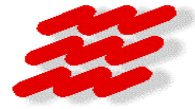




Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko

Seminarska naloga pri predmetu Komunikacijska vezja

# AUDIO OJAČEVALNIK

**Avtor:**

**Aleš Hočevar**  
**64980047**

Kamnik, 24/02/2002

# KAZALO

<b>1. POVZETEK</b> .....	<b>3</b>
<b>2. UVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>3. TEORETIČNI DEL</b> .....	<b>4</b>
3.1. OPIS VEZJA .....	4
3.2. IZRAČUNI .....	5
3.3. ANALIZA Z UPORABO PROGRAMA SPICE OPUS .....	6
<b>4. EKSPERIMENTALNI DEL</b> .....	<b>7</b>
4.1. IZDELAVA VEZJA .....	7
4.2. MERITVE .....	7
<b>5. ZAKLJUČEK</b> .....	<b>10</b>
<b>6. VIRI IN LITERATURA</b> .....	<b>11</b>

## **1. POVZETEK**

Seminarska naloga opisuje delovanje, praktično realizacijo in meritev audio ojačevalne stopnje. Ojačevalnik se odlikuje z dokaj visokim napetostnim ojačanjem. Uporabnost stopnje še dodatno poveča uporaba enojnega napajanja in dostopnost osnovnih elektronskih komponent. Ta ojačevalnik je namenjen za široko področje uporabe, je enostavne izvedbe in cenovno zelo ugoden.

## **2. UVOD**

V dobi elektronike ima vedno več ljudi doma razne prenosne audio naprave (radio, kasetofon, CD-predvajalnik, MP3 predvajalnik,...), ki so namenjene predvsem predvajanju glasbe, katero ponavadi poslušamo preko slušalk. Da bi te naprave služile širšemu namenu, sem se odločil zgraditi preprost a učinkovit ojačevalec na katerega lahko priključimo zvočnik .

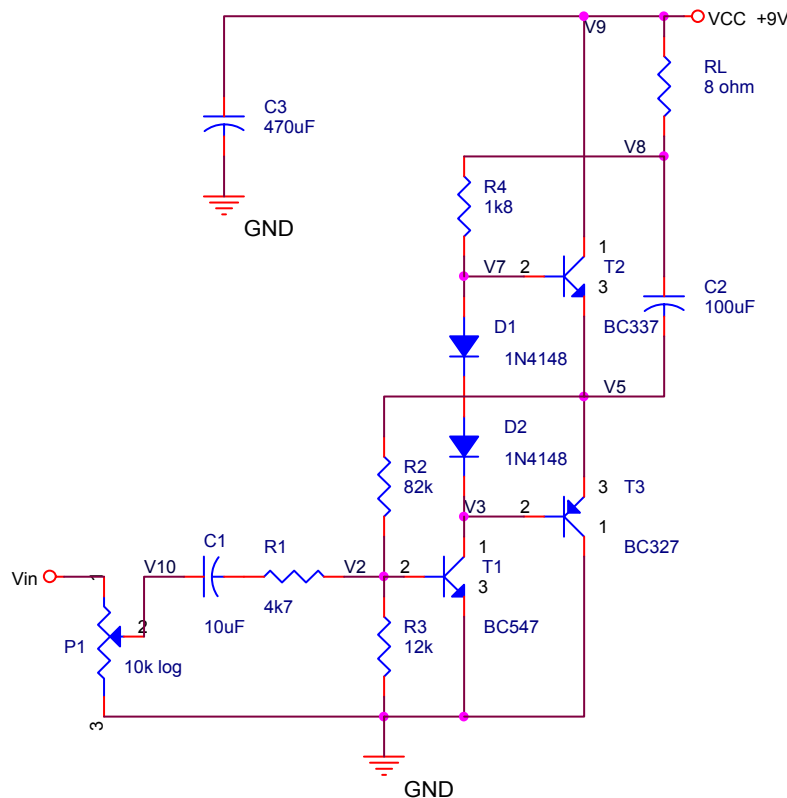
## 3. TEORETIČNI DEL

Da je ojačevalnik uporaben, mora poleg tega, da visokoomski vhodni signal primerno ojači na nizkoomski izhod, izpolnjevati tudi sledeče zahteve:

- čim manjša fizična izvedba
- minimalna poraba toka
- enojno napajanje
- preprostost izvedbe

### 3.1. Opis vezja

Sledeči ojačevalnik je t.i. "push-pull" in deluje v B razredu (to pomeni, da vsak izhodni tranzistor prevaja le eno polperiodo). Na izhodu sta uporabljena nekoliko močnejša tranzistorja T2 in T3, tranzistor T1 pa ju krmili.



