



# PROJEKAT IZ PRIMENJENE ELEKTRONIKE

## NAZIV PROJEKTA:

Autonomni robot koji prati levu ivicu lavirinta

## TEKST ZADATKA:

Projektovanje i izrada tenka veličine igračke koji obilazi oko lavirinta prateći levu ivicu korišćenjem dsPIC30F4013 mikrokontrolera i potrebnih periferija

## MENTOR PROJEKTA:

Dr Vladimir Rajs

## PROJEKAT IZRADILI:

Vidović David EE81/2019

Ostojić Bojana EE237/2019

Pozderović Ivana EE177/2018

Savić Aleksandra EE117/2019

## DATUM ODBRANE PROJEKTA:

Jun 2023.

# Sadržaj

1.	Uvod .....	3
2.	Analiza problema.....	3
3.	Opis detalja predmeta projekta.....	4
3.1.	Blok šema uređaja .....	4
3.2.	Algoritam rada .....	5
3.3.	Izrada i opis štampane pločice (PCB) .....	6
3.4.	Drajver L298 .....	9
3.5.	Ultrazvučni senzor HC-SR04 .....	10
3.6.	IR senzor Sharp GP2Y0A21YK0F .....	11
3.7.	UART/Bluetooth komunikacija.....	12
3.8.	Regulator napona L7805 .....	13
4.	Zaključak .....	13
5.	Literatura .....	14
6.	Dodatak A .....	15

# 1. Uvod

Tema projekta jeste projektovanje i izrada tenka veličine dečije igrache koji ima sposobnost da sam, bez vanjskog navođenja ili upravljanja, obiđe oko zadatog lavirinta ili staze prateći pri tome levu ivicu staze, i sam dođe na mesto sa koga je krenuo.

Projekat uključuje izradu štampane pločice (PCB, eng. *Printed Circuit Board*), od njenog projektovanja u kasnije navedenom softverskom alatu, do konačne radne verzije koja se postavlja na šasiju tenka. Sam tenk, kao i prateće komponente potrebne za izradu projekta, kao što su razni senzori, DC motori, drajver za motore itd., koji će biti detaljnije opisani u četvrtom poglavlju, našem timu su dati na raspolaganje od strane predmetnog profesora i njegove katedre.

Po projektnom zadatku naređeno je da tenk treba da ispunjava i nekoliko funkcionalnosti, poput bezkontaktnog pokretanja tenka. Poblize, tenk komunicira sa korisnikom koristeći *bluetooth* komunikaciju dok je uparen sa pametnim telefonom korisnika.

Jasna je namena i važnost ovakvog projekta jer izrađen i kompletiran projektni zadatak predstavlja autonomno vozilo sposobno da prepozna prepreke i da iste izbegava na organizovan i utvrđen način, i uz sve to tokom celokupnog rada komunicira sa korisnikom bežičnom komunikacijom. U današnjem svetu gde se teži da vožnja automobila postane delom ili potpuno autonomna, ovakav projekat predstavlja veliki početni korak i od važnosti je za svet autonomnih mobilnih robota.

## 2. Analiza problema

Za potrebe ovog projekta koristi se dsPIC30F4013 mikrokontroler koji služi kao mozak sistema, i povezan je na razne periferije koje služe za očitavanje okoline i na osnovu njihovog odziva mikrokontroler odlučuje na koji način da upravlja tenkom. Sprega između mikrokontrolera i dva motora jednosmerne struje jeste drajver za motore koji interno poseduje dva H-mosta, namenjena za kontrolu smera okretanja i brzine okretanja pojedinačnih motora.

Komunikacija sa korisnikom se vrši preko već pomenutog *Bluetooth* protokola, a samu komunikaciju omogućava *Bluetooth* modul koji se povezuje sa mikrokontrolerom i služi istovremeno kao transponder i receiver (predajnik i prijemnik) deljenih informacija.

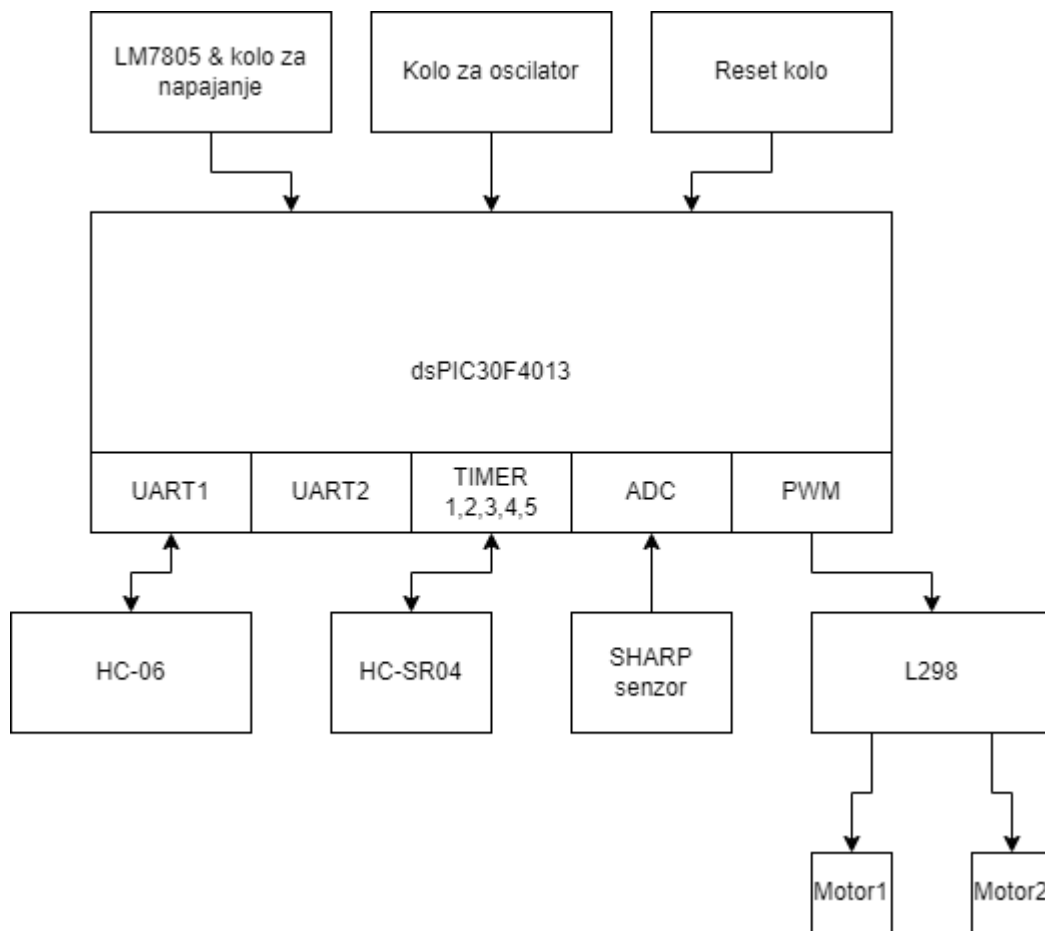
Informacije iz okoline mikrokontroler dobija putem senzora za udaljenost, konkretno dva ultrazvučna senzora i jednog IR senzora. Na osnovu udaljenosti objekata na osnovu informacija sa ta tri senzora (koji mere udaljenost objekata na prednjoj strani tenka, i sa obe bočne strane), mikrokontroler po zadatom algoritmu odlučuje kako da upravlja motorima.

