

Vanderveen 73 Watt buizenversterker PR20HE-S2

In eerste instantie was deze ruim 70 W buizen eindversterker bedoeld voor gitaristen en voor geluidsversterking in grote ruimtes. Na enkele wezenlijke aanpassingen bleek deze krachtpatser eigenschappen te bezitten die volledig in de top van de high-end weergave thuishoren. Er wordt een bijzondere vorm van lokale tegenkoppeling toegepast waarmee lage vervorming en een doortekende basweergave worden bereikt. Het ruimtelijk beeld is bijzonder open, deze versterker "ademt" en plaatst je midden in de voelbare realiteit van de opname. In het vervolg van dit artikel wordt de zelfbouw van deze versterker beschreven.

Samenstelling bouwdoos en waarom geen kast

De kit bestaat uit alle elektronische componenten, trafo's en buizen, in en uitgang chassisdelen plus de geboorde bovenplaat (montageplaat) waarop de versterker compleet gebouwd kan worden. Bewust wordt er geen kast rondom die bovenplaat geleverd, omdat ik de vormgeving daarvan aan iedere zelfbouwer graag over laat. Dat kan hout zijn, of graniet of titanium, ieder heeft daarover zijn eigen gedachten en visie. De bovenplaat heeft dimensies die precies passen bij de kast van Personal Audio Concepts, zoals getoond op de foto's. Zie het einde van deze beschrijving waar men die hoogwaardige kast kan bestellen.

Inleiding

Wat maakt buizenversterkers zo bijzonder? Zijn dat de buizen of de transformatoren of is er nog iets anders aan de hand? In 2004 startte ik een onderzoek waarbij de invloed van de schematuur van de versterker centraal stond. Hiervoor ontwikkelde ik een soort universele versterker plus uitgangstransformator en voeding. Alleen door het verleggen van wat draden ontstonden totaal verschillende versterkers met vermogens van 5 tot ongeveer 80 Watt, inclusief single ended en balans en andere speciale koppelingen. Zie voor meer details 1) tot en met 5). Voor deze bouwdoos bespreek ik nu de versterker die als beste en krachtigste uit mijn onderzoek naar voren kwam. Het is de 73 Watt project-20 versterker. Na extra fijnafstemming ontstond hieruit de luxe high end versie van dit artikel, de PR20HE-S2, waarbij S2 duidt op een stereoversie bestaande uit twee monoblokken.

De audio schematuur

In figuur 1 is de schematuur van de versterker afgebeeld. De ingang links is gebalanceerd en bedoeld voor koppeling aan bijvoorbeeld een voorversterker met gebalanceerde XLR uitgang. Met een kleine wijziging kunnen ook asymmetrische ingangen op de "+in" ingang aangesloten worden. Zie daartoe de aanwijzingen voor R3 en R7 in het schema. De long-tailed ingangsversterker met de ECC81 functioneert tegelijk ook als fasedraaier. In de gemeenschappelijke kathode is met R6 een

stroombron gesimuleerd, waarbij de grote negatieve spanning $V_n = -72\text{ V}$ effectief wordt gebruikt.

Tussen de twee anodes van de ECC81 kan een capaciteit C1 (100pF/500V zilver mica) geplaatst worden om het frequentiebereik van deze stuurtrap enigszins te beperken. Hierdoor valt bij metingen een restresonantie in de universele uitgangstransformator bij ongeveer 90 kHz minder op. Je hoort echter de invloed van C1 niet, dus hij mag ook rustig weggelaten worden. Na deze voorversterking en fasedraaiing gaat het signaal via de condensatoren C3 en C4 naar de eindbuizen. De schakeling is geoptimaliseerd voor de befaamde EL156 eindbuizen. Deze hebben een maximale anodedissipatie van 50 W. Hierdoor is het mogelijk om grote ruststromen (veel klasse A) door deze eindbuizen te sturen. Maar de beroemde 6550-C eindbuizen van Svetlana ($P_{a,max} = 40\text{ W}$) doen het hier ook uitstekend; zie de meetgegevens voor meer details.

