

een quad-aardig principe

In de nieuwe 100 Watt-versterker van Quad is het probleem van de niet-lineariteit ten gevolge van een ruststroomloze instelling van de eindtransistoren radikaal opgelost. Deze instelling is nl. essentieel voor de thermische stabiliteit. De eigenschappen van de eindtrap zijn onafhankelijk van de (niet-lineaire) karakteristieken van de actieve componenten in de eindtrap; de overdrachtskarakteristiek hangt slechts af van vier passieve componenten.

Een ruststroomloze instelling van de eindtransistoren is noodzakelijk geworden met de komst van versterkers met zeer grote uitgangsvermogens. In deze Goliath's (bijv. Crown, Phasilinear) zijn zowel voor de NPN- als de PNP-helft meerdere powertransistoren parallel geschakeld. Soms bestaat zo'n powertransistor op zichzelf weer uit een serie-schakeling van twee transistoren. Deze maatregelen zijn noodzakelijk omdat er (nog) geen powertransistoren zijn, die voldoen aan de eisen m.b.t. de spanningen en stromen, welke bij deze uitgangsvermogens van 100 tot 800 Watt horen.

In ieder geval is de thermische stabiliteit ermee gediend, als de eindtransistoren geen ruststroom trekken (dissipatie!). Bij een groot aantal parallel geschakelde powertransistoren is dit een zaak van levensbelang. Ook in de Edwinversterker staan de eindtransistoren zonder ruststroom ingesteld.

In figuur 1 is het blokschema van een eindtrap met ruststroomloze eindtorren getekend. Blok B levert het zware werk; ten gevolge van de energiecrisis-instelling binnen blok B, vertoont deze de beruchte dode-zonekarakteristiek met alle crossover-ervorming vandien. Blok A levert behalve de sturing voor blok B ook via de weerstanden R stroom in de belasting. In het dode-zonegebied van B is I_L dus ongelijk aan nul.

Blok A dient een optimale B-instelling te krijgen, d.w.z. een juiste overlapping van de NPN- en PNP-karakteristieken. Voor A kan men ook een klasse A-versterker nemen, mits bepaalde maatregelen genomen worden.

In figuur 2 zijn de deel-karakteristieken van A en B en de hieruit resulterende totaal-karakteristiek getekend. De waarde van de weerstanden R is van invloed op de steilheid (de helling $dI(A)/dV_{in}$) van blok A; tevens is R een maat voor de bijdrage van A aan het uitgangsvermogen.

De steilheid van B is in een gezond ontwerp over het grootste gebied konstant (lokale stroomtegenkoppeling d.m.v. emitterweerstand). Buiten het dode-zonegebied zijn zowel A als B werkzaam; de totaal-karakteristiek vertoont zonder maatregelen een knik. De met deze knik samenhangende crossover-verschijnselen zijn al veel minder ernstig, vooropgesteld dat de steilheid van A minstens zo groot is als die van B. Bovendien zijn ze verplaatst naar hogere vermogens. Vooral die ontwerpers, welke af en toe ook nog eens naar muziek luisteren, zullen dit als een voordeel beschouwen.

In figuur 3 is getekend hoe de totaal-karakteristiek recht kan worden gemaakt. De dissipatie in A is het laagst, als de hoek β nul gekozen wordt. De hieruit resulterende konstante-stroom-karakteristiek is onbruikbaar; A moet immers ook nog de sturing voor B leveren. We zoeken naar een oplossing met een zo klein mogelijke hoek β .

Een Quad-aardig principe

Voor de basisopzet van de Quad-schakeling, welke ontwikkeld is door P.J. Walker en M.P. Albinson van de welbekende Acoustical Manufacturing Company (Quad), wordt naar figuur 4 verwezen. De sturing t.o.v. de 'hete' kant van Z_L is voor het principe niet belangrijk.

A is een klasse A-versterker met een grote open-lusversterking A_0 en een uitgangsvermogen van ca. 2 Watt. Deze versterker levert de sturing voor de ruststroomloze 'zware jongens' T1-T2. Tevens levert A via Z_3 een eigen bijdrage I_3 aan de stroom I_L door de belasting. Z_1 en Z_2 zijn veel groter dan Z_3 en Z_4 . Op de min-ingang van A staat een serieschakeling van de spanning over Z_4 en een fraktie $Z_1/(Z_1 + Z_2)$ van de V_{be} van de eindtransistoren. Indien de tegenkoppelspanning uitsluitend bestaat uit de spanning $I_4 \cdot Z_4$, is er in het dode-zonegebied, waar I_4 nul is, geen tegenkoppelspanning. Er is dus ook geen effectieve tegenkoppeling. Dit is altijd het probleem geweest: in het dode-zonegebied gaat de tegenkoppeling de mist in en daarmee ook de heilzame werking ervan op de lineariteit (vervormingsreduktie). Het is wellicht zinvol, om nog eens een open deur in te trappen: tegenkoppeling is alleen dan effectief, als er een geschikte tegenkoppelspanning is. Hiermee is de problematiek rond crossover-ervorming, clipping-verschijnselen en de z.g. Transient IM-ervorming goeddeels verklaard.

