



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Југославија  
Деканат: 021 350-413; 021 450-810; Централа: 021 350-122  
Рачуноводство: 021 58-220; Студентска служба: 021 350-763  
Телефакс: 021 58-133; e-mail: ftndean@uns.ns.ac.yu



Сертификован  
систем  
квалитета



# PROJEKAT IZ

## PROJEKTOVANJA ELEKTRONSKIH KOLA POMOĆU RAČUNARA

### NAZIV PROJEKTA:

Audio pojačavač

### TEKST ZADATKA:

Projektovati audio pojačavač za zvučnik otpornosti  $8\Omega$  i snage 40W

### MENTOR PROJEKTA:

Brkić dr Miodrag

### PROJEKAT IZRADILI:

Lazarević Vanja EE149/2019  
Drozdović Đorđe EE43/2018

# 1.Sadržaj

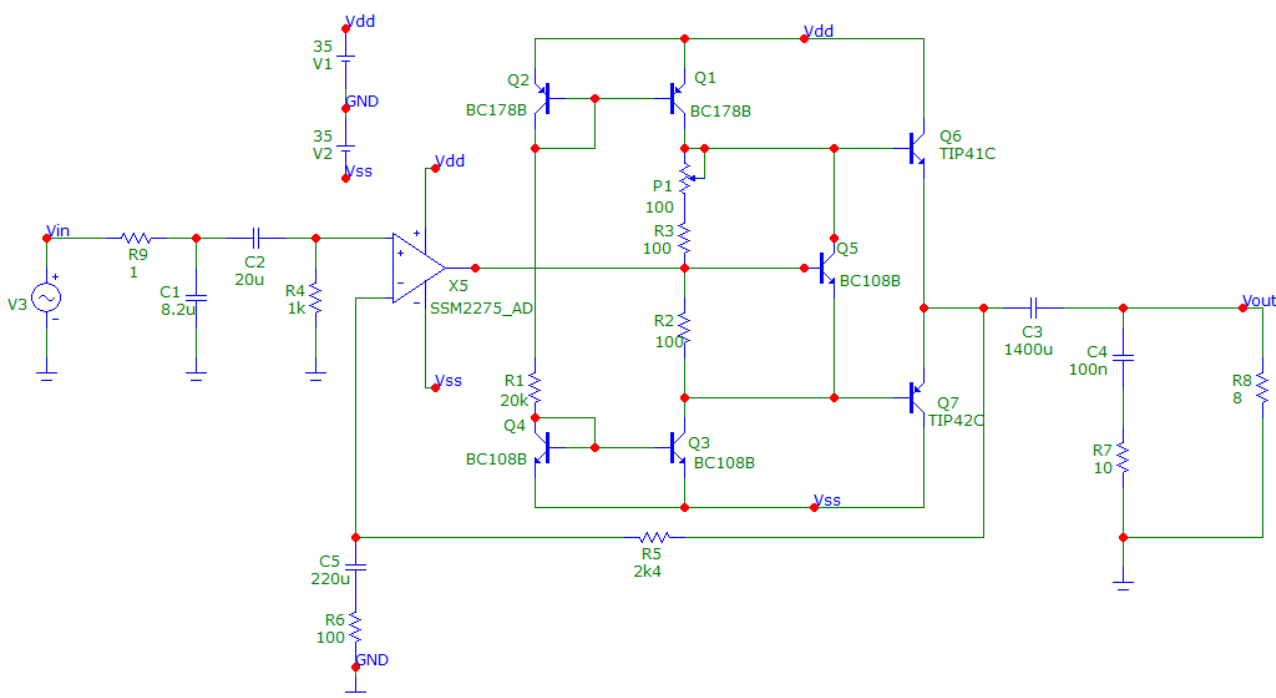
1.Sadržaj .....	2
1. Uvod.....	3
2. Šematski prikaz kola i princip rada.....	3
3. Proračun i izbor komponenti.....	5
3.1 Proračuni pojačanja pojačavača .....	5
3.2 Proračun kondenzatora C1 i otpornika R9 .....	6
3.3 Proračun kondenzatora C2 i otpornika R4 .....	6
3.4 Proračun kondenzatora C3 .....	7
3.5 Izbor izlaznih tranzistora (Q6 i Q7) i napajanja .....	7
3.6 Projektovanje strujnog ogledala .....	8
3.7 Izbor tranzistora Q5 i otpornika R2, R3 i potencijometra P1 .....	8
4. Rezultati simulacija.....	9
4.1 Mirne radne tačke (dinamička DC analiza).....	9
4.2 Prpopusni opseg pojačavača (AC analiza).....	10
4.3 Prikaz izlaznog signala (tranzijentna analiza) .....	12
4.4 Pojačanje kola u linearnom režimu (tranzijentna analiza) .....	13
5. Koeficijent korisnog dejstva .....	15
6. Zaključak .....	16
7. Literatura.....	17

