

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Mindaugas Vaškevičius
Martynas Zakaras

BALANSUOJANTIS ROBOTAS SU LOKALIAUS POZICIONAVIMO SISTEMA
Bakalauro darbas

Vadovas
doc. N. Ramanauskas

ŠIAULIAI, 2014

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Elektronikos inžinerijos katedros vedėjas
prof. dr. Gintautas Daunys

BALANSUOJANTIS ROBOTAS SU LOKALIAUS POZICIONAVIMO SISTEMA

Elektronikos inžinerijos bakalauro baigiamasis darbas

Vadovas doc. N. Ramanauskas

Atliko R-10 gr. studentas M. Vaškevičius
R-10 gr. studentas M. Zakaras

Recenzentas

ŠIAULIAI, 2014

Summary

Vaškevičius M. and Zakaras M. Self balancing robot with local positioning system. Thesis of Electronic Bachelor. Engineering and research adviser N.Ramanauskas; Electronics Department, Technology faculty, Šiauliai University. - Šiauliai 2014. - 63 p.

This chapter is a short summary of this paper. This robot was built with intentions to create or develop something new, but to apply as much skill and knowledge. The main goals of this paper were:

- Make an analysis of similar equipment and used technologies.
- Design and make a balancing robot with local positioning system
- Write a program for the robot
- Create a prototype
- Carry out test of the robot performance.

This paper consists of analysis of similar equipment and used technologies, robot structure description, printed circuit board design and making, program algorithms, various tests and test results. Analysis of similar equipment is formed by analysing Balanduino project, various autonomous lawn mowers and VertiBOT. Used technologies are: I²C, UART, DC motors, Servo motors, ultrasonic distance sensors, gyroscope and field strength meter. In the design description it is described why, which component was used and how it is placed on printed circuit board. There is a detail description of program algorithms. During various test a lot of results were registered. Those results are described in the in chapters called Testing. At the end of the paper there are conclusions, that sum up all of the work that has been done.

Turinys

Įvadas	8
1. Panašių įrenginių analizė	9
1.1. Balanduino(Martynas Zakaras)	9
1.2. Autonominių žoliapjovių apžvalga(Mindaugas Vaškevičius).....	13
1.3. VertiBOT(Martynas Zakaras).....	14
2. Naudotų technologijų apžvalga.....	17
2.1. I ² C sąsajos apžvalga(Martynas Zakaras).....	17
2.1. UART sąsajos apžvalga(Mindaugas Vaškevičius).....	18
2.2. Nuolatinės srovės varikliai(Martynas Zakaras).....	19
2.3. Servo varikliai(Mindaugas Vaškevičius).....	20
2.4. Ultragarso atstumo jutiklis (HC-SR04) (Mindaugas Vaškevičius)	21
2.5. Girokopas - akcelerometras (MPU-6050) (Martynas Zakaras).....	23
2.6. Lauko stiprio jutiklis(Mindaugas Vaškevičius).....	26
3. Struktūrinė schema ir jos veikimo aprašymas	28
4. Projektavimas balansuojančios dalies(Martynas Zakaras)	30
4.1. Principinės schemos projektavimas	30
4.2. Spausdinto montažo plokštės projektavimas	33
4.3. Algoritmas ir programinė įranga	33
4.4. Karkaso projektavimas	38
5. Projektavimas pozicionuojančios dalies(Mindaugas Vaškevičius)	39
5.1. Principinės schemos projektavimas	39
5.2. Spausdinto montažo plokštės projektavimas	41
5.3. Algoritmas ir programine įranga	41
6. Testavimas	45
6.1. Pozicionavimą atliekančios dalies testavimas(Mindaugas Vaškevičius)	45
6.2. Balansavimas(Martynas Zakaras).....	52
6.3. Bendras viso roboto testavimas	54
Išvados.....	55
Literatūros sąrašas	56

Paveikslų sąrašas

- 1.1 pav. Balanduino
- 1.2 pav. Struktūrinė Balanduino schema
- 1.3 pav. Projekte panaudotas ATmega1284P
- 1.4 pav. Variklių valdiklis
- 1.5 pav. MPU6050 schema
- 1.6 pav. FT230X, USB - UART keitiklis
- 1.7 pav. John Deere Tango E5
- 1.8 pav. Husqvarna Automower 265ACX
- 1.9 pav. VertiBOT
- 1.10 pav. VertiBOT plokštė
- 2.1 pav. I²C magistralė
- 2.2 pav. Duomenų siuntimas
- 2.3 pav. UART jungimo schema.
- 2.4 pav. Nuolatinės srovės variklis
- 2.5 pav. Servo variklio blokinė diagrama
- 2.6 pav. Silicinas
- 2.7 pav. Industriniai servo varikliai
- 2.8 pav. Pulso trukmės moduliacijos signalas ir servo reakcijos į jį
- 2.9 pav. HC-SR04
- 2.10 pav. Signalai laiko bėgyje
- 2.12.a pav. MPU6050 jutiklis
- 2.12.b pav. MPU6050 schema
- 2.13 pav. Kamuolys plūduriuoja (nesvarumo būseną).
- 2.14 pav. Inercinė jėga
- 2.15 pav. Gravitacijos jėga
- 2.16 pav. Dėžutė pasukta 45°
- 2.17 pav. Mechaninis giroskopas
- 2.18 pav. Lauko stiprio principinė schema
- 2.19 pav. Lauko stiprio jutiklis
- 4.1 pav. Principinė schema
- 4.2 pav. Pagaminta plokštė
- 4.3 pav. Proporcinės dedamosios kitimas
- 4.4 pav. Integralinės dedamosios kitimas
- 4.5 pav. Diferencialinė dedamoji
- 4.6 pav. PID
- 4.7 pav. Programos algoritmas
- 4.8 pav. Korpusų pavyzdžiai
- 5.1 pav. Principinė pozicionavimą atliekančios roboto dalies schema
- 5.2 pav. Pozicionavimą atliekančios dalies spausdinto montažo plokštė
- 5.3 pav. Pozicionavimą atliekančios programos algoritmas
- 6.1 pav. Servo pavarų sujungimo schema
- 6.2 pav. Pirminė jungimo schema.
- 6.3 pav. Jungimo schema su diodais.
- 6.4 pav. Sujungimo schema su diodais ir kondensatoriais
- 6.5 pav. Trijų būsenų kartotukas su invertuotu įgalinimo išvadų.
- 6.7 pav. LCD ekranas
- 6.8 pav. Siųstuvai ir jo išvadai
- 6.9 pav. Siųstuvo sujungimo schema
- 6.10 pav. Siųstuvo veikimas. Grafike matoma 400MHz - 460Mhz dažnio juosta
- 6.11 pav. Dipolinės antenos kryptinė diagrama

- 6.12 pav. Signalą priimanti schema
- 6.13 pav. Pirminių bandymų plokštė
- 6.14 pav. Spausdinto montažo plokštė bandymų metu
- 6.12 pav. LCD suteikiama informacija
- 6.13 pav. Plokštės testavimas
- 6.14 pav. PID nustatinėjimas

Priedai

- 1 Priedas. Roboto korpusas
- 2 Priedas. Plokštės detalių išdėstymas
- 3 Priedas. Spausdinto montažo plokštė
- 4 Priedas. Detalių sąrašas (balansuojančios dalies).
- 5 Priedas. Plokštės detalių išdėstymas (pozicionuojančios dalies)
- 6 Priedas. Spausdinto montažo plokštės apatinis sluoksnis
- 7 Priedas. Spausdinto montažo plokštės viršutinis sluoksnis
- 8 Priedas. Detalių sąrašas (pozicionuojančios dalies).

Įvadas

Robotai ir automatizuoti mechanizmai atsiranda beveik visose mūsų gyvenimo srityse. Paskutiniais duomenimis, pasaulyje jau dabar veikia apie 2,5 milijonų visokių rūšių robotų: pramoninių, buitinių ar robotų žaislų. Šiuolaikiniai robotai yra sudėtingos inžinerinės sistemos, sudarytos iš daug skirtingų komponentų.

Robotas kas gi tai yra? Tai sistema, kuri sudaryta iš jutiklių, valdymo sistemų, manipuliatorių, energijos šaltinių ir programinės įrangos, skirta atlikti užduotis. Roboto projektavimas, kūrimas, programavimas ir testavimas yra kombinacija fizikos, mechanikos inžinerijos, elektronikos ir elektros inžinerijos ir matematikos mokslų.

Kuriami robotai stengiasi imituoti žmogaus gebėjimus, daugumoje sričių robotai jau yra tiek ištobulėję, kad lenkia žmogaus galimybes, tačiau dar yra kur tobulėti.

Pastaruoju metu vis labiau robotų gaminimas orientuojasi į robotus, kurie gali išlaikyti pusiausvyrą su mažiau atramos taškų ir nepriklausomai judėti aplinkoje.

Mūsų baigiamajame darbe suprojektuotas balansuojantis robotas, kuris pozicionavimui naudoja lokalaus pozicionavimo sistemą. Robotas bus sudarytas iš kelių plokščių, kurios tarpusavyje komunikuos UART sąsajos pagalba. Darbe siekta panaudoti kuo daugiau mikrovaldiklio techninių galimybių, I²C ir UART sąsajas, bei kitus periferinius įrenginius.

Darbo tikslai: Suprojektuoti ir pagaminti balansuojantį robotą su lokalaus pozicionavimo sistema

Darbo uždaviniai:

- Atlikti panašių įrenginių ir technologijų analizę.
- Suprojektuoti ir pagaminti balansuojantį robotą su lokalaus pozicionavimo sistema
- Parašyti programinę įrangą
- Pagaminti prototipą
- Atlikti prototipo bandymus

1. Panašių įrenginių analizė.

1.1. Balanduino

Balanduino (žr. pav. 1.1) - atviro kodo balansuojantis robotas, suprojektuotas naudojant arduino platformą. Robotas balansuoja naudodamas 3 - ašių giroskopą ir 3 - ašių akcelerometrą. Tiksliam kampui nustatyti naudojamas Kalmano filtras. Informaciją, apie dabar esamą kampą, panaudojama PID valdiklyje, kuris kontroliuoja ratų sukimosi greitį, kad robotas visada išliktų pusiausvyros padėtyje. Balanduino išlieka pusiausvyros padėtyje net ir paveiktas išorinės jėgos ar atsitrenkęs į kliūtį. Robotas yra suderinamas su daugumos gamintojų žaidimų valdikliais, Android ir Windows telefonais bei Windows, Mac ar Linux pagrįstomis kompiuterių sistemomis [1]. 1.2 paveiksle matome struktūrinę Balanduino schemą.

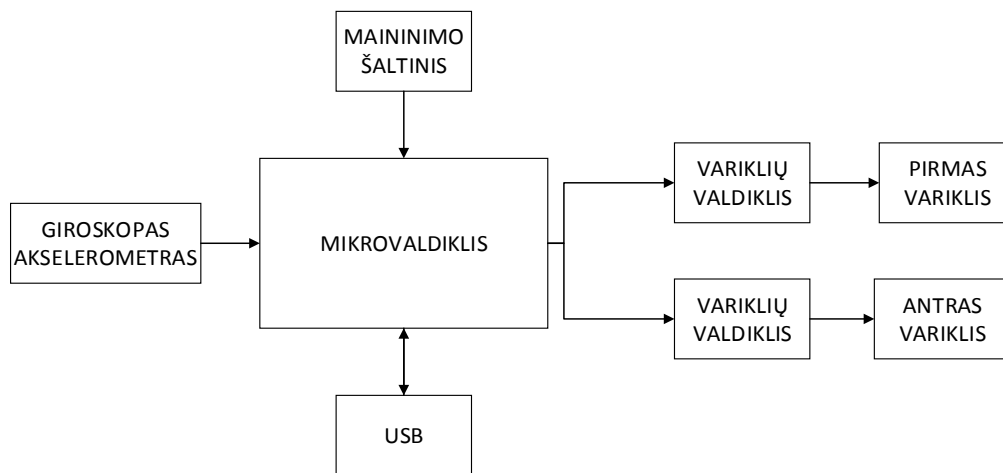


1.1 pav. Balanduino

Roboto specifikacijos:

- ATmega1284P
 - 128KB Flash
 - 16KB SRAM
 - 4KB EEPROM
 - 1x UART sąsaja
 - 4x PWM išvadai
 - 1x pertraukimas
 - 5x analoginės įvestys
 - 1x I²C sąsaja

- MPU6050 6 - ašių jutiklis
 - 3 - ašių akcelerometras
 - 3 - ašių giroskopas
- FT230 USB lustas (serial chip)
- VNH5180 variklių valdiklis
 - Skaitmeninis H - tiltas
 - Maksimali 8A nuolatinė srovė
- MAX3421E USB valdiklis



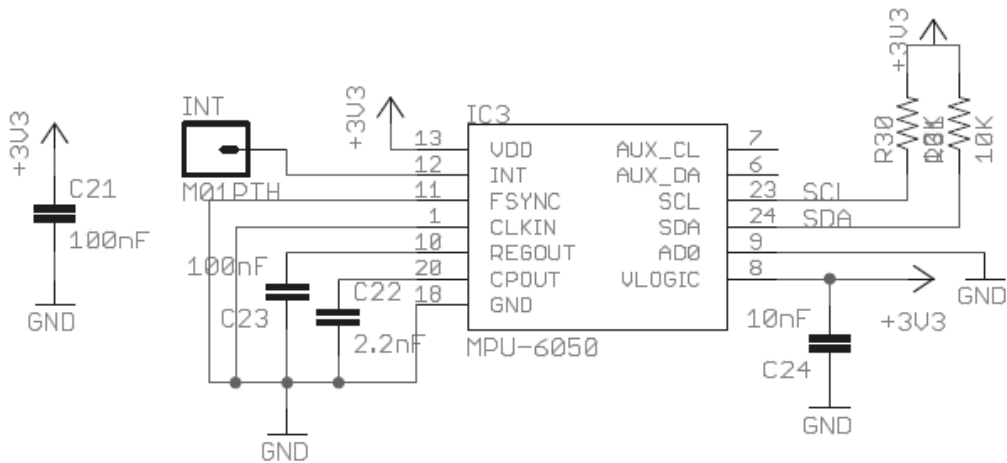
1.2 pav. Struktūrinė Balduino schema

Struktūrinė schema buvo padaryta remiantis esamais elementais, nes nepavyko rasti projekto struktūrinės schemos.

Maitinimo šaltiniu kūrėjai pasirinko panaudoti pakraunama baterija „4200mAh 11.1V 3-cell LiPo“.

Projekto kūrėjai pasirinko ATmega1284P (žr. pav. 1.3) mikrovaldiklį [2], tai mažos galios 8-bitų mikrovaldiklis paremtas ARV tipo architektūra. Dešinėje pusėje matomi kontaktai, kuriais mikrovaldiklis yra sujungiamas su išoriniais periferiniais įrenginiais. Kairėje paveikslėlio pusėje viršuje matoma kvarcinio rezonatoriaus grandinė, perkrovos mygtukas. Kairėje paveikslėlio pusėje apačioje, matoma triukšmų slopinimo grandinė bei šviesos diodas, valdomas mikrovaldiklio.

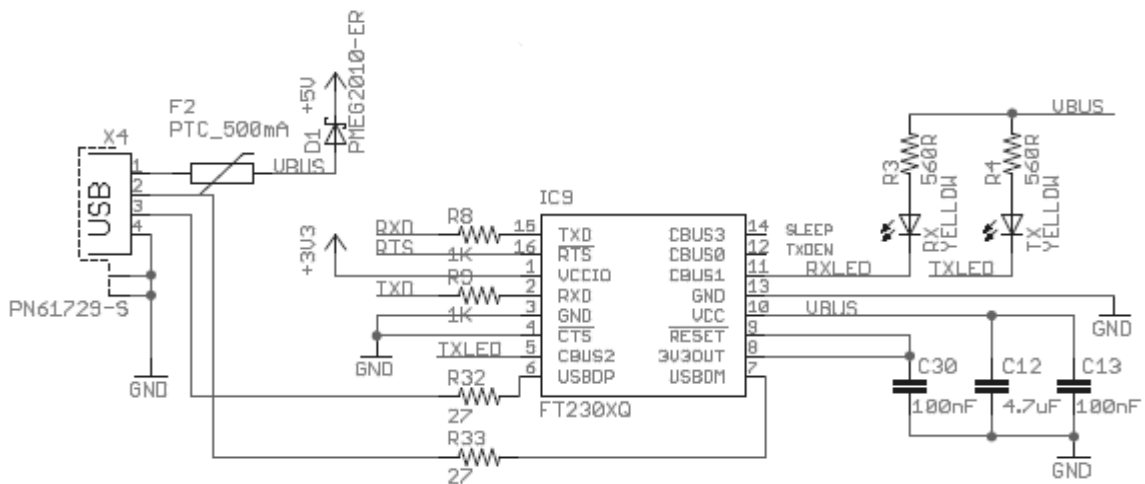
Projekte kūrėjai panaudojo giroskopą ir akcelerometrą MPU6050 (žr. pav. 1.5). 1.5 paveiksle matome triukšmų slopinimo grandinę ir I²C magistralės išvadus.



1.5 pav. MPU6050 schema

Roboto kūrėjai naudoja 12 voltų, nuolatinės srovės variklius.

USB - FT230X nuoseklus USB keitiklis į UART sąsają, optimizuotas mažoms spausdinto montažo plokštėms. Paveikslo kairėje pusėje matomas mikro USB lizdas. Dešinėje pusėje matome maitinimo triukšmų slopinimo grandinę. Taip pat, testavimo tikslam skirtus šviesos diodus, kurie pajungti prie UART išvadų.



1.6 pav. FT230X, USB - UART keitiklis

Balduino robotą gali nusipirkti visi norintys. Pačio roboto surinkimas yra lengvas, o ir programavimas nėra sunkus. Kadangi tai yra atviro kodo projektas, programas bei reikalingas arduino bibliotekas galima parsisiųsti ir užprogramuoti Balduino robotą pagal programuotojo norus bei poreikius. Standartiškai modelyje būna užprogramuota pusiausvyros išlaikymas ir roboto valdymas su pulteliais ar programomis, kurios yra pritaikytos įvairiom platformom. Arduino platforma suteikia galimybę lengvai pačiam pridėti norimus priedus ar savo sukurtą plokštę.

1.2. Autonominių žoliapjovių apžvalga

Šiame skyriuje aptariama autonominės žoliapjovės, kurios turi lokalaus pozicionavimo sistemas. Įvairios įmonės kuria žolės pjovimo sistemas, tokias, kad žmogui nereikėtų nieko daryti. Autonominės žoliapjovės yra populiariausias variantas. Toliau bus aptarta penkios populiariausios žoliapjovės: Honda Miimo, Husqvarna Automower 265ACX, Robomow RS630, John Deere Tango E5 ir Bosh Indego (7).

Honda Miimo yra autonominė žoliapjovė pagaminta taip, kad jai reikėtų kuo mažiau žmogaus priežiūros. Viena Miimo žoliapjovė gali prižiūrėti apie 2600 kvadratinių metrų vejos plotą. Šis robotas gali veikti kryptiniu režimu, atsitiktiniu ir mišriu. Atsitiktiniu režimu robotas važinėja be iš anksto nustatyto maršruto. Peilių aukštį galima reguliuoti nuo 20 iki 60 milimetrų.

Husqvarna Automower 265ACX (žr. pav. 1.8) žoliapjovė yra suprojektuota pjauti itin dideliems plotams, iki šešių tūkstančių kvadratinių metrų. Ši žoliapjovė turi daug įvairaus pobūdžio kliūtį aptinkančių jutiklių. Ši žoliapjovė, ne taip kaip kitos, turi įdomią funkciją. Kai žoliapjovės tolimesnį veikimą stabdo kliūtis, žoliapjovė pati išsiunčia trumpąją SMS žinutę ir informuoja vartotoją apie nesklandumus. Ši žoliapjovė vienu baterijos pasikrovimu gali dirbti iki 80 minučių, baterijos pasikrovimo laikas 40 minučių. Pjovimo aukštis reguliuojamas nuo 20 iki 60 milimetrų.

John Deere Tango E5 (žr. pav. 1.7) yra žoliapjovė skirta pjauti nedidelio ploto vejas, iki 1800 kvadratinių metrų, tačiau ši žoliapjovė yra populiariausia dėl kelių priežasčių. Ši žoliapjovė gali dirbti bet kokiomis oro sąlygomis, pjovimo teritorijoje gali būti daug kliūčių, net pjauti veją paviršiumi kuris yra pasviręs 35 laipsnių kampą. Jei didesnis pasvirimo kampas, žoliapjovė nutrauks veikimą. Yra dar papildomų saugumą garantuojančių funkcijų. Pjovimo aukštis nuo 19 milimetrų iki 102 milimetrų.

Bosh Indego yra autonominė žoliapjovė, kuri ne tik atsitiktinai važinėja po perimetrą, tačiau dar turi ir specialią sistemą. Ši sistema neleidžia Indego judėti atsitiktine tvarka, tačiau pagal veikimo perimetrą yra kruopščiai apskaičiuojama, trumpiausias kelias kaip reikia važiuoti robotui, kad nupjauti visą veją. Ši žoliapjovė suprojektuota taip, kad galėtų veikti įvairiomis oro sąlygomis. Nors tai viena iš optimaliausiai žolę pjaunančių autonominių žoliapjovių, tačiau viena žoliapjovė gali prižiūrėti tik vieną tūkstantį kvadratinių metrų vejos. Palyginus su kitomis autonominėmis žoliapjovėmis tai nėra daug.



