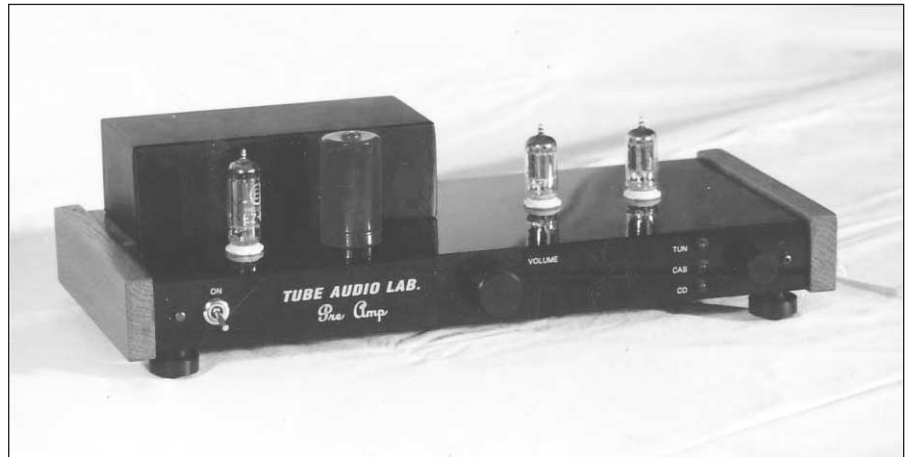


# Renesansa cevnog zvuka

I deo

*Tehnološki razvoj ne ide uvek i svuda uporedo sa materijalnim razvojem društva, te se javlja raskorak između želja i mogućnosti.*

*Ako se želja i mogućnost prihvate kao suprostavljene pojmovi onda je moguće da čovek i njegov duh učine da se oni pomire pa čak i prožimaju. Ovakav pristup i proces ostvarljiv je samogradnjom u audio tehnici, i nije izmišljotina našeg vremena ni prostora.*



Audio Hi-Fi lanac sastoji se od izvora zvuka, pojačavača, kablova i zvučnika ili slušalica.

Izvori zvuka mogu biti: gramofonska ploča, radio i TV program, magnetofonska traka ili kasete i digitalna ploča i kasete. Za različite potrebe i zahteve, svaki od izvora zvuka, ili više njih, moguće je realizovati da sa pojačavačem, kablovima i zvučnicima čine celinu. Kad takve uređaje dizajnom učinimo primamljivim, zovemo ih muzički stubovi. Takođe je moguće da svaka komponenta audio lanca bude zaseban deo. Sa ovako izdvojenim komponentama sad je moguće audio stub učiniti proizvoljno visokim (brojem komponentata) i proizvoljno kvalitetnim (odgovarajuće skupim). Sa daljim zahtevom za viši kvalitet proizvode se CD plejeri sa odvojenom mehanikom i elektronikom a pojačanje audio signala se deli na dve jedinice: prepojačavači i izlazni pojačavači. Za pojačanje i korekciju signala iz različitih izvora, zahtevi su različiti, pa se prepojačavači dele na gramofonske (*phono*) i liniske (*line*). Izlazni pojačavači mogu biti ostvareni za svaki kanal posebno (mono blokovi) a za odvojeno pojačanje dela audio spektra pravi se odgovarajući broj izlaznih pojačavača. Najzastupljenija je podela spektra na dva dela, te se prave izlazni pojačavači za duboko tonsko područje i odvojeno za srednje i visoko (bi amplifikacija).

Ovakav i ovoliki broj podela proistekao je iz naše zahtevnosti za kvalitetnim audio Hi-Fi lancem. Proizvođači komponentata i uređaja ovo pomno prate, razvijaju nove tehnologije, proizvode i nude tržištu sve bolju i skuplju audio opremu.

