

Jack Pieterse beschrijft een voorversterker met actief scheidingsfilter, uitgevoerd met buizen. Samen met extra eindversterkers vervangt dit filter het passieve scheidingsfilter van een luidspreker, resulterend in extra gedetailleerde en schone geluidsweggeving.



De Dirigent

buizenvoorversterker met actief scheidingsfilter

DOOR JACK PIETERSE

Het scheidingsfilter in een luidspreker is een moeilijk te dimensioneren schakeling. Het kan makkelijk buiten zijn ontwerpcondities komen door complex gedrag van de diverse componenten. Dit kwam ik zelf tegen bij het ontwerpen en bouwen van mijn luidsprekers. Het resultaat was niet bevredigend en ik wilde een echt goede oplossing. Ik volgde op dat moment de TubeSociety opleiding (zie 1) en daar werd uitgelegd dat actieve filtering goed en eenvoudig te realiseren is. Daarmee startte het ontwerp van dit artikel.

De Dirigent zorgt voor voorversterking en actieve filtering. Het gesplitste signaal wordt geleid naar de stereo eindversterker UL40-S2 voor het mid-hoog en twee mono PR20-HE eindversterkers voor het laag.

De mogelijkheden van De Dirigent zijn:

- Gebruik als normale voorversterker door middel van een volume geregelde uitgang
- Bi-ampers doordat er een extra onafhankelijke volume geregelde uitgang aanwezig is. Daarmee kunnen eindversterkers met verschillende versterkingsfactoren worden gebruikt
- Actieve filtering voor een tweeweg luidspreker door middel van een Hoog Door Laat Filter uitgang en een Laag Door Laat Filter uitgang
- In de toekomst ook een MDLF waardoor een drieweg luidspreker kan worden aangestuurd met actieve filtering

Ik heb een afstandsbediening gemaakt voor de volume-regeling met een afstandsbediening. Deze stuurt een sig-

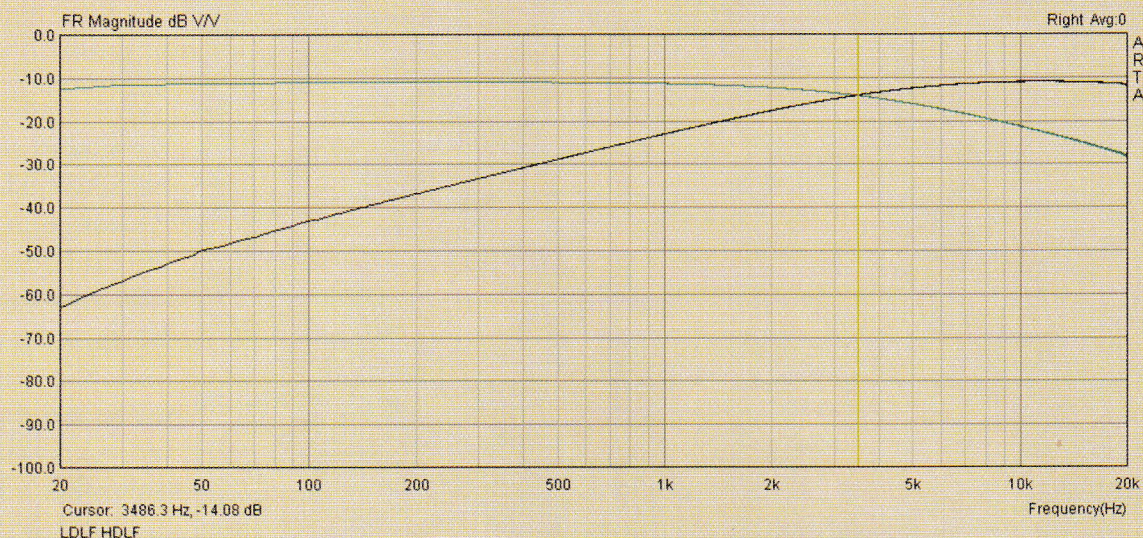
naal naar de 100 KOhm log ALPS potmeter met servomotor. Met dit ontwerp heb ik een breed inzetbaar en multifunctioneel ontwerp gemaakt dat de naam van Dirigent verdient.