1.7 pav John Deere Tango E5

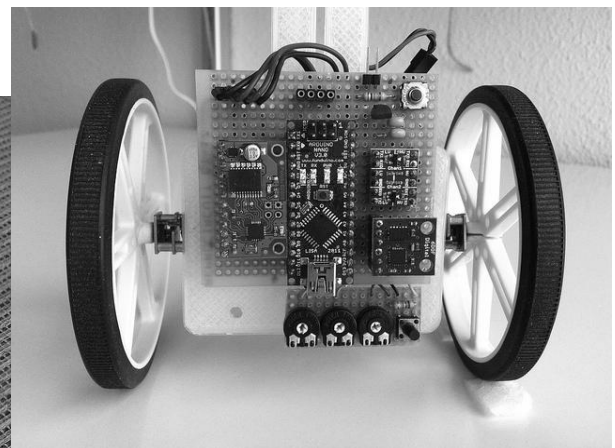


1.8 pav Husqvarna Automower 265ACX

Visų šių autonominių žoliapjovių veikimo principas yra panašus. Neskaitant kliūtis išvengimo sistemų, kurios gali būti sudarytos iš ultragarsinių jutiklių, jutikių kurie suveikia prisilietus prie kliūtis, pozicionavimą atliekanti sistema yra pakankamai paprasta. Pjaunamos vejės perimetras yra pažymėtas signalą skleidžiančiu laidu, įkastu į žemę ir yra pagalbiniai laidai, tam kad robotas surastų pasikrovimo stotelę. Robotas važiuoja pirmyn, kol aptinka signalą skleidžiantį laidą ir pagal tai orientuojasi aplinkoje, važiuoja į stotelę pasikrauti baterijų arba pakeičia kryptį ir toliau tęsia darbą.

1.3. VertiBOT

VertiBOT (žr. pav. 1.9) - edukacinis projektas skirtas suprasti ir iširti jutiklius, panaudoti Kalmano filtrą ir papildomus algoritmus ir PID valdiklį, nestabilioje sistemoje. VertiBOT yra padarytas pagal apverstos svyruoklės principą, jis išlieka stabilus naudojant dvejus mažus variklius, esančius roboto apačioje. Roboto masės centras yra aukščiau jo ratų bazės, tokia sistema yra nestabili ir nuolat turi būti derinama norint likti pusiausvyros padėtyje. Apverstos švytuoklės problema dinamikoje yra klasikinė ir jos sprendimo būdų yra nemažai. VertiBOT detalės atspausdintos naudojant 3D spausdintuvą [4].

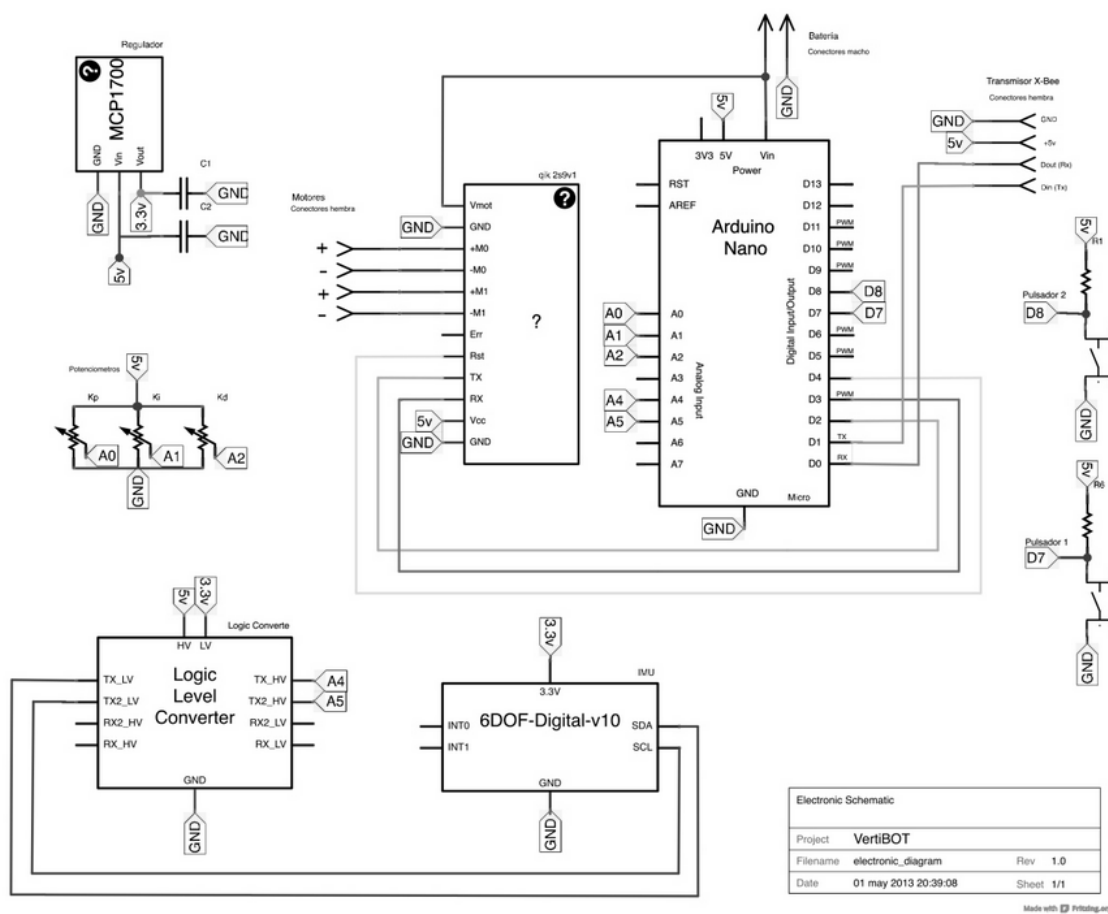


1.9 pav. VertiBOT

Roboto specifikacijos:

- Arduino Nano (ATmega328 mikrovaldiklis)
- 6DOF IMU(ADXL345/ ITG3200): giroskopas ir akselerometras.
- Pololu Qik2sv1 variklių valdiklis
- Bluetooth įrenginys skirtas realaus laiko komunikavimui.
- PID konfigūravimui skirti potenciometrai
- mygtukai skirti įvairioms užduotims: algoritmo keitimui, kalibravimui.
- įtampos reguliatorius MCP1700.

Arduino Nano - maža, lengvai suderinamas su daugumą įrenginių plokštė paremta ATmega328 arba ATmega168 mikrovaldikliu. Plokštė pilnai paruošta naudojimui, lieka tik prijungti papildomus įrenginius. Kūrėjai pasirinko Arduino Nano bei mikrovaldiklį ATmega328. Paveiksle esančiame žemiau parodyta kaip Arduino Nano integruotas į schemą. Prie Nano pajungtas 5 V maitinimas, Pololu variklių valdiklis, bei loginio lygio keitiklis (Logic Level Converter). Dešinėje paveikslėlio pusėje parodyti du funkciniai mygtukai, kuriais galima keisti algoritmą, atlikti kalibravimą. Kairėje paveikslėlio matomas įtampos reguliatorius - MCP1700 [3] , toliau seka PID konfigūravimui skirti potenciometrai. Schemas apačioje matomas akselerometras/giroskopas 6DOF-Digital-v10.



1.10 pav. VertiBOT plokštė

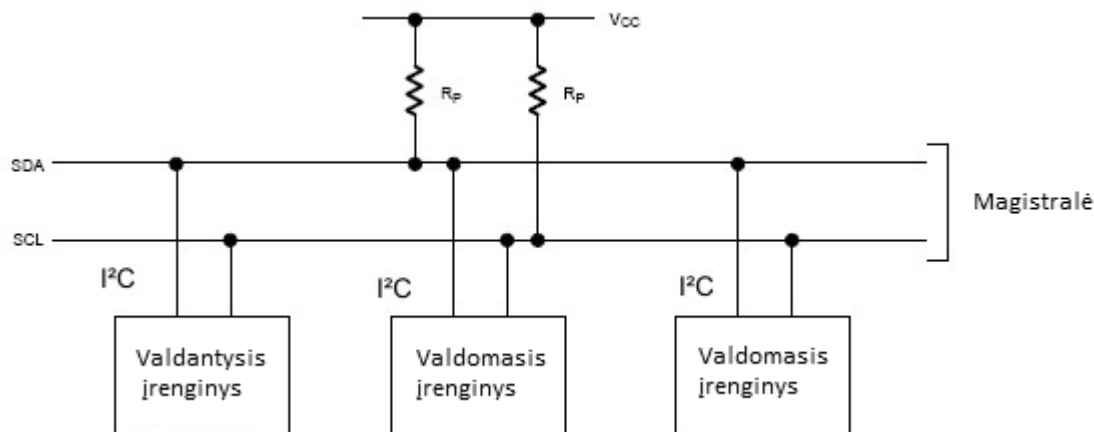
ADXL345/ ITG3200 - akcelerometras (ADXL345) ir giroskopas (ITG3200) vienoje plokštėje 6DOF-Digital-v10. ADXL345 ir ITG3200 derinys suteikia šešis laisvės laipsnius. Jutikliai komunikuoja naudodami I²C sąsają. VertiBOT yra paprastas pusiausvyrą išlaikantis balansuojantis robotas, jo gamybai panaudoti jau paruošti moduliai, kuriuos sujungus ir užprogramavus turimas galutinis produktas. Elektrinė schema pateikta 4 priede.

2. Naudotų technologijų apžvalga.

Šiame skyriuje apžvelgtos naudotos technologijos ir duomenų perdavimo sąsajos. Duomenims perduoti panaudota UART ir I²C sąsajos. Mechaninius judesius atliekančios dalys: servo pavaros ir nuolatinės srovės varikliai. Įvairūs jutikliai: giroskopas, ultragarsiniai atstumo sensoriai, lauko stiprio jutiklis.

2.1. I²C sąsajos apžvalga

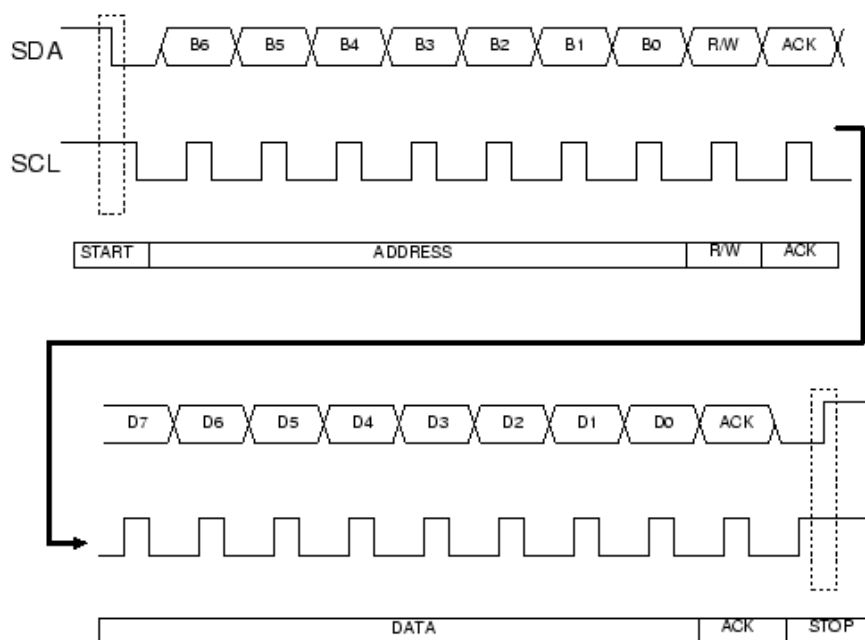
I²C sąsaja buvo sukurta Philips apie 1980-uosius metus. Ši sąsaja leido įrenginiams lengvai komunikuoti tarpusavyje. Pradinė sparta buvo 100Kbit. per sekundę. Tačiau kai kuriems įrenginiams trūko spartos, tam tikslui duomenų siuntimo greitis padidėjo iki 400Kbit per sekundę ir galiausiai buvo pasiektas 3.4Mbit per sekundę greitis. Duomenys perduodami per SDA kanalą, o per SCL perduodamas sinchronizavimo dažnis. I²C protokolas apibūdina valdančiuosius ir valdomuosius įrenginius (žr. 2.1 pav.). Valdantysis įrenginys - įrenginys, kuris valdo magistralę, kontroliuoja sinchronizavimo dažnį, bei generuoja START ir STOP bitus. Valdomasis įrenginys - įrenginys, kuris „klausosi“ magistralės, ir vykdo nustatymus arba apdoroja duomenis, kurie jiems yra siunčiami. Valdantysis įrenginys siunčia arba gauna duomenis iš valdomojo įrenginio, valdomieji įrenginiai negali keistis duomenimis tarp savęs.



2.1 pav. I²C magistralė

Kad įsigilintume į veikimą, apžvelkime duomenų siuntimą (žr. 2.2 pav.). Iš pradžių, kai SDA frontas leidžiasi, o SCL būna 1, t.y. aukšto lygmens, siuntimas pradedamas (START), toliau siunčiamas valdomojo (slave) adresas, siunčiama skaitymo/rašymo komanda (R/W), jei 0 rašyti jei 1 skaityti, toliau siunčiamas/gaunamas patvirtinimo bitas (ACK). Dabar apžvelkime duomenų gavimą, įrenginys siunčia arba priima duomenis (DATA), toliau siunčiamas arba tikimasi gauti patvirtinimo

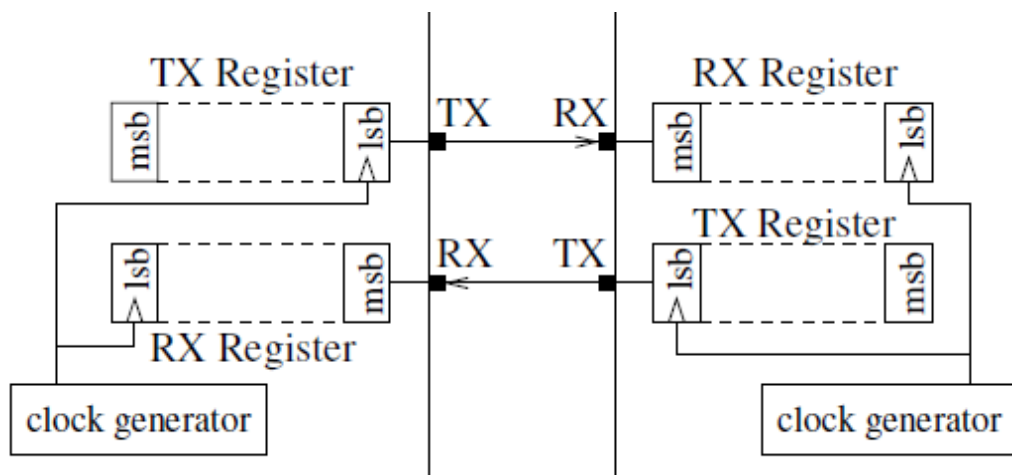
bitą (ACK), gavus arba išsiuntus duomenis siunčiamas stop bitas (STOP), SCL būna auto aukšto lygmens, o SDL kylančio fronto.



2.2 pav. Duomenų siuntimas

2.1. UART sąsajos apžvalga

Šiame skyriuje trumpai aptarta UART sąsaja, jos galimybės, veikimo principai. UART *angl.* universal asynchronous receiver/transmitter universalus, asinchroninis priėmimas, išsiuntimas. UART pirmosios užuomazgos atsirado pradėjus naudoti duomenų siuntimą elektroninėmis priemonėmis, t.y. telegrafu. Telegrafai duomenų siuntimui naudoja panašius principus kaip UART. Skirtingos trukmės impulsais perduodama informacija, visai kaip Morzės kodą naudojančioje sistemoje. Tobulėjant elektronikai reikėjo greitesnių perdavimo galimybių ir 1971 metais *Western Digital* kompanija pagamino pirmąją UART mikroschemą WD1012A. UART toliau tobulėjo ir šiomis dienomis UART, kaip atskiras modulis, yra beveik kiekviename mikrovaldiklyje. Didelė dalis mikrovaldiklių turi daugiau, negu vieną UART modulį. Dažniausiai UART sąsajai (žr. 2.3 pav) užtenka dviejų jungiamųjų laidų ir bendros žemės, tačiau neretai naudojama trečias sinchronizavimo laidas. Naudojant UART sąsają duomenimis galima apsikeisti pusės duplexo arba pilno duplexo metodu. UART sąsajos išvadai dažniausiai žymimi RX ir TX. Vieno modulio RX išvadas turi būti sujungtas su kito modulio TX išvadu(žr. pav. 2.3). Imtuvo ir siųstuvo moduliai turi būti suderinti, siuntimo ir priėmimo greičiai turi būti tokie pat, kitu atveju apsikeisti informacija tarp modulių negalima.(6)

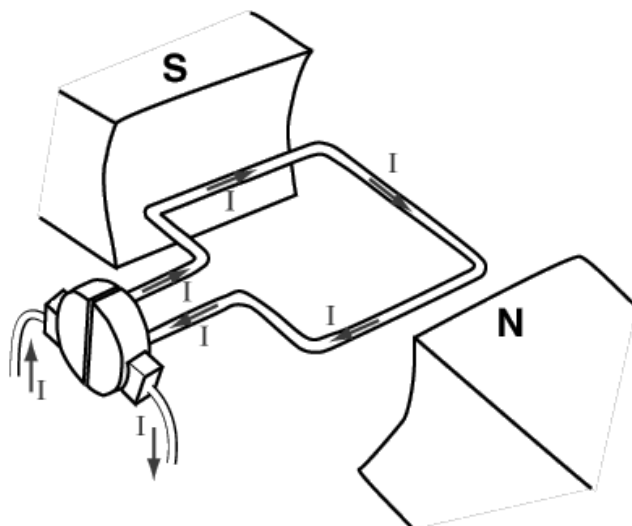


2.3 pav. UART jungimo schema.

UART sąsaja informacija perduodama tam tikrais perdavimo greičiais. Kai kurie standartiniai perdavimo greičiai: 110bps, 300bps, 1200bps, 2400bps, 4800bps, 9600bps, 19200bps, 2880bps, 38400bps, 57600bps, 115200bps. Perdavimo greitis yra ribojamas tik mikrovaldiklio, kompiuterio ar įrangos kuria naudojama UART sąsaja.

2.2. Nuolatinės srovės varikliai

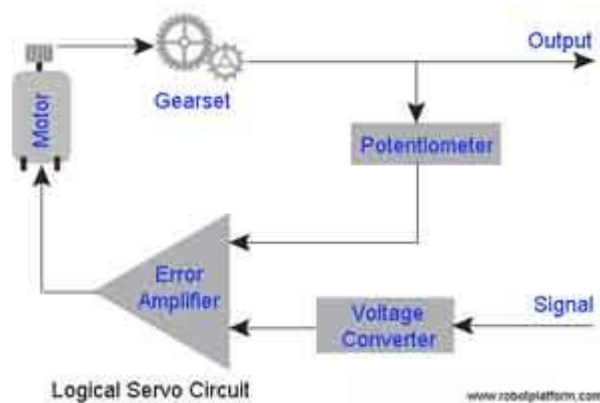
Nuolatinės srovės variklio pagrindinės detalės: statorius ir inkaras. Inkaras prijungiamas prie nuolatinės srovės ir jo apvijomis ima tekėti srovė. Inkaras ima sukintis dėl atsiradusio sukimo momento, kurį sukuria, laidai esantys polių NS magnetiniame lauke, nes juos veikia elektromagnetinės jėgos. Norint pakeisti sukimosi kryptį, reikia pakeisti srovės tekėjimo kryptį. Apžvelkime paveikslėlį esantį žemiau (žr. 2.3.1 pav.), kad geriau suprastume nuolatinės srovės variklio veikimą. Sakykime, kad inkaras sudarytas iš vieno rėmelio. Srovė (I), tekėdama per rėmelį, kuris yra magnetiniame lauke, kurį sukuria S ir N poliai, sukuria elektromagnetines jėgas, šios savo ruožtu sukuria sukimo momentą, ir rėmelis pradeda sukintis.



