

# BUIZEN SCHAKELINGEN

## nieuwe technieken

door John van der Sluis

### Inleiding

In "High End" kringen staan buizen weer volop in de belangstelling. Als je een audio speciaalzaak binnenloopt dan is het neusje van de zalm altijd een buizeninstallatie. Deze revival van de oude radiobuis begint in steeds meer kringen door te dringen en natuurlijk ook in de hobby-zelfbouw sfeer.

Mijn eigen ervaringen op dit gebied dateren uit de 50er jaren. Na mijn eerste kristalontvangers bouwde ik op 11-jarige leeftijd mijn eerste buizen-ontvanger met onderdelen van de rommelmarkt w.o. een A-415. Brom en ruis waren niet van de lucht, maar het werkte en beter dan wat ik daarvoor had.

Later werd het meer professioneel aangepakt en ik heb bijv. de bekende Williamson-versterker gebouwd en ook "Ultra-Lineaire" schakelingen. Na Philips uitgangstransformatoren kwam de U-70-BN van Unitran en dat was een hele vooruitgang. In die tijd waren er ook bouwdoosjes van Amroh die het leuk deden.

Eind vijftiger jaren gaf ik huisconcerten met een pseudo-stereo installatie. Dat ging nota bene met twee zeer verschillende luidsprekers. De een was een baskast en de ander had zelfs geen kast. Beide met de Philips luidspreker 9710M.

Het was een leuke en avontuurlijke tijd en de komst van echt stereo maakte het nog spannender. Er bleven een paar problemen : brom, ruis en slijtage! Vooral de eindbuizen waren kwetsbaar en de ingangsbuizen hadden last van mikrofonie.

### De Transistor

En toen kwam de transistor. "Solid State" noemden we dat in het begin. De **State** was misschien wel leuk, maar **Solid** was het geenszins. Om de haverklap waren de (germanium) transistoren defect. Ik liet speciale transistoren overvliegen uit Amerika, maar ook dat was geen onverdeeld succes. Bovendien was de ruis nog erger dan met buizen!

Met het silicium als basismateriaal (+/-1968) werd alles betrouwbaarder en ruisarmer.

Later met de komst van de plastic transistoren werd het nog goedkoop ook.

De buis? We lachten er om. Dat was iets voor ouderen, die uit nostalgie liever naar de "warme" klank van notenhouten kistjes luisterden. Een goede buizenversterker haalde met moeite 2% vervorming, terwijl wij al op minder dan 0,01% zaten. De frequentiekaracteristiek van een buizenversterker was verre van "lineaal-glad" en wij zaten binnen 0,1 dB van 20 Hz tot 40 kHz.

