

de filters worden veroorzaakt niet worden gecompenseerd, maar slechts 30 cm als fazecompensatie wordt toegepast en de afsnijfrequentie van het filter 300 Hz is. Hieruit volgt, dat het niet nodig is de lagere frequenties van de muziek stereofonisch weer te geven, maar dan moeten fazefouten worden voorkomen.

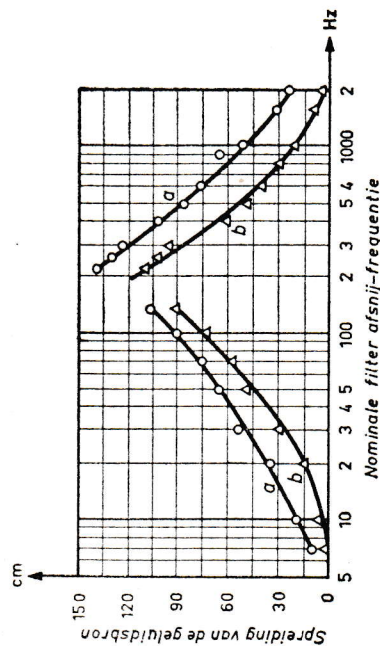


Fig. 41. De spreiding van de geluidsbron als alle signalen beneden of boven de aangegeven frequentie monofonisch worden weergegeven (door beide luidsprekers)
a) zonder fazecompensatie
b) met fazecompensatie.

Feitelijk slaan deze proeven niet direct op het onderwerp, dat nu wordt behandeld, omdat de lage frequenties in de niet-stereofonische instelling van de filters als een monofonisch signaal werden weergegeven en niet als een links of rechts signaal. Dit kan van invloed zijn op de uiteindelijke resultaten, maar deze invloed kan slechts klein zijn voor afsnijfrequenties, die niet boven de 400 Hz uitkomen.

In het geval van monofonische weergave worden fazevervalsingen onder normale luisteromstandigheden niet waargenomen. De situatie is als het stereofonie betreft, ingewikkelder omdat de verschillen tussen de fazevervalsingskarakteristieken van de twee kanalen invloed kunnen uitoefenen. Een van de oudste theorieën betreffende richtingshoren werd in 1907 opgesteld door Lord Raleigh. Hierin werd het fazeverval van de geluidsgolven bij de beide oren verantwoordelijk gesteld voor de richtingsindruk. Later is bewezen, dat de fazehoek het richtingshoren niet verklaart.

De fazehoeken van de signalen hebben echter een zekere invloed op het geluid zoals het wordt waargenomen. Dit kan gemakkelijk worden

ingezien voor het geval, dat beide luidsprekers een signaal van dezelfde lage frequentie en amplitude weergeven. Als beide signalen in fase zijn zal een luisteraar, die zich op gelijke afstand van de beide luidsprekers bevindt, een geluid horen, waarvan hij niet precies de richting kan bepalen, omdat bij lage frequenties beide oren de onverzwaakte linker en rechter signalen opvangen. Dat komt doordat de afmetingen van het hoofd zeer klein zijn in vergelijking met de golflengte van het geluid. Worden echter de verbindingen aan een van de luidsprekers omgewisseld, dan zullen de beide geluidsgolven in tegenfase zijn, zodat niets zal worden gehoord. Dit is alleen maar waar zolang de golflengte van het geluid niet veel kleiner is dan de afstand van de luisteraar tot elk van de luidsprekers. Aan de andere kant zullen kleine verschillen in deze afstanden grotere fazefouten veroorzaken bij de oren van de luisteraar. Bovendien wordt bij hogere frequenties het signaal van de linker luidspreker sterker door het linker dan door het rechter oor gehoord. Bij frequenties beneden 400 Hz zal dus een fazeverval van 180° het geluid volkomen te niet doen. Een fazeverval van 90° zal 3 dB verlies in geluidsterkte veroorzaken en een fazeverval van 45° zal een verlies van 1 dB veroorzaken. In samengestelde geluiden zullen dikwijls deeltonen voorkomen met een frequentie van minder dan 400 Hz.

