφού τα μεγάλα μήκη κύματος του υπέρυθρου φωτός διαπερνούν με μεγάλη ευκολία το P-υπόστρωμα κάτι που περιορίζεται με την προσθήκη του I-στρώματος.

Στις εφαρμογές φωτοδιόδων PIN διακρίνουμε δύο τρόπους λειτουργίας ανάλογα με την εξωτερική πόλωση της φωτοδιόδου. Ο πρώτος τρόπος είναι ο φωτοβολταϊκός κατά τον οποίο δεν εφαρμόζεται εξωτερική πόλωση στην φωτοδόδο και το σήμα εξόδου θα παρουσιάζει μια περίπου λογαριθμική σχέση με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Βασικό

μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μειωμένη ανταπόκριση του ανιχνευτή σε μεταβολές του φωτεινού σήματος.

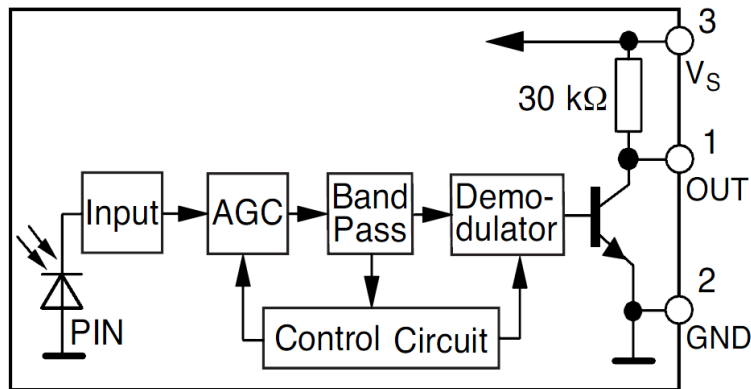
Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιείται η δεύτερη μέθοδος, η φωτοαγωγή κατά την οποία η φωτοδίοδος πολώνεται ανάστροφα με μια εξωτερική πηγή. Σε αυτή την συνδεσμολογία το σήμα εξόδου αποκτά μια γραμμική σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία και βελτιώνεται αισθητά η απόκριση της συχνότητας. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι αυξάνεται το ρεύμα σκότους κάτι που πρέπει να προσεχθεί στην εκάστοτε εφαρμογή. Επίσης πρέπει να προσεχθεί το μέγεθος της ανάστροφης τάσης πόλωσης ούτως ώστε να μην καταστραφεί ο αισθητήρας.



Σχήμα 3.2.3.2_ Εσωτερική δομή PIN φωτοδίοδου.

3.2.4 Ολοκληρωμένος Δέκτης Υπερύθρων (TSOP).

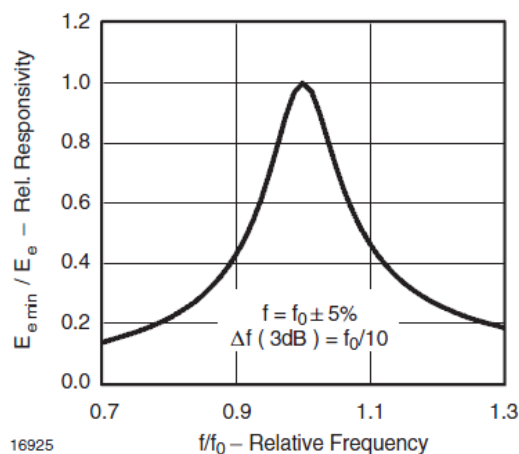
Οι δέκτες υπερύθρων TSOP είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα τηλεχειρισμού με υπέρυθρες. Έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν υπέρυθρη ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας. Μια φωτοδίοδος PIN δημιουργεί ένα σήμα όταν εκπέμπεται προς αυτή υπέρυθρη ακτινοβολία. Το σήμα αυτό ενισχύεται από τον προενισχυτή και περνά από ένα ζωνοπερατό φίλτρο ενώ στη συνέχεια αποδιαμορφώνεται. Έτσι εάν το σήμα έχει την επιθυμητή συχνότητα το κύκλωμα του αποδιαμορφωτή θα δώσει ένα συνεχές ρεύμα με αποτέλεσμα η έξοδος να γίνει μηδέν LOW ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση η έξοδος δίνει λογικό HIGH. Ουσιαστικά έχουμε μια ψηφιακή έξοδο η οποία μπορεί να δώσει απευθείας το σήμα σε κάποιο μικροελεκτηί.



Σχήμα 3.2.4.1_Εσωτερική Δομή Ολοκληρωμένου Δέκτη Υπερύθρων TSOP .

Η ονομασία του κάθε δέκτη από τον κατασκευαστή περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία, τα πρώτα δύο αναφέρονται στο μοντέλο του και τα άλλα δύο στην συχνότητα f_0 για το οποίο είναι σχεδιασμένος. Για παράδειγμα το TSOPXX30 αντιλαμβάνεται ακτινοβολία στα 30KHz.

Το ζωνοπερατό φίλτρο που περιλαμβάνει το ολοκληρωμένο είναι τύπου notch-ακμής δηλαδή παρουσιάζει μέγιστη ευαισθησία στην συχνότητα f_0 για την οποία είναι σχεδιασμένο ενώ για παραπλήσιες συχνότητες το κέρδος μειώνεται απότομα.



Σχήμα 3.2.4.2_Διάγραμμα απόκρισης Ολοκληρωμένου Δέκτη Υπερύθρων TSOP .

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ολοκληρωμένων δεκτών υπερύθρων είναι τα ακόλουθα:

- Μικρό μέγεθος συσκευασίας.
- Δεν επηρεάζεται από την παράσιτη ακτινοβολία του περιβάλλοντος.
- Προστασία από ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές.
- Χαμηλή κατανάλωση.

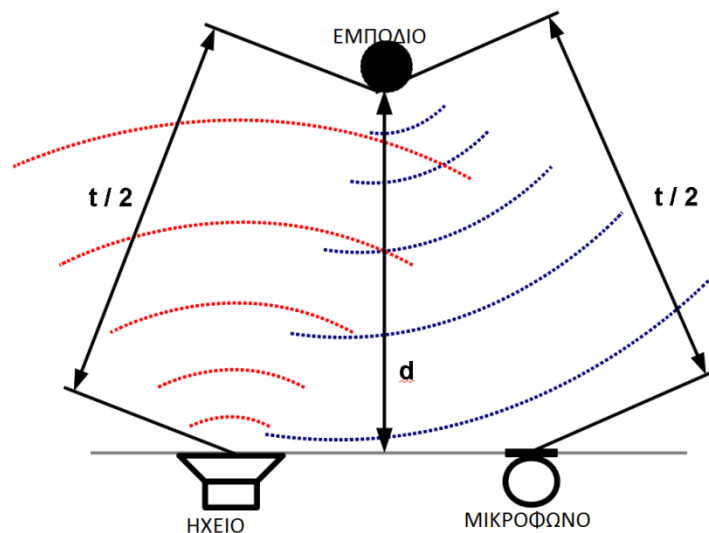
3.2.5 Αισθητήρας υπερήχων.(Ultrasonic sensor)

Ένας ιδιαίτερα χρήσιμος αισθητήρας είναι ο αισθητήρας υπερήχων ο οποίος συχνά χρησιμοποιείται για ανίχνευση εμποδίων σε ρομπότ καθώς και υπολογισμό της απόστασης του εμποδίου.

Ο αισθητήρας υπερήχων αποτελείται από ένα ενεργητικό στοιχείο παραγωγής υπερηχητικού κύματος (ηχείο) και ένα παθητικό στοιχείο αναγνώρισης του εν λόγω κύματος(μικρόφωνο). Με την βοήθεια μικροελεκτή μπορούμε να εξαπολύουμε ριπές ήχου και να μετρούμε το χρόνο (t) που χρειάζεται το ηχητικό κύμα να επιστρέψει μετά από ανάκλαση στη θέση εκπομπής του. Γνωρίζοντας την ταχύτητα (u) του ήχου στο μέσο μετάδοσης μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση (d) του σημείου ανάκλασης από την σχέση:

$$d = (u * t)/2$$

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.



Σχήμα 3.2.5.1_Λειτουργία Αισθητήρα Υπερήχων.

Μέσο διάδοσης	Θερμοκρασία (°C)	Ταχύτητα (m/s)
Αέρας	0	331,5
Αέρας	20	344
Νερό	15	1437
Υδρατμοί	35	402

Πίνακας σχετικής ταχύτητα ήχου.

3.3.Μικροελεκτές.

3.3.1 Εισαγωγή

Οι μικροελεκτές αποτελούν μικρογραφία ενός απλού υπολογιστή και χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στις ρομποτικές εφαρμογές ως συστήματα ελέγχου. Χαρακτηρίζονται από αυτονομία και αξιοπιστία αφού μέσα σε ένα τσιπ είναι συσκευασμένο ολόκληρο το σύστημα που περιλαμβάνει ALU και CPU μονάδες, RAM και ROM μνήμες, μονάδες εισόδου-εξόδου και άλλα συμπληρωματικά κυκλώματα. Σε αντίθεση με του μικροεπεξεργαστές οι μικροελεκτές έχουν πολύ μικρή υπολογιστική ικανότητα για αυτό και χρησιμοποιούνται για εξειδικευμένες εργασίες. Επίσης το χαμηλό κόστος και η μικρή κατανάλωση ισχύος τους καθιστά ιδανικούς για ρομποτικές εφαρμογές και σύγχρονες ηλεκτρικές συσκευές. Στο εμπόριο συναντούμε μια μεγάλη γκάμα μικροελεκτών με κόστος ανάλογο των δυνατοτήτων τους.

Οι κυριότεροι παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα μικροελεκτή είναι:

- α) ο αριθμός των bits που χρησιμοποιεί η αρχιτεκτονική του. Συναντούμε συνήθως 8,16 και 32-bit μικροελεκτές.
- β)ο αριθμός των ακροδεκτών του.
- γ)το χωρητικότητα των μνημών του RAM,ROM,FLASH κ.τ.λ
- δ) η κατανάλωση ισχύος.
- ε) και η ταχύτητα εκτέλεσης των εντολών του.

Οι σημαντικότεροι κατασκευαστές μικροελεκτών σήμερα είναι η ARM, η Atmel, η Epson η Maxim, η Hitachi, η Microchip, η Texas Instrument και η NEC.



Σχήμα 3.3.1.1_ Μικροελεκτές από τις εταιρείες Atmel, Maxim και Texas Instruments.

3.3.2 Arduino-Ιστορικά στοιχεία.

Το 2005 εμφανίζεται στην Ivrea της Ιταλίας μια συσκευή με το προσωνύμιο Arduino που αντιστοιχεί σε ένα ιταλικό όνομα και σημαίνει ισχυρός φίλος. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία με την προσαρμογή κατάλληλων κυκλωμάτων στους ακροδέκτες της μπορεί να ελέγχει και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον.

Αυτό που κάνει το Arduino να ξεχωρίζει και να εξαπλώνεται με γοργούς ρυθμούς είναι η ευελιξία που παρουσιάζει, αφού δίνει την δυνατότητα στους σχεδιαστές hardware να προσαρμόζουν τα κυκλώματα τους σε αυτό χωρίς να είναι υποχρεωμένοι να σχεδιάζουν περίπλοκες διατάξεις με πολλά ηλεκτρονικά στοιχεία. Επίσης το γεγονός ότι περιλαμβάνει προγραμματιζόμενο μικροελεκτή γλυτώνει του κατασκευαστές από χρονοβόρες διαδικασίες

αποσυγκλίσεων και τροποποιήσεων των ηλεκτρονικών διατάξεων σε περιπτώσεις αλλαγής της λειτουργία του συστήματος αφού κάτι τέτοιο γίνεται πολύ εύκολα με αλλαγή του προγραμματιστικού κώδικα.

Η κατασκευαστική εταιρία του Arduino το διαθέτει στην αγορά ως μια ανοικτού λογισμικού (open-source) πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Το Arduino βρίσκει ανταπόκριση σε ένα ευρύ κοινό αφού χρειάζεται μόνο στοιχειώδεις γνώσεις προγραμματισμού και ηλεκτρονικής για να ξεκινήσει κάποιος να δημιουργεί εφαρμογές πάνω σε αυτό, αυξάνοντας σιγά σιγά την πολυπλοκότητα των εφαρμογών του.

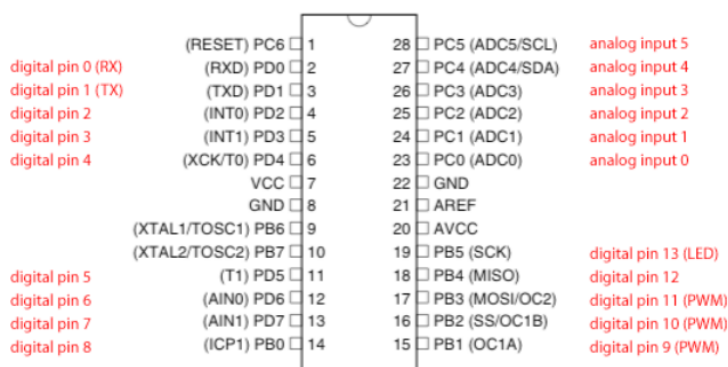
Το Arduino αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

A) το *hardware* που συνθέτει η αναπτυξιακή πλακέτα Arduino πάνω στην οποία προσαρμόζει ο κατασκευαστής τα επιμέρους κυκλώματα του. Ουσιαστικά αποτελείται από το chip(ολοκληρωμένο κύκλωμα) του μικροελεκτή καθώς και βοηθητικά κυκλώματα όπως σταθεροποιητή τάσης, θύρες επικοινωνίας με τον υπολογιστή κ.α

B) και το *software* Arduino IDE που είναι πρόγραμμα εγκατεστημένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μέσω του IDE γράφεται σε γλώσσα Wiring μια παραλλαγή της C/C++ το πρόγραμμα για λειτουργία του κυκλώματος, γίνεται αποσφαλμάτωση και φορτώνεται ένα sketch(μικρό πρόγραμμα) στο μικροελεκτή της πλακέτας.

3.3.3 Arduino UNO

Η δημοφιλέστερη έκδοση arduino είναι το UNO που βασίζεται στο ολοκληρωμένο ATmega328, έναν 8-bit μικροελεκτή RISC ο οποίος χρονίζει στα 16MHz.



Σχήμα 3.3.3.1 Αντιστοιχίση ακροδεκτών μικροελεκτή ATmega328 με του ακροδέκτες του Arduino.

To ATmega328 περιέχει μνήμη τριών τύπων:

Flash memory: από τα 32KB της flash μνήμης τα 2KB καταλαμβάνονται από τον bootloader που είναι προεγκατεστημένος από τον κατασκευαστή και είναι αναγκαίος για την εγκατάσταση των προγραμμάτων που φορτώνονται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στον μικροελεκτή μέσω της USB θύρας. Στα υπόλοιπα 30KB αποθηκεύονται τα προγράμματα του σχεδιαστή αφού πρώτα μεταγλωττιστούν από τον compiler του Arduino IDE.

SRAM memory (static random access memory): όπως και σε ένα υπολογιστή η μνήμη τυχαίας προσπέλασης χρησιμοποιείται για να φορτώνει τις παραμέτρους του προγράμματος, μεταβλητές, πίνακες σταθερές κτλ που χρησιμοποιούνται κατά το runtime. Το ATmega328 διαθέτει μνήμη SRAM 2048 bytes.

EEPROM memory (electrically erasable programmable read-only memory): η συγκεκριμένη μνήμη μόνο για ανάγνωση είναι μία byte addressable μνήμη πράγμα που απαιτεί ειδική βιβλιοθήκη ώστε να μπορέσει κάποιος να έχει πρόσβαση σε αυτή. Επίσης είναι πολύ μικρή 1024bytes και χρησιμοποιείται σπάνια και για πολύ εξειδικευμένες εργασίες.

FTDI

Λόγω του ότι το ATmega328 δέχεται δεδομένα μόνο σε σειριακή μορφή υπάρχει στην πλακέτα arduino ένα ολοκληρωμένο Chip FDTI το οποίο μετατρέπει τα δεδομένα παράλληλης μεταφοράς της USB θύρας σε σειριακή μορφή.

Pins Πλακέτας Arduino

Digital PINs (I/O): 14 ψηφιακές θύρες I/O (εισόδου/εξόδου). Ανάλογα με τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή οι θύρες αυτές μπορούν να εργαστούν είτε ως θύρες εισόδου είτε ως θύρες εξόδου.

Οι θύρες με την αρίθμηση 3,5,6,9,10 και 11 μπορούν να λειτουργούν και ως ψευδοαναλογικές θύρες εξόδου, παράγοντας ένα παλμό μεγάλης συχνότητας και μέσης τιμής ίσης με την προσδοκώμενη.

Analog PINs: 6 αναλογικές θύρες που χρησιμοποιούν την τεχνική ADC (analog to digital converter) για την βαθμονόμηση της τάσης. Μπορούν να μετρήσουν τάσεις από 0V έως 5V οι οποίες κβαντοποιούνται σε μια κλίμακα από 0 έως 1023 δηλαδή απεικονίζονται σε ένα 10-bit αριθμό. Σε περίπτωση που εισάγουμε μια τάση V_{ref} στον ακροδέκτη AREF τότε η κβαντοποίηση υπολογίζεται από 0V έως V_{ref} .

Power PINs: Οι θύρες τροφοδοσίας αποτελούνται από:

Το **Pin Reset** εάν γειωθεί με οποιοδήποτε από τα τρία GND τότε το πρόγραμμα που είναι φορτωμένο επανεκκινεί.

Το **Pin 3,3V** μπορεί να τροφοδοτεί ηλεκτρονικές διατάξεις με σταθερή τάση 3,3V και ρεύμα που δεν ξεπερνά τα 150mA.

Το **Pin 5V** μπορεί να τροφοδοτεί ηλεκτρονικές διατάξεις με σταθερή τάση 5V και ρεύμα μέχρι 500mA αν η τροφοδοσία γίνεται με USB καλώδιο ή 300mA αν η τροφοδοσία γίνεται μέσω του ρυθμιστή τάσης δηλαδή με εξωτερική τροφοδοσία.

Τα **2 GND** είναι γειώσεις.

Το **Pin Vin** σε συνδυασμό με το διπλανό του GND μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογή εξωτερικής τροφοδοσίας ενώ στην περίπτωση που το arduino τροφοδοτείται από το 2.1mm βύσμα τότε το Vin Pin παρέχει την πλήρη τάση της τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλες διατάξεις.

Το Pin IOREF χρησιμοποιείται για να ενημερώνει συνδεδεμένες πλακέτες Arduino την ακριβή τάση που παρέχεται από το κύκλωμα ρύθμισης τάσης ή τη USB τροφοδοσία.

Voltage regulator:

Ένα κύκλωμα ρύθμισης τάσης ρυθμίζει την τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας ώστε να παρέχεται στην πλακέτα σταθερή τάση 5V.

USB Jack:

Χρησιμοποιείται για την σύνδεση του καλωδίου USB που μεταφέρει δεδομένα από και προς τον ηλεκτρονικό υπολογιστή

Power Jack:

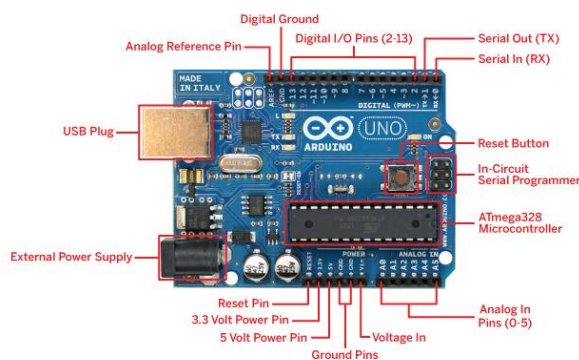
μπορεί να τροφοδοτήσει την πλακέτα με μια πηγή σταθερής τάσης. Ο κατασκευαστής συνιστά η τάση της πηγής να κυμαίνεται από 7V-12V.

Reset Button:

για χάριν ευκολίας με το πάτημα του συγκεκριμένου πιεστικού μικροδιακόπτη επανεκκινά το πρόγραμμα που είναι φορτωμένο.

ICSP for ATmega:

Σε περίπτωση που θέλεις να φορτώσεις δεδομένα σε σειριακή μορφή παρακάμπτοντας τον bootloader της πλακέτας μπορείς να χρησιμοποιήσεις τους συγκεκριμένους ακροδέκτες.



Σχήμα 3.3.3.2_ Arduino Uno R3.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η δυνατότητα ανοικτού λογισμικού στην πλατφόρμα Arduino επέφερε την βελτίωση του τόσο σε επίπεδο hardware όσο και σε επίπεδο software. Έτσι συνεχώς στην αγορά κυκλοφορούν βελτιωμένες και αναβαθμισμένες εκδόσεις των διαφόρων αναπτυξιακών πλακετών τύπου Arduino και ειδικότερα του Arduino UNO που είναι και η πιο δημοφιλής έκδοση.

3.4 Μπαταρίες.

3.4.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία Μπαταριών.

Όπως είναι ευρέως γνωστό η αρχή λειτουργίας των μπαταριών βασίζεται στην μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και συγκεκριμένα στην δημιουργία δυναμικού από ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη μεταξύ δύο στοιχείων(ηλεκτροδίων). Η διαμόρφωση των δύο ηλεκτροδίων μαζί με τον ηλεκτρολύτη συνθέτουν ένα κύτταρο μπαταρίας ή αλλιώς μια κυψελίδα(cell) .

Σε κάθε κυψελίδα το ένα ηλεκτρόδιο ονομάζεται άνοδος και είναι δότης ηλεκτρονίων ενώ το άλλο ονομάζεται κάθοδος και είναι δέκτης ηλεκτρονίων. Η άνοδος είναι κατασκευασμένη από αρνητικά φορτισμένο στοιχείο όπως γραφίτη, κάδμιο, άνθρακα κ.α ενώ η κάθοδος από θετικά φορτισμένο στοιχείο που είναι συνήθως κάποιο οξείδιο μετάλλου. Η ονομασία των μπαταριών δίνεται συνήθως βάση του υλικού με το οποίο είναι κατασκευασμένα τα ηλεκτρόδια των κυψελίδων της, έτσι για παράδειγμα μια μπαταρία νικελίου καδμίου Ni-Cd έχει ηλεκτρόδιο ανόδου από κάδμιο και ηλεκτρόδιο καθόδου από οξείδια του νικελίου. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως σε υγρή μορφή και περιέχει διαλυμένα άλατα, οξείδια ή αλκάλια για ενίσχυση της ιοντικής αγωγιμότητας.

Μια μπαταρία μπορεί να αποτελείται από μια ή περισσότερες κυψελίδες συνδεδεμένες σειριακά ή παράλληλα. Με την σύνδεση των στοιχείων σε σειρά επιτυγχάνεται αύξηση της τάσης ενώ με την παράλληλη σύνδεση των στοιχείων αύξηση της χωρητικότητας. Ανάλογα με την τάση και τη χωρητικότητα που επιθυμείται να έχει η μπαταρία μπορεί να γίνει συνδυασμός παράλληλης με σειριακή σύνδεση.

Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Μπαταρίας.

Είναι σημαντικό να επισημάνονται κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα σε κάθε μπαταρία για να μπορούμε να αποφανθούμε εάν ικανοποιεί τις ανάγκες της εφαρμογής στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

- Ονομαστική Τάση: Σε κατάσταση πλήρους φόρτισης η μπαταρία τροφοδοτεί το φορτίο με τάση η οποία πέφτει σταδιακά με την εκφόρτιση της.
- Χωρητικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας: αυτή η παράμετρος υποδεικνύει την ενέργεια που μπορεί να διαθέσει η μπαταρία στο φορτίο. Η μονάδα μέτρησης της είναι οι αμπερωρες (Ah). Για παράδειγμα μια μπαταρία 20Ah μπορεί να τροφοδοτεί ένα φορτίο στην ονομαστική της τάση με 20 A για μια ώρα ή εναλλακτικά να τροφοδοτεί με 1A για 20 ώρες.
- Εσωτερική Αντίσταση: Λόγω της εσωτερικής δομής της μπαταρίας ως στοιχείο προβάλλει κάποια ηλεκτρική αντίσταση που οφείλεται σε εσωτερικές συνδέσεις, αντίσταση πλακών ηλεκτρολύτη κ.α.
- Ενεργειακή Πυκνότητα Μάζας(Wh/kg): παράμετρος που εκφράζει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα μάζας.
- Ενεργειακή πυκνότητα Όγκου: παράμετρος που εκφράζει την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου.
- Βαθμός Απόδοσης η : είναι το ποσοστό που ισούται με το πηλίκο της απορροφημένης από την μπαταρία ενέργειας κατά την φόρτιση δια την ενέργεια που προσδίδει η μπαταρία στο φορτίο.

3.4.2 Επαναφορτιζόμενες Μπαταρίες.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τρία πολύ γνωστά είδη επαναφορτιζόμενων μπαταριών που χρησιμοποιούνται για τροφοδοσία σε εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης όπως βιντεοκάμερες, ραδιόφωνα, φορητούς υπολογιστές, τηλεκατευθυνόμενα αυτοκινητάκια κ.α. Αυτές οι μπαταρίες είναι α) νικελίου-καδμίου NiCd β) νικελίου μετάλλων υβριδίου NiMH και γ) ιόντων λιθίου Li-ion.

Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου.(NiCd)

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου είναι ένας από τους παλαιότερους τύπους επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, που συναντούμε συχνά σε ηλεκτρικά εργαλεία, φορητές οικιακές συσκευές και τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα. Έχουν ονομαστική τάση κυψελίδας 1,2V και συχνά τοποθετούνται σε συστοιχίες σε μια κοινή συσκευασία για την δημιουργία μπαταρίας με ονομαστική τάση πολλαπλάσια του 1,2V.

Είναι μπαταρίες με μεγάλη διάρκεια ζωής, διάρκεια η οποία υπολογίζεται ανάλογα με τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης αλλά και της συνολικής περιόδου λειτουργίας τους. Υπό κανονικές συνθήκες οι μπαταρίες αυτές μπορούν να φτάσουν και τους 2000 κύκλους ανάλογα με την ποιότητα που προσδίδει ο κατασκευαστής αλλά και με την προϋπόθεση της σωστής χρήσης.

Λέγοντας σωστή χρήση εννοούμε το σύνολο των ενεργειών που πρέπει να γίνονται ή να αποφεύγονται προκειμένου να επιτυγχάνεται όσο το δυνατότερο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στην μπαταρία. Συνήθως αυτές οι ενέργειες εστιάζονται στο τρόπο φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των μπαταριών NiCd είναι το φαινόμενο μνήμης που παρουσιάζουν. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται όταν ο χρήστης φορτίζει την μπαταρία σε άτακτα χρονικά διαστήματα διακεκομμένα και χωρίς να έχει αποφορτιστεί εντελώς. Οι λανθασμένες αυτές ενέργειες έχουν ως αποτέλεσμα την μερική αλλοίωση της εσωτερικής δομής της μπαταρίας που οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας, έτσι η μπαταρία αδειάζει γρηγορότερα.

Για αποφυγή του φαινομένου μνήμης πρέπει η μπαταρία να αδειάζει εντελώς πριν την φόρτιση και να αφήνεται να φορτιστεί πλήρως πριν αποσυνδεθεί από το φορτιστή. Επίσης δεν πρέπει να μένει στο φορτιστή μετά την φόρτιση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η φόρτιση πρέπει να γίνεται με σταθερό ρεύμα υποδεκαπλάσιο της χωρητικότητας της ενώ η τάση ανά στοιχείο πρέπει να ξεπερνά το 1,35Volt. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση της μπαταρίας κατά την διαδικασία της φόρτισης.

Τέλος να αναφέρουμε ότι η αποθήκευση της μιας τέτοιας μπαταρίας πρέπει να γίνεται σε κρύους χώρους στο 40% της χωρητικότητας της σε ενέργεια, με περίοδο φύλαξης μέχρι και 5 χρόνια. Όταν μπαταρία φτάσει στο τέλος ζωής της πρέπει να ανακυκλώνεται γιατί περιέχει τοξικά στοιχεία.

Μπαταρίες Νικελίου Μετάλλων Υβριδίου (NiMH)

Οι μπαταρίες Νικελίου Μετάλλων Υβριδίου ήρθαν να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες Νικελίου Καδμίου αφού χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας. Έχουν ονομαστική τάση 1,25V και πολλές φορές τοποθετούνται σε συστοιχίες μέσα σε μια κοινή συσκευασία.

Χαρακτηρίζονται και αυτές από το φαινόμενο μνήμης αλλά δεν παρουσιάζουν την ίδια ευαισθησία με αυτές του νικελίου καδμίου ενώ το κόστος τους είναι ελαφρός υψηλότερο. Κατά την διαδικασία της φόρτισης δεν χρειάζεται να έχουν αποφορτιστούν εντελώς οι μπαταρίες αλλά αρκεί να πέσουν στο 80% της συνολικής του χωρητικότητας τους. Το ρεύμα φόρτισης είναι σταθερό, της τάξης του 1/10 της συνολικής χωρητικότητας για κατάσταση αργής φόρτισης και μεγαλύτερο του 1/4 για κατάσταση γρήγορης φόρτισης. Η τάση φόρτισης πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης της μπαταρίας.

Αποθηκεύονται σε χαμηλή θερμοκρασία στο 40% της χωρητικότητας τους σε ενέργεια. Σε περίοδο αδρανείας αποφορτίζονται πολύ γρήγορα συγκριτικά με άλλα είδη. Καλό είναι να ανακυκλώνεται γιατί περιέχει τοξικά στοιχεία.

Γενικά είναι ένα αξιόπιστο είδος μπαταρίας με ικανοποιητικές επιδόσεις και μεγάλη αντοχή σε μηχανικές και ηλεκτρικές καταπονήσεις.

Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-ion)

Οι μπαταρίες Ιόντων Λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές κινητά τηλέφωνα και γενικά σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη διάρκεια στη μπαταρία. Συγκριτικά με τους δύο άλλους τύπους μπαταριών που αναφέραμε έχουν την μεγαλύτερη χωρητικότητα και δεν αντιμετωπίζουν φαινόμενα μνήμης.

Η ονομαστική τάση των στοιχείων τους είναι 3,7Volt και προσφέρονται σε περιορισμένα μεγέθη-χωρητικότητες. Σε συσκευασίες μπαταριών Li-ion υπάρχει ενσωματωμένο κύκλωμα προστασίας το οποίο διακόπτει το κύκλωμα όταν η τιμή του ρεύματος ξεπεράσει μια προκαθορισμένη τιμή, σε κατάσταση φόρτισης ή εκφόρτισης. Είναι αναγκαίο ένα τέτοιο κύκλωμα γιατί σε ένα ενδεχόμενο βραχυκύκλωμα εγκυμονεί κινδύνους έκρηξης της μπαταρίας.

Μειονέκτημα των μπαταριών αυτών είναι ότι δεν μπορούν να φορτιστούν με ρεύμα μεγαλύτερο του 2C. Για την φόρτιση τους χρειάζονται ειδικοί φορτιστές που αυξομειώνουν την τάση και το ρεύμα φόρτισης ανάλογα με το ποσοστό φόρτισης. Κάτι που πρέπει να προσεχθεί είναι να μην εκφορτίζεται περισσότερο από το 80% της ονομαστικής της τάσης γιατί υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταστροφής των στοιχείων της μπαταρίας.

Σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους μπαταριών, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι φιλικές προς το περιβάλλον καλό όμως θα είναι να ανακυκλώνονται.

Για να δώσουμε μια συγκριτική εικόνα των τεχνικών χαρακτηριστικών των τριών τύπων μπαταριών που περιγράψαμε παραθέτουμε τον πιο κάτω πίνακα με ενδεικτικές τιμές για κάθε είδος.

	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion
Ενεργειακή πυκνότητα μάζας (wh/Kg)	30	100	400
Αυτόεκφόρτιση(%/μήνα)	10	20	1
Φαινόμενο Μνήμης	NAI	NAI	OXI
Θερμική Ισχύς (κλίμακα 1-10)	8	6	3
Αποδοτικότητα η %	72	82	95
Ονομαστική Τάση Κυψέλης	1,2	1,25	3,7

Πίνακας Συγκρίσεως τεχνικών χαρακτηριστικών για τις μπαταρίες Ni-Cd, Ni-Mh και Li-ion.

ΜΕΡΟΣ Β
(ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΟΜΠΟΤ

4.1 Εισαγωγή.

Τα κινούμενα ρομπότ που χρησιμοποιούν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την τροφοδοσία τους αντιμετωπίζουν το πρόβλημα ότι κάποια στιγμή η μπαταρία τους θα εξασθενήσει και θα χρειαστεί φόρτιση. Προκειμένου το ρομπότ να είναι πλήρως αυτόνομο πρέπει να έχει την δυνατότητα να φορτίζει την μπαταρία του από μόνο του. Μέσα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής προσεγγίζουμε το πιο πάνω πρόβλημα και προτείνουμε μια κομψή λύση μέσα στα όρια των κατασκευαστικών μας δυνατοτήτων και των επιστημονικών μας γνώσεων.