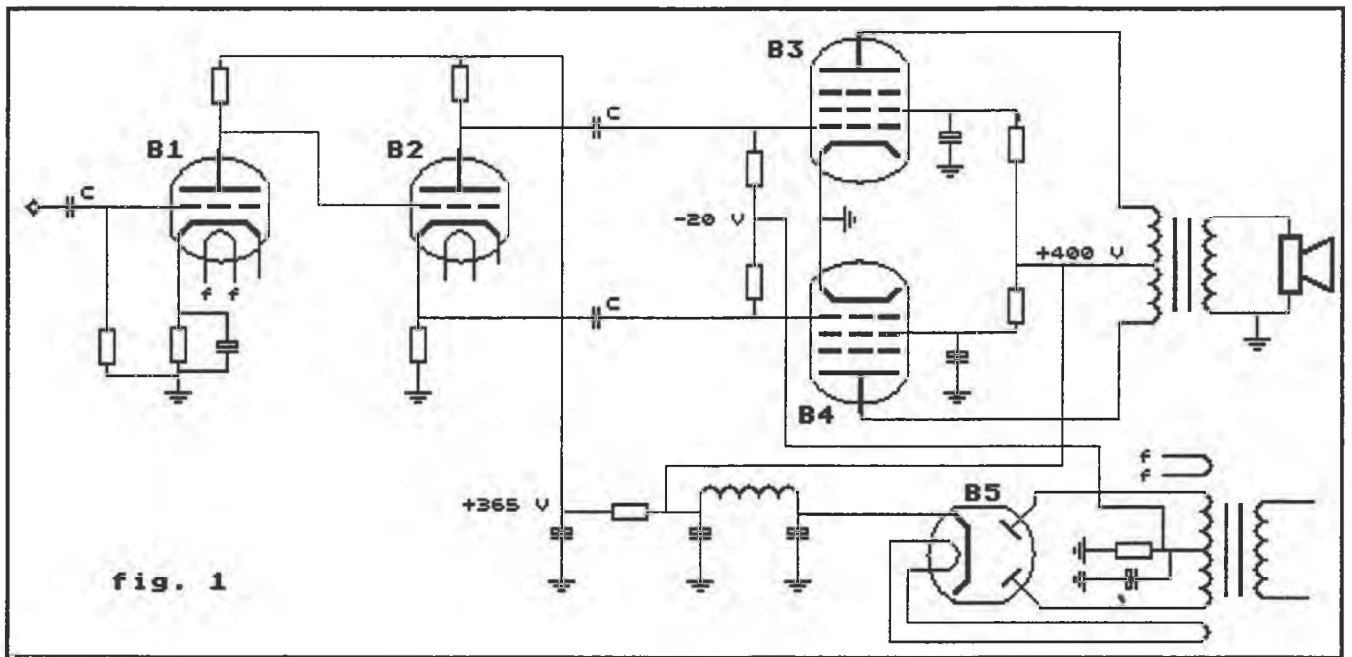
En natuurlijk kon het ook niet dat (een apparaat met zeer) slechte meetgegevens goed geluid opleverde.

Mis, mis driewerf mis. In onze onnozelheid gingen we voorbij aan het simpele gegeven dat ons gehoor meer hoort dan de meters aangeven.

Inmiddels (1972) hadden we een bouwdoosje gekonstrueerd met de naam "Hawk". Dat was een echte DC-versterker, dus met een ongelofelijke basweergave, zelfs uit een Quad elektrostaat! De vervorming was omstreeks 0,03% en de Japanners gingen nog verder; men kwam tot 0,0001% vervorming. Dat **moest** echt onhoorbaar zijn. Inmiddels weten we beter.

### Otala

In 1974 publiceerde Matti Otala, een Fin, zijn eerste artikel over Transient Intermodulatie Vervorming (TIM), waarin hij aantoonde dat een transistor niet het ideale versterker element is. Otala's betoog komt in het kort op het volgende neer. Een transistor is een nogal "krom" element met van nature een extreem hoge versterkingsfaktor. Wil je dat in de hand houden dan moet je tegenkoppelen en compensatienetwerken aanbrengen anders wordt de versterker instabiel. Hoe meer transistoren je gebruikt hoe meer versterking er is en hoe meer (overall) tegenkoppeling je kunt toepassen. Van buitenaf gezien en gemeten is daar niets mis mee. Echter binnen de lus (en zonder tegenkoppeling) is er met dergelijke schakelingen van alles mis.



figuur 1. Klassieke schakeling van een eindversterker

Een transistor vertraagt en de tegenkoppeling, waarmee het uitgangssignaal met het ingangssignaal vergeleken wordt, komt altijd *te laat*. Transistoren gaan dan bijv. "slewen" resp. lopen korte tijd vast tegen de voeding. Wilt U meer over dit onderwerp weten dan is dat te vinden in de "Journal of the Audio Engineering Society", kortweg JAES, 1974-1978. U kunt ook een aantal artikelen vinden in Radio Electronica en Radio Bulletin van de jaren 1978-1980.

Het bovenstaande doorredenerend kom je tot ontwerpen met zgn. "lokale" tegenkoppeling. D.w.z. dat iedere transistor van zijn eigen tegenkoppeling wordt voorzien en dus niet meer zo extreem versterkt. Bovendien kun je een schakeling zodanig ontwerpen dat hij ook zonder overall tegenkoppeling al goed werkt. Dat is na 1978 dan ook onze ontwerpvolgorde steeds geweest.

