

elektuur 122

MAANDBLAD VOOR ELEKTRONIKA PRIJS 215 CT/BFR 33

- MOS-klok 5314
- sonant
- presonant
- FM-MF strip



september 1973

SONANT

Het wordt dan wel verleidelijk om een extra luidspreker (in de keuken) een "medeklinker" te noemen, terwijl een geluidswagen een "straatklinker" zou kunnen heten . . . Tegen het woord klinker kan verder het bezwaar worden aangevoerd, dat het woord niet internationaal is, in tegenstelling tot het woord Sonant.

Door de invoering van een lineaire vervormingsarme spanning-naar-geluid-omzetter is een nieuwe benadering van de geluidsreproductie nodig omdat nu ook de laatste schakel in de geluidsketen aan alle technische eisen voldoet. In het blokschema (figuur 1) is een dergelijk geluidsketen geschetst, waarin sonanten worden toegepast. Tevens is in deze figuur aangegeven welke invloed de diverse schakels in de keten hebben op frekwentiekarakteristiek, stereo balans, stereo breedte en "0 dB nivo". De invloed op het nivo is vooral van belang in verband met de toepassing van een fysiologische correctie, afgeleid van de bekende gevoeligheidskrommes van het gehoor.

In de geluidsketen is ook een "presonant" opgenomen. Deze heeft tot taak de verschillende afwijkingen van de gewenste karakteristieken, die elders in de keten ontstaan, te corrigeren. In wezen is hiervoor een normale stuur- en regelversterker geschikt (zie ook het artikel "Presonant", elders in dit nummer). Voor een optimaal bedieningscomfort worden er echter enigszins andere eisen aan de bediening gesteld:

— *klankregeling*. Er van uit gaande dat de opnametechnicus zijn werk goed doet, wordt de frekwentiekarakteristiek alleen nog beïnvloed door de kamerakoestiek. Hiervoor is een éénmalige correctie met trimmers voldoende.

— *stereo balans*. Deze is enigszins afhankelijk van de opstelling van de

sonanten in de kamer. Een éénmalige correctie met een trimmer is ook hiervoor voldoende.

— *stereo breedte*. Ook dit wordt beïnvloed door de opstelling van de sonanten. Bovendien is het sterk afhankelijk van de persoonlijke smaak van de opnametechnicus, zodat per opname een correctie nodig kan zijn. In de praktijk blijken hiervoor vier standen voldoende: Mono - half stereo - stereo - super stereo.

— *nivo*. De benodigde fysiologische klankcorrectie wordt bepaald door het weergeefnivo. Dit wordt onder andere beïnvloed door het toegepaste overdrachtssysteem - "0 dB" kan bijvoorbeeld voor een platenspeler 100 mV zijn, voor een FM tuner 300 mV en voor een bandrekorder 1000 mV - maar dit is met een éénmalige instelling met een trimmer te corrigeren.

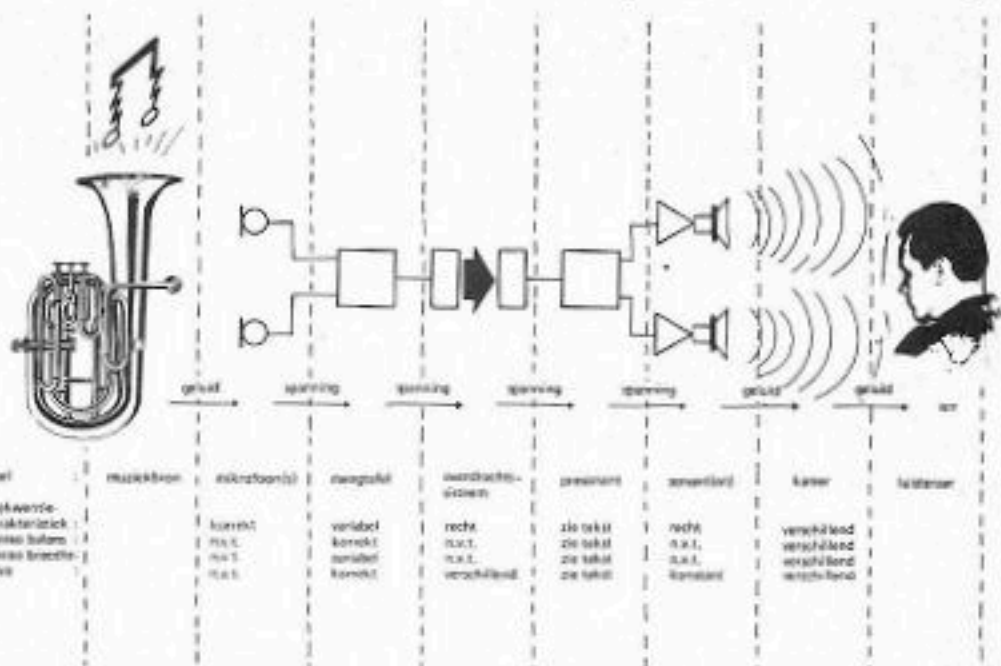
Daarnaast heeft men dan nog behoefte aan een *volumeregelaar* gekoppeld met een fysiologische correctie. Hiervoor blijken in de praktijk vier standen voldoende: Background - Half Background - Foreground - Deafening.

