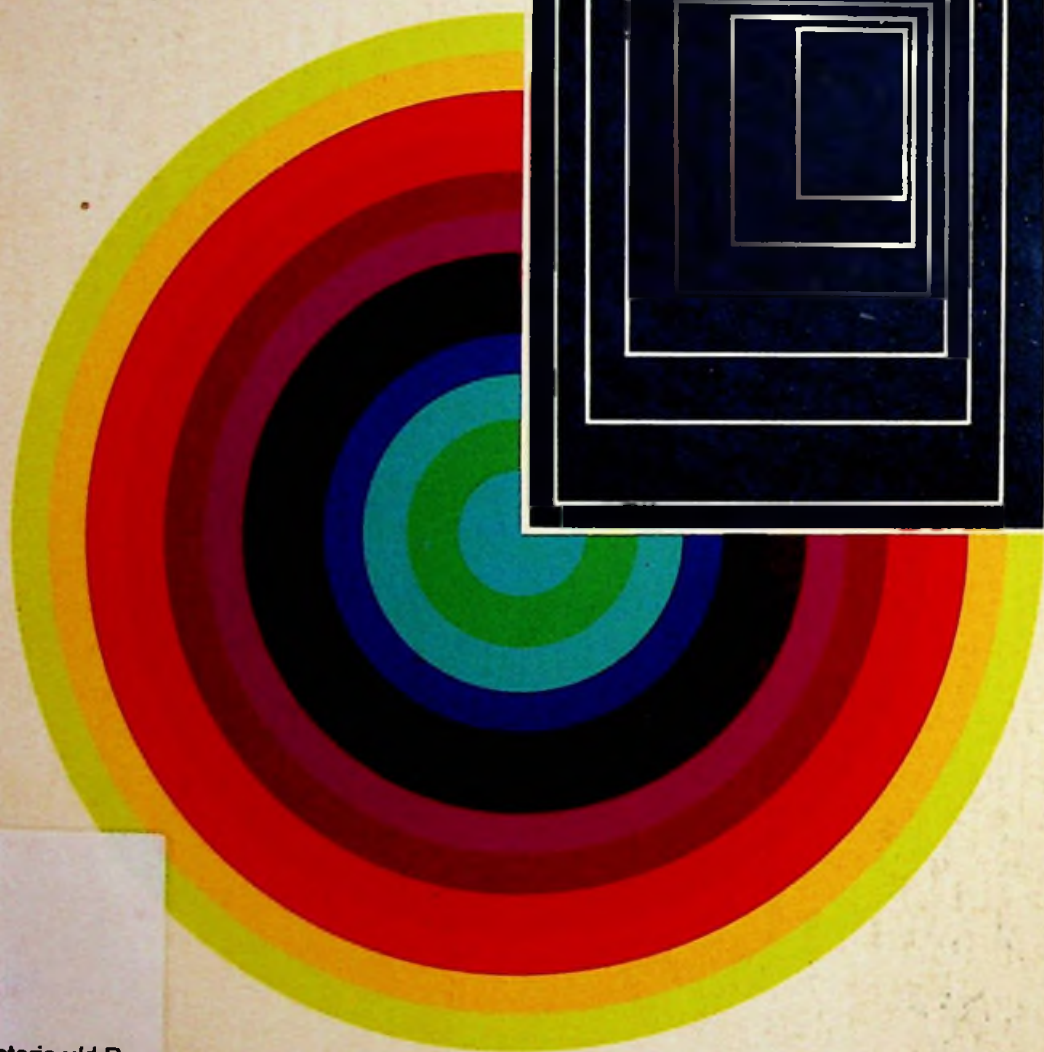


luidsprekerkasten voor hifi-weergave

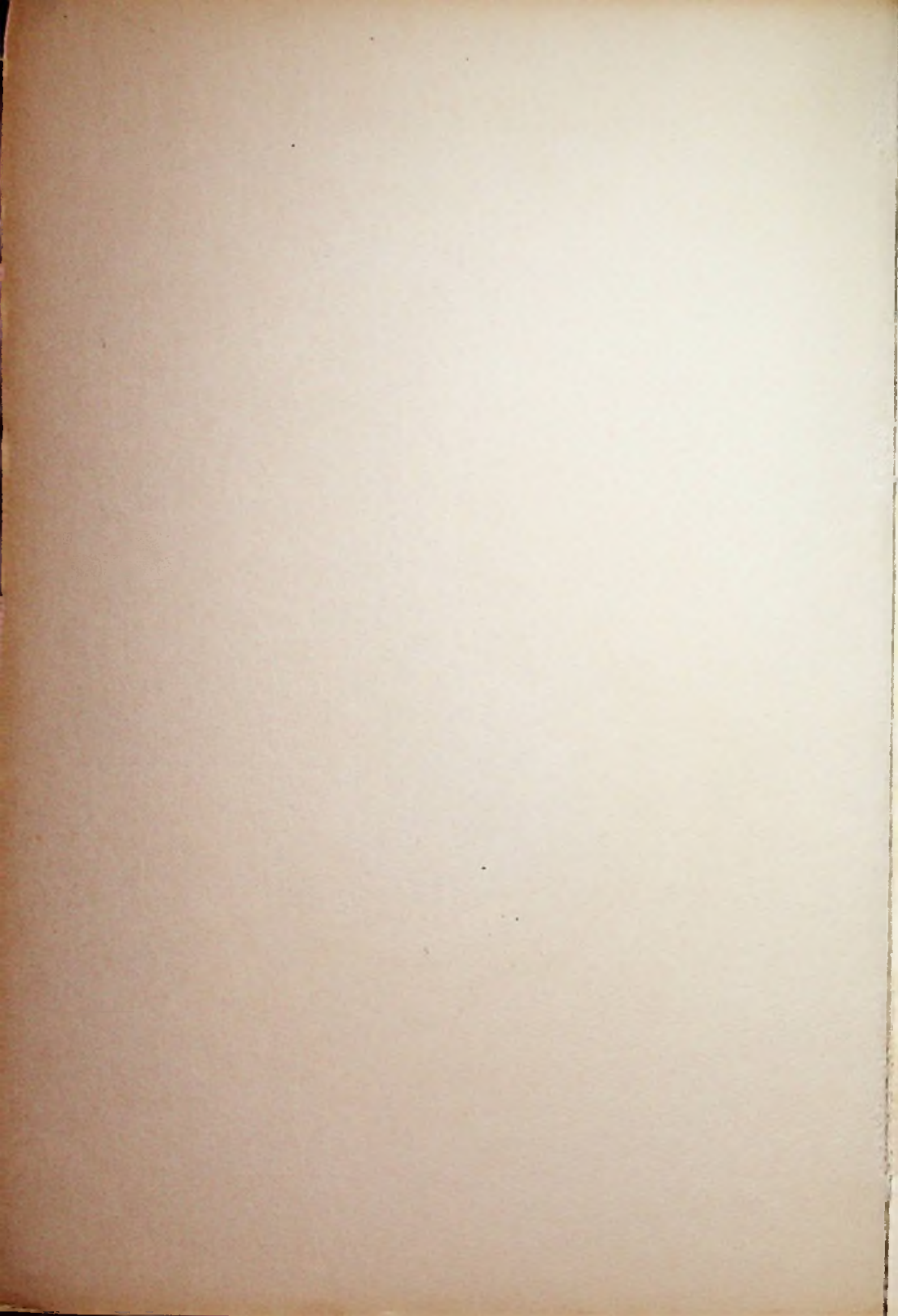
w. kopinga



historie v/d Ra

kader REEKS

KLUWER - DEVENTER



269

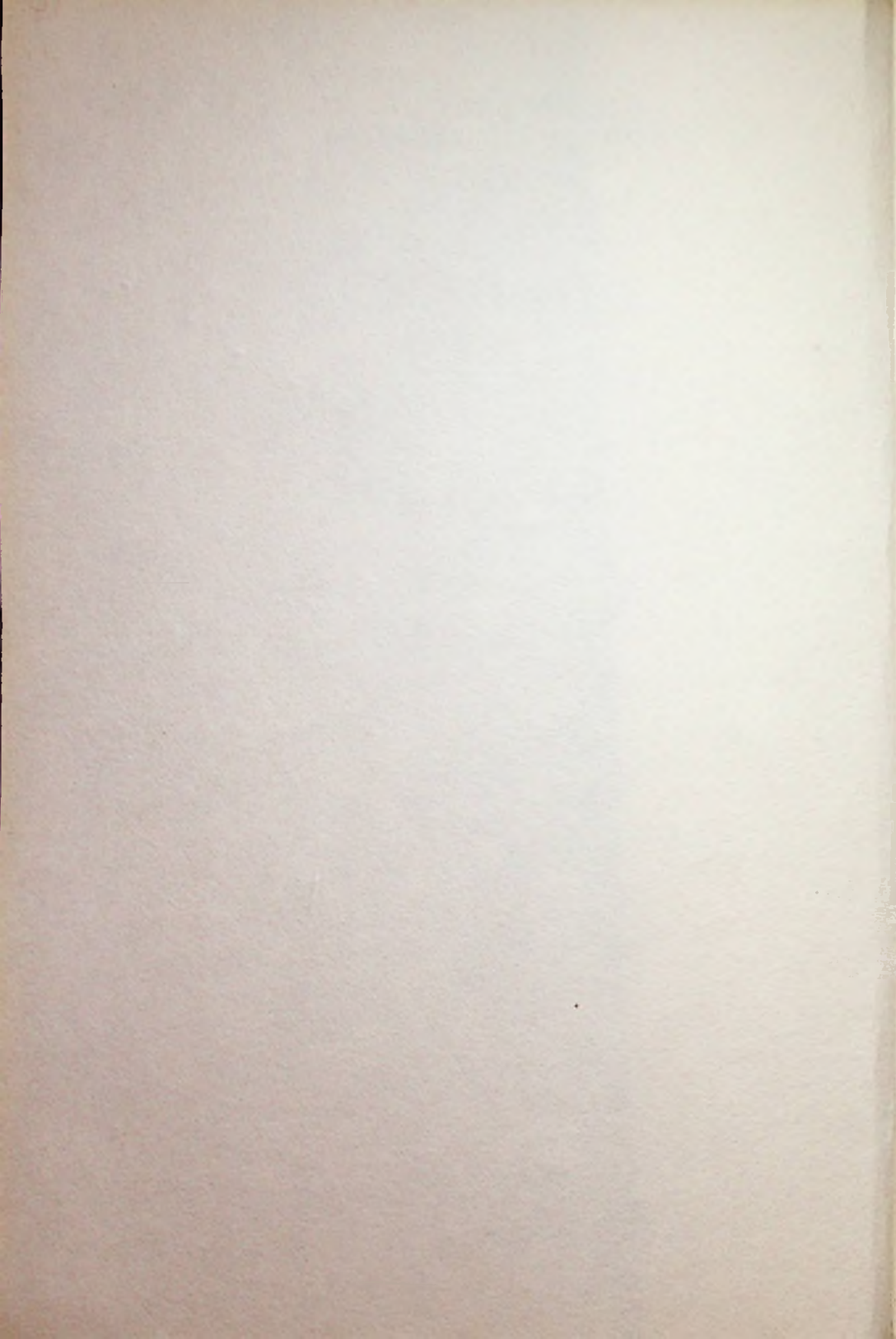
Juni 73

LUIDSPREKERKASTEN
VOOR HI-FI-WEERGAVE

besprek. R.G.

BIBLIOTHEEK
N.V.H.R.

R.B.



W. KOPINGA

BIBLIOTHEEK
N.V.H.B.

LUIDSPREKERKASTEN VOOR HI-FI-WEERGAVE

≡≡≡ *kader* REEKS ≡≡≡
KLUWER - DEVENTER

Dit boek bevat 150 pagina's, 118 figuren en 4 pagina's in kleur.

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, 1971

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden



PHILIPS

Merken van N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken

ISBN 90 2010 581 7

Geen garantie wordt gegeven, dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooi-rechten; door deze publicatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend.

Gedrukt in Nederland

Voorbericht

BIBLIOTHEEK
N.V.H.R. /

De opzet van dit boek is een leidraad te zijn voor geïnteresseerden in het zelf-bouwen van luidsprekerkasten.

Naast verschillende voorbeelden van luidsprekerkasten van klein tot groot is vooral aandacht geschonken aan het hoe en waarom. De lezer wordt met het vakjargon van de Hi-Fi-enthousiast vertrouwd gemaakt en hij leert tevens de betekenis van verschillende termen die in de akoestiek voorkomen, kennen.

Uitvoerig is ingegaan op de akoestische resultaten die thans met normaal in de handel voorkomende luidsprekers zijn te bereiken.

Aan het kiezen, het berekenen en het maken van scheidingsfilters, zowel voor twee- als voor driewegsystemen, is ruime aandacht geschonken, evenals aan de invloed die het gebruik van klankborden en gesloten kasten heeft op de weergaveresultaten van een luidspreker.

Waar gewenst, is het boek voorzien van frequentie- en vermogenskarakteristieken om de tekst toe te lichten. Tevens wordt de lezer vertrouwd gemaakt met het gebruik van deze karakteristieken.

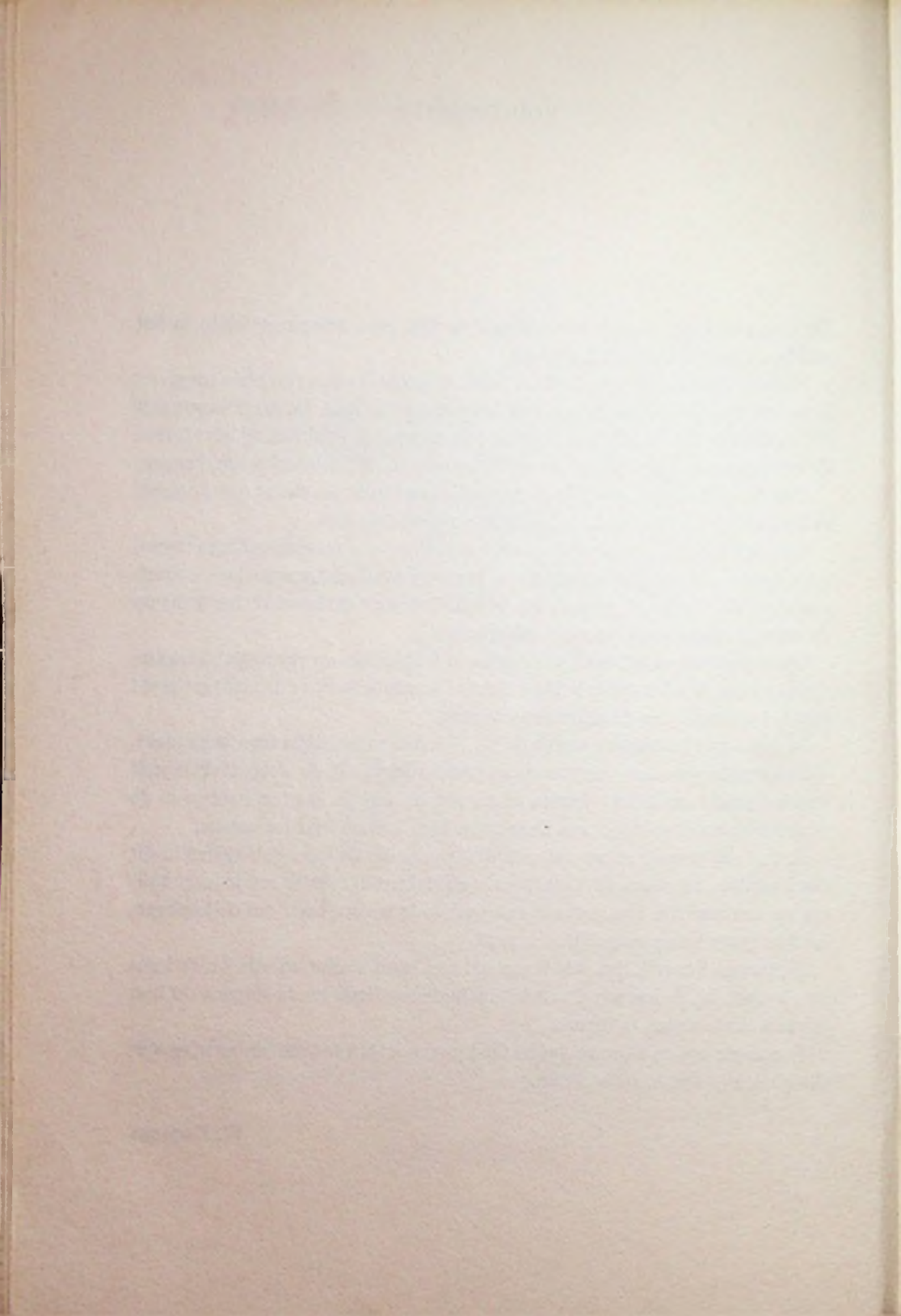
In een apart hoofdstuk wordt de Hi-Fi-keten in het algemeen behandeld. De eigenschappen van versterkers en platenspelers die de weergavekwaliteit van het geluid sterk beïnvloeden of die een belangrijk aandeel hebben in de praktische bruikbaarheid van deze apparaten komen hier ter sprake.