Ovaj način komunikacije je primitivan i intuitivan, neki napredniji sistemi i algoritmi mogu da koriste GPS podsisteme, podsisteme koji koriste Wi-Fi ili korisnikov uređaj kao odašiljač *Bluetooth* signala za orijentaciju i pozicioniranje u prostoru, međutim ovakvi sistemi pored nepotrebne kompleksnosti zahtevaju i da se unapred poznaje teren po kojem će tenk da se kreće i koordinate pojedinačnih prepreka. Osim pomenutih tehnologija, za izbegavanje prepreka je moguće koristiti i LIDAR sisteme ili kameru koja bi snimala okolinu automobila i veštačkom inteligencijom

odlučivala kako da se vozilo ponaša u datoj sredini, što prevazilazi potrebe ovog kursa kako sa strane kompleksnosti, tako i sa finansijske mogućnosti izrade projekta.

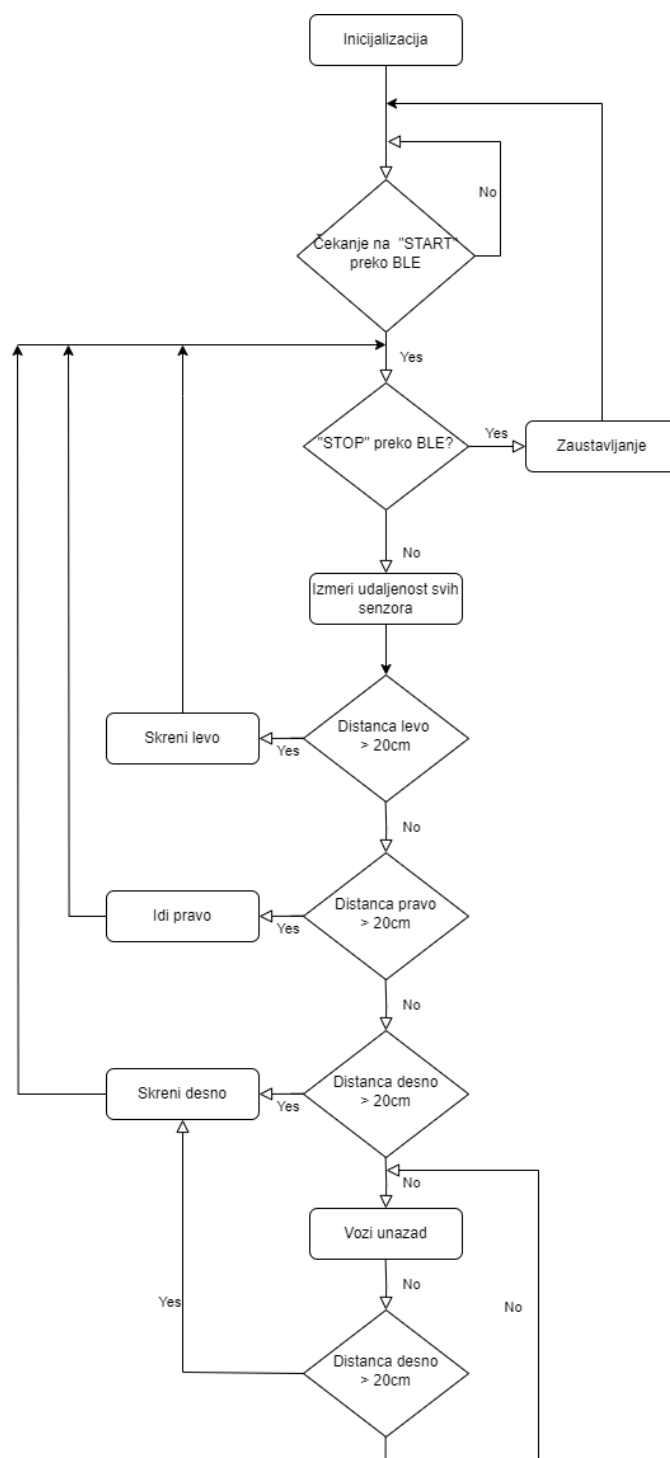
### 3. Opis detalja predmeta projekta

#### 3.1. Blok šema uređaja



Slika 1 - Blok šema

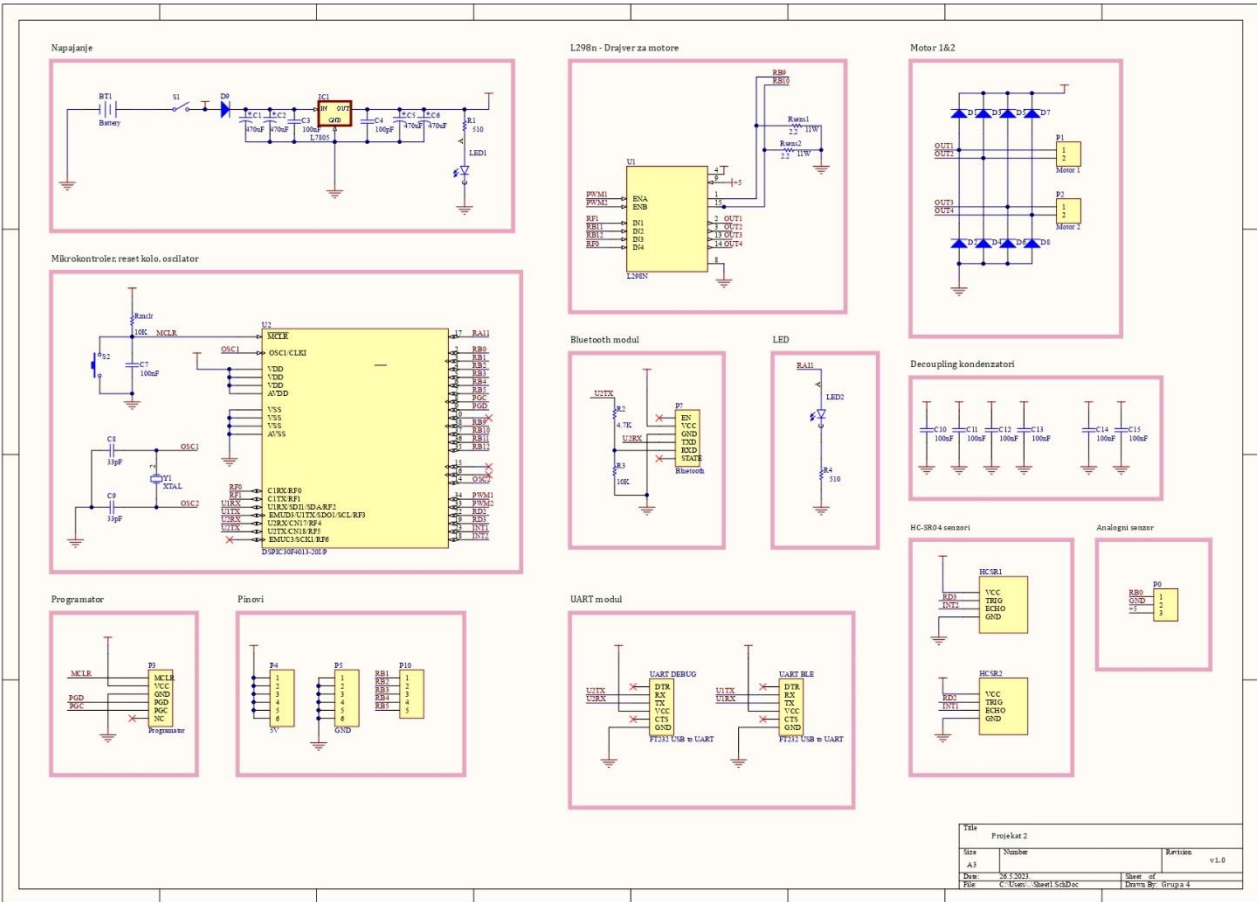
### 3.2. Algoritam rada



Slika 2 - Algoritam rada

### 3.3. Izrada i opis štampane pločice (PCB)

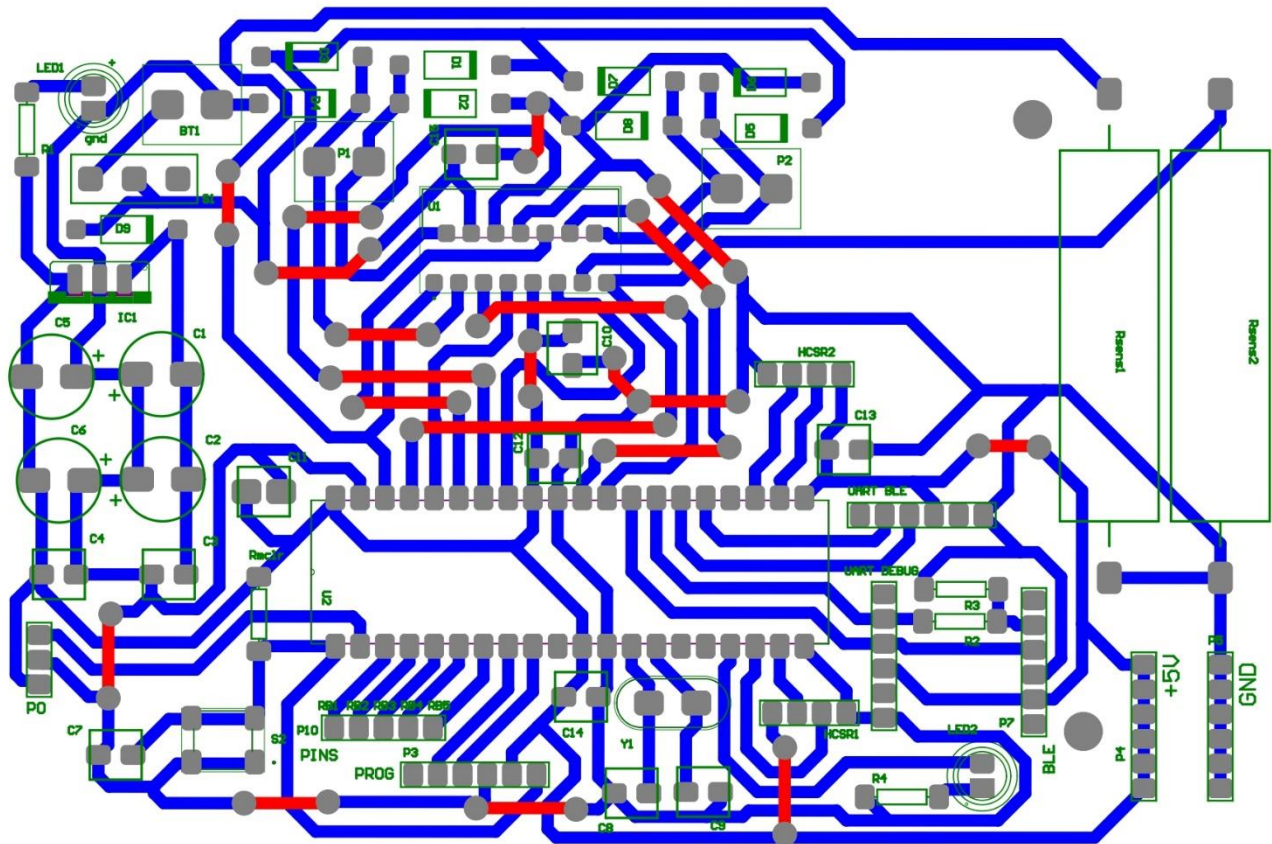
Osim već navedene hardverske strukture, kao početni korak u izradi projekta bilo je potrebno projektovati štampanu ploču na kojoj će se nalaziti mikrokontroler i sve navedene periferije. Kao i uvek, kod izrade PCB-a potrebno je veoma pažljivo planirati dizajn kako ne bi došlo do neželjenih problema kada je pločica već izrađena. Projektovanje je vršeno u softverkom alatu *Altium Designer* počevši od šeme našeg sistema, prikazane na slici.



