

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za Elektrotehniko

Matevž Bokalič

OJAČEVALEC V AB RAZREDU

Seminarska naloga

pri predmetu

ELEKTRONSKA VEZJA

Senožeti, december 2006

KAZALO

KAZALO	2
UVOD	3
MOTIVACIJA.....	3
FUNKCIONALNI OPIS VEZJA.....	3
GLAVNI DEL	4
TOPOLOGIJA.....	4
<i>Shema</i>	4
<i>Opis delovanja</i>	4
SPICE MODEL.....	5
ELEMENTI.....	5
TISKANO VEZJE.....	6
KONČNI IZDELEK.....	6
MERITVE.....	7
<i>Prenosna karakteristika</i>	7
<i>Skupno harmonično popačenje (THD)</i>	8
<i>Presluh</i>	9
<i>Šum</i>	9
ZAKLJUČEK	10
MOREBITNE TEŽAVE.....	10
SKLEPNE UGOTOVITVE.....	10
MOŽNOSTI NADGRADNJE.....	11
<i>Tokovna omejitev</i>	11
<i>Temperaturna stabilizacija predtoka</i>	11
<i>Povečanje izhodne moči</i>	11
<i>Mostična vezava</i>	11
ZAHVALE.....	11

UVOD

MOTIVACIJA

Že od mladih let naprej rad poslušam raznovrstno glasbo, si ogledam kakšen film in pri tem uživam v čim bolj kvalitetnem zvoku. Želja po razumevanju principov avdio ojačevalcev in po izdelavi lastnega se je pojavila že v osnovni šoli, žal pa se nihče od bližnjih s tem ni ukvarjal, pa tudi interesnih dejavnosti s to usmeritvijo v naši okolici ni bilo. Sestavil sem sicer dva kit-kompleta iz Conrada, ki temeljita na TDA ojačevalcih, žal pa se nista izkazala ne z močjo, ne s kvaliteto. Potem so prišli drugi interesi in zaposlitve, in ideja o ojačevalcu je malo zamrla. Pri predmetu elektronska vezja pa smo morali izdelati delujoče vezje in odločil sem se, da bom uresničil staro željo in izdelal ojačevalec.

FUNKCIONALNI OPIS VEZJA

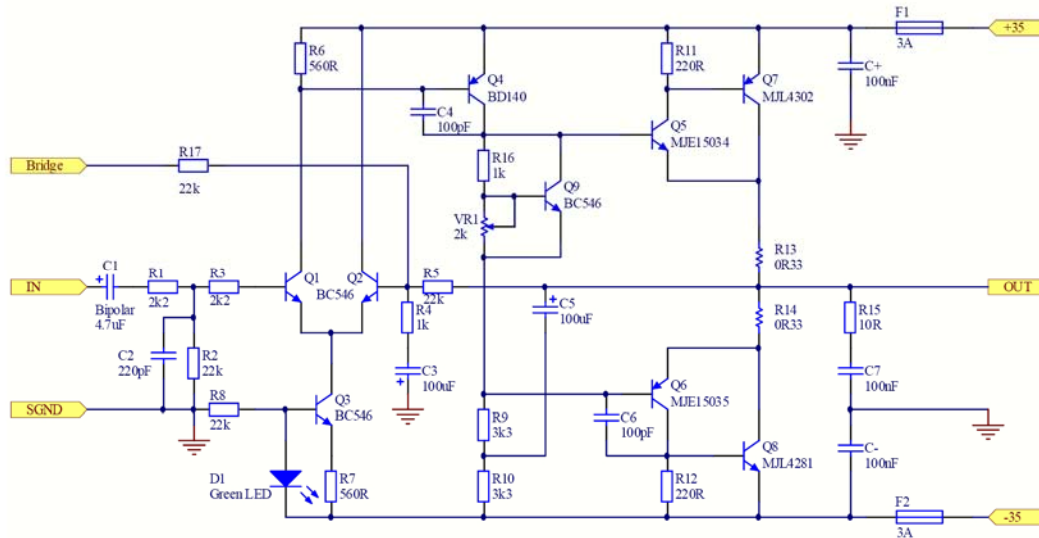
Med iskanjem primerne zasnove za ojačevalec sem pregledal kar precej spletnih strani, forumov in mnenj uporabnikov, ki so podobne ojačevalce že izdelali. Odločil sem se za izdelavo ojačevalca, ki temelji na bipolarnih tranzistorjih in deluje v AB razredu. AB razred se mi je zdel najprimernejši za uporabo, ker ima zelo ugodno porabo moči glede na izhodno moč, ob pravilni nastavitvi predtoka pa tudi majhna popačenja pri krmiljenju z majhnimi signali. Izbral sem si ojačevalec s predvideno močjo 100 W na kanal pri bremenu 4Ω , za kar zadostuje napajanje ± 35 V. Napajalni del vezja je običajen RC usmernik s transformatorjem (± 25 V, 300VA) s srednjim odcepom, Gratezovim mostičem in dvema 4700 μ F kondenzatorjema na kanal za zalogo energije in glajenje izhodne napetosti. Moč napajalnika je dimenzionirana za napajanje dveh ojačevalcev in sestavo samostojne stereo končne stopnje, kar bo tudi končni izdelek te naloge.

