

Simon Gombač

AUDIO OJAČEVALNIK

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko

Simon Gombač

## **Audio Ojačevalnik (OPA541)**

Seminarska naloga

pri predmetu

Elektronska Vezja 2

Ljubljana, Marec 2007

**Audio Ojačevalnik (OPA541)**

UVOD.....	3
FUNKCIONALEN OPIS VEZJA.....	3
Podsklop – napajalno vezje.....	4
Podsklop – Vezje operacijskega ojačevalnika.....	5
IZMERJENE KARAKTERISTIKE – Komentar.....	7
Prevajalna funkcija.....	7
Popačenje.....	7
Presluh.....	7
IZMERJENE KARAKTERISTIKE – Grafi.....	8
ZAKLJUČEK.....	11
LITERATURA.....	12
PRILOGE -PCB Vezje.....	13
PRILOGE – DATASHEET OPA541.....	14

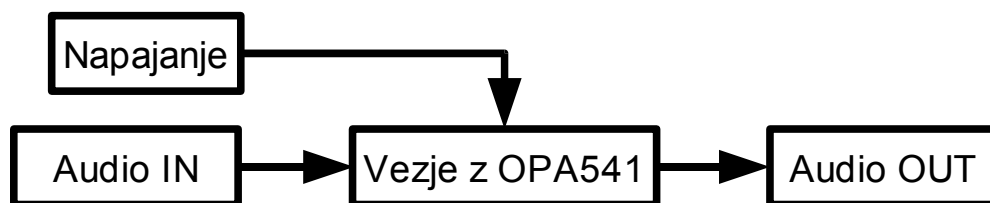
## UVOD

Moja srednja šola je bila gimnazija in ob prihodu na fakulteto nisem imel izdelanega nobenega „hardverskega“ izdelka, s katerim bi se lahko pred sošolci pohvalil. Obljubil sem si, da bom tudi jaz nekoč izdelal nekaj, navduševal pa sem se nad ojačevalniki. Tekom študija sem nekoč malček bolj za hec kot za res pri Texas Instruments naročil „free sample“ in sicer dva operacijska ojačevalnika OPA541, ter ju tudi dobil, a sta nato bila odložena v škatlo in pozabljena. No končno sem pri predmetu Elektronska Vezja II potreboval seminarsko nalogo in tako sem proti koncu študija končno dobil priložnost izpolnitve svoje dolgo izrečene obljube in začela se je trnova pot (vsaj zame) gradnje audio ojačevalnika.

Cilj moje seminarske naloge je bilo predvsem se poučiti osnov ojačevalnika ter kako ga sploh izdelati. Pod to spada izbira komponent ter tudi uporaba programa za izdelavo rezkane ploščice. Za svojo domačo uporabo sem se omejil na približno 10W izhodne moči na kanal.

## FUNKCIONALEN OPIS VEZJA

Celoten ojačevalnik bi lahko razdelil na dva sklopa in sicer napajalni del ter vezje okoli operacijskega ojačevalnika. Napajanje je izvedeno s transformatorjem 55VA  $\pm$ 20V ter z Graetzovim mostičem. Vse skupaj naj bi bilo v kompaktni škatli, na zunanji strani pa bi bili še vtiči za vhod audio signala, potenciometer za uravnavanje glasnosti ter izhod audio signala (ojačan signal).