Η ρομποτική εφαρμογή μας περιλαμβάνει την κατασκευή ενός αυτόνομου ρομπότ που έχει την ικανότητα να εντοπίζει την βάση φόρτισης να πλοηγείται προς αυτή και αφού συνδεθεί με αυτή να φορτίζει την μπαταρία τροφοδοσίας του. Η συνολική εφαρμογή αποτελείται από δύο ιδιοκατασκευές , ένα αυτόνομο ερπυστριοφόρο ρομπότ και μια βάση φόρτισης. Τα δύο αυτά στοιχεία αλληλεπιδρούν με στόχο να επιτευχθεί η βασική λειτουργία της παρούσας ρομποτικής εφαρμογής.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε το αυτόνομο ερπυστριοφόρο ρομπότ το οποίο για χάριν ευκολίας λόγου θα αναφέρεται ως ρομπότ. Θα κάνουμε μια λεπτομερή περιγραφή των στοιχείων υλικού που περιλαμβάνει όπως αισθητήριες διατάξεις κινητήρια στοιχεία, κυκλώματα τροφοδοσίας και μηχανολογικά στοιχεία. Θα εξεταστεί ο ρόλος όλων των κυκλωμάτων και ο τρόπος που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Ως μικροελεκτήρας για το ρομπότ έχει επιλεγεί το Arduino UNO που περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έχει γίνει επιλογή της πιο πρόσφατης έκδοσης του μοντέλου, Arduino UNO R3. Σε όλη την έκταση του κεφαλαίου περιγράφουμε τον τρόπο που συνδέονται οι ακροδέκτες του μικροελεκτήρα με τα υπόλοιπα κυκλώματα. Στόχος είναι να αποκτήσει ο αναγνώστης μια ξεκάθαρη εικόνα για το ρομποτικό εξοπλισμό και να κατανοήσει την σκοπιμότητα της επιλογής των εν λόγω στοιχείων. Για τον σκοπό αυτό ενσωματώσαμε στην περιγραφή ένα σύνολο από κυκλωματικά σχεδιαγράμματα καθώς και αρκετές φωτογραφίες του ρομπότ μας.

4.2 Μηχανολογικό Μέρος-Σασί του Ρομπότ.

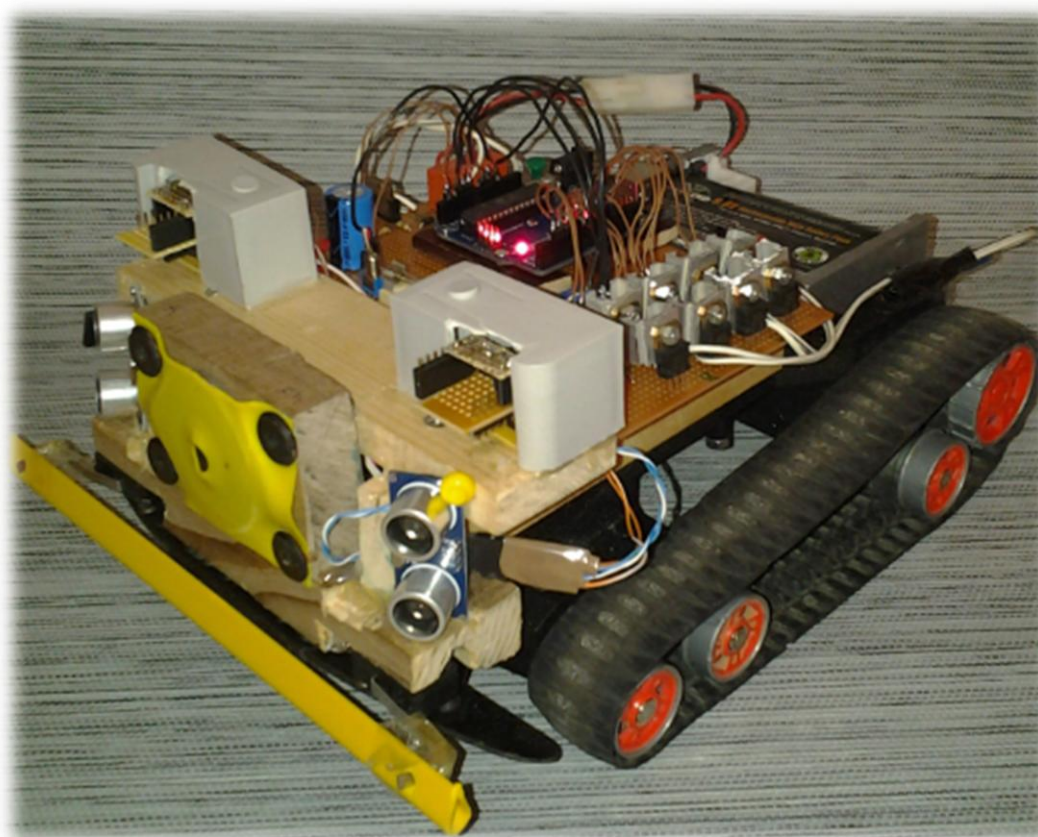
Για σασί του ρομπότ χρησιμοποιήθηκε το τηλεκατευθυνόμενο ερπυστριόφορο μοντέλο της RadioShack με το προσωνύμιο BED LAM. Από το τηλεκατευθυνόμενο αφαιρέθηκαν τα περιττά καπάκια και ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός αφήνοντας μόνο τα gearbox με τους δύο κινητήρες δίνοντας μας την δυνατότητα να το οδηγήσουμε με εξωτερικό σύστημα.

Στη συνέχεια προσαρμόστηκε στο σασί ξύλινος εξωσκελετός για την προσαρμογή πλακετών, αισθητήρων και των υπολοίπων στοιχείων του αυτοκινούμενου μέρους. Στο ρομπότ μπορούμε να διακρίνουμε τρεις ζώνες.

Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει τους αισθητήρες κίνησης και τον διαμεσολαβητή φόρτισης και για πρακτικούς λόγους βρίσκεται στο μπροστινό μέρος.

Στην δεύτερη ζώνη διακρίνουμε την πλακέτα με τα ηλεκτρονικά στοιχεία και τον επεξεργαστή Arduino. Πρόκειται για το πιο εύθραυστο κομμάτι για αυτό έχει θωρακιστεί στο κέντρο και επίσης βρίσκεται σε κάποιο ύψος από τους κινητήρες ώστε να μην υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Τέλος στο τρίτο μέρος έχουμε την επαναφορτιζόμενη μπαταρία κάτω από την οποία βρίσκονται οι κινητήρες του ρομπότ. Τα στοιχεία έχουν τοποθετηθεί σκόπιμα με αυτή την διάταξη αφενός για πρακτικούς λόγους αλλά και αφετέρου για να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη κατανομή στο βάρος ούτως ώστε να περιοριστούν τα φαινόμενα ολίσθησης.



Σχήμα 4.2.1 _ Το ερπυστριόφορο ρομπότ με την ικανότητα αναζήτησης της βάσης φόρτισης του.

4.3 Αισθητήριες Διατάξεις.

4.3.1 Εντοπισμός Βάσης Φόρτισης με αισθητήρες υπέρυθρων.

Για τον εντοπισμό της βάσης χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υπέρυθρου φωτός. Η λογική την οποία ακολουθήσαμε είναι όταν το ρομπότ μπει στην διαδικασία αναζήτησης της βάσης φόρτισης, να εντοπίζει ένα υπέρυθρο σήμα που εκπέμπεται από την βάση φόρτισης και να κατευθύνεται προς αυτή. Για τον σκοπό αυτό τοποθετήσαμε LED υπέρυθρων στην βάση φόρτισης ως πομπούς και δύο φωτοδιόδους-PIN στο ρομπότ ως δέκτες.

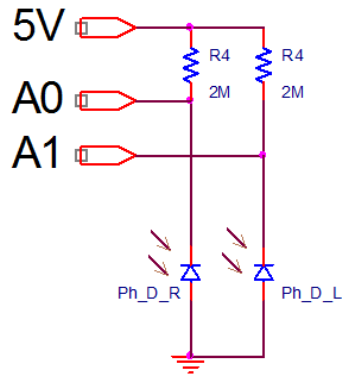
Τοποθετώντας τις φωτοδιόδους-PIN στο μπροστινό μέρος μια δεξιά και μια αριστερά του ρομπότ καταφέραμε να ευθυγραμμίσουμε το ρομπότ με την βάση φόρτισης αφού εάν η μια από τις δύο λάμβανε πιο ισχυρό σήμα τότε το ρομπότ εκτελούσε επιτόπια περιστροφή με κατεύθυνση το ισχυρό σήμα μέχρις ότου τα σήματα που θα λαμβάνουν οι δύο δέκτες να ισοσταθμιστούν.

Το κύκλωμα που χρησιμοποιήσαμε είναι το πιο κάτω. Οι φωτοδιόδοι-PIN είναι πολωμένοι ανάστροφα για καλύτερες επιδόσεις ενώ το σήμα λαμβάνεται στην κάθοδο τους όπως φαίνεται στο κύκλωμα. Με αυτό τον τρόπο όταν δεν προσπέφτει ακτινοβολία πάνω στις σε φωτοδιόδο-PIN το σήμα που λαμβάνουμε στην αναλογική είσοδο του Arduino θα είναι μέγιστο αφού δεν θα δημιουργείται ροή ρεύματος διαμέσου της φωτοδιόδου. Όταν προσπέφτει ακτινοβολία πάνω στη φωτοδιόδο-PIN τότε τα φωτόνια δημιουργούν φορείς μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος με αποτέλεσμα την ροή ρεύματος διαμέσου της φωτοδιόδου-PIN και ως εκ τούτου βύθιση του κόμβου της αναλογικής εισόδου. Όσο πλησιάζουμε την βάση η ένταση της ακτινοβολίας μεγαλώνει ,με αποτέλεσμα περισσότερο ρεύμα να ρέει μέσω της φωτοδιόδου-PIN και να επέρχεται περαιτέρω βύθισμα του κόμβου σήματος. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήσαμε ένα τεχνητό δυναμικό πεδίο η ένταση του οποίου μειώνεται όσο πλησιάζουμε την βάση φόρτισης.

Οι αναλογικές εισοδοί του Arduino κβαντίζουν την τάση των 5V σε μια κλίμακα από 0 μέχρι 1023 έτσι όταν η τιμή είναι 1023 τότε σημαίνει ότι το ρομπότ δεν είναι προσανατολισμένο προς την βάση ενώ όταν αυτό προσανατολιστεί η τιμή αυτή θα μειωθεί ανάλογα με το πόσο κοντά βρίσκεται στη βάση φόρτισης. Όταν το ρομπότ είναι ευθυγραμμισμένο με την βάση και κινείται προς αυτή τότε η τιμή στην αναλογική είσοδο μειώνεται όσο πλησιάζει. Με αυτό τον τρόπο το ρομπότ μπορεί να αντιληφθεί την απόσταση του από την βάση αφού η τιμή της αναλογικής εισόδου αντικατοπτρίζει την απόσταση του ρομπότ από την βάση.

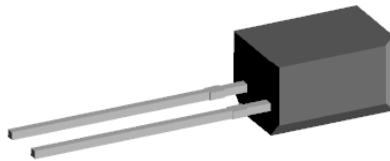
Η τεχνική που ακολουθήσαμε είναι μια παραλλαγή της μεθόδου τεχνητών δυναμικών πεδίων που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.4. Αντί να χρησιμοποιούμε μια μονάδα μνήμης για να υπολογίζουμε την διαφορά του δυναμικού δύο θέσεων και να προσδιορίζουμε την διεύθυνση κατεύθυνσης του ρομπότ, καταγράφουμε τις τιμές της αριστερής και δεξιάς φωτοδιόδου-PIN. Εάν οι δύο τιμές είναι ίσες τότε το ρομπότ κινείται σε ευθεία ενώ εάν διαφέρουν τότε εκτελείται περιστροφή προς την πλευρά της φωτοδιόδου-PIN με την χαμηλότερη τιμή. Για παράδειγμα εάν στην αριστερή φωτοδιόδο-PIN παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο ενώ η δεξιά λαμβάνει το υπέρυθρο σήμα της βάσης, τότε η τιμή που λαμβάνεται από το μικροελεκτη από το κύκλωμα αριστερής φωτοδιόδου-PIN θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για την δεξιά φωτοδιόδο-

PIN. Έτσι λόγω αυτής της διαφοράς το ρομπότ θα εκτελέσει περιστροφή προς τα δεξιά με αποτέλεσμα να την αποφυγή του εμποδίου και την ευθυγράμμιση του με την κατεύθυνση της βάσης.

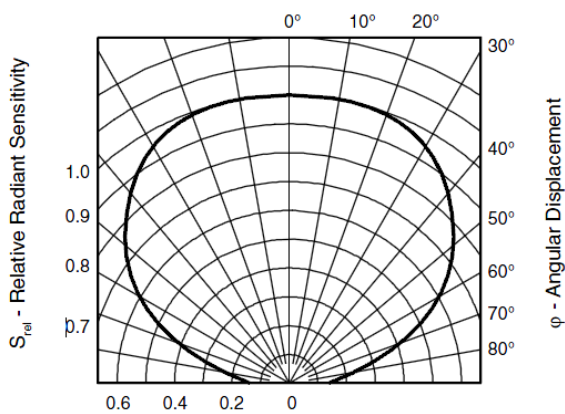


Σχήμα 4.3.1.1_ Κύκλωμα Δεκτών Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.

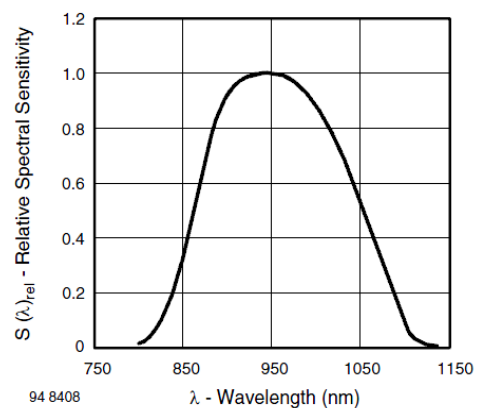
Για την κατασκευή του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν οι φωτοδιόδοι PIN BPW41N της VISHAY οι οποίες έχουν μεγάλη ακτινική επιτήρηση και παρουσιάζουν μέγιστη φασματική ευαισθησία στα 900nm με 950nm.



Σχήμα 4.3.1.2_ Silicon PIN BPW41N.



Σχήμα 4.3.1.3_ Ακτινική Ευαισθησία Δέκτη(BPW41N).



Σχήμα 4.3.1.4_ Φασματική Ευαισθησία Δέκτη(BPW41N).

Οι δύο δέκτες τοποθετήθηκαν στο μπροστινό μέρος του ρομπότ ένας αριστερά και ένας δεξιά ενώ πάνω τους τοποθετήθηκε παραπέτασμα για την απομόνωση της παράσιτης ακτινοβολίας

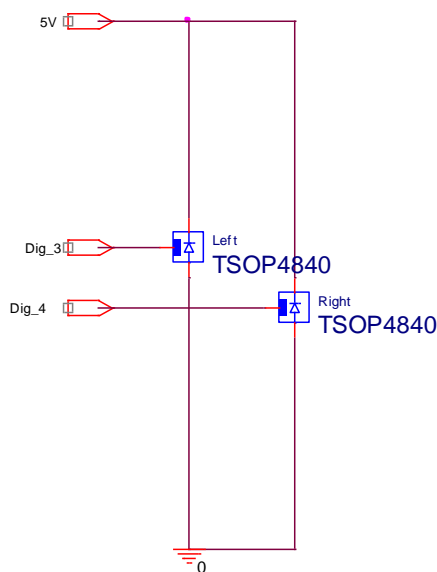
από το φως ημέρας. Στην Βάση Φόρτισης τοποθετήθηκαν αντίστοιχος δύο σειρές από Led υπερύθρων μια δεξιά και μία αριστερά σε συμμετρία με τους δέκτες και στο ίδιο ύψος όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.

Το όλο σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά με την προϋπόθεση ότι δεν παρεμβάλλεται μεταξύ βάση και ρομπότ τέτοιο εμπόδιο που να αποτρέπει την ολική απορρόφηση ακτινοβολίας που εκπέμπεται είτε άμεσα είτε μέσω ανάκλασης. Επίσης σημαντικό πρόβλημα είναι η παράσιτη ακτινοβολία η οποία προέρχεται από το φως ημέρας που μπορεί να οδηγήσει το ρομπότ σε αστοχία. Για την επίλυση του προβλήματος της παράσιτης ακτινοβολίας ενσωματώσαμε στο σύστημα ολοκληρωμένους δέκτες υπερύθρων που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

4.3.2 Ολοκληρωμένος δέκτης υπερύθρων.

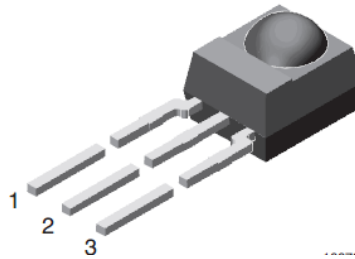
Λόγω της παράσιτης ακτινοβολίας από το φως ημέρας παρατηρήθηκε αστοχία στο ρομπότ με αποτέλεσμα πολλές φορές αντί να κατευθύνεται προς την βάση φόρτισης να κινείται προς κάποιο παράθυρο με έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το πρόβλημα επιλύθηκε με την εισαγωγή ολοκληρωμένων δεκτών υπερύθρων στο ρομπότ. Δίπλα από κάθε φωτοδίοδο-PIN τοποθετήθηκε από ένας ολοκληρωμένος δέκτης τύπου TSOP. Επίσης δύο IR LED στην βάση φόρτισης, ένα δεξιά και ένα αριστερά εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία με σταθερή συχνότητα ίση με αυτή που χρειάζεται ο δέκτης TSOP για να ενεργοποιηθεί. Με αυτό τον τρόπο καταφέραμε να υπολογίζουμε την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τις φωτοδιόδους αλλά και να ξέρουμε μέσω των ολοκληρωμένων δεκτών TSOP εάν η προσμετρούμενη ακτινοβολία προέρχεται από την βάση φόρτισης ή από εξωτερικό παράγοντα.

Το κύκλωμα για τους δύο ολοκληρωμένους δέκτες είναι το πιο κάτω. Όπως φαίνεται, δύο ακροδέκτες δίνουν την τροφοδοσία ενώ ένας τρίτος το σήμα σε ένα ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino.

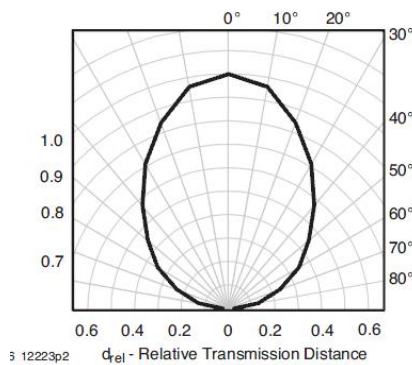


Σχήμα 4.3.2.1_ Κύκλωμα σύνδεσης Tsop στο arduino.

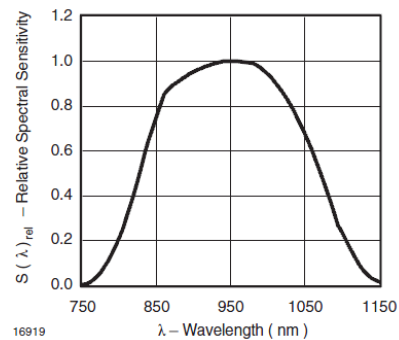
Για την υλοποίηση του κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε τα TSOP4P38 της Vishay. Όπως προσδιορίζουν τα δύο τελευταία ψηφία του μοντέλου, ενεργοποιείται στα 38KHz ενώ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να ανήκει στο υπέρυθρο φάσμα κοντά στα 950nm.



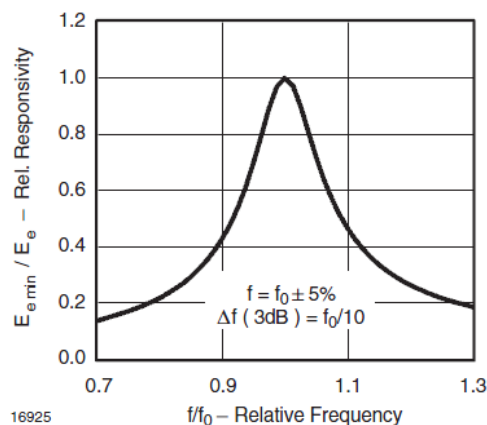
Σχήμα 4.3.2.2_ TSOP4840



Σχήμα 4.3.2.3_ Ακτινική Ευαισθησία Δέκτη (TSOP4840) σε σχέση με την απόσταση.



Σχήμα 4.3.2.4_ Διάγραμμα Σχετικής Ευαισθησίας Δέκτη (TSOP4840) σε σχέση με το μήκος Κύματος προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.3.2.5_ Απόκριση Δέκτη (TSOP4840) Σε Παραπλήσιες Συχνότητες Φέρουσας ακτινοβολίας Πομπού.

4.3.3 Βαθμονόμηση δεκτών υπέρυθρων (calibration).

Για να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του κυκλώματος φωτοδιόδων-PIN πήραμε μετρήσεις του, συναρτήσε της απόστασης από μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Από κάθε θέση πήραμε **16** μετρήσεις και στην συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων κάθε θέσης καθώς και η διαφορά που προκύπτει μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων. Οι μετρήσεις ελήφθησαν από αναλογικό ακροδέκτη του arduino σε μια κβαντισμένη κλίμακα από **0** μέχρι **1023**. Το **0** αντιστοιχεί στα **0Volt** ενώ το **1023** στα **5Volt**.

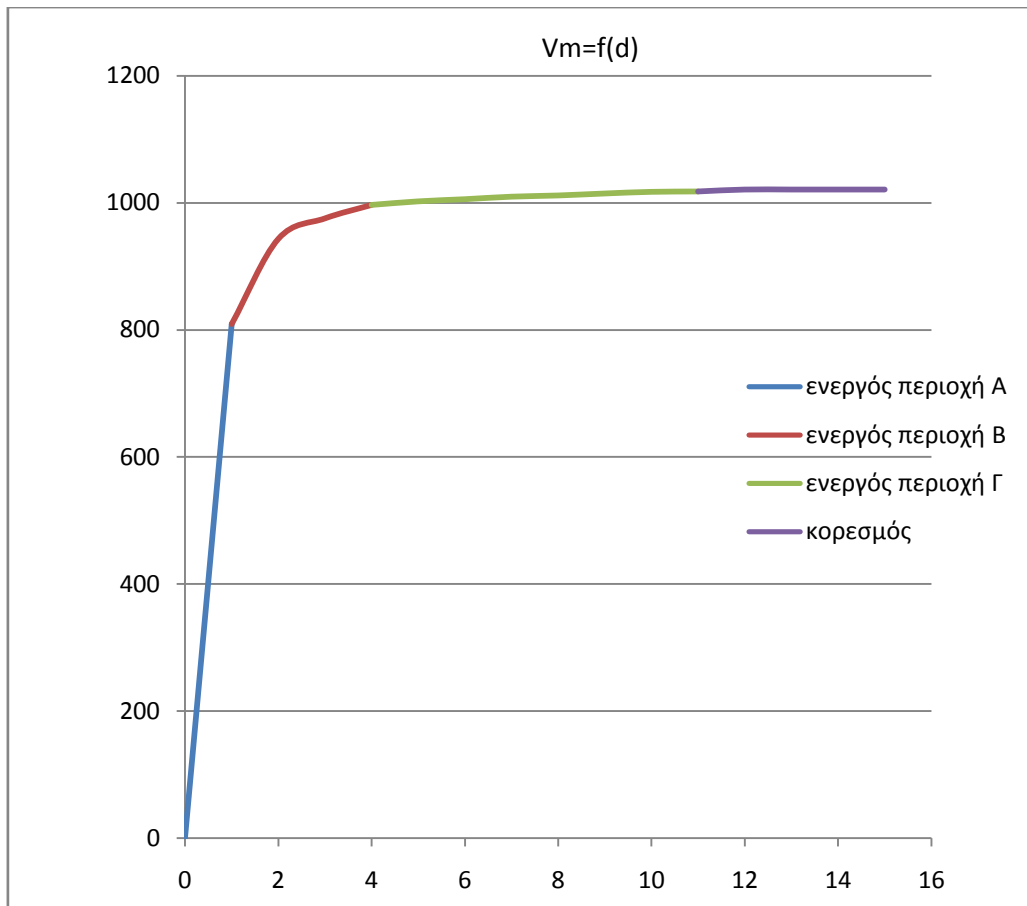
Απόσταση (d)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	∞
A/A μέτρησης													
1	0	802	934	968	987	995	995	1000	1001	1006	1018	1018	1022
2	0	808	944	976	997	1003	1007	1010	1011	1016	1016	1019	1020
3	0	809	943	975	997	1003	1007	1010	1012	1016	1018	1018	1020
4	0	809	945	975	998	1003	1008	1010	1012	1016	1018	1018	1021
5	0	810	945	975	999	1002	1008	1011	1012	1014	1018	1018	1021
6	0	810	946	976	998	1002	1008	1011	1011	1015	1017	1018	1020
7	0	809	946	977	999	1002	1008	1012	1011	1015	1017	1019	1020
8	0	809	946	978	999	1003	1005	1012	1012	1015	1016	1019	1021
9	0	809	944	977	999	1003	1006	1012	1013	1016	1017	1017	1021
10	0	810	943	978	999	1003	1007	1011	1013	1016	1017	1016	1022
11	0	811	943	978	997	1003	1005	1010	1014	1016	1018	1017	1022
12	0	811	943	978	997	1002	1007	1010	1014	1015	1018	1018	1022
13	0	811	943	975	996	1002	1006	1009	1014	1016	1018	1019	1020
14	0	811	943	974	996	1004	1006	1010	1014	1014	1018	1018	1019
15	0	812	943	975	996	1005	1005	1010	1013	1015	1018	1018	1021
16	0	811	944	975	996	1004	1005	1010	1011	1016	1017	1018	1021
Άθροισμα	-	12952	15095	15610	15950	16039	16093	16158	16188	16237	16279	16288	16333
Μέσος Όρος (Vm)	0	809,5	943,4	975,6	996,8	1002,4	1005,8	1009,8	1011,7	1014,8 1	1017,4	1018	1020,8
Διαφορά	809	133,9375	32,1875	21,25	5,5625	3,375	4,0625	1,875	3,0625	2,625	0,5625	2,8125	1020,81

Πίνακας Μετρήσεων Κυκλώματος Δεκτών Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (Φωτοδιόδων).

Παρατηρώντας τα δείγματα των μετρήσεων για κάθε απόσταση, βλέπουμε ότι υπάρχουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ των τιμών άρα οι δέκτες μας παρουσιάζουν μεγάλη αξιοπιστία. Οι μετρήσεις που πήραμε σε μεγάλη απόσταση δεν παίρνουν την τιμή **1023** όπως θα περιμέναμε αλλά κυμαίνονται από **1019** μέχρι **1022**. Αυτό οφείλεται σε κατασκευαστικούς παράγοντες της φωτοδιόδου-PIN αφού σε συνθήκες σκότους ρέει ένα ρεύμα μερικών δεκάδων **nA** όταν είναι ανάστροφα πολωμένη. Επίσης οι μετρήσεις που λάβαμε όταν ο δέκτης βρισκόταν αρκετά κοντά στην πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μηδενικές.

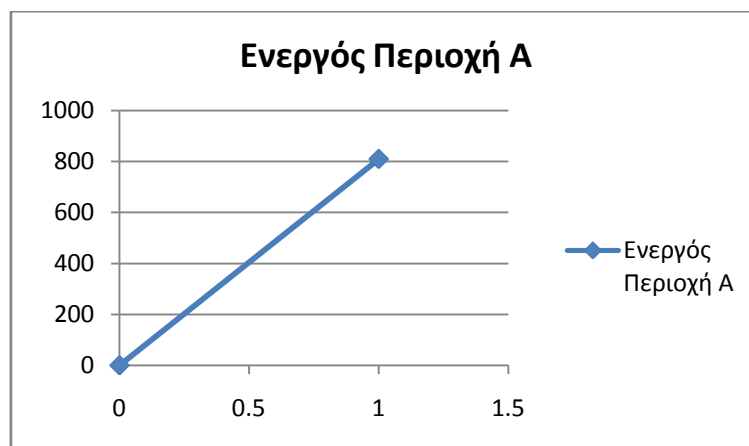
Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε ότι οι μετρήσεις ελήφθησαν χρησιμοποιώντας για πηγή υπέρυθρων, τη δίοδο υπέρυθρης ακτινοβολίας **IR TSAL6100** ορθά πολωμένη να διαρρέεται από ρεύμα **100mA** και να εκπέμπει ακτινοβολία ακτινικής έντασης $I_e=400mw/sr$. Επίσης κάθε βήμα απόστασης αντιστοιχούσε σε απόσταση **50cm**.

Πιο κάτω παρουσιάζονται γραφικές παραστάσεις για να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των φωτοδιόδων-PIN όπως χρησιμοποιούνται στην κυκλωματική μας διάταξη.



Σχήμα 4.3.3.1 Απόκριση δέκτη σε συνάρτηση με την απόσταση $V_m=f(d)$.

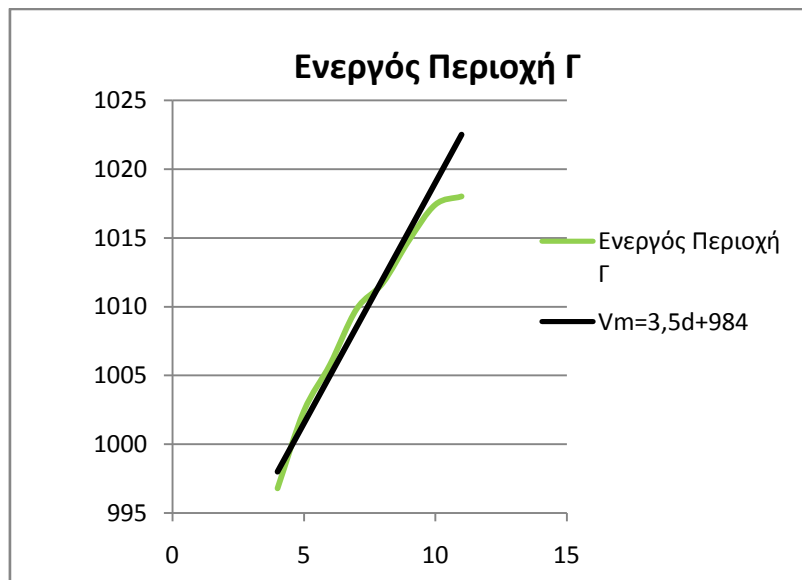
Όπως φαίνεται στην γραφική παράσταση η καμπύλη έχει διαχωριστεί σε τέσσερα τμήματα τρεις ενεργούς περιοχές και μια περιοχή κορεσμού. Η ενεργός περιοχή **A** έχει την μεγαλύτερη κλίση, ακολουθεί ενεργός περιοχή **B** και τέλος η ενεργός περιοχή **Γ**. Το συμπέρασμα που προκύπτει από την πιο πάνω γραφική είναι ότι η μεταβολή στην τιμή που δίνει το κύκλωμα φωτοδιόδου-PIN στο ακροδέκτη του Arduino μπορεί να γραμματικοποιηθεί στις τρεις ενεργούς περιοχές.



Η ενεργός περιοχή **A** εκτείνεται στις κοντινές αποστάσεις και παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές στην τιμή του σήματος. Η ευθεία είναι της μορφής $V_m = 800 \cdot d$



Η ενεργός περιοχή **B** εκτείνεται σε μέσες αποστάσεις και παρουσιάζει σχετικά μεγάλες μεταβολές στην τιμή του σήματος. Αν γραμμικοποιήσουμε την καμπύλη παίρνουμε την ευθεία $V_m = 680 \cdot d + 780$



Η ενεργός περιοχή **Γ** εκτείνεται στις μεγάλες αποστάσεις και παρουσιάζει μικρές μεταβολές στο σήμα. Αν γραμμικοποιήσουμε την καμπύλη παίρνουμε την ευθεία $V_m = 3,5 \cdot d + 984$.

Ο λόγος της γραμμικοποίησης των τριών καμπύλων είναι για να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς του κυκλώματος των φωτοдиодων-PIN στο κώδικα προγραμματισμού του Arduino προκειμένου να παρέχεται στο ρομπότ μια ποσοτική αναπαράσταση της απόστασης του από την βάση φόρτισης ώστε να ρυθμίσει τις λειτουργίες πλοήγησης του.

Τα δύο κυκλώματα φωτοдиодων-PIN το ένα αριστερά το άλλο δεξιά χρησιμοποιούνται από το ρομπότ με την λογική, όταν το σήμα της ακτινοβολίας που λαμβάνει το ένα κύκλωμα είναι πιο ισχυρό από το άλλο τότε εκτελείται επιτόπια περιστροφή προς την πλευρά του ισχυρού σήματος ούτως ώστε να εξισορροπηθούν τα δύο σήματα. Η διαφορά μεταξύ των σημάτων που λαμβάνονται είναι το μέτρο που θα χρησιμοποιήσει το ρομπότ για να αποφασίσει αν πρέπει να εκτελεστεί επιτόπια περιστροφή προς κάποια κατεύθυνση. Ανάλογα σε ποια από τις τρεις

ενεργές περιοχές βρίσκεται το ρομπότ το μέτρο της διαφοράς των δύο σημάτων διαφέρει για να αποφασίσει το ρομπότ να εκτελέσει επιτόπια περιστροφή. Για παράδειγμα εάν το ρομπότ βρίσκεται στην ενεργό περιοχή **A** όπου έχουμε μεγάλες μεταβολές στο σήμα, η διαφορά στα σήματα πρέπει να μεγάλη για να αποφασίσει το ρομπότ ότι πρέπει να εκτελέσει περιστροφή. Αντιθέτως αν το ρομπότ βρίσκεται στην ενεργό περιοχή **Γ** όπου οι μεταβολές είναι μικρότερες, με μικρή διαφορά σημάτων το ρομπότ πρέπει να εκτελεί την αντίστοιχη περιστροφή. Με αυτό τον τρόπο ενσωματώνεται στο σύστημα μια ζώνη υστέρησης το πλάτος της οποίας εξαρτάται από την περιοχή στην οποία βρίσκεται το ρομπότ.