Ik ben mij ervan bewust dat niet alle vragen die de lezer kan stellen in dit boek worden beantwoord. Daarvoor is de elektro-akoestiek een té gecompliceerde wetenschap. Het gebruik van wiskunde is vermeden om de leesbaarheid in grote kring mogelijk te maken.

Niettemin hoop ik dat vele lezers tot een beter verantwoorde keuze kunnen komen bij de aanschaf van hun geluidsinstallatie en de slogans op hun juiste waarde weten te toetsen.

Eventuele op- en aanmerkingen die kunnen leiden tot een verbetering van dit boek zijn van harte welkom.

W. Kopinga



Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1. Het geluid	9
De geluidsvoortplanting	10
De frequentie en het frequentiebereik	11
De hogere harmonischen	12
De intensiteit (dB)	15
Hoofdstuk 2. De luidspreker	18
Het aandrijfsysteem	18
Het akoestisch systeem	23
Hoofdstuk 3. De technische gegevens van luidsprekers	27
De weerstand (R)	27
De aanpassingsimpedantie (Z)	27
De maximale belastbaarheid (W)	28
De vermogenskarakteristiek	28
De frequentiekarakteristiek	29
De resonantiefrequentie (F_{res})	32
Het gewicht en de afmetingen	32
De inductie in de luchtspleet (B)	32
De magnetische flux (Φ)	33
Het stralingsdiagram	33
Gewicht van het magneetstaal	34
Hoofdstuk 4. De akoestische eigenschappen van een luidspreker	36
De lagetonenweergave	36
De hogetonenweergave	39
De serie- en de parallelschakeling	41
De demping van een luidspreker	44

Hoofdstuk 5. De geluidswaergave in het algemeen	48
De vermogens- en de frequentiekarakteristiek	48
Direct en indirect geluid	48
De invloed van het klankbord	49
De invloed van een gesloten kast	52
Hoofdstuk 6. De waergaveresultaten van één luidspreker	59
Op een klankbord	61
In een gesloten kast	65
Hoofdstuk 7. Waergaveresultaten van systemen met meer dan één luid- spreker	70
Elektrische filters	71
De waergave met een tweewegsysteem	74
De waergave met een driewegsysteem	80
Hoofdstuk 8. De bouw van een luidsprekerkast	86
Het maken van een gesloten kast	87
Het maken van een scheidingsfilter	93
De belastbaarheid van een luidsprekersysteem	98
Hoofdstuk 9. De Hi-Fi-keten in het algemeen	104
De elektrische vermogens die nodig zijn voor een goede waergave	109
De plaatsing van de luidsprekersystemen in de huiskamer	111
Hoofdstuk 10. Elf verschillende voorbeelden van luidsprekersystemen	115
Hoofdstuk 11. Technische gegevens van de besproken luidsprekers	140

Hoofdstuk 1

Het geluid

Van 's morgens, als we door de wekker uit onze slaap gehaald worden, tot 's avonds, wanneer we met de informatie van het laatste nieuws naar bed gaan, zijn we door geluid omgeven. Het kan het doordringende snerpen zijn van een autoclaxon, een vlot stuk pianomuziek of het stemgeluid van de mensen om ons heen, de hele dag zijn we omringd door geluiden. Willen we echter ons bezig houden met het kunstmatig weergeven van geluid, dan is het nodig er iets meer over te weten.

De uitdrukkingen die worden gebruikt als men over geluid praat, wijken nogal af van de gewone huis-tuin-en-keukentaal en om te weten waarover we praten, moeten we eerst vertrouwd raken met termen als *hertz*, *frequentie* en *resonantie*.

Als we nagaan hoe geluid ontstaat, krijgen we ook inzicht in het wezen ervan. Wanneer we een ferme slag op een pauk of een grote trom geven, is gemakkelijk in te zien dat het trommelvel tengevolge van de slag doorbuigt en direct daarna terugveert. Het vlies trilt nog een poosje na, tot het uiteindelijk weer tot stilstand komt. Door dit trillende vlies wordt de omringde lucht beurtelings afgestoten en aangezogen. De lucht gaat meetrillen. Deze luchttrillingen verbreiden zich in de ruimte en brengen op hun beurt het trommelvlies van ons oor in beweging. Wij nemen *geluid* waar. Geluid noemen we dus luchttrillingen die door een trillend voorwerp, een vlies, een snaar of iets dergelijks veroorzaakt worden en door ons oor kunnen worden opgevangen.

Niet alle luchttrillingen zijn als geluid door ons oor waar te nemen. Als de lucht te langzaam trilt, minder dan ongeveer 20 maal in één seconde, zullen wij deze trillingen niét als geluid ervaren. Evenzo als het te snel gaat, meer dan 20 000 maal per seconde, is het voor ons onhoorbaar. In het eerste geval is de toon te *laag* om te horen en in het tweede geval te *hoog*.

De getallen 20 en 20 000 zijn geen absolute waarden maar gemiddelden en kunnen van persoon tot persoon verschillen. Zo is bekend dat kleine kinderen trillingen tot boven de 20 000 nog kunnen horen, terwijl het heel normaal is, dat iemand van 50 jaar, al bij 14 000 „doof” is.

De geluidsvoortplanting

Om een beter inzicht te krijgen in de geluidsvoortplanting en om kennis te maken met enkele veel gebruikte termen, zullen we nagaan wat een golfbeweging eigenlijk is.

We nemen een stevig stuk touw (bijv. een springtouw) en leggen dat gestrekt op de grond. Als we het ene eind snel op en neer bewegen, ontstaat er als het ware een golf die over het touw schijnt te lopen. Het opmerkelijke hierbij is dat, ofschoon we een golf zien lopen, een bepaald deeltje van het touw zich niet in de richting van de golf verplaatst doch alleen maar op en neer staat te dansen (fig. 1.1).

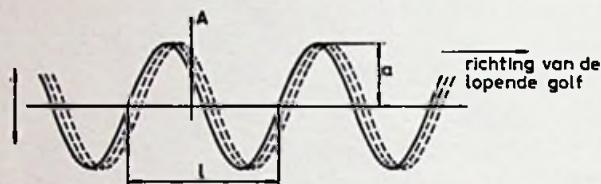


Fig. 1.1. Een momentopname van een touw, dat aan het ene eind op en neer wordt bewogen. Het geeft een beeld van een lopende golf.

Gestippeld zijn nog twee direct daaropvolgende momentopnamen gegeven.

Op een willekeurige plaats *A* danst een stukje touw als het ware op en neer.

l = lengte van een golf of de golflengte van een trilling;

a = maximale uitwijking of amplitude.

In plaats van het op en neer bewegen van een stuk touw, kunnen we een lange spiraalveer horizontaal ophangen. Als we één eind snel heen en weer bewegen in de lengterichting, ontstaat er een golfbeweging in dezelfde richting (fig. 1.2). Bij het touw was de golfbeweging *loodrecht op* de bewegingsrichting (transversaal) en bij de veer *in* de bewegingsrichting (longitudinaal).

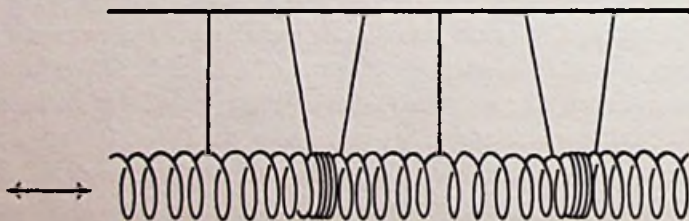


Fig. 1.2. Een horizontaal opgehangen spiraalveer. Als het ene eind in de lengterichting heen en weer wordt bewogen, ontstaan er verdichtingen (knopen) en verdunningen (buiken), die een lopende golf in de lengterichting vormen. Ook hier schijnt de golf te lopen. De deeltjes van de veer schommelen echter om een evenwichtstoestand.

Dit laatste geeft een goed idee van de geluidsvoortplanting in de lucht. Het geluid gaat echter niet in één richting, zoals het geval is met de golfbeweging in de veer, maar straalt naar alle kanten uit. Het is een bolvormige uitstraling en we zouden kunnen denken aan een ballonnetje dat met een zekere regelmaat inkrimpt en uitzet, waardoor luchtverdichtingen en verdunningen kunnen worden opgewekt, die zich bolvormig in de ruimte verspreiden (fig. 1.3).

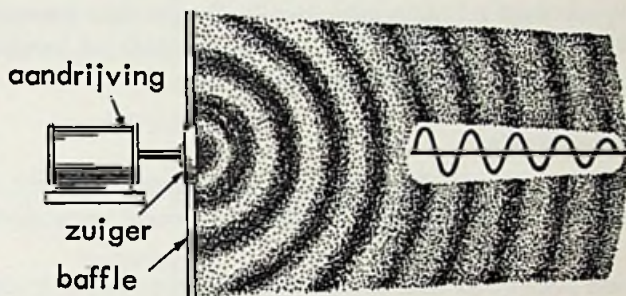


Fig. 1.3. Geluidsgolven.

Hun snelheid is ongeveer 340 meter per seconde. Deze snelheid is afhankelijk van de temperatuur en de luchtdruk. Indien we een geluid produceren, dat bijvoorbeeld bestaat uit 68 trillingen per seconde, dan volgt hieruit dat tijdens één trilling door de geluidsgolf een weg van $\frac{340}{68} = 5$ meter is afgelegd. Deze afstand noemen we *de golflengte* van de trilling. Door *de geluidssnelheid* te delen door het aantal trillingen per seconde (dit noemen we *de frequentie*), kunnen we dus de golflengte van de trillingen berekenen. Een trilling die bijvoorbeeld wordt opgewekt door een vlies dat 16 maal per seconde op en neer gaat, noemt men algemeen een trilling van 16 hertz, afgekort Hz, of een trilling met een frequentie van 16 Hz.

De frequentie en het frequentiebereik

Men heeft vastgesteld dat als gemiddelde ons oor gevoelig is voor frequenties van 20–20 000 Hz, maar we kunnen ons afvragen of het wel nodig is, dat een weergever van het geluid (bijv. een luidspreker), dit hele frequentiegebied moet kunnen bestrijken.

Als we stellen, dat het binnen het bestek van dit boek om de weergave van spraak en muziek gaat, is het interessant eens na te gaan wat de laagste en wat de hoogste tonen zijn die hierin voorkomen.

Willen we spraak zodanig weergeven dat ze niet te onderscheiden is van de werkelijkheid dan hoeft de weergave niet zo'n brede frequentie-omvang te hebben als nodig is voor de weergave van muziek. Volgens verschillende onderzoekers, moet voor het feilloos weergeven van een mannenstem het frequentiegebied van 100–8000 Hz lopen en voor het weergeven van een vrouwenstem is een frequentie-omvang van 180–10 000 Hz nodig.

Hierbij moeten we wel bedenken dat ook met de hogere harmonischen die in de stem voorkomen rekening gehouden is. Zonder deze harmonischen is de stem wel verstaanbaar, maar bij gemis hiervan gaat het karakteristieke, waaraan vaak een stem te herkennen is, verloren.

De hogere harmonischen

Het begrip *hogere harmonischen* moet nog even worden toegelicht. De klank van een muziekinstrument is over het algemeen nogal gecompliceerd. Hij bestaat niet uit één doch uit meer tonen.

Slaan we een a-stemvork aan, dan zal iedere musicus aan de hoogte van de toon direct de „a” herkennen. Vrijwel iedereen zal ook kunnen vaststellen dat de geluidsbron een stemvork was, daarbij afgaande op de klank of het timbre. De frequentie van deze toon is internationaal genormaliseerd op 440 Hz. Het bijzondere van de toon van een stemvork is, dat het een nage-noeg zuivere trilling is: er zijn geen andere frequenties in aanwezig.

Slaan we op de piano de „a” aan, dan horen we dezelfde toon van 440 Hz, doch iedereen zal aan de klank kunnen vaststellen dat het nu een piano is. Dezelfde toon heeft een andere klank. Zo'n pianotoon heeft nl. behalve een zuivere trilling van 440 Hz nog een aantal hogere tonen, boventonen of harmonischen genaamd. De frequenties van deze tonen, op zichzelf ook zuivere trillingen, zijn veelvoud van die van de grondtoon. Voor het gemak wordt de grondtoon wel de eerste harmonische genoemd; de tweede harmonische heeft een frequentie van $2 \times 440 = 880$ Hz, de derde van $3 \times 440 = 1320$ Hz enz.

De klank of het timbre van een muziektoon wordt nu bepaald door het aantal boventonen en door de onderlinge sterkteverhoudingen. Deze lopen bij de verschillende instrumenten sterk uiteen, zodat elk zijn eigen kenmerkende klank heeft.

In fig. 1.4 zijn als voorbeeld een grondtoon, de tweede en de derde harmonische getekend met achtereenvolgens kleinere amplitude (grootste trillingsuitwijking) dus kleinere sterkte. Combinatie van deze drie zuivere trillingen geeft een samengestelde trilling van de als laatste getekende vorm.

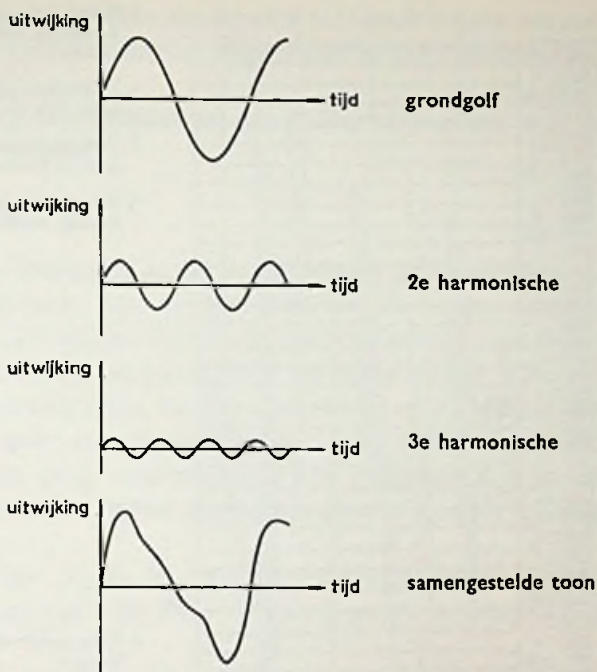


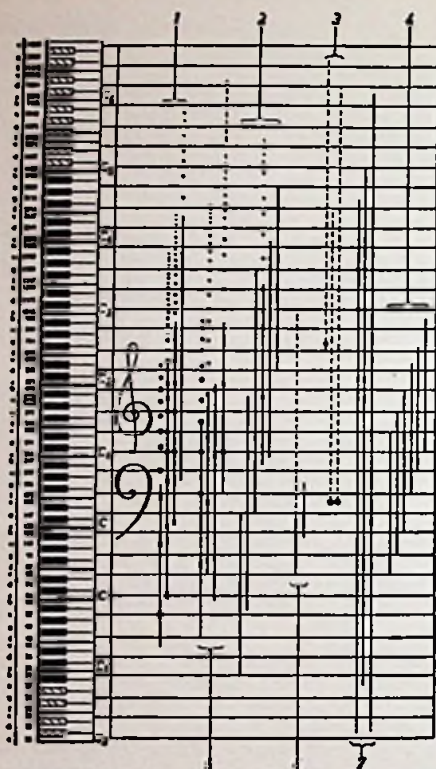
Fig. 1.4

Bereikt zo'n trilling ons oor, dan horen wij een geluid met dezelfde toonhoogte als de grondtoon, doch met een andere klank. Omgekeerd kan elk denkbaar geluid worden ontleed in één of meer grondtonen en hun harmonischen.

Ook gesproken klinkers en medeklinkers kunnen we in een aantal zuivere, enkelvoudige trillingen ontleden. Van enkele, zoals bijv. de s en de f, zijn de lagere harmonischen praktisch aan elkaar gelijk; het verschil ligt voornamelijk in de hoge harmonischen, dus in de hoge frequenties.

Bij de muziekinstrumenten waarvan de grondtonen bijna steeds ruim onder de 4000 Hz liggen, komen de verschillen in timbre meestal pas tot uiting door de hogere harmonischen. Om hier een enigszins natuurlijk klinkende weergave te krijgen, moeten dus ook de hogere harmonischen d.w.z. ook de hoge frequenties worden overgebracht.

