

De Elektronenbuis

Een hobbyist aan het woord

Roel Zwetsloot

Er zijn tegenwoordig nog maar weinig hobbyisten die met buizen bouwen. Het merendeel daarvan is daarnaast niet al te jong meer. Zelf heb ik de 'buisengekte' te pakken gekregen op de jaarlijkse radiomarkt van het VERON in Rosmalen. Het tweede jaar dat ik ging had ik een vriend uitgenodigd mee te gaan. Ik prutste toen met transistors en microcontrollers, hij met buizen. Overtuigd om het eens te proberen verliet ik de beurs met mijn eerste paar buizen en dat smaakte naar meer. Waarom? Om meerdere redenen. Het resultaat steek je niet in een zwart niets zeggend doosje met knopjes, het glaswerk mag natuurlijk gezien worden. Het bolle glas en de rode gloed van de gloeidraden heeft aantrekkelijke charme. Om dezelfde redenen is het bouwproces heel leuk. Elke stap zie je het eindresultaat mooier en mooier worden. Met weinig en grote componenten is het bouwen ook een stuk prettiger, maar hoewel de schema's relatief weinig componenten bevatten zijn daarvoor het rekenwerk en de componentkeuze des te belangrijker. Met diezelfde vriend gaan aan het bouwen tegenwoordig vele uren denkwerk, rekenwerk, simulatie en brainstorming aan vooraf.

Klank

Aangezien geen van mijn projecten in het vroege stadium echt goed klonk kan ik dat nog niet aanvoeren als reden natuurlijk, maar al snel volgde er meer projecten. '2e26' was een echte mijlpaal met goede performance en werd al snel gevolgd door 'Minimi', een project met een heel ander doel voor ogen. Gericht op prijs en afmetingen was de performance ook verassend goed. Van de eerste bodeplots met meer deuken en kreukels dan op een hand te tellen valt werd het dus al snel beter. Vlakke response en dus betere overdracht van de lage tonen, minder vervorming en tegelijk meer power. Naast het bouwplezier klinkt het nu ook nog eens heel goed. Het debat of transistors beter zijn dan buizen blijft natuurlijk altijd bestaan. Naar mijn mening hebben beide hun voordelen. Ik houd van warme tonen, iets wat buizen goed doen. Daarnaast zijn transistors dan wel goedkoper, maar de het plezier van het bouwen met buizen is zo significant groter dat de keuze voor mij makkelijk gemaakt is!



Figuur 1: Roel Zwetsloot in zijn werkplaats met een VT4c triode.

Minimi II

Op het moment bouw ik aan de opvolgers van de oude generatie, waaronder Minimi II. Deze leent zich goed voor uitleg omdat deze ontworpen zijn met formaat en simpliciteit als belangrijkste eigenschappen. Het verschil met zijn voorganger is echter dat het budget veel ruimer is, met als gevolg dat er geen compromis gemaakt hoeft te worden op geluid.

Het ontwerp bestaat eigenlijk maar



Figuur 2: Stereo 5W SE. Het eerste grote succes uit mijn bouwcarrière.



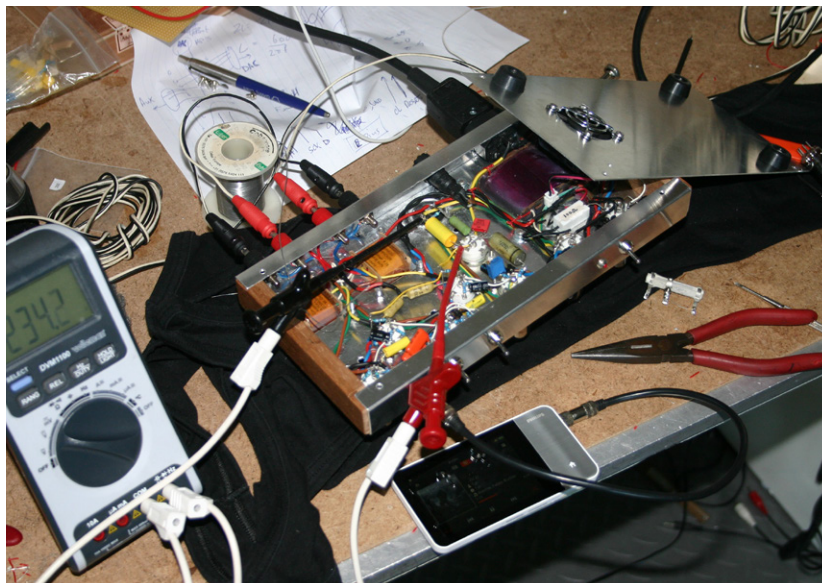
Figuur 3: Stereo 3W SE. Gebouwd om klein en goedkoop te zijn, heeft deze kleine amp toch verrassend veel 'punch' en is hij zeer stabiel.

uit drie onderdelen: de voortrap, de eindtrap en de voeding. Van de voor en eindtrap zijn er twee, aangezien het een stereo uitvoering is.