Ουσιαστικά όταν το ρομπότ αποκλίνει από την διεύθυνση προς την βάση φόρτισης, τότε το κύκλωμα φωτοδιόδου-PIN που βρίσκεται στην πλευρά απόκλισης θα λαμβάνει μειωμένο σήμα έως και μηδενικό. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήσαμε τις πιο κάτω γραφικές για τις τρεις ενεργές περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται η μέση διαφορά στο σήμα δύο θέσεων .

$$DV_n = (Vm_n + Vm_{n+1})/2$$

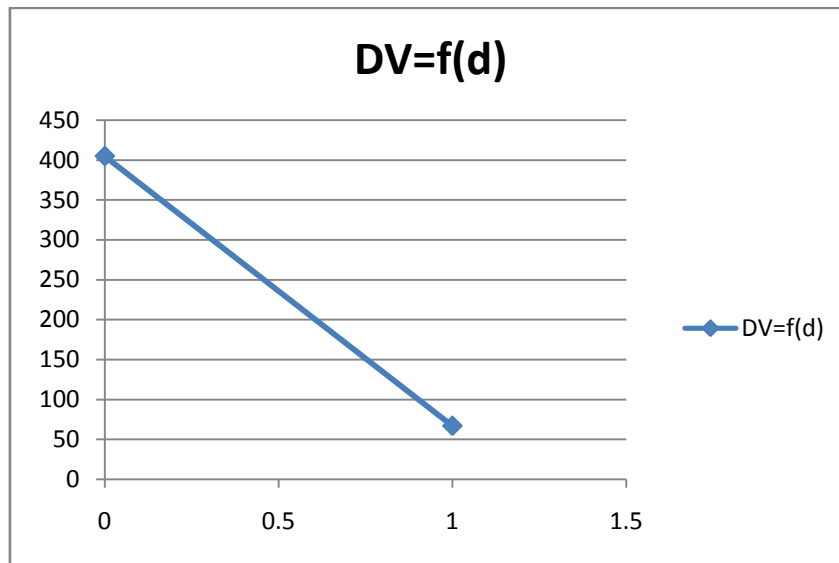
Για κάθε ενεργό περιοχή παρουσιάζεται η μέση διαφορά του σήματος ως προς την απόσταση $DV = f(d)$ και ως προς την τιμή του δέκτη υπό πλήρες σήμα στην αντίστοιχη θέση $DV = f(Vm)$.

Ο φιλοσοφία την οποία ακλουθήσαμε για την κατασκευή των συγκεκριμένων γραφικών παραστάσεων βασίζεται στο ότι, εάν το ρομπότ αποκλίνει από την διεύθυνση προς την βάση φόρτισης τότε ο δέκτης στην πλευρά απόκλισης θα λαμβάνει ασθενέστερο σήμα σε σχέση με τον άλλο δέκτη. Χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύγκρισης την μέση διαφορά μεταξύ δύο θέσεων **DV** το ρομπότ θα εκτελεί περιστροφή προς την πλευρά του δέκτη με το ισχυρό σήμα εάν η διαφορά των σημάτων των δύο δεκτών είναι μεγαλύτερη από το μέτρο αυτό.

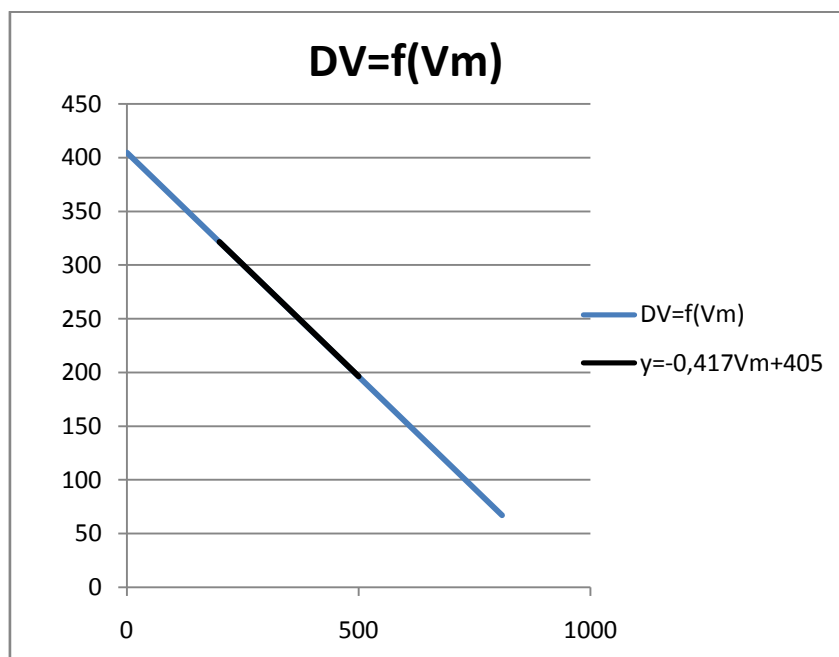
Απόσταση (d)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	∞
Μέσος Όρος (Vm)	0	809,5	943,4	975,6	996,8	1002,4	1005,8	1009,8	1011,7	1014	1017,4	1018	1020
Μέση Διαφορά Δύο Θέσεων (DV)	404,7	66,95	16,1	10,6	2,8	1,7	2	0,95	1,55	1,3	0,3	1	-

Πίνακας επεξεργασίας μετρήσεων κυκλώματος αναγνώρισης υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Ενεργός Περιοχή Α

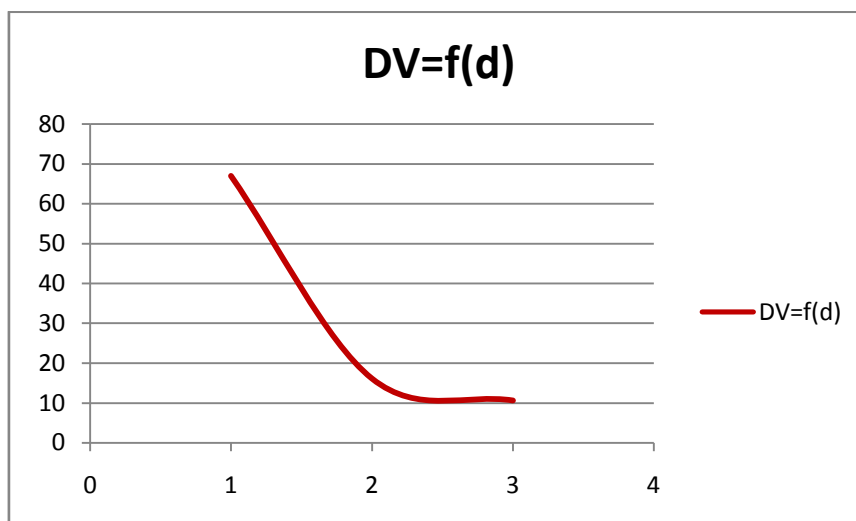


Σχήμα 4.3.3.2_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Α)

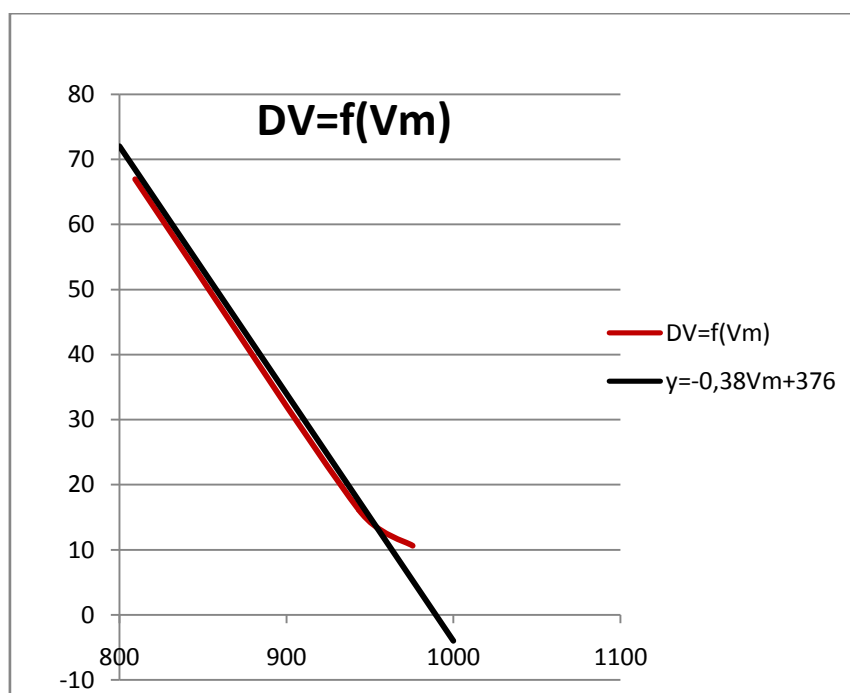


Σχήμα 4.3.3.3_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης (Περιοχής Α).

Ενεργός Περιοχή Β

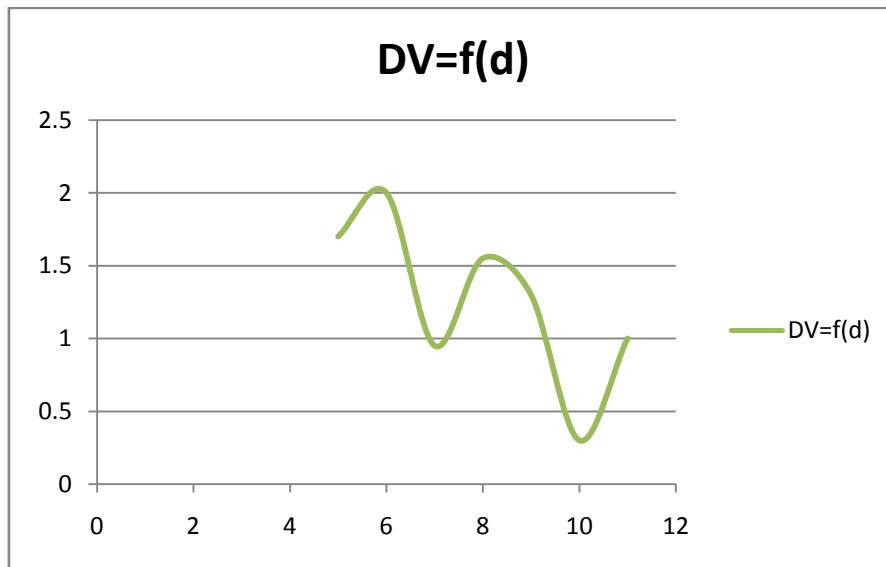


Σχήμα 4.3.3.4_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Β).

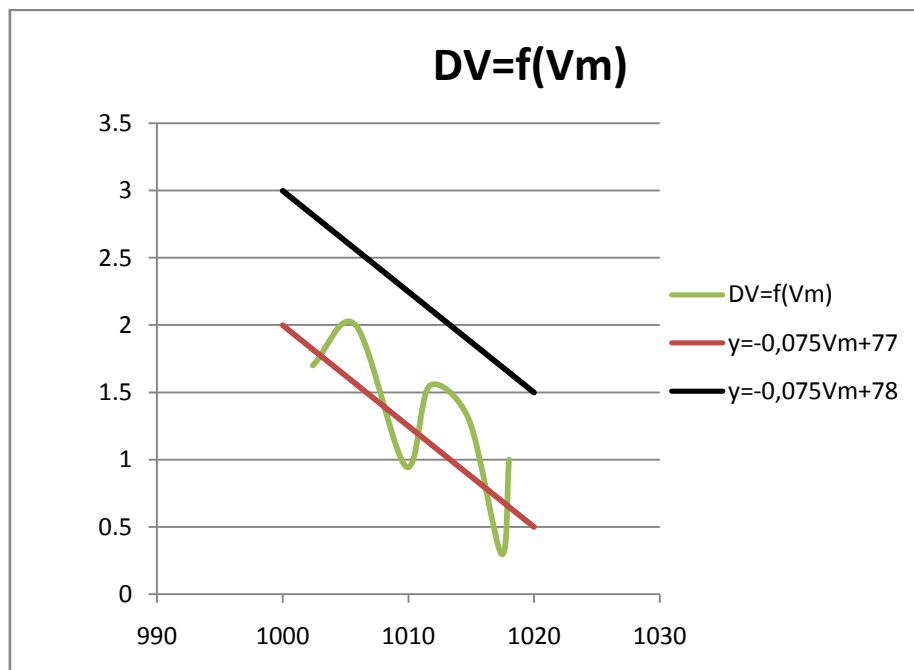


Σχήμα 4.3.3.5_ Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης(Περιοχής Β).

Ενεργός Περιοχή Γ.



Σχήμα 4.3.3.6_Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της απόστασης(Περιοχής Γ).



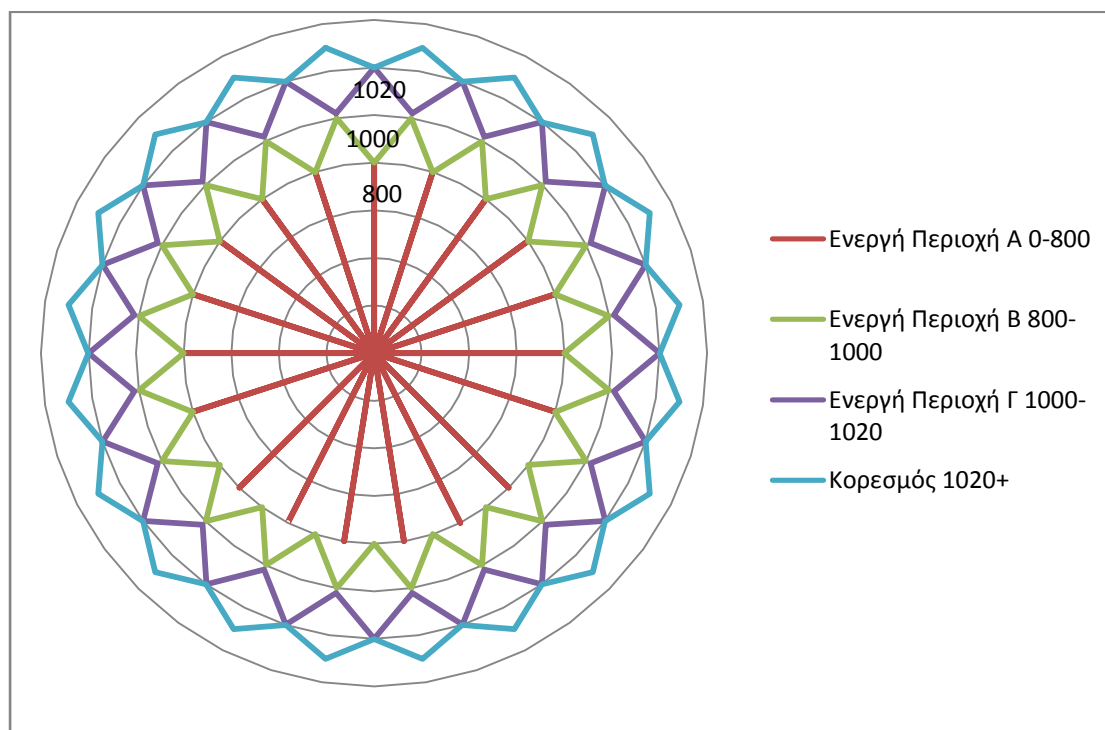
Σχήμα 4.3.3.7_Μέση διαφορά δύο διαδοχικών θέσεων συναρτήσει της σχετικής τιμής θέσης(Περιοχής Γ).

Λαμβάνοντας υπόψη μας τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις θα προσδιορίσουμε την πλοήγηση του ρομπότ σε τέσσερις ζώνες ανάλογα με την απόσταση. Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο τρόπος που αντιλαμβάνεται το ρομπότ την απόσταση από την βάση δεν μετριέται σε μέτρα αλλά αντιλαμβάνεται μια σχετική απόσταση ανάλογα με την στάθμη του σήματος των κυκλωμάτων φωτοдиодων-PIN. Θα μπορούσε να γίνει μια βαθμονόμηση (calibration) της απόστασης σε σχέση με το σήμα αλλά δεν θα προχωρήσουμε σε κάτι τέτοιο αφού εάν αποφασίσουμε μετέπειτα να εκπέμπουμε υπέρυθη ακτινοβολία μεγαλύτερης έντασης από την βάση θα χαλάσει η βαθμονόμηση. Αντί αυτού θα χρησιμοποιήσουμε την σχετική απόσταση ανάλογα με την τιμή των δεκτών φωτοдиодων-PIN ενσωματώνοντας στην πλοήγηση την φιλοσοφία των τεσσάρων ζωνών που περιγράψαμε.

Ζώνη	Ενεργή Περιοχή Α	Ενεργή Περιοχή Β	Ενεργή Περιοχή Γ	Κορεσμού
Τιμή σήματος Κυκλώματος υπέρυθρου δέκτη V_m	0-800	800-1000	1000-1020	1020+
Ελάχιστη διαφορά σήματος για διόρθωση πορείας	$V_s = -0,417V_m + 405$	$V_s = -0,38V_m + 376$	$V_s = -0,075V_m + 78$	-

Πίνακας Διαχωρισμού της πλοήγησης ρομπότ σε τέσσερις ζώνες.

Για να αντιληφθούμε διαισθητικά το πώς αντιλαμβάνεται το ρομπότ το χώρο παρουσιάζουμε την πιο κάτω γραφική θεωρώντας ότι στο κέντρο υπάρχει ακτινοβόλουσα πηγή με ομοιόμορφη κατανομή της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο χώρο.



Σχήμα 4.3.2.8_ Πολικό Διάγραμμα Εντοπισμού Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.

4.4 Σύστημα Αποφυγής – Αναγνώρισης Εμποδίων.

Καθώς το ρομπότ κινείται στον περιβάλλοντα χώρο είναι πολύ πιθανόν να προσκρούσει σε κάποιο εμπόδιο με αποτέλεσμα να υποστεί κάποια μηχανολογική ζημιά είτε να «κολλήσει» πάνω στο εμπόδιο προσπαθώντας να το προσπελάσει. Για την αποφυγή και τον εντοπισμό των εμποδίων έχουμε εξοπλίσει το ρομπότ με δύο συστήματα αναγνώρισης εμποδίων. Το πρωτεύον σύστημα βασίζεται σε αισθητήρες υπερήχων ενώ το δευτερεύον αποτελείται από μικρο-διακόπτες (micro-switches) που ενεργοποιούνται όταν το ρομπότ προσκρούσει στο εμπόδιο.

4.4.1 Ολοκληρωμένος αισθητήρας υπερήχων.

Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες υπερήχων αποτελούνται από ένα πομπό παραγωγής υπερηχητικού κύματος και ένα δέκτη του εν λόγω κύματος. Για την κατασκευή μας χρησιμοποιήσαμε τους αισθητήρες υπερήχων *HC-SR04* οι οποίοι έχουν χαμηλό κόστος και είναι αρκετά αξιόπιστοι σε εφαρμογές με μικροελεκτή Arduino.



Σχήμα 4.4.1.1_ Ολοκληρωμένος Αισθητήρας Υπερήχων HC-SR04.

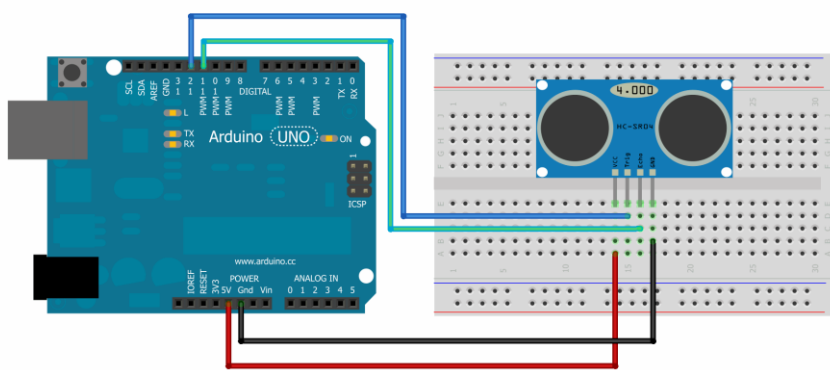
Ο αισθητήρας *HC-SR04* όπως φαίνεται στην πιο πάνω εικόνα περιλαμβάνει τα δύο στοιχεία παραγωγής και αναγνώρισης υπερηχητικού κύματος και ένα σύνολο από ολοκληρωμένα που ελέγχουν την όλη διαδικασία. Δεν θα αναλύσουμε την κυκλωματική διάταξη του αισθητήρα αλλά θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε το στοιχείο αυτό στην κατασκευή μας. Το όργανο αυτό περιλαμβάνει τέσσερις ακροδέκτες, οι δύο εκ των οποίων αφορούν την τροφοδοσία ενώ οι άλλοι δύο αφορούν τα σήματα εισόδου και εξόδου. Συγκεκριμένα όταν στον ακροδέκτη σήματος εισόδου η αλλιώς σκανδαλιστής (trigger) εφαρμοστεί σήμα *High* τότε παράγεται ένα υπερηχητικό σήμα το οποίο εκπέμπεται από το ηχείο εκπόμπου για όσο χρόνο ο σκανδαλιστής βρίσκεται σε υψηλό δυναμικό. Όταν το σήμα αυτό προσκρούσει σε κάποια επιφάνεια, ανακλαστεί και επιστρέψει στον αισθητήρα λαμβάνεται από το ηχείο δέκτη και μέσω των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ο ακροδέκτης εξόδου τίθεται σε δυναμικό *High* για όση ώρα λαμβάνει το υπερηχητικό σήμα.

Στην εφαρμογή μας μέσω ενός ψηφιακού ακροδέκτη εξόδου ενεργοποιούμε τον σκανδαλιστή για ένα μικρό χρονικό διάστημα της τάξης μερικών μικροδευτερολέπτων και υπολογίζουμε το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τον σκανδαλισμό μέχρι την επιστροφή του ανακλώμενου

κύματος. Ανάλογα με το χρονικό αυτό διάστημα μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση του εμποδίου όπως περιγράψαμε στην ενότητα 3.2.5.

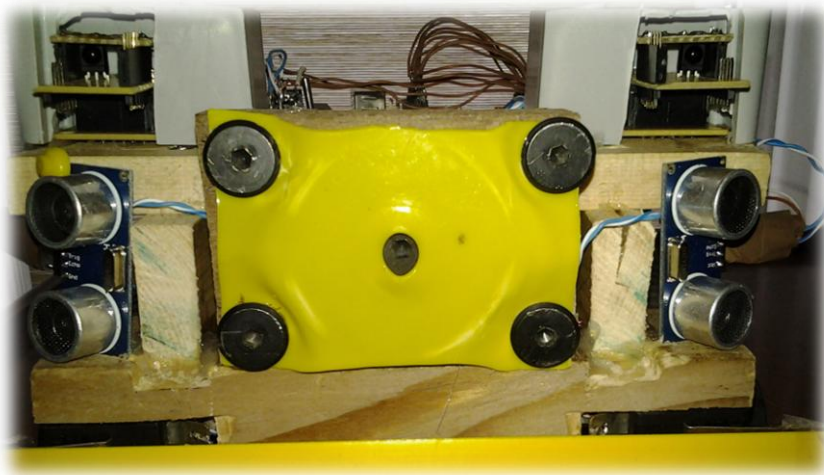
Στο ρομπότ της κατασκευής μας τοποθετήσαμε στο μπροστινό μέρος ένα αισθητήρα αριστερά και ένα δεξιά κατακόρυφα και με γωνία στρέψης 30 μοιρών προς τα έξω, ως προς τον κάθετο άξονα κίνησης του ρομπότ όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα. Με την εισαγωγή δύο αισθητήρων γίνεται πιο εύκολη η πλοήγηση του ρομπότ αφού ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει από τους αισθητήρες μπορεί να αποφανθεί προς ποια κατεύθυνση βρίσκεται το προπορευόμενο εμπόδιο.

Οι αισθητήρες HC-SR04 μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο arduino με τον τρόπο που φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 4.4.1.2_Σύνδεση αισθητήρα υπερήχων στο μικροελεκτη Arduino.

Στο ρομπότ μας οι δύο αισθητήρες υπερήχων τοποθετήθηκαν στο μπροστινό μέρος όπως φαίνεται στην πιο κάτω φωτογραφία.



Σχήμα 4.4.1.3_Αισθητήρες Υπερήχων στο Ρομπότ.

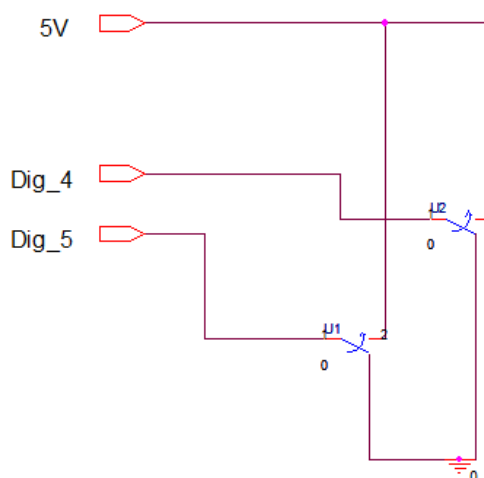
4.4.2 Σύστημα αισθητήρων πρόσκρουσης.

Εκτός από το σύστημα αναγνώρισης εμποδίων με αισθητήρες υπερήχων το ρομπότ είναι εξοπλισμένο και με ένα δεύτερο σύστημα εντοπισμού εμποδίων που ενημερώνει το ρομπότ ότι υπάρχει εμπόδιο στην πορεία του όταν έρθει σε επαφή με το εμπόδιο. Το σύστημα αισθητήρων πρόσκρουσης αποτελείται από δύο μικρό-διακόπτες, ένα αριστερά και ένα δεξιά στην μπροστινή πλευρά του ρομπότ. Στα κομβία πίεσεως των δύο μικρό-διακοπών συνενώσαμε μια οριζόντια μπάρα ώστε να αυξήσουμε την περίμετρο εντοπισμού του εμποδίου. Με αυτό τον τρόπο ενεργοποιείται ο μικρό-διακόπτης που βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο πρόσκρουσης, ενώ στην περίπτωση που το σημείο πρόσκρουσης είναι στο κέντρο της μπάρας ενεργοποιούνται και οι δύο μικρό-διακόπτες. Για την κατασκευή μας χρησιμοποιήθηκαν οι μικρό-διακόπτες που έχουν σχετικά μακρύ κομβίον πίεσεως. Το σύστημα φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.



Σχήμα 4.4.2.1_Σύστημα Αισθητήρων Πρόσκρουσης Στο Κάτω Μέρος.

Οι δύο μικρο-διακόπτες μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο arduino. Ο τρόπος σύνδεσης τους στην κατασκευή μας φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



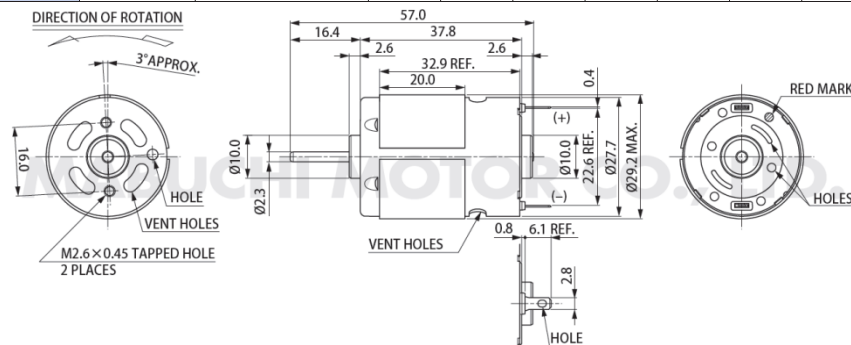
Σχήμα 4.4.2.2_Κυκλωματική Διάταξη μικρό-διακοπών.

Η εισαγωγή αυτού του δευτέρου συστήματος αναγνώρισης εμποδίων κρίνεται σκόπιμη για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι υπάρχουν εμπόδια που λόγω της μορφολογίας τους αλλά και του υλικού τους δεν μπορούν να αναγνωριστούν από τους αισθητήρες υπερήχων. Ο δεύτερος λόγος και ο πιο σημαντικός είναι ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες υπερήχων στην διαδικασία που το ρομπότ πλησιάζει σε μικρή απόσταση την βάση φόρτισης του γιατί θα την αναγνωρίσει ως εμπόδιο προτού έρθει σε επαφή με αυτή. Έτσι όταν το ρομπότ είναι σε κοντινή απόσταση από την βάση φόρτισης του τα σήματα από του αισθητήρες υπερήχων δεν λαμβάνονται υπόψη. Στην περίπτωση που το ρομπότ ευθυγραμμιστεί κατάλληλα με την βάση φόρτισης τότε όταν πλησιάσει αρκετά θα επέλθει η μαγνητική συνένωση του συστήματος φόρτισης πρώτου προσκρούσει στην βάση. Στην περίπτωση λανθασμένης ευθυγράμμισης θα ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες πρόσκρουσης αφού θα προσκρούσει στην βάση φόρτισης και έτσι θα μπει σε κατάσταση επανευθυγράμμισης και θα εκτελέσει νέα απόπειρα συνένωσης με την βάση. Περισσότερες πληροφορίες επί της διαδικασίας περιγράφονται στην παράγραφο 6.4.

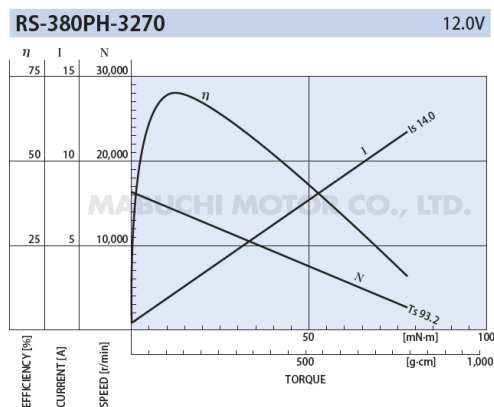
4.5.1 Κινητήρας Mabuchi RS380PH-3270.

Για την κίνηση του ερπυστριοφόρου χρησιμοποιούνται δύο κινητήρες Mabuchi RS380PH-3270 οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι στο πίσω μέρος κάτω από το προστατευτικό καπάκι. Πρόκειται για κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μεγάλη ροπή και υψηλές στροφές κατάλληλοι για τέτοιες εφαρμογές. Το ενσωματωμένο κιβώτιο μειωτήρων στροφών gearbox με ένα σύνολο γραναζιών επιταχύνει μείωση των στροφών και αύξηση της παρεχόμενης ροπής. Η κίνηση μεταφέρεται σε ένα εξωτερικό τροχό που περιέχει οδοντώσεις πάνω στον οποίο εφαρμόζεται η ερπύστρια και δύναται να κινηθεί.

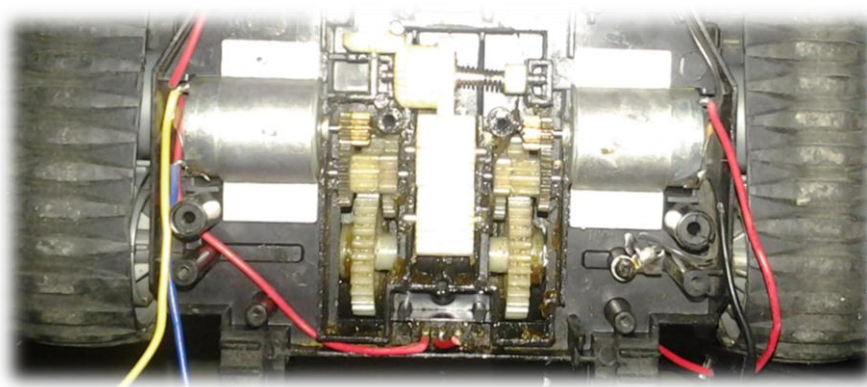
MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY				STALL				
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT	
			r/min	A	r/min	A	mN-m	g-cm	W	mN-m	g-cm	A	
RS-380PH-3270	(*1)	4.5~15.0	12V CONSTANT	16400	0.37	14110	2.28	13.0	133	19.2	93.2	950	14.0



Σχήμα 4.5.1.1_Διαστάσεις Κινητήρα RS380PH-3270.



