

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Marcos E. Mehle

Močnostni ojačevalnik za zvočne signale (50 watni, 4-kanalni)

Seminarska naloga

pri predmetu
Elektronska vezja

V Ljubljani, november 2010

1 Uvod

1.1 Splošno o ojačevalnikih

Beseda ojačati pomeni »okrepiti«. Če hočemo razumeti kako ojačevalnik deluje, moramo najprej ločiti dva različna načina ojačanja ter tretji »izpeljani« način.

- Napetostno ojačanje – ojačevalnik poveča napetost vhodnega signala.
- Tokovno ojačanje – ojačevalnik poveča tok danega signala.
- Močnostno ojačanje – kombinacija gornjih dveh ojačevalnikov.

V primeru napetostnega ojačevalnika, se majhna vhodna napetost poveča; tako se na primer 10mV vhodni signal preslika na izhod z amplitudo 1V. Pomeni, da je napetostno ojačanje enak 100.

Pri tokovnem ojačevalniku, naj bo vhodni tok enak 10mA. Izhodni tok bo na primer 1A. Tu je zopet ojačanje enak 100, in je kar enak tokovnemu ojačanju ojačevalnika.

Če sedaj oba združimo ter izračunamo izhodno moč, dobimo močnostno ojačanje.

$$P_{in} = U_{in} \times I_{in} = 0,01V \times 0,01A = 100\mu W.$$

$$P_{out} = U_{out} \times I_{out} = 1V \times 1A = 1W$$

$$A_p = 10.000$$

Obravnavali bomo zgolj ojačevalnike za avdiofrekvenco, ti so močnostni ojačevalniki. Morda je presenetljivo dejstvo, da nas močnostno ojačanje ne bo zanimal; proizvajalci avdio-ojačevalnikov ga tudi običajno ne podajo.

Avdio ojačevalniki so namenjeni ojačanju signalov iz slišnega spektra; od njih pričakujemo enakomerno ojačanje na področju od 20Hz do 20 kHz. To pomeni da mora biti frekvenčna karakteristika ojačevalnika ravna. Spremembe frekvenčne karakteristike za manj kot 3dB uho ne zazna, sicer pa jih občutimo kot spremembe pri »barvi« zvoka.

Ojačevalniki so v osnovi linearna vezja, kar pomeni da bo signal na izhodu enak vhodnemu, pomnožen s neko konstanto (se pravi, nekajkrat večji). Kljub temu pa zaradi narave polprevodniških elementov ojačevalniki niso nikoli popolnoma linearni. Oblika signala se vedno malo spremeni ali popači.

Popačenje je običajno nezaželeni pojav, ker povzroči da se nekaj informacije o signalu izgubi. Če priključimo na vhod ojačevalnika čisti sinusni signal določene frekvence, bo izhod v neki meri popačen; novonastali signal bo vseboval poleg vhodnega sinusa (osnovna komponenta) še alikvotne ali **harmonske komponente**. Naprave z visoko stopnjo linearnosti spremenijo signal manj kot naprave nižje linearnosti; torej dodajo manj harmonske vsebine. Harmonsko popačenje je običajno

podan kot THD (Total harmonic distortion). Pri merjenju THD-ja se med seboj primerjajo višje harmonske napetostne komponente, ki nastanejo v ojačevalniku, in ojačana komponenta vhodnega signala.

$$THD[\%] = \frac{\sqrt{U_{2H}^2 + U_{3H}^2 + \dots + U_{nH}^2}}{U_{1H}} \cdot 100\%$$