In de voortrap heb ik gekozen om de E80F buis te gebruiken, een pentode. Ik heb gekozen voor E80F vanwege robuustheid en lage ruis. De E80F is een special quality buis. Dat betekent dat deze buis een verlengde levensduur, minder ruis en microfonie heeft



Figuur 5: Stereo 12W SE. Ontworpen voor maximaal vermogen en bass. Geweldige resultaten, desondanks in de wachtrij om gereviseerd te worden vanwege thermische problemen.



Figuur 4: Minimi van binnen op de testbank. Meten, verbeteren, testen en opnieuw.

dan de normale versie: deze EF86 is al een uitstekende en populaire buis. De voortrap moet ontworpen zijn op lage ruis, genoeg versterking, klank en lage distortion. Triodes klinken prettiger dan pentodes en meestal gebruikt men deze dus in de voortrap. Omdat een pentode geschakeld als triode hetzelfde, soms zelfs beter doet dan een triode zijn deze uitstekend geschikt in deze positie. Een pentode wordt als triode ingesteld door het schermrooster aan de anode te verbinden. In de eindtrap komt een enkele E80L, weer een special quality buis. Weer een pentode maar dit keer een eindpentode. Deze kunnen meer vermogen leveren en zijn dus bedoeld om speakers etc. aan te sturen. Deze buis wordt niet geschakeld als triode aangezien de voortrap de klank al bepaalt en een triode als eindbuis weinig vermogen levert.

Rust Instelling

In rust moet er een stroom door de buis heen lopen aangezien de buis alleen kan dissiperen en geen stroom kan leveren. De negatieve helft van het signaal zou wegvallen zonder ruststroom. In het figuur met de triodecurves is de rust instelling van de voorbuis aangegeven met de rode stip. De ruststroom (2.7mA) loopt ook door R2 en daarbij

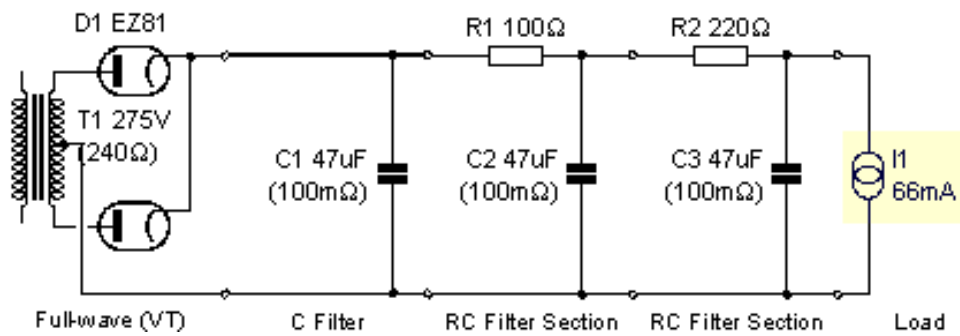
komt de kathode van de buis op een hoger potentiaal (+3.25V) dan aarde. De DC spanning van het rooster is nog steeds 0V; netto is de rooster-kathodespanning dus negatief wat de buis op zijn werkpunt instelt. Voor de eindbuis blijft het principe gelijk, maar complexer.

Voeding

De voeding wordt geregeld voor de dubbele buisgelijkrichter EZ81. Een dubbele filtersectie erachter zorgt ervoor dat de voeding bromvrij is. De stroombron simuleert twee versterkanalen, welke samen 66mA bij 290V opnemen. De transformator levert ook de gloeispanning voor alle buizen.

Signaal

Het klein signaal principe van het schema is voor een buizenversterker vrij eenvoudig. Het signaal wordt aangeboden op J1 en ontdaan van DC offset en lage frequenties door C1 en R1. Deze lage frequenties belasten de versterker alleen maar extra, ze verstoren de rustinstelling en je hoort ze toch niet. Een stijgende spanning op het rooster van de triode laat meer elektronen van de kathode naar de anode door. Deze extra elektronen zorgen voor een hogere spanning over zowel



