



PROJEKAT IZ PRIMENE SENZORA I AKTUATORA

NAZIV PROJEKTA:

Arduino kontrolisan auto sa DC motorima i ultrazvučnim senzorom

TEKST ZADATKA:

Realizacija automobila sa dva motora jednosmerne struje i ultrazvučnim senzorom koji prati udaljenost objekta iza automobila i po potrebi aktivira aktuatora čime pomera auto unapred

MENTOR PROJEKTA:

Prof. dr. Jovan Bajić

PROJEKAT IZRADILI:

Pavlović Kosana, EE43/2019

Vidović David, EE81/2019

DATUM ODBRANE PROJEKTA:

Mart 2023.

Sadržaj

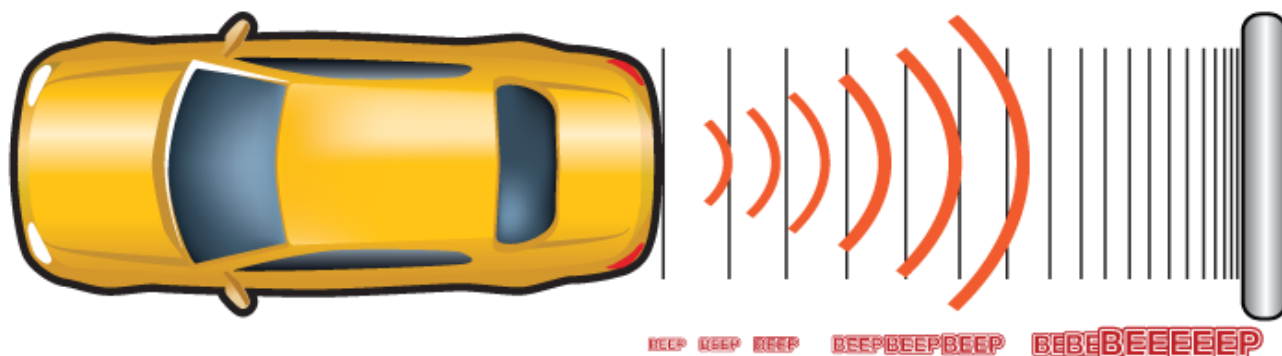
1. Uvod	3
2. Analiza problema.....	3
3. Proračuni i simulacioni rezultati	4
3.1. Proračuni za ravnu podlogu	4
3.2. Proračuni za strmu podlogu sa nagibom od 10 stepeni.....	6
3.3. Izbor motora	7
3.4. Proračun prenosnog odnosa reduktora	8
3.5. Proračun koeficijenta viskoznog trenja	8
4. Opis detalja predmeta projekta	9
4.1. Ultrazvučni senzor HC-SR04	9
4.3. Slika uređaja u krajnjem stadijumu izrade	11
5. Rezultati testiranja	12
5.1. Testiranje senzora HC-SR04.....	12
5.2. Karakteristike izabranog motora	15
6. Blok šema uređaja i algoritam rada.....	16
7. Zaključak.....	17
8. Literatura	17
Dodatak A.....	19

1. Uvod

Projekat je inspirisan parking senzorima koji su postali neizbežan deo savremenih motornih vozila i predstavljaju jedan od najvažniji (odnosno najkorisnijih) podsistema za pomoć vozaču pri vožnji. Iako postoje i imaju svoju važnu ulogu i kada su postavljeni na prednji deo vozila, parking senzori se najčešće nalaze na zadnjem braniku vozila i daju informaciju vozaču o blizini objekta koji se nalazi iza vozila, a koji on ne mora nužno da vidi preko retrovizora. Ljudskom oku je sama procena blizine objekta koristeći ogledalo strana i neprirodna, te parking senzor daje dosta bolji uvid na razdaljinu između auta i objekta iza auta.

Interfejs parking senzora i vozača u autoindustriji je najčešće realizovan zvučnim signalom. Senzor detektuje da postoji objekat u neposrednoj blizini automobila i za različite blizine tom objektu vozač čuje pištanje različitom frekvencijom iz zvučnog sistema automobila. U autoindustriji se koriste ultrazvučni senzori, kakav ćemo i mi koristiti, jedina razlika je što se na modernim automobilima postavlja nekoliko (najčešće 8) senzora na različite pozicije na automobilu da bi se pokrilo što više prostora oko automobila i da bi se mogli detektovati objekti na više pozicija odjednom.

Ovaj projekat je smišljen i ima za cilj da ujedno i posluži kao podsistem na nekom od projekata iz Primenjene elektronike, ili u bilo kom drugom prigodnom scenariju.



Slika 1 - Reprezentacija parking senzora za automobile

2. Analiza problema

Naš uređaj je baziran na konceptu sistema za automatsko upravljanje, stoga on ne samo da ima zadatak da služi kao parking senzor – pomoću ultrazvučnog senzora daje informaciju o prisutnosti objekta iza automobila – već na osnovu informacije koju dobije od senzora, pri dovoljno maloj razdaljini od objekta treba da aktivira aktuator koji će da udalji vozilo dalje od tog predmeta kako bi izbegao sudar.

Pri izboru senzora za udaljenost postoji veliki izbor senzora baziranih na različitim tehnologijama – kapacitivni, induktivni, elektromagnetni, ultrazvučni, optički, bazirani na

Dopplerovom efektu, IR senzori, laserski itd. Prve tri vrste senzora veoma brzo otpadaju iz izbora jer mogu da detektuju predmete na veoma malim razdaljinama (do 60mm). Optički senzori imaju isti problem, mogu da detektuju predmete do 30mm i ne mogu da detektuju transparentne materijale. Na marketu takođe postoje laserski senzori udaljenosti, konkretno LIDAR senzori, međutim kompleksnost i pre svega visoka cena su negativne karakteristike ovih sistema. IR senzori su se, pored ultrazvučnih, pokazali kao najbolje rešenje u našem slučaju.

IR senzor spada u optokaplere (optičke parove), sastoji se od izvora zračenja i optičkog prijemnika. Konkretno za ovaj projekat razmatran je GP2Y0A02YK0F analogni senzor koji se sastoji od kombinacije IRED (infrared emitujuće diode) i PSD (poziciono osetljivog detektora). Posmatrani senzor daje analogni signal mikrokontroleru u zavisnosti od najbližeg objekta od koji se odbija svetlost, emitovana diodom i "primljena" kroz sočivo, a metodom triangulacije se određuje tačna udaljenost. Mana IR senzora jeste njegov merni opseg koji doseže 150cm, ali ne može da meri na udaljenosti manjoj od 20cm – što je i ključno za potrebe našeg projekta, s toga je odbačen iz razmatranja.