Slika 3 - Šema kola

Kao centralni deo šeme ističe se mikrokontroler, sve ostale periferije su povezane na neke od njegovih pinova. Na osnovu datog *schematika* i *footprintova* komponenti softverski alat stvara PCB

dizajn koji je potrebno izrutirati na efikasan način.



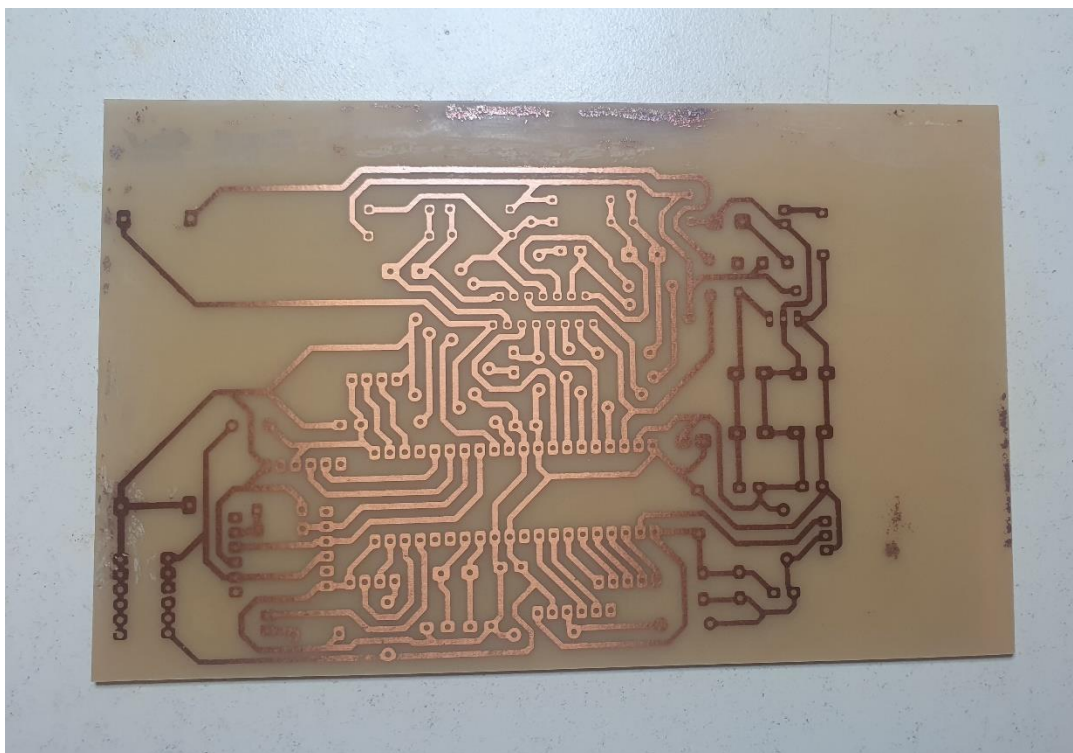
Slika 4 - Izgled izrutiranog PCB modela

Nama dostupna tehnologija izrade PCB-a je prilično primitivna i spada na izbor jedne od dve opcije: prenošenja datog dizajna pomoću toplote na pertinaks i skidanja viška bakra u feri-hloridu, ili fotopostupkom. Odabrali smo metodu fotopostupka pošto je ona preciznija, omogućava izradu tanjih vodova i manja je šansa za prekidom ili oštećenjem voda.

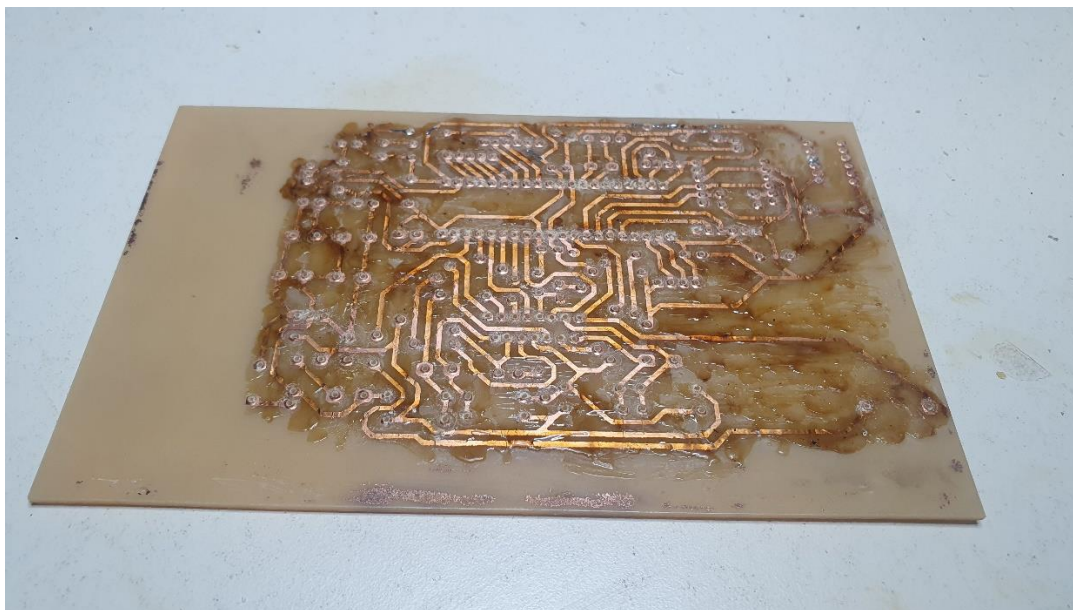
Na priloženoj fotografiji plavom bojom su označeni vodovi koji se trebaju dobiti procesom izrade pločice (ostaju na njoj u vidu bakrenih vodova), dok su crvenom bojom vodovi iz različitog sloja. Kako nama nije dostupna tehnologija izrade pločice u više slojeva, ovi crveni vodovi će se implementirati u vidu izolovanih žica (kratkospojnika).