2.4 pav. Nuolatinės srovės variklis

2.3. Servo varikliai

Šiame skyrelyje aptarta servo pavarų veikimo principas. Servo varikliai (žr. pav. 2.7) yra sukamosios pavaros, kurios leidžia tiksliai kontroliuoti kampinę padėtį, sukimosi greitį ir pagreitį. Jis susideda iš tinkamo variklio, ir kampinės padėties jutiklio, tai pat valdančiosios dalies. Valdymą atliekanti dalis turi būti specialiai suprojektuota būtent to tipo servo varikliui. Servo varikliai nepriskiriami atskirai variklių klasei, nes veikia tais pačiais principais, tačiau naudoja grįžtamąjį ryšį. Variklis yra suporuotas su koku nors kampinės padėties jutikliu, kuris suteikia informaciją apie kampinę padėtį (žr. pav. 2.5). Paprasčiausiu atveju yra naudojami jutikliai tik kampiniai padėčiai nustatyti. Nustatyta padėtis yra palyginama su į valdiklį perduodama padėtimi. Jei nustatyta padėtis skiriasi nuo esamos padėties, tada yra sugeneruojamas paklaidos signalas pagal kurį valdiklis pasuka variklį į reikiamą padėtį. (5)



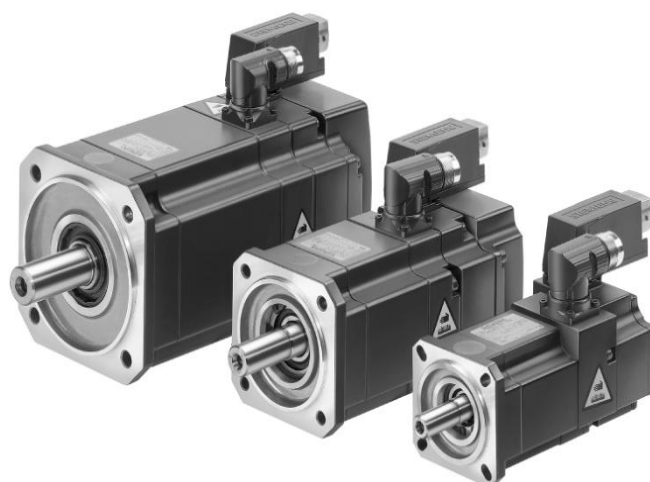
2.5 pav. Servo variklio blokinė diagrama

Patys paprasčiausi servo varikliai naudoja potenciometrus tam, kad nustatyti esamą pasisukimo kampą ir "įjungta-išjungta" valdymo principą t.y. variklis visada sukasi pilnu greičiu arba nesisuka išvis. Šio tipo servo varikliai nėra plačiai taikomi pramonėje tačiau radio valdomiems modeliams populiariausias variantas dėl jų paprastumo ir kainos. Pažangesni servo varikliai naudoja ne tik padėties bet ir greičio valdiklius. Dažniausiai padėties ir greičio duomenys yra perduodami į PID valdiklį, kuris leidžia variklio ašį pakreipti norima kryptimi greičiau ir tiksliau su mažesniu viršijimu. Pirmieji servo varikliai naudodavo silicinius (žr. pav. 2.6).

Servo pavara naudoja energiją tik tada kai sukasi arba yra apkrova kuri apkrauna variklį norint išlaikyti norimą padėtį. Kitais atvejais servo variklis nenaudoja energijos. Žingsniniai varikliai naudoja energiją tam kad išlaikyti padėtį. Dėl šios priežasties buvo pasirinkta servo varikliai o ne žingsniniai varikliai.

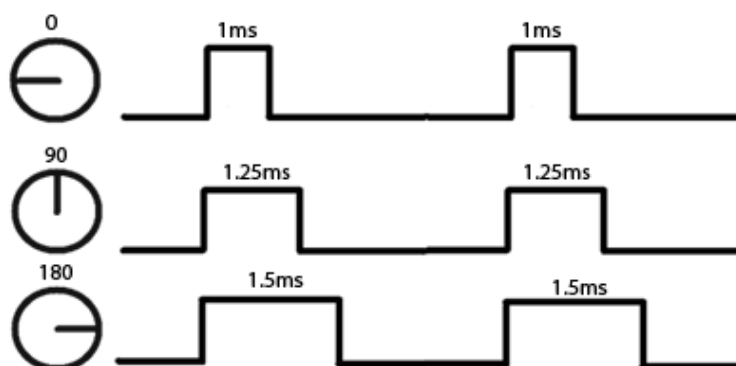


2.6 pav. Silicinas



2.7 pav. Industriniai servo varikliai

Servo pavaros reikalingos tam, kad talikti įvairius mechaninius judesius. Neskaitant maitinimo servo pavara turi tik vieną įvesties išvadą. Servo pavaros valdymas pagrįstas pulso skverbties moduliacija. Valdymui reikia 50 hercų dažnio signalo, ir 1 milisekundės (priklausomai nuo servo pavaros) impulso, tam, kad servo pavara būtų vidurinėje padėtyje (žr. pav. 2.8). Didinant ar mažinant impulso trukmę servo pavara sukama į viena arba į kitą pusę.



2.8 pav. Pulso trukmės moduliacijos signalas ir servo reakcijos į jį

2.4. Ultragarsinis atstumo jutiklis (HC-SR04)

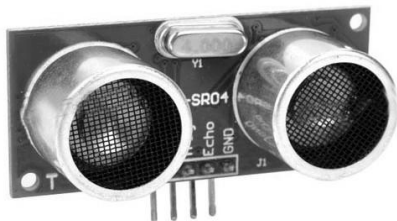
Šiame skyriuje nagrinėjama HC-SR04 ultragarsinio jutiklio veikimo principai. HC-SR04 atstumo jutiklius naudoja aukšto dažnio garsinį signalą ir jo aidą, kad nustatyti atstumą iki objekto. Šis jutiklis suteikia puikų nekontaktinį atstumo matavimo diapazoną, matavimo tikslumą. Jutiklis veikia nuo 2 centimetrų iki 4 metrų su 3 milimetrų paklaida. Jo veikimui saulės šviesa neturi jokio poveikio, ne taip kaip infraraudonųjų spindulių atstumo jutikliams. Šis jutiklis sunkiai aptinka objektus

padengtus garsą sugeriančiomis medžiagomis, objektus į kuriuos garso banga krenta kampu, kitus objektus nuo kurių garso banga gali neatsispindėti .

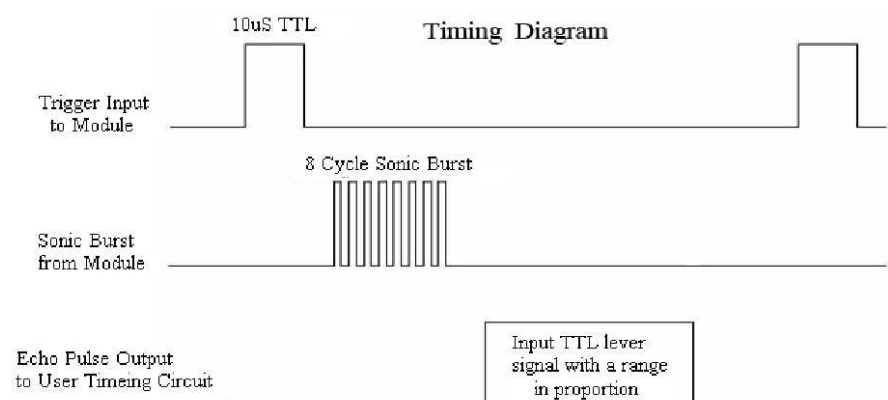
Šis jutiklis turi keturis išvadás:

- Vcc;
- Trigger;
- Echo;
- GND.

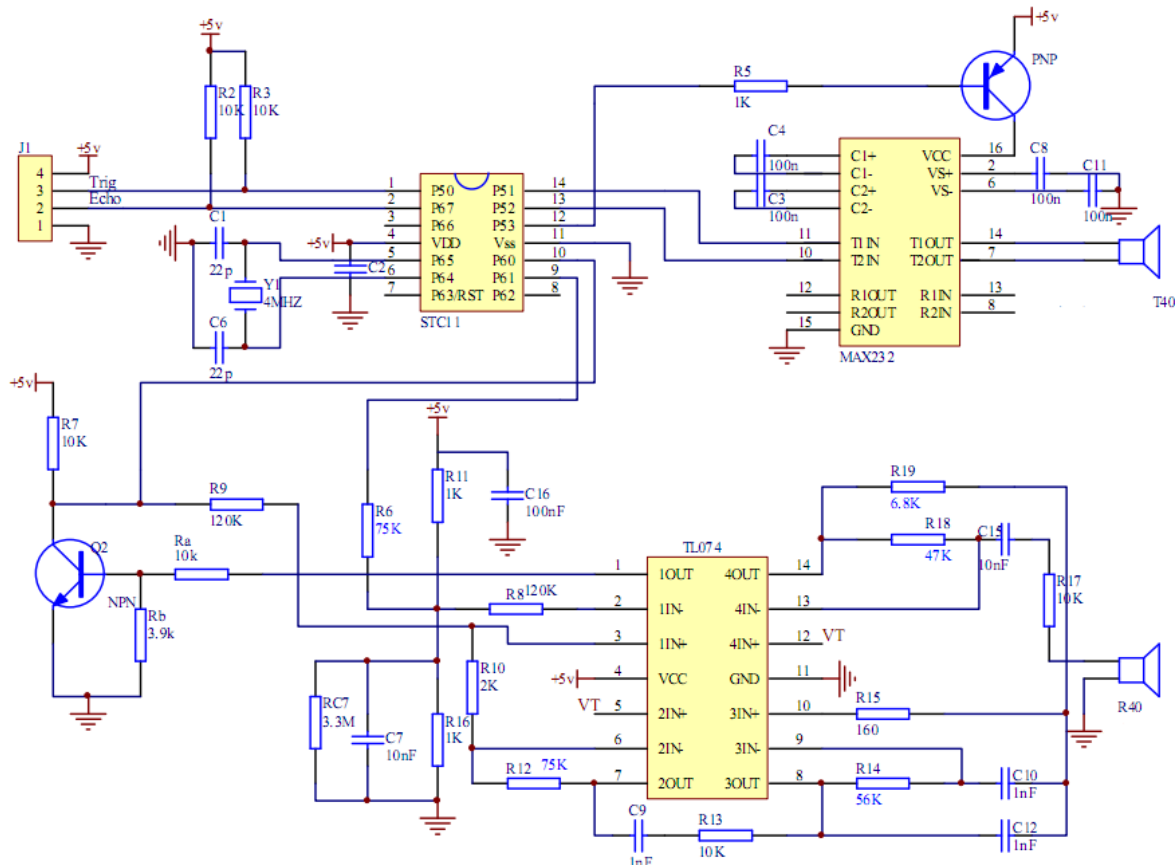
Maitinimo įtampa tarp Vcc išvado ir GND yra +5V (žr. pav. 2.9). Trigger išvadas yra skirtas įvesčiai. Tam, kad pradėti matavimus "TRIG" išvadas turi gauti aukšto lygio 10 mikro sekundžių impulsą. Praėjus tam tikram laiko tarpui jutiklis išsiunčia 8 ultragarso impulsus, kurių dažnis yra 40kHz. Išsiuntus impulsus yra laukiama grįžtančio aido. ECHO išvadas yra išvesties išvadas. Aptikus aidą valdiklis ECHO išvade suformuoja atitinkamos trukmės impulsą, kurio trukmė yra tiesiogiai proporcinga atstumui. Norint apskaičiuoti atstumą reikia atlikti skaičiavimus. Atstumas išreikštas centimetrais yra lygus impulso laikas mikrosekundėmis padalintas iš 58. Gamintojas rekomenduoja atlikti bent 60 milisekundžių tarpsnius tarp matavimų tam, kad jutiklis neaptiktų praėjusio matavimo ultragarso aido (žr. pav. 2.10).



2.9 pav. HC-SR04



2.10pav. Signalai laiko bėgyje



2.11 pav. HC-SR04 principinė schema

Šis atstumo jutiklis yra sudarytas ir trijų pagrindinių mikroschemų, dviejų tranzistorių, ultragarso siūstuvo, imtuvo ir likusių pasyviųjų elementų (žr. pav. 2.11). Pirmoji mikroschema tai STC11 šeimos, aštuonių bitų procesorių turintis mikrovaldiklis. Grandinė skirta generuoti mikrovaldiklio taktiniam dažniui sudaryti iš kvarcinio rezonatoriaus ir kondensatorių. Šis mikrovaldiklis, valdo likusias dvi mikroschemas, TL074 ir MAX232, ir atlieka reikiamus skaičiavimus. Kita mikroschema panaudota šiame jutiklyje yra MAX232. Ši mikroschema yra skirta sugeneruoti signalą, kuris yra perduodamas į ultragarso garsiakalbį ir garso banga yra išsiunčiama. Grįžęs aidas priimamas ultragarso mikrofono ir yra sustiprinamas mikroschemoje TL074. TL074 yra mikroschema, kurioje yra keturi operaciniai stiprintuvai. Analogiška mikroschema yra LM324, neretai sutinkama šiuose jutikliuose. Sustiprintas signalas yra dar kartą sustiprinamas ir invertuojamas NPN tranzistoriaus pakopoje. Sustiprintas ir invertuotas signalas yra perduodamas į STC11 mikrovaldiklį, kur atliekami tolesni veiksmai. Mikrovaldiklis atlikęs veiksmus sugeneruoja išėjimo signalą.

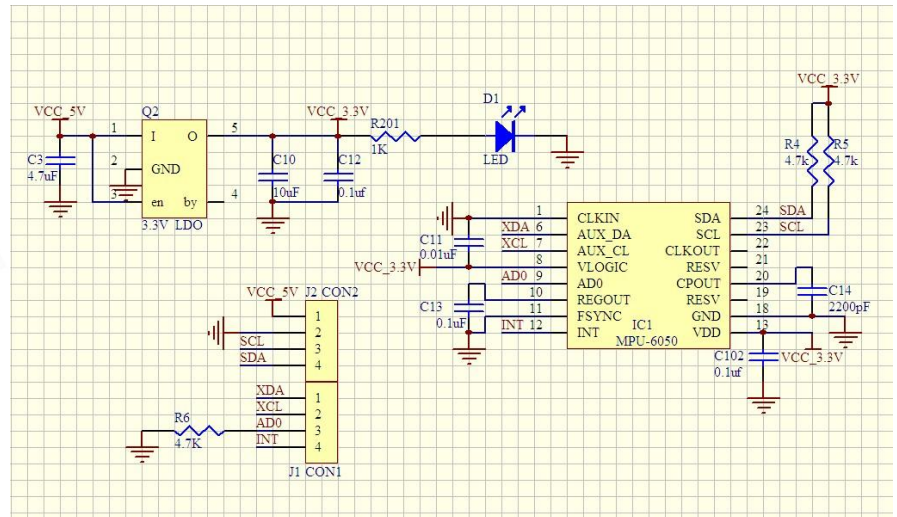
2.5. Girokopas - akcelerometras (MPU-6050)

MPU-6050 (žr. 2.6.a pav.) yra vienas iš pirmųjų 6 - ašių judesio sekimo prietaisais, skirtas žemoms įtampoms, bei atitinkantis aukštus reikalavimus, kurie keliami išmaniuosiuose telefonuose, planšetiniuose kompiuteriuose bei kituose jutikliuose. Įrenginį sudaro 3 - ašių

akselerometras ir 3 - ašių giroskopas. Žemiau pateiktame paveikslėlio(žr. pav. 2.6.b.) viršuje pateikta įtampos keitiklis, kuris 5 V keičia į 3.3 V, bei šviesos diodas, kuris šviečia kai pajungtas maitinimas. Paveikslėlio kairėje pusėje parodyta kokia kiekvieno išvado paskirtis. Dešinėje pusėje pagrindinė schemos dalis - akselerometras ir giroskopas. Kad išigilint į įrenginio veikimą, apžvelgsim kiekvieną iš jų.

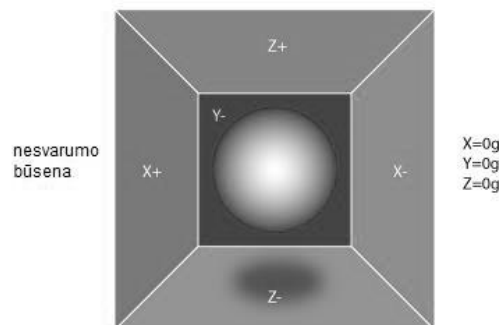


2.12.a pav. MPU6050 jutiklis



2.12.b pav. MPU6050 schema

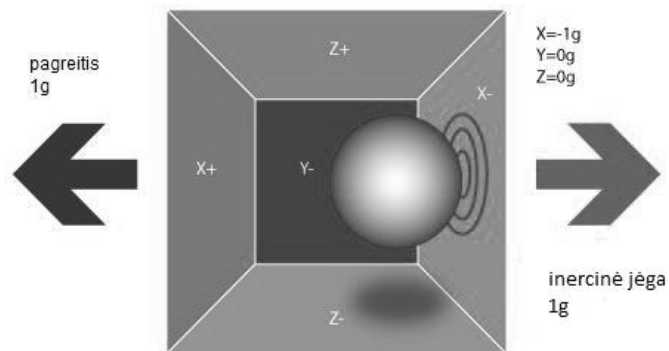
Norint suprasti akselerometrą reikia įsivaizduoti kubo formos dėžutę su kamuoliu viduje (žr. 2.13 pav.). Jei padėtumėme dėžutę į vietą, kur nėra gravitacijos lauko, bei kitų laukų, kurie galėtų įtakoti kamuolio poziciją, tai kamuolys plūduriuos dėžutės viduryje (nesvarumo būseną).



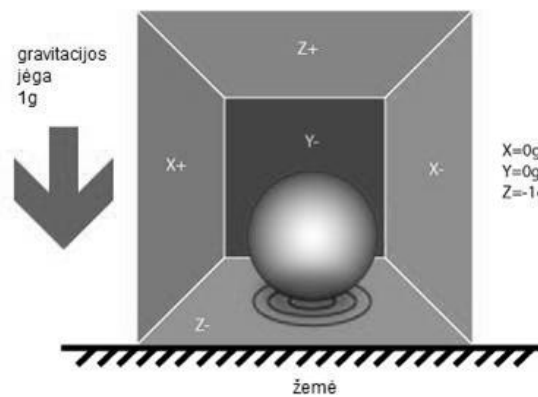
2.13 pav. Kamuolys plūduriuoja (nesvarumo būseną).

Padarykime prielaidą, kad kiekviena dėžutės sienelė yra jautri smūgiams. Jei staigiai pajudinsim dėžutę į kairę (suteiktume pagreitį $1g = 9.8m/s^2$), kamuolys atsitrenks į X- sieną (žr. 2.14 pav.). Išmatuojama slėgio jėga, kurią sukėlė atsitrenkęs kamuolys. Jėga lygi $-1g$ X ašyje (g - akselerometro matavimo vienetas). Iš tiesų akselerometras aptinka jėgą, kuri yra priešingos krypties nei kad pagreičio vektorius. Ši jėga vadinama inercijos. Jei padėsime kubo formos dėžutę ant žemės, kamuolys nukris ant Z- sienos ir sukels $1g$ jėgą (žr. 2.15 pav.). Šiuo atveju dėžutė niekur nejudinama, bet vistiek gaunama $-1g$ jėga Z ašyje. Slėgis, kuriuo kamuolys veikia dėžutės sienelę, atsiranda dėl gravitacinės

jēgos. Teoriškai tai gali būti skirtingo tipo jėgos. Akselerometras matuoja ne pagreitį, o jėgą, kuri yra gaunama specialaus mechanizmo pagalba.

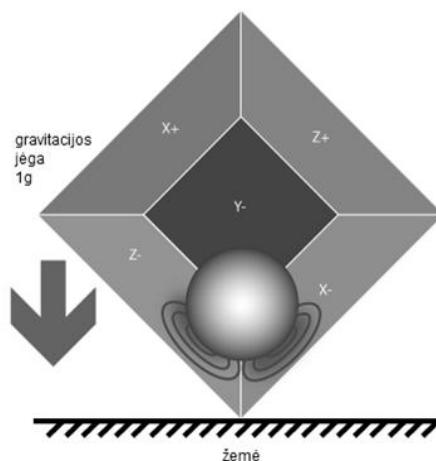


2.14 pav. Inercinė jėga



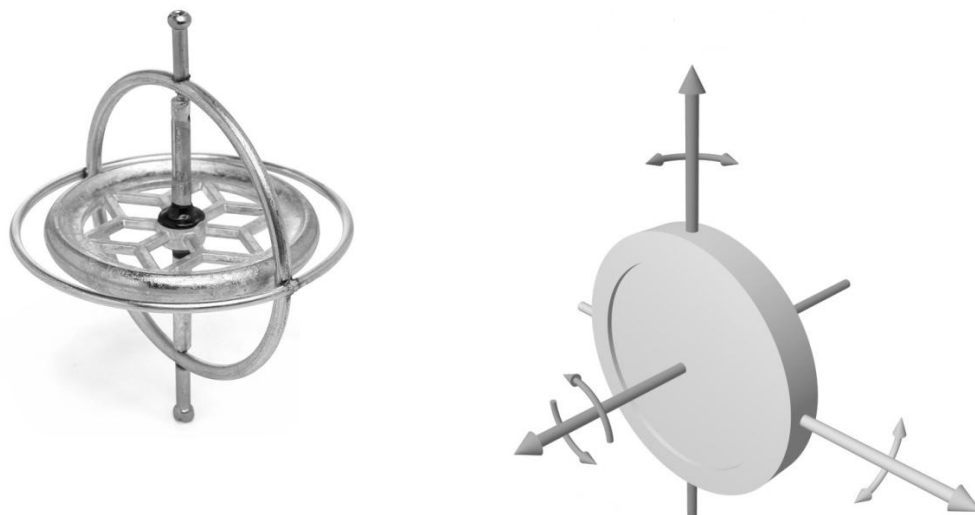
2.15 pav. Gravitacijos jėga

Iki šiol analizavome akselerometrą su jėgos poveikiu į vieną sieną, tačiau analizuojamas akselerometras yra trijų ašių, taigi gali aptikti inercines jėgas visuose trejuose sienose. Grįžkime prie dėžutės modelio ir jį paverskime dėžute 45 laipsniais. Dabar kamuolys, esantis dėžutėje, lies dvi sienas: Z- ir X- kaip parodyta žemiau esančiame paveikslėlyje. (žr. 2.16 pav.).



2.16 pav. Dėžutė pasukta 45°

Giroskopas - prietaisas skirtas kampinės padėties matavimui, pagrįstas kampinio momento principu. Mechanizmuose arba sistemose, tradicinis giroskopas yra mechaninis (žr. 2.17 pav.), jis sudarytas iš rotoriaus, kuris įtvirtintas taip, kad sukėtųsi apie vieną ašį, bei žiedų, kurie turi tam tikrą laisvės laipsnį. Egzistuoja ir kitokio veikimo principo giroskopai: elektroniniai, MEMS (mikroelektromechaninė sistema) giroskopai, optinio pluošto, pusrutulio rezonatoriaus.