Kao što se u autoindustriji najčešće koristi s razlogom, ultrazvučni senzor ima brojne prednosti nad ostalim – jeftin je, pouzdan i može da detektuje i predmete od transparentnih materijala, lagan za upravljanje, ima veliki opseg detekcije objekta i brz. Senzor koji se na ovom projektu koristio jeste HC-SR04 ultrazvučni senzor. Mane ovog senzora, koje će detaljnije biti spomenute u četvrtom poglavlju, su: loša tolerancija na vibracije, pouzdanost merenja zavisi od pozicije, oblika i materijala predmeta koji se detektuje, i zavisni su od temperature (brzina zvuka se menja sa promenom temperature).

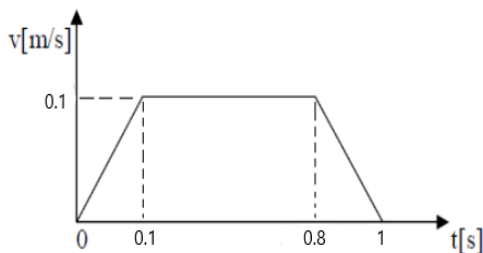
Što se tiče aktuatora, izabrali smo DC motor sa četkicama jer je široko dostupan i lak za upravljanje. Najčešće se kontrola smera i brzine vrši preko tzv. H mosta. Cene su im niske i variraju u zavisnosti od željenih karakteristika motora. Ovi motori se kreću mnogo brže nego što će nam biti potrebno i to se može rešiti na dva načina:

- 1) Kontrolom brzine pomoću H mosta, što nije dobar izbor jer će obrtni moment na vratilu biti dosta manji od potrebnog,
- 2) Korišćenjem reduktora, što će biti naš izbor jer smanjuje brzinu određen broj puta (prenosni odnos), a istim koeficijentom povećava obrtni moment na vratilu.

3. Proračuni i simulacioni rezultati

3.1. Proračuni za ravnu podlogu

Pre svega je neophodno definisati bitne parametre koje želimo postići. Masa čitavog sistema je 1kg. Poluprečnik gumenih točkova koji su na raspolaganju je $r=3.3\text{cm}$. Kada se automobil kreće ravnomerno pravolinijski, želimo da pređe 10cm za 1s, odnosno da ima konstantnu brzinu od $v=0,1\text{m/s}$. Obzirom da se kreće po drvenoj podlozi, uzmimo da je koeficijent statičkog trenja za dodirnu površinu guma-beton $\mu=0.7$.



Pri pokretanju automobila postoje 3 faze:

- 1) ubrzanje autića od 0 m/s do $0,1 \text{ m/s}$,
- 2) konstanta brzina autića od $0,1 \text{ m/s}$,
- 3) usporavanje autića od $0,1 \text{ m/s}$ do 0 m/s

Slika 2 – Grafik zavisnosti brzine auta

Na osnovu formule $s = \frac{a \cdot t^2}{2}$ možemo izračunati ubrzanje u prvoj fazi i usporenje u trećoj fazi:

$$a_1 = \frac{2 \cdot s_1}{t_1^2} = \frac{2 \cdot 0,02}{0,1^2} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a_3 = \frac{2 \cdot s_3}{t_3^2} = \frac{2 \cdot 0,02}{0,2^2} = -1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Potrebna snaga za podizanje tereta se računa preko formule $P = F \cdot v$ pa možemo izračunati snage potrebne u sve tri faze. U prvoj i trećoj fazi su prisutne inercijalna sila i sila trenja, dok je u drugoj fazi prisutna samo sila trenja.

$$P_1 = (m \cdot a_1 + \mu \cdot m \cdot g) \cdot v = (1 \cdot 4 + 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81) \cdot 0,1 = 1087 \text{ mW}$$

$$P_2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot v = 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 687 \text{ mW}$$

$$P_3 = |m \cdot a_3 - \mu \cdot m \cdot g| \cdot v = (1 \cdot 1 + 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81) \cdot 0,1 = 787 \text{ mW}$$

Ugaona brzina obrtanja točka i broj obrtaja točka u minuti se računaju na sledeći način :

$$\omega_{\text{točka}} = \frac{v}{r} = \frac{0,1}{0,033} = 3,03 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$n_{\text{točka}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \omega_{\text{točka}} = \frac{60}{2\pi} \cdot 3,03 = 28,95 \text{ rpm} \approx 29 \text{ rpm}$$

Na osnovu formule $M_{\text{točka}} = F \cdot r$ možemo izračunati obrtni moment točka za sve tri faze:

$$M_1 = (m \cdot a_1 + \mu \cdot m \cdot g) \cdot r = (1 \cdot 4 + 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81) \cdot 0,033 = 359 \text{ mNm}$$

$$M_2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot r = 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,033 = 227 \text{ mNm}$$

$$M_3 = |(m \cdot a_3 + \mu \cdot m \cdot g)| \cdot r = (1 \cdot 1 + 0,7 \cdot 1 \cdot 9,81) \cdot 0,033 = 260 \text{ mNm}$$

$$M_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{t_1 \cdot M_1^2 + t_2 \cdot M_2^2 + t_3 \cdot M_3^2}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 0,359^2 + 0,7 \cdot 0,227^2 + 0,2 \cdot 0,26^2}{1}} = 173 \text{ mNm}$$

3.2. Proračuni za strmu podlogu sa nagibom od 10 stepeni

Uzimajući u obzir identične parametre kao u slučaju ravne podloge, možemo dalje da uradimo proračune. Takođe, proračuni za ubrzanje ostaje isto. U prvoj i trećoj fazi su prisutne inercijalna sila, odgovarajuća komponenta gravitacione sile i sila trenja.

a) uspon na gore

Snage potrebna za sve tri faze su:

$$\begin{aligned}P_1 &= (m \cdot a_1 + m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot v \\&= (1 \cdot 4 + 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 690 \text{ mW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_2 &= (m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot v \\&= (1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 290 \text{ mW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_3 &= |m \cdot a_3 - m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot v \\&= (1 \cdot 1 + 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 390 \text{ mW}\end{aligned}$$

U četvrtoj fazi je potrebno da autić stoji i snaga potrebna za tu fazu je:

$$P_4 = m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot v = 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ \cdot 0.1 = 170 \text{ mW}$$