overgenomen uit Elektuur oktober 1975.
uitg. mij. Elektuur b.v.
postbus 75,
Beek (L).

rug naar Quad. Door het aan de min-ingang van A toevoeren van een gedeelte van de basis-emitterspanning van de eindtransistoren is er altijd een tegenkoppelspanning; de tegenkoppeling is dus altijd effectief. T.a.v. de tegenkoppelspanning op de min-ingang van A is er sprake van 'bijvoeging van het ontbrekende' (zie Klein en Zaalberg van Zelst, Instrumentele Elektronica, hoofdstuk 27). In het dode-zonegebied is er uitsluitend spanningstegenkoppeling. Bij grotere uitsluiting gaat de tegenkoppeling via $I_4 Z_4$ steeds meer overheersen.

Berekeningen

Aan de hand van figuur 4 wordt de stroom I_L door de belasting Z_L als functie van de ingangsspanning V_{in} berekend. Alle spanningen zijn t.o.v. de bovenkant van Z_L genomen. Voor de versterker A geldt:

$$V_+ = V_{in} \quad (1)$$

$$V_- = I_4 Z_4 +$$

$$\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot (V_A - I_4 Z_4) \quad (2)$$

$$V_A = A_0(V_+ - V_-) \quad (3)$$

Hierbij is A_0 de open-lusversterking van A. (1) en (2) in (3) gesubstitueerd geeft:

$$V_A = A_0 V_{in} - A_0 V_A \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} - A_0 I_4 Z_4 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

omgewerkt:

$$V_A \left(1 + \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} A_0\right) = A_0 V_{in} - A_0 I_4 Z_4 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (5)$$

Als $A_0 \gg 1$ geldt, na omwerking:

$$V_A = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1} \cdot V_{in} - \frac{Z_2}{Z_1} \cdot I_4 Z_4 \quad (6)$$

dus:

$$I_3 = \frac{V_A}{Z_3} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3} V_{in} - \frac{Z_2 Z_4}{Z_1 Z_3} I_4 \quad (7)$$

$$I_L = I_3 + I_4 \quad (8)$$

(7) en (8) gekombineerd geeft:

$$I_L = V_{in} \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3} + I_4 \left(1 - \frac{Z_2 Z_4}{Z_1 Z_3} \right) \quad (9)$$

Indien

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (10)$$

geldt:

$$I_L = V_{in} \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3} = V_{in} \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \right) \quad (11)$$

Met andere woorden: De stroom door de belasting is onafhankelijk van de karakteristiek van T1 en T2! De enige voorwaarde t.a.v. actieve componenten is, dat A een grote open-lusversterking moet hebben.

Konklusies

De niet-lineariteit (crossover), welke het gevolg is van de kromme karakteristiek van de eindtrap (en welke min of meer succesvol kan worden bestreden met een juiste ruststroominstelling), is bij toepassing van dit Quad-aardig principe geheel uit de wereld geholpen. Hierbij spelen de (passieve) componenten Z_1 , Z_2 , Z_3 en Z_4 een grote rol. De invloed van de actieve componenten is vrijwel nihil. Er is geen ruststroom in het klasse B-gedeelte en daarmee vervallen een hoop problemen. En dit alles door toepassing van een uiterst gezond principe; dit in tegenstelling tot principes, waarvan de ten grondslag liggende redeneringen even krom zijn als de karakteristieken die men te lijf wil gaan. Met een knipoog naar meetkundelessen uit een ver verleden en het smokkelen van één letter zeggen we dan ook: Quad erat demonstrandum!

Literatuur:

Current dumping audio amplifier, door P.J. Walker en M.P. Albinson.
Lezing tijdens de 50ste A.E.S. Convention te Londen 1975

Figuur 1. Blokschema van de eindtrap in versterkers met uitgangsvermogens van meer dan 100 Watt. De transistoren binnen het blok B trekken geen ruststroom. Deingangsspanning V_{in} is t.o.v. de 'hete' kant van R_L genomen.

Figuur 2. De stromen $I(A)$, $I(B)$ en I_L als functie van V_{in} . Voor een zo klein mogelijke knik in de totaal-karakteristiek moet de steilheid van A minstens zo groot zijn als die van B. In de figuur is $S(A) = S(B)$ genomen.

Figuur 3. Een rechte totaal-karakteristiek kan worden verkregen door combinatie van twee geknikte deelkarakteristieken. De hoek β dient zo klein mogelijk te zijn, teneinde de bijdrage van A aan het uitgangsvermogen te beperken.

Figuur 4. De ruwe opzet van de Quad 100 Watt-versterker. Alle spanningen zijn t.o.v. de 'hete' kant van Z_L genomen. In werkelijkheid wordt t.o.v. massa gestuurd; de eindtrap werkt als emittervolgver.