GLAVNI DEL

TOPOLOGIJA

SHEMA

Kot sem že v uvodu omenil, sem načrt za ojačevalec našel na spletu. Kljub temu pa sem se lotil lastnega načrtovanja tiskanega vezja, zato sem začel z vnosom sheme ojačevalca v računalnik in nastala je naslednja shema.



OPIS DELOVANJA

Topologija ojačevalca je klasična za ojačevalec v AB razredu. Na vhodu, kjer je za enosmerno ločitev uporabljen elektrolitski kondenzator, je uporabljena diferencialna stopnja (Q1 in Q2) z negativno povratno vezavo z izhoda. Za napajanje diferencialne stopnje je uporabljen tokovni vir (Q3), ki za referenčno napetost uporablja padec napetosti na običajni zeleni LED diodi (D1). Iz diferencialne stopnje krmilimo ojačevalni tranzistor Q4, ki deluje kot ojačevalec v A razredu. Kondenzator C4 služi stabilizaciji pred osciliranjem. Napetost u_{ce} tranzistorja Q9 se nastavi s potenciometrom VR1 in predstavlja napetostno razliko med bazama krmilnih tranzistorjev Q5 in Q6. S tem prestavimo delovno točko tranzistorjev Q5 in Q6 na začetek aktivnega območja, s tem pa tudi ojačevalec iz B razreda v razred AB. Tranzistorjema Q5 in Q6 sta dodana še komplementarna Q7 in Q8, kar poveča tokovno ojačanje. Povratno vezavo z izhoda na vhod predstavlja uporovni delilnik R4 in R5, ki tudi večinoma določa zaprtozančno ojačanje za izmenične signale. Kondenzator C3 je dodan zato, da pride na vhod diferencialne stopnje nedeljena enosmerna napetost, s tem pa dobimo močnejšo negativno povratno vezavo za enosmerne signale in boljše izničenje enosmerne komponente na izhodu.