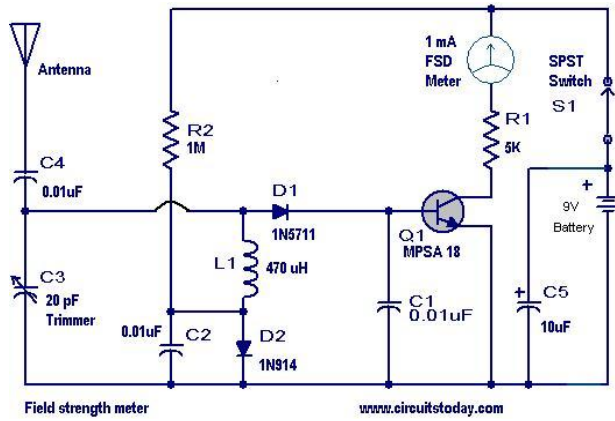
2.17 pav. Mechaninis giroskopas

Kadangi bus naudojamas MEMS tipo giroskopas, todėl apžvelkime šį įrenginį. Pirmieji MEMS giroskopai buvo gaminami iš kvarco, naudojant pjezoelektrinius principus. Tobulėjant technologijom kvarcą pakeitė silicis, todėl buvo ima naudoti nuolatinis magnetus, kuriuos vėliau pakeitė elektrostatiškai aktyvuojamas silicis. Giroskopai naudoja Koriolio jėgų poveikį. Vibruojanti masė sukasi apie vibracijos plokštumos ašį. Yra dvi pagrindinės konfigūracijos, pirmoji - kamertoninė, antroji - vibruojančio cilindro. Šių konfigūracijų giroskopai buvo kuriami naudojant mikro apdirbimo technologijas ir integrinių grandynų gamybos metodus.

2.6. Lauko stiprio jutiklis

Krypčiai nustatyti buvo pasirinkta elektromagnetinio lauko jutiklis(žr. pav. 2.19) su kryptine antena, tad šiame skyriuje aptariama jauko stiprio jutiklio veikimas. Lauko stiprio jutiklio schema yra paprasta(žr. pav. 2.18). Šitokį lauko stiprio jutiklį sudaro kryptinė antena, lygiagretus LC kontūras, detektorius, žemų dažnių filtras ir nuolatinės srovės stiprintuvas ir rodyklinis indikatorius. Sukinėjant anteną taip, kad atsukus antenos maksimumą link antenos signalo priimamumas būtų didžiausias o sukant anteną toliau signalas silpnėtų. LC kontūras suderinamas su siūstuvu tam, kad nesumaišyti norimo signalo su pašaliniais siūstuvais ar tiesiog triukšmu. Toliau atliekamas

detektavimas ir filtravimas, tam, kad gauti nuolatinės įtamos analoginį signalą. Atsukus anteną link siųstuvo įtampa išėjime didėja, o sukant anteną nuo siųstuvo įtampa mažėja.



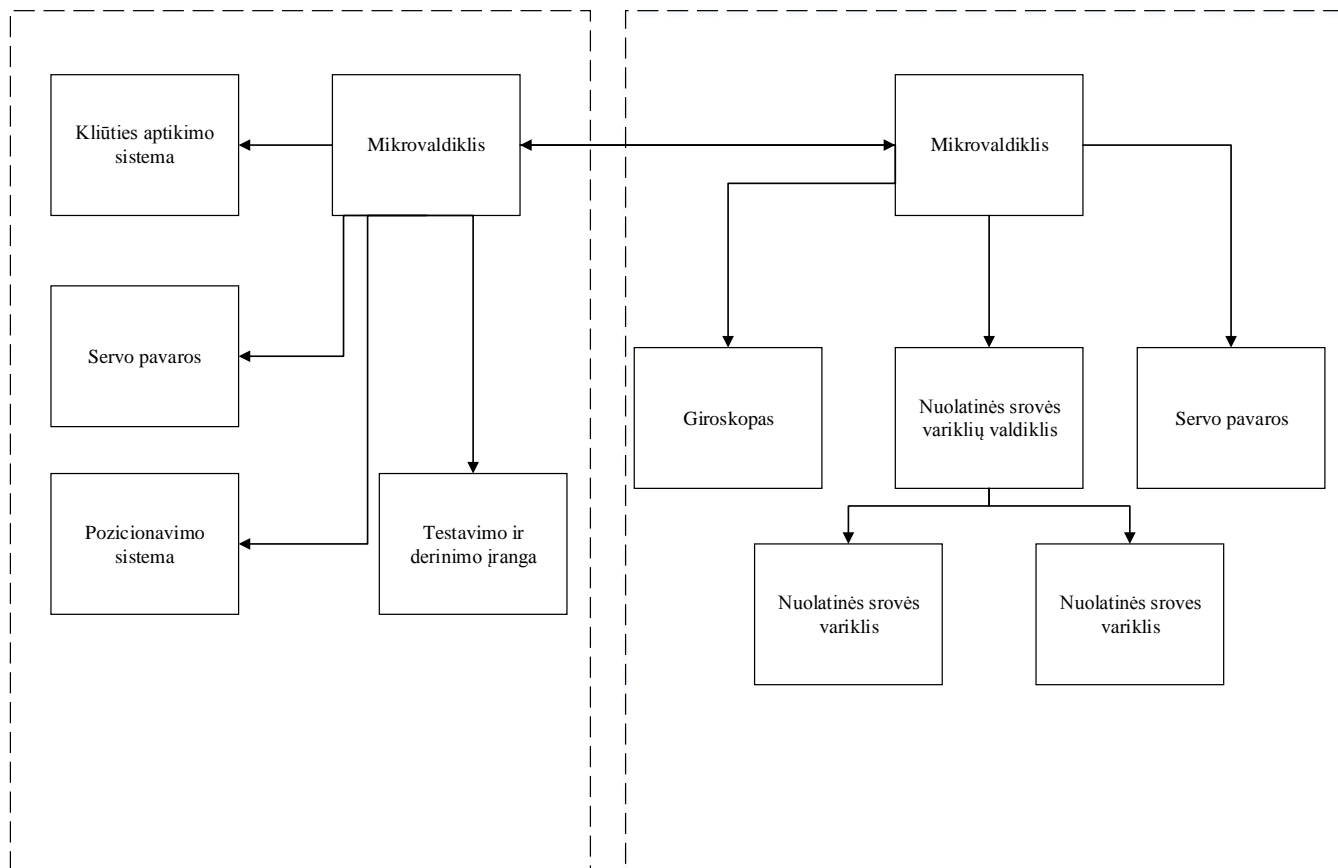
2.18 pav. Lauko stiprio principinė schema



2.19 pav. Lauko stiprio jutiklis

3. Struktūrinė schema ir jos veikimo aprašymas

Šiame skyriuje aptariama visa roboto struktūra. Robotą buvo nuspręsta padalinti į dvi dalis: balansuojančią dalį ir pozicionuojančią dalį. (žr. pav. 3.1) Pozicionuojanti dalis atsakinga už kliūties aptikimą ir išvengimą. Tai pat ši dalis yra atsakinga už pozicionavimą, t.y. robotas turi nuvažiuoti į norimą tašką. Balansuojanti dalis yra atsakinga už pusiausvyros palaikymą ir judėjimą.



3.1pav. Roboto blokinė diagrama.

Pozicionuojančią dalį sudaro penki pagrindiniai struktūriniai blokai: mikrovaldiklis, kliūties aptikimo sistema, servo pavaros, pozicionavimo sistema ir testavimo ir derinimo įranga. Mikrovaldiklis yra svarbiausias šioje dalyje, nes jis valdo visus likusius periferinius įrenginius ir apsiikeičia informacija su kitu mikrovaldikliu. Kliūties išvengimo sistema reikalinga tam, kad robotas neužkliūtų už kokio nors objekto atsiradusio jo kelyje. Pozicionavimo sistema reikalinga tam, kad robotas žinotų kur reikia važiuoti. Testavimo ir derinimo įranga yra skirta palengvinti testavimą, įvairius bandymus ir derinimus. Servo pavaros yra skirtos atlikti mechaniniams judesiams.

Antroji roboto dalis yra skirta pusiausvyrai palaikyti ir judėti aplinkoje. Giroskopas šiai roboto daliai yra privalomas, nes tai komponentas kuris nustato roboto pasvirimo kampą lyginant su horizontu. Nors giroskopas labai svarbus, tačiau mikrovaldiklis, kaip ir pozicionavimą atliekančios dalies, svarbiausias elementas. Servo pavaros tai pat yra reikalingos ir šioje roboto dalyje. Nuolatinės srovės valdiklis yra reikalingas, nes tiesiai iš mikrovaldiklio negalima aprūpinti variklių tekančios

srovės kiekiu, kad jie funkcionuotų normaliai. Šioje dalyje tai pat svarbūs elementai yra nuolatinės srovės varikliai. Tam, kad robotas sėkmingai galėtų judėti, robotui reikia turėti bent du ratus, kurie kiekvienas turėtų po variklį valdantį jų judėjimą. Robotas turi balansuoti, todėl užtenka dviejų atramos taškų, ratų. Abi roboto dalys apsieičia informacija, tam kad robotas galėtų funkcionuoti taip, kaip siekiama suprojektuoti jį.

4. Projektavimas balansuojančios dalies

Šiame skyriuje pateikta roboto balansuojančios dalies principinės schemos projektavimas, spausdinto montažo plokštės projektavimas, programinės įrangos algoritmo sudarymas ir roboto karkaso projektavimas.

4.1. Principinės schemos projektavimas

Schemos projektavimas prasideda nuo apmąstymų, kokiam tikslui bus naudojama plokštė, kokie komponentai turi būti plokštėje. Pirmiausia maitinimas, plokštė turi valdyti 12 voltų variklius, 5 voltai - mikrovaldikliui bei servo varikliui ir 3.3 V giroskopui. 12 voltų bus gaunami iš 1,3Ah (VIPOW) baterijos. 5 voltai iš LM317T (žr. pav. 4.1. IC3 ir IC4 mikroschemos) įtampos keitiklio bus gaunami iš 12voltų, o 3 voltai bus gaunami iš 5 voltų to paties įtampos keitiklio.

LM317 serijos įtampos reguliatorius leidžia maksimaliai srovei esant 1.5 A, įtampai kisti nuo 1.2 V iki 37 V intervale. Reguliatorių lengva naudoti, norimai įtampai gauti naudojami du rezistoriai. Formulė (4.1) pagal kurią apskaičiuojama išėjimo įtampa.

$$V_{\text{out}} = 1.25V \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) + I_{\text{adj}} (R2) \quad (4.1)$$

čia V_{out} - išėjimo įtampa
R1 - varža
R2 - varža
 I_{adj} - varžų daliklio srovė

Šis elementas buvo pasirinktas dėl to, kad galima lengvai gauti norimą įtampą.

LM317T specifikacija:

- maksimali įėjimo - išėjimo įtampa 40 V.
- veikimo temperatūra nuo -40 iki 125 °C
- įtampos kritimas, įėjimo atžvilgiu, išėjime 1.2 V.
- išėjimas apsaugotas nuo trumpo jungimo

Turint maitinimą, pasirenkamas mikrovaldiklis. Projektui pasirinktas ATmega32, nes jis yra vienas iš populiariausių ir jo resursų užtenka įgyvendinti numatytas užduotis. ATmega32 (žr. pav. 4.1. IC1 mikroschema) - mažos galios 8-bitų mikrovaldiklis paremtas ARV tipo architektūra. Mikrovaldiklis yra PDIP korpuse, o ne TQFP nes toks jau buvo turimas.

Mikrovaldiklio specifikacija:

- Flash atmintis 32 KB
- išvadų skaičius 44
- maksimalus darbo taktinis dažnis 16 MHz
- 3x išoriniai pertraukėjai
- 1x TWI(I²C) sąsaja
- 1x UART sąsaja
- 3x skaitikliai
- 4x PMW kanalai

Sekantis žingsnis variklių valdymas. Pasirinktas L293D (žr. pav. 4.1. IC2 mikroschema) variklių valdiklis, nes jo charakteristikų užtenka turimiems varikliams valdyti. L293D sukurtas atlaikyti iki 1 A srovės ir iki nuo 4.5 V iki 36 V įtampos. Mikroschemą sudaro keturi H „pustilčiai“. Dar viena priežastis lėmusi šios mikroschemos pasirinkimą, tai lengvas variklių valdymas.

L293D specifikacija:

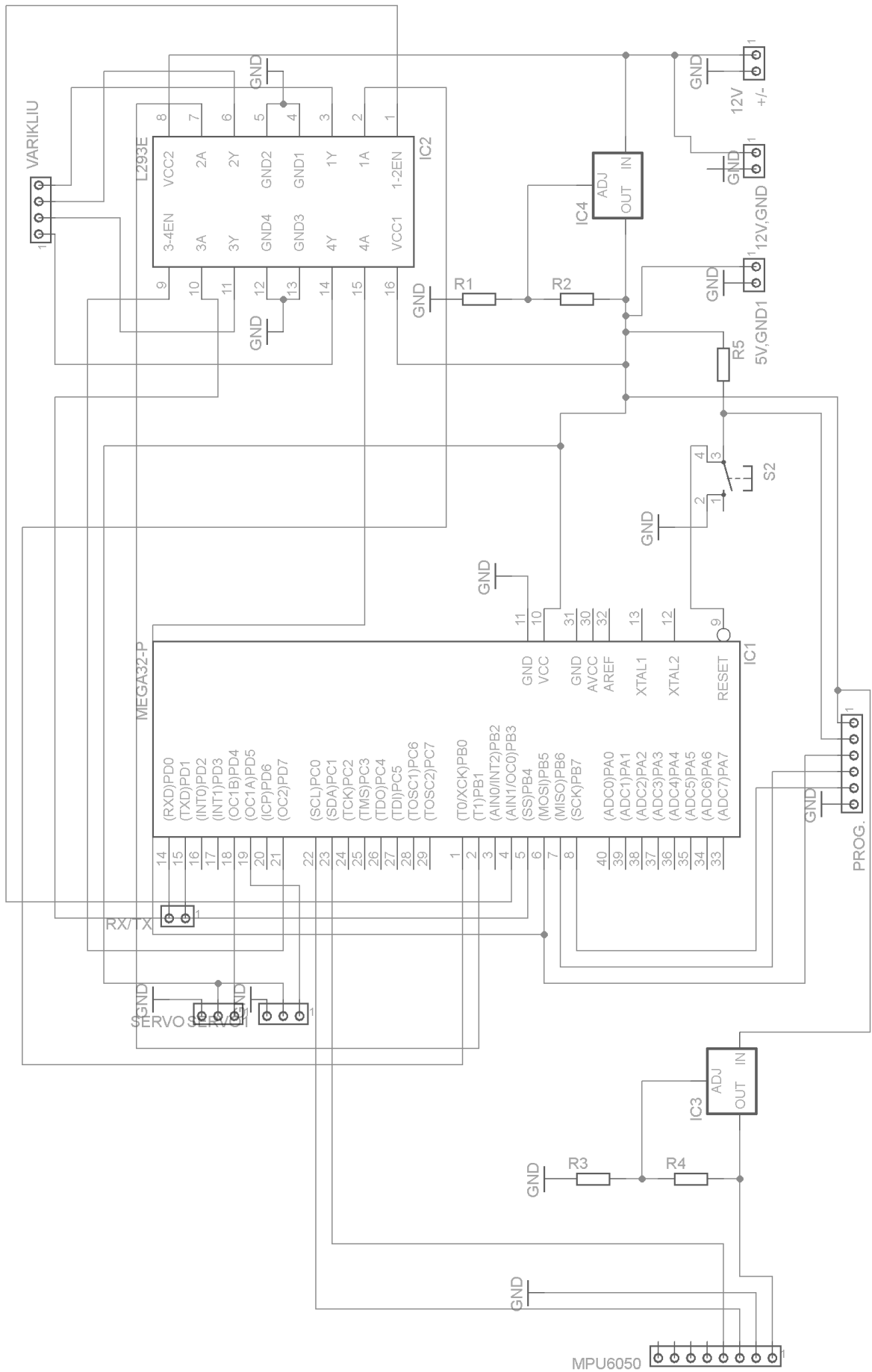
- darbinė temperatūra nuo 0 iki 70°C
- mikroschemos maitinimas nuo 4.5V iki 7V.
- prie mikroschemos gali būti pajungtas maksimalus įtampos šaltinis varikliams valdyti 36 V.

Giroskopas buvo pasirinktas MPU6050 modulis (žr. pav. 4.1. MPU6050 jungtis), nes buvo vienas iš pigiausių ir populiariausių modulių.

MPU6050 specifikacija:

- modulio maitinimas nuo 2.375V iki 3.46V
- I²C sąsaja
- darbinė temperatūra nuo -40 iki 85°C

Plokštėje (žr. pav. 4.1) suprojektuoti UART sąsajos išvadai („RX/TX“), servo varikliams prijungti skirti išvadai („SERVO“), nuolatinės srovės varikliams prijungti skirti išvadai („VARIKLIU“), programavimo jungčiai skirti išvadai (PROG).

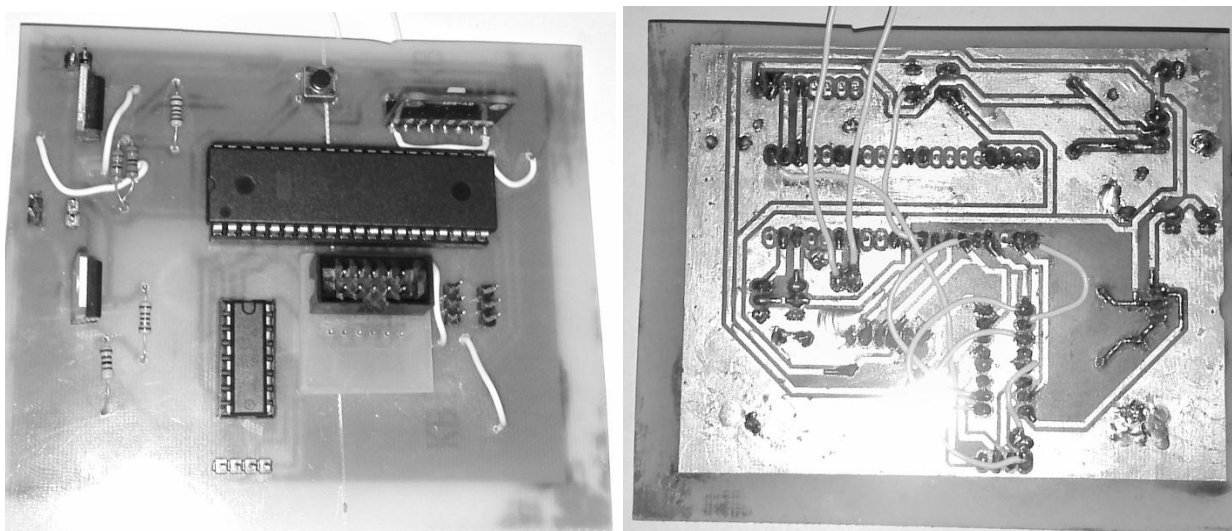


4.1 pav. Principinė schema

4.2. Spausdinto montažo plokštės projektavimas

Pagal sudarytą principinę schemą buvo nubraižyta spausdinto montažo plokštė, ji pavaizduota 2, 3 prieduose. Spausdinto montažo plokštės projektavimas atliktas „EAGLE 6.5.0“ programa. Plokštė yra vienspusė. Projektuojant spausdinto montažo plokštę, buvo pasirinkta, kad galios grandinė bus dešinėje pusėje, o duomenų grandinė kairėje. Takelių storis 1mm. Visi elementai pasirinkti DIP korpusuose. Elementai montuojami per kiaurymes ir montuojami iš viršutinės plokštės dalies. Mikrovaldikliui ir variklių valdikliui suprojektuoti lizdai, tam kad prireikus juos būtų galima pakeisti. Visas laisvas plotas yra užpildytas žeme.

Remiantis spausdinto montažo plokštės brėžiniais pagaminta plokštė (žr. pav. 4.2)



4.2 pav. Pagaminta plokštė

4.3. Algoritmas ir programinė įranga

Programos rašymas prasideda nuo algoritmo (žr. 4.7 pav.) susidarymo. Taktinis dažnis - buvo pasirinktas vidinis mikrovaldiklio 8MHz taktinis dažnis. Deklaruojami kintamieji bei bibliotekos naudojant #define ir #include. Inicializuojama UART bei I²C sąsaja. UART bus naudojamas gauti informaciją iš pagrindinio mikrovaldiklio kuris atsakingas už pozicionavimą ir kliūčių išvengimą. Informacija, kuri bus gaunama per UART bus panaudota atlikti PID (proporcinis integralinis diferencialinis valdiklis) skaičiavimams. Toliau seka duomenų gavimas iš MPU6050 modulio per I²C sąsaja, duomenis panaudojami judėjimui valdyti, tai viena iš PID sudedamųjų dalių. Roboto balansavimui ir judėjimui naudojamas PID valdiklis, schema (žr. 4.6 pav.) padeda suprasti supaprastintą valdiklį. Proporcinis integralinis diferencialinis valdiklis yra plačiai naudojamas valdyti mechanizmo grįžtamojo ryšio ciklą. PID valdiklis apskaičiuoja paklaidos reikšmę, tarp vykstančio proceso dabartinės reikšmės, kaip pvz. roboto pasvirimo kampo, ir norimos reikšmės, pvz. robotas turi būti pasviręs 90° kampu. Valdiklis bando minimizuoti paklaidą, keisdamas reikšmes, kurios įtakoja vykstantį procesą. PID valdiklio algoritmas apima tris parametrus: proporcinį, integralinį ir

diferencialinį, šie parametrai sutrumpintai žymini P, I, D. Duomenys gali būti aiškinami atsižvelgiant į laiką:

P - esama paklaida,

I - buvusių paklaidų suma

D - būsimų paklaidų prognozavimas, remiantis dabartiniais duomenimis.