Het bovenstaande overwegende kwamen wij langzaam maar zeker tot de overtuiging dat het hier eigenlijk om de faktor "tijd" gaat. Een transistor heeft tijd nodig voor de overdracht van in- naar uitgang. Met het injekteren van elektronen in de basis komt een cumulatief effect op gang, een soort sneeuwbal effect, waarmee de collectorstroom toeneemt.

Later toonde Hephaistos in l'Audio-phile aan dat "thermische vervorming" ook in de tijd plaats vindt. Hij toonde eveneens aan dat buizen daar nauwelijks last van hebben. Thermische vervorming kun je tegengaan door altijd een relatief grote stroom door de transistor te laten lopen, zoals bijv. in klasse-A versterkers gebeurt. Wij lieten overigens in onze laatste voorversterkers ook grote stromen in de transistoren lopen, soms zelfs het tien- à twintig-voudige van wat gebruikelijk is.

## Buizenversterkers anno nu

De huidige "High End" buizenversterker verschilt nogal van wat we van vroeger kenden.

Een buis heeft de volgende (nadelige) eigenschappen :

- hoge in- en uitgangsimpedanties
- versterkt maar een kant uit en refereert altijd aan de voedings-(aarde-) lijn
- wisselspanning op de gloeidraden introduceert brom
- hoge voedingsspanning en dus duurere componenten
- verschillend spanningsniveau tus-

sen de trappen, waardoor op die plaats altijd koppelcondensatoren nodig zijn

De grote voordelen van buizen zijn de lineaire overdrachtskarakteristiek en de (t.o.v. de transistor) korte transfertijd.

In de huidige buizenversterkers vinden we veelal de volgende oplossingen :

- de hoogspanning wordt veel beter afgevlakt en eventueel gestabiliseerd
- de gloeispanning wordt gelijkgericht, afgevlakt en eventueel gestabiliseerd
- de koppelcondensatoren zijn van een veel betere kwaliteit dan vroeger (polypropyleen) en soms worden meerdere soorten parallel geschakeld

Veel fabrikanten gebruiken oude beproefde schakelingen, waarin bovengenoemde verbeteringen werden aangebracht. Een bijzondere ontwikkeling is wel dat op het gebied van audio transformatoren ook vorderingen zijn gemaakt. Zowel in Japan als in Engeland (Partridge) zijn nu uitgangstransformatoren te verkrijgen met een vrijwel lineaire overdracht tussen 20 Hz en 100 kHz.

Dergelijke transformatoren zijn wel bijzonder prijzig helaas en de meeste fabrikanten gebruiken relatief goedkope transformatoren.

In figuur 1 zien we zo'n oude schakeling. De geluidskwaliteit wordt in hoge mate bepaald door de condensatoren "C", de ontkoppelelco's voor de kathode van B1 en de negatieve voorspanning, resp. de uitgangstransformator. Een mogelijke verbetering is het toepassen van aftakkingen op de uitgangstransformator voor de schermroosters van de eindbuizen, waarmee de schakeling "ultra-lineair" wordt. Een panacee voor de eventuele onvolkomenheden is het toepassen van tegenkoppeling.

Daarmee daalt het vervormingspercentage, echter, net als in transistor schakelingen, moet je oppassen dat je met het kind het badwater niet weggooit. M.a.w. tegenkoppeling maakt nooit echt goed wat al fout is. Bijv. een slechte kwaliteit condensator of uitgangstransformator blijft hoorbaar.

We moeten bij dit alles bedenken dat een penthode, d.w.z. een buis met drie roosters, minder lineair is dan een triode en meer oneven harmonische vervorming oplevert. Een bijzondere penthode is de zgn. "beam-tetrode", de KT-66 resp. KT-88, die voor audio enigszins gunstiger is, echter duurder.