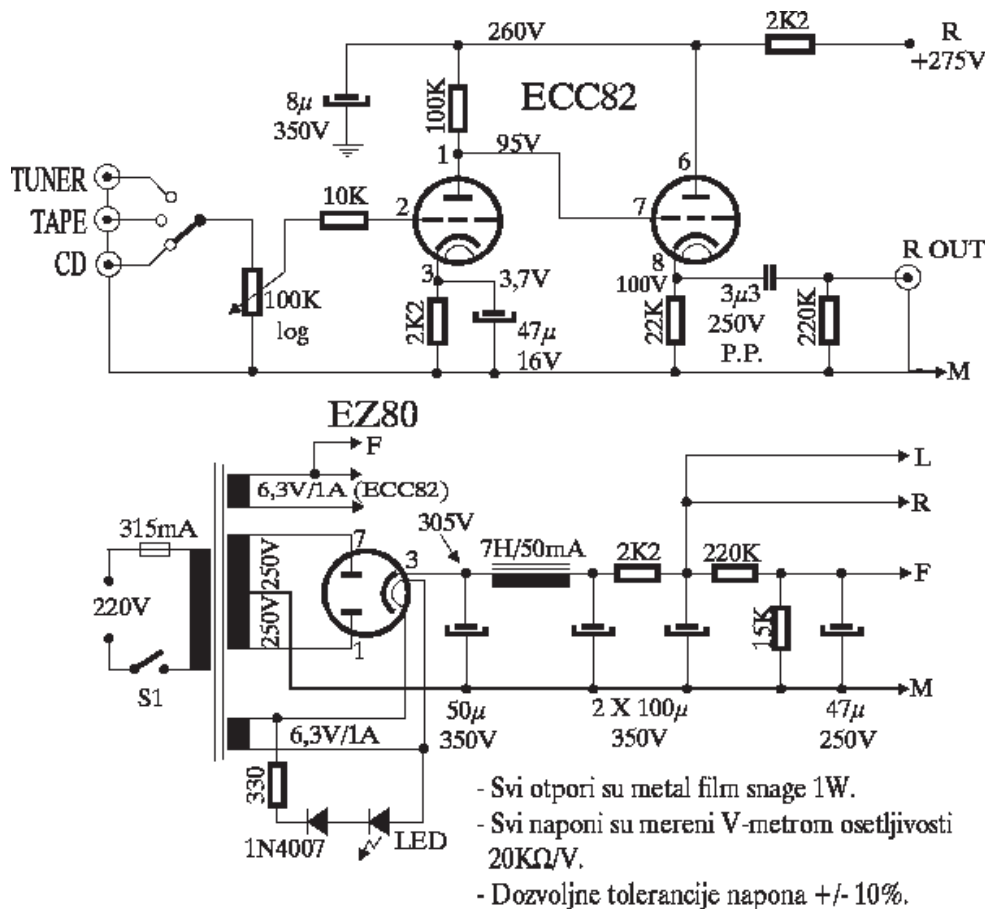
Avery Fisher prvi je osmislio, napravio i komercijalizovao audio Hi-Fi sistem, daleke 1946 godine. Sistem se sastojao od: gramofona, tjunera, prepojačavača, izlaznog pojačavača 50 W i zvučnika Jensen. Bio je izuzetnog kvaliteta ali i odgovarajuće cene od čak, 1200 \$. Mnogi ljubitelji dobrog zvuka nisu mogli da prihvate ovu cenu, te se javljaju firme koje nude rešenje. Za hobbiste sve potrebno za samogradnju mogli ste naći po prihvatljivim cenama kod specijalizovanih trgovačkih firmi: Heathkit, Eico i Dynaco.

Sa tradicijom većom od pet decenija samogradnja (*home made*) je groznica kojom je zaražen ceo svet, i postala je više psihološki pojam nego strogo definisan stvaralački čin.

Groznica je u zapaljenju od kad se pre jedne decenije na vrh svetske audio pozornice vratila elektronska cev sa minimiziranim zahtevima za broj pratećih elemenata.