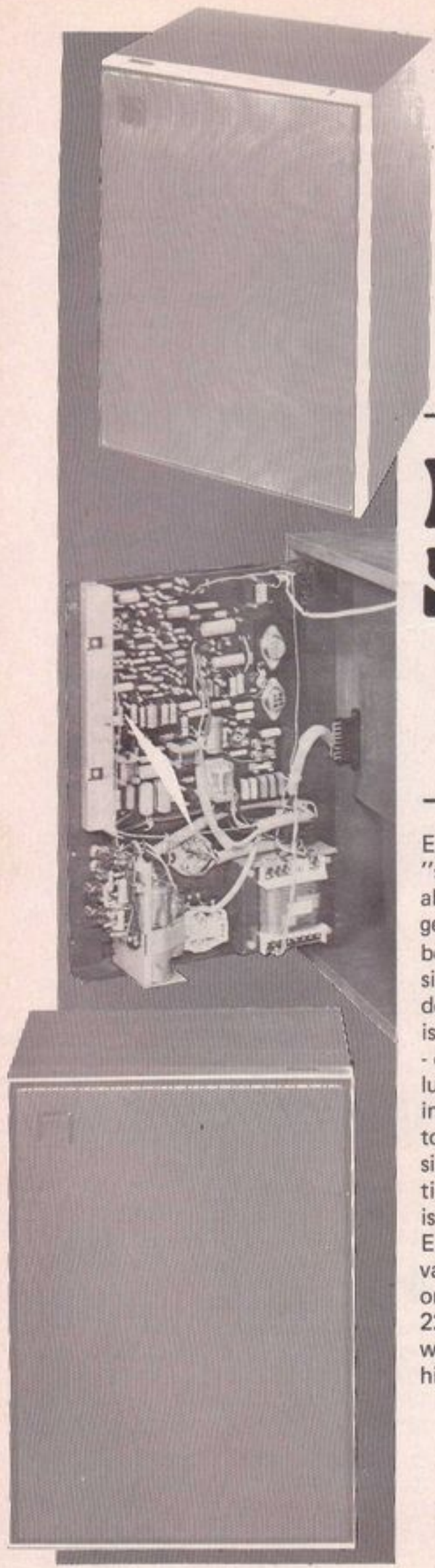
Het is duidelijk dat een groot aantal regelaars nu kunnen vervallen - in het verleden dienden deze eigenlijk om onvolkomenheden van de opname en weergave-apparatuur te corrigeren. De bediening wordt nu beperkt tot "programma kiezen" en "volume kiezen", met (voorlopig?) nog de extra mogelijkheid "stereo breedte kiezen". De bekende kompleksheid in de bediening van geluidsapparatuur heeft hierdoor plaats gemaakt voor eenzelfde bedieningsgemak als bij bijvoorbeeld een tv-toestel.

Het ontwerp voor een complete elektuurpresonant die aan alle gestelde eisen voldoet is momenteel in voorbereiding. Ook aan een elektuursonant wordt nu gewerkt. ■

Een van de zwakste schakels in een geluidsketen is tot nog toe steeds de luidspreker geweest. Bij het streven naar steeds perfectere geluidswaergave moest dan ook aan dit element hoog nodig aandacht worden besteed. Een luidspreker zou men kunnen definiëren als een "min-of-meer-lineaire elektrisch-vermogen-naar-akoestische-energie-omzetter". Men kan nu trachten om deze omzetter te verbeteren (betere frekwentiekarakteristiek, minder vervorming), of men kan zoeken naar een ander systeem. Dit andere systeem zou gedefinieerd kunnen worden als een "lineaire elektrische-spanning-naar-akoestische-energie-omzetter". Zo'n omzetter kan onder andere gerealiseerd worden met een combinatie van een eindversterker, een luidspreker en een korrektiesysteem, die als één geheel de spanning-naar-geluid-omzetting verzorgen. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is de nieuwe Philips RH 532 Electronic (zie het artikel "Philips Sonant", elders in dit nummer).

Een principiële nieuw systeem als dit is niet "zo maar een nieuwe luidspreker", vandaar dat wij er ook een nieuwe naam aan gegeven hebben: de "Sonant". In het Nederlands zou men het ook een "klinker" kunnen noemen.





PHILIPS SONANT

Een sonant is in het artikel "sonant" (p. 925) gedefinieerd als een nieuw type geluidsweergever, waarbij een lineair verband bestaat tussen de elektrische signaalspanning aan de ingang en de uitgestraalde geluidsgolf. Dit is in wezen iets principiële anders - en beters - dan de klassieke luidspreker. Bij deze laatste moet immers elektrisch vermogen toegevoerd worden aan de signaalingang, terwijl de omzetting naar geluid verre van lineair is - zeker voor lage frequenties. Een praktische verwezenlijking van het sonant-principe is de onlangs gepresenteerde Philips 22 RH 532 "Electronic". Op de werking van deze sonant wordt hier ingegaan.

Het is bekend dat de eigenschappen van luidsprekers verre van ideaal zijn. Bij het ontwerp van een complete luidsprekerkombinatie moet de ontwerper steeds een compromis zoeken tussen afmetingen, vormgeving, rendement, richtingskarakteristiek, vervorming, frekwentiekarakteristiek . . . en prijs. Het blijkt dan ook vrijwel onmogelijk om met klassieke middelen een werkelijk goede geluidsweergave te verwezenlijken. Met name een goede basweergave is vrijwel onmogelijk, zonder dat de kast voor een huiskamer ontoelaatbare afmetingen gaat aannemen. Het ligt voor de hand om te trachten met elektronische middelen de mechanische fouten van de luidspreker te corrigeren. Een van de mogelijkheden op dit gebied is het toepassen van een versterker met negatieve uitgangsimpedantie, die de mechanische resonantie van de luidspreker in meer of mindere mate dempt. Voorbeelden van dit systeem zijn de "Elektronische luidspreker" (elektuur, dec. 1972, febr. 1973) en een combinatie van "Servo-sound".

