



# PROJEKAT IZ PRIMENJENE ELEKTRONIKE

## NAZIV PROJEKTA:

Autonomno kretanje robota uz izbegavanje prepreka

## TEKST ZADATKA:

Robot treba da krene sa startne linije, zaobiđe sve prepreke na koje naiđe na svom putu i vrati se na startnu liniju. Svaka strana prepreka će se moći jasno detektovati.

## MENTOR PROJEKTA:

Prof. dr Vladimir Rajs

## PROJEKAT IZRADILI:

Šormaz Nikola EE7/2019

Dražkić Marko EE26/2019

Nikolić Martina EE166/2019

Stefanov Miljana EE122/2019

## DATUM ODBRANE PROJEKTA:

27.06.2023.



# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Analiza problema.....	2
3.	Korišćene komponente .....	4
3.1.	DsPIC30F4013 mikrokontroler .....	4
3.2.	MPLAB PICKit 3 debager/programator .....	5
3.3.	Sharp GP2Y0A21YK0F analogni IR senzor daljine .....	6
3.4.	HC-SR04 ultrazvučni senzor .....	8
3.5.	LM7805 regulator napona .....	11
3.6.	DC motor sa četkicama 33GB-520-18.7 .....	13
3.7.	L298N drajver .....	14
3.8.	Bluetooth modul HC-06 i UART .....	18
4.	Projektovanje ploče u programskom alatu <i>Altium Designer</i> .....	20
5.	Algoritam rada.....	22
6.	Realizacija .....	23
6.1.	Korišćeni pinovi .....	23
6.2.	Izrada ploče .....	24
6.3.	Kompletiran robot .....	25
6.4.	Main.c.....	26
7.	Zaključak .....	27
8.	Literatura .....	29

# 1. Uvod

Generalno govoreći, automatski vođena vozila (AGV) su vozila bez posade koja se kreću pomoću automatskog upravljačkog sistema koristeći senzore na infrastrukturi i na vozilu koji daju podatke o lokaciji i brzini vozila na osnovu kojih upravljački sistem šalje vozilu odgovarajuće komande kako bi moglo da prati određene putanje i da se kreće odgovarajućom brzinom. Ovakva se vozila primenjuju prvenstveno u industrijskom saobraćaju.

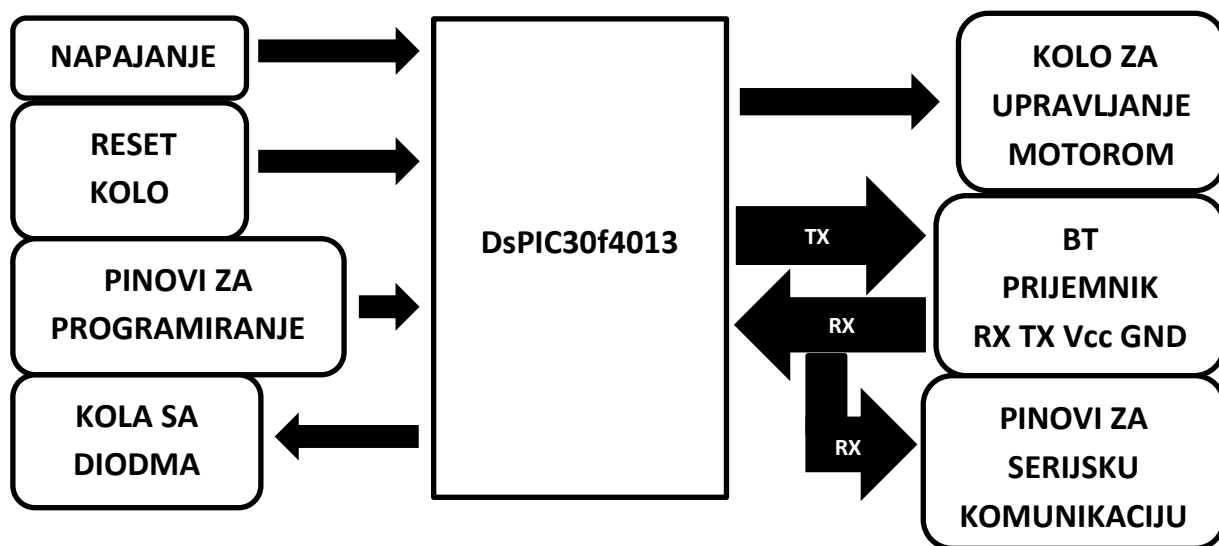
Ruta tj. putanja je osnovna kontrolna funkcija koja određuje kojim putem će vozilo preći put od tačke A do tačke B. Ovo je jedna od osnovnih kontrolnih funkcija sistema za autonomno kretanje vozila.

Bitno je reći da ovakvi sistemi već postoje i aktivno se radi na njihovom unapređivanju, te je upravo to i svrha ovog projekta.

Dokumentacija ovog projekta se sastoji iz osam različitih poglavlja. Prvo poglavlje je uvod. Drugo se sastoji iz analize problema zadatog projektnog zadatka. Treće poglavlje je sačinjeno od osam manjih celina od kojih je svaka ponaosob posvećena komponentama korišćenim u ovom projektu, kao i načinima komunikacije. Četvrto poglavlje se osvrće na projektovanje ploče u programskom alatu *Altium Designer*, što predstavlja u stvari početnu etapu rešavanja zadatog problema. U petom poglavlju je dat jasan prikaz algoritma rada celog sistema. Šesto poglavlje je posvećeno realizaciji, gde je dat spisak korišćenih pinova svake korišćene komponente kao i serijske komunikacije, postupak pravljenja štampane ploče, fizički izgled sistema, i na kraju kratka objašnjenja svih funkcija korišćenih u *main.c* datoteci koja je ključni deo koda zaslužnog za pravilno funkcionisanje celokupnog sistema. Konačno, na samom kraju se nalazi i zaključak koji predstavlja sedmo poglavlje, nakon čega sledi i osmo i poslednje poglavlje u kom se navodi sva korišćena literatura.

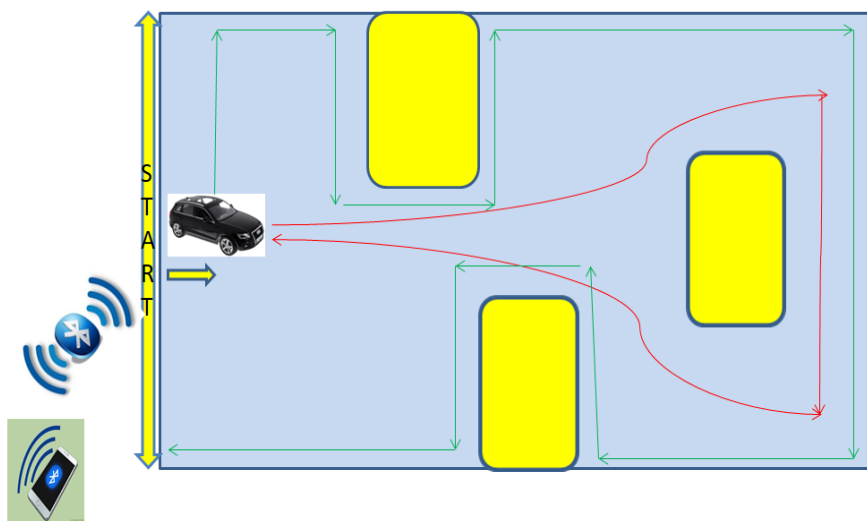
## 2. Analiza problema

Zadatak ovog projekta jeste projektovanje proizvoljnog sistema od podsistema prikazanih na slici 2.1.



Slika 2.1. Blok dijagram podsistema za realizaciju projektnog zadatka

Glavni cilj projekta jeste realizacija algoritma za rad koji obuhvata autonomno kretanje robota od startne linije i nazad, uz jasno detektovanje i izbegavanje svih prepreka na koje u toku putanje može da naleti. Prepreke na putu robota su postavljene baš kao na slici 2.2.



Slika 2.2. Moguća postavka i načini realizacije putanje robota

Na slici 2.2 se takođe jasno vide i dve moguće realizacije putanje robota. Crvenom bojom je putanja realizovana tako da robot skreće kada naiđe na prepreku, dok je zelenom bojom označena putanja realizovana tako da robot održava određenu udaljenost od prepreke prilikom kretanja. U skladu sa zahtevima ovog predmetnog zadatka, putanja robota koja se ovim projektom realizuje jeste ona zelene boje.

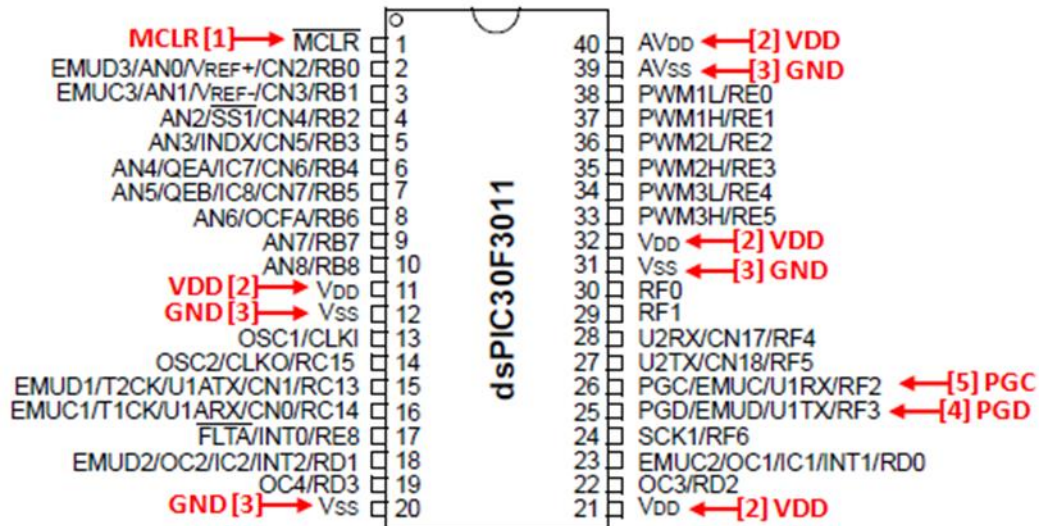
Prilikom analize problema sagledali smo neke od sistema koji već postoje i rade na principu sličnom ovom. Neki od ovakvih sistema jesu:

- ❖ Automatska vođena kolica, koja kao navigaciju koriste sisteme od onih zasnovanim na senzorima, do onih koji koriste čak i veštačku inteligenciju;
- ❖ Automatizovani transporter za bolnička kolica, koja se koristi za prenos stvari u bolnicama kako bi preuzeo tu odgovornost zaposlenima, kao i da smanji troškove rada;
- ❖ Viljuškari, kojim upravljaju ljudi, ali bez potrebe za ljudskim operaterom;
- ❖ Vozila za vuču, koja putujući na točkovima vrše transport tereta na veće udaljenosti;
- ❖ Nosioc teškog tereta, koji se koriste za velike montaže i transport kalemova i ploča. Oni poseduju i mogućnost samoutovarivanja sa standardnim, okretnim ili višesmernim upravljanjem.