## 1. Uvod

Zadatak je projektovati audio pojačavač koji sadržit naponski pojačavački stepen i pojačavač klase AB kao izlazni stepen. Pojačavač je potrebno projektovati za tvučnik otpornosti  $8\ \Omega$  i snage 40W. Izrada ovog projekta je bazirana na osnovu šema i savjeta za unapređenje iz skripte profesora Lasla.

## 2. Šematski prikaz kola i princip rada

Na slici 1. dat je dat je šematski prikaz audio pojačavača.



Napajanje kola je bilateralno (+35 V i -35 V). Kolo se sastoji iz naponskog pojačavačkog stepena i izlaznog AB stepena. Naponski pojačavački stepen realizovan je pomoću operacionog pojačavača, a izlazni AB stepen pomoću bipolarnih tranzistora.

Na ulaz audio pojačavača dovodi se naizmjenični signal maksimalne amplitude 1V i frekvencije od 20Hz do 20KHz.

Otpornik R9 i kondenzator C1 imaju ulogu NF filtera čiji je zadatak da eliminiše frekvencije iznad 20KHz.

Kondenzator C2 neutralizuje DC struju iz izvora i zajedno sa otpornikom R4 vrši ulogu VF filtera.

Operacioni pojačavač SSM2275/Ad ima ulogu naponskog pojačavačkog stepena. OP ima negativnu povratnu spregu i njegovo pojačanje zavisi od otpornosti R5 i R6.

Bipolarni tranzistori Q1, Q2(PNP), Q3, Q4(NPN) i R1 čine strujno ogledalo.

Otpornici R3 i R3, tranzistor Q5 i potenciometar služe za podešavanje mirne radne tačke i polarizaciju tranzistora izlaznog stepena Q6 i Q7.

Otpornik R5 i R6 određuju pojačanje neinvertujućeg OP, a kondenzator C5 onemogućava pojačanje DC signala. Pri niskim frekvencijama (DC signal) kondenzator C5 predstavlja veliku otpornost (beskonačno), imenilac je beskonačan i pojačanje je 1. Povećanjem frekvencije smanji se impedansa druge grane i u inemiocu ostaje samo R6, a pojačanje postaje  $A_v=1+R5/R6$ .

Kondenzator C3 sprječava proticanje DC struje u zvučnik i time omogućava da se vrati u početni položaj ukoliko nema promjene napona na izlazu. Takođe čini VF filter zajedno sa otpornošću zvučnika.

Zvučnik je napravljen od tanke žice omotane oko magneta i prilikom povećanja frekvencije dolazi do povećanja impedanse na izlazu usled induktivnosti zvučnika. Da bi se ova pojava izbjegla neophodno je postaviti Zobelovo kolo paralelno sa zvučnikom. Otpornik R7 i kondenzator C4 čine Zobelovo kolo.

### 3. Proračun i izbor komponenti

#### 3.1 Proračuni pojačanja pojačavača

Potrebno je projektovati pojačavač na čijem izlazu će biti zvučnik otpornosti  $8\Omega$ , a izlazna snaga pojačavača treba biti 40W.

S obzirom da je snaga na otporniku jednaka:

$$P = U^2 / (2 R)$$

Ova formula važi ako je na izlazu sinusoidni oblik signala. Iz ove formule možemo dobiti vrijednost amplitude izlaznog signala:

$$U = 25.3V.$$

S obzirom da je amplituda ulaznog signala 1V, zaključujemo da pojačanje treba biti oko 25. Kako je pojačanje pojačavača jednako:

$$A\beta = V_{OUT} / V_{IN} = 1 + R_5/R_6 \text{ dobijamo potreban odnos otpornika } R_5/R_6 = 24.$$