## OTL

Een geheel andere ontwikkeling is het vervolg op de transformatorloze zgn. "OTL" eindtrap en de "Moscode" schakeling. Bij de OTL-eindtrap gaat het om een schakeling, waarbij twee in serie geschakelde eindbuizen al dan niet via een elco direct de luidspreker aansturen. Daar de verkrijgbare eindbuizen maximaal 1,2 Ampere Anodestroom kunnen verdragen kan met zo'n schakeling een "moeilijke" luidspreker niet zonder meer aangestuurd worden. Een oplossing is dan om meerdere buizen parallel te schakelen, wat echter, gezien de daaruit volgende prijs voor de voeding en de buizen, heel duur wordt.

Een andere oplossing is om in de laatste versterkertrap, waar de luidsprekerstroom vandaan moet komen, Power Mosfet's toe te passen in plaats van buizen. Je hebt dan "The Best of Two Worlds", buizengeluid en voldoende stroom om ook de meest gecompliceerde luidspreker aan te sturen. Ook prijstechnisch is dat een aantrekkelijke oplossing.

## Bekende versterkers

### Audio Research

De meest geroemde versterkers zijn van "Audio Research". Vooral de (voorversterker-) modellen SP-9 en SP-11 worden wereldwijd geprezen om hun uitzonderlijke kwaliteiten.

Bij deze fabrikant werden bijzondere technieken ontwikkeld en de schakeling verschilt zeer van de meeste anderen. Hier is echt sprake van nieuwe schakeltechnieken.

### Conrad Johnson

Deze fabrikant gebruikt hoofdzakelijk eerder bekende schakelingen, die verbeterd zijn door de kwaliteit van moderne componenten (condensatoren). De goedkopere modellen voor- en eindversterkers klinken niet beter dan een goede (klasse-A) transistor schakeling. In de wat duurere modellen werd extra aandacht aan de voeding besteed en de koppelcondensatoren zijn overbrugd met een kleinere waarde waardoor het hoogschoner is.

### Jadis

Deze fabrikant schakelt in de eindtrap 2 x 5 buizen (KT-88) parallel, waardoor de primaire impedantie van de uitgangstransformator laag kan blijven en de transformatieverhouding laag. Daarmee is het probleem van de kwaliteit van de uitgangstransformator kleiner. Er wordt mee bereikt dat het vermogen vrij groot is en de bandbreedte en het faseverloop steken ook gunstig af in vergelijking met anderen.

## Luxman

Deze Japanse fabrikant maakte in de 60-er jaren mooie buizenversterkers, die nu opnieuw in productie genomen zijn. Hoewel de prijs niet onaanzienlijk is\* en de versterkers fraai afgewerkt zijn kunnen ze de vergelijking met de eerder genoemde fabrikaten niet doorstaan. Berichten luiden dat Luxman met verbeterde versies komt.

Een andere zaak zijn de types LV-103 en LV-105. Dat zijn een soort moscode schakelingen, waarbij de mosfets door een dubbeltriode gestuurd worden. De voorversterker is echter geheel met IC's en transistoren opgebouwd. Gezien de prijsstelling, zo rond fl. 2.000,-, zijn deze modellen concurrerend met transistor versterkers in dezelfde prijsklasse. Ze klinken in vergelijking goed op gemakkelijk aanstuurbare luidsprekers. Moeilijke luidsprekers met lage impedantie-punten worden niet goed aangestuurd.

Recent zijn er versterkers van Luxman op de markt die ook met de aanduiding "LV" beginnen, de zgn. "Brid-" serie. Daaronder zijn modellen met ingebouwde DA-converters waarmee digitale geluidsbronnen direct gedecodeerd kunnen worden. Deze modellen klinken erbarmelijk!

## Beard

Deze fabrikant maakt relatief goedkope buizenversterkers met bekende, en beproefde, schakelingen. Er wordt schermrooster tegenkoppeling toegepast (ultra-lineair). Dat verbloemt echter niet dat deze versterkers van een relatief goedkope uitgangstransformator voorzien zijn. Zowel in het hoog als in het laag klinken sommige transistor versterkers beter!

Naast de genoemde merken zijn er nog andere kleine fabrikanten die meer of minder mooie buizen versterkers maken. Het lijkt er op dat sommigen trendvolgers zijn, die slechts nabouwen wat al eerder of elders bedacht is.