Slika 1: Električna shema ojačevalnika

Enosmerno delovno točko tranzistorja T1 nastavimo z upoma R2 in R3. Tranzistor T1 tudi krmili mirovni tok tranzistorjev T2 in T3, ki ga določata diodi D1 in D2 tako, da izhodna tranzistorja delujeta v B razredu.

Za izmenične razmere (frekvenca signala) pa je uporabljen princip "bootstrapping". Ta princip nam lahko dejansko poveča vrednost kolektorskega upora R4 in tako bistveno poveča napetostno ojačanje vhodnega tranzistorja. Napetostno ojačanje tranzistorja T1 je:  $A_U = -g_m * R_C$ , pri čemer je  $g_m = 40mS * I_C[mA]$ . Zakaj se vrednost R4 sploh poveča? Emitor tranzistorja T2 sledi signalu baze (emitorski sledilnik), C2 poveže emitor od T2 na

kolektorsko breme od T1 (upor R4), vzdržujoč konstantno napetost na drugo strani R4, medtem ko potencial baze niha glede na vhodni signal. Ker je na upor vedno konstantna napetost, se le-ta obnaša kot tokovni generator in tranzistorju T1 zagotavlja visoko napetostno ojačanje. Če upoštevamo idealnost C2, je vrednost R4 za izmenične signale sledeča:  $R4 \approx R4 / (1 - A_U)$ , pri čemer je  $A_U$  napetostno ojačanje emitorskega sledilnika, ki je približno 1. Kondenzator C2 mora biti izbran tako, da ima majhno impedanco v primerjavi upornostjo  $R_L$  in R4 za vse frekvence signala. Ker pa smo upor  $R_L$  uporabili kot breme (zvočnik), je potem napetostno ojačanje vhodnega tranzistorja manjše, kot bi bilo sicer. Hkrati pa C2 tudi preprečuje, da bi tekkel dodatni enosmerni tok skozi zvočnik, tako da skozi zvočnik teče le enosmerni tok tranzistorja T1, ki pa je zelo majhen (caa 2mA). Kondenzator C1 pa predstavlja blokado za enosmerne signale na vhodu.

## 3.2. Izračuni

Ker so v vezju uporabljeni nelinearni elementi v medsebojni soodvisnosti, sem za lažje računanje upošteval tudi določene zanemaritve in približke. Že zamenjava enega tranzistorja z drugim z isto oznako, lahko spremeni razmere v vezju. Relativno točnost dobljenih rezultatov potrди tudi kasnejša računalniška analiza.

### Enosmerne razmere:

Ker je tranzistor T1 odprt, predpostavimo, da je njegova napetost  $U_{BE1} = U_{BE2} = U_{BE3} = 0,65V$ .

$$U_{BE1} = U_{R3} = 0,65V, I_{R3} = U_{R3} / R3 = 0,054mA, I_{R2} = I_{R3} + I_{B1}$$

Ker tranzistor ni idealen, moramo upoštevati tudi bazni tok, ki je  $I_{B1} = I_{E1} / \beta$ . Za T1 je  $\beta$  vzamemo vrednost 200, za  $I_{E1}$  pa 1mA.  $I_{B1} = 0,005mA$ .

$$I_{R2} = I_{R3} + I_{B1} = 0,059mA, U_{R2} = I_{R2} * R2 = 4,84V, V5 = U_{R2} + U_{R3} = 5,49V, V7 = U_{BE2} + V5 = 6,14V, V3 = V5 - U_{BE3} = 4,84V$$

Potencial V8 je praktično na nivoju napajalne napetosti, saj je upornost zvočnika proti R4 zanemarljiva:  $U_{R4} = V_{CC} - V7 = 2,86V, I_{R4} = U_{R4} / R4 = 1,59mA$ .

