

# Tranzistorsko audio pojačalo snage 200W

---

**Halilović, Alen**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:036988>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**TRANZISTORSKO AUDIO POJAČALO SNAGE 200W**

**Završni rad**

**Alen Halilović**

**Osijek, 2019.**

1. UVOD .....	1
2. TRANZISTORSKA POJAČALA.....	2
2.1. Pojačala s bipolarnim tranzistorima .....	2
2.2. Pojačala s unipolarnim tranzistorima .....	3
2.3. Darlingtonov spoj.....	3
2.4. Operacijska pojačala.....	4
3. AUDIO POJAČALA.....	5
3.1. Elektronske cijevi .....	5
3.1.1. Triode .....	5
3.1.2. Tetrode.....	5
3.1.3. Pentode .....	6
3.2. Tranzistori .....	7
3.3. Klase audio pojačala.....	7
3.3.1. Klasa A .....	9
3.3.2. Klasa B .....	11
3.3.3. Klasa AB .....	11
3.3.4. Klasa C .....	12
3.4. Usporedba tranzistorskih i cijevnih pojačala.....	13
4. POJAČALO .....	15
4.1. Sheme .....	15
4.2. Potrebni dijelovi .....	19
4.3. Postupak izrade PCB pločice .....	21
4.4. Dizajn pojačala.....	23
4.5. Testiranje pojačala.....	24
5. ZAKLJUČAK .....	27
6. LITERATURA.....	28
SAŽETAK.....	29
ABSTRACT .....	29
ŽIVOTOPIS .....	30

## 1. UVOD

Sklopovi koji se koriste za pojačanje malih signala na izlazu mikrofona, u sklopovima radio i TV prijemnika za pojačanje antenskog signala, pojačanje detektiranog audio ili video signala koji se reproducira na raznim audio ili video sustavima, pojačanje poluvodičkih slikovnih senzora u kamerama, nazivaju se pojačala.

Pojačala su sastavljena od pasivnih i aktivnih elektroničkih komponenti, od kojih aktivne mogu biti tranzistori (bipolarni ili unipolarni), operacijska i diferencijalna pojačala, a pasivni elementi su otpornici i kondenzatori.

Audio pojačala su sklopovi koji uz malo snage pojačavaju glasnoću zvuka tako da se može koristiti u razne svrhe kao što su veliki javni razglasi za koncerte i velika okupljanja pa sve do malih kućnih audio sustava. Postoji mnogo vrsta audio pojačala, ali svrha pojedinog pojačala je jednaka, a to je pojačanje audio signala.

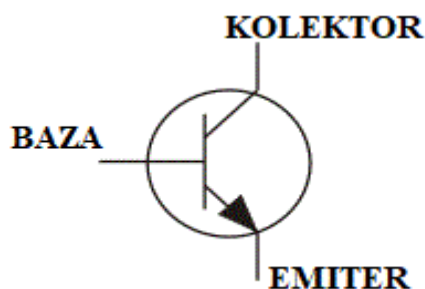
Prvo audio pojačalo je izradio Lee de Forrest 1906. Godine pomoću pomoću vakuumske cijevi s oblikom triode. Ionizirani plinovi, zagrijani te zatvoreni u djelomično vakumiranim staklenim cijevima su se koristili za pojačanje signala. Također je razvio razne konfiguracije uz pomoć vakuumskih cijevi koje je nazvao „Audions“.

## 2. TRANZISTORSKA POJAČALA

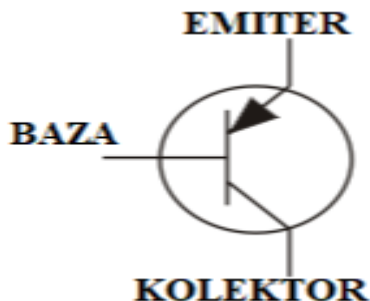
Osnovna podjela pojačala je podjela prema klasama: A, AB, C, D, E, F, G, S, T. U nastavku teksta su navedena neka od jednostavnijih pojačala izvedenih pomoću tranzistora: pojačala s bipolarnim tranzistorima, pojačala s unipolarnim tranzistorima, darlingtonov spoj, operacijska pojačala.

### 2.1. Pojačala s bipolarnim tranzistorima

Postoje tri mogućnosti spajanja bipolarnih tranzistora te u svakom od njih ostvarujemo drugačije pojačanje. U spoju zajedničke baze bipolarni tranzistor ostvaruje pojačanje napona, dok u spoju sa zajedničkim kolektorom bipolarni tranzistor ostvaruje pojačanje struje. Postoji treća mogućnost, spoj zajedničkog emitera, koji se najčešće koristi zbog pojačanja napona i struje te je pojačanje snage u ovom slučaju najveće.



Slika 2.1: NPN bipolarni tranzistor



Slika 2.2: PNP bipolarni tranzistor

Kako bi razumjeli pojačanje tranzistora potrebna je jedna formula:  $\beta = \frac{I_c}{I_b}$  (2-1)

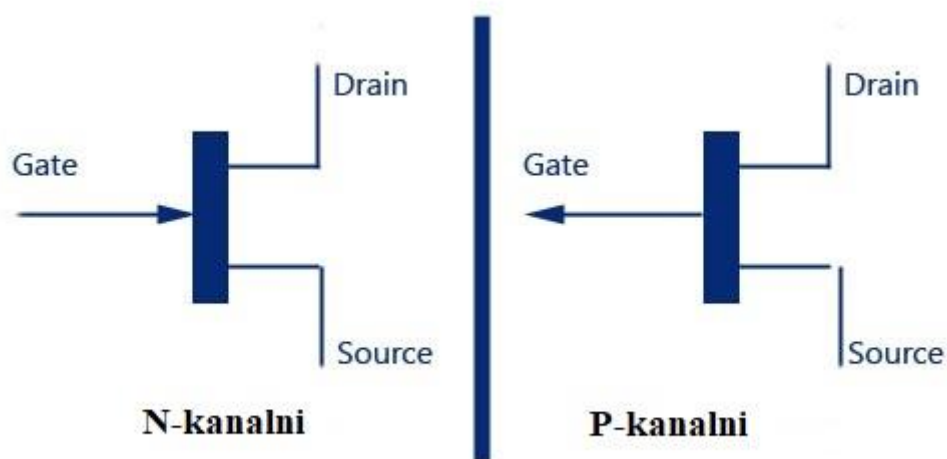
Gdje je: -  $\beta$  – faktor strujnog pojačanja tranzistoran u spoju zajedničkog emitera

-  $I_c$  – struja kolektora

-  $I_b$  – struja baze

## 2.2. Pojačala s unipolarnim tranzistorima

Pojačala s unipolarnim tranzistorima služe za pojačanje napona. Prikladna su za pojačanje malih signala zbog niske razine šuma. Postoje tri osnovna različita spoja unipolarnih tranzistora: pojačalo u spoju zajedničkog uvoda („Source“), pojačalo u spoju zajedničkog odvoda („Drain“), te pojačalo u spoju zajedničke upravljačke diode („Gate“).



Slika 2.3. Unipolarni FET N-kanalni i P-kanalni

## 2.3. Darlingtonov spoj

Darlingtonov spoj je spoj dva ili više bipolarna tranzistora, koji su spojeni na način da je emiter prvog tranzistora (T1) spojen na bazu drugog tranzistora (T2) kao prema slici 2.4. Darlingtonovim spojem ostvarujemo puno veće pojačanje nego sa jednim tranzistorom, točnije faktor strujnog pojačanja darlingtonovog spoja je ekvivalentan umnošku faktora pojačanja pojedinih tranzistora.

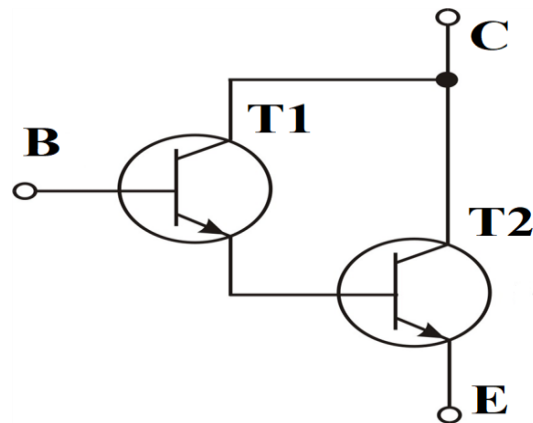
Formula za računanje faktora pojačanja darlingtonovog spoja:

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 + \beta_1 + \beta_2$$

(2-2)

Gdje je:

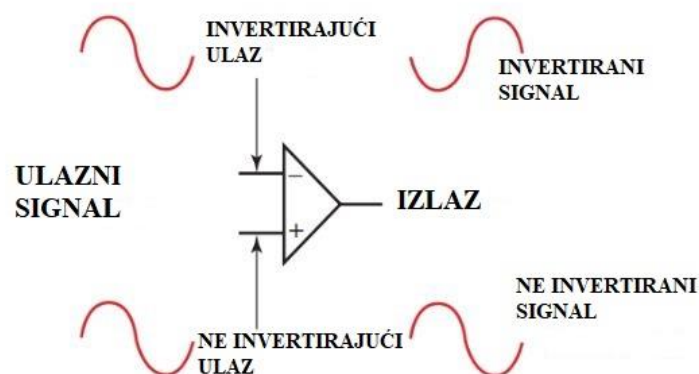
- $\beta$  – faktor pojačanja darlingtonovog spoja
- $\beta_1$  – faktor pojačanja prvog tranzistora
- $\beta_2$  – faktor pojačanja drugog tranzistora



Slika 2.4. Darlingtonov spoj

## 2.4. Operacijska pojačala

Operacijska pojačala imaju dva ulaza kao prema slici 2.5. , jedan od ulaza je invertirajući(-), a drugi neinvertirajući(+). Što znači da prilikom dovođenja signala na neinvertirajući ulaz, na izlazu pojačala se pojavljuje pojačan signal i u fazi sa ulaznim signalom. Prilikom dovođenja signala na invertirajući ulaz, na izlazu se pojavljuje pojačan signal i u protufazi sa ulaznim signalom. (Slika 2.5.)