Om een waarneembaar verlies van lage frequenties te voorkomen mag het fazeverval tussen de twee kanalen niet boven de 45° uitkomen, tenminste voor lage frequenties, hoewel de invloed van fazefouten op de schijnbare luidheid niet geheel zal verdwijnen bij de wat hogere frequenties.

Voor de hogere frequenties zijn de fazehoeken van minder belang, maar toch niet helemaal te verwaarlozen. Wanneer een signaal onderworpen is aan een fazevervalsing, dan wil dat in het algemeen zeggen, dat het over een tijd

$$t = \frac{\Phi}{360} \times T$$

wordt vertraagd, waarin Φ de fazehoek in graden is en T de tijd, die een periode van het signaal duurt.

De verschuiving van de schijnbare geluidsbron als twee identieke signalen worden toegevoerd aan twee luidsprekers, die 3 meter van elkaar staan, bedraagt 7 graden als een van de twee signalen 1 milliseconde is vertraagd ten opzichte van het andere. Dit is op zichzelf geen erg grote afwijking, maar zij wordt opgeteld bij andere afwijkingen zoals die, welke

worden veroorzaakt door verschillen tussen de twee weergavekarakteristieken. Het schijnt dus beter te zijn de toelaatbare vertragingstijd te beperken tot 0,5 milliseconden. Het geluid zal dan over 3,5 graad verschuiven of spreiden, dat is ongeveer 15 cm op een afstand van 3 meter. Met behulp van de hierboven aangehaalde formule kan dan het toelaatbare fazeverschil worden berekend. We vinden dan dat bij 1000 Hz een fazeverschil van 180° toelaatbaar zou zijn, bij 2000 Hz 360° en bij 3000 Hz 540°. Voor 500 Hz zou om deze reden dus slechts 90° fazeverschil toelaatbaar zijn.

Als de fazeverschuivingen in de elektro-akoestische installatie groot zijn kan niet gemakkelijk worden voorkomen dat de differentiële fazeverschuiving ook groot wordt. Het is daarom aan te bevelen dat de fazeverschuivingen in elk kanaal voor frequenties tot 400 Hz niet uitkomen boven de ca. 22 graden, ca. 45 graden voor frequenties van 400 tot 1000 Hz en ca. 90° voor frequenties boven de 1000 Hz.

Stereofonie eist dezelfde nauwkeurigheid van toonhoogte als monofonisch geluid. Theoretisch kunnen de jank- en flutterreizen lager zijn als de muziek met een hoofdtelefoon wordt beluisterd, maar praktisch is dat niet zo. Het gebruik van twee luidsprekers in plaats van een kan de verdeling van staande golven in de ruimte beïnvloeden, wat weer invloed op de hoorbaarheid van jank en zwevingen kan uitoefenen, maar de richting en de grootte van deze beïnvloeding kan niet worden voorspeld. Noch in het laboratorium, noch thuis konden we enig verschil ontdekken tussen mono en stereo voor wat betreft fouten in toonhoogte en jank of zwevingswaarnemingen.

Brom en dreun zullen door de kamerbijgeluiden worden gemaskeerd. Dit zijn geluiden met een zeer lage frequentie en dus nauwelijks gericht. Hieruit volgt, dat de toelaatbare brom en dreunniveaus in wezen gelijk blijven als het stereofonie betreft. Dat is niet zo voor de ruis. Als de sterkerruis hoorbaar is, zal deze eerst optreden in het frequentiegebied rond de 2000 Hz. In het geval van monofonische weergave zal deze ruis „toon” worden gehoord als komende rechtstreeks uit de luidspreker. Als het stereofonische weergave betreft zal de ruis schijnbaar komen van de gehele lijn, die de twee luidsprekers verbindt. Een dergelijke lijnvormige geluidsbron is minder hoorbaar dan een puntvormige en hieruit volgt, dat de ruiseisen voor stereo minder streng zijn dan voor mono. Daar de meeste installaties worden gebruikt voor beide soorten registratie of reproductie worden de uiteindelijke eisen hierdoor niet beïnvloed.