In fig. 1.5 is de toonvang van een aantal muziekinstrumenten en stemmen aangegeven. De dikgetrokken lijn stelt het frequentiegebied van de grondtonen voor, die dus de toonhoogte bepalen. Bij een aantal van deze



1. (v.l.n.r.)
Contrabas, violoncello, altviool,
violino
2. Contrafagot, fagot, klarinet,
hobo, fluit piccolo
3. Triangel, bekken op bekken,
geslagen bekken
4. Bas, bariton, tenor, alt, mezzo-
sopraan, sopraan
5. Tuba, trombone, hoorn,
trompet
6. Grote pauk, kleine pauk
7. Harp, vleugel, orgel

Fig. 1.5. Overzicht van de toonumfang van verschillende instrumenten en stemmen.

instrumenten zijn van een bepaalde noot de grondtoon en de bijbehorende harmonischen aangegeven door dikke punten en stippellijnen.

Volledigheidshalve moet worden opgemerkt dat niet alleen door de hogere harmonischen de klank van een instrument wordt bepaald, maar ook door de wijze waarop een toon aanzwellt en/of uitsterft. Bovendien spelen, vooral tijdens de aanslag van een toon, ook willekeurige trillingen een rol. Het is gebleken dat voor het weergeven van muziek een frequentiegebied, ook wel frequentiespectrum, van 45–20 000 Hz voldoende is, zonder dat dit voor de luisteraar merkbare afwijkingen van de werkelijkheid geeft.

We kunnen hierbij direct opmerken dat in het lagetoneengebied sommige grote pijporgels en andere muziekinstrumenten nog lagere frequenties opwekken. Daar echter de weergave van dermate lage tonen nogal moeilijk is te realiseren (we zullen hierop nog nader terugkomen), willen we voorlopig

stellen dat een weergave als bovengenoemd voldoende is voor een zeer goede reproductie van spraak en muziek, temeer daar de zeer lage frequenties bijna nooit voorkomen.

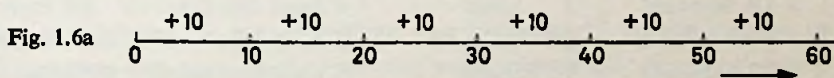
Andere voorwaarden waaraan een goed luidsprekersysteem moet voldoen, worden later behandeld.

De intensiteit (dB)

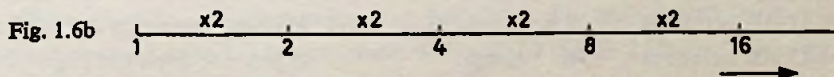
Behalve door de frequentie en het aantal hogere harmonischen, wordt het geluid nog gekenmerkt door sterkteverschillen. Ze hangen samen met de grootte van de amplitude (zie fig. 1.1). De sterkteverschillen die in de spraak voorkomen, zijn ontzettend groot, zeker een factor 10 000. Bij de weergave van muziek is het nog erger, hier zijn verschillen in sterkte met een factor 10 000 000 (10^7) geen uitzondering. Ons oor is dus een heel bijzonder instrument dat het deze grote verschillen nog kan opvangen. Om ze te kunnen verwerken, moet het met andere maatstaven „meten” dan wij in het dagelijks leven doen.

Als wij tellen bijv. 10, 20, 30, 40 enz. (steeds $+10$), vinden we dat gelijke stappen, terwijl ons oor 1, 10, 100, 1000 enz. (steeds $\times 10$) als gelijke stappen ondergaat.

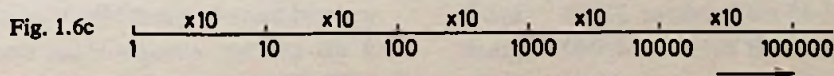
Als voorbeeld nemen we de algemeen bekende centimetermaat. Voor iedere stap van 10 cm zijn hierop gelijke afstanden afgestapt.



We noemen dit een lineaire schaal. We kunnen ons ook een schaal voorstellen waarbij op gelijke afstanden van elkaar, getallen staan die steeds hetzelfde aantal malen zo groot zijn als het voorafgaande getal bijvoorbeeld: $2 \times$



of steeds 10 maal:



In de wiskunde wordt zo'n maatindeling logaritmisch genoemd. Van ons oor, dat ook volgens een dergelijke maatindeling werkt, kunnen we zeggen dat het logaritmische eigenschappen bezit.

In fig. 1.6d is nog eens een voorbeeld gegeven van een logaritmische schaal zoals die meestal in de geluidsleer (akoestiek) wordt gebruikt voor het aangeven van de frequenties van 10 Hz tot 20 000 Hz.

Voor de intensiteit van een toon, die in *bell* (afgekort B) wordt opgegeven, wordt meestal een lineaire schaal gebruikt, daar de eenheid bell, zelf al logaritmisch is. Aan een toon van 1000 Hz die nog net hoorbaar is, wordt dan een intensiteit van 0 bell toegekend (wat overeenkomt met 10^{-12} W/m²). Aan een toon met 10 maal zoveel vermogen wordt 1 bell meer en aan een toon met nog eens 10 × zoveel vermogen wordt weer 1 bell meer, dus 2 bell toegekend. Daar deze eenheid nogal groot is, wordt gewerkt met 0,1 bell of decibell (dB). Een toon met een honderd maal groter vermogen, wordt daarom een toon genoemd van 20 dB meer. Wiskundig wordt de dB-waarde aangegeven als: $10 \log \frac{W_1}{W_2}$ en voor de absolute waarde van de dB is voor

W_2 vastgelegd een geluidsvermogen van 10^{-12} W/m². Hieronder volgt een lijst die het verband geeft tussen de lineaire grootheid en de decibell.

0 dB betekent	1 maal	1 maal betekent	0 dB meer
+ 1 dB betekent	1,25 maal	2 maal betekent	3 dB meer
+ 2 dB betekent	1,6 maal	3 maal betekent	4,8 dB meer
+ 3 dB betekent	2 maal	4 maal betekent	6 dB meer
+ 4 dB betekent	2,5 maal	5 maal betekent	7 dB meer
+ 5 dB betekent	3,2 maal	6 maal betekent	7,8 dB meer
+ 6 dB betekent	4 maal	7 maal betekent	8,5 dB meer
+ 7 dB betekent	5 maal	8 maal betekent	9 dB meer
+ 8 dB betekent	6,3 maal	9 maal betekent	9,6 dB meer
+ 9 dB betekent	8 maal	10 maal betekent	10 dB meer
+ 10 dB betekent	10 maal	100 maal betekent	20 dB meer
+ 11 dB betekent	12,5 maal	N.B.: Hier en daar zijn de getallen	
+ 12 dB betekent	16 maal	afgerond, doch tot 2% nauw-	
+ 20 dB betekent	100 maal	keurig.	
+ 30 dB betekent	1000 maal	Overeenkomstig het bovenstaande	
+ 40 dB betekent	10000 maal	wordt dus met bijv. —6 dB bedoeld	
+ 45 dB betekent	32000 maal	gedeeld door 4 en met bijv. $\frac{1}{8}$ maal	
+ 46 dB betekent	40000 maal	9 dB minder, evenals $\frac{1}{1000}$ maal	
		—30 dB.	

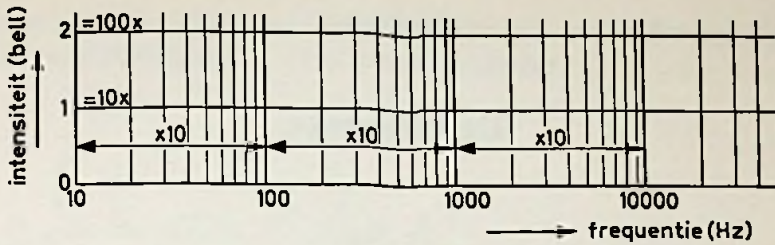


Fig. 1.6d

(Opmerking: In plaats van het vergelijken van twee verschillende vermogens, zoals boven gegeven (W_1 en W_2), kan men ook twee spanningen, stromen of geluidsdrukken vergelijken.)

In dit geval schrijven we:

$$10 \log \frac{W_1}{W_2} = 10 \log \frac{E_1^2 R}{E_2^2 R} \quad \text{daar } W = \frac{E^2}{R}$$

$$10 \log \frac{E_1^2 R}{E_2^2 R} = 10 \log \frac{E_1^2}{E_2^2} = 10 \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^2$$

$$\text{en } 10 \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^2 = 20 \log \frac{E_1}{E_2}$$

Hieruit volgt dat bij het vergelijken van bijvoorbeeld geluidsdrukken de dB-waarden met twee moeten worden vermenigvuldigd: tweemaal zoveel druk bijv. is dan geen 3 dB meer maar +6 dB, evenzo is 10 maal dan 20 dB meer.

Als bijvoorbeeld aan een luidspreker 10 dB meer spanning (d.i. 3,2 maal zoveel) wordt toegevoerd, is het vermogen met 10 dB of een factor 10 toegenomen ($W = E^2/R$). Ook het uitgestraalde geluidsvermogen is dan met 10 dB toegenomen of 10 maal groter geworden. De geluidsdruk is in dit geval met een factor 3,2 toegenomen wat ook 10 dB is. (Als 0-niveau van de geluidsdruk is vastgelegd $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$.)

De luidspreker

Het doel van de *luidspreker* is de geluidsinformatie die in de vorm van een elektrische spanning op de uitgangsklemmen van een versterker aanwezig is, in geluid om te zetten. Van deze luidspreker verwachten we dat hij de aan hem toegevoerde elektrische spanningen, foutloos omzet in luchttrillingen die als het ware een getrouwe kopie ervan zijn. Iedere fout, van welke aard dan ook, die bij dit „omzetten” wordt gemaakt, duidt men aan met de verzamelnaam: de *vervorming* van de luidspreker.

De luidspreker bestaat in feite uit twee delen: een deel waarin de elektrische spanning wordt omgezet in een kracht en een deel waarin de kracht wordt omgevormd tot luchttrillingen. Het eerste deel wordt het *aandrijfsysteem* en het tweede deel het *akoestisch systeem* genoemd.

Er zijn verschillende soorten luidsprekers; zij worden ingedeeld naar de methode van aandrijving. Zo hebben we bijvoorbeeld het kristaltype en het elektromagnetische, het elektrostatische en het elektrodynamische type. De meest bekende soort is wel de elektrodynamische luidspreker. In dit boek wordt, tenzij anders vermeld, verder alleen dit type behandeld.

Zoals reeds is opgemerkt, bestaat de luidspreker uit twee gedeelten die achtereenvolgens zullen worden behandeld.

Het aandrijfsysteem

In het aandrijfsysteem wordt een elektrische stroom omgezet in een overeenkomstige kracht. Hiertoe sluit men een spanning aan op een spoel, waarvan de windingen zich in een sterk magnetisch veld bevinden dat door de van een magneet uitgaande flux gevormd wordt.

Voor een goed begrip van wat verder volgt, moeten we even stilstaan bij de samenhang die er bestaat tussen de magnetische flux (Φ) en de fluxdichtheid, ook wel magnetische inductie (B) genoemd. Door de magnetische spanning in een magneetstaaf, ontstaat er in de ruimte om die magneet een magnetisch veld, ook wel het *krachtlijnenveld* genoemd (fig. 2.1). De totale hoeveelheid krachtlijnen die uit een magneet komen, noemen we de mag-

netische flux. De dichtheid van de flux d.w.z. de hoeveelheid flux per oppervlakte-eenheid (bijv. cm^2) is de magnetische inductie.

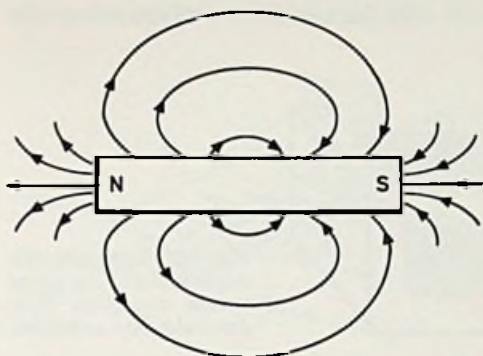


Fig. 2.1. Voorbeeld van een magneetstaaf met het hem omringende veld. Vlak bij de noord- en de zuidpool is de dichtheid van de flux of de inductie groter dan verder van de magneet vandaan.

In formule wordt dit uitgedrukt door $B = \Phi/O$ of $\Phi = B \times O$. In woorden: de flux is gelijk aan de magnetische inductie maal het oppervlak. Om een hoge inductie te krijgen, moeten we „veel flux door een klein oppervlak sturen”. Het magnetisme gaat beter door het ijzer dan door de lucht, of anders gezegd, ijzer heeft een kleinere weerstand voor de magnetische flux dan lucht. Men zegt ook wel: De magnetische geleidbaarheid van ijzer is beter dan van lucht. Verbinden we nu de noord- en de zuidpool van het magneetstaafje door een ijzeren beugel, dan zal nagenoeg de gehele magnetische flux die uit de magneet komt, door deze beugel gaan en niet meer door de lucht, zoals eerst het geval was (fig. 2.2).

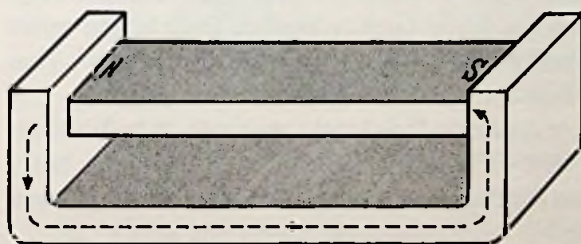


Fig. 2.2. Een magneetstaaf waarvan de noord- en de zuidpool door een ijzeren beugel zijn verbonden. De flux gaat nu nagenoeg geheel door de beugel.

We hebben niet alleen de flux gebundeld, maar hij is ook groter geworden door de betere magnetische geleidbaarheid van het ijzer. De magnetische spanning of magnetomotorische kracht (*mmk*) is hier als het ware kortgesloten, wat weer tot gevolg heeft dat een grote magnetische flux ontstaat. Deze flux is namelijk maximaal als de weerstand zo klein mogelijk is. Met de ijzeren beugel is aan deze voorwaarde voldaan. In dit geval hebben we

een grote flux door een klein oppervlak, dus een hoge inductie. Voor praktische toepassingen echter is het noodzakelijk, dat we een sterk magnetisch veld in de lucht hebben. Dit realiseert men door in de beugel een spleet aan te brengen (fig. 2.3).

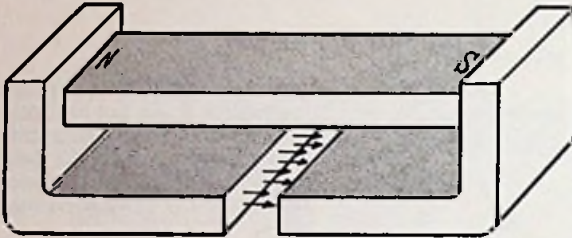


Fig. 2.3. Voorbeeld van een beugel met een spleet waarin een grote fluxdichtheid kan ontstaan.

Wanneer het ijzercircuit wordt onderbroken, neemt de magnetische weerstand iets toe, dus de flux wat af. Als we de spleet niet al te breed maken, kunnen we inducties in lucht opwekken, die hoog genoeg zijn voor de hier bedoelde toepassingen. Een ander punt is, dat de beugel niet al te dun mag zijn, want als er te veel flux door het ijzer moet, raakt dit „verzadigd”. Het gaat zich dan min of meer als lucht gedragen en krijgt dus een grotere weerstand voor het magnetisme. Plaatsen we nu in de luchtspleet een koperdraad waar een stroom doorheen loopt, dan wordt door het magneetveld op de draad een kracht uitgeoefend, die we kunnen gebruiken voor het aandrijven van een conus. Dit laatste verschijnsel berust op de uit de natuurkunde bekende wet, die leert dat een stroomvoerende geleider in een magnetisch veld een kracht ondervindt (de Lorentz-kracht). Deze kracht wordt groter als het magnetisch veld of de lengte van de draad groter wordt. Vanzelfsprekend wordt hij ook groter als de stroom toeneemt.

In formule: $K = B \times i \times l$, waarin K de kracht voorstelt, B de fluxdichtheid van het magnetisch veld en i de stroomsterkte door de draad. Met l wordt bedoeld de lengte van dat deel van de draad dat zich in het magnetisch veld bevindt.

Een en ander wordt nog eens in fig. 2.4 schetsmatig weergegeven.

Voor de luidspreker gebruiken we in de praktijk een magneetsysteem dat er iets anders uitziet dan het hiervoor geschetste. Vaak gaat men hierbij uit van een ronde korte magneetstaaf waarvan de polen met elkaar zijn verbonden door een „dubbele” beugel. Een ringvormige spleet wordt rondom één der polen van de magneet aangebracht. Om de flux gemakkelijk te kunnen ombuigen, is deze pool meestal voorzien van een ijzeren verlengstuk dat

kern wordt genoemd. In deze spleet ontstaat een magnetisch veld dat als het ware vanuit de bedoelde kern naar buiten uitstraalt. Een veld van deze vorm wordt een radiaal veld genoemd (fig. 2.5).