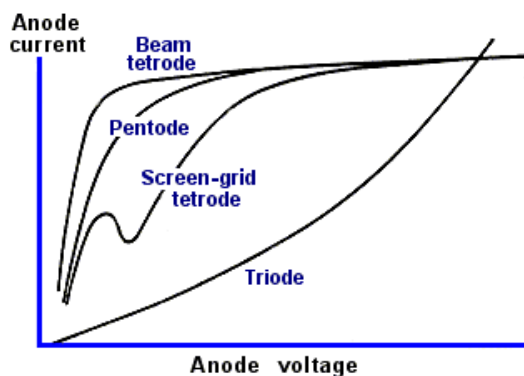
Figuur 6: De voeding

R3 als R2. De rode stip beweegt zich als het ware over de rode lijn: de helling van deze lijn wordt bepaald door R3. De toenemende stroom door R2 zorgt ook dat de kathodespanning stijgt, waardoor de kathode-roosterpanning weer iets afneemt - een vorm van vervorming verminderende feedback. Het signaal over R3 wordt afgetapt. Het is 180 graden fase verschoven en heeft een grotere amplitude om de eindbuis aan te sturen. C2 en R4 blokkeren de anode biasspanning van de stuurbuis. De eindbuis is een pentode, welke door de transformator en R6 tussen triode-mode en pentode ingesteld wordt. Dit noemt men de "Ultralineair" instelling en zit halverwege triode en pentode. Het heeft als voordelen dat het uitgangsvermogen veel hoger is dan een triode, maar de vervorming lager is dan zowel een pentode of een triode. Verder werkt de buis hetzelfde met als verschil dat de buis veel meer vermogen kan leveren. Daarnaast gebeurt dat niet in een weerstand maar "in" een transformator. Deze transformator negeert de anode biasstroom

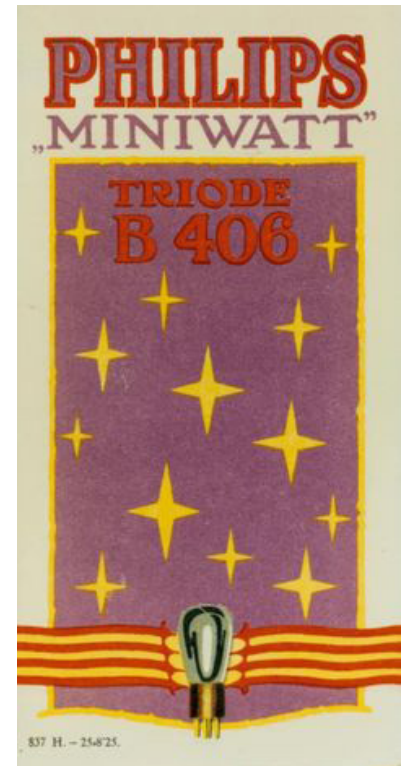
maar koppelt het sterke signaal naar de speaker. Een buis ziet graag 200-400V en een lage stroom, maar een speaker 2-15V en een hoge stroom. De wikkolverhouding van de transformator is zo dat de impedantie van de speaker omhoog getransformeerd wordt. Daardoor ziet de buis een voor hem optimale impedantie en kan hij ook meer vermogen leveren. Bij de eindbuis is de kathode weerstand R5 echter ontkoppeld voor het klein signaal. Dat is omdat de eindbuis maximale versterking moet hebben om veel vermogen te kunnen leveren bij lage vervorming. R7 zorgt voor feedback vanuit de uitgang naar de voortrap om de vervorming die de uitgangstrap bijdraagt te verminderen.

Buizen

Geluidsversterkers zitten overal, van smartphones tot omroep installaties. Tegenwoordig meer dan vroeger omdat de mogelijkheden groter zijn, maar ook ruim voor de tweede wereldoorlog had men al middelen om elektrische signalen te versterken. Dit werd



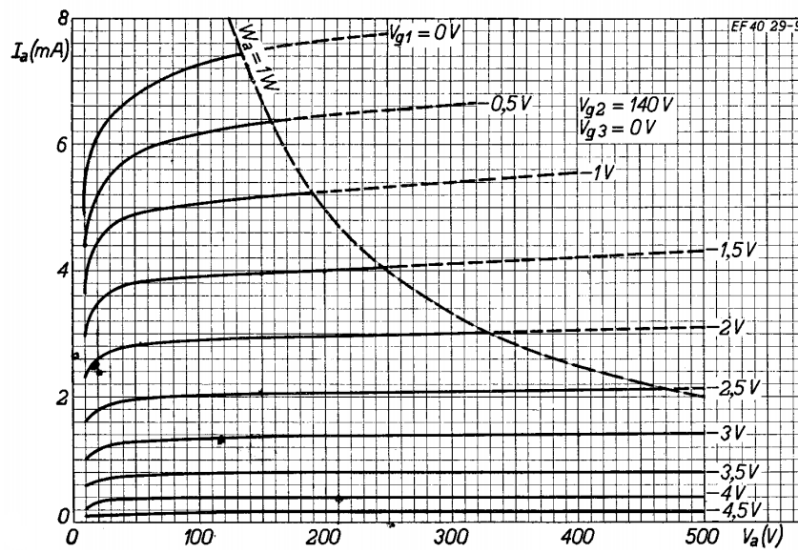
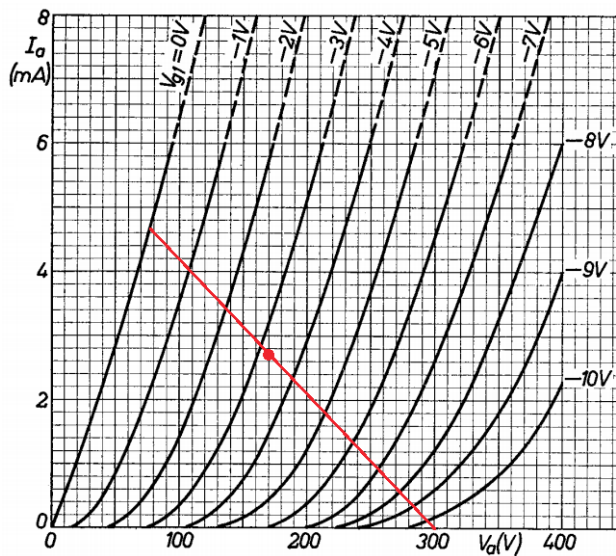
Figuur 8: Anodestroom als functie van anodespanning, met het stuurrooster op hetzelfde potentiaal als de kathode. Buistype als parameter.