SPICE MODEL

Pred začetkom zbiranja komponent in izdelave tiskanega vezja sem se želel prepričati v obnašanje zgoraj opisanega vezja, zato sem celotno vezje vnesel v simulacijski programski paket Spice Opus. Na spletnih straneh proizvajalca uporabljenih tranzistorjev sem našel tudi knjižnice z modeli tranzistorjev.

```
Ojacevalec
*predojacevalna stopnja
Q4 (vcc pred1 drvz0) Qbd140
C4 (pred1 drvz0) c=100p

*Temperaturna stabilizacija
Q9 (drvz0 tstab0 tstab1) QBC546A
R9 (drvz0 tstab2) r=3.3k
R10 (tstab2 vee) r=3.3k
R16 (drvz0 tstab0) r=1k
R20 (tstab0 tstab1) r={2k * razmerjevr1}
C5 (out0 tstab2) c=100u

*Zgornji driver s koncnim tranzistorjem
Q5 (drvz1 drvz0 drvz2) Qmje15034
Q7 (vcc drvz1 drvz2) Qmj14302a
R11 (vcc drvz1) r=220
R13 (drvz2 out0) r=0.33

*Spodnji driver s koncnim tranzistorjem
Q6 (drvs1 drvs0 drvs2) Qmje15035
Q8 (drvs2 drvs1 vee) Qmj14281a
R12 (drvs1 vee) r=220
R14 (drvs2 out0) r=0.33
C6 (drvs0 drvs1) c=100p

*izhodni del
R15 (out0 out1) r=10
C7 (out1 0) c=100n

.end

*parameter za nastavljanje potenciometra
.param razmerjevr1 = 0.5

*Knjiznice:
.include 'mjl4302a.lib'
.include 'mjl4281a.rev0.lib'
.include 'mje15034.lib'
.include 'mje15035.lib'
.include 'bd140.lib'
.include 'bc546a.lib'

*napajanje
Vcc vcc 0 dc=35
Vee vee 0 dc=-35

*vhod do diferencialne stopnje
Vin (in0 0) dc=0 ac=1
C1 (in0 in1) c=4.7u
R1 (in1 in2) r=2.2k
C2 (in2 0) c=220p
R2 (in2 0) r=22k

*Napajanje diferencialne stopnje
I1 (dif0 0) dc=3m

*Diferencialna stopnja
Q1 (pred1 dif1 dif0) QBC546A
Q2 (vcc dif2 dif0) QBC546A
R3 (in2 dif1) r=2.2k
R4 (dif2 dif3) r=1k
R5 (dif2 out0) r=22k
R6 (pred1 vcc) r=560
C3 (0 dif3) c=100u
```

Simulacija je pokazala pravilno delovanje vezja z zelo ravno prenosno funkcijo z ojačanjem 26dB.

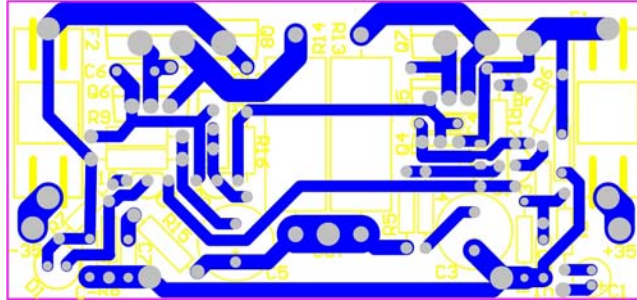
ELEMENTI

Izhodni tranzistorji Q5, Q6, Q7 in Q8 so tranzistorji MJE15034, MJE15035, MJL4302 in MJL4281 proizvajalca On Semiconductor. Ti tranzistorji so precej novi in mi jih v Sloveniji ni uspelo dobiti. Še najboljši približek močnostnima izhodnima tranzistorjema sta bila njuna predhodnika, ki bi ju lahko kupil v iC Elektroniki kot del Farnell-in-one programa. Zato sem se odločil, da naročim testne primerke kar neposredno pri proizvajalcu. Naročilo je bilo enostavno oddati, potem sem kar hitro dobil prve tranzistorje, za zadnje pa sem moral počakati kar 4 mesece, kljub večkratni obljubi, da jih bom dobil prej.

Dobavljivost ostalih elementov ni bila problematična, saj sem vse dobil v Ljubljanskih trgovinah z elektroniko. Razen bipolarnega elektrolitskega kondenzatorja, namesto katerega sem uporabil kar navaden elektrolitski kondenzator, kar pa glede na amplitudo vhodnega signala ni problematično.