Šių trijų parametru reguliavimas lemia visos sistemos veiklą. Pasiiekti optimaliausią sistemos veikimą, gali užtekti ir vieno arba dviejų parametru. Tai pasiekama nustatant kitus parametrus į nulį. Gaunamos PI, PD, P ir I kontrolės sistemos. Valdiklio proporcinė, integralinė ir diferencialinė dalys yra sumuojamos norint apskaičiuoti PID valdiklio išėjimą. Valdiklio išėjimui priskyvus $u(t)$, gaunama formulė.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4.2)$$

čia K_p - proporcinė dedamoji

K_i - integralinė dedamoji

K_d - diferencialinė dedamoji

e - paklaida, kuri gaunama iš nustatytos reikšmės atėmus proceso kintamąjį.

t - laikas

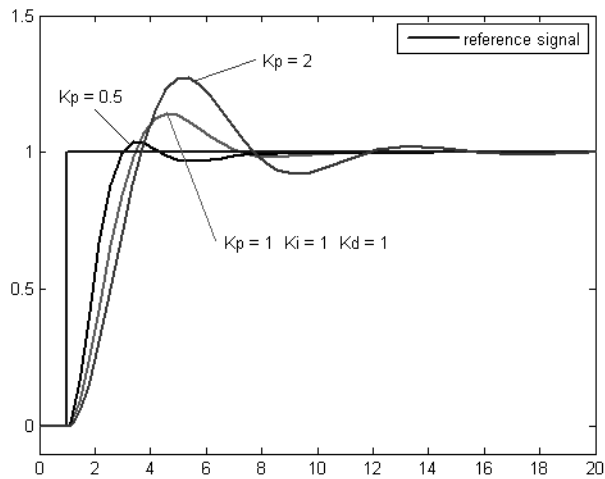
τ - integracijos rodiklis

Proporcinė dedamoji pateikia išėjimo vertę, kuri yra proporcinga esamos paklaidos reikšmei.

Proporcinė dedamoji gaunama pagal formulę.

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (4.3)$$

Proporcinės dedamosios stiprus padidėjimas sukelia didelius pokyčius išėjime. Jei proporcinės dedamosios padidėjimas yra per didelis, sistema gali tapti nestabili. Mažas dedamosios padidėjimas išėjime sukelia mažą reakciją į didelę įėjimo paklaidą, o tai lemia, kad valdiklis mažiau reaguoja į pasikeitimus. Kai dedamosios padidėjimas per mažas, valdiklio atsakas į sistemos sutrikimus gali būti per mažas (žr. pav. 4.3). Paveiksle matome, kaip per mažas arba didelis padidėjimas įtakoja paklaidos reakciją kintančia laike.

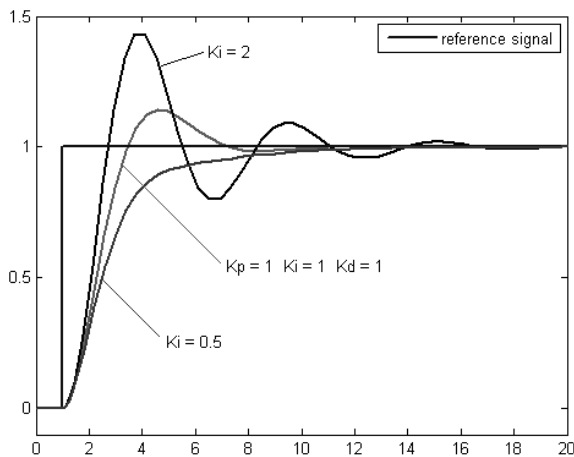


4.3 pav. Proporcinės dedamosios kitimas

Integralinė dedamoji yra proporcinga tiek paklaidos dydžiui, tiek paklaidos trukmei. Integralinė dedamoji PID valdiklyje yra klaidos priklausančios nuo laiko suma. Sukaupta suma dauginama iš K_i ir pridedama prie valdiklio išėjimo. Formulė, pagal kurią skaičiuojama dedamoji.

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4.4)$$

Integralinė dedamoji pagreitina procesą link norimo rezultato ir pašalina likusę pastovią paklaidą, kuri atsiranda naudojant proporcinę dedamąją. Kadangi integralinė dedamoji reaguoja į sudedamas buvusias paklaidas, tai dabartinė reikšmė gali viršyti norimą gauti rezultatą, kaip parodyta 4.4 paveiksle.

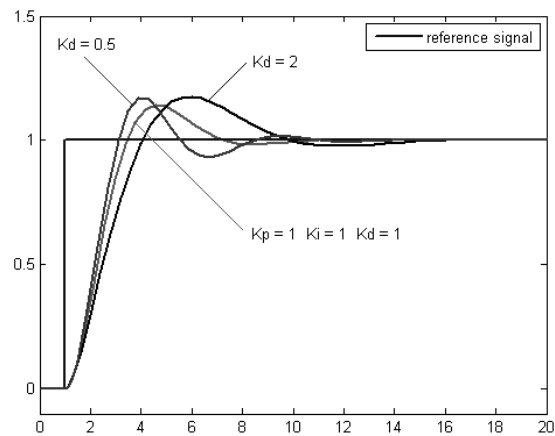


4.4 pav. Integralinės dedamosios kitimas

Diferencialinė dedamoji - paklaida apskaičiuojama nustatant nuolydį visų buvusių paklaidų ir dauginant iš pokyčio išvestinės. Dedamoji gaunama pagal formulę.

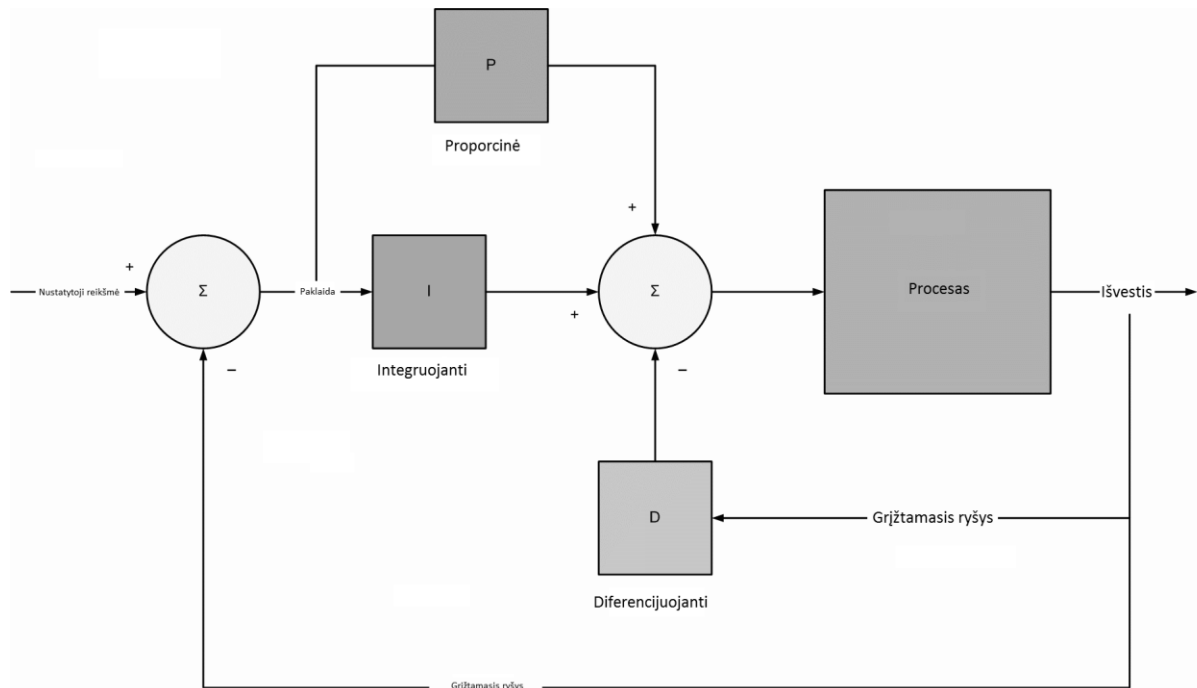
$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4.5)$$

Dedamoji prognozuoja sistemos elgesį ir tokiu būdu pagerina sistemos veikimą (žr. pav. 4.5). Tačiau ši dedamoji retai naudojama.



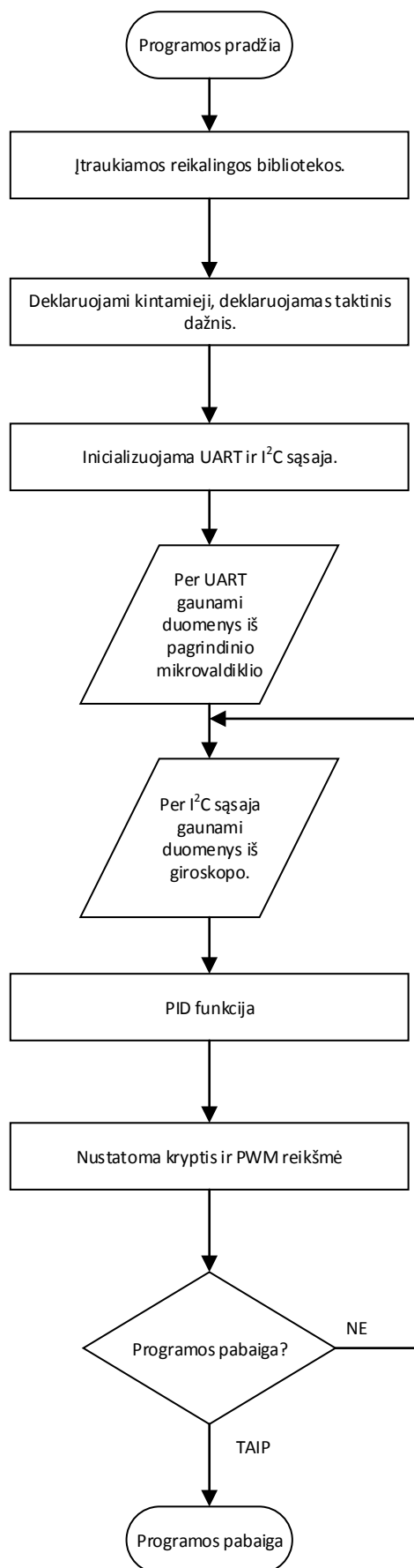
4.5 pav. Diferencialinė dedamoji

PID valdiklį suderinus neteisingai, gaunama nestabili sistema, kuri įtakoja visą procesą.



4.6 pav. PID

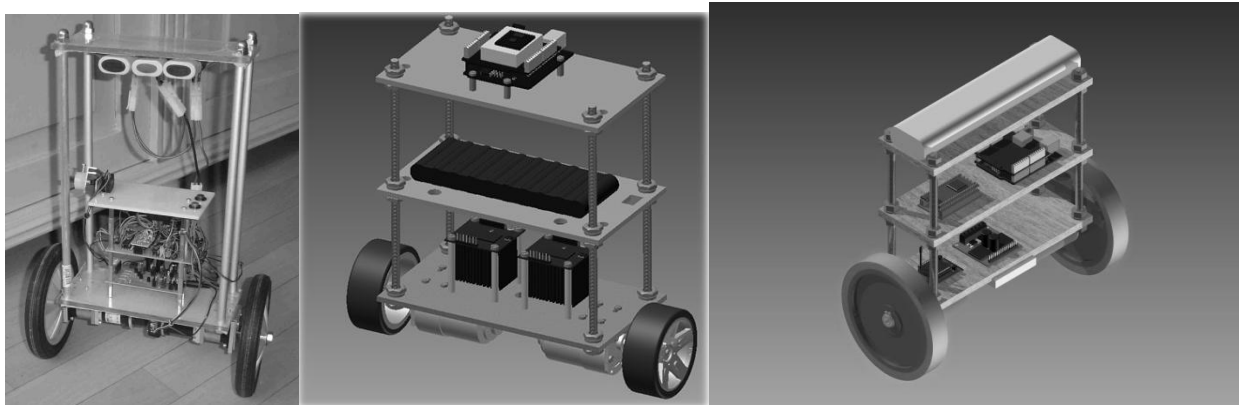
PID funkcijos grąžinama reikšmė prilyginama PWM reikšmei, kurią mikrovaldiklis perduoda variklių valdikliui(L293D) į abu įjungimo išvadus. Roboto judėjimo kryptis priklauso nuo PID funkcijoje įvertinamos paklaidos dydžio, kuri gaunama iš norimos reikšmės atimant esamą reikšmę. Roboto leistina paklaida, kuriai esant neįjungiami varikliai ir nekoreguojamas pasvirimo kampas, yra tarp 1 ir -1 laipsnio. Robotui pasvirus daugiau ir viršijus paklaidą, kuriai esant robotas išlieka ramybės būsenoje, varikliai įjungiami ir pakoreguojamas roboto pasvirimo kampas.



4.7 pav. Programos algoritmas

4.4. Karkaso projektavimas

Korpusą pasirinkta gaminti remiantis žemiau pateiktais korpusų pavyzdžiais (žr. pav. 4.8). Pasirinkta daryti trijų sluoksnių korpusą. Prie pirmo sluoksniu pritvirtinti ratai, bei baterija. Antrame sluoksnyje numatyta dėti pagamintas plokštes. Trečią sluoksni galės paversti servo variklis, kad atstumo jutiklis, pasvirus robotui į vieną arba kitą pusę, būtų išlaikomas horizontalioje padėtyje. Trečiame sluoksnyje numatyta tvirtinti kryptinę anteną.



4.8 pav. Korpusų pavyzdžiai

Korpuso gaminimas prasideda nuo nuolatinės srovės variklių pritvirtinimo prie pirmojo sluoksniu. Bateriją pritvirtinta pirmajame sluoksnyje, dėl žemesnio svorio centro. Prie pagrindinio sluoksniu pritvirtinti du šoniniai laikikliai, prie kurių tvirtinsis antras ir trečias sluoksniu. Sutvirtinimams tarp sluoksniu ir laikiklių panaudoti kampuočiai, kurie išlankstyti iš skardos. Sluoksniuams panaudotas organinis stiklas, laikikliams panaudotas tekstolitas. Pagamintas korpusas pateiktas 1 priede.

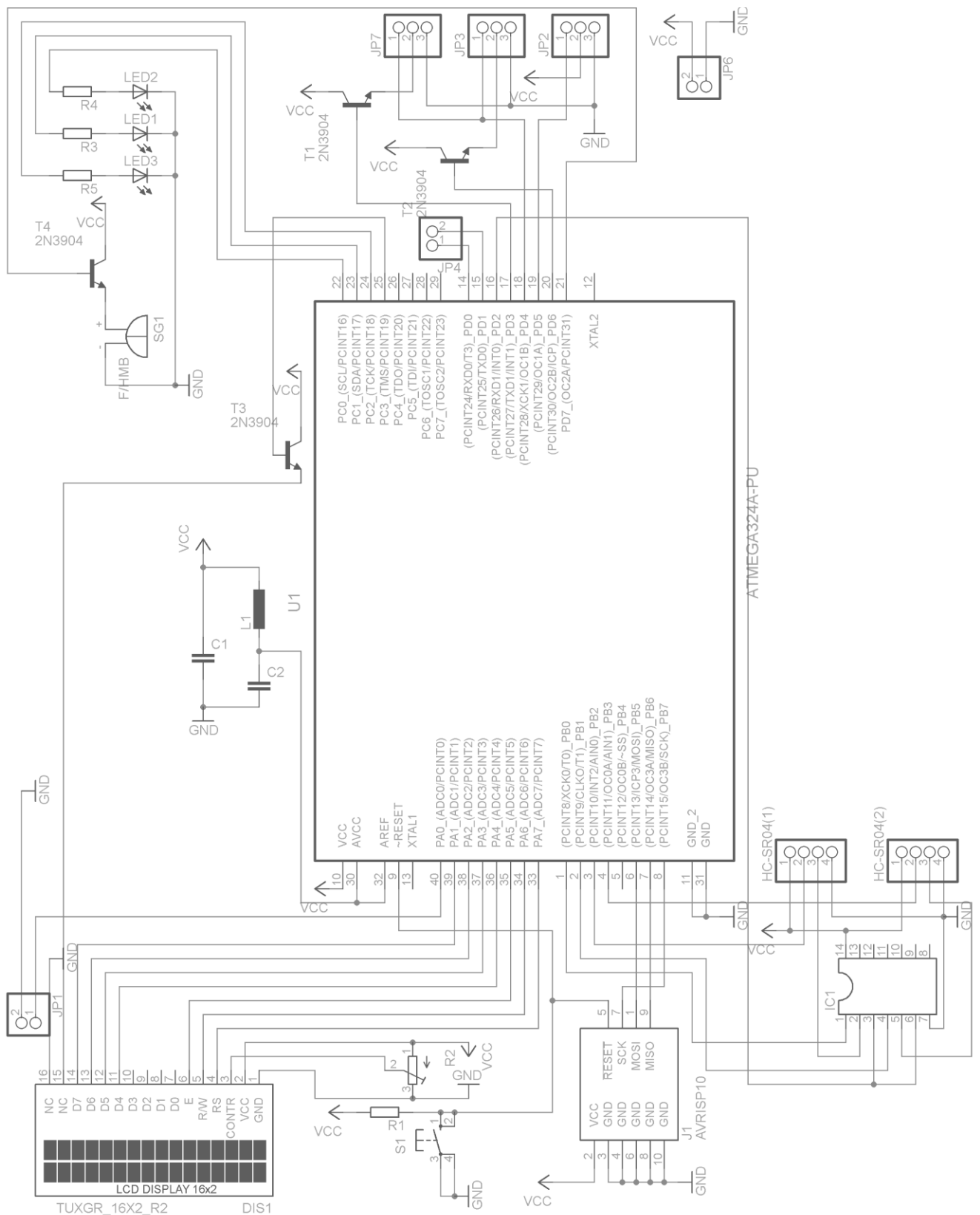
5. Projektavimas pozicionuojančios dalies

Šiame skyriuje bus pateikta pozicionavimą atliekančios dalies principinės schemos projektavimas, spausdinto montažo plokštės projektavimas ir programinės įrangos algoritmas.