### 3. Korišćene komponente

#### 3.1. DsPIC30F4013 mikrokontroler

Glavna komponenta ovog uređaja jeste mikrokontroler dsPIC30F4013 prikazan na slici 3.1, preko kog je i realizovan kompletan projekat.



Slika 3.1. dsPIC30F4013 mikrokontroler [1]

Mogućnosti koje pruža ovaj mikrokontroler su: prikupljanje ulaznih signala i njihova obrada, kao i prikupljanje izlaznih signala, zatim komunikacija preko serijskog terminala sa računarom, kao i korišćenje tajmera.

Sastoji se iz 30 ulazno/izlaznih pinova za opštu upotrebu, jednog 12-bitnog A/D konvertora, 3x16-bitnih i 2x32-bitna tajmera i dva kanala za serijsku komunikaciju (UART1, UART2, gde UART1 poseduje primarnu i alternativnu komunikaciju). U ovom projektu je korišćen UART2 kanal za ostvarivanje bežične komunikacije.

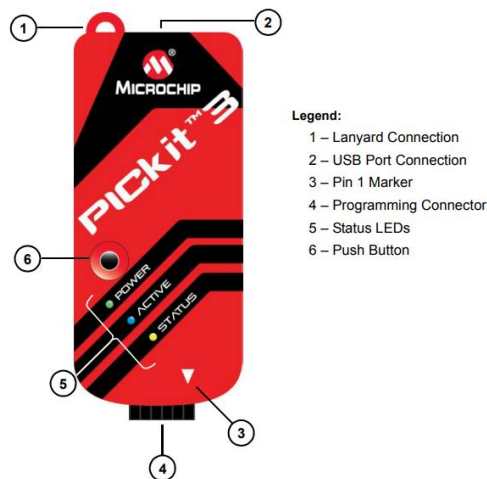
Ono što odlikuje ovaj mikrokontroler jeste velika RAM (memorija za podatke od 2kB) i Flash (radna memorija od 48kB) memorija, mala potrošnja kao i velika brzina rada.

### 3.2. MPLAB PICkit 3 debager/programator

MPLAB PICkit 3 (slika 3.2.1 i ožičenje slika 3.2.2) omogućava otklanjanje grešaka (engl. *debugging*) i programiranje PIC i dsPIC *Flash* mikrokontrolera po najpristupačnijim cenama koristeći moćni grafički korisnički interfejs MPLAB *Integrated Development Environment* (IDE). Ovaj programator se povezuje sa računarom uz pomoć USB interfejsa i može da bude povezan sa uređajem preko *Microchip debug* (RJ-11) konektora koji koristi dva ulazno/izlazno pina i reset liniju uređaja kako bi implementirao debugovanje i serijsko programiranje unutar kola.



Slika 3.2.1. Fizički izgled PICkit 3 [2]



Slika 3.2.2. Ožičenje PICkit 3 [2]

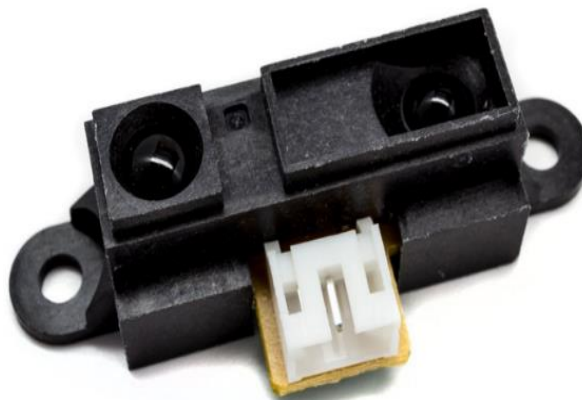
Glavne karakteristike ovog programatora/debagera su:

- ❖ Izvršenje u realnom vremenu;
- ❖ USB (interfejs pune brzine od 12Mbit/s za glavni računar);
- ❖ Kompatibilan za MPLAB IDE;
- ❖ Ugrađen monitor kratkog spoja/prenapona;
- ❖ Firmwear koji se može nadograditi;
- ❖ Podržava nizak napona od 2V sa opsegom do 6V;
- ❖ Posедуje LED diode za signalizaciju stanja;
- ❖ Čitanje i pisanje programa i memorije podataka mikrokontrolera;
- ❖ Programiranje do 512M byte Flash memorije;
- ❖ U potpunosti zatvoren.



### 3.3. Sharp GP2Y0A21YK0F analogni IR senzor daljine

GP2Yxxxx Sharp je serija senzora udaljenosti od kojih je svaki odličan analogni senzor daljine koji radi na principu infracrvene svetlosti i analognog napona koji pokazuje udaljenost, što ga čini veoma jednostavnim za korišćenje. Jedan od ovih senzora je prikazan na slici 3.3.1.



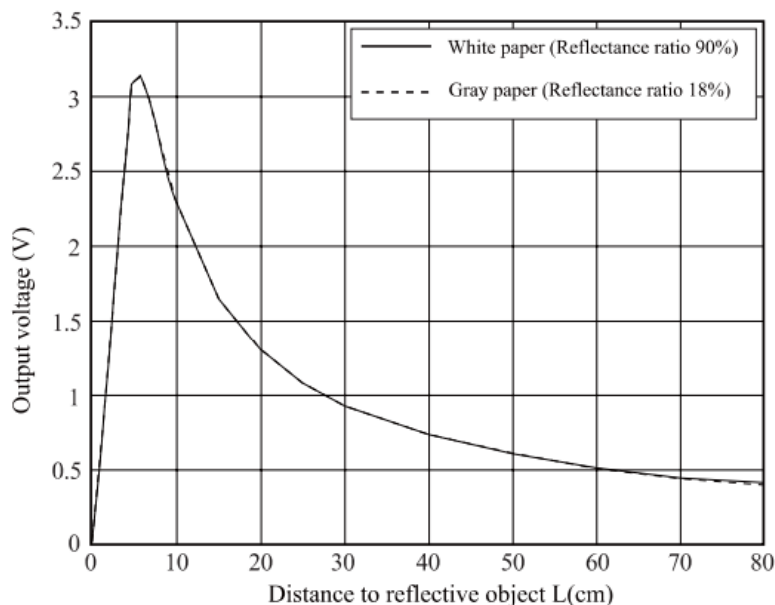
Slika 3.3.1. GP2Y0A21YK0F IR senzor daljine [3]

U svrhe ovog projekta korišćen je konkretno upravo senzor GP2Y0A21YK0F. Ovaj senzor je sačinjen od integrisane kombinacije detektora osetljivog na poziciju (PSD *engl. Position Sensitive Detector*), diode koja emituje infracrvenu svetlost (IRED *engl. Infrared Emitting Diode*), i kola za obradu signala.

Ovaj senzor koristi trougaoni metod za detekciju distance objekta, te ako se zrak svetlosti koju on konstantno emituje reflektuje od objekta, ona se vraća u detektor i stvara trougao između tačke refleksije, emitera i detektora. Upadni ugao reflektovane svetlosti varira u zavisnosti od udaljenosti od objekta.

Povezivanje sa mikrokontrolerima je intuitivno i jednostavno. Jedan analogni izlaz se može povezati na analogno-digitalni pretvarač za merenje udaljenosti ili se izlaz može povezati na komparator za detekciju praga.

Na slici 3.3.2 je prikazano da reflektivnost predmeta ne utiče ni u kom smislu na napon koji se generise na izlazu senzora na osnovu udaljenosti predmeta.



Slika 3.3.2. Grafik zavisnosti napona izlaza od reflektivnosti i udaljenosti predmeta [3]

Kako na njegovom izlazu dobijamo odziv u vidu napona u skladu sa daljinom detekcije predmeta, on se može koristiti i kao senzor blizine.

Opseg detekcije jednog ovakvog senzora obično varira od 10 do 80cm.

U svrhe ovog projekta, a zbog pozicije detektora i diode na senzoru, dodatno smo isprojektovali držač za konkretni Sharp senzor 3D štampom. Kako je njegova glavna uloga da spreči da tenk naleti na prepreku direktno ispred njega, pozicioniran je na obodu uređaja. Odavde on emituje zrak svetlosti koji se, ako se naleti na prepreku koju treba da zaobiđe, reflektuje i šalje informaciju o tome tenku.

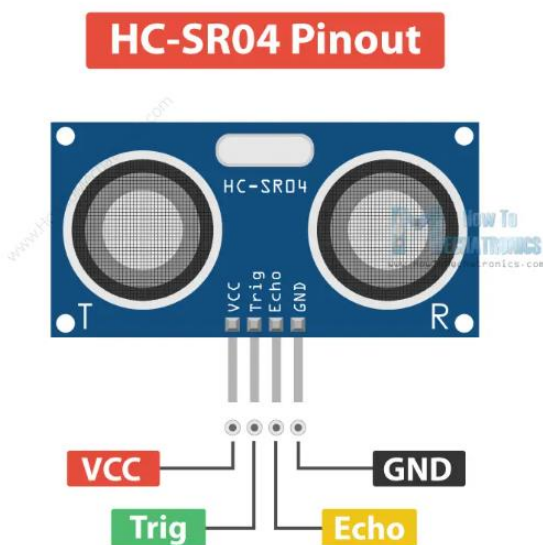
### 3.4. HC-SR04 ultrazvučni senzor

Ultrazvučni senzor HC-SR04 koristi sonar za određivanje udaljenosti od objekta. Ovaj senzor očitava od 2 do 400cm sa tačnošću od 0.3cm, što ga čini prikladnim za testiranje ovakvih projekata u početnim fazama. Pored toga, ovaj modul dolazi sa ultrazvučnim modulima predajnika i prijemnika. Na slici 3.4.1 se vidi fizički prikaz datog senzora.