Ugaona brzina obrtanja točka i broj obrtaja točka u minuti ostaju iste, pa se može preći na proračune obrtnih momenata točka za sve tri faze:

$$\begin{aligned}M_1 &= (m \cdot a_1 + m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot r \\&= (1 \cdot 4 + 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 228 \text{ mNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= (m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot r \\&= (1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 96 \text{ mNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_3 &= |m \cdot a_3 - m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot r \\&= (1 \cdot 1 + 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 129 \text{ mNm}\end{aligned}$$

$$M_4 = m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot r = 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ \cdot 0.033 = 56 \text{ mNm}$$

$$\begin{aligned}M_{RMS} &= \sqrt{\frac{t_1 \cdot M_1^2 + t_2 \cdot M_2^2 + t_3 \cdot M_3^2 + t_4 \cdot M_4^2}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{0.1 \cdot 0.228^2 + 0.7 \cdot 0.096^2 + 0.2 \cdot 0.129^2 + 0.3 \cdot 0.056^2}{1.3}} \\&= 111 \text{ mNm}\end{aligned}$$

b) silaz na dole

Snage potrebna za sve tri faze su:

$$\begin{aligned}P_1 &= (m \cdot a_1 - m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot v \\&= (1 \cdot 4 - 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 349 \text{ mW}\end{aligned}$$

$$P_2 = |-m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot v$$

$$= (1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ - 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 51 \text{ mW}$$

$$P_3 = |m \cdot a_3 + m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot v$$

$$= (1 \cdot 1 - 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.1 = 49 \text{ mW}$$

Četvrta faza je ista kao kod uspona:

$$P_4 = m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot v = 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ \cdot 0.1 = 170 \text{ mW}$$

Ugaona brzina obrtanja točka i broj obrtaja točka u minuti ostaju iste, pa se može preći na proračune obrtnih momenata točka za sve tri faze:

$$M_1 = (m \cdot a_1 - m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha) \cdot r$$

$$= (1 \cdot 4 - 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 115 \text{ mNm}$$

$$M_2 = |-m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot r$$

$$= (1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ - 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 17 \text{ mNm}$$

$$M_3 = |m \cdot a_3 - m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin\alpha| \cdot r$$

$$= (1 \cdot 1 - 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ + 0.7 \cdot 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0.033 = 16 \text{ mNm}$$

$$M_4 = m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot r = 1 \cdot 9.81 \cdot \sin 10^\circ \cdot 0.033 = 56 \text{ mNm}$$

$$M_{RMS} = \sqrt{\frac{t_1 \cdot M_1^2 + t_2 \cdot M_2^2 + t_3 \cdot M_3^2 + t_4 \cdot M_4^2}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{0.1 \cdot 0.115^2 + 0.7 \cdot 0.017^2 + 0.2 \cdot 0.016^2 + 0.3 \cdot 0.056^2}{1.3}} = 44 \text{ mNm}$$

3.3. Izbor motora

Dakle, na osnovu proračuna primećujemo da minimalna potrebna snaga motora iznosi 1.087W. Međutim, u potrazi za odgovarajućim motorom moramo uzeti u obzir i druge moguće scenarije u kojim se disipira snaga (npr. u slučaju udara u prepreku kada se obrtni moment povećava).



Slika 3 – Izabrani motor od 1.2W

Nominal voltage	6 V
No load speed	9880 rpm
No load current	29.1 mA
Nominal speed	4550 rpm
Nominal torque (max. continuous torque)	2.13 mNm
Nominal current (max. continuous current)	0.406 A
Stall torque	4.03 mNm
Stall current	0.723 A
Max. efficiency	65 %

Terminal resistance	8.3 Ω
Terminal inductance	0.306 mH
Torque constant	5.57 mNm/A
Speed constant	1720 rpm/V
Speed / torque gradient	2560 rpm/mNm
Mechanical time constant	23.2 ms
Rotor inertia	0.868 gcm ²

Slika 4 – Specifikacije izabranog motora

Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno, izabrali smo motor sa slike na sajtu <https://www.maxongroup.com>. Potrebna brzina obrtanja točka je mala, zbog čega je neophodno koristiti reduktor. Kako prenosni odnos reduktora ne bi bio prevelik, izabrali smo baš ovaj motor, jer svi ostali imaju još veće brzine, veću disipaciju, a i veća im je i cena.

3.4. Proračun prenosnog odnosa reduktora

$$N = \frac{n_{motora}}{n_{točka}} = \frac{9880}{29} \approx 341$$

Ovo predstavlja poprilično veliki prenosni odnos i može se realizovati korišćenjem više redukcionih stepena.

$$M_{motora} = \frac{M_{točka}}{N} = \frac{0.359}{341} = 1.05 \text{ Nm}$$

3.5. Proračun koeficijenta viskoznog trenja

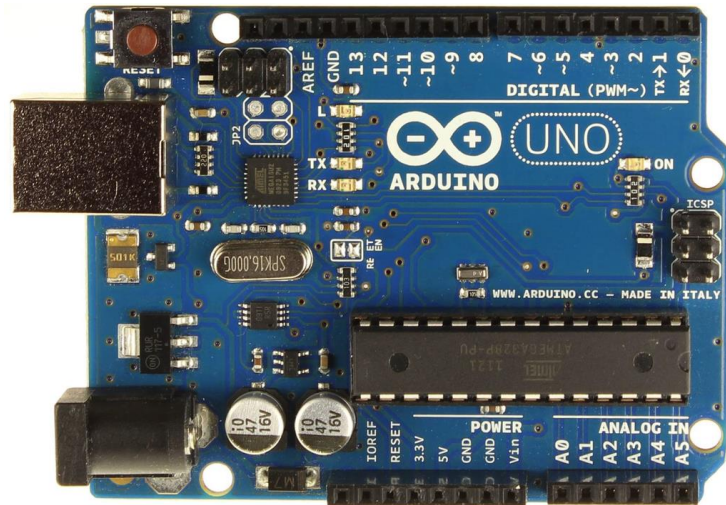
$$\omega_{motora} = \frac{2\pi}{60} \cdot n_{motora} = \frac{2\pi}{60} \cdot 9880 = 1034 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$U_a = R_a \cdot I_a + k_t \cdot \omega_{motora} \Rightarrow I_a = \frac{U_a - k_t \cdot \omega_{motora}}{R_a} = \frac{6 - 0.00557 \cdot 1034}{8.3} = 0.02899 \text{ A}$$

$$I_a = \frac{B \cdot \omega_{motora}}{k_t} \Rightarrow B = \frac{I_a \cdot k_t}{\omega_{motora}} = \frac{0.02899 \cdot 0.00557}{1034} = 0.157 \frac{\mu\text{Nm}\cdot\text{s}}{\text{rad}}$$