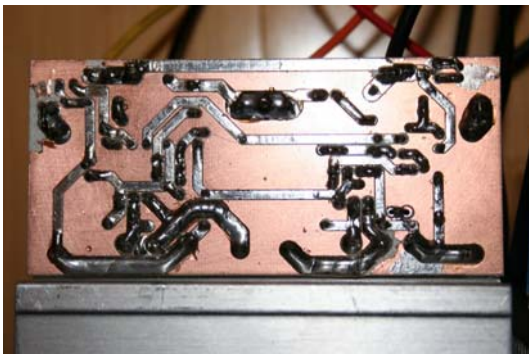
TISKANO VEZJE

Ko sem imel vse elemente, sem se lotil načrtovanja tiskanega vezja. Najprej sem si pripravil vsa podnožja za elemente, nato pa se je začelo zlaganje podnožij na čim manjši prostor in s čim bolj enostavnimi povezavami. Ob načrtovanju sem se držal osnovnih pravil, da naj bodo deli vezja s šibkimi signali ločeni od močnih signalov in da naj bodo ozemljena vozlišča čim bolj skupaj, da se izognemo neenakosti potencialov ozemljitve. Po kar nekaj deset urah učenja uporabe programa, zlaganja podnožij in povezovanja pinov je nastalo majhno enoslojno tiskano vezje. Slika je v merilu 1:1.



KONČNI IZDELEK

Zaenkrat napajalnik domuje v ohišju starega računalniškega napajalnika, ojačevalca pa nimata ohišja. Hladilnika za izhodne tranzistorje sta od računalniškega procesorja Pentium 4 in zadoščata le za nižje izhodne jakosti.

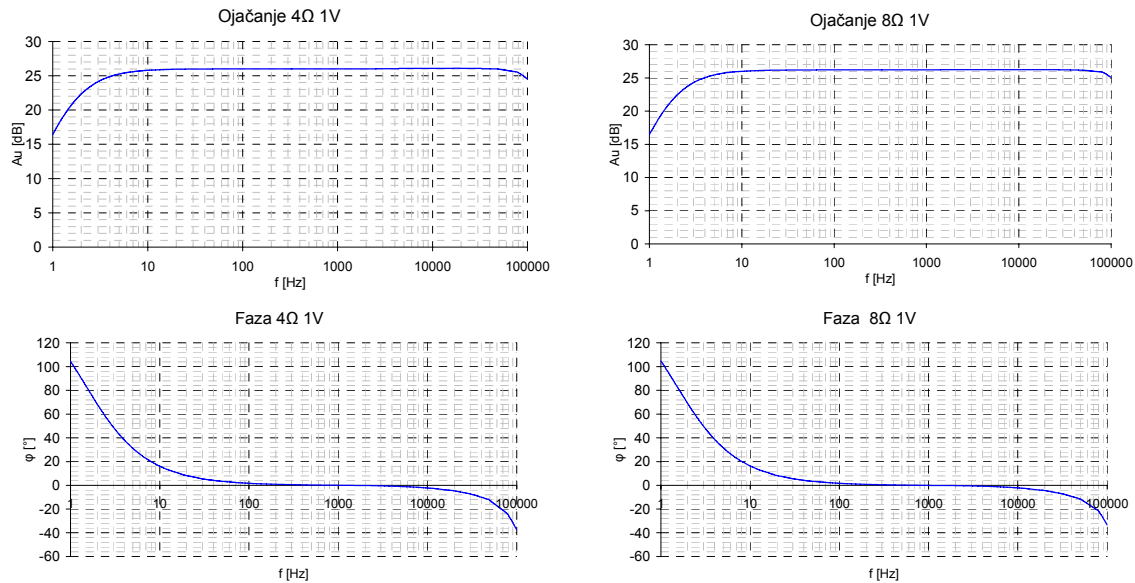


MERITVE

Meritve sem z veliko pomočjo asistenta Marka Jankovca izvedla izvedel na analizatorju vezij. Kot breme je služil nastavljiv Iskrin žični upor.