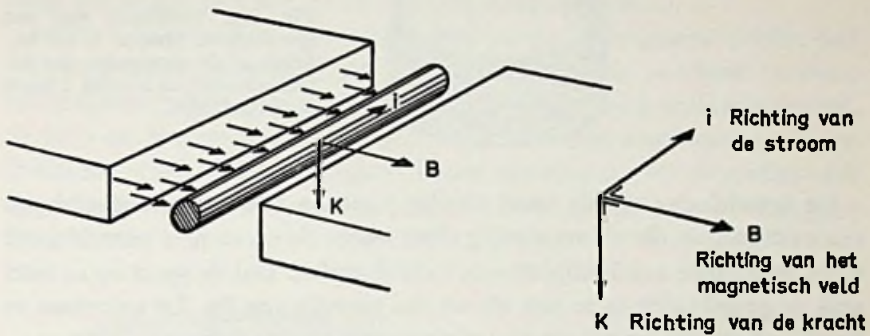


Fig. 2.4. Magnetisch veld in een „luchtspleet” waarin zich een stroomvoerende draad bevindt. In het diagram is aangegeven hoe de richting van de stroom en het veld samenhangen met de kracht. Keert de richting van de stroom óf de richting van het veld om, dan zal ook de richting van de kracht omkeren.

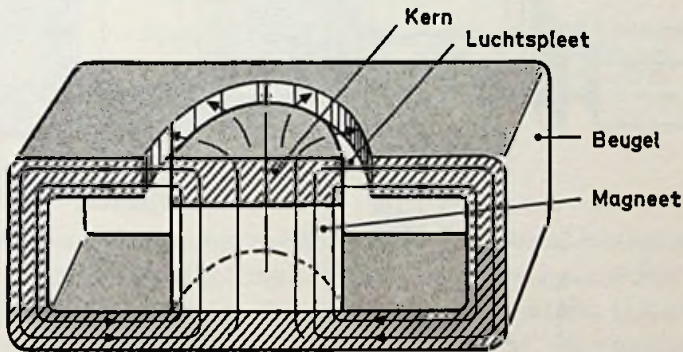


Fig. 2.5. Voorbeeld van een „beugelmagneetsysteem”. Voor de duidelijkheid is een doorsnede getekend om aan te kunnen geven hoe de flux een radiaal veld vormt.

Vanzelfsprekend kunnen we in dit radiale veld geen rechte draad gebruiken maar deze moet worden aangepast aan de spleet. Dit is eenvoudig te doen door de draad op een kokertje te wikkelen dat juist om de kern past. Om de lengte van de draad zo groot mogelijk te maken (waardoor de kracht toeneemt) worden veel windingen om het kokertje gelegd, zo nodig in verschillende lagen. Het zo gevormde spoeltje wordt het *spreekspoeltje* van de luidspreker genoemd. Om de kracht op het akoestisch deel te kunnen overdragen, wordt dit spoeltje later aan de conus bevestigd (fig. 2.6).

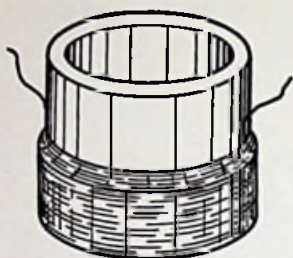


Fig. 2.6. Voorbeeld van een spreekspoel. Meestal is het kokerje of de spoelvorm van papier gemaakt, en worden 2 lagen draad gebruikt.

De draadeinden van de spoel worden voorzien van een zeer goed buigzame draadsoort die als verbinding dient tussen de op en neer gaande spoel en de stilstaande aansluitlippen van de luidspreker. Dat de spoel op en neer gaat, is gemakkelijk in te zien als we het gegeven van fig. 2.4 toepassen in fig. 2.7 en de stroom telkens van richting laten veranderen.

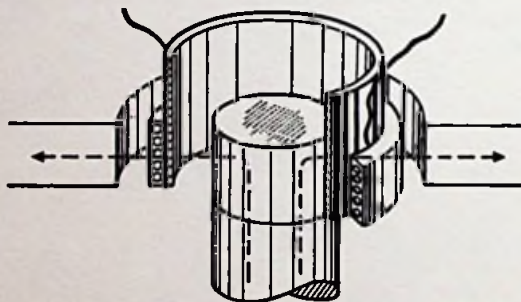


Fig. 2.7a. Schets van een spreekspoel in de luchtspleet van een magneetsysteem.

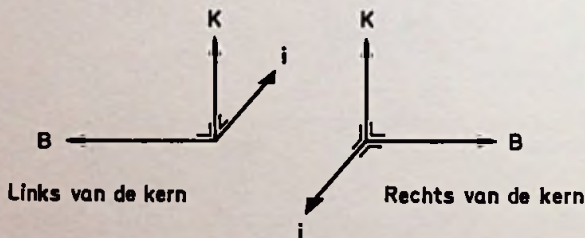


Fig. 2.7b. De richting van de kracht is hier in beide gevallen gelijk, daar zowel de stroom als de veldrichting omgekeerd zijn.

Als we bijvoorbeeld aannemen dat de stroom aan de linkerkant van de kern naar achteren is gericht, achterom de kern heen loopt en aan de rechterzijde weer te voorschijn komt, dan is de richting van de stroom gegeven. Het veld is radiaal gericht en we nemen in dit geval aan, van binnen naar buiten. Met deze gegevens is het mogelijk de richting van de kracht af te leiden en fig. 2.7b spreekt dan voor zichzelf.

In de geschetste toestand gaat de spoel klaarblijkelijk omhoog. Als de stroom van richting verandert, zal de spoel omlaag willen gaan. Daar het hoofdkenmerk van wisselstroom is dat hij telkens van richting verandert, volgt hieruit dat de spoel op en neer zal gaan bewegen.

Behalve de tot nu toe geschetste cilindervormige magneten worden ook veel ringvormige magneten gebruikt. Welke soort de voorkeur verdient, hangt samen met de magnetische eigenschappen van het gebruikte materiaal, de prijs en de gewenste afmetingen. Voor de kleine magneetsystemen gebruikt men vaak cilindervormige magneten van ticonal, voor de grotere vaak ringvormige van *ferroxdure*. Hoe een en ander er dan uit komt te zien, geeft fig. 2.8 weer.

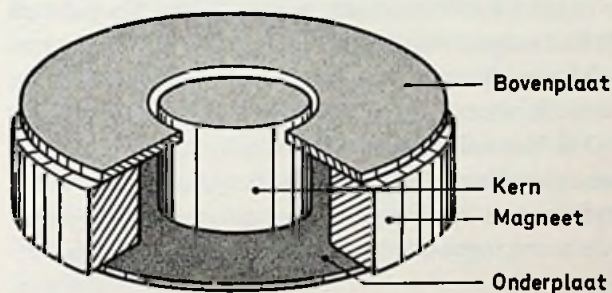


Fig. 2.8. Een magneetsysteem met een ringvormige magneet.

Het akoestisch systeem

In dit deel van de luidspreker wordt de kracht die gevormd is in het aandrijfsysteem, omgezet in luchttrillingen. In de inleiding, waar we al even hebben stilgestaan bij het wezen van het geluid, is opgemerkt dat luchttrillingen vaak worden opgewekt door trillende voorwerpen, als trommellen, snaren e.d.

Zo wordt in het akoestische deel van een luidspreker een conus, meestal van papier, door de ontwikkelde kracht aangestoten en in trilling gebracht, waardoor de gewenste luchttrillingen worden opgewekt. Deze conus is aan de rand soepel opgehangen in een meestal van metaal gemaakt chassis. Het ophangen aan de rand alleen is niet voldoende om het kantelen van de conus te voorkomen. Daarom wordt de conus zo dicht mogelijk bij de punt nog eens van een ophanging voorzien. Dit laatste ophangstelsel wordt de centreerring van de luidspreker genoemd, omdat dit onderdeel meestal ringvormig is. Het zorgt ervoor dat de spreekspoel goed in de luchtspleet van het magneetsysteem gecentreerd blijft en niet gaat aanlopen tegen de boven-

plaat of tegen de kern. Dat dit niet denkbeeldig is, wordt duidelijk als we bedenken dat de afstand tussen de bewegende spoel en het magneetsysteem slechts 150 micron of 0,15 mm kan zijn! De breedte van de hele spleet is ongeveer 1 mm en de wanddikte van de spoel meestal rond een halve millimeter, terwijl de spoel, vooral voor lage frequenties, al gauw 1 cm op en neer moet gaan.

Om de krachten die op de spreekspoel worden uitgeoefend zo goed mogelijk over te dragen aan de conus, moet de spoel zeer stevig met de punt van de conus worden verbonden met daarvoor geschikte en voldoende harde lijmsorten.

Bij hoge frequenties gaat de conus niet meer als één geheel trillen, maar in verschillende delen. De frequentie waarmee in dit geval de punt van de conus door de spoel op en neer wordt bewogen, is namelijk zó hoog dat de hele conus dit niet direct kan volgen. Hierdoor worden er als het ware golven gevormd op het oppervlak van de conus. We noemen dit het *opbreken van de conus*. We kunnen ons dit voorstellen als we denken aan het al eerder genoemde springtouw. Ook hier volgt ieder deeltje van het touw niet direct de op en neer gaande beweging die aan de linkerkant toegevoerd wordt. Net zoals bij het touw ontstaan vooral bij de hogere frequenties, golfbewegingen in de conus, waardoor de meest ingewikkelde trillingspatronen kunnen ontstaan.

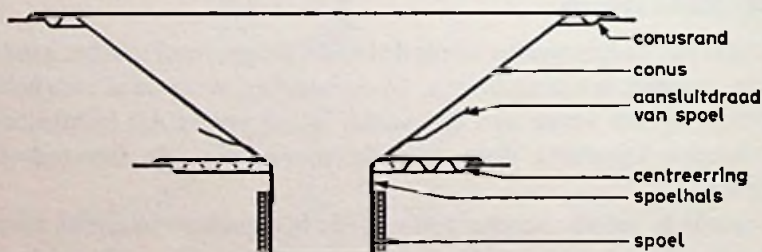


Fig. 2.9. Schets van de samenstelling van een conus, centreerring en spreekspoel van een luidspreker. De conus is meestal van papier gemaakt terwijl de centreerring van katoen of één of andere kunststof wordt vervaardigd.

Daar de akoestische eigenschappen van een luidspreker voor een groot deel worden bepaald door de conus, heeft dit onderdeel een zeer grote invloed op de weergavekwaliteit van een luidspreker. Veel luidsprekerfabrikanten besteden hieraan dan ook grote aandacht.

We kunnen ons afvragen of de akoestische eigenschappen ook aan de

conus te zien zijn, zodat men bij de aankoop van een luidspreker kan beoordelen of hij geschikt is voor het beoogde doel. Tot op zekere hoogte is dit mogelijk, maar alleen zeer globaal, daar meestal de ene eigenschap samenhangt met de andere. Een (grote) conus van 12" zal vanwege het grote gewicht niet geschikt zijn voor de weergave van (hoge) tonen boven ongeveer 8000 Hz. Door de conus dieper of minder diep te maken, dus door de tophoek te veranderen, is de hogetonenweergave sterk te beïnvloeden.

Een diepe conus, d.w.z. een conus met een kleine tophoek, kan beter hoge tonen weergeven dan een met een grote tophoek, aangenomen dat alle andere omstandigheden hetzelfde blijven. Behalve dat een kleine tophoek meer hoge tonen kan weergeven, wordt het geluid hierdoor ook meer gebundeld, wat voor een bepaald gebruik wél en voor een ander gebruik juist niét gewenst kan zijn. Wordt een luidspreker gezocht die hoge tonen moet geven, bijv. boven de 10 000 Hz, dan is het uit bovenstaande wel duidelijk dat deze niet gezocht moet worden tussen de grote luidsprekers en evenmin tussen de kleine waarvan de tophoek van de conus groot is, bijv. meer dan 120°. Kleine luidsprekers met een conustophoek van 90° tot 110° maken een veel betere kans, ofschoon hier het gevaar van sterkere bundeling weer aanwezig is, wat voorkomen kan worden door bijv. een bolvorm te kiezen.

Ook de koppeling van de spreekspoel aan de conus is belangrijk voor de hogetonenweergave. Soms wordt er in de punt van de conus een ril geperst waardoor de koppeling van de conustop met de rest van de conus slapper wordt. Op deze manier is het mogelijk een conus te maken die de hoge frequenties zeer verzwakt weergeeft. Deze soort luidsprekers wordt speciaal gemaakt voor die omstandigheden waar het weergeven van hoge tonen niet gewenst is.

Voor AM-radio-ontvangers bijvoorbeeld, die met batterijen worden gevoed, gebruikt men bij voorkeur luidsprekers waarin de hogetonenweergave (bijv. boven de 4500 Hz) sterk onderdrukt is, of zoals het in vaktermen heet, een luidspreker met een sterke afkap boven de 4500 Hz. De reden hiervan is dat AM-radiostations geen hogere geluidsfrequenties dan 4500 Hz uitzenden. Bovendien is het totaal afgegeven vermogen van de versterker in het radiotoestel klein gehouden, om de levensduur van de batterijen te vergroten. De bezitter van deze radio zal, om er zoveel mogelijk geluid uit te krijgen, altijd de neiging hebben de volumeregelaar op maximum te zetten, wat een oversturen van de versterker in de hand werkt en waardoor ernstige vervormingen ontstaan. Als de luidspreker die in dit geval wordt gebruikt alle frequenties boven de 4500 Hz niet weergeeft, is ook een deel van de vervor-

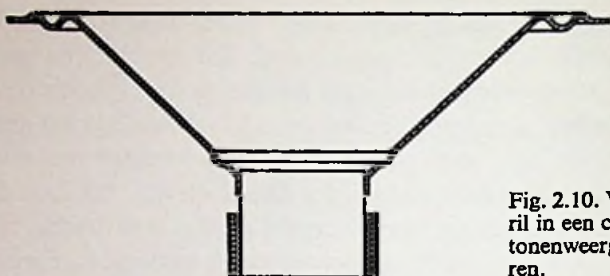


Fig. 2.10. Voorbeeld van een ril in een conus om de hogetonenweergave te verminderen.

ming niet meer te horen, zodat het geheel nog een acceptabele weergave kan hebben.

Door de rillen in de punt van de conus minder breed of minder diep te maken, of anders gezegd door de stijfheid van de conus plaatselijk te wijzigen, kapt de luidspreker bij een hogere of een lagere frequentie af. Men heeft dus door verandering van de topribben en door de keuze van de tophoek de mogelijkheid de weergave van de hoge tonen binnen zeer wijde grenzen te beïnvloeden.

Het geheel wordt nogal gecompliceerd, vooral als we bedenken dat het gewicht van de spreekspoel en de stijfheid van het conusmateriaal ook van invloed zijn op de weergave in het hogetonengebied. Met een zware spoel, zoals die vaak in luidsprekers voor groot vermogen wordt gebruikt, lukt het niet met voldoende sterkte hoge tonen weer te geven. In zo'n geval zal als een goede hogetonenweergave noodzakelijk is, een luidspreker die hiervoor wél geschikt is, moeten worden toegevoegd.

Het vergroten van de stijfheid van het conusmateriaal heeft ook zijn beperkingen, daar meestal voor het verkrijgen van een grotere stijfheid ook het gewicht van de conus gaat toenemen. De ene factor bevordert de weergave in het hoog, terwijl de andere dit tegenwerkt, zodat steeds gezocht moet worden naar het juiste compromis, om in de gegeven omstandigheden een optimale weergavekwaliteit te verkrijgen.

De technische gegevens van luidsprekers

Vaak ontvangt men bij de aanschaf van een luidspreker allerlei folders met diverse gegevens. Deze gegevens zouden de kopers een duidelijk beeld moeten geven van de elektrische eigenschappen, de mechanische grootheden en de akoestische kwaliteiten. Daar de koper vaak de betekenis van de diverse uitdrukkingen die gebezigd worden, niet voldoende kent, lijkt het goed enige van de meest voorkomende te behandelen.

De weerstand (R)

Dit is de elektrische weerstand van de spreekspoel, gemeten met gelijkstroom. De waarde wordt in ohm uitgedrukt. Voor de gebruiker is deze waarde minder belangrijk.

De aanpassingsimpedantie (Z)

Hiermee wordt bedoeld de elektrische weerstand gemeten met wisselstroom. Deze weerstandswaarde van de spreekspoel is hoger dan die gemeten met gelijkstroom. De waarde wordt ook uitgedrukt in ohm, maar zij is afhankelijk van de frequentie van de wisselspanning waarmee wordt gemeten. Er bestaat een voorschrift dat de luidsprekerfabrikant verplicht om als impedantie een waarde op te geven die hij meet in het gebied van ongeveer 100–500 Hz; in dit gebied kan doorgaans een maximaal vermogen worden verwacht. De opgegeven waarde mag niet hoger zijn dan 20% boven de laagst voorkomende impedantiewaarde in dit gebied.