Prateći svetski porast interesovanja, u nizu godina postojanja *Tube Audio* laboratorije, stekli su se svi resursi da budemo svetu ravni. Literatura, časopisi, informisanost i radoznalost, te so-

Autor:  
*Tube Audio lab.*  
ing. Vukušić Nikola



lidno opremljena laboratorija, su tek preduslovi za bilo kakav ozbiljniji rad u ovoj oblasti. Saradnja sa ljudima na samom izvoru saznanja i proizvodnje: transformatora, elektronskih cevi, zvučnika i kablova, samo je deo sveobuhvatnog rada. U potpunosti svesno i spremno dočekujemo vreme i dolazak lampaškog zvuka na ove prostore. Stanje informativne blokade naše zemlje je prošlost, te nam zasigurno predstoji povećan interes za cevnom audio tehnikom. Serija članaka u časopisu "info Elektronika" je poziv da nam se pridružite. Sve karike pojačanja audio signala u Hi Fi lancu, biće obuhvaćene, sa primerima koje je praksa potvrdila.

Vrhunski zvuk može biti vaš, sa par kvalitetnih elemenata, par cevi i seta transformatora. Ne samo da mo-

žete dobiti vrhunski zvuk, ukoliko uradite sami, već mnogi samograditelji ubrzo shvate da im je vreme uloženo u proučavanje osnova samogradnje, najbolja audio investicija u životu. To je ono što preporod cevi, pored vrhunskog zvuka može da ponudi, put ka višem nivou posvećenosti audiofilstvu i novi doprinos tehničkoj kulturi.

### Prepojačavači Đ pojačavači napona sa cevima

Osnovni zadatak prepojačavača je da signal iz izvora zvuka dovoljno pojača za pobudu izlaznog pojačavača. Izvora zvuka ima više te je prepojačavač sabirno mesto: ulaza, prolaza i izlaza, linija kojim je povezan audio lanac. Kao sabirno mesto linija, liniskom prepojačavaču pridodate su i tri

osnovne komande: uključi, izaberi i pojačaj.

Definisan za ovakve potrebe njegov kvalitet je od prvorazrednog značaja za rad celog audio lanca, zato treba unapred definisati najvažnije karakteristike potrebne za veran prenos zvuka.

U ovakvim uređajima postizanje potrebnog pojačanja nije kritično, te se sva pažnja poklanja postizanju što manjih izobličenja.

Izobličenja se dele na: linearna i nelinearna.

### Linearna izobličenja

Linearna izobličenja dele se na amplitudna i fazna. Amplitudna izobličenja su definisana amplitudnom (frekventnom) karakteristikom kao varijacije pojačanja signala različitih učestanosti a fazna kao varijacije faze za

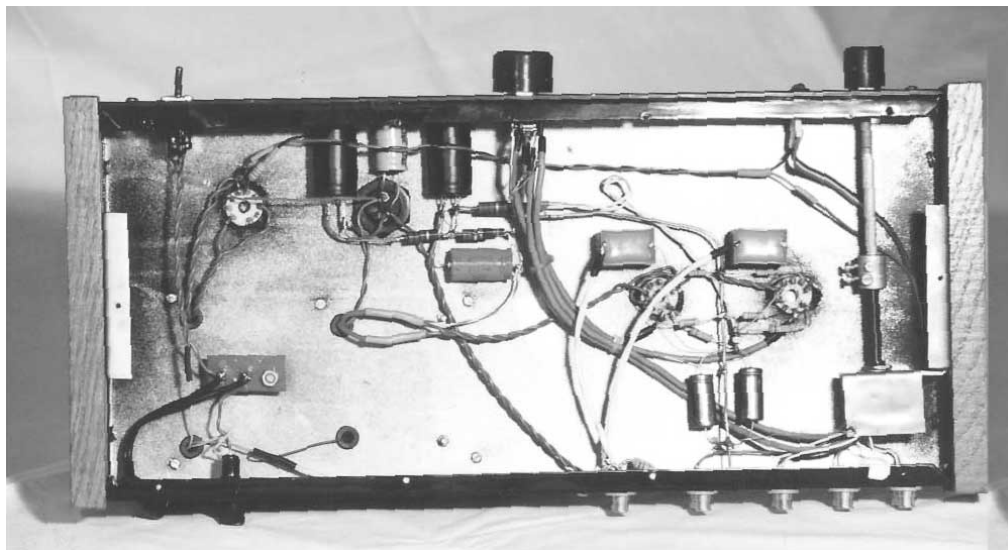
različite učestanosti.