PRENOSNA KARAKTERISTIKA

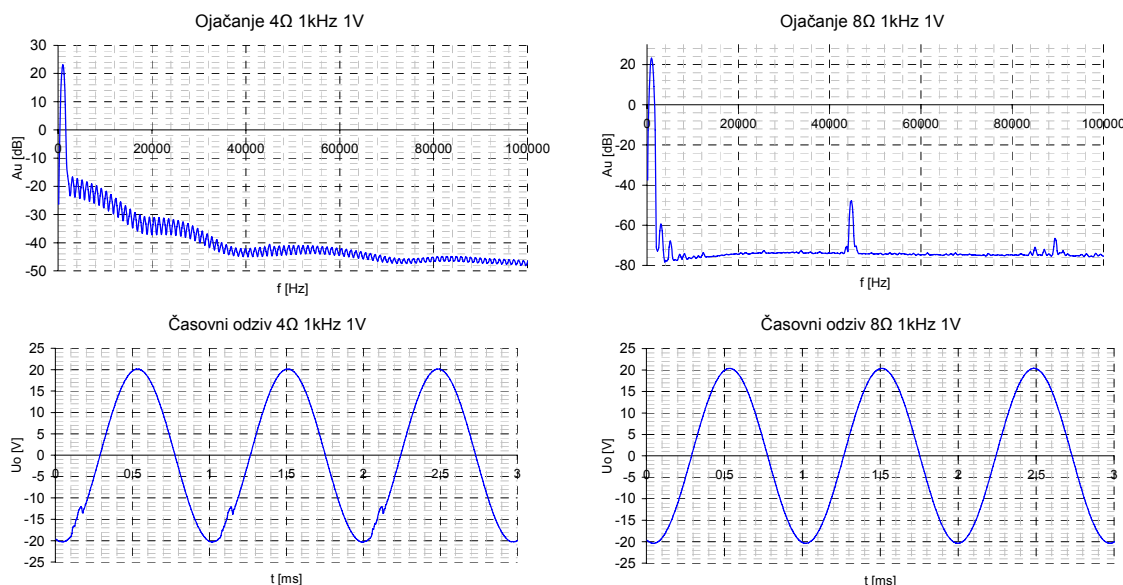
Prenosna karakteristika je bila izmerjena s sinusnim vhodnim signalom amplitude 1 V in frekvence 1 kHz.



Meritve prenosne karakteristike so pokazale odlične rezultate za avdio ojačevalec. Ojačanje znaša 26 dB, 25 dB je na voljo od 4,5 Hz pa vse do 85 kHz, mejni frekvenci (-3 dB) sta 2,1 Hz in 102 kHz. Glede na meje človeškega sluha, ki so optimistično postavljene na 20 Hz do 22 kHz, je ojačevalec zelo zadovoljiv.

SKUPNO HARMONIČNO POPAČENJE (THD)

THD je bil izmerjen z enakim signalom kot prenosna karakteristika.



Grafa pri bremenu 4Ω sta zanimiva zaradi anomalije, ki se pojavi v negativni polperiodi.

Pri vhodnem signalu amplitude 1 V ima izhodni signal amplitudo $1V \cdot 10^{\frac{26}{20}} = 20V$, kar

pomeni maksimalno moč $P_{\max} = \frac{U^2}{R_L} = \frac{20V^2}{4\Omega} = 100W$, to pa je le polovica deklarirane

povprečne moči. Tako obnašanje ni bilo pričakovano, vzroka zanj pa nisem našel.

Zanimivo je tudi obnašanje pri bremenu 8Ω , kjer ima prenosna karakteristika pri 45kHz špico, ki za 25dB odstopa iz ozadja.

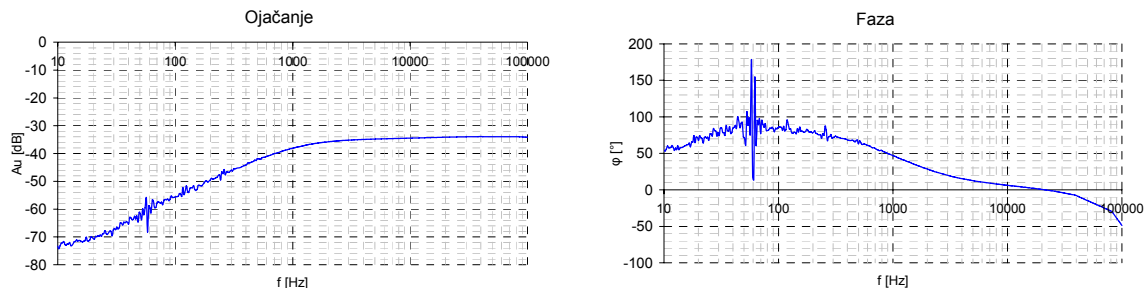
Izmerjena popačenja so:

THD	1 V	0,1 V
4 Ω	2,8 %	0,13 %
8 Ω	0,02 %	0,26 %

Rezultati popačenja precej nihajo. Zelo dober rezultat je pri 8 Ω in krmiljenju 1V, kar je ravno območje običajne uporabe ojačevalca. Popačenja se pri manjšem izkrmiljenju na žalost povečajo – nekaj na račun šuma, nekaj pa na račun narave ojačevalca v AB razredu.