Voor de bezitters of kopers van een luidspreker vormt deze impedantiewaarde een belangrijk gegeven in verband met de aanpassing aan de versterker. Als de fabrikant van de versterker de optimale aanpassing opgeeft, moet ook de impedantie van de te gebruiken luidspreker deze waarde hebben. Vooral voor versterkers uitgevoerd met transistors moet men zich aan de voorgeschreven waarden houden. Voor het geval dat een lagere impedantie wordt aangesloten dan staat voorgeschreven, is het gevaar van overbelasting zeer groot en de kans dat de versterker stuk zal gaan, lang niet denkbeeldig.

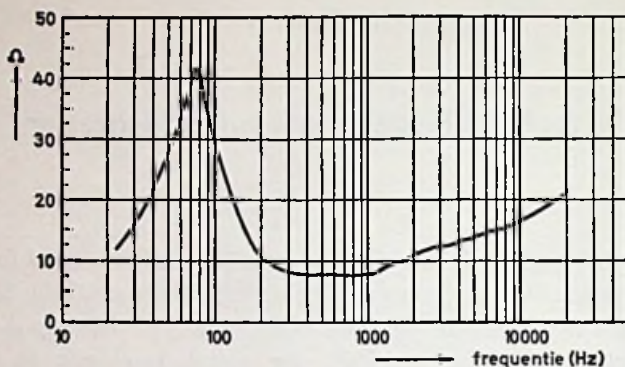


Fig. 3.1. Een voorbeeld van een impedantiënkromme. Op de horizontale as is de frequentie uitgezet (logaritmisch) en op de verticale as de impedantie in ohm. De aanpassingsimpedantie wordt door de fabrikant opgegeven en komt in normale gevallen ongeveer overeen met de waarde gemeten bij 400 à 500 Hz. Uitzonderingen kunnen zijn o.a. luidsprekers die alleen gebruikt worden voor het weergeven van hoge tonen.

De maximale belastbaarheid (W)

Met de belastbaarheid in watt wordt bedoeld dat een muzieksignaal van een overeenkomstig elektrisch vermogen aan de luidspreker kan worden toegevoerd zonder dat daardoor de luidspreker wordt beschadigd. Dit wil zeggen dat op een versterker die 10 W kan afgeven, een luidspreker van minimaal 10 W moet worden aangesloten; anders bestaat de kans dat bij het helemaal opendraaien van de versterker de luidspreker kapot gaat. Het is duidelijk dat de maximale belastbaarheid van een luidspreker een belangrijk gegeven is.

De vermogenskarakteristiek

Met deze kromme wordt het totaal uitgestraalde akoestisch vermogen dat uit een luidspreker komt, als functie van de frequentie gegeven. Tijdens de meting wordt de spanning die op de klemmen van de luidspreker is aangesloten, constant gehouden. Ofschoon dit een zeer belangrijk gegeven vormt, wordt het in de praktijk nagenoeg nooit opgegeven door de fabrikanten van luidsprekers. Omdat het uitgestraalde vermogen van een luidspreker afhankelijk is van de frequentie, kunnen we niet volstaan met het opgeven van een getal maar moeten we een karakteristiek opgeven. In deze karakteristiek is op de ene as de frequentie en op de andere het uitgestraalde geluidsvermogen uitgezet. Fig. 3.2 geeft hiervan een voorbeeld.

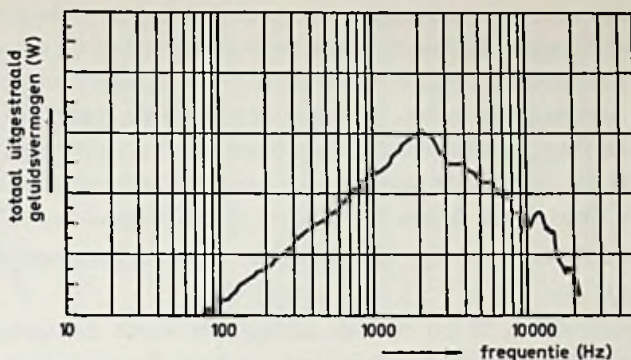


Fig. 3.2. Voorbeeld van een vermogenskarakteristiek. Op de horizontale as wordt net als bij de impedantiekromme de frequentie in een logaritmische schaal uitgezet. Op de verticale as, in een lineaire of logaritmische schaal, het uitgestraalde akoestische vermogen in watt.

Het uitgestraalde vermogen is een zeer belangrijk gegeven voor de gebruiker van een luidspreker, omdat het een maat is voor de hoeveelheid geluidsenergie die met een bepaalde versterker in een luisterruimte kan worden verkregen. Algemeen gesproken is de opgewekte geluidsenergie afhankelijk van het maximale uitgangsvermogen van de versterker en het rendement van de luidspreker. Het effect van een 10 watt-versterker en een luidspreker met een rendement van 10% is hetzelfde als een luidspreker met een rendement van 1% en een versterker van 100 W. Als grove benadering kunnen we stellen dat de rendementen van luidsprekers variëren tussen 1 en 15%.

Onder het rendement wordt verstaan de verhouding van het akoestisch vermogen dat uit de luidspreker komt, tot de elektrische energie die eraan wordt toegevoerd, uitgedrukt in procenten. In formule:

$$\text{rendement } \eta = \frac{\text{akoestisch vermogen}}{\text{elektrisch vermogen}} \times 100\%$$

De frequentiekarakteristiek

De frequentiekarakteristiek is een lijn die bij verschillende frequenties aangeeft hoe groot de geluidsdruk is, recht vóór de luidspreker gemeten. Deze meting wordt uitgevoerd in een speciaal daarvoor ingerichte kamer. De wanden van deze kamer zijn bekleed met geluidabsorberend materiaal waardoor het geluid dat tegen de wanden valt niet wordt teruggekaatst. Zo'n kamer noemt men een dode kamer. Hierdoor wordt alleen het direct door de luidspreker uitgestraalde geluid gemeten. Het geluid dat door de wanden

zou kunnen worden teruggekaatst, wordt geabsorbeerd en kan de meetresultaten niet beïnvloeden. Tijdens deze meting wordt zowel de elektrische spanning op de luidsprekerklemmen als de afstand van de meetmicrofoon tot de luidspreker constant gehouden. De spanning is bij de meeste in dit boek voorkomende frequentiekenmerken berekend door uit te gaan van de gedachte dat bij de waarde van de aanpassingsimpedantie een vermogen van 50 mW door de te meten luidspreker wordt opgenomen. Daar $E = \sqrt{R \times W}$ wordt dit voor een luidspreker met een aanpassingsimpedantie van 8Ω gelijk aan $\sqrt{8 \times 50 \times 10^{-3}} = 0,63 \text{ V}$.

Op een afstand van 50 cm voor de luidspreker wordt de meetmicrofoon opgesteld en de daar heersende geluidsdruk gemeten. Deze geluidsdruk wordt in dB op de verticale as uitgezet waarbij 0 dB een geluidsdruk van $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ voorstelt. De karakteristiek komt er nu uit te zien als in fig. 3.3a is aangegeven.

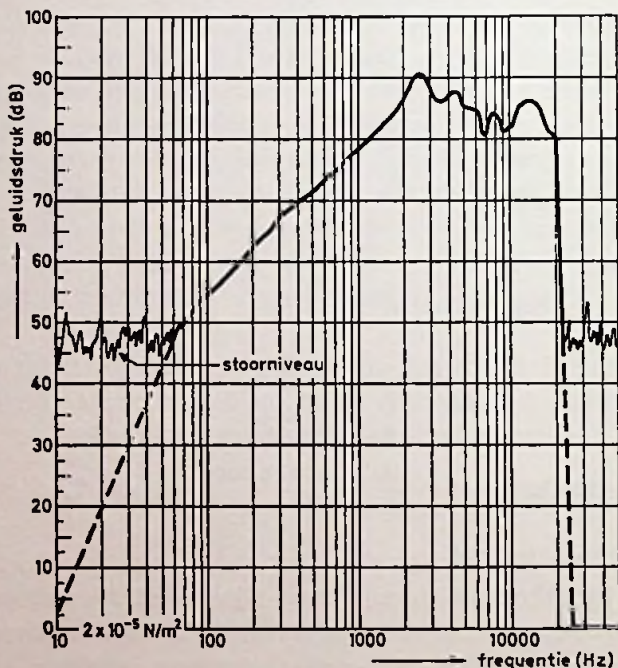


Fig. 3.3a. Voorbeeld van een frequentiekenmerken. Op de horizontale as wordt, zoals meestal in de akoestiek, de frequentie uitgezet op een logaritmische schaal en op de verticale as wordt de geluidsdruk die op een afstand van 50 cm recht voor de luidspreker is gemeten, uitgezet. Deze geluidsdruk wordt opgegeven in dB, waarbij 0 dB overeenkomt met een geluidsdruk van $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$. Op het niveau van ongeveer 45 dB is duidelijk de geluidsdruk tengevolge van het omgevingslawaai te zien.

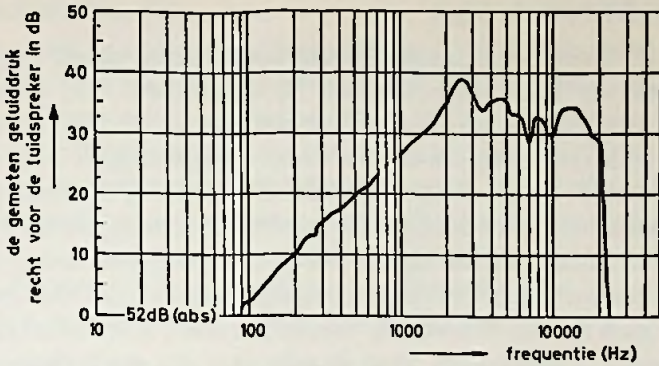


Fig. 3.3b. Dezelfde karakteristiek als in fig. 3.3a doch 0 dB komt nu overeen met een absolute waarde van 52 dB.

Daar er over het algemeen ook geluid van „buiten” in de dode kamer doordringt, zal een geluidsniveau van nul dB nooit aanwezig zijn. In de meetkamer die voor de proeven is gebruikt, was het storniveau ongeveer 45 dB en om zeker te zijn dat het geluid van de te onderzoeken luidspreker er voldoende ver bovenuit komt, wordt zoveel vermogen (meestal 50 mW) aan de luidspreker toegevoerd dat op de plaats waar de microfoon zich bevindt alleen de geluidsdruk die door de luidspreker wordt opgewekt wordt gemeten en de storende invloed van het omgevingslawaai is te verwaarlozen. Daar de onderste helft van de hier gemeten frequentiekarakteristiek helemaal in het omgevingslawaai verloren gaat en geen enkele informatie over de luidspreker geeft, wordt dit deel meestal weggelaten en blijft alleen het bovenste deel over dat nog eens in fig. 3.3b is weergegeven. Bij de in dit boek gepubliceerde karakteristieken is het deel van de karakteristiek dat onder 52 dB ligt, weggelaten.

Aan de onderste lijn waar 0 dB bij staat, wordt dan een waarde toegekend van 52 dB waardoor resp. bij 10 en 20 dB gelezen moet worden 62 en 72 dB om de werkelijke absolute waarde van de geluidsdruk te kennen.

Voor het beoordelen van luidsprekers is de frequentiekarakteristiek een belangrijk hulpmiddel en in verschillende folders wordt deze kromme dan ook gepubliceerd. Over het algemeen wordt de luidspreker gemeten zonder enig klankbord, waardoor de weergave van de lage frequenties veel minder goed tot zijn recht komt dan in de praktijk het geval is waar de luidspreker meestal gebruikt zal worden in een passende behuizing. We komen hierop nog terug.

De resonantiefrequentie (F_{res})

Zoals ieder verend opgehangen systeem, heeft ook de verend opgehangen luidsprekerconus een frequentie waarin hij bij voorkeur trilt. Als een luidspreker wordt aangesloten op een elektrisch signaal van die frequentie, is er maar weinig voor nodig om de conus in beweging te krijgen. Deze frequentie nu, waarbij de conus gemakkelijk trilt, of waarbij hij bij constant toegevoerd vermogen de grootste amplitude maakt, wordt de eigenfrequentie, ook wel de resonantiefrequentie van de luidspreker genoemd. Boven deze frequentie is een goede geluidswaergave mogelijk doch beneden deze frequentie is, indien geen speciale voorzorgen worden genomen, niet veel uitgestraalde geluidsenergie te verwachten. Voor de gebruiker van een luidspreker is de resonantie een belangrijk gegeven om een indruk te krijgen van de waergaveprestaties in het gebied van de lage tonen. Niet alleen de resonantiefrequentie is bepalend voor de laagtonenwaergave ook de maximale amplitude die de conus kan maken is belangrijk. Dit zal in een van de volgende hoofdstukken nog nader worden toegelicht.

Het gewicht en de afmetingen

Deze gegevens spreken voor zichzelf doch wat de afmetingen betreft, is het interessant te weten dat met het oog op de uitwisselbaarheid de plaats van de bevestigingsgaten en de onderlinge afstanden daarvan genormaliseerd zijn. Hierdoor is een groeppenindeling ontstaan zodat we spreken van een 7" luidspreker, een 4" luidspreker enz.

De inductie in de luchtspleet (B)

Hiermee wordt de fluxdichtheid van het magnetisch veld in de luchtspleet bedoeld. Deze werd vroeger meestal opgegeven in gauss (Gs), maar tegenwoordig ook in volt seconde per vierkante meter ($V \cdot s/m^2$) of tesla (T) die 10^4 maal zo groot is. De inductie is voor de fabrikant een belangrijk gegeven maar voor de gebruiker is het van minder grote betekenis. Wel is het zo, dat wanneer de overige gegevens onveranderd blijven, het rendement van de luidspreker kwadratisch toeneemt met de inductie en dat de dempings-eigenschappen gunstiger worden wanneer de inductie groter wordt. Wat onder *damping* wordt verstaan, is nogal gecompliceerd. Voorlopig kunnen we ermee volstaan op te merken dat het een soort stabiliserende tegenwerking is die de conus ondervindt als hij snel op en neer wil bewegen. (U kunt zich het nut ervan voorstellen door te denken aan de schokbrekers van een auto.) We zullen aan de demping nog aandacht besteden.

De magnetische flux (Φ)

Hiermee wordt de totale magnetische flux in de luchtspleet bedoeld. Zoals in hoofdstuk II al is behandeld, wordt de flux berekend door de inductie te vermenigvuldigen met het oppervlak. De inductie was hierboven al aan de orde en als oppervlak moeten we hier het oppervlak beschouwen waar de flux van het radiaal gerichte veld doorheen gaat. In de luchtspleet van de luidspreker is dat de omtrek van de kern (πD) maal de hoogte (h) waarvoor we de dikte van de bovenplaat van het magneetsysteem kunnen nemen; zie fig. 3.4. De flux wordt tegenwoordig opgegeven in weber of volt seconde maar ook nog in maxwell (1 maxwell = 10^8 weber).

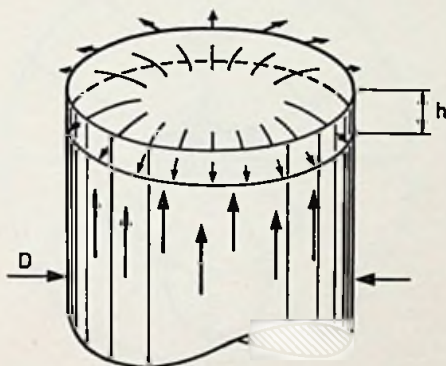


Fig. 3.4. De magnetische flux ontwijkt hier nagenoeg geheel door de zijkant van het bovenste schijfje van de cilindervormige magneet. De oppervlakte van deze zijkant is $\pi D \times h$.

Het stralingsdiagram

Het geluid dat uit een luidspreker komt, is zowel aan de voorkant als aan de achterkant te horen. Ook zijwaarts wordt geluid uitgestraald, hoewel meestal minder dan aan de voorkant. Om een indruk te krijgen hoe het geluid rondom een luidspreker verdeeld is, worden stralingsdiagrammen gemeten. We stellen ons hierbij voor dat de luidspreker in het middelpunt van een cirkel is opgesteld. Op verschillende plaatsen op de omtrek van de cirkel kunnen we nu gaan meten en op papier aangeven hoeveel geluid in de desbetreffende richting wordt uitgestraald. Een en ander zal er dan uit komen te zien als in fig. 3.5a is aangegeven. De lengte van een lijn vanuit het middelpunt is een maat voor de geluidsdruk die in die richting wordt veroorzaakt.

Voor een groot deel van de lage frequenties heeft het stralingsdiagram nagenoeg dezelfde vorm. Voor hoge frequenties echter, waarbij de conus niet meer als één geheel beweegt maar in verschillende delen gaat trillen, kan het diagram de meest wilde vormen gaan aannemen. Aan de voorkant

wordt dan meestal veel meer geluid uitgestraald dan aan de achterkant. Aan de voorkant is het geluid bovendien nogal erg gebundeld waardoor aan de zijkant niet veel meer van de hogetonenuitstraling terecht komt. Daarom wordt in zo'n geval recht vóór de luidspreker soms nog wel een grote geluidsdruk gemeten, maar het totaal in de ruimte uitgestraalde vermogen is niet meer zo groot. Het is dan mogelijk dat de frequentiekaracteristiek tot in het hogetonengebied recht blijft doorlopen terwijl de vermogenskarakteristiek al sterk gaat dalen.