Research is een kostbare en tijdverslindende zaak en men moet daarbij ook nog innovatief zijn. Gezien de betrekkelijk kleine markt voor deze producten is het ook niet erg lucratief om geld aan research te spenderen. De goed klinkende modellen komen van liefhebbers die jaren van hun leven in research gestoken hebben. Een (en misschien de enige) uitzondering is *Audio Research*.

We moeten ook bedenken dat de research op het gebied van transistor schakelingen veel intensiever is geweest en nog is. Alle grote fabrikanten hebben daar veel geld en mankracht in gestoken. De resultaten van dat onderzoek zijn door anderen gemakkelijk te kopiëren. Er zijn dan ook een veelheid aan relatief goedkope en goedklinkende transistor versterkers op de markt. Om die reden is het niet eenvoudig zo dat een buizenversterker altijd beter klinkt dan zijn transistor pedant. Wie er wat meer geld voor over heeft kan een heel goed klinkende transistor versterker kopen. Een goed of beter dan een transistor-schakeling klinkende buizenversterker is een uitzondering. De eerder genoemde voorwaarden zijn een absolute eis wil een buizenschakeling echt beter klinken.

## ZELFBOUW

De zelfbouw van buizenversterkers is (nog) niet erg gebruikelijk. Het Franse tijdschrift l'Audiophile was lange tijd de enige publikatie waarin hier serieus aandacht aan besteed werd. In dat blad werd uitvoerig het verschil tussen schakelingen en de toe te passen componenten besproken.

De best klinkende versterkers zijn volgens Jean Hiraga versterkers waarbij vermogens trioden gebruikt worden in de eindtrap. Helaas worden die buizen niet meer geproduceerd zodat dit voor zelfbouw niet in aanmerking komt. In Parijs wordt wel gedemonstreerd met een versterker waarin oude, direct verhitte (!), Westinghouse trioden zijn toegepast. In klasse-A natuurlijk.

Een onderzoek naar transformators leverde markante verschillen op. De mooiste transformators hebben helaas ook voor de doe-het-zelver een onaangenaam hoog prijskaartje. Een stereo eindtrap met dergelijke trafo's kost al gauw zo'n fl. 3.000,- of meer en dat lijkt voor een experiment, wat zelfbouw voor de meesten toch is, wat veel.

Ook in Nederlandse hobby-bladen zijn enkele ontwerpen gepubliceerd. Helaas blinken die niet uit door originaliteit.

Recent werd in *Radio Bulletin* een versterker beschreven met een ILP

ringkern transformator in de uitgang. Onze eigen metingen wezen uit dat deze transformators een beperkte bandbreedte hebben. Open loop kom je niet verder dan zo'n 16 kHz! Met tegenkoppeling valt daar wel wat aan te doen, maar het probleem blijft.

Daarbij moet gezegd dat uit het artikel blijkt dat de ontwerper het verschil in condensatoren niet hoort, wat op zijn zachtst gezegd merkwaardig is.