Een nadeel van dergelijke systemen is dat zij gebruik maken van meekoppeling over de eindversterker, zodat het erg moeilijk wordt om een optimale instelling betrouwbaar te handhaven. Een betere methode is het toepassen van tegenkoppeling over het complete systeem (versterker en luidspreker): "Motional feedback" (zie de aparte toelichting). Dit is in de praktijk verwezenlijkt in de Philips sonant.

Deze ideeën zijn overigens niet nieuw. De eerste mogelijkheid is reeds in 1940 door H.F. Olsen aangegeven, terwijl het principe van "motional feedback" met een versnellingsopnemer toch ook zeker tien jaar oud is. Het in de praktijk brengen van deze theorieën bleek echter niet zo eenvoudig!

Principe

In figuur 1 is de complete sonant blokschematisch weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat motional feedback alleen is toegepast in het laag kanaal, terwijl midden en hoog op de klassieke wijze zijn verwezenlijkt. In tegenstelling tot de opzet van de "elektronische luidspreker" is hier slechts één versterker voor midden en hoog toegepast, gevolgd door een "klassiek" scheidingsfilter.

De laagste frequenties (35 - 500 Hz) worden weergegeven via het tegengekoppelde luidsprekersysteem. Deze keten bestaat uit een 40 watt versterker, een luidspreker met ingebouwde versnellingsopnemer en een tegenkoppelnets. Het tegenkoppelnets bevat een impedantieaanpassing voor het zeer hoogohmige opneemelement,

Figuur 1. Blokschema van de Philips sonant. Frekwenties tot 500 Hz worden via een notional feedback systeem weergegeven.

Figuur 2. De sonant. Tegen de binnenkant van de achterwand, die als een deur openstaat, is de elektronika te zien.

Figuur 3. Frekwentiekarakteristiek van de sonant. De getrokken lijn geeft de werkelijke karakteristiek aan, dus met bewegings- tegenkoppeling; de stippellijn laat zien wat de karakteristiek zou zijn zonder deze tegenkoppeling.

een versterkingsregeling en filters die de stabiliteit van het geheel waarborgen.

Alvorens in te gaan op de details van het systeem is het interessant om te zien wat de resultaten zijn in de praktijk.