Slika 2.5. Operacijsko pojačalo

### 3. AUDIO POJAČALA

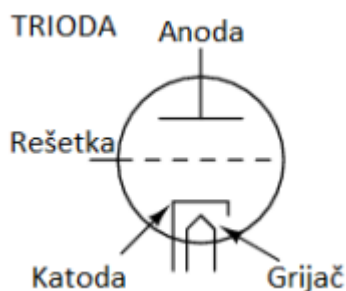
Postoje 3 skupine audio pojačala: cijevna, tranzistorska i tranzistorska pojačala s lampom u predpojačalu. Tranzistorska audio pojačala su rasprostranjenija zbog jednostavnosti izrade i izdržljivosti. Dok su cijevna pojačala zato cjenjenija zbog topline samog zvuka, te tonskog i volumenskog prostora, tj. veće mogućnosti pojačanja volumena bez da se izgubi kvaliteta i dinamika zvuka, ali su zato jako osjetljiva na udarce.

#### 3.1. Elektronske cijevi

Većinom su izrađene od stakla, nalik na žarulju u kojoj su stavljene komponente pod vakuumom s izlazima koji vire van. Dijele se na triode, tetrode i pentode, iako su se prije koristile i elektronske cijevi sa dvije elektrode (Audion).

##### 3.1.1. Triode

Trioda je elektronska vakuumaska cijev, koju je 1906. izumio američki znanstvenik Lee de Forest. Što je on učinio? Samo je vakuumskoj diodi dodao treću elektrodu (upravljajuću rešetku) izrađenu od tanke žice. Na slici 3.1. nalazi se način rada triode, tj. triodne elektronske cijevi. Elektroni su privučeni prema anodi zbog razlike potencijala te se preko rešetke lampa zagrijava, odnosno regulira i olakšava protok elektrona.



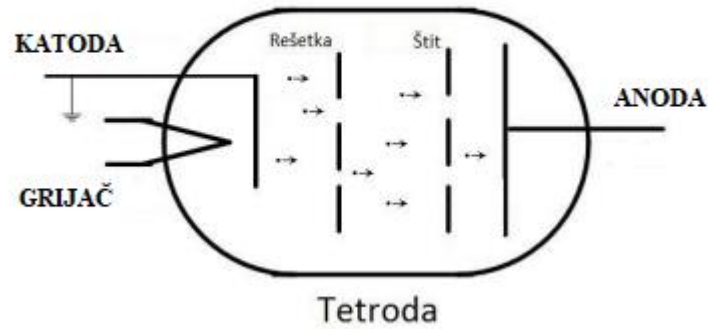
Slika 3.1. Trioda

##### 3.1.2. Tetrode

Tetrodna cijev sadrži četiri elementa, kao što i samo ime govori: katodu, rešetku, anodu i „štit“. Taj novi četvrti element „štit“ (Slika 3.2.) je žicom isprepletenu mrežu, koja se nalazi između rešetke i ploče, spojen na istosmjerni napon. Također, spojen preko kapaciteta, „štit“ se



ponašao kao elektrostatski štit rešetke od ploče. Kapacitivni spoj između ploče i rešetke je imao jako osjetljive smetnje na visokim frekvencijama bez štita.

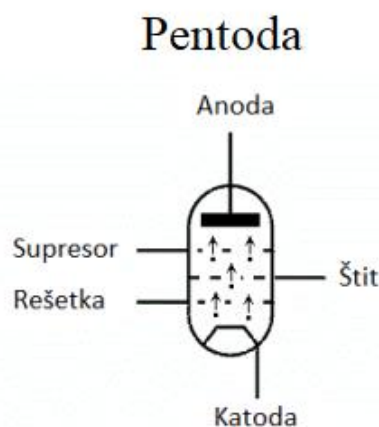


Slika 3.2. Tetroda

### 3.1.3. Pentode

Prilikom izrade tetrode dodan je četvrti element koji se naziva štit, dodavanjem štita došlo je do problema kada se elektroni privuku na sam štit. Taj problem je riješen dodavanjem petog elementa, još jedne rešetke koja je nazvana „supresor“ (Slika 3.3.). Tako je nastala pentoda koja ima pet elemenata: katodu, anodu, rešetku, štit i supresor.

Supresor je dodatna rešetka žice između štita i ploče, spojen direktno na uzemljenje. Zadatak supresora je odbijanje sekundarnih elektrona prema ploči, što povećava struju ploče, a smanjuje struju štita, čime se dobiva bolje pojačanje te veći radni napon ploče.



Slika 3.3. Pentoda

## 3.2. Tranzistori

Tranzistor je poluvodički uređaj koji se koristi za pojačavanje ili prekidanje električnih signala i električne energije. Sastavljen je od poluvodičkih materijala koji obično imaju tri izlaza za spajanje na vanjski krug. Danas se tranzistori više ne koriste samo pojedinačno, već se nalaze i u integriranim krugovima.

Tranzistor je temeljni i sveprisutan element modernih elektroničkih uređaja. Već 1926. godine je Julius Edgar Lilienfeld patentirao FET tranzistor, ali u to vrijeme nije bilo moguće konstruirati radni uređaj. Prvi implementirani uređaj bio je tranzistor s točkastim kontaktom kojeg su 1947. godine izumili američki fizičari John Bardeen, Walter Brattain i William Shockley. Ubrzo nakon otkrića tranzistora, spomenuti fizičari su ih spojili s nekim drugim komponentama da bi konstruirali audio pojačalo. To audio pojačalo su pokazali izvršnim direktorima u Bell Telephone Company koji su bili impresionirani jer mu nije bilo potrebno vrijeme za „zagrijavanje“.

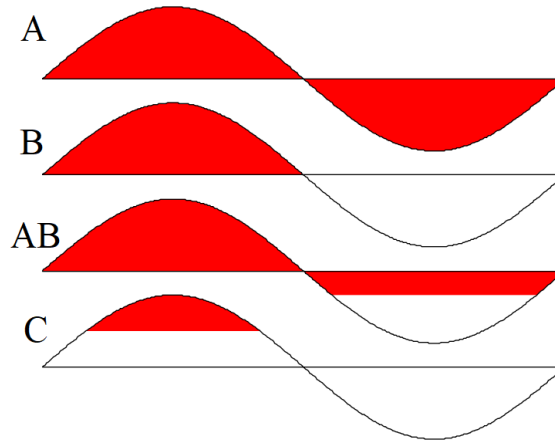
Tranzistor je revolucionirao polje elektronike, te je doveo radio uređaje, kalkulatore i računala na pravi put, važno je napomenuti da su svi elektronički uređaji postali jeftiniji zbog tranzistora. Tranzistor je na popisu IEEE („Institute of Electrical and Electronics Engineers“) prekretnica u elektronici i spomenutim znanstvenicima je dodjeljena Nobelova nagrada za fiziku 1956.

Većina tranzistora je napravljena od vrlo čistog silicija ili germanija, ali se mogu koristiti i drugi poluvodički materijali. FET tranzistori ili unipolarni tranzistori imaju samo jednu vrstu nosača naboja (eng. *charge carriers*), a bipolarni tranzistori imaju dvije vrste. Kada bi usporedili tranzistore sa vakuumskim cijevima, tranzistori su manji te im je potrebno manje energije za rad. Ali zato neke vakuumske cijevi imaju prednost zbog rada na visokim frekvencijama.