8-2. Overspreken

De voorgaande paragraaf kan worden samengevat in de enkele zin, dat de meeste elektrische eisen gelijk zijn voor stereofonische en monaurale weergave. Enkele nieuwe eisen, zoals fazegeïlijkheid, zijn er echter aan toegevoegd. Andere eisen zijn, dat het overspreken tussen de beide kanalen niet te sterk mag zijn en dat de geluidsverdeling over de luisterruimte zodanig moet zijn, dat zuiver stereofonisch luisteren mogelijk is over een flink gedeelte van de ruimte en niet alleen op de „stereofoon”.

Overspreken wil zeggen, dat signalen van het ene kanaal doordringen in het andere kanaal. Als het overspreken te sterk is zal dit verschuiving of spreiding van de schijnbare geluidsbronnen ten gevolge hebben.

Overspreken wordt meestal omschreven als de waarde, die aangeeft hoeveel het signaal dat in het andere signaal doordringt, zwakker is dan het signaal dat er de oorzaak van is. Dit schijnt een bevredigende wijze te zijn om dit verschijnsel te meten, bruikbaar voor alle doeleinden, maar helaas is dat niet zo. Als overspreken zou worden veroorzaakt door een weerstand, die het ene met het andere kanaal verbindt en beide kanalen zouden zich als zuivere weerstanden gedragen, dan zou het overspreeksignaal in faze zijn met het signaal waarvan het afkomstig is. In de praktijk echter is een dergelijk eenvoudig verband eerder een uitzondering dan regel. Overspreken kan worden veroorzaakt door elektrische of magnetische inductie of door mechanische koppelingen in de groeflaster. Hieruit volgt, dat iedere grootte van fazeverschuiving mogelijk is en dat de fazehoek van de ene tot de andere frequentie zal veranderen.

De invloed van overspreken zal worden nagegaan aan de hand van een paar voorbeelden. In het geval dat beide kanalen hetzelfde signaal voeren, zal de schijnbare geluidsbron precies midden tussen de beide luidsprekers liggen. De scheiding van de kanalen van links naar rechts is $p_{l,r}$ dB en van rechts naar links $p_{r,l}$ dB. Met een kanalscheiding van $p_{l,r}$ dB bedoelen we dat het signaal op het linker-kanaal $p_{l,r}$ dB sterker is dan het overspreeksignaal op het rechter kanaal.

We kunnen nu verschillende gevallen onderscheiden:

- a1) Beide overspreeksignalen zijn even groot en in faze met de hoofdsignalen, die eveneens worden verondersteld in faze te zijn. Dan zal de geluidsbron zich niet verplaatsen.

[38] toonden aan, dat als speciale voorzieningen worden getroffen (toevoeging van een vertraagd signaal), ongehoefde luisteraars niet het verschil kunnen horen tussen werkelijke stereo en stereo waarbij de frequenties onder de 1000 Hz monofonisch werden weergegeven, maar geoefende luisteraars kunnen dat wel.

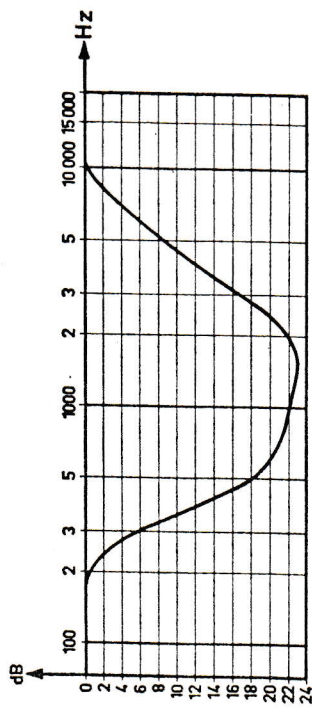


Fig. 49 De gewenste kanalscheiding die geen hoorbare vermindering van de stereofonische kwaliteit zal veroorzaken.

Uit deze resultaten is fig. 49 afgeleid. Hierin zien we hoeveel overspreken kan worden toegelaten bij verschillende frequenties.