PRESLUH

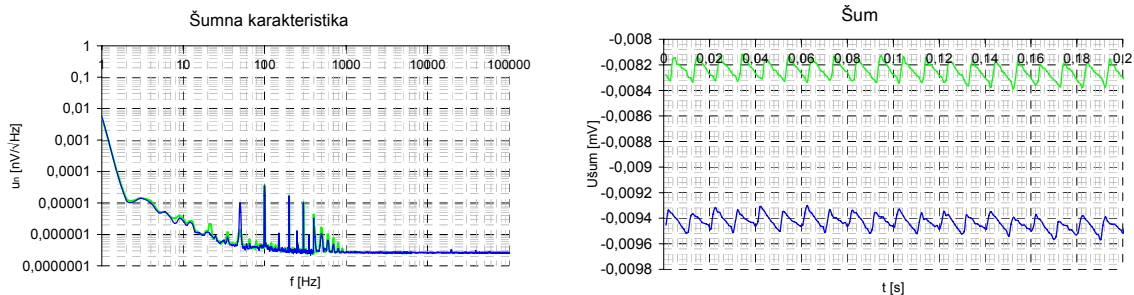
Za meritev presluha je bila izmerjena napetost na neobremenjenem izhodu prvega ojačevalca, ki je imel na vhodu kratek stik. Drugi ojačevalcec pa je imel obremenjen izhod z $8\ \Omega$ in 1 V signal na vhodu.



Rezultati te meritve so me precej presenetili, saj nisem pričakoval skoraj nikakršnega presluha, ker imata ojačevalca pri napajanju skupni le transformator in ozemljitev, sicer pa sta popolnoma ločena.

ŠUM

Meritev šuma je bila izvedena s kratkim stikom na vhodu. Narejeni sta bili dve meritvi. Pri drugi (zeleno barva) je bil ojačevalcec zaprt v škatlo iz prevodnega feromagnetnega materiala in je tako preprečil dostop elektromagnetnih motenj do vezja.



Pri obeh meritvah je prisotna enosmerna komponenta, ki je posledica zasnove ojačevalca z diferencialno stopnjo na vhodu in njenega offseta. Opazna je tudi 100Hz motnja in njene višje harmonske komponente, ki so posledica napajanja z polnovalnim RC usmernikom.

Na obeh meritvah je prisotna tudi motnja pri 50Hz, ki pa je pri meritvi brez oklopa bolj izrazita, kot pri meritvi z oklopom. To je tudi pričakovano, saj je 50Hz motnja posledica omrežne napetosti, oklop pa vezje deloma loči od okolice. Zato je večji del šuma močnejši pri meritvi z oklopom, kar je na prvi pogled nerazumljivo, po kratkem premisleku pa stvari postanejo bolj jasne. Tudi ojačevalcec sam povzroča šum, ki se v primeru meritve brez oklopa porazdeli po celotnem prostoru, v primeru meritve z oklopom pa ostane znotraj vklopa in bolj vpliva na delovaje vezja.

ZAKLJUČEK

MOREBITNE TEŽAVE

Seveda načrtovanje in izdelava ojačevalca nista tekla brez težav. Prvi problem je predstavljalo moje nepoznavanje programov za načrtovanje tiskanih vezij, tako da sem porabil kar nekaj časa, da sem se naučil uporabljati take programe.

Naslednji problem je bil zopet posledica moje neizkušenosti pri načrtovanju vezij, ker sem pri risanju podnožij za elemente določil preozke luknje za nogice uporov – luknje premera 0,4 mm in 0,6 mm so premajhne za $\frac{1}{4}$ W upore, prav tako pa geotrikotnik ni primerno orodje za merjenje debeline nožic.