Frekventni opseg koji se može preneti nekim audio uređajem, je najvažnija karakteristika. Eksperimentima je konstatovano da prosečno ljudsko uvo ne registruje promene u jačini signala od  $\pm 3$  dB. Na osnovu ovog zapažanja definisan je propusni opseg, te Hi-Fi norme propisuju opseg od 20 $\div$ 20.000 Hz, tako da varijacije pojačanja nisu veće od  $\pm 3$  dB u odnosu na pojačanje na srednjim učestanostima (1.000 Hz).

Ovakvu amplitudnu karakteristiku sa cevnom pojačavačima nije teško ostvariti, te je moguće i poželjno proširiti frekventni opseg od 10 $\div$ 100.000 Hz. Zahtev da se izlazni pojačavač pobudi širokopojasno je opravdan, jer degradacija signala raste sa njegovom veličinom (najveća je u izlaznom stepenu), a to važi i za frekventni opseg. Opravdan je zahtev da pobuda izlaznog pojačavača bude što šira i što linearnija kako bi se na izlazu dobila zadovoljavajuća amplitudna karakteristika, obzirom da je primenjeno više pojačavačkih stepena. Pošto je amplitudna karakteristika kompleksna funkcija učestanosti, na različitim učestanostima unutar frekventnog opsega postoje razlike faza od ulaza do izlaza, a najveće su na graničnim frekvencijama. Ova konstatacija je važna jer ukazuje na povezanost amplitudne i fazne karakteristike.

Za ovako široki propusni opseg značajno je definisati šta sve utiče na granične frekvencije kod linijskog prepojačavača.

Donja granična učestanost ( $f_D$ ) nije kritična i nju u najvećoj meri određuju vremenske konstante kola poja-



čavača.

Gornja granična učestanost ( $f_G$ ) zavisi od više faktora, a najvažniji su: vremenske konstante kola, broj pojačavačkih kola, kapacitivnost na ulazu i šent kapaciteti (međuelektrodne kapacitivnosti, kapaciteti podnožja, vodova i konekcije).

### Nelinearna izobličenja

Nelinearna izobličenja nastaju kao posledica nelinearnosti karakteristika pojačavačkog elementa (cevi), i dele se na harmoniska i intermodulaciona.

Harmoniska izobličenja nastaju jer se na izlazu pojačavača sem osnovne frekvencije javljaju i njeni umnošci (harmonici), u vidu celih brojeva.

Intermodulaciona izobličenja nastaju kad se na ulaz pojačavača dovede više signala različitih frekvencija, i sad se javljaju harmonici ali i kombinacije zbira i razlike osnovne učestanosti i njenih harmonika.

Ukupna izobličenja zajednički se zovu totalna harmoniska distorzija (THD), daju se kao faktor izobličenja (klir faktor) u procentima. Klir faktor je moguće izraziti i za neki određeni harmo-

nik, ako je on od posebnog interesa.

### Pojačanje napona

Pojačanje napona u linijskom pretpojačavaču može se ostvariti sa svim poznatim pojačavačkim stepenima (RC, LC, direktna i transformatorska sprega), ali se najviše upotrebljavaju RC i direktna sprega.

Sve linije izvedene su na standardizovane priključke. U praksi najzastupljeniji je Američki priključak činč, na kome su definisani napon (0,3V) i otpornost (47 k). Ove veličine napona i otpornosti nalaze se na izlazima svih izvora zvuka koji se priključuju na linijske pretpojačavače. Iako standardizovani u audio tehnici za široku potrošnju nisu pouzdani i najčešće zavise od proizvođača, te ih treba samo orijentaciono uzimati u obzir kod proračuna potrebnog pojačanja. Zato treba uvažiti pravilo: veličina signala na ulazu definisana je na ulaznoj otpornosti i uz zadato pojačanje, a na izlazu treba dobiti signal bez izobličenja ili sa zadatim izobličenjem.