### Napetostno ojačanje:

Napetostno ojačanje celotnega ojačevalnika je približno enako ojačanju tranzistorja T1, saj izhodna tranzistorja delujeta kot emitorski sledilnik ( $A_{U2} \approx 1$ ).

$$A_U = - g_m * R_C * (r_{BE} \parallel R_B) / ((r_{BE} \parallel R_B) + R_g) :$$

Upornost  $R_C$  je kolektorska upornost tranzistorja T1. To upornost predstavlja paralelna upornost  $R4' \parallel R_L' \parallel r_{BE2}$ .  $R4'$  je upornost upora R4, ki je zvišana zaradi "bootstrapping-a" in je  $R4' = R4 / (1 - A_{U2})$ ,  $A_{U2} = U_{OUT-T2} / (U_{OUT-T2} + U_{BE-T2}) = V5 / V7 = 0,9$ ,  $R4' = 18k\Omega$ .

Upornost  $R_L'$  je upornost zvočnika preslikana na vhod za faktor  $\beta_2 = 100$ ;  $R_L' = R_L * \beta_2 = 800\Omega$ .  $r_{BE2}$  je vhodna upornost tranzistorjev T2 in T3 in je zanemarljiva v primerjavi z  $R_L'$ . Pri izračuni  $R4'$  pride do izraza samo upornost  $R_L'$ :  $R_C = R4' \parallel R_L' = 770\Omega$ . Upornost  $R_g$  predstavlja upor R1, saj je razmeroma velik v primerjavi z pravo notranjo upornostjo generatorja. Za upornost  $R_B$  vzamemo paralelno upornost  $R2 \parallel R3 = 10,5k\Omega$ . Za izračun ojačanja potrebujemo le še  $g_m$  in  $r_{BE}$  tranzistorja T1:  $g_m = 40mS * I_C[mA] = 63,3mS$ ,  $r_{BE} = \beta / g_m = 3100\Omega$ , pri  $\beta = 200$ .

Zdaj ko imamo izračunane vse komponente enačbe, lahko izračunamo napetostno ojačanje:

$$A_U = - g_m * R_C * (r_{BE} \parallel R_B) / ((r_{BE} \parallel R_B) + R_g) = - 16,5, \quad A_U[dB] = 20 * \log A_U = \mathbf{24,4dB}$$

### 3.3. Analiza z uporabo programa SPICE OPUS

Analizo vezja sem naredil tudi s pomočjo programa SPICE OPUS:

Ker nisem imel na voljo modela vhodnega tranzistorja BC 547, sem uporabil model tranzistorja 2N2222.

Potenciali vezja v delovni točki:

$$v(2) = 0.6548$$

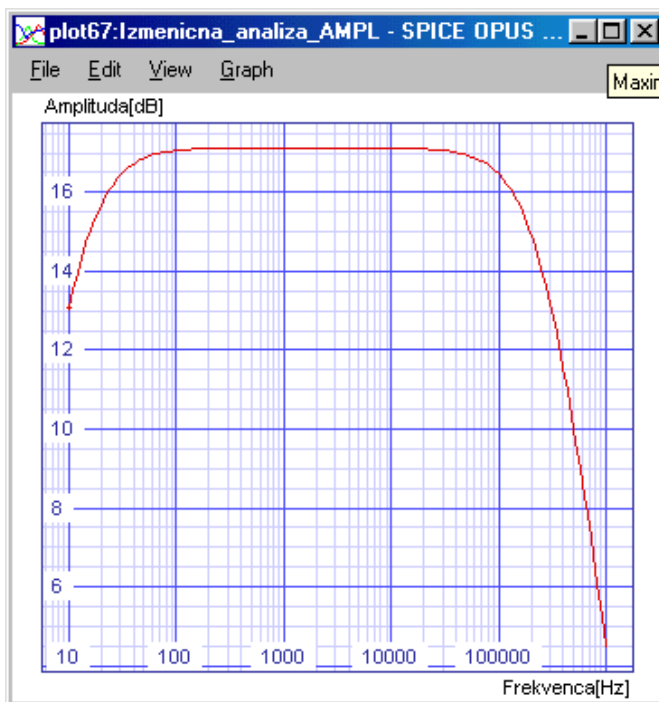
$$v(3) = 5.0622$$

$$v(7) = 6.3390$$

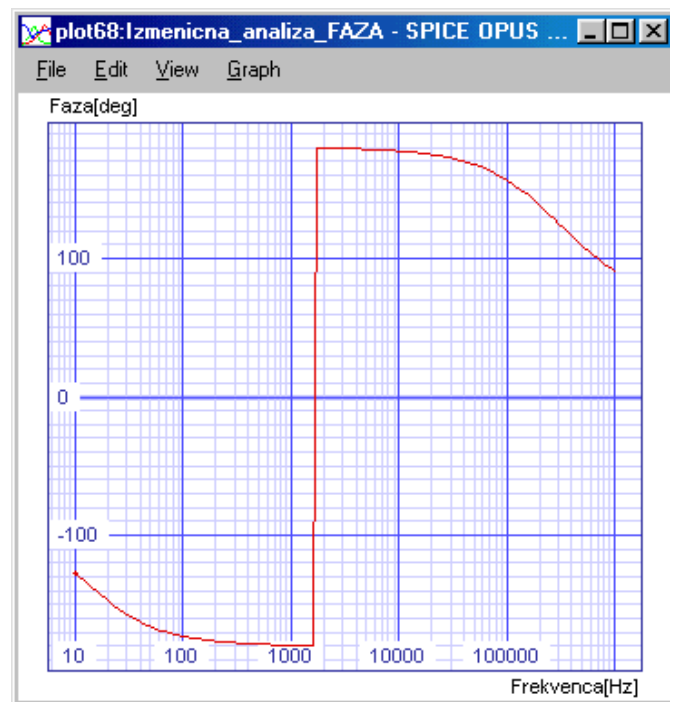
$$v(5) = 5.6998$$

$$v(8) = 8.9882$$

Bodejev diagram:



Slika 2: Napetostno ojačanje [dB]

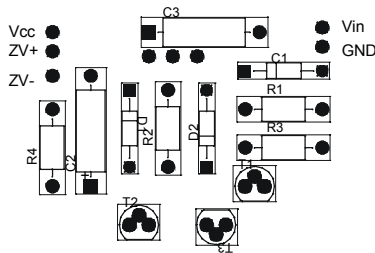


Slika 3: Faza [°]

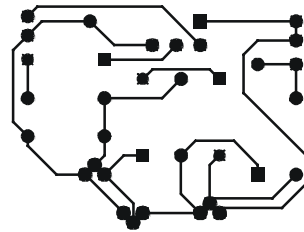
## 4. EKSPERIMENTALNI DEL

### 4.1. Izdelava vezja

Vežje sem izdelal za enostranskem tiskanem vezju. Pri vrstnem redu spajkanja ni nobenih posebnosti. Izhodna tranzistorja sem pritrdil za kos alu-pločevine dimenzij 60 x 30 x 1,5 zato, da sta oba tranzistorja na isti temperaturi, da nebi prišlo do temperaturnega pobega.