## ALTERNATIEVEN VOOR ZELFBOUW

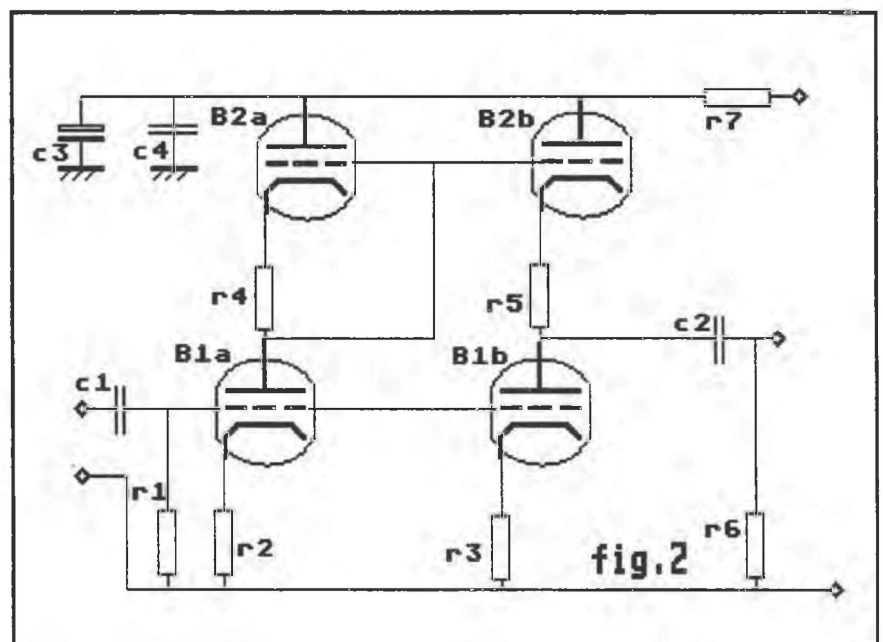
De laatste jaren hebben Peter van Willenswaard, Frits Savelkoul en ik ons verdiept in de mogelijkheden en eventuele voordelen van buizenversterkers. In dit eerste artikel wil ik een aanzet geven tot verdere experimenten en mijn eigen overwegingen op een rij krijgen. Een en ander leidt tot een definitief ontwerp wat in volgende afleveringen verder besproken wordt.

Mijn gedachtengang over dit onderwerp leidde tot de volgende overwegingen :

- een zelfbouwontwerp dient van excellente kwaliteit te zijn en zich te kunnen meten met gangbare (verkrijgbare) modellen.
- condensatoren in de signaalweg dienen zoveel mogelijk vermeden te worden en indien gebruikt van goede kwaliteit te zijn.
- een uitgangstransformator moet of heel goed zijn of vermeden worden.
- de eindversterker moet ook "moeilijke" luidsprekers aan kunnen.

We volgen nu stap-voor-stap de overwegingen voor het ontwerp van een eindversterker. In de eerste figuur zien we een variant op een oudere schakeling.