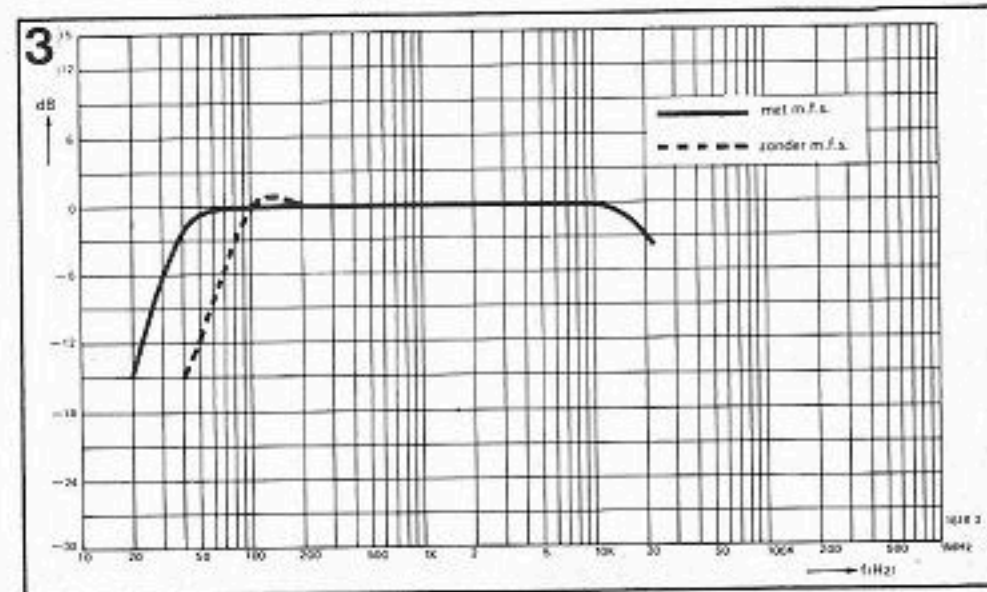
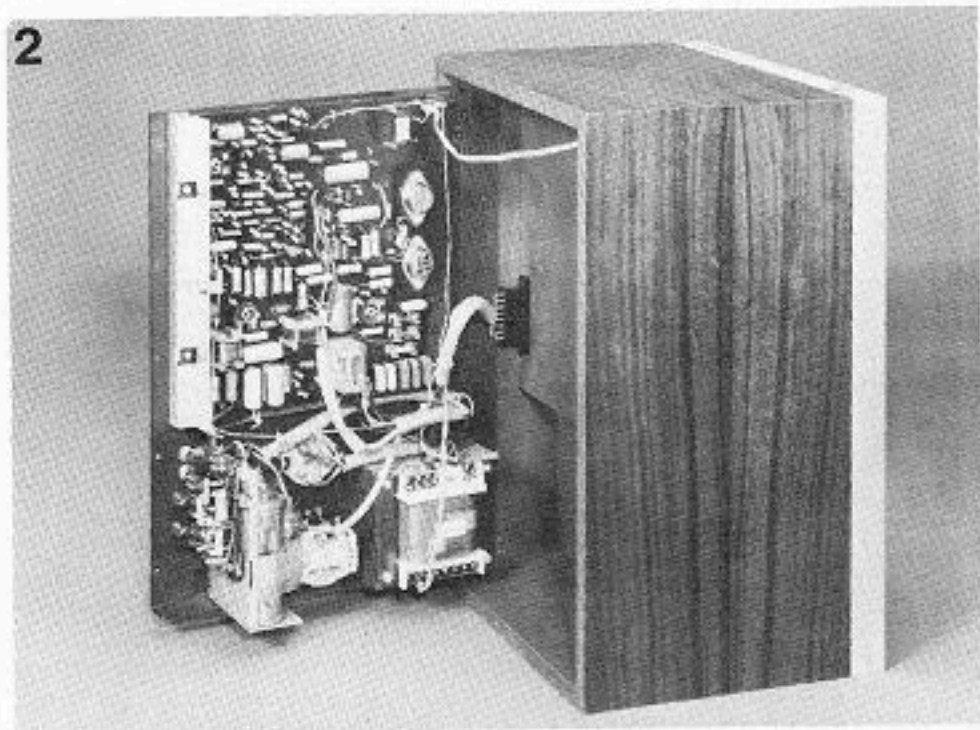
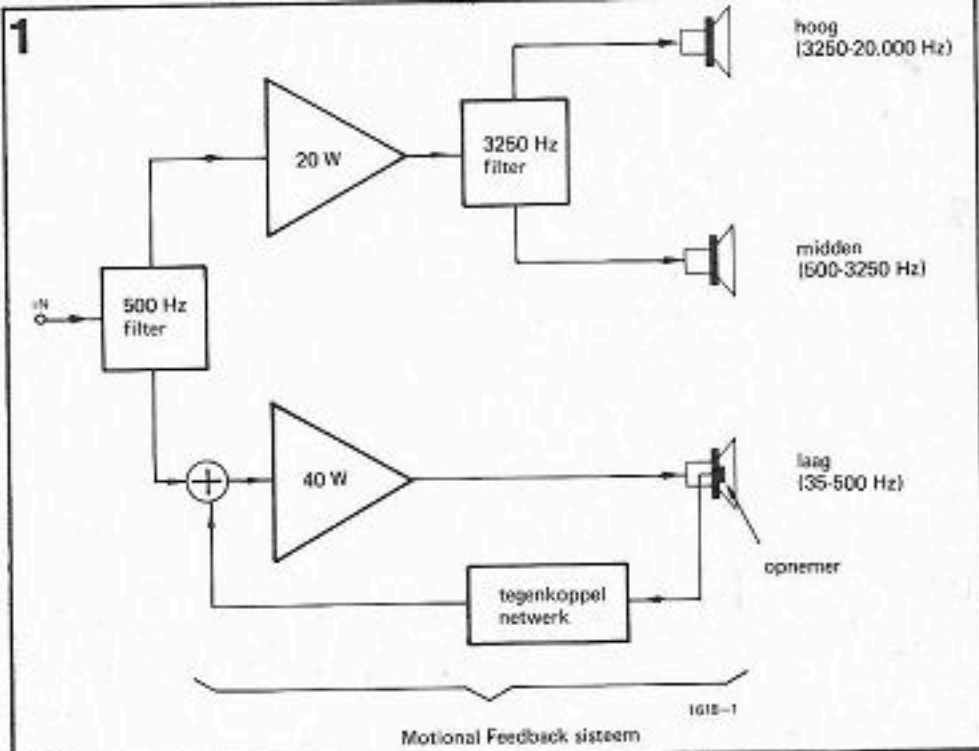
Resultaten