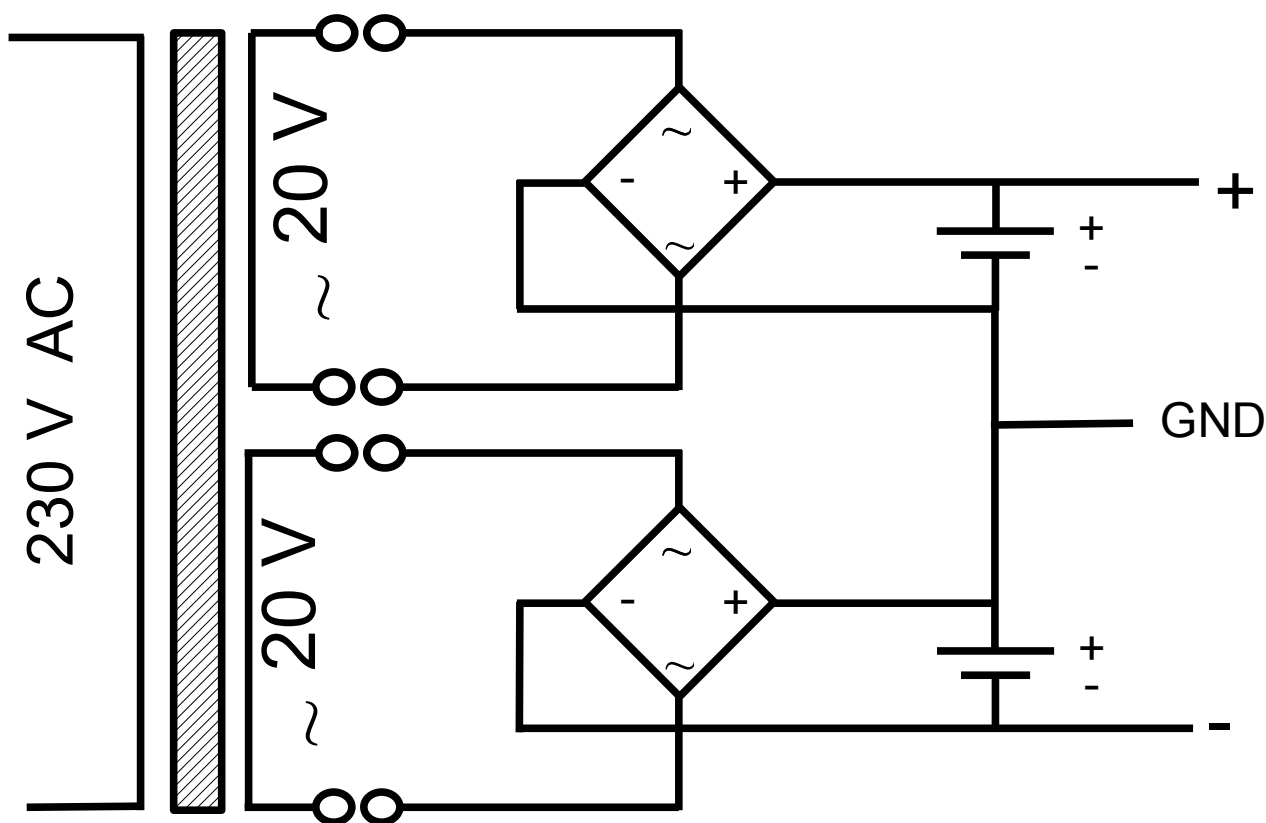


Slika 1 – Poenostavljena blok shema

## OPIS VEZJA

### Podsklop – napajalno vezje

Za napajanje OPA sem uporabil toroidni transformator 55VA,  $\pm 20V$ . Ima dvakrat po dva izhoda po 20V. Za doseg  $\pm$  enosmernega napajanja sem uporabil 2 Graetzova mostička (INLINE izvedba), ki sta vezana s kondenzatorjema, kot kaže slika 2. Kapacitivnost obeh kondenzatorjev je  $4700\mu F$ .

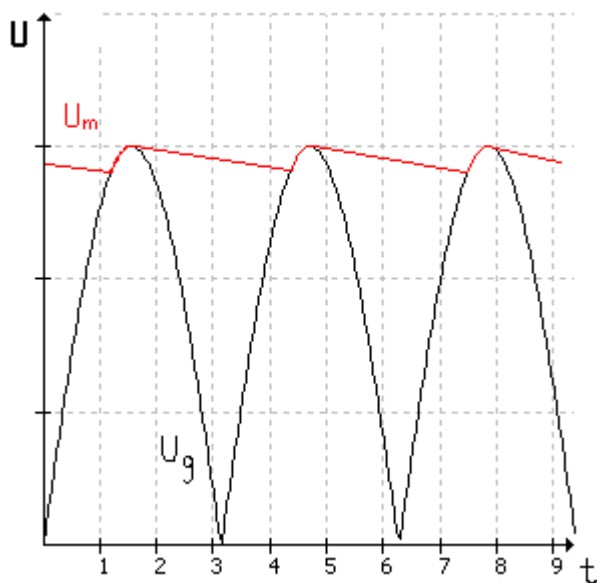


Slika 2 – Napajalno vezje

### Analiza delovanja napajalnega vezja

Graetzov mostiček je polnovalni usmernik, ki spremeni sinusno napetost v absolutno vrednost sinusnega signala, pri tem pa je teme znižano za  $2 \cdot U_k$  (kolenska napetost diode). Kondenzatorja na izhodu skrbita za glajenje izhodne napetosti pri tem pa sem uporabil kondenzatorja s čim večjo kapacitivnostjo, da ne pride do bruma zaradi nihanja napajalne napetosti. Kondenzatorja se polneta le takrat, ko je sinusna napetost nad trenutno napetostjo kondenzatorja v nasprotnem primeru je Graetzov mostič „zaprt“ in se kondenzatorja praznita preko izhodnega bremena, to nam prikazuje

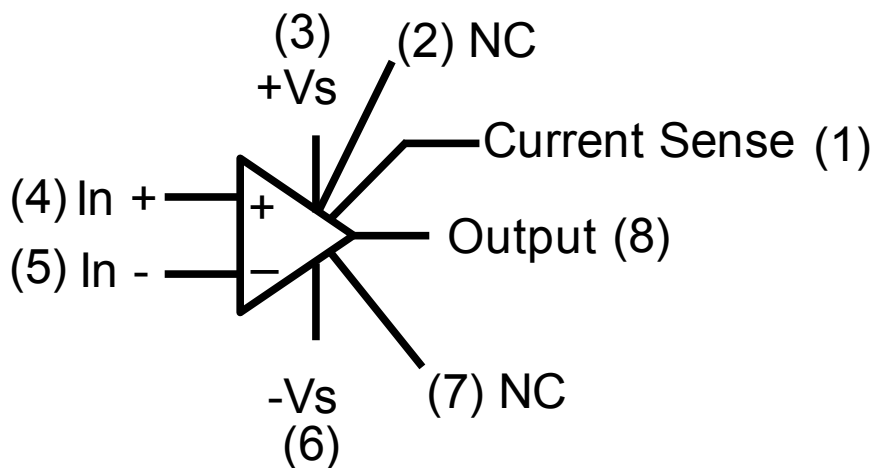
slika 3. Izbrati je treba kondenzator s čim večjo kapacitivnostjo, kateri lahko v času polnjenja sprejme oz. shrani največ energije, s tem zminimiziramo nihanje napajalne napetosti; večje kot je breme večja kondenzatorja rabimo. Kondenzatorja sta lahko slabše „kvalitete“ oz. cenena elektrolita z večjo paralelno notranjo upornostjo, saj je le ta zanemarljiva v primerjavi z izhodnim bremenom, kateri je glavni krivec za praznjenje kondenzatorja.