Slika 3.4.1. Fizički izgled HC-SR04 [4]

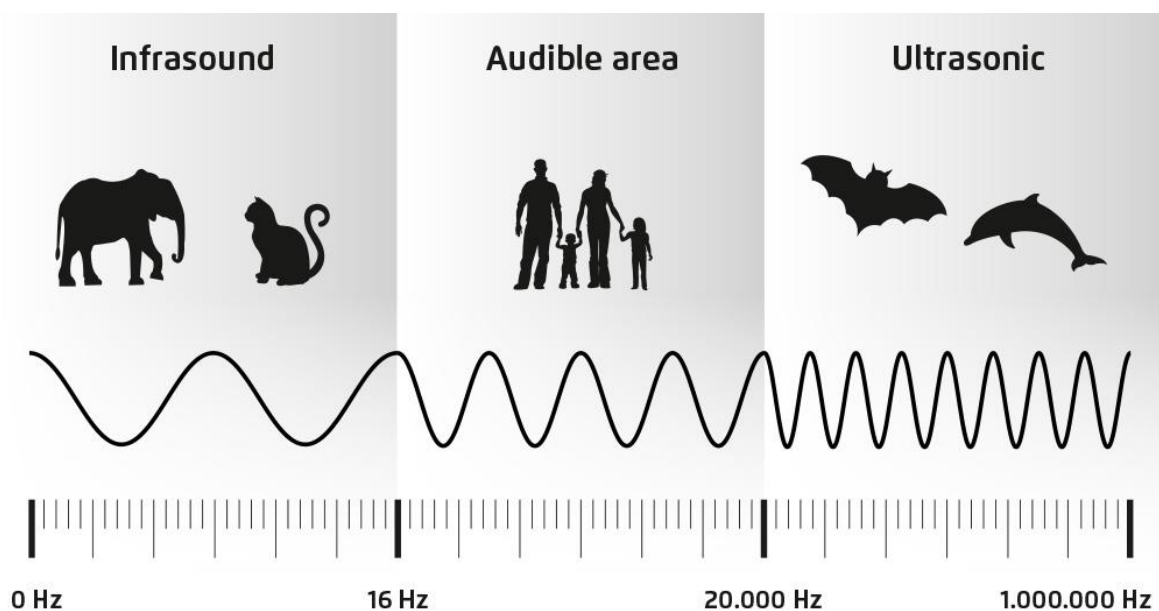
Na slici u nastavku je prikazano ožičenje zajedno sa tabelom specifikacija koje su najbitnije za uzeti u obzir prilikom korišćenja ovog senzora.



Operating Voltage	5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Min Range	2cm / 1 inch
Max Range	400cm / 13 feet
Accuracy	3mm
Measuring Angle	<15°
Dimension	45 x 20 x 15mm

Slika 3.4.2. Ožičenje i tabela sa specifikacijama HC-SR04 [4]

Princip rada ovog senzora je omogućen zahvaljujući tome što sonar, kao sistem za navigaciju, komunikaciju ili detekciju objekta, u ovom slučaju za svoj rad koristi prostiranje akustičnih talasa. Frekvencije talasa koje se koriste u primenama sonara se kreću od infrasoničnih do ultrasoničnih (slika 3.4.3), a kako je radna frekvencija ovog senzora 40KHz, te je rad ovog digitalnog ultrazvučnog senzora omogućen sonarom.

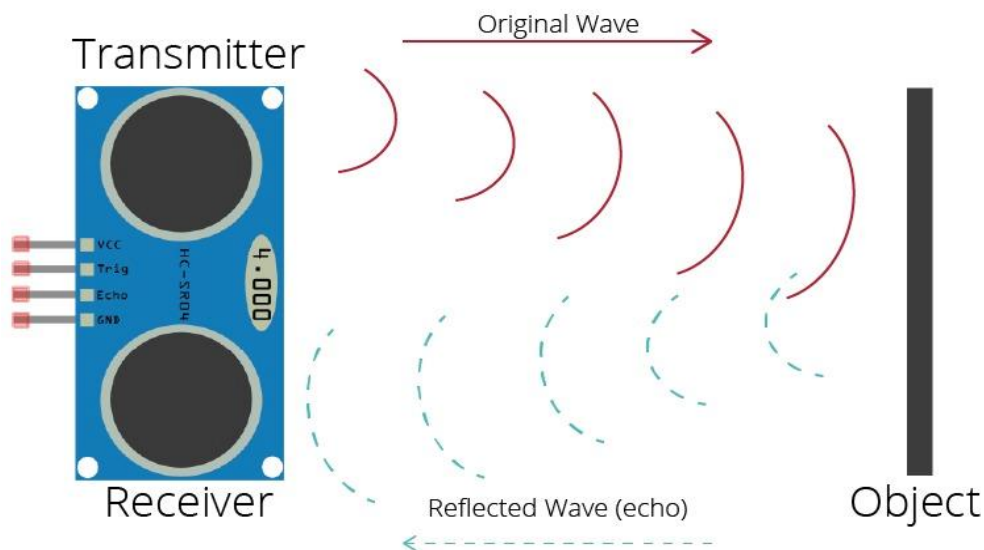


*Slika 3.4.3. Opseg frekvencija sonara [4]*

Ultrazvučni predajnik (*TRIG pin*) emituje zvuk visoke frekvencije od 40KHz koji zatim putuje kroz vazduh, te ako pronađe objekat, vraća se nazad u modul.

Ultrazvučni prijemnik (*ECHO pin*) prima reflektovani zvuk, tj eho.

Na slici u nastavku je prikazan upravo opisani princip rada datog ultrazvučnog senzora.



Slika 3.4.4. Princip rada senzora HC-SR04 [4]

Vreme između prenosa i prijema signala nam omogućava da izračunamo udaljenost od objekta, zato što znamo brzinu zvuka kroz vazduh koja na 20°C iznosi 343m/s. Tražena udaljenost od objekta se računa na osnovu formule koja je data u nastavku:

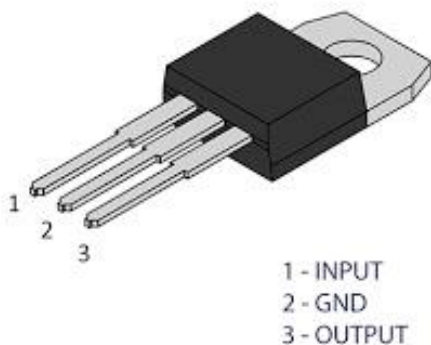
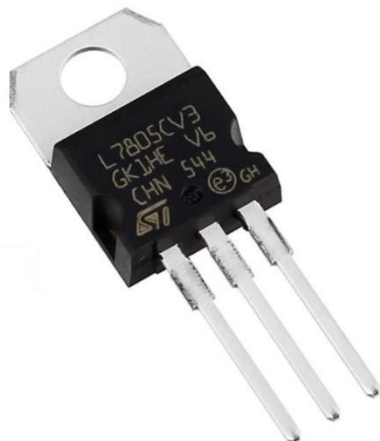
$$\text{distance to an object} = \frac{(\text{speed of sound in the air}) * \text{time}}{2}$$

U ovom projektu iskorišćena su dva ultrazvučna HC-SR04 senzora koja su postavljena uz desnu ivicu ka suprotnim ćoškovima tenka, kako bi im se omogućilo da konstantno vode računa o tome da se tenk kreće uz površinu zida i to na bezbednoj udaljenosti.

### 3.5. LM7805 regulator napona

Izvori napona u kolu mogu da imaju fluktuacije, što dovodi do toga da ne obezbeđuju fiksnu vrednost napona na izlazu. LM7805 je regulator napona koji održava izlazni napon na konstantnoj vrednosti od 5V. On pripada seriji 78xx konstantnih izlaznih naponskih regulatora i predstavlja odličnu priuštiviju varijantu regulatora ove vrste za primenu u projektima ovog tipa.

Na slikama ispod je dat prikaz fizičkog izgleda LM7805, kao i njegovo ožičenje.



Slika 3.5.1. Fizički izgled LM7805 [5]

Slika 3.5.2. Ožičenje LM7805 [5]

Broj pina	Pin	Funkcija	Opis
1	INPUT	Ulazni napon (7V-35V)	Na ovom pinu se regulatoru dodeljuje neregulisani napon
2	GND	Uzemljenje (0V)	Ovaj pin je neutralan i za ulaz i za izlaz podjednako
3	OUTPUT	Regulisani izlazni napon (4.8V-5.2V)	Ovaj pin daje regulisanih 5V

Između napona na ulazu i izlazu komponente postoji velika razlika, koja što je veća rezultuje većim zagrevanjem komponente. Iz ovog razloga, ukoliko regulator nema hladnjak može doći do kvara. Ukoliko hladnjak ne postoji, regulator i dalje može da funkcioniše bez kvara ukoliko se uvedu ograničenja u vidu dužine rada, kao i ograničenja napona na maksimalno 2V-3V iznad izlaznog napona.

Maksimalna efikasnost uređaja se ostvaruje kada je na ulazu dovedeno 7.2V.

U nastavku je data formula preko koje se određuje veličina hladnjaka, kako bi se osiguralo da obuhvata dovoljnu količinu energije koja se disipira na uređaju.

$$heat\ generated = ((input\ voltage) - 5) * output\ current$$

Elektrolitski kondenzator se koristi za smanjenje fluktuacija napona u različitim uređajima za filtriranje.

Koriste se keramički kondenzatori od 100nF paralelno sa obe strane regulatora da bi suzbili visoke frekvencije.

U ovoj realizaciji nije korišćen hladnjak zbog prostora na ploči kao i zbog toga što razlika napona na ulazu i izlazu komponente nije velika.

