

# Hybride hoofdtelefoonversterker

Jeff Macaulay

Het gebruik van een hoofdtelefoon is in theorie superieur aan luidsprekers omdat externe invloeden zoals kamerreflecties en de juiste opstelling van de apparatuur wegvallen. Daarnaast is de afstand van de transducer (luidsprekermembraan) en het oor minimaal, zodat er weinig vermogen nodig is. Door het lage vermogen hoeft het membraan ook maar een geringe uitslag te maken. Hierdoor wordt de THD (Total Harmonic Distortion) en andere niet-lineaire vervormingen beperkt.

Het ontwerp van deze hoofdtelefoonversterker is wellicht wat controversieel omdat er (1) unity voltage gain wordt toegepast en er (2) elektronenbuizen én transistoren in hetzelfde ontwerp worden geplaatst.

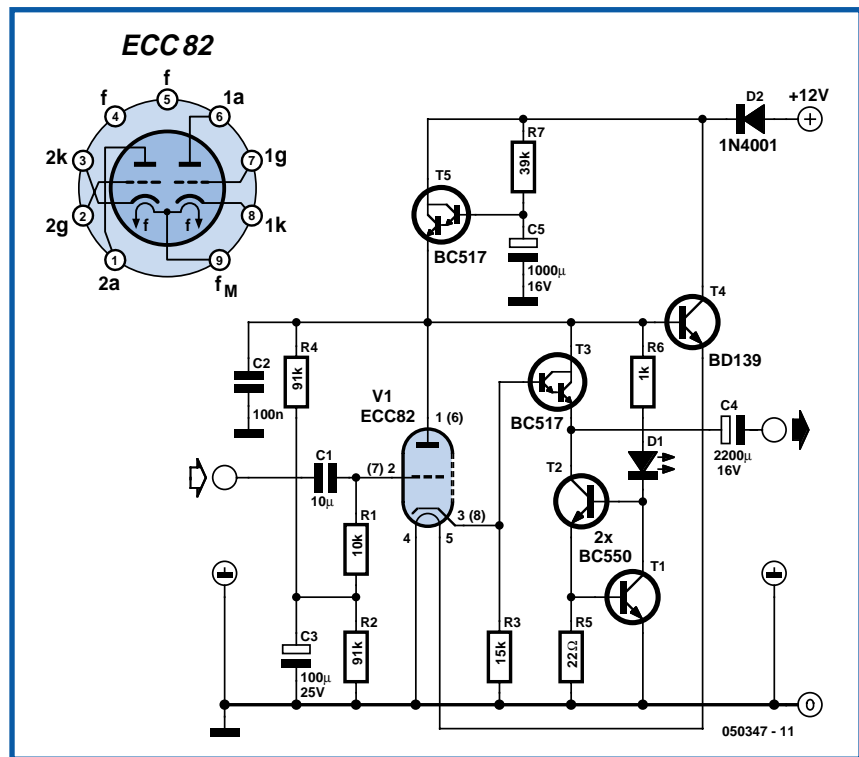
De meeste hoofdtelefoons hebben een impedantie van 32 Ω per kanaal. Het maximaal haalbare vermogen in een 32 Ω hoofdtelefoon, aangesloten op een standaard line-out uitgang van 775 mV (op de meeste apparatuur aanwezig) kan als volgt berekend worden:

$$U^2 / R = 0,775^2 / 32 = 18 \text{ mW}$$

Een tochtje langs gespecialiseerde hifi-winkels leerde ons dat de gevoeligheid van goede hoofdtelefoons varieerde tussen 96 dB en 103 dB/mW! Dus in de praktijk is 0 dB versterking (eenmaal) voldoende om geluidsniveaus tot aan de pijngrens te bereiken.

Een unity-gain versterker, ook wel spanningsvolger genoemd, heeft feitelijk een versterking van 1 maal. Dit betekent dat ingang en uitgang dezelfde spanning hebben. Voordeel is dat we hiermee een uitgangstrap met weinig vervorming hebben. Gebruik van een emittervolger is een goede keuze voor dit ontwerp. Dit levert nagenoeg unity-gain op met veel terugkoppeling.

Helaas is de impedantie van een emittervolger afhankelijk van de bronimpedantie. Een volumeregeling zal een afwijkende impedantie opleveren. Hierdoor kunnen kleine maar hoorbare verschillen in geluidskwaliteit optreden. Om dit te voorkomen wordt de uitgangstrap



gestuurd door een kathodevolger die is gebouwd rond een ECC82 elektronenbuis (Amerikaans equivalent: 12AU7). Deze schakeling zorgt in tegenstelling tot een transistorschakeling voor aansturing van de uitgangstrap met een constante lage impedantie.

Omdat de schakeling maar een gering vermogen hoeft te leveren, is een klasse-A versterker de enige zinvolle keuze. In dit geval is voor de veel verguisde eenvoudige uitgangstrap gekozen. Deze trap wordt gevormd door T3 en de constante-stroombron T1/T2. De constante-stroombron wordt ingesteld door spanning  $U_{be}$  van T1 over R5. De weerstandswaarde is 22 Ω, dus de stroom is ingesteld op 27 mA. T3 is als emittervolger geschakeld met een hoge ingangsimpedantie en een lage uitgangsimpedantie. Een nadeel van het gebruik van een buis bij lage voedingsspanningen is de beperkte uitgangsstroom. Om vervorming te voorkomen moet de uitgangstrap de buis dus zo weinig mogelijk belasten. Daarom is gekozen voor een BC517 voor T3, met een stroomversterking van 30.000 maal bij 2 mA.

De laagohmige uitgangstrap wordt verbonden met de belasting via C4. Hifi-puristen zullen terugschrikken voor het

gebruik van een elektrolytische condensator voor dit doel. De hierdoor geïntroduceerde vervorming is echter minstens tweemaal lager dan bij inductieve koppeling. De rest van de schakeling dient om de diverse spanningen in het circuit juist in te stellen. Om een lineaire output te verkrijgen moet de buis worden ingesteld op de helft van de voedingsspanning door middel van R4 en R2. Het ingangssignaal wordt via C1 aan de buis toegevoerd. Weerstand R1 definieert de ingangsimpedantie van de versterker. C1 is voldoende groot om het frequentiebereik naar beneden door te laten lopen tot 2 Hz.

Om te voorkomen dat de buis via de voedingsspanning brom doorgeeft aan de eindtrap, is in de voedingslijn een extra stabilisatie toegevoegd met T5, R7 en C5. Een bijkomend en belangrijk voordeel is dat de voedingsspanning geleidelijk toeneemt na het inschakelen. De voeding van de versterker wordt ook gebruikt voor de gloeidraad van de elektronenbuis. Gelukkig werkt de gloeidraad van de ECC82 vanaf 12,6 V. Transistor T4 staat in serie geschakeld met de gloeidraad. De basis is verbonden met de emitter van T5. T4 heeft een zeer lage uitgangsimpedantie van ongeveer 160 mΩ. Dit draagt

bij aan het onderdrukken van stoorsignalen die de gloeidraad eventueel kan oppikken. Doordat T4 wordt aangestuurd

door T5 zal de buis ook langzaam opwarmen na het inschakelen. Aangezien de spanningsval over T4 maar

enkele volts bedraagt, heeft deze geen extra koeling nodig.

(050347)