De ruststromen door de eindbuizen worden met de 10-slags potentiometers P12 en P13 ingesteld, die een negatieve voorspanning naar de stuurroosters sturen. In de kathodeleidingen zijn de twee weerstanden R17 en R18 opgenomen, waarop testpunten zijn aangebracht. Over elk van deze weerstanden moet 50 mV staan voor een optimale ruststroom van 50 mA per eindbuis. Met een externe voltmeter zijn deze spanningen gemakkelijk te meten en zo nodig met P12 en P13 bij te stellen.

De anodes van de eindbuizen zijn rechtsreeks op de primaire wikkeling van de universele VDV-GIT80 uitgangstransformator aangesloten. Deze staat ingesteld op een effectieve primaire impedantie $Z_{aa} = 8\text{ k}\Omega$. Zie 6) voor meer technische gegevens; de datasheet is aan deze manual toegevoegd. De hoogspanning op de middenaftakking bedraagt $V_0 = 720\text{ V}$. De schermroosters G2 krijgen via hun beveiligingsweerstand R16 en R19 een hoogspanning van $V_1 = 360\text{ V}$ aangeboden. Deze hoge spanningen zijn niet zo gebruikelijk, maar verklaren alvast wel waarom deze versterker zoveel vermogen kan leveren.

Met de hier gegeven getallen kan de anodedissipatie per eindbuis worden berekend. Deze bedraagt 720 V maal 50 mA en dat levert $P_a = 36\text{ W}$ op. Dit is een veilige waarde met de garantie voor een lange levensduur van de eindbuizen. Maar stel dat iemand nog meer klasse A instelling wenst waarbij beide eindbuizen voortduren tegelijk in bedrijf zijn? Dan geldt $P_{a,max} = 50\text{ Watt}$ gedeeld door $V_0 = 720\text{ V}$ en dat levert $I_{o,max} = 69,4\text{ mA}$ op. Ik raad deze hoge waarde niet aan wegens een sterk verkorte levensduur van de eindbuizen.

De kathodes van de eindbuizen zijn op een bijzondere manier gekoppeld aan de secundaire wikkeling van de uitgangstransformator. De middenaftakking (pin-2, blauwe aansluitdraad) ligt aan aarde, zodat de stroom door de eindbuis via de bijbehorende secundaire wikkelhelft naar aarde kan afvloeien. Door deze schakeling verschijnt per eindbuis een deel van de uitgangsspanning tussen diens kathode en stuurrooster. De effectieve spanningsversterking neemt hierdoor af. Dit is een sprekend voorbeeld van locale kathodetegenkoppeling (CFB = cathode feedback). Het gevolg is dat de dempingsfactor drastisch toeneemt terwijl de

harmonische vervorming in de eindbuizen plus transformator stevig wordt onderdrukt.

Aan de secundaire kant van de uitgangstransformator kunnen luidsprekers van 4, 8 en 16 Ohm aangesloten worden. Let er op dat dit altijd is ten opzichte van secundair tap-1, de zwarte draad.

In figuur 2 is de pinnummering van de gebruikte buizen weergegeven. De nummering van de EL156 en 6550-C is gelijk, dus rechtstreekse vervanging is mogelijk.

Voorkom brom met goede aarding

In het schema zijn twee aansluitingen voor aarding getekend, met de nummers 1 en 2. Deze zijn door een enkele draad met elkaar verbonden en als men hier goed oplet, dan kunnen bromproblemen bij de nabouw worden voorkomen. Sub-aarde-1 hoort bij de eindbuizen en de hoogspanningsvoeding en hier lopen de grote stromen van de eindbuizen. Aarde-2 hoort bij het gevoelige ingangscircuit rondom de ECC81. Als men de versterker bouwt moet er voor gezorgd worden dat de grote stromen door de eindbuizen bij sub-aarde-1 lopen en niet door aarde-2 gaan. Anders gezegd: de aarde-2 van R1,3 en C2 moet één sterpunt zijn dat vervolgens met een aparte draad verbonden wordt met sub-aarde-1. De aansluitingen van C5,6,P12,13 en secundair tap-2 gaan naar het sub-aarde-1 sterpunt. Vanaf hier gaat er een aparte draad naar de voeding. Op deze manier wordt voorkomen dat de grote stromen door de eindbuizen bij de gevoelige ingangsbuis terechtkomen. Aarde-2 is bij de stuurbuis verbonden met de metalen kast, terwijl sub-aarde-1 zwevend van de kast is en er niet direct mee is verbonden. Ook hierdoor worden reststromen (= brom) in het aardecircuit voorkomen.

