



foto 2: TS-VV-2006 frontaanzicht



foto 1: studenten TubeSociety

# TubeSociety TS-VV-2006 buisenvoorversterker

DOOR MENNO VAN DER VEEN

De studenten van de TubeSociety buizenacademie ontwikkelden als studieopdracht een opmerkelijke buizenvoorversterker. Naast een lijntrap werd een platenspeler voorversterker ontworpen plus een buffer voor de recorderuitgang, een gebalanceerde actieve ingangstrap en een hoofdtelefoonversterker. Omdat de beschikbare tijd te kort was om ook nog een print te maken, is deze voorversterker met behulp van montagebordjes "hard-wired" opgebouwd. Voor minimale brom is de netvoeding buiten de kast geplaatst.

De TubeSociety opleiding tot ontwerper van buizenversterkers duurt één jaar en bevat per kwartaal een hoofdthema, beginnend bij "voorversterking", vervolgens "eindversterking" en "transformatoren" plus "meten". Zie 1) voor meer informatie over deze academie. Direct bij de

start van de opleiding werd afgesproken om met een eigen te publiceren ontwerp uit te komen. De negen studenten (zie foto 1) kregen de opdracht om elk een deel van de voorversterker voor hun rekening te nemen. Aan de hand van deze ontwerpen en de bijbehorende luisterproeven en testen was het mogelijk om een groot deel van de lesstof direct in de praktijk te toetsen. Het concept van de voorversterker staat in figuur 1. In dit artikel wordt elke deeltrap afzonderlijk behandeld, terwijl hun onderlinge verbindingen en schakelaars en knoppen logisch uit figuur 1 volgen. Foto's 2 en 3 laten het uiteindelijke ontwerp zien, waarbij gebruik is gemaakt van een 19" 2HE kast, zie 2). De belettering is met Coreldraw op ware grootte getekend en vervolgens met een zwart ingebrande plastic film over het front en de achterkant geplakt, zie 3). Op foto 4 is duidelijk de inwendige opbouw te zien. De buizen zijn gemonteerd op een subchassis (zoals in de ouderwetse G36 Revox recorder), terwijl alle andere componenten op montagebordjes vlak bij de buizen zijn geplaatst. Op dit subchassis werden als eerste de buisvoeten gemonteerd. Kleine gaatjes in het subchassis bij de buisvoetpennen 4 en 5 en 9 maakten het mogelijk om de aanvoerdraden van de 6,3V gloeispanning aan de buis-