Proces izrade je trajao otprilike 5 dana, za to vreme su nabavljeni svi potrebni materijali za izradu te smo se upoznali sa fakultetskom opremom za fotopostupak. Prva dva pokušaja izrade su bila neuspešna – prvi put pločica je predugo držana u rastvoru vode i natrijum-hidroksida što je prouzrokovalo prenamaganje bakra te su vodovi oštećeni, dok drugi put višak bakra nije otpadao u feri-hloridu jer je pločica najverovatnije prekratko držana u rastvoru vode i natrijum-hlorida.



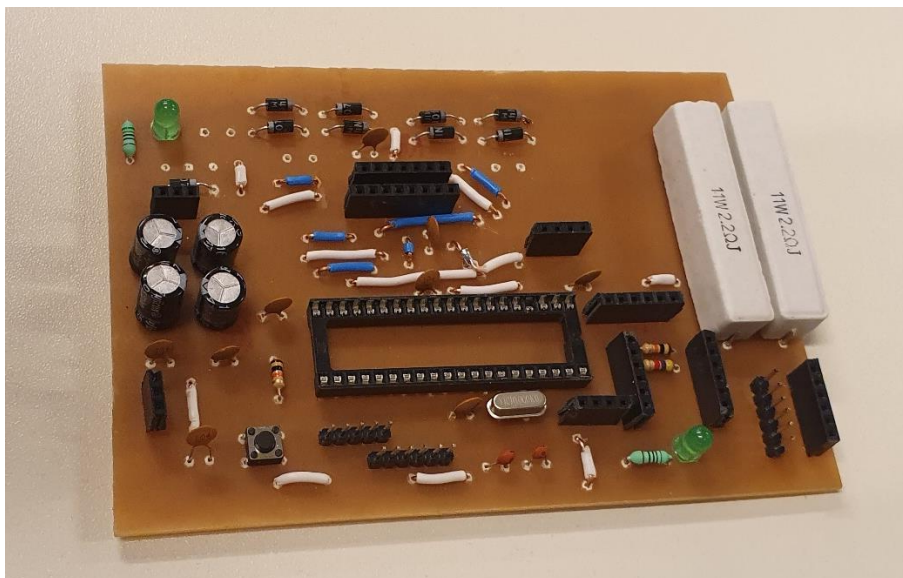


**Slika 5 - Izgled pločice nakon izrade**



**Slika 6 - Slika pločice nakon nanošenja zaštitnog sloja smole**





Slika 7 - Pločica sa svim zalemljenim komponentama

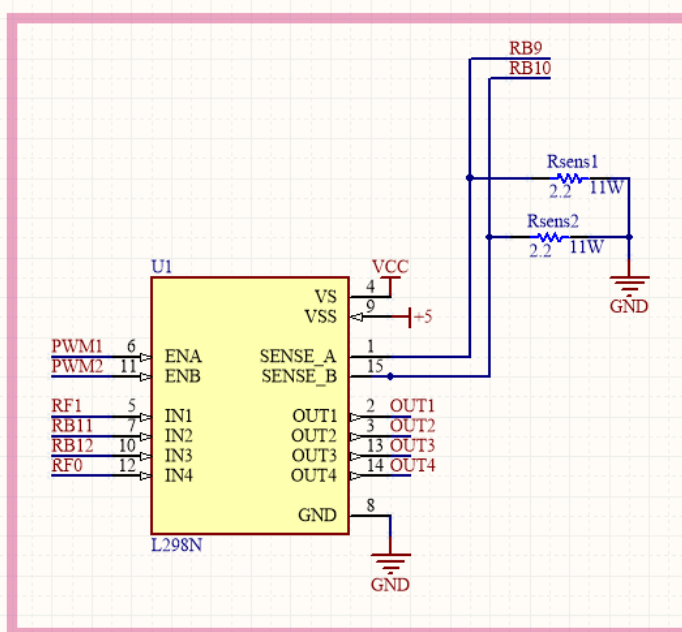
### 3.4. *Drajver L298*

Za upravljanje motora koristi se kolo L298N, koje sadrži dvostruki H-most i upravljačku logiku.