Netvoeding

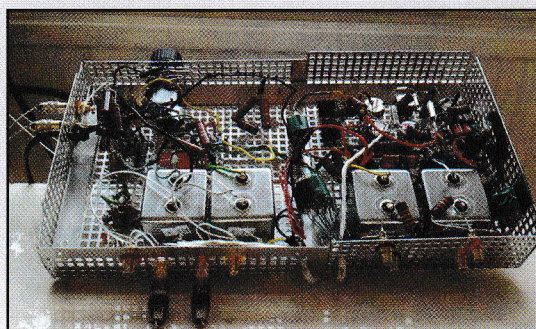
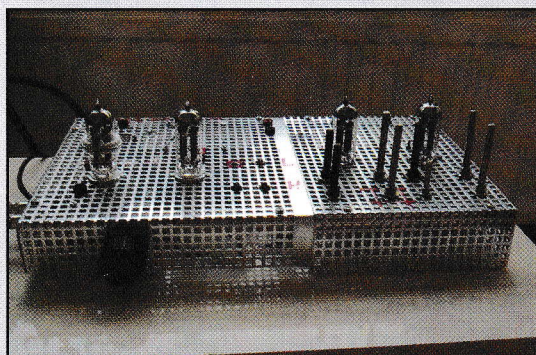
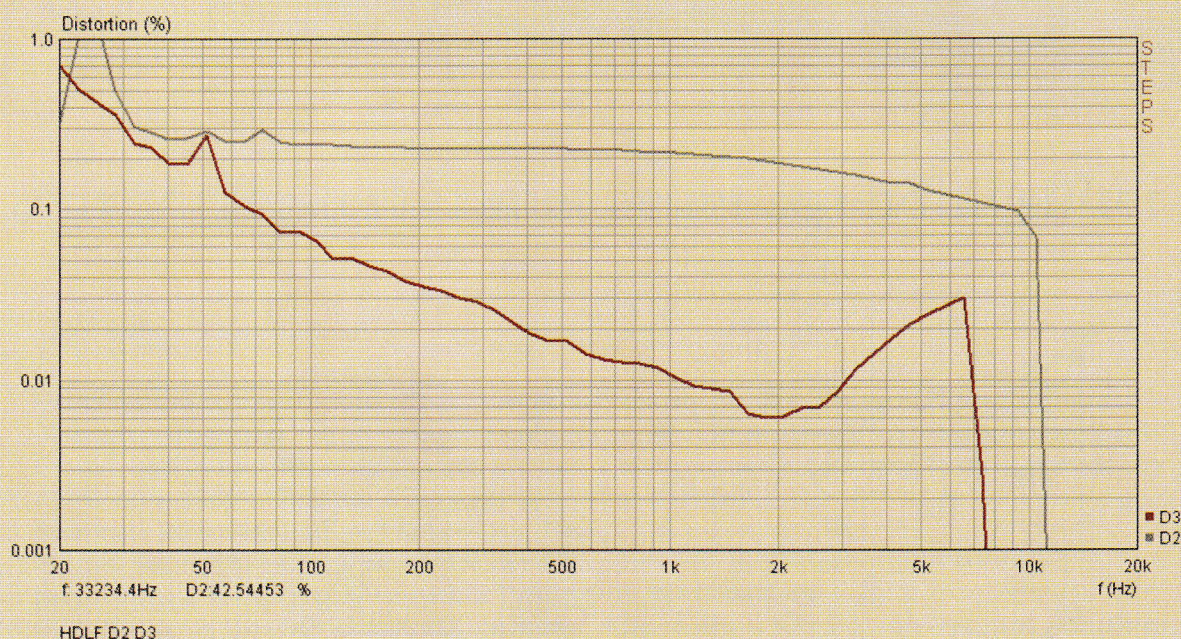
De voeding is buiten de voorversterker geplaatst en daarmee is de invloed op en verstoring van de voorversterker minimaal; zie figuur 1 voor het schema. De kwaliteit van de voeding is van groot belang voor de kwaliteit van de voorversterker. Het voedingsgedeelte is ook een ingang en elke vorm van bromresten wordt direct in het uitgangssignaal hoorbaar en oversturen de microdetails van het geluidssignaal. Daarom heb ik daar extra aandacht aan gegeven. Elco's geven geluidsbeïnvloeding, zie (2). Daarom heb ik twee maal een actieve afvlakking gebruikt, één met elco's gevolgd door één zonder. Dit levert wel een kleine puls op in het uitgangssignaal als de voeding uitgeschakeld wordt. Deze storing blijft echter wel binnen aanvaardbare grenzen. De resulterende rimpelspanning (brom) op de hoogspanning is kleiner dan 1 mV. Een bijkomend prettig effect is dat na inschakelen de hoogspanning langzaam in ongeveer 40 s oploopt tot de gewenste waarde. De hoogspanning is makkelijk te wijzigen door de zenerspanning van de eerste afvlakking aan te passen. Voor mijn ontwikkelversie was deze instelbaar tussen 200 V en 400V door middel van schakelaartjes. Uiteindelijk is gekozen voor 300 V hoogspanning.

