Univerzitet u Sarajevu
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu
Odsjek za automatiku i elektroniku

ULTRAZVUČNI PRIMOPREDAJNI SENZORSKI SISTEM

Završni rad
I ciklusa studija

Mentor:

Red.prof.dr Melita Ahić-Đokić

Kandidat:

Jasmina Zubača

Sarajevo, juli 2014

Red. prof. dr Melita Ahić-Đokić, dipl.el.inž.
Viši Asistent mr Emir Sokić, dipl.el.inž.
Odsjek za automatiku i elektroniku
Sarajevo, 12.01.2014.

Tema za završni rad

studenta I ciklusa studija koji studira na ETF-u u skladu sa principima Bolonjskog procesa na Odsjeku za automatiku i elektroniku (šk.2013/14)

Tema: Ultrazvučni primopredajni senzorski sistem

Student: Zubača Jasmina

Sažetak:

U okviru rada potrebno je dizajnirati, razviti i testirati elektronički sklop koji služi za kondicioniranje signala koji se šalju, odnosno primaju sa predajnog, odnosno prijemnog ultrazvučnog senzora. Sklop mora posjedovati sljedeće karakteristike:

- mogućnost prosljeđivanja proizvoljnog signala granične frekvencije 100[kHz], naponskog opsega $\pm 5V$ sa naponskog ulaza na ultrazvučni predajnik;
- mogućnost prosljeđivanja signala generisanog ultrazvučnim prijemnikom na naponski izlaz sklopa u nominalnom naponskom nivou $\pm 5V$.
- Sklop treba imati mogućnost manuelne i softverske promjene pojačanja u ulaznom i izlaznom pojačavačkom stadiju.

U okviru testiranja sklopa potrebno je izvršiti detaljno snimanje karakteristika usmjerenosti senzora, i amplitudno-frekventnih karakteristika.

Polazna literatura:

1. Melita Ahić-Đokić, *"Signali i sistemi"*, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 2010.
2. T. Brodić, *"Analogna integrirana elektronika*", Sarajevo: Svjetlost, 1986.
3. B. Carter i L. Huelsman, "*Handbook Of Operation Amplifier Active RC Networks"*, Texas Instruments, 2001.
4. D. Lancaster, *"Active-Filter Cookbook",* Indianapolis: Howard W. Sams & Co. Inc, 1975.
5. M. McRoberts, *Arduino starter kit manual*, London: Earthshine Electronics, 2009.
6. M. Rafiquzzaman, *"Fundamentals of Digital Logic and Microcomputer Design",* Hoboken: JohnWiley & Sons, Inc., 2005.
7. Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky: *"Signals and Systems",* Prentice-Hall, 1997
8. Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer,John R.Buck: *"Discrete-time Signal Processing",* Prentice Hall, 1999.
9. D. A. Neamen, *"Microelectronics: Circuit Analysis and Design",* New York: McGraw-Hill, 2010.

Red. prof. dr Melita Ahić-Đokić

Sažetak

U okviru rada prezentovan je postupak izrade primopredajnog senzorskog sistema. Napravljen je kratak uvod u signale i njihovu obradu. Također, objašnjeni su načini kondicioniranja signala, odnosno filtriranje i pojačanje signala. Navedene su osnovne karakteristike ultrazvučnih senzora kao i princip rada takvih senzora. Glavni dio rada obuhvata simulaciju i eksperimentalno testiranje prijemnog i predajnog pojačala, koja zajedno sa ultrazvučnim senzorima čine primopredajni senzorski sistem. Na kraju su prikazane amplitudno-frekventne karakteristike pojačala i sklopa u cjelini, karakteristika usmjerenosti senzora i karakteristike odziva sklopa u slučaju korištenja prepreka izrađenih od različitih vrsta materijala.

Abstract

This paper presents a method of designing a transceiver sensor system. It gives a brief introduction to the signals and their processing. Furthermore, it explains the ways of conditioning the signal, such as filtering and signal amplification. The basic characteristics of ultrasonic sensors as well as the operating principle of such sensors are presented. Simulations and experimental testing of the receiver and transmitter amplifiers are the main part of the paper. Together with ultrasonic sensors they make a transceiver sensor system. At the end, amplitude-frequency characteristics of the amplifier circuits, beam pattern of the transducers and the characteristics of the response in the case of using barriers made of different types of materials are presented.

Sadržaj

Postavka rada

Sažetak

Abstract

1. Uvod 1

2. Uvod u signale 2
   2.1. Signal 2
   2.2. Podjela signala 2
   2.3. Procesiranje signala 3

3. Kondicioniranje signala 4
   3.1. Filtriranje signala 4
   3.2. Pojačanje signala 5

4. Sklop za kondicioniranje signala SRF04 8
   4.1. Ultrazvučni senzor 8
   4.2. Princip rada elektronskog sklopa SRF04 9
   4.3. Osnovne komponente 10
   4.4. Prednosti i mane 11

5. Simulacija predajnog i prijemnog pojačala 12
   5.1. Simulacija pojačala za ultrazvučni predajnik 13
      5.1.1. Neinvertirajuće pojačalo 14
      5.1.2. Naponsko sljedilo 14
      5.1.3. Principijelna shema predajnog pojačala 15
   5.2. Simulacija pojačala za ultrazvučni prijemnik 17
      5.2.1. Invertirajuće pojačalo 17
      5.2.2. Principijelna shema prijemnog pojačala 18
   5.3. Operaciono pojačalo TL084 21
   5.4. Digitalni potenciometar MCP41XXX 22

6. Izrada širokopojasnih pojačala na matadoru 23

6.1. Testiranje pojačala i mikrofona 26
6.2. Generisanje ultrazvučnog signala korištenjem SRF04 i Arduina 27

7. Izrada štampanih pločica 29
7.1. Predajno pojačalo 29
7.2. Prijemno pojačalo 30

8. Amplitudno-frekventne karakteristike pojačala 33
8.1. Predajno pojačalo 33
8.2. Prijemno pojačalo 35
8.3. Primopredajni sklop 36

9. Karakteristika usmjerenosti ultrazvučnog senzora 38

10. Karakteristike različitih materijala 39

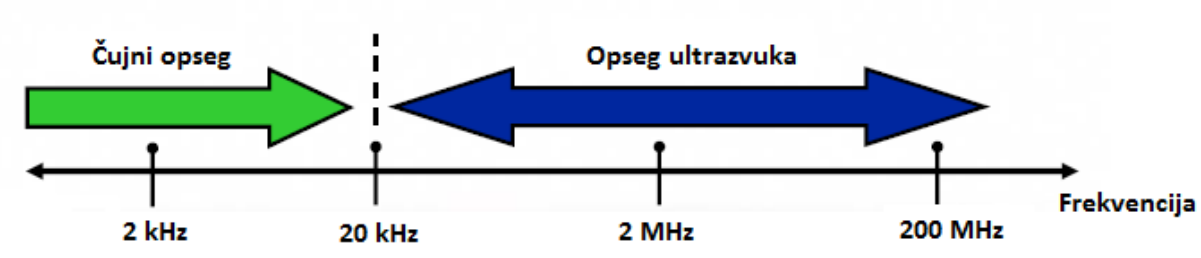
11. Zaključak 40

Literatura 41
Lista slika 42
Lista tabela 43

1. Uvod

Predmet ovog završnog rada je dizajniranje ultrazvučnog primopredajnog senzorskog sistema. U okviru rada će biti dizajniran, razvijen i testiran elektronički sklop za kondicioniranje signala.

Kao jedna od komponenti koje će biti korištene za izradu ovog sklopa je i ultrazvučni senzor koji odašilje i prima ultrazvučne talase. Ultrazvuk je zvuk čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti za čovjeka, a koja iznosi 20 [kHz] (20000 herca) [1]. Visoke zvučne frekvencije sastavni su dio spektra frekvencija koje proizvodi neki izvor zvuka. Ultrazvučna tehnologija koristi visokofrekventne zvučne signale i ultrazvučne talase za otkrivanje i lociranje objekata.



Slika 1.1. *Prikaz spektra frekvencija*

U prvom poglavlju dat je kratak uvod u pojam signala. Navedene su osnovne podjele signala te načini obrade različitih vrsta signala. Također, pri kondicioniranju signala, posebna pažnja je stavljena na filtriranje i pojačanje signala. Navedeni su osnovni tipovi filtera i pojačala koja se susreću u praksi.

Drugo poglavlje opisuje princip rada ultrazvučnog senzora i sklopa za kondicioniranje signala SRF04. Urađena je detaljna analiza i reverzna sinteza (eng. *reverse engineering*) ovog sklopa zbog lakšeg razumijevanja procesiranja i obrade signala.

U trećem i četvrtom poglavlju predstavljeni su koraci dizajniranja i razvoja sklopa za kondicioniranje signala. Ovaj sklop se sastoji od predajnog i prijemnog kruga koji su zasebno obrađeni. Prikazane su principijelne sheme predajnog i prijemnog pojačala. U prvom dijelu obrađeno je testiranje predajnog i prijemnog pojačala u odgovarajućem simulacionom okruženju i prikazani su dobijeni rezultati. Drugi dio se odnosi na eksperimentalne rezultate dobijene na osnovu spajanja prikazanih shema pojačala na matadoru. Prikazane su snimljene karakteristike i izvedeni odgovarajući zaključci.

2. Uvod u signale

2.1. Signal

Signal predstavlja fizičku veličinu koja je vremenski zavisna. U opštem slučaju, ova fizička veličina može zavisiti i od prostornih koordinata, ali i nekih drugih nezavisno promjenljivih [2]. Primjeri signala koji prenose određene informacije u prirodi su: ljudski govor, muzika, video signali i slično. Talasnim oblikom signala nazivamo *grafički prikaz signala* [2].

Dimenzionalnost signala koji nosi određenu informaciju zavisi od dimenzionalnosti same informacije. Tako se za govorni signal kaže da je jednodimenzionalni signal (1-D) kod kojeg je vrijeme nezavisno promjenljiva. Signal slike je dvodimenzionalni signal (2-D) kod kojeg postoje dvije prostorne promjenljive [2].

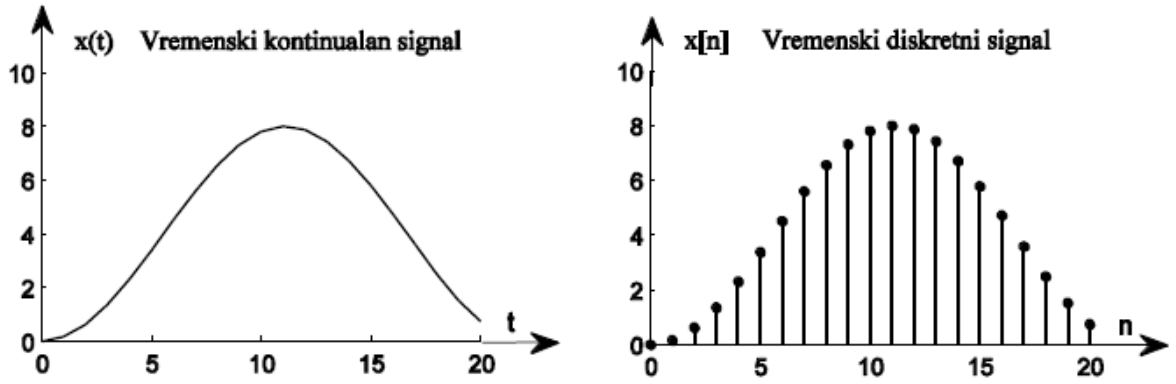
2.2. Podjela signala

Razvrstavanje signala predstavlja prvi korak u analizi signala. S obzirom na informacioni aspekt, moguća je podjela svih signala na determinističke i slučajne signale. *Deterministički signal* je onaj signal kojem je fizički opis potpuno poznat, bilo da je dat analitički (matematički) ili grafički. Deterministički signali se nadalje mogu podijeliti na *periodičke* i *aperiodičke* signale. *Slučajni* (random) *signal* je signal koji je određen samo u domenu vjerovatnog opisa, odnosno sve vrijednosti takvih signala se ne mogu u potpunosti opisati pomoću nekog analitičkog izraza. Kod opisa ovakvog signala pojavljuje se funkcija vjerovatnoće, i parametri kao što su srednja vrijednost, srednja kvadratna vrijednost, varijansa, funkcija raspodjele i slično. S obzirom na to da buduća vrijednost slučajnog signala nije unaprijed poznata, zaključuje se da samo slučajni signali nose informaciju [2].

Prema ponašanju u vremenu signali se dijele na vremenski kontinualne i vremenski diskretne signale. *Vremensi kontinualan signal* je definisan u svakom vremenskom trenutku u određenom vremenskom intervalu. *Vremenski diskretni signal* ima definisane vrijednosti samo u diskretnim vremenskim trenucima nezavisno promjenljive, ali ne i između njih. Na slici 1.1. dat je prikaz kontinualnog i diskretnog signala [2].

Vremenski kontinualni signali se mogu podijeliti u više klasa, a to su:

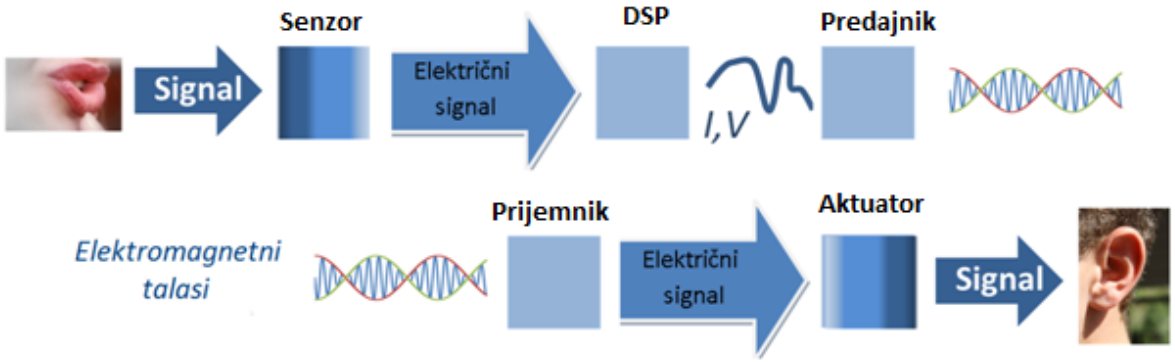
- periodički i aperiodički signali,
- parni i neparni signali,
- signali snage i signali energije.



Slika 2.1. *Grafička interpretacija a) vremenski kontinualnog signala b) vremenski diskretnog signala [2]*

2.3. Procesiranje signala

Procesiranje signala i njihova digitalna obrada pripada onim disciplinama koje svoj razvoj duguju razvoju računarske tehnike. Procesiranje signala obuhvata područja koja uključuju sistemski i električni inženjering kao i primjenjenu matematiku, gdje se vrše analize i razne operacije nad analognim i digitalnim signalima. Svrha obrade signala može biti estimacija karakterističnih parametara signala ili pretvaranje signala u formu pogodnu za dalju obradu.



Slika 2.2. *Procesiranje signala*

Na slici 2.2. je prikazan jedan od načina obrade signala. Senzor pretvara govorni signal u električni signal (strujni ili naponski signal), koji se potom obrađuje i prenosi u vidu elektromagnetnih talasa. Na prijemnoj strani se potom izvršava pretvaranje električnog signala u prvobitni oblik.

3. Kondicioniranje signala

Mnogi senzori na izlazima daju signale vrlo niskog energetskog nivoa. Zbog toga je neophodno izvršiti kondicioniranje signala, prije nego se isti proslijedi na sljedeće segmente koji uključuju obradu i analizu podataka. Kondicioniranje signala uključuje sljedeće etape:

- filtriranje signala,
- pojačanje signala,
- izolacija i linearizacija.

Filtriranje i pojačanje signala će biti detaljno opisani.

3.1. Filtriranje signala

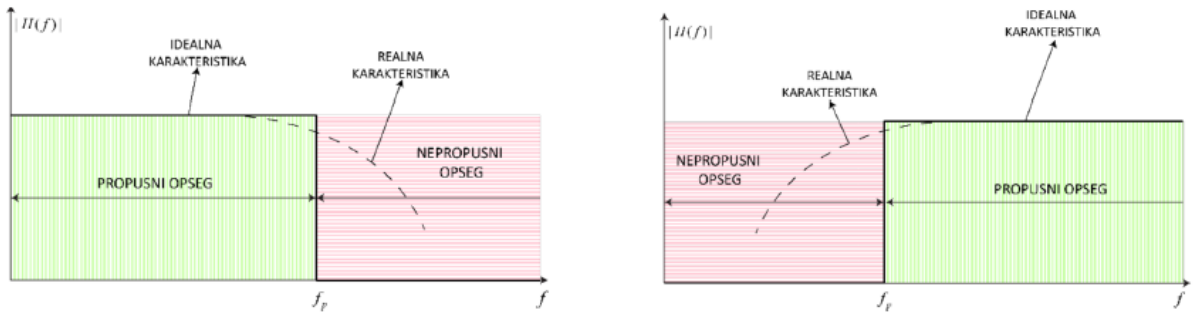
Kod procesiranja signala, filter predstavlja uređaj ili u opštem slučaju sistem koji djeluje na odgovarajuće komponente signala modifikujući ih na unaprijed zadani način. Pri tome se željene komponente signala pojačavaju ili propuštaju sa dozvoljenim slabljenjem, dok se neželjene komponente signala blokiraju ili slabe ispod propisanog nivoa [3].