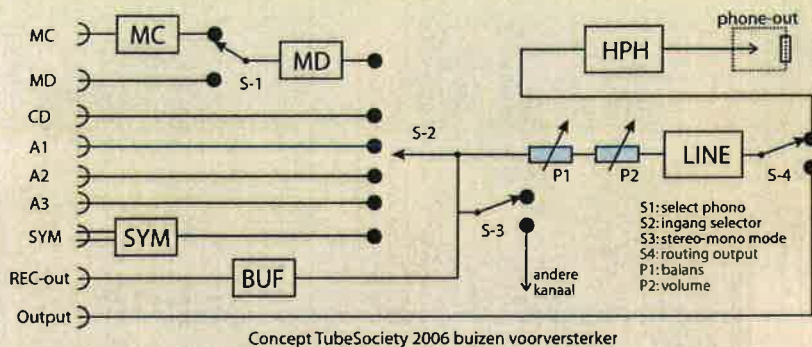


foto 3: TS-VV-2006 achteraanzicht

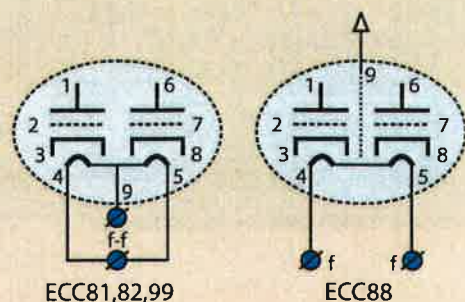


foto 4: TS-VV-2006 inwendig



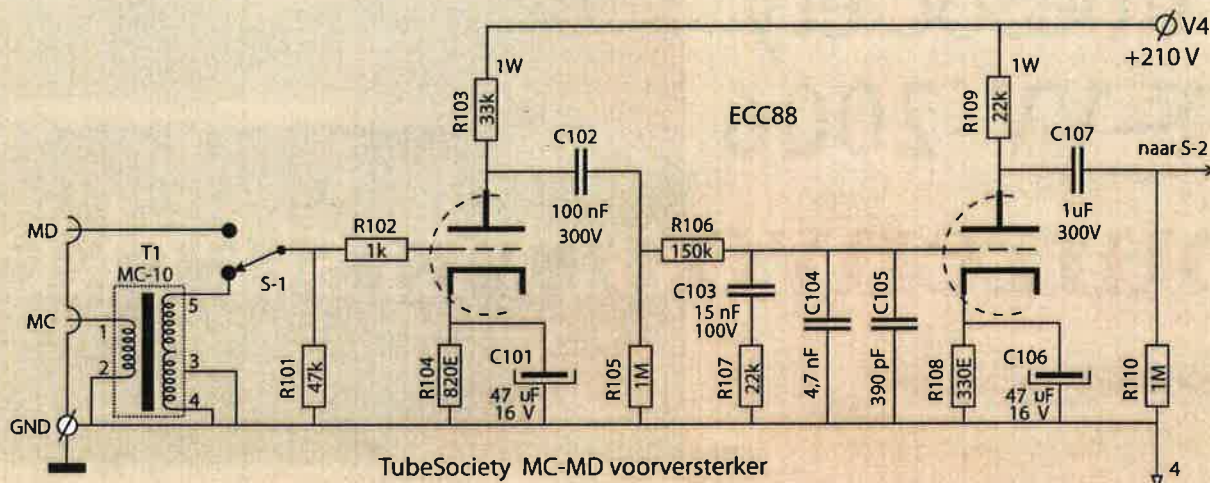


Concept TubeSociety 2006 buizen voorversterker



ECC81,82,99

ECC88



TubeSociety MC-MD voorversterker

figuur 1: Overzicht van de TS-VV-2006 buizen-voorversterker

figuur 2: Pin-aansluiting van de gebruikte buizen

figuur 3: MC-MD voorversterker

kant te leggen, zie foto 5. Hierdoor functioneert het subchassis tegelijkertijd als afscherming waardoor gloeidraadbrom in dit ontwerp geen rol speelt.

De gebruikte buizen zijn goed verkrijgbaar en hebben alle dezelfde buisvoet (noval) en pin-aansluitingen, zie figuur 2. Alleen de aansluiting van de gloeispanning verschilt, maar dat wordt bij de bespreking van de voeding nader aangeduid. De specificaties van de gebruikte buizen en hun karakteristieken zijn alle op het internet beschikbaar, zie 4).

### De MC-MD voorversterker

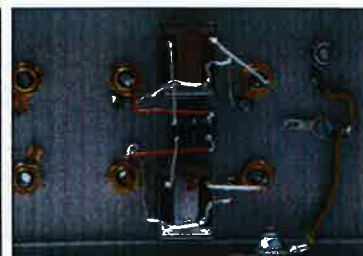
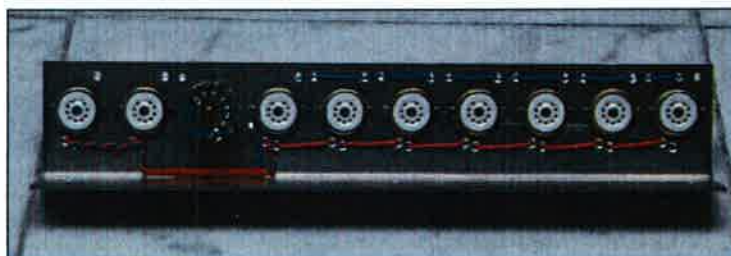
In figuur 3 staat het schema van de platenspelervoorversterker. Er zijn twee ingangen per kanaal; voor moving coil (MC) elementen en voor magneto dynamische (MD) elementen. De ingangstransformator MC-10 zorgt voor de tien maal extra versterking die nodig is voor de lage uitgangsspanning van MC-elementen. Zie 5) voor meer details over deze speciale step-up transformator die via een paar (hier niet getekende) externe weerstanden precies op een element kan worden afgestemd. Met de keuzeschakelaar S1 kan voor MC of MD gekozen