Zbog ovog odnosa, izabrane su vrijednosti otpornika:

$$R_5 = 2k4\Omega$$

$$R_6 = 100\Omega$$

### 3.2 Proračun kondenzatora C1 i otpornika R9

Pomoću kondenzatora C1 i otpornika R9 realizovan je NF filter granične učestanosti  $f_g$  koja iznosi  $f_g = 20 \text{ kHz}$ . Izabran je otpornik  $R_8 = 1 \text{ } \Omega$

$$f_g = 1 / (2 * \pi * R_9 * C_1)$$

Iz ove jednačine slijedi da je:

$$C_1 = 1 / (2 * \pi * R_9 * f_g)$$

Iz ove jednačine dobijamo da je kapacitivnost kondenzatora C1:

$$C_1 = 7.96 \text{ } \mu\text{F}.$$

### 3.3 Proračun kondenzatora C2 i otpornika R4

Kondenzator C2 i otpornik R4 čine VF filter. Otpornik R4 je  $1 \text{ K}\Omega$  i njega ne mijenjamo. Naša donja granična učestanost je  $f_d = 20 \text{ Hz}$ , a kapacitivnost C2 tražimo po formuli za graničnu učestanost.

$$f_d = 1 / (2 * \pi * R_4 * C_2)$$

$$C_2 = 1 / (2 * \pi * R_4 * f_d)$$

$$C_2 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$

Uticao na donju graničnu frekvenciju imaju i kondenzator C3 sa otpornošću zvučnika. Tako da kapacitivnost kondenzatora C2 uzimamo i u zavisnosti od kapacitivnosti C3. Na osnovu daljih simulacija najpogodnija kapacitivnost je  $20 \text{ } \mu\text{F}$ , pa nju i biramo.

### 3.4 Proračun kondenzatora C3

Kondenzator C3 je vezan redno sa zvučnikom i odvaja jednosmijernu komponentu na izlazu audio pojačavača. Takođe sa otpornošću zvučnika čini VF filter.

Otpornost zvučnika je fiksna ( $8 \Omega$ ) i jednino nam preostaje da mijenjamo kapacitivnost kondenzatora da bi napravili odgovarajući VF filter sa graničnom učestanošću od  $f_d = 20\text{Hz}$ .

$$f_d = 1 / (2 * \pi * R_{out} * C_3)$$

$$C_3 = 1 / (2 * \pi * R_{out} * f_d)$$

Prema jednačini prethodnoj jednačini naša kapacitivnost je  $C_3 = 1\text{mF}$ . Na osnovu daljih simulacija je utvrđeno da nam je potrebna kapacitivnost od  $1400\mu\text{F}$  za kondenzator C3.

### 3.5 Izbor izlaznih tranzistora (Q6 i Q7) i napajanja

Na osnovu maksimalnog napona na zvučniku dolazimo do maksimalne struje na izlaznim tranzistorima.

$$I_{MAX} = U_{MAX} / R_{ZVUČNIKA} = 25 \text{ V} / 8 \Omega = 3.125\text{A}.$$

To znači da je potrebno odabrati tranzistore čija je kolektorska struja veća od navedene.

Takođe, potrebno je uračunati i struju mirne radne tačke pa je maksimalna struja koju tranzistor mora izdržati, u najgorem slučaju ustvari:

$$I_{MAX} = 3.125 \text{ A} + 0.1 \text{ A} = 3.225 \text{ A}.$$

Tranzistori TIP41C i TIP42C imaju maksimalnu kolektorsku struju od 6A, što znači da će biti i više nego dovoljni za ovaj pojačavač.

Napajanje bi trebalo da bude što bliže opsegu napona na izlazu. Ako maksimalnom naponu na na izlazu dodamo gubitke na TIP41C / TIP42C tranzistorima dobijemo napon od -35V do 35V. Ovaj napon je minimalan da bi se izbjegla izobličenja. U slučaju odabira većeg napona smanjujemo koeficijent korisnog dejstva.

### 3.6 Projektovanje strujnog ogledala

Strujno pojačanje tranzistora Q6 i Q7 iznosi 30, a njihova mirna radna struja 100mA, dolazimo do zaključka da je potrebna bazna struja u tom slučaju:  $I_B = I_C / h_{FE} = 100 \text{ mA} / 30 = 3.4 \text{ mA}$ .