De gloeispanning bedraagt 12,6 Vdc. Deze is goed af te regelen met een aantal serieweerstanden en dat is van

Figuur 3.
Frequentie karakteristieken van de filters, ingesteld op 3,5 kHz



Figuur 4.
2-e en 3-e harmonische vervormingen van het LDLF

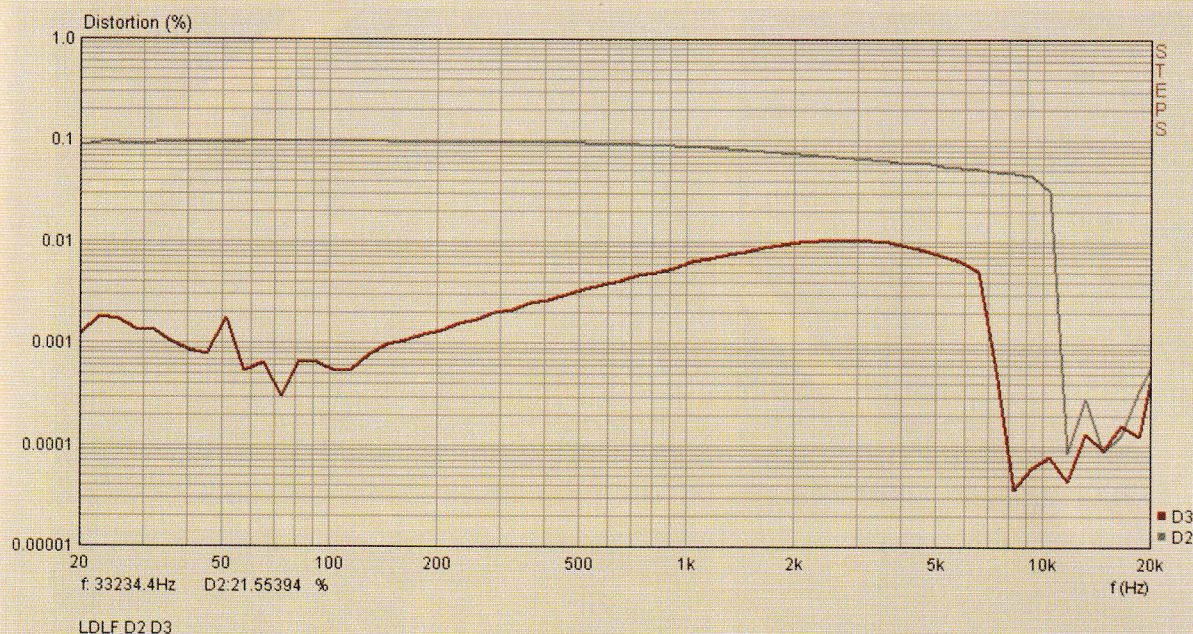


klinkt prachtig open en gedetailleerd. Dat komt vooral omdat de uitgang gekozen is aan de bovenste kathode en niet zoals gebruikelijk aan de onderste anode. Deze schakeling is uitgebreid onderzocht en beschreven door Menno van der Veen. Merk op dat de kathode-weerstanden R15 en R16 iets verschillende waarden hebben, wat voortkomt uit het onderzoek van Peter Dieleman. De balans (R10) en volumeregeling (R12) spreken voor zich en zijn al volledig geoptimaliseerd in de Vanderveen MCML05 voorversterker. De koppelcondensator $C1=4\mu\text{F}$ aan de uitgang heeft een hoge capaciteit, waardoor de volgende belastingen het laag-frequente gedrag niet aantasten.