Filteri se dijele na aktivne i pasivne. Implementacija pasivnih filtera se temelji na kombinaciji otpornika, kondenzatora i prigušnica. Pasivni filteri u odnosu na aktivne filtere garantuju stabilnost, jeftiniji su i ne zahtijevaju napajanje. Aktivni filteri sadrže aktivne komponente kao što su operaciona pojačala ili tranzistore unutar sklopa. Potreban je vanjski izvor napajanja i koriste se kako bi poboljšali ili pojačali izlazni signal.

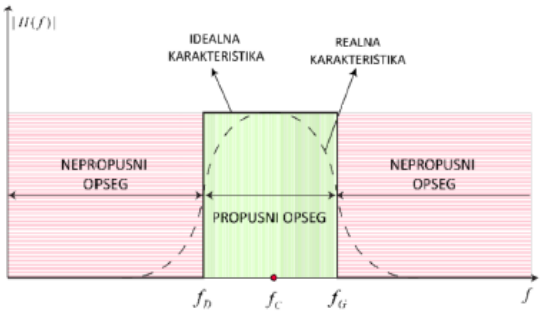
Prema pojasu frekvencija koje propuštaju, razlikuju se četiri vrste filtera:

- Niskopropusni filter – NF,
- Visokopropusni filter – VF,
- Pojasnopropusni filter – PPF,
- Pojasnonepropusni filter – PNF.

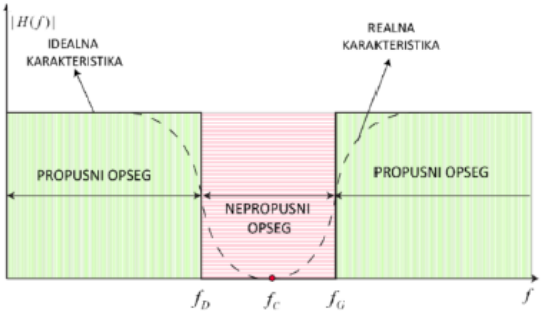
Na slici 3.1. prikazane su frekventne funkcije sistema navedenih filtera sa njihovim realnim i idealnim karakteristikama.



a) Niskopropusni filter *b) Visokopropusni filter*



c) Pojasnopropusni filter



d) Pojasnonepropusni filter

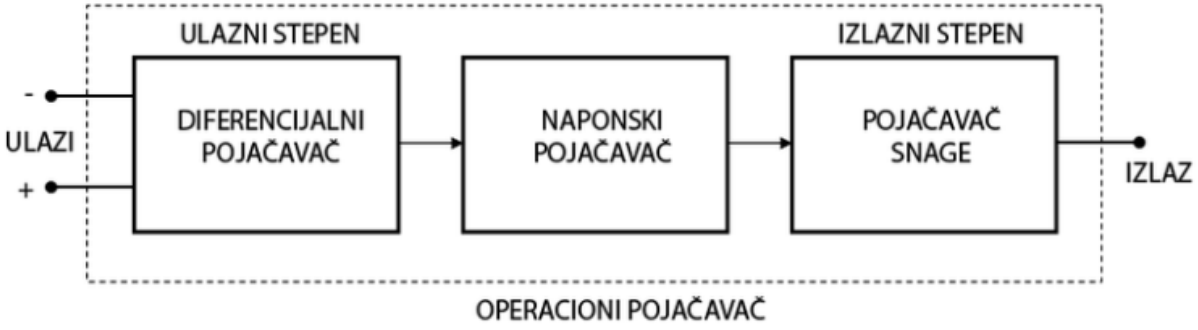
Slika 3.1. *Prenosne funkcije četiri različita tipa filtera [4]*

Kako je maksimalna frekvencija signala koji se može pojaviti na ulazu u pojačalo 100 [kHz], koristiti će se niskopropusni filter granične učestanosti 100 [kHz] u slučaju potrebe.

3.2. Pojačanje signala

Pojačalo signala predstavlja vrlo važan dio svakog elektroničkog kruga. Većina sistema za prikupljanje podataka koristi niz različitih kola za pojačanje signala prije obrade. Postoje različite klasifikacije pojačala, kao što su: pojačala snage, tranzistorska pojačala, operaciona pojačala i slično. U današnje vrijeme najčešće se koriste operaciona pojačala.

Operaciono pojačalo (OP) je linearno integrirano istosmjerno pojačalo velikog pojačanja (LIK) obuhvaćeno mrežom operacione povratne sprege [4]. Blok struktura operacionog pojačala prikazana je na slici 3.2.

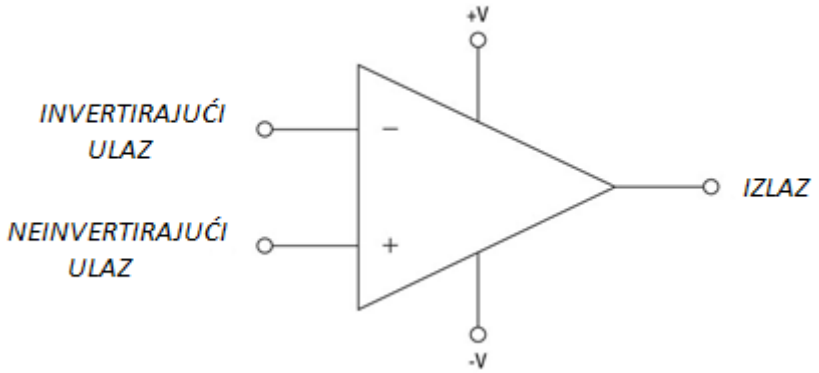


Slika 3.2. *Blok struktura operacionog pojačala [5]*

Idealno operaciono pojačalo je elektronički sklop koji se sastoji od idealnog LIK i povratne sprege od idealnih elemenata [4]. Simbol linearnog integriranog kruga dat je na slici 3.3.

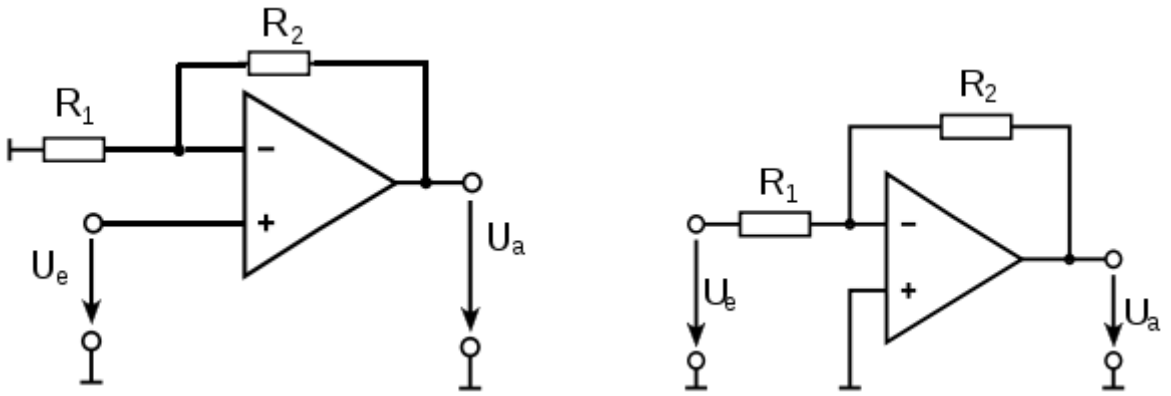
Osnovne osobine idealnog operacionog pojačala su:

- pojačanje u otvorenom je beskonačno
- propusni opseg je beskonačan
- ulazna otpornost je beskonačna
- izlazna otpornost jednaka nuli
- izlazni napon jednak nuli (kada su naponi na oba ulaza jednaki)
- ulazna struja na oba ulaza jednaka nuli

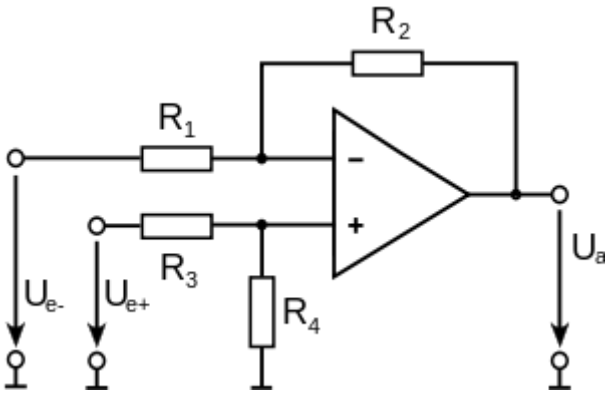


Slika 3.3. *Simbol LIK-a*

Kako linearni integrirani krug ima invertirajući i neinvertirajući ulaz, razlikuju se tri osnovna pojačavačka spoja: invertirajući, neinvertirajući i diferencijalni spoj.



a) Neinvertirajući spoj *b) Invertirajući spoj*



c) Diferencijalni spoj

Slika 3.4. *Vrste spojeva operacionog pojačala*

Na slici 3.4. prikazani su navedeni spojevi pojačala.

Operaciono pojačalo u neinvertirajućem spoju ne zakreće fazu ulaznog signala, te se izlazni signal pojavljuje pojačan i u istom faznom odnosu sa ulaznim signalom. U praksi se paralelno neinvertirajućem ulazu spaja otpor odgovarajuće vrijednosti, koji tada u potpunosti definiše ulazni otpor. Sklop može poslužiti kao osnova za realizaciju mikrofonskog predpojačala.

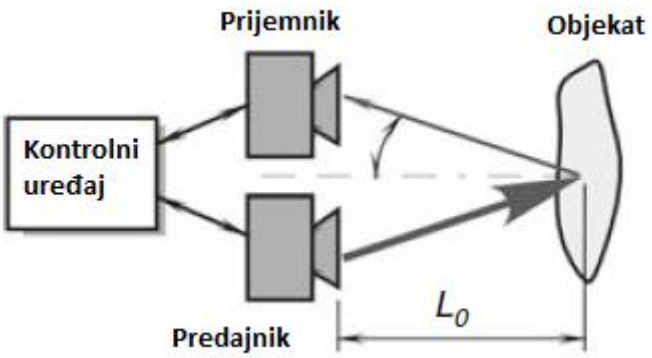
Operaciono pojačalo u invertirajućem spoju zakreće fazu ulaznog signala, te se on na izlazu pojavljuje pojačan i fazno zakrenut za 180°. I ovaj sklop se može koristiti kao osnova za konstrukciju mikrofonskog predpojačala.

Diferencijalno pojačalo pojačava razliku dva električna signala u protufazi, koji se pojavljuju na njegovim ulazima. Ukoliko su signali u fazi, kao što je slučaj sa elektromagnetnim smetnjama, tada ih pojačalo potiskuje. To je ujedno najvažnija prednost u odnosu na prethodna dva spoja. Diferencijalna pojačala se mogu koristiti kao niskofrekventna predpojačala za priključenje simetričnih mikrofona. U tom slučaju, zbog njihovih osobina, značajno se potiskuju signali elektromagnetnih smetnji koji potiču iz okoline mikrofona i samog uređaja.

4. Sklop za ultrazvučno mjerenje udaljenosti SRF04

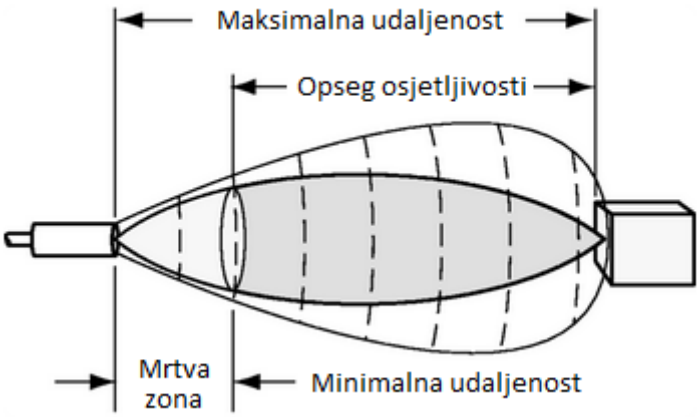
4.1. Ultrazvučni senzor

Ultrazvučni senzori su uređaji koji se koriste za različita mjerenja u tehnici, kao što je mjerenje protoka tečnosti, pritiska ili udaljenosti. Mjerni uređaji koji koriste ultrazvučne talase se sastoje od predajnika i prijemnika [1]. Na slici 4.1. prikazan je jedan od načina mjerenja udaljenosti od objekta korištenjem ultrazvučnog senzora.



Slika 4.1. *Ultrazvučno mjerenje udaljenosti [6]*

Najvažniji parametar ultrazvučnog senzora je opseg osjetljivosti (eng. *sensing range*). Opseg osjetljivosti predstavlja oblast između minimalne i maksimalne udaljenosti objekta koju senzor može detektovati, kao što je prikazano na slici 4.2.



Slika 4.2. *Doseg senzora*

4.2. Princip rada elektronskog sklopa SRF04

SRF04 služi za mjerenje udaljenosti između 3 cm i 3m. Ovaj sklop se vrlo lako može povezati sa mikrokontrolerom i na taj način mjeriti udaljenost, odnosno detektovati prisustvo prepreka. Na slici 4.3. je prikazan izgled sklopa za kondicioniranje signala [7].

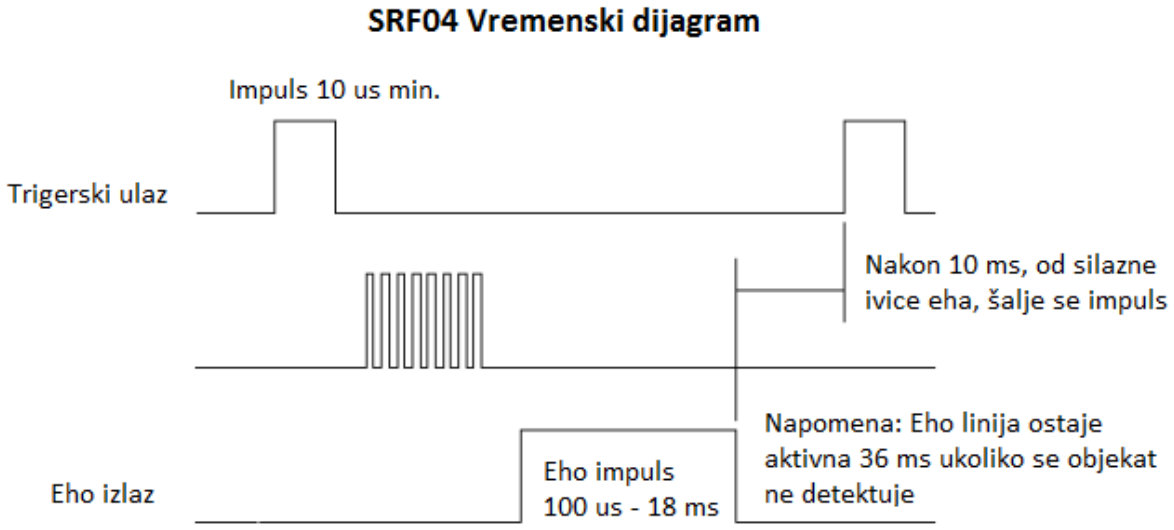
Slika 4.3. *Sklop za kondicioniranje signala SRF04 [7]*

Osnovne karakteristike ovog modula su:

- napajanje – 5[V],
- struja- tipično 30 [mA], maksimalna vrijednost 50 [mA],
- frekvencija 40 [kHz],
- maksimalna udaljenost – 3 m,
- minimalna udaljenost – 3 cm,
- dimenzije - 43 mm x 20 mm x 17 mm.