De voeding

De schakeling van de voeding staat in figuur 3. Deze is opgebouwd rondom de universele voedingstransformator VDV-POW80. Zie 7) voor aanvullende details, de datasheet is aan deze manual toegevoegd. Primair kunnen hierop netspanningen van 100 V (Japan), 115 V (Amerika) tot 230 V (Europa) worden aangesloten. In het schema wordt de optimale primaire zekering per netspanning aangegeven. De aarde van het lichtnet wordt direct met bijbehorende kartelringen en soldeerlip uiterst stevig aan de metalen bovenplaat gekoppeld. Tussen de primaire en secundaire is in de POW80 een effectief aardscherm aanwezig (geel-groene draad) dat eveneens aan de hiervoor besproken kastaarde gekoppeld moet worden. Secundair zijn twee volledig gescheiden hoogspanningswikkelingen van 270 V aanwezig die elk afzonderlijk gelijkgericht en gebufferd worden. Tevens hebben ze elk een zekering en een gecombineerde stand-by schakelaar S2. Na uitschakeling van S2 worden de 330 uF buffer elco's redelijk snel ontladen door de hierover geplaatste 100 kOhm weerstanden. De gelijkgerichte hoogspanningen bedragen elk 360 V. Door serieschakeling komen de gewenste spanningen van $V_0 = 720 \text{ V}$ en $V_1 = 360 \text{ V}$ beschikbaar.

De derde wikkeling van 50 V levert na gelijkrichting en buffering de noodzakelijke negatieve spanning $V_n = -72$ V. Deze negatieve spanning is bewust niet gezekeerd, omdat hij hoe dan ook altijd aanwezig moet zijn. Zou V_n wegvallen, dan blazen de eindbuizen zichzelf per definitie op, en dat kan nooit de bedoeling zijn.

De gloeidraadspanning van 6,3 V wordt door de vierde wikkeling geleverd. Deze is kunstmatig door twee extra 100 Ohm weerstanden in het midden geaard, vlak bij de ingangsbuis bij aarde-2.

Meetgegevens

De belangrijkste meetgegevens staan in onderstaande tabel. De meeste gegevens spreken voor zich. Het is interessant om naar de -3dB vermogensbandbreedte te kijken. Deze wordt op -3dB van het maximum uitgangsvermogen gemeten, dus bij 36 Watt. Aan de laagfrequente kant begint de zachte kernverzadiging in de uitgangstrafo net onder 18 Hz. Boven 18 Hz is er geen vuiltje in de lucht. Bij 73 Watt uitgangsvermogen begint de kern onder $18 \cdot \sqrt{2} = 25$ Hz verzadigd te raken. Als we op normaal luisterniveau van 2 Watt in de huiskamer het frequentiebereik meten, dan ligt de -3dB ondergrens bij 4 Hz. Deze extreem lage frequentie wordt bereikt omdat de primaire zelfinductie van de VDV-GIT80 zo extreem groot is.

Aan de hoogfrequente kant is het -3dB bereik consequent ongeveer 26 kHz, onafhankelijk van het uitgangsvermogen! Deze begrenzing wordt gevormd door de lekinductie L_{sp} en de interne capaciteit C_{ip} van de uitgangstransformator en niet door de buizenschakeling. Deze metingen komen volledig overeen met mijn oorspronkelijke ontwerpeis van de VDV-GIT80, waarvan het -3dB bereik voldoende boven 20 kHz moet liggen. Het is mogelijk om dit bereik sterk te vergroten door mijn ringkern transformator VDV-4070CFB toe te passen, dan met een enkelvoudige secundaire belasting van 8 Ohm.

De uitgangsimpedantie Z_{uit} is afhankelijk van de ruststroom en het type eindbuis. Hij is zo laag omdat kathodetegenkoppeling wordt toegepast. Deze versterker zal de meeste dynamische luidsprekers meer dan voldoende te dempen voor een strakke en snelle laagweergave.

De ingangsgevoeligheid ligt op 2 Vrms, dus de meeste CD spelers kunnen deze versterker volledig uitsturen. Een extra voorversterker is dan niet nodig, hoogstens een extra volumeregelaar van bijvoorbeeld 100 kOhm logaritmisch aan de ingang. Neem voor de symmetrische ingangsschakeling een stereo potentiometer die de plus- en miningen gelijkelijk regelt.