## 3.3. Klase audio pojačala

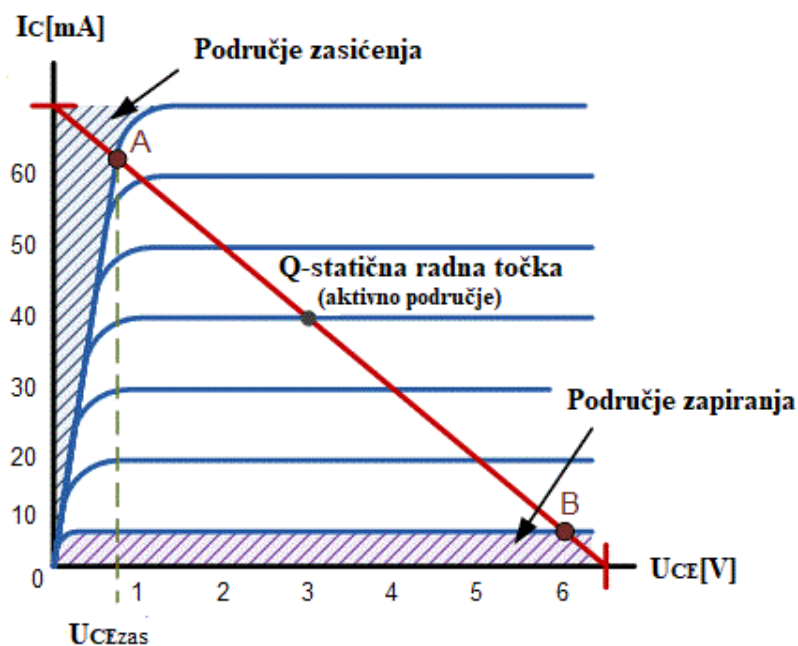
Klase pojačala snage u elektronici su slovni simboli primjenjeni na različite vrste pojačala snage te prikazuje naznaku o karakteristikama i izvedbi pojačala. Klase se odnose na vremenski period u kojem pojačalo prosljeđuje struju, izraženo kao dio razdoblja valnog oblika signala primjenjenog na ulaz. Pojačalo klase A provodi kroz cijelo razdoblje signala, klasa B

samo kroz pola razdoblja signala, klasa C za mnogo manje od polovice razdoblja signala, dok pojačala klase D,E,F,G,S,T itd. koja koriste digitalne strujne krugove i pulsno širinsku modulaciju (eng. *pulse width modulation*) konstantno komutiraju od skroz otvorenog do skroz zatvorenog radnog stanja.

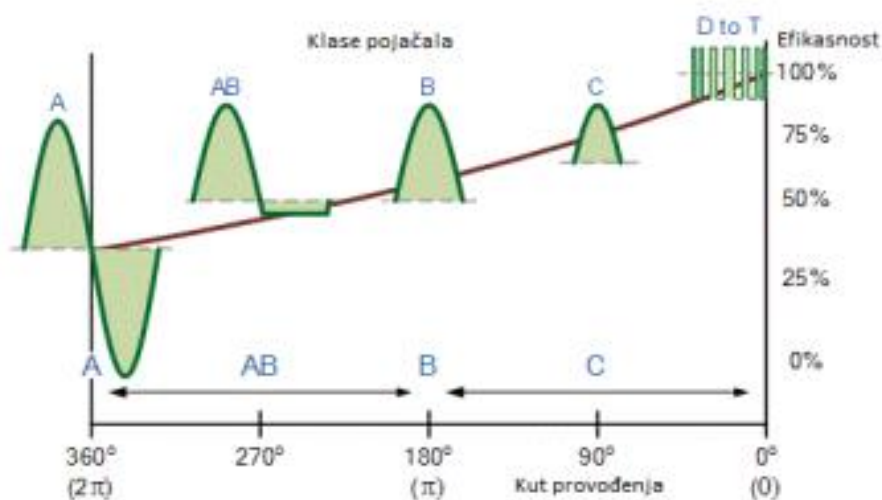


Slika 3.4. Trajanje aktivnosti izlaznog aktivnog elektroničkog elementa

U svakom pojačalu statička radna točka(Q) klasificira samo pojačalo. Ako postavimo točku mirovanja na pola pravca opterećenja karakteristične krivulje, pojačalo se nalazi u klasi A. Kako pomičemo točku mirovanja sve niže i niže po pravcu, tako mijenjamo klase pojačala, redom AB, B, ili C klasu. Klasifikaciju pojačala možemo predstaviti pomoću slike 3.5. i slike 3.6.



Slika 3.5. Izlazna karakteritika

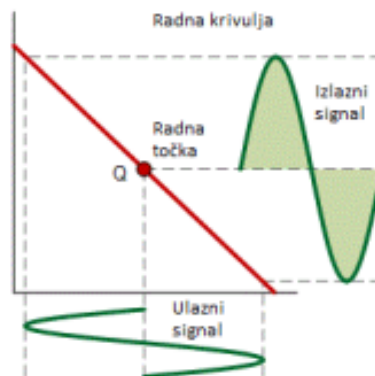


Slika 3.6. Klasifikacija pojačala prema kutu vođenja

### 3.3.1. Klasa A

U pojačalu klase A koristi se 100% ulaznog signala (kut provođenja  $\theta=360^\circ$ ) te aktivni element provodi cijelo vrijeme. Pojačala u klasi A provode kroz cijeli raspon ulaznog ciklusa. Zbog svojih karakteristika A klasa doslovno znači „najbolja klasa“ pojačala. Pojačala u ovoj klasi uglavnom imaju nisku razinu distorzije signala i vrlo vjerojatno imaju najbolji zvuk od svih

drugih spomenutih klasa. Također pojačala u ovoj klasi imaju najvišu linearnost od svih drugih klasa i kao takva su u linearnom režimu karakteristične krivulje.



Slika 3.7. Radna krivulja klase A pojačala

Prednosti klase A:

Pojačala klase A mogu biti jednostavnija od drugih klasa, budući da dizajn klasa AB i B zahtijeva dva povezana uređaja u krugu, svaki za obradu jedne polovice valnog oblika, a klasa A može koristiti samo jedan uređaj.

Budući da uređaj nikada nije isključen, ne postoji vrijeme uključivanja, nema problema s pohranom naboja i općenito ima bolje performanse na visokim frekvencijama i stabilnosti povratne petlje.

Točka u kojoj se uređaj najviše približava tome da bude „isključen“ nije u „nultom signalu“, tako se izbjegavaju problemi križnog izobličenja povezani s klasama AB i B.

Nedostatci klase A:

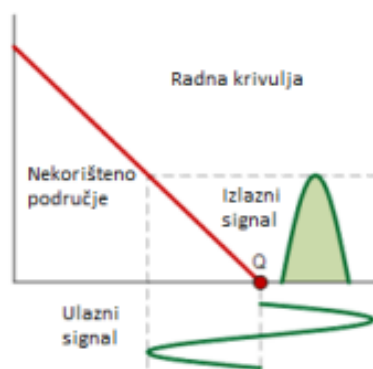
Pojačala klase A su neučinkovita. Maksimalna teoretska učinkovitost od 25% može se dobiti korištenjem uobičajnih konfiguracija, ali 50% je maksimalna za transformator ili induktivno spregnutu konfiguraciju. Prema tome troši puno energije i ograničava rad s baterijama. Ako je potrebna velika izlazna snaga pojačala klase A, toplina postaje značajna. Za

svaki watt isporučen opterećenju, pojačalo u najboljem slučaju koristi dodatni watt. Za pojačala visoke snage to znači vrlo velike i skupe izvore napajanja i hladnjake.

Budući da su izlazne cijevi stalno u punom pogonu, za razliku od klase AB i B, cijevi neće imati tako dug životni vijek, što znači povećanje troškova održavanja pojačala.

### 3.3.2. Klasa B

U pojačalu klase B, aktivni uređaj provodi 50% ulaznog signala (kut provođenja  $\theta=180^\circ$ ), to bi uzrokovalo nepodnošljivo izobličenje, ako bi postojao samo jedan uređaj, tako da se koriste dva uređaja, svaki provodi jednu polovicu ciklusa signala, jedna polovica pozitivnu, a druga negativnu. Struje uređaja su kombinirane tako da je struja opterećenja kontinuirana čime je učinkovitost znatno pojačana i riješen je problem pregrijavanja u odnosu na klasu A.



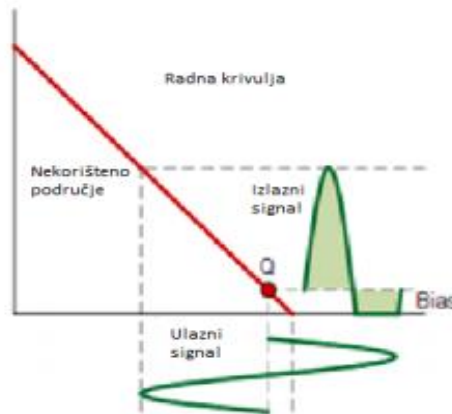
Slika 3.8. Radna krivulja klase B pojačala

### 3.3.3. Klasa AB

U pojačalu klase AB, kut provođenja je između klasa A i B, što znači da se ne provodi 100%, niti 50%, nego oko 75% te dva aktivna elementa provode više od polovice vremena.