### 3.6. DC motor sa četkicama 33GB-520-18.7

Ovo je motor jednosmerne struje sa tri namotaja na rotoru i dve četkice, tj BDC (engl. *Brushed DC*) motor, čiji je spoljašnji i unutrašnji izgled dat na slici 3.6.1. Rotor je cilindričnog oblika i sastavljen je od tankih feromagnetskih limova kako bi se smanjili gubici koji nastaju usled vrtložnih struja. Namotaji su smešteni u žlebove rotora, a spojeni su preko lamela (krišaka komutatora) u rednu vezu topologije trougla.



Slika 3.6.1. Spoljašnji (levo) i unutrašnji (desno) izgled BDC 33GB-520-18.7 [6]

U ovakvom uređaju su eliminisani ravnotežni položaj i kratak spoj izvora napajanja. Pretpostavka je da su tri namotaja dovoljna kako moment i indukovana EMS (elektromotorna sila) ne bi zavisili od ugaonog položaja rotora.

Jednosmerna struja se dovodi na rotor preko četkica koje su u kontaktu sa lamelama, pri čemu se lamele okreću zajedno sa rotorom. Kontrola brzine DC motora se vrši promenom visine napona, dok se promena smera vrši promenom smera struje kroz namotaje motora (mehaničkim putem - komutacijom uz pomoć komutatora na koji naležu četkice).

Najveći problem koji se javlja u primeni i održavanju konvencionalnih BDC motora je varničenje na karbonskim četkicama pa se četkice brzo habaju te ih je potrebno često menjati, a ovo takođe uzrokuje da se generišu elektromagnetne smetnje (zračenje).

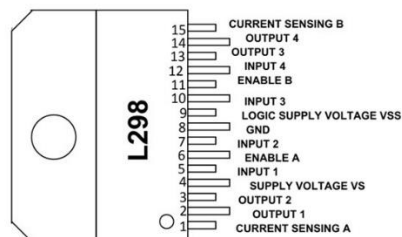
Za BDC motore generalno važi da: su veoma pristupačni, imaju veliki obrtni momenat, imaju jednostrano upravljanje, imaju mogućnost upravljanja brzinom obrtaja u širokom opsegu, imaju dobar obrtni momenat (dobru karakteristiku brzine).

Glavne osobine ovog motora su: napon od 6-12V, struja neopterećenog motora od 100mA, komutacija preko četkica, efikasnost IE4 sa opcijom rotacije od 170RPM do 350RPM.



### 3.7. L298N drajver

Fizički izgled je, kao i ožičenje L298N, dati su u nastavku.



Slika 3.7.1. Fizički izgled L298N [7]

Slika 3.7.2. Ožičenje L298N [7]

L298N drajver motora ima mogućnost da pokreće dva motora nezavisno zahvaljujući tome što poseduje dva H mosta, sa strujom do 2A za svaki motor, i napaja do 50V. Svaki motor koristi dva ulazna signala. Takođe je moguće povezati oba izlaza na čipu zajedno za snabdevanje do 4A struje za jedan motor, ako je potrebno. Koristan način za kontrolu motora bio bi sa modulacijom širine impulsa (PWM), tako da se brzina motora može podesiti. Ovo je posebno važno pri pokretanju, tako da se mogu polako ubrzavati da bi se izbeglo opterećenje motora.

Input 1	Input 2	Operacija
logička 1	logička 0	okretanje u pravcu kazaljke na satu
logička 0	logička 1	okretanje u pravcu suprotnom od kazaljke na satu
logička 1	logička 1	brzo zaustavljanje rotacije motora
0	0	<i>coasting</i>

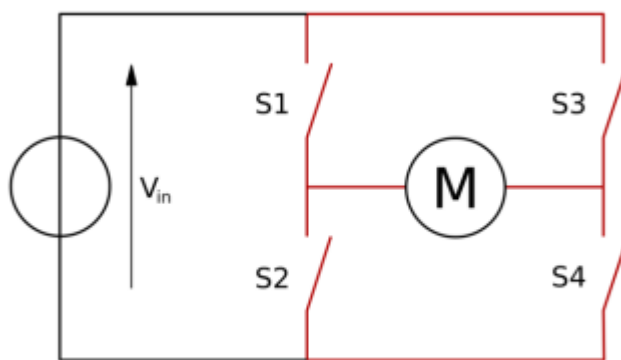
Eksterne diode su neophodne kada se koristi ovaj drajver. Prilikom uključivanja i isključivanja motora dolazi do skoka struje i ove diode štite mikrokontroler od ovih naglih strujnih skokova. Preporučuje se upotreba brzopromenljivih dioda, kao što su Šotkijeve diode.

Pinovi *Sense* i *Enable* su važni za pravilno povezivanje i ne treba ih zanemariti. Da bi se omogućila funkcionalnost bilo kog motora, *enable* pinovi moraju biti postavljeni na logičku jedinicu. Ako je podešeno na logičku nulu, motori će uvek *coast*-ovati, bez obzira na ulazne signale.

Pinovi SEN\_A i SEN\_B služe za merenje struje koja prolazi kroz svaki motor, pri čemu SEN\_A prati izlaze 1 i 2, SEN\_B prati izlaze 3 i 4. Ovi pinovi će imati potencijal napona, koji se šalje mikrokontroleru, a na osnovu korišćenog otpora i očitano napona, može se odrediti struja.

Pokretanje čak i jednog motora može izazvati mnogo toplote na L298N. Pokretanje dva motora sa velikom strujom, može dovesti do toga da čip uđe u „termalno isključenje“. IC se automatski isključuje da zaštiti unutrašnje komponente. Ovo se posmatra kao sporadično motoričko ponašanje. Ako se očekuje da motori rade za dugo vremena, hladnjak treba da bude priključen na IC.

Kontrola motora se generalno vrši pomoću H mosta, čija je principna šema prikazana na slici 3.7.3.



Slika 3.7.3. H most [7]

Kombinacijom uključenih prekidača se dobija određeno ponašanje motora, pri čemu su uvek zatvorena dva prekidača:

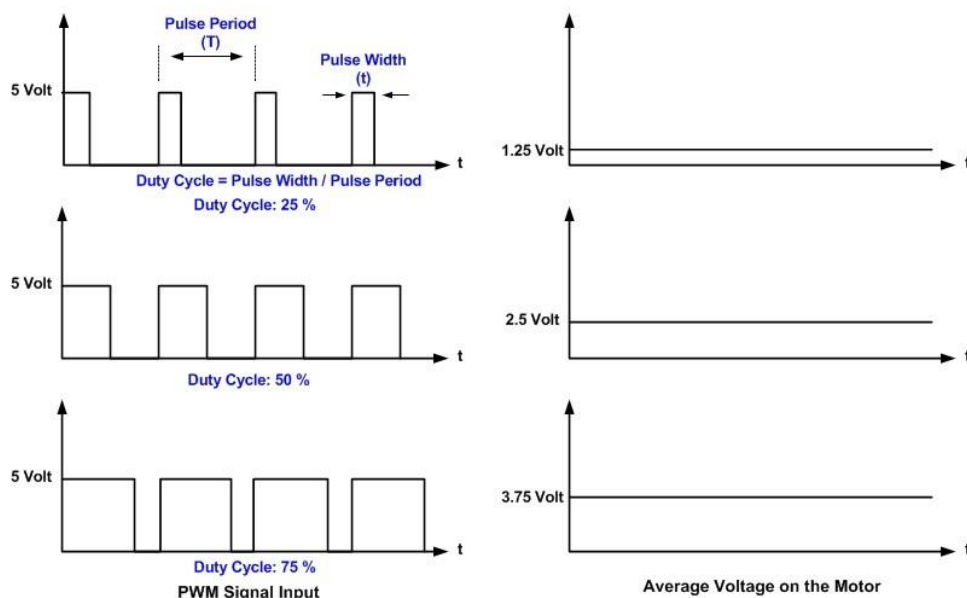
- ❖ S1 = zatvoren , S2 = zatvoren ----- kratak spoj!
- ❖ S1 = zatvoren , S3 = zatvoren ----- motor koči
- ❖ S1 = zatvoren , S4 = zatvoren ----- okreće se u smeru A
- ❖ S3 = zatvoren , S4 = zatvoren ----- kratak spoj!
- ❖ S3 = zatvoren , S1 = zatvoren ----- motor koči
- ❖ S3 = zatvoren , S2 = zatvoren ----- okreće se u smeru B

Do sada smo razmatrali samo promenu smera uz pomoć H mosta, ali sada možemo da razmotrimo kontrolu brzine preko H mosta.

Glavna ideja je da se prekidači (tranzistori) S1-S4 zatvaraju i otvaraju dosta brzo i onda će motor na sebi imati napon koji ide od VCC do 0V i ponovo na VCC veoma brzo. Zbog osobina motora on će na sebi videti samo srednju vrednost tog napona. To rezultuje time da manipulacijom vremena koliko prekidač provodi, a koliko ne provodi možemo kontrolisati napon na njemu. Čim kontrolišemo visinu napona kontrolišemo i brzinu. Tako modulisan signal koji nosi informaciju u obliku koliko vremena je na logičkoj jedinici, a koliko na logičkoj nuli naziva se širinsko-impulsno modulisan signal (PWM signal).

Bitno je napomenuti da je perioda takvog signala konstantna, menja se samo vreme koliko je taj signal na logičkoj jedinici a koliko na nuli. Kod PWM signala definiše se parametar faktor ispune (engl. *duty cycle*) i on predstavlja odnos vremena kada signal ima vrednost logičke jedinice i periode signala.

