DOOR BERT AKKERMANS

In dit geavanceerde ontwerp wordt alles gedaan om de omgeving van een puur analoge buizenversterker zo optimaal mogelijk te maken. Met nadruk worden de voedingsspanningen met moderne hedendaagse technieken geoptimaliseerd. Het eigenlijke buizendeel betreft een balansversterker die op vele manieren valt in te stellen.

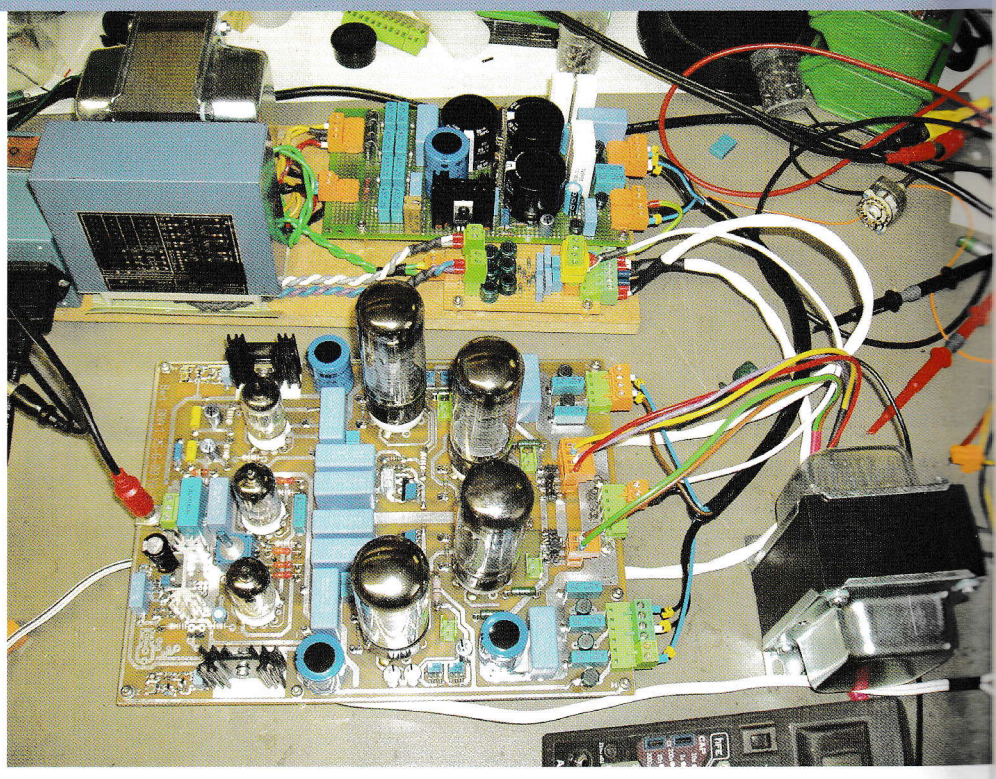


Foto 1: Versie 6 van de experimentele versterker in proefopstelling

Moderne Experimentele 30W buizenversterker

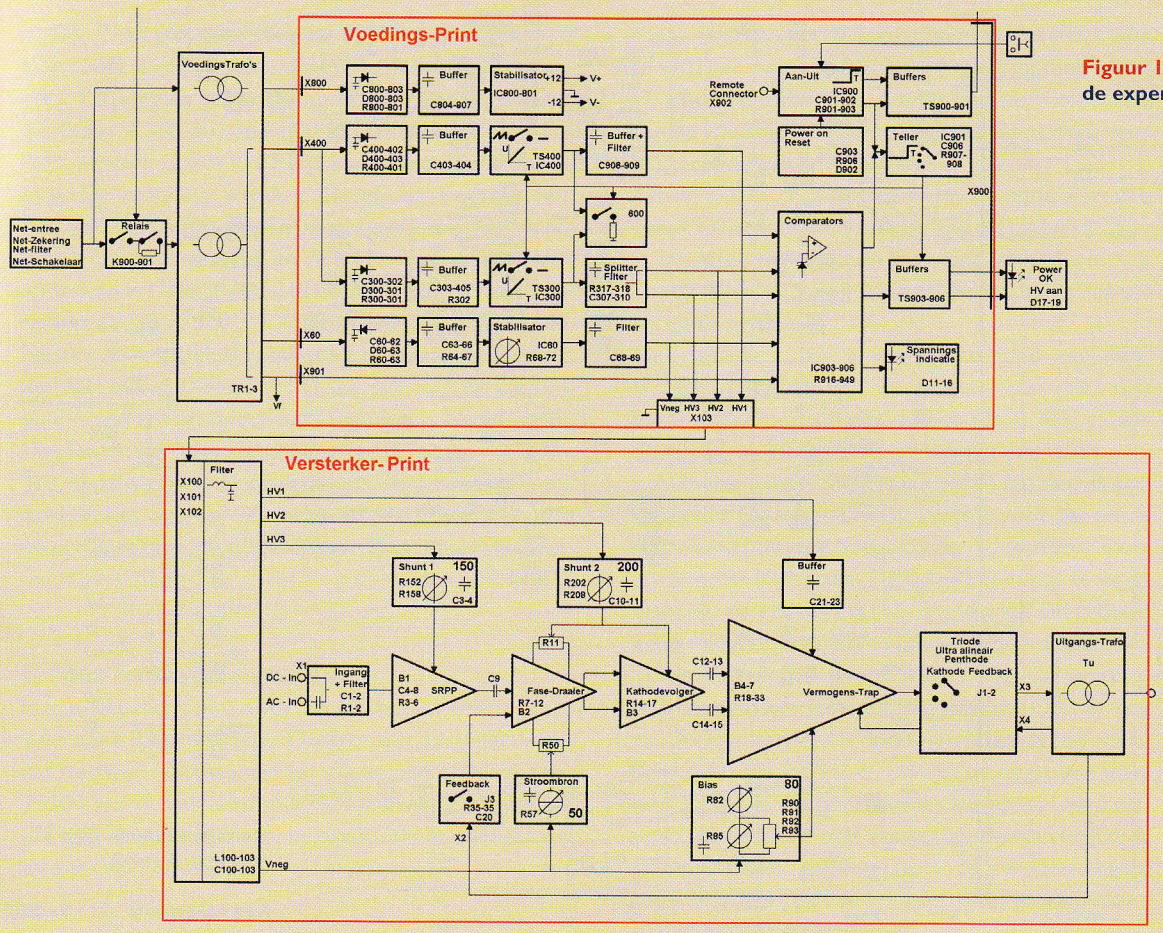
In het onlangs verschenen buizenboek (1) wordt in hoofdstuk 9 een universele versterker beschreven, aangeduid met de "project versterker". Door het omsolderen van enige draden kunnen daarmee meer dan 20 verschillende versterkerconfiguraties gebouwd worden. Deze benadering stimuleerde mij en ik besloot om dat concept op een uiterst moderne manier verder uit te gaan werken. Ik ontwikkelde een nieuwe moderne print waarbij de componenten in de signaalweg gewone draadcomponenten zijn. Alles daaromheen, zoals bijvoorbeeld de voeding, werden gerealiseerd met SMD componenten. Veel van de kennis die ik opdeed bij de cursus TubeSociety (2) is in dit moderne ontwerp verwerkt. De universele uitgang en voedingtransformatoren (VDV-GIT80 en POW80) nemen in het ontwerp een centrale plaats in. In totaal zijn er 7 versies van dit ontwerp gemaakt. Foto 1 geeft een indruk van versie 6. Hiermee zijn veel experimenten uitgevoerd die geleid hebben tot de definitieve versie 7, die in dit artikel wordt besproken.

Figuur 1 toont het blokschema van de versterker. Hierin zijn te onderscheiden: het netspanningsgedeelte met de voedingstrafo's, de voedingsprint en de versterkerprint. Deze delen worden verderop in detail besproken. Ik start met de bespreking van de voeding.

De voeding

Zie de figuren 2 en 3 voor een compleet overzicht van de schakeling van het voedingsgedeelte.

De voeding is zo ontworpen dat na het aanzetten met een drukknop op het frontpaneel eerst de voedingstrafo via een weerstand word ingeschakeld om grote stroompieken te vermijden, kort daarna wordt de weerstand kortgesloten. Pas wanneer de gloei en negatieve spanningen aanwezig zijn wordt een teller gestart en na een enige tijd (instelbaar met een jumper) komen de hoogspanningen langzaam op (via twee Fet's en optocouplers). Deze langzame voorzichtige start verlengt de levensduur van de buizen. Mocht er iets mis gaan met de gloei of negatieve spanning, dan worden de hoogspanningen door de optocouplers direct afgeschakeld en automatisch ontladen. Als de voeding door dezelfde drukknop wordt uitgezet ontladen de hoogspanningen automatisch. Ieder deel van de versterker heeft zijn eigen hoogspanning. Door middel van zes leds wordt de status van de spanningen aangegeven en als deze allemaal hun waarde bereikt hebben gaat een groene led op het front aan. Een rode led geeft aan wanneer de hoogspanning ingeschakeld is. Elke versterkertrap heeft zijn eigen voeding waarvan Vneg, HV2 en HV3 regelbaar zijn.



Figuur 1: Blokschema van de experimentele versterker

De voeding bestaat uit zes delen met ieder een eigen componentnummering, die allen hierna in detail besproken en uitgelegd worden.

1. *De negatieve spanning Vneg, componenten met 60–70 nummers.*
2. *De hoogspanning voor de eindtrap HV1, componenten met 400 nummers.*
3. *De hoogspanningen voor de fasedraaier HV2 en de voortrap HV3, componenten met 300 nummers.*
4. *Het ontlaadcircuit, componenten met 600 nummers.*
5. *De voeding voor de besturing V+ en V-, componenten met 800 nummers.*
6. *De besturing, componenten met 900 nummers.*