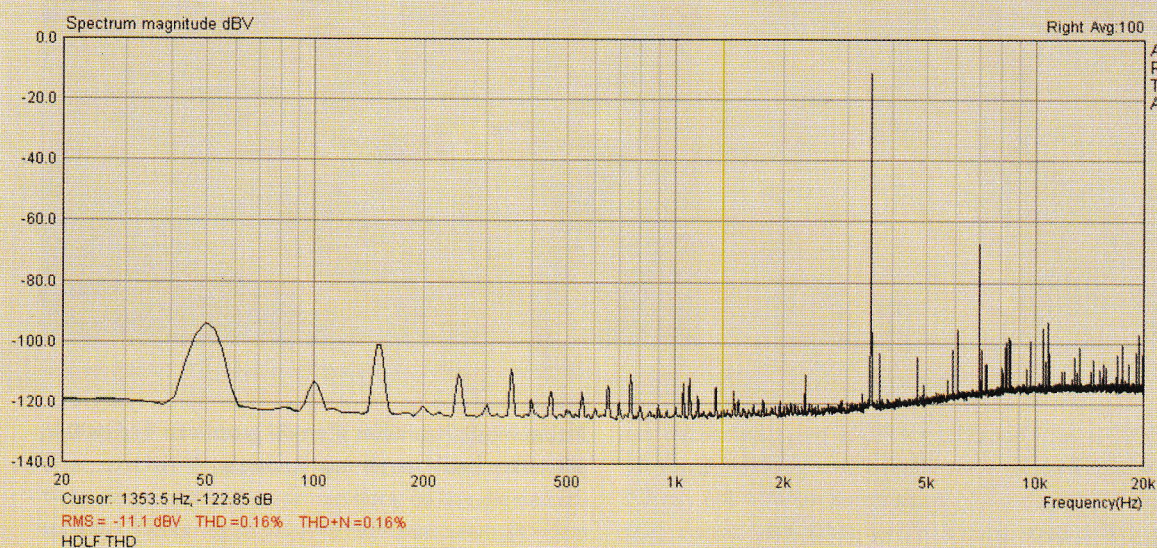
Rondom de kathodevolger V2b is een extra uitgang gebouwd. Hiermee kan volumege-regeld (R17) een extra eindversterker worden aangestuurd die het ongefilterde signaal ontvangt.

Actieve Filters

Om deze voorversterker als actief filter bruikbaar te maken heb ik per frequentiegebied een regelbare uit-



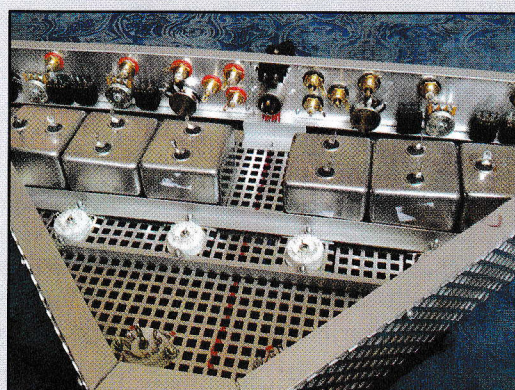
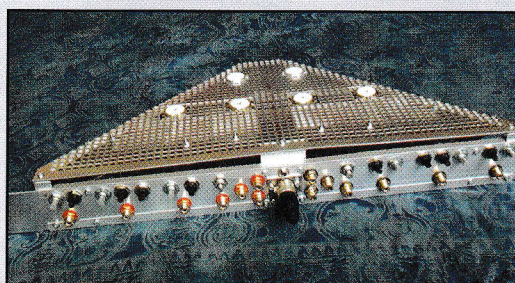
Figuur 5.
2-e en 3-e harmoni-
sche vervormingen
van het HDLF