### Odnos signal/smetnja

Ovo je važan faktor kvaliteta u svim stepenima pojača-

vača audio signala, jer su funkcionalna celina (naponski pojačavač, pobudni stepen, izlazni stepen i ispravljač).

Šumovi u cevima, otpornicima, šum ulaznog signala i naponi brujanja koji potiču od ispravljača ili grejanja, zajedno čine napone smetnji. Naponi smetnji degradiraju koristan signal te je uveden parametar: signal/šum, u literaturi S/N (signal/noise). Ovaj parametar izražava se u dB i treba da je što veći. Svaki pojačavački stepen doprinosi pogoršanju S/N i svaki ima dominantnu problematiku kako da se to ublaži. Da bi se dala procena kvaliteta nekog pojačavača, koliko on doprinosi ukupnom nivou šuma, uveden je faktor šuma (F), i izražava se u dB. Faktor šuma je definisan kao količnik odnosa signal/šum na ulazu i izlazu pojačavača ili celog lanca.

Ovo su najvažniji pojmovi i veličine naponskog pojačavača kakav je i linijski pretpojačavač, ali važe i za sve druge pojačavačke stepene primenjene u lancu pojačanja audio signala. Uz svaki primer za gradnju nabrojaču elemente kola i pojasniti njihov uticaj na ove veličine.

### Preamp Line

Ovakvi pretpojačavači imaju optimalno tri ulaza (TUNER, TAPE i CD), izlaz za kontrolu ili snimanje (CAS) i izlaz za pobudu izlaznog pojačavača (OUT). Na ulaznim činčevima definisani su veličine signala (0,3V) i ulazne otpornosti (47 k). Veličina signala je u velikom broju primera na tjunerima i CD plejerima, daleko veća i dostiže 2 do 3 V. Za postizanje deklariranih snaga, izlaznim pojačavačima potrebna je pobuda od 0,7 do 1 Veff. Sasvim retki proizvođači izlaznih pojačavača zahtevaju pobudne signale veće od 3 V. Zahtev za ovalikim pojačanjem moguće je ostvariti jednostepenim cevnom pojačavačem umerenog naponskog pojačanja od 10 do 20 puta.

Za prvi primer pretpojačavača (*line*), opredelio sam se za dvostepeni naponski pojačavač sa dvostrukom triodom ECC82, iz više razloga. Ova cev ima velik broj ekvivalenata kod svih velikih proizvođača (ECC802, E82CC, 12AU7, 7730, 5814, 5963, 6189, 6680, itd.). Proizvedena kao cev sa *noval* podnožjem, pravi je biser u familiji malih duplih trioda u redovnom proizvodnom programu fabrike RC „Ei” iz Niša. Za poboljšanja u konstrukciji i kvalitetu fabrika je dobila najveće priznanje (zlatni GRAND PRIX) sajma elektronike u Novom Sadu 1995. godine. Dalje je krase: umereno pojačanje (teorijski 18, u realnim aplikacijama oko 14), mali unutrašnji otpor, dobra linearnost karakteristika, mali međuelektrodni kapaciteti te mala mikrofoničnost i ne zahteva visoke anodne napone.

Ovakav izbor cevi obavezuje na izbor kvalitetnih ele-

menata za postizanje dobrih rezultata.