De negatieve spanning Vneg

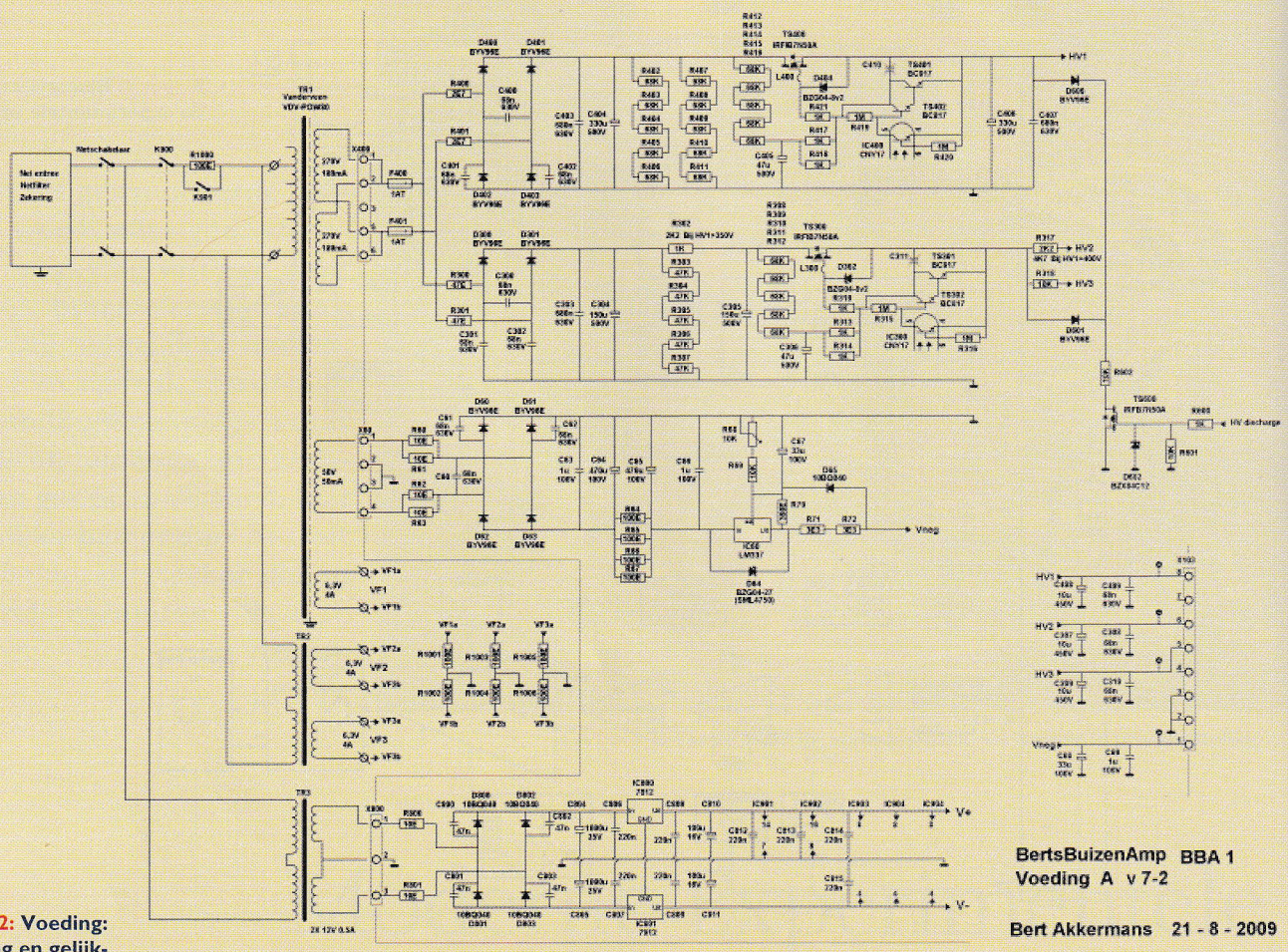
De wisselspanning voor Vneg wordt eerst gefilterd en gelijkgericht (R60-63, C60-62, en D60-63), waarna een C-R-C netwerk de afvlakking verzorgt (C63-666 en R64-67). Voor de stabilisatie zorgt een standaard negatieve driepoot LM337 regelaar (IC60). Omdat hierover maar 40V mag staan is deze beveiligd door een 1W zenerdiode van 27V (D64). De spanning is in te stellen met R68 en loopt van -30,7V tot -61,5V. D65 en R71-72 zorgen ervoor dat de stroombegrenzing van 1.5A (in de LM337) naar 200mA wordt teruggebracht. C68-69 zorgen voor de laatste filtering.

De hoogspanning HV1

De wisselspanning voor de hoogspanning wordt gesplitst in twee delen, voor de eindbuizen HV1 en voor de voortrappen, HV2 en HV3. De eerste wordt gefilterd en gelijkgericht (R400-401, C400-402, en D400-403), waarna C403-404 voor de afvlakking zorgen. R402-411 zorgen voor de ontlading bij spanningsafval. Hierna volgt een Fet schakeling welke drie functies heeft:

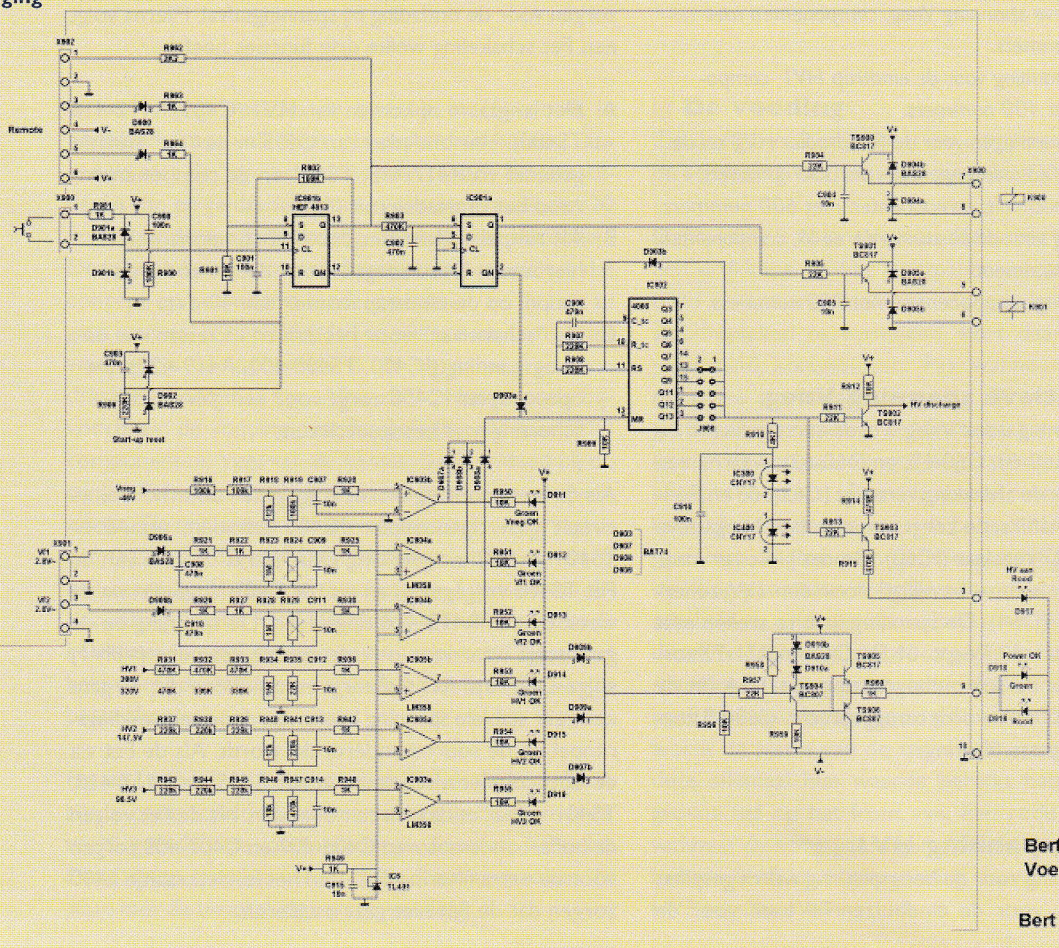
A. Het langzaam opkomen van HV1 (C405, R412-418 TS400). Het ontladen van C405 in de "uit" situatie gebeurt via R417-418, TS401 en de componenten rond het ontlaadcircuit (600).
B. Als rimpelstrijker met dezelfde componenten als hierboven. Deze zorgt ervoor dat de voedingsrimpel op de eindtrap minder dan 40mVtt is.
C. De "schakelaar" voor het aan en uitzetten van de hoogspanning (IC400, TS400-402, R419-420). De optocoupler IC400 zorgt voor een galvanische scheiding met het stuurcircuit.

Als de hoogspanning wordt vrijgegeven door het stuurcircuit gaat optocoupler IC400 geleiden, waardoor TS401 en 402 uit geleiding gaan. Nu is de gate van de Fet TS400 vrijgegeven en wordt C405 langzaam via de weerstanden R412-416 opgeladen. De spanning op de gate stijgt waardoor ook de source spanning (=HV1) stijgt. De grote RC tijd zorgt er ook voor dat de gate een zeer stabiele spanning heeft waardoor een voedingsrimpel op de source onderdrukt wordt. Als de Fet via de optocoupler afschakelt, wordt C405 via R417-418, TS401 en het ontlaadcircuit ontladen. Na de Fet volgen de buffercondensatoren C406-407 en C407-408 zorgen voor de extra filtering. R421 en het ferrietkraaltje L400 zorgen dat de Fet niet gaat oscilleren.



Figuur 2: Voeding: netspanning en gelijkrichting en stabilisatie

Figuur 3: Voeding: timing en beveiliging



De hoogspanningen HV2 en HV3

Voor HV2 en HV3 geldt ongeveer hetzelfde als voor HV1: Filtering en gelijkrichting worden verzorgd door R300-301, C300-302 en D300-301. Hierna volgt een C-R-C netwerk C303-305 R302 voor rimpelonderdrukking. De spanning wordt ontladen via weerstanden R303-307. Ook Fet-schakeling is weer het zelfde als bij HV1. Het opstartcircuit en rimpelstrijker worden gevormd door C306, R308-314 en TS300. De schakelsectie bestaat uit IC300, TS300-302 en R315-316. Na de Fet wordt de spanning gesplitst via vermogensweerstanden R317 en R318 voor HV2 en HV3. Op dit knooppunt is ook het ontlaadcircuit aangesloten. Na de weerstanden zitten weer extra filter condensatoren C307-310. Deze hoogspanningen gaan dan verder naar de versterkerprint waarop voor beide een extra bufferelco zit en een regelbare shuntstabilisator, maar daarover later meer.

Het ontlaadcircuit

Het automatisch ontlaadcircuit bestaat uit vermogensweerstand R602 en TS600. D600 en 601 zorgen er voor dat de twee hoogspanningen elkaar niet beïnvloeden. TS600 wordt bestuurd met het geïnverteerde signaal (TS902) dat ook de optocoulers IC300 en 400 aan en uit zet (Via R600-601).

De voeding V+ en V-

De voeding voor het stuurcircuit heeft een eigen transformator en wordt alleen aan en uit gezet met de netschakelaar. Dit is een standaard voeding rond de twee spanningsstabilisatoren 7812 en 7912 die zorgen voor de V+ (+12V) en V- (-12V).

De besturing

De besturing bestaat ook weer uit een aantal blokjes:

A. Het "aan-uit" circuit met een inschakelvertraging om de weerstand tegen de inschakelpieken kort te sluiten. Dit is opgebouwd rond een D-flipflop 4013 (IC900). Het eerste deel van de FF is als tweedeler geschakeld met een RC netwerkje (C901, R902) van de Qn(12) naar de D-ingang. In rust is de Qn hoog en daarmee ook de D-ingang. Als de CL (clock 11) nu naar hoog gaat door de drukschakelaar, wordt de "1" van de D overgenomen door de Q-uitgang (13). Als Q hoog, wordt Qn laag en door de RC-tijd wordt de D iets later laag. Tijdens die tijd reageert de schakeling niet op de drukknop en fungeert als anti-dender schakeling. Het hoog-signaal van de Q-uitgang gaat naar een buffer (TS900) dat een relais (K900) schakelt en de voedingstrafo plus gloeispanningstrafo krijgen spanning. Wanneer de drukknop nogmaals wordt ingedrukt valt het relais weer af en de voeding is uit.
De tweede flipflop van IC900 dient als inschakelvertraging. De Q-uitgang van de eerste FF (13) is via een RC netwerk (R903, C902) verbonden met de S-ingang (6) van de tweede FF. Hierdoor wordt de Q-uitgang (1) van deze FF na ongeveer 150mS hoog. Deze uitgang is ook weer verbonden met een buffer (TS901) en relais K901. Als dit relais inkomt wordt de weerstand (R1000) in serie met de netspanning van de voedingstrafo's kortgesloten. Deze weerstand begrenst de inschakelstroom.
Op de eerste FF is nog een remote optie aanwezig (via X902), maar die wordt nu nog niet gebuikt. Deze is om later twee versterkers met optocouplers te koppelen en via 1 drukknop of afstandsbediening aan en uit te zetten.