5.1. Principinės Principinės schemos projektavimas

Principinė schema pradedama projektuoti pasirenkant mikrovaldiklį. Pasirinktas mikrovaldiklis ATmega324A. Šio mikrovaldiklio maksimalus taktinis dažnis gali būti 20 megahercų, tačiau šiam projektui užtenka vidinio mikrovaldiklio taktinio dažnio generatoriaus, kurio veikimo dažnis yra 8 megahercai. Šis mikrovaldiklis pasirinktas dėl to, jog jo resursų pilnai užtenka atlikti visoms reikalingoms užduotims. Bandymų metu paaiškėjus jog prireiks dviejų trijų būsenų kartotuvų, pasirinkta mikroschema SN74LS125AN. Šioje mikroschemoje yra keturi trijų būsenų kartotuvai. Šių kartotuvų įvesties išvadai yra sujungti su ultragarsinių jutiklių išvesties išvadais, įgalinimo išvadai sujungti su mikrovaldiklio bendrosios paskirties išvadais, o išvesties išvadai sujungti kartu ir sujungti su mikrovaldiklio išorinio pertraukimo išvadu. Ultragarsiniai jutikliai į plokštę nelituojami, tačiau išvadai paliekami, kad būtų galima prijungti jutiklį su jungiamaisiais laidais. Plokštėje tai pat yra programavimo jungtis, tam, kad būtų galima perprogramuoti mikrovaldiklį. Šalia programavimo jungties mikrovaldikliui yra reikalinga mikrovaldiklio perkrovos grandinė, kuri yra sudaryta iš 10 kiloomų rezistoriaus, prijungto prie +5V, ir mygtuko kurį paspaudus ši grandinė sujungiama su GND. Programos derinimo ir testavimo tikslams schemoje prijungiamas LCD ekranas, trys šviesos diodai ir garsinis signalas. Visi šie įrenginiai yra valdomi iš mikrovaldiklio per bendrosios paskirties išvadus. LCD kontrastui derinti schemoje panaudotas paderinamas rezistorius. LCD apšvietimą galima įjungti arba išjungti, nes apšvietimas yra prijungtas per bendrosios paskirties, mažos galios tranzistorių 2N3904 prie mikrovaldiklio bendrosios paskirties išvado. Valdyti apšvietimą be tranzistoriaus negalima, nes LCD viduje esantys šviesos diodai sunaudoja daugiau srovės negu galima panaudoti tiesiogiai iš mikrovaldiklio. Gamintojas mikrovaldiklio aprašyme nurodo 40 miliamperų didžiausią srovę galinčią tekėti per vieną išvadą. Toks pat tranzistorius yra panaudojamas ir garsiniam signalui valdyti. Per šviesos diodus gali tekėti 20 miliamperų srovė, todėl juos galima prijungti tiesiai iš mikrovaldiklio ir dar papildomai reikia prijungti rezistorius tam, kad apriboti srovę. Vieno kiloomų rezistoriaus tam pakanka. Prie mikrovaldiklio maitinimo išvadų, kuo arčiau, reikia prijungti 100 nanofaradų kondensatorių tarp +5V ir GND. Šis kondensatorius yra skirtas mikrovaldiklio skleidžiamiems triukšmams pašalinti. Mikrovaldiklio aprašyme pateikta panaši grandinė skirta analoginio skaitmeninio keitiklio maitinimui. Ši grandinė sudaryta iš 10 mikrohenrių induktoriaus prijungto prie maitinimo, 100 nanofaradų kondensatoriaus prijungto prie žemės ir induktoriaus. Analoginio skaitmeninio keitiklio maitinimas prijungiamas tarp šių komponentų. Servo pavarų

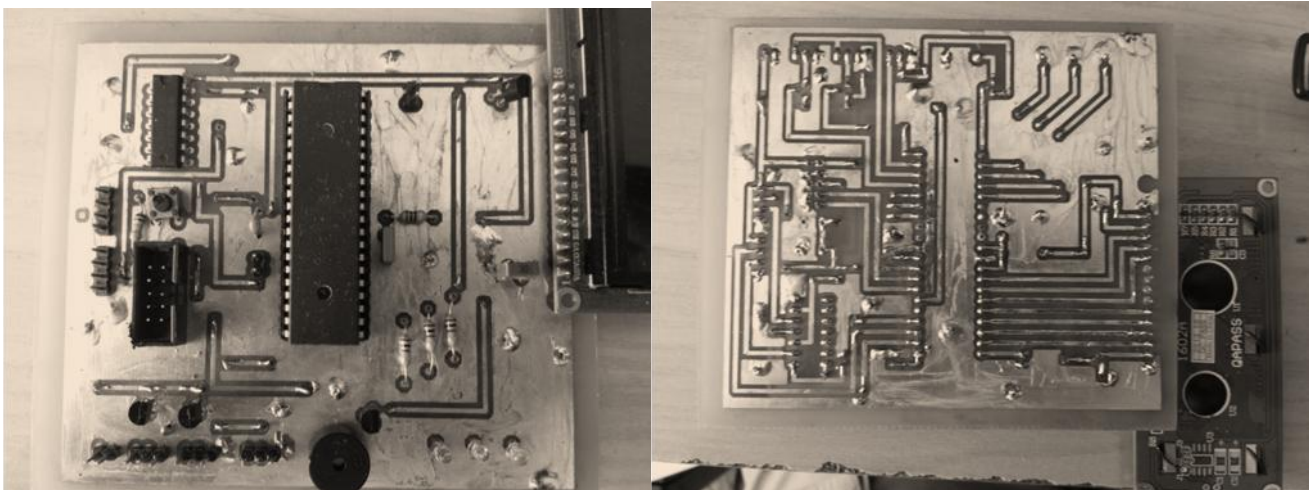
maitinimas yra prijungtas panaudojant tranzistorius. Servo pavaroms nereikia atlikti judesių, kurie pareikalautų daug energijos, todėl srovės sunaudoja nedaug. Servo pavarų maitinimui valdyti parinkti tranzistoriai tai pat 2N3904.(8)



5.1 pav. Principinė pozicionavimą atliekančios roboto dalies schema

5.2. Spausdinto montažo plokštės projektavimas

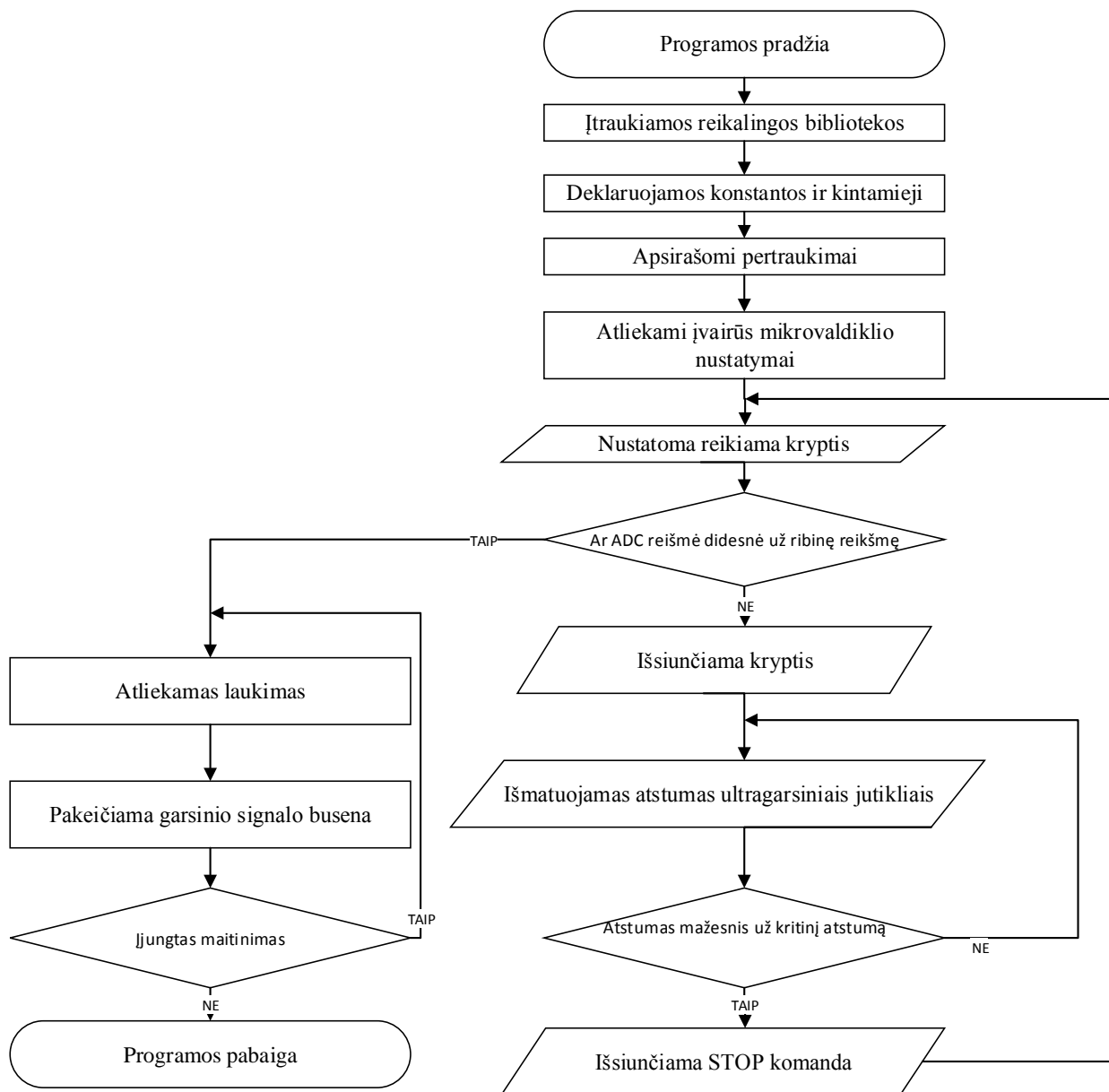
Spausdinto montažo plokštė projektuota atsižvelgiant į keletą punktų. Pirmasis punktas kuriuo remiantis buvo pasirenkami komponentai - visi komponentai jau buvo naudoti bandymuose, montažinėje plokštėje. Paviršinio montavimo elementai nebuvo naudojami taupymo sumetimais ir todėl jį tai vienetinis gaminys. Visi komponentai plokštėje išdėstyti vienoje pusėje. Komponentai, kurie sunaudoja daugiau srovės yra išdėstyti vienoje plokštės pusėje tam, kad didesnės srovės grandinės sukeltų mažiau triukšmų likusioje plokštės dalyje. Programavimo jungtis yra toje pusėje kurioje yra mikrovaldiklio išvadai skirti mikrovaldiklio programavimui. Mikrovaldiklio perkrovos mygtukas projektuojant plokštę buvo suprojektuotas šalia programavimo jungties, tačiau pagaminus plokštę ir įlitavus programavimo jungtį mygtuką, teko įlituoti ne taip kaip buvo projektuota. Plokštę pasirinkta projektuoti dviejų sluoksnių ir vietas kurios buvo laisvos yra padengtos poligonu.. Visa plokštė yra padengta lydmetaliu, kurio sandara yra: 96 procentai alavo, 3.5 procentai sidabro ir 0.5 procento vario. Komponentai sulituoti su lydmetaliu kurio sandara yra kitokia: 99 procentai alavo ir 1 procentas vario.



5.2 pav. Pozicionavimą atliekančios dalies spausdinto montažo plokštė

5.3. Algoritmas ir programine įranga

Šiame poskyryje analizuojama pozicionavimą atliekančios dalies programinė įranga(žr. pav. 5.3). Kadangi pasirinktas Atmel mikrovaldiklis, todėl programavimo aplinka pasirinkta Atmel Studio 6.0. Programa yra parašyta viena iš populiariausių programavimo kalbų - C.



5.3 pav. Pozicionavimą atliekančios programos algoritmas

Programa yra pradeda įtraukiant reikalingas bibliotekas. Šioje programoje naudojamos keturios bibliotekos. Mikrovaldiklis turi prijungtą LCD ekraną, todėl yra reikalinga programos dalis kurią panaudojus būtų galima informaciją išvesti į ekraną, tam panaudota biblioteka "lcd.h". Šioje bibliotekoje reikia nurodyti, kurie mikrovaldiklio išvadai yra panaudoti LCD valdymui ir turi būti nurodytas mikrovaldiklio taktinis dažnis. Atlikus šiuos veiksmus LCD ekraną galima sėkmingai naudoti.

Kita panaudota biblioteka yra <util/delay.h>. Ši biblioteka yra pateikta Atmel Studio 6.0 programavimo aplinkoje. Šioje bibliotekoje aprašytomis funkcijomis _delay_ms() ir _delay_us() galima atlikti vėlinimą. Pirmoji funkcija atliks vėlinimą milisekundžių skaičiumi, perduoto į funkciją. Antroji funkcija atliks tą patį, tik ne milisekundėmis, o mikrosekundėmis.

Trečioji biblioteka <avr/io.h> privalo būti įtraukta atliekant programavimą su pasirinkta programavimo aplinka. Šioje bibliotekoje yra aprašyti pasirinkto mikrovaldiklio nustatymų registrai.

Programa turi pertraukimų, todėl yra įtraukiama `<avr/interrupt.h>` biblioteka.

Toliau yra deklaruojamos panaudotos konstantos. Tarp šių konstantų yra atliekami tam tikri skaičiavimai. ICR1 registro reikšmė yra suskaičiuojama čia tam, kad kas kartą pakeitus mikrovaldiklio taktinį dažnį nereikėtų iš naujo skaičiuoti šios reikšmės. Tai pat ir servo pavaroms valdyti reikalingi duomenys yra paskaičiuojami prie konstantų.

Beveik visi programoje naudojami kintamieji yra aprašyti globalioje struktūroje. Pasirinktas metodas leidžia į funkcijas perduoti ir gražinti iš jų daug kintamųjų, tačiau aprašytos funkcijos tampa ne universalios, ir tinkamos naudoti tik deklaruojant kintamuosius tokiu pat metodu.

Programos kodas turi du pertraukimus. Šie pertraukimai programos algoritme nepavaizduoti, nes abu pertraukimai yra skirti atstumui išmatuoti ultragarsiniais jutikliais. Pirmasis pertraukimas panaudotas, nes aštuonių bitų laikmatis skaitiklis persipildo, skaičiuojant HC-SR04 jutiklio impulso trukmę. Šio pertraukimo metu kintamasis yra „inkrementuojamas“, kad galėtų suskaičiuoti impulso trukmę. Antrasis panaudotas pertraukimas yra skirtas aptikti kylantį frontą, pradėti impulso trukmės skaičiavimą ir aptikti krentantį frontą. Abu šie pertraukimai yra atstumo matavimo dalis.

Sekantis žingsnis yra įvairių mikrovaldiklio nustatymų atlikimas. Šie nustatymai susidaro iš: LCD inicializavimo, išvadų kryptių nustatymo, laikmačiu skaitiklių inicializavimo, analoginio - skaitmeninio keitiklio inicializavimo, ir pertraukimų inicializavimo, UART inicializavimo.

Krypties nustatymo funkcija nėra sudėtinga. Joje vyksta ciklas, kuris suka servo pavarą, ant kurios yra pritvirtintas dipolis, ir nuskaitoma analoginio skaitmeninio keitiklio reikšmė. Servo pavaros kryptis, kuriai esant buvo išmatuota didžiausiai analoginio skaitmeninio keitiklio reikšmė, yra išsaugojama.

Išsaugota kryptis yra išsiunčiama per UART sąsają į balansavimą atliekantį mikrovaldiklį.

ADC reikšmė yra palyginama su ribine reikšme, kuri yra gaunama, kai robotas yra netoli stotelės.

Toliau yra atliekamas atstumo matavimas ultragarsiniais jutikliais. Aprašyta funkcija atlieka atstumo matavimą. Pirmiausia yra išsaugojami nuliai kintamuosiuose kurie, bus panaudoti, t.y. ištrinamos prieš tai buvusios reikšmės. Atlikus tai, yra įjungiamas trijų būsenų kartotukas, kuris yra skirtas perduoti signalui iš jutiklio į mikrovaldiklį. Sekantis žingsnis išsiųsti signalą skirtą pradėti matavimą. Šis signalas sugeneruojamas nustatant išvadą į aukštą lygį ir panaudojant `_delay_ms()` funkcija. Atlikus šį žingsnį yra laukiama kylančio impulso fronto. Aptikus kylantį frontą mikrovaldiklis pradeda skaičiuoti, kokia yra impulso trukmė. Skaičiavimas tęsiasi iki krentančio fronto. Tada yra išjungiamas trijų būsenų kartotukas pasirinktam ultragarsiniam jutikliui ir įjungiamas kartotukas antram jutikliui. Atstumo matavimas pakartojamas antram jutikliui. Išmatavus atstumus, duomenys yra išsaugojami.

Atstumo matavimas tęsiasi tol, kol nė vienas jutiklis neužfiksavo atstumo mažesnio už kritinį atstumą. Aptikus kritinį atstumą, išsiunčiama komanda sustoti ir pradedama iš naujo nustatinėti kryptį ir tikrinti ar stotelė yra netoli.

Kai stotelė yra netoliese mikrovaldiklis atlieka amžiną ciklą, kuriame yra skleidžiamas kintančios būsenos garsinis signalas (skamba-neskamba). Programos pabaiga pasiekama kai yra išjungiamas maitinimas.

6. Testavimas

Šiame skyriuje aptariama atskiras pozicionuojančios dalies ir balansuojančios dalies bet bendras testavimas roboto veikimo testavimas.

6.1. Pozicionavimą atliekančios dalies testavimas

Pozicionavimą ir kliūtį aptinkanti dalį atliekančios dalies veikimą aptarsime šiame skyriuje.

Servo pavarų jungimas. Pasirinktas mikrovaldiklis turi 6 pulso trukmės moduliacijos (toliau PWM) išvadus, tačiau PWM generavimui naudojami skaitikliai. Vienas iš trijų skaitiklių buvo panaudotas ultragarsiniams jutikliams. Likęs vienas aštuonių bitų skaitiklis netinkamas PWM signalo, skirto servo pavarai valdyti, generavimui. Pasirinkto mikrovaldiklio aštuonių bitų skaitikliai neturi dažnines moduliacijos nustatymų, todėl su aštuonių bitų skaitiklis laikmatis netinka valdyti servo pavaroms. Servo pavaros valdymui tinkamas tik šešiolikos bitų skaitiklis. Pradžioje programos atliekamas skaitiklio inicializavimas ir jo darbo režimo nustatymas, tai pat ir išvadų krypties nustatymas. Servo pavarai valdyti reikia generuoti 50 hercų dažnio signalą, kurio impulso trukę galima keisti. Pasirinkus skaitiklio veikimo režimą su dažnio moduliacija, t.y. galima keisti dažnį. Dažnio nustatymui reikia keisti ICR1 registro reikšmę. Kuo didesnė ICR1 reikšmė tuo didesnis PWM periodas, ir atitinkamai mažėja dažnis. Didinant dažnio daliklio reikšmę dažnis atitinkamai mažėja. Pasitelkiant internete rastų pavyzdžių dėka nepavyko tinkamai nustatyti dažnio. Mikrovaldiklio aprašyme rasta formulė:

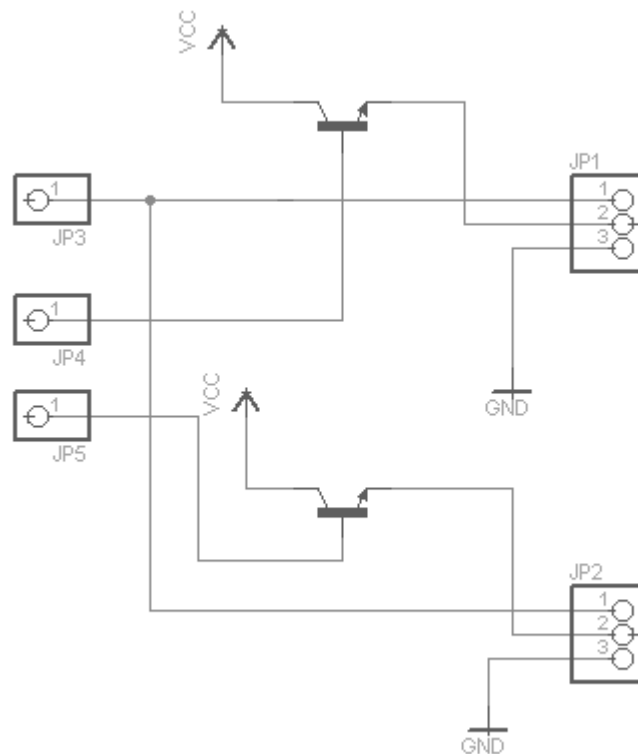
$$f_{(PWM)} = \frac{f_{(CPU)}}{(2 \cdot N \cdot TOP)};$$

Šioje formulėje $f_{(PWM)}$ - pulso trukmės moduliacijos dažnis, $f_{(cpu)}$ - mikrovaldiklio taktinis dažnis, N - dažnio daliklio reikšmė, TOP - šio atveju ICR1 reikšmė. Atitinkamai reikiama ICR1 reikšmė paskaičiuojama pagal formulę:

$$TOP = \frac{f_{(CPU)}}{(2 \cdot N \cdot f_{(PWM)})};$$

Pasirinkus dažnio daliklio reikšmę 8 ir žinant, kad servo pavarai valdymo signalo dažnis reikalingas 50 hercų dažnis, galima tinkamai paskaičiuoti ICR1 reikšmę. Tai galima atlikti skaičiuojant ranka, arba kitu atveju, suvedant formulę į programą ir leidžiant mikrovaldikliui pačiam apsiskaičiuoti reikiamas reikšmes. Pasirinktas mikrovaldiklis turi šešis PWM išvadus iš kurių tik du yra šešiolikos bitų, tačiau šio mikrovaldikliu reikia valdyti daugiau negu dvi servo pavaras. Dėl to, jog reikia valdyti tris servo pavaras vienas iš sprendimo būdų yra per UART nusiųsti reikiamą komandą į kitą mikrovaldiklį kuris turi atliekamą šešiolikos bitų PWM išvadą. Tačiau pasirinktas sprendimo būdas ne toks. Dviejų servo pavarų valdymo signalai sujungti kartu, tačiau jų maitinimas yra pajungiamas per tranzistorius, kurie

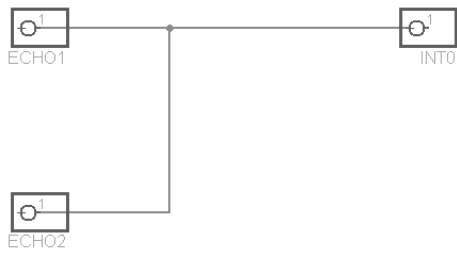
yra valdomi bendros paskirties mikrovaldiklio išvadų (žr. pav. 6.1). Nors ir yra įtampos kritimas ant tranzistoriaus, tačiau servo pavaroms užtenka įtampos, kad galėtų normaliai funkcionuoti.



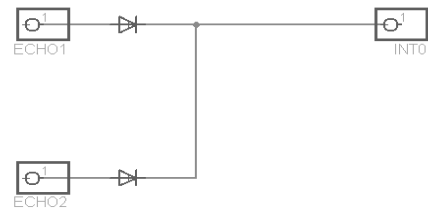
6.1 pav. Servo pavarų sujungimo schema

Bandymu metu gauti rezultatai sujungus schemą šitaip, servo pavaras galima valdyti atskirai, tačiau valdyti galima tik po vieną atskirai.