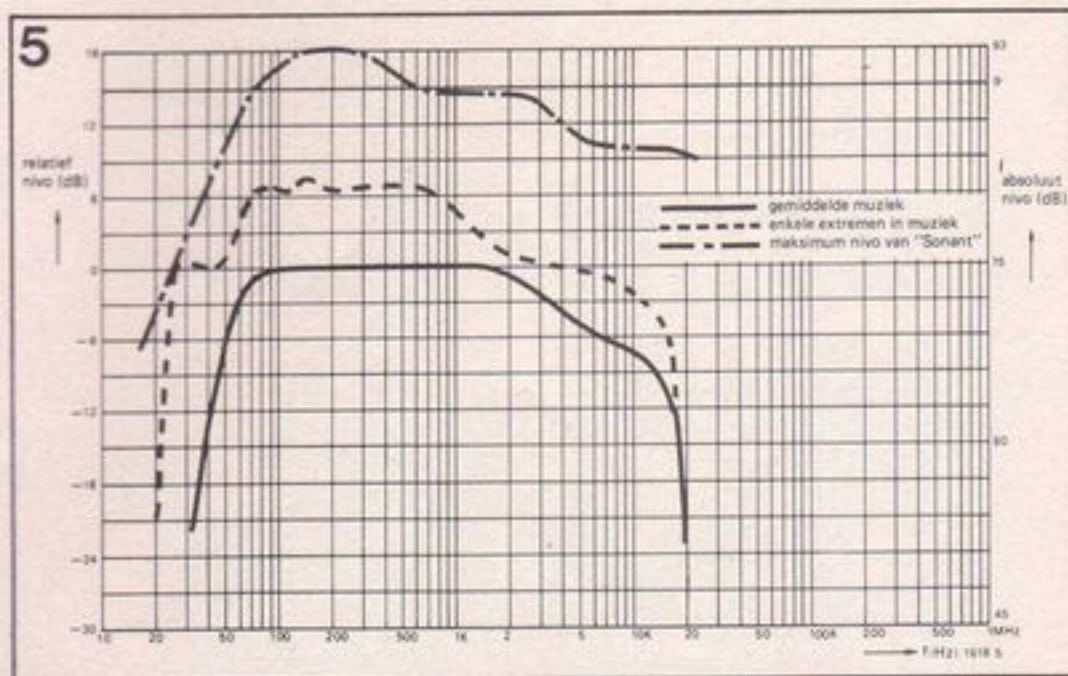
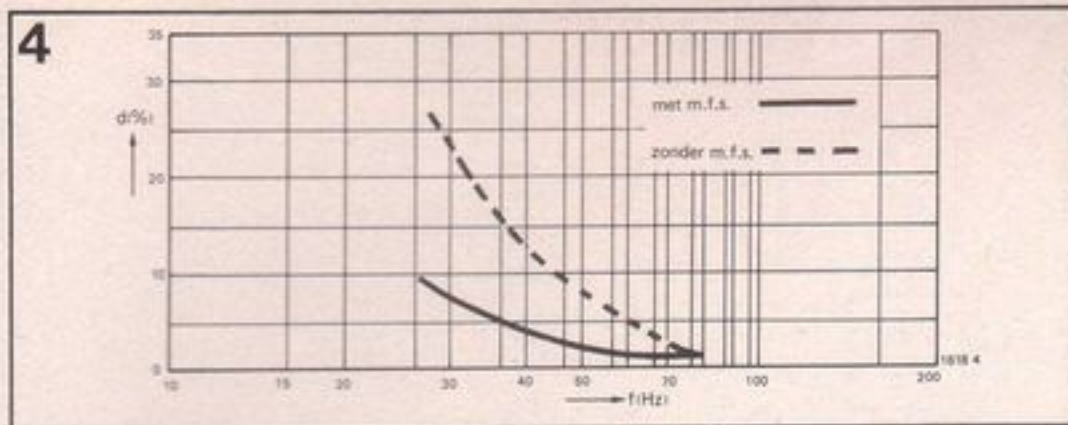
De inhoud van de box is slechts 15 liter, terwijl de uitwendige maten zijn: 28,5 x 38 x 22 cm. Een opengelegde exemplaar van elektuur is dus al iets groter dan de voorkant van deze sonant! De volledige elektronika (voeding, versterkers, filters) is in de kast gemonteerd, zoals op de foto (figuur 2) te zien is.

In een dergelijke betrekkelijk kleine kast is de resonantiefrekwentie ca. 80 Hz, maar door de toegepaste tegenkoppeling heeft dit geen invloed op de frekwentie-karakteristiek. In figuur 3 is deze karakteristiek geschetst. Hierin is te zien dat de -3 dB punten liggen bij ca. 35 Hz en ca. 20 kHz. De stippellijn in dezelfde figuur geeft de karakteristiek weer, die gemeten wordt als de tegenkoppeling buiten werking gesteld wordt. Het verschil is ruim één oktaaf in basweergave!

Een bijkomend voordeel van het gebruik van tegenkoppeling is dat de vervorming minder wordt. Dit is in figuur 4 aangegeven. Hierbij moet men goed in het oog houden dat vervorming bij een luidspreker iets anders is dan de bekende vervorming bij (eind-)versterkers. Bij een luidspreker bestaat de vervorming namelijk (bij lage frekwenties) voor het grootste gedeelte uit derde harmonischen, dat wil zeggen dat naast de grondtoon ook (vrij zuivere) boventonen geproduceerd worden. Aangezien deze in het oorspronkelijke geluidssignaal ook aanwezig waren, beperkt het effect zich tot "kleuring" van het geluid. Dit is lang niet zo hinderlijk als "versterker- vervorming"!

De grafiek in figuur 4 kan men dan ook als volgt zien. Als aan de luidspreker zonder tegenkoppeling een signaal met een grondfrekwentie van 30 Hz wordt aangeboden, produceert





deze 76% grondtoon (30 Hz) en ca. 24% derde harmonische (90 Hz). De luidspreker met tegenkoppeling levert onder dezelfde omstandigheden 92% grondtoon en slechts ca. 8% derde harmonische, zodat het geluid veel minder "gekleurd" wordt. Bij grotere uitsturingen is dit effect nog duidelijker: de luidspreker zonder tegenkoppeling kan tot 80 à 90% vervorming leveren, terwijl met tegenkoppeling de vervorming dan ca. 30% is. Dit betekent dat in het eerste geval nog slechts 10 à 20% grondtoon aanwezig is, terwijl met tegenkoppeling de grondtoon 70% van het totaal bedraagt. De sterke vermindering van vervorming heeft als resultaat dat het geluid veel natuurlijker, veel "echter" klinkt. Zoals iemand het uitdrukte "Het is net of er geen luidspreker meer tussen zit". Zoals reeds eerder aangegeven is ("elektronische luidspreker", *elektuur* dec. 1972) hebben dergelijke compensatiesystemen ook een keerzijde. De verbetering van de amplitudekarakteristiek gaat namelijk ten koste van het maximaal haalbare geluidsnivo. Een uitbreiding van de amplitudekarakteristiek met één oktaaf naar lage frequenties kost ruim een factor 10 in vermogen. Aangezien de luidspreker echter niet meer dan 40 watt kan verwerken, houdt dit in dat bij die lage frequenties het maximale geluidsnivo

ook een factor 10 lager is. Dat dit niet zo dramatisch is blijkt uit figuur 5.