4. Opis detalja predmeta projekta

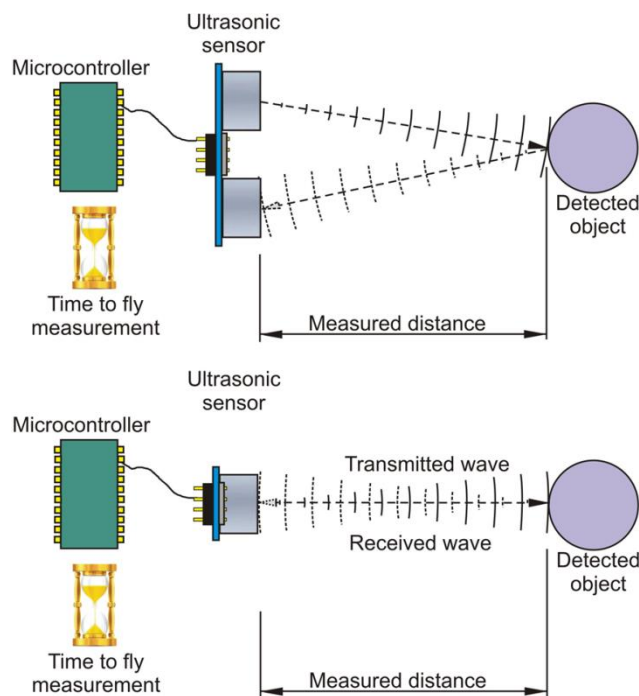
Za potrebe ovog projekta kao osnovnu kontrolnu jedinicu koristili smo mikrokontroler Atmega328P koji se nalazi na pločici Arduino Uno.



Slika 5 – Arduino Uno

4.1. Ultrazvučni senzor HC-SR04

Ultrazvučni senzor radi na principu slanja i primanja ultrazvučnih talasa. Osnovni koncept podrazumeva slanje (generisanje) ultrazvučnog signala i čekanja da se on vrati. Ukoliko se signal vrati do senzora znači da je došlo do refleksije i da unutar dosegljivog opsega postoji objekat od koji su se talasi odbili. Pomoću mikrokontrolera se meri vreme između trenutka slanja i primanja signala. Kako je poznata brzina ultrazvuka u vazduhu (340m/s), na osnovu proteklog vremena između slanja i primanja signala može se dobiti informacija o udaljenosti objekta od koji se reflektovao talas.

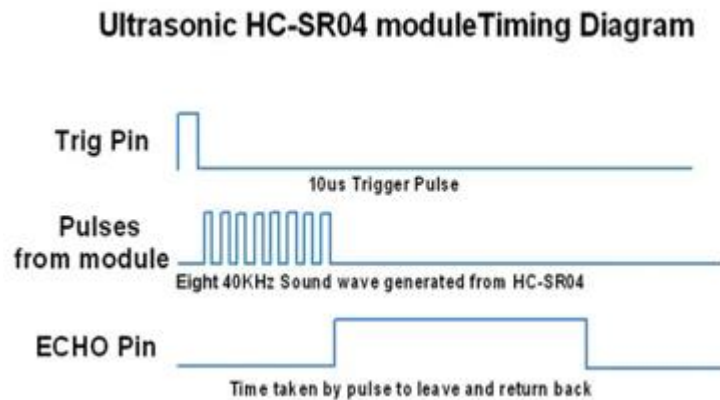


Ultrazvuk predstavlja talase koji su na frekvenciji iznad čujnog opsega čovjeka – iznad 20kHz. On se kroz vazduh prostire već navedenom brzinom, međutim brzina prostiranja zavisi i od gustine materijala u kom se nalazi, te brže putuje kroz čvršće materijale.

Slika 6 – Merenje daljine pomoću HC-SR04

Za potrebe našeg projekta koristili smo HC-SR04 ultrazvučni senzor. Njegov I/O interfejs podrazumeva 4 pina preko kojih se povezuje na mikrokontroler: Vcc, Trig, Echo i GND. Pinovi Vcc

i GND služe za napajanje. Trig pin je ulazni pin senzora, i izlazni pin mikrokontrolera. Slanjem trigger signala, odnosno visokog logičkog nivoa u trajanju od 10 mikrosekundi na Trig pin, generiše se osam ultrazvučnih talasa pri frekvenciji od 40kHz koje senzor ispoljava u okolinu. Echo pin osluškuje da li će se generisani talasi vratiti i meri vrijeme proteklo između generisanja talasa i njihovog pristizanja.



Slika 7 – Vremenski dijagram rada HC-SR04

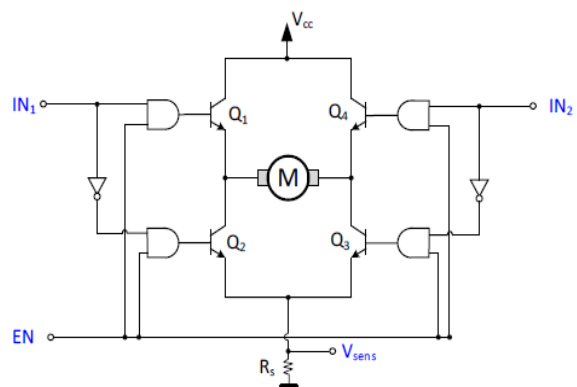
U tehničkoj dokumentaciji priloženoj u dodacima, specificira se da ovaj senzor ima opseg detekcije objekta od 2cm do 4 metra, i maksimalnu osetljivost od 3mm. S obzirom na to da u našem projektu simuliramo parking senzor koji treba da radi u realnim uslovima zanemarićemo manu da senzor ne može da detektuje objekte na udaljenosti manjoj od 2cm jer u stvarnim situacijama ne očekujemo da se predmeti mogu “stvoriti nitokuda” na udaljenosti manjoj od 2cm od senzora, a ako i mogu, onda oni ne predstavljaju opasnost po automobil ili sistem (npr insekti, manji predmet u vazduhu itd.).