figuur 2. *Dubbele Cascade*

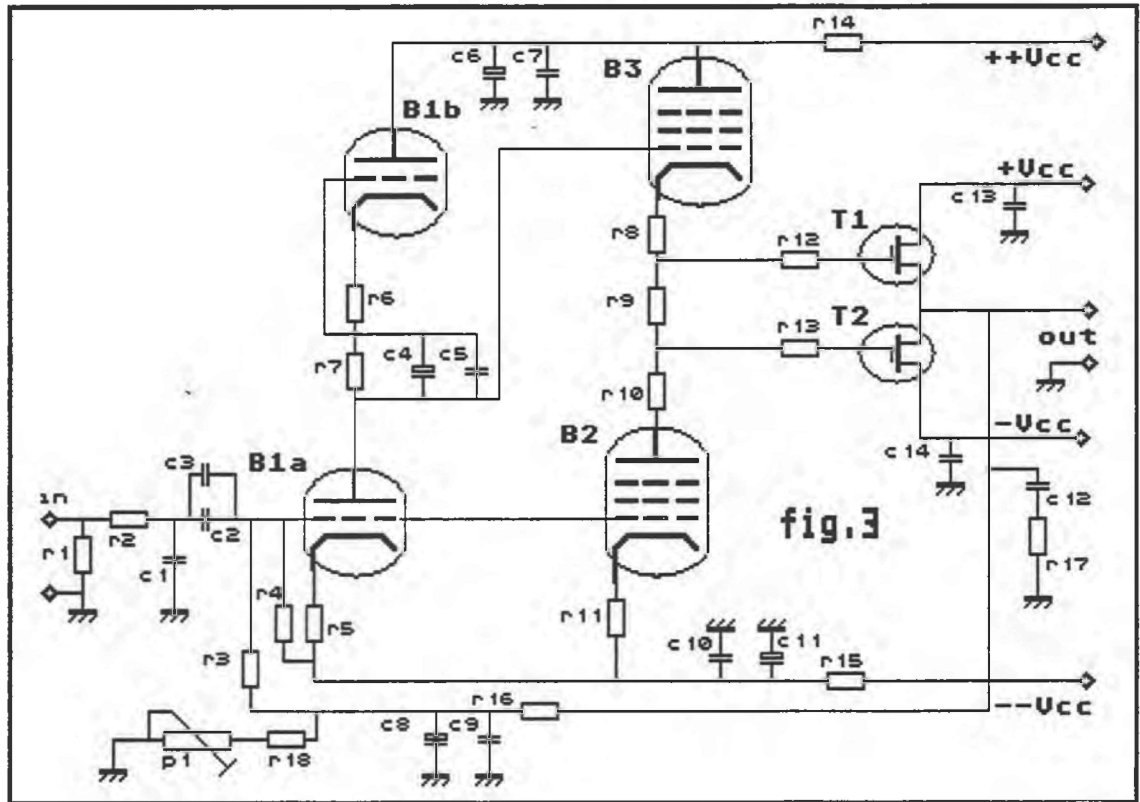


Al eerder werd een dubbel triode als "cascode" in serie geschakeld. Daarmee wordt terugwerking naar de ingang goeddeels onderdrukt. De term "cascode" is eigenlijk niet juist. B1b vormt een stroombron voor B1a. Indien de weerstanden R4 en R2 een gelijke waarde hebben dan zal aan de onderzijde van R4 de halve voedingsspanning aanwezig zijn. Het

voordeel is dan dat de uitsturingmogelijkheid (zwaai) maximaal is. Indien we het signaal vanaf R4 bekijken dan zien we bovendien dat we daar een relatief lage impedantie hebben. Door de toevoeging van B1b en B2b ontstaat een versterker met bijzondere eigenschappen. De uitgangsimpedantie wordt zeer laag, de vervorming ook en we hebben een vrij grote spanningsversterking.

Met goed gekozen weerstandswaarden en bij een relatief lage voedingsspanning (vanaf 70 Volt afhankelijk van de gekozen buis) krijgen we een fraaie ingangsversterker voor de eindtrap. Een lage voedingsspanning heeft ook nog het voordeel dat de ruis laag is.

De volgende stap was dat we het liefst power mosfet's toepassen voor de eindtrap. Dergelijke transistoren kunnen grote stromen leveren in lage impedanties. De ingang (gate) heeft een hoge impedantie, wat echter deels teniet wordt gedaan door de ingangscapaciteit. Om ook snelle impulsen door te kunnen geven zal de voorgaande trap een relatief hoge stroom moeten leveren. Een andere kwestie is het bepalen van de DC-niveaus. We willen het liefst, in tegenstelling tot bekende moscode-schakelingen, de fet's direct koppelen met de luidspreker om een maximale controle over het luidsprekergedrag te verkrijgen. Dat nu betekent weer dat we voor de fet's een DC-conversie nodig hebben.