### Šema

Dvostepeni pojačavač napona sa direktnom spregom, gde oba stepena rade u klasi A. Klasa rada prvog stepena definisana je automatskim prednaponom, padom napona na katodnom otporniku ( $2k\Omega$ ), kroz koji teče anodna struja. Veličina katodnog otpornika odabrana je tako da se za određenu jačinu anodne struje dobije veličina potrebnog prednapona, kojim se definiše radna tačka. Rešetka je preko predotpora i potenciometra na masi, te je negativna u odnosu na katodu. Elektrolit u kolu katode odvodi na masu naizmeničnu komponentu anodne struje, koja je na katodnom otporniku u protivfazi sa signalom na rešetki. Ovim se sprečava povratna sprega i dobija veće naponsko pojačanje stepena. Kad se izjednače vrednost otpora i reaktansa kondenzatora, ostvari se pojačanje za 3 dB manje u odnosu na srednje učestanosti. Učestanost pri kojoj je:  $R_K = 1 / 2\pi f C_K$ , naziva se donja granična učestanost ( $f_D$ ). Znači: vremenska konstanta u kolu katode ograničava propusni opseg sa donje strane. Zato se vrednost kapaciteta tako odabere da  $f_D$  bude ispod 20 Hz. Za ovaj primer:  $f_D = 1 / (2 \cdot 200 \times 10^6 \times 47 \times 10^{-6}) = 9,7$  Hz, što je sasvim dovoljno.

Primenjena direktna sprega između dva stepena omogućava širok propusni opseg, jer nema ograničenja sa gornje strane (kondenzatora za spregu), sem međuelektrodnih kapacitivnosti, koje su za ovu cev male. Prednapon druge cevi je određen razlikom potencijala anode prve cevi i katode druge cevi. Drugi stepen je takođe na-

ponski pojačavač (*katod follower*), ali sa pojačanjem manjim od jedan, jer je primenjena maksimalna naponska reakcija.

Katodni pojačavač ima veliku ulaznu i malu izlaznu impedansu, te se koristi kao transformator impedanse, i napon na izlazu ne zavisi od opterećenja. Ulaz i izlaz su asimetrični i u fazi, što olakšava povezivanje sa ostalim pojačavačkim stepenima. Ovakav pojačavač ima širokopojasnu amplitudnu karakteristiku i veoma mala nelinearna i fazna izobličenja. Sa ovako izuzetnim karakteristikama vrlo često se primenjuje u svim aplikacijama. Kao generator sa malim izlaznim otporom omogućava dužine interkonekcijskih kablova 2 do 3 m, što je neophodno ako je izlazni pojačavač dislociran (mono blokovi ili aktivne kutije).

U ispravljaču je primenjena dvostruka dioda EZ80 i dvostruki  $\pi$  filter (C, L, C, R, C). Prva jedinica filtera je sa prigušnicom 7 H/50 mA, a u drugoj je otpornik  $2k\Omega / 1W$ . Ovakvo dimenzionisane filtere jedinice dovoljno potiskuju napon talasnosti da se ne manifestuje kao smetnja (brum). Dalje se visoki napon vodi preko otpornika  $2k\Omega / 1W$ , odvojeno za svaki kanal (R i L). Vremenska konstanta ( $2k\Omega$  i  $8 \mu F$ ), ima više funkcija: poboljšava se filtracija visokog napona, separacija kanala je bolja i sprečava se povratna sprega ispravljača na pojačavačke stepene. Ovi elementi pripadaju anodnom kolu pojačavačke cevi, te su tako i locirani na šasiji, sa najmanje mogućim vodovima. Sa razdelnika napona 220 k i 15 k, dovodi se potencijal na kolo grejanja cevi, čime se umanjuje potencijalna razlika katoda/grejanje i smanjuju naponi smetnje.

Mrežni transformator je namotan na standardnom torusnom jezgri od 30 VA i ima slepi navoj između primara i sekundara, koji dovoljno štiti izvor napajanja od smetnji iz mreže.

Vod mase je masivna bakarna žica, spojena na šasiju samo u jednoj tački i to kod izlaznog priključka.

### Izmerene tehničke karakteristike:

Frekventna karakteristika:

20Hz  $\nabla$  20kHz; -1/ 0 dB

20Hz  $\nabla$  85kHz; -1/ -3 dB

Ovakvo širok propusni opseg, obezbeđuje dobru tranzijentnu karakteristiku (posmatranjem odskočne funkcije), smatra se respektivan, naravno imajući u vidu primenu katod folovera na izlazu i odnos cena/ kvalitet.