De gestreepte lijn in figuur 5 geeft het maximale nivo aan dat in "gemiddelde muziek" voorkomt. Dit is bepaald aan de hand van metingen aan zeer vele plaat opnames. De gestippelde lijn geeft enkele extreme waarden aan, die bij een paar platen gemeten zijn. Hierbij mag opgemerkt worden dat de extremen onder 100 Hz zeer weinig voorkomen (b.v. "Zarathustra" of "Symphonie nr. 3" van Saint Saëns), terwijl de extremen in het hoog tegenwoordig veel vaker voorkomen (James Last, Los Machucambos). Boven dit nivo uit kunnen zeer korte pieken voorkomen tot 6 à 10 dB hoger, maar het sterkst treden deze pieken in het middegebied (ca. 100 Hz - 3 kHz) op.

De schaal van de grafiek (0 dB punt) is zo gekozen dat het overeenkomt met "flink harde" muziekweergave, terwijl de streep-stippellijn aangeeft welk nivo de Philips sonant maximaal kan weergeven in een flinke huiskamer. Duidelijk is te zien dat er voor vrijwel alle frequenties een behoorlijk "nivo-reserve" is, terwijl zelfs de extreme waarde bij ca. 30 Hz nog goed weergegeven kan worden.

De elektronika

Het volledige elektrische schema van

Figuur 4. Vervormingskarakteristiek van de sonant. De gestreepte lijn is de werkelijke karakteristiek, terwijl de gestippellijn de karakteristiek zonder tegenkoppeling weergeeft. Voor een toelichting op deze grafiek wordt (met nadruk) verwezen naar de tekst.

Figuur 5. Maksimum nivo als functie van frekwentie. De gestreepte lijn geeft het maksimum nivo aan dat gemiddeld in muziek voorkomt; de gestippellijn geeft extremen aan, die in bepaalde muziekstukken voorkomen. De rechterschaal is zo gekozen dat deze overeenkomt met luide muziekweergave, terwijl de streep-punt lijn op dezelfde schaal aangeeft welk nivo de sonant weer kan geven.

Figuur 6. Volledig elektrisch schema van de sonant. "A" en "B" zijn het "laag" kanaal, met motional feedback; "C", "D" en "E" zijn het "midden" en "hoog" kanaal; "F" is de voedingsautomaat; "G" is de voeding.

de sonant is weergegeven in figuur 6. Om enigszins wegwijs te kunnen worden in dit geheel, zijn er verschillende blokken aangegeven. Blokken A en B vormen het "laag" kanaal met tegenkoppeling; C, D en E vormen het "midden" en "hoog" kanaal; tenslotte zijn F en G de voeding met voedingsautomaat.

Het eerste gedeelte van blok A (T421 t/m T423) is een actief banddoorlaatfilter met kantelfrekquenties van ca. 35 Hz en ca. 500 Hz. Via C506 wordt de bewegingstegenkoppeling in dit gedeelte binnengebracht. Het principe van dergelijke filters is vaker beschreven (zie o.a. *elektuur*, H.G. 1972, nr. 31). Het tweede gedeelte van blok A is een "klassieke" klasse B eindtrap, met een frekwentiereik van 5 Hz tot 2 kHz, die 40 watt kan leveren. Deze voldoet ruimschoots als "laag"-versterker. Enige opvallende details in het ontwerp zijn:

- toepassing van een verschilversterker (T424 en T425) aan de ingang, dit om problemen met de diverse tegenkoppelingen (via C506/R603/T423, via R611/C504 en via R623/C509/R622/C511/R619) te voorkomen.

- de bovengenoemde uitgebreide filters in de tegenkoppeling. Deze zijn berekend voor een optimale amplitude-fazekarakteristiek van het complete systeem.

– het toepassen van power Darlingtonen in de eindtrap.

– Diode D456. Deze dient als clamping diode en zorgt dat de spanning op de basis van T430 niet hoger kan worden dan de voedingsspanning. Dit zou namelijk zonder deze diode wel mogelijk zijn, vanwege de toepassing van "bootstrapping" via C513.

– de afwezigheid van bijzondere voorzorgen tegen cross-over vervorming. Deze zijn in dit geval ook niet nodig, omdat deze versterker geen signalen boven 500 Hz te verwerken krijgt!

In het gestippelde rechthoekje in blok B zijn de luidspreker, versnellingsopnemer en een impedantie-aanpassingstrap getekend. De opnemer, FET en twee weerstanden zijn op een klein printplaatje gemonteerd, dat op de konus van de luidspreker is gelijmd (figuur 7). De opnemer zelf is een klein keramisch element, dat met twee rubber blokjes in een gat op de print is geklemd. De afgegeven spanning is evenredig met de kracht (k) die op de opnemer werkt en deze kracht is evenredig met de versnelling (a). De evenredigheidsfactor is afhankelijk van de massa ($k = M \cdot a$), zodat zelfs het gewicht van de druppels soldeer eksakt afgestemd moet zijn! Produktietoleranties zijn met trimmer R654 te korrigeren. Voor een optimale karakteristiek moet het element hoogohmig worden afgesloten en hiervoor is de FET toegepast. Om problemen met

brom en instabiliteit te voorkomen is deze direkt bij de opnemer geplaatst en niet op de hoofdprint bij de versterkers.