Pored toga, u dokumentaciji stoji da senzor ima širinu opsega od 15°, što je sasvim dovoljno za potrebe parking senzora auta dimenzija koje smo mi koristili u projektu. Da bi se postigla bolja preciznost merenja i pokrio veći ugao, moguće je koristiti više ovakvih senzora postavljenih na različitim tačkama na automobilu (kao što se i radi u autoindustriji).

4.2. LM298N drajver za motor

Koristi se kako bi se upravljalo brzinom motora promenom faktora ispunje PWM signala i kako bi se upravljalo smerom obrtanja motora promenom polariteta primenjenog napona.

H most ima 4 prekidačke komponente čijim se stanjem upravlja elektronskim putem. Motor se povezuje u središte mosta. U zavisnosti od stanja prekidača, menja se smer struje kroz motor, a samim tim i smer obrtanja vratila.



Slika 8 – H most sa logičkim kolima



Ne sme se dozvoliti da prekidači u istoj vertikali budu istovremeno uključeni kako ne bi došlo do kratkog spoja napajanja. Izabran je drajverski modul LM298N za korišćenje, zato što u sebi poseduje dva H mosta, pa se istovremeno mogu upravljati dva motora.

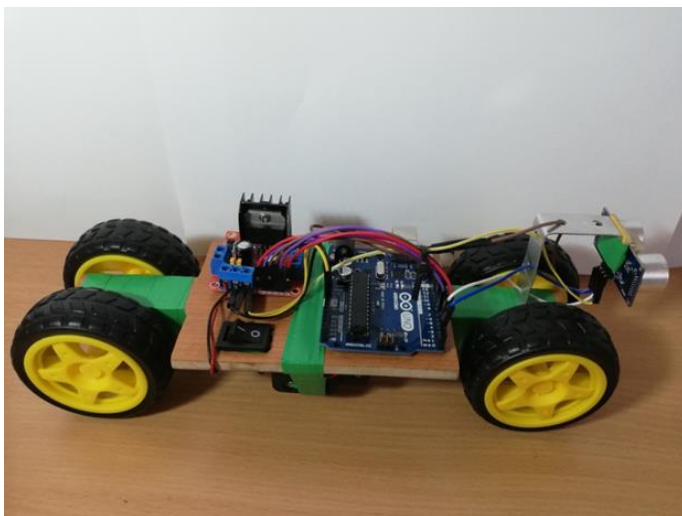
Kada je EN=0, svi prekidači su isključeni. Kad je EN=1, tada tranzistori zavise od ulaza. Ako su ulazi različitih vrednosti, motor se obrće u određenom smeru, a ako su istih vrednosti, motor će se zakočiti. Dovođenjem PWM signala na EN se upravlja brzinom motora.

Slika 9 – LM298N

Na modulu postoji regulator čije se korišćenje omogućuje stavljanjem džampera i tada daje 5V kao izlaz. Na taj način se u ovom projektu napajaju ultrazvučni senzor i Arduino Uno.

4.3. Slika uređaja u krajnjem stadijumu izrade





5. Rezultati testiranja

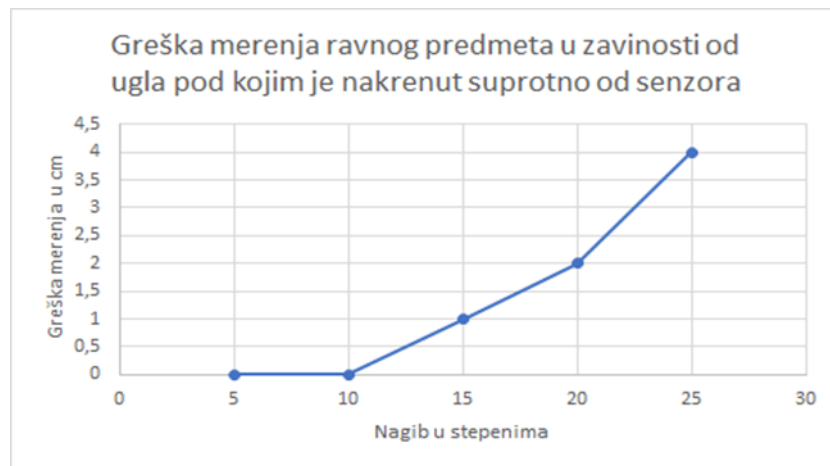
5.1. *Testiranje senzora HC-SR04*

Testiranje senzora izvršeno je pri kontrolisanim uslovima – pri sobnoj temperaturi, gde su ultrazvučni talasi putovali vazduhom. Poznato je da je brzina ultrazvuka u vazduhu 340m/s. Ultrazvučni senzori se uzdaju u slanje talasa i prihvatanje istih nazad, što podrazumeva da se talasi trebaju odbiti (reflektovati) od predmeta. Kako bi to reflektovanje bilo uniformno te merenje bilo tačno potrebno je da predmet od koji se talasi reflektuju bude što glatkiji i u najboljem slučaju postavljen u ravnu normalnu na ravan prostiranja talasa. S toga je od ključne važnosti utvrditi kako se senzor ponaša u situacijama kada treba da izmeri udaljenost predmeta nepravilnog oblika (sfere, piramide, tankog ili špicastog predmeta, ili kada je ravan od koju se talasi reflektuju okrenuta pod uglom na ravan prostiranja talasa), kao i predmeta koji su napravljeni od posebnih materijala kao što je vuna, guma, tkanina itd.

U tehničkoj dokumentaciji je navedeno da senzor može da detektuje predmete do 4m udaljenosti, međutim za naše potrebe tako velike udaljenosti nisu bitne te se mi fokusiramo na udaljenosti od 30cm, kada mikroprocesor treba da prvi put “primeti” objekat, i na 10cm kada treba da aktivira aktuator.