8-3. Over de juiste zitplaats bij stereo („stereostoel”)

Twee kanalen stereofonie is niet hetzelfde als werkelijk geluid, maar het geeft een overeenkomstig geluidsbeeld en zelfs een vrijwel identiek beeld als alle voorwaarden goed zijn. Het verschil tussen deze twee treedt naar voren als een luisteraar staat tegenover een geluidsbron, die schijnt te liggen midden tussen de twee luidsprekers en zich dan uit zijn centrale plaats een meter naar links of rechts verplaatst. (fig. 50).

Verplaatst hij zich bijvoorbeeld van 1_m naar 1_l dan komt hij dicht bij luidspreker L en beweegt zich van luidspreker R af.

Het gevolg hiervan is, dat het geluid van luidspreker L luider zal worden en eerder de luisteraar bereikt dan het geluid van luidspreker R .

Door de verschillen in luidheid en in tijd zal het virtuele geluid naar links bewegen. Buiten het midden tracht het geluidsbeeld zich naar de dichtstbijzijnde luidspreker te verplaatsen (naar links in bovenstaand voorbeeld) en dan zullen alleen de zuiver van rechts komende geluiden hoor-

baar door de rechter luidspreker worden weergegeven. Zonder speciale voorzorgsmaatregelen zal de luisteraar, die de „stereostoel” verlaat worden gestraft met „het gat in het midden”.

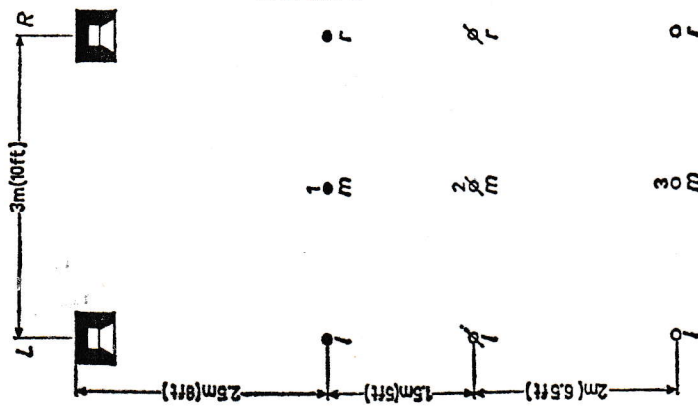


Fig. 50. Verschillende plaatsen in een kamer waarvoor de gewenste door de luidsprekers L en R veroorzaakte geluidsdrücken zijn berekend teneinde niet gebonden te zijn aan de „stereostoel”.

De maatregel, die moet worden genomen is dat de luidspreker het juiste polaire diagram moet hebben. Om er voor te zorgen dat de luisteraar in het punt 1_l dezelfde richtingsindrukken krijgt als de luisteraar in 1_m moet de luidspreker L minder energie in de richting 1_l uitstralen dan in de richting 1_m en de luidspreker R moet meer energie uitstralen in de richting 1_l dan in de richting 1_m . Met twee factoren moet nog worden rekening gehouden. De eerste is, dat de intensiteit van het directe geluid omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen de geluidsbron en de luisteraar.

De tweede is, dat de tijd, die het geluid nodig heeft om van de geluidsbron bij de luisteraar te komen, evenredig is met deze afstand. Franssen [38] publiceerde een kromme, die in fig. 51 is weergegeven, die

de invloed laat zien van tijdsverschillen en intensiteitsverschillen tussen twee luidsprekers op de stereofonische richtingsbepaling. Als bijvoorbeeld het geluid van de linker luidspreker de luisteraar 1 milliseconde eerder bereikt dan dat van de rechter luidspreker, dan zal dit de richtingsbepaling niet beïnvloeden als het geluid van de rechter luidspreker door de luisteraar

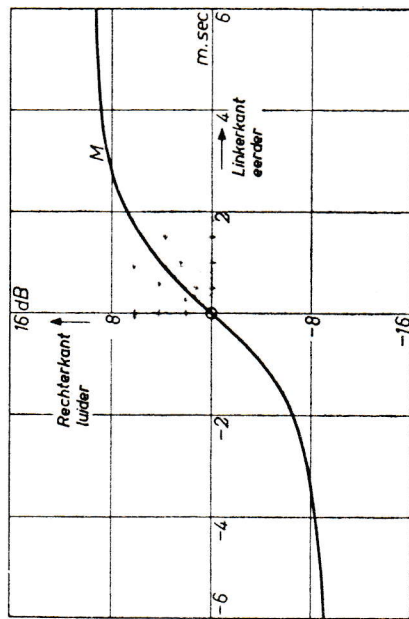


Fig. 51. Invloed van tijdsverschillen en intensiteitsverschillen tussen twee luidsprekers op de stereofonische richtingsbepaling van de richting.