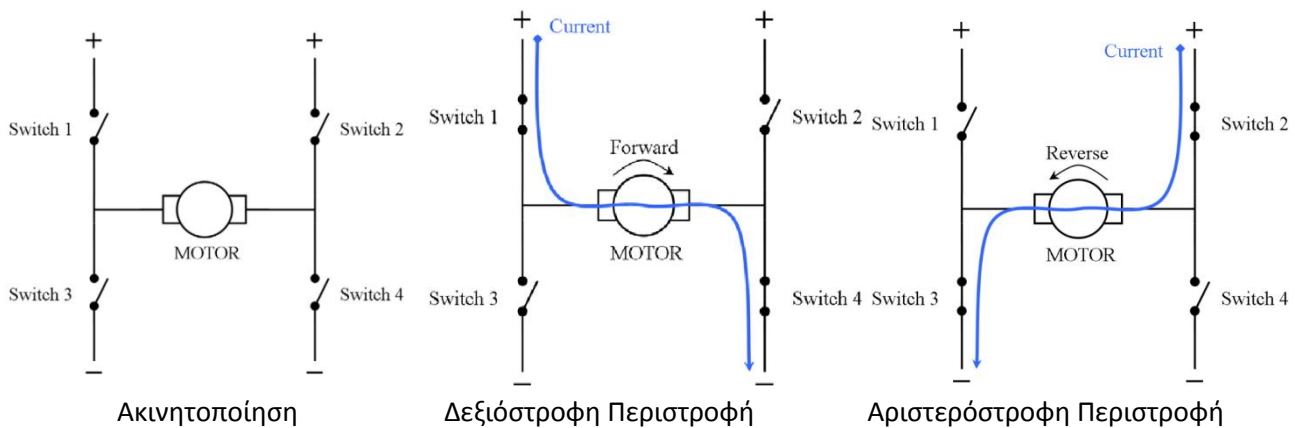
Σχήμα 4.5.1.2_Χαρτογράφηση Κινητήρα RS380PH-3270.



Σχήμα 4.5.1.3_Σύστημα Κίνηση Ρομπότ-Gearbox.

4.5.2 Οδήγηση Κινητήρων με Η-γέφυρες.

Λόγω του ότι οι συγκεκριμένοι κινητήρες είναι μεγάλης ισχύος χρησιμοποιήσαμε για την οδήγηση τους δύο Η-γέφυρες (*H-bridge*) οι οποίες μας δίνουν την ικανότητα να ελέγξουμε τις τρεις καταστάσεις λειτουργίας, αριστερόστροφη-δεξιόστροφη περιστροφή και ακινητοποίηση. Η τεχνική της Η-γέφυρας φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:



Κατάσταση	Switch1	Switch2	Switch3	Switch4
Ακινητοποίηση	0	0	0	0
Δεξιόστροφη	1	0	0	1
Αριστερόστροφη	0	1	1	0

Σχήμα 4.5.2.1_Οδήγηση Κινητήρων με Η-γέφυρες.

Βασιζόμενοι στην συγκεκριμένη τεχνική σχεδιάσαμε το πιο κάτω κύκλωμα για την οδήγηση των κινητήρων μας εισάγοντας κάποιες διαφοροποιήσεις. Το κάθε Switch αντικαταστάθηκε ένα ζεύγος *Darlington* για μεγαλύτερη ενίσχυση. Για κάθε γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν από 2 ζεύγη *Darlington NPN* και 2 ζεύγη *Darlington PNP*. Όπως φαίνεται στην βάση κάθε ζεύγους υπάρχει μια αντίσταση 5,2K η οποία καταλήγει σε ψηφιακή έξοδο του Arduino. Τα αντικριστά *NPN* και *PNP* ζεύγη *Darlington* καταλήγουν στον ίδιο ψηφιακό ακροδέκτη. Η τροφοδοσία της γέφυρας γίνεται απευθείας από την επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται οι πιο κάτω καταστάσεις στο ρομπότ:

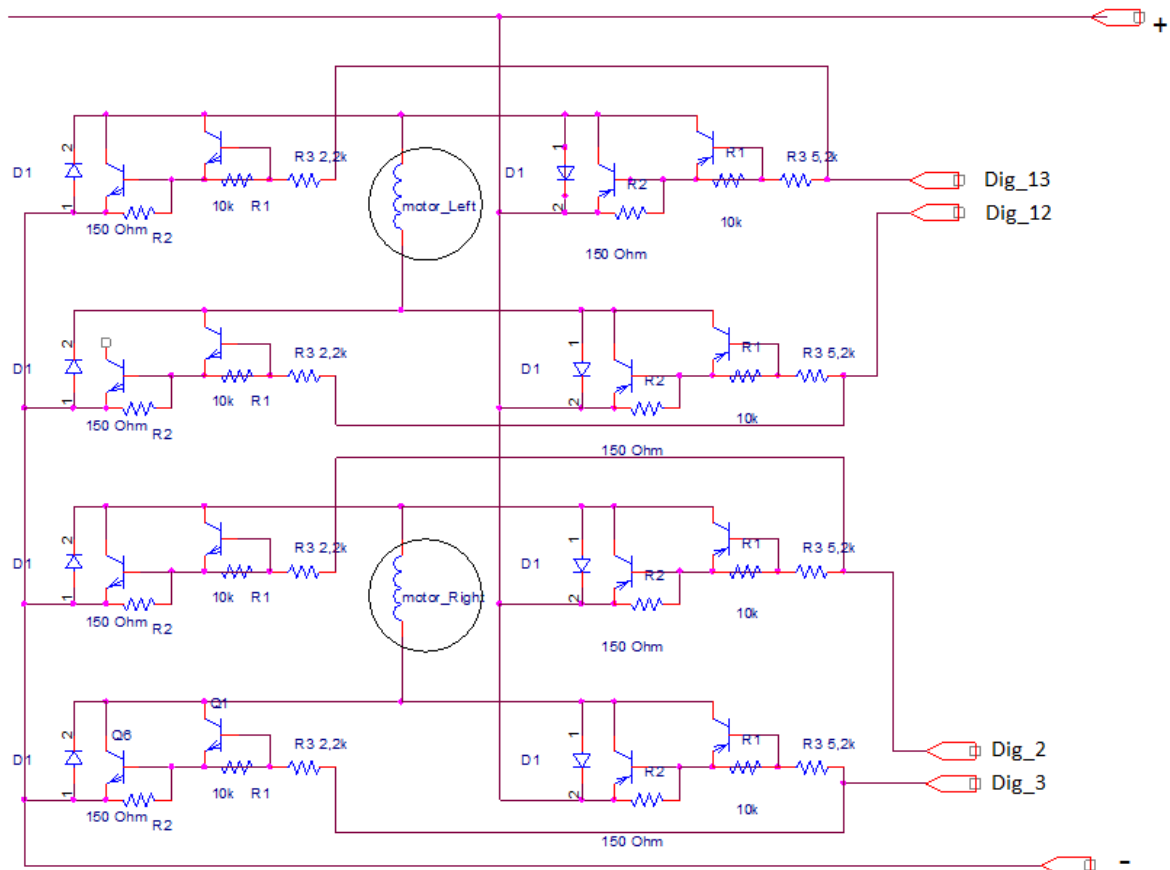
Ρομπότ	Motor_Left	Motor_Right	Dig_13	Dig_12	Dig_2	Dig_3
Ακινητοποίηση	ακινητοποίηση	ακινητοποίηση	0	0	0	0
Εμπρόςθια	αριστερόστροφη	αριστερόστροφη	1	0	1	0
Όπισθεν	δεξιόστροφη	δεξιόστροφη	0	1	0	1
Επιτόπια Αριστερόστροφη Περιστροφή	δεξιόστροφη	αριστερόστροφη	0	1	1	0
Επιτόπια Δεξιόστροφη Περιστροφή	αριστερόστροφη	δεξιόστροφη	1	0	0	1

Πίνακας Λειτουργιών Ερπυστριοφόρου μέσω οδήγησης Κινητήρων με Η-γέφυρες.

Είναι φανερό ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε και άλλες καταστάσεις όπως κλείδωμα τις μια εκ των δύο ερπυστριών και δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη περιστροφή της άλλης για στρίψιμο

του ρομπότ πράγμα το οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε αφού προτιμήθηκε η επιτόπια περιστροφή για μείωση της ολίσθησης.

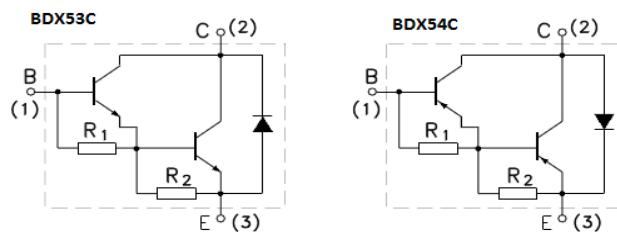
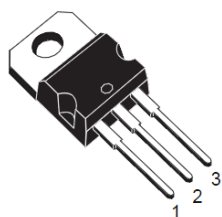
Οι δίοδοι χρησιμοποιούνται για την απόσβεση επαγωγικών φαινομένων. Όταν η γέφυρα μεταβεί από κατάσταση περιστροφής σε κατάσταση ακινητοποίησης το επαγωγικό φορτίο που δημιουργείται στα τυλίγματα των κινητήρων λόγω της ακαριαίας διακοπής του ρεύματος αποφορτίζεται ομαλά μέσω των διόδων προστατεύοντας το κύκλωμα από σπινθηρισμούς και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.



Σχήμα 4.5.2.2 Το Κύκλωμα με τις δύο Η-γέφυρες που οδηγούν τους κινητήρες του ρομπότ.

Για την κατασκευή του κυκλώματος των Η-γεφυρών χρησιμοποιήθηκαν τα Darlington τρανζίστορ ισχύος *BDX53C-NPN* και *BDX54C-PNP* της STMicroelectronics τα οποία έχουν ενσωματωμένη την δίοδο όπως φαίνεται στην εσωτερική τους δομή. Τα συγκεκριμένα τρανζίστορς έχουν κέρδος συνεχούς ρεύματος $h_{fe}=750$ έτσι το ρεύμα εκπομπού κάθε τρανζίστορ σε όταν άγει φτάνει περίπου στα $0,7A$ αφού η βάση πολώνεται με ρεύμα $I_b=1mA$.

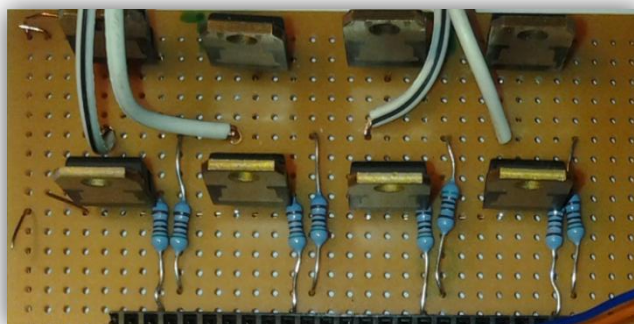
INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



R_1 Typ. = 10 K Ω

R_2 Typ. = 150 Ω

Σχήμα 4.5.2.3_Εσωτερική Δομή BDX53C-NPN και BDX54C-PNP



Σχήμα 4.5.2.4_Οι δύο Η-γέφυρες στην πλακέτα της κατασκευής μας.

4.6 Σύστημα φόρτισης.

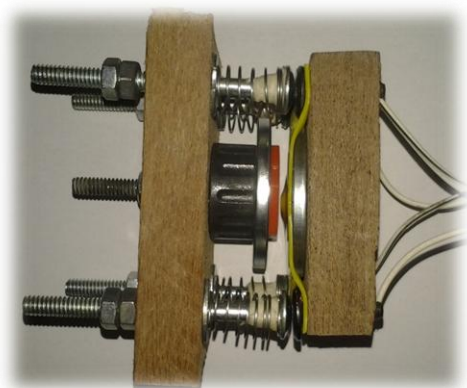
Όταν το ρομπότ ευθυγραμμιστεί με την βάση φόρτισης του και φτάσει αρκετά κοντά σε αυτή τότε ενεργοποιείται η κατάσταση φόρτισης. Για τον σκοπό αυτό έχουμε σχεδιάσει και κατασκευάσει δύο απλά εξαρτήματα τον διαμεσολαβητή φόρτισης που βρίσκεται πάνω στο ρομπότ και τον παροχέα φόρτισης που βρίσκεται στη βάση φόρτισης.

Ο διαμεσολαβητής φόρτισης αποτελείται από ένα κομμάτι ορθογώνιου ξύλου με διαστάσεις $8cm \times 5cm$ και πάχους $2cm$. Στο κέντρο και στις τέσσερις γωνίες του ξύλου έγιναν τρύπες διαμέτρου $4mm$ και τοποθετήθηκε κυκλικός μαγνήτης ο οποίος συγκρατείται με βίδα που διέρχεται από την κεντρική τρύπα. Στη συνέχεια για προστασία του μαγνήτη τοποθετήσαμε πάνω του, κίτρινο φύλλο πολυστερίνης το οποίο ζεσάναμε για να φορμαριστεί στην



πρόσοψη του ξύλου. Τέλος τοποθετήσαμε στις τέσσερις γωνίες βίδες με επίπεδο κεφάλι διαμέτρου 14mm οι οποίες λειτουργούν ως διάυλοι διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος από τον παροχέα φόρτισης.

Ο παροχέας φόρτισης αποτελείται επίσης από ένα κομμάτι ορθογώνιου ξύλου με διαστάσεις 9cmX5cm και πάχους 2cm στο κέντρο και στις τέσσερις γωνίες του οποίου έγιναν τρύπες συμμετρικές με τις τρύπες στο διαμεσολαβητή. Στις τέσσερις γωνιακές τρύπες προσαρμόστηκαν κοχλίες με ελαφρώς καμπυλωτό κεφάλι διαμέσου των οποίων περάστηκαν μαλακά ελατήρια. Στο κέντρο τοποθετήθηκε όμοιος κυκλικός μαγνήτης σε τέτοια θέση ώστε όταν οι μαγνήτες έρθουν σε επαφή να επιταχύνεται επαφή και των αντισυμμετρικών κεφαλών των σπειρωμάτων διαμεσολαβητή και παροχέα φόρτισης.

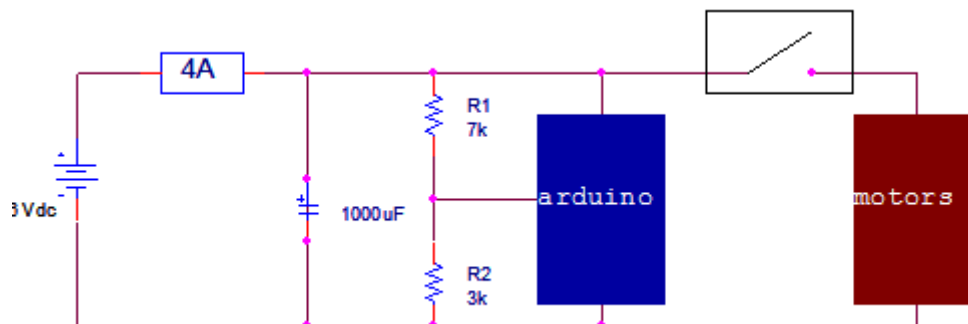


Σχήμα 4.6.1_ Διαμεσολαβητής και παροχέας σε επαφή.

Το συνολικό κύκλωμα φόρτισης αποτελείται από δύο επιμέρους υποκυκλώματα εκ των οποίων το ένα βρίσκεται πάνω στο ερπυστριοφόρο ρομπότ και το άλλο βρίσκεται πάνω στην βάση φόρτισης. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε ολόκληρο το κύκλωμα διαχωρίζοντας τα δύο υποκυκλώματα.

4.7 Σύστημα Τροφοδοσίας Ρομπότ.

Η τροφοδοσία του ρομπότ γίνεται όπως θα ήταν αναμενόμενο μέσω επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Η μπαταρία ουσιαστικά τροφοδοτεί δύο κυκλώματα τα οποία τροφοδοτούν με την σειρά τους άλλα υποκυκλώματα. Τα κυκλώματα αυτά είναι ο μικροελεγκτής arduino που με την σειρά του τροφοδοτεί το σύνολο των αισθητήριων στοιχείων, ενώ το δεύτερο κύκλωμα είναι το σύστημα οδήγησης κινητήρων που τροφοδοτεί τα δύο μοτέρ του ερπυστριοφόρου. Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομπότ φαίνεται πιο κάτω.



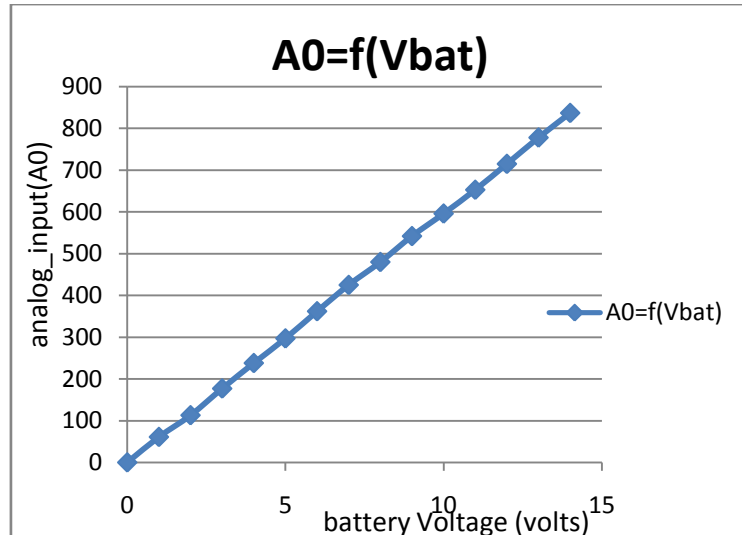
Σχήμα4.7.1_ Κύκλωμα Τροφοδοσίας Ρομπότ.

Όπως φαίνεται στο κύκλωμα έχουμε τοποθετήσει μια ασφάλεια 4^{av} αμπερ για σκοπούς προστασίας της μπαταρίας από κάποιο ανεπιθύμητο βραχυκύκλωμα. Μετά από δοκιμές κίνησης του ρομπότ παρατηρήσαμε ότι το στιγμιαίο ρεύμα που μπορεί να «τραβίσουν» οι κινητήρες του ρομπότ μπορεί να φτάσει και τα 3 αμπερ για αυτό και έγινε μια τέτοια επιλογή στην τιμή της ασφάλειας.

Ο σχετικά μεγάλης τιμής ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 1000µF χρησιμοποιείται για αποφυγή του φαινομένου βύθισης τάσης που μπορεί να προκληθεί κατά την εκκίνηση των κινητήρων του ρομπότ.

Ο ρόλος του διακόπτη που παρεμβάλλεται μεταξύ τροφοδοσίας και του συστήματος κινητήρων είναι πολύ σημαντικός. Έχει την δυνατότητα να απομονώνει τους κινητήρες από την τροφοδοσία ακινητοποιώντας ουσιαστικά το ρομπότ για αυτό και χρησιμοποιείται και ως ο διακόπτης του ρομπότ για την απενεργοποίηση του. Ο βασικός όμως ρόλος αυτού του διακόπτη είναι να απομονώνει το σύστημα τροφοδοσίας κινητήρων πρώτου ο μικροελεγκτής πολώσει κατάλληλα τις βάσεις των τρανζίστορ των Η-γεφυρών του εν λόγω συστήματος. Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι αναφέρουμε ότι στην περίπτωση που δεν υπήρχε ο διακόπτης θα υπήρχε κίνδυνος βραχυκυκλώματος αφού την στιγμή που θα τίθετο το ρομπότ σε τροφοδοσία οι βάσεις των τρανζίστορ των Η-γεφυρών θα βρίσκονται στο αέρα (floating) μέχρι ο μικροελεγκτής arduino πολώσει κατάλληλα τις βάσεις των τρανζίστορ. Λόγω αυτής της κατάστασης μπορεί να δημιουργηθεί αγώγιμη οδός διαμέσου των τρανζίστορ και να υπάρξει κάποιο ρεύμα διαρροής που στην ακραία περίπτωση μπορεί να είναι βραχυκύκλωμα. Για τον λόγο αυτό η διαδικασία που ακολουθείται κατά την σύνδεση της μπαταρίας είναι, να είναι ανοικτός ο διακόπτης κατά την σύνδεση της και αφού συνδεθεί μετά το πέρας κάποιων δευτερολέπτων (όπου οι βάσεις των τρανζίστορ θα πολωθούν κατάλληλα) ο διακόπτης κλίνει.

Τέλος ο διαιρέτης τάσης είναι υπεύθυνος για να ενημερώνει μέσω μια αναλογικής εισόδου του arduino για την στάθμη της τάσης της μπαταρίας έτσι ώστε να μπορεί να αποφασίσει αν η μπαταρία χρειάζεται φόρτιση ή έχει φορτιστεί. Η αντιστοιχία του σήματος που λαμβάνει ο μικροελεγκτής σε σχέση με την τάση της μπαταρίας φαίνεται στην πιο κάτω γραφική που κατασκευάστηκε μετά από λήψη μετρήσεων. Όπως φαίνεται πρόκειται για ευθεία της μορφής $A0=60 \times V_{bat}$.



Σχήμα4.7.2_ Γραφική μέτρησης τάσης τροφοδοσίας από το σύστημα μέτρησης τάση.

Μπαταρία-Φορτιστής.

Για μπαταρία τροφοδοσίας επιλέξαμε μια μπαταρίας νικελίου καδμίου Ni-Cd με ονομαστική τάση τροφοδοσίας στα 9,6Volt. Αποτελείται από 8 στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά μέσα σε μια κοινή συσκευασία δίνοντας μας την δυνατότητα να φορτίζουμε την μπαταρία από ένα φορτιστή δύο πόλων χωρίς να χρειάζεται να φορτίζουμε κάθε στοιχείο ξεχωριστά. Έτσι ο φορτιστής ενσωματώνεται εύκολα στο σύστημα τροφοδοσίας που σχεδιάσαμε. Επίσης η επιλογή της μπαταρίας έγινε λόγω του χαμηλού της κόστους και των τεχνικών της προδιαγραφών που ικανοποιούν τις ανάγκες της εφαρμογής μας.

Τεχνικά Χαρακτηρίστηκα.

- Ονομαστική Τάση Μπαταρίας:9,6V
- Χωρητικότητα Ηλεκτρικής Ενέργειας:1000mAh
- Τύπος Στοιχείων: AA
- Χημική Σύνθεση: Νικελίου Καδμίου (ni-cd)



Σχήμα4.7.3_ Μπαταρία ni-cd 9,6V της NitroXRC.

Για την φόρτιση της μπαταρίας χρησιμοποιήθηκε ο φορτιστής για μπαταρίες νικελίου καδμίου της RadioShack. Ο συγκεκριμένος φορτιστής έχει τα πιο κάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τεχνικά Χαρακτηριστικά.

- Γρήγορη φόρτιση μπαταριών ni-cd 9,6V.
- Αυτόματη διακοπή φόρτισης.
- Φωτεινό Led ειδοποίησης πλήρους φόρτισης μπαταρίας.
- Μέγιστη διάρκεια φόρτισης, 3 ώρες.



Σχήμα 4.7.4_ Φορτιστής μπαταριών νικελίου καδμίου της RadioShack.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

5.1 Εισαγωγή.

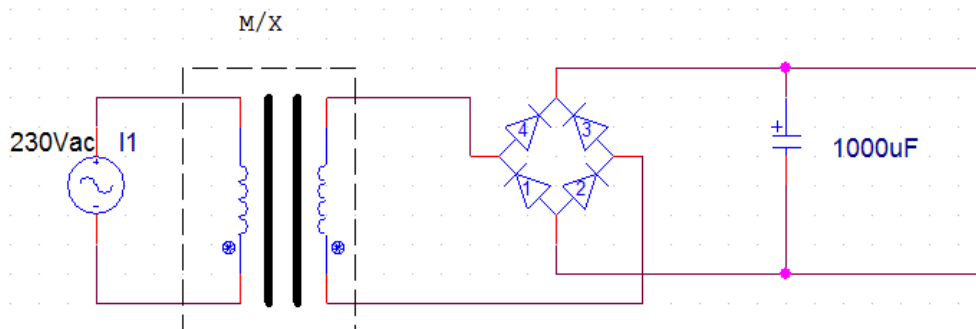
Η δεύτερη ιδιοκατασκευή που περιλαμβάνει η ρομποτική μας εφαρμογή είναι η βάση φόρτισης του ερπυστριοφόρου ρομπότ. Πρόκειται για μια σταθερή βάση η που βρίσκεται σε κάποιο σημείο του χώρου την οποία το ρομπότ καλείται να εντοπίσει και να συνδεθεί με αυτή με στόχο να φορτίσει την μπαταρία τροφοδοσίας του. Έτσι η βάση φόρτισης εκτός από την βασική λειτουργία της για την φόρτιση της μπαταρίας τροφοδοσίας του ρομπότ, παρέχει στο ρομπότ τα απαραίτητα ερεθίσματα που θα του επιτρέψουν να την εντοπίσει και να πλοηγηθεί προς αυτή.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε το μηχανολογικό και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό της βάσης φόρτισης και θα επεξηγήσουμε τον τρόπο που αλληλεπιδρά με το ρομπότ. Συγκεκριμένα θα γίνει παρουσίαση όλων των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που περιλαμβάνει η βάση όπως κυκλώματα τροφοδοσίας, κυκλώματα εκπομπής σήματος υπέρυθρης ακτινοβολίας και κύκλωμα φόρτισης. Επίσης θα παρουσιάσουμε τα μηχανολογικά στοιχεία που επιτελούν την λειτουργία της μαγνητικής σύνδεσης του ρομπότ και θα περιάψουμε τις ενέργειες που επιτελούνται όταν επιτευχθεί η εν λόγω σύνδεση. Για την πληρέστερη ενημέρωση έχουμε προσθέσει στο κείμενο ένα πλήθος αντιπροσωπευτικών φωτογραφιών και κυκλωματικών σχεδιαγραμμάτων.

5.2 Κύκλωμα τροφοδοσίας Βάσης

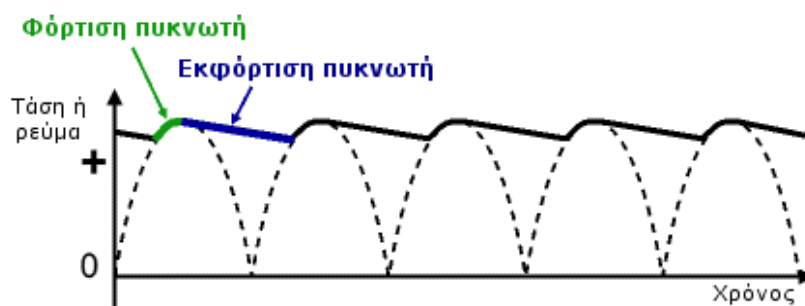
Τα επιμέρους κυκλώματα της βάσης φόρτισης έχουν σχεδιαστεί για τάση τροφοδοσίας στα 10V ενώ η μέγιστη ισχύς που μπορούν να χρειαστούν τα κυκλώματα φτάνει τα 8Watt. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάσαμε ένα τροφοδοτικό που μπορεί να αντεπεξέλθει στις προδιαγραφές μας.

Το κύκλωμα του τροφοδοτικού φαίνεται πιο κάτω:



Σχήμα5.2.1_Κύκλωμα τροφοδοσίας Βάσης Φόρτισης.

Πρόκειται για ένα συνηθισμένο κύκλωμα τροφοδοτικού. Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση του δικτυού ενώ η γέφυρα με τις τέσσερις διόδους επιτυγχάνει πλήρη ανόρθωση της τάσης δηλαδή την μετατροπή της από εναλλασσόμενη σε συνεχή. Ο πυκνωτής χρησιμοποιείται για εξομάλυνση της τάσης όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Την στιγμή που το πλάτος της τάσης από την γέφυρα μειώνεται ο πυκνωτής τροφοδοτεί το κύκλωμα από την αποθηκευμένη σε αυτό ενέργεια και έπειτα όταν το πλάτος της τάσης γίνει μεγαλύτερο από την τάση στα άκρα του πυκνωτή τότε ξεκινά η επαναφόρτιση του. Είναι καλό να επιλέγεται πυκνωτής μεγάλη χωρητικότητας για να μειώνεται η κυμάτωση.



Σχήμα5.2.2_Μείωση Κυμάτωσης με πυκνωτή εξομάλυνσης.

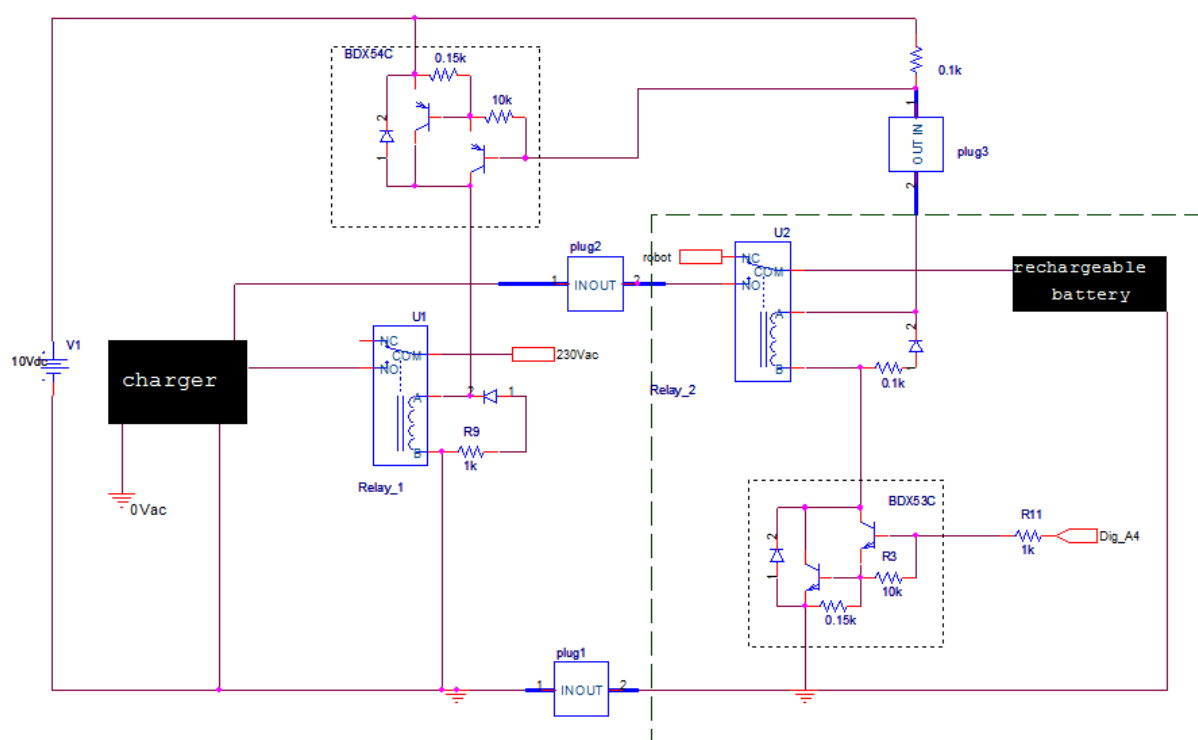
Για τις ανάγκες της εργασίας μας επιλέξαμε ένα M/X με προδιαγραφές $230Vrms/10Vrms, 1A$. Κατά την ανόρθωση παρατηρείται μια πτώση τάσης της τάξης των $0,7Vrms$ σε κάθε μια από τις δύο διόδους που άγουν σε κάθε ημιπερίοδο, έτσι η συνεχής τάση στα άκρα του πυκνωτή εξομάλυνσης είναι $V_c=1,41(10-1,4)=12Vdc$. Ο πυκνωτή που χρησιμοποιήθηκε για εξομάλυνση έχει μεγάλη χωρητικότητα $1000\mu F$ για να επιτύχουμε μικρότερη κυμάτωση.

Όταν το τροφοδοτικό τροφοδοτεί τα επιμέρους κυκλώματα της βάσης τότε υπάρχει πτώση της τάσης και τελικώς η τάση τροφοδοσία που σε κατάσταση ανοιχτοκυκλώματος είναι $12V$ τελικά υπό φορτίο υποβαθμίζεται στα $9,8V$ και ανταποκρίνεται στις ανάγκες τη εφαρμογής μας.

5.3 Κύκλωμα φόρτισης.

Το κύκλωμα φόρτισης είναι ένα από τα πιο σημαντικά κυκλώματα της κατασκευής το οποίο υποδιαιρείται σε δύο τμήματα. Το ένα τμήμα του κυκλώματος βρίσκεται στην βάση φόρτισης ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται στο αυτοκινούμενο ρομπότ. Η σύνδεση των δύο τμημάτων επιτυγχάνεται μέσω των βυσμάτων του συστήματος μαγνητικής επαφής(παράγραφος4.6). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο παροχέας φόρτισης κρέμεται από βραχίονα όπως φαίνεται στην εικόνα (σχήμα 5.4.2.3). Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται στον παροχέα μερική περιστροφή και μετακίνηση μπροστά-πίσω με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται πιο εύκολα η επιδιωκόμενη μαγνητική σύνδεση του παροχέα με τον διαμεσολαβητή φόρτισης.

Για να γίνει πιο κατανοητή η περιγραφή παρουσιάζουμε το συνολικό κύκλωμα φόρτισης που κατασκευάστηκε με τα δύο τμήματα σε επαφή.



Σχήμα5.3.1_Συνολικό Κύκλωμα Φόρτισης

Μέσα στο πράσινο πλαίσιο φαίνεται το κύκλωμα που υπάρχει πάνω στο ρομπότ ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται στην βάση φόρτισης. Τα τρία βύσματα (*plug1,plug2,plug3*) είναι τα σημεία επαφή των δύο υποκυκλωμάτων που αντιστοιχούν στο σύστημα μαγνητικής επαφής.