Klasa AB se smatra dobrim kompromisom za pojačalo, budući da je glazbeni signal većinu vremena dovoljno tih da signal ostaje u području klase A, gdje se pojačava s velikom točnošću. Također, distorzije ove klase su vrlo male.

Ova klasa pojačala je osmišljena kao kombinacija klasa A i B kako bi se riješili problemi sa grijanjem klase A, te problem distorzije klase B. Riješen je tako da oba elementa provode u isto vrijeme oko točke križanja valnog signala te tako eliminiraju problem distorzije.

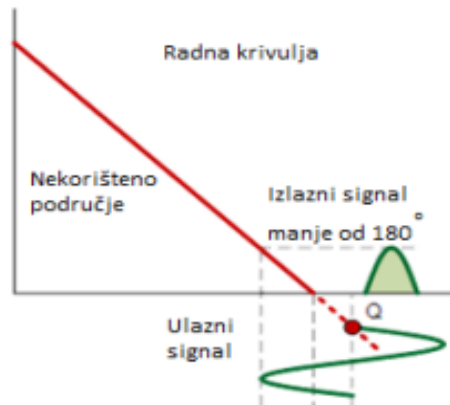


Slika 3.9. Radna krivulja klase AB pojačala

#### 3.3.4. Klasa C

Kod pojačala klase C koristi se manje od 50% ulaznog signala. Distorzija je jako velika i praktična uporaba zahtijeva podešen krug kao opterećenja. Pojačala u klasi C imaju najveću efikasnost, ali zato imaju najmanju linearnost od svih ostalih gore spomenutih klasa.

Iako klasa C ima najveću efikasnost, oko 80%, zbog distorzije ova klasa pojačala nije pogodna za korištenje u audio pojačalima. Uobičajena primjena pojačala klase C je u radio frekvencijskim odašiljačima koji rade na jednoj fiksnoj frekvenciji, te u visokofrekventnim oscilatorima gdje se izobličenje kontrolira podešenim opterećenjem pojačala.



Slika 3.10. Radna krivulja klase C pojačala

### 3.4. Usporedba tranzistorskih i cijevnih pojačala

Kada postavimo pitanje koje pojačalo je bolje, tranzistorsko ili cijevno, uvijek će postojati prepirke između potrošača, koji pri usporedbama opisuju samo zvuk, ali ne i samu izradu, mjerenja te tehničke stvari gledane sa objektivnog gledišta i sa znanstvene strane. Stoga je IEEE organizacija 1998. objavila članak o usporedbi tranzistorskih i cijevnih pojačala, gledano sa znanstvene strane.

#### Prednosti tranzistorskih pojačala:

- puno jeftinija izrada u odnosu na cijevna pojačala, pogotovo u malim signalnim sklopovima
- tranzistorska pojačala su veoma izdržljiva, što znači da imaju duži vijek trajanja
- manja potrošnja energije u odnosu na cijevna pojačala
- manja disipacija energije koja se pretvara u toplinu
- veća sigurnost, puno jeftiniji dijelovi
- veća fizička otpornost zbog same elektronske cijevi koja je osjetljiva na udarce



### Nedostatci tranzistorskih pojačala:

- viša razina distorzije nego kod cijevnih pojačala
- pri zagrijavanju, parametri uređaja podosta osciliraju, čime kompliciraju regulaciju struje mirovanja (*eng. bias*), te povećavaju mogućnost termalnog izboja
- zbog kapacitivnosti, uređaji su podložni variranju napona
- potrebna je niža radna temperatura nego kod cijevnih uređaja pa je hlađenje manje efikasno
- velika ulazna kapacitivnost MOSFET snage oscilira naponom
- puno manja otpornost na skokove napona i preopterećenja
- većina tranzistorskih pojačala vezana su direktno te vrlo lako mogu oštetiti zvučnik, iako imaju aktivnu zaštitu
- održavanje je teže nego kod cijevnih pojačala jer korisnik teže može promijeniti dijelove
- u starijim tranzistorskim pojačalima nalaze se stariji tranzistori i integrirani sklopovi za koje je vrlo teško pronaći zamjenu, jedino ako se pronađe korišteni ispravni dio u nekom od također starijih sklopova

### Prednosti cijevnih pojačala:

- kapacitivnost uređaja ima vrlo male oscilacije sa signalnim naponom
- problem DC komponente se vrlo lako može riješiti visokokvalitetnim kondenzatorima s niskom vrijednošću
- dizajn strujnih krugova puno je jednostavniji nego kod poluvodičkih izvedbi
- smanjena je prijelazna distorzija, zato što cijevna pojačala obično rade u klasi A ili AB
- kvarovi zvučnika su jako rijetki zato što ih izlazni transformator štiti od kvara lampi
- održavanje je puno jednostavnije zato što korisnik može sam promijeniti lampu vrlo jednostavno

### Nedostatci cijevnih pojačala:

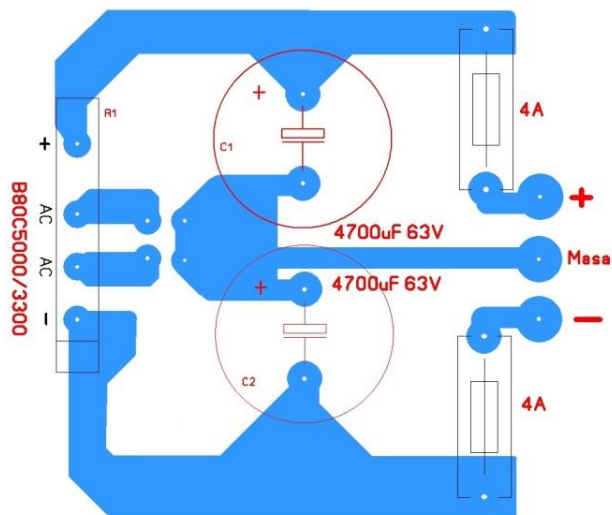
- veće dimenzije, što nam govori da nisu prikladne za prijenosne uređaje
- visok radni napon
- potrebno je napajanje za grijače što znači i veća potrošnja energije
- manja efikasnost snage nego kod tranzistorskih uređaja
- staklene elektronske cijevi su vrlo osjetljive na udarce i lomove
- kraći radni vijek elektronskih cijevi zbog materijala koji služi za emitiranje elektrona katode
- veća cijena u odnosu na tranzistorske uređaje

## **4. POJAČALO**

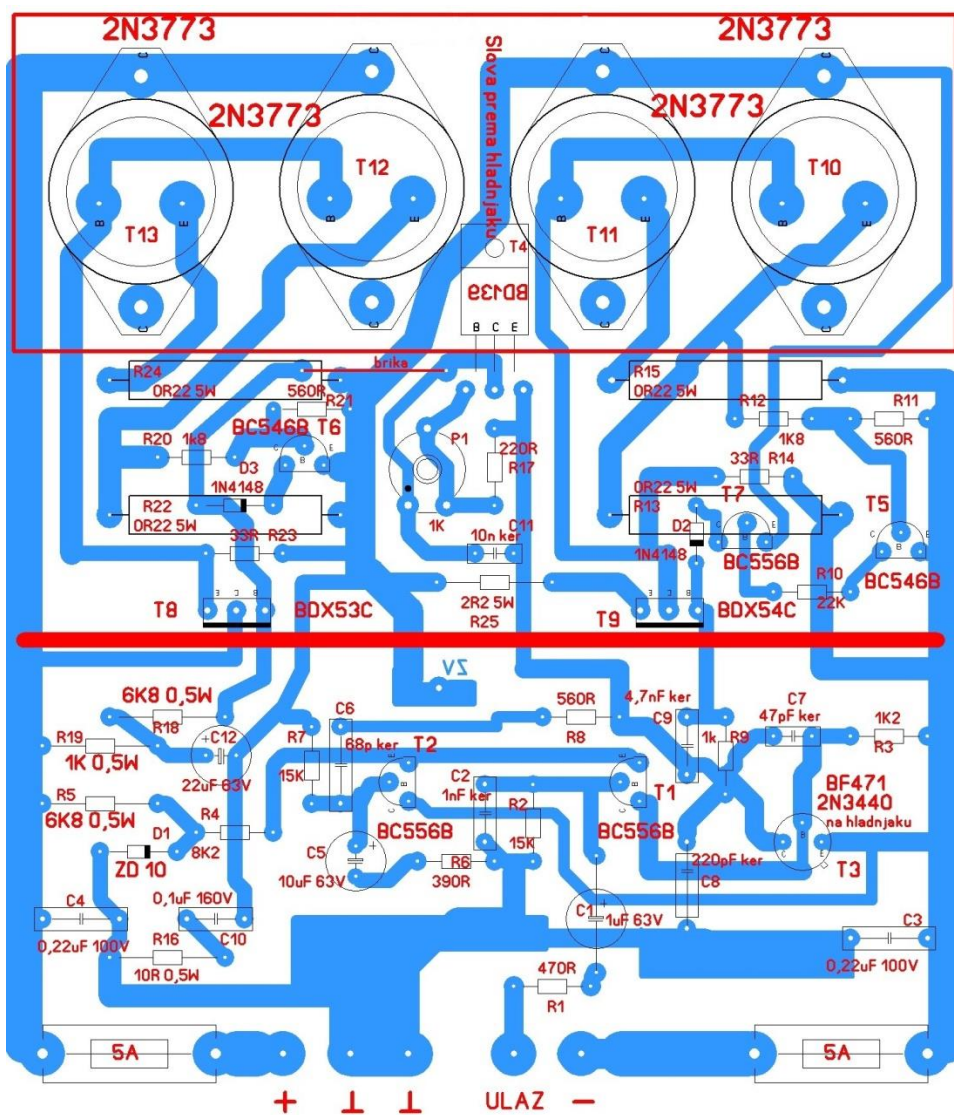
Pojačalo je izrađeno na dvije PCB (*eng. printed circuit board*) pločice, odnosno tiskane pločice. Na jednoj od tiskanih pločici nalazi se ispravljač struje, a na drugoj pločici se nalazi pojačalo snage.