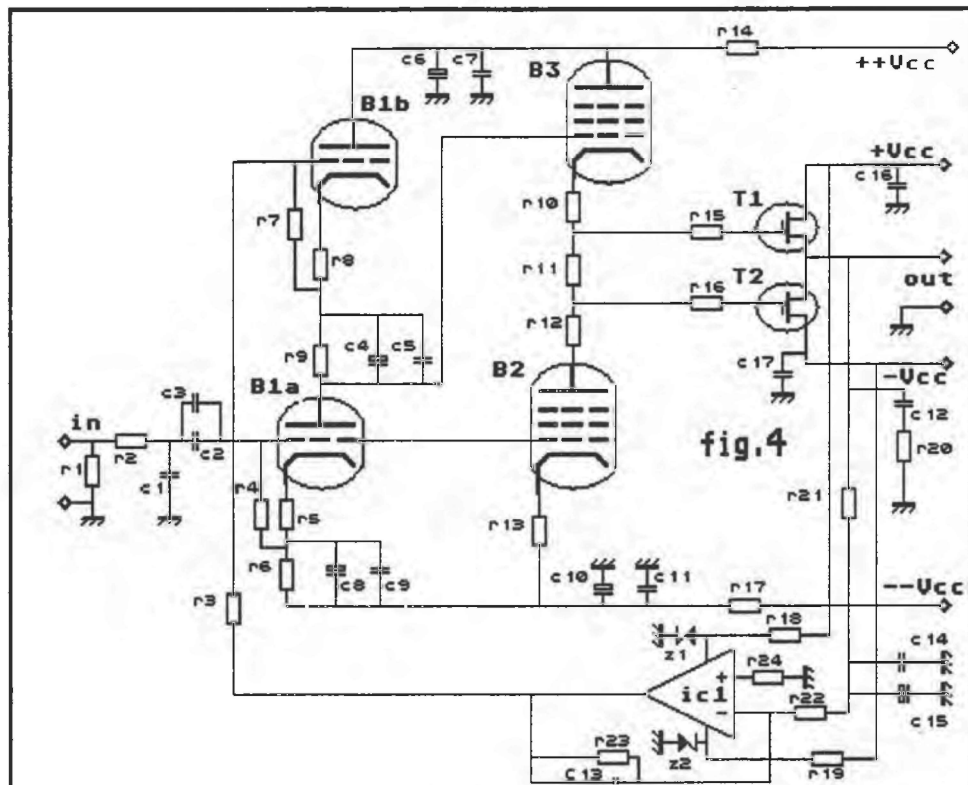


Figuur 3. DC-gekoppelde moscode-schakeling

De fet's worden gevoed uit een positieve en negatieve voedingsspanning en het ligt dan voor de hand om dat ook met de (ingangs-) buizen te doen. Vervolgens moeten we oppassen dat we geen offsetspanning op de luidspreker-aansluiting krijgen.

Het eerste experiment zien we in figuur 3. Na de eerste dubbeltriode volgt een trap met penthode eindbuizen (EL 84), die de fet's direct dus DC aanstuurt. De offset is af te regelen met P1. De schakeling werkt goed echter tijdens het opwarmen verloopt de offset. De versterkingsfaktor van de buizen is onvoldoende en op het moment van inschakelen versterken ze geheel niet. Daardoor zal bij het inschakelen een onbepaalde spanning op de luidsprekerklemmen aanwezig zijn. Je moet dus eerst de versterker laten opwarmen voordat de luidsprekers verbonden worden. Een volgende gedachte was om een relais in de uitgang te zetten, dat pas in komt nadat we zeker weten dat de offset klein is. Het grootste bezwaar, naast de benodigde extra elektronica, zijn de relaiskontakten. De kwaliteit van die kontakten bepaalt mede de geluidskwaliteit!

Een voordeel van de schakeling van figuur 3 is dat we slechts een koppelcondensator nodig hebben. Wel is het zo dat de ingangsbuis relateert aan de voeding en dat de afvlakking van die negatieve voedingsspanning (C10,C11) heel goed moet zijn.



figuur 4. Moscode schakeling met IC voor offsetregeling

Hierna werd geëxperimenteerd met een IC voor de DC-tegenkoppeling, zoals te zien is in figuur 4.

Ook deze schakeling verloopt tijdens het opwarmen. Wel is het zo dat de buizen keurig op het "midden" van de spanning worden afgeregeld, wat eventuele verouderingsverschijnselen elimineert.

Onze laatste experiment ziet U in figuur 5.

Zoals te zien is worden de fet's nu aangekoppeld via een condensator en het nulpunt met het IC afgeregeld. De ruststroom door de fet's wordt bepaald door de twee stroomspiegels. De schakeling is nog niet geheel klaar. We verwachten in een volgende aflevering de kant-en-klare en beproefde schakeling te

kunnen beschrijven. Wel kunnen we nu al zeggen dat het geheel veelbelovend klinkt.

### WAARSCHUWING

De tot nog toe beschreven schakelingen zijn experimenten en **NIET** gegarandeerd. U kunt verder experimenteren maar ook in dit geval geldt:

**"Meten is Weten!"**; (Dokter Blan).

figuur 5. moscode-schakeling met IC voor offsetregeling en stroomspiegels voor de regeling van de ruststroom.