Na trigerski ulaz se dovede impuls u trajanju od minimalno 10 µs da bi se proizveo zvučni impuls. Na osnovu dovedenog impulsa senzor preko predajne strane generiše 8 zvučnih impulsa frekvencije 40 [kHz] i ujedno podiže „eho liniju“ na viši nivo. Potom se osluškuje reflektovani talas u obliku eha. Nakon što se na prijemnoj strani detektuje reflektovani talas, eho linija se spušta na niži nivo. Dobijeni signal ima širinu koja je proporcionalna udaljenosti objekta. Na osnovu trajanja impulsa moguće je izračunati udaljenost u centimetrima/inčima. Ukoliko se ne detektuje reflektovani signal, eho linija će

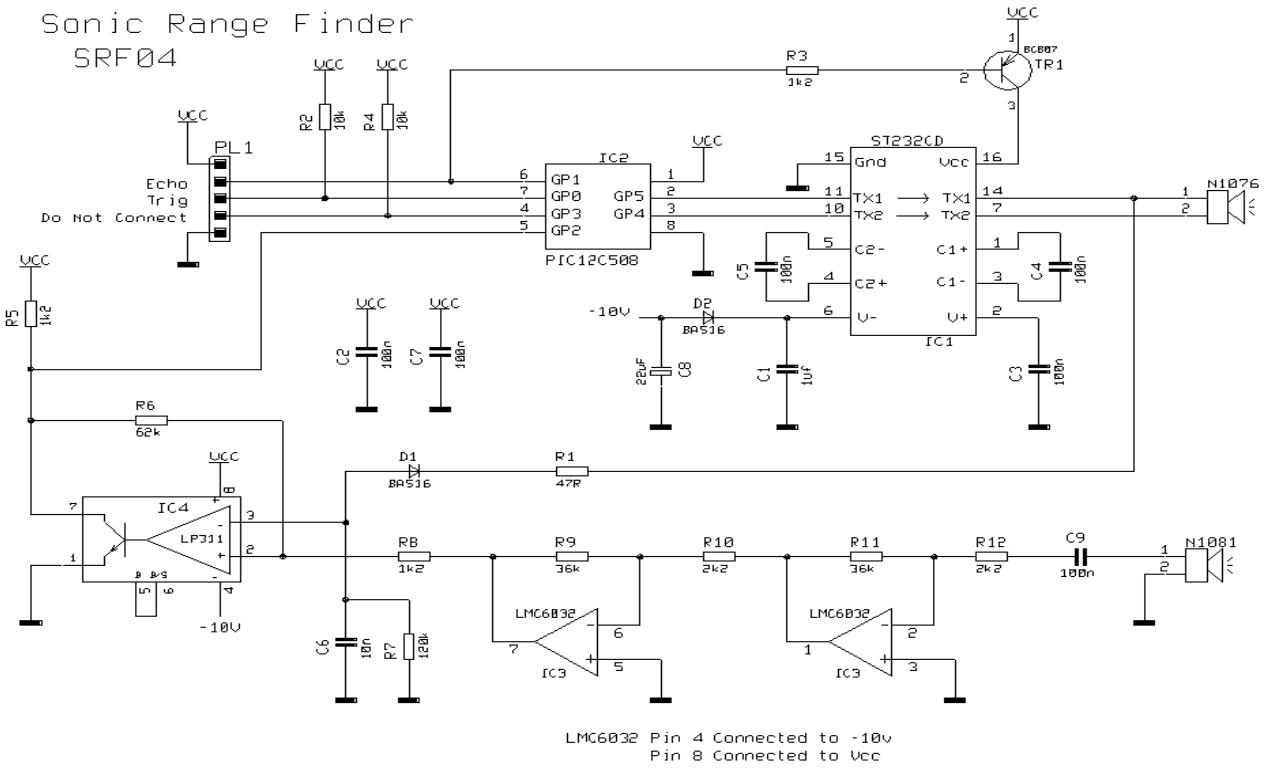
biti spuštena na niži nivo nakon 36 ms [7]. Na slici 4.4. su prikazani vremenski dijagrami ulaznog i izlaznog signala.



Slika 4.4. *Vremenski dijagram [7]*

4.3 Osnovne komponente

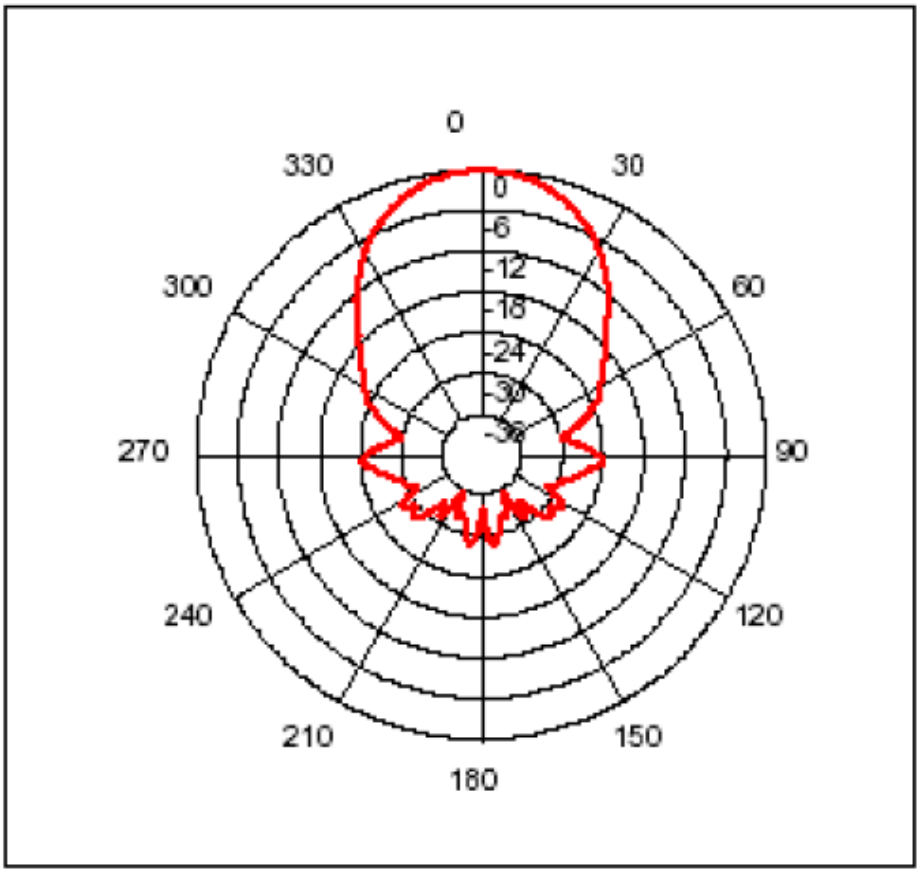
Elektronska shema sklopa za kondicioniranje signala SRF04 je prikazana na slici 4.5.



Slika 4.5. *Elektronska shema SRF04 [13]*

Sklop je dizajniran da bude niske cijene. Koristi se mikrokontroler PIC12C508 kao kontrolni uređaj i standardni 40 [kHz] piezo pretvarač. Mikrokontroler može direktno upravljati predajnikom, pri čemu se koriste signali male amplitude (5 V). Ovaj način upravljanja je uspješan ukoliko se detektuju objekti većih dimenzija, ali problem se javlja pri detekciji manjih objekata. Zbog toga se kao drajver koristi integrisano kolo MAX232, koje obezbjeđuje 16 V upravljanje.

Sklop prijemnika predstavlja klasično dvostepeno pojačalo. Ulazni kapacitet C8 ili C9 blokira istosmjerni signal (DC) koji je uvijek prisutan. Pojačanje pojačala iznosi 576, dok je pojačanje svakog stepena 24. Koriste se operaciona pojačala LMC6032 koja imaju vrlo širok propusni opseg od 1.4 [MHz]. Izlaz iz pojačala se vodi na komparator LM311. Zahvaljujući pozitivnoj povratnoj sprezi izlaz je vrlo stabilan. Usmjerenost senzora prikazana je na slici 4.6.



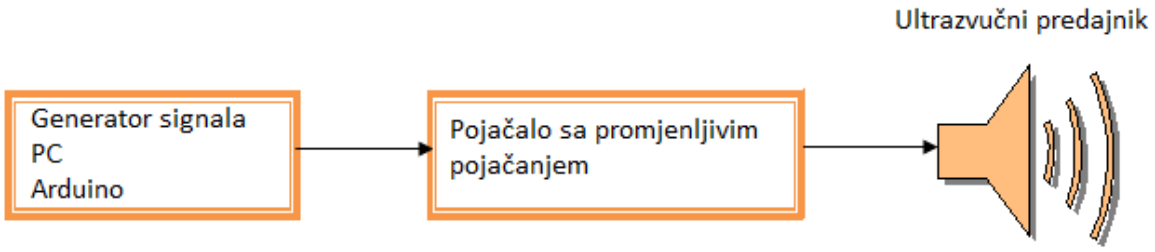
Slika 4.6. *Usmjerenost senzora [7]*

4.4. Prednosti i mane

Ultrazvučni mjerač udaljenosti SRF04 pruža vrlo precizna mjerenja u opsegu od 3 cm do 3m. Vrlo lako se povezuje sa drugim hardverskim uređajima jer se koriste samo 2 pina (ulaz i izlaz) za njegovo povezivanje. Biblioteka koju posjeduje SRF04 čini ovaj uređaj vrlo jednostavnim i praktičnim za korištenje. Najveću primjenu pronašao je u robotskim aplikacijama. Njegova glavna prednost je relativno niska cijena.

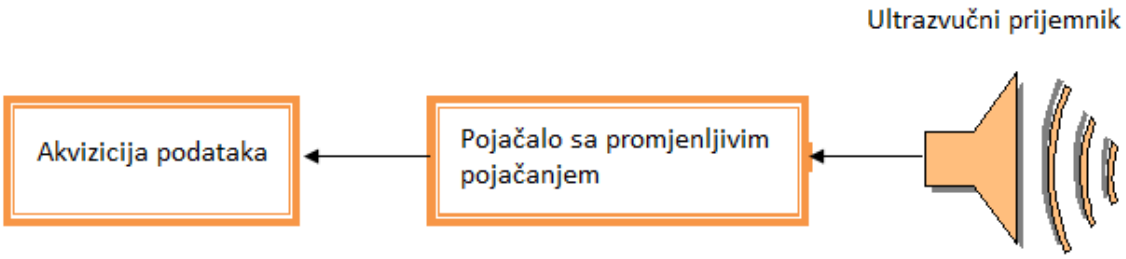
5. Simulacija predajnog i prijemnog pojačala

U okviru rada, potrebno je osmisliti sklop za kondicioniranje signala koji radi na sljedeći način. Signal granične frekvencije 100 [kHz], kojeg generiše odgovarajući uređaj (generator signala, računar i slično), je potrebno proslijediti na ultrazvučni predajnik. Sklop koji to omogućava treba imati mogućnost promjene pojačanja u zavisnosti od amplitude signala. Dakle, ukoliko se proslijedi sinusni signal amplitude 1 V, potrebno je omogućiti pojačanje tog signala 5, 10 ili 15 puta. Ultrazvučni predajnik je konstruisan tako da izdrži napone do 20 V, pa se iz tog razloga pojačanje ograničava na 15. Blok struktura predajnog kruga prikazana je na slici 5.1.



Slika 5.1. *Blok struktura predajnog kruga*

Krug prijemnika se sastoji od ultrazvučnog prijemnika i trostepenog pojačala. Ultrazvučni prijemnik prima reflektovani signal koji je potrebno obraditi. Signal koji se dobije na izlazu prijemnika je niskog energetskog nivoa, pa se vrši negovo pojačanje. Također i ovaj sklop će imati mogućnost promjene pojačanja. Nakon sto se izvrši kondicioniranje, signal se prosljeđuje na dalju obradu. Blok struktura prijemnog kruga prikazana je na slici 5.2.



Slika 5.2. *Blok struktura prijemnog kruga*

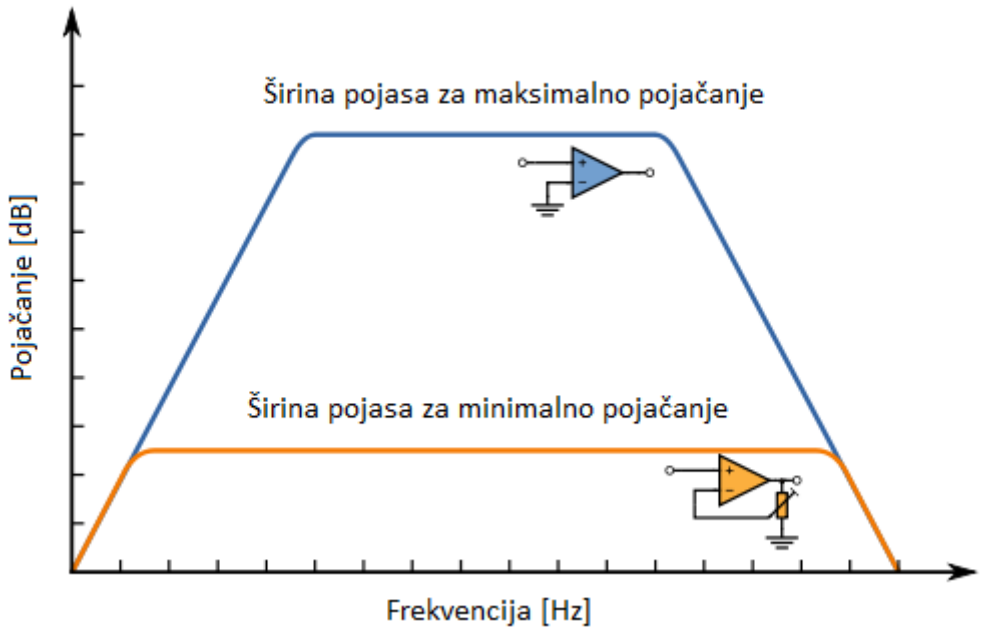
Prije izrade različitih elektroničkih uređaja potrebno je izvršiti testiranje ispravnosti rada električnih krugova od kojih se prave ti sklopovi. Dakle, potrebno je simulirati rad predajnog i prijemnog kruga prije nego se pristupi hardverskom rješavanju problema. Razlog tome jeste što je lakše uvidjeti greške prilikom rada na simulacionom modelu nego na realnom. Postoje različiti tipovi simulacionih programa kao što su Multisim, Proteus, PSIM,

Electronics Workbench. Simulacija predajnog i prijemnog pojačala je obavljena korištenjem programskog paketa Proteus.

5.1. Simulacija pojačala za ultrazvučni predajnik

Signal koji se prosljeđuje na ultrazvučni predajnik može imati maksimalnu frekvenciju 100 [kHz]. Zbog toga operaciona pojačala koja će se koristiti trebaju imati širok propusni opseg, da ne bi došlo do slabljenja signala. Za svako operaciono pojačalo je karakteristično da je prozivod pojačanja i frekvencije približno konstantan. Dakle vrijedi da je:

$$\boldsymbol{A * f \approx const} \tag{5.1}$$



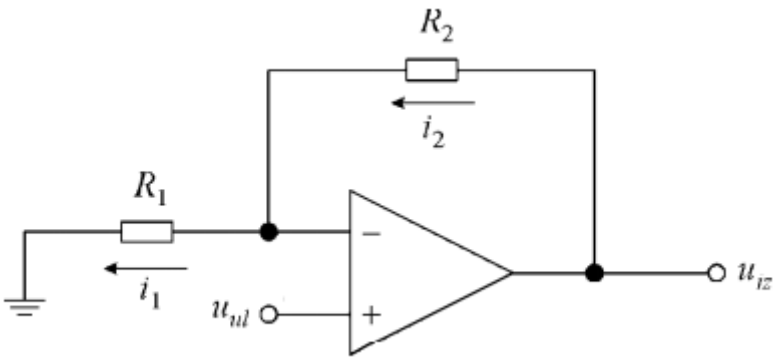
Slika 5.3. *Prikaz pojasa propusnosti operacionog pojačala*

Na slici 5.3. je prikazana zavisnost pojačanja operacionog pojačala od frekvencije signala.

Predajno pojačalo je osmišljeno tako da ima mogućnost promjene pojačanja u zavisnosti od ulaznog signala. Sklop treba da izvrši pojačanje signala ukoliko je moguće, pa će se zbog toga koristiti neinvertirajuće operaciono pojačalo. Također, na izlaz prethodnog stepena će biti vezano naponsko sljedilo koje predstavlja specijalan slučaj neinvertirajućeg pojačala. Naponsko sljedilo služi da razdvoji krug pojačala od ultrazvučnog predajnika. U nastavku je dat proračun za ova dva funkcionalna sklopa.

5.1.1. Neinvertirajuće pojačalo

Na slici 5.4. je prikazano neinvertirajuće pojačalo. Označeni su ulazni i izlazni naponi, te struje koje teku u pojedinim granama.



Slika 5.4. *Neinvertirajuće pojačalo*

Važe sljedeće relacije:

$$i_1 = i_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{u_{ul}}{R_1} = \frac{u_{iz} - u_{ul}}{R_2} \tag{5.2}$$

$$\frac{u_{iz}}{R_2} = u_{ul}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \tag{5.3}$$

$$\frac{u_{iz}}{u_{ul}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{5.4}$$

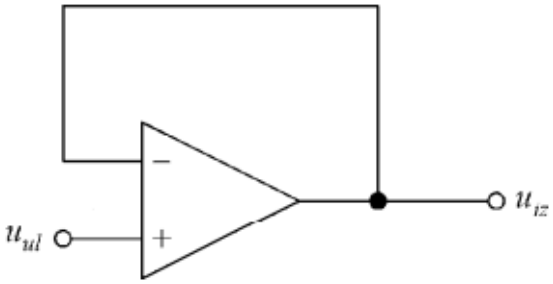
Iz relacije 5.4 slijedi da je pojačanje neinvertirajućeg pojačala:

$$\boldsymbol{A = 1 + \frac{R_2}{R_1}} \tag{5.5}$$

Na osnovu izraza 5.5 može se zaključiti da je pojačanje veće od 1 i da se može mijenjati promjenom vrijednosti otpornika R_1 ili R_2. Tada se jedan otpornik mijenja sa potenciometrom, dok drugi zadržava fiksnu vrijednost.