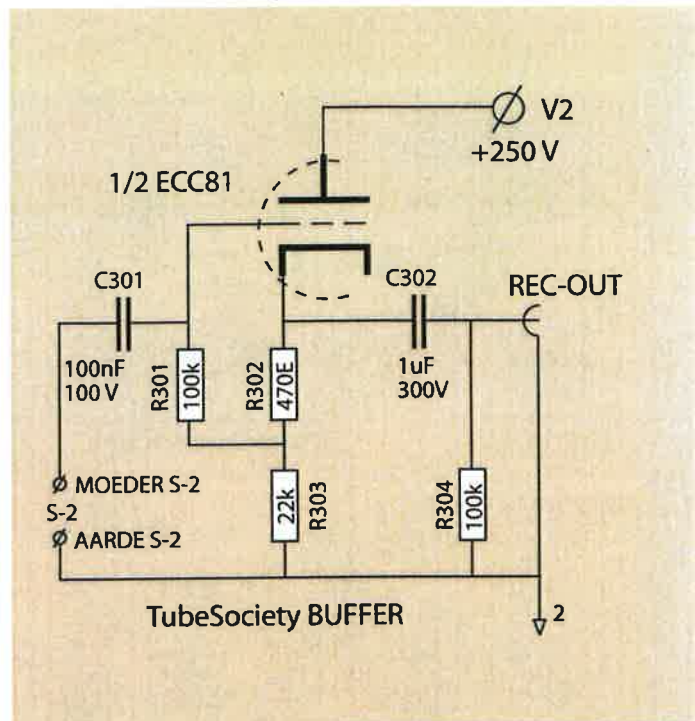
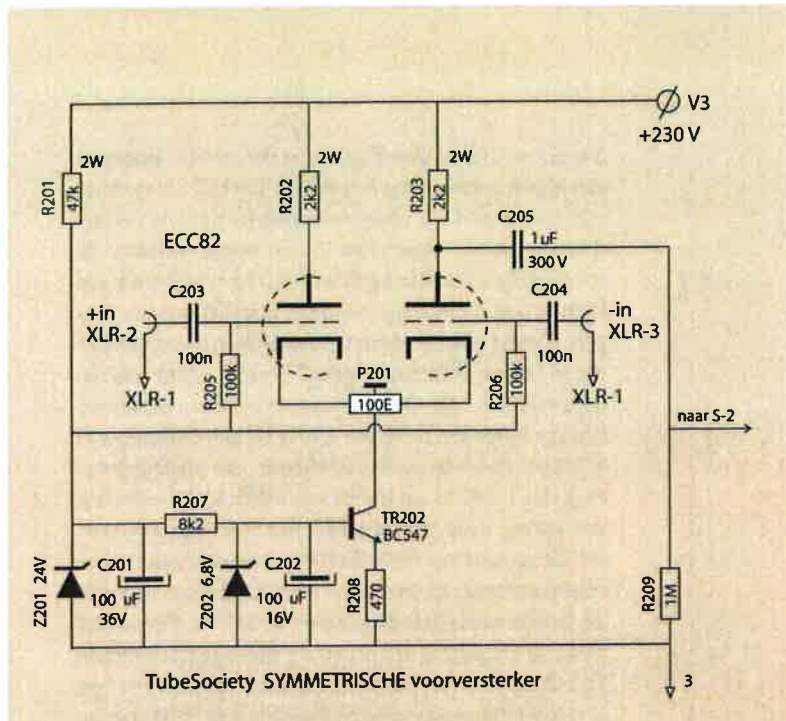
worden, zie foto 6. De MD-ingang heeft de standaard  $R101 = 47k\Omega$  ingangsimpedantie. Vaak zie je hieraan parallel ook een ingangscapaciteit van  $100pF$ , maar onze luisterproeven toonden aan dat deze voor doorzichtiger hoogweergave beter weggelaten kan worden; zie ook 6). Weerstand  $R102$  zorgt er voor dat de eerste helft van de ECC88 voorversterkerbuis niet gaat oscilleren. Na de voorversterking in de eerste buishelft volgt een passief RIAA-filter. In 7) wordt de complete theorie van dit filter uitvoerig besproken en de eenvoudige rekenmethoden uit die complexe verhandeling zijn hier toegepast. Daarbij speelt de uitgangsimpedantie van de eerste buishelft samen met  $R106$  een hoofdrol. Heel bewust zijn in de eerste en tweede buishelft de kathodeweerstanden ontkoppeld (met  $C101$  en  $C106$ ) om de uitgangsimpedantie per buishelft zo laag mogelijk te laten zijn, terwijl de versterkingsfactor dan maximaal wordt en iets minder dan  $m = 33$ . Het aardepunt van deze schakeling is aangeduid met het cijfer 4. Zie de bespreking van de voeding voor nadere uitleg over deze aarde-nummering.