B. Het tweede blokje is een teller rond een 4060 (IC901). Deze bestaat uit een oscillator met drie externe componenten (C906 en R907-908) en een teller die de klokpuls steeds door twee deelt. Met behulp van jumper J900 kan men de tijd steeds verdubbelen. De diode D903b zorgt ervoor dat als de betreffende uitgang hoog wordt, de oscillator stopt en de teller blijft staan. De teller begint pas te lopen wanneer de MR-ingang (12) laag wordt. Dit gebeurt echter pas als er aan twee voorwaarden voldaan zijn: 1) Als het "aan-uit" circuit gestart is en de inschakelbegrenzing is kortgesloten; dan geldt dat Q(1) is hoog en Qn(2) is laag. 2) Als de comparators van de gloeispanningen Vf1 en Vf2 en die van de negatieve spanning Vneg alle drie een laag-signaal geven (wat betekend dat deze alle drie aanwezig zijn), dan begint de teller te lopen. Als vervolgens de gekozen uitgang hoog wordt, wordt de hoogspanning vrijgegeven en het ontlaad-circuit uitgezet.

C. Het derde blokje bestaat uit de comparators IC903-905. De spanningen Vf1, Vf2, Vneg, HV1, HV2 en HV3 worden eerst met een weerstandsdeling gedeeld en daarna vergeleken met een referentiespanning (IC6). Dit geldt niet voor Vneg. Die wordt van de referentie afgetrokken en dan vergeleken met 0V. Als de spanningen hun waarde bereikt hebben wordt de uitgang van de betreffende comparator negatief en gaan de LED's D911-916 aan. De uigangen van comparators Vf1 (IC904a-1), Vf2 (IC904b-7) en Vneg (IC903b-7) gaan via diodes D907a, D908a en D908b naar de MR-ingang van de teller. De uitgangen van comparators HV1 (IC905b-7), HV2 (IC905a-1) en HV3 (IC903a-1) gaan via diodes D909b, D909a en D907a naar een indicatie circuit rond TS904-906. Als alle spanningen correct zijn gaat de rode LED (D919) uit en de groene (D918) aan.

De opstartvolgorde is dus als volgt: Netschakelaar aan → stuurcircuit komt op spanning en wordt gereset. De voeding en versterker staan stand-by en rode LED D919 is aan. Drukschakelaar wordt ingedrukt → de voedingstrafo's worden via de begrenzingsweerstand ingeschakeld → 150mS later wordt deze kortgesloten → Vf1, Vf2 en Vneg komen op.
Als Vf1, Vf2 en Vneg hun waarde bereikt hebben wordt de teller gestart en kunnen de buizen opwarmen. Na een paar minuten worden de hoogspanningen vrijgegeven → Rode LED "HV aan" D917 is aan en de hoogspanningen komen langzaam op. Het ontlaadcircuit is uitgezet → de indicatie LED's gaan één voor én aan. Als alle spanningen hun waarde bereikt hebben gaat de rode LED D919 uit en de groene "Power OK" D918 gaat aan. De versterker is nu klaar voor gebruik.

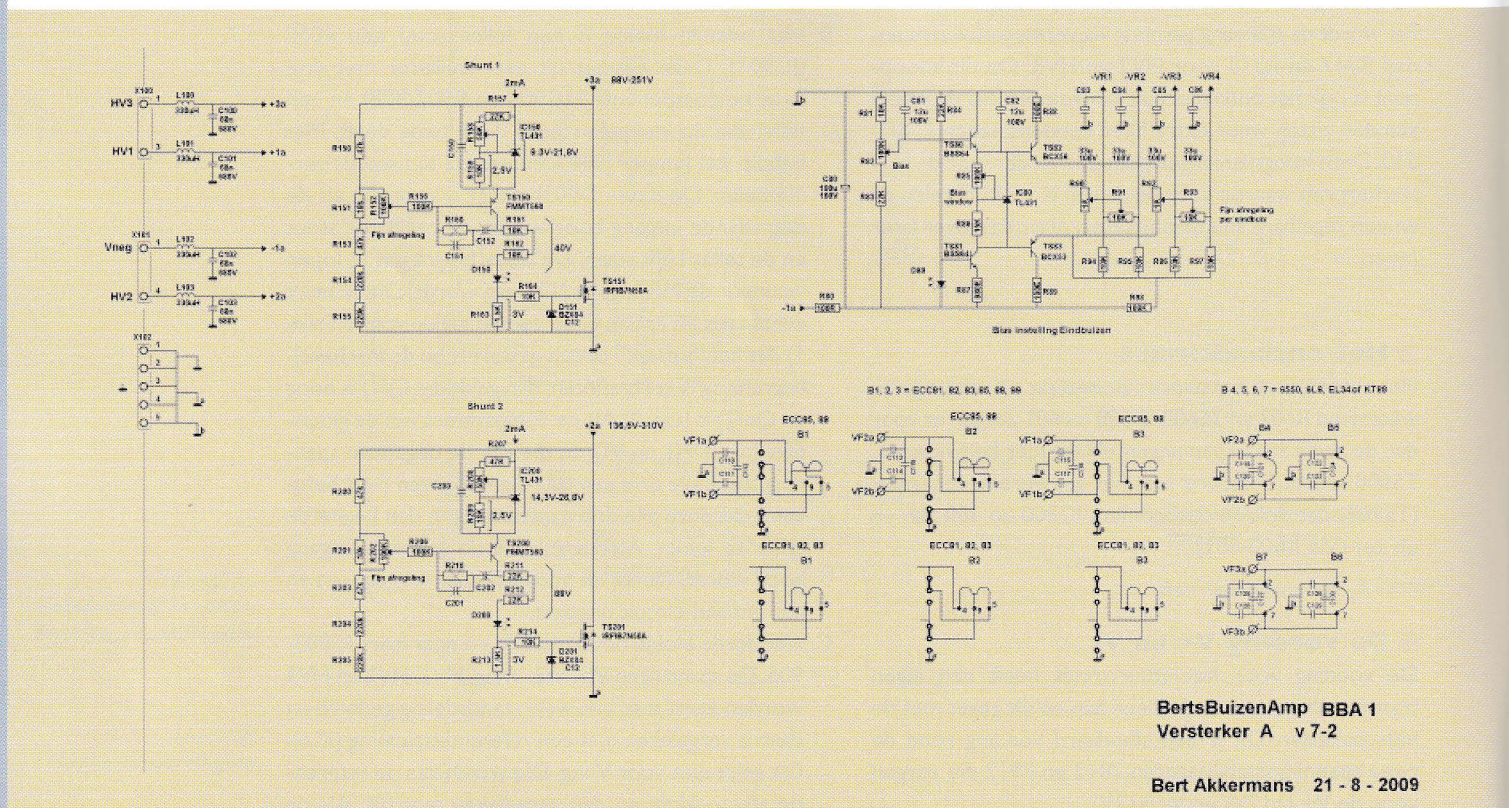
De versterker

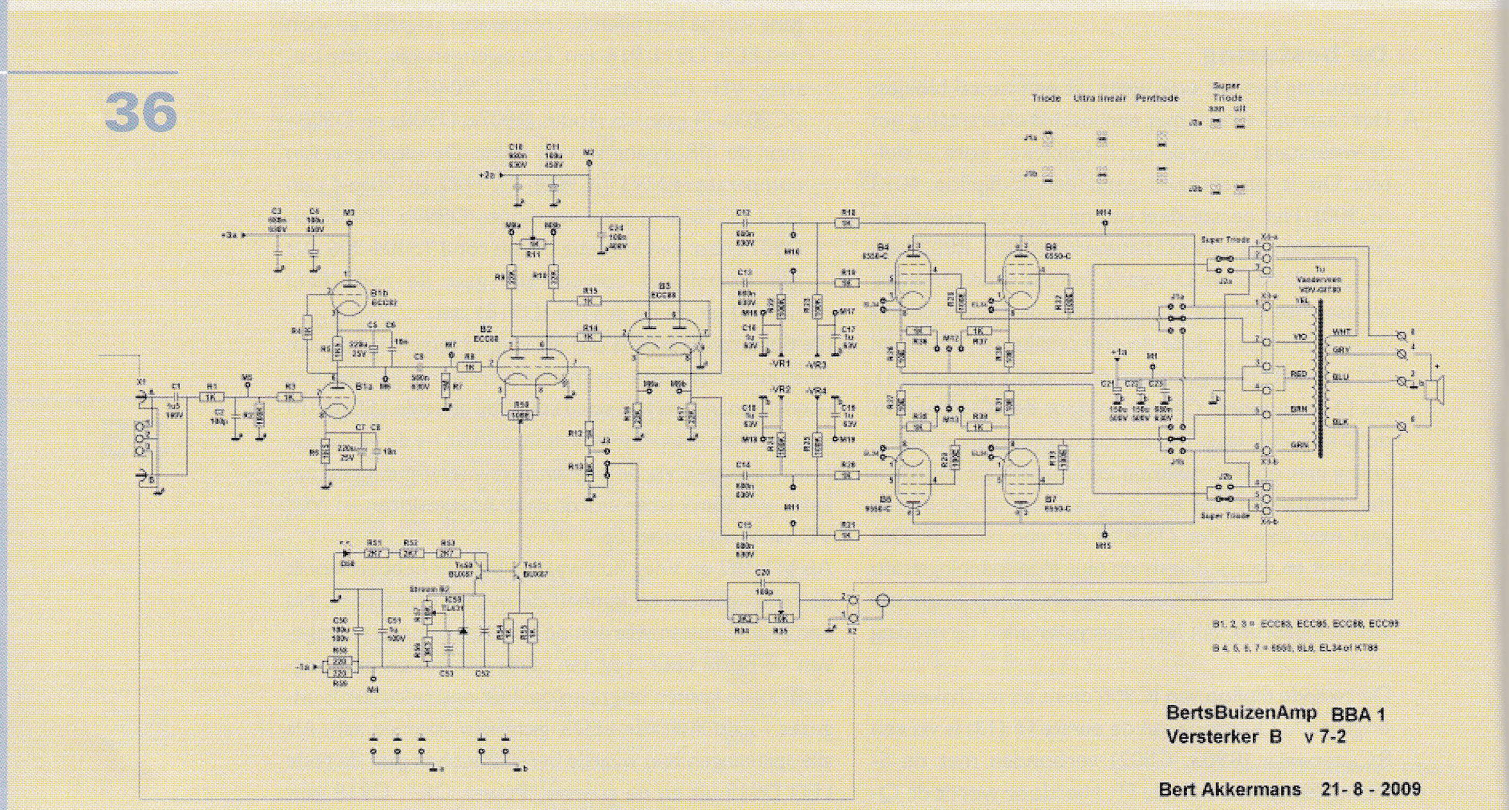
De blokschema's van de versterker staan in de figuren 4 en 5. Zoals bij de voeding bestaat ook de versterker uit een aantal blokken:

1. *Het voedingsfilter, componenten met 100 nummers.*
2. *De shuntstabilisatoren, componenten met 150 en 200 nummers.*
3. *De stroombron voor de fasedraaier, componenten met 50 nummers.*
4. *De buffer voor de eindtrap.*
5. *De biasinstelling van de eindtrap, componenten met 80-90 nummers.*
6. *De voortrap.*
7. *De fasedraaier.*
8. *De kathodevolger.*
9. *De eindtrap met uitgangstrafo en keuze van eindtrapconfiguratie.*
10. *De terugkoppeling (overall feedback)*

Figuur 4: Schema versterkerdeel: voedingen en regelaars

Figuur 5: Schema versterkerdeel: analoog circuit





Het voedingsfilter

De voeding komt binnen op connectoren X100-102. Elke voedingsspanning is hoogfrequent ontstoord door een LC filter (L100-103 en C100-103).