Slika 3 – Polnjenje ter praznjenje kondenzatorja

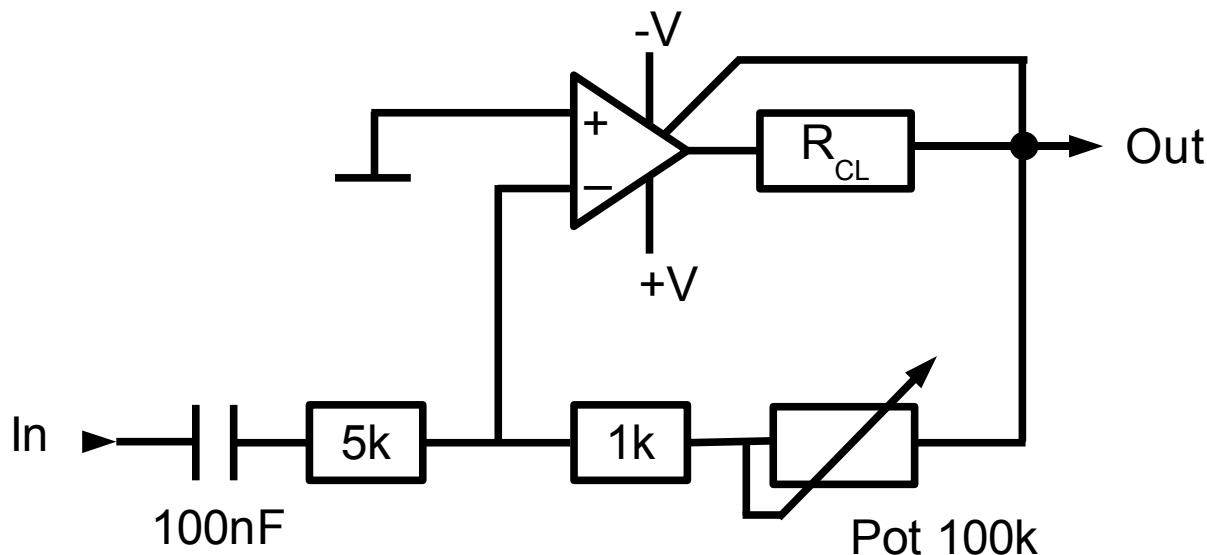
### ***Podsklop – Vezje operacijskega ojačevalnika***

Na sliki 4 vidimo razporeditev pinov (številka v oklepaju je številka pina) ter njihovo poimenovanje oz. na katere druge elementa vezja jih povežemo. Pina 2 ter 7 nista povezana nikamor (not connected).



Slika 4 – Diagram Pinov

Pri napajanju operacijskega ojačevalnika sem se odločil za simetrično napajanje, kjer na VS+ sponko pripeljemo pozitivno (+) napetost, na Vs- sponko pa negativno (-) napetost iz simetričnega usmernika opisanega v prejšnjem poglavju. Vezje na sliki 5 nam torej predstavlja invertirajoči operacijski ojačevalnik.



Slika 5 – Vezje OPA

Pozitivno (+) sponko operacijskega ojačevalnika povežemo na maso, na vhodu operacijskega ojačevalnika (In-) pa imamo zaporedno vezan kondenzator vrednosti 100nF, s katerim se znebimo enosmerne komponente obenem pa nam tudi omejuje spodnjo frekvenčno mejo (glej izmerjeno prevajalno funkcijo). Izbrali smo kondenzator s tako vrednostjo, da nam poreže le frekvence nižje od tistih, ki jih še sliši človeško uho. Upor 5k $\Omega$  ter logaritemski potenciometer 100k $\Omega$  (dvojni za levi ter desni kanal) skrbita za nastavljivo ojačanje. V našem primeru je ojačanje:

$$A_0 = -\frac{R_{pot}}{R_1}, R_{pot} = 0..100 \text{ k}\Omega, R_1 = 5 \text{ k}\Omega, A_0 = 0..20$$

Z uporabo  $R_{CL}$ , ki je vezan med pinom 1 ter pinom 8 operacijskega ojačevalnika (Slika 4), omejimo izhodni tok in posledično tudi maksimalno izhodo moč, ki jo določeni kanal lahko da iz sebe. Če si izberemo  $I_{LIM} = 1 \text{ A}$ , potem za  $R_{CL}$  dobimo

$$\text{vrednost: } R_{CL} = \frac{0,809}{|I_{lim}|} - 0,057 \approx 0,752 \text{ ohm}$$

$$A_0 = 20 \cdot \log\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{R_2 + R_{pot}}{R_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{100000 + 1000}{5000}\right) = 20 \cdot \log(20.2) = \mathbf{26.1 \text{ dB}}$$

## ***IZMERJENE KARAKTERISTIKE – Komentar***

Merili smo prevajalno funkcijo (amplitudo ter fazo), Presluh (amplituda, faza), izhodni spekter signala (na vhodu imamo sinusni signal s frekvenco 1kHz), FFT (Fast Fourier Transform) šuma (Kratek stik na vhodu) ter časovni odziv pri kratkem stiku na vhodu.

### ***Prevajalna funkcija***

Stresane kapacitivnosti ter induktivnosti v vezju povzročajo, da so signali glede na fekvenco različno ojačani. Signali nizkih frekvenc bodo zaradi veznega kondenzatorja oslabljeni. Zelo visoke frekvence pa bodo kratko vezane zaradi stresanih kapacitivnosti ter posledično manj ojačane. Pasovna širina je frekvenčni pas v katerem ojačanje ne pade za več kot za 3dB ( $A_0/\sqrt{2}$ ) Meji tega pasu imenujemo spodnja ter zgornja frekvenčna meja. Pri nas je spodnja frekvenčna meji pri frekvenci okoli 32 Hz, zgornja pa pri frekvenci okoli 43 kHz. Pasovna širina mojega ojačevalnika je torej:  $B_{-3dB} = \omega_2 |_{(A_0/\sqrt{2})} - \omega_1 |_{(A_0/\sqrt{2})} = 43000\text{Hz} - 32\text{Hz} \approx \mathbf{43\text{kHz}}$  Vrednosti sta pridobljeni iz grafa oz podatkov, natančnejši potek pa je izrisan na spodnjem grafu.