### **4.1. Sheme**

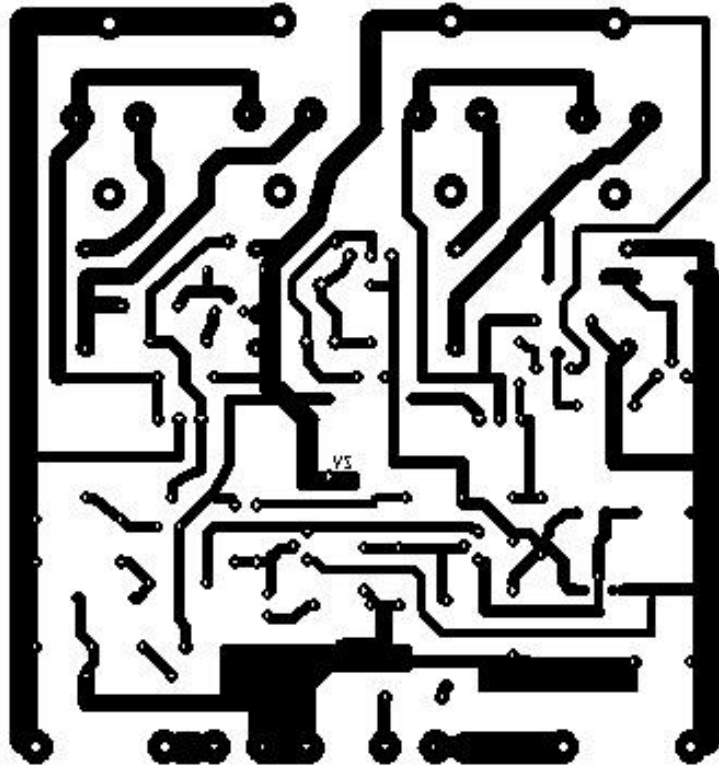
Nakon pronalaska odgovarajuće sheme za izradu 200W pojačala potrebno je bilo i izraditi samu shemu na računalu zbog simulacija. Shema je izrađena u programu Electronic Workbenchu. Kada je shema bila gotova, potrebno je bilo izraditi PCB pločice, a prije izrade, nacrtati shemu tiskanih veza koja je izrađena u Sprint Layout programu. Prilikom lemljenja korištena je montažna shema pojačala na slici 4.4. te montažna shema ispravljača na slici 4.3.



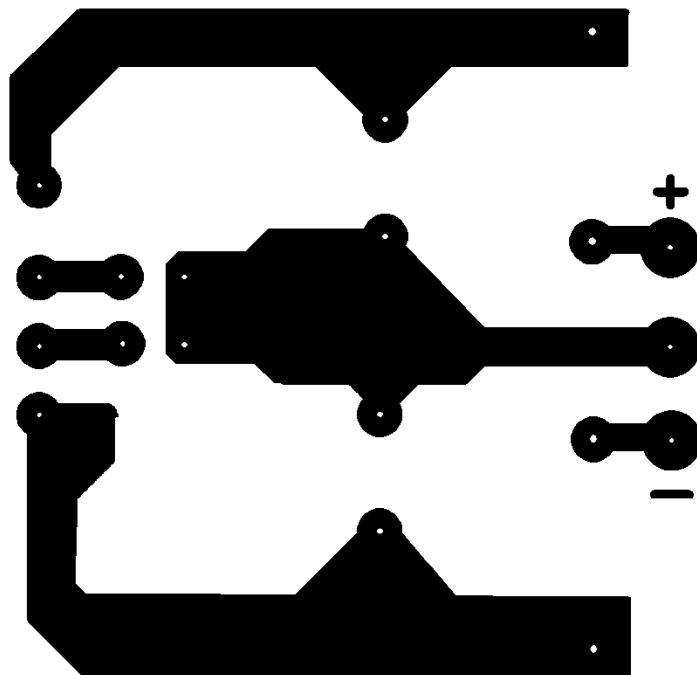
Slika 4.1. Montažna shema ispravljča



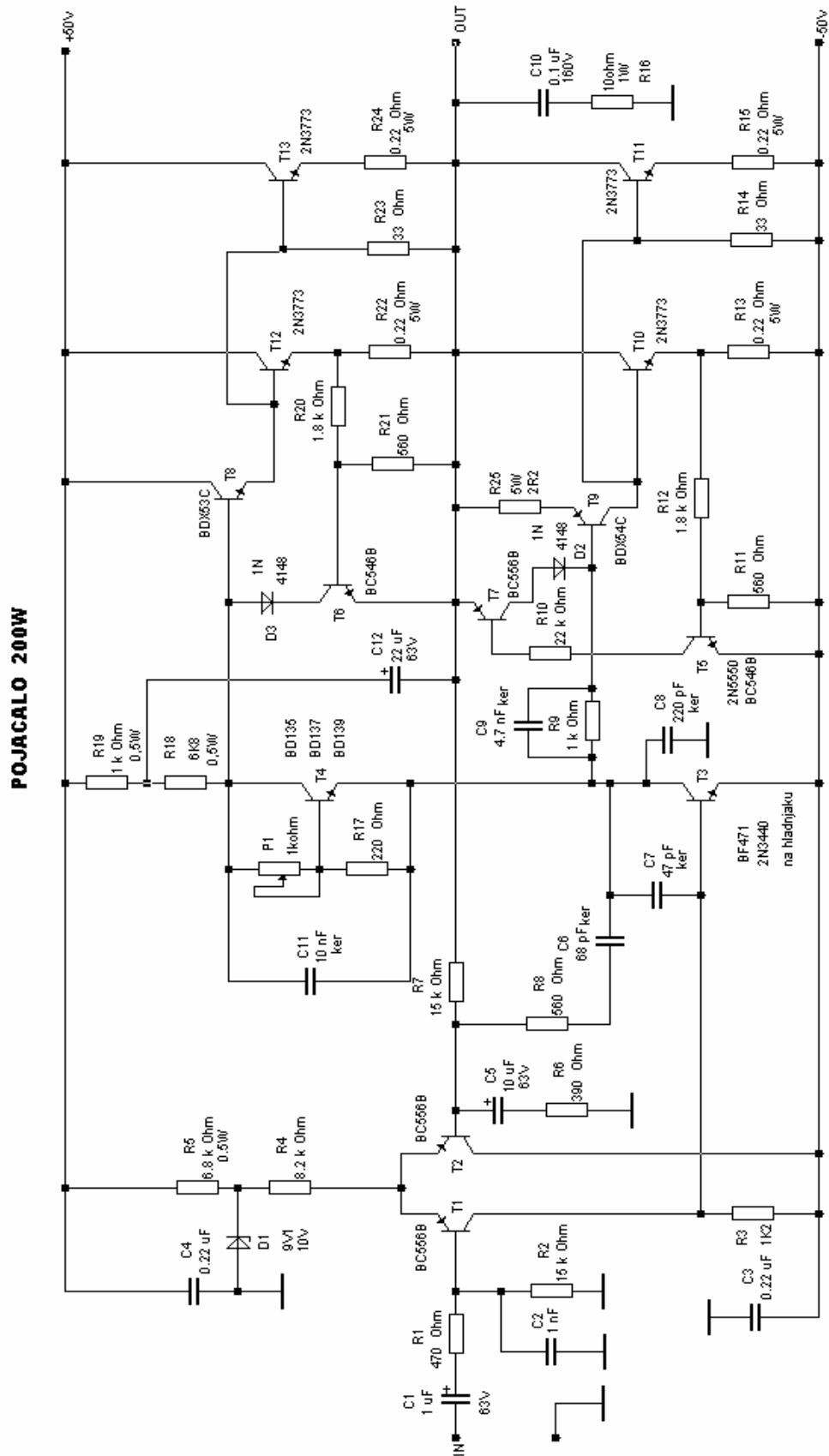
Slika 4.2. Montažna shema pojačala snage



Slika 4.3. Shema tiskanih vodova pojačala



Slika 4.4. Shema tiskanih vodova ispravljača



Slika 4.5. Shema pojačala za završni rad

## 4.2. Potrebni dijelovi

Većina elektronskih komponenata je kupljena u Chipoteci, a neke od komponenata su izvađene iz otpadnih uređaja, poput hladnjaka te nekih od otpornika. U tablici 4.1. te tablici 4.2 nalaze se komponente potrebne za pojačalo i komponente za ispravljač u tablici 4.3.