De effectieve versterking van de MD-schakeling is frequentieafhankelijk. Als de uitgangsspanning (bij  $C107$ )

foto 5: aanvoer van de gloeispanning aan de buiskant van het subchassis

foto 6: MC-10 en keuzeschakelaar S-1 vlak bij de MC- en MD-ingangen





250mV bedraagt, dan is bij 1 kHz de grootte van de MD-ingangsspanning gelijk aan 4,3mV. De effectieve versterking is dus 57,5 maal en dit is ruim voldoende. De RIAA-curve zijn bepaald met de in 6) behandelde anti-RIAA meting. Voor het linker kanaal wordt de curve binnen 0,2dB gevolgd, terwijl dit rechts 0,6dB bedraagt. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat de condensatoren C103,104,105 tien procent types waren. Je kunt het dus net goed of iets minder treffen. Opmerkelijk is het grote -3dB frequentiebereik van 20Hz (rumble-grens) tot 60kHz. De extra headroom is door het RIAA-filter eveneens frequentieafhankelijk en bedraagt 45dB bij 20Hz, 44dB bij 1kHz en 33dB bij 20kHz. Deze getallen betekenen dat deze voorversterker niet snel overstuur zal raken en op tikken in de plaat hoorbaar minder zal reageren dan versterkers met een geringere headroom. De gehele schakeling trekt 11,5mA per kanaal, de buis helften staan daarbij ingesteld in het meest lineaire deel van hun karakteristieken. De luisterindrukken worden verderop besproken.

### ■ Symmetrische ingang

Tegenwoordig zie je steeds vaker CD-spelers met een gebalanceerde uitgang. Om rechtstreekse aansluiting hiervan mogelijk te maken en om de voorversterker te kunnen koppelen aan de uitgang van een professioneel mengpaneel, is de in figuur 4 getekende symmetrische ingangsversterker ontwikkeld. De als verschilversterker geschakelde ECC82 maakt gebruik van een gemeenschappelijke kathode. Deze is verbonden met een zeer hoogohmige stroombron rondom TR201. De stroomsterkte door deze bron volgt uit 6,8V over Z202 (type met minimale ruis) min de 0,6V tussen de basis en emitter van TR202. Over R208 blijft dan een spanning van 6,2V over waardoor de stroomsterkte  $6,2V/470\Omega = 13,2mA$  bedraagt. Met de instelpotentiometer P201 wordt afgeregeld dat beide buis helften precies evenveel stroom (6,6mA) doorvoeren, wat nodig is voor een grote CMRR (common mode rejection ratio). Hiermee wordt bedoeld dat in fase staande signalen op de ingangen bij C203 en C204 zoveel mogelijk worden onderdrukt.

Professionele mengpanelen kunnen erg grote signaalvoltages afleveren. Om deze foutloos te verwerken zijn de stuurroosters van de ECC82 door Z201 plus R205,206 opgetild tot +24V. Zelfs bij asymmetrische aansturing loopt de versterker nu niet tegen zijn begrenzing aan. De versterking van de ECC82 bedraagt in deze instelling 1,5 maal en dat is meer dan voldoende. De uitgang van de versterker wordt door C205 enkelzijdig van één anode afgevoerd voor verdere verwerking in de voorversterker. De bij de ingangen genoemde nummers betreffen de pinnummers van een XLR ingang. De belangrijkste meetresultaten van deze schakeling zijn: -3dB frequentiebereik van 16Hz tot ver over 100kHz; CMRR is beter dan 60dB en constant voor alle frequenties van 20Hz tot 20kHz; ingangsimpedantie  $2 \times 100k\Omega$ ;  $V_{ucl,max} = +19dBV$ . Zie voor de luisterindrukken het einde van dit artikel.

### ■ Buffer voor de recorderuitgang

Alle ingangen, inclusief platenspeler en symmetrisch, gaan vervolgens naar de keuzeschakelaar S-2. Hier wordt bepaald naar welke ingang wordt geluisterd. Het moedercontact van S-2 wordt via de bufferschakeling uit figuur 5 naar de recorder gevoerd. Deze buffer zorgt er voor dat eventuele vervorming bij de recorder geen invloed heeft op de audiokwaliteit in de voorversterker. De buffer moet één maal versterken en een lage uitgangsimpedantie hebben. Een standaard kathodevolger voldoet precies aan deze eisen. Het -3dB frequentiebereik loopt van 15Hz tot 1,5MHz als de uitgang belast wordt met 10k $\Omega$ , de schakeling trekt een ruststroom van 4,55mA en de uitgangsimpedantie is 350 Ohm terwijl de versterking 1 maal is.