Η λειτουργία του κυκλώματος έχει ως εξής:

Όσο δεν υπάρχει σύνδεση των δύο υποκυκλωμάτων δηλαδή σύνδεση του συστήματος μαγνητικής επαφής, η τάση στην βάση του ζεύγους *Darlington PNP* είναι ίση με την τάση τροφοδοσίας δηλαδή 10V με αποτέλεσμα το ζεύγος να βρίσκεται σε αποκοπή και το Relay_1 να είναι απενεργοποιημένο.

Πριν περιγράψουμε την διαδικασία φόρτισης, αναφέρουμε την αποστολή του ζεύγους *Darlington NPN*. Στο συγκεκριμένο ζεύγος η τάση που φτάνει στην βάση του ελέγχεται από ένα

αναλογικό ακροδέκτη εξόδου του Arduino (*Dig_A4*). Όταν η στάθμη της μπαταρίας πέσει και το ρομπότ μπει σε διαδικασία αναζήτησης βάσης τότε η τάση που δίνει το Arduino στο συγκεκριμένο ακροδέκτη είναι *HIGH* με αποτέλεσμα όταν επέλθει σύνδεση του κυκλώματος μαγνητικής επαφής-συγκράτησης τότε συμβαίνουν τα ακόλουθα:

1. Το Relay_2 ενεργοποιείται με αποτέλεσμα την αποκοπή της τροφοδοσίας των κινητήρων του ρομπότ και την επερχόμενη ακινητοποίηση του. Ο πόλος της θετικής τροφοδοσίας συνδέεται με τον ακροδέκτη του φορτιστή.
2. Λόγω της ροής ρεύματος διαμέσου του Relay_2 έχουμε πτώση τάσης στην βάση του ζεύγους Darlington PNP έτσι ενεργοποιείται και το δεύτερο Relay_2 με αποτέλεσμα την τροφοδοσία του φορτιστή από το δίκτυο.
3. Ξεκινά η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας.

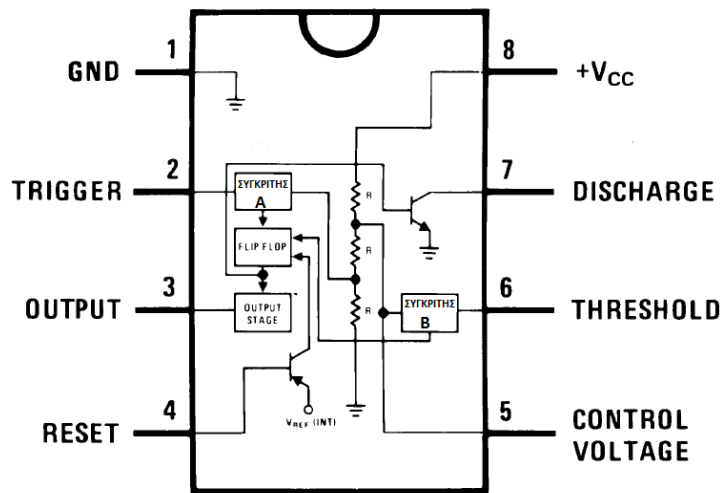
Η διαδικασία φόρτισης συνεχίζεται μέχρις ότου ο μικροεπεξεργαστής Arduino αποφανθεί ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Η απόφαση λαμβάνεται μέσω της μέτρησης της τάσης της μπαταρίας από μια αναλογική είσοδο του μικροεπεξεργαστή. Για διακοπή της διαδικασίας φόρτισης η έξοδος *Dig_A4* γίνεται μηδέν έτσι τα δύο Relay απενεργοποιούνται και οι κινητήρες του ρομπότ τίθενται και πάλι σε λειτουργία ενώ ο φορτιστής αποκόπτεται από την τροφοδοσία. Το ρομπότ παίρνει εντολή για οπισθοχώρηση ώστε να αποσυνδεθεί από την βάση και μπαίνει σε κατάσταση ελεύθερης πλοήγησης στο χώρο.

Τέλος να επισημάνουμε ότι η αντίσταση που βρίσκεται σε σειρά με την δίοδο και παράλληλα με τους ακροδέκτες τροφοδοσίας των Relay χρησιμοποιούνται για αποφυγή σπινθηρισμών και υπερτάσεων από αντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις εξ επαγωγής που αναπτύσσονται στο πηνίο του κάθε Relay κατά την αποκοπή της τροφοδοσίας του. Η δίοδος σε σειρά με την αντίσταση δίνει την δυνατότητα στο πηνίο να αποφορτιστεί και έτσι προστατεύονται ευαίσθητα στοιχεία του συνολικού κυκλώματος της βάσης όπως ολοκληρωμένα και φωτοδιόδοι.

5.4 Διαμόρφωση Σήματος Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.

Όπως έχει αναφερθεί, η βάση φόρτισης εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας αλλά και συνεχόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία. Η συχνότητα στην οποία γίνεται εκπομπή της ακτινοβολίας είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του ολοκληρωμένου δέκτη υπέρυθρων που περιγράψαμε στην παράγραφο 3.2.4.

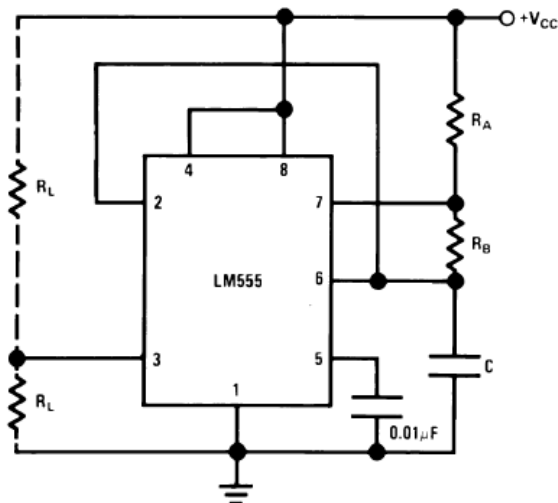
Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας κατασκευάσαμε μια γεννήτρια συχνοτήτων με την βοήθεια του ολοκληρωμένου LM555 timer της Texas Instrument. Η εσωτερική δομή του ολοκληρωμένου φαίνεται πιο κάτω.



Σχήμα5.4.1_Εσωτερική Δομή LM555 timer.

Πριν παρουσιάσουμε το κύκλωμα της κατασκευής μας θα περιγράψουμε τις συνδεσμολογίες ασταθούς λειτουργίας και διαμόρφωσης σήματος μέσω του ολοκληρωμένου *LM555 timer*.

5.4.1 Κύκλωμα Ασταθούς Λειτουργίας.



Σχήμα5.4.1.1_Κύκλωμα Ασταθούς Λειτουργίας με LM555 timer.

Ο ακροδέκτης **2** του ολοκληρωμένου λειτουργά ως σκανδάλισης (trigger). Συγκεκριμένα όταν η τάση στον ακροδέκτη **2** πέσει κάτω από το $1/3 V_{cc}$ της τάσης τροφοδοσίας τότε ένα εσωτερικό flip-flop θέτει την τάση εξόδου σε λογικό *HIGH* ενώ παράλληλα ξεκινά η φόρτιση του πυκνωτή *C* αφού η τάση της βάσης του εσωτερικού *NPN* τρανζίστορ τίθεται σε λογικό *LOW*. Η φόρτιση του πυκνωτή γίνεται διαμέσου των αντιστάσεων *RA* και *RB*.

Όταν η τάση του πυκνωτή φτάσει στα $2/3 V_{cc}$ της τάσης τροφοδοσίας ένας δεύτερος συγκριτής **B** επαναφέρει(reset) το *flip-flop* στην αρχική του κατάσταση με αποτέλεσμα η έξοδος να μηδενίζεται και ο πυκνωτής να αποφορτίζεται μέσω της αντίστασης *RB*.

Όταν η τάση στον πυκνωτή πέσει κάτω από το $1/3 V_{cc}$ της τάσης τροφοδοσίας η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται αφού ο ακροδέκτης **2** είναι βραχυκυκλωμένος με τον ακροδέκτη **6**. Έτσι δημιουργείται μια γεννήτρια συχνοτήτων με χρονικούς παραμέτρους ανάλογους της επιλογής των στοιχείων *RA*, *RB* και *C*. Το σήμα εξόδου έχει την μορφή τετραγωνικής παλμοσειράς.

Οι ακροδέκτες **8** και **1** χρησιμοποιούνται για τροφοδοσία του ολοκληρωμένου ενώ ο ακροδέκτης **4** τίθεται σε δυναμικό HIGH αφού η λειτουργία του Reset που επιτελεί δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα εφαρμογή. Ο ακροδέκτης **5** χρησιμοποιείται ως τάση αναφοράς για τους συγκριτές. Στην συγκεκριμένη λειτουργία η τάση στον ακροδέκτη **5** είναι $2/3V_{CC}$ ενώ ο πυκνωτής που βρίσκεται στον ακροδέκτη **5** χρησιμοποιείται για αποφυγή σφαλμάτων των συγκριτών, από βυθίσεις της τάσης τροφοδοσίας.

Ο χρόνος φόρτισης του πυκνωτή που αντιστοιχεί στο χρόνο που η έξοδος είναι HIGH υπολογίζεται προσεγγιστικά από την σχέση:

$$t_1 = 0,693(R_A + R_B)C$$

Ο χρόνος αποφόρτισης του πυκνωτή που αντιστοιχεί στο χρόνο που η έξοδος είναι LOW υπολογίζεται προσεγγιστικά από την σχέση:

$$t_2 = 0,693(R_B)C$$

Η συχνότητα και η περίοδος δίνονται από τις σχέσεις:

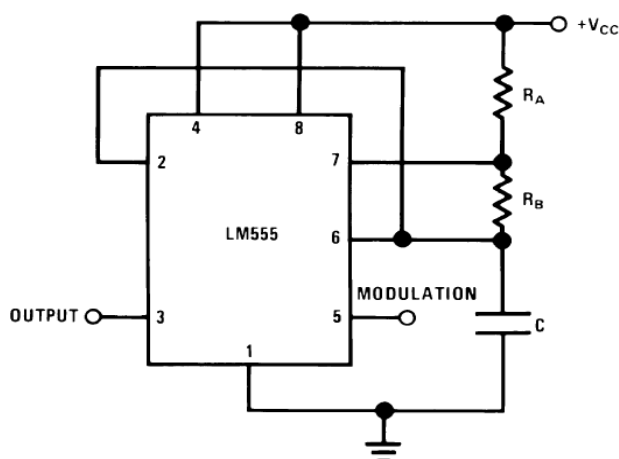
$$T = t_1 + t_2 = 0,693(R_A + 2R_B)C$$

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Οι τιμές αντιστάσεων σε Ω και χωρητικότητων σε F .

5.4.2 Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού.

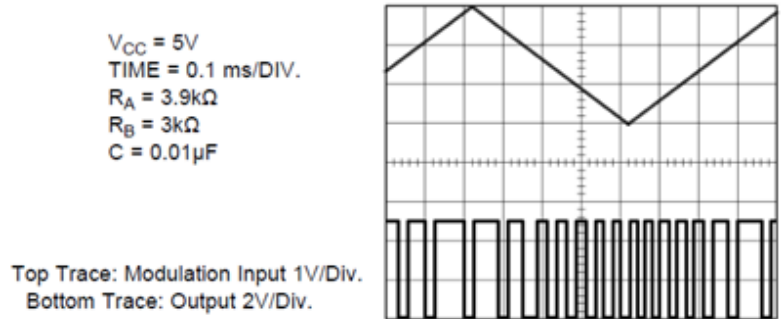
Εάν στο κύκλωμα ασταθούς λειτουργίας που περιγράψαμε πιο πάνω αφαιρέσουμε τον πυκνωτή εξομάλυνσης και εφαρμόσουμε ένα εξωτερικό σήμα στον ακροδέκτη 5 τότε το κύκλωμα λειτουργεί ως διαμορφωτής παλμού.



Σχήμα5.4.2.1_Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού LM555 timer.

Ο ακροδέκτης 5 λειτουργά ως τάση αναφοράς για τον συγκριτή **B**. Στην περίπτωση του ασταθούς λειτουργίας η τάση αφοράς είναι στα $2/3V_{CC}$ λόγω του διαιρέτη τάσης, σε αυτή την περίπτωση όμως η τάση αναφοράς προσδιορίζεται από το πλάτος του σήματος που πρόκειται να διαμορφωθεί. Η ταλάντωση του κυκλώματος επιτυγχάνεται όπως και στο κύκλωμα ασταθούς

λειτουργίας με την διαφορά για να ενεργοποιηθεί το *flip-flop* πρέπει η τάση στον ακροδέκτη **2** να είναι μικρότερη του $\frac{1}{2} V_m$ του σήματος διαμόρφωσης ενώ για να ενεργοποιηθεί το *flip-flop* θα πρέπει ο πυκνωτής C να φορτιστεί με τάση μεγαλύτερη το V_m . Καθώς το πλάτος του σήματος εισόδου μειώνεται η συχνότητα του σήματος εξόδου αυξάνεται ενώ ισχύει και το αντίστροφο.

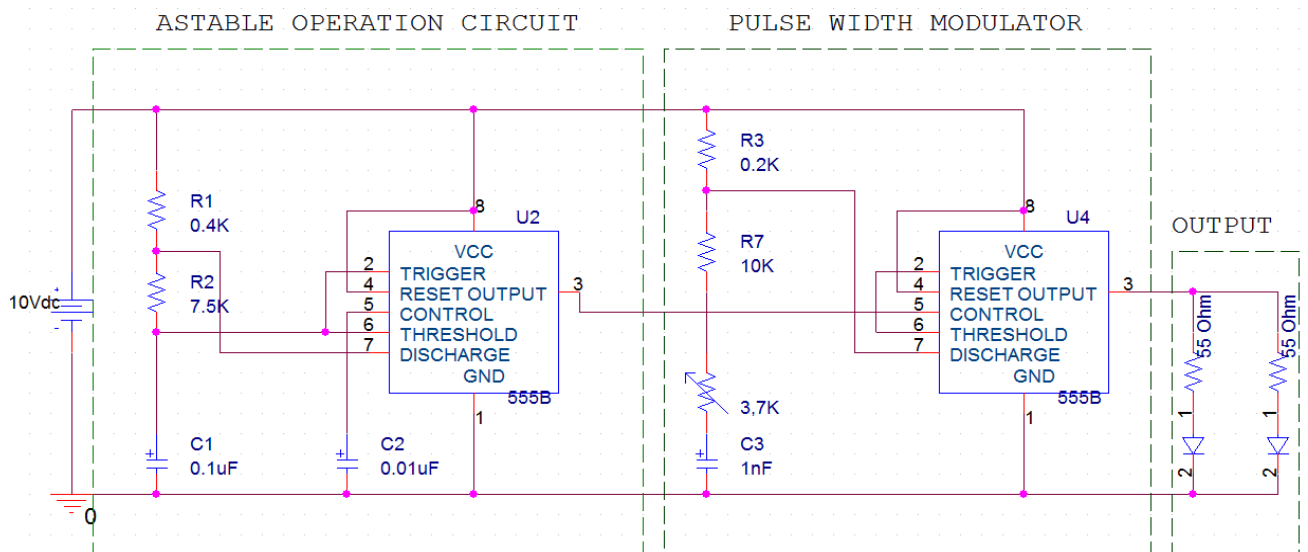


Σχήμα5.4.2.2_ Διαμόρφωση πριονωτού σήματος.

5.4.3 Κυκλωματική διάταξη διαμορφωμένου σήματος υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Για τις ανάγκες της κατασκευής μας θα ήταν αρκετό ένα κύκλωμα ασταθούς λειτουργίας με συχνότητα σύμφωνη με τους ολοκληρωμένους δέκτες υπέρυθρων στα 38KHz. Στην πράξη κάτι τέτοιο δεν είναι αποτελεσματικό αφού από κατασκευαστικούς παράγοντες οι δέκτες υπέρυθρων TSOP αναγνωρίζουν μια συνεχόμενη παλμοσειρά που δεν περιέχει διάκενα, ως θόρυβο. Ο κατασκευαστής υποδεικνύει ότι μετά το πέρας μιας παλμοσειράς διάρκειας 10 έως 70 κύκλων είναι αναγκαίο ένα διάκενο τουλάχιστον 14 κύκλων.

Λαμβάνοντας υπόψη μας αυτή την ιδιομορφία των δεκτών TSOP κατασκευάσαμε το πιο κάτω κύκλωμα το οποίο είναι συνδυασμός του κυκλώματος ασταθούς λειτουργίας και του κυκλώματος διαμόρφωσης παλμού.



Σχήμα5.4.2.3_ Κύκλωμα Διαμόρφωσης Παλμού Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.

Το κύκλωμα αποτελείται από δύο υποκυκλώματα, ένα κύκλωμα ασταθούς λειτουργίας το οποίο οδηγεί το κύκλωμα διαμόρφωσης σήματος.

Οι τιμές των αντιστάσεων και του πυκνωτή στο κύκλωμα ασταθούς λειτουργίας έχουν επιλεγεί ώστε το duty cycle να είναι περίπου 50%. Χρησιμοποιώντας τις προσεγγιστικές σχέσεις έχουμε :

$$t_1 = 0,693(100 + 7,5K)0,1\mu F = 526\mu s$$

$$t_2 = 0,693(7,5K)0,1\mu F = 520\mu s$$

$$T = t_1 + t_2 = 1046\mu s \quad f = \frac{1}{T} = 956Hz$$

$$DutyCycle = 7,5K/(100+15K) = 49,6\%$$

Στο κύκλωμα του διαμορφωτή παλμού ο υπολογισμός των τιμών των αντιστάσεων δεν έγινε απευθείας βάση προσεγγιστικών σχέσεων γιατί υπάρχει κίνδυνος να μην πετύχουμε την επιθυμητή συχνότητα. Ο κίνδυνος αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι το πλάτος του παλμού εξόδου του κυκλώματος ασταθούς λειτουργίας είναι μικρότερο της τάσης τροφοδοσίας έτσι επηρεάζονται οι χρόνοι φόρτισης του πυκνωτή και συνάμα οι χρονικοί παράμετροι που θέλουμε να επιτύχουμε.

Η τάση V_c ενός πυκνωτή χωρητικότητας C που φορτίζεται από μια πηγή τάσης V_0 διαμέσου μιας αντίστασης R δίνεται από την σχέση :

$$V_c = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Εάν υποθέσουμε ότι στο κύκλωμα μας το πλάτος του υπό διαμόρφωση παλμού είναι $80\%V_{cc}$ της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος τότε ο χρόνος που χρειάζεται ο πυκνωτής για να φορτιστεί από το $40\%V_{cc}$ στο $80\%V_{cc}$ δίνεται από την σχέση:

$$t = (\ln(0,6) - \ln(0,2))RC = 1,09RC$$

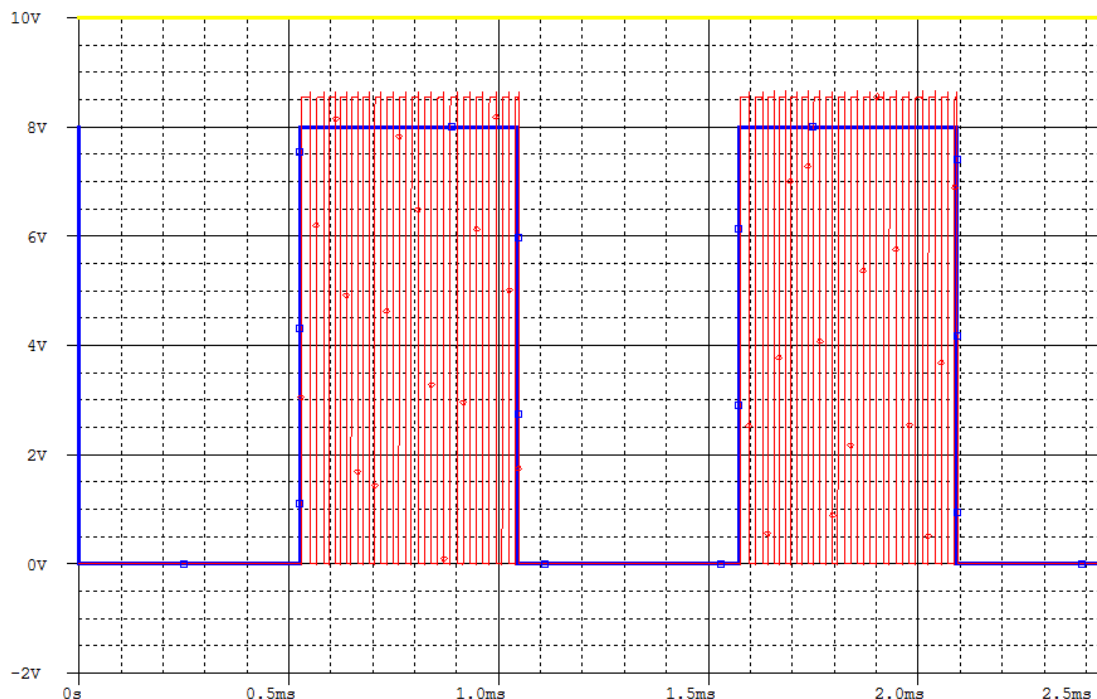
Επιλέγοντας μια αντίσταση R_a αρκετές φορές μικρότερη της R_b η αντίσταση φόρτισης $R = R_a + R_b \equiv R_b$. Έτσι οι χρόνοι t_1 και t_2 είναι σχεδόν οι ίδιοι και τελικά:

$$t_1 = t_2 = (\ln(0,6) - \ln(0,2))RC = 1,09RC$$

Βασιζόμενοι σε αυτό χρησιμοποιήσαμε στο κύκλωμα $R_a=200\Omega$ και $C=1nF$ ενώ για R_b χρησιμοποιήσαμε μια αντίσταση $R_b1=10K$ σε σειρά με ένα πολύστροφο τρίμμερ $Rt=5K$. Οι χρόνοι t_1 και t_2 στη εφαρμογή μας θα έπρεπε να είναι περίπου $t_1=t_2=13\mu s$ ώστε η συχνότητα εξόδου να κυμαίνεται κοντά στα $38KHz$.

Θέλοντας να επιτύχουμε ένα σήμα εξόδου συχνότητας συμβατής με την ιδιοσυχνότητα του ολοκληρωμένου δέκτη υπερύθρων ενεργοποιήσαμε το κύκλωμα και αυξομειώνοντας την αντίσταση του trimmer προσδιορίσαμε την τιμή της αντίστασης R_b για την οποία ο δέκτης $TSOP$ παρουσίαζε μεγαλύτερη ανταπόκριση.

Στην περίπτωση που το πλάτος του υπό διαμόρφωση σήματος είναι *LOW* μηδέν τότε το σήμα εξόδου είναι επίσης μηδέν. Λόγω του ότι ο παλμός εισόδου είναι μηδενικός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη ολική εκφόρτιση του πυκνωτή έτσι η τάση στον ακροδέκτη **2** είναι μηδενική. Ο σύγκριτης **A** δεν θα ενεργοποιήσει το *flip-flop* γιατί ως τάση αναφορά θα έχει την μηδενική τάση έτσι το κύκλωμα μένει σε αναμονή και η έξοδος τελικά είναι επίσης μηδενική.



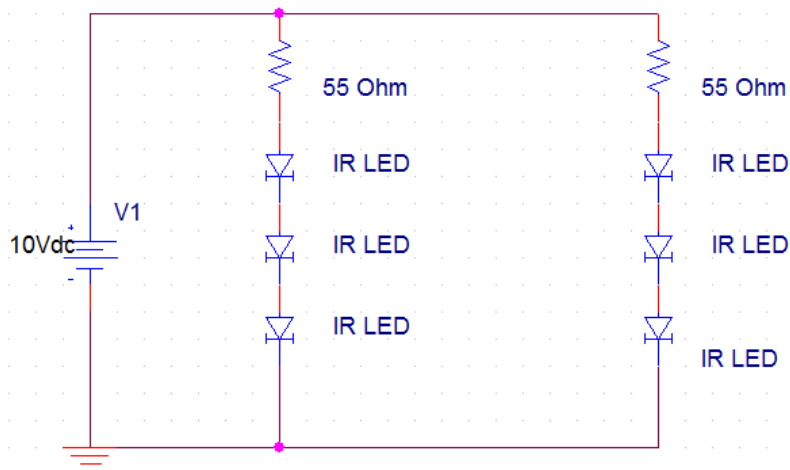
Σχήμα5.4.2.4_ Έξοδος των δύο timers σε προσομοίωση του κυκλώματος στο Pspice.

5.4.4 Κύκλωμα Εκπομπής Συνεχούς Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.

Εκτός από την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας συγκεκριμένης συχνότητας η βάση εκπέμπει και συνεχή υπέρυθρη ακτινοβολία που λαμβάνεται από τους δέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας που βρίσκονται πάνω στο ρομπότ.

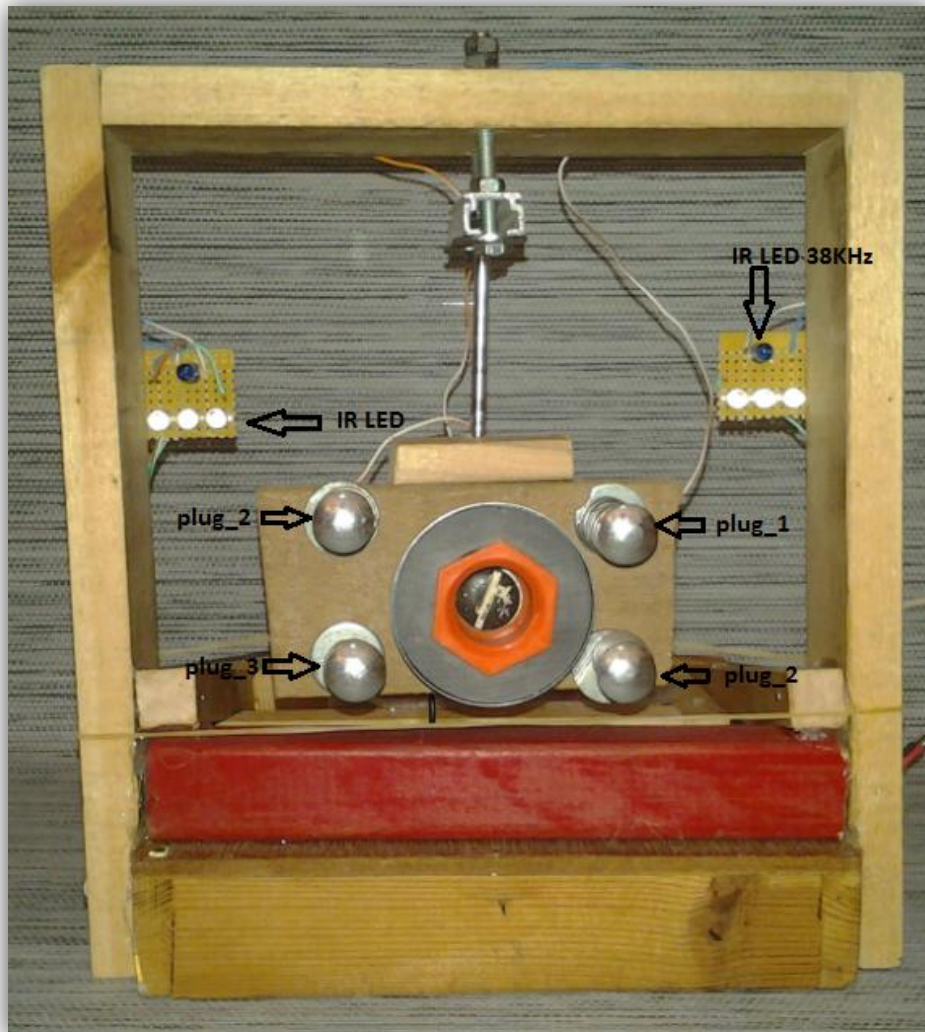
Για να επιτύχουμε ένα ισχυρό σήμα εκπομπής τοποθετήσαμε τρεις Led υπέρυθρης ακτινοβολίας σε κάθε πλευρά της βάσης. Για την κατασκευή μας χρησιμοποιήσαμε τα Led *L53F3C* της *KingBright* τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία μήκους κύματος *940nm* ακτινοβολία στην οποία οι δέκτες υπέρυθρων του ρομπότ παρουσιάζουν μέγιστη ευαισθησία.

Για να έχουμε ικανοποιητική εκπομπή ακτινοβολίας χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των Led το διερχόμενο σε αυτές ρεύμα πρέπει να κυμαίνεται κοντά στα *100mA*. Γνωρίζοντας ότι η πτώση τάση στα άκρα των Led είναι περίπου *1,5V* και ότι η τάση τροφοδοσίας είναι *10V* κατασκευάσαμε το πιο κάτω κύκλωμα.



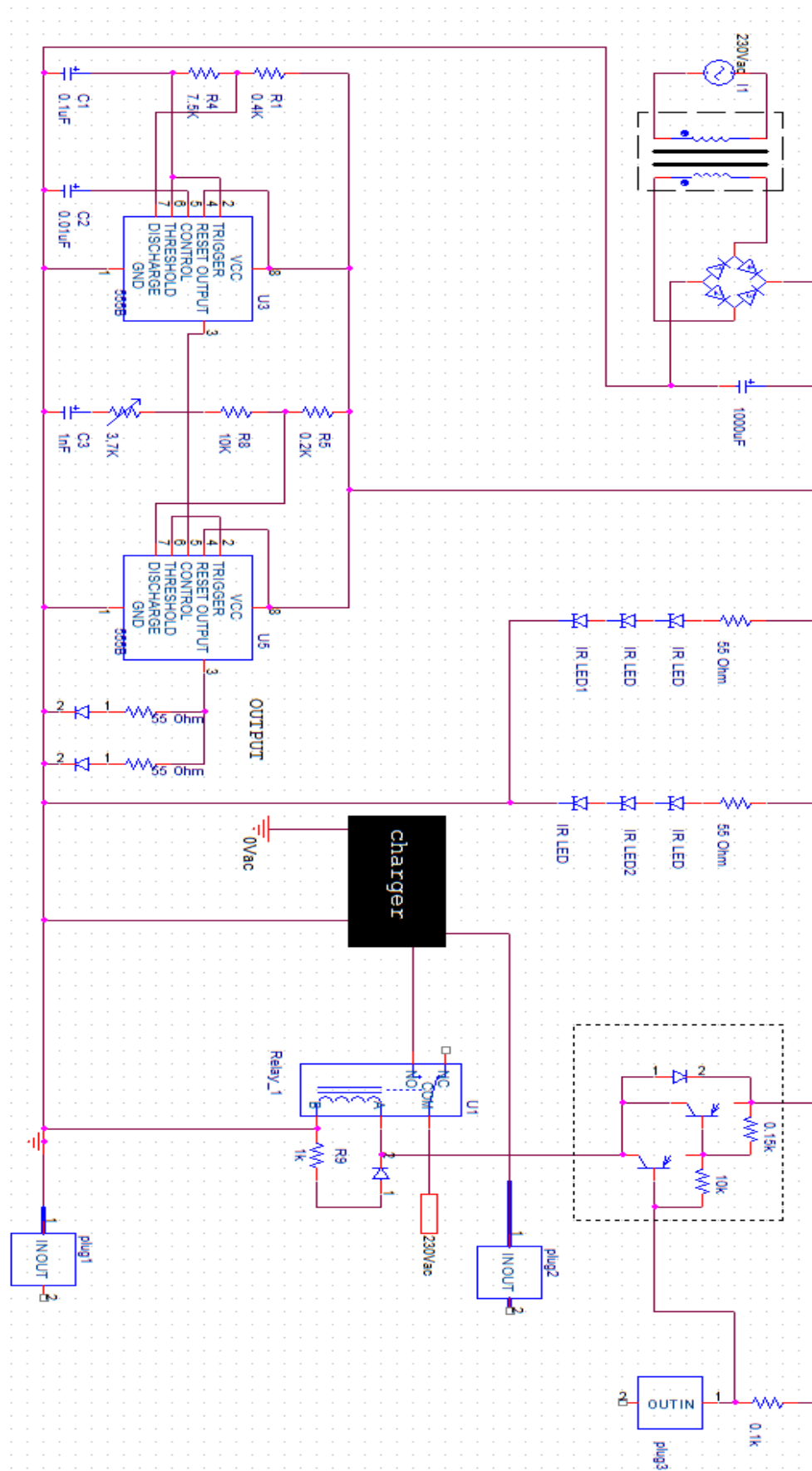
Σχήμα5.4.4.1_Κύκλωμα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η συνολική πτώση τάσης στα τρία Led που βρίσκονται σε σειρά υπολογίζεται στα $3 \times 1,5 = 4,5V$ έτσι η τάση στα άκρα των αντιστάσεων είναι $V_r=5,5V$ με αποτέλεσμα το ρεύμα που διαρρέει κάθε κλάδο να είναι $100mA$.