De bromspanning aan de uitgang bedraagt 3 mVtt waarvan 2 mVtt wordt veroorzaakt door rechtstreekse instraling van het magnetische lekveld van de transformator van de voeding in de uitgangstransformator. Dit kan verminderd worden door deze trafo's nog verder van elkaar weg te zetten, maar deze 2 mVtt is in mijn optiek voldoende gering. De buizenschakeling levert dankzij de zorgvuldige aarding slecht 1 mVtt extra bromspanning en dat is heel weinig. Ruis is overigens onhoorbaar, zelfs met het oor pal tegen de luidspreker.

| VDV-PR20HE meetgegevens | EL156 | EL156 | 6550-C | eenheid |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| Ruststroom I_o per eindbuis | 40 | 50 | 40 | mA |
| V0 | 726 | 716 | 728 | V |
| V1 | 363 | 358 | 364 | V |
| Va1 bovenste EC(C)81 | 199 | 199 | 199 | V |
| Va2 onderste E(C)C81 | 196 | 196 | 196 | V |
| Vn | -72 | -72 | -72 | V |
| Vg1 eindbuizen (indicatief) | -23 | -22 | -43 | V |
| P-max @ 1kHz | 71 | 73 | 75 | W |
| -3dB vermogensbandbreedte | 18 - 26 | 18 - 26 | 18 - 28 | Hz - kHz |
| -3dB frequentiebereik @ 2 W | 4 - 27 | 4 - 27 | 7 - 27 | Hz - kHz |
| Z-uit aan 4 Ohm uitgang | 2,5 | 2,3 | 3,5 | Ohm |
| V-in asymmetrisch @ 70 Watt | 2,0 | 2,0 | 2,5 | Vrms |
| Bromspanning aan uitgang | 4 | 3 | 4 | mVtt |

Over de kast van Personal Audio Concepts

De behuizing van deze versterker is ontworpen door het bedrijf Personal Audio Concepts. In het linker verticale deel zit een logicaschakeling voor de aansturing van de kanaalselectie en de hoofdvolumeregeling met een afstandsbediening. Achter in elk monoblock zit de eigenlijke schakeling van de volumeregeling die met veel kleine relais via weerstand spanningsdeling is uitgevoerd. De volumeregelaar per monoblock heeft slechts een bereik van 0 dB tot -10 dB en dient alleen om de versterking van de monoblocks onderling gelijk te maken. Meerdere monoblocken kunnen aan elkaar gekoppeld worden (bijvoorbeeld voor surround) die allemaal door dezelfde linker hoofdunit worden aangestuurd. De rechter verticale unit is leeg. Deze kan bijvoorbeeld gebruikt worden als behuizing voor een platenspeler voorversterker. Zie 8) voor meer details over deze "Add on Amps" kasten en hun verkrijgbaarheid.

Over de zelf te bouwen kast

Welke vorm men ook wenst en realiseert; het blijft belangrijk dat de kast aan de binnenkant elektrisch is afgeschermd en dat die afscherming met de metalen bovenplaat wordt verbonden. Gebruikt men bijvoorbeeld houten zijwanden en een houten bodemplaat, bekleed dat hout dan aan de binnenkant met aluminium folie en zorg ervoor dat de bovenplaat daar goed contact mee kan maken. Op deze manier wordt de kast een kooi van Faraday en kunnen stoorsignalen de versterker niet binnendringen. De plaatsing van chassisdelen wordt ook aan de zelfbouwer overgelaten. Het beste kan men een afzonderlijk aluminiumplaatje maken met de gaten voor die onderdelen, bijvoorbeeld op de achterkant van de versterker. De plaatsing van netschakelaar en standby schakelaar is ook vrij, maar het beste is vlak bij het netsnoer aan de achterkant. Wenst men een lichtje op de versterker, neem dan een geschikt gloeilampje dat goed

op de 6,3 V gloeidraadspanning werkt. Een gloeilampje is beter dan een 230V neonlampje, want die wekt stoorsignalen op.