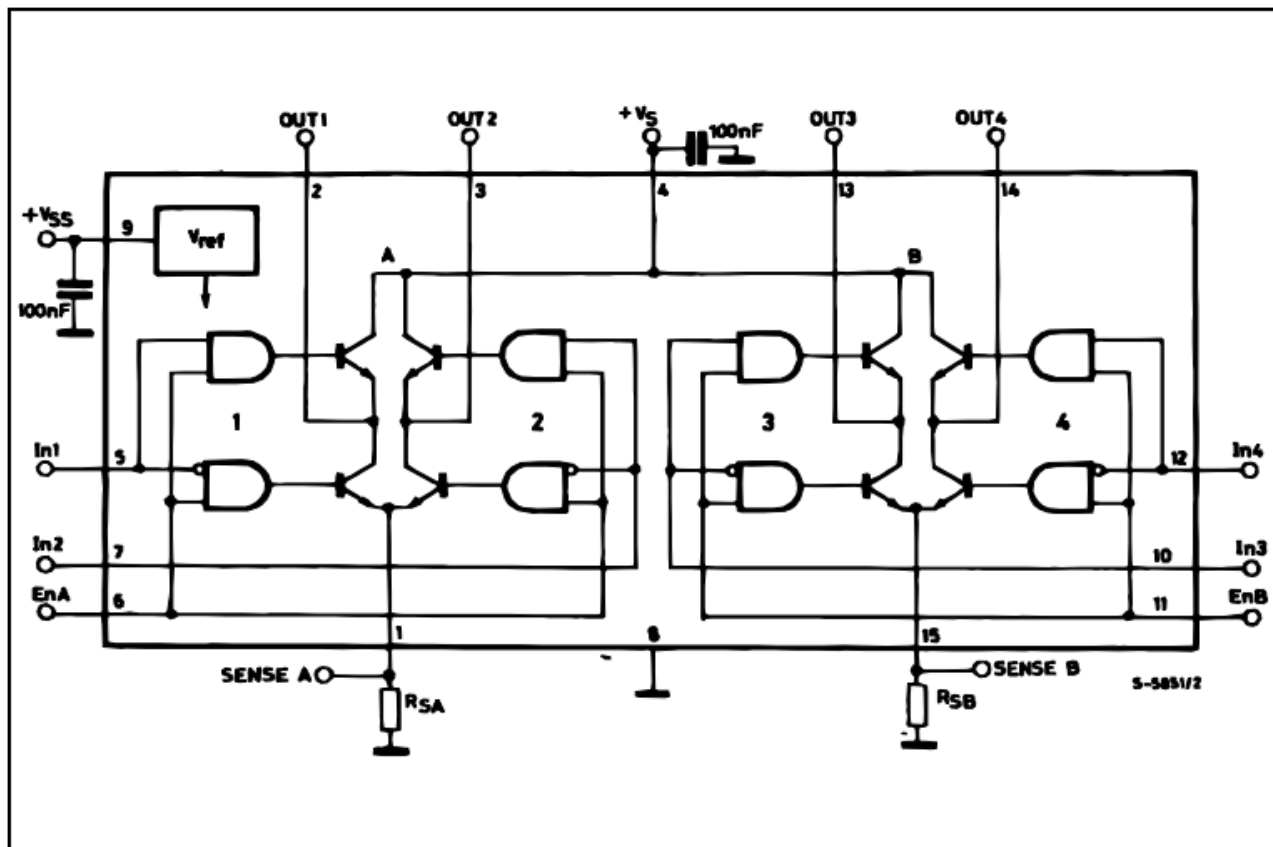
Upravljanje motora se vrši impulsno-širinskom modulacijom (PWM) podešavanjem različitog faktora ispunje i na taj način dobija se različita brzina kretanja vozila. Signale za impulsno-širinsku modulaciju dovodimo sa mikrokontrolera na kolo L298N i to preko pinova RD0 i RD1 mikrokontrolera na pinove ENA i ENB drajvera motora. Vredi napomenuti da se za realizaciju PWM signala koriste dva dostupna hradverska *output-compare* modula koji koriste ugrađene *timere* za realizaciju preciznog signala.

Četiri ulazna pina IN1, IN2, IN3, IN4 predstavljaju kontrolne signale, povezani su redom na pinove mikrokontrolera RB11, RB12, RF0 i RF1. Preko pinova RB11 i RB12 upravlja se smerom obrtanja levog motora, dok pinovima RF0 i RF1 desnog motora. Ako na oba pina dovodimo logičku nulu, motor će biti zaustavljen, a ako na jedan pin dovodimo logičku jedinicu, a na drugi logičku nulu, motor se okreće u određenom smeru u zavisnosti od toga na kom pinu je logička jedinica.

L298n - Drajver za motore



Slika 8 - Šema povezivanja drajvera



Slika 9 - Interna šema dva H-mosta

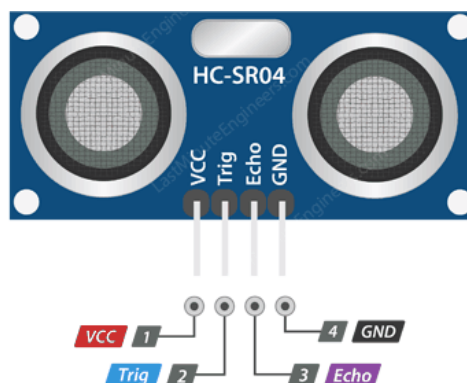
Izlazi sa kola L298N, OUT1 i OUT2 (pinovi 2 i 3 drajvera) vode se na krajeve prvog DC motora, uključujući četiri zamajne diode. Na krajeve drugog DC motora, takođe preko četiri zamajne diode, dovode se izlazi na pinovima 13 i 14 drajvera, OUT3 i OUT4. Uloga ovako vezanih zamajnih dioda (D1-D8) jeste da zaštiti motore od prevelikog napona sa izlaza drajvera.

Otpornici sa oznakom SENSEA i SENSEB koriste se za merenje struje motora i prevenciju prevelike strujne potražnje motora (u slučaju režima kratkog spoja motori mogu da povuku struju veću od one koja bi bila sigurna za ostatak kola, u takvim slučajevima potrebno je ugasiti motor i dozvoliti njegovu upotrebu kada se otkloni razlog režima kratkog spoja).

### 3.5. Ultrazvučni senzor HC-SR04

HC-SR04 je ultrazvučni senzor udaljenosti koji se koristi za precizno merenje udaljenosti objekta. Sadrži četiri pina: VCC, GND, *trigger* i *echo* pin, kao što je prikazano na slici (broj slike). Sastavni deo ovog senzora čine predajna i prijemna sonda.

Postupak mjerenja se vrši na sledeći način: pin *Trigger* postavljamo na visok nivo, odnosno logičku jedinicu u trajanju od 10us. Tada će predajna sonda emitovati povorku od osam impulsa frekvencije 40 KHz.