### ***Popačenje***

V večini primerov je prenosna funkcija sistema linerna in časovno neodvisna. Ko pa gre signal skozi nelinearno prenosno funkcijo sistema, se pojavijo dodatne harmonske komponente. THD (Total Harmonic Distortion) je meritev velikosti teh popačenj. V spodnji tabeli 1 vidimo, da se popačenje z ojačanjem zvišuje ter je pri maksimalnem ojačanju 0.73%.

Ojačanje	Popačenje
Maksimalno ojačanje (26dB)	0,73 % (= - 42,7dB)
Polovično ojačanje (20dB)	0,6% (= - 44,4dB)
Četrtnina ojačanja (14dB)	0,44% (= - 47,1dB)
Brez ojačanja (0dB)	0,3% (= - 50,5dB)

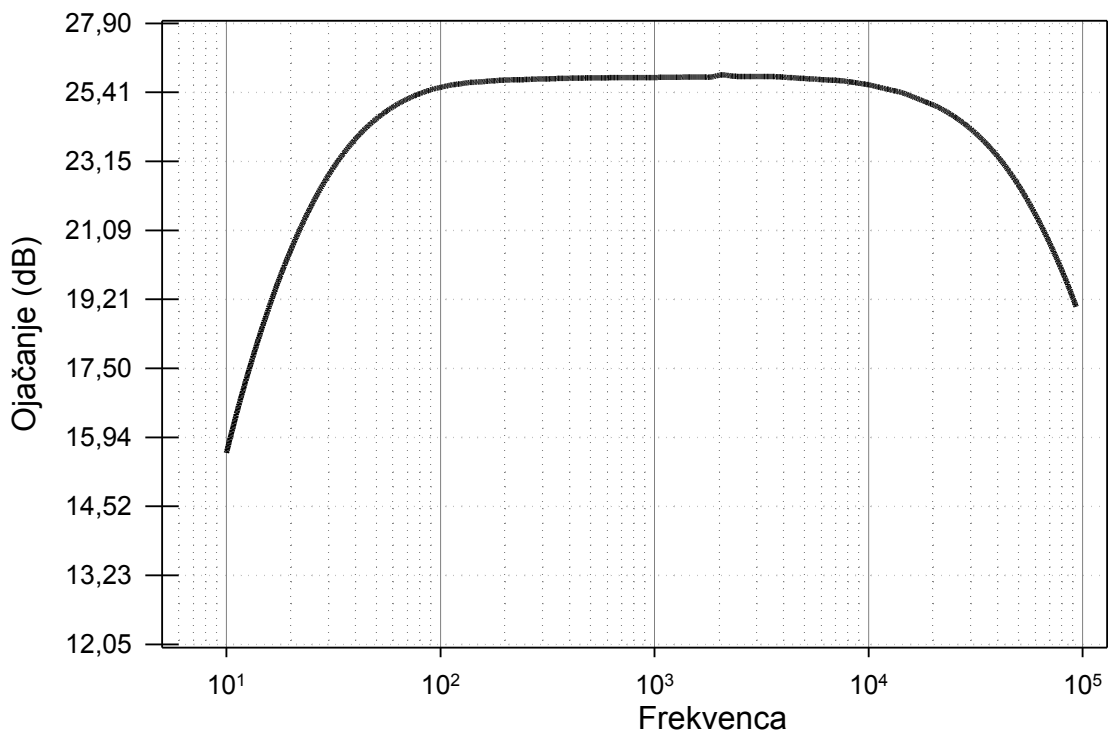
Tabela 1 – Popačenje pri določenih ojačanjih

### ***Presluh***

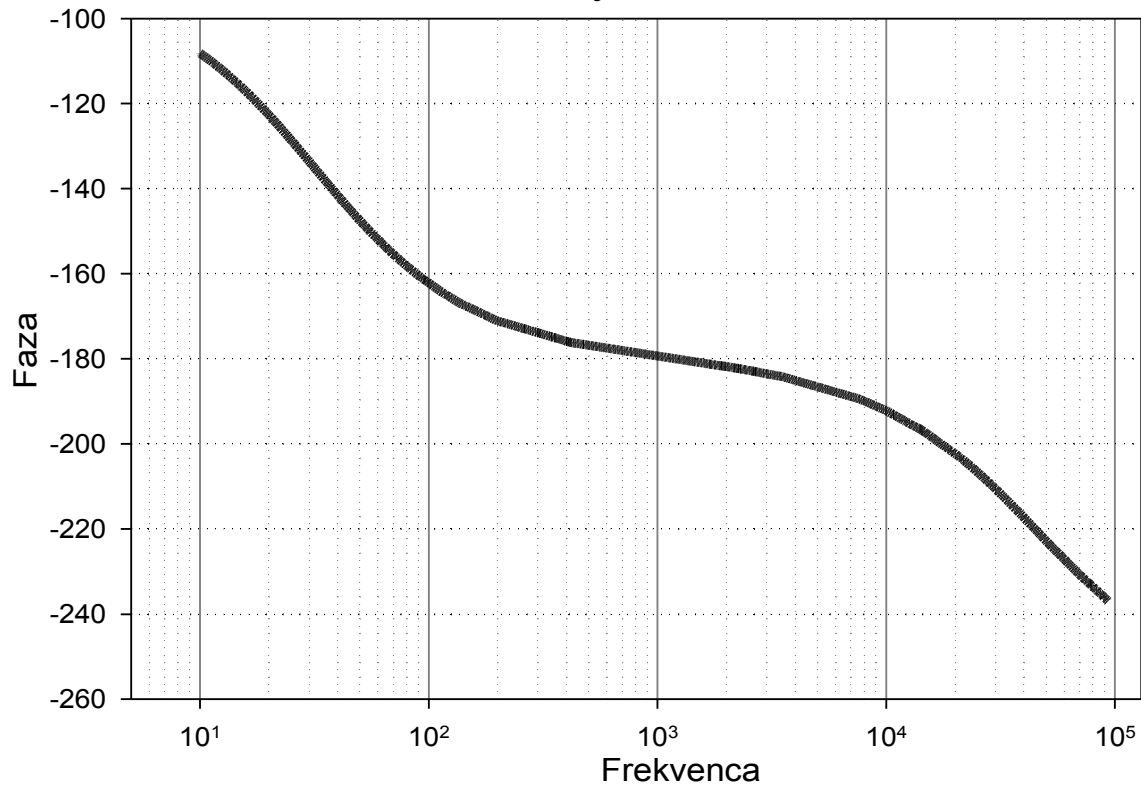
Merjenje presluha se izvaja na audio sistemih, da se določi količino signala, ki „pušča“ iz enega kanala na drugi (levi pa desni kanal). Tudi relativno velik presluh med stereo kanaloma pa običajno nima posledic, ker je že večino zvoka zmešana na oba kanala in majhen dodatek k temu nam ne pokvari zvočne slike.