Komponenta koja određuje struju strujnog ogledala jeste otpornik R1 i njegovu vrijednost biramo na sledeći način:  $R1 = (V_{CC} - V_{SS} - 0.6 \text{ V} - 0.6 \text{ V}) / 3.4 \text{ mA} = 20 \text{ k}\Omega$ . S obzirom da je struja ogledala 3.4 mA, potrebno je odabrati tranzistore koji mogu dati tu struju. Tranzistor BC178B i BC108B mogu dati kolektorsku struju i do 100mA.

### 3.7 Izbor tranzistora Q5 i otpornika R2, R3 i potencijometra P1

Tranzistor Q5 je izabran da bude isti kao i tranzistori u strujnom ogledalu odnosno BC108B. Ukoliko važi da su naponi baza – emiter, tranzistora Q5, Q6 i Q7 identični (što u praksi nikad nije slučaj), tada važi:

$$V_{CE5} = V_{BE6} + V_{EB7} = 2 V_{BE}$$

$$V_{CE5} = (1 + R2/R3) * V_{BE5}$$

Iz ovih jednačina dobijamo da je  $R2 = R3$ . Potencijometar P1 je dodat da bi bilo moguće mijenjati mirnu radnu tačku tranzistora Q6 i Q7. Analizom kola je utvrđeno da su odgovarajuće otpornosti za mirnu radnu struju od 100mA  $R2 = R3 = P1 = 100\Omega$ .