Shunt 1 en 2

De voedingsspanningen van de voortrap en fasedraaier en kathodevolger worden gestabiliseerd door een regelbare shunt. Het voordeel van een shuntstabilisator is dat de stoorsignalen direct worden afgevoerd naar massa, ze hebben echter wel een serieweerstand nodig. De schakeling is opgebouwd rond een regelbare shunt TL431 (IC150 en 200). Deze heeft een referentiespanning van 2,5V en door middel van twee weerstanden kan men die instellen tussen 2,5V tot 36V. Deze regelbare referentie zit op de emitter van de stuurtransistor (TS150) waarvan de basis met een (regelbare) spanningsdeler verbonden is met de voedingsspanning. Gaat deze voedingsspanning omhoog, dan gaat de transistor meer geleiden en loopt er meer stroom door de weerstanden R161-163. De spanning over R163 laat de Fet (TS151 en 201) meer geleiden, de voedingsspanning zakt en de spanning stabiliseert zich. Potmeter R158 is voor de grofinstelling en R152 voor de fijninstelling. De spanning van shunt 1 is instelbaar van 88 tot 250V en die van shunt 2 van 137 tot 310V. Let op! De stroom die deze shunts met de voorgeschreven koellichaampjes mag slechts 10 à 20mA zijn. Afhankelijk van de afgeregelde spanning HV2 of HV3 en HV1 moeten zo nodig de weerstanden R317 en 318 aangepast worden.

De stroombron

Vaak zie je bij een verschilversterker als fasedraaier bij de twee kathodes een gemeenschappelijke weerstand. Het nadeel hiervan is dat de versterking van beide takken niet precies gelijk is. Je ziet dan ook vaak dat deze takken verschillende anodeweerstanden hebben. Omdat ik een zo groot mogelijke gelijkloop van deze trap wil hebben en ik de stroom wil kunnen variëren heb ik gekozen voor een regelbare stroombron. Een stroombron heeft een bijna oneindige uitgangsweerstand. Gebruik je deze als gemeenschappelijke kathodeweerstand, dan worden het verschil van versterking en de vervorming erg laag.

De stroombron bestaat uit een stroomspiegel (TS50-51). De emitterspanning van TS50 wordt vastgezet door een regelbare referentiespanning (IC50) en door het stroomspiegel principe staat deze spanning ook op de emitter van de tweede transistor TS51. Deze spanning staat dus over R54-55 en daarmee is de collector en emitterstroom van TS51 bepaald. Door nu de referentiespanning te regelen kan men dus de collectorstroom regelen. De twee transistoren zijn hetzelfde type en door ze samen op een koelpaatje te zetten krijgt men een zeer stabiele stroombron die vrijwel temperatuur onafhankelijk is. Als regelbare referentiebron gebruik ik weer de TL431 die door middel van weerstanden regelbaar is van 2,5 – 10V, hierdoor is de stroombron regelbaar van 5 – 20mA.

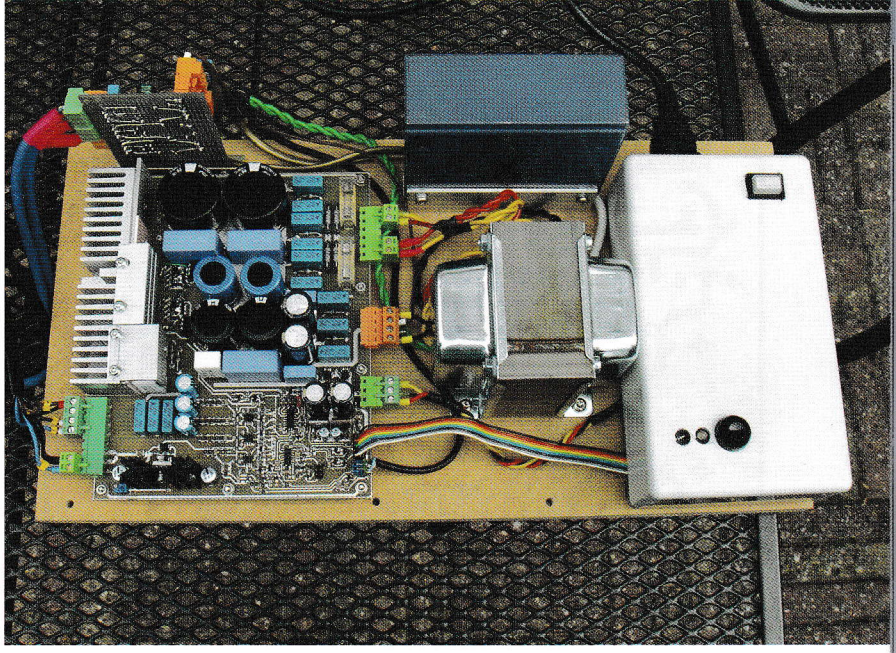


Foto 2: Gemonteerde voedingsprint

De buffer van de eindtrap

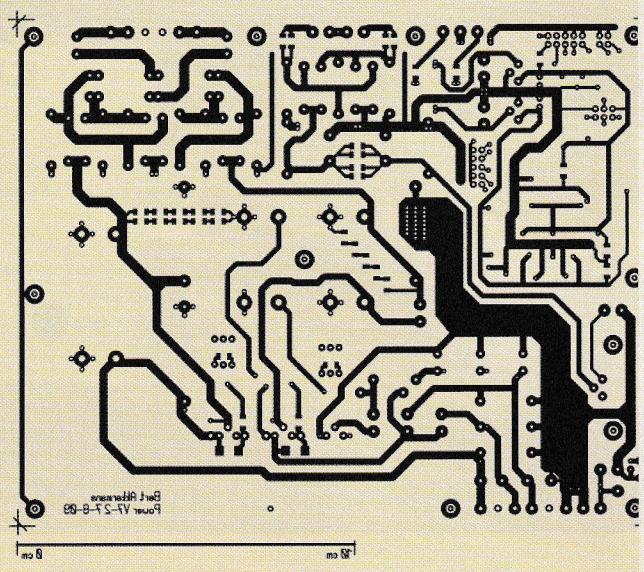
De buffer bestaat uit twee elko's (C21-22) en een MKP condensator (C23) voor hoogfrequent gedrag. Deze condensatoren zitten zo dicht mogelijk bij de aansluiting naar de uitgangstrafo en de eindtrap.

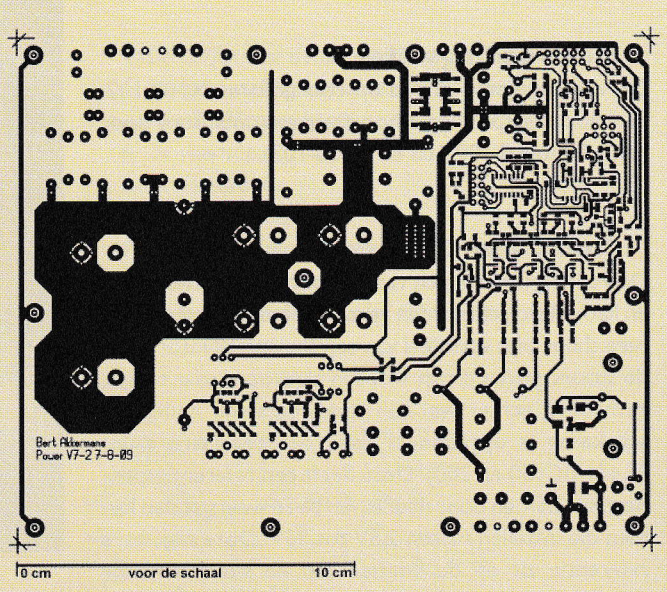
De biasregeling

De biasregeling verzorgt de instelling van de ruststromen door de eindbuizen door middel van een instelbare negatieve spanning op de stuurroosters. Het is heel belangrijk dat de buizen exact dezelfde ruststroom hebben. Dit komt de geluidskwaliteit zeer ten goede, vooral de weergave van microdetails wordt hierdoor optimaal (3).

Daarom heb ik gekozen voor een niet alledaags ontwerp van de biasregeling. Het idee was om met een potmeter de bias voor alle vier de buizen tegelijk grof in te stellen om daarna elke buis te kunnen optimaliseren, waarbij je het regelbereik van de optimalisatie ook nog kan instellen. Dit laatste is nodig omdat bij niet gepaarde buizen de fijninstelling een groter regelbereik nodig heeft. De regeling bestaat eigenlijk uit twee regelbare spanningsbronnen die in serie staan. Een spanningsbron bepaalt het venster van de fijnregeling en de tweede verschuift dit venster over bijna de gehele negatieve spanning Vneg. De spanningsbron voor het venster bestaat wederom uit een TL431 schakeling (IC80, R85-86). Deze spanningsbron trekt de basissen van de twee regeltransistoren (TS82-83) uit elkaar waardoor tussen de beide emitters de fijnafregelspanning ontstaat. Door nu de bron te variëren, varieert ook de spanning tussen de emitters en daarmee de spanning over de fijnregelpotmeters R90 en 92. Potmeters R91 en 92 dienen om de balans tussen de bovenste en onderste eindbuis in te stellen.

De spanningsbron voor de grofregeling bestaat gewoon uit een potmeter en een transistor (R82 en TS80). Deze regelt de basisspanning van TS82 en daarmee de spanning op de emitter en potmeters R90-93. De stroombron D80, TS81, R84 en 87 dient om een constante stroom door de TL te laten lopen omdat deze anders afhankelijk is basisspanning op TS82.