5.1.2. Naponsko sljedilo

Specijalan slučaj neinvertirajućeg pojačala uz $R_2 = 0$ i $R_1 = \infty$ je naponsko sljedilo prikazano na slici 5.5. Ovaj sklop ima jako veliki ulazni otpor i jako mali izlazni otpor, pa se koristi za impedantno razdvajanje dva kruga. Pojačanje naponskog sljedila iznosi 1.

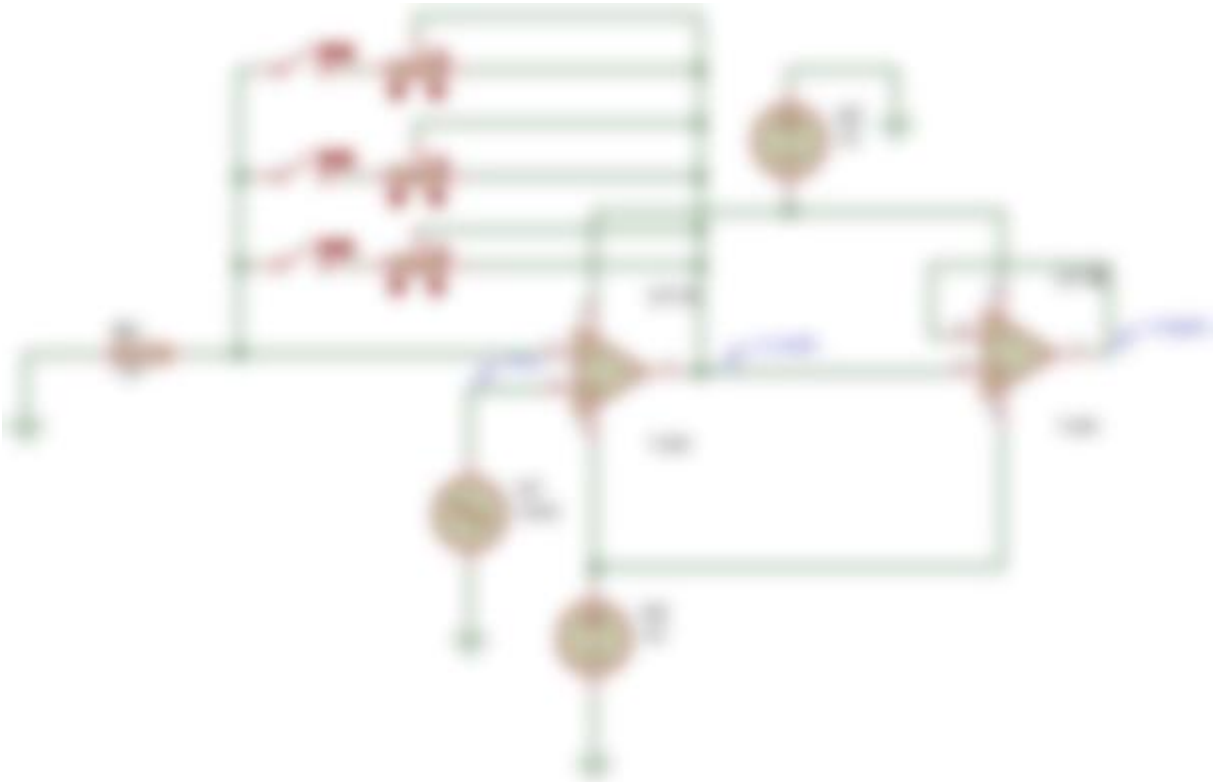


Slika 5.5. *Naponsko sljedilo*

5.1.3. Principijelna shema predajnog pojačala

Na slici 5.6. predstavljena je električna shema predajnog pojačala. Osmišljena je tako da je omogućena promjena pojačanja u sljedećim granicama:

- $A \in [1, 5]$ - ukoliko je prekidač P1 uključen,
- $A \in [1, 10]$ - ukoliko je prekidač P2 uključen,
- $A \in [1, 15]$ - ukoliko je prekidač P3 uključen.

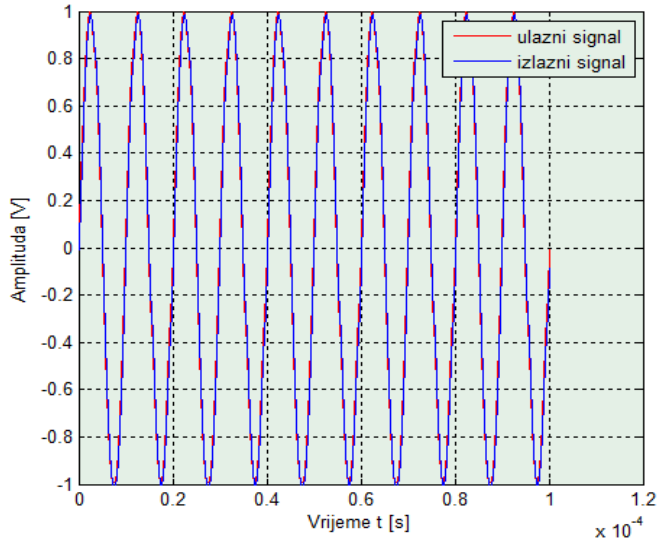


Slika 5.6. *Elektronička shema predajnog pojačala*

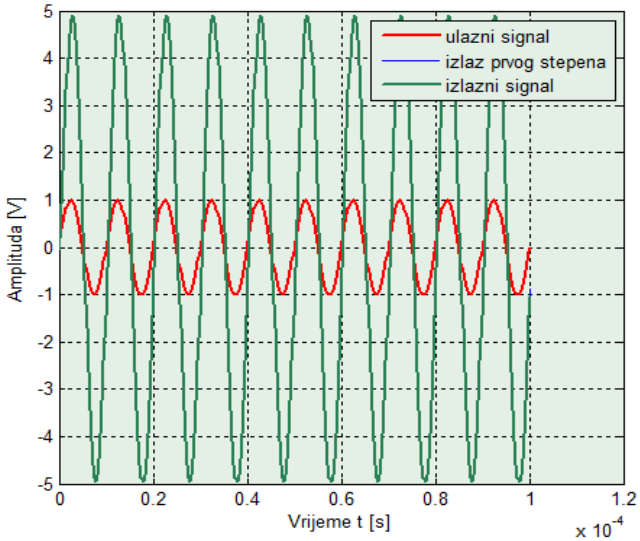
U simulaciji su korišteni sljedeći elementi:

- izvor sinusnog signala,
- naponski izvor ±15 V za napajanje operacionog pojačala,
- operaciono pojačalo TL084,
- otpornik i potenciometar,
- prekidači.

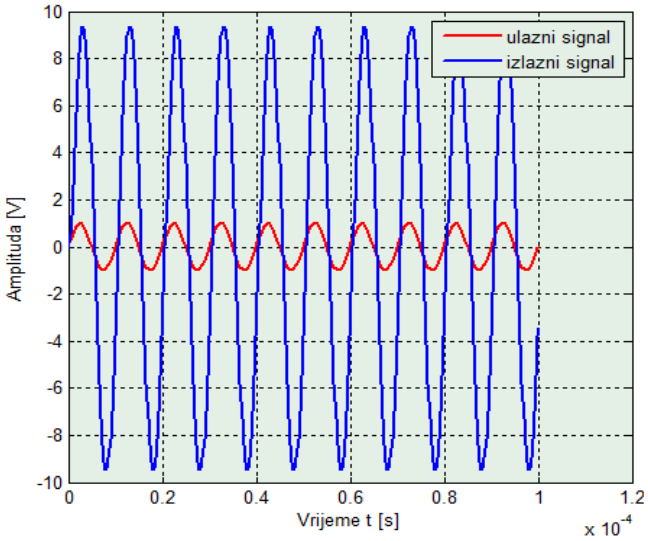
Na neinvertirajući ulaz operacionog pojačala doveden je sinusni signal amplitude 1V i frekvencije 100 [kHz]. Snimljeni su valni oblici signala u tačkama označenim na slici 5.6., a predstavljeni su slikom 5.7. Prilikom pojačanja ulaznog signala 10 i 15 puta, izlazni signal je bio niži od očekivane vrijednosti.



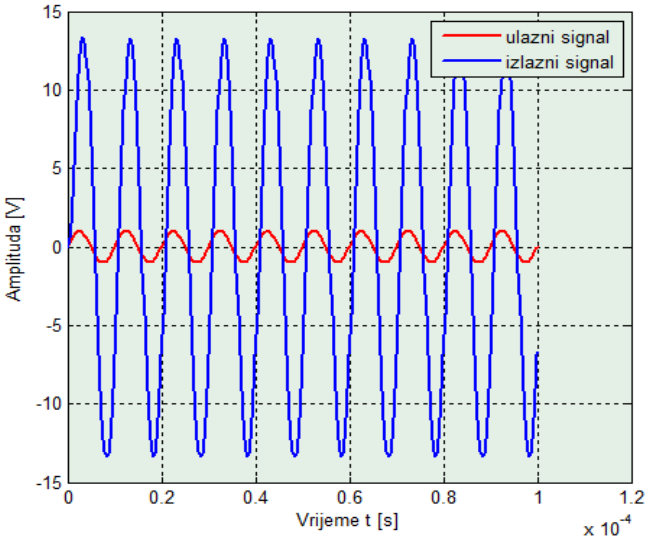
a) P1 uključen, pojačanje A=1



b) P1 uključen, pojačanje A=5



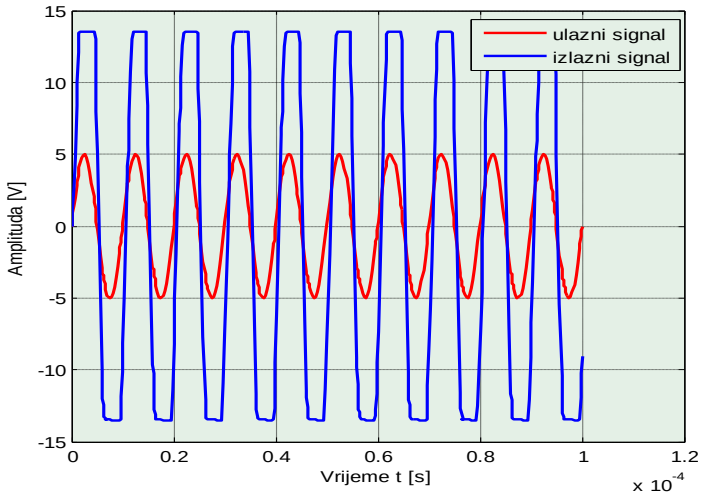
c) P2 uključen, pojačanje A=10



d) P3 uključen, pojačanje A=15

Slika 5.7. *Prikaz ulaznog i izlaznog signala za različite vrijednosti pojačanja*

Ovaj električni krug je testiran također na različite amplitude ulaznog signala. U slučaju kada je na ulaz doveden sinusni signal amplitude 5V, moguće je ostvariti maksimalno pojačanje od 2,8. U tom slučaju amplituda izlaznog sinala iznosi 14 [V]. Iznad te vrijednosti pojačanja izlazni signal prestaje biti sinusoidalan, kao što je prikazano na slici 5.8.



Slika 5.8. *Prikaz ulaznog i izlaznog signala, pojačanje A=5*

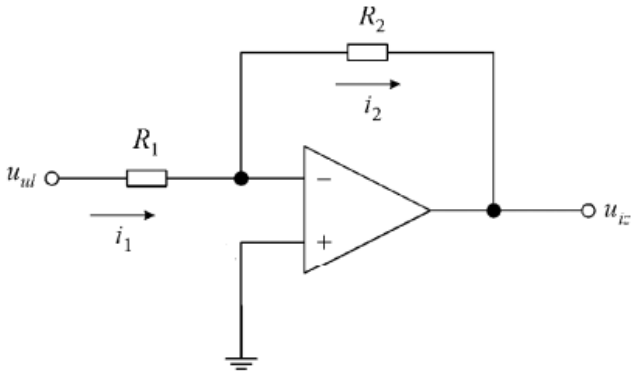
5.2. Simulacija pojačala za ultrazvučni prijemnik

Prijemnik, na osnovu primljenog signala, na izlazu daje napon niskog energetskog niova kojeg je potrebno pojačati. U ovom slučaju urađena je simulacija pojačala sa 3 stepena pojačanja, od kojih svaki stepen ima pojačanje vrijednosti 10. Ukupno pojačanje sklopa iznosi 1000 i moguće ga je mijenjati.

U prethodnom poglavlju je dato izvođenje pojačanja za neinvertirajuće pojačalo, te se ovdje neće izvoditi. U nastavku će biti prikazano izvođenje relacija za invertirajuće pojačalo.

5.2.1. Invertirajući spoj operacionog pojačala

Na slici 5.9. je prikazano operaciono pojačalo u invertirajućem spoju.



Slika 5.9. *Invertirajući spoj operacionog pojačala*

Važe sljedeće relacije:

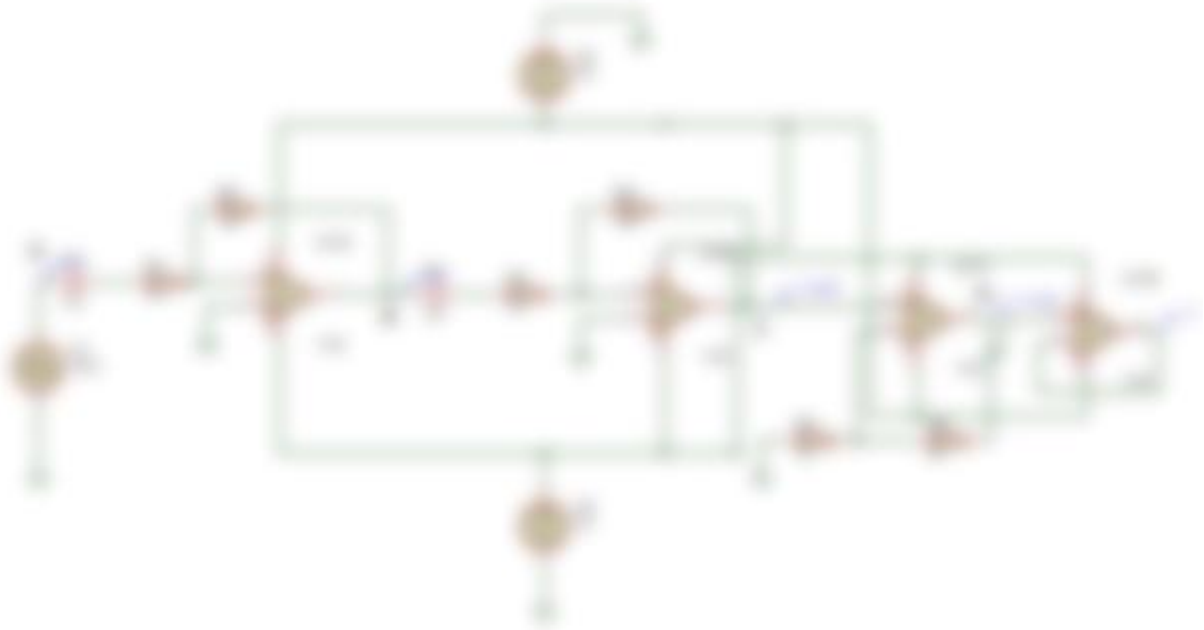
$$i_1 = i_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{u_{ul} - 0}{R_1} = \frac{0 - u_{iz}}{R_2} \tag{4.6}$$

$$\boldsymbol{A = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1}} \tag{4.7}$$

Pojačanje invertirajućeg pojačala se može mijenjati promjenom vrijednosti otpora R_1 ili R_2. Tada se jedan otpornik mijenja sa potenciometrom, dok drugi ostaje fiksne vrijednosti.

5.2.2. Principijelna shema prijemnog pojačala

Na slici 5.10. predstavljena je električna shema prijemnog pojačala. Prva dva stepena predstavljaju invertirajuća pojačala, dok je treći stepen neinvertirajuće pojačalo. Kondenzatori prikazani na električnoj shemi služe da eliminišu istosmjernu komponentu signala koja se može pojaviti.