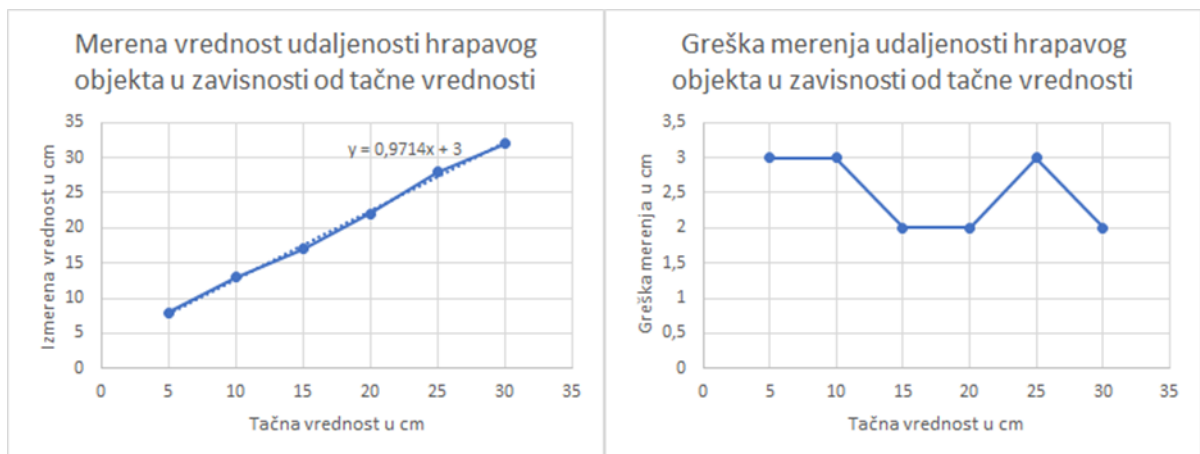
Testiranje je prvo vršeno sa ravnim glatkim predmetom, u našem slučaju koristili smo običan plastični lenjir. Na površini stola smo ucrtali marker na rastojanju od 30cm od senzora. Pri lenjiru postavljenom u ravan normalnu na ravan prostiranja talasa, senzor je očitavao tačnu vrijednost. Međutim, rotiranjem lenjira u jednu ili drugu stranu raste merna greška i senzor ne detektuje ispravan položaj lenjira. U oba slučaja senzor detektuje veću razdaljinu nego što zaista jeste (lenjir zarotiran od senzora – dio lenjira je još uvek na markeru od 30cm međutim senzor pokazuje veću udaljenost nego što se najbliža tačka lenjira nalazi od senzora; i lenjir zarotiran ka senzoru – senzor opet pokazuje veću udaljenost od 30cm iako je najbliža tačka lenjira na manjoj udaljenosti od 30cm od senzora). Greška merenja raste do $\pm 25^\circ$ rotiranja u odnosu na početni položaj, nakon čega

senzor prestaje da dobija povratni signal. U ekstremnim pozicijama nagiba senzor ima grešku od 4cm. Ista greška se javljala i pri rotiranju lenjira ka senzoru po ravni u kojoj se nalazi senzor, i pri sličnom nagibu senzor više nije mogao da detektuje predmet zbog ugla refleksije talasa.



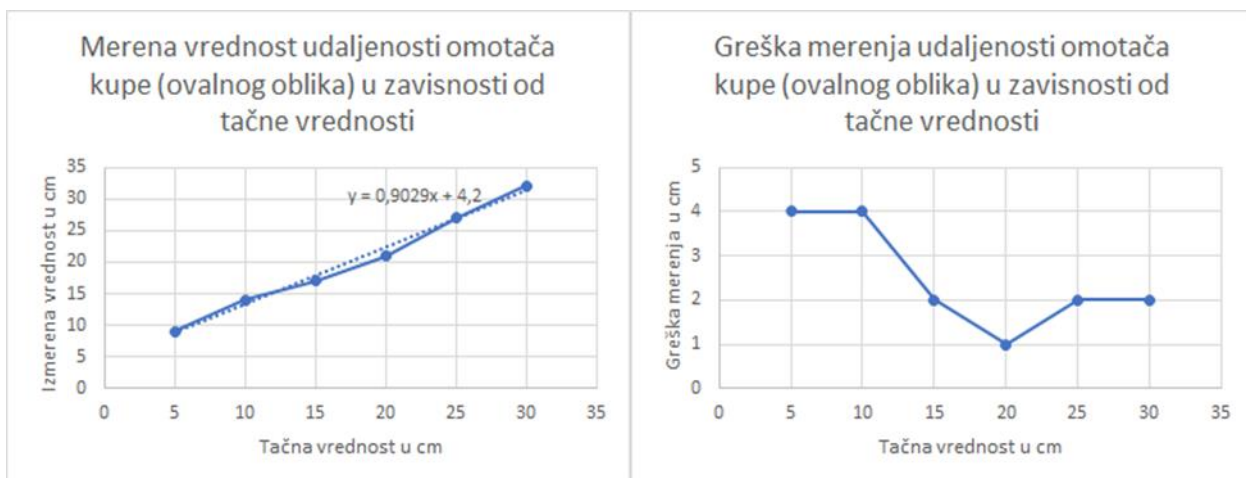
Slika 10

Ultrazvučni senzor bi trebao da pokazuje mernu grešku pri merenju hrapavih predmeta, što smo dokazali testiranjem senzora u istim uslovima kao u prvom primeru, ali ovaj put sa komadom kore drveta izuzetno hrapave površine. Greška merenja na različitim tačkama konstantno je varirala između 2 i 3 centimetra, prikazana na narednom grafiku.



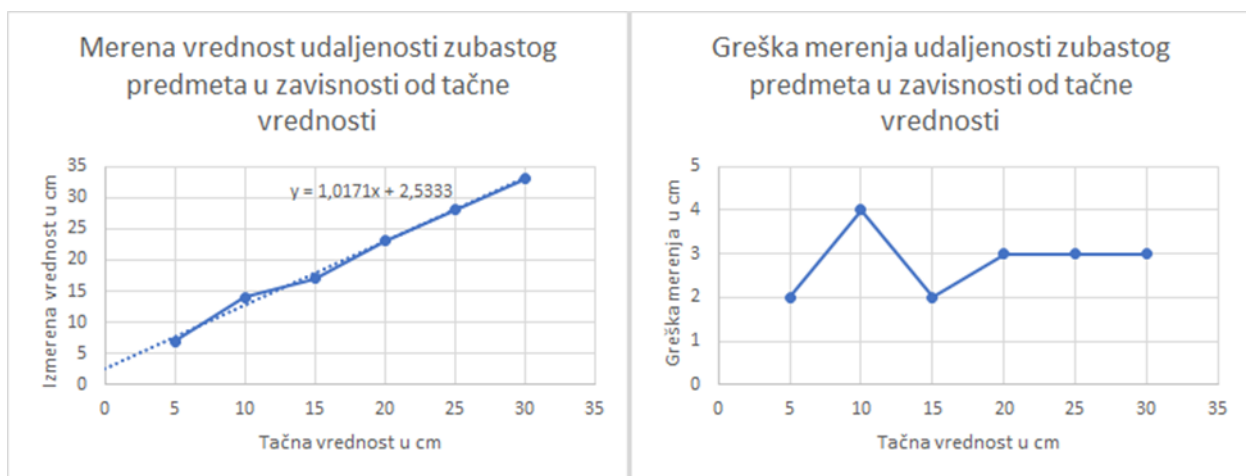
Slika 11

Sledeći predmet sa kojim smo vršili testiranje bila je improvizovana kartonska kupa izuzetno nepravilnog oblika. Postavljena u ravan normalnu na ravan prostiranja talasa tako da senzor “vidi” omotač kupe, pokazivao je grešku do 2cm. Najveći problem se javio kada se kupa postavila tako da njen vrh bude okrenut ka senzoru, kada senzor nije uspeo da detektuje tako postavljenu kupu. Ovo predstavlja problem jer znači da postoji mogućnost da u praksi ne detektuje uske, šiljate objekte malog prečnika.



Slika 12

Senzor smo testirali i na zubastom predmetu poput češlja. Zanimalo nas je da li će senzor uspeti da prepozna gusto i retko postavljenje zubi češlja, i ukoliko da, sa kolikom greškom. Ispostavlja se da je senzor u stanju da prepozna i ovakve predmete od koje se samo dio generisanih trigger signala odbija nazad do recievera. Međutim, prepoznavanje ovakvog predmeta dolazi uz određenu grešku, što može da se vidi na narednom grafiku.ž



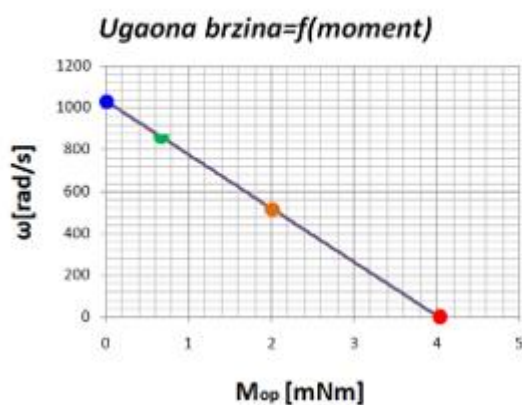
Slika 13

Testiranjem senzora na različite materijale dobijaju se različiti rezultati – za sve testirane nesavitljive materijale (plastika, metal, drvo) senzor se ponaša normalno (u savršenim uslovima, tj. kada su postavljeni u ravan paralelno sa senzorom), dok se za komad plišanog ćebeta senzor ponašao najgore. U ovom slučaju senzor nije reagovao na većinu pozicija ćebeta osim kada se ono u potpunosti ne ispravi i postavi u ravan paralelnu senzoru. Bilo kakvim daljnjim gužvanjem tkanine senzor nije mogao da detektuje prisutnost objekta u blizini, čak i kada smo pomerali ćebe ka i od senzora. Ova pojava nastaje zbog nepravilnog oblika tkanine (“zgužvanosti”) pri čemu se talasi reflektuju pod različitim uglovima i mala je šansa da se reflektuju nazad ka senzoru.

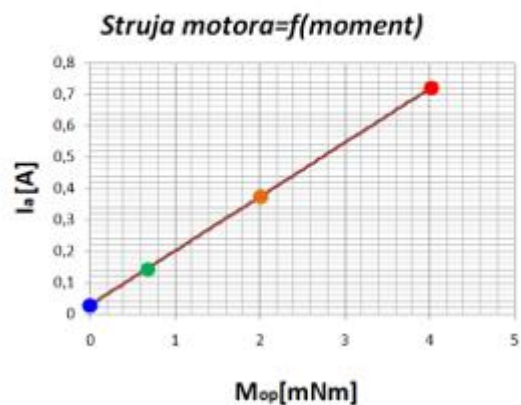
Ova merna greška ne predstavlja veliki problem u našem slučaju, s obzirom da konstruišemo senzor koji će detektovati predmete koji mogu da oštete automobil i zaštićujemo ga od kontakta tako što aktiviramo aktuator, smatramo da tkanina ne može značajno da ošteti automobil čak i ako je nedetektovana od strane senzora. Zaključak ispitivanja osetljivosti i pouzdanosti senzora govori da u najgorem slučaju oštri i tanki objekti postavljeni tako da vrh (“špic”) objekta “gleda” u senzor neće biti detektovani, te glatki objekti koji prilaze senzoru sa nagibom većim od 20° takođe neće biti detektovani. Za sve ostale ispitane situacije merna greška nije veća od 5cm.

5.2. Karakteristike izabranog motora

Slika 14



Slika 15



Primećujemo da sa porastom opterećenja se smanjuje brzina obrtanja motora, a raste struja motora. Na sl. 14 uočavamo radne tačke praznog hoda koja je plave boje (neopterećeno vratilo tj. $M_{op} = 0$) i kratkog spoja koja je crvene boje (ukočeno vratilo tj. $\omega = 0$).

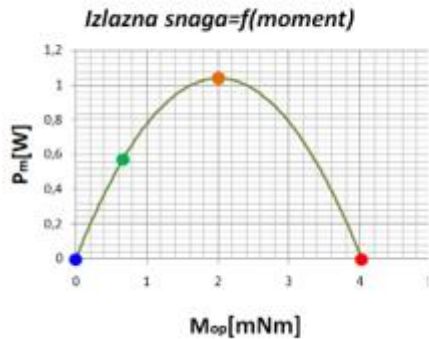
1. PRAZAN HOD MOTORA		
η_{ps}	0	%
ω_{ph}	1034	rad/s
I_{ph}	0,03	A
M_{ps}	0	mNm

2. KRATAK SPOJ MOTORA		
η_{ks}	0	%
ω_{ks}	0	rad/s
I_{ks}	0,72	A
M_{ks}	4,03	mNm

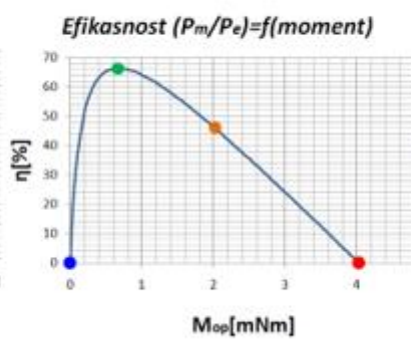
Slika 16 – Vrednosti za radne tačke prazam hod i kratak spoj

Struja kratkog spoja se javlja pri uključenju motora i može imati veoma velike vrednosti pa može oštetiti drajver ili napajanje.