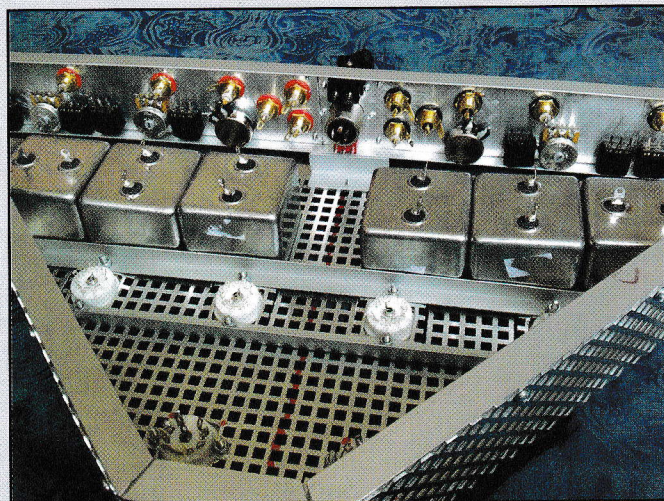
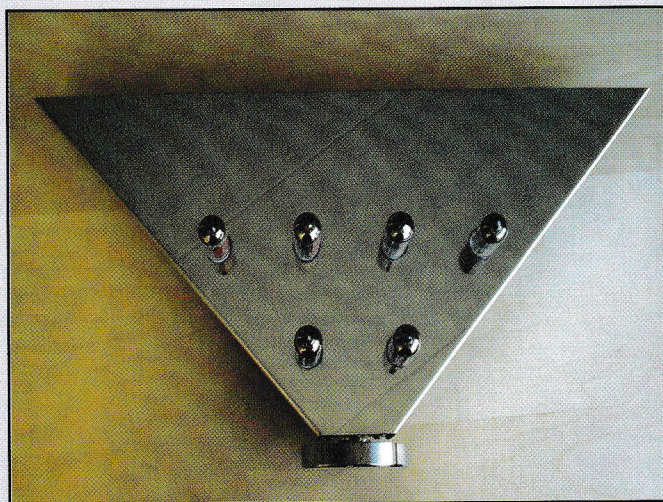
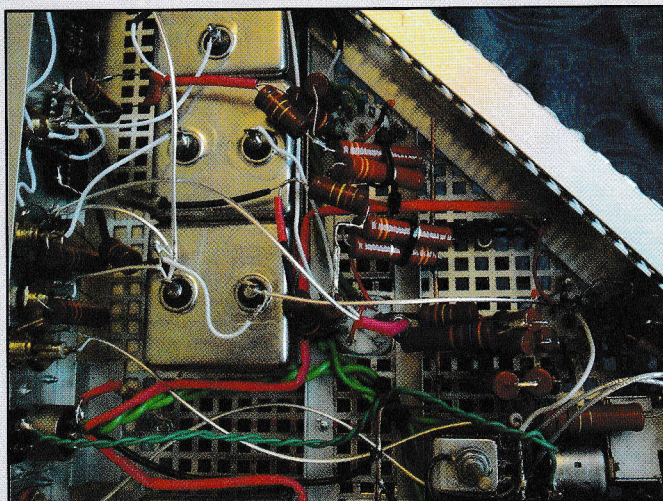
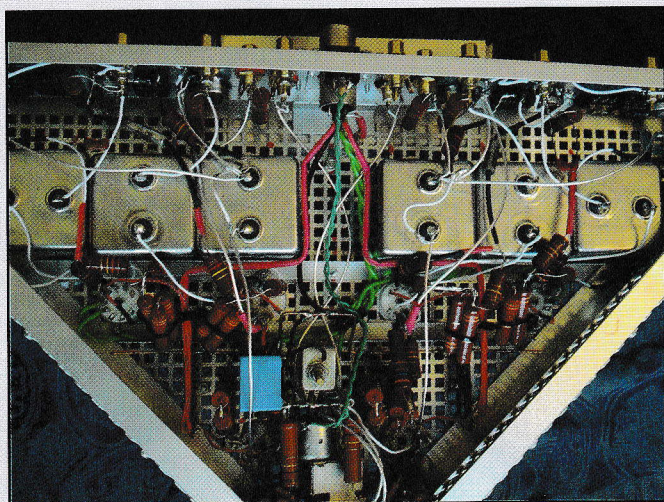