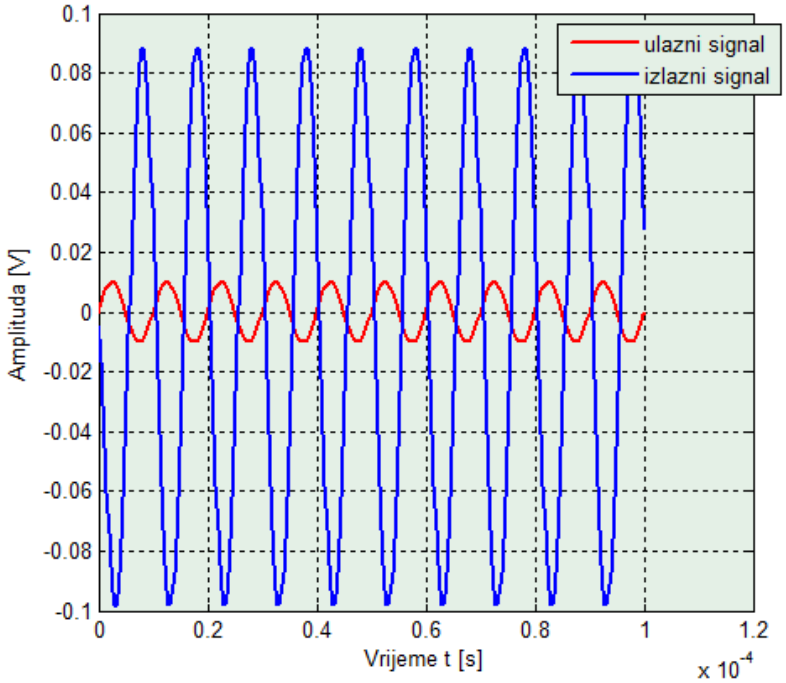


Slika 5.10. *Elektronička shema prijemnog pojačala*

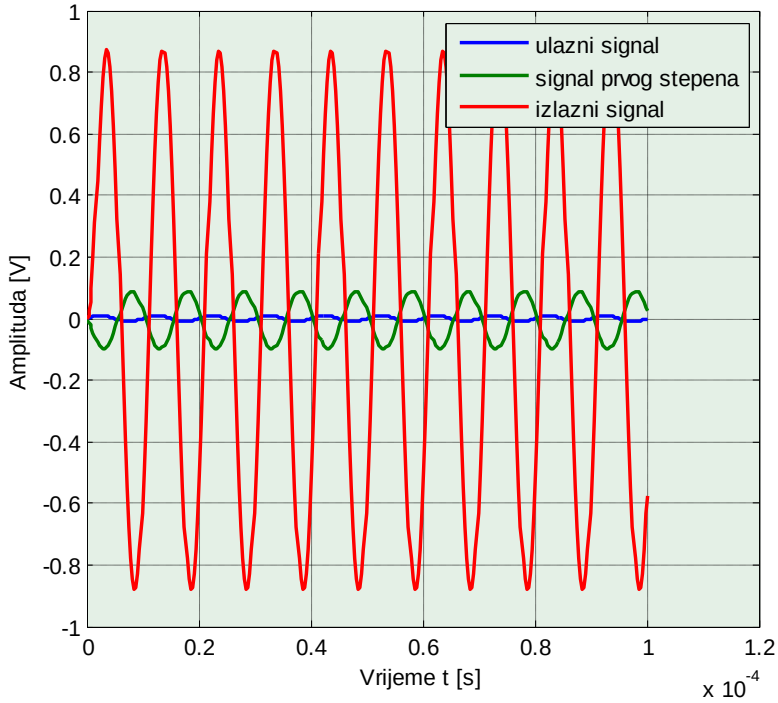
U simulaciji su korišteni sljedeći elementi:

- izvor sinusnog signala – zamjena za prijemnik,
- naponski izvor ±15 V za napajanje operacionog pojačala,
- operaciono pojačalo TL084,
- otpornici i kondenzatori.

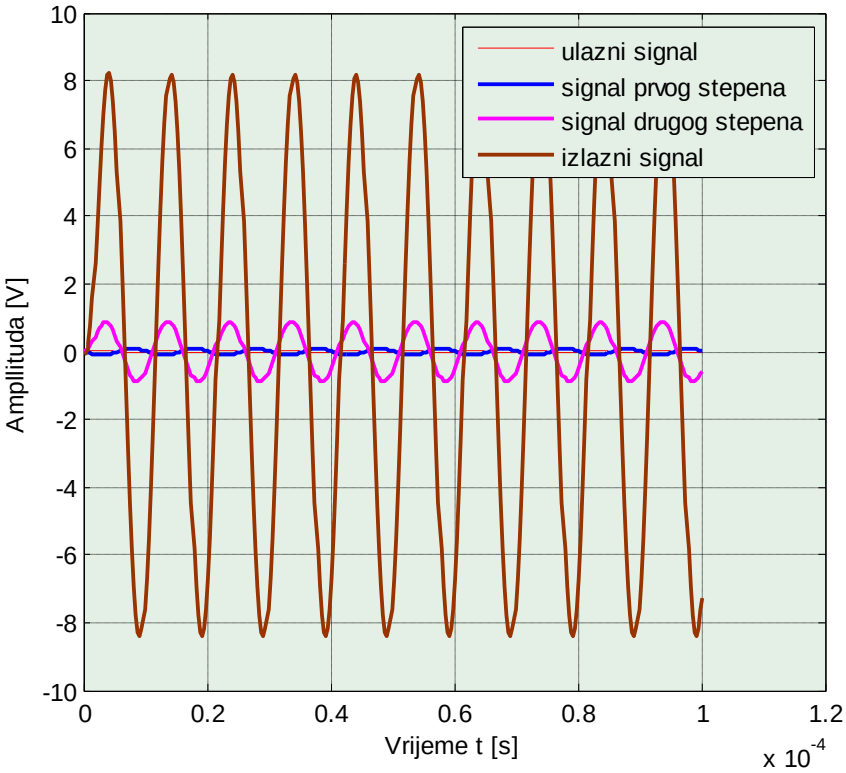
Na prvi stepen pojačala se dovodi sinusni signal amplitude 10 [mV] i frekvencije 100 [kHz]. Snimljeni su valni oblici signala u pojedinim tačkama i prikazani na slici 5.11.



a) Izlazni signal nakon prvog stepena pojačanja (tačka „B“)



b) Izlazni signal nakon drugog stepena pojačanja (tačka „C“)



c) Izlazni signal nakon trećeg stepena pojačanja (tačka „D“)

Slika 5.11. *Valni oblici signala u pojedinim tačkama*

Na slici 5.11.c. može se vidjeti da je amplituda izlaznog signala manja od očekivane vrijednosti. Pojačavanjem signala koji imaju veliku frekvenciju, dovodi do smanjenja amplitude pojačanog izlaznog signala, zbog ograničenog propusnog opsega pojačala. U tom slučaju iznos pojačanja je manji od proračunate vrijednosti.

U slučaju da ulazni signal ima malu frekvenciju, postoji mogućnost slabljenja njegove amplitude i prije nego se on pojača. Razlog tome je reaktivna otpornost kondenzatora C1. Na višim frekvencijama vrijednost tog otpora je zanemariva, ali na nižim ona postaje mnogo veća. Zbog toga je proračunat ulazni otpor prijemnog kruga. Ulazna impedansa je:

$$Z = R_1 - jX_{c1} = 10000 - j\frac{10^6}{2\pi f \cdot 10} \tag{4.8}$$

Za različite vrijednosti frekvencije dobijaju se različite vrijednosti ulazne otpornosti. Za slučaj da je f= 20 [kHz], ulazni otpor iznosi 10 [kΩ]. Za slučaj da je f= 100 [kHz], ulazni otpor iznosi također 10 [kΩ] (razlika je u petoj decimali). Dakle, ulazni otpor ne zavisi od kapaciteta ukoliko je njegova vrijednost dovoljno velika.

Da bi se ostvarilo promjenljivo pojačanje potrebno je imati promjenljiv otpornik R6 (slika 5.10.). Ukoliko je amplituda ulaznog signala veća od 100 µV, izlazni signal neće imati oblik sinusoide (pojačalo odlazi u zasićenje). Zbog toga je potrebno imati promjenljivo pojačanje, da bi se izbjegli takvi problemi. Projektovano pojačanje prijemnog pojačala iznosi 1000, uz mogućnost njegove promjene.

5.3. Operaciono pojačalo TL084

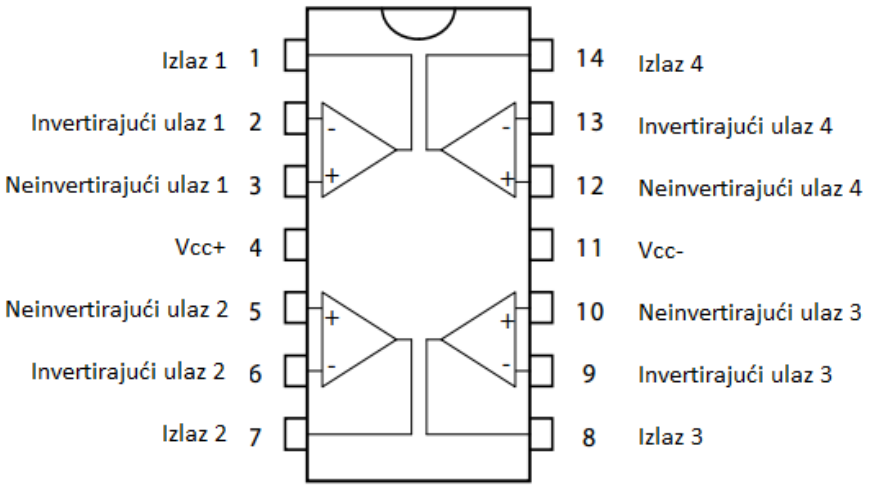
U simulaciji, kao i u okviru izrade širokopojasnih pojačala je korišteno operaciono pojačalo TL084, čiji je proizvođač STMicroelectronics. Ova operaciona pojačala su odabrana zbog relativno širokog propusnog opsega koji iznosi 2.5 [MHz] i niske cijene.

Osnove karakteristike operacionog pojačala TL084 su:

- nizak ulazni prednapon i ofset struje,
- zaštita izlaza od kratkog spoja,
- vrlo visoka ulazna impedansa,
- kompenzacija unutrašnje frekvencije.

TL084 pripadaju familiji vrlo brzih operacionih pojačala napravljenih u monolitnoj integriranoj tehnologiji korištenjem JFET i bipolarnih trazistora [8]. Na slici 5.12. je prikazano operaciono pojačalo TL084, a na slici 5.13. raspored pinova.

Slika 5.12. *Operaciono pojačalo TL084*



Slika 5.13. *Raspored pinova OP TL084 [8]*

5.4. Digitalni potenciometar MCP41XXX

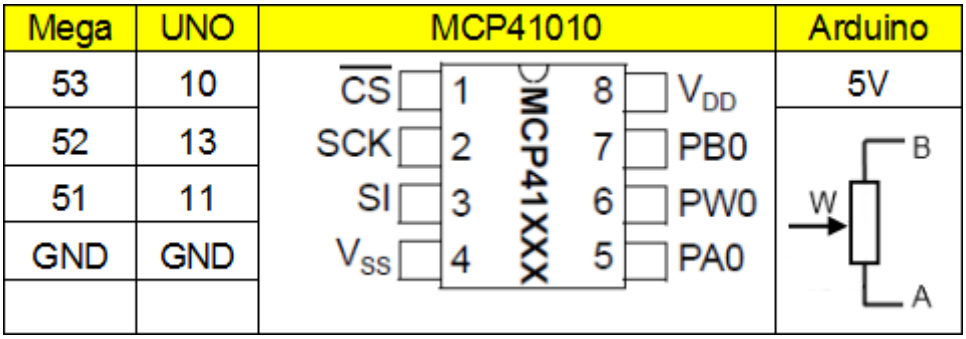
Digitalni potenciometar ili digipot je digitalno kontrolisana elektronička komponenta koja oponaša analogne funkcije potenciometra [9]. Često se koristi za skaliranje analognih signala od strane mikrokontrolera.

U okviru rada je potrebno pored manuelne promjene pojačanja omogućiti i softversku promjenu pojačanja. Jedan od načina da se to postigne jeste korištenjem digitalnog potenciometra. Svaki digitalni potenciometar se sastoji od promjenljivog otpornika i 8-bitnog registra podataka (256 pozicija), koji određuje položaj klizača. U zavisnosti od izabrane pozicije određuje se vrijednost otpornosti digitalnog potenciometra.

Digitalni potenciometri MCP41XXX su dostupni u vrijednostima od 10 [kΩ], 50 [kΩ] i 100 [kΩ]. Više informacija o ovom uređaju može se pronaći u tehničkoj dokumentaciji [8]. Na slici 5.14. je prikazan digitalni potenciometar.

Slika 5.14. *Digitalni potenciometar*

Digitalni potenciometar se može upravljati korištenjem Arduina, mikrokontrolera ili sličnog uređaja. Komunikacija sa digitalnim potenciometrom se ostvaruje preko serijskog interfejsa, pri čemu se koriste tri kanala: CS (engl. C*hip select*), SCK (engl. *Serial clock*) i SI (engl. *Serial Data Input*). Port CS se koristi za izbor čipa, SCK za podešavanje brzine serijske komunikacije, a preko porta SI se prenose upravljački signali. Način spajanja digipota i Arduina dat je na slici 5.15.



Slika 5.15. *Način spajanja digitalnog potenciometra i Arduina Mega i Uno*

Testiranjem je utvrđeno da digitalni potenciometar na izlazu daje unipolaran signal. Zbog toga je njegova upotreba ograničena.

6. Izrada širokopojasnih pojačala na matadoru

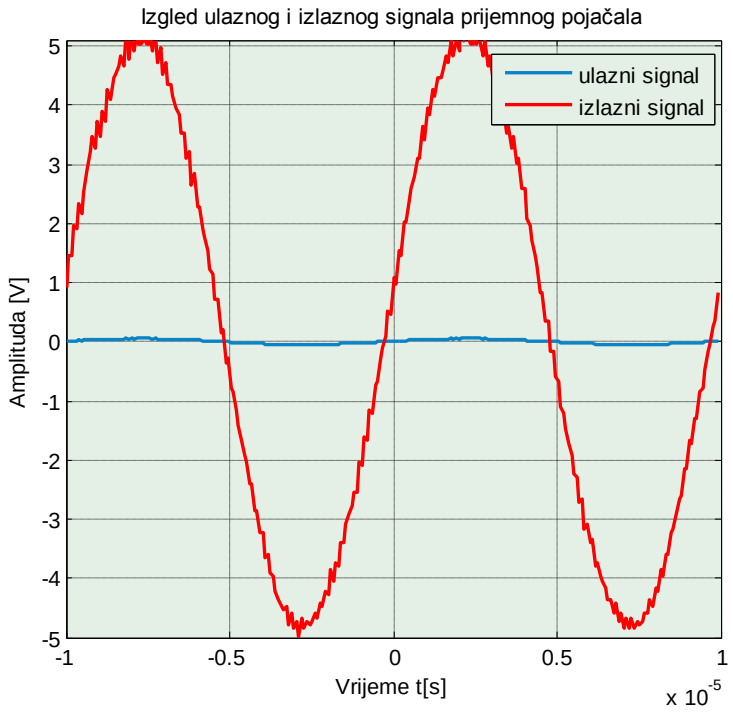
U okviru ovog poglavlja izvršeno je testiranje simuliranih elektroničkih shema predajnog i prijemnog pojačala.

Korištena je sljedeća oprema:

- napojna jedinica,
- generator funkcija,
- osciloskop,
- operaciono pojačalo TL084,
- otpornici i kondenzatori,
- matador i spojni vodovi.

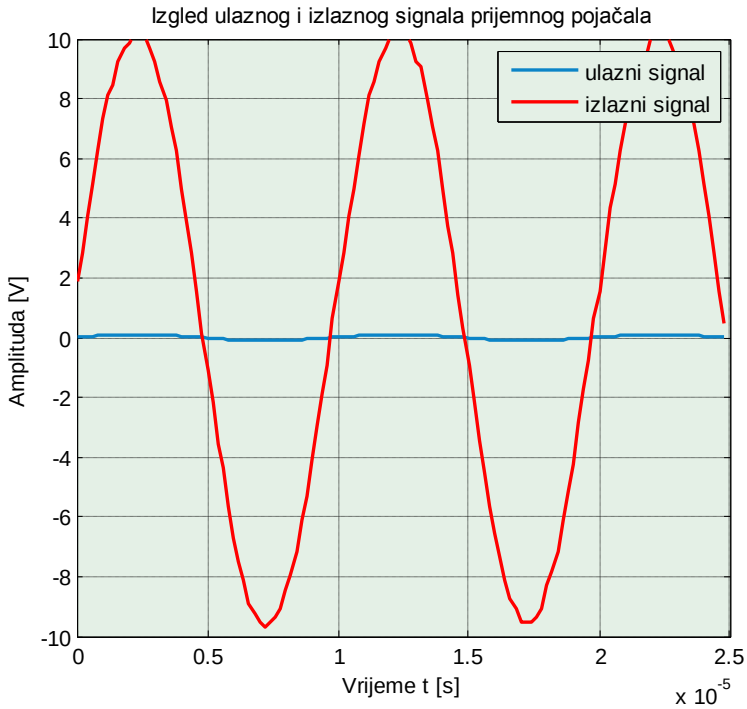
Testiranje prijemnog sklopa je izvršeno na osnovu dovedenog signala sa generatora funkcija. Generator funkcija je zamjena za ultrazvučni prijemnik. Na ulaz prvog stepena operacionog pojačala doveden je sinusni signal. Testiranje je izvršeno promjenom amplitude i frekvencije ulaznog signala. Prva dva stepena pojačala imaju pojačanje 10, a treći stepen približno 3. Ukupno pojačanje sklopa iznosi 300. Testirani su sljedeći slučajevi:

a) Kada je amplituda ulaznog signala 50 [mV], frekvencija 100 [kHz], a pojačanje sklopa 100 , izlazni signal je predstavljen slikom 6.1.