Oznaka	Komponenta	Vrijednost	Napomena
R1	Otpornik	470 $\Omega$	-
R2	Otpornik	15k $\Omega$	-
R3	Otpornik	1,2k $\Omega$	-
R4	Otpornik	8,2k $\Omega$	-
R5	Otpornik	6,8k $\Omega$	0,5W
R6	Otpornik	390 $\Omega$	-
R7	Otpornik	15k $\Omega$	-
R8	Otpornik	560 $\Omega$	-
R9	Otpornik	1k $\Omega$	-
R10	Otpornik	22k $\Omega$	-
R11	Otpornik	560 $\Omega$	-
R12	Otpornik	1,8k $\Omega$	-
R13, R15	Otpornik	0,22 $\Omega$	5W
R14	Otpornik	33 $\Omega$	-
R16	Otpornik	10 $\Omega$	1W
R17	Otpornik	220 $\Omega$	-
R18	Otpornik	6,8k $\Omega$	0,5W
R19	Otpornik	1k $\Omega$	0,5W
R20	Otpornik	1,8k $\Omega$	-
R21	Otpornik	560 $\Omega$	-
R22,R24	Otpornik	0,22 $\Omega$	5W
R23	Otpornik	33 $\Omega$	-
C1	Kondenzator	1 $\mu$ F	elko, 63V
C2	Kondenzator	1nF	folijski,
C3,C4	Kondenzator	0,22 $\mu$ F	folijski

Tab 4.1. Popis komponenata za pojačalo, prvi dio

Oznaka	Komponenta	Vrijednost	Napomena
C5	Kondenzator	10 $\mu$ F	elko, 63V
C6	Kondenzator	68pF	keramički
C7	Kondenzator	47pF	keramički
C8	Kondenzator	220pF	keramički
C9	Kondenzator	4,7nF	keramički
C10	Kondenzator	0,1 $\mu$ F	folijski, 160V
C11	Kondenzator	10nF	keramički
C12	Kondenzator	22 $\mu$ F	elko, 63V
D1,D3	Dioda	-	1N4148
D2	Dioda	9,1V / 10V	zener
T1	Tranzistor	BC556B	-
T2	Tranzistor	BC556B	-
T3	Tranzistor	BF471	ili 2N3440
T4	Tranzistor	BD135	ili BD137
T5	Tranzistor	2N5550	Ili BC546B
T6	Tranzistor	BC546B	-
T7	Tranzistor	BC556B	-
T8	Tranzistor	BDX53C	-
T9	Tranzistor	BDX54C	-
T10,T11	Tranzistor	2N3773	-
T12,T13	Tranzistor	2N3773	-
P1	Trimer	1k $\Omega$	horizontalni
P2	Potenciometar	25k $\Omega$	linearni
Os1,Os2	Osigurač	4A	-

Tab 4.2. Popis komponentata za pojačalo, drugi dio

Oznaka	Komponenta	Vrijednost	Napomena
Tr1	Transformator	2x30V, 67A	toroidni
Gr1	Graetzov spoj	B80C5000	-
C1,C2	Kondenzator	4700 $\mu$ F	elko, 63V
Os1,Os2	Osigurač	4A	-

Tab 4.3. Popis komponentata za ispravljač

### 4.3. Postupak izrade PCB pločice

Postoje dvije vrste materijala za izradu tiskane pločice, pertinaks i vitroplast. Vitroplast je bolji zato što je puno čvršći i elastičniji te je proziran što olakšava postavljanje elemenata na pločicu. Moguće je kupiti pločice, koje već imaju nanesen foto-lak, što olakšava postupak zato što je tvornički ravnomjerno nanesen foto-lak, te nema nikakvih nečistoća koje mogu dovesti do prekida vodova. Ukoliko sami nanosimo lak, treba paziti da lak nije stariji od godinu dana zato što gubi svoja svojstva i daje lošiju kvalitetu tiskane pločice.

Predložak tiskanih vodova se izrađuje na računalu u nekom od programa te kasnije ispišemo laserskim pisačem na papir ili foliju. Prilikom ispisa sheme na papir, vrijeme osvjetljavanja podižemo za 3-4 minute, ali ako to ne želimo, možemo koristiti pausclear sprej koji čini papir prozirnim, pri tome treba paziti da se nakon nanošenja spreja papir stavi u novine ili nešto slično te pritisne kako bi višak tekućine izašao iz papira.

Za izradu pločice koristimo vitroplast zbog boljih karakteristika, izmjerimo dimenzije i uvećamo ih za 10mm kako bi ostalo mjesta na rubovima da se ne oštete tiskani vodovi. Nakon što je pločica izrezana, potrebno je izbrusiti rubove i očistiti pločicu nekim sredstvom kako bismo dobili visok sjaj te osiguravamo da nema nikakvih masnoća koje bi mogle štetiti kasnijem postupku. Također je bitno obrisati pločicu čistom krpom koja ne ostavlja prašinu ili svoje materijale zato što, ako ostane imalo prašine ili masnoće, lak se neće primiti na tom mjestu te nastaje rupa u vodovima.

Foto-lak se nanosi na pločicu uz crveno svjetlo u polu-zatamnjenoj prostoriji i na temperaturi nižoj od sobne. Nakon svih prethodno obavljenih koraka na pločicu nanosimo foto-lak bez prekida s udaljenosti 15-20cm. Pločica mora biti u horizontalnom položaju prilikom nanošenja laka kako ne bi došlo do nakupljanja laka na rubovima. Također je važno za napomenuti da se ne smije prelaziti više puta preko istog mjesta.

Nakon nanošenja laka, poprskanu pločicu stavljamo u hladnu pećnicu, i sušimo na 50-60 °C u vremenskom periodu od 25-30 minuta. Također je moguće sušiti pločicu na sobnoj temperaturi, ali tada sušenje traje 24 sata.

Osvjetljavanje pločice se vrši tako da se predložak prethodno izrađen na papiru stavlja na pločicu te se na to dodaje staklo ili pleksiglas bez ikakvih oštećenja. Osvjetljavamo pomoću UV izvora koji prethodno mora biti ugrijan na radnu temperaturu te postavljamo na udaljenost od



20cm. Osvjetljavamo pločicu 4-10 minuta, te je važno za napomenuti da vrijeme osvjetljavanja ovisi o starosti laka, debljini sloja istog, te jačini izvora svjetlosti. Nakon obavljenog postupka vidljivi su vodovi na pločici.