Slika 2: Pogled s strani elementov



Slika 3: Tiskano vezje

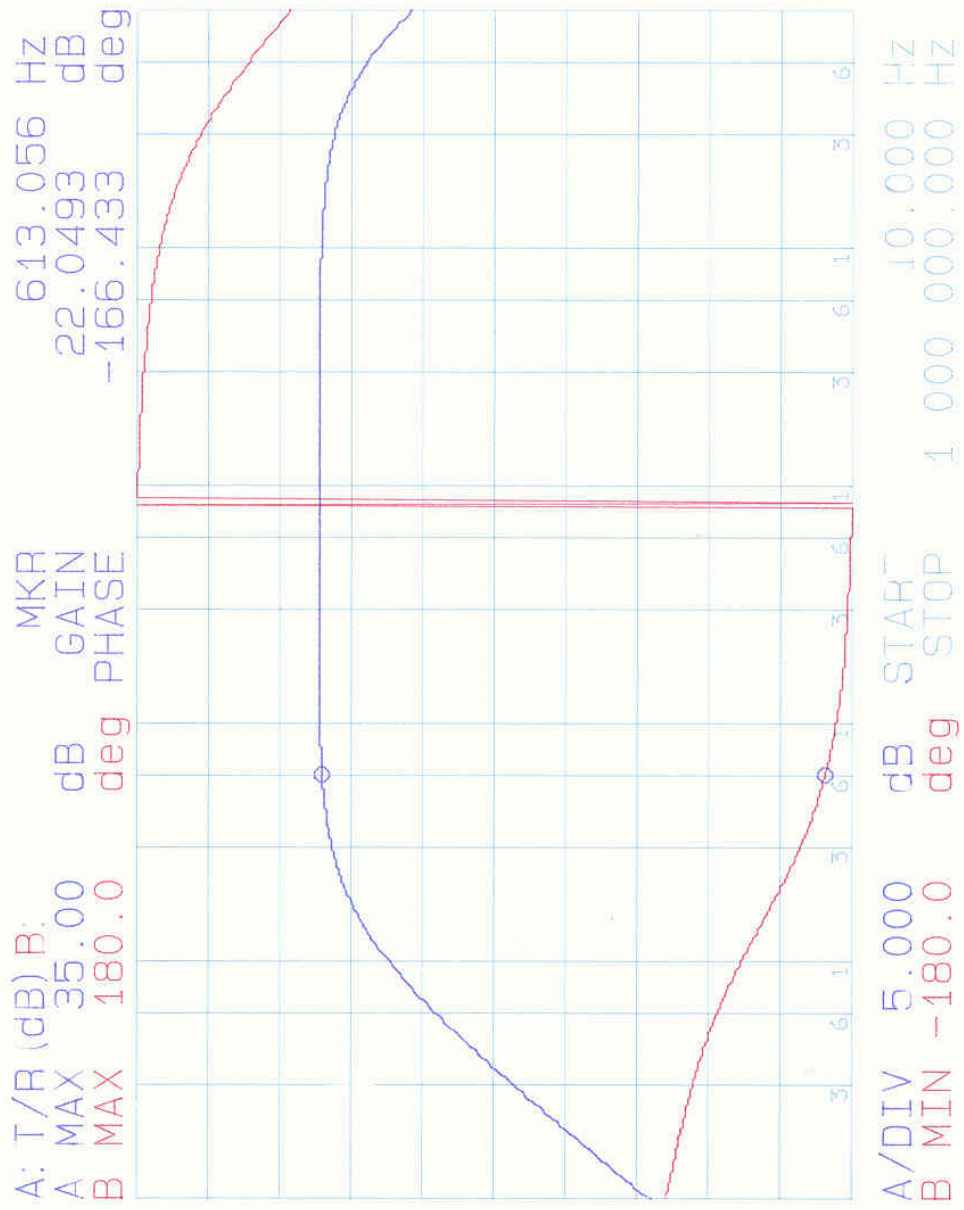
Predem priključimo napajanje še enkrat preverimo njegovo polariteto in vezje bi že moralo delovati! In res deluje.

### 4.2. Meritve

Najprej sem na vhod priključil sinusni signal frekvence 1kHz in opazoval obliko signala na izhodu. Največji vhodni signal pri tej frekvenci, ki še ne popači izhodnega signala, je okoli  $U_{max} = 100mV$ .