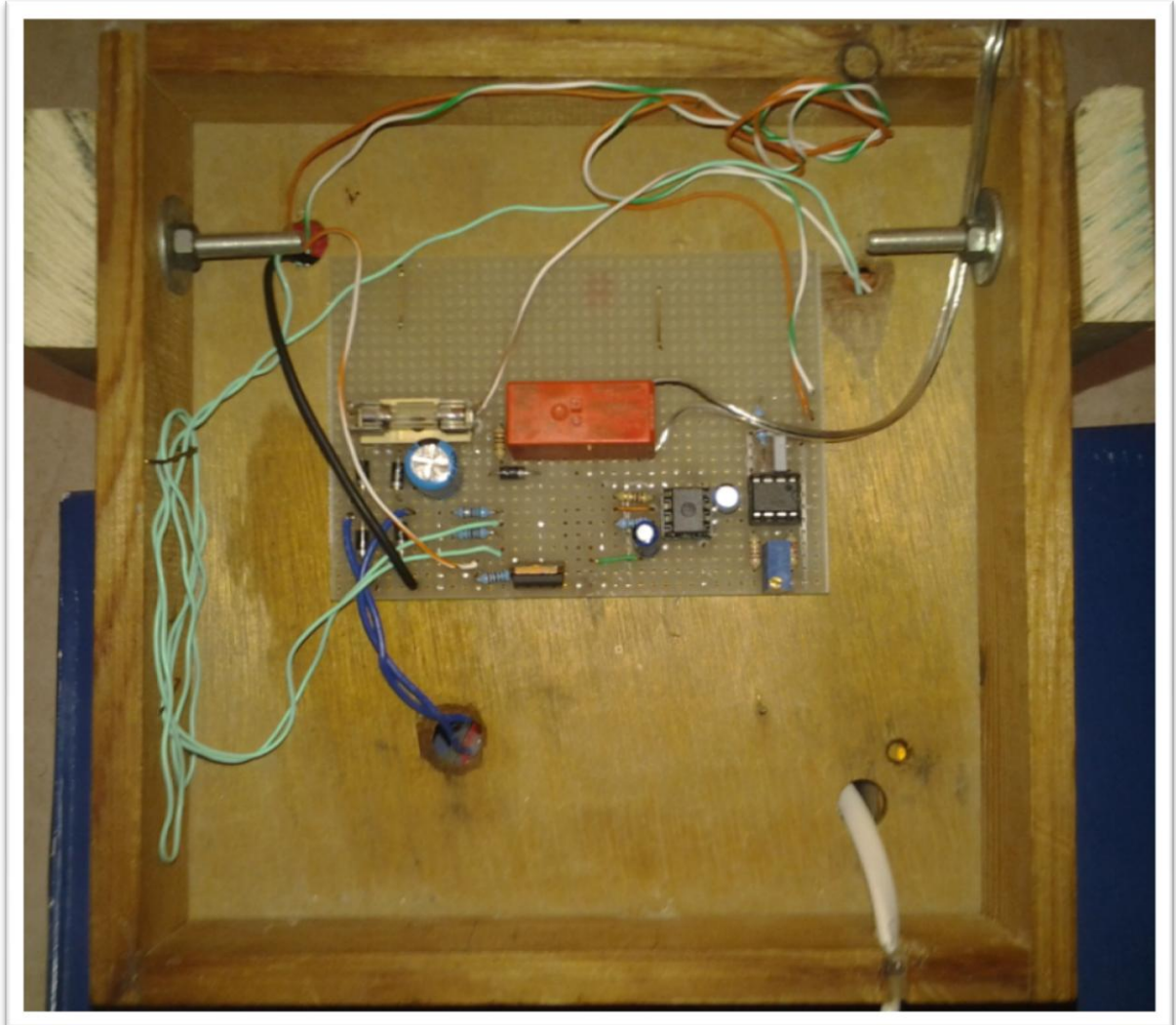
Σχήμα5.4.4.2_Πρόσοψη Βάση Φόρτισης.

5.5 Συνολικό Κύκλωμα Βάσης Φόρτισης.



Σχήμα 5.5.1_Συνολικό Κύκλωμα Βάσης Φόρτισης.

Η πλακέτα που περιλαμβάνει τα κυκλώματα τη βάσης τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος της του τετράγωνου πλαισίου του σκελετού της βάσης φόρτισης.



Σχήμα5.5.2_Πλακέτα Βάσης φόρτισης στο κάτω μέρος του ξύλινου πλαισίου βάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤ.

6.1 Εισαγωγή.

Η βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αυτόνομη πλοήγηση του ρομπότ στο χώρο προκειμένου να εντοπίσει την βάση φόρτισης του. Συγκεκριμένα όταν η στάθμη μπαταρίας της τροφοδοσίας του πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο τότε το ρομπότ σαρώνει το χώρο για να εντοπίσει την διεύθυνση της βάσης φόρτισης. Όταν γίνει εντοπισμός κατευθύνεται προς αυτή και όταν έρθει σε επαφή ξεκινά η διαδικασία φόρτιση. Μετά το πέρας της φόρτισης το ρομπότ αποσυνδέεται από την βάση και κινείται ελεύθερα στο χώρο.

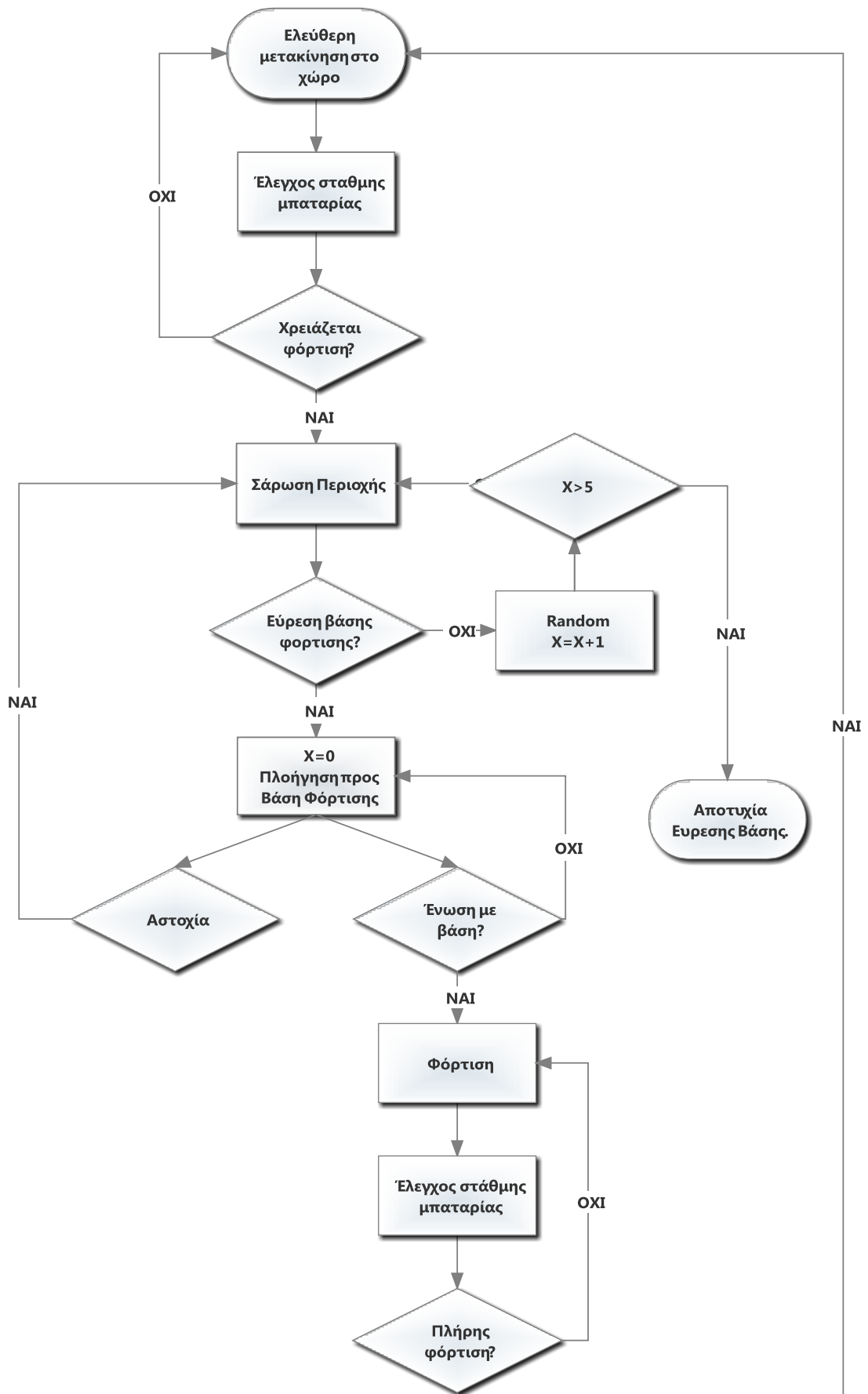
Κατά την μετακίνηση του ρομπότ προς την βάση φόρτισης γίνεται συνεχόμενη εκτίμηση της απόστασης από την βάση και της απόκλισης από την διεύθυνση ούτως ώστε να γίνει διόρθωση της πορείας του και να προπορευτεί στην ακτίνα που ενώνει την στιγμιαία του θέση με την βάση φόρτισης. Τα ερεθίσματα που λαμβάνει το ρομπότ από την βάση είναι υπέρυθρη ακτινοβολία που αλληλεπιδρά με τους αισθητήρες του. Λόγω της πιθανής πρόσκρουσης του ρομπότ με κάποιο εμπόδιο που μπορεί να βρεθεί στην πορεία του έχουμε εξοπλίσει το ρομπότ με αισθητήρες εμποδίων ώστε να αντιλαμβάνεται τα εμπόδια και να τα αποφεύγει.

Για τον έλεγχο των λειτουργιών του ρομπότ έχει φορτωθεί στον μικροελεκτή Arduino ένας προγραμματιστικός κώδικας αποτελούμενος από ένα σύνολο εντολών και διαδικασιών. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται είναι η Wiring μια παραλλαγή της C/C++. Πριν παρουσιάσουμε με λεπτομέρεια τις λειτουργίες του ρομπότ ως αυτοκινούμενου οχήματος παραθέτουμε το πιο κάτω λογικό διάγραμμα για να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του. Σε αυτό το διάγραμμα απεικονίζεται η βασική φιλοσοφία που ακλουθήσαμε προκειμένου να προγραμματίσουμε το ρομπότ να επιτελέσει τον σκοπό του.

Λογικό Διάγραμμα.

Όπως φαίνεται στο λογικό διάγραμμα το ρομπότ κινείται ελεύθερα στο χώρο ελέγχοντας την στάθμη της μπαταρίας του σε κάθε βήμα. Όταν η στάθμη της μπαταρίας του πέσει κάτω από κάποιο προκαθορισμένο όριο τότε σαρώνει την περιοχή για να εντοπίσει την βάση φόρτισης του. Εάν εντοπιστεί η βάση τότε πλοηγείται προς αυτή ενώ εάν δεν καταστεί δυνατός ο εντοπισμός κινείται τυχαία για κάποιο αριθμό βημάτων και επανεκτελεί σάρωση της περιοχής. Εάν αποτύχει να εντοπίσει την βάση μετά από 5 διαδοχικές προσπάθειες θεωρείται ότι αποτυγχάνει και ακινητοποιείται.

Στην περίπτωση που εντοπίσει την βάση πλοηγείται προς αυτή μέχρι να συνενωθεί με τη βάση φόρτισης. Εάν στην πορεία του χάσει το σήμα της βάσης τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία εντοπισμού της βάσης. Τέλος όταν τελικά ενωθεί με την βάση φόρτιση φορτίζει την μπαταρία του μέχρι να φτάσει σε πλήρη φόρτιση και έπειτα αποσυνδέεται από την βάση φόρτισης και ξεκινά εκ νέου μια ελεύθερη μετακίνηση στο χώρο.



Σχήμα6.1.1_Διάγραμμα Λειτουργίας Ρομπότ.

6.2 Κίνηση Ρομπότ

Για ευκολία στην περιγραφή των επιμέρους λειτουργιών του ρομπότ θα παρουσιάσουμε εξ αρχής τις βασικές λειτουργίες κίνησης του ρομπότ. Η εμπρόσθια-οπίσθια κίνηση και η δεξιόστροφη-αριστερόστροφη επιτόπια περιστροφή είναι οι βασικές λειτουργίες κίνησης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες λειτουργίες στις περισσότερες διαδικασίες που εκτελεί το ρομπότ. Η οδήγηση των κινητήρων γίνεται από τέσσερις ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino όπως περιγράψαμε στην παράγραφο 4.5.2. Η αντιστοιχία των ψηφιακών ακροδεκτών με τις μεταβλητές του κώδικα έχει ως εξής:

```
motor_left_fw=Dig_13  
motor_left_bw=Dig_12  
motor_right_fw=Dig_2  
motor_right_bw=Dig_3
```

6.2.1 Ευθύγραμμη Κίνηση.

Εμπρόσθια Κίνηση.(forward)

Η εμπρόσθια κίνηση επιτυγχάνεται σε βήματα των δύο περίπου εκατοστών. Δεν χρησιμοποιήσαμε κάποια τεχνική οδομετρίας για την μέτρηση αποστάσεων αλλά βαθμονομήσαμε (*calibrate*) τις αποστάσεις κίνησης ανάλογα με την διάρκεια του σήματος ενεργοποίησης που χρησιμοποιούμε. Έτσι ενεργοποιώντας τα κυκλώματα οδήγησης κινητήρων για *15 milliseconds* το ρομπότ κινείται σε ευθεία για δύο περίπου εκατοστά. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήσαμε κάποια τεχνική οδομετρίας είναι ότι δεν μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τις αποστάσεις που διασχίζει το ρομπότ. Αυτό που χρειαζόμαστε είναι να εκτελείται η κίνηση σε μικρά βήματα προκειμένου να γίνεται έλεγχος για αποφυγή εμποδίων και έλεγχος διόρθωσης τροχιάς κατά τον εντοπισμό της βάσης φόρτισης.

Για την λειτουργία της ευθύγραμμης κίνησης φορτώθηκε στο μικροελεκτή η πιο κάτω διαδικασία:

```
void forward(int fw){  
  digitalWrite(motor_left_fw,HIGH);  
  digitalWrite(motor_right_fw,HIGH);  
  Serial.println("forward");  
  delay(fw*15);  
  digitalWrite(motor_left_fw,LOW);  
  digitalWrite(motor_right_fw,LOW);  
}
```

Ανάλογα με το μέγεθος του ακέραιου αριθμού της μεταβλητής *fw* εκτελείται ανάλογη κίνηση. Για παράδειγμα εάν $fw = 1$ τότε το ρομπότ κινείται ευθύγραμμα για 2cm, στην περίπτωση που $fw = 2$ τότε το ρομπότ κινείται ευθύγραμμα για 4cm κ.ο.κ.

Οπίσθια Κίνηση.(backward)

Με την ίδια λογική της εμπρόσθιας κίνησης δημιουργήσαμε τον κώδικα της οπίσθιας κίνησης. Λόγω του ότι το ρομπότ κινείται όπισθεν μόνο όταν χρειάζεται να αποφύγει κάποιο εμπόδιο προσδιορισμέ το βήμα οπίσθιας κίνησης στα 5cm περίπου. Το βήμα των 5cm είναι ένα ικανοποιητικό διάστημα για το οποίο όταν το ρομπότ εντοπίσει κάποιο εμπόδιο και οπισθοχωρήσει κατά 5cm μπορεί να στρίψει προς την διεύθυνση αποφυγής εμποδίου χωρίς να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα πρόσκρουσης του με το εμπόδιο. Ενεργοποιώντας το κύκλωμα οδήγησης κινητήρων για οπίσθια κίνηση για 35 milliseconds επιτυγχάνεται το προσδοκώμενο βήμα των 6cm.

Για την λειτουργία της οπίσθιας κίνησης φορτώθηκε στο μικροελεκτή η πιο κάτω διαδικασία:

```
void backwards(int bw){  
  digitalWrite(motor_left_bw,HIGH);  
  digitalWrite(motor_right_bw,HIGH);  
  Serial.println("backwards");  
  delay(bw*35);  
  digitalWrite(motor_left_bw,LOW);  
  digitalWrite(motor_right_bw,LOW);  
}
```

Ανάλογα με το μέγεθος του ακέραιου αριθμού της μεταβλητής *bw* εκτελείται ανάλογη κίνηση. Για παράδειγμα εάν $bw = 1$ τότε το ρομπότ κινείται ευθύγραμμα για 6cm, στην περίπτωση που $bw = 2$ τότε το ρομπότ κινείται ευθύγραμμα για 12cm κ.ο.κ.

6.2.2Επιτόπια Περιστροφή

Όπως και στην ευθύγραμμη κίνηση έτσι και στην επιτόπια περιστροφή το μέγεθος της περιστροφή είναι σε αντιστοιχία με χρονικό διάστημα του σήματος ενεργοποίησης. Μετά από πειράματα έχει υπολογιστεί ότι για ενεργοποίηση 40 milliseconds του κυκλώματος οδήγησης κινητήρων για περιστροφή, επιτυγχάνεται επιτόπια περιστροφή του ρομπότ για 5 μοίρες περίπου.

Για την αριστερόστροφη επιτόπια περιστροφή χρησιμοποιήσαμε τον πιο κάτω κώδικα:

```
void left(int lf){  
  
  digitalWrite(motor_left_bw,HIGH);  
  digitalWrite(motor_right_fw,HIGH);  
  delay(lf*40);  
  digitalWrite(motor_left_bw,LOW);  
  digitalWrite(motor_right_fw,LOW);  
  Serial.println("left");  
}
```


Για την δεξιόστροφη επιτόπια περιστροφή χρησιμοποιήσαμε τον πιο κάτω κώδικα:

```
void right(int rg){  
  
    digitalWrite(motor_right_bw,HIGH);  
    digitalWrite(motor_left_fw,HIGH);  
    delay(rg*40);  
    digitalWrite(motor_right_bw,LOW);  
    digitalWrite(motor_left_fw,LOW);  
    Serial.println("right");  
}
```

Ανάλογα με το μέγεθος των μεταβλητών “lf” και “rg” εκτελείται ανάλογη επιτόπια περιστροφή αριστερόστροφα και δεξιόστροφά αντίστοιχα. Ο σκοπός ελέγχου του μεγέθους της περιστροφής διαφαίνεται στο στάδιο εντοπισμού της βάσης φόρτισης. Όσο το ρομπότ πλησιάζει την βάση φόρτισης θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια για αυτό και το μέγεθος περιστροφής μειώνεται.

6.3 Υπολογισμός έντασης υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Όπως περιγράψαμε στη παράγραφο 4.3, το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με δύο είδη αισθητήρων πρόσληψης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το πρώτο είδος είναι οι ολοκληρωμένοι δέκτες υπέρυθρων (TSOP) που λαμβάνουν ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας και το δεύτερο είδος είναι οι φωτοδιόδοι_PIN πρόσληψης υπέρυθρης ακτινοβολίας συνεχόμενου φάσματος.

Η λογική την οποία ακλουθήσαμε είναι, σε κάθε βήμα να γίνεται καταγραφή της τιμής της αριστερής και δεξιάς φωτοδιόδου από τους αναλογικούς ακροδέκτες του Arduino, A1 και A2 αντίστοιχα, σε μια κλίμακα από 0 έως 1023. Οι τιμές των A1 και A2 αποθηκεύονται στις μεταβλητές *photod_left* και *photod_right* αντίστοιχα. Με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το κύκλωμα των φωτοδιόδων όπως περιγράψαμε στο κατασκευαστικό μέρος λαμβάνουμε μέγιστη τιμή όταν έχουμε μηδενική πρόσληψη ακτινοβολίας και ελάχιστη όταν εκπέμπεται μέγιστη ακτινοβολία στην φωτοδίοδο.

Επίσης σε κάθε βήμα λαμβάνουμε το σήμα από τον αριστερό και δεξιό ολοκληρωμένο δέκτη TSOP από του ψηφιακούς ακροδέκτες *Dig_12* και *Dig_13* αντίστοιχα. Οι τιμές των *Dig_12* και *Dig_13* αποθηκεύονται στις μεταβλητές *tsop_left* και *tsop_right* αντίστοιχα. Όταν ο ολοκληρωμένος δέκτης λαμβάνει την ακτινοβολία που εκπέμπει η βάση τότε δίνει σήμα LOW ενώ σε αντίθετη περίπτωση δίνει HIGH.

Σε κάθε βήμα εάν *tsop_left=LOW* τότε η μεταβλητή *left_sens=photod_left* ενώ εάν *tsop_left=HIGH* τότε η μεταβλητή *left_sens=1023*.

Με την ίδια λογική εάν *tsop_right=LOW* τότε η μεταβλητή *right_sens=photod_right* ενώ εάν *tsop_right=HIGH* τότε η μεταβλητή *right_sens=1023*.

Ο κώδικας για τον υπολογισμό της φωτεινής έντασης υπέρυθρης ακτινοβολίας έχει την πιο κάτω μορφή:

```
photod_left=analogRead(A2);
photod_right=analogRead(A1);

for(int x = 0; x <=15000; x++){
  if (digitalRead(tsop_right)==LOW){
    right_sens=photod_right;
    goto out_L;
  }
  else if (digitalRead(tsop_right)==HIGH){
    right_sens=1023;

  }
}
out_L:
for(int x = 0; x <=15000; x++){
  if (digitalRead(tsop_left)==LOW){
    left_sens=photod_left;
    goto out_R;
  }
  else if (digitalRead(tsop_left)==HIGH){
    left_sens=1023;

  }
}
out_R:
```

Όπως φαίνεται στον κώδικα για τον εντοπισμό του υπέρυθρου σήματος από τους ολοκληρωμένους δέκτες *TSOP* εκτελείται μια ριπή μετρήσεων μέχρι και 15000 μετρήσεις. Ο λόγος που λαμβάνεται ένας τόσο μεγάλος αριθμός μετρήσεων είναι για να γίνεται εντοπισμός του σήματος σε περιοχές όπου το σήμα είναι εξασθετισμένο. Ο βρόχος εκτελεί τις μετρήσεις μέχρι να εντοπιστεί το σήμα χωρίς να είναι αναγκαίο να ληφθούν και οι 15000 μετρήσεις. Η λήψη και των 15000 μετρήσεων γίνεται μόνο στην περίπτωση που δεν εντοπιστεί το σήμα υπέρυθρης ακτινοβολίας συχνότητας *38KHz*. Στο σημείο αυτό να ενημερώσουμε ότι ο χρόνος που απαιτείται για την λήψη των 15000 μετρήσεων είναι της τάξης του δευτερολέπτου.

6.4 Αποφυγή Εμποδίων

6.4.1 Σύστημα αποφυγής εμποδίων με αισθητήρες υπερήχων.

Το σύστημα αναγνώρισης εμποδίων με αισθητήρες υπερήχων που περιγράψαμε στην ενότητα 4.4.1 αποτελεί το πρωτεύον σύστημα για την λειτουργία αναγνώρισης και αποφυγής εμποδίων που παρεμβάλλονται στην πορεία του ρομπότ.

Ο τρόπος λειτουργίας του κυκλώματος στην κατασκευή μας περιγράφεται με τα εξής βήματα:

1. Ενεργοποιούμε τον σκανδαλιστή του αισθητήρα για 10 μικρο-δευτερόλεπτα.
2. Μετρούμε τον χρόνο (t) που χρειάζεται το υπερηχητικό κύμα να ανακλαστεί στην επιφάνεια του κοντινότερου εμποδίου και να επιστρέψει στον αισθητήρα.
3. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του ήχου στον αέρα υπολογίζουμε την αντίστοιχη απόσταση από την σχέση $d = \frac{(t*340m/s)}{2}$
- Τα τρία πιο πάνω βήματα εκτελούνται για κάθε ένα από τους δύο αισθητήρες υπερήχων έτσι προσδιορίζουμε την απόσταση του ενδεχόμενου εμποδίου που παρεμβάλλεται αριστερά και δεξιά.
4. Εάν η απόσταση του εμποδίου είναι μικρότερη των 6cm και το ρομπότ βρίσκεται εκτός της Ενεργής Περιοχής A (παρ 4.3.3) τότε οπισθοχωρεί σε μια απόσταση περίπου 15cm και εκτελεί επιτόπια περιστροφή 20 μοιρών προς την αντίθετη πλευρά του εμποδίου.
5. Συνεχίζει την πορεία του επανεκτιμώντας την θέση του και την απόσταση εμποδίων.

Η απόσταση των 6cm καθορίστηκε σκόπιμα γιατί είναι ένα ικανοποιητικό διάστημα στο οποίο το ρομπότ δεν διατρέχει κίνδυνο να συγκρουστεί λόγω της ορμής του και επίσης προλαμβάνεται ο κίνδυνος να μπει το ρομπότ σε στενάχωρα μονοπάτια που καθιστούν αδύνατη την πλοήγηση του. Επίσης όταν το ρομπότ βρίσκεται εντός της ενεργής περιοχής A (πλησιάζει την βάση) τα ερεθίσματα από του αισθητήρες υπερήχων δεν λαμβάνονται υπόψη γιατί θα αναγνωριζόταν και η βάση ως εμπόδιο. Αντί αυτού χρησιμοποιείται το δευτερεύον σύστημα που θα περιγράψουμε στην επομένη ενότητα.

Για τον υπολογισμό των αποστάσεων από κάθε αισθητήρα χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση:

```
long obs_distance (int trigPin,int echoPin){  
digitalWrite(trigPin, LOW);  
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(trigPin, HIGH);  
delayMicroseconds(10); //ενεργοποίηση σκαναδαιστη για 10microsec  
digitalWrite(trigPin, LOW);  
duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // μέτρηση χρονικού διαστήματος επιστροφής ανακλώμενου κύματος.  
return duration / 29 / 2; // αντιστοίχιση microseconds σε cm.  
}
```

Οι εντολές ενεργοποίησης της συνάρτησης, αποφυγής εμποδίου και οι συνθήκες ελέγχου είναι:

```
obs_dis_left=obs_distance(trigPin_left,echoPin_left); // υπολογισμός εμποδίου αριστερού
αισθητήρα.
delay(10);
obs_dis_right=obs_distance(trigPin_right,echoPin_right); // υπολογισμός εμποδίου δεξιού
αισθητήρα.
if (left_sens>600 && right_sens>600) // έλεγχος εάν το ρομπότ βρίσκεται εκτός περιοχής Α.
{
if ( obs_dis_left<6) {
backwards(1);
right(2);
}
if (obs_dis_right<6) {
backwards(1);
left(2);
}
}
```

6.4.2 Σύστημα αναγνώρισης-αποφυγής εμποδίων με διακόπτες πιέσεως.

Το σύστημα αναγνώρισης εμποδίων που περιγράψαμε στην ενότητα 4.4.2 αποτελεί το δευτερεύον σύστημα αυτής της λειτουργίας αλλά είναι εξίσου σημαντικό και αναγκαίο ειδικότερα στο τελευταίο στάδιο σύνδεσης του ρομπότ με την βάση φόρτισης του.

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος αυτού είναι πολύ απλός. Όταν κλίσει κάποιος από του δύο μικρό-διακόπτες μετά από πρόσκρουση του ρομπότ σε κάποιο εμπόδιο τότε αυτό οπισθοχωρεί για ένα διάστημα 15cm περίπου και εκτελεί επιτόπια περιστροφή 20μοιρών στην αντίθετη από το εμπόδιο πλευρά.

```
if (digitalRead(obs_left)==HIGH) {
backwards(1);
right(2);
}
if (digitalRead(obs_right)==HIGH) {

backwards(1);
left(2);
}
```

6.5 Έλεγχος Στάθμης Τάσης Επαναφορτιζόμενης Μπαταρίας.

Μέσω ενός διαιρέτη τάσης που βρίσκεται στα άκρα της μπαταρίας το ρομπότ υπολογίζει την στάθμη της τάσης μπαταρίας μέσω του αναλογικού ακροδέκτη A0. Χρησιμοποιώντας την σχέση $A0=60V_{bat}$ που υπολογίσαμε στην ενότητα 4.7 κάναμε μια αντιστοιχία του μετρούμενου σήματος σε σχέση με την πραγματική τάση της μπαταρίας. Μετά από μετρήσεις και αναδρομή στα φύλλα κατασκευαστών της μπαταρίας αποφασίσαμε όπως, ανάλογα με τις τιμές της τάσης το ρομπότ να εκτελεί τις πιο κάτω λειτουργίες.

Τάση Μπαταρίας(Vbat)	Vbat<9,5V	9,5V<Vbat<10V	Vbat>10V	Vbat>11,2V
Analog_A0	A0<570	570<A0<600	A0>600	A0>672
Λειτουργία	Ακινητοποίηση	Αναζήτηση Βάσης Φόρτισης	Ελεύθερη Πλοήγηση	Αποσύνδεση Από τη Βάση Φόρτισης

Ο λόγος που το ρομπότ ακινητοποιείται όταν η στάθμη της τάσης μπαταρίας πέσει κάτω από τα 9Volt είναι γιατί μια τέτοια τάση δεν είναι ικανή να οδηγήσει του κινητήρες με αποτέλεσμα να υπάρχουν σφάλματα και επίσης γίνεται για προστασία της μπαταρίας.

Στην περίπτωση που το ρομπότ συνδεθεί με την βάση φόρτισης τότε η φόρτιση διαρκεί μέχρι η τάση της μπαταρίας να φτάσει τα 11,2Volt που έχει μετρηθεί ως η τάση πλήρους φόρτισης.

Ο κώδικας για τις πιο πάνω λειτουργίες έχει ως εξής:

Για μέτρηση της τάσης.

```
battery_level=analogRead(A0);
```

Για ακινητοποίηση του Ρομπότ.

```
if (battery_level<570){  

  Serial.print("Battery voltage dropped out of safety limit ");  

  Serial.println(battery_level,DEC);  

  switch_off();  

}
```

Για ελεύθερη Πλοήγηση

```
if (battery_level>600) {  

  Serial.print("Battery Level=");  

  Serial.println(battery_level,DEC);  

  digitalWrite(A4,LOW);  

  free_running(10);  

  goto repeat;  

}
```

Αποσύνδεση Από την Βάση Φόρτισης.

```
if (battery_level>672) {  
    Serial.print("Battery Level=");  
    Serial.println(battery_level,DEC);  
    digitalWrite(A4,LOW);  
    backwards(15);  
    right(10);  
    free_running(100);  
    goto repeat;  
}
```

Τα πιο πάνω κομμάτια κώδικα χρησιμοποιούνται στις διάφορες λειτουργίες τις οποίες θα περιγράψουμε πιο κάτω ώστε να γίνει πιο κατανοητή η χρησιμότητά τους. Το κομμάτι κώδικα για την κατάσταση αναζήτησης βάσης φόρτισης περιγράφεται με λεπτομέρεια στις επόμενες παραγράφους αφού πρόκειται και για το πιο ουσιαστικό μέρος του κώδικα. Επίσης στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι το analog_A4 του μικροελεκτη είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του ρελέ αποσύνδεσης τροφοδοσίας κινητήρων όπως περιγράψαμε στην ενότητα 5.3.

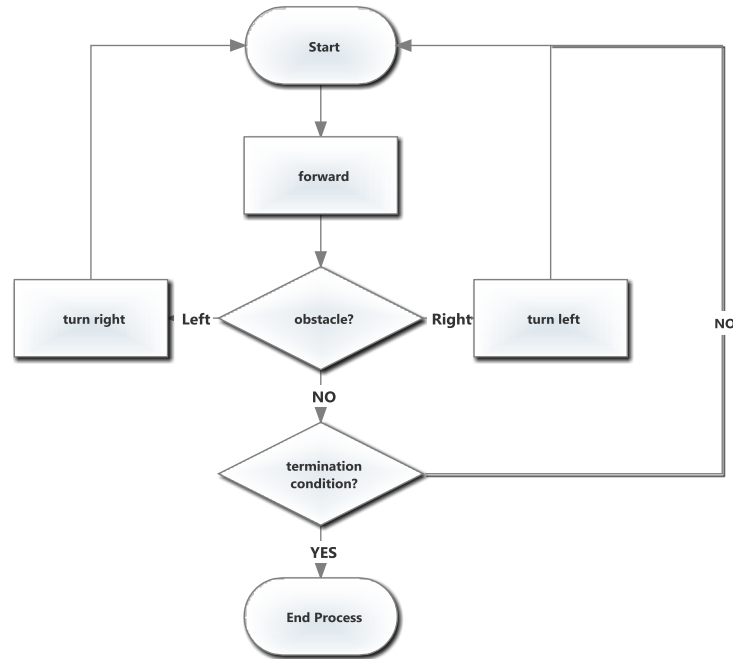
6.6 Ελεύθερη μετακίνηση στον χώρο.

Ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός αυτόνομου ρομπότ που έχει την ικανότητα να εντοπίζει την βάση φόρτισης του, να πλοηγείται προς αυτήν και να συνδέεται σε αυτή προκειμένου να φορτίσει την μπαταρία του. Στην περίπτωση που η μπαταρία του ρομπότ δεν χρειάζεται φόρτιση τότε αυτό μετακινείται τυχαία στον χώρο λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα ερεθίσματα αποφυγής εμποδίων. Αυτή η τυχαία μετακίνηση στον χώρο δεν εξυπηρετεί κάποιο ουσιαστικό σκοπό απλά την ενσωματώσαμε στις λειτουργίες του συστήματος ούτως ώστε να καταναλώνεται ενέργεια από την μπαταρία και να μεταπίπτει το ρομπότ στην κύρια λειτουργία του δηλαδή τον εντοπισμό της βάσης φόρτισης του. Σε κάποια πρακτική εφαρμογή στην θέση αυτής της παρένθετης λειτουργίας που ενσωματώσαμε, βρίσκεται η κύρια λειτουργία του ρομπότ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ρομποτικό σκουπάκι (vacum cleaner) Roomba το οποίο είναι ένα αυτόνομο ρομπότ που έχει ως κύρια λειτουργία το καθάρισμα του πατώματος από σκόνες και μικροσωματίδια. Το ρομπότ Roomba έχει επίσης την ικανότητα να εντοπίζει την βάση φόρτισης του και να φορτίζεται όπως και το ρομπότ της κατασκευής μας.