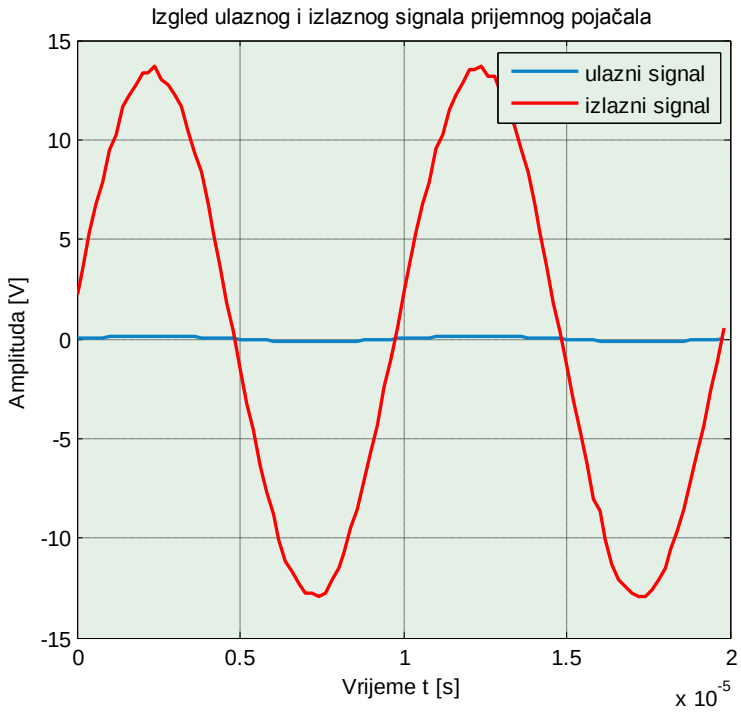
Slika 6.1. *Izgled izlaznog signala za slučaj pod a)*

b) Kada je amplituda ulaznog signala 100 [mV], frekvencija 100 [kHz], a pojačanje sklopa 100 , izlazni signal je predstavljen slikom 6.2.



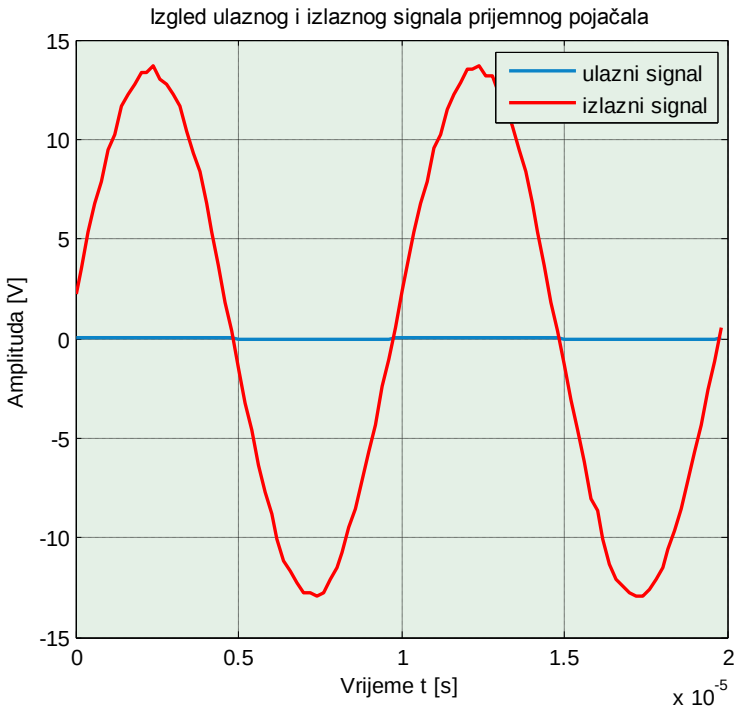
Slika 6.2. *Izgled izlaznog signala za slučaj pod b)*

c) Kada je amplituda ulaznog signala 140 [mV], frekvencija 100 [kHz], a pojačanje sklopa 100 , izlazni signal je predstavljen slikom 6.3.



Slika 6.3. *Izgled izlaznog signala za slučaj pod c)*

d) Kada je amplituda ulaznog signala 50 [mV], frekvencija 100 [kHz], a pojačanje sklopa 300 , izlazni signal je predstavljen slikom 6.4.

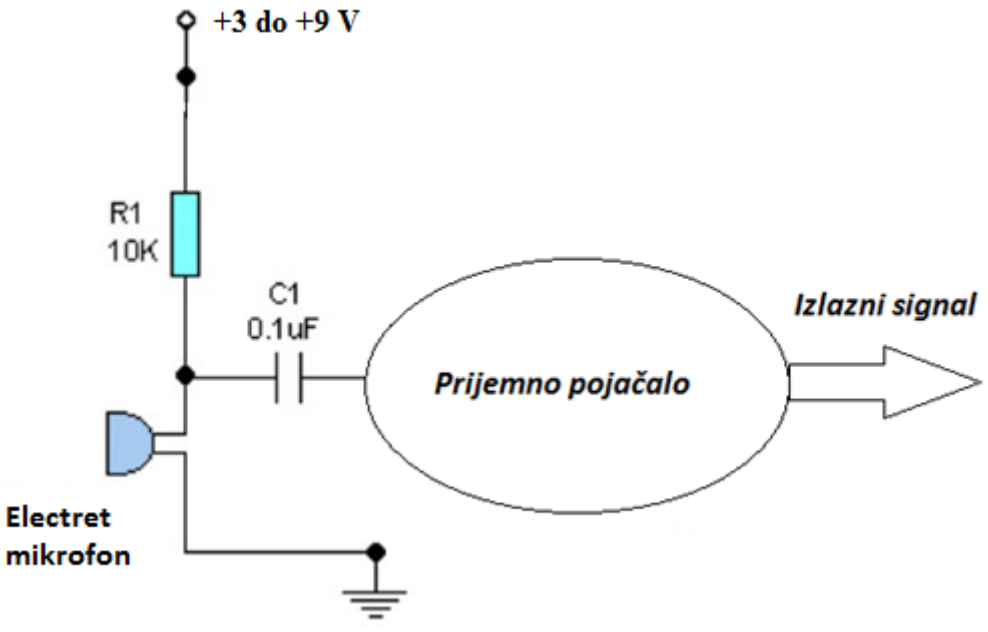


Slika 6.4. *Izgled izlaznog signala za slučaj pod d)*

Kod testiranja pojačala, kao što je prikazano, korišteni su signali frekvencije 100 [kHz]. Pri graničnoj frekvenciji od 100 [kHz], izlazni signal je pojačan i prati ulazni signal. Bitno je napomenuti da pojačalo ne unosi distorziju signala i da vjerno prenosi i pojačava signal koji se dovede na njegov ulaz. U zavisnosti od amplitude ulazog signala, pojačalo može otići u zasićenje ukoliko je pojačanje preveliko. Problem zasićenja je moguće riješiti promjenljivim pojačanjem, tako što se odgovarajući otpornik zamijeni potenciometrom.

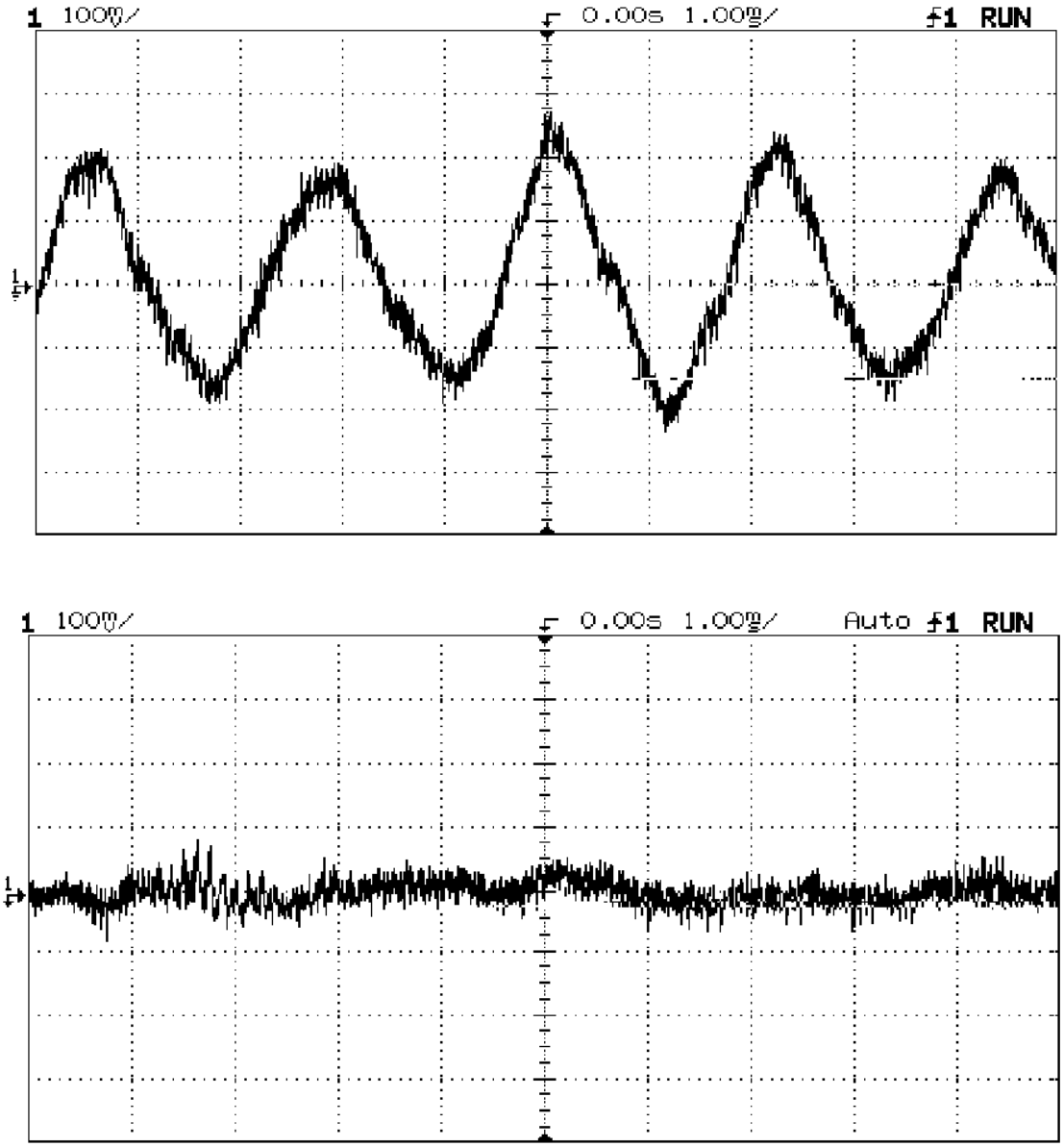
6.1. Testiranje pojačala i mikrofona

U ovom eksperimentu korišten je mikrofon kao zamjena za ultrazvučni prijemnik. Na slici 6.5. je prikazan način spajanja Electret mikrofona i njegov fizički izgled.



Slika 6.5. *Shema spajanja EPE mikrofona i njegov fizički izgled*

Signal iz mikrofona je doveden na ulaz pojačala, a osciloskopom su snimani signali na izlazu iz pojačala. Na slici 6.6. su prikazani sinimljeni signali.

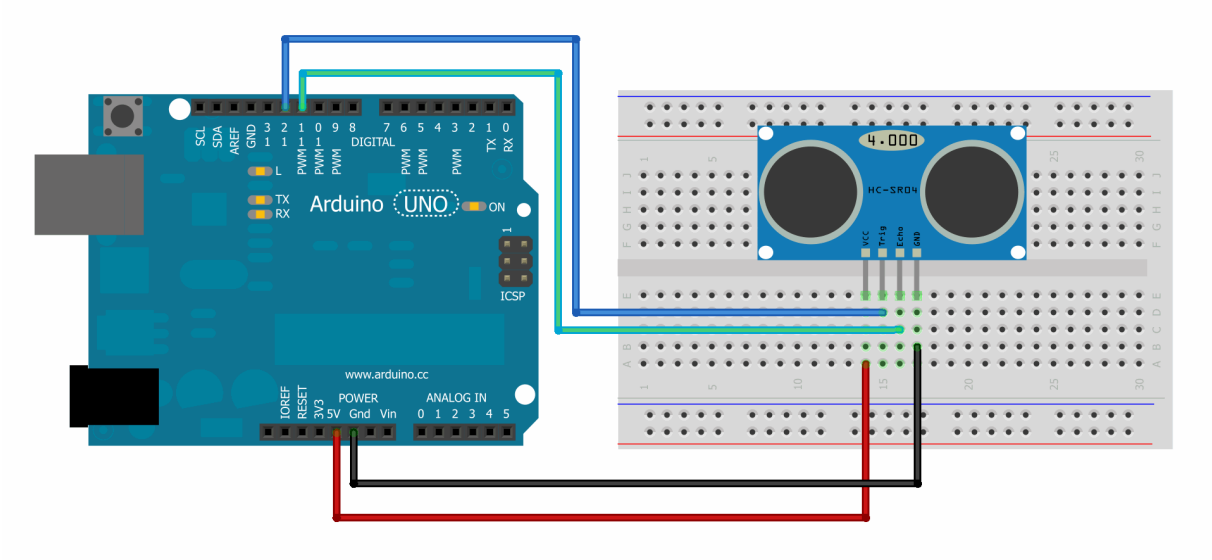


Slika 6.6. *Pojačani signali generisani pomoću mikrofona*

6.2. Generisanje ultrazvučnih signala korištenjem SRF04 i Arduina

Za potrebe testiranja ispravnosti realiziranih pojačala potrebno je imati sklop za generisanje ultrazvučnih signala. Jedan od načina je korištenjem sklopa za mjerenje udaljenosti SRF04, koji je obrađen u poglavlju 4. Arduino Uno se koristi kao uređaj za slanje četvrtki signala određenog trajanja na trigerski ulaz SRF04. Na osnovu tih signala, SRF04 generiše ultrazvučne talase preko predajnika, koji se prostiru do objekta i vraćaju nazad na prijemnik.

Na slici 6.7. je prikazan način spajanja SRF04 i Arduina Una.