2. Veličina signala na izlazu: za  $\nabla 10$  dB na ulazu: optimum 0 dB, max +13 dB.

Odavde se može pročitati: osetljivost pojačavača je  $\nabla 23$  dB, za traženi izlaz od 0 dB, a isto toliko je i pojačanje,  $A=23$  dB.

Ako se izostavi kondenzator u katodi (kao primer na slici), zbog primenjene reakcije, pojačanje se smanji:  $A=20$  dB (pojačanje je 10 puta), na izlazu se dobija maksimalno 2,5 Veff. Ovolika vrednost izlaznog napona je sasvim dovoljna, uz dosta rezerve, za pobudu izlaznog pojačavača.

3. Izlazna otpornost:

$R_O=520$  oma

Svaka izlazna otpornost manja od 1k, dozvoljava primenu interkonekt kablova do 2 m dužine, bez značajne degradacije amplitudne i fazne karakteristike.

Ovaj se podatak može i izra-

čunati. Sa dozvoljenim aproksimacijama, za *katod folover* važi formula: izlazni otpor je obrnuto srazmeran strmini cevi. Strmina cevi ECC82 je:  $S=2,2$  mA/V, pa sledi:  $R_O=1/0,0022=454$  oma. Ovakvo računski dobijen podatak smatra se u praksi dovoljno tačan, a greška proističe iz činjenice da se u katalogima daje statička strmina. Dinamičke karakteristike cevi su polegnutije, tj. strmine manje.

4. Odnos signal/ smetnja:  $S/N=-73$  dB, pri kratko spojenom ulazu.

Ako je ulaz zatvoren sa otpornikom:

$R_U=47$  k,  $S/N=-70$  dB.

Ovo merenje kazuje, da se ovim pretpojačavačem može preneti dinamički opseg od 70 dB, što se smatra na granici dozvoljenog za liniske pretpojačavače, jer je potrebno da se ostvari rezerva u dinamici. Ovaj parametar je mogao biti i bolji sa kvalitetnijim potenciometrom (ALPS), selektorom (keramički sa dva segmenta), kvalitetnijim ožičenjem (srebrna žica) i priključcima (pozlaćeni). I ovako ostvarena dinamika prenosa je dovoljna jer obezbeđuje verni prenos i najvećih zahteva pri izvođenju, kakva je klasična muzika.

Prosečan dinamički opseg simfoniskog orkestra, pri viščasovnom muziciranju različitih dela, izmeren je sa 65 dB. Dinamika vokala je značajno manja, mali je broj ljudi koji mogu postići dinamiku govora ili pevanja od 40 dB.

5. Pretpojačavač obrće fazu (od ulaza do izlaza).

Ovaj podatak se mora imati u vidu kod priključivanja na izlazni pojačavač.

Potrošnja iz mreže 220 V: 13 VA.	gušnica od ulaznih priključaka i preklopnika, sa komotnim razmeštajem elementa i prihvatljivom estetikom.	BRUEL & KJOER Đ <i>Denmark</i> , audio frekventni spektrometar	hobija sa malo truda i novca
Šasija pretpojačavača nije uzemljena. Šasije su povezane preko interkonekt kablova a izlazni pojačavač je uzemljen preko šuko utikača.	Merenja su obavljena profesionalnim instrumentima:	TEKTRONIX Đ USA, <i>oscilloscope type 516</i>	može napraviti solidan cevn
Dimenzije: širina x dubina x visina: 445 x 230 x 125 mm.	GENERAL RADIO CO. Đ USA, <i>low distortion oscillator</i>	Cevi su uparivane na profesionalnom probnom stolu:	ni pretpojačavač, merno i
Ova dimenzija je optimalna da bi se dovoljno udaljili mrežni transformator i pri-	GENERAL RADIO CO. - USA, <i>distortion and noise meter</i>	NEUBERGER Đ <i>Germany, tube tester</i>	slušno ne inferioran u odno-
		Ovako obavljena merenja, sa imenovanom mernom opremom, kazuju da se iz	su na mnogo skuplje kupovne uređaje.