Figuur 7: Reclame van Philips voor de vroege B406 audiotriode

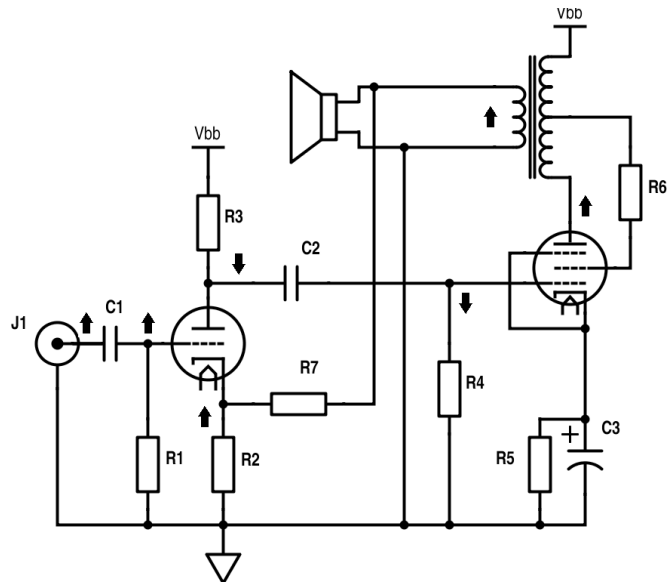
gedaan met behulp van buizen. Net zoals bij een kathodestraalbuis in een oscilloscoop of een oude TV wordt er rondom een kathode een elektronenwolk gegenereerd door deze te laten gloeien. De elektronen worden door een positieve spanning op de anode er naar toe getrokken. De anode is zelf echter niet warm genoeg om elektronen uit te zenden en dus kan de stroom maar in één richting: een diode. Deze diode kan niet versterken. Om deze stroom elektronen te reguleren kan er een rooster in de baan van de elektronen ingebracht worden. De som van de krachten op de elektronen, en dus de som van de velden bepalen de doorstroom in de buis. Door de rooster spanning te variëren varieert ook de hoeveelheid doorgelaten elektronen: een spanning gestuurde stroom 'bron', de triode.

Deze triode is echter verre van een perfecte stroombron. Als de spanning op de anode verandert dan verandert het veld en dus de stroom door de buis. Om dit probleem op te lossen



werd een heel fijn rooster ingebracht, het schermrooster. Dit rooster zorgde onder andere voor een constant aanwezig veld in de buis. Het rooster is zo dun dat elektronen het bijna niet raken, en de anode zijn functie behoudt. Deze tweeroosterbuis heet de (screen-grid) tetrode.

Ook de tetrode heeft nadelen. Bij bepaalde instellingen heeft deze last van secundaire emissie. Elektronen die de anode raken slaan andere elektronen los, die aangetrokken werden door het schermrooster. Daardoor heeft de tetrode een rare kronkel met een plaatselijke negatieve differentiële weerstand. Hierdoor kan de buis ongecontroleerd gaan oscilleren. Om deze elektronen terug te sturen werd een remrooster ingebracht met als gevolg de pentode. Een beam tetrode berust op hetzelfde principe.



Tips

Wil je zelf eens buizen zien, heb je interesse in elektronica geschiedenis, of wil je misschien zelfs zelf eens met buizentechniek doen? Kom dan eens kijken in

de Studieverzameling. Ik en de andere vrijwilligers zijn altijd enthousiast voor een praatje en helpen je graag op weg. Je kunt ons elke maandag vinden in de kelders van EWI. 