De combinatie T433/D458 zorgt voor een optimale spanningsinstelling van de FET, terwijl de combinatie D457/R642 het wisselstroom signaal omzet in een wisselspanning die via C520 uitgekoppeld wordt. De verdere schakeling binnen blok B is een filterversterker. Toepassing van dit filter is noodzakelijk om onvoorwaardelijke stabiliteit van het tegengekoppelde systeem te kunnen waarborgen.

De schakeling van de midden- en hoogversterker (blok C) lijkt sterk op de laagversterker uit blok A. In dit geval is het 500 Hz hoogdoorlaatfilter echter opgenomen rond de ingangstransistor van de eindtrap zelf (T439). De eindtrap is bovendien op een veel hogere ruststroom ingesteld (ca. 200 mA), zodat cross-over vervorming afwezig is. Achter deze versterker is een passief scheidingsfilter opgenomen (blok D) waarop de luidsprekers zijn aangesloten (blok E).

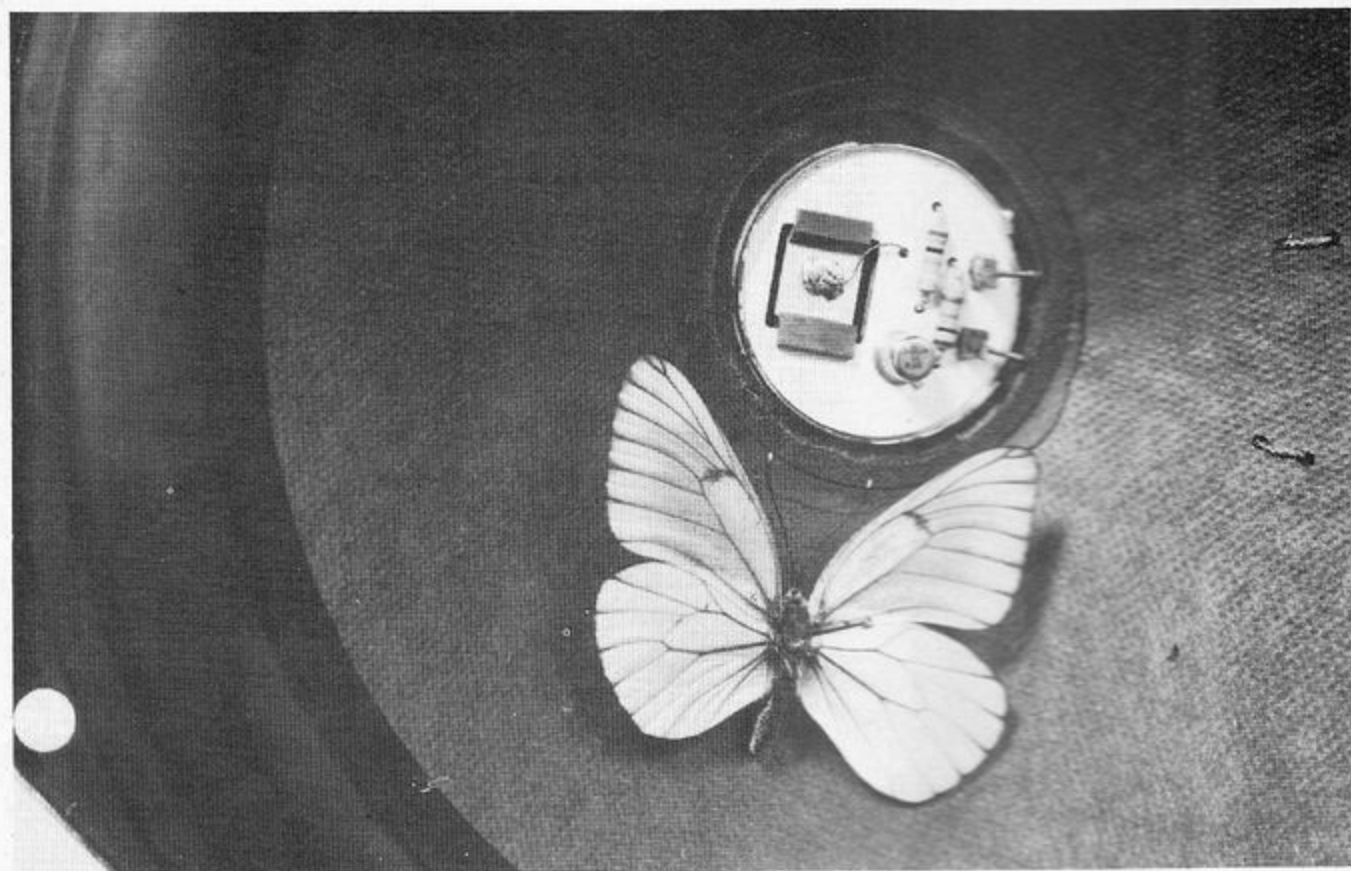
De voedingsautomaat (blok F) vormt een soort automatische voedingsschakelaar (zie ook elektuur, H.G. 1973, nr. 73). Zodra de voeding met de netschakelaar wordt ingeschakeld komt de lijn "+2" (en ook "+3") normaal onder spanning. Als nu een ingangssignaal aan de box wordt aangeboden dat boven de 1 à 1,5 mV komt, wordt

dit signaal in blok F versterkt en gelijkgericht, waardoor relais S402 opkomt. Hierdoor krijgen de eindversterkers (binnen 1 sek.) spanning. Als er gedurende meer dan ca. 3 minuten geen signaal meer wordt toegevoerd, neemt de automaat aan dat het gebruik beëindigd is en schakelt de eindversterkers weer uit.