Στην περίπτωση που το ρομπότ μας σαρώσει την περιοχή και δεν εντοπίσει την βάση φόρτισης τότε μπαίνει σε κατάσταση ελεύθερης μετακίνησης για ένα προκαθορισμένο αριθμό βημάτων και επαναλαμβάνει την διαδικασία σάρωσης περιοχής. Εάν το ρομπότ αποτύχει να εντοπίσει την βάση φόρτισης μετά από πέντε διαδοχικές προσπάθειες σάρωσης περιοχής τότε ακινητοποιείται και θεωρείται ότι απέτυχε στην αποστολή του. Κάτι τέτοιο είναι πιθανόν να συμβεί σε περίπτωση

διακοπής τροφοδοσίας της βάσης φόρτισης ή στην περίπτωση που το ρομπότ εγκλωβιστεί σε κάποια περιοχή του χώρου που δεν μπορεί να φτάσει η υπέρυθρη ακτινοβολία της βάσης ακόμα και μετά τις πέντε προσπάθειες.

Η λειτουργία της ελεύθερης μετακίνησης διαφαίνεται στο πιο κάτω λογικό διάγραμμα:



Σχήμα6.5.1_Διάγραμμα Λειτουργίας Ελεύθερης μετακίνησης.

Όταν ενεργοποιηθεί η λειτουργία ελεύθερης μετακίνησης στο ρομπότ τότε αυτό κινείται ευθύγραμμα και διορθώνει την κίνηση του με επιτόπια περιστροφή σε περίπτωση που εντοπίσει εμπόδιο. Στη περίπτωση που το εμπόδιο είναι δεξιά τότε εκτελεί επιτόπια περιστροφή προς τα αριστερά και αντιστοίχως στην περίπτωση που το εμπόδιο είναι αριστερά εκτελεί επιτόπια περιστροφή προς τα δεξιά.

Κώδικας διαδικασίας ελεύθερης μετακίνησης.

Στον προγραμματιστικό κώδικα της εφαρμογής μας ενσωματώσαμε την λειτουργία της ελεύθερης μετακίνησης ως μια διαδικασία με όρισμα ένα δείκτη *index1* που αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων που πρόκειται να εκτελεστεί η ρουτίνα της ελεύθερης μετακίνησης.

```
void free_running (int index1){  
do{  
  Serial.println("freerun");  
  
  index1=index1-1;  
  forward(2);  
  delay(80);  
  if (digitalRead(obs_left)==HIGH) {  
    backwards(6);  
    right(4);  
  }  
}
```

```

}
if (digitalRead(obs_right)==HIGH) {

    backwards(6);
    left(4);
}
obs_dis_left=obs_distance(trigPin_left,echoPin_left);
delay(10);
obs_dis_right=obs_distance(trigPin_right,echoPin_right);
if (obs_dis_left<6){
    backwards(3);
    right(2);
}
if (obs_dis_right<6){
    backwards(3);
    left(2);
}

battery_level=analogRead(A0);
Serial.println(battery_level,DEC);
}
while ( index1>0);

```

Ενεργοποίηση ελεύθερης μετακίνησης.

Όπως έχουμε αναφέρει η ελεύθερη μετακίνηση χρησιμοποιείται σε δύο περιπτώσεις, α) ελεύθερη μετακίνηση όσο η μπαταρία δεν χρειάζεται φόρτιση και β) στην περίπτωση που η μπαταρία χρειάζεται φόρτιση αλλά δεν γίνεται εντοπισμός της βάσης φόρτισης.

```

if (battery_level>600) {
    Serial.print("Battery Level=");
    Serial.println(battery_level,DEC);
    digitalWrite(A4,LOW);
    free_running(10);
    goto repeat;
}

```

Μέσω του πιο πάνω κώδικα το ρομπότ κινείται ελευθέρα για 10 βήματα και επανεκτίμα την στάθμη της μπαταρίας επαναλαμβάνοντας την όλη διαδικασία μέχρις ότου η στάθμη της μπαταρίας πέσει κάτω από το όριο των 10Volt(αντιστοιχία 600) οπότεν και μπαίνει στην διαδικασία αναζήτησης της βάσης φόρτισης του.

Στην δεύτερη περίπτωση η διαδικασία ελεύθερης μετακίνησης θα ενεργοποιηθεί για περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων και θα γίνει προσπάθεια επανενοτισμού της βάσης φόρτισης. Ο αριθμός των επαναλήψεων της ρουτίνας ελεύθερης μετακίνησης είναι 100 επαναλήψεις. Ο λόγος επιλογής των 100 επαναλήψεων είναι ότι μετά το πέρας τους το ρομπότ

θα βρεθεί σε μια απόσταση περίπου 1m από την προηγούμενη του θέση απόσταση η οποία αντικατοπτρίζει το μέσω εμπόδιο που μπορεί να συναντήσει μέσα στο περιβάλλον του. Ο σχεδιασμός του ρομπότ βασίζεται σε οικιακό περιβάλλον έτσι ένα πιθανό εμπόδιο μπορεί να είναι κάποιο έπιπλο. Το κάλεσμα της συνάρτησης ελεύθερης μετακίνησης σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στην επόμενη ενότητα σάρωσης του χώρου για εντοπισμό της βάσης φόρτισης.

6.6 Σάρωση Χώρου για εντοπισμό της Βάσης Φόρτισης.

Η λογική στην οποία στηριχθήκαμε για την υλοποίηση της διαδικασίας σάρωσης χώρου είναι η επιτόπια περιστροφή για 360 μοίρες του ρομπότ με παράλληλη καταγραφή των τιμών που λαμβάνουν οι αισθητήρες υπέρυθρων. Με την επεξεργασία των τιμών μπορεί να υπολογίσει σε ποια διεύθυνση του χώρου βρίσκεται η βάση φόρτισης και να ευθυγραμμιστεί με αυτή.

Συγκεκριμένα όταν το ρομπότ τεθεί σε λειτουργία σάρωσης χώρου τότε εκτελεί επιτόπια περιστροφή 360 μοιρών σε βήματα των 10 μοιρών. Σε κάθε βήμα γίνεται καταγραφή της τιμής της φωτεινής έντασης υπέρυθρης ακτινοβολίας από τους αριστερούς και δεξιούς αισθητήρες όπως περιγράψαμε στην παράγραφο 6.3.

Το άθροισμα των δύο μεταβλητών αποθηκεύεται στον πίνακα μετρήσεων $left_sens+right_sens=metrisis[x]$. Ο πίνακας μετρήσεων είναι διαστάσεων $1x36$ και σε αυτόν γίνεται αποθήκευση του αντιστοίχου αθροίσματος που περιγράψαμε για κάθε σημείο λήψης.

Όταν ολοκληρωθεί η επιτόπια περιστροφή για 360 μοίρες τότε ένας αλγόριθμος υπολογίζει την θέση στον πίνακα μετρήσεων στην οποία είναι αποθηκευμένο το στοιχείο με την μικρότερη τιμή και την αποθηκεύει στη μεταβλητή $minIndex$. Στη συνέχεια υπολογίζεται η διαφορά $36 - minIndex$ και η τιμή αποθηκεύεται στην μεταβλητή k . Τέλος το ρομπότ εκτελεί αριστερόστροφη επιτόπια περιστροφή σε για k βήματα των 10μοιρών και έτσι ουσιαστικά το ρομπότ ευθυγραμμίζεται με την βάση φόρτισης.

Στην περίπτωση που το ρομπότ δεν λαμβάνει σήμα από την βάση είτε με απευθείας είτε μέσω ανάκλασης τότε το ρομπότ μπαίνει σε κατάσταση ελεύθερης μετακίνησης για να εκτελέσει στη συνέχεια από κάποια άλλη θέση ξανά την διαδικασία σάρωσης χώρου. Εάν μετά από 5 συνεχόμενες προσπάθειες το ρομπότ αδυνατεί να εντοπίσει την βάση τότε ακινητοποιείται.

Προγραμματιστικός Κώδικας Διαδικασίας Σάρωσης.

```
void scan(){  
  
    randoM=0;  
scan:  
    Serial.println("scanning");  
  
    stop_fw();  
    int metrisis[36];  
    int mini;  
    int minIndex;  
    int sum;  
    for(int x = 0; x <= 35; x++){  
  
        photod_left=analogRead(A2);  
        photod_right=analogRead(A1);
```

```

for(int x = 0; x <=30000; x++){
  if (digitalRead(tsop_right)==LOW){
    right_sens=photod_right;
    goto out_Ls;
  }
  else if (digitalRead(tsop_right)==HIGH){
    right_sens=1023;

  }
}
}
out_Ls:
for(int x = 0; x <=30000; x++){
  if (digitalRead(tsop_left)==LOW){
    left_sens=photod_left;
    goto out_Rs;
  }
  else if (digitalRead(tsop_left)==HIGH){
    left_sens=1023;

  }
}
}
out_Rs:
delay(300);
sum=left_sens+right_sens;
metrasis[x]=sum;
right(2);
Serial.println(metrasis[x],DEC);
}
mini =2060;
for (int i=0; i<=35; i++){
  if (mini>metrasis[i]){
    mini = metrasis[i];
    minIndex = i;
  }
}
if (mini==2046 && randoM==2){
  Serial.print("base cannot be found ");
  switch_off();
}
else if ((mini==2046) && (randoM<2)){
  free_running(100);
  randoM++ ;
  Serial.println(randoM,DEC);
  goto scan;
}

else {
  int k=35-minIndex;
  Serial.println(k,DEC);
}

```

```

    delay(1000);
    for(int x = 0; x <= k; x++){
        delay(300);
        left(2);
        Serial.println("positioning");
    }
    forward(4);
}

}

long obs_distance (int trigPin,int echoPin){

    digitalWrite(trigPin, LOW);

    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(trigPin, LOW);

    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    return duration / 29 / 2;
}

```

6.8 Πλοήγηση Προς Την Βάση Φόρτισης.

Κατά την διαδικασία πλοήγηση εάν ανιχνευτεί κάποιο εμπόδιο τότε γίνεται διόρθωση της πορείας του ρομπότ όπως περιγράφηκε στην ενότητα αναγνώρισης-αποφυγής εμποδίων.

Στην συνέχεια υπολογίζεται σε ποια από τις ζώνες βρίσκεται το ρομπότ και ακόλουθος υπολογίζεται η διαφορά στα σήματα υπέρυθρων αισθητήρων. Εξαρτωμένης της ζώνης που βρίσκεται το ρομπότ και αναλόγως της διαφοράς των σημάτων αποφασίζεται εάν χρειάζεται διόρθωση της διεύθυνσης του με επιτόπια περιστροφή είτε αριστερόστροφα είτε δεξιόστροφα. Ακολούθως το ρομπότ κινείται ευθεία κάνοντας ένα μικρό βήμα (περίπου 1cm) και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται ωστόσο το ρομπότ φτάσει σε πολύ μικρή απόσταση από την βάση φόρτισης οπότεν μπαίνει στην διαδικασία «προσγείωσης» που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

Ο κώδικας που αφορά την πλοήγηση του προς την βάση φόρτισης είναι ο πιο κάτω:

```

if ((left_sens==1023)&&(right_sens<1023)) {
    right(1);
}

```

```

}
else if ((left_sens<1023)&&(right_sens==1023)) {
    left(1);
}
else if ((left_sens==1023)&&(right_sens==1023)) {
    scan();
}
//Zώνη Α.
else if ((left_sens<800 | | right_sens<800) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,417)+405)) {
    stop_fw();
    right(1);
}
else if ((left_sens<800 | | right_sens<800) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,417)-405)) {
    stop_fw();
    left(1);
}
//Zώνη Β.
else if ((left_sens<1000 | | right_sens<1000) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,38)+376)) {
    stop_fw();
    right(2);
}
else if ((left_sens<1000 | | right_sens<1000) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,38)-376)) {
    stop_fw();
    left(2);
}
//Zώνη Γ.
else if ((left_sens<1018 | | right_sens<1018) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,075)+78)) {
    stop_fw();
    right(3);
}
else if ((left_sens<1018 | | right_sens<1018) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,075)-78)) {
    stop_fw();
    left(3);
}

```

Ο κώδικας αναλύει αρχικά τις τρεις ακραίες περιπτώσεις οι οποίες είναι:

A) να λαμβάνει σήμα ο αριστερός δέκτης ενώ ο δεξιάς όχι οπότεν εκτελεί περιστροφή του ρομπότ προς τα αριστερά.

B) να λαμβάνει σήμα ο δεξιός δέκτης ενώ ο αριστερός όχι οπότεν εκτελεί περιστροφή του ρομπότ προς τα δεξιά.

Γ) να μην λαμβάνει κανένας από τους δύο δέκτες σήμα οπότεν και το ρομπότ τίθεται σε λειτουργία σάρωσης του χώρου για εντοπισμό της βάσης φόρτισης.

Στην συνέχεια εάν δεν εκτελεστεί κάποια από τις πιο πάνω περιπτώσεις τότε το ρομπότ υπολογίζει σε ποια εκ των τριών ζωνών βρίσκεται και υπολογίζοντας την διαφορά μεταξύ των σημάτων υπέρυθρης ακτινοβολίας αποφασίζει εάν θα εκτελέσει μια διορθωτική επιτόπια περιστροφή. Ανάλογα με την ζώνη που βρίσκεται εκτελεί και μεγαλύτερη ή μικρότερη περιστροφή. Η λογική των τριών ζωνών είναι σύμφωνη με την ανάλυση που έγινε στην παράγραφο 4.3.3.

6.9 Διαδικασία «Προσγείωσης»-Φόρτισης.

Λέγοντας διαδικασία «προσγείωσης» εννοούμε την κατάσταση στην οποία το ρομπότ βρίσκεται μόλις μερικά εκατοστά από την βάση φόρτισης και είναι έτοιμο να συνδεθεί με αυτή. Σε αυτή την κατάσταση οι δέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας θα λαμβάνουν πολύ έντονη ακτινοβολία με αποτέλεσμα το σήμα που λαμβάνεται από του αναλογικούς ακροδέκτες του arduino να είναι μηδενικό. Προκειμένου να έχουμε μια επιτυχημένη σύνδεση του ρομπότ με την βάση φόρτισης, όταν αυτό φτάσει σε μια τέτοια κατάσταση μειώνουμε την ταχύτητα του στο μισό ώστε να μην προσκρούσει βίαια στην βάση αλλά να πλησιάσει τόσο κοντά ώστε να επιτευχθεί η μαγνητική σύνδεση του συστήματος φόρτισης (παρ.4.6). Φυσικά το ρομπότ μπορεί να παρεκκλίνει της πορείας του για αυτό και γίνεται επανεκτίμηση του σήματος υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Στην περίπτωση που έχουμε μια επιτυχημένη προσγείωση δηλαδή, επιτευχθεί η μαγνητική σύνδεση ρομπότ-βάσης, τότε το ρομπότ ακινητοποιείται μέσω του μηχανισμού αποσύνδεση της τροφοδοσίας κινητήρων του ελεγχόμενου ρελε (παρ.5.3) και η βάση ξεκινά να φορτίζει την μπαταρία. Όταν η μπαταρία φορτιστεί πλήρως και η στάθμη της ανέβει στα 10,6Volt τότε το ελεγχόμενο ρελέ από τον αναλογικό ακροδέκτη A4 του arduino επανασυνδέει την τροφοδοσία των κινητήρων και το ρομπότ οπισθοχωρώντας αποσυνδέεται από την βάση φόρτισης και τίθεται σε διαδικασία ελεύθερης πλοήγησης.

Κώδικας Διαδικασίας «Προσγείωσης»-Φόρτισης.

landing:

```
battery_level=analogRead(A0);  
if (battery_level>672) {  
  Serial.print("Battery Level=");  
  Serial.println(battery_level,DEC);  
  digitalWrite(A4,LOW);
```

```

    backwards(15);
    right(10);
    free_running(100);
    goto repeat;
}

photod_left=analogRead(A2);
photod_right=analogRead(A1);

for(int x = 0; x <=15000; x++){
    if (digitalRead(tsop_right)==LOW){
        right_sens=photod_right;
        goto out_L;
    }
    else if (digitalRead(tsop_right)==HIGH){
        right_sens=1023;

    }
}
out_L:

for(int x = 0; x <=15000; x++){
    if (digitalRead(tsop_left)==LOW){
        left_sens=photod_left;
        goto out_R;
    }
    else if (digitalRead(tsop_left)==HIGH){
        left_sens=1023;

    }
}
out_R:

Serial.print("left_sensor=");
Serial.println(left_sens,DEC);
Serial.print("right_sensor=");
Serial.println(right_sens,DEC);

if (digitalRead(obs_left)==HIGH) {
    if ((left_sens<50)&&(right_sens<50)){
        left(1);
        backwards(10);
    }
    else{
        backwards(3);
        right(3);
    }
}
if (digitalRead(obs_right)==HIGH) {

```

```
if ((left_sens>50) || (right_sens<50)){
    right(1);
    backwards(10);
}
else{
    backwards(3);
    left(3);
}
}

if ((left_sens==0)&&(right_sens==0)) {
    stop_fw();
    forward(1);

    goto landing;
```

6.10Συνολικός Κώδικας.

```
const int motor_left_fw=13;
const int motor_left_bw=12;
const int motor_right_fw=2;
const int motor_right_bw=3;

const int obs_left=5;
const int obs_right=4;

const int tsop_left=6;
const int tsop_right=7;

const int trigPin_left = 10;
const int echoPin_left = 11;
const int trigPin_right = 9;
const int echoPin_right = 8;

int photod_left;
int photod_right;

long left_sens;
long right_sens;

long duration,obs_dis_left,obs_dis_right;
int index1;
int randoM=0;
int battery_level;

void setup() {

  pinMode(motor_left_fw,OUTPUT);
  pinMode(motor_left_bw,OUTPUT);
  pinMode(motor_right_fw,OUTPUT);
  pinMode(motor_right_bw,OUTPUT);
  pinMode(A4,OUTPUT);
  pinMode(trigPin_left,OUTPUT);
  pinMode(trigPin_right,OUTPUT);

  pinMode(obs_left,INPUT);
  pinMode(obs_right,INPUT);
  pinMode(tsop_right,INPUT);
  pinMode(tsop_left,INPUT);
  pinMode(echoPin_left,INPUT);
  pinMode(echoPin_right,INPUT);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  pinMode(A2,INPUT);

  digitalWrite(motor_left_fw,LOW);
  digitalWrite(motor_left_bw,LOW);
```



```

digitalWrite(motor_right_fw,LOW);
digitalWrite(motor_left_bw,LOW);
digitalWrite(A4,LOW);

Serial.begin(9600);
delay(5000);

}

void loop () {

repeat:

stop_fw();
delay(50);
battery_level=analogRead(A0);
Serial.println(battery_level,DEC);

if (battery_level<570){
  Serial.print("Battery voltage dropped out of safety limit ");
  Serial.println(battery_level,DEC);
  switch_off();
  goto repeat ; //na figi
}

if (battery_level>600) {
  Serial.print("Battery Level=");
  Serial.println(battery_level,DEC);
  digitalWrite(A4,LOW);
  free_running(10);
  goto repeat;
}

digitalWrite(A4,HIGH);
forward(2);

landing:

battery_level=analogRead(A0);
if (battery_level>672) {
  Serial.print("Battery Level=");
  Serial.println(battery_level,DEC);
  digitalWrite(A4,LOW);
  backwards(15);
  right(10);
  free_running(100);
  goto repeat;
}

```

```

photod_left=analogRead(A2);
photod_right=analogRead(A1);

for(int x = 0; x <=15000; x++){
  if (digitalRead(tsop_right)==LOW){
    right_sens=photod_right;
    goto out_L;
  }
  else if (digitalRead(tsop_right)==HIGH){
    right_sens=1023;
  }
}
out_L:

for(int x = 0; x <=15000; x++){
  if (digitalRead(tsop_left)==LOW){
    left_sens=photod_left;
    goto out_R;
  }
  else if (digitalRead(tsop_left)==HIGH){
    left_sens=1023;
  }
}
out_R:

Serial.print("left_sensor=");
Serial.println(left_sens,DEC);
Serial.print("right_sensor=");
Serial.println(right_sens,DEC);

if (digitalRead(obs_left)==HIGH) {
  if ((left_sens<50) || (right_sens<50)){
    left(1);
    backwards(10);
  }
  else{
    backwards(3);
    right(3);
  }
}
if (digitalRead(obs_right)==HIGH) {

  if ((left_sens>50) || (right_sens<50)){
    right(1);
    backwards(10);
  }
  else{

```

```

    backwards(3);
    left(3);
  }
}

obs_dis_left=obs_distance(trigPin_left,echoPin_left);
delay(5);
obs_dis_right=obs_distance(trigPin_right,echoPin_right);
if ((left_sens>800) && (right_sens>800)){
  if ( obs_dis_left<5 && obs_right<5) {
    backwards(4);
    right(5);
  }
  if ( obs_dis_left<5) {
    Serial.print("obstacle_left");
    backwards(3);
    right(3);
  }
  if ((obs_dis_right<5) && (obs_dis_right>0)) {
Serial.print("obstacle_right");
    backwards(3);
    left(3);
  }
}

if ((left_sens==0)&&(right_sens==0)) {
  stop_fw();
  forward(1);

  goto landing;
}
else if ((left_sens==1023)&&(right_sens<1023)) {
  right(1);

}
else if ((left_sens<1023)&&(right_sens==1023)) {
  left(1);

}
else if ((left_sens==1023)&&(right_sens==1023)) {
  scan();

}

else if ((left_sens<800 | | right_sens<800) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,417)+405)) {
  stop_fw();
  right(1);

}

```

```

else if ((left_sens<800 | | right_sens<800) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,417)-405)) {
  stop_fw();
  left(1);

}

else if ((left_sens<1000 | | right_sens<1000) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,38)+376)) {
  stop_fw();
  right(2);

}

else if ((left_sens<1000 | | right_sens<1000) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,38)-376)) {
  stop_fw();
  left(2);

}

else if ((left_sens<1018 | | right_sens<1018) && left_sens>(right_sens-(left_sens*0,075)+78)) {
  stop_fw();
  right(3);

}

else if ((left_sens<1018 | | right_sens<1018) && left_sens<(right_sens+(right_sens*0,075)-78)) {
  stop_fw();
  left(3);

}

goto repeat;

}

void backwards(int bw){
  digitalWrite(motor_left_bw,HIGH);
  digitalWrite(motor_right_bw,HIGH);
  Serial.println("backwards");
  delay(bw*35);
  digitalWrite(motor_left_bw,LOW);
  digitalWrite(motor_right_bw,LOW);
}

void forward(int fw){
  digitalWrite(motor_left_fw,HIGH);

```

```

digitalWrite(motor_right_fw,HIGH);
Serial.println("forward");
delay(fw*15);
digitalWrite(motor_left_fw,LOW);
digitalWrite(motor_right_fw,LOW);

}
void stop_fw(){
digitalWrite(motor_left_fw,LOW);
digitalWrite(motor_right_fw,LOW);
Serial.println("stop");
}

void left(int lf){

digitalWrite(motor_left_bw,HIGH);
digitalWrite(motor_right_fw,HIGH);
delay(lf*40);
digitalWrite(motor_left_bw,LOW);
digitalWrite(motor_right_fw,LOW);
Serial.println("left");
}
void right(int rg){

digitalWrite(motor_right_bw,HIGH);
digitalWrite(motor_left_fw,HIGH);
delay(rg*40);
digitalWrite(motor_right_bw,LOW);
digitalWrite(motor_left_fw,LOW);
Serial.println("right");
}

void scan(){

random=0;
scan:
Serial.println("scanning");

stop_fw();
int metrisis[36];
int mini;
int minIndex;
int sum;
for(int x = 0; x <= 35; x++){

photod_left=analogRead(A2);
photod_right=analogRead(A1);

for(int x = 0; x <=30000; x++){
if (digitalRead(tsop_right)==LOW){
right_sens=photod_right;

```

```

    goto out_Ls;
}
else if (digitalRead(tsop_right)==HIGH){
    right_sens=1023;

}
}
}
out_Ls:
for(int x = 0; x <=30000; x++){
    if (digitalRead(tsop_left)==LOW){
        left_sens=photod_left;
        goto out_Rs;
    }
    else if (digitalRead(tsop_left)==HIGH){
        left_sens=1023;

    }
}
}
out_Rs:
    delay(300);
    sum=left_sens+right_sens;
    metrisis[x]=sum;
    right(2);
    Serial.println(metrisis[x],DEC);
}
mini =2060;
for (int i=0; i<=35; i++){
    if (mini>metrisis[i]){
        mini = metrisis[i];
        minIndex = i;
    }
}
if (mini==2046 && randoM==2){
    Serial.print("base cannot be found ");
    switch_off();
}
else if ((mini==2046) && (randoM<2)){
    free_running(100);
    randoM++ ;
    Serial.println(randoM,DEC);
    goto scan;
}

else {
    int k=35-minIndex;
    Serial.println(k,DEC);
    delay(1000);
    for(int x = 0; x <= k; x++){
        delay(300);
        left(2);
    }
}

```

```

    Serial.println("positioning");
  }
  forward(4);

}

}

long obs_distance (int trigPin,int echoPin){

  digitalWrite(trigPin, LOW);

  delayMicroseconds(2);

  digitalWrite(trigPin, HIGH);

  delayMicroseconds(10);

  digitalWrite(trigPin, LOW);

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  return duration / 29 / 2;
}

void free_running (int index1){
  do{
    Serial.println("freerun");

    index1=index1-1;
    forward(2);
    delay(30);
    if (digitalRead(obs_left)==HIGH) {
      backwards(6);
      right(4);
    }
    if (digitalRead(obs_right)==HIGH) {

      backwards(6);
      left(4);
    }
  }

  obs_dis_left=obs_distance(trigPin_left,echoPin_left);
  delay(10);
  obs_dis_right=obs_distance(trigPin_right,echoPin_right);
  if ( obs_dis_left<5 && obs_right<5) {
    backwards(4);
    right(5);
  }
}

```

```
    }  
    if ( obs_dis_left<5) {  
        Serial.print("obstacle_left");  
        backwards(3);  
        right(3);  
    }  
    if ((obs_dis_right<5) && (obs_dis_right>0)) {  
Serial.print("obstacle_right");  
        backwards(3);  
        left(3);  
    }  
}
```

```
    battery_level=analogRead(A0);  
    Serial.println(battery_level,DEC);  
}  
while ( index1>0);
```

```
}  
void switch_off() {  
    Serial.print("switch_off");  
  
    delay(2000);  
  
}
```


Κεφάλαιο 7

Εντοπισμός Σφαλμάτων και Τρόποι Αντιμετώπισης τους- Συμπεράσματα.

7.1 Εισαγωγή.

Μετά από ένα πλήθος από δοκιμές που εκτελέσαμε στο ρομπότ σε διαφορετικές συνθήκες εντοπίσαμε κάποια σφάλματα και αδυναμίες του. Τα σφάλματα οφείλονται συνήθως σε εμπόδια που παρεμβάλλονται στην πορεία του ρομπότ και στην παράσιτη ακτινοβολία που επικρατεί στο περιβάλλον κίνησης του. Υπάρχει η πιθανότητα το ρομπότ να αστοχήσει να εντοπίσει την βάση φόρτισης του ή να μην καταφέρει να συνδεθεί με αυτή λόγω αυτών των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στην όλη διαδικασία.

Στο εν λόγω κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες το ρομπότ αδυνατεί να εντοπίσει την βάση του και προτείνουμε τρόπους βελτίωσης του κατασκευαστικού και προγραμματιστικού του κομματιού. Επίσης παρατηρήθηκαν κάποια σφάλματα κατά την διαδικασία της φόρτισης με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται πλήρης φόρτιση της μπαταρίας.

Τέλος κάνουμε ένα απολογισμό του αποτελέσματος που πετύχαμε και εξάγουμε τα συμπεράσματα μας.

7.2 Σφάλματα Εμποδίων

Έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο, πολλές φορές το ρομπότ να «κολλάει» σε κάποιο εμπόδιο όταν η μορφολογία εμποδίου σχηματίζει Π, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Συγκεκριμένα εάν παρεμβάλλεται μεταξύ του ρομπότ και της βάσης ένα τέτοιο εμπόδιο τότε υπάρχουν δύο ενδεχόμενα. Το πρώτο είναι το ρομπότ να χάσει το σήμα υπέρυθρης ακτινοβολίας λόγω της παρεμβολής του εμποδίου και να ξεκινήσει την διαδικασία σάρωσης του χώρου με αποτέλεσμα να κινηθεί εκτός του εμποδίου είτε με εντοπισμό του σήματος είτε με κατάσταση ελεύθερης πλοήγησης. Στην περίπτωση όμως που το ρομπότ λαμβάνει σήμα από την βάση τότε θα μπει σε μια διαδικασία όπου θα κινείται εμπρός προς την βάση και θα εντοπίζεται το εμπόδιο από τους αισθητήρες με αποτέλεσμα να οπισθοχωρεί. Η όλη διαδικασία θα επαναλαμβάνεται με αποτέλεσμα το ρομπότ να ακολουθεί ένα φαύλο κύκλο μπροστά-πίσω.



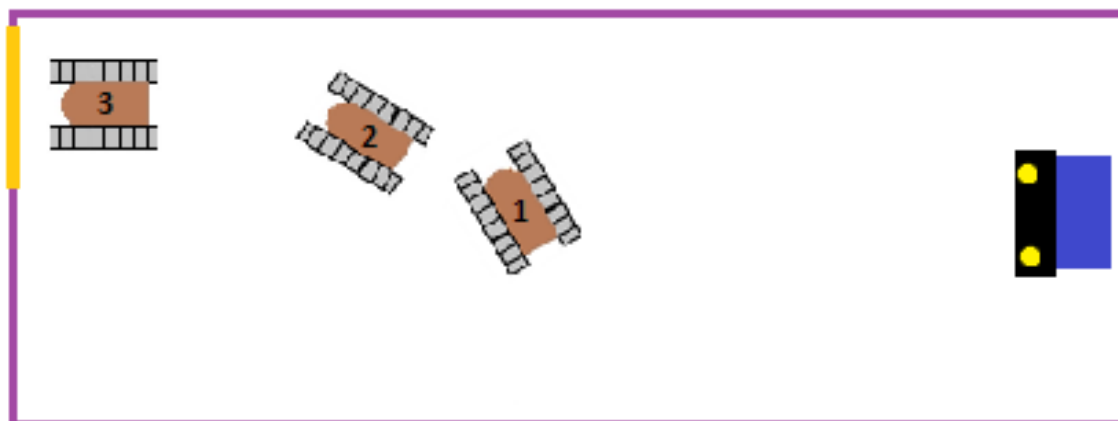
Σχήμα 7.2.1_ Παρεμβολή Π-εμποδίου

Ένα τέτοιο πρόβλημα συναντάται συχνά σε ρομποτικές εφαρμογές και για αυτό έχουν δημιουργηθεί διάφοροι αλγόριθμοι για αποφυγή τέτοιων εμποδίων. Στην εφαρμογή μας ο τρόπος σχεδιασμού του μονοπατιού που ακολουθεί το ρομπότ βασίζεται στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από την βάση φόρτισης, ακολουθείται δηλαδή μια μέθοδος τεχνητών δυναμικών πεδίων όπως περιγράψαμε στην ενότητα 2.4.2. Σε μεθόδους τεχνητών δυναμικών χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι αποφυγής εμποδίων με την τεχνική Backtracking (επανιχνελάτησης). Ουσιαστικά όταν το ρομπότ φτάσει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο τότε ο αλγόριθμος οδηγεί το ρομπότ σε οπισθοχώρηση «πλημυρίζοντας» το πηγάδι τοπικού ελαχίστου μέχρις ότου «ξεφύγει», συνεχίζοντας την αναζήτηση του στόχου του. Τέτοιες αλγοριθμικές τεχνικές χαρακτηρίζονται από αυξημένη πολυπλοκότητα και χρησιμοποιούν μονάδες μνήμης για δημιουργία γράφων και αποθήκευση δεδομένων χαρτογράφησης για αυτό και δεν ενσωματώσαμε τέτοιους αλγόριθμους στον προγραμματιστικό κώδικα της εφαρμογής μας αφού η αποφυγή εμποδίων αυτής την μορφολογία δεν ήταν ο ουσιαστικός μας στόχος.

Ένας δεύτερος πιο απλός τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί, είναι να ενσωματωθεί στο κώδικα ένας μετρητής εμποδίων. Εάν το ρομπότ φτάσει σε ένα εμπόδιο Π-τύπου τότε λόγω του φαύλου κύκλου μπροστά-πίσω θα καταγραφούν πολλά εμπόδια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Εκμεταλλευόμενοι αυτή την κατάσταση μπορούμε να θέτουμε το ρομπότ σε μια προεπιλεγμένη πλοήγησης παράκαμψης τέτοιων εμποδίων σε περίπτωση που καταγράφει μεγάλος αριθμός εμποδίων σε σύντομο σχετικά διάστημα.