Figuur 6.
Spectrum van vervor-
mingsproducten van 3,5
kHz plus brom en ruis.

gangspanning en kantelfrequentie nodig. Daarmee is in combinatie met twee stereo eindversterkers en twee tweeweg luidsprekers een werkend systeem te maken. Afstellen van de kantelfrequenties van het HDLF en LDLF doe ik met het meetsysteem ARTA (zie 4). De respectievelijke volumes stel ik in met een 30 bands portabel meetsysteem, zodat de laagfrequente en hoogfrequente delen samen een vlakke frequentiecarakteristiek opleveren. Daarbij is een voorwaarde dat er minimale onderlinge beïnvloeding is tussen de volume en frequentie regelingen in het actieve filter.

Ik heb gekozen voor eerste orde filtering door middel van een R-C of C-R schakeling. Deze zijn eenvoudig te maken en veroorzaken vrijwel geen faseverschuiving (maximaal slechts 90°). De twee filtersecties zijn opgebouwd met C4-R23-R24 en R31-R32-C7. Hierin zijn R24 en R32 beiden 100 kOhm potentiometers waarmee de -3dB filterfrequenties kunnen worden ingesteld. Deze frequenties vallen eenvoudig te berekenen met de bekende formule: $f_{-3} = 1/(2 \times \pi \times R \times C)$. Het resultaat is een instelbereik van de kantelfrequentie van 2500 –





4500 Hz voor het LDLF en HDLF met de waarden van C4 en C7 zoals in het schema weergegeven. Door de formule te gebruiken en daarmee de waarden van C4 en C7 te berekenen kan men ieder instelbereik naar eigen wens maken.

De filtersecties worden gevolgd door een eigen volumeregelaar van 1 MOhm. Deze hoge impedantie zorgt er voor dat de ingestelde filterfrequentie nauwelijks (minder dan 10%) door de volumestand wordt beïnvloed.

Na de volumeregelaars volgen twee kathodevolgers (V3b en V2b) die er voor zorgen dat de daarop volgende eindversterkers op geen enkele manier de filtersecties kunnen beïnvloeden. Deze kathodevolgers stellen zichzelf in, maar hebben daarvoor koppelcondensatoren nodig (C5 en C8), evenals uitgangscapacitors (C6 en C9).

De kwaliteit van deze koppelcondensatoren is heel belangrijk voor een goed eindresultaat. Op een open dag van TubeSociety vond onlangs een vergelijkende luistersessie plaats om het kwaliteitsverschil waar te nemen tussen verschillende typen condensatoren. Op grond van die proeven heb ik uiteindelijk gekozen voor papier in olie condensatoren in een stevige behuizing. Ik heb in de dump een groot aantal kunnen kopen, de

kleine van 0,01 $\mu\text{F}/400\text{ V}$ en de grote van 4 $\mu\text{F}/600\text{ V}$, allen zeer bruikbaar in mijn ontwerp.

Opbouw

De kast bestaat uit geperforeerde aluminium plaat en wat hoeklijn profielen. Gaten (5 mm) zijn er al; wegknippen van de vierkantjes, boren en vijlen leveren geschikte gaten om buisvoeten, potmeters en cinch aansluitingen te monteren. De roestvrij stalen cover schuif ik er laatste overheen en zet ik met vier schroefjes vast. De volumeknop maakt het geheel af; het geheel levert een modern en plat design.

Aarding

De aarde van de netstekker wordt via de voeding direct na binnenkomen in de voorversterker aan de aluminium kast verbonden. De audio ingangsaarde wordt bij de volume potmeter R12 aan de kast verbonden. De plus en min van de hoogspanningsvoeding worden aangesloten bij V1 en V2 en V3, omdat hier 14 mA per triode loopt en de aanvoer zo centraal en kort mogelijk blijft. Er is een korte verbinding gemaakt van de voeding min-aansluiting naar de ingangsaarde. Het bovenstaande is gebaseerd op het artikel van Guido Tent in de Elektor Audio Special van 2009. Verder is de gloeidraadspanning met twee 100 Ohm weerstanden aan de kast verbonden.

den (direct na het binnen komen van de kast). Het resultaat is dat ik geen brom meer waarneem. Ik hoor met mijn oren op 20 cm afstand of verder weg geen brom uit de luidspreker. Ruis heb ik niet waargenomen met mijn oor vlak voor de hoge tonen tweeter.