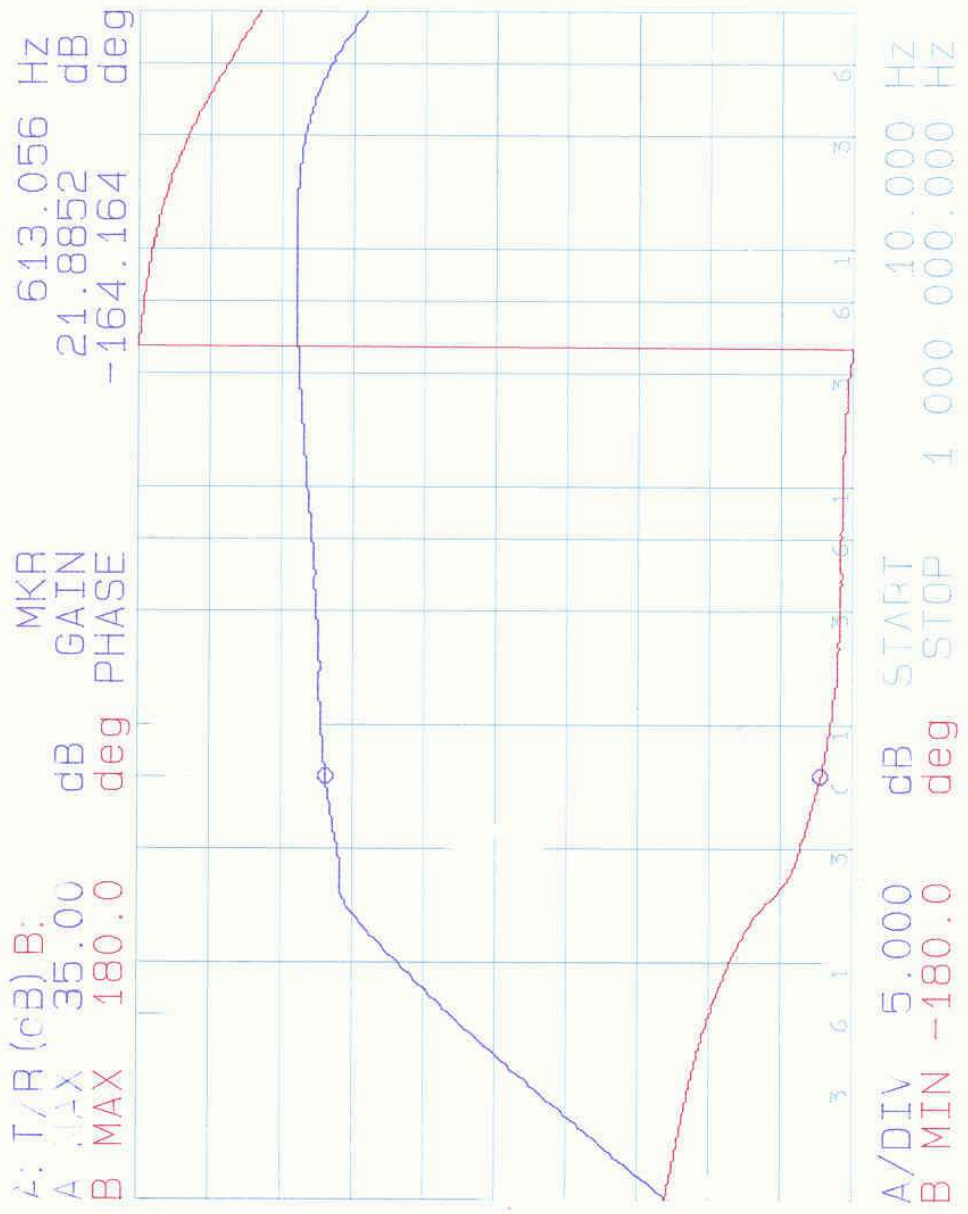
Potem pa sem z uporabo spektralnega analizatorja in ploterja še zrisal Bodejev diagram; amplitudni in fazni → glej naslednja dva lista. Po končani avtomatski analizi, sem se še ročno sprehodil po celem spektru analize in opazoval obliko signala na osciloskopu, da sem se prepričal, da ojačevalnik ne popačuje.

**Bodejev diagram z idealnim bremenom – upor vrednosti  $8\Omega$**





# Bodejev diagram z realnim bremenom – zvočnik upornosti 8Ω



## 5. ZAKLJUČEK

Z delovanjem tega preprostega ojačevalnika sem zelo zadovoljen, saj ponuja zadovoljivo glasnost priključenega zvočnika in bo vsekakor uporaben v moji delavnici.

Ob sami fizični izgradnji vezja se nisem naučil nič novega, saj je to že moja večletna praksa. Zato pa sem zelo vesel, da sem se naučil (vsaj približno) rokovati z dokaj zahtevnim spektralnim analizatorjem in ploterjem, saj verjamem, da mi bo to znanje v prihodnosti še prav prišlo.

Na koncu gre še zahvala asistentu Umeku za pomoč pri izvajanju meritev ter razumevanju delovanja ojačevalnika kot celote.

## 6. VIRI IN LITERATURA

- [1] TIM , december 1993  
Miha Zorec, Mini NF-ojačevalnik, str. 30
- [2] Horowitz, Hill  
The art of electronics, str.91-98
- [3] Zapiski iz predavanj 'Komunikacijska vezja'