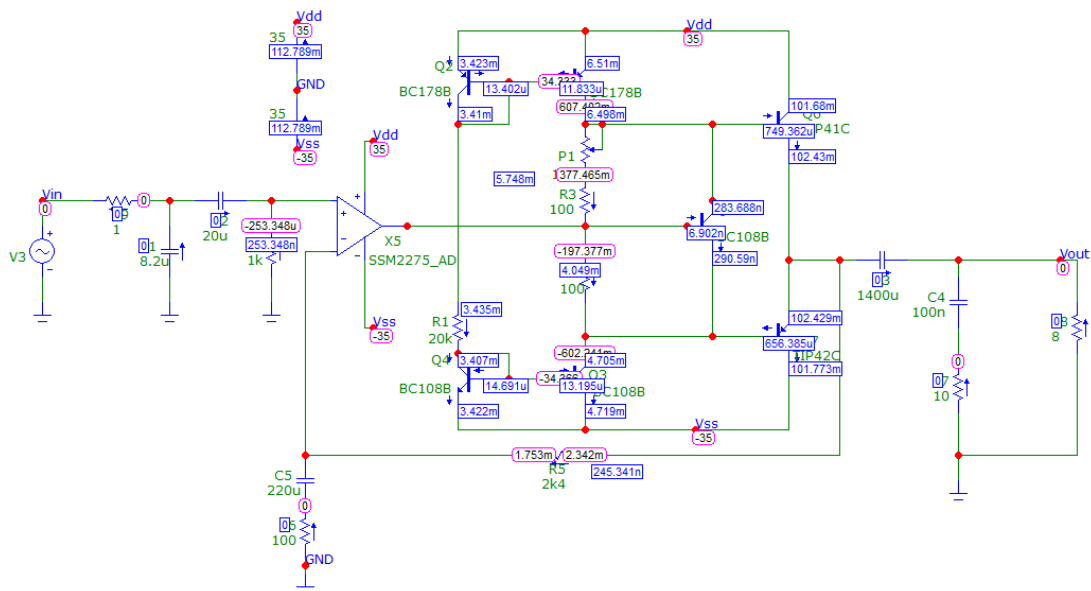


## 4. Rezultati simulacija

### 4.1 Mirne radne tačke (dinamička DC analiza)

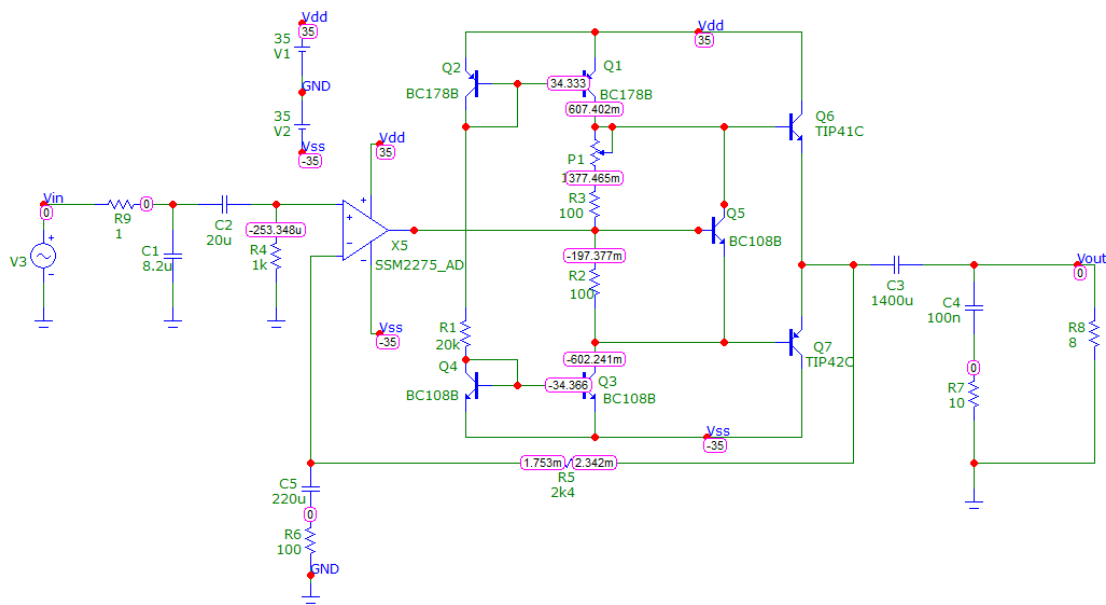
Određivanje mirne radne tačke izvršeno je u programskom alatu MicroCap, korišćenjem dinamičke DC analize.

Na slici 2. prikazane su struje svih komponentata u mirnim radnim tačkama.



Slika 2. Dinamička DC analiza - struje

Na slici 3. prikazani su naponi svih komponenti u mirnim radnim tačkama.



Slika 3. Dinamička DC analiza – naponi

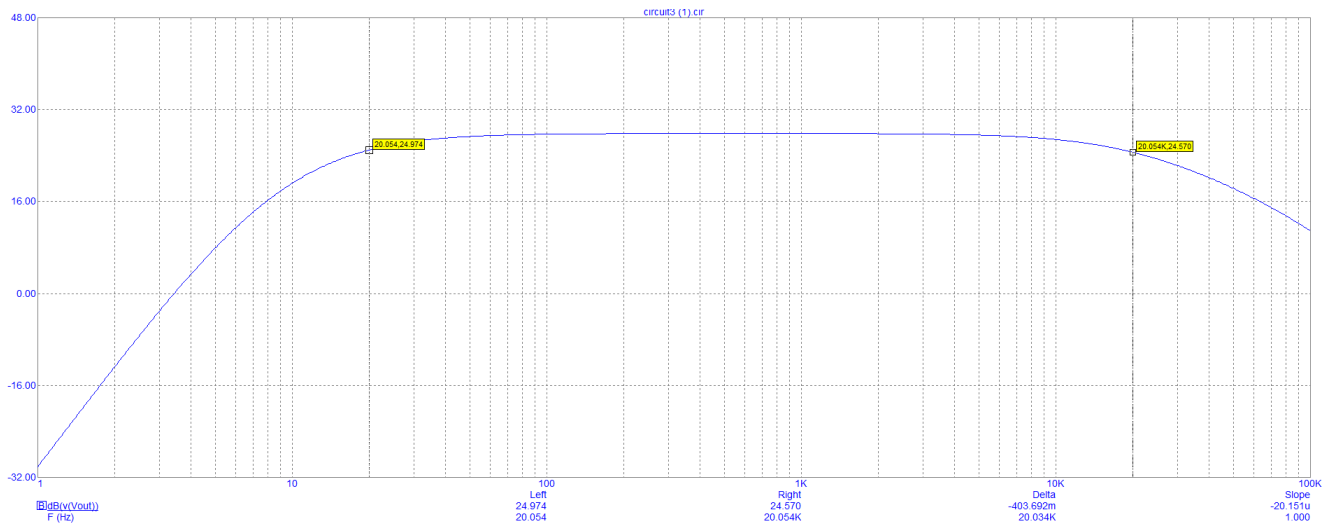
## 4.2 Prpopusni opseg pojačavača (AC analiza)