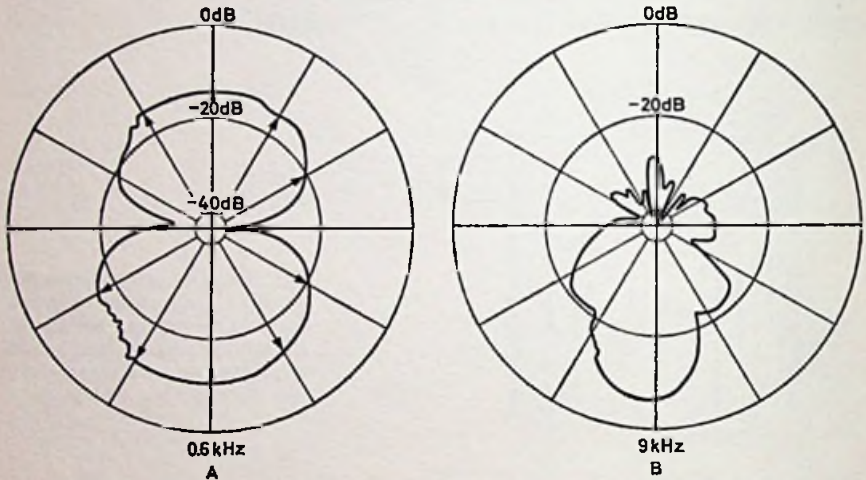


Fig. 3.5. Voorbeeld van een stralingsdiagram. Door de lengte van de lijnen vanuit het middelpunt wordt de waarde van de geluidsdruk in die richting aangegeven. Door de toppen van de pijlen met elkaar te verbinden, ontstaat het stralingsdiagram. Voor lage frequenties is zowel aan de voorkant (in de figuur in de onderste helft van de cirkel aangegeven) als aan de achterkant duidelijk een grote geluidsdruk te meten (A). Voor hoge frequenties wordt aan de achterkant maar weinig geluid uitgestraald terwijl aan de voorkant een sterke bundeling optreedt (B).

Daar het stralingsdiagram van een luidspreker ook beïnvloed wordt door de aanwezigheid van een klankbord of een kast, is het diagram van een luidspreker zonder meer niet zo belangrijk, ofschoon het wel iets kan zeggen over een mogelijke spreiding van het geluid.

Gewicht van het magneetstaal

Hiermee wordt het gewicht aangegeven van de magneet die gebruikt is. Het wordt opgegeven in grammen of kilogrammen. Voor de klant is het een onbelangrijk gegeven daar het geen enkele informatie geeft over de kwaliteit

van een luidspreker. Door een kleine hoeveelheid hoogwaardig magneetstaal te gebruiken, kan een even goede luidspreker gemaakt worden als met een zeer zware magneet van minder goede kwaliteit.

In dit verband kan het misschien ook nuttig zijn te wijzen op het veelvuldig gebruik van sierkappen over de magneetsystemen. Deze zijn zó aangebracht dat ze vaak de indruk wekken dat een bijzonder groot en daarmee sterk magneetsysteem is gebruikt.

De akoestische eigenschappen van een luidspreker

In het voorafgaande hoofdstuk hebben we enige termen, die in het vakjargon van de akoestiek voorkomen, toegelicht en verschillende technische eigenschappen van de luidspreker besproken. In dit hoofdstuk zal in meer algemene zin over de weergave worden gesproken waarbij we zowel de luidspreker als zijn omgeving zullen betrekken.

We kunnen ons afvragen: Wat is een zo goed mogelijke weergave? Het antwoord is niet eenvoudig te geven, omdat hier een groot aantal met elkaar samenhangende factoren een rol spelen, zoals o.a. de prijs, het maximale geluidsniveau dat gewenst wordt en de beschikbare ruimte. Sommige mensen zijn pas tevreden met hun geluidsinstallatie als de ramen en deuren ook meermammelen, terwijl anderen, op een gehorig flatje, bang zijn dat de burens zullen gaan klagen over geluidshinder.

Voor de muzikliefhebber, die over een grote kamer beschikt en niet zuinig wil zijn wanneer het op perfecte weergave aankomt, is het antwoord op bovenstaande vraag wel anders dan voor de Hi-Fi-enthousiast, die met vrouw en kinderen een bescheiden kamer bewoont, maar toch ook van de best mogelijke weergave wil kunnen genieten. In dit boek zullen verschillende mogelijkheden worden besproken, waaruit de lezer de in zijn geval meest geschikte keuze zal kunnen maken.

De lagetonenweergave

Als de resonantiefrequentie van een luidspreker voldoende laag is, mogen we rekenen op een behoorlijke lagetonenweergave wanneer tenminste ook de andere eigenschappen van deze luidspreker dit toelaten. Behalve de resonantiefrequentie is namelijk ook de uitwijking of de amplitude die de conus kan maken, van belang voor de weergave van de lage tonen. Algemeen bekend is dat bij het weergeven van de lage tonen de amplitude van de conus veel groter is dan bij de weergave van de hoge tonen. De uitwijking die nodig is om een bepaalde lage toon met een zekere sterkte weer te geven,

hangt echter niet alleen van de frequentie af doch ook van de oppervlakte van de conus.

Hoe al deze factoren met elkaar samenhangen, wordt in fig. 4.1 weergegeven. We kunnen daarin aflezen dat voor het weergeven van een toon van

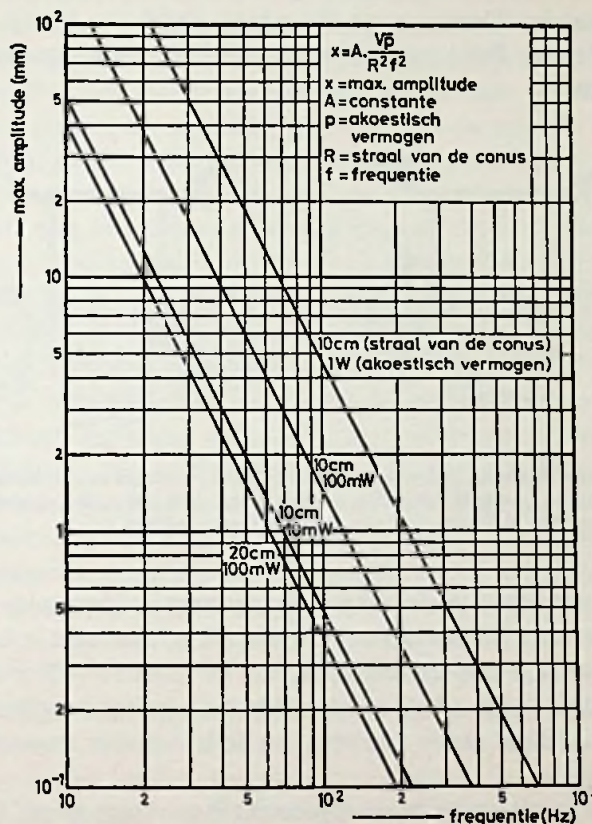


Fig. 4.1

50 Hz een amplitude van 1,5 mm nodig is mits de straal van de conus 20 cm is en een geluidsvermogen (dit is de hoeveelheid geluid die de luidspreker afgeeft aan de ruimte) van 100 milliwatt wordt verlangd. Indien de conus wordt verkleind tot een straal van 10 cm, wat altijd nog een flinke luidspreker voorstelt, zal voor het opwekken van dezelfde geluidsdruk een uitwijking van 6 mm nodig zijn.

Wanneer we dan bedenken dat de kracht ($K = B \times i \times l$) die op de conus

werkt, evenredig moet blijven met de stroom die door de spoel gaat, moet de factor $B \times l$ in alle standen van de conus en daarmee van de spreekspoel in de luchtspleet, dezelfde zijn; d.w.z. de lengte van de spoeldraad die zich in een constant magnetisch veld bevindt, moet steeds even groot zijn, m.a.w. er moet een constante fluxdichtheid zijn. Is dit niet het geval, dan zal er vervorming optreden. Daarom moet óf een lange spoel, óf een lange luchtspleet worden gebruikt. Beide gevallen zullen we aan een nadere beschouwing onderwerpen.

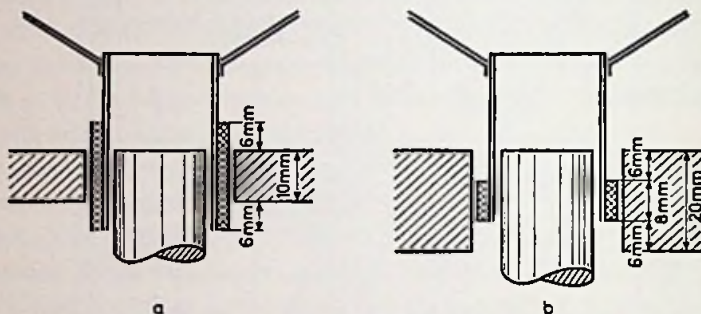


Fig. 4.2. Voorstelling van een lange spoel in een korte spleet (a) en een korte spoel in een lange spleet (b). Bij de eerste spoel zijn er altijd windingen buiten het magnetisch veld en bij de tweede gaat er altijd een deel van het veld langs de spoel.

Eerst de lange spoel zoals in fig. 4.2a geschetst is. Nemen we aan dat de bovenplaat van het magneetsysteem 10 mm dik is, dan moet in bovenstaand voorbeeld de totale theoretische lengte van de spoel $10 + 2 \times 6 = 22$ mm zijn. Meer dan de helft van de spoel is hier steeds buiten de spleet, waardoor zowel het rendement als de demping van de luidspreker ongunstig worden beïnvloed.

In fig. 4.2b wordt een korte spoel gebruikt in een lange spleet. De demping van de luidspreker is hier uitstekend, terwijl ook het rendement goed kan zijn. Om dit laatste te bereiken, moet de inductie echter voldoende hoog en minstens gelijk zijn aan die van het in figuur 4.2a geschetste geval. Omdat de bovenplaat de dubbele dikte heeft, moet voor het opwekken van deze inductie, de magnetische flux tweemaal zo groot worden ($\Phi = B \times O$), waarvoor grotere afmetingen van de magneet nodig zijn. In hoofdstuk II hebben we gezien dat de totale magnetische flux door de kern van het magneetsysteem gaat en om magnetische verzadiging in de kern te voorkomen, zal bij de tweevoudige flux ook de doorsnede van de kern moeten worden

verdubbeld. Door deze vergroting van de kerndoorsnede, zal op zijn beurt ook de gevraagde flux weer moeten worden aangepast. Hierdoor zullen de afmetingen van de magneet opnieuw toenemen en de prijs zal zeer snel stijgen. De luidspreker wordt er praktisch onbetaalbaar door en er zit niet veel anders op genoeg te nemen met een lagere inductie in de spleet, waardoor het rendement daalt tot beneden de aanvankelijk gewenste waarde.

Uit het voorafgaande blijkt duidelijk dat een luidspreker, waarvan het rendement niet te laag mag worden en waarvan de conus grote amplituden moet kunnen maken, een kostbare zaak is temeer als men eist dat de vorming ook nog klein moet zijn. Voor het weergeven van lage tonen moeten we dus in principe een luidspreker met een groot conusoppervlak nemen. De amplitude kan dan minder groot zijn zoals uit fig. 4.1 blijkt en ook de prijs van de luidspreker zal in dit geval nog aanvaardbaar blijven.

Daar bovendien een luidspreker met een grote conus een gunstiger rendement heeft voor het weergeven van de lage frequenties dan een met een kleinere conus is de bovenstaande stelling helemaal te verdedigen. Voor het opwekken van hetzelfde geluidsvermogen in het lagetoneengebied is daardoor minder elektrisch vermogen nodig. Dit heeft tot gevolg dat de versterker die gebruikt wordt, van minder groot vermogen kan zijn. Luidsprekers die speciaal gemaakt zijn voor de weergave van de lage tonen worden *woofers* genoemd. Hierbij is door de fabrikant een zeer slappe conusophanging aangebracht waardoor zowel een lage resonantie als een mogelijkheid tot het maken van grote amplituden verkregen wordt.

De hogetonenweergave

De speciaal voor deze weergave ontwikkelde luidsprekers worden *tweeters* genoemd.

Terwijl we gezien hebben, dat voor de weergave van de lage tonen een grote conus de voorkeur verdient, wordt voor het weergeven van de hoge tonen juist het tegenovergestelde, een kleine lichte conus, gevraagd. Voor die gevallen waarbij de weergave van het hele toengebied, de hoge zowel als de lage tonen, door één luidspreker wordt verzorgd, zal er daarom een compromis moeten worden gevonden. In de praktijk blijkt dat met een 5", een 7" of een 8" luidspreker nog redelijke resultaten kunnen worden bereikt. Van een kleinere luidspreker moeten we geen al te hoge dunk hebben omtrent de prestaties bij het weergeven van de lage frequenties, terwijl van een grotere niet verwacht mag worden dat de hogetonenweergave subliem is. Om tegemoet te komen aan de nadelen die een zware conus met zich mee-

brengt, wordt de luidspreker vaak voorzien van een extra conus die veel lichter is. Deze toegevoegde conus, ook wel hogetonenkegel genoemd, is stevig met de spreekspoel verbonden (fig. 4.3).

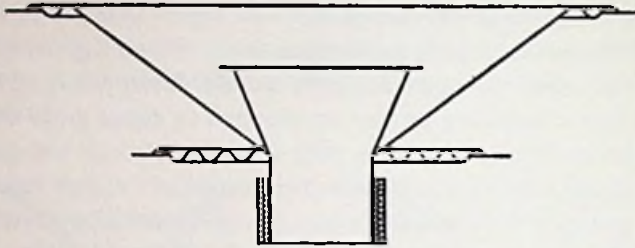


Fig. 4.3. Voorbeeld van een luidsprekerconus met een hogetonenkegel om de weergave in het hoge te verbeteren.

In het hoge gebied waar de conus te zwaar en te groot wordt, om de bij de hoge tonen behorende snelle trillingen te volgen, kan de kleine conus die veel lichter is, dit nog wel. De grote conus gaat dan dienst doen als een soort verlengstuk van de rand, waar de kleine conus aan opgehangen is. De hogetonenkegel neemt in dit geval bij de hoge frequenties de taak om de geluidsuitstraling te verzorgen, van de grote conus over.

Als men een luidspreker met een hogetonenkegel heeft, is voorzichtigheid geboden bij het aanraken van de kleine kegel. Door een te grote druk op de rand hiervan kan deze gemakkelijk doorknikken zodat een vouw in de kegel ontstaat en de stevigheid van het geheel sterk achteruit gaat. Het gevolg kan zijn dat de hogetonenweergave erg veel schade wordt toegebracht en het gewicht van het kegeltje alleen maar als schadelijk gewicht gaat fungeren waardoor het rendement van de luidspreker vermindert.

Een andere maatregel die genomen wordt om de hogetonenweergave te verbeteren, is het constant houden van de impedantie. Verreweg de meeste versterkers die gebruikt worden voor de weergave van muziek en spraak, zijn zó ontworpen dat ze, over het hele frequentiespectrum een constante spanning afgeven aan de luidspreker die er op aangesloten wordt. In hoofdstuk III hebben we gezien dat de impedantie van een luidspreker niet constant is maar stijgt naarmate de frequentie hoger wordt. Als op een luidspreker een constante spanning wordt aangesloten, zal daarom de stroom door de luidspreker niet voor alle frequenties dezelfde waarde hebben maar voor de hoge frequenties afnemen. De kracht die op de spoel wordt uitgeoefend en die evenredig is met de stroom door de spoel, zal in dit geval

voor de hoge tonen afnemen waardoor de weergave van de hoge frequenties wordt verzwakt. Om dit tegen te gaan, zijn sommige luidsprekers voorzien van een koperen ring in de luchtspleet. Vaak is om constructieve redenen in plaats van een ring een bus gebruikt die over de kern van het magneet-systeem wordt geperst (fig. 4.4).

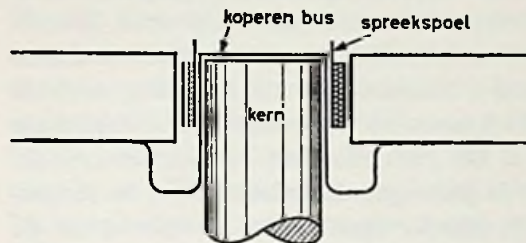


Fig. 4.4. Constructievoorbeeld van een luidspreker met constante impedantie. Dit constant zijn slaat niet op de impedantiewaarde die gemeten wordt bij de resonantiefrequentie.