Figuur 6: Sporenpatroon onderkant voedingsprint

Figuur 7: Sporenpatroon bovenkant voedingsprint

De voortrap

De voortrap is een zogenaamde SRPP trap. Het voordeel hiervan is dat zo'n trap een lage uitgangsweerstand heeft en een hoge lineariteit en dus een lage vervorming. Het audiosignaal komt rechtstreeks binnen (DC gekoppeld) of via C1 (AC gekoppeld). Hoge stoorfrequenties worden door het HF filter (R1, C2) tegengehouden. Vervolgens gaat het audiosignaal via een HF-stopweerstand naar het rooster van de eerste triode van B1 pen 7. Om een negatieve roosterspanning te krijgen wordt de kathode (pen 8) opgetild met een weerstand die weer voor het audiosignaal is ontkoppeld (R6, C7-8). De tweede triode van B1 vormt de "anodeweerstand" en van daaruit gaat het signaal via een koppelcondensator (C9) naar de fasedraaier. Als buis heb ik een ECC82 gekozen omdat de versterking daarvan niet al te groot is.

De fasedraaier

Bij een pushpull eindtrap wordt de uitgangstrafo door twee in tegenfase staande signalen aangestuurd, een fasedraaier zorgt daarvoor. Ik heb gekozen voor een verschilversterker (long tailed pair) waarbij de kathodes van de twee triodes (B2) aan elkaar zitten (via een kleine potmeter R50). Aan de kathodes zit een gemeenschappelijke stroombron en via R50 zijn de stromen door de beide buishelften precies gelijk te regelen (DC-balans). Het signaal komt binnen op de linkse triode (B2 pen 2) en op de anode (B2 pen 1) staat het signaal versterkt en in tegenfase. De tweede triode wordt via de gekoppelde kathodes aangestuurd (met het tweede rooster via R12-13 aan massa) en op die anode (B2 pen 6) staat het versterkte signaal in fase met de ingang. Doordat de twee anode-weerstanden gelijk zijn, zijn de uitgangssignalen dat ook maar dan in tegenfase. Enige onbalans kan men met potmeter R11 wegregelen (AC-balans). Voor de fasedraaier is een ECC88 gebruikt.

De kathodevolger

De kathodevolger (B3, R14-17) dient als buffer voor de vier eindbuizen. Deze heeft een lage uitgangsweerstand en kan daardoor makkelijker de eindbuizen aansturen met een grote bandbreedte. De kathodevolger wordt DC aangestuurd vanuit de fasedraaier en de kathodeweerstanden hebben dezelfde waarde als de anodeweerstanden van de fasedraaier. De buizen zijn van hetzelfde type, er lopen door al deze buizen dezelfde stromen.

De eindtrap

De eindtrap is een pushpull schakeling waarbij twee eindbuizen in tegenfase de uitgangstrafo aansturen. De DC stromen door de trafo wekken twee tegengestelde magnetische velden op die elkaar opheffen, daarom is het van groot belang dat de ruststroom instellingen van de twee buizen precies gelijk zijn, want anders raakt de kern van de uitgangstrafo gemagnetiseerd en dat beïnvloedt op een negatieve manier de weergave (zowel in het basbereik als bij microdetail weergave).

Ik heb gekozen voor een dure oplossing door vier eindbuizen te gebruiken die twee aan twee parallel staan. Hierdoor wordt de uitgangsweerstand de helft en kan je de luidspreker aan een "hogere" secundaire tap aansluiten waardoor je een hoger vermogen krijgt bij een lagere voedingsspanning terwijl de buizen het niet te moeilijk krijgen. Ook de dempingsfactor wordt iets beter. Je kan ook kiezen om maar twee eindbuizen te gebruiken, het ontwerp is heel flexibel.

Het twee in tegenfase staande audiosignalen komen van de kathodevolger en worden DC ontkoppeld door C12-15 en gaan via stopweerstandjes R18-21 naar de stuurroosters (pen 5) van de eindbuizen. Op dit knooppunt komen ook via de weerstanden R22-25 de negatieve spanning van de biasregeling om de eindbuizen in te stellen. Het versterkte signaal van de anode (pen 3) gaat naar de uitgangstrafo en van daaruit naar de luidspreker. Het tweede rooster pen 4 (schermrooster) kan met behulp van een jumper J1 op verschillende manieren aangesloten worden:

A. Het schermrooster verbonden met de voedingsspanning HV1 > Pentode. Hier geeft de versterker het meeste vermogen maar heeft ook de hoogste uitgangsweerstand en daardoor de laagste dempingsfactor.
B. Het schermrooster verbonden met zijn eigen anode

Figuur 8:
Componentenplaatsing onderkant voedingsprint

Figuur 9:
Componentenplaatsing bovenkant voedingsprint

Figuur 10:
Overzicht van de complete voedingsprint

> Triode, hier geeft de versterker het laagste vermogen maar heeft ook de laagste uitgangsweerstand en daardoor de hoogste dempingsfactor.

C. Het schermrooster verbonden met een tussenaftakking van de uitgangstrafo > Ultra lineair. Hier zitten de prestaties tussen die van pentode en triode in.

Triode geeft volgen kenners het zuiverste geluid.
Ook aan de kathode zit weer een jumper J2 met de keuze:

A. De kathode verbonden met massa.
B. De kathode verbonden via de secundaire wikkeling van de uitgangstrafo naar massa > Kathode feedback. In de stand Pentode of U.L. nijgt de versterker dan steeds meer naar triode maar met behoud van redelijk uitgangsvermogen.

Zie (1) voor meer details over deze instelmogelijkheden. In de kathodelijnen zitten nog de weerstanden van 10Ω. Hierover meet men de ruststroom spanning Vko. De ruststroom wordt dan gegeven door: Io = Vko / 10 Ω

De terugkoppeling

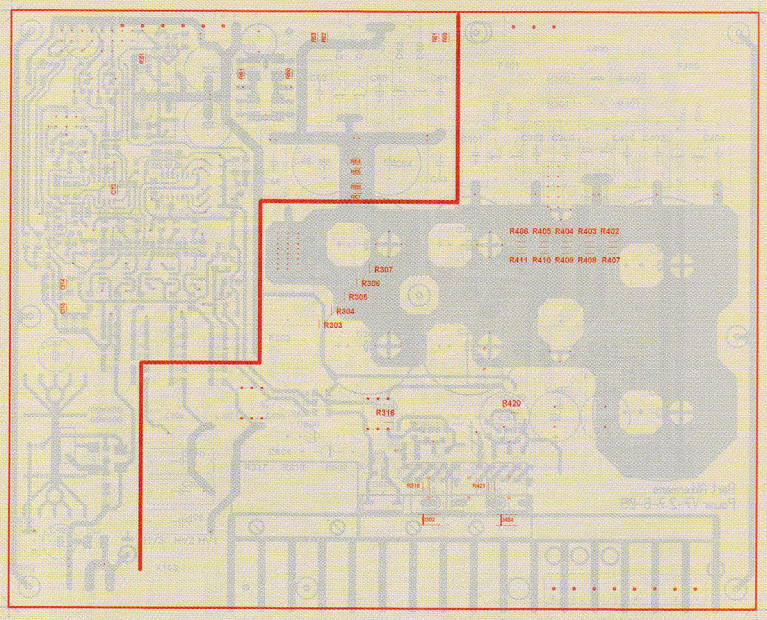
Ook de terugkoppeling kan men met een jumper (J3) in en uit schakelen. De terugkoppeling loopt vanaf de secundaire van de uitgangstrafo naar de (+) ingang van de verschilversterker (fasedraaier). Omdat ik terugkoppel op de fasedraaier moet het signaal in tegenfase van de uitgangstrafo komen. Dit gebeurt doordat de middenaftakking (blauwe draad) van de secundaire winding voor de kathode feedback met massa is verbonden. De onderste helft van de secundaire wikkeling is dan in tegenfase met de ingang. De terugkoppeling bestaat uit een weerstand en een potmeter (R35) voor afregeling. Condensator C20 dient voor HF stabiliteit omdat de versterker zonder terugkoppeling al een erg grote bandbreedte heeft.

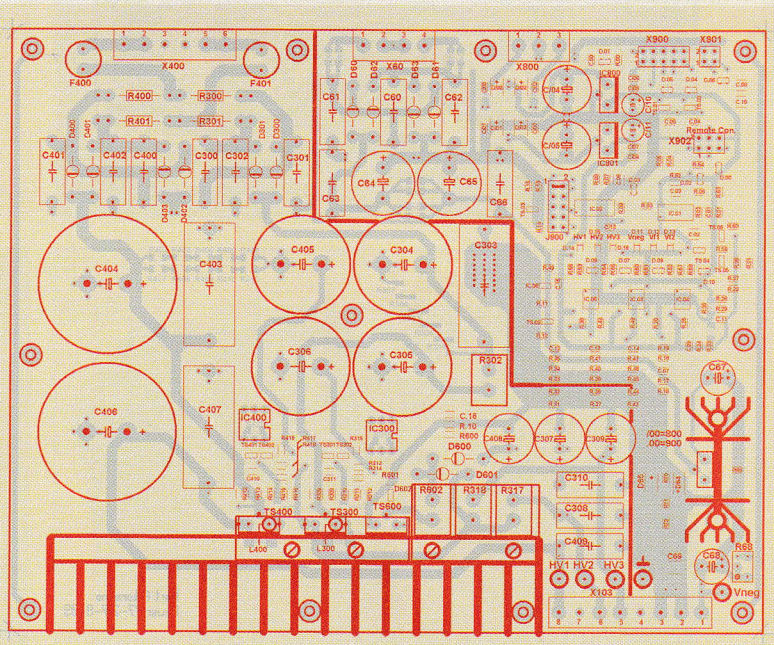
De bouw

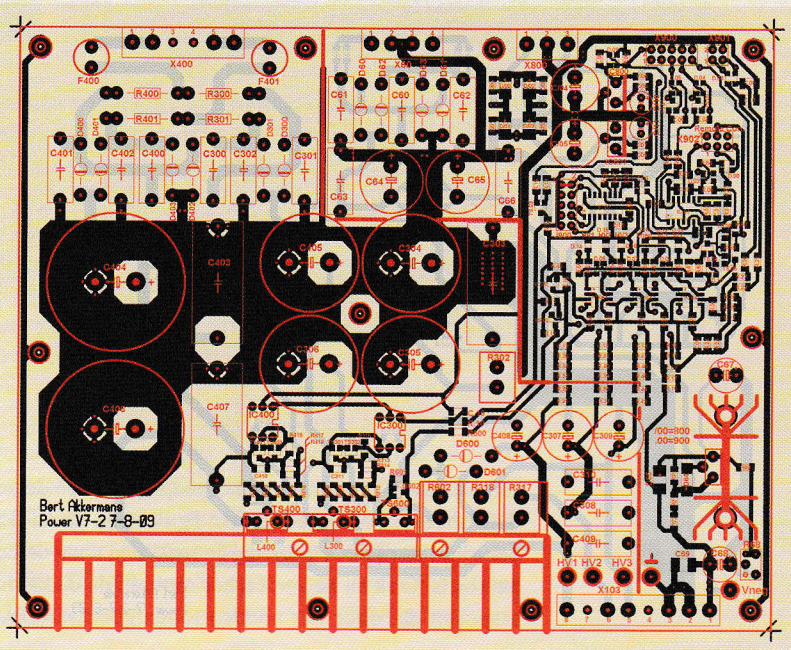
De complete versterker bestaat uit twee dubbelzijdige printen. De figuren 6 tot en met 10 tonen hoe de voedingsprint is opgebouwd.