- rechterkant luid
- linkerkant eerder.

4 dB sterker wordt gehoord. Voor ieder punt in de kamer kan het verschil in looptijd worden berekend uit de afstand tussen de luidsprekers en dat punt. Met behulp van fig. 51 kunnen we uitrekenen hoeveel luider of zachter de linker luidspreker moet worden gehoord opdat de richtingsbepaling niet door het tijdsverschil wordt beïnvloed. Hieruit kan het gewenste polaire diagram van de luidspreker worden berekend. Wij hebben dit gedaan en de resultaten uitgezet in fig. 52. We zien, dat de meeste punten dicht bij de met een streeplijn getekende cirkel liggen.

Daarom moet het polaire diagram enkelzijdig cirkelvormig zijn. De geluidsdruk zal echter in punt 1_m groter zijn dan berekend. Daar dit een punt is, dat even ver van de twee luidsprekers af ligt, zal dit de richtingsbepaling niet beïnvloeden.

In een kamer zal het gereflecteerde geluid een vrij grote intensiteit hebben, maar het heeft, zoals in het volgende hoofdstuk zal worden aan-

getoond, slechts weinig invloed op de richtingsbepaling en wel omdat het later wordt gehoord dan het directe geluid.

Hieruit volgt, dat een voorwaarde voor goede stereofonische weergave is, dat de luidsprekers een enkelzijdig cirkelvormig stralingsdiagram moeten hebben. In ons voorbeeld maken de assen van de luidsprekers een hoek van slechts 20 graden met de korte muur van de kamer. Als de afstand

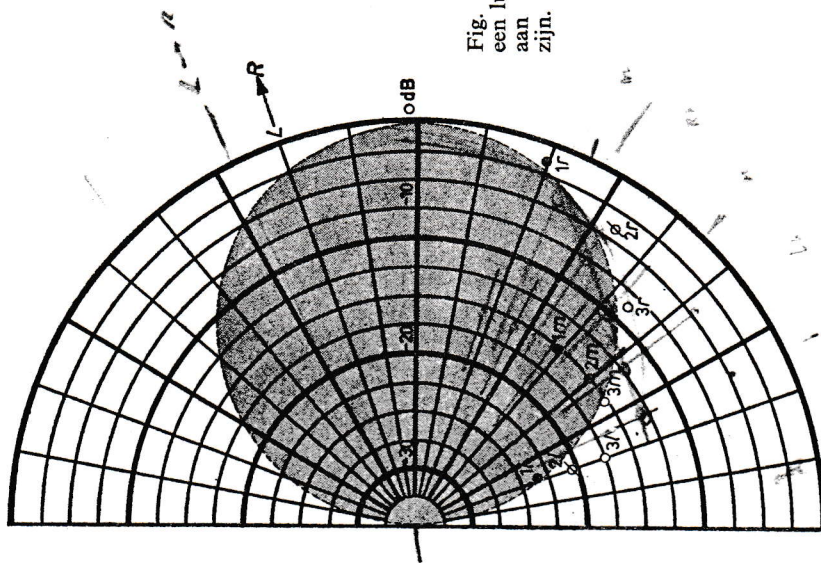


Fig. 52. Het polaire diagram van een luidspreker, dat nodig is om niet aan de „stereostoel” gebonden te zijn.

tussen de beide luidsprekers geen 3 meter is of als het stralingsdiagram niet enkelzijdig cirkelvormig is, kan een andere hoek betere resultaten geven. Dit geldt ook voor het geval dat de akoestiek van de kamer de geluidsverdeling beïnvloedt.

Het polaire diagram van elektrodynamische luidsprekers is niet voor