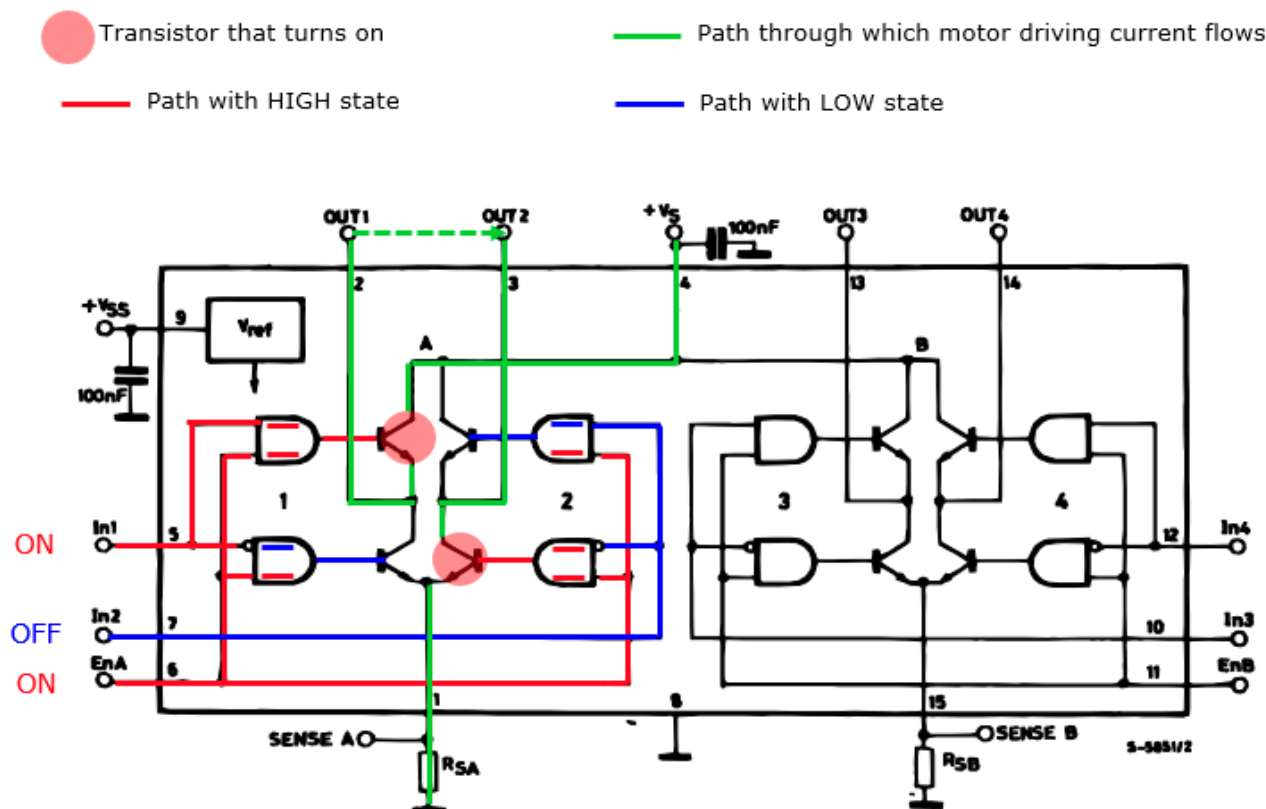
Na slici ispod se vidi kako izgleda napon koji motor vidi za različite PWM signale.



Slika 3.7.4. PWM dijagram [7]

U ovom projektu nije korišćen hladnjak za drajver zbog mesta na ploči kao i zbog toga što motor ne radi u svrhe zadatka duži period vremena, pa neće doći do termalnog isključenja.

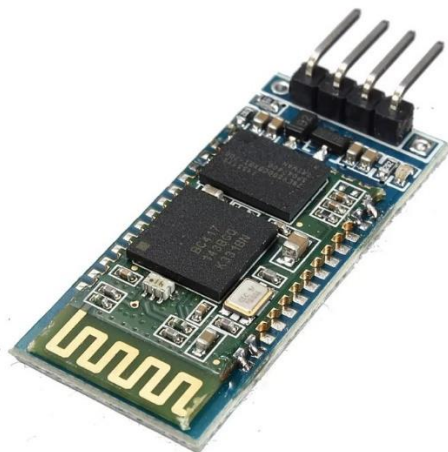
Na slici 3.7.5 je prikazan dualni H most kakav se nalazi u konkretnom drajveru koji je ovde iskorišćen. U zavisnosti od signala koji se nalaze na ulaznim pinovima drajvera, motor se okreće u predefinisanim smerovima. Smerovi okretanja su već objašnjeni u ovom poglavlju.



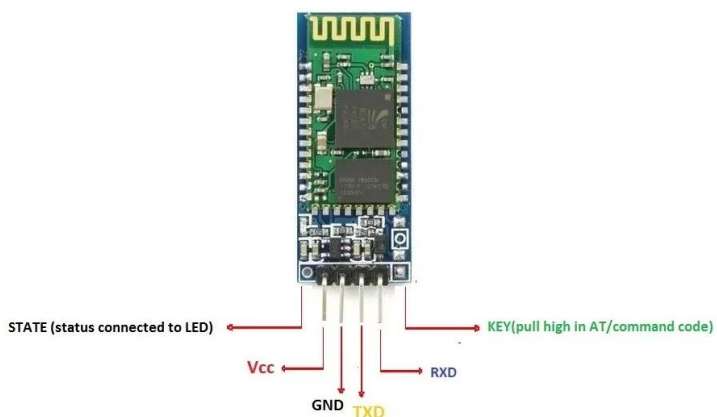
Slika 3.7.5. Dualni H most [7]

### 3.8. Bluetooth modul HC-06 i UART

Bez ikakve izmene u kodu moguće je koristiti uobičajenu „ožičenu“ UART komunikaciju, kao i bežičnu putem *Bluetooth* modula HC-06 (slika 3.8.1 i ožičenje slika 3.8.2), proizvođača *Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd.* Ovaj uređaj je baziran na CSR BC04 *Bluetooth* tehnologiji. Radi se o *Bluetooth* modulu klase dva koji koristi *Bluetooth* 2.1 tehnologiju plus *EDR* modul.



Slika 3.8.1. Fizički izgled HC-06 [8]

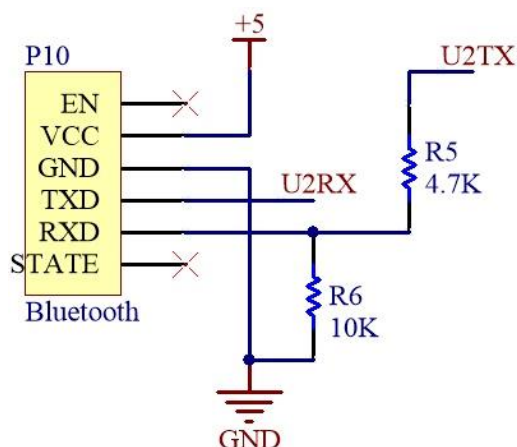


Slika 3.8.2. Ožičenje HC-06 [8]

Ovaj modul poseduje integrisanu *Master* i *Slave* model, integrisanu antenu na čipu, 8MB *Flash* memorije, a maksimalna brzina prenosa podataka se kreće u opsegu od 2Mbps do 3Mbps. Radna frekvencija se kreće u opsegu od 2,4GHz do 2,48GHz. Podrazumevana brzina prenosa podataka mu je 9600baud, a maksimalna je 1382400baud. Većina uređaja ne može da podrži ovakvu brzinu, već je ograničena sa 115200baud. Brzina prenosa može da se menja pomoću AT komandi. U ovom projektu je korišćena podrazumeva brzina prenosa podataka.

Model	LED displej	Status
<i>Master</i>	Brzo treptanje (po 150ms u uključenom i isključenom stanju)	Traži <i>Bluetooth</i> uređaje
	5 sekundi sijanja nakon 2 sekunde u ugašenom stanju	Povezuje se
	Konstantno svetli	Povezano
<i>Slave</i>	Sporo treptanje (po 800ms u uključenom i isključenom stanju)	Čeka povezivanje
	Konstantno svetli	Povezano

Iz razloga što je napon na kom radi mikrokontroler dsPIC30F4013 jednak 5V, a napon napajanja *Bluetooth* modula iznosi 3.3V, naponski razdelnik (slika 3.8.3) mora da bude uključen u realizaciji komunikacije.



Slika 3.8.3. Naponski razdelnik kod *Bluetooth* modula

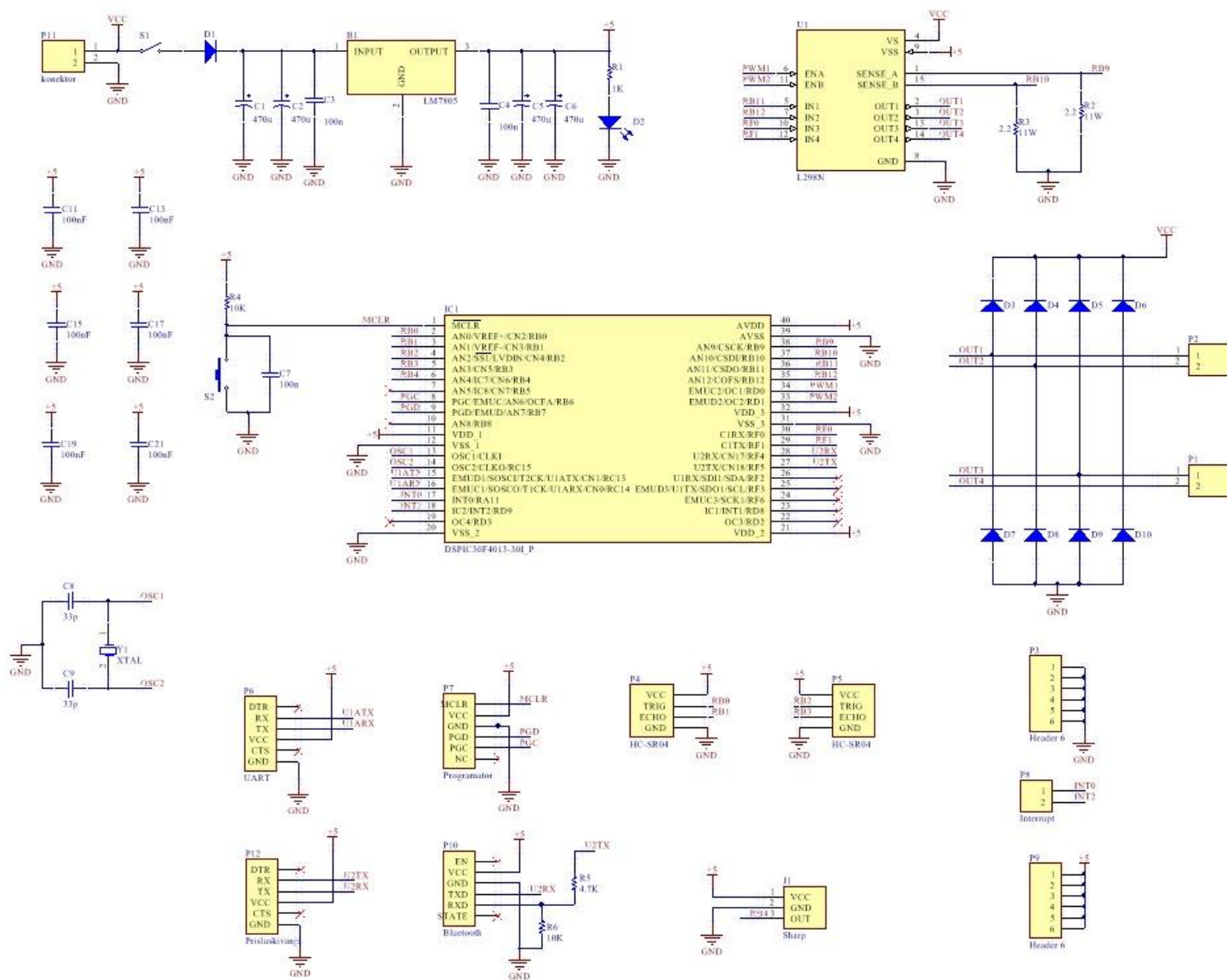
Za ispis i slanje poruka korišćenjem *Bluetooth* veze neophodno je instalirati terminal na telefonu ili *Windows*-u.