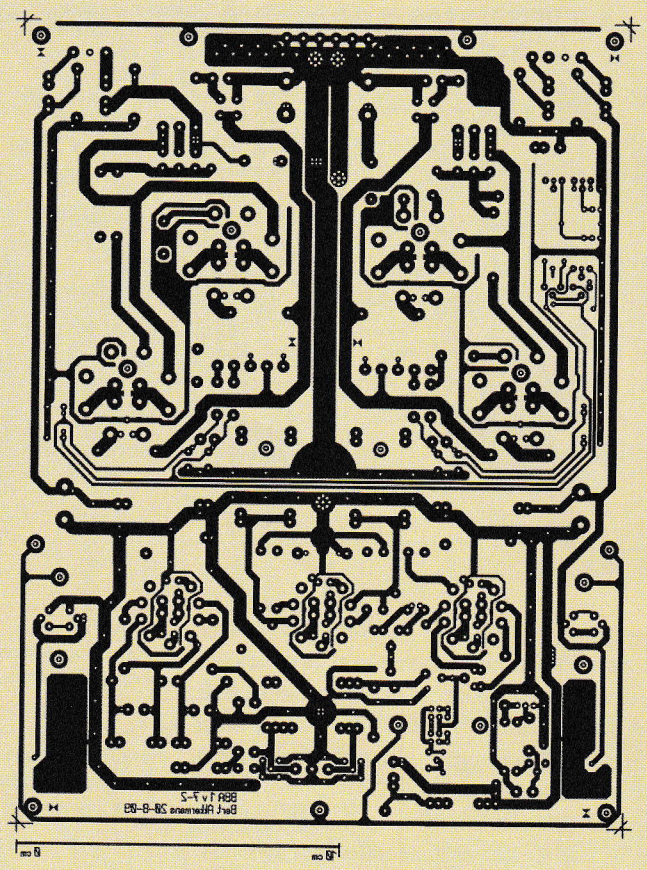
De print van de versterker wordt getoond in de figuren 11 tot en met 15.

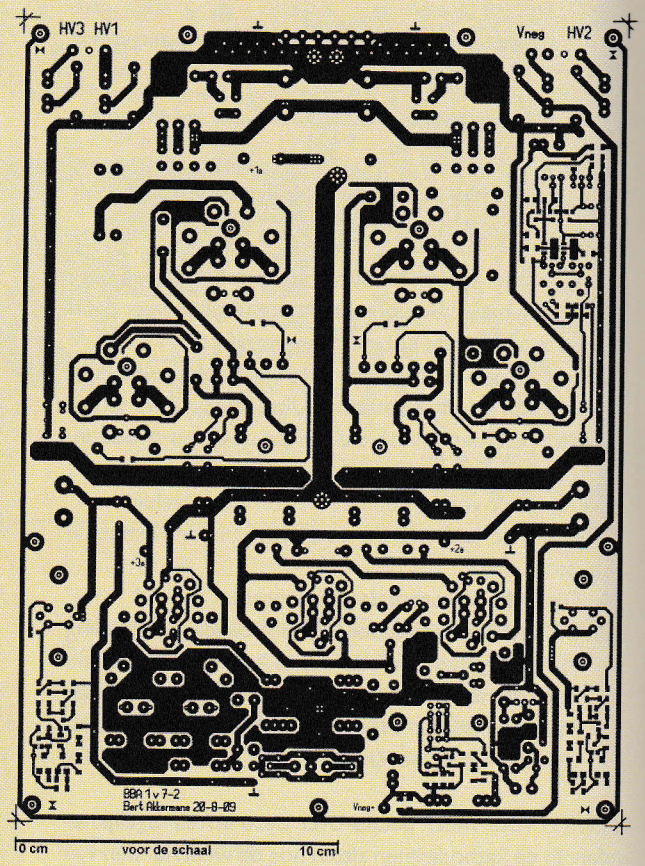
In de dubbelzijdige printen moeten een aantal doorverbindingen (via's) gemaakt worden. Alle componenten die zowel sporen aan de boven en onderkant hebben moeten aan beide kanten gesoldeerd worden. Waar de componenten het gat afdichten heb ik eilandjes ernaast geplaatst om met een draadje de verbinding te maken. Het is niet nodig om bij de grote massavlakken en spo-

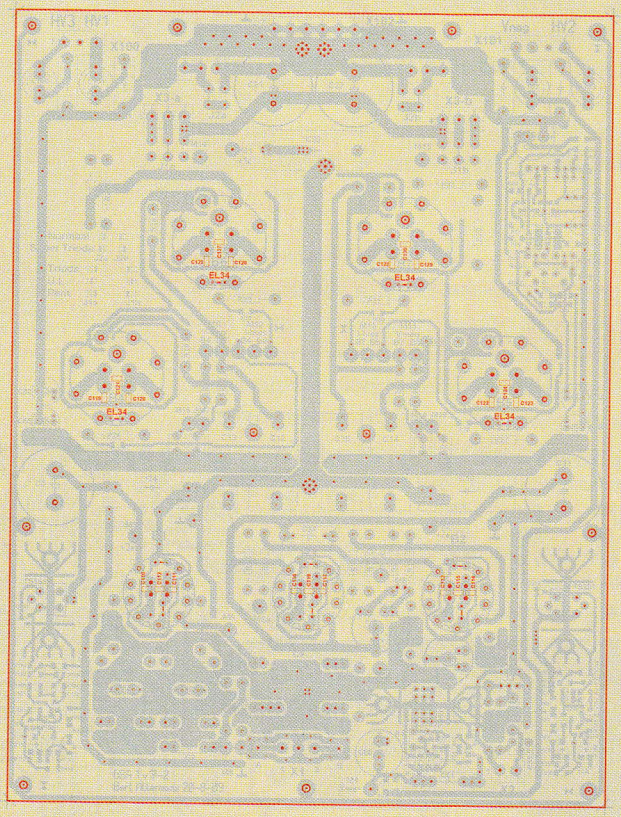


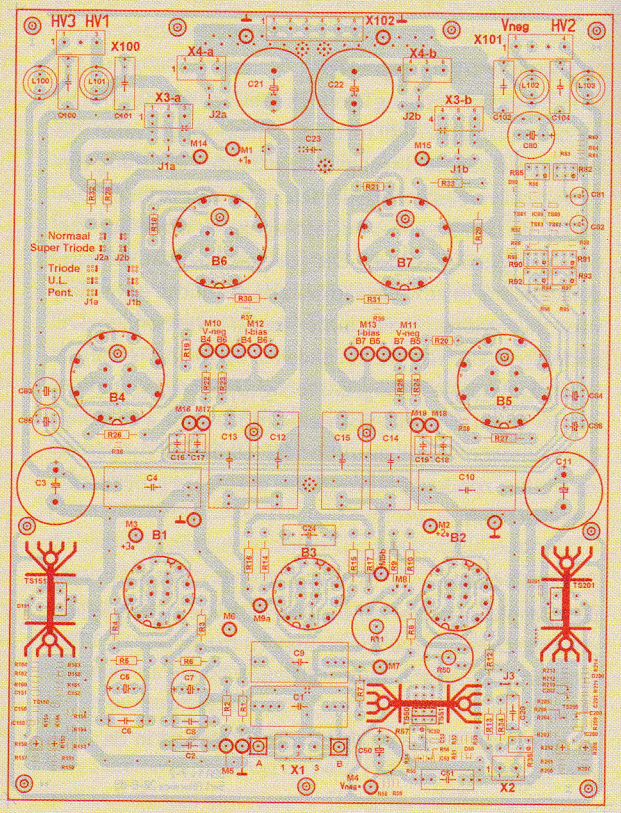




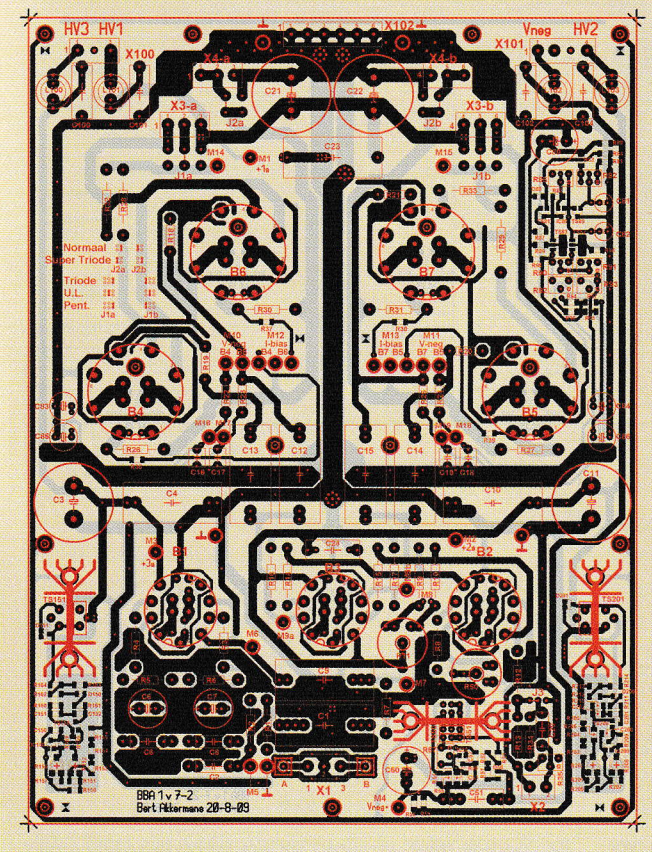








ren elk gat te vullen met een draadje, alleen bij de voeding onder C303 is het verstandig om een draad door een rijtje te rijgen omdat dit de massalijn naar de connector is. Ook bij de versterker moeten de dikke massasporen die door het midden lopen goed van boven naar onder verbonden worden. Na de doorverbindingen is het beste om de SMD's plaatsen. Te vaak wordt hiervoor een veel te spitse soldeerpunt gebruikt die ook nog eens op een te hoge temperatuur staat vanwege een slechter warmteoverdracht. Een beitelstift van 2 a 3mm



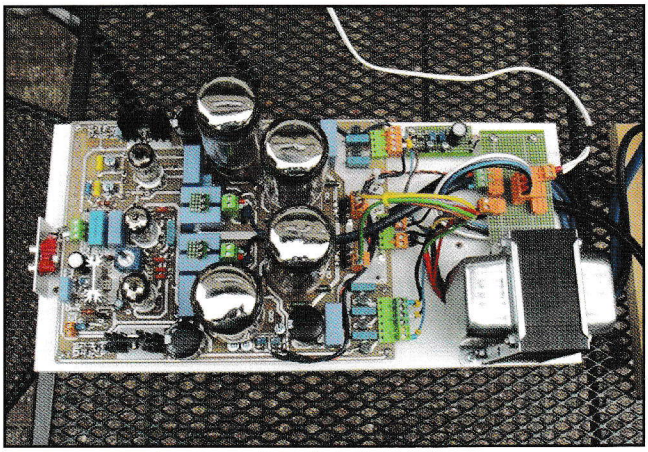
Figuur 11:
Sporenpatroon onderkant versterkerprint