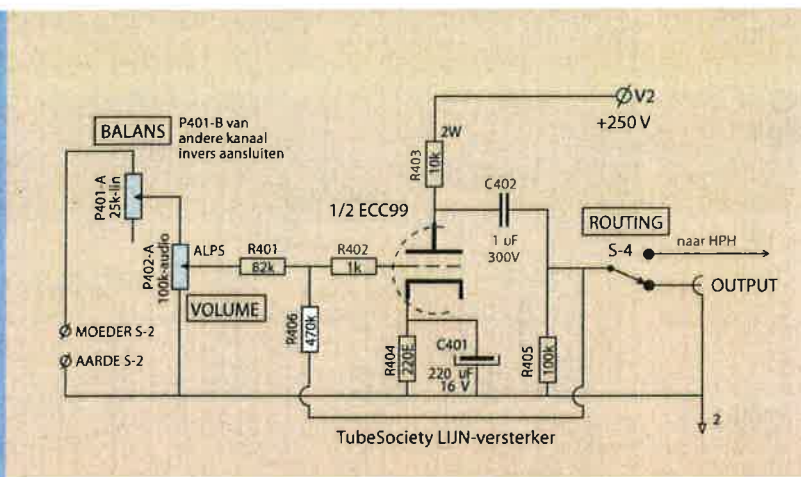
### ■ Lijnversterker

Alle audiosignalen lopen uiteindelijk door de lijnversterker van figuur 6 die 4 maal versterkt. Gaan we uit van een optimale uitgangsspanning van 1V<sub>eff</sub>, dan hebben alle rechtstreekse ingangen een gevoeligheid van 250mV<sub>eff</sub>. Een ECC99 is hier uitstekend op zijn plaats vanwege zijn

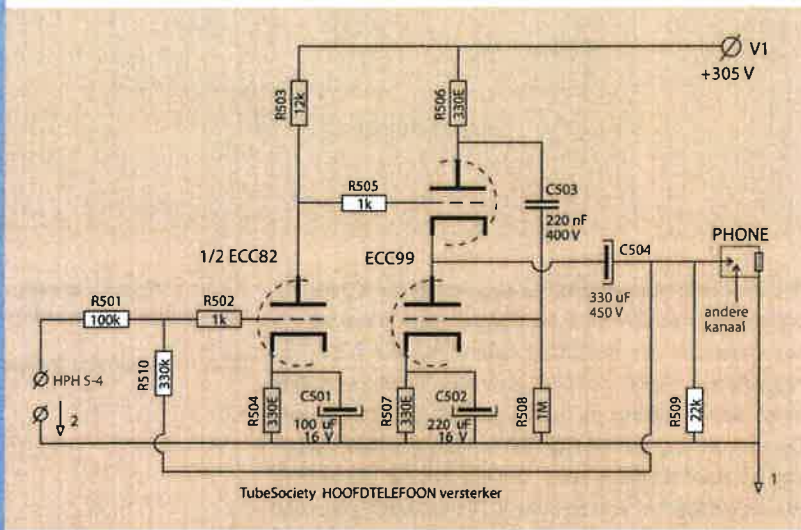
figuur 4: Actieve symmetrische ingangsversterker