Propusni opseg audio pojačavača treba da bude u opsegu od 20 Hz do 20 kHz. Prilikom projektovanja kola, svi NF i VF filtri u kolu (RC kola) su pravljeni na taj način da dobijemo upravo ovaj opseg učestanosti na izlazu. Na slici 4. može se vidjeti da je upravo ovaj opseg dobijen na izlazu ovog audio pojačavača

Propusni opseg pojačavača određujemo iz AC analize. Propusni opseg audio pojačavača treba da bude u opsegu od 20Hz do 20kHz. Pojaćanje našeg pojačavača iznosi 25 što u decibelskoj skali predstavlja:

$$A[dB] = 20 \log(25) = 27,95$$

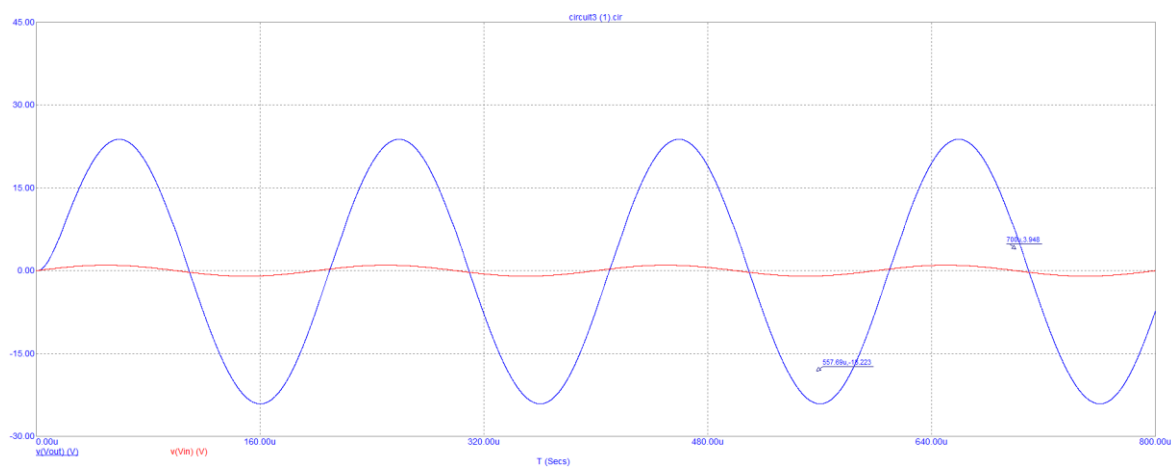
Granične frekvencije se nalaze na vrijednostima na kojima je ovo decibelsko pojaćanje opalo za 3dB, tj. tamo gde je 24,94dB, što možemo videti na Slici 4.



Slika 4. Propusni opseg pojačavača

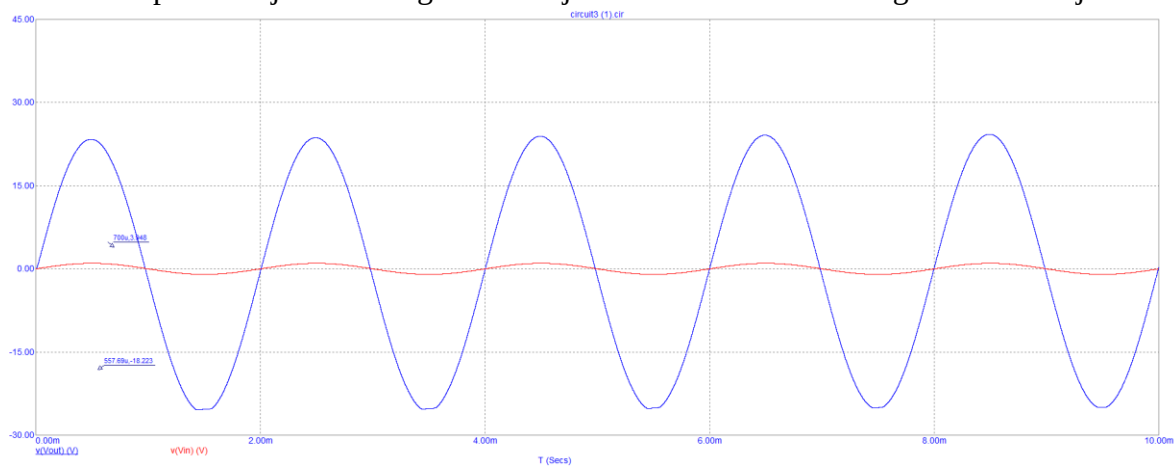
### 4.3 Prikaz izlaznog signala (tranzijentna analiza)

Tranzijentnom analizom je prikazano da nema izobličenja signala ovog pojačavača što je jedna od najvažnijih osobina. Izvršene su analize za 2 različite frekvencije. Na slici 5. prikazan je izgled izlaznog signala kada je na ulaz doveden sinusni signal frekvencije 5 kHz.