De voeding tenslotte (blok G) is klassiek. De voeding voor de filters ("+3") wordt ekstra afgevlakt met T451/T452. Dit is in feite een gyrator-schakeling, analoog aan de "één-TUN gyrator" (elektuur, okt. 1972, pag. 1059). Hiermee wordt tevens bereikt dat de spanning na het inschakelen langzaam op de juiste waarde komt, zodat inschakelverschijnselen voorkomen worden.

Een laatste "grapje van de ontwerper" is de schakeling met R726, R727 en D471. Als namelijk de netschakelaar ingeschakeld wordt, gaat het indicatielampje L414 zwak branden. Zodra er nu signaalspanning aan de box wordt aangeboden en de eindversterkers zich inschakelen, wordt R726 via D471 overbrugd, zodat het indicatielampje fel gaat branden. Ook het lampje heeft dus een "stand-by" toestand! M

Figuur 7. De printplaat die in de luidspreker bevestigd is. Hierop zijn de opnemer, FET en twee weerstanden te zien.



MOTIONAL FEEDBACK

*In 4de of 5de klas
(na 8) vraag 8 met 1/2
met 1/2*

Voor diegenen die niet alleen muzikaal genoeg willen putten uit de klank van een sonant, maar ook graag intellectueel welbehagen zoeken in een theoretische verklaring waarom het zo klinkt, volgt hier in kort bestek de theorie van motional feedback. Hierbij wordt uitgegaan van de uitvoering die gekozen is voor de 22 RH 532 "Electronic": een luidspreker met versnellingsopnemer, gemonteerd in een stijve luchtdichte kast.

In deze uitvoering (blokschema, figuur 1) wordt de versnelling van de konus gemeten en hieruit wordt een

tegenkoppelspanning afgeleid. Dat dit de ideale methode is volgt uit een korte berekening (zie ook elektuur, dec. 1972, pag. 1230). Voor het afgegeven akoestische vermogen (P_{ak}) geldt:

$$P_{ak} = s^2 \cdot D_1$$

waarin s = geluidsgolf (deeltjes-) snelheid = konussnelheid en D_1 = stralingsweerstand van de lucht. In het laagfrequent gebied (tot ca. 500 Hz) neemt D_1 toe evenredig met ω^2 (figuur 2).

Door toepassing van versnellings-tegenkoppeling wordt bereikt dat de versnelling van de konus (a) recht-

evenredig blijft met de ingangsspanning (v_i), ongeacht frequentie. Het verband tussen versnelling (a) en snelheid (s) is:

$$s = a \cdot t + s_0 \sim \frac{a}{\omega} \sim \frac{v_i}{\omega}$$

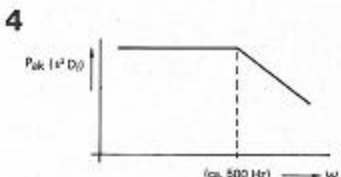
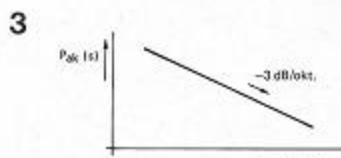
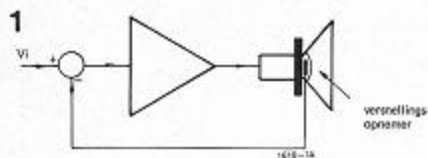
Aangezien a onafhankelijk is van ω , is de snelheid omgekeerd evenredig met frequentie (figuur 3). Hieruit volgt nu:

$$P_{ak} = s^2 \cdot D_1 = K \cdot \frac{1}{\omega^2} \cdot \omega^2 \cdot v_i^2 \sim v_i^2$$

waarin K een konstante voorstelt. Dit betekent dat het verband tussen het uitgestraalde geluidsvermogen en de ingangsspanning onafhankelijk is van frequentie (figuur 4). De frequentie karakteristiek is dus vlak.

Samenvatting

De konklusie uit het bovenstaande kan als volgt luiden. De frequentie karakteristiek wordt bepaald door twee termen: de stralingsweerstand en de snelheid (in het kwadraat). De stralingsweerstand neemt (tot ca. 500 Hz) kwadratisch toe met frequentie (figuur 2). De snelheid neemt (bij konstant gehouden versnelling) evenredig af met frequentie (fig. 3). De totale karakteristiek wordt samengesteld uit figuur 2 plus twee maal figuur 3 (snelheid in het kwadraat!), en heeft dus de vorm van figuur 4.



Figuur 1. Blokschema van een motional feedback systeem, waarin een versnellingsopnemer gebruikt wordt.

Figuur 2. De stralingsweerstand van de lucht neemt toe (tot ca. 500 Hz) evenredig met ω^2 . "In vermogen uitgedrukt" is dit een toename met 6 dB/okt.

Figuur 3. De snelheid neemt af (bij konstant gehouden versnelling) evenredig met ω . "In vermogen uitgedrukt" is dit een afname met 3 dB/okt.

Figuur 4. Het akoestisch uitgestraalde vermogen (= geluid) is evenredig met de stralingsweerstand maal de snelheid in het

kwadraat. Dit is gelijk aan figuur 2 plus twee maal figuur 3, dus $+6 - 3 - 3 = 0$ dB/okt. tot ca. 500 Hz. Een vlakke frequentie karakteristiek!