figuur 5: Recorder buffer

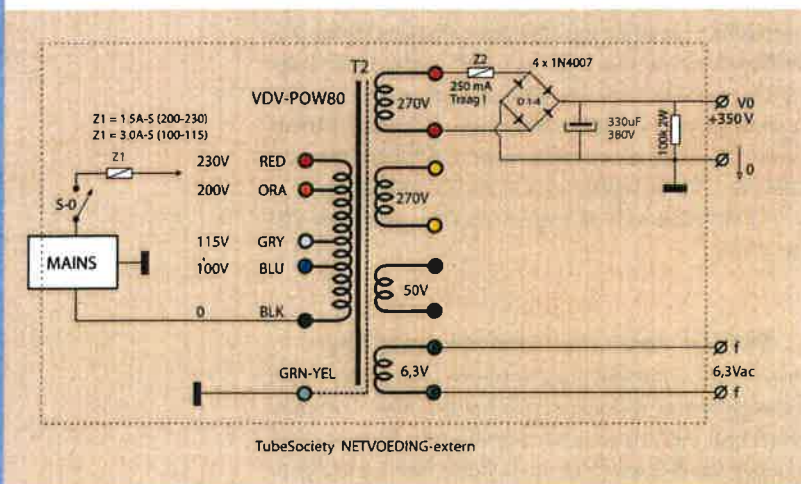




TubeSociety LIJN-versterker



TubeSociety HOOFDTELEFOON versterker



TubeSociety NETVOEDING-extern

figuur 6: Lijn versterker

figuur 7: Hoofdtelefoon versterker

figuur 8: Voeding in externe kast

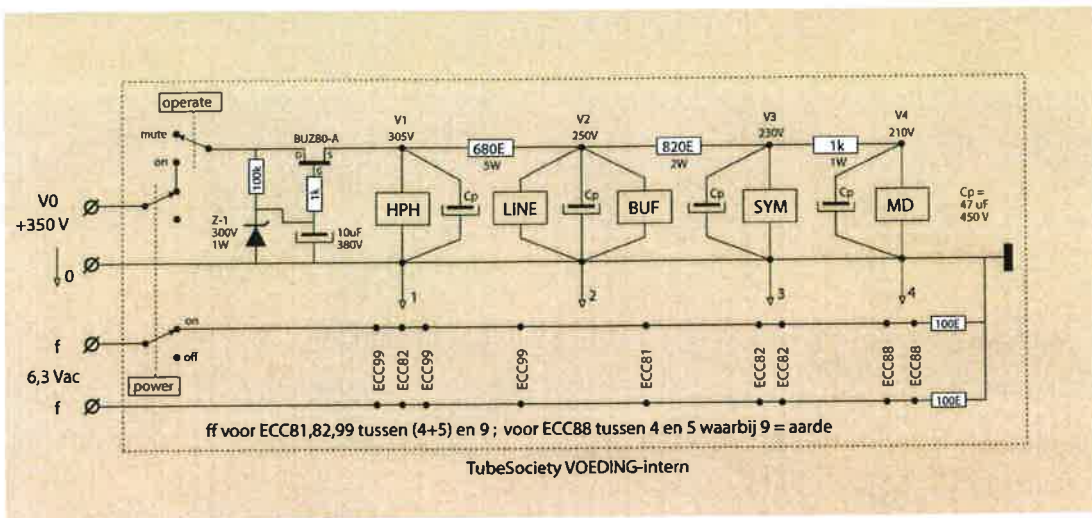
lage inwendige weerstand en voldoende grote open lus versterking. Door de ontkoppelde kathodeweerstand R404 blijft de uitgangsimpedantie laag en gelijk aan de inwendige buisweerstand parallel aan de anodeweerstand R403. De redelijk grote open lus versterking wordt door de tegenkoppeling met R401 en R406 tot effectief 4 maal teruggebracht, terwijl hierdoor ook de uitgangsimpedantie nog eens extra daalt. Dit laatste is beslist noodzakelijk omdat anders de inwendige capaciteit van lange coaxkabels tussen voor- en eindversterkers de bandbreedte te veel zou beperken. De ingangsimpedantie van de lijnversterker plus volumeregelaar P402 op maximumstand bedraagt 50 kOhm. De voorgeschakelde balansregelaar P401 (sluit het andere kanaal precies omgekeerd aan) heeft per kanaal een regelbereik van 3,5dB (dus is er maximaal 7dB verschil regelbaar tussen links en rechts). Dit lijkt weinig, maar de

functie van deze balansregelaar is slechts het opvangen van kleine versterkingsverschillen. De MD en symmetrische versterkers opereren namelijk open lus waardoor eventuele verschillen in hun buisparameters de correcte balans zullen beïnvloeden. Het regelbereik van P401 is ruim voldoende om deze verschillen op te vangen. Anders gezegd: deze balansregelaar zorgt er voor dat je "de stem in het midden" precies in het midden kunt instellen. Het -3dB frequentiebereik van de lijnversterker loopt van 5 Hz tot 55kHz bij een belasting van 10kOhm door de eindversterker en een uitgangsspanning van 1V<sub>eff</sub>. In eerste instantie lijkt het hoogbereik wat gering, maar voor audio is het meer dan voldoende. Zie parallel aan R406 de Miller-capaciteit tussen het stuurrooster en de anode van de ECC99. Deze begrenst de bandbreedte tot de genoemde 55kHz. Per kanaal trekt de schakeling 15 mA en de uitgangsimpedantie is 500 Ohm. De maximale uitgangsspanning met zeer lage harmonische vervorming bedraagt in een belasting van 10kOhm 28V<sub>eff</sub> = 29dBV.