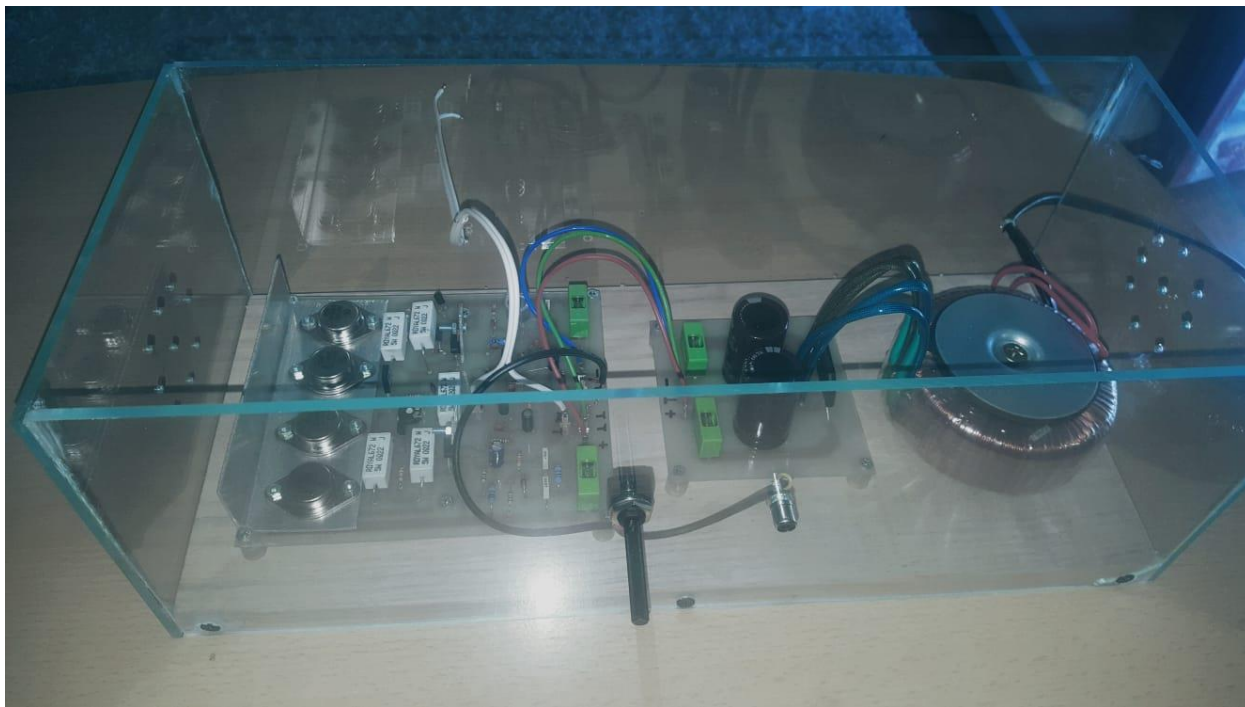
Razvijanje pločice se vrši pomoću tekućine natrijevog hidroksida, kojeg doziramo 7g/l, kad se pločica stavi u tekućinu vrlo brzo će se početi prikazivati vodovi. Kada se vodovi razviju do kraja, pločica se vadi i stavlja pod mlaz vode. Bitno je pripaziti na duljinu vremena u kojem pločica ostane u tekućini jer ako ostane predugo nestaju svi vodovi sa pločice.

Nakon razvijanja pločice dolazi nagrivanje, zato što je potrebno nagrivi nepotrebne dijelove bakra. Nagrivanje se vrši pomoću otopine od 18%-tne solne kiseline, vode i vodikovog peroksida. Doziranje je jako bitno zato što se dodavanjem previše vodikova peroksida uništava pločica pa treba pripaziti da se otopina radi od 100ml solne kiseline, 100ml vode, i 30ml vodikovog peroksida. Također je vrlo važno za napomenuti da je prilikom nagrivanja potrebno ljuljati posudu u kojoj se nalazi pločica kako bi vodovi bili bolje kvalitete. Prilikom nagrivanja potrebno je pripaziti da tekućina ne dođe u kontakt s očima ili kožom, ako ipak dođe do kontakta isprati s puno vode. Također je važno da se nagrivanje radi u provjetrenoj prostoriji ili na otvorenom prostoru zato što se stvara otrovan plin.

Nakon izvršenog nagrivanja potrebno je isprati vodom, skinuti lak acetonom te dobro osušiti. Ukoliko vodove želimo zaštititi od vanjskih utjecaja, nanosimo Plastik-Spray ili LOT-LAK.

## 4.4. Dizajn pojačala

Prilikom izrade samog pojačala razmišljao sam kako bih mogao napraviti neko drugačije kućište kako bi to izgledalo bolje te privlačnije oku.