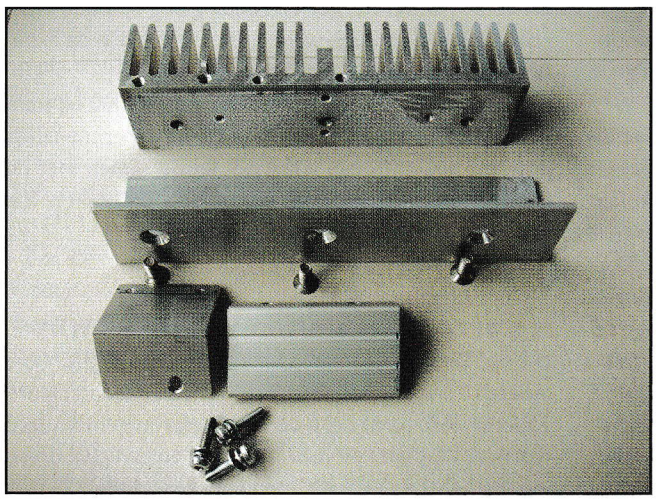
Figuur 12:
Sporenpatroon bovenkant versterkerprint

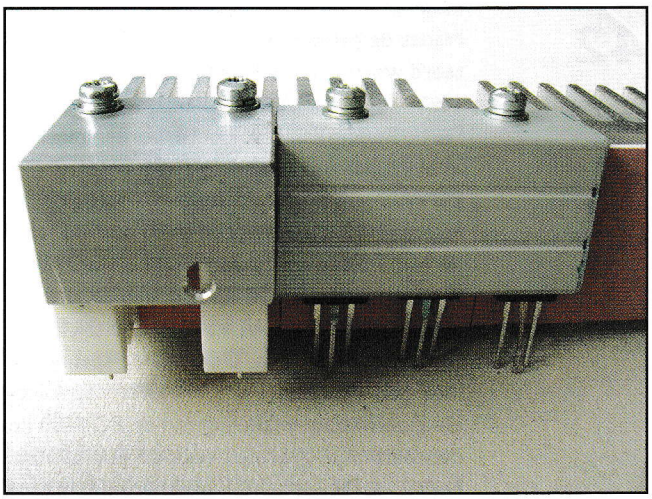
Figuur 13:
Componentenplaatsing onderkant versterkerprint

Figuur 14:
Componentenplaatsing bovenkant versterkerprint

Figuur 15:
Overzicht van de complete versterkerprint.







en een soldeertemperatuur van 330-350gr is een veel betere optie. Daarna zijn de weerstanden, diode's, jumpers, buisvoeten en IC's (let op het solderen van onder en bovenzijde). Pas als alle lage componenten zijn geplaatst zijn de grote condensatoren en connectoren aan de beurt. Vergeet de isolatieplaatjes tussen de koellichamen en transistoren en Fet's niet. De koelplaat van de voeding is er één uit de afvalbak, daar zul je zelf iets voor moeten verzinnen, de twee foto's 4 en 5 geven een indruk hoe ik de koelplaat heb opgebouwd.

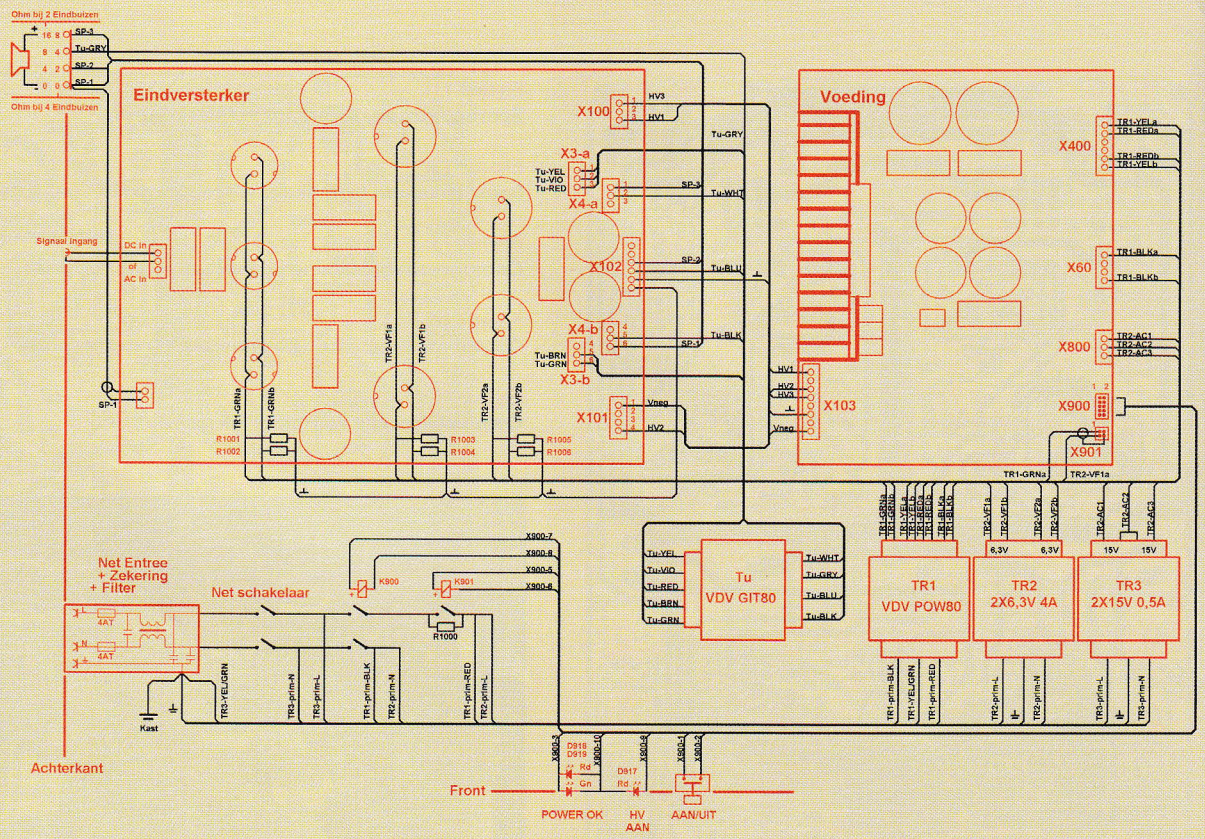
Er zijn nog wat opmerkingen nodig over de versterkerprint. Alle hoge componenten kunnen zowel op de boven als onderzijde geplaatst worden, zodat de print vlak onder de bovenplaat gemonteerd kan worden met de buizen er bovenuit. Daarom zijn bij de vermogenstransistoren en de Fet's met koelplaatje extra eilandjes geplaatst zodat deze zowel aan de bovenkant als aan de onderkant gemonteerd kunnen worden. Alleen de SMD's, buisvoeten en potmeters R35, 57, 82, 85,90, 91, 92 en 93 blijven aan de bovenzijde zitten. Ook heb ik de weerstanden van de versterker op soldeerpaaltjes geplaatst zodat ik tijdens het experimenteren niet elke keer de weerstanden uit de print hoeft te solderen. Ook voor de warmte afgifte is het verstandig om die verhoogd te monteren.

De buizen die ik gebruikt heb zijn proefondervindelijk gekozen. Op de print kan je dan ook verschillende ECC en andere type plaatsen zolang de gloeidraad maar op pen 4, 5 of 9 zit; dit is ook met een jumper in te stellen. In figuur 13 staan de jumpers voor een ECC82, ECC88, ECC88 instelling. Als voor een eindbuis een EL34 gekozen wordt moet jumper EL34 gemonteerd

Foto 3: Gemonteerde versterkerprint

Foto 4: Voorbewerkte koelplaat uit de afvalbak

Foto 5: Gemonteerde componenten op de koelplaat



Figuur 16: Bedradingsschema van de versterker

worden. Deze verbindt het laatste rooster met de kathode (bij de meeste buizen zit die verbinding al intern).

Nadat de printen klaar zijn kan de bedrading gemonteerd worden volgens het bedradingsschema, zie figuur 16.

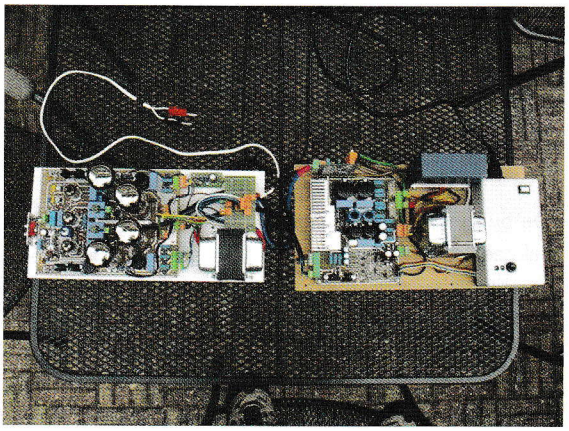
De bedrading kan gesoldeerd worden maar ook met de Weidmuller terminals worden gemonteerd. Omdat de POW80 voedingstrafo maar 4A aan gloeistroom kan leveren had ik een tweede trafo nodig. Deze kwam uit de rommeldoos: een oude Philips trafo die zes wikkelingen heeft van 6V en 1,5A. Ik heb 2X drie wikkelingen parallel gezet voor 6V, 4,5A en elke tak aangesloten op een serie eindbuizen. Doordat de spanning niet maximaal belast was bleef er 6,25V over wat voldoende was. De gloeistroom wikkeling van de POW80 heb ik voor de stuurbuisjes gebruikt. Voor de gloeistroombedrading heb ik symmetrische afgeschermde microfoonkabel gebruikt met de afscherming aan massa, maar getwiste draden zijn ook goed. De weerstanden R1001-1006 zijn op een stukje experimenteerprint geplaatst en van daaruit lopen ook de beide Vf1 en Vf2 terugkoppelingen naar de voeding (niet vergeten anders start de voeding niet op!).

Ik heb zelf de versterker en voeding nog op twee MDF platen staan, zie foto-6, want ik zit nog volop in de experimentele fase.

Het netspanningsgedeelte met de relais, R1000 en trafo voor de besturing zit ook op een stukje experimenteerprint en samen in een kunststof kastje samen met de netschakelaar, drukschakelaar en led's D917-919. Zie voor details foto-7.