1.2 O zvočnikih

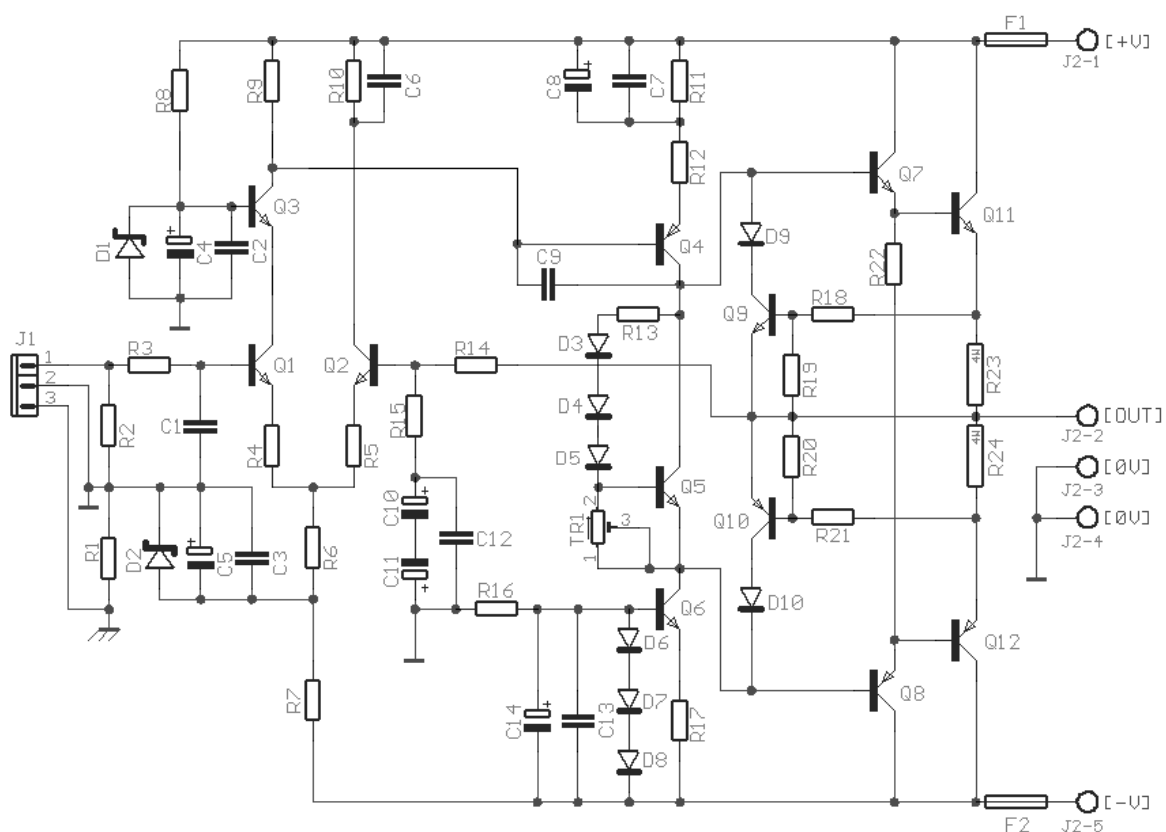
Zvočnik je elektromehanski pretvornik, ki električno energijo prek nekega mehanskega sistema (npr. membrane) pretvori v akustično energijo. Idealen zvočnik bi moral pri konstantni dovedeni električni energiji proizvajati konstanten zvočni tlak v celotnem slišnem področju 20 – 20000 Hz. To bi bil idealen širokopasovni zvočnik, ki pa ga je težko uresničiti. Zato se običajno za pokrivanje celotnega področja uporablja več zvočnikov, od katerih vsak pokriva samo del frekvenčnega področja. Običajno imajo sistemi dva ali tri zvočnike, vsak od teh optimiziran za svoje frekvenčno področje. Izhodni signal iz ojačevalnika je potrebno razdeliti na toliko pasov, kolikor je zvočnikov. To je mogoče storiti na več različnih načinov. Najbolj pogosto se signal razdeli šele na izhodu ojačevalnika, z uporabo pasivnih RLC filtrov. Filtre ki razdelijo frekvenčna področja imenujemo tudi **kretnice**. Tak sistem je enostaven, ima pa mnoge pomanjkljivosti.

2 Predstavitev in opis delovanja

V prejšnjem poglavju smo obravnavali nekaj konkretnih aspektov avdio-sistemov, ki so bistvenega pomena ter skrajno zanimivi za ljubitelja glasbe. Ker pa sama teorija nam v realnem svetu ne zadostuje, je na podlagi teh podatkov nastal celoten projekt dvojno ojačanega stereo avdio-sistema; spoznali ga bomo ter obravnavali, na koncu pa še izvedli osnovne meritve.

Projekt sestavljajo štiri AB razredni avdio ojačevalniki (2x stereo), vsak z izhodno močjo 50W.