Doordat zich tussen het ijzer van de kern en de spreekspoel een koperen ring bevindt, wordt de toename van de impedantie voor de hoge frequenties sterk tegengewerkt. De impedantie is nu nagenoeg constant zodat de stroom ook voor de hoge frequenties voldoende groot blijft voor een goede hogetonenweergave (fig. 4.5).

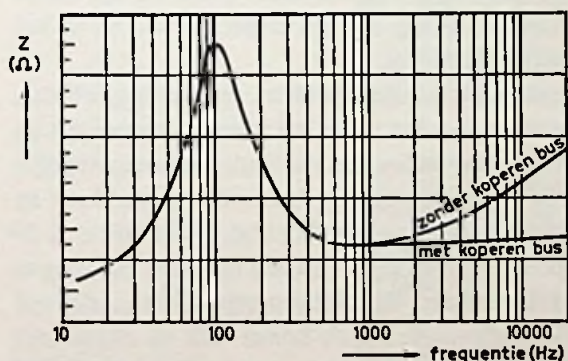


Fig. 4.5. Voorbeeld van het verloop van de impedantie voor een luidspreker zónder en mét een koperen bus over de kern.

De serie- en de parallelschakeling

Om een juiste aanpassingsimpedantie te verkrijgen of om een voldoende hoge belastbaarheid te realiseren, is het soms nodig meer dan één luidspreker te gebruiken. Een andere reden om meer dan één luidspreker te gebruiken, kan bijvoorbeeld zijn dat men het geluid van verschillende kanten wil horen om een meer ruimtelijk geluidsbeeld te verkrijgen. Soms kan het hinderlijk zijn

dat het geluid vanuit één punt naar de luisteraar komt en het gebruik van een tweede luidspreker kan dan gunstig werken, ofschoon in dit geval het stralingsdiagram meestal de schuldige is. Om de amplitude die nodig is voor de weergave van de lage tonen te verminderen, kunnen ook meer luidsprekers worden gebruikt. Dit heeft dezelfde invloed als het vergroten van het oppervlak van de conus. Stel dat we in plaats van één, twee gelijke luidsprekers gaan gebruiken voor de weergave van een bepaalde lage toon. Het trillende oppervlak wordt daardoor verdubbeld. Door een luidspreker te nemen met een conus waarvan de straal $\sqrt{2}$ maal zo groot is, zou de oppervlakte ook verdubbeld zijn. In fig. 4.1 kunnen we dan aflezen dat de benodigde amplitude de helft is geworden. Dit geldt alleen als de luidsprekers dicht bij elkaar staan vergeleken met de golflengte van de luchttrilling die ze moeten maken, waardoor ze als één geheel mogen worden beschouwd. Als de luidsprekers ver van elkaar af staan, moeten we zeggen: Voor het opwekken van hetzelfde geluidsvermogen in een bepaalde ruimte zal iedere luidspreker hiervan de helft moeten leveren. Met de formule in dezelfde figuur ($x = \frac{\sqrt{p}}{R^2 \times F^2}$), die laat zien dat de amplitude evenredig is met de wortel uit het vermogen, is aan te tonen dat de gewenste amplitude dan $\frac{1}{2} \sqrt{2}$, of 0,7 maal de oorspronkelijke moet zijn. Het verschil is, dat in het eerste geval de beide conussen akoestisch gezien als één zuiger werken en in het tweede geval als twee afzonderlijke zuigers.

Bij het parallel of in serie schakelen van luidsprekers, moet er aan worden gedacht dat ze in fase aangesloten worden. Men wil hiermee zeggen dat ze zodanig met elkaar moeten zijn verbonden dat de beide conussen tegelijk naar voren of naar achteren bewegen daar anders de lucht maar wat heen en weer wordt gepompt. Vooral als de luidsprekers dicht bij elkaar staan en de frequentie laag is, valt dit op. We hebben hierin nu een methode om vlug te kunnen ontdekken of twee luidsprekers, bijv. bij een stereo-installatie, wel in fase staan. We handelen dan als volgt: Zet de boxen vlak bij elkaar, het beste is met de voorkant naar elkaar toe gericht, op een onderlinge afstand van 10 à 20 cm. (Noodzakelijk is dit niet; ze kunnen ook gewoon naast elkaar staan met de voorkant naar de luisteraar toe maar dan is het hierna bedoelde verschijnsel minder sterk.) Nu laten we beide luidsprekers lage tonen weergeven door bijv. een grammofoonplaat te draaien met veel lage tonen erop of, als men hierover beschikt, door een toongenerator. Als de luidsprekers in tegenfase, dus fout, zijn aangesloten, zijn lage tonen nauwelijks te horen terwijl in het andere geval de lage passages juist extra luid

klinken t.o.v. één box. Om ze juist te kunnen aansluiten zijn de meeste luidsprekers voorzien van een merkteken bij een van de klemmen. De rode stip is wel de meest voorkomende aanduiding. We noemen dit, in overeenstemming met de polen van een batterij, wel eens de plusklem van de luidspreker ofschoon het er in wezen niets mee te maken heeft. Als men beschikt over een luidspreker, waarop de „plus”-aanduiding niet voorkomt, is het mogelijk deze met behulp van een batterij van $4\frac{1}{2}$ of 6 V op te zoeken. Als men de batterij zodanig over de klemmen van een luidspreker aansluit, dat de conus naar voren beweegt (dat is als de conus uit het chassis van de luidspreker gaat) kan bij de aansluitklem van de luidspreker die dan met de plus van de batterij is verbonden, de rode stip of een ander merkteken worden aangebracht. Het zogenaamde „uitfassen” is hiermee tot stand gekomen. Bij het in serie schakelen van twee of meer luidsprekers wordt altijd een gemerkte met een niet-gemerkte aansluitklem verbonden. Voor het geval dat parallelschakeling wordt toegepast, zal er juist op gelet moeten worden dat de gemerkte klemmen met elkaar worden verbonden. In fig. 4.6 en fig. 4.7 wordt een en ander nog eens weergegeven.

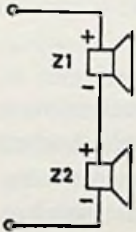


Fig. 4.6. Voorbeeld van het in serie schakelen van twee luidsprekers. In plaats van twee mag men ook een willekeurig aantal nemen. Wel moet steeds worden gelet op de fase, een „plus” moet steeds worden verbonden met een „min”. De totale impedantie wordt gelijk aan de som van de afzonderlijke impedanties, $Z_{tot} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$.

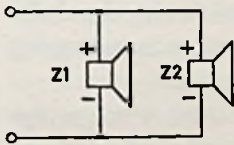


Fig. 4.7. Voorbeeld van een parallelschakeling van twee luidsprekers. Ook hier is het mogelijk meer luidsprekers te nemen als de verbindingen zo gelegd worden dat de gemerkte aansluitklemmen met elkaar worden verbonden. De totale impedantie wordt hier als volgt berekend:

$$\frac{1}{Z_{tot}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

Voor twee luidsprekers kan dit vereenvoudigd worden

tot:
$$Z_{tot} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

De serie- en parallelschakeling worden vaak gebruikt als grote geluidsvermogens gewenst zijn en de beschikbare luidsprekers niet geschikt zijn om zonder het risico van beschadiging, dit grote vermogen op te nemen. Grote voorzichtigheid is hierbij echter geboden wanneer verschillende luidsprekers worden gebruikt. Een serieschakeling van een luidspreker met een maximale

belastbaarheid van 10 W en een impedantie van 3 Ω en een van 6 W en 5 Ω , is wel geschikt voor een 8 Ω -aanpassing, maar nog niet hetzelfde als een luidspreker van 16 W! Bij een serieschakeling is de stroom door beide luidsprekers dezelfde en daar het opgenomen vermogen $W = i^2R$ is, zal de vermogensverdeling over de beide luidsprekers evenredig zijn met de weerstanden. In het hierboven genoemde geval zal de 3 Ω -luidspreker dus $\frac{3}{8}$ deel van het vermogen opnemen en de andere $\frac{5}{8}$ deel. Wanneer ze samen 16 W aangeboden krijgen, zal de 3 Ω -luidspreker 6 W en de 5 Ω -luidspreker 10 W moeten opnemen. Volgens de gegevens is de 5 Ω geschikt voor 6 W en zal in dit geval door overbelasting kapot kunnen gaan.

Voor een parallelschakeling, waar de spanning op beide luidsprekers gelijk is, geldt dat de vermogensverdeling omgekeerd evenredig is met de weerstanden. Bij een parallelschakeling van een luidspreker van 16 Ω en een van 8 Ω , om een aanpassingsimpedantie van 5 Ω te krijgen, zal de 8 Ω -luidspreker $\frac{2}{3}$ deel van het vermogen opnemen en de andere het resterende deel. Wanneer de eerstgenoemde geschikt is voor 10 W, mag de versterker maximaal maar 15 W kunnen afgeven en de 16 Ω -luidspreker hoeft niet meer te kunnen opnemen dan 5 W.

De demping van een luidspreker

In het voorafgaande is al enkele malen de term demping genoemd en voor het geval dat de luidsprekers in serie of parallel worden geschakeld, bestaat er nogal eens misverstand of hierdoor de demping wordt vergroot of verkleind. Om hierin een beter inzicht te krijgen, moeten we eerst nagaan hoe de demping eigenlijk ontstaat. In het tweede hoofdstuk is al gezegd dat het een soort afremmen van de beweging van de conus is. Deze afremming kan zowel mechanisch als elektrisch geschieden. In het geval van mechanische demping wordt deze veroorzaakt door de wrijving in de verende ophanging van de conus, zoals de rand van de conus en de centreerring.

Ook kan mechanische demping worden verkregen doordat er tengevolge van de conusbeweging lucht door een nauwe spleet heen en weer wordt gepompt. Een voorbeeld hiervan is het luchtdicht afsluiten van de spoelhal (fig. 4.8). Door deze afsluiting wordt de lucht die zich in de spoelhal bevindt langs de spreekspoel heen en weer gepompt. Behalve het bevorderen van de demping wordt hierdoor ook de koeling van de spreekspoel bevorderd. Hierdoor treedt minder snel oververhitting op en de maximale belastbaarheid van de luidspreker kan een beetje groter worden.

De elektrische demping ontstaat doordat de spoel door de bewegingen van

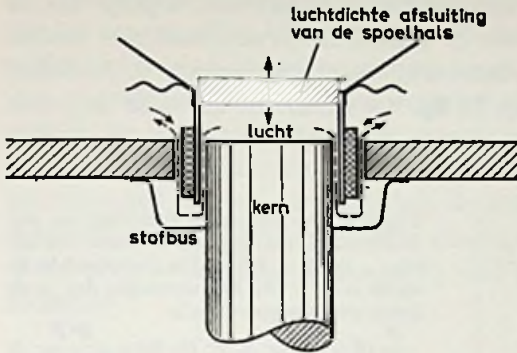


Fig. 4.8. Voorbeeld van luchtdemping. De lucht wordt bij het neergaan van de conus samengeperst en kan ontwijken langs de spoel. Bij het omhooggaan wordt de lucht langs dezelfde weg weer aangezogen.

de conus op en neer gaat. De spoel van een luidspreker bevindt zich in een magnetisch veld en volgens de natuurkundige wetten van Lenz ontstaat er een spanning in de spoel als de magnetische flux door die spoel verandert en dit gebeurt wanneer de spoel op en neer gaat. De spanning die wordt opgewekt, is groter naarmate de veranderingen sneller verlopen. We kunnen nu zeggen dat de spanning afhankelijk is van de inductie (B) in de luchtspleet, de totale lengte van de spoeldraad (l) en de snelheid waarmee de spoel op en neer beweegt (v). In een formule geschreven ziet het er als volgt uit: $e = B \times l \times v$. De snelheid wordt erg groot als de luidspreker in resonantie komt en bij de resonantiefrequentie zal ook de opgewekte inductiespanning groot zijn waardoor vooral hier de demping een grote rol gaat spelen. Als de luidspreker op een versterker is aangesloten, zal er tengevolge van de inductiespanning een stroom gaan lopen. Door deze stroom, die op zijn beurt een tegengestelde kracht veroorzaakt, wordt de beweging van de conus afgeremd. Hierdoor ontstaat de gewenste demping die gunstig is voor een goede weergave van het geluid. We kunnen ons voorstellen dat de luidspreker een kortdurende puls, bijv. een paukslag, moet kunnen weergeven. De conus van de luidspreker zal dan even een paar keer flink heen en weer worden bewogen door de stroom uit de versterker en moet direct daarna weer tot rust komen. Dit laatste zal niet zonder meer gebeuren want een conus zal, zoals alle massa's die verend opgehangen zijn, willen uittrillen in zijn resonantiefrequentie. Op dit moment stoppen de dempingskrachten snel de beweging van de conus, zodat een natuurgetrouwe weergave mogelijk is. Hoe groter de stroom is die door de beweging wordt opgewekt, des te groter is de elektrische demping. De sterkte van de stroom is afhankelijk van de opgewekte inductiespanning en de weerstand die zich in de keten bevindt. In

het geval dat één luidspreker wordt gebruikt, is deze stroom gelijk aan de opgewekte spanning gedeeld door de weerstand van de spreekspoel plus de weerstand die de stroom ondervindt als hij door de uitgang van de versterker moet (de inwendige weerstand). In fig. 4.9 wordt één en ander nog eens toegelicht.

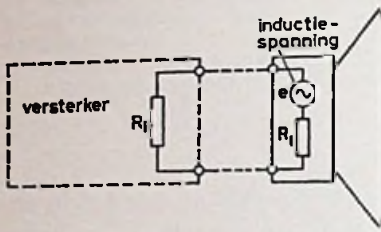


Fig. 4.9. De elektrische demping van een luidspreker. De opgewekte inductiespanning $e = B \times l \times v$. De weerstand in de keten is $R_i + R_i$. Het vermogen dat in de keten wordt opgenomen is

$\frac{e^2}{R_i}$ of $\frac{B^2 l^2}{R_i + R_i} \times v^2$. De term $\frac{B^2 l^2}{R_i + R_i}$ is hierin een maat voor de elektrische demping van een luidspreker, aangesloten op een versterker met een inwendige weerstand R_i .

Bij parallelschakeling van luidsprekers is de elektrische demping nooit slechter dan bij het gebruik van één luidspreker, omdat de weerstand altijd bestaat uit diverse parallel geschakelde weerstanden, waarvan de vervangweerstand altijd kleiner is dan de weerstand van iedere luidspreker afzonderlijk (fig. 4.10).

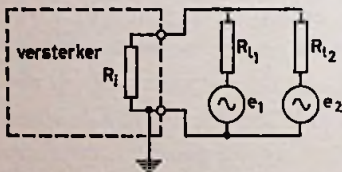


Fig. 4.10. Twee parallelgeschakelde luidsprekers aangesloten op een versterker. Hierbij kunnen we altijd één luidspreker parallel denken aan de R_i van de versterker, zodat de weerstand in de keten kleiner wordt. De elektrische demping wordt dan gunstiger.

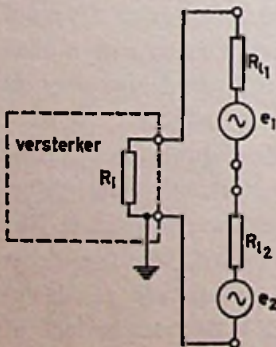


Fig. 4.11. Twee in serie geschakelde luidsprekers aangesloten op een versterker. De totale weerstand in de keten is hier $R_i + R_1 + R_2$, de demping is daarom ongunstig. Als echter de resonanties van de luidsprekers dezelfde zijn, ontstaan er bij dezelfde frequentie ook twee inductiespanningen $B \times l \times v$. Hierdoor is de demping in het algemeen niet slechter als in het geval van één luidspreker.

In geval van serieschakeling is de vervangweerstand altijd groter dan die van de afzonderlijke luidsprekers en de demping dus slechter. Dit gaat echter alleen op als de luidsprekers een verschillende resonantie hebben. Dit is in de praktijk zelden het geval, want meestal worden gelijke luidsprekers gebruikt en als dit niet het geval is, worden vaak diverse luidsprekers in één kast gebruikt waardoor de één de ander als het ware meetrekt. Zo ontstaat een samenstel waarvan de resonantie dezelfde is. De weerstand is nu nog wel groter dan van iedere luidspreker afzonderlijk, maar de inductiespanning is ook even zovele malen groter. In fig. 4.11 is één en ander nog eens nader toegelicht.