Bandymai pajungti HC-SR04 jutiklius. Tam, kad išmatuoti atstumą su mikrovaldikliu pirmiausia reikia sugeneruoti 10 mikro sekundžių arba ilgesnį impulsą. Šiai operacijai panaudotas bendrosios paskirties išvadas ir vėlinimo funkcija `_delay_ms()` funkcija. Atlikus impulso generavimą reikia sulaukti kylančio fronto. Atpažinti kylantį frontą reikia panaudoti išorinį pertraukimą, laikmatį/skaitiklį ir įvairias programines funkcijas. Programos pradžioje reikia atlikti inicializaciją išoriniam pertraukimui, skaitikliui bei bendrosios paskirties išvadams. Pasirinktas mikrovaldiklis turi vieną šešiolikos bitų skaitiklį ir du aštuonių bitų skaitiklius. Tam, kad pakankamai tiksliai išmatuoti atstumą reikia naudoti šešiolikos bitų skaitiklį, tačiau jis reikalingas servo pavarų valdymui. Teko panaudoti aštuonių bitų skaitiklį ir jo persipildymo pertraukimo funkcijas. Reikalingi du ultragarsiniai jutikliai, tačiau kiekvienam jutikliui po atskirą pertraukimą yra neoptimalu. Tiesiogiai sujungus abiejų jutiklių Echo išvadus, o Trigger signalą perduodant atskirai pirmasis ultragarsinis daviklis veikia, kaip ir turi veikti, o antrasis neveikia visai.

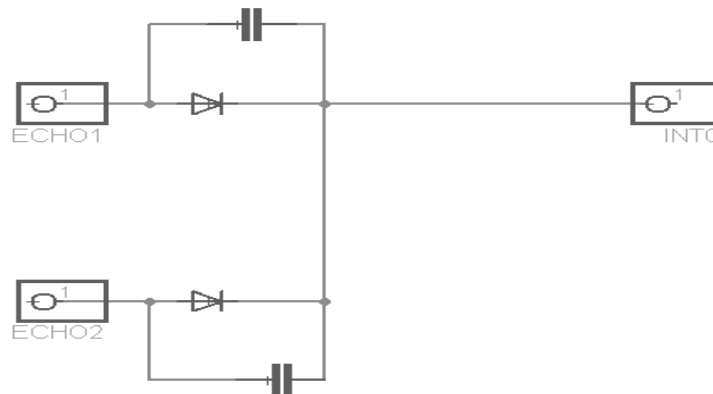


6.2 pav. Pirminė jungimo schema.



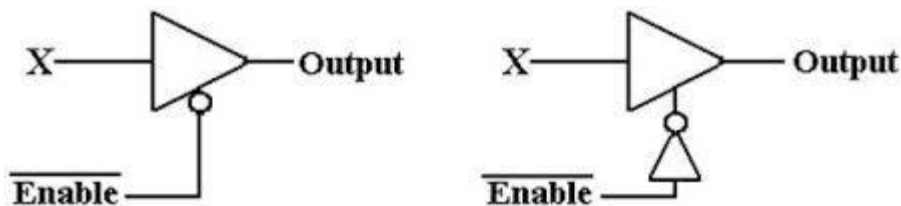
6.3 pav. Jungimo schema su diodais.

Tam, kad pirmojo jutiklio ECHO signalo aukštas lygis netrikdytu antrojo veikimo, buvo mėginta į schemą jungti diodus (žr. pav. 6.3). Šitaip sujungus ultragarsinių daviklių išvadus, jutikliai veikė, tačiau ne taip kaip tikėtasi. Diodų inercija išsijungiant suteikia paklaidą, kuri viršija pačius duomenis nuo kelių iki keliasdešimt kartų. Jungimo schemą teko dar kartą keisti. Sumažinti diodų inerciją buvo panaudoti kondensatoriai prijunti lygiagrečiai diodams (žr. pav. 6.4). Tačiau prijungus kondensatorius, srovė, kuri prateka pro kondensatorius kol jie įsikrauna arba išsikrauna sukelia tokį pat rezultatą, koks buvo be diodų. Pasirinkta alternatyva yra trijų stadijų kartotuvai (žr. pav. 6.5).



6.4 pav. Sujungimo schema su diodais ir kondensatoriais

Pasirinkta mikroschema yra SN74LS125AN. Joje yra keturi trijų būsenų kartotuvai. Pradėjus matavimą su vienu davikliu vienas kartotuvai įjungiamas, o antrasis išjungtas. Abiejų kartotuvų išėjimai sujungti ir prijungti prie išorinio pertraukimo mikrovaldiklio išvado.



6.5 pav. Trijų būsenų kartotuvai su invertuotu įgalinimo išvadu.

Panaudojus kartotuvus HC-SR04 davikliai veikia be paklaidų. Gautasis rezultatas leido atlikti norimus veiksmus.

Testavimą ir derinimą palengvinanti įranga. Bandymų ir programos kūrimo metu neretai iškildavo neaiškumų ir problemų, todėl prie mikrovaldiklio teko naudoti papildomų komponentų, tokių kaip šviesos diodų, garsinį signalą, ir LCD ekraną. (žr. pav. 6.7)



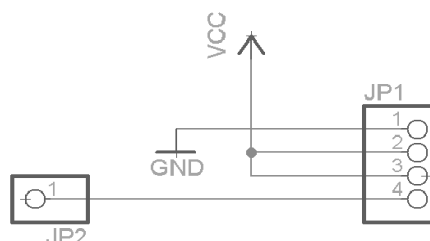
6.7 pav. LCD ekranas

Vienas iš šviesos diodų skirtas pakeisti būseną, t.y. šviesti arba nešviesti, kiekvienos pagrindinio amžino ciklo iteracijos metu. Pasitelkus šitą šviesos diodą, galima matyti ar mikrovaldiklis tęsia darbą. Dar vienas šviesos diodas įsijungia aptikus kylantį frontą ir išsijungia aptikus krentantį frontą. LCD ekrane išvedama informacija apie atstumus iki kliūtis nuo kiekvieno iš ultragarsinių daviklių, ir analoginio skaitmeninio keitiklio reikšmė. LCD sunaudoja septynis bendrosios paskirties išvadus ir dar vieną bendrosios paskirties išvadą LCD ekrano apšvietimo valdymui. LCD ekranas suvartoja daug bendrosios paskirties išvadų, tačiau galimybės vertos panaudoti 8 bendrosios paskirties išvadus. Yra kitų šviesos diodų kurie atlieka įvairias testavimą palengvinančias funkcijas.

Stotelė arba švyturys yra reikalingas tam, kad siūstų elektromagnetines bangas į visas puses. Robotas turi aptikti sklaidžiamą signalą. Stotelė sudaryta iš aukšto dažnio signalo generatoriaus, antenos maitinimo ir plokštės. Išbandžius daugumą internete, knygoje ir kituose šaltiniuose rastų pavyzdžių, ne vienas iš jų nesuveikė. Dėl tos priežasties kaip siūstuvą panaudoti teko panaudoti 433 megahercų siūstuvo modulį (žr. pav. 6.8).



pin 1 : GND
pin 2 : Data in
pin 3 : VCC
pin 4 : ANT

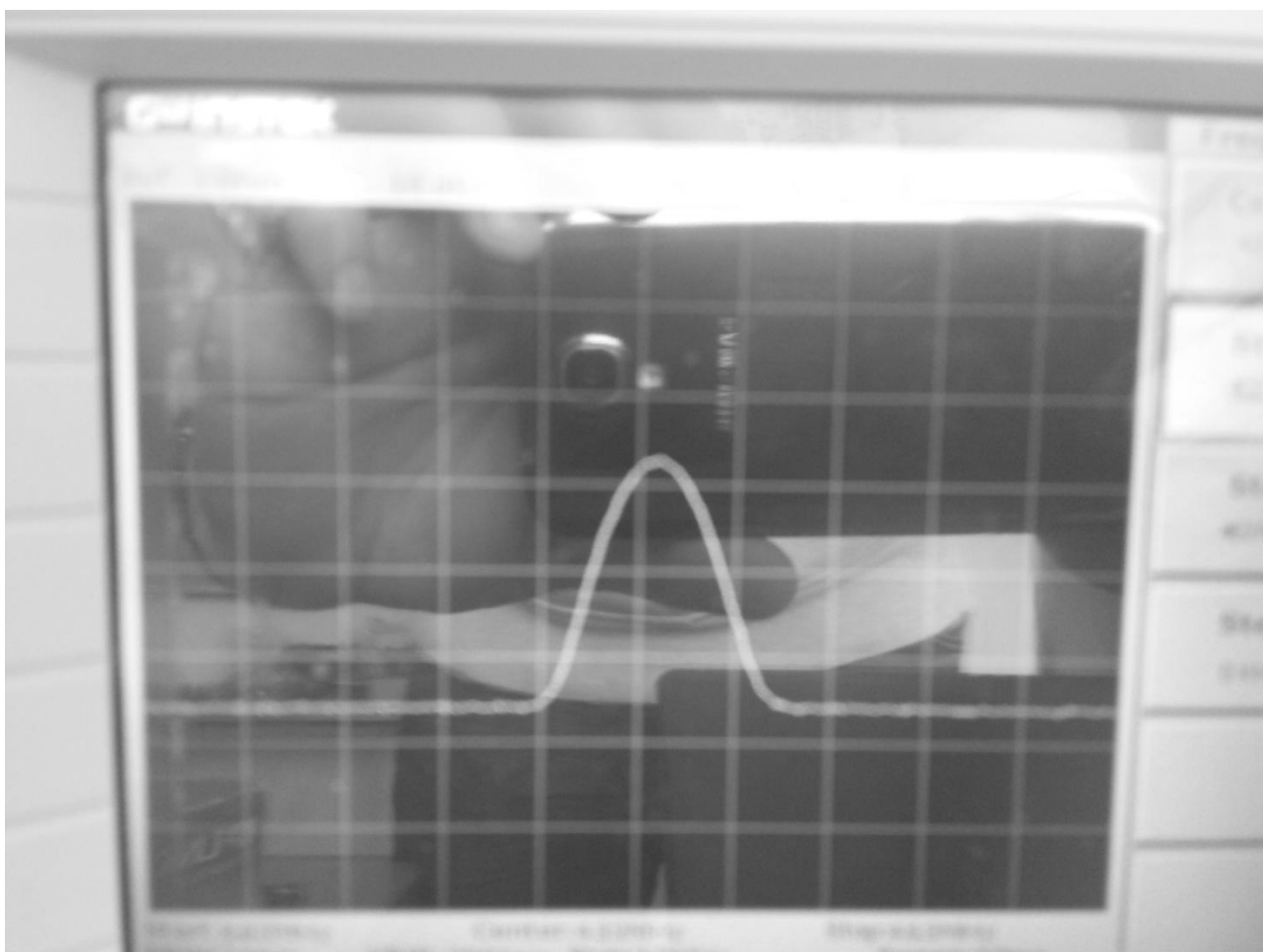


6.8 pav. Siūstuvai ir jo išvadai

6.9 pav. Siūstuvo sujungimo schema

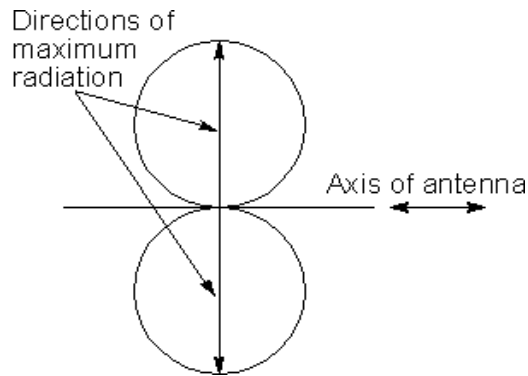
Kadangi siųstuvo modulis atlieka signalo generavimą ir filtravimą todėl papildomų komponentų nereikia išskyrus antenos ir maitinimo. Šio modulio įtampos maitinimo šaltinis galimas nuo 3 voltų iki 12 voltų, pasirinkta maitinti pakraunamomis baterijomis kurių bendra maitinimo įtampa 4,8 voltų. Antena yra parenkama tokia, kurios kryptinė diagrama yra apskritiminė paprasčiausia monopolinė antena.

Dėl schemos paprastumo ir todėl jog tai yra vienetinis daiktas atskira spausdinto montažo plokštė nebuvo projektuota, o sulituota ant universalios spausdinto montažo plokštės. Paveikslėlyje matyti siųstuvo skleidžiamą signalą.



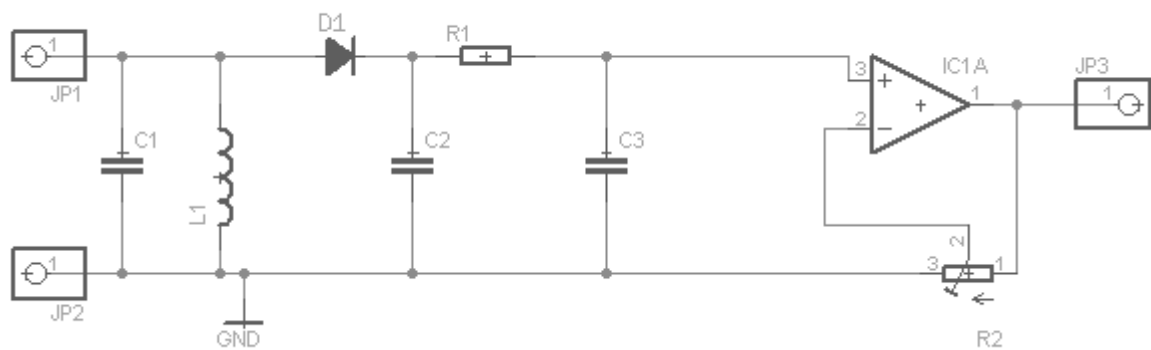
6.10 pav. Siųstuvo veikimas. Grafike matoma 400MHz - 460Mhz dažnio juosta

Krypties nustatymo bandymai. Norint atlikti pozicionavimą pagal pasirinktą metodą reikia nustatyti kryptį. Roboto imtuvas yra paprasčiausias lauko stiprio jutiklis, tačiau ne taip, kaip švyturio stotelėje, antena yra ne monopolinė o dipolinė, kurios kryptinė diagrama yra ne apskritiminė, o kryptinė(žr. pav. 6.11).



6.11 pav. Dipolinės antenos kryptinė diagrama

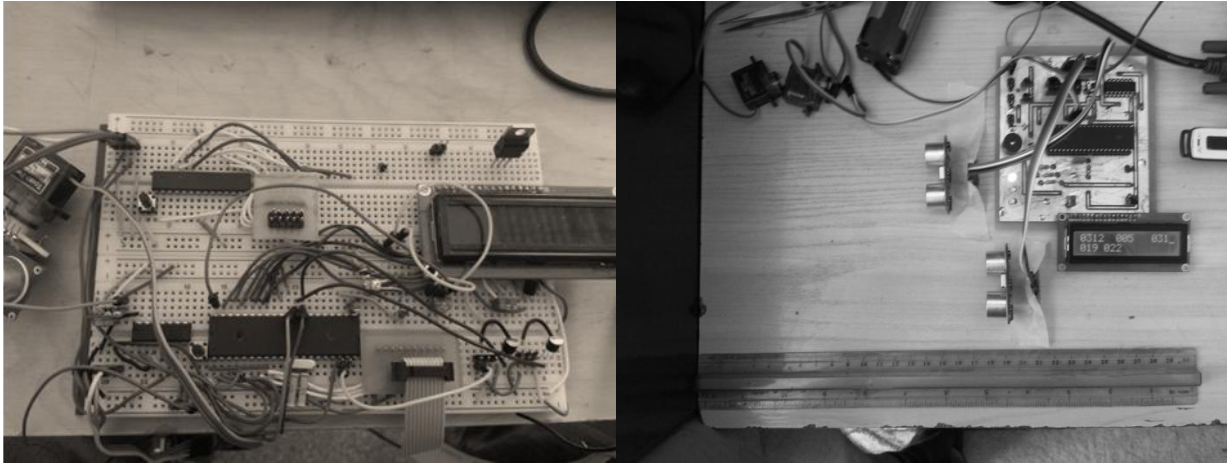
Dipolis tai dvi monopolinės antenos, kurios viena kitos atžvilgiu yra 180 laipsnių kampu. Viena iš antenų prijunta prie žemes, nuo kitos antenos nuimamas signalas. Lauko stiprio jutiklio schema labai paprasta (žr. pav. 6.12). Signalas iš antenos patenka į filtrą. Išfiltravus reikiamą signalo dalį detektacija atliekama vienu arba dviem diodais. Kadangi pirminis radio dažnio stiprinimas šioje schemoje neatliekamas, todėl naudojami mažos, tiesioginės įtampos diodai. Atlikus detektavimą signalas patenka į žemų dažnių filtrą sudarytą iš RC grandinės. Po visko signalas dar sustiprinamas su nuolatinės srovės stiprintuvu, šiuo atveju operaciniu stiprintuvu.



6.12 pav. Signalą priimanti schema

Ši schema nebuvo įtraukta į spausdinto montažo plokštę. Iš po šitokios schemos, signalas keliauja į mikrovaldiklo analoginio-skaitmeninio keitiklio išvadą. Toliau mikrovaldiklis apdoroja duomenis, pasuka servo pavarą, at kurios yra įtvirtinta dipolinė antena ir kartoja šį procesą kol nustato, kurioje pusėje yra siųstuvas. Bandymai buvo atlikti ne itin didelėje patalpoje. Bandymai buvo visiškai nesėkmingi. Nusukus anteną nuo siųstuvo priimamo signalo amplitudė sumažėja, tačiau ne ženkliai. Siųstuvas toli, ar arti, priimto signalo amplitudei sudarė mažą įtaką. Bandymų nesėkmę lėmusios priežastys gali būti: siųstuvas per galingas norimiems bandymams atlikti, bandymų atstumai tarp siųstuvo ir imtuvo per maži, kad nustatyti ar atstumas didėja ar mažėja, siųstuvo skleidžiamo signalo atspindžiai nuo sienų užgožia tiesioginį signalą.

Įvairūs pirminiai programinės įrangos ir principinės schemos sujungimo bandymai vyko ne simuliacinėje programoje, o bandymų plokštėje (žr. pav. 6.13). Galutiniai bandymai vyko visus komponentus sulitavus į spausdinto montažo plokštę (žr. pav. 6.14).



6.13 pav. Pirminių bandymų plokštė

6.14 pav. Spausdinto montažo plokštė bandymų metu

Paveikslėlyje 6.15 matoma informacija išvedama LCD ekrane. Viršuje kairėje pusėje yra ekrane pateikiama analoginio skaitmeninio keitiklio vertė. Viršuje viduryje skaičius reiškia kiek kartų persipildė skaitiklis-laikmatis. Viršuje dešinėje pusėje skaitiklio laikmačio vertė paskutinio matavimo metu. Apačioje pateikiami atstumai iki kiekvieno iš atstumo jutiklių



6.15 pav. LCD suteikiama informacija

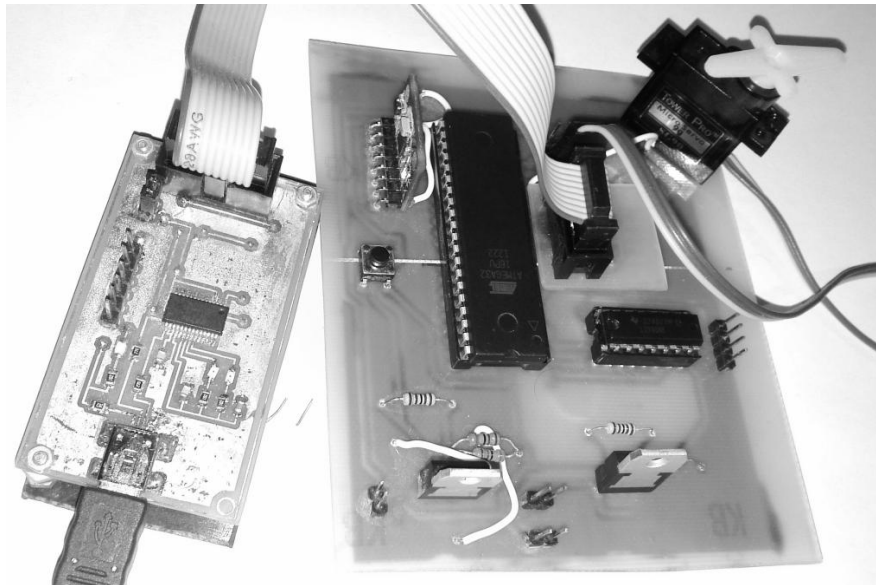
6.2. Balansavimas

Testavimo tikslas:

- Patikrinti ar suprojektuota plokštė veikia pagal iš anksto numatytą veikimą.
- Nustatyti PID koeficientus, kad būtų galima optimizuoti roboto balansavimą bei judėjimą.