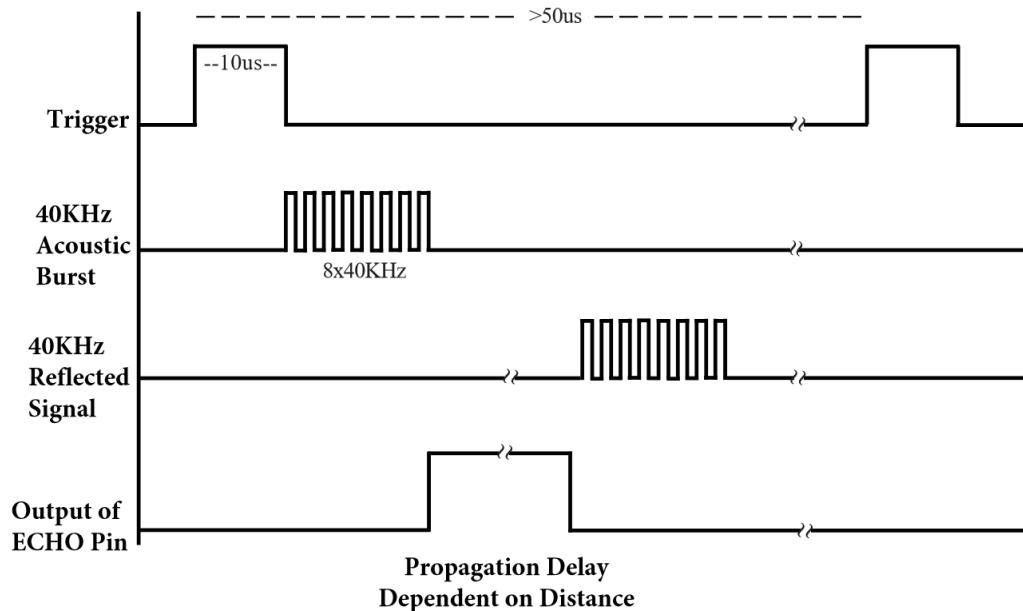


Slika 10 - Ultrazvučni senzor

Signal odbijen od objekta se vraća nazad prema senzoru i detektuje se na prijemnoj sondi. *Echo* pin, čija je vrijednost u trenutku slanja signala sa predajne sonde bila na visokoj vrednosti, se u trenutku prijema signala spušta na nisku vrednost. Vreme proteklo između slanja i prijema signala se meri pomoću *tajmera*. Na osnovu dobijenog vremena, izračunava se udaljenost prepreke od senzora na osnovu sedeće formule:

$$d = \frac{v * t}{2}$$

, gde je  $d$  distanca,  $t$  izmereno vreme trajanja logičke jedinice na *echo* pinu,  $v$  brzina zvuka u vazduhu (343m/s), a vrednost se deli sa 2 jer ultrazvučni signal prelazi dvostruku putanju (od senzora do objekta, odbija se i vraća se nazad do senzora).

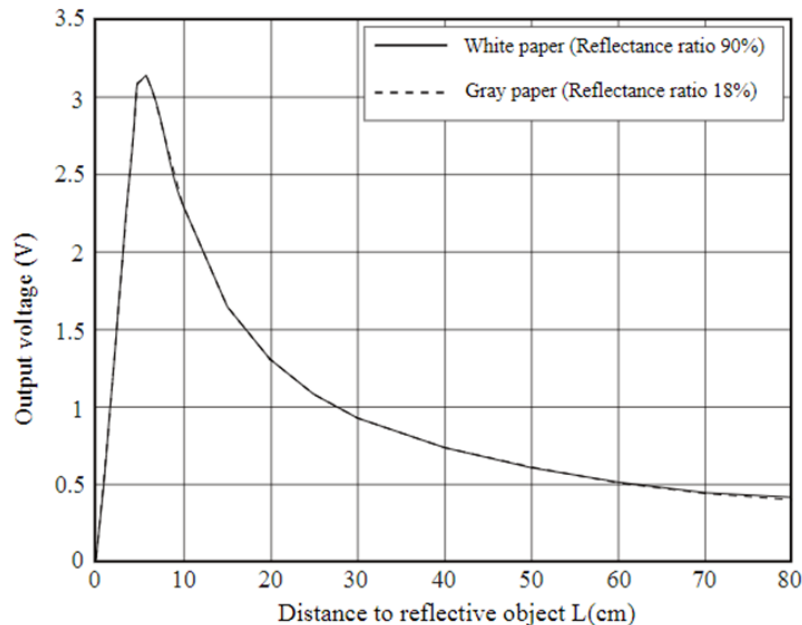


Slika 11 - Diagram signala pri postupku merenja distance

### 3.6. IR senzor Sharp GP2Y0A21YK0F

Sharp *GP2Y0A21YK0F* je analogni infracrveni senzor udaljenosti, koji se koristi za merenje udaljenosti prednje strane tenka od objekta, u opsegu od 10 do 80 cm. Udaljenost između senzora i objekta meri se na osnovu reflektovane infracrvene svetlosti od strane infracrvene diode, pri čemu se meri vreme koje je potrebno da se svetlost odbije od objekta i vrati nazad do senzora, odnosno detektora pozicije koji registruje taj snop. Na zadnjoj strani senzora se nalazi integrisano kolo koje vrši obradu signala. Senzor sadrži tri pina: Vcc, GND i izlazni pin. Izlaz senzora je analogni signal koji predstavlja rezultat merenja udaljenosti. Izlazni napon varira proporcionalno udaljenosti objekta od senzora. Veća udaljenost rezultuje nižim izlaznim naponom, dok manja udaljenost višim izlaznim naponom.

Na slici 12 je predstavljen grafik zavisnosti napona od udaljenosti.



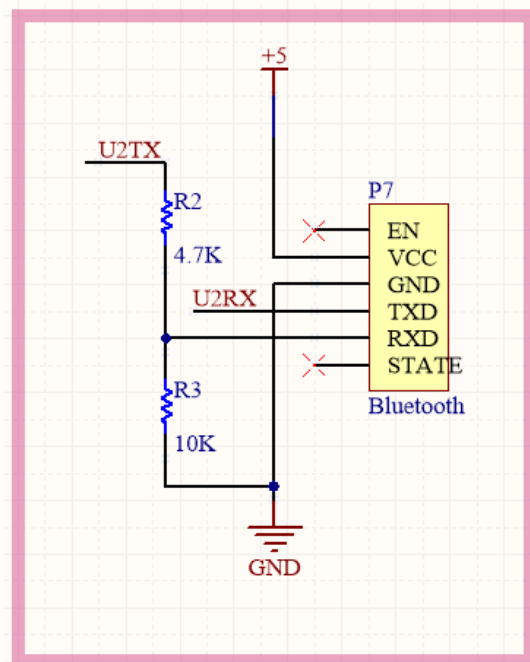
Slika 12 - Grafik zavisnosti udaljenosti objekta i analogne vrednosti izlaza senzora

### 3.7. UART/Bluetooth komunikacija

Ostvarivanje komunikacije između sistema i mobilnog uređaja je omogućeno putem *Bluetooth*-a. Podaci se serijski šalju i primaju pomoću UART-a, prateći isti postupak opisan i realizovan u prvom projektu simulacije pametnog telefona koristeći *EasyPic7* razvojnu ploču.

Modul HC06 ima 4 pina: Vcc, Gnd, Tx, Rx. Napon napajanja može biti u opsegu između 3,6V i 6V, u našem zadatku korišteno je 5V dovedenih sa mikrokontrolera. Da bismo prilagodili naponski nivo logičke jedinice na 3,3V, postavljen je naponski razdelnik sa otpornicima u vrednosti od 4K7 i 10K. Tako razdeljen napon sa otpornika od 10K povezujemo na Rx pin na *bluetooth* modulu, kao što je prikazano na slici 13.