Correct aansluiten van de POW80

Let op! De hoogspanningswikkelingen van de POW80 moeten eerst op de juiste fase worden gecontroleerd voordat deze parallel op de voedingsprint gemonteerd worden. Verbind hiervoor een rode en een gele draad van de secondaire kant met een kroonsteentje met elkaar en sluit de primaire kant op een variac en zet deze op een lage spanning (een voedingstrafo van 12V werkt ook). Meet de AC-spanning tussen de overgebleven rode en gele draad. Meet je daar een spanning van



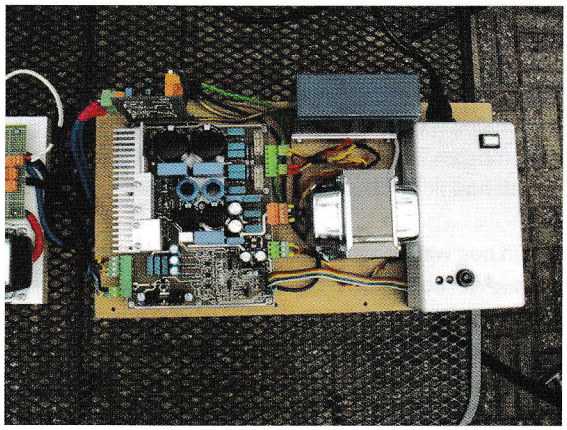


Foto 6: Complete versterker gemonteerd op MDF platen

Foto 7: Het netspanningsgedeelte van de voeding is in een apart kastje rechts ondergebracht.

enkele volts dan staan de "rode" en "gele" hoogspanningswikkelingen in tegenfase. Verwissel vervolgens de twee rode draden, dus voer de andere rode draad naar het kroonsteentje. Wanneer nu de spanning tussen de vrije rode en gele draad 0V is, dan staan nu de rode en gele wikkeling in fase. Markeer nu de rode en gele draden die in het kroonsteentje zitten. Deze draden horen bij dus elkaar.

Afregelen van de Voeding

Voordat de versterker in bedrijf gaat moet het nodige gecontroleerd en afgeregeld worden. Foto 8 geeft een indruk van de meetopstelling.

Nadat alles gebouwd is, moet eerst de voeding gecontroleerd worden en de Vneg afgeregeld worden. Verwijder alle buizen en J900 op de voeding.
Zet de potmeters R11, 50 , 90, 91, 92 en 93 in de middenstand. Plaats J1 op Ultra Lineair en J2 op Normaal.
- Zet de netschakelaar aan -> led D918/919 is rood. Meet V+ en V- op X902 pin 6= +12V pin 4= -12V.
- Druk op de drukknop -> led's Vnef, Vf1 en Vf2 (D911-913) gaan aan. Op de versterker zij led's D50 en 80 aan. Meet op D400 kathode HV > 350V. Meet op meetpunt (=mp) Vneg en regel met R68 de negatieve spanning op -60V. Meet alle gloeispanningen op de buisvoeten. Meet op de via's tussen R90 en TS82 het biasvenster en regel deze af met R80 op 10V. Zet de Bias grof potmeter R82 minimaal en meet de spanning op de buisvoeten B4-7 op pin 5 V-bias < 50V. Plaats een ampèremeter tussen B2 pin3 en massa en regel met R57 de stroom af op 10mA.
- Zet de voeding uit met de drukknop en plaats jumper J900 op 1-2 (net onder C805). Plaats een voltmeter op mp HV1.
- Zet de voeding aan met de drukknop en na +/- 1 minuut gaat led D917 aan -> HV1 stijgt naar +/- 340V en de led's D916, 915 en 914 gaan één voor één aan. Daarna wordt led D918/919 "Power OK" groen. Controleer op de versterker HV1 (mp M1) en B4-7 pin 3 en 4. Meet en regel de spanning HV2 (mp M2) op 250V met R208 (grof) en R202 (fijn). Meet en regel de spanning HV3 (mp M3) op 200V met R158 (grof) en R152 (fijn).
- Zet de voeding uit met de drukknop. HV1 en HV2 en HV3 moeten na 10s ontladen zijn.

Afregelen van de eindbuizen

Plaats de buizen en sluit een belasting (dummyload) aan op de 8 of 4Ω uitgang. Sluit een sinusgenerator aan op de ingang. Stel het generatorsignaal eerst nog in op nul volt.
- Zet de voeding aan met de drukknop en wacht twee minuten.
Het inregelen van de eindbuizen. Meet de spanning over de stroommeetweerstanden R26, 27, 30 en 31 (mp M13 en M13, de middelste is steeds de gemeenschappelijke). Het makkelijkst is om twee meters te gebruiken. Begin met M12 B4 en regel met R82 de spanning af op 450mV (=45mA). Meet op M13 B5 en regel met R93 de spanning gelijk aan M12 B4. Meet op M12 B6 en regel met R90 de spanning gelijk aan M12 B4. Meet op M13 B7 en regel met R91 de spanning gelijk aan M12 B6. Controleer M12 B4 en corrigeer eventueel met R92. Deze afregelingen moeten enkele keren uitgevoerd worden totdat de variatie minimaal is, dit kan best een paar uur duren.

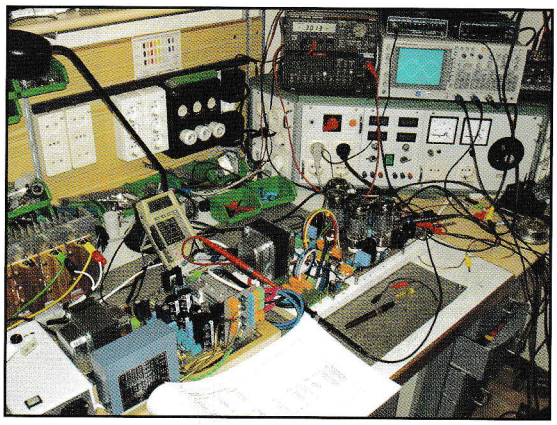


Foto 8:
Inregelen en opstarten van de versterker

Afregelen van stuurtrappen

Ook de fasedraaier met zijn stroombron en de voorversterkerbuis hebben enige afregeling nodig. Voer daartoe de volgende metingen uit.
- Gelijkloop van de stromen door B2 (= DC balans). Sluit de meetpunten M8 (= R11) met elkaar kort. Meet tussen M9a en M9b en regel de DC-spanning af op 0V. Verwijder nu weer de kortsluiting.
- Optimaliseren van de stroombron. Meet de DC spanning op M9a en M9b ten opzichte van massa en regel met R57 de DC spanning af op ½ HV2 (=125V bij HV2 van 250V). Het signaal loopt nu bij maximale uitsturing symmetrisch vast tegen de voedingsspanning.
- Gelijkloop van het audio signaal (= AC balans). Stel de sinusgenerator in op 1KHz 0.5Vtt. Meet met een oscilloscoop op M9a en M9b en regel de in tegenfase staande signalen met R11 aan elkaar gelijk. De signalen moeten aldaar zuiver sinusvormig blijven zonder zichtbare vervorming.
Als alles ingesteld is kan je de jumpers zetten naar eigen voorkeur. De versterker is nu klaar voor gebruik en of verdere experimenten.

Meten en luisteren

Ik heb enkele metingen uitgevoerd aan mijn versterker. Een ruststroom van 45mA is het maximale wat je uit de POW80 voedingstrafo kan halen als je vier eindbuizen gebruikt. Bij twee eindbuizen kan de ruststroom rustig per buis op 80 mA ingesteld worden. Bij 45 mA per eindbuis hebben ze het helemaal niet zwaar want hun anode dissipatie bedraagt slechts 45mA X 340V = 15,3W, terwijl de SED 6550 buizen maximaal 35W kunnen verdragen. De stroom uit de hoogspanningswikkeling is dan: 20mA (voeding zelf) + 50mA (voortrappen) + 4X 45mA = 250mA (DC). Zetten we dit om naar AC dan wordt de stroom √2 X 250ma = 354mA, De POW80 mag 2X 180mA = 360mA leveren, dus dit gaat goed aangezien de 6,3V maar 1A hoeft te leveren. Bij

twee eindbuizen kan de extra gloeistroomtrafo vervallen en kan dus de ruststroom worden opgeschroefd tot 80mA. Het uitgangsvermogen bedraagt dan 30 W. Een andere optie is om een Amplimo type 8n608 voedingstrafo te gebruiken (340V-800mA, 50V-100mA, 6,3V-12A). De voedingsspanning gaat dan omhoog naar 450-470V wat met de gekozen elco's net goed gaat (C307, 309 en 408 komen te vervallen). Pas dan wel R302, 317, 318, 932 en 933 aan. De rustroom per eindbuis mag dan op maximaal 70mA ingesteld worden (70mA X 450V = 31,5W); 60 mA is echter verstandiger om de levensduur van de buizen nog enigszins in toom te houden. Het uitgangsvermogen stijgt dan naar ongeveer 50W.

Het -3dB frequentiebereik bij 1W uitgangsvermogen loopt van 7 Hz tot 70 kHz en dat is erg ruim. Bij maximaal uitgangsvermogen gaat bij genoemde 7 Hz de kern van de uitgangstrafo in verzadiging, terwijl bij Pmax vlak boven 18 Hz die verzadiging net verdwijnt. Het -3dB frequentiebereik in het hoog valt bij Pmax ietsje terug naar 62 kHz. Brom en ruis aan de uitgang liggen onder 1,5 mVeff als de ingang wordt kortgesloten; de versterker is dus doodstil. De ingangsgevoeligheid van de versterker ligt voor Pmax op 350 mVeff, dus nagenoeg alle signaalbronnen kunnen er rechtstreeks zonder extra voorversterking op worden aangesloten.

Wat het luisteren betreft: ik werk op dit moment nog mono. Opvallend is dat zelfs daar al goed te horen is dat stemmen (het middengebied) veel losser en detailrijker klinken dan met transistorversterkers. Deze versterker reageert als alle buizenversterkers. Het geluidsbeeld en klankbeeld zijn natuurlijk en aangenaam, terwijl het laag (met enige tegenkoppeling) zijn volle dynamiek en controle blijft behouden.

Wat is er nu uniek aan deze versterker? Dat zijn het ontlaadcircuit, de instelmogelijkheden voor verschillende configuraties, de print lay-out met de gescheiden aardsporen van voortrap en eindtrap, de mogelijkheid om de componenten aan beide zijde te monteren en tot slot de bijzondere bias instelling.

Bronnen:

1) *Menno van der Veen: "Moderne High-End Buizenversterkers 2"; Elektor, ISBN 90-5381-204-0*
2) *www.mennovanderveen.nl; sectie "Tubesociety"*
3) *Menno van der Veen: "Kan een buizenversterker microdetails weergeven?"; Elektor Audio Special 3, 2008*
4) *vragen en opmerkingen: akkermansb@home.nl*

De luidspreker-units van het Deense Scan-Speak zijn het geheim achter het succes van 's-werelds beste en meest veeleisende luidsprekerbouwers en fabrikanten.

Gaat u uitsluitend voor compromisloze topkwaliteit, en wilt u voor een fraktie van de prijs toch op de eerste rij zitten, kom dan langs op één van de onderstaande luisteradressen en geniet van ultieme zelfbouw-luidsprekers zoals de compacte A4-monitor of de prestigieuze vloerstaande Ultimo.

Ook als u liever niet wilt doe-het-zelven hebben we een oplossing: alle modellen zijn ook kompleet gebouwd en in talrijke afwerkingsvarianten leverbaar.

Haarlem • Jansweg 37 • 023-532 02 30
Groningen • Stockholmstraat 2B • 050-314 49 78
Rotterdam • Bergweg 293 • 010-467 27 77
www.speakerenco.nl

Oss • Smalstraat 21 • 0412-64 76 50
www.speakerland.nl