7.3 Αστοχία Εύρεσης Βάσης Λόγω Παράσιτης Ακτινοβολίας

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που εντοπίστηκε είναι η αστοχία του ρομπότ να εντοπίσει την βάση φόρτισης λόγω παράσιτης ακτινοβολίας. Αν και το ρομπότ εξοπλίστηκε με ολοκληρωμένους δέκτες υπέρυθρων TSOP προκειμένου να αντιμετωπιστεί το εν λόγω πρόβλημα βάσει της μεθοδολογίας που περιγράψαμε στην ενότητα 6.3, εντούτοις υπάρχει περίπτωση το ρομπότ να πλοηγηθεί προς την εστία παράσιτης ακτινοβολία κάτω από ορισμένες συνθήκες. Για την περιγραφή της εν λόγω αστοχίας παραθέτουμε την πιο κάτω εικόνα.



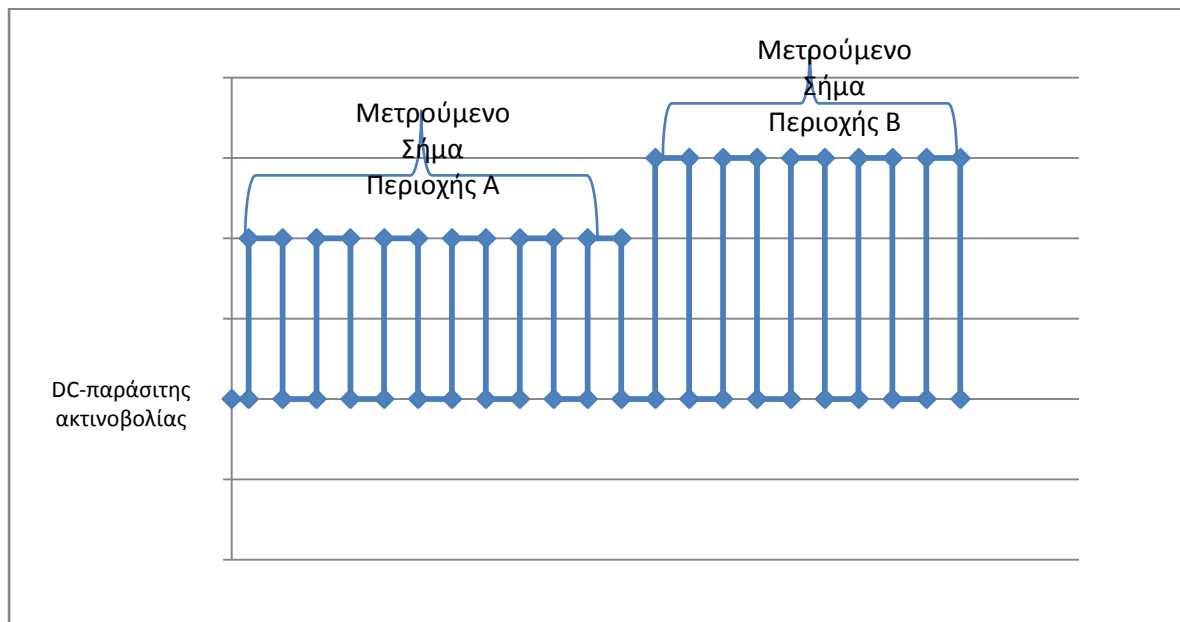
Σχήμα 7.3.1_Αστοχία Ρομπότ λόγω παράσιτης ακτινοβολίας.

Όπως φαίνεται στην εικόνα το ρομπότ ευρισκόμενο στην αρχική θέση 1 αντί να κατευθυνθεί προς την βάση φόρτισης στα δεξιά κατευθύνεται τελικώς προς τα αριστερά σε ένα παράθυρο όπου εισέρχεται έντονη παράσιτη ακτινοβολία από τον ήλιο μεγαλύτερης έντασης από αυτής της βάσης. Εμείς θα αναμέναμε το ρομπότ καθώς μετακινείται από την θέση 1 στη θέση 3 να απολέσει το διαμορφωμένο σήμα υπέρυθρης ακτινοβολίας 38KHz και όντως να αντιμετωπιστεί η ηλιακή ακτινοβολία ως παράσιτη αφού ο δέκτες είναι θωρακισμένοι ώστε να λαμβάνουν ακτινοβολία μόνον από την μπροστινή πλευρά. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει πάντα, γιατί επιφάνειες όπως το τζάμι του παραθύρου δημιουργούν ανάκλαση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την βάση με αποτέλεσμα το ρομπότ να λαμβάνει το εναλλασσόμενο σήμα μέσω ανάκλασης.

Γενικά το πρόβλημα εμφανίζεται όταν το ρομπότ βρίσκεται σε κάποια θέση όπου, από τη μια λαμβάνει το εναλλασσόμενο σήμα της βάσης αλλά από την άλλη η ένταση του συνεχές σήματος που λαμβάνει από την βάση είναι μικρότερη από αυτή της παράσιτης ακτινοβολίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ρομπότ να ακολουθήσει την διεύθυνση της παράσιτης ακτινοβολίας. Εάν καθώς κινείται προς την εστία εκπομπής της παράσιτης ακτινοβολίας δεν απολέσει το εναλλασσόμενο σήμα που λαμβάνεται από τα TSOP επειδή γίνεται λήψη μέσω ανάκλασης, τότε το ρομπότ θα παρερμηνέψει την βάση φόρτισης με την εστία της παράσιτης ακτινοβολίας που πιθανόν να είναι κάποιο παράθυρο όπου εισέρχεται ηλιακή ακτινοβολία. Η παράσιτη ακτινοβολία οφείλεται ουσιαστικά στον ήλιο αφού το φάσμα της ακτινοβολίας του, περιλαμβάνει μήκη κύματος από την υπεριώδη την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία. Έτσι τα σφάλματα από παράσιτη ακτινοβολία περιορίζονται όταν στο χώρο δεν εισέρχεται έντονη ηλιακή ακτινοβολία ή είναι νύχτα. Στο σημείο αυτό να υπενθυμίσουμε ότι οι φωτοδιόδοι PIN έχουν φασματική ευαισθησία σε μήκη κύματος κοντά στα 940nm έτσι δεν επηρεάζονται από τους λαμπτήρες φωτισμού που εκπέμπουν στο ορατό φάσμα.

Συμπερασματικά η ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την βάση φόρτισης κάποιες φορές λειτουργά βοθητικά για το ρομπότ και κάποιες αρνητικά όπως περιγράψαμε πιο πριν. Βοθητικά λειτουργά σε περιπτώσεις που το ρομπότ βρίσκεται πίσω από κάποιο εμπόδιο το οποίο διακόπτει την άμεση εκπομπή ακτινοβολίας από τη βάση στο ρομπότ, έτσι λήψη ακτινοβολίας μέσω ανάκλασης θα βοηθήσει το ρομπότ να αποφύγει το εμπόδιο και να συνεχίσει την διαδρομή του προς την βάση φόρτισης.

Για την επίλυση του προβλήματος της παράσιτης ακτινοβολίας προτείνουμε την πιο κάτω λύση που προϋποθέτει μετατροπές σε προγραμματιστικό και κατασκευαστικό επίπεδο. Γίνεται τροποποίηση των κυκλωμάτων των Led της βάσης φόρτισης ούτως ώστε να εκπέμπουν αποκλειστικά εναλλασσόμενη ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας η οποία θα λαμβάνεται από τις φωτοδιόδους_PIN του ρομπότ. Σε αυτή την περίπτωση το σήμα θα λαμβάνεται σε κάποιο σημείο θα αποτελείται από το άθροισμα της παράσιτης ακτινοβολίας και της παλμοσειράς που θα εκπέμπεται από την βάση. Καθώς το ρομπότ πλησιάζει την βάση φόρτισης το πλάτος του παλμού που θα λαμβάνεται στον ακροδέκτη του μικροελεκτη θα αυξάνεται ή θα μειώνεται ανάλογα με την συνδεσμολογία του κυκλώματος φωτοδιδων. Ένας αλγόριθμος θα αφαιρεί την DC συνιστώσα που οφείλεται στην παράσιτη ακτινοβολία και στην συνέχεια θα ολοκληρώνει την παλμοσειρά για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με το αποτέλεσμα του ολοκληρώματος θα μπορεί να διαπιστώσει το πόσο κοντά ή μακριά βρίσκεται το ρομπότ από την βάση φόρτισης. Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται τα σφάλματα που οφείλονται στην παράσιτη ακτινοβολία. Για να γίνει πιο κατανοητό παρουσιάζουμε την πιο κάτω γραφική παράσταση όπου φαίνεται ένα ενδεικτικό σήμα το οποίο θα λάμβανε το ρομπότ σε δύο διαφορετικές θέσεις στο χώρο.



Σχήμα 7.3.2_ Λαμβανόμενο σήμα υπέρυθρης ακτινοβολίας.

7.4 Δυσκολία εντοπισμού βάσης φόρτισης λόγω εξασθένησης υπέρυθρου σήματος.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου που ακολουθήθηκε είναι η δυσκολία εντοπισμού της βάσης φόρτισης όταν το ρομπότ βρίσκεται σε κάποια θέση όπου η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την βάση αδυνατεί να φτάσει. Το σχετικά μεγάλο μήκος κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται δεν είναι ικανό να διαπεράσει παρεμβαλλόμενες επιφάνειες αλλά απορροφάται από αυτές με αποτέλεσμα αν το ρομπότ βρίσκεται πίσω από κάποιο εμπόδιο όπως κάποιο έπιπλο να μην μπορεί να εντοπίσει το σήμα της βάσης. Έχουμε ενσωματώσει ένα αλγόριθμο ελεύθερης πλοήγησης ο οποίος στην περίπτωση που δεν εντοπίζεται το σήμα της βάσης οδηγεί το ρομπότ σε κάποιο άλλο τυχαίο σημείο όπου γίνεται εκ νέου προσπάθεια εντοπισμού του υπέρυθρου σήματος. Ο αλγόριθμος λειτουργά ικανοποιητικά αν το εμπόδιο που παρεμβάλλεται μεταξύ βάσης και ρομπότ είναι σχετικά μικρό έτσι αν το ρομπότ κινηθεί σε μια παραπλήσια θέση ίσως εντοπίσει το εκπεμπόμενο σήμα. Γενικά το ρομπότ μπορεί να εντοπίσει την βάση φόρτισης του όταν βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με αυτή και τα πιθανά εμπόδια είναι σχετικά μικρά ενώ όπως έχει προσμετρηθεί η μέγιστη απόσταση ρομπότ-βάσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 6m.

Στην περίπτωση όμως που το ρομπότ βρίσκεται σε κάποιο άλλο δωμάτιο δηλαδή το χωρίζει τοίχος από την βάση φόρτισης τότε δεν υπάρχει πιθανότητα να εντοπιστεί η βάση. Για ενίσχυση του ρομποτικού συστήματος ώστε να γίνεται εντοπισμός της βάσης και σε σημεία όπου δεν μπορεί να φτάσει η υπέρυθρη ακτινοβολία προτείνουμε ένα σύστημα με ραδιοκύματα. Τα ραδιοκύματα με μεγάλη συχνότητα και μικρό μήκος κύματος είναι διεισδυτικά έτσι μπορούν να διαπερνούν τα παρεμβαλλόμενα εμπόδια. Η εφαρμογή που προτείνεται έχει ως εξής, η βάση θα εκπέμπει ένα σήμα με ραδιοκύματα και το ρομπότ θα πλοηγείται προς αυτή λαμβάνοντας το σήμα το οποίο θα ενισχύεται όσο πλησιάζει προς αυτή. Με αυτό τον τρόπο το ρομπότ θα μπορεί να εντοπίζει το σήμα ακόμα και εάν δεν έχει οπτική επαφή με την βάση αφού τα ραδιοκύματα μπορούν να περνούν μέσα από επιφάνειες όπως τοίχους. Φυσικά το σύστημα με την υπέρυθρη ακτινοβολία που χρησιμοποιούμε θα εξακολουθήσει να είναι απαραίτητο για την ευθυγράμμιση του ρομπότ με την βάση φόρτισης και την τελική σύνδεση τους.

Μία εύκολη λύση για την ενσωμάτωση συστήματος πομπού-δέκτη ραδιοκυμάτων, είναι να χρησιμοποιήσουμε κάποιο RF tracker locator. Πρόκειται για μια συσκευή που χρησιμοποιείται συνήθως για να εντοπίζει τα κατοικίδια όταν έχουν χαθεί ή όταν κρύβονται. Αποτελείται από δύο χειριστήρια, τον αφέντη και το δούλο (master-slave) που αλληλεπιδρούν μεταξύ του ανταλλάσσοντας σήματα ραδιοκυμάτων. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται έχει ως εξής, το χειριστήριο master εκπέμπει ένα ηχητικό σήμα του οποίου η συχνότητα αυξάνεται όσο πλησιάζει προς τον slave. Επίσης εκτός του ηχητικού σήματος υπάρχουν εντοπιστές που έχουν συστοιχίες από Led και καθώς πλησιάζει ο master τον slave αυξάνεται ο αριθμός των αναμμένων Led. Τοποθετώντας το master στο ρομπότ και το slave στην βάση, εκμεταλλευόμενοι το ηχητικό ή τα φωτεινό σήμα μπορούμε να οδηγήσουμε το ρομπότ προς την βάση φόρτισης. Φυσικά μια τέτοια ενσωμάτωση στο ρομπότ θα συνοδευόταν και με μια μεγάλη αλλαγή στο προγραμματιστικό κώδικα του αφού ο εντοπισμός της βάσης θα γινόταν σε συνδυασμό του υπέρυθρου σήματος μαζί με του ανιχνευτή ραδιοκυμάτων.

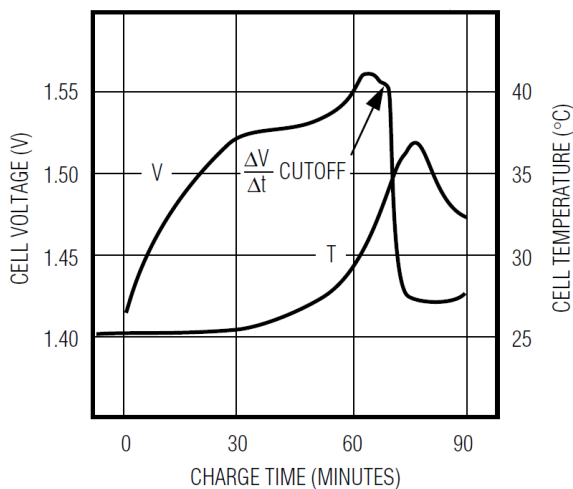


Σχήμα 7.3.3_RF Tracker Locator της εταιρείας Gozens .

7.5 Σφάλματα Φόρτισης.

Όταν το ρομπότ ερχόταν σε σύνδεση με την βάση φόρτισης παρατηρήσαμε ότι το ρομπότ αποσυνδεόταν από την βάση φόρτισης προτού φορτιστεί πλήρως η μπαταρία του. Στην ιδανική περίπτωση το ρομπότ έπρεπε να αποσυνδέεται από την βάση φόρτιση την στιγμή που ο φορτιστής σταματούσε την φόρτιση. Το να πετύχουμε την τάση πλήρους φόρτισης ήταν δύσκολο γιατί διέφερε από φόρτιση σε φόρτιση. Έτσι τοποθετώντας το κατώφλι πλήρους φόρτισης στα 11,8V υπολογίζεται ότι η φόρτιση έφτανε περίπου στο 95% πλήρους χωρητικότητας της μπαταρίας.

Η λύση που προτείνουμε στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι να ενσωματωθεί στο προγραμματιστικό κώδικα μια διαδικασία έλεγχου της φόρτισης παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιούν οι φορτιστές. Κατά την φόρτιση μπαταριών νικελίου καδμίου η τάση των στοιχείων ανεβαίνει μέχρι μια μέγιστη τιμή ενώ στην συνέχεια παρατηρείται μια απότομη πτώση τάσης, σημείο όπου ο φορτιστής σταματάει την φόρτιση. Βασιζόμενοι στο πιο πάνω φαινόμενο μπορούμε να ενσωματώσουμε μια διαδικασία στο κώδικα που υπολογίζει την μεταβολή της τάσης της μπαταρίας ως προς τον χρόνο και όταν παρατηρείται αρνητική μεταβολή να αποσυνδέει το ρομπότ από την βάση φόρτισης. Επίσης για καλύτερα αποτελέσματα θα έπρεπε να γίνεται και έλεγχος της θερμοκρασίας στοιχείων η οποία ανεβαίνει απότομα καθώς ολοκληρώνεται η φόρτιση της μπαταρίας.



Σχήμα 7.4.1_Χαρακτηριστική Φόρτισης

Ένα δεύτερος πιο πρακτικός τρόπος και μεγαλύτερης αξιοπιστίας είναι να χρησιμοποιήσουμε το Led του φορτιστή που μας ειδοποιεί ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί (βλ σχήμα 4.7.4). Συγκεκριμένα όταν η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως στο φορτιστή ανάβει ένα κόκκινο Led για να μας ειδοποιήσει. Εκμεταλλευόμενοι αυτή την κατάσταση μπορούμε να ενσωματώσουμε ένα κύκλωμα με φωτοαντίσταση μπροστά από το Led που θα στέλνει κάποιο σήμα στο ρομπότ να αποσυνδεθεί όταν το Led ανάψει.

7.6 Συμπεράσματα.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν ο σχεδιασμός και κατασκευή ενός αυτόνομου ρομπότ που έχει την εξειδικευμένη ικανότητα να εντοπίζει την βάση φόρτισης του και να συνδέεται με αυτή προκειμένου να φορτίσει την μπαταρία τροφοδοσίας του. Μια τέτοια λειτουργία είδη εφαρμόζεται στα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα και ενδέχεται μελλοντικά να καθιερωθεί στο σύνολο των ρομπότ.

Μετά από μια λεπτομερή εξέταση του πιο πάνω προβλήματος σχεδιάστηκε το ρομπότ που επιτελεί την πιο πάνω λειτουργία ενώ στην συνέχεια ξεκίνησε η υλοποίηση του. Λόγω του χάσματος που υπάρχει μεταξύ θεωρίας και πράξης χρειάστηκε να γίνουν αρκετές τροποποιήσεις από τον αρχικό σχεδιασμό μέχρι το τελικό αποτέλεσμα. Ο σχεδιασμός έγινε στα πλαίσια των επιστημονικών γνώσεων μας αλλά και σε σχετικά χαμηλό οικονομικό προϋπολογισμό.

Η ρομποτική εφαρμογή που τελικώς κατασκευάστηκε περιλαμβάνει ένα ερπυστροφόρο ρομπότ και μια βάση φόρτισης. Το ερπυστροφόρο είναι εξοπλισμένο με ένα σύνολο αισθητηρίων στοιχείων τόσο για την αναγνώριση της βάσης φόρτισης του όσο και για την αποφυγή εμποδίων. Η χρησιμοποίηση αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας αποδείχτηκε μια κομψή λύση στο πρόβλημα εντοπισμού της βάσης φόρτισης παρά το γεγονός ότι εντοπίστηκαν κάποια σφάλματα λόγω παράσιτης ακτινοβολίας. Οι αισθητήρες υπερήχων και οι αισθητήρες πρόσκρουσης αποτρέπουν την σύγκρουση του ρομπότ σε κάποιο εμπόδιο με μεγάλη αξιοπιστία. Η ενσωμάτωση του μικροελεκτή Arduino βοήθησε πολύ στην υλοποίηση λόγω του εύκολου προγραμματισμού του και του συνόλου ακροδεκτών εισόδου-εξόδου που διαθέτει. Ο κώδικας προγραμματισμού υπέστη πολλές αλλαγές στην πορεία υλοποίησης ούτως ώστε να λειτουργά πιο αποδοτικά και επιφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στις λειτουργίες του ρομπότ.

Η βάση φόρτισης εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία για να μπορεί να γίνει αντιληπτή από το ρομπότ. Ο τρόπος εκπομπής της ακτινοβολίας βοηθά το ρομπότ να εντοπίσει την βάση και να ευθυγραμμιστεί με αυτή. Παρόλα αυτά το σύστημα αντιμετωπίζει κάποιες δυσκολίες όταν το ρομπότ βρίσκεται σε σημεία που δεν μπορεί να φτάσει η υπέρυθρη ακτινοβολία. Το σύστημα φόρτισης που περιλαμβάνει η βάση αποτελείται από «έξυπνα» κυκλώματα που βοηθούν στην ακινητοποίηση του ρομπότ όταν επέλθει η μαγνητική σύνδεση του με την βάση, ενώ στη συνέχεια φορτίζουν την μπαταρία τροφοδοσίας του ρομπότ. Ο μηχανισμός μαγνητικής σύνδεσης παροχέα-διαμεσολαβητή φόρτισης είναι μια εύκολη πατέντα με εξαιρετικά αποτέλεσμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε παρόμοιες εφαρμογές.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το αποτέλεσμα που πετύχαμε είναι αρκετά κοντά στις προσδοκίες μας. Το ρομπότ είναι σε θέση να επιτελεί τις λειτουργίες για τις οποίες σχεδιάστηκε και ιδιαίτερα την λειτουργία αυτόνομης φόρτισης. Μετά από ένα πλήθος δοκιμών παρατηρήσαμε ότι το ρομπότ μπορεί να εντοπίζει την βάση του όταν βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 6 μέτρων από αυτή υπό την προϋπόθεση ότι τα εμπόδια που παρεμβάλλονται δεν προκαλούν πλήρη απορρόφηση της εκπεμπόμενης από την βάση ακτινοβολίας. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό και βρίσκεται στα πλαίσια των κατασκευαστικών δυνατοτήτων και του επιστημονικού υποβάθρου που διαθέτουμε. Φυσικά υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης τόσο σε προγραμματιστικό όσο και σε κατασκευαστικό επίπεδο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Περιεχόμενα Συνοδευτικού οπτικού Δίσκου (cd).

Κρίθηκε σκόπιμο η Διπλωματική εργασία να συνοδεύεται από ένα cd που περιέχει κάποια επιπρόσθετα στοιχεία που αφορούν την εν λόγω εργασία, για σκοπούς πληρότητας. Με αυτό το cd μπορεί ο αναγνώστης να έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατασκευής αφού περιέχει video της διαδικασίας φόρτισης και πλήθος αντιπροσωπευτικών φωτογραφιών. Συγκεκριμένα περιέχονται οι πιο κάτω φάκελοι (folders):

Φύλλα Προδιαγραφών
(data sheets)

Περιλαμβάνει όλα τα φύλλα δεδομένων των αισθητηρίων στοιχείων, των ολοκληρωμένων και των υπολοίπων ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Φωτογραφικό Υλικό

Περιλαμβάνει ένα πλήθος αντιπροσωπευτικών φωτογραφιών του ρομπότ και της βάσης καθώς και των ενσωματωμένων πλακετών.

Βίντεο

Περιλαμβάνει Βίντεο όπου το ρομπότ εκτελεί την λειτουργία του για εντοπισμό της βάσης φόρτισης και σύνδεση με αυτή.

Κώδικας/ Πρόγραμμα

Περιλαμβάνει τον προγραμματιστικό κώδικα που φορτώθηκε στον μικροελεκτή arduino καθώς και η έκδοση arduino software 10.1.

Διπλωματική Εργασία

Περιλαμβάνει το κείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε pdf μορφή καθώς και την παρουσίαση που έγινε σε power point.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Φωτομετρικά Μεγέθη

Λόγω της εκτεταμένης αναφοράς σε φωτομετρικά μεγέθη σε όλη την έκταση της διπλωματικής εργασίας θεωρήθηκε σκόπιμο να εισαχθεί ένα εμβόλιμο παράρτημα για την περαιτέρω επεξήγηση των μεγεθών αυτών προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν παρανόηση ή σύγχυση του αναγνώστη. Πιο κάτω παρουσιάζεται το φάσμα του υπέρυθρου φωτός και ακολουθεί αναφορά και επεξήγηση των θεμελιωδών φωτοτεχνικών μεγεθών.

- Φάσμα υπέρυθρου φωτός.

Το προσωνύμιο υπέρυθρη, οφείλεται στο γεγονός ότι το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας γειτονεύει με το φάσμα του ορατού φωτός στα $760nm$ όπου το χρώμα είναι κόκκινο, εξού και η ονομασία υπέρυθρο (υπό του ερυθρού.) Ως υπέρυθρη ακτινοβολία-φως ορίζεται ένα φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολία ή ηλεκτρομαγνητικής ενέργεια της οποίας το μήκος κύματος κυμαίνεται από 760 νανόμετρα μέχρι 1 χιλιοστό.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα συναποτελούνται από κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργεια τα οποία διαδίδονται ταυτόχρονα στο χώρο. Σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο του κύματος αντιστοιχεί στο μήκος κύματος λ ενώ ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε χρόνο ενός δευτερολέπτου αντιστοιχεί στην συχνότητα του κύματος f . Τέλος τρίτο βασικό μέγεθος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η ταχύτητα μετάδοσης του u η οποία είναι χαρακτηριστική για κάθε μέσο, στο αέρα $c \cong u \cong 300\ 000\ km/s$.

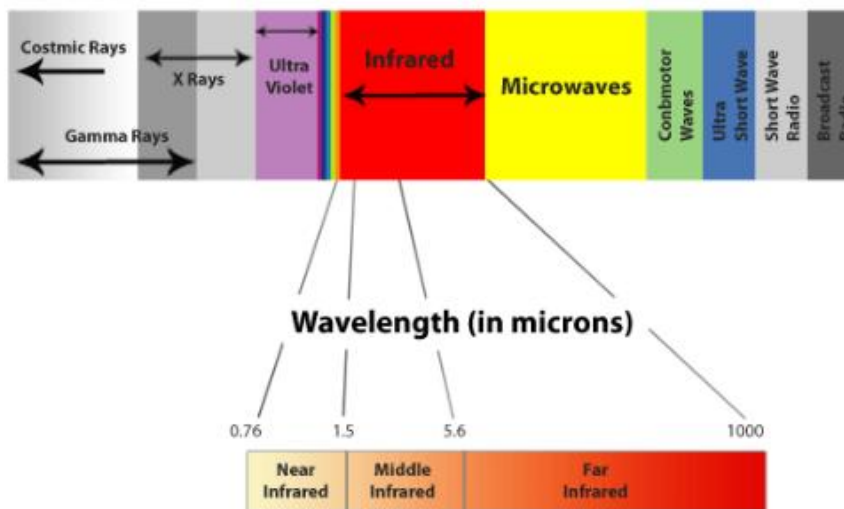
Τα τρία αυτά μεγέθη συνθέτουν την πιο κάτω σχέση:

$$u = \lambda \cdot f$$

λ :μήκος κύματος σε m

f :συχνότητα σε Hz

u :ταχύτητα μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε m/s



Φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας.

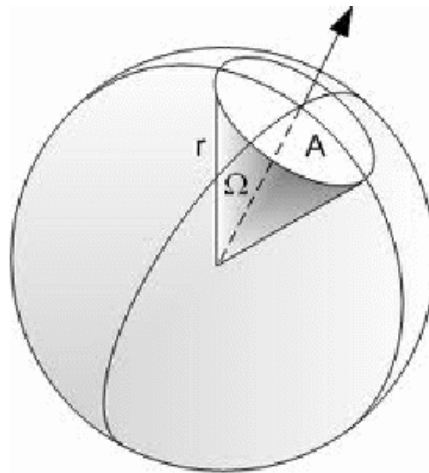
Το φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας χωρίζεται σε τρία τμήματα, κοντινό, μέσο και μακρινό. Το κοντινό μπορεί να γίνει ελαφρός αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι ως κόκκινο φώς αφού είναι στο μεταίχμιο με το ορατό φώς ενώ το μακρινό γίνεται αντιληπτό σαν θερμότητα. Το μέσο

υπέρυθρο δεν γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο αλλά χρειάζεται όργανα όπως θερμική κάμερα για να προσδιοριστεί.

- Στερεά γωνία.

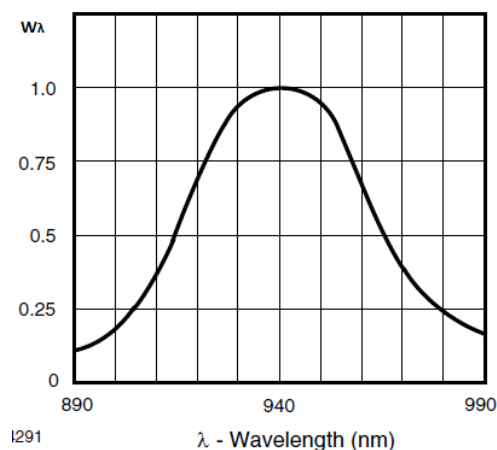
Ως στερεά γωνία Ω ορίζουμε το πηλίκο που προκύπτει από την διαίρεση του εμβαδού A ενός σφαιρικού τμήματος μιας σφαίρας δια το τετράγωνο της ακτίνας του r . Μονάδα μέτρησης της στερεάς γωνίας είναι το στερακτίσιο sr (steradian) και είναι αδιάστατο μέγεθος αφού από το πηλίκο διαίρεσης επιφάνειας προς επιφάνεια (m^2/m^2).

$$\Omega = A/r^2$$



- Ακτινοβολούσα ενέργεια.

Η συνολική ενέργεια που εκπέμπεται από μια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κατανομημένη ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής της πηγής και μεταβάλλεται συνάρτηση του μήκους κύματος λ . Έτσι για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας Q που εκπέμπεται από μία πηγή πρέπει να ολοκληρώσουμε το την κατανομή w_λ της ενέργειας σε όλο το φάσμα εκπομπής. Ενδεικτικά παρουσιάζεται πιο κάτω το διάγραμμα κατανομής της ακτινοβολούσας ενέργειας ενός υπέρυθρου εκπομπού.



Κατανομή ενέργειας ακτινοβολίας σε IR LED.

Τελικός η συνολική ενέργεια Q σε κάποια ζώνη κύματος $d\lambda = [\alpha, b]$ υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα:

$$Q = \int_{\alpha}^b w\lambda \cdot d\lambda \quad d\lambda = [\alpha, b]$$

Για μονάδες μέτρησης χρησιμοποιείται το ηλεκτρονιοβόλτ eV με ισοδυναμία στο S.I προς το Joule

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- Ισχύς ακτινοβολούσας πηγής Φ_e

Ισχύς ακτινοβολούσας πηγής ορίζουμε ως, το πηλίκο της ενέργειας που εκπέμπει μια σημειακή πηγή τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου εντός του κώνου αυτού σε χρόνο dt προς το χρόνο αυτό. Η ακτινοβολούσα ισχύς εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπει στη μονάδα του χρόνου η πηγή σε κάποια κατεύθυνση για αυτό και ονομάζεται και ακτινοβολούσα ροή ενέργειας.

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt}$$

Για μονάδες μέτρησης χρησιμοποιείται το Watt με την ισοδυναμία $1W=1J/1s$

- Ένταση ακτινοβολούσας πηγής I_e

Ένταση μιας ακτινοβολούσας πηγής ορίζεται ως το πηλίκο της στοιχειώδους ενέργειας dQ που εκπέμπει μια σημειακή ακτινοβολούσα πηγή σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία, προς τη γωνία αυτή σε χρόνο dt .

$$I_e = \frac{dQ}{d\omega \cdot dt}$$

Η ένταση μια ακτινοβολούσας πηγής είναι διανυσματικό μέγεθος με ακτινική διεύθυνση και φορά προς τα έξω και μπορεί να διαφέρει από σημείο σε σημείο όταν η πηγή δεν ακτινοβολεί ομοιόμορφα στο χώρο. Η μονάδα μέτρησης της είναι mW/sr .

Βιβλιογραφία

1. «Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR». Εκδόσεις Τζιόλα.
2. Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα Sendra/Smith Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
3. Ψηφιακή Σχεδίαση Μ. Morris Mano. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
4. «Μικροελεγκτές AVR και PIC» Κ. Πεκμετσή Εκδόσεις Ε.Μ.Π
5. «Τεχνολογία Αισθητήρων & Μικροσυστημάτων Με Εργαστηριακές Ασκήσεις». Βιβλίο σημειώσεων Ι.Ν Αβαριτσιώτης. Εκδόσεις Ε.Μ.Π
6. «Φωτοτεχνία» Κουρτέση Σταυρούλα, Οικονόμου Λάμπρος, Τοπαλής Φραγκίσκος Εκδόσεις Τζιόλα
7. Approximating Kinematics for Tracked Mobile Robots Volume 24, Issue 10 (October 2005)
J. L. Martínez, A. Mandow, J. Morales, S. Pedraza, A. García-Cerezo
<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1086871>
8. Σημειώσεις Ρομποτικής Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π
http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics_pdf
9. «Local Autonomous Robot Navigation using Potential Fields»
Miguel A. Padilla Castapeda, Jesús Savage, Adalberto Hernandez and Fernando Arambula Cosvo. University Country
http://cdn.intechopen.com/pdfs/5350/InTechLocal_autonomous_robot_navigation_using_potential_fields.pdf
10. «Visual navigation and obstacle avoidance using a steering potential function»
Robotics and Autonomous Systems, Volume 54, Issue 4, 28 April 2006, Pages 288-299
Wesley H. Huang, Brett R. Fajen, Jonathan R. Fink, William H. Warren
<http://www.sciencedirect.com>
11. «Steepest Descent» Juan C. Meza
Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, California 94720
<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/983240-5JxfnW/983240.pdf>
12. History of Robots
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots
13. «Τρίκυκλο ρομπότ που φορτίζεται αυτόματα» & «Universal IR Transmitter Η συσκευή»
<http://www.piperidis.com.nr>
14. <http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
15. <http://arduino.cc/en/Main/Software>
16. <http://www.mechatronics.gr/>
17. http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery