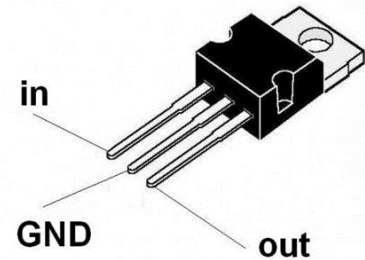
Bluetooth modul



Slika 13 - Šema povezivanja modula

### 3.8. Regulator napona L7805

Za snižavanje i dodatnu stabilizaciju ulaznog napona koristimo linearni regulator *LM7805*, koji snižava napon na potrebnih 5V. Sastoji se od 3 pina. Ulazni pin, koji se spaja na izvor napajanja ili bateriju, GND pin i izlazni pin, na kojem se dobija stabilizovani izlazni napon od 5V.



Slika 14 - Izgled regulatora

U slučaju da se na ulazu poveže negativno napajanje, dioda D9 služi kao zaštita i neće provesti. Elektrolitski kondenzatori imaju ulogu da dodatno filtriraju naponske signale. Ovaj regulator napona takođe ima ugrađenu zaštitu od preopterećenja i pregrijavanja.

## 4. Zaključak

Realizacijom ovog projekta uspešno je ispunjen projektni zadatak bez ikakvog odstupanja. Završni proizvod u vidu potpuno autonomnog tenka obilazi proizvoljni lavirint prateći levu ivicu poligona baš onako kako je zadato u projektnom zadatku.

Projekat je realizovan samostalno prateći smernice i upute mentora i profesora. Prvi korak nakon dobijanja projektnog zadatka i zaduživanja potrebnog hardvera bio je projektovanje šeme i rutiranje PCB-a u softverskom alatu *Altium*. Postoji više verzija šeme koja se vremenom unapređivala i detljinim planiranjem su se uklanjale greške iz početnih verzija. Konačnu verziju je pregledao i odobrio za izradu mentor i profesor dr Vladimir Rajs. U fazi izrade tim se susreo sa nekoliko neuspešnih pokušaja izrade PCB-a, tačnije preslikavanja izrutiranog dizajna na pertinaks pločicu fotopostupkom i uklanjanja viška bakra sa iste. Nakon izrade pločica je detaljno ispitana unimerom kako bi se ispitala ispravnost povezanih vodova, u toku čega je utvrđeno da jedan vod nije bio potpuno spojen na rubnom delu pločice (postojao je prekid, uzrokovan preagrivanjem kiseline) koji je popravljen komadom žice.

Nakon što su sve komponente zalemljene pušteno je napajanje iz laboratorijskog izvora i ploča je bila podvrgnuta još jednom testu da bi se ispitali vodovi zaduženi za napajanje (5V i GND vodovi). U ovoj fazi utvrđeno je da su zamajne diode motora okrenute u suprotnom smeru te je problem uspešno otklonjen.

Naredna faza je predstavljala implementaciju i testiranje jedne po jedne komponente navedenih u odeljku 3, i razvijanje konačnog algoritma. U ovoj fazi se javio problem za koji se smatralo da je problem do drajvera, odnosno do H-mosta, gde se jedan motor nije mogao okretati unazad (samo na jednu kombinaciju IN ulaza drajvera) bez da zahteva suviše veliku struju iz izvora. Problem se nije otklonio sve do finalne verzije proizvoda. U vreme pisanja Zaključka dokumentacije utvrđeno je da problem nije bio do drajvera već do nepogonskog točka na posmatranoj strani tenka koji je bio prečvrsto stegnut, te je pogonskom točku (a samim time motoru) bila potrebna velika količina snage da bi pokrenuo i okretao gusenice tenka preko točka koji se ne okreće. Problem je uspešno otklonjen i robot u potpunosti prati planirani algoritam, sa mogućnošću prepoznavanja

situacije kada je ušao u ćorsokak, i uspešnog izlaženja iz slepe ulice vraćanjem unazad do prvog trenutka kada je mogao skrenuti udesno.

Kao moguće unapređenje ovog projekta ističemo mogućnost koršćenja gumenih točkova umesto plastičnih kako bi smanjili količinu proklizivanja točkova. Većim brojem senzora dobilo bi se dodatno na preciznosti. Ukoliko je moguće modifikovati poligon na kome se robot kreće, moguće je koristiti magnetni senzor i magnete, ili IR reciever i IR diode postavljene na odgovarajuća mesta, ili označiti površinu poligona linijama u boji kako bi robot pratio liniju (*line-following* robot) ili koristio senzor boje i I2C komunikaciju, koju mikrokontroler podržava, kako bi pravio tačnije i naprednije poteze na označenim mestima. Pored ovih inovacija, moguće poboljšanje projekta uključuje korišćenje žiroskopa i PID algoritma koji bi osigurali precizne okrete za tačno 90 stepeni.

## 5. Literatura

- [ 1 ] Datasheet mikrokontrolera *dsPIC30F4013*, *Microchip*, dostupno na <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf> , 22.02.2023.
- [ 2 ] Datasheet ultrazvučnog senzora *HC-SR04*, *Sparkfun*, dostupno na <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> , 23.02.2023.
- [ 3 ] Datasheet analognog senzora *Sharp*, *Sharp*, dostupno na [https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf) , 23.02.2023.
- [ 4 ] Datasheet naponskog regulatora *LM7805*, *Sparkfun*, dostupno na <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf> , 25.02.2023.
- [ 5 ] Datasheet drajvera za motore *L298*, *Sparkfun*, dostupno na [https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298\\_H\\_Bridge.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf) , 03.03.2023.
- [ 6 ] Datasheet bluetooth module *HC-06*, *Olimex*, dostupno na <https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf> , 07.03.2023.
- [ 7 ] Prezentacije i izvorni kodovi na predmetnom sajtu na SOVA platformi, prof dr Vladimir Rajs, 08.03.2023.

## 6. Dodatak A

Izrada projekta, kod i materijali poput slika dokumentovani su na *GitHub*-u pod narednim linkom: <https://github.com/davidvidovic/Primenjena-Elektronika/tree/master> .