U okviru ovog projekta je omogućena i serijska komunikacija preko UART-a 1 koristeći alternativne pinove. Kroz samu implementaciju zadatka se serijska komunikacija ne koristi iz razloga što se u zadatku zahtevalo korišćene specifičnog *Bluetooth* modula, ali je dodata kao dodatna opcija u načinu komunikacije između korisnika i robota. Komunikacija korisnika i *Bluetooth* modula se ovde ostvaruje preko aplikacije na mobilnom telefonu kojom korisnik šalje neku od dve moguće komande robotu. Robot preko terminala na aplikaciji nakon svake izvršene radnje javlja korisniku putem poruke koja je tačno radnja izvršena u kom momentu, i to:

Poruka korisniku sa robota	Akcija koja uzrokuje slanje poruke
"Robot kreće"	kada dobije komandu "KRENI"
"Robot je stao"	kada dobije komandu "STANI"
"Postavljen prema desnoj ivici"	kada se iznivelišu ultrazvučni senzori
"Ide pravo"	kada nema prepreku ispred
"Skreće levo"	kada naiđe na prepreku ispred
"Skrenuo je levo"	kada je skrenuo ulevo
"Skreće desno"	kada prednji ultrazvučni senzor više ne vidi zid
"Skrenuo je desno"	kada skrene desno

## 4. Projektovanje ploče u programskom alatu *Altium Designer*

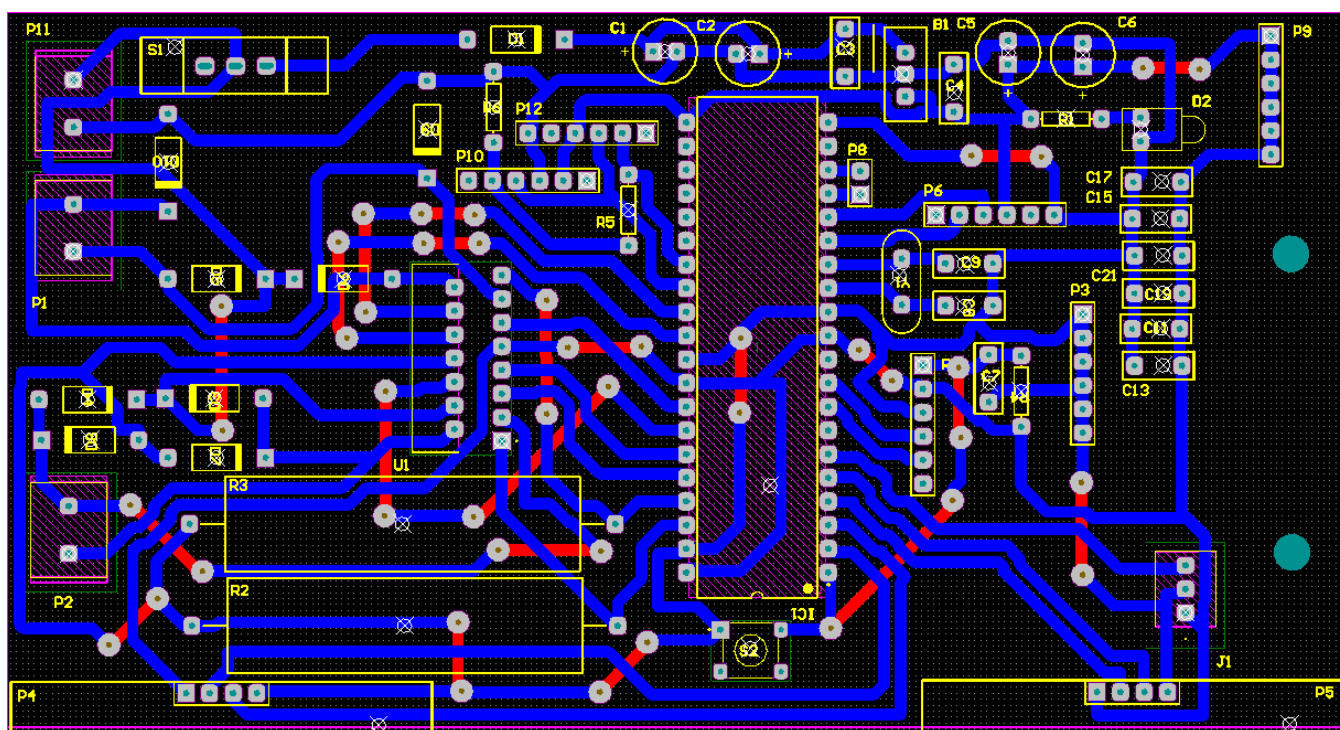
Šematski prikaz (slika 4.1) i leajut (engl. *layout*) pločice koja se postavlja na tenk je realizovana uz pomoć programskog alata *Altium Designer*.



Slika 4.1. Šematski prikaz realizovane pločice



Futprint (engl. *Footprint*) predstavlja određeni prostor koji zauzima komponenta na ploči. Zbog neodgovarajućih veličina koje su bile automatski ponuđene u sklopu programa, bilo je neophodno ručno merenje i crtanje, što se vidi po pojedinim komponentama na lejauiu. Zbog nemogućnosti povezivanja svega u donjem sloju, koriste se kratkospojnici koji su na slici 4.2 prikazani crvenom linijom. Ovi kratkospojnici se svi nalaze u gornjem sloju.



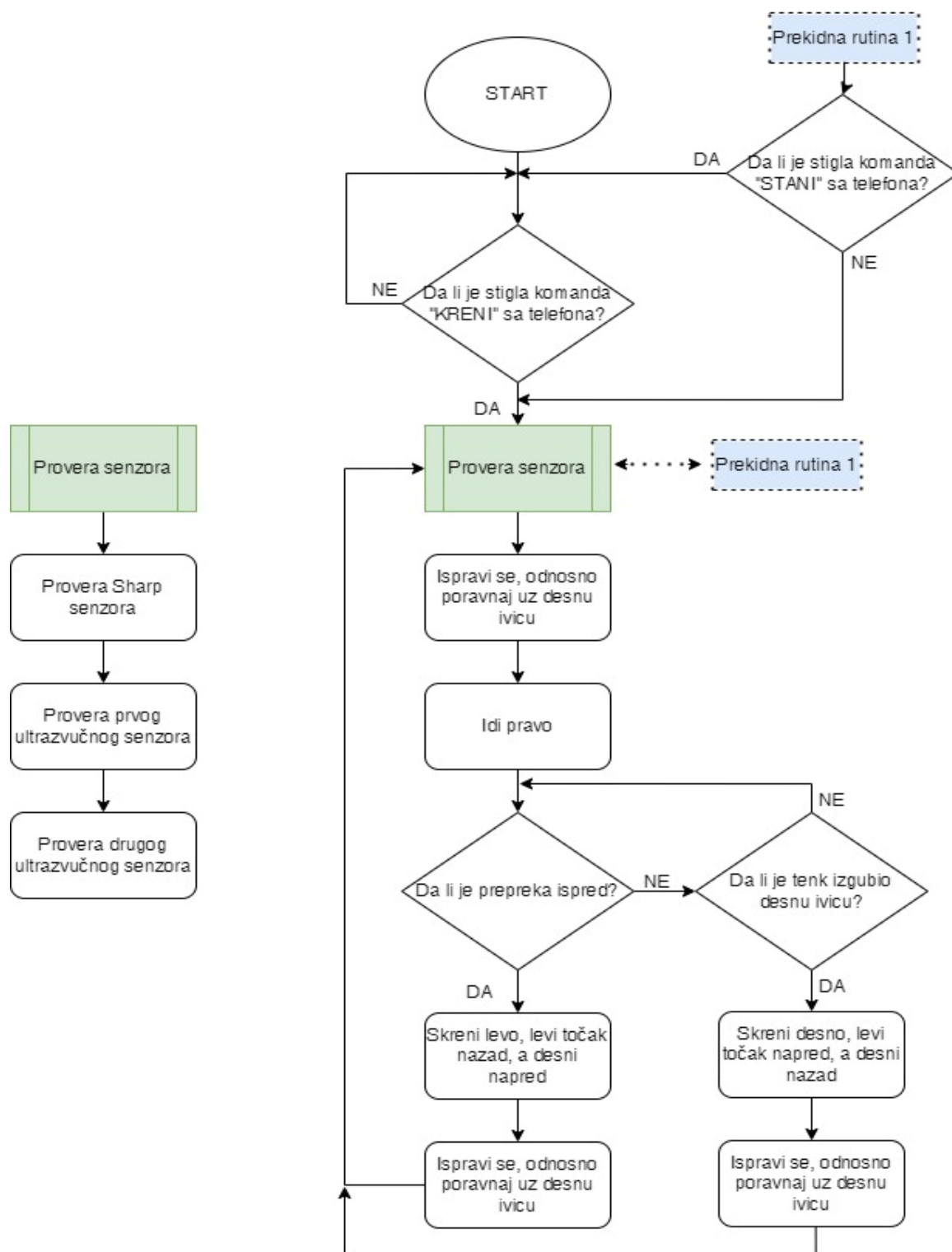
Slika 4.2. Lejaut realizovane pločice

Na datom lejauiu se jasno vide sve isprojektovane putanje bakarnih žica, rupa za umetanje nožica komponenata koje će se lemiti na poču, kao i pozicije komponenata na kojima će se naći iste.