### IZMERJENE KARAKTERISTIKE – Grafi

#### Prevajalna Funkcija

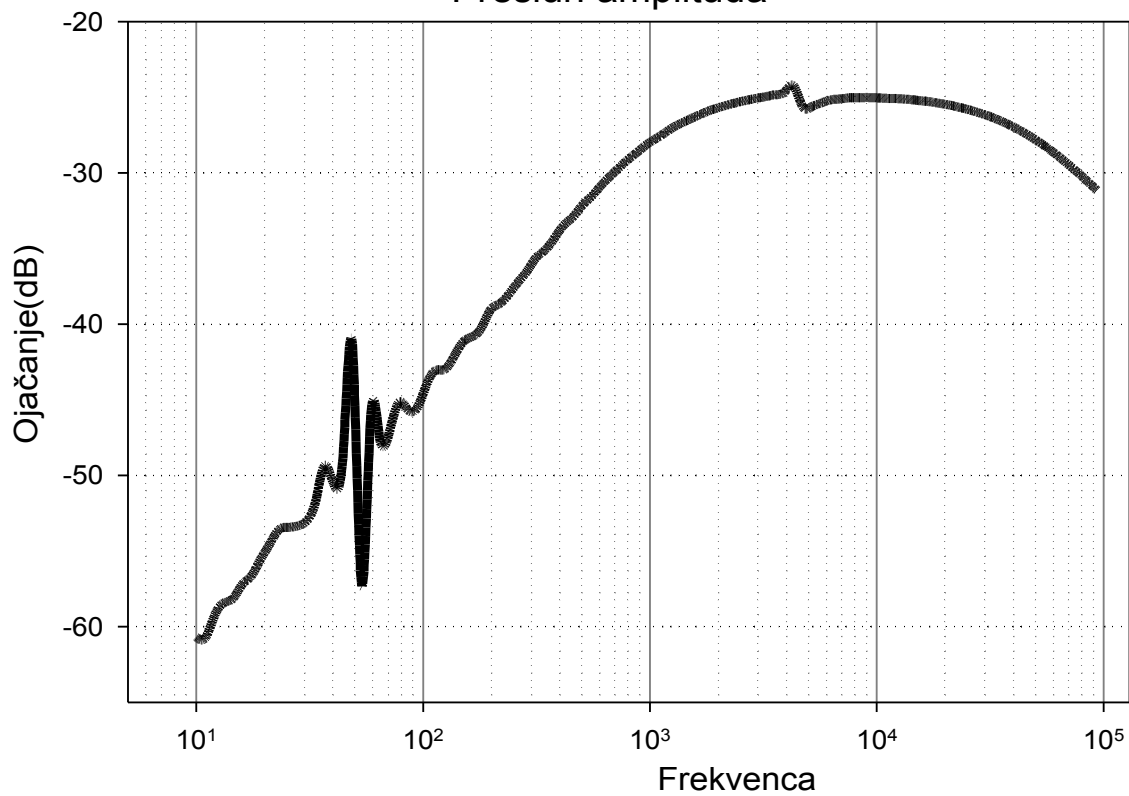


#### Prevajalna Faza