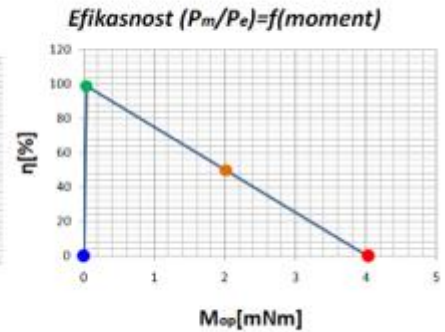
Slika 17



Slika 18 - realna k-ka

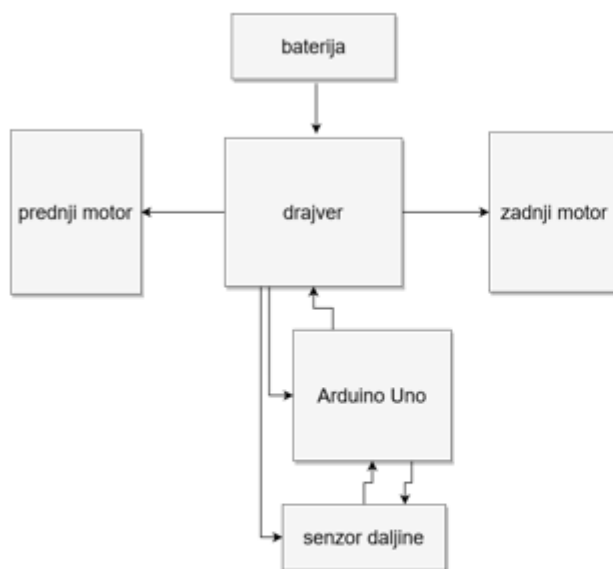


Slika 19 - idealna k-ka

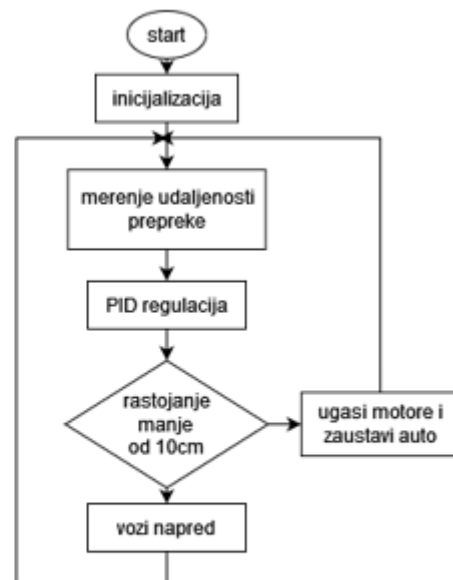


Maksimalna izlazna snaga se javlja pri polovini maksimalnog momenta obrtanja motora. Karakteristika efikasnosti motora zavisi od mehaničkih gubitaka tj. od vrednosti koeficijenta viskoznog trenja. U idealnom slučaju nema mehaničkih gubitaka i tačka sa najvećom efikasnošću je tačka praznog hoda, dok u realnom slučaju usled gubitaka je tačka maksimalne efikasnosti oko 65% što se poklapa sa specifikacijom motora. Što su veći gubici, tačka maksimalne efikasnosti na ovoj karakteristici se pomera u desno. Pri opterećenjima manjim od vrednosti tačke maksimalne efikasnosti će efikasnost opadati usled mehaničkih gubitaka, dok pri većim opterećenjima će efikasnost opadati usled Džulovih tj. električnih gubitaka.

6. Blok šema uređaja i algoritam rada



Slika 20 – Blok dijagram



Slika 21 – Algoritam rada

7. Zaključak

Realizovanim projektom uspešno smo ispunili sve projektne zadatke i implementirali najvažnije komponente. U redovnim konsultacijama sa mentorom prof. dr. Jovanom Bajićem rešene su sve nedoumice, izvršena selekcija prigodnog senzora i motora jednosmerne struje.

Za potrebe izrade makete za prezentaciju načina rada projektovanog sistema koristili smo isti ultrazvučni senzor opisan dokumentacijom – ultrazvučni HC-SR04 senzor. Važna razlika između makete i dokumentacije jeste odabir DC motora. Kako cena idealno odabranog Maxon motora višestruko premašuje budžet izdvojen za ovaj projekat, pri izradi makete koristili smo motore jednosmerne struje prigodne za amaterske projekte koji su dovoljno snažni za prezentaciju rada. U kodu koji je priložen u Dodatku A, realizovana je PID regulacija kao upravljački proces. Maketa se napaja iz baterijskog izvora od 7,5V koji je doveden na drajver LM298n, koji sadrži interni stabilizator napona na 5V. Odatle, stabilnih 5V koji predstavljaju Vcc sistema se odvodi na ostale komponente.

Osnovnu verziju makete, kao i ovog projekta, je moguće proširiti sa dodatnim funkcionalnostima – relativno jednostavnim nadogradnjama moguće je proširiti ovakvog robota da postane line-following robot; koristeći još senzora moguće je u potpunosti simulirati rad cruise-control sistema kakav se viđa na gotovo svim modernim automobilima; efikasnijim upravljanjem H mostom prilikom kočenja moguće je realizovati sistem koji će “izgubljenu” energiju prilikom kočenja da upotrebi za punjenje baterija, nešto što je uobičajeno na modernim električnim automobilima; itd.

8. Literatura

[1] dr Laslo Nađ, *Primena senzora i aktuatora*, FTN, Novi Sad, 2018.

[2] BDC motori (3.3.2023.)

<https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/index.php/education/course-notes/senzori-i-aktuatori-sia>

[3] LM298N (3.3.2023.)

<https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/>

[4] Ultrazvučni senzor HC-SR04 (3.3.2023.)

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

[5] Proračuni za motor (3.3.2023.)

<http://www.otpornik.com/elektronika/motori/izracunavanje-snage-motora-i-odnosa-reduktora-1.html>

[6] Proračun za prenosni odnos reduktora

<http://www.otpornik.com/elektronika/motori/izracunavanje-snage-motora-i-odnosa-reduktora-2.html>

[7] Maxon selection program

https://www.maxongroup.com/maxon/view/category/motor?etcc_cu=onsite&etcc_med_onsite=Product&etcc_cmp_onsite=DCX+Program&etcc_plc=Overview-Page-DC-Motors&etcc_var=%5bcom%5d%23en%23_d_&target=filter&filterCategory=DCX

[8] Koeficijent trenja između gume i drveta

<https://mae.ufl.edu/designlab/Class%20Projects/Background%20Information/Friction%20coefficients.htm>

Dodatak A