Probleme so mi pri spajkanju povzročale tudi zelo ozke zareze med prevodnimi progami na tiskanem vezju, tako da sem po končanem spajkanju nekatere proge očistil kar z noževo konico. Zaradi nepazljivosti pri spajkanju, sem imel pri prvem ojačevalcu tudi težave z osciliranjem pri frekvenci 340 kHz. Razlog je bila slabo očiščena zareza med negativnim napajanjem in ostalimi deli vezja.

SKLEPNE UGOTOVITVE

Končna ocena projekta je z mojega stališča zelo pozitivna. Zvok in moč, ki ga ponudi ojačevalac je primerljiv z mojim domačim ojačevalcem (HarmanKardon AVR4500), ki za svojo ceno ponuja neprimerno več od konkurence. Tudi sama izdelava in kvantitativne meritve so zadovoljive, še toliko bolj, če upoštevam dejstvo, da je to prva tiskanina, ki sem jo načrtal sam.

Ojačevalac bo v prihodnosti dobil še lepo ohišje in bo svoje delo najverjetneje opravljal v domači dnevni sobi.

MOŽNOSTI NADGRADNJE

Ojačevalec s svojo tipično zasnovo omogoča veliko različnih in precej enostavnih nadgradenj.

TOKOVNA OMEJITEV

Ena izmed slabosti tega ojačevalca je pomanjkanje tokovne zaščite, kar lahko pripelje do uničenja izhodnih tranzistorjev, če je na vhodu ojačevalca signal. Vgraditev tokovne zaščite je relativno preprosta, saj že imamo serijski upor (R13 ali R14), na katerem se ob toku 4A pojavi napetost 1.3V. Potrebovali bi torej uporovni delilnik ($\frac{1}{2}$), njegov izhod bi vezali na bazo novega tranzistorja, ki bi odžrl bazni tok krmilnemu tranzistorju (Q5 ali Q6).

TEMPERATURNNA STABILIZACIJA PREDTOKA

Še ena slabost obstoječe zasnove je velika temperaturna odvisnost predtoka, ki izhaja iz temperaturne odvisnosti tranzistorjev. Če bi tranzistor Q9, ki zagotavlja pravilen predtok, postavili v termični stik z izhodnimi tranzistorji, bi dosegli precejšnje temperaturno stabilizacijo predtoka.

POVEČANJE IZHODNE MOČI

Glede na topologijo vezja lahko enostavno vzporedno dodajamo izhodne tranzistorje s pripadajočimi upori in s tem povečamo tokovno ojačanje in zmanjšamo tok enega tranzistorja pri enaki napajalni napetosti in enakem signalu. Ko zagotovimo močnejšo izhodno stopnjo, lahko dvignemo tudi napajalno napetost in tako povečamo izhodno moč ojačevalca.

MOSTIČNA VEZAVA

Vezje že sedaj vsebuje tudi upor R17, ki je vezan na drug vhod diferencialne stopnje in tako omogoča krmiljenje ojačevalca v protifazi, kar omogoči mostično vezavo dveh ojačevalcev. Seveda pa je ob uporabi mostične vezave potrebno upoštevati vsa pravila glede obremenitve izhodne stopnje, saj vsak ojačevalec čuti le breme s polovično upornostjo. Zato v mostični vezavi brez modifikacij ojačevalca ne smemo uporabljati z bremenom manjšim od 8Ω .

ZAHVALE

Za konec bi se rad še zahvalil

- gospodu Jožetu Stepanu za izdelavo obeh tiskanih vezji na fakultetnem rezkarju,
- asistentu Marku Jankovcu za opravljene meritve,
- podjetju On Semiconductor za poslane testne primerke,
- spletni strani ESP – Elliot Sound Products (<http://sound.westhost.com/>) in njenemu avtorju g. Rodu Elliotu za dovoljenje za uporabo načrtov v zasebne namene
- ter kolegom za pomoč pri obvladovanju načrtovalskega programa in za oskrbo z določenimi komponentami.