De geluidswaergave in het algemeen

De vermogens- en de frequentiearakteristiek

Zoals in hoofdstuk 3 is besproken, wordt de frequentiearakteristiek opgenomen door een meetmicrofoon op 50 cm afstand recht voor de luidspreker te plaatsen. Bij deze meting wordt daardoor alleen de geluidsdruk in dat ene punt gemeten en wat de luidspreker naar andere kanten uitstraalt, wordt niet in rekening gebracht. Ook kan de luidspreker tijdens de meting worden rondgedraaid waardoor het mogelijk is een informatie te verkrijgen over de totale geluidsenergie die door de luidspreker wordt uitgestraald. In het eerste geval wordt geen rekening gehouden met het stralingsdiagram van de te meten luidspreker maar door het ronddraaien tijdens de meting in het tweede geval, wordt de invloed hiervan wel in de meetresultaten opgenomen. Als we op korte afstand recht voor de luidspreker gaan zitten, geeft de frequentiearakteristiek het beste beeld van de geluidsdruk die ons oor opvangt. In dit geval ontvangen we het geluid dat rechtstreeks of wel direct door de luidspreker wordt uitgestraald. Ons oor bevindt zich min of meer op de plaats waar tijdens het meten van de frequentiearakteristiek de microfoon heeft gestaan. In dit hoofdstuk zal nog worden toegelicht dat als we ons op grotere afstand van de luidspreker bevinden, wat in de praktijk meestal het geval is, het resultaat van de tweede meting (de vermogenskarakteristiek) goed weergeeft wat ons oor opvangt. Een scherpe grens is niet te trekken daar deze sterk samenhangt met de akoestische eigenschappen van de luisterruimte en met die van de luidspreker.

Direct en indirect geluid

Als een luidspreker het geluid in een smalle gerichte bundel uitstraalt en de wanden van de ruimte bekleed zijn met sterk geluidabsorberend materiaal (dode ruimte), zal op grotere afstand recht voor de luidspreker nog steeds de frequentiearakteristiek de beste informatie geven. In dit geval vangt ons oor alleen het direct door de luidspreker uitgestraalde geluid op.

In het andere geval, dat wil zeggen als de luidspreker naar alle kanten uitstraalt en de wanden van de kamer nagenoeg al het geluid terugkaatsen (een harde kamer), zal op betrekkelijk kleine afstand zoveel indirect geluid ons oor treffen dat de vermogenskarakteristiek een veel betere maat is voor de geluidsindruk die we ondergaan dan de frequentiekarakteristiek. Op een grotere afstand is alle geluid indirect en komt het verloop van de geluidsdruk daar geheel overeen met het totaal uitgestraalde vermogen. Men vindt hierin een methode om in een harde kamer de vermogenskarakteristiek van een luidspreker te meten.

De invloed van het klankbord

Bij de behandeling van de weergave van de lage tonen in een van de vorige hoofdstukken werd alleen gelet op de eigenschappen van de luidspreker zelf. De omgeving waarin de luidspreker zich bevindt, heeft echter ook grote invloed op de weergaveprestaties in het lagetoneengebied. Om dit duidelijk te maken, is het gewenst nog eens na te gaan wat er precies gebeurt bij de weergave van lage tonen met hun betrekkelijk grote golflengte. Voor het gemak stellen we ons hierbij voor dat de conus een platte schijf is die heen en weer wordt bewogen in het gewenste tempo (zie fig. 5.1).

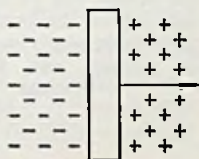


Fig. 5.1. Als een schijf snel naar rechts wordt bewogen, ontstaat er aan de voorkant een luchtverdichting en aan de achterkant een luchtverdunding.

Als de schijf snel naar rechts gaat, ontstaat er een verdichting van de lucht aan de rechterkant hiervan. Om dezelfde reden zal aan de linkerkant een luchtverdunding ontstaan. De hierdoor opgewekte luchtrillingen zullen zich nu in de ruimte gaan uitbreiden maar als de golflengte van het aldus opgewekte geluid groot is ten opzichte van de diameter van de schijf, zal de luchtverdichting vóór het membraan de verdunding er achter min of meer opheffen. De lucht vloeit als het ware van de voor- naar de achterkant. Het resultaat van één en ander is dat er maar een gedeelte overblijft en de gewenste geluidsuitstraling sterk wordt verminderd (fig. 5.2). Dit verschijnsel is heviger naarmate de diameter van de schijf t.o.v. de golflengte van het opgewekte geluid kleiner wordt. Men noemt dit verschijnsel wel de *akoestische kortsluiting*. Als de weg van het midden van de voorkant van de

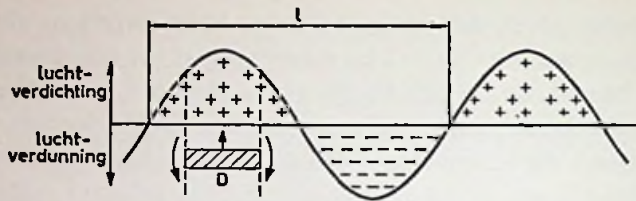


Fig. 5.2. l stelt hier de golflengte van het geluid voor en D de diameter van de schijf die de gewenste luchtverplaatsing moet veroorzaken. Zoals te zien is, kan door de kleine schijf nooit de hele luchtkolom in beweging worden gezet; een deel van de lucht zal langs de schijf afvloeien en geen deel hebben aan het opwekken van de geluidsdruk.

conus naar het midden van de achterkant een halve golflengte is, begint dit verschijnsel en vanaf dat punt gaat voor ieder octaaf lager een factor 2 of 6 dB van de geluidsdruk verloren. In fig. 5.3 is een en ander nog eens toegelicht.

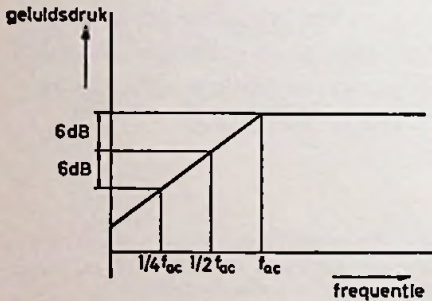


Fig. 5.3. Vanaf het punt waar de diameter van de conus kleiner wordt dan een halve golflengte, daalt de opgewekte geluidsdruk met 6 dB per octaaf. Als we uitgaan van een geluidsbron die recht is van 0 tot 20 000 Hz geeft bovenstaande lijn de invloed van het klankbord
 weer. $f_{ac} = \frac{34\,000}{2D}$ (D in cm).

Het is misschien nuttig er nog eens op te wijzen dat het bovenstaande een aannemelijke verklaring is van het akoestische kortsluiteffect. De werkelijkheid is gecompliceerder, vooral als we bedenken dat behalve met de drukverschillen in de lucht ook met de snelheidsverandering van de luchtdeeltjes rekening moet worden gehouden. Dit valt echter buiten het bestek van dit boek en het bovenstaande dient alleen om duidelijk te maken dat er bij de weergave van de lage tonen voor moet worden gezorgd dat de lucht van de voorkant niet naar de achterkant kan stromen. Om dit tegen te gaan, wordt de luidspreker gewoonlijk op een plank gemonteerd waarin – om het geluid door te laten – voor de conus een gat is gemaakt. Men noemt de plank in dit geval meestal een *klankbord* of *baffle* en in een eenvoudige vorm is het een ronde plank met een gat er in (fig. 5.4). Vaak is bij de technische gegevens van een luidspreker de diameter van deze opening in het klankbord vermeld.

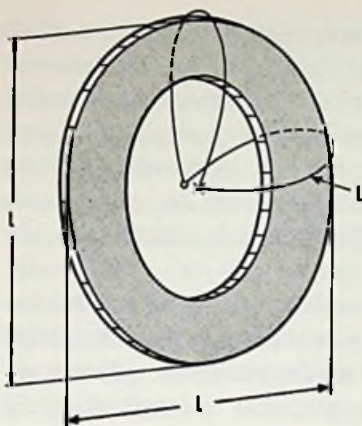


Fig. 5.4. De kortste weg van het midden voor de conus naar het midden van de achterkant is l . Deze afstand is gelijk aan de diameter van het klankbord. De laagste frequentie die hier onverzwakt kan worden weergegeven, is die met een golflengte van $2l$. Daar het verband $f = \frac{340}{l}$ bestaat, is de laagste frequentie die hier onverzwakt kan worden weergegeven $\frac{340}{l}$. Voor een klankbord met een diameter van 1 meter geldt dan $\frac{340}{2l} = 170$ Hz. Beneden deze frequentie gaat de geluidsuitstraling 6 dB per octaaf (of een factor 4 in vermogen) naar beneden.

Zojuist is behandeld dat het kortsluifect optreedt als de afstand van midden voor de conus naar het midden van de achterkant gelijk is aan of kleiner dan een halve golflengte. Omgekeerd kan men zeggen dat voor het onverzwakt weergegeven van een bepaalde golflengte, of zo men wil van een bepaalde frequentie, een klankbord nodig is met een diameter die minstens een halve golflengte moet zijn.

Als we ons voorstellen dat we een geluid met een golflengte van 2 meter nog onverzwakt willen weergegeven dan volgt uit het voorafgaande dat de diameter van het klankbord minstens 1 meter moet zijn. Daar de frequentie (f) gelijk is aan de geluidssnelheid (c) gedeeld door de golflengte (λ), of in formule $f = \frac{c}{\lambda}$ (waarin $c = 340$ m/s), komt een golflengte van 2 m overeen met $\frac{340}{2} = 170$ Hz. Voor het weergegeven van nog lagere tonen (bijv. 60 Hz) waarvan de golflengte $\frac{340}{60}$ of 5,60 meter is, zou een klankbord moeten

worden gebruikt met een diameter van 2,80 meter. Daar de meeste woonkamers ongeveer 2,60 m hoog zijn en er ook plaats moet overblijven voor de rest van de meubels en voor de huisgenoten, is dit niet de meest geschikte oplossing voor het weergegeven van de lage tonen, ofschoon toch nog veel is te bereiken met een klankbord.

Het klankbord was gebruikt om te verhinderen dat de lucht van de voorkant naar de achterkant van de conus zou gaan. Een andere methode om dit te voorkomen, is het inbouwen van de luidspreker in een muur van de luisterruimte.

De voorzijde kan dan naar de kamer zijn gericht, terwijl de achterkant

de naastgelegen ruimte, bijv. de hal of keuken, van geluid voorziet. In dit geval spreekt men wel van een oneindig groot klankbord, omdat de voor- en de achterkant geheel van elkaar gescheiden zijn zolang tenminste de deuren gesloten blijven. De weergave van lage tonen van een op deze manier ingebouwde luidspreker kan voortreffelijk zijn, maar de praktische bezwaren die hieraan zijn verbonden, zoals altijd ook „muziek” in de aangrenzende kamer en geluidshinder voor de burens, maken deze wijze van inbouw niet altijd aantrekkelijk.

Om de zo gewenste „lange weg” van de voorkant naar de achterkant van de conus te krijgen zonder in extreem grote klankborden te vervallen, is het ook mogelijk de randen van het klankbord als het ware naar achteren om te vouwen. Op deze manier ontstaat de veel gebruikte luidsprekerkast, die in sommige gevallen zeer goed bruikbaar is. Een nadeel is vaak het optreden van de resonantieverschijnselen veroorzaakt door de „opgesloten” luchtkolom in de kast.

Door deze kast aan de achterkant af te sluiten met een wand waar de lucht moeilijk doorheen gaat, is een groot deel van deze resonanties wel te onderdrukken. Men noemt een achterwand met deze eigenschappen wel een akoestische weerstand en speciaal in dit geval een „boemvrije achterwand” daar hij dient voor het onderdrukken van de nare geluiden die worden opgewekt door dergelijke resonantieverschijnselen. Een dergelijke achterwand bestaat vaak uit twee platen hardboard met veel, betrekkelijk kleine, gaatjes over de hele oppervlakte verspreid of geperforeerde staalplaat, waartussen één of meer lagen flanel zijn aangebracht. In dit geval kan de lucht niet meer vrij in en uit de kast stromen maar hij ondervindt hierbij een zekere weerstand. Er wordt nu energie onttrokken aan de in beweging zijnde lucht waardoor resonanties moeilijk kunnen optreden.

De invloed van een gesloten kast

De volgende stap is voor de hand liggend nl. het luchtdicht afsluiten van de achterkant van de kast. We hebben nu een algehele scheiding van voor- en achterkant van de conus verkregen zodat op het eerste gezicht het weergeven van een lage toon geen probleem meer is. Een dergelijk systeem wordt een gesloten luidsprekerbox of een akoestisch gesloten box genoemd. De meeste weergeefsystemen bestaan tegenwoordig uit dit type box en de resultaten die hiermee zijn te bereiken, kunnen zeer goed worden genoemd. Wel moet hierbij aan verschillende voorwaarden worden voldaan. Hierop komen we nog terug.

Op één van de verschijnselen die optreden bij het inbouwen van een luidspreker in een gesloten box zullen we hier echter direct ingaan daar dit bij iedere box optreedt. Doordat achter de conus in zo'n systeem een hoeveelheid lucht die nergens heen kan is opgesloten, zal bij het achteruitgaan van de conus deze lucht worden samengeperst en bij het vooruitbewegen van de conus zal een onderdruk in de kast ontstaan. De invloed hiervan is niet gering en resulteert in een verhoging van de resonantiefrequentie van het geheel. Hoe groot deze verhoging is, hangt af van veel factoren o.a. van de inhoud van de box en de oppervlakte van de conus. Algemeen kunnen we stellen dat de resonantie van een luidspreker afhangt van het totale gewicht dat beweegt en de soepelheid waarmee dit gewicht is opgehangen. Hoe groter het gewicht wordt, hoe lager de resonantie. Een zwaar gewicht is immers moeilijk snel heen en weer te bewegen terwijl het snel heen en weer bewegen van een licht voorwerp veel gemakkelijker gaat. Wel moeten we hieraan de beperking toevoegen dat het lichte voorwerp niet te groot mag zijn, daar het anders bij het snel heen en weer gaan zoveel lucht vangt dat het bewegen toch weer moeilijk gaat. Dit laatste verschijnsel wordt in de akoestiek, als het over een snel op en neer gaande beweging van de conus van een luidspreker gaat „de luchtbelasting” op de conus genoemd. Als we het bij een luidspreker hebben over de totaal massa, wordt niet alleen het gewicht van de conus met wat er aanhangt bedoeld, maar ook de meebewegende lucht (de luchtbelasting) moet in rekening worden gebracht. Het is te berekenen dat bij een ronde schijf die heen en weer beweegt in een „oneindig groot” klankbord de luchtbelasting $6,4 \times R^3 \times 10^{-3}$ g is als R de straal van de schijf (uitgedrukt in cm) en de luchtdichtheid $1,2 \text{ kg/m}^3$ is. Dat de soepelheid waarmee de conus is opgehangen ook invloed heeft op de resonantie, is gemakkelijk in te zien als we denken aan een snaar waarvan de toon hoger wordt naar gelang hij meer gespannen wordt. Als we de totale bewegende massa in grammen voorstellen door M_l en de soepelheid van de ophanging door C_l in $\text{m/N} \times 10^{-3}$ dan kan het verband tussen de resonantiefrequentie en de bovengenoemde grootheden worden aangegeven door de formule:

$$F_{rl} = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_l \times C_l}}$$

waarin F_{rl} de resonantiefrequentie in Hz van de luidspreker voorstelt.

Wanneer we een luidspreker in een kast monteren, wordt de soepelheid minder tengevolge van de opgesloten hoeveelheid lucht achter de conus. De

verandering van de soepelheid die hiervan het gevolg is, moeten we gaan toevoegen in bovengenoemde formule, willen we de resonantiefrequentie van een luidspreker in een kast kunnen vaststellen. Als de kast klein is, zal de invloed op de resonantiefrequentie groter zijn dan voor het geval de kast een grote inhoud heeft, daar de lucht in het laatste geval bij het naar achteren gaan van de conus minder wordt samengeperst. Als de conus echter groot is, zal deze invloed weer groter zijn daar een grote conus meer lucht verplaatst dan een kleine bij overigens dezelfde amplitude. Als we zowel de invloed van de oppervlakte van een conus als die van het volume van een kast samenvoegen in een formule komt die er als volgt uit te zien: $C_k = 0,72 \times 10^{-6} V/S^2$, waarin V het volume van de kast is in cm^3 , S de oppervlakte van de conus in cm^2 en de factor $0,72 \times 10^{-6}$ is toegevoegd om de eigenschappen van de lucht in de kast in rekening te brengen. Met C_k wordt dan de soepelheid bedoeld, die met de soepelheid van de conusophanging kan worden samengevoegd om tot de resonantiefrequentie van het geheel te komen. Daartoe moet in de formule voor de resonantie van de luidspreker in plaats van C_l soepelheid van de luidsprekerophanging een waarde C_l worden ingevuld die gelijk is aan $\frac{C_l \times C_k}{C_l + C_k}$; zodat de formule voor de resonantie van een luidspreker in een kast gegeven kan worden met

$$F_{rk} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_l + C_k}{M_l \times C_l \times C_k}}$$

Met behulp van deze formule kunnen we nu nagaan wat bij een bepaalde luidspreker de invloed is van de inhoud van de kast op de resonantiefrequentie van het systeem of de invloed van het gewicht van de conus op de resonantie van het geheel. In de figuren 5.5 en 5.6 zijn hiervan enkele voorbeelden gegeven.

Het is hier op