Neke od najbitnijih celina na ploči jesu dva kruga uz desnu ivicu ploče koja predstavljaju mesto za bušenje rupe za držač za Sharp, kao i uz levu ivicu ploče P11 konektor za napajanje, P1 i P2 konektori za motor. Takođe, mesta za komponente označena sa P4 i P5 predstavljaju mesta za ultrazvučne senzore HC-SR04, a u samom centru se nalazi mesto za mikrokontroler. Uz mikrokontroler paralelno s njim se nalaze P3 priključci za programator/debuger i P6 priključci za *Bluetooth* modul.



## 5. Algoritam rada



Slika 5.1 Algoritam rada sistema

## 6. Realizacija

### 6.1. Korišćeni pinovi

U tabeli u nastavku dat je spisak pinova koji su korišćeni na mikrokontroleru radi realizacije projekta za svaku komponentu posebno, kao i uloga svake od komponenata zbog koje je bilo neophodno koristiti svaku od njih zbog funkcionalnosti.

	Naziv korišćene komponente	Uloga	Korišćeni pinovi
1	<i>dsPIC30F4013</i>	Mikrokontroler	/
2	<i>MPLAB PICKit 3</i>	Debager i programator	RB6, RB7
3	Sharp <i>GP2Y0A21YK0F</i> analogni IR senzor daljine	Detekcija prepreke ispred robota	RB4
4	<i>HC-SR04</i> ultrazvučni senzor	Detekcija prepreke sa desne strane robota	RB0, RB1, RB2, RB3
5	<i>L298N</i> driver	Upravljanje motorom	RD0, RD1, RB11, RB12, RF0, RF1, RB9, RB10
6	<i>Bluetooth</i> modul <i>HC-06</i>	Bežična komunikacija	U2RX, U2TX
7	<i>UART</i> serijska komunikacija	Komunikacija „preko žice“ koja se može i ne mora koristiti	U1ARX, U1ATX

## 6.2. Izrada ploče

Nakon što je kolo isprojektovano u potpunosti u programskom alatu *Altium Designer*, ono je spremno za transfer na odabranu ploču odabranim postupkom transfera.

U svrhe ovog projekta korišćena je vitroplast ploča, sačinjena od izolacionog materijala na koju je sa jedne strane nanesen tanak sloj bakra. Za transfer maske na istu, ona je štampana na foto-osetljivu foliju sačinjenu od dva zaštitna sloja sa obe strane, između kojih se nalazi sloj osetljivog foto laka.

U ovom slučaju je korišćen štampač u kojem se automatski vrši transfer maske sa folije na bakarnu površinu ploče. Unutar ovog aparata se ploča polaže na staklo, preko nje ide termo folija, zatim drugi komad stakla koji pritiska foliju uz pločicu, pri čemu su komadi stakla ugrađeni u sam aparat, pa se oni postavljaju prostim zatvaranjem aparata. Nakon ovoga, otpočinje u njemu proces osvetljavanja pritiskom na par dugmića za podešavanje tačnih parametara procesa, nakon čega je pločica spremna za razvijanje.

Kako bi otpočeo proces razvijanja, ploča se ubacuje u plitku plastičnu posudu u kojoj se nalazi rastvor *Natrijum Hidroksid-a* ( $\text{NaOH}$ ) i hladne vode tako da je potopljena u potpunosti sa maskom koja gleda na gore. Pločica u rastvoru ostaje par minuta, sve dok se na njoj ne pojavi crtež štampanog kola, sa jasno vidljivim vodovima bez prekida. Pločica se ispere vodom i dobro osuši. Sledeći korak je nagrivanje.

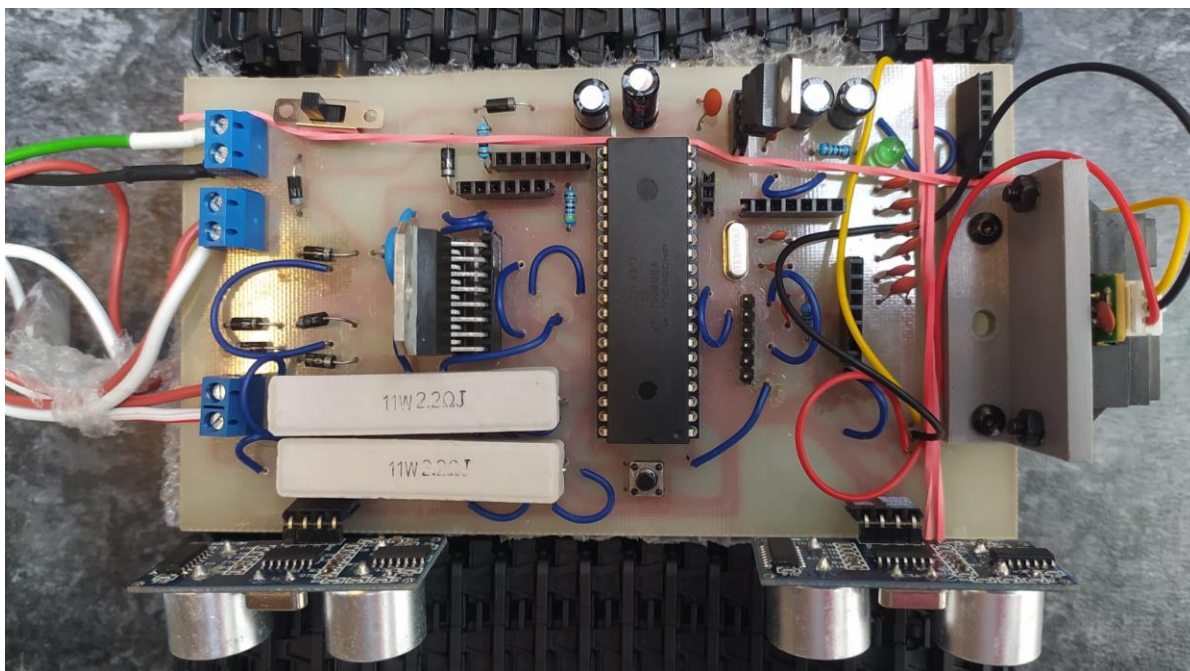
Za nagrivanje je korišćen čist *Feri Hlorid* ( $\text{FeCl}_3$ ). Ova supstanca se sipa u plitku plastičnu posudu i primeni se na pločicu na isti način kao i kod procesa razvijanja, te krene da nagriza sloj bakra koji nije ostao zaštićen mastilom. Nakon što nestane sav nepotrebnii bakar i ne postoji nijedan kratak spoj između veza, pločica se temeljno i pažljivo ispere vodom, nakon čega je spremna za bušenje rupa i lemljenje nožica komponenata kroz iste. Bitno je naglasiti da *Feri Hlorid* može prilikom nagrivanja da zađe ispod same maske u nekim većinski zanemarljivim dimenzijama, te se zbog ovoga prevencije radi, ako je moguće i ima mesta na ploči, veze projektuju par milimetara šire nego što je to potrebno.

Nakon izrade pločice, potrebno je uzeti vodenu šmirglu i nežnim pokretima skinuti zaštitni sloj koji se nalazi na pločici. Skidanjem ovog dodatnog sloja omogućeno je lakše lemljenje.

Zaštita ploče nije neophodan, ali je poželjan korak koji se vrši nakon celog procesa izrade iste da bi se bakar zaštitio od oksidacije. Za amaterske potrebe najjednostavnije je pločicu premazati rastvorom alkohola i kalafonijuma ili nitrorazređivača i kalafonijuma. Ovim činom se pored zaštite ostvaruje i lakše lemljenje, pa je to vrlo popularan metod, koji je korišćen i u ovom projektu.

### 6.3. Kompletiran robot

Izrađena ploča, koristeći postupak iz poglavlja 6.2, sa svim rupama izbušenim i komponentama postavljenim dato projektovano mesto, je prikazan na slici 6.3.



Slika 6.3. Gotova izrađena ploča (pogled odozgo)

Sa slike se može zaključiti da je sve urađeno i povezano kako je i bilo isprojektovano u programskom alatu. Uz levu ivicu (zadnji deo tenka) se dovodi napajanje odmah uz priključke (engl. *terminal block*) za motor. Uz donju ivicu (desna strana tenka) se nalaze dva HC-SR04 senzora, dok se uz desnu ivicu (glava tenka) nalazi analogni Sharp GP2Y0A21YK0F senzor. U centru robota je pozicioniran mikrokontroler dsPIC30F4013, paralelno s njim prema zadnjem delu tenka se nalazi drajver L298N, a sa druge strane mikrokontrolera je postavljen i priključak za konekciju *Bluetooth* modula koji svoju funkcionalnost ostvaruje preko *UART*-a 2. Pored ovog modula takođe postoje i priključci (engl. *headeri*) koji su pozicionirani tik uz mikrokontroler sa strane gde je i drajver i oni omogućavaju korišćenje serijske komunikacije preko *UART*-a 1 umesto bežične putem *Bluetooth*-a (spoljašnji), kao i korišćenje *Bluetooth*-a žicom preko serijske komunikacije (unutrašnji). Ovo se ne koristi u sklopu ovog projekta, ali je dodato kao pogodnost za korisnika. U gornjem desnom uglu postoji i dioda koja signalizira da je napon napajanja doveden ispravno nakon naponskog regulatora LM7805, koji je smešten u gornjem desnom uglu mikrokontrolera. Priključak koji služi za konekciju programatora/debugera MPLAB PICit 3 se nalazi paralelno sa mikrokontrolerom, gledano prema glavi tenka. U donjem levom uglu imamo otpornike koji se koriste za merenje struje motora.