### Hoofdtelefoon versterker

De hoofdtelefoonversterker van figuur 7 maakt aan de uitgang gebruik van de bekende White kathodevolger; zie 8). Op het internet is over de schakeling veel geschreven en wordt deze als een OTL versterker aangeduid, zie 9). Het belangrijkste kenmerk van de White kathodevolger is dat hij complexe belastingen met capaciteiten goed kan aansturen. De laad en ontlaadtijden worden kunstmatig aan elkaar gelijk gemaakt door de "tegenkoppeling" rondom C503 plus R508. De eisen die aan deze schakeling gesteld worden zijn zwaar omdat de meeste hoofdtelefoons tegenwoordig een impedantie van 32 Ohm hebben. Voor een enkele voorversterkerbuis is het dan niet gemakkelijk om voldoende spanningszwaai aan de uitgang te bereiken. Voor de ECC99 staat een halve ECC82 die zorgt voor voorversterking (de ECC99 versterkt hier slechts 1 maal) die vervolgens door middel van tegenkoppeling door R501 met R510 tot een effectieve versterking van 2 maal wordt teruggebracht. Het -3dB frequentiebereik van de gehele schakeling in een 32 Ohm belasting loopt van 6Hz tot ruim 180kHz. De maximale onvervormde uitgangsspanning in 32 Ohm bedraagt 6V<sub>eff</sub> = 2,1V<sub>eff</sub>. We kunnen dit gegeven koppelen aan de gevoeligheid van bijvoorbeeld een PMX100 Sennheiser hoofdtelefoon. Die levert bij 1V<sub>eff</sub> een geluidsdruk van 114dB<sub>SPL</sub> op de oren. Met deze hoofdtelefoonversterker wordt de maximale geluidsdruk dan 114 + 20log[2,1/1] = 120dB<sub>SPL</sub>. Deze maximale geluidsdruk is meer dan voldoende en ligt bij langdurig luisteren zelfs in de gevaarzone van oorbeschadiging. Veel goede maar oudere hoofdtelefoons hebben een impedantie van 160 Ohm of hoger. Deze versterker geeft dan onvervormd evenredig meer spanning af, zodat voldoende luid luisteren gewaarborgd is. Aan de uitgang zit nog die vervelende elco C504 van 330 µF met een werkspanning van minstens 300V. Hiervoor is de snap-in versie van BC-components gebruikt en die klinkt gelukkig prima. De uitgangsimpedantie bij C505 bedraagt effectief 14 Ohm en dat is laag genoeg om iedere hoofdtelefoon goed te dempen. Sommigen prefereren een ho-

figuur 9: Interne voedingsschakeling



gere uitgangsimpedantie. Dat kan door aan de uitgang een extra serieweerstand op te nemen met de optimale afsluitimpedantie voor de desbetreffende koptelefoon.

### De voeding

De netvoeding bestaat uit twee delen: een extern kastje met daarin de nettrafo en eerste gelijkrichting (zie figuur 8) en de verdere verwerking van de voedingsspanning in de voorversterker (zie figuur 9). Er is heel bewust gekozen voor een externe voedingstrafo, omdat het lekveld ervan nu geen storende en brommende aardstromen in de gevoelige audioschakelingen kan opwekken. Hierdoor hadden we een redelijke vrijheid van de keuze van aardpunten en de ligging van de afgeschermd kabels. De nettrafo is de VDV-POW80 waarvan slechts één enkele hoogspanningswikkeling is gebruikt. De gehele voorversterker gebruikt ongeveer 120mA van de hoogspanning en een enkelvoudige wikkeling kan al 180mA leveren; zie 10) voor meer details. De hoogspanning wordt gelijkgericht en gebufferd met 330  $\mu$ F, hierover staat een ontlaadweerstand van 100kOhm. Via een vieraderige afgeschermd kabel, gekoppeld aan de zeer goed afgeschermd 4-polige Speakon plug, gaan de 350V hoogspanning en de 6,3V gloeidraads spanning naar de eigenlijke voorversterker.