■ Meetresultaten

Ik heb gebruik gemaakt van het ARTA meetsysteem met USB geluidskaart aangesloten op een notebook. De metingen zijn verricht bij -11 dBv om te garanderen dat de ingang van de geluidskaart niet overstuurd wordt.

In figuur 3 worden de karakteristieken van het hoog en laagdoorlaat filter gezamenlijk getoond. De ingestelde kantelfrequentie bedraagt hier 3,5 kHz. Het eerste orde filtergedrag is in deze meting goed te zien. Bij 20 kHz is enige afval herkenbaar, maar die zit in mijn geluidskaart en niet in het filter.

De figuren 4 en 5 tonen de vervorming die veroorzaakt wordt door de tweede en derde harmonischen. De hogere harmonischen verdwijnen in de ruisvloer van mijn geluidskaart, dus daar kan ik niks over melden; zie figuur 6. De totale vervorming is 0,07% THD (LDLF) en 0,16% (HDLF) en de ruis is < 0,01% van beide filters. Figuur 6 toont ook duidelijk aan hoe goed de hoogspanningsvoeding voor brom ontkoppeld is. De 50 Hz component ligt op -90dBv, en dat is prettig gering.

■ Luisterervaring en toekomst

Ik heb geluisterd naar mijn voorversterker zonder filtering en rechtstreeks aangesloten op een luidspreker met passief scheidingsfilter; dit noem ik "traditioneel". Daarnaast heb ik geluisterd naar de voorversterker plus twee eindversterkers voor mid-hoog en laag die de luidsprekers via hun eigen passieve filter aansturen; dit noem ik "bi-ampen". Ten slotte heb ik geluisterd naar de voorversterker met actief filter plus bijbehorende versterkers die de luidsprekers rechtstreeks zonder passieve filtering aansturen; dit noem ik "actief".

Het valt op dat een traditionele voorversterker een dynamiekverbetering geeft ten opzichte van geluidsweergave zonder voorversterker. Bij het bi-ampen treed al een grote verbetering op; vooral de laagweergave en detaillering worden veel beter. Met actieve filtering wordt het bovenstaande nogmaals verbeterd. De plaatsbepaling is veel beter en het lijkt wel of er een zweem van het geluid afvalt. Ademloos heb ik waargenomen hoe mooi het nu klinkt; alle rinseltjes (vervorming) en vooral de altijd aanwezige "ssssss" op de stemmen zijn verdwenen. Scherpheid die al 1,5 jaar elke keer op loer lag is geheel weg. Ik werd er emotioneel van, het resultaat overtreft al mijn verwachtingen.

Merk overigens ook op dat door het gebruik van meerdere eindversterkers deze individueel minder vermogen hoeven te leveren en daardoor minder zullen vervormen. Het gebruik van goede weerstanden en condensatoren en interne signaalbekabeling heeft tevens een grote invloed op de kwaliteit van de voorversterker en dat is goed waarneembaar in de luistersessies.

De Dirigent is geschikt voor uitbreiding met een mid-denfilter (MDLF), wat het aansturen van een drieweg luidspreker mogelijk maakt. Daarvoor heb ik meer eindversterkers nodig en dat wordt mijn volgende project. Het ontwikkelen en bouwen van een Single Ended versterker van ongeveer 10W met een hele lage vervorming (zonder tegenkoppeling). Deze zal het zo belangrijke middengebied gaan versterken. De UL40-S2 in triode instelling wordt dan gebruikt voor de hoge tonen en de PR20HE eindversterkers voor de lage tonen. Ik zit nu al te smullen.

Referenties:

- 1: www.mennovanderveen.nl ; sectie Tubesociety
- 2: www.triodedick.com/componenten/condensatoren
- 3: Guido Tent: Storingen oplossen in buizenversterkers; Elektor Audio Special 2009
- 4: Arta: www.fesb.hrl/~mateljan/arta
- 5: Voor vragen of opmerkingen: pieterson@vodafone.nl