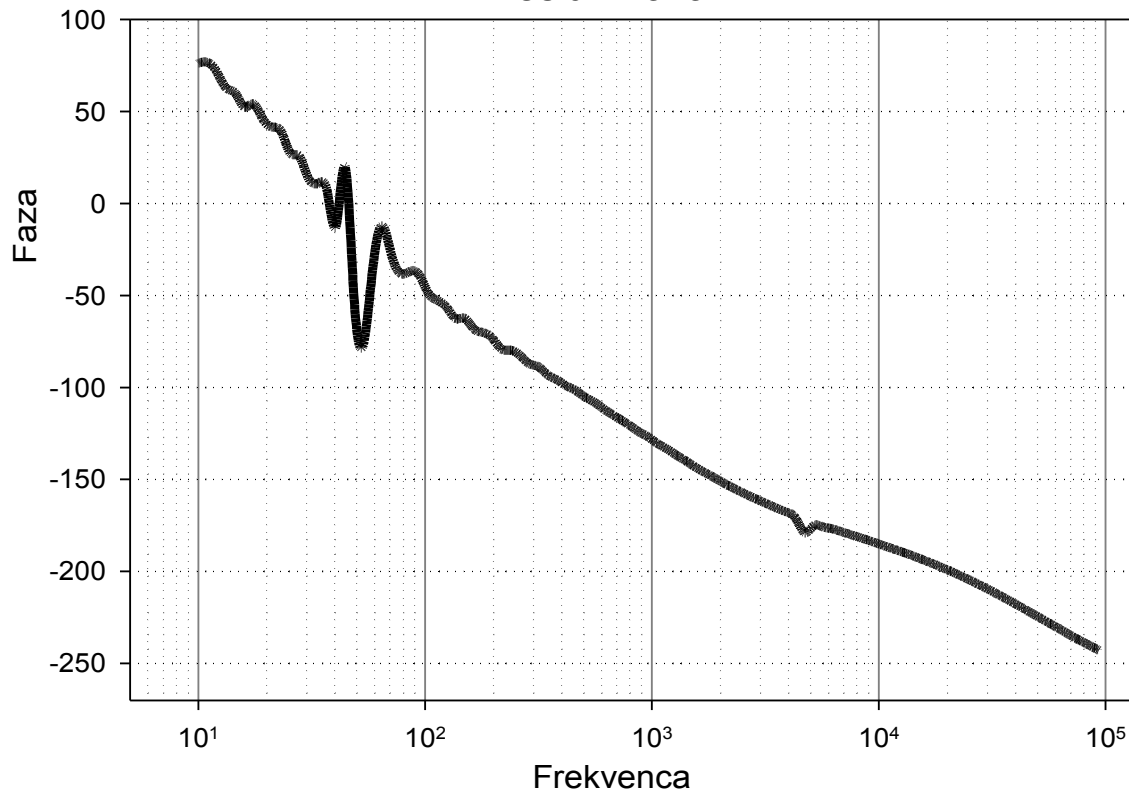


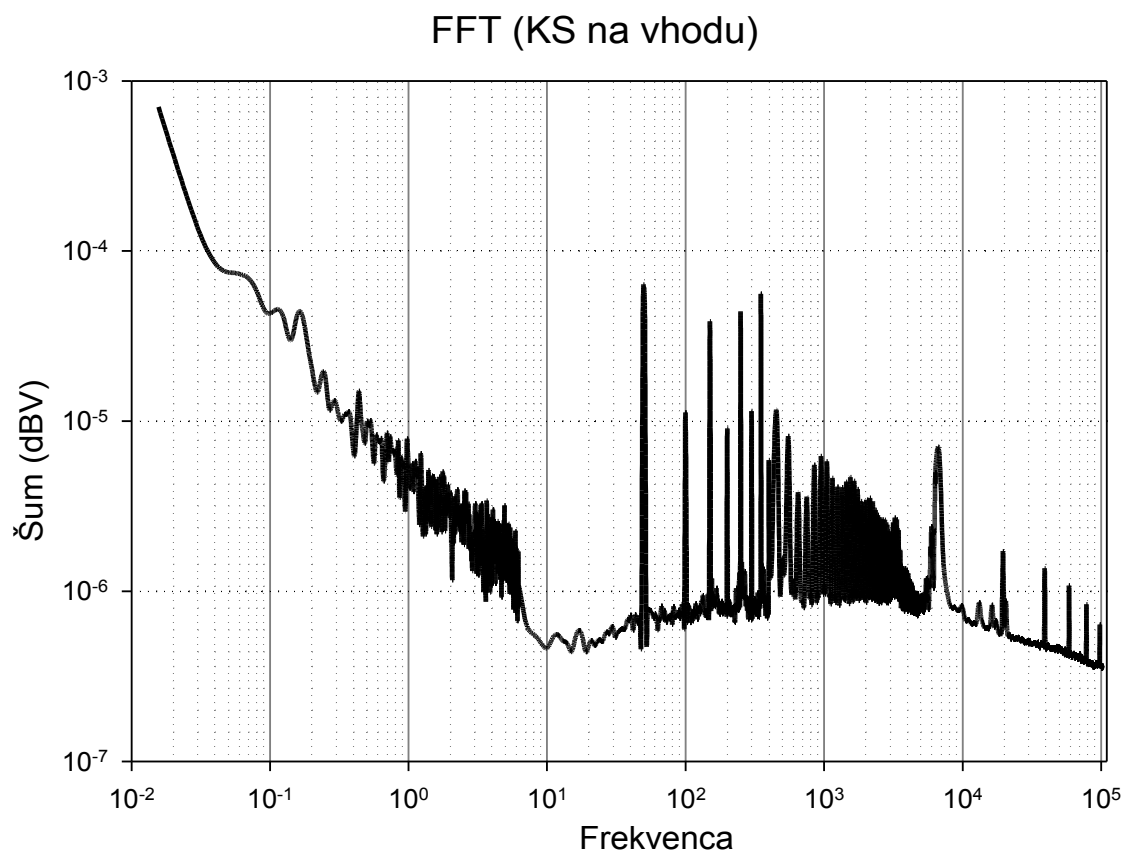
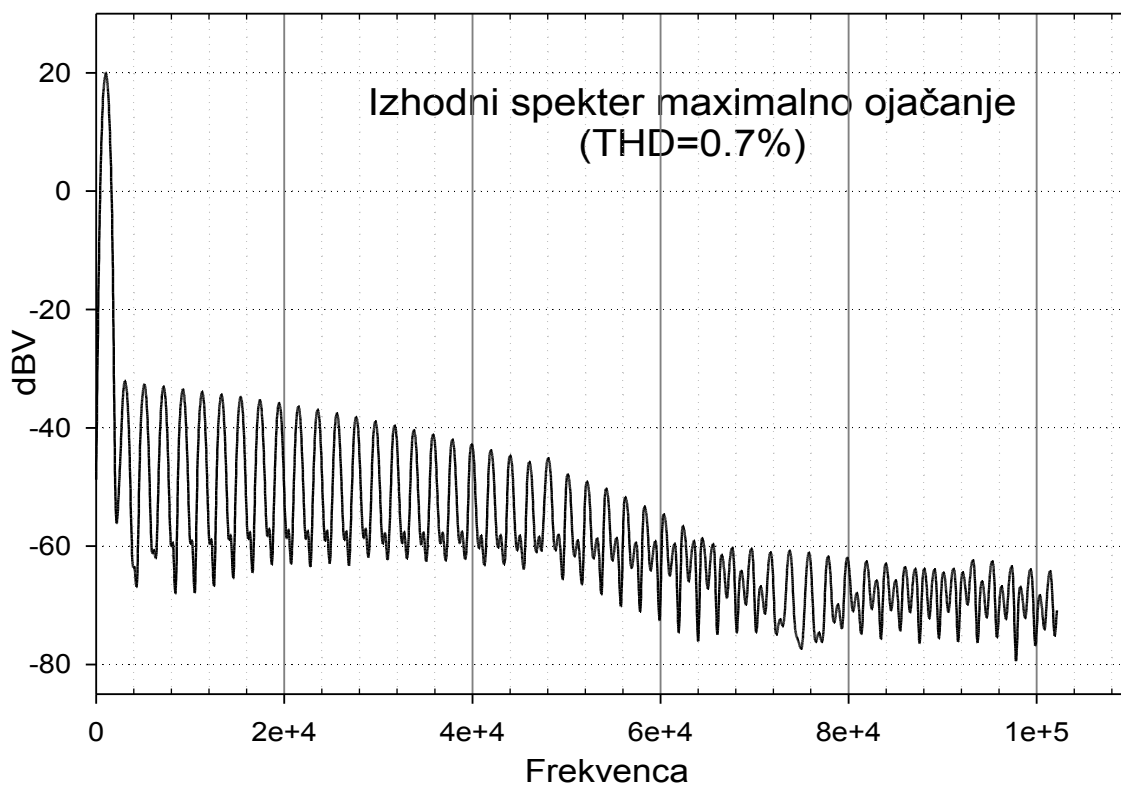