In de voorversterker wordt met de power-schakelaar de gloeidraads spanning en de hoogspanning aan/uit geschakeld. De "operate"-schakelaar schakelt vervolgens afzonderlijk de hoogspanning nog eens, waardoor "mute" en "on" mogelijk zijn geworden. De hoogspanning wordt met de Mosfet BUZ80-A en bijbehorende componenten van zijn storende en brommende rimpelspanning ontdaan. Tevens zorgt deze schakeling voor een langzame (in 0,5 s) inschakeling van de hoogspanning, waardoor de "power" en "operate" schakelaarcontacten niet zullen inbranden. Via R-C-netwerken worden de verschillende versterkerblokken van elkaar ontkoppeld waardoor overspraak via de voeding voorkomen wordt. Nu is ook de functie van de al eerder genoemde verschillende aardpunten duidelijk zichtbaar. Per versterkerblok wordt een stearde gecreëerd en via de bijbehorende Cp ontkoppeld. Op deze manier zullen aardstromen van veel stroom vragende schakelingen (zoals de hoofdtelefoonversterker) niet in de gevoelige schakelingen (zoals de MC-MC-trap) door kunnen dringen. Aardpunt 4 wordt tevens stevig aan de kast gekoppeld zodat de gevoeligste schakeling de beste afscherming van de kast krijgt.

De gloeidraads spanning van 6,3V wordt naar alle buizen gevoerd. Het schema geeft aan welke pinnen per buis gebruikt moeten worden. Bij de MC-MD trap wordt de gloeispanning naar aarde gerefereerd met behulp van twee 100 Ohm weerstanden. Dit is voldoende om geen last te hebben van enige brom via de gloeidraden.

### Bouwadviezen en luisterindrukken

In de voorversterker zijn consequent koolweerstand toegepast, want die vinden wij het meest muzikaal klinken. De audiosignaal dragende bekabeling bij de MC-MD versterker is 1mm zilverdraad van Siltech. Voor de rest is de dunne zilver coaxkabel van Johan Ketelaar toegepast. Alle schakelaars worden door 2) geleverd, de buisvoeten en knoppen komen van 11), de volumeregelaars zijn van Alps en de montagebordjes zijn afkomstig van 12). De lijnversterker heeft een paar dagen inspeeltijd nodig, maar als dat is gebeurd dan klinkt deze bijzonder open en snel en dynamisch. Het is goed hoorbaar dat de ECC99 stevig stroom trekt en daardoor geen problemen heeft om grote dynamische signalen af te leveren. In alle dynamiek blijft het geluidsbeeld uiterst stabiel. De MC-MD-trap klinkt warm en ruimtelijk, ruis is onhoorbaar terwijl tikken op de plaat inderdaad zacht blijven klinken. De ECC88 buizen van Mullard voldoen hier prima. De recorderbuffer doet wat hij moet doen: gewoon het signaal doorgeven. De symmetrische ingang is uiterst stil en heeft een soort "glad" karakter door de sterke afwezigheid van enige stoorsignalen. Luisteren over de hoofdtelefoon is een genot, het geluidsbeeld is uiterst direct en doortekend.

### verwijzingen:

- 1: [www.mennovanderveen.nl](http://www.mennovanderveen.nl) / tubesociety
- 2: [www.farnellnone.nl](http://www.farnellnone.nl)
- 3: [www.dekleine.nl](http://www.dekleine.nl)
- 4: [www.duncanamps.com](http://www.duncanamps.com)
- 5: [www.mennovanderveen.nl](http://www.mennovanderveen.nl) / transformatoren
- 6: [www.WaltJung.org](http://www.WaltJung.org) : Lipshitz & Jung: "A high accuracy inverse RIAA network"
- 7: Stanley P. Lipshitz: "On RIAA Equalization Networks \*1"; JAES 1979 June, pp.458-481.
- 8: H. de Waard: "Electronica", hoofdstuk 5.7
- 9: [www.headwize.com](http://www.headwize.com) / projects
- 10: [www.mennovanderveen.nl](http://www.mennovanderveen.nl) / projectnummer 9
- 11: [www.amplimo.nl](http://www.amplimo.nl)
- 12: [www.business.conrad.nl](http://www.business.conrad.nl)
- 13: voor nadere vragen: [info@mennovanderveen.nl](mailto:info@mennovanderveen.nl)