Slika 5. Izlazni signal frekvencije 5 kHz

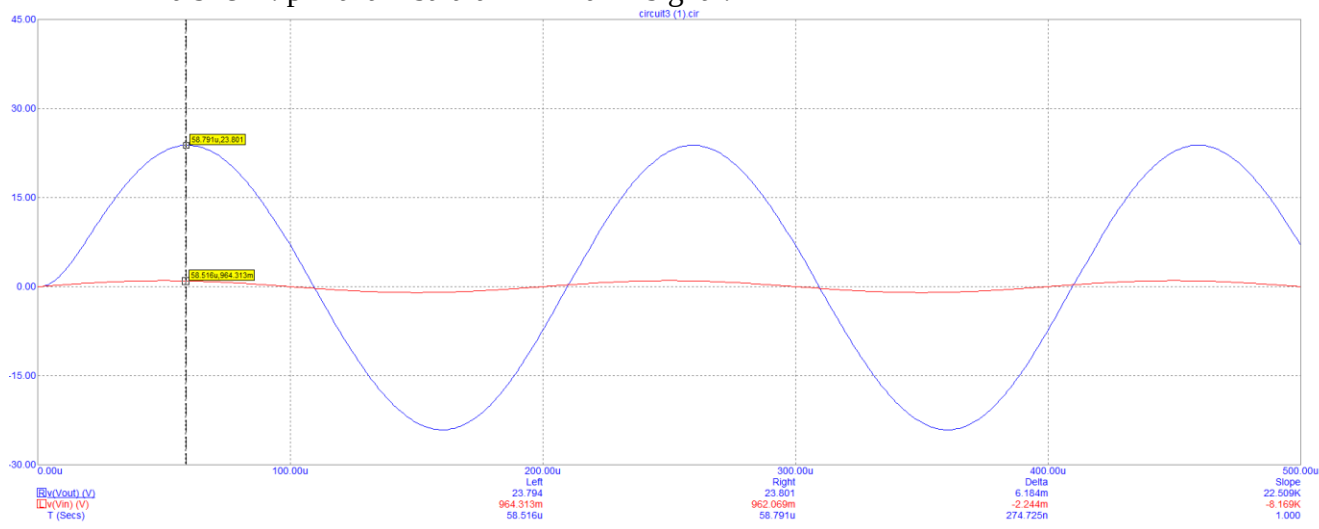
Na slici 6. prikazan je izlazni signal kada je na ulazu kola sinusni signal frekvencije 500 Hz.



Slika 6. Izlazni signal frekvencije 500 Hz

## 4.4 Pojačanje kola u linearnom režimu (tranzijentna analiza)

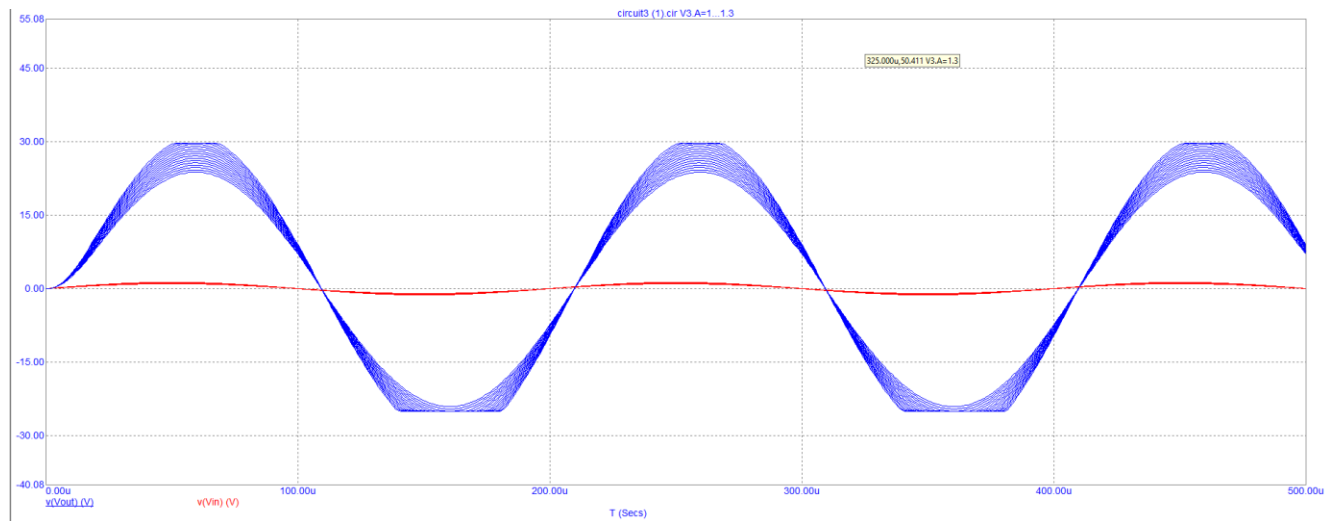
Na slici 7. prikazani su ulazni i izlazni signal.