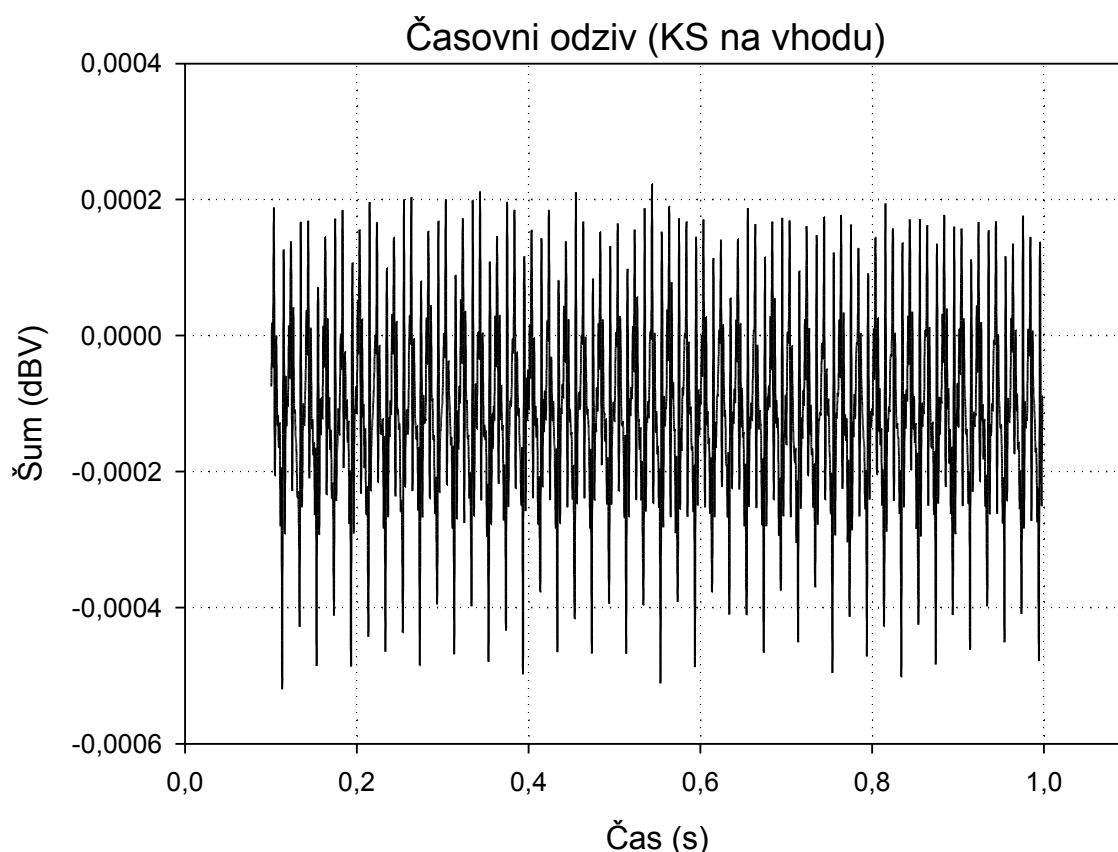
Presluh amplituda



Presluh Faza







## ZAKLJUČEK

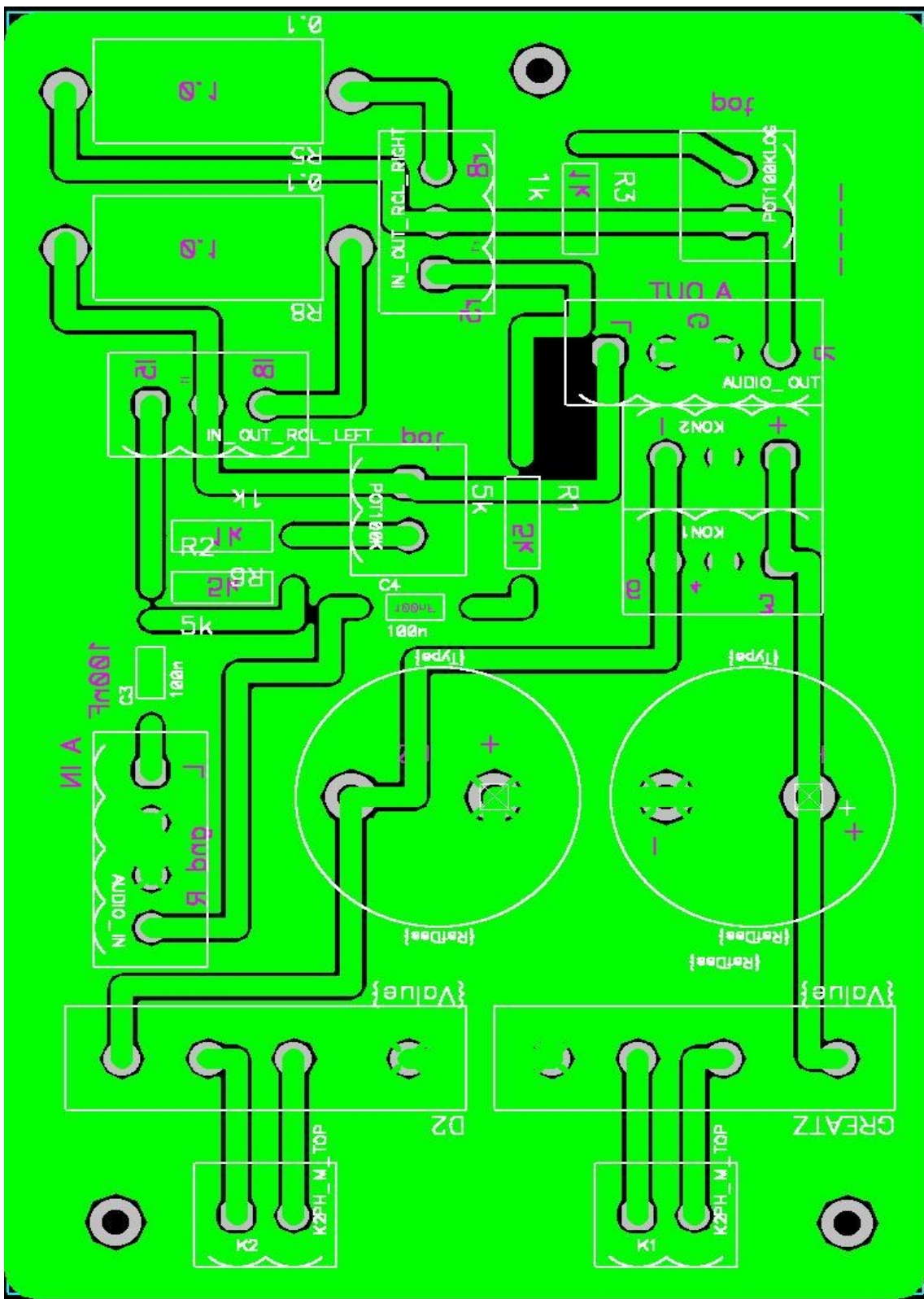
Moj ojačevalnik je zgrajen iz dveh „mono“ ojačevalnikov, kjer vsak ojača svoj kanal in tako dobimo stereo. Možnih izboljšav je veliko, saj sem pri izgradnji moral upoštevati še en pomemben faktor in sicer denar, kjer je bilo treba delati kompromise med ceno ter zmogljivostjo. Tako bi lahko povečali izhodno moč iz sedanjih cca 20W z boljšim napajalnikom vse do 100W kolikor je še vedno zmogljivost uporabljenega operacijskega ojačevalnika (OPA541). Vendar bi to povleklo za sabo še dodajanje učinkovitejšega hladilnega sistema, kot ga ima sedaj. Dalo bi se tudi izboljšati oz zmanjšati presluh, če bi namesto enega napajalnika uporabili dva ločena po enega za vsak kanal posebej.

Realizacija te seminarske mi je pobrala kar veliko časa, predvsem na račun moje neizkušenosti na področju audio ojačevalnikov kot tudi celotnega procesa manufaktORIZACIJE ojačevalnika. Zelo koristno je bilo spoznanje osnov orodja P-Cad, katerega prej še nisem uporabljal. Večji del časa sem tudi porabil za „nadlegovanje“ prijateljev, ki so imeli dosti več izkušenj na tem področju, s tem katere elemente uporabiti, kolikšno moč ojačevalnika si zadati za cilj, ter podobne „malenkosti“. Zavedal sem se sicer, da ta ojačevalnik ne bo profesionalen, a za domačo rabo bo kar uporaben. Moj cilj, da bi naredil svoj ojačevalnik je tako bil v celoti dosežen in pridno služi svojemu namenu. Zahvala pa gre tudi vsem, ki so mi pomagali pri tem projektu in sem jih zasipavam s vprašanji ter gospodu Jožetu Stepan, ki mi je izdelal tiskano vezje.

## ***LITERATURA***

- [1] Alojz Kralj in Peter Šuhelj, (1986), *Elektronski sestavni deli in sestavi*, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, FE, Ljubljana
- [2] Lindos Electronics – Lindos articles, <http://www.lindos.co.uk>
- [3] Leonardis S., *Ojačevalniki*, Založba FER, Ljubljana, 1994.

**PRILOGE -PCB Vezje**



Slika 6 – PCB Vezje