## 6.4. *Main.c*

Osnovne funkcije u sklopu dokumenta *main.c* su:

- ❖ void *provera()* - gleda se da li je robot primio naredbu "STANI", pa ako jeste, šalje povratnu informaciju na terminal telefona "Robot je stao".
- ❖ void *Delay\_us()* - funkcija za kašnjenje u mikrosekundama koja se koristi za signal TRIG kod ultrazvučnih senzora.
- ❖ void *Delay\_ms()* - funkcija za kašnjenje u milisekundama koja se koristi za kašnjenje kod DC motora.
- ❖ void *sharp()* - kontroliše da li se je robot naleteo na prepreku ispred sebe na određenoj razdaljini.
- ❖ void *ultra1()* - funkcija za merenje udaljenosti zadnjeg bočnog senzora.
- ❖ void *ultra2()* - funkcija za merenje udaljenosti prednjeg bočnog senzora.
- ❖ void *desni\_stani()* - zaustavljanje desnih točkova robota.
- ❖ void *levi\_stani()* - zaustavljanje levih točkova robota.
- ❖ void *pauza()* - funkcija koja obezbeđuje da se motori zaustavljaju na trenutak nakon promene režima kretanja da ne bi prevelika struja oštetila motor.
- ❖ void *pauza\_desni()* - funkcija koja obezbeđuje da se desni točkovi zaustavljaju na trenutak nakon promene režima kretanja da ne bi prevelika struja oštetila motor.
- ❖ void *desni\_napred()* - desni točkovi se pokreću unapred.
- ❖ void *desni\_nazad()* - desni točkovi se pokreću unazad.
- ❖ void *levi\_napred()* - levi točkovi se pokreću unapred.
- ❖ void *levi\_nazad()* - levi točkovi se pokreću unazad.

U int main delu dokumenta definisani su ulazni i izlazni pinovi kao i korišćeni tajmeri. U ovom projektu su iskorišćeni svih pet tajmera i to tajmer 1 za *TRIG* signal koji se šalje na oba ultrazvučna senzora, tajmer 2 koji diktira trajanje PWM signala, tajmer 3 koji omogućava kašnjenje kod DC motora, i tajmeri 4 i 5 koji su zaduženi za *ECHO* signal kod ultrazvučnih senzora posebno. U okviru njega je takođe implementirana funkcionalnost koja je već objašnjena tabelom na kraju poglavlja 3.8.

## 7. Zaključak

Izrađeni projekat potpuno odgovara unapred postavljenim ciljevima koje treba da ispuni, i ima zadovoljavajuću funkcionalnost. Osim navedenih zahteva, takođe sadrži i dodatne pogodnosti korišćenja za korisnika, te ima osvrt i na lakoću upravljanja koja je uvek jedan od glavnih prioriteta. Takođe, jedan od glavnih zadataka jeste bila automatizacija robota koji nakon dodeljene komande treba da u potpunosti sam može da se snađe u datim uslovima i vrši zadatak funkcionalnost dok korisnik ne mora da obraća pažnju na njega, a da pritom bude siguran da je sve u najboljem redu.

Detaljno su opisane komponente koje su korišćene, kao i najbitniji delovi koda, tako da je uvek moguće da korisnik samostalno prilagodi sistem svojim potrebama, kako hardverski, tako i softverski. Obzirom da se svaka okolina i podloga razlikuje, veoma je bitno napraviti i uređaj koji nema fiksne vrednosti već omogućava slobodu korisniku da u skladu s okolnostima prilagodi samostalno vrednosti unutar koda, npr. promena brzine okretanja točkova, tj. faktor ispunje. Podloga mora biti takođe prilično ravna i bez sitnih smetnji u vidu kamenja, peska, šljunka... koji mogu dovesti do dodatnog proklizavanja ili mogu da zađu u neke komponente i kompromituju njihov ispravan i očekivan rad.

Neke od modifikacija van koda koje mogu da se izvrše od strane korisnika jesu postavljanje ultrazvučnih senzora na levoj strani robota, kako bi pratio levu stranu umesto desne. Trenutno, naš tenk nema mogućnost da postavi fiksnu distancu između prepreke i samog tenka, a u ovu svrhu se može implementirati PID regulacija.

Kako su hardverski implementirani otpornici velikih snaga uz pomoć kojih možemo da merimo struju kroz motor, može da se doda opcija i dodatne softverske implementacije koja bi omogućila merenje struje pomoću ovih komponenti. U ovom projektu nije bilo potrebe za implementacijom ove operacije, te iz tog razloga nije ni ubačena, ali je ostavljena kao opcija za eventualnu nadogradnju sistema u budućnosti.

Ono što predstavlja jednu od većih smetnji u samom kretanju tenka jeste to što se napajanje dovodi preko jako dugačkih provodnika na koje mora da se obrati pažnja da ne bi tenk naleteo na njih i skrenuo s puta. Problem koji zbog ovih provodnih žica može da nastane pored već navedenog jeste da ako je napajanje fiksno, dužina žica ograničava domet kretanja robota. Bolja alternativa bi bila korišćenje baterije za napajanje sistema, ali mi smo se opredelili da je ne koristimo zato što nemamo dovoljno mesta za istu.

Još jedan od problema jeste to što je težina ultrazvučnih senzora prevelika s obzirom na to da se oni postavljanju uspravno i oslanjaju samo na nožice koje se na njima nalaze. Ovo dovodi do toga da senzor pada, te je potrebno radi tačnog merenja distance robota od zida da se komponente ispravljaju. Ovaj problem se takođe dešava i sa programatorom i *Bluetooth* modulom.

Zbog veće efikasnosti bolje je koristiti prekidački regulator nego linearni. Kao zamena za trenutni naponski regulator LM7805 bolje je koristiti Buck konvertor napona.

Što se tiče izrade štampane ploče, u slučaju ovog projekta korišćene su jako štetne i opasne supstance koje jesu efektivne, ali nisu najsrećnije rešenje po zdravlje čoveka koji ih koristi. *Natrijum Hidroksid* je vrlo toksičan element i mora se paziti da ne dođe u direktnom dodiru sa kožom i očima zato što izaziva vrlo teške opekotine. Umesto njega se može koristiti Aceton za skidanje laka sa noktiju kao odlična alternativa za proces razvijanja filma na ploči ili *Natrijum Karbonat* u kombinaciji sa još nekoliko bezbednijih supstanci, koji je bezbedan za kožu i ne ostavlja nikakve posledice, osim u kontaktu sa očima. Za nagrivanje je korišćen *Feri Hlorid* ( $FeCl_3$ ) koji predstavlja neorgansku kiselinu, vrlo toksičnu i opasnu za upotrebu, te se mora voditi računa da se ne udišu gasovi koje ona otpušta prilikom korišćenja. Jedna od alternativa za nagrivanje bakra koja je organska i mnogo bezbednija bila bi npr. kombinacija *sol*, *limuntusa* i *Hidrogen* 3%.

Tokom izrade ovog projekta uvideli smo mogućnosti koje se mogu ostvariti uz slobodu biranja komponenti, okruženja, napajanja, veličine sistema, način kretanja, supstanci i postupaka izrade same štampane ploče... i zaključili smo da ovaj sistem može mnogo ekonomičnije, bezbednije i ekološki savesnije da se ostvari, uz prave alternative. Ono što se može istražiti kao dodatak na ovu funkcionalnost jeste da:

- ❖ prepreke ne moraju biti jedna u odnosu na drugu uvek pod pravim uglom;
- ❖ da se očitava veći vertikalni opseg senzorima pa da se detektuju i prepreke koje su sitnije;
- ❖ da se detektuju prepreke pa da se zaobiđu, te da robot nastavi kretanje istom putanjom i posle prepreke u skladu sa onom koju je i pre nje imao;
- ❖ da se ugradi na ploči kućište za umetanje baterija što manjih dimenzija i težina koje bi omogućile i kretanje neograničeno žicama i lako menjanje baterija nakon što se isprazne;
- ❖ da se komponente postavljaju na neki bolji i njima "lagodniji" način kako ne bi došlo do deformacije nožica istih, te i do kompromitovanja veza i signala koji se transmituju između njih i kontrolnih jedinica;
- ❖ postavljanje senzora sa obe strane robota kako bi mogao da detektuje eventualno naletanje neke pokretne prepreke na njega;
- ❖ dodavanje kamere na glavu robota kako bi korisnik mogao i da posmatra gde se kreće i na šta naleće isti, kao i da kasnije ima sačuvan taj snimak;
- ❖ dodavanje funkcije čišćenja, hvatanja štipaljka ili magnetom, sortiranje, skladištenje...

## 8. Literatura

[1] *Praktikum za vežbe iz Primenjene elektronike*, Vladimir Rajs, Novi Sad, FTN 2020.

[2] *PICkit 3*, <http://www.ic0nstrux.com/pickit-3-in-circuit-debugger>, [Pristupljeno: 21.06.2023.]

[3] *GP2Y0A21YK0F IR senzor daljine*,  
[https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf), [Pristupljeno: 21.06.2023.]

[4] *HC-SR04 ultrazvučni senzor*, <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>, [Pristupljeno: 21.06.2023.]

[5] *LM7805 regulator napona*, <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/7805-ic-voltage-regulator>, [Pristupljeno: 22.06.2023.]

[6] *BDC 33GB-520-18.7*, <https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/images/NASTAVA/PSIA/files/8-motori-jednosmerne-struje.pdf>, [Pristupljeno: 22.06.2023.]

[7] *L298N driver*,  
[https://sites.ualberta.ca/~delliott/ece492/appnotes/2013w/G14\\_L298N\\_Wiring/G14\\_L298NWiringAppNote.pdf](https://sites.ualberta.ca/~delliott/ece492/appnotes/2013w/G14_L298N_Wiring/G14_L298NWiringAppNote.pdf), [Pristupljeno: 22.06.2023.]

[8] *Bluetooth modul HC-06*,  
[https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/HC06%20Bluetooth%20Module%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC06%20Bluetooth%20Module%20Datasheet.pdf), [Pristupljeno: 23.06.2023.]

[9] *Postupak izrade štampane ploče*, <https://www.docdroid.net/x3AfZgo/foto-postupak-final-pdf>, [Pristupljeno: 23.06.2023.]