Slika 4.6. Pojačalo u kućištu



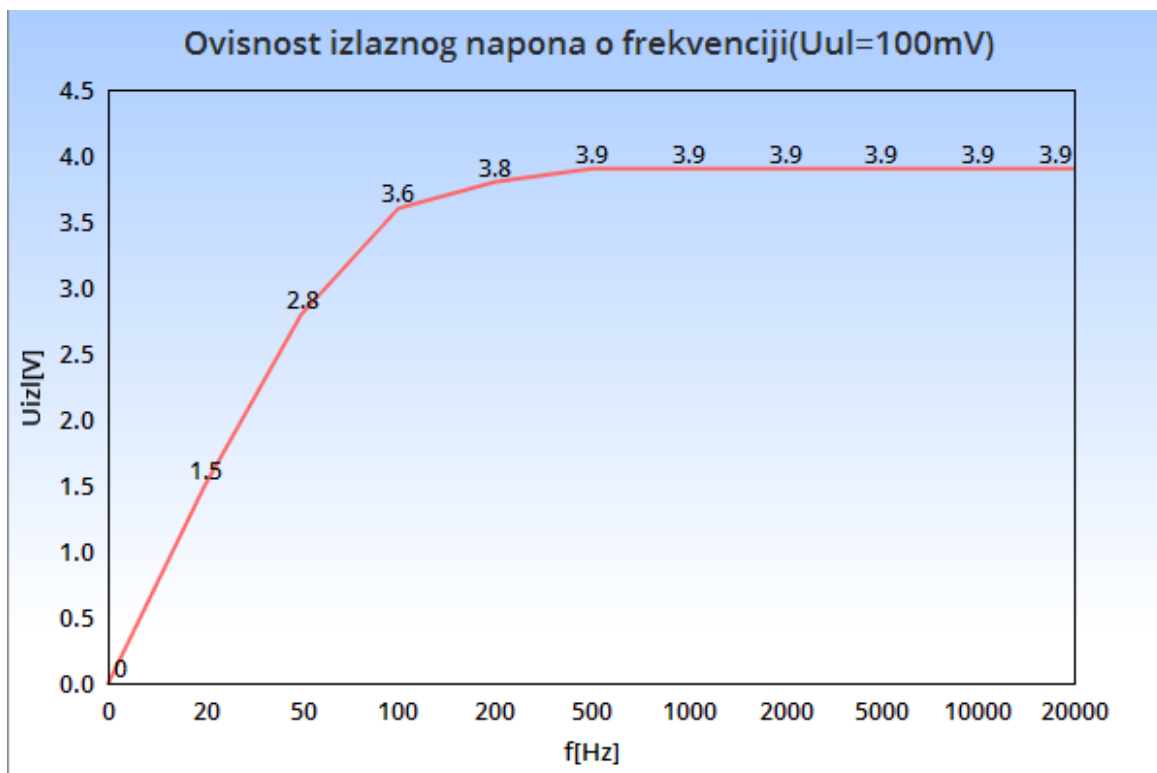
Slika 4.7. Ispravljač i transformator



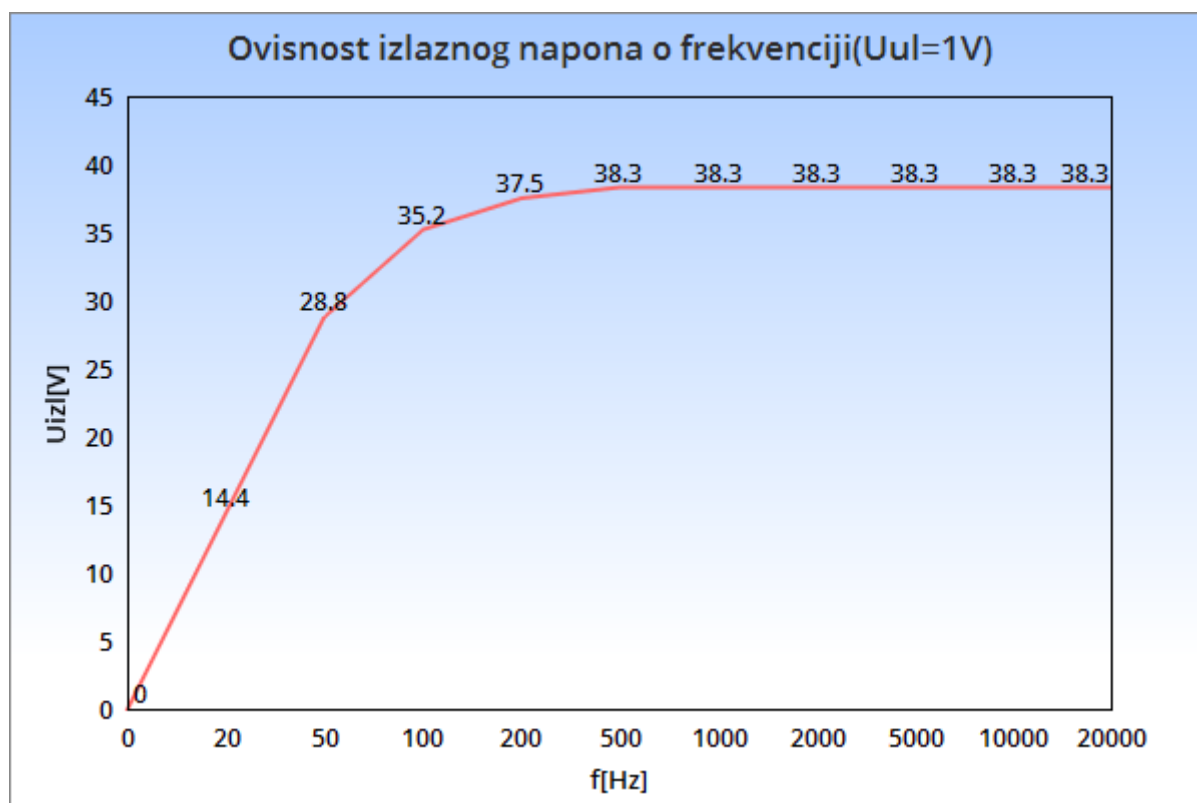
Slika 4.8. Pojačalo

#### 4.5. Testiranje pojačala

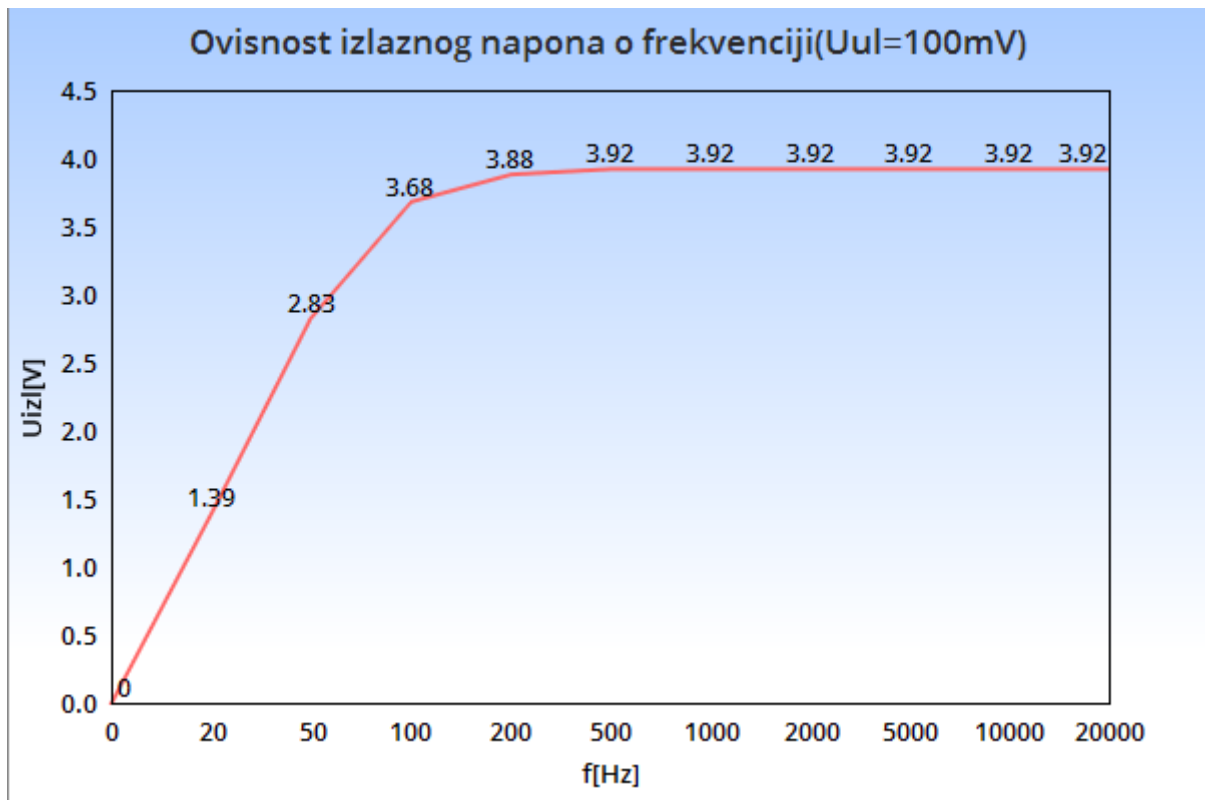
Nakon izrade pojačala u cijelosti, na red je došla analiza, tj. testiranje samog pojačala. Pojačalo je testirano kako bi se vidjela efikasnost samog pojačanja, te u kojoj se klasi pojačalo nalazi. Također je bilo bitno za provjeriti postoje li izobličenja signala na samom pojačalu, što je i utvrđeno da postoje izobličenja signala, ali pri vrlo niskim frekvencijama, što je bilo za očekivati.



Slika 4.9. Ovisnost izlaznog napona o frekvenciji pri ulaznom naponu  $U_{ul}=100\text{mV}$



Slika 4.10. Ovisnost izlaznog napona o frekvenciji pri ulaznom naponu  $U_{ul}=1\text{V}$



Slika 4.9. Ovisnost izlaznog napona o frekvenciji pri ulaznom naponu  $U_{ul}=100\text{mV}$  prilikom dodavanja trošila, tj. zvučnika  $60\text{W}(6\Omega)$

## 5. ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada bila je audio pojačalo 200W, kao i njegova izrada. Zbog cijene i pristupačnosti nekih dijelova izrađeno je pojačalo u tranzistorskoj tehnologiji koje se nalazi u AB klasi. Prilikom razmišljanja o odabiru klase pojačala, bilo je potrebno razmotriti više faktora, a to su cijena dijelova, prijenos signala, te izlazna snaga samog pojačala. Zato je odabrana AB klasa koja je najbolji omjer cijene i kvalitete.

Prilikom izrade pojačala problem je bio hlađenje i izrada pločice. Izrada pločice je vrlo jednostavna, ali pomoću tehnike koja je korištena kvaliteta vodova i nije najbolja, ali je zadovoljavajuća. Problem je taj što su vodovi dosta tanki te je vrlo bitno paziti prilikom lemljenja kako nebi došlo do odljepljivanja vodova od pločice. Problem hlađenja djelomično je riješen dodavanjem pasivnih hladnjaka na tranzistore. Prijedlog rješenja problema bi bio dodavanje jednog aktivnog hlađenja, točnije ventilatora koji bi topao zrak iz kućišta tjerao van.

Jedan od problema bio je taj što nisam imao lemlicu s regulatorom topline pa je bilo jako bitno paziti prilikom lemljenja kako ne bi došlo do odljepljivanja samih vodova. Također za rješavanje problema s pločicom bilo bi dobro naručiti izradu pločice u nekoj od profesionalnih firmi kako bi vodovi bili bolje kvalitete.

Također jedan od problema je bio izrada kućišta. Kao što je navedeno, nisam želio napraviti neko obično kućište od lima ili sl. Stoga sam izabrao pleksiglas kako bi kućište bilo privlačnije oku, tj. lijepše. Prilikom izrada stranica bilo je bitno jako dobro paziti prilikom rezanja, bušenja istih i pričvršćivanju. Kućište na kraju izgleda vrlo dobro uz poneki nedostatak.

## 6. LITERATURA

Korištena literatura pri izradi završnog rada je:

- [1] J. Kotur, S. Paunović: Analogni elektronički sklopovi, Element, Zagreb, 2009.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor> (27.06.2019)
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Audion> (09.03.2019)
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Triode> (20.06.2019)
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tetrode> (18.05.2019)
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_amplifier\\_classes](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_amplifier_classes) (26.06.2019)
- [7] <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>
- [8] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Klase\\_rada\\_poja%C4%8Dala](https://hr.wikipedia.org/wiki/Klase_rada_poja%C4%8Dala) (24.11.2011)
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier#Power\\_amplifiers](https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier#Power_amplifiers) (12.05.2019)
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Printed\\_circuit\\_board](https://en.wikipedia.org/wiki/Printed_circuit_board) (25.06.2019)

## SAŽETAK

U ovom završnom radu zadatak je bio izraditi tranzistorsko audio pojačalo 200W, koje je izrađeno na dvije PCB pločice. Odabrana klasa pojačala je AB zbog omjera cijene, kvalitete zvuka i snage. Postojeći problem sa hlađenjem djelomično je riješen pomoću pasivnih hladnjaka te ako želimo poboljšati hlađenje možemo ugraditi ventilator. Preporučljivo je naručiti izradu PCB pločica zato što je moguće da se bakreni vodovi odlijepe prilikom lemljenja ako to radi osoba koja nije stručna u tom području.

**Ključne riječi: Tranzistor, Pojačalo, PCB pločica, Lampa, Klasa pojačala, Lemljenje**

## ABSTRACT

The task was to create a 200W transistor audio amplifier, which was made on 2 PCB boards. The selected class amplifier is AB due to the price, sound quality and power ratio. The problem with cooling has been solved with passive coolers, if we want to improve the cooling, we can install a fan. It would also be advisable to order PCB board making, as this is so possible that the copper traces are off, if soldering is done by someone who is not very skilled in the area.

**Key words: Transistor, Amplifier, PCB board, Diode Valve, Amplifier class, Soldering**



## **ŽIVOTOPIS**

Alen Halilović rođen je 21.07.1996 u Virovitici. Pohađao je osnovnu školu Petra Preradovića u Pitomači nakon koje je upisao školu Tehničar za računalstvo u Strukovnoj školi Đurđevac. Prilikom završetka srednje škole Alen upisuje stručni studij informatike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku 2015 godine.