Testavimas:

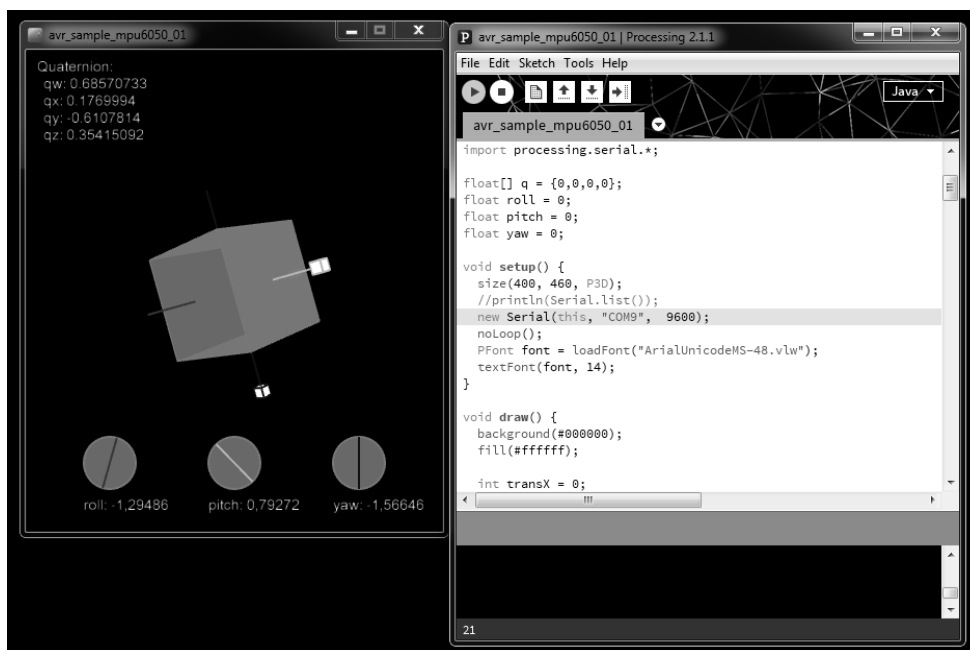
Suprojektuotoje plokštėje yra padaryta programavimo jungtis, prilitavus mikrovaldiklio perėjimą, maitinimo grandinę, variklių valdiklio perėjimą ir programavimo jungtį, plokštė buvo patikrinta. Ar mikrovaldiklio išvaduose pagal programos kodą paduodamas reikiamas signalas, ar maitinimo grandinė veikia tinkamai, ar variklių valdiklis pakankamos galio turimiems varikliams, ar giroskopas perduoda signalą



6.13pav.Plokštės testavimas

Kad nustatyti PID koeficientus bus panaudotas servo motoras bei „Processing 2“ programa (žr. pav. 3.4.1). PID koeficientai nustatomi eksperimentiškai.

I ir D nustatomi - 0, kad nustatyti P. Nustatytas P robotui leidžia svyruoti judant tai pirmyn, tai atgal, apie pusiausvyros padėtį. P turi būti pakankamai didelis, kad robotas galėtų judėti, bet ne per didelis, nes tokiu atveju svyravimas nebus sklandus.



6.14 pav. PID nustatinėjimas

Su nustatytu P, didinat I, kad robotas įsibėgėtų greičiau praradęs pusiausvyros padėtį. Nustačius tinkamus P ir I robotas turi bent pora sekundžių balansuoti.

Toliau seka D didinimas, kad robotas svyruotų apie pusiausvyros padėtį „švelniau“. Turėtų nebelikti staigių ir grubių svyravimų.

Atliekant šiuos žingsnius, stebėta kaip reaguoja servo variklis kuris galutinėje sistemoje atitiks nuolatinės srovės variklius. Didinant bei mažinant koeficientus bandyta rasti geriausias balansavimo charakteristikas.

Atliekant testavimą su turimais roboto varikliais buvo pastebėta, kad varikliai lėtai sukasi, o norint išlaikyti turimą roboto karkasą, reikia mažinti roboto pasvirimo kampą, kuriam esant varikliai būna išjungti. Atliekant testavimą, sugedo įtampos keitiklis LM317T, kuris buvo atsakingas už 5 V gavimą, kurie reikalingi mikrovaldikliui valdyti. Pradėjęs ne taip veikti įtampos keitiklis LM317T, vietoj 5 V į mikrovaldiklį padavė apie 12 V, kas lėmė mikrovaldiklio „sudegimą“. Plokštėje vienodu pajungimu buvo panaudoti du vienodi LM317T įtampos keitėjai, su tokio pat nominalo ir tokios pat serijos varžomis, bet vienas veikia normaliai, o kitas ne. Tikrinant turimus LM317T įtampos keitiklius buvo pastebėta, kad panašūs sutrikimai pasireiškė ir kituose keitikliuose.

Išvados:

Suprojektuota plokštė veikia, kaip ir buvo numatyta. Iškilus techniniams gedimams PID koeficientai buvo nustatyti apytiksliai naudojant servo variklį, o su realia sistema išbandyti tik dalinai.

6.3. Bendras viso roboto testavimas

Bendrų roboto bandymų buvo atlikta labai nedaug. Buvo išmėginta duomenis persiųsti UART sąsaja. Bandymai buvo sėkmingi. Pavyko suderinti abu mikrovaldiklius tam, kad būtų galima duomenis siųsti ir gauti tiek vienu tiek kitu mikrovaldikliu.

Išvados

Atliekant šį darbą buvo atlikta daug įvairiausių darbų: susipažinta su įvairiais robotais, išsamiau pasidomėta technologijomis, kurias teko panaudoti, suprojektuoti robotą, atlikti įvairius bandymus, pritaikyti teorines žinias praktiškai. Atlikus visus šiuos darbus, galima prieiti keletą išvadų. Bandymai simuliacine programa niekada neprilygs bandymų su tikru gaminiu arba bent montažine plokšte. Atliekant bandymus paaiškėjo, jog kai kurių teorinių žinių išbandyti praktiškai, tol kol nėra pakankamai daug praktinės patirties. Tai pat paaiškėjo, kad kas turėtų veikti teoriškai, ne visada veikia praktiškai. Projektuojant ir gaminant spausdinto montažo plokštes padarytos išvados, jog su mikroschemomis kurios yra korpuse su išvadais, lituojamais per kiaurymę, sunkiau dirbti, negu su paviršinio litavimo mikroschemomis. Buvo pastebėta, kad jei yra laisvos atminties mikrovaldiklio programos kode, kai kuriuos skaičiavimus galima surašyti į programos kodą ir mikrovaldiklis pats atliks reikiamus skaičiavimus. Tai pat pastebėta, kad panaudojus papildomų komponentų projektuojant schemą, galima sutaupyti svarbių mikrovaldiklio resursų, su paprastesniu mikrovaldikliu galima valdyti sudėtingesnę sistemą. Roboto galutinai nepavyko išbandyti dėl keletos priežasčių. Viena iš jų yra tai, kad pasirinktas krypties nustatymo metodas yra netinkamas kryptiai nustatyti mažuose atstumuose, pvz. patalpoje, ypač kai nuo sienų ir kitų objektų atsispindi elektromagnetinės bangos. Kita priežastis yra tai, jog parinkti nuolatinės srovės varikliai yra netinkami šiam robotui. Parinkti nuolatinės srovės varikliai yra per mažos galios ir jų sukimosi greitis yra per mažas. Net jei varikliai pajungiami pilnu pajėgumu, jie nepajėgia palaikyti roboto pusiausvyros. Nors ir nepavyko galutinai pagaminti veikiančio roboto, tačiau darbo metu įgytos praktinės žinios yra vertingesnės negu veikiantis robotas.

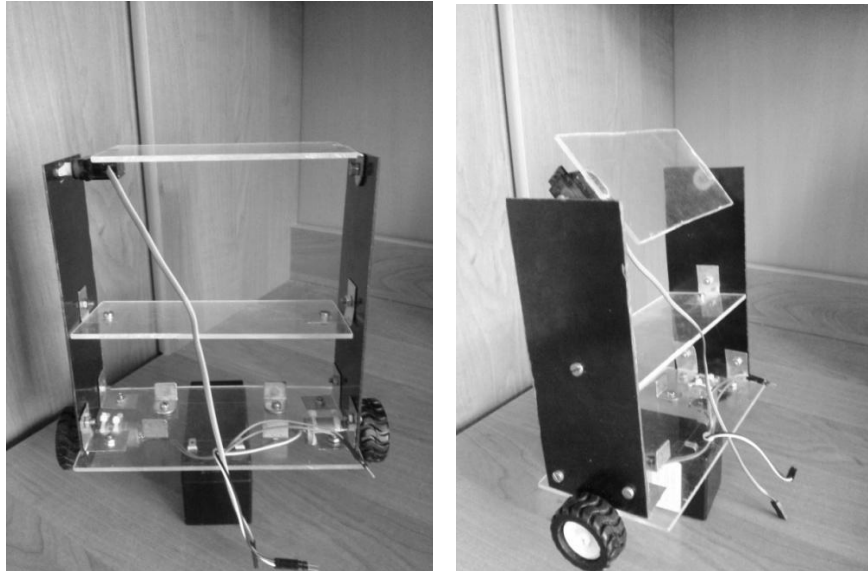
Literatūros sąrašas

1. Arduino. [žiūrėta 2014-05-29] Prieiga per internetą: < <http://www.balanduino.net/about-balanduino>>
2. ATmega techninis aprašymas. [žiūrėta 2014-05-29] Prieiga per internetą: <<http://www.atmel.com/images/doc8059.pdf> >
3. Įtampos keitiklis. [žiūrėta 2014-05-29] Prieiga per internetą: <<http://www.farnell.com/datasheets/1817108.pdf> >
4. VertiBOT aprašymas . [žiūrėta 2014-05-29] Prieiga per internetą: <<http://madebyfrutos.wordpress.com/2013/05/02/vertibot/> >
5. Servo veikimo aprašymas [žiūrėta 2014-05-22] Prieiga per internetą: <http://www.robotplatform.com/knowledge/servo/what_makes_a_servo.html/ >
6. UART aprašymas [žiūrėta 2014-05-30] Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter/ >
7. Autonominių žoliapjovių apžvalga [žiūrėta 2014-05-30] Prieiga per internetą: <<http://www.intorobotics.com/top-5-most-advanced-robotics-lawn-mowers/> >
8. Atmega324A techninis aprašymas [žiūrėta 2014-03-05] Prieiga per internetą: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-8272-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega164A_PA-324A_PA-644A_PA-1284_P_datasheet.pdf/>

Priedai

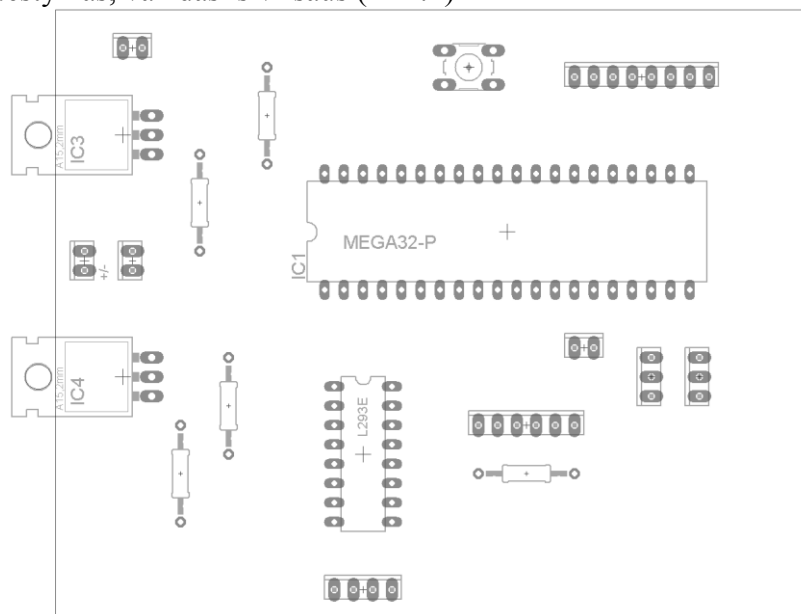
Pirmas priedas

Roboto korpusas



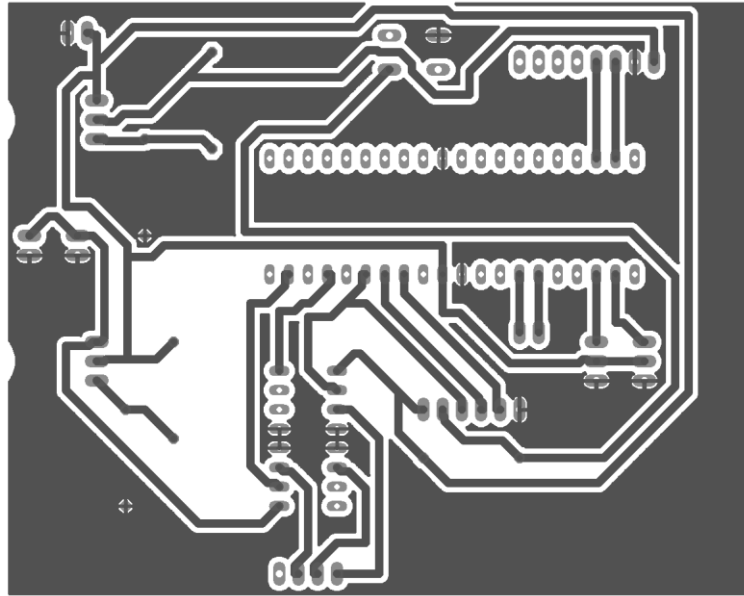
Antras priedas

Plokštės detalių išdėstymas, vaizdas iš viršaus (M 2:1)



Trečias priedas

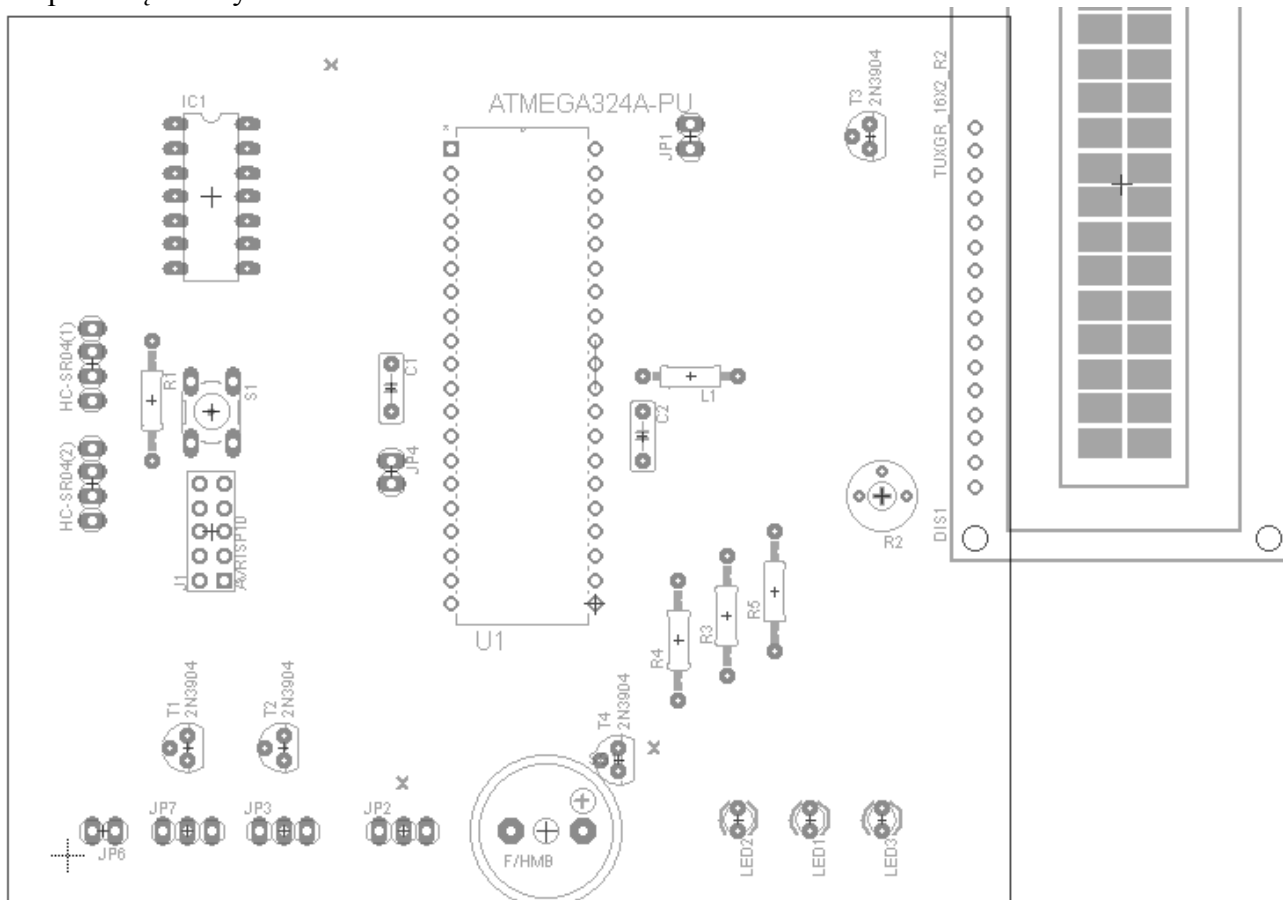
Spausdinto montažo plokštė (M 2:1).



Format.	Zona	Pozicija	Žymėjimas	Pavadinimas	Kiekis	Pastabos	
			IC1	ATmega32	1		
			IC2	L293D	1		
			IC3	LM317T	1		
			IC4	LM317T	1		
			R5	10kΩ	1		
			R1	4.8kΩ	1		
			R2, R4	2.2kΩ	2		
			R3	4.4kΩ	1		
			12V	2 kontaktų juosta	2		
			5V	2 kontaktų juosta	1		
			RX/TX	2 kontaktų juosta	1		
			SERVO	3 kontaktų juosta	2		
			VARIKLIU	4 kontaktų juosta	1		
			PROG	6 kontaktų juosta	1		
			MPU6050	8 kontaktų juosta	1		
TECHNOLOGIJOS SU FAKULTETAS				Pavardė	Parašas	Data	BALANSUOJANTIS ROBOTAS SU LOKALUS POZICIONAVIMO SISTEMA
			Diplomantas	M. Zakaras			
			Vadovas	N. Ramanauskas			
2014	Lapas	Lapų	Konsultantas				
	2	2	Recenzentas	G. Daunys			
			Kat. Vedėjas	G. Daunys			

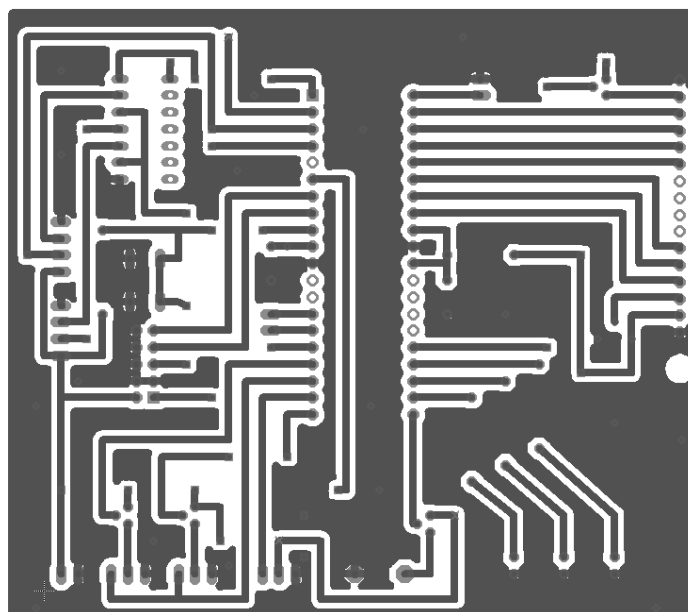
Penktas priedas

Komponentų išdėstymas iš viršaus



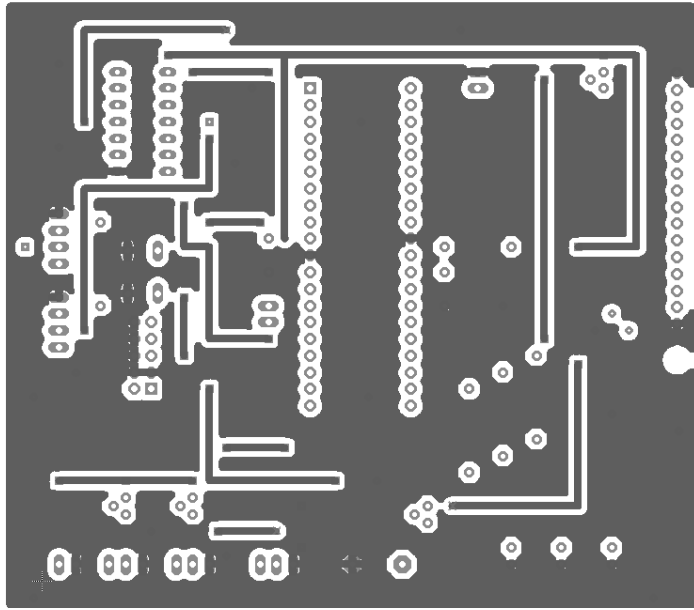
Šeštasis priedas

Apatinis plokštės sluoksnis



Septintasis priedas

Viršutinis plokštės sluoksnis



Aštuntas priedas.

Detalių sąrašas

Format.	Zona	Pozicija	Žymėjimas	Pavadinimas	Kiekis	Pastabos	
			U1	ATmega324A	1		
			IC1	SN74LS125AN	1		
			TUXRG_16x2	LEC16x2	1		
			T1 - T4	2N3904	1		
			R1	10kΩ	1		
			R2	10kΩ	1		
			R3 -, R5	1kΩ	2		
			C1, C2	100nF	2		
			S1	Mygtukas	1		
			F/HMB	Pjezo garsinis elementas	1		
			LED2, LED3 LED4	3mm šviesos diodas	3		
			JP7, JP3, JP2	3 kontaktų juosta	3		
			HC-SR04(1), HC-SR04(2)	4 kontaktų juosta	2		
			J1	AVR ISP 10	1		
			JP6, JP4, JP1	2 kontaktų juosta	3		
TECHNOLOGIJOS SU FAKULTETAS				Pavardė	Parašas	Data	BALANSUOJANTIS ROBOTAS SU LOKALAUŠ POZICIONAVIMO SISTEMA
			Diplomantas	M. Vaškevičius			
			Vadovas	N. Ramanauskas			
2014	Lapas	Lapų	Konsultantas				
	2	2	Recenzentas	G. Daunys			
			Kat. Vedėjas	G. Daunys			