Slika 6.7. *Način spajanja SRF04 i Arduina*

Kod za Arduino:

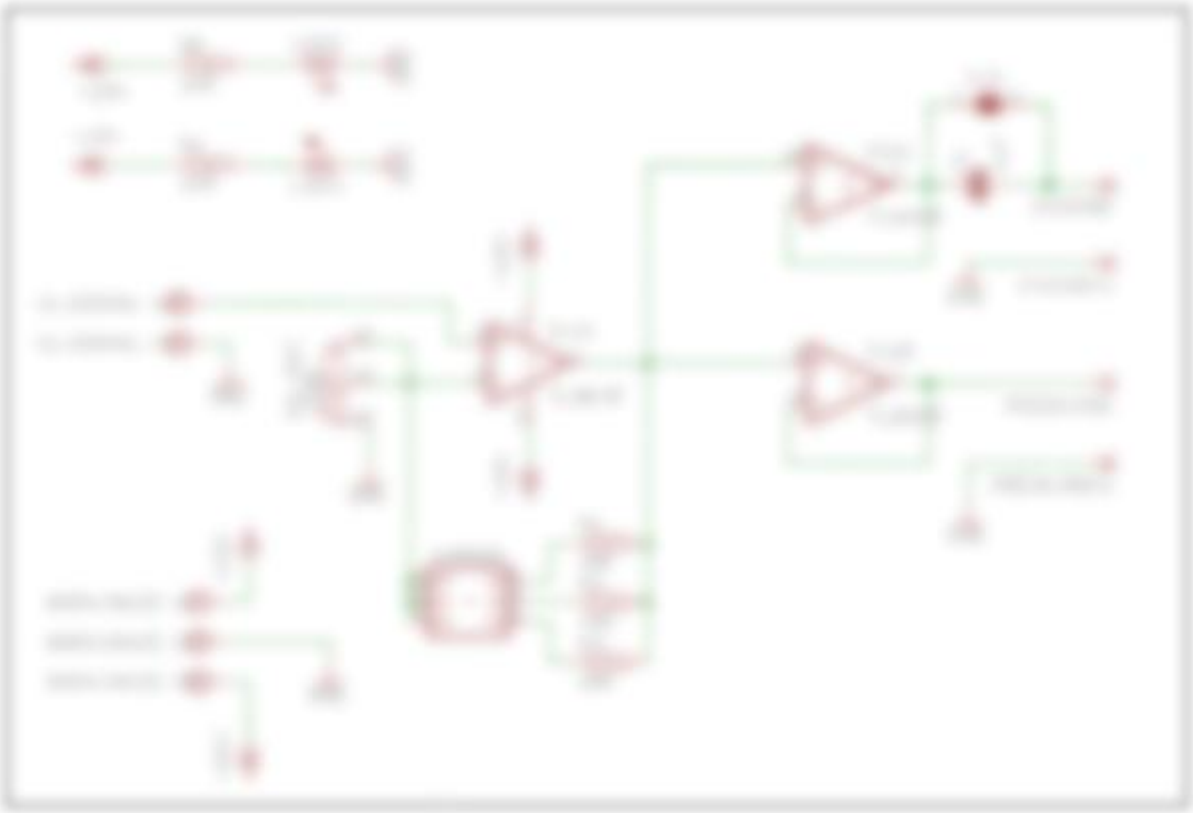
```
const int trigPin = 7;
const int echoPin = 6;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  long duration, cm;
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // pretvaranje vremena trajanja u udaljenost
  cm = microsecondsToCentimeters(duration);
  Serial.print(cm);
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
  delay(100);
}
long microsecondsToCentimeters(long microseconds){
      return microseconds / 29 / 2;
}
```

7. Izrada štampanih pločica

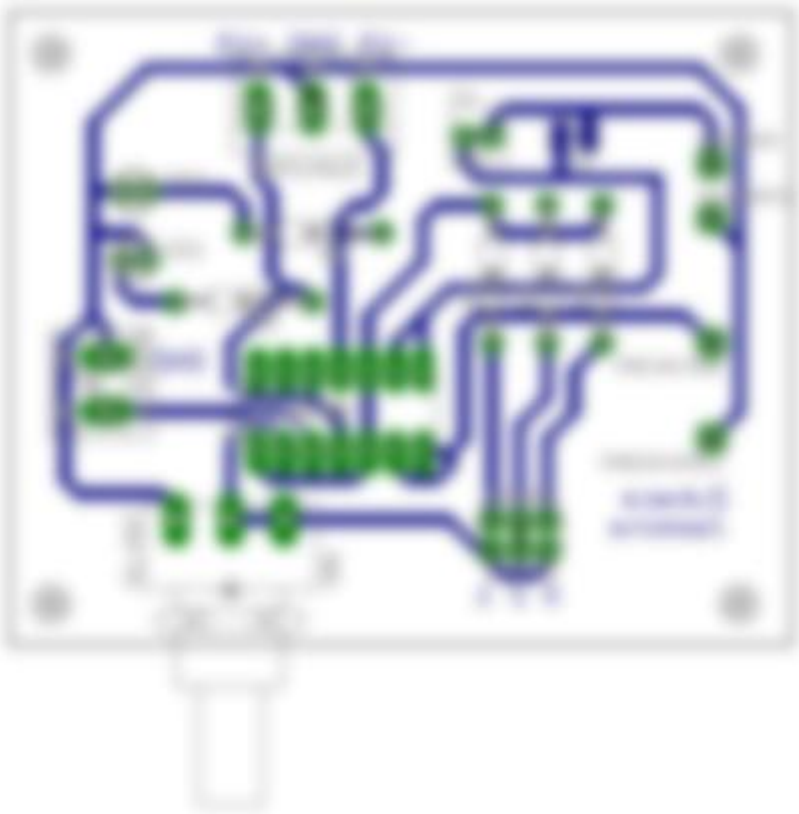
U okviru ovog poglavlja date su elektroničke sheme predajnog i prijemnog pojačala, kao i izgledi štampanih pločica. Za izradu štampanih pločica predajnog i prijemnog pojačala korišten je programski paket Eagle.

7.1. Predajno pojačalo

Elektronička shema predajnog pojačala prikazana je na slici 7.1. Predviđena je mogućnost spajanja zvučnika i ultrazvučnog senzora. Također, moguće je podešavati vrijednosti pojačanja korištenjem potenciometra. Na pločici je urađena i indikacija za napajanje ±15 [V]. Na slici 7.2. je prikazan izgled štampane pločice.



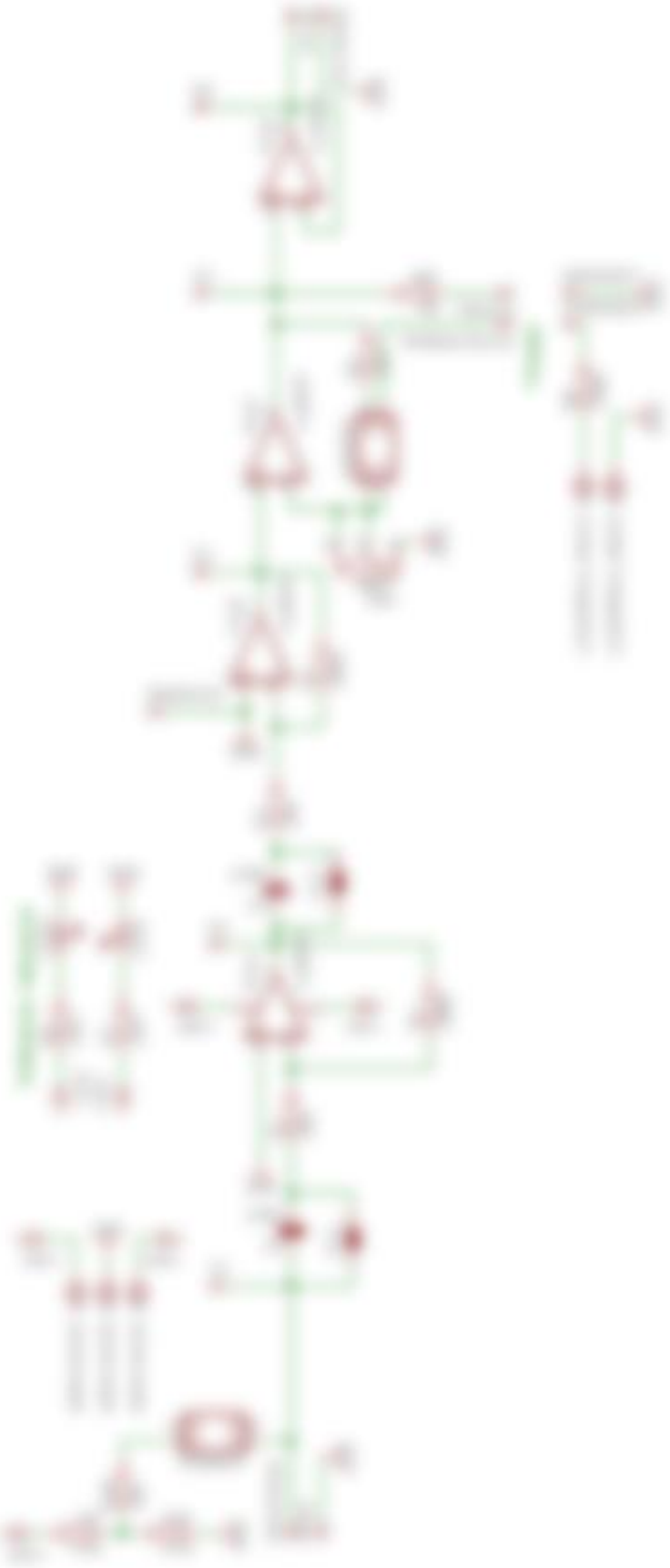
Slika 7.1. *Elektronička shema predajnog pojačala*



Slika 7.2. *Izgled štampane pločice*

7.2. Prijemno pojačalo

Elektronička shema prijemnog pojačala prikazana je na slici 7.3. Sklop posjeduje mogućnost priključenja ultrazvučnog senzora i mikrofona. Također, omogućena je manuelna i automatska promjena pojačanja. Manuelno podešavanje pojačanja je moguće korištenjem potenciometra. Automatska promjena pojačanja se postiže upravljanjem fotoparom (LED dioda+fotootpornik), odnosno upravljanjem jačinom svjetlosti LED diode. Na pločici je urađena i indikacija za napajanje ±15 [V]. Na slici 7.4. je prikazan izgled štampane pločice.



Slika 7.3. *Elektronička shema prijemnog pojačala*

Slika 7.4. *Izgled štampane pločice*

8. Amplitudno-frekventne karakteristike pojačala

U okviru rada je bilo potrebno snimiti amplitudno-frekventne karakteristike predajnog i prijemnog pojačala. U nastavku su dati eksperimentalni rezultati.

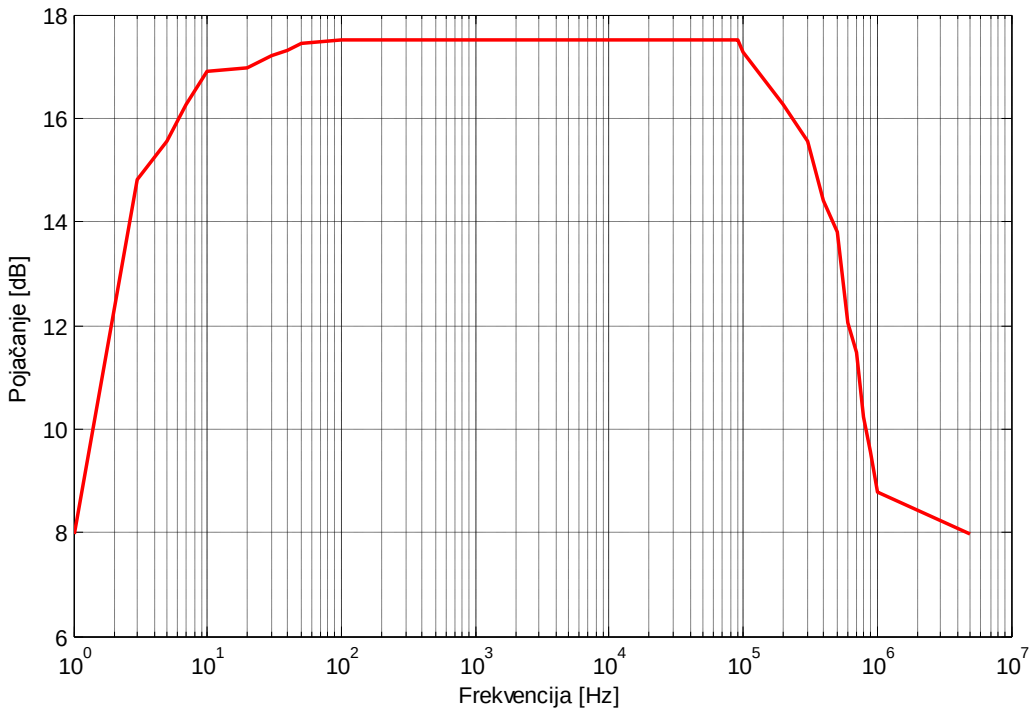
8.1. Predajno pojačalo

Snimanje amplitudno-frekventne karakteristike predajnog pojačala je izvedeno na sljedeći način. Na ulaz pojačala doveden je signal sinusnog oblika, čija je amplituda iznosila 2 [V], mjereno od vrha do vrha, a frekvencija se mijenjala u opsegu od 1 [Hz] do 5 [MHz]. Osciloskopom su snimani talasni (valni) oblici ulaznog i izlaznog signala. Na osnovu izmjerenih vrijednosti računao se odnos njihovih amplituda. U tabeli 8.1. su prikazani rezultati mjerenja, a na slici 8.1. je prikazana amplitudno-frekventna karakteristika predajnog pojačala.

Frekvencija [Hz]	*Amplituda ulaznog signala [V]*	*Amplituda izlaznog signala [V]*
1	**2**	**5**
3	**2**	**11**
5	**2**	**12**
7	**2**	**13**
10	**2**	**14**
20	**2**	**14.1**
30	**2**	**14.5**
40	**2**	**14.7**
50	**2**	**14.9**
100	**2**	**15**
200	**2**	**15**
300	**2**	**15**
400	**2**	**15**
500	**2**	**15**
600	**2**	**15**
700	**2**	**15**
800	**2**	**15**
900	**2**	**15**
1k	**2**	**15**
2k	**2**	**15**
3k	**2**	**15**
4k	**2**	**15**
5k	**2**	**15**
10k	**2**	**15**

20k	**2**	**15**
30k	**2**	**15**
40k	**2**	**15**
50k	**2**	**15**
60k	**2**	**15**
70k	**2**	**15**
80k	**2**	**15**
90k	**2**	**15**
100k	**2**	**14.6**
200k	**2**	**13**
300k	**2**	**12**
400k	**2**	**10.5**
500k	**2**	**9.8**
600k	**2**	**8**
700k	**2**	**7.5**
800k	**2**	**6.5**
900k	**2**	**6**
1M	**2**	**5.5**
5M	**2**	**5**

Tabela 8.1. *Rezultati mjerenja-predajno pojačalo*



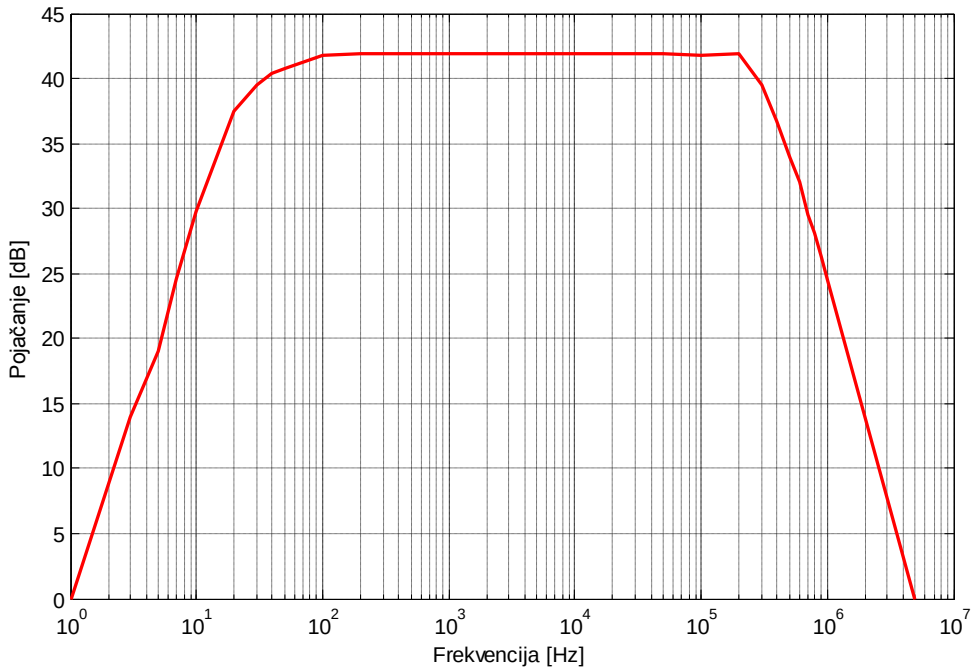
Slika 8.1. *Amplitudno-frekventna karakteristika predajnog pojačala*

8.2. Prijemno pojačalo

Snimanje amplitudno-frekventne karakteristike prijemnog pojačala je izvedeno na sljedeći način. Na ulaz pojačala doveden je signal sinusnog oblika, čija je amplituda iznosila 200 [mV], mjereno od vrha do vrha, a frekvencija se mijenjala u opsegu od 1 [Hz] do 5 [MHz]. Osciloskopom su snimani talasni (valni) oblici ulaznog i izlaznog signala. Na osnovu izmjerenih vrijednosti računao se odnos njihovih amplituda. U tabeli 8.2. su prikazani rezultati mjerenja, a na slici 8.2. je prikazana amplitudno-frekventna karakteristika prijemnog pojačala.