Slika 7. Pojačanje kola

Sa slike vidimo da kolo unosi fazni pomjeraj čiji su uzork kondenzatori koje sadrži. Uz pomoć markera vidimo da kolo ostvaruje dato pojačanje koje iznosi približno 25 što je i bio cilj naših analiza.

U programskom alatu MicroCap, u okviru tranzijentne analize imamo funkciju “stepping” pomoću koje možemo mijenjati određenu komponentu u zadatim koracima. Ovdje je potrebno mijenjati amplitudu ulaznog signala i posmatrati izlazni signal, tako da odredimo za koju maksimalnu vrijednost ulaznog signala, izlazni signal ostaje neizobličen. Prvo je izvršeno grubo određivanje amplitude tako što su mjerene vrijednosti od 500 mV do 2.1 V, sa korakom od 200 mV. Dobijeno je da izobličenje počinje između 1 V i 1.2 V amplitude ulaznog signala. Nakon toga, za dobijanje tačnijih rezultata, uzet je upravo opseg od 1 V do 1.2 V, sa korakom od 20 mV. Na slici 10. su prikazani rezultati ove analize.



Slika 8. Određivanje maksimalne amplitude ulaznog signala

Kao što se vidi sa slike 8. maksimalna amplituda ulaznog signala, bez da bude izobličen, iznosi 1.02V.

## 5. Koeficijent korisnog dejstva

Maksimalni koeficijent korisnog dejstva ovog audio pojačavača može se dobiti iz sledeće formule:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\frac{V_{omax}^2}{2 R_p}}{\frac{2 U^2}{\pi R_p}} = \frac{\pi V_{oumax}^2}{4 U^2} = 40\%$$

Gdje je  $V_{omax}$ , maksimalni izlazni napon a  $U$  napon napajanja. Vidimo da se dobija relativno nizak nivo koeficijenta korisnog dejstva koji je uzrok visokog ulaznog napona koji je povećan kako ne bi došlo do izobličenja izlaznog signala.

## 6. Zaključak

S obzirom da se ovaj projekat neće praktično realizovati, naš izbor je bio da u cilju boljeg razumjevanja gradiva iz predmeta “Projektovanje elektronskih kola pomoću računara” upravo iskoristim jednu od električnih šema koje su obrađene tokom ovog kursa uz određena poboljšanja. Tokom čitavog projekta, pristup rješavanju problema je bio “inženjerski”. To znači da se vrijednosti određenih napona i struja nisu detaljno računale već uz određene aproksimacije i znanja stečena iz ovog predmeta, dobijene su vrijednosti potrebne za izbor komponenti. Projekat je ispunio sve što se od njega očekivalo, a to je da dobijemo audio pojačavač koji pojačava komponente signala u opsegu frekvencija od 20 Hz do 20 kHz. Na izlazu pojačavača je predviđeno da se koristi zvučnik od 8  $\Omega$ . Kao što je prikazano u proračunu, kao i simulacijama, ovaj pojačavač na svom izlazu daje snagu od 40 W, što je i bilo potrebno projektovati.



## **7. Literatura**

[ 1 ] Laslo Nađ, Skripta za predmet Projektovanje elektronskih kola pomoću računara, FTN, Novi Sad, 2015.