Bouwaanwijzingen

In foto-2 is te zien hoe ik de versterker op/onder de bovenplaat gebouwd heb. De montagebordjes zijn vastgezet met de schroeven waarmee de trafo's ook vastzitten. Alle bekabeling is in de eindfase van de bouw met bindstrips in een enkele hoofdboom door het middenvlak samengevoegd. Hiermee wordt voorkomen dat het magnetische lekveld van de voeding een gesloten oppervlak van een aardelus aanstraalt, waardoor opnieuw brom zou kunnen ontstaan. De 330 uF elco's moeten goed geïsoleerd van het chassis worden gemonteerd om doorslag van de hoogspanning te voorkomen.

Foto-3 toont het montagebordje van de voeding, terwijl foto-4 details laat zien van de buizensectie.

Vervolgens treft men in deze handleiding 11 tekeningen (figure-construct) aan, waarin stap voor stap getoond wordt hoe de versterker wordt opgebouwd. Het is slim om per tekening de bouw te volgen en daarna de volgende tekening na te gaan bouwen. Zo ontstaan er geen conflicten (volgordeproblemen) in de zelfbouw en is bij iedere stap duidelijk wat men aan het doen is.

Alle externe verbindingen kunnen gemaakt worden met de 13-voudige kroonstrip die eventueel met M3 boutjes (hiervoor zijn geen voorgeboorde gaatjes aanwezig, zelf boren) of dubbelzijdig kleefband aan de bovenplaat wordt bevestigd. Of men deze strip toepast of niet, is in wezen niet zo belangrijk. Men kan de verbindingen ook rechtsreeks naar de chassisdelen leggen. Echter voor reden van overzichtelijkheid is de kroonstrip toegepast.

De luidsprekeraansluiting is getekend voor 4 Ohm. Wenst men andere impedanties (8 of 16 Ohm) dan moet de rode aansluiting aan het desbetreffende contact van de strip aangesloten worden. Ook kan men eventueel twee extra 4 mm luidsprekerbussen kopen (bestel bij Amplimo) zodat aan de achterzijde deze impedanties direct toegankelijk zijn.

De ingang kan symmetrisch zijn (XLR-3-F) of a-symmetrisch (cinch). Let daarbij op de bijbehorende waarden van R3 en R7. Hun waarden staat op de tekeningen en in de tekst aangegeven.

Subjectief

Geen enkele ontwerper ontkomt er aan dat hij razend enthousiast is over zijn eigen creatie. Ik ben dat ook, maar noem nu alleen die zaken die echt opvallen. Het geluid heeft veel krachtige power, een uitmuntende klankbalans en is opmerkelijk snel en doortekend en ruimtelijk. Het geluidsbeeld heeft een levendig karakter, het ademt, je voelt de akoestiek van de opname. Ik heb ruim 40 jaar al versterkers gebouwd, en vele topproducten van anderen getest toen ik journalist bij HomeStudio was. Ik kan dus vergelijken, en ik vind dat de PR20HE-S2 een van mijn beste versterkers is, vooral omdat emotie zo goed wordt doorgegeven. De realiteitszin van het geluid is extreem hoog. Ik hoop dat de nabouwers

deze waarneming zullen bevestigen en hoor hun reacties graag. Veel succes met de bouw van deze schitterende versterker.

Bronnen:

- 1) www.mennovanderveen.nl ; het project
- 2) www.aes.org ; paper 6347 Barcelona 2005
- 3) AudioXpress January 2006, pp. 6 - 19
- 4) Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2"; hfdst 9
- 5) zie 1) project 28: de uitdaging
- 6) zie 1) project 8: de VDV-GIT80
- 7) zie 1) project 9: de VDV-POW80
- 8) www.addonamp.eu (Personal Audio Concepts)
- 9) www.mennovanderveen.nl ; transformatoren
- 10) Voor nadere vragen: info@mennovanderveen.nl

figuur 1: Audio schematuur van de VDV-PR20HE

figuur 2: Pinnummering van de ECC81 en de EL156/6550-C.

figuur 3: Voeding van de VDV-PR20HE

Foto-1a: VDV-PR20HE hoofdfoto met kast van Personal Audio Concepts

Foto-1b-1c: andere aanzichten van foto-1a

Foto-2: onderaanzicht VDV-PR20HE

Foto-3: details Voedingsdeel

Foto-4: details Versterkerdeel

figure-construct 1 tot 11: details van de bouw;

volg deze stap-voor-stap opbouw om volgordeproblemen te voorkomen.