Frekvencija [Hz]	*Amplituda ulaznog signala [mV]*	*Amplituda izlaznog signala [V]*
1	**100**	**0.1**
3	**100**	**0.5**
5	**180**	**1.6**
7	**200**	**3.4**
10	**200**	**6.2**
20	**200**	**15**
30	**200**	**19**
40	**200**	**21**
50	**200**	**22**
100	**200**	**24.5**
200	**200**	**25**
300	**200**	**25**
400	**200**	**25**
500	**200**	**25**
1k	**200**	**25**
2k	**200**	**25**
3k	**200**	**25**
4k	**200**	**25**
5k	**200**	**25**
50k	**200**	**25**
100k	**200**	**24.5**
200k	**160**	**20**
300k	**160**	**15**
400k	**160**	**11**
500k	**150**	**7.5**
600k	**150**	**6**
700k	**150**	**4.5**
800k	**150**	**3.8**
900k	**150**	**3.1**
1M	**150**	**2.5**
5M	**150**	**0.15**

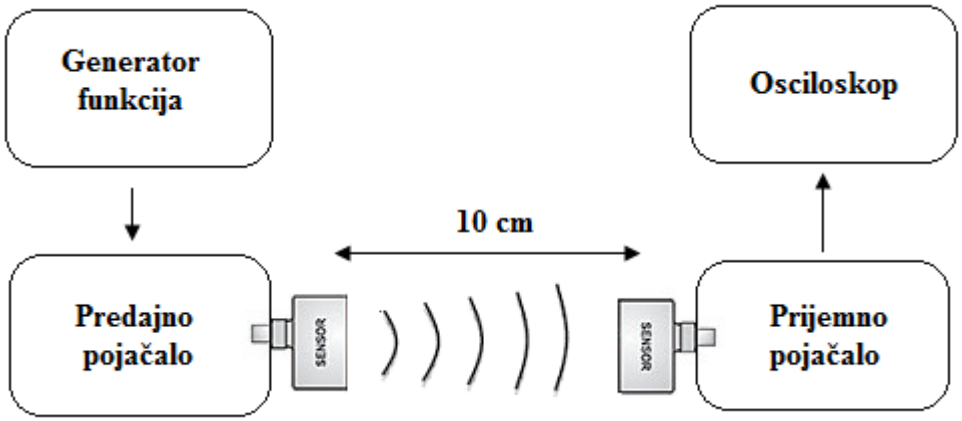
Tabela 8.2. *Rezultati mjerenja-prijemno pojačalo*



Slika 8.2. *Amplitudno-frekventna karakteristika prijemnog pojačala*

8.3. Primopredajni sklop

Snimanje amplitudno-frekventne karakteristike je obavljeno na sljedeći način. Ultrazvučni senzori na prijemnom i predajnom pojačalu postavljeni su u opoziciju, na udaljenosti od 10 [cm]. Preko predajnog pojačala i ultrazvučnog predajnika se slao sinusni signal amplitude 350 [mV]. Primljeni signal se preko ultrazvučnog prijemnika i prijemnog pojačala pojačavao i snimao sa osciloskopom, kao što je prikazano na slici 8.3.

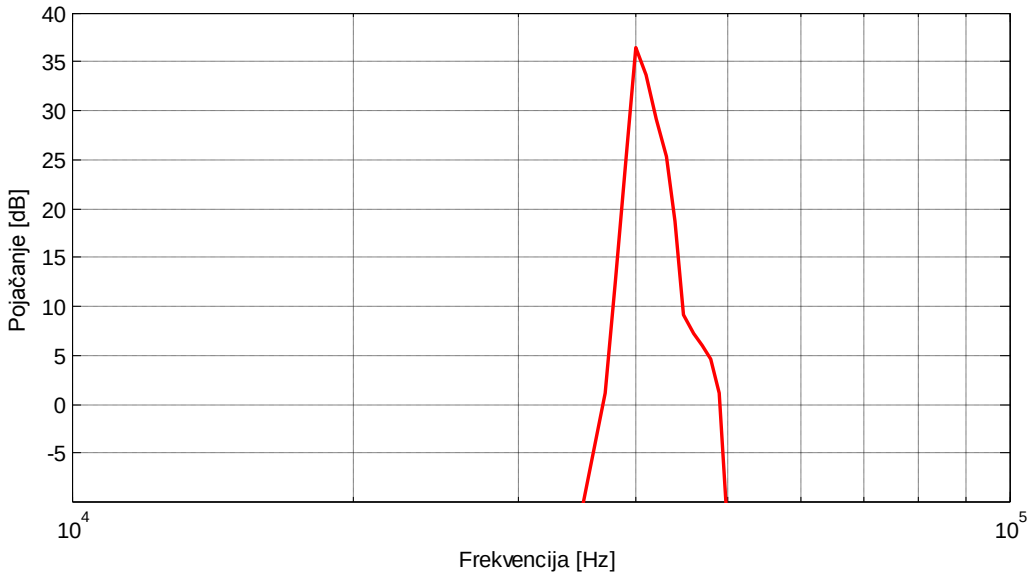


Slika 8.3. *Blok struktura primopredajnog senzorskog sistema*

Na osciloskopu je mjerena amplituda izlaznog signala sa prijemnog pojačala. U tabeli 8.3. su prikazani rezultati mjerenja, a na slici 8.4. je prikazana amplitudno-frekventna karakteristika primopredajnog sklopa.

Frekvencija [Hz]	*Amplituda izlaznog signala [V]*
1	**0**
10k	**0**
30k	**0**
35k	**0.05**
36k	**0.1**
37k	**0.2**
38k	**0.75**
39k	**3**
40k	**11.5**
41k	**8.5**
42k	**5**
43k	**3.25**
44k	**1.5**
45k	**0.5**
46k	**0.4**
47k	**0.35**
48k	**0.3**
49k	**0.2**
50k	**0**
100k	**0**

Tabela 8.3. *Rezultati mjerenja-primopredajni sklop*



Slika 8.4. *Amplitudno-frekventna karakteristika primopredajnog sklopa*

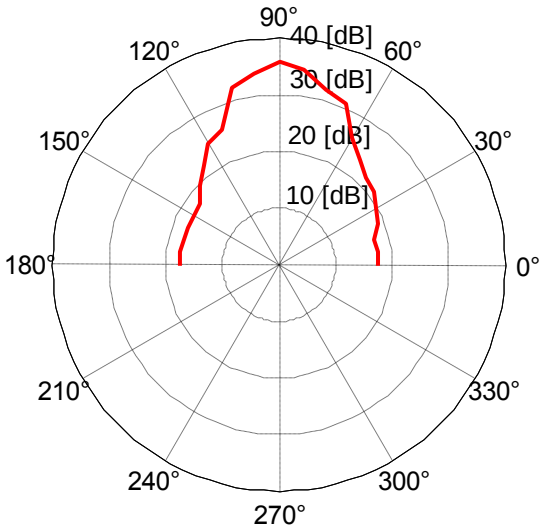
Slika 5.3. pokazuje amplitudno-frekventne karakteristike spojeva na bazi operacionog pojačala. OP je istosmjerno pojačalo, te zbog toga lijeva strana karakteristike počinje od 0. Kod amplitudno-frekventnih karakteristika, koje su prikazane u ovom poglavlju uzima se u obzir postojanje sprežnih kondenzatora. Zbog toga ove karakteristike ne počinju od 0.

9. Karakteristika usmjerenosti ultrazvučnog senzora

U okviru rada bilo je potrebno snimiti karakteristiku usmjerenosti senzora. Karakteristika usmjerenosti je snimljena na sljedeći način. Ultrazvučni prijemnik je imao stalnu poziciju, dok se ultrazvučni predajnik pomjerao po polukrugu poluprečnika 1 [m] i zauzimao odgovarajuću poziciju u prostoru, te slao signale ka prijemniku. Amplituda ulaznog signala je iznosila 400 [mV]. Pomoću osciloskopa su snimane vrijednosti amplitude izlaznog signala. U tabeli 9.1. su dati rezultati mjerenja, a na slici 9.1. je prikazana karakteristika usmjerenosti senzora.

Ugaona pozicija [°]	*Amplituda signala [V]*	*Ugaona pozicija [°]*	*Amplituda signala [V]*
0	**3**	**90**	**25**
7.5	**3**	**97.5**	**20**
15	**3**	**105**	**17**
22.5	**3.5**	**112.5**	**8**
30	**4**	**120**	**7**
37.5	**4.5**	**127.5**	**5**
45	**5**	**135**	**4**
52.5	**6**	**142.5**	**3**
60	**8**	**150**	**3**
67.5	**14**	**157.5**	**3**
75	**16**	**165**	**3**
82.5	**22**	**180**	**3**

Tabela 9.1. *Rezultati mjerenja-usmjerenost senzora*



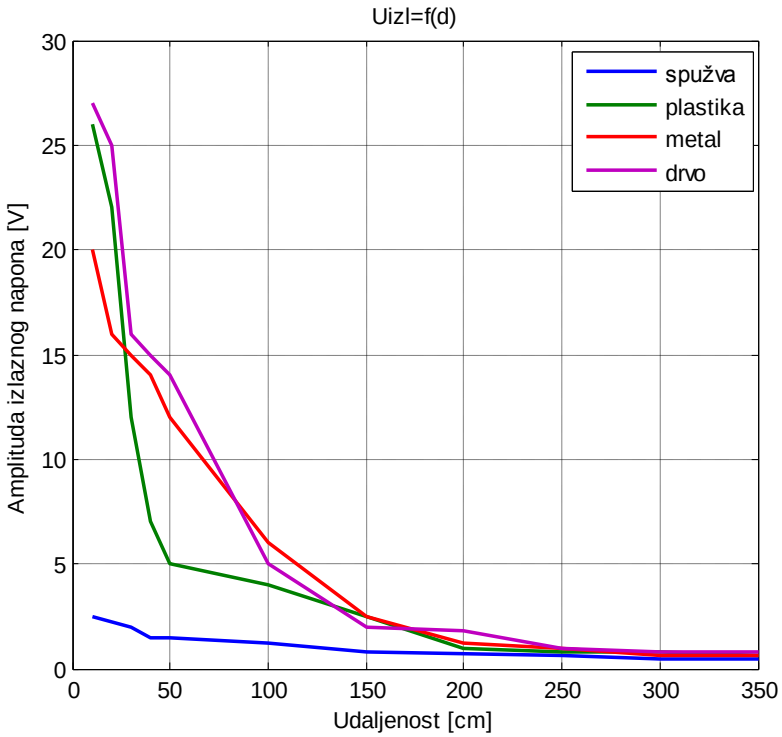
Slika 9.1. *Karakteristika usmjerenosti senzora*

10. Karakteristike različitih materijala

U ovom poglavlju su date karakteristike primopredajnog senzorskog sistema u zavisnosti od rastojanja i materijala predmeta korištenih kao prepreke.Amplituda ulaznog signala je iznosila 400 [mV]. Mjerena je amplituda izlaznog signala. Rezultati mjerenja su dati u tabeli 10.1., a karakteristike su date na slici 10.1.

	Spužva	***Plastika***	***Metal***	***Drvo***
Udaljenost [cm]	***Uizl[V]***	***Uizl[V]***	***Uizl[V]***	***Uizl[V]***
10	**2.5**	**26**	**20**	**27**
20	**2.2**	**22**	**16**	**25**
30	**2**	**12**	**15**	**16**
40	**1.5**	**7**	**14**	**15**
50	**1.5**	**5**	**12**	**14**
100	**1.2**	**4**	**6**	**5**
150	**0.8**	**2.5**	**2.5**	**2**
200	**0.7**	**1**	**1.2**	**1.8**
250	**0.6**	**0.8**	**1**	**1**
300	**0.5**	**0.8**	**0.6**	**0.8**
350	**0.5**	**0.6**	**0.6**	**0.8**

Tabela 10.1. *Rezultati mjerenja za različite udaljenosti i materijale*



Slika 10.1. *Odzivi za različita rastojanja/materijale*

11. Zaključak

Tema ovog završnog rada je bila izrada primopredajnog senzorskog sistema. U prvom dijelu je dat uvod u signale i njihovu obradu. Predstavljeni su osnovni načini kondicioniranja signala. Nakon uvoda u osnovne pojmove, predstavljen je ultrazvučni senzor na kom je baziran ovaj završni rad. Naveden je princip rada senzora, te njegove osnovne karakteristike. Također, predstavljen je sklop za kondicioniranje signala koji je korišten za određena testiranja.

Na osnovu izloženog, pristupilo se simulaciji predajnog i prijemnog pojačala. Izvršena su razna testiranja simulacionih modela, koji su predstavljeni odgovarajućim karakteristikama. Zatim se pristupilo testiranju pojačala na matadoru. Objašnjen je način biranja elektroničkih komponenti koje su korištene za izradu primopredajnog senzorskog sistema. Nakon što je provjerena ispravnost rada, izrađene su štampane pločice za pojačala.
Na kraju su snimljene amplitudno-frekventne karakteristike primopredajnog senzorskog sistema, karakteristika usmjerenosti senzora i odzivi sklopa na različite udaljenosti i rastojanja.

Ovim završnim radom je pokazano da se amplituda reflektovanog ultrazvučnog signala mijenja u zavisnosti od udaljenosti i vrsti prepreke. Ukoliko je prepreka izrađena od čvršćeg materijala (npr. drvo, metal), amplituda reflektovanog signala je znatno veća nego u slučaju prepreke izrađene od mekšeg materijala (npr. spužva).

Dakle, može se reći da svaki objekat u prostoru, u zavisnosti od dimenzija i materijala od koga je napravljen ima različit akustični odziv. Zbog toga bi se, u okviru analize reflektovanih talasa, mogle dobiti različite informacije o veličini objekta, materijalu od koga je objekat napravljen, pa i o brzini njegovog kretanja.

Literatura

[1] A. S. Morris, Measurement and Instrumentation Principles, Butterworth Heinemann 2001.

[2] M. Ahić-Đokić, Signali i sistemi, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 2010.

[3] „Fundamental Signal Conditioning“, [Na mreži]. Dostupno: http://www.mccdaq.com/PDFs/specs/Signal-Conditioning.pdf. [Posljednji pristup 03 07 2014].

[4] T. Brodić, Analogna integrirana elektronika, Sarajevo: Svjetlost, 1989.

[5] A. Akšamović, Predavanja iz Analogne elektronike, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 2013.

[6] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors, Springer, 2010.

[7] SRF04 Ultrasonic Ranger - Technical Specification, [Na mreži]. Dostupno: http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm. [Posljednji pristup 03 07 2014].

[8] TL084 Technical Data Sheet - STMicroelectronics, [Na mreži]. Dostupno: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000493.pdf. [Posljednji pristup 03 07 2014].

[9] MCP41xxx/42xxx Technical Data Sheet- Microchip, [Na mreži]. Dostupno: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11195c.pdf. [Posljednji pristup 03 07 2014].

Lista slika

Slika 1.1. Prikaz spektra frekvencija 1
Slika 2.1. Grafička interpretacija vremenski kontinualnog i vremenski diskretnog signala [2] 3
Slika 2.2. Procesiranje signala 3
Slika 3.1. Prenosne funkcije četiri različita tipa filtera [4] 5
Slika 3.2. Blok struktura operacionog pojačala [5] 5
Slika 3.3. Simbol LIK-a 6
Slika 3.4. Vrste spojeva operacionog pojačala 7
Slika 4.1. Ultrazvučno mjerenje udaljenosti [6] 8
Slika 4.2. Doseg senzora 8
Slika 4.3. Sklop za kondicioniranje signala SRF04 [7] 9
Slika 4.4. Vremenski dijagram [7] 10
Slika 4.5. Elektronska shema SRF04 [13] 10
Slika 4.6. Usmjerenost senzora [7] 11
Slika 5.1. Blok struktura predajnog kruga 12
Slika 5.2. Blok struktura prijemnog kruga 12
Slika 5.3. Prikaz pojasa propusnosti operacionog pojačala 13
Slika 5.4. Neinvertirajuće pojačalo 14
Slika 5.5. Naponsko sljedilo 15
Slika 5.6. Elektronička shema predajnog pojačala 15
Slika 5.7. Prikaz ulaznog i izlaznog signala za različite vrijednosti pojačanja 16
Slika 5.8. Prikaz ulaznog i izlaznog signala, pojačanje A=5 17
Slika 5.9. Invertirajući spoj operacionog pojačala 17
Slika 5.10. Elektronička shema prijemnog pojačala 18
Slika 5.11. Valni oblici signala u pojedinim tačkama 20
Slika 5.12. Operaciono pojačalo TL084 21
Slika 5.13. Raspored pinova OP TL084 [8] 21
Slika 5.14. Digitalni potenciometar 22
Slika 5.15. Način spajanja digitalnog potenciometra i Arduina Mega i Uno 22
Slika 6.1. Izgled izlaznog signala za slučaj pod a) 23
Slika 6.2. Izgled izlaznog signala za slučaj pod b) 24
Slika 6.3. Izgled izlaznog signala za slučaj pod c) 24
Slika 6.4. Izgled izlaznog signala za slučaj pod d) 25
Slika 6.5. Shema spajanja EPE mikrofona i njegov fizički izgled 26
Slika 6.6. Pojačani signali generisani pomoću mikrofona 27
Slika 6.7. Način spajanja SRF04 i Arduina 28
Slika 7.1. Elektronička shema predajnog pojačala 29
Slika 7.2. Izgled štampane pločice 30
Slika 7.3. Elektronička shema prijemnog pojačala 31
Slika 7.4. Izgled štampane pločice 32

Slika 8.1. Amplitudno-frekventna karakteristika predajnog pojačala 34
Slika 8.2. Amplitudno-frekventna karakteristika prijemnog pojačala 36
Slika 8.3. Blok struktura primopredajnog senzorskog sistema 36
Slika 8.4. Amplitudno-frekventna karakteristika prijemno-predajnog sklopa 37
Slika 9.1. Karakteristika usmjerenosti senzora 38
Slika 10.1. Odzivi na različita rastojanja/materijale 39

Lista tabela

Tabela 8.1. Rezultati mjerenja-predajno pojačalo 34
Tabela 8.2. Rezultati mjerenja-prijemno pojačalo 35
Tabela 8.3. Rezultati mjerenja-primopredajni sklop 37
Tabela 9.1. Rezultati mjerenja-usmjerenost senzora..... 38
Tabela 10.1. Rezultati mjerenja za različite udaljenosti i materijale 39