2.1 Ojačevalnik



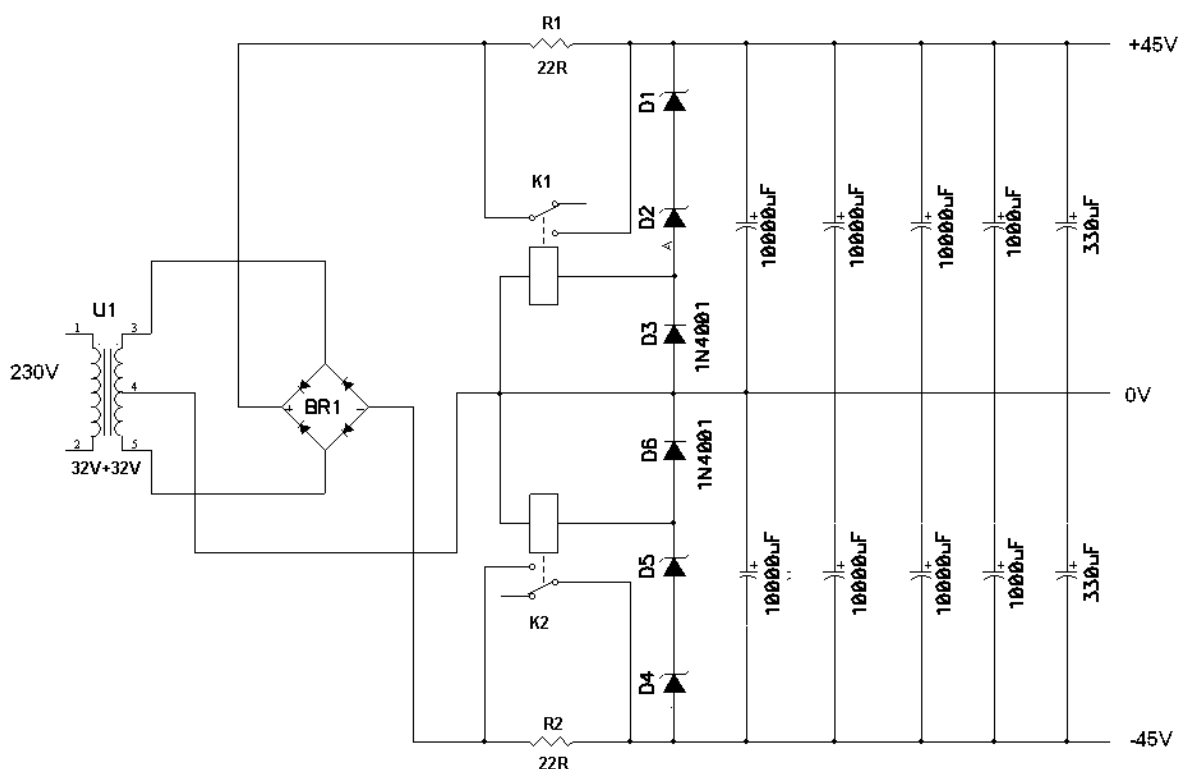
Slika 2.1

Topologija ojačevalca je klasična za ojačevalec v AB razredu. Na vходу je uporabljena diferencialna stopnja (Q1 in Q2) z negativno povratno vezavo z izhoda.

Iz diferencialne stopnje krmilimo ojačevalni tranzistor Q4, ki deluje kot ojačevalec v A razredu. Kondenzator C9 služi stabilizaciji pred osciliranjem. Napetost U_{ce} tranzistorja Q9 se nastavi s potenciometrom TR1 in predstavlja napetostno razliko med bazama krmilnih tranzistorjev Q7 in Q8. S tem prestavimo delovno točko tranzistorjev Q7 in Q8 na začetek aktivnega območja, s tem pa tudi ojačevalec iz B

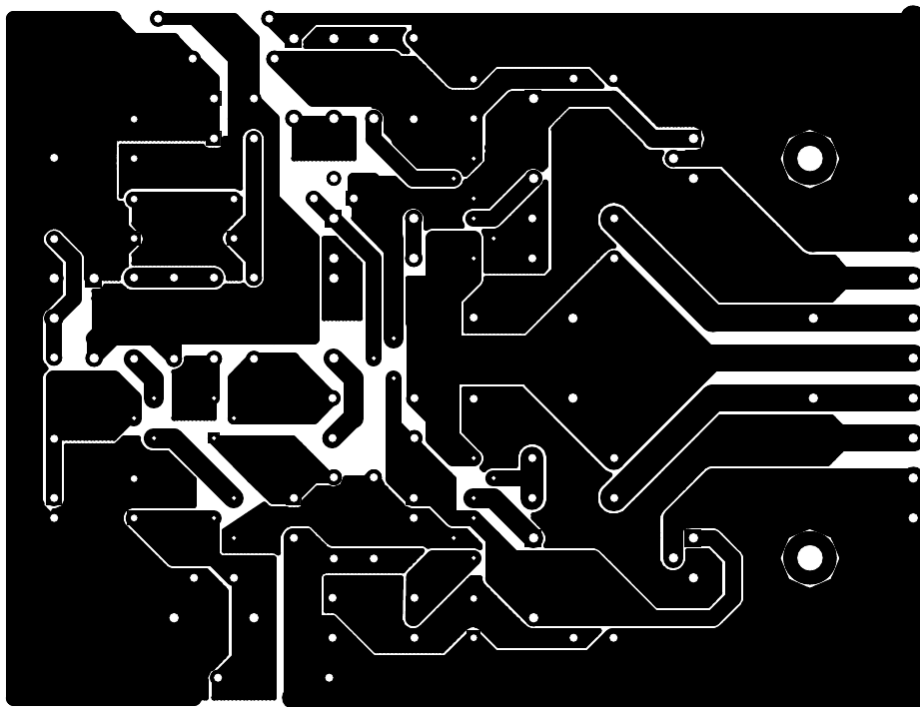
razreda v razred AB. Tranzistorjema Q7 in Q8 sta dodana še komplementarna Q10 in Q11, kar poveča tokovno ojačanje. Povratno vezavo z izhoda na vhod predstavlja uporovni delilnik R14 in R15, ki tudi večinoma določa zaprtozančno ojačanje za izmenične signale. Tranzistorja Q9 in Q10 služita kot tokovna zaščita. Kondenzatorji C10, C11 in C12 so dodani 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.

Napajalnik ojačevalnika



Slika 2.2

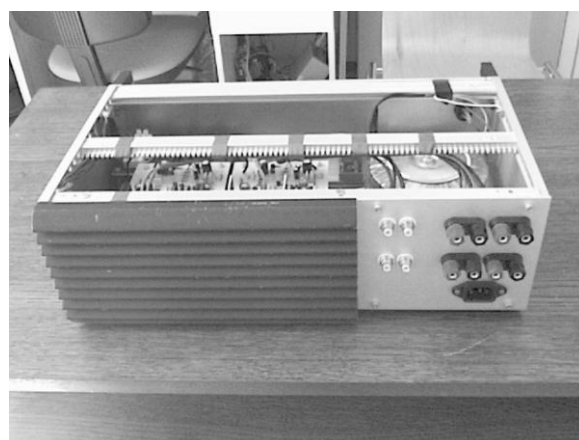
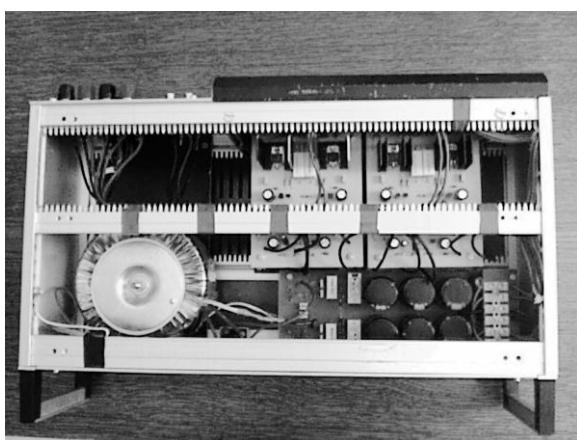
Napajalno vezje je simetrično, +45V/0V/-45V. Uporabljen je bil polnovalni usmernik z glajenjem, brez stabilizacije. Zaradi velikega števila gladilnih kondenzatorjev, bi ob vklopu napajalnika na omrežje prišlo do prevelikega tokovnega sunka. V ta namen je v napajalnik vgrajena omejitev toka v kondenzatorje. Pri zagonu so kondenzatorji prazni (napetost na njih je 0V). Polniti se začnejo preko uporov. Pri napetosti približno 36V so kondenzatorji dovolj polni da se polnijo brez omejitve toka. Takrat se vklopita releja, ki premostičita upora.



PCB shema ojačevalnika.

Konstrukcija

Ojačevalnik (4 kanali ter napajalnik) je bil vgrajen v namensko aluminijasto ohišje dimenzij 43x30x13cm. Te mere ustrezajo vgradnji v standardna RACK ohišja. Na zadnji strani je nameščeno rebrasto hladilno telo dimenzij 28cm x 13cm ter plošča z vhodnimi in izhodnimi priključki (Slika 2.3b). Vhodni priključki so izolirani od ohišja, tudi sicer sta ohišje in masa ojačevalnika galvansko ločena. Izhodni tranzistorji so vsi pritrjeni na hladilno telo ter izolirani od le-tega preko sljudnih lističev (ohišje tranzistorjev je priključen na kolektor).

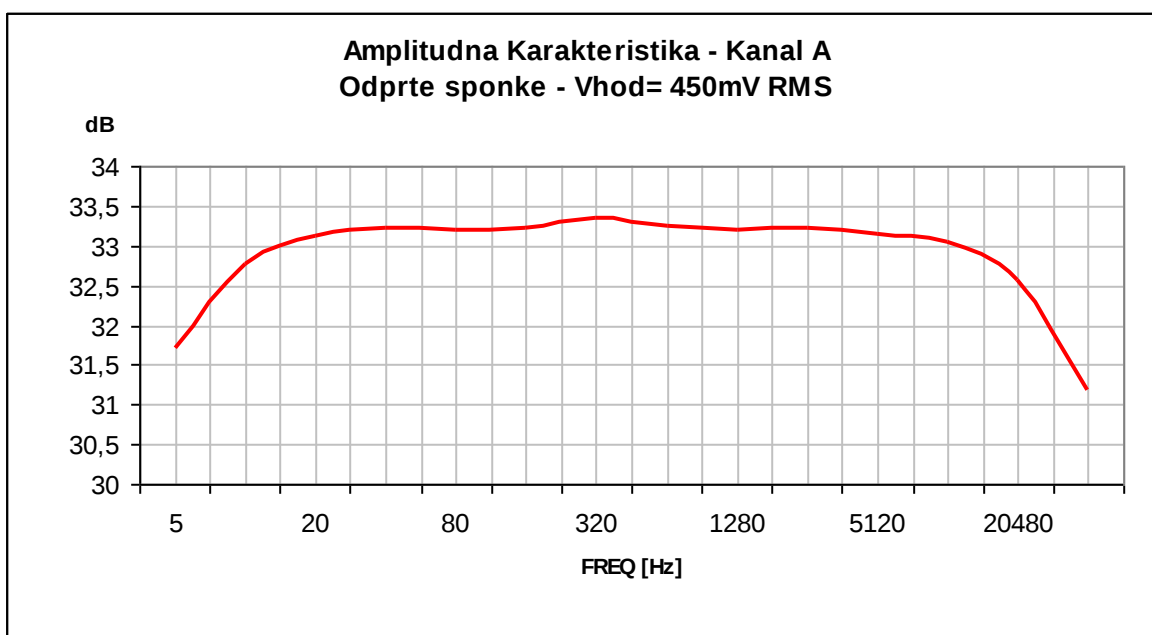
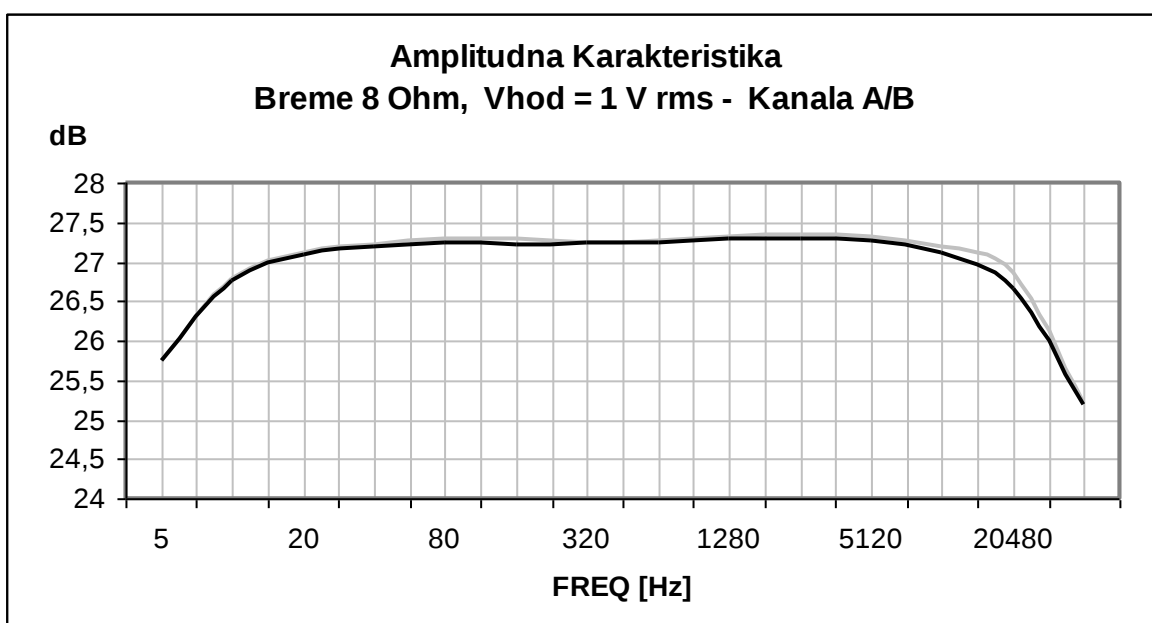


Slika 2.3

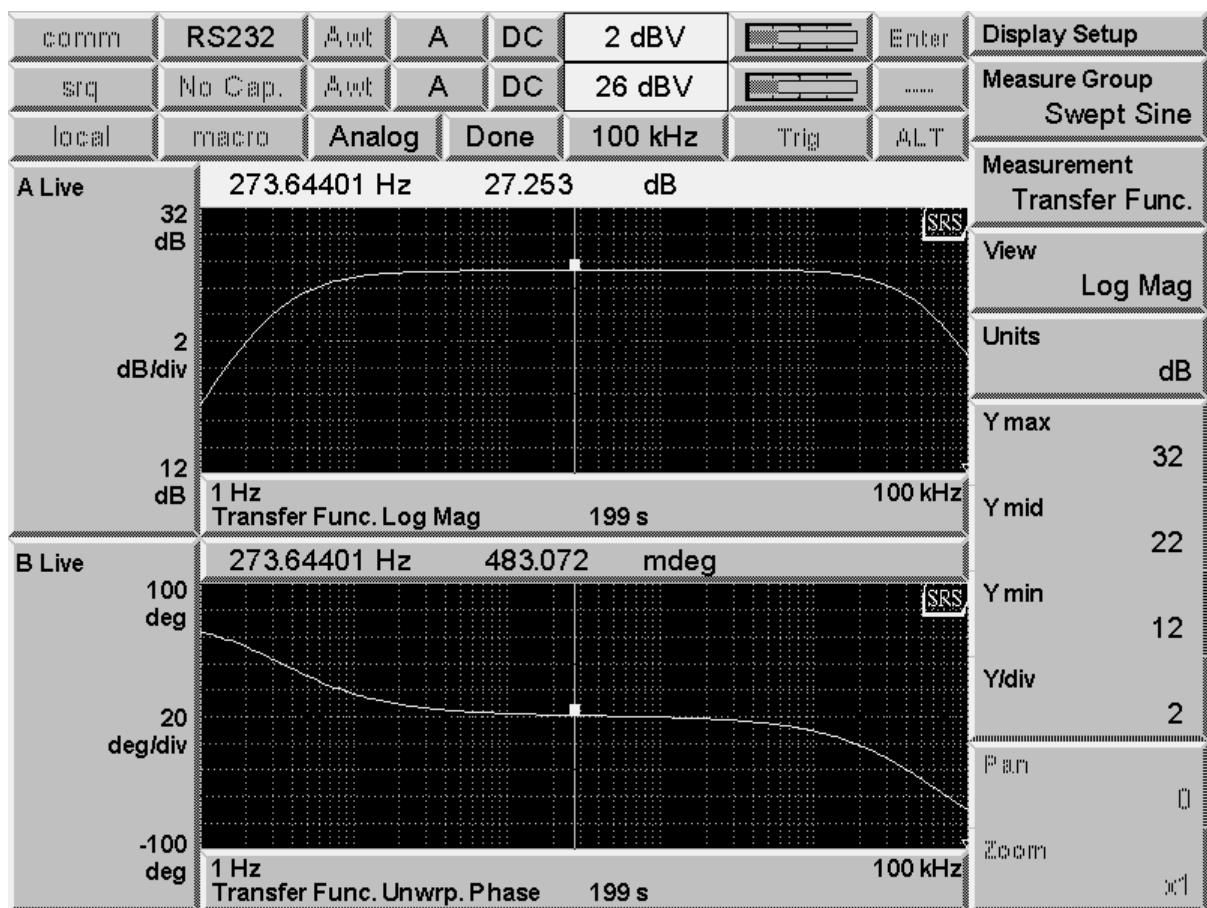
3 Meritve

Frekvenčna karakteristika

Meritve karakteristike so bile narejene z osciloskopom za vse kanale, na rezistivnem bremenu $R=8\Omega$. Ker so odzivi skoraj identični niso prikazani za vse kanale.



Prikazana sta tudi amplitudna in fazna karakteristika izmerjena z »Network Analyzer-jem« pri polni obremenitvi (kanal A).



Šum

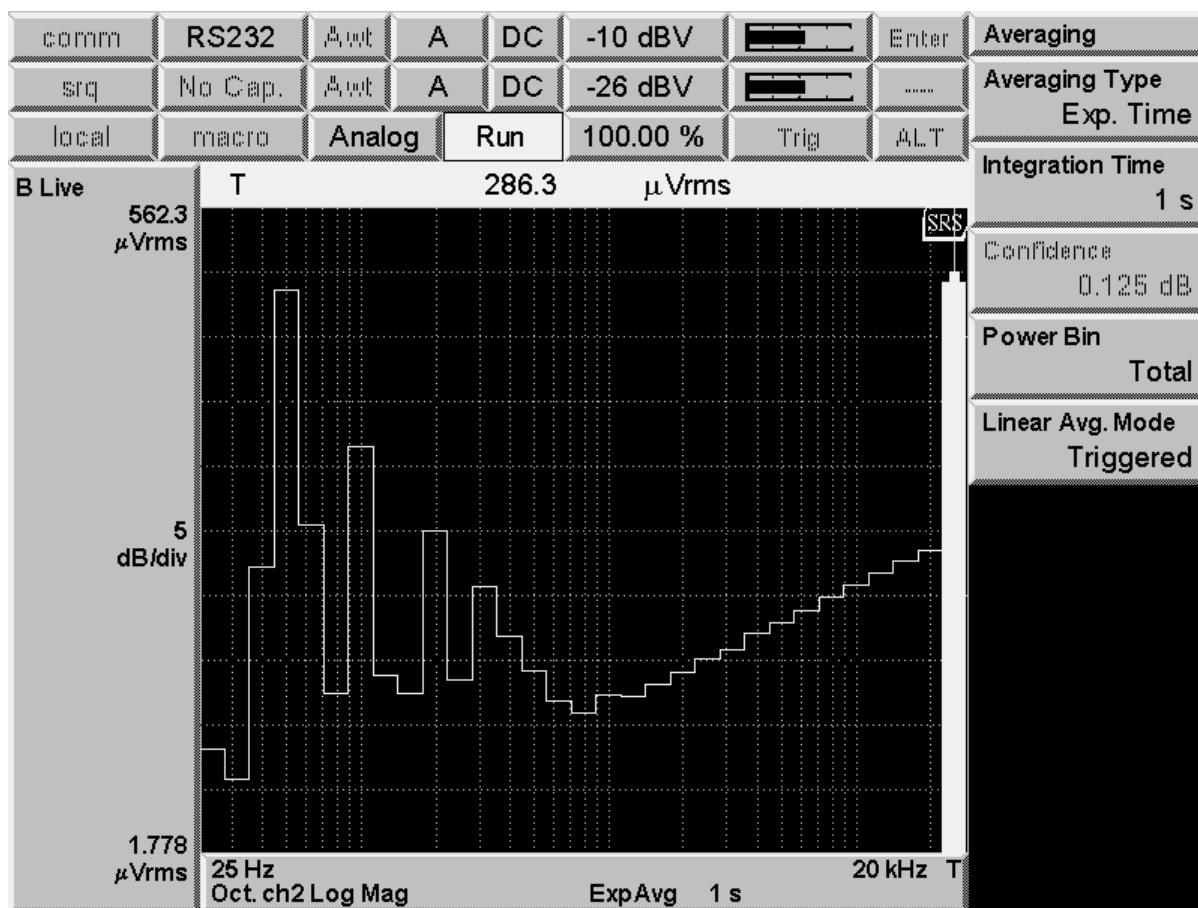
Na ojačevalniku je bil izmerjen tudi izhodni šum. Izhodni šum je izmenična napetost, ki se pojavi na izhodu ojačevalnika, ko ojačevalnik nima vhodnega signala (kratek stik na vhodu). Izhodni šum je vsota šumov znotraj elementov samega ojačevalnika, ki se v njem seštevajo in ojačajo do izhoda, in zato ni odpravljiv. Definiran je tudi kot razmerje med maksimalnim izhodnim signalom in absolutno vrednostjo šuma po naslednji enačbi:

$$S / N = 20 \cdot \log \frac{U_{izhmax}}{U_{šummax}}$$

Šumna napetost se meri pri kratko sklenjenem vhodu ter 8Ω bremenom na izhodu.

	Kanal A	Kanal B	Kanal C	Kanal D
Šum [mV]	1.3	1.3	1.3	1.3
S/N [dB]	85	85	85	85

Na sliki x.x je prikazana šumna analiza po oktavah, izmerjena z »Network Analyzer-jem«.



Slika 3.4

Harmonska popačenja (THD)

Meritev harmonskih popačenj je bila narejena z uporabo »Network Analyser-ja«, ki na vhod ojačevalnika generira sinusno napetost (1kHz), nato pa pomeri izhod in naredi Fourierovo analizo izhodnega signala. Iz nje lahko že naprava sama izračuna THD.

	Vhod = 1V rms	Vhod = 0,5 V rms	Vhod = 0,25 V rms
THD[%] (Kanal A)	0,149%	0,0269%	0,00954%

Enosmerna komponenta izhoda

Vsi ojačevalniki imajo kljub notranji povratni vezavi na izhodu še enosmerno komponento napetosti. Ta komponenta direktno ne vpliva na kvaliteto ojačevalnika, vendar pa se bo zaradi te napetosti na izhodu vedno trošila neka moč na bremenu.

Pri akustiki to pomeni da bo membrana vedno odmaknjena in bo njena karakteristika odklona skupaj z ojačevalnikom nesimetrična.

	Kanal A	Kanal B	Kanal C	Kanal D
DC komponenta	-25,3 mV	-50,5 mV	-28 mV	-6 mV

3 Zaključek

Predstavljeni dvojno ojačani avdio sistem se je kar dobro odzval; meritve so pokazale še kar dobre lastnosti, ob predvajanju glasbe pa lahko tem rezultatom potrdimo. Sistem ne sodi po specifikacijah v višji Hi-Fi razred, vendar je vseeno zelo zanimiv. Kljub temu pa bi bilo možno storiti marsikaj, da bi se odziv izboljšal.

Mogoče bi bilo magnetno izolirati toroidni transformator od samih ojačevalnikov z uporabo feromagnetne pločevine. To bi dodatno zmanjšalo 50 Hz komponento na izhodu, ki je glavni vir šuma (kot se vidi pri oktavni analizi). Na podoben način bi bilo mogoče zmanjšati prisluh med kanali, čeprav se je naša naprava na ta pozkus kar dobro odzvala.

Tretja možna izboljšava (in verjetno tudi najbolj potrebna) je zmanjšanje THD-ja. Izmerjena vrednost pri maksimalni moči (0,149%) je sicer še vedno nizka - harmonska popačenja pod 1% uho ne zazna - a vendar previsoka za Hi-Fi ojačevalnike. Najverjetneje bi se popačenje zmanjšalo, če bi se bolj natančno nastavila delovna točka tranzistorja Q7 in Q8.

Sistem se je odlično izkazal tudi »na terenu«. Dvakrat je služil kot ojačevalnik monitorjev narodnozabavnemu ansamblu »Zdomci«, kjer avtor projekta igra trobento. Ojačevalnik je obakrat deloval po več ur s polno močjo, in je odlično prenesel obremenitev.

Literatura

- Rod Elliot, *Amplifier Basics*, The Audio Pages
(<http://sound.westhost.com/articles.htm>)
- Dušan Fefer, Anton Jeglič, *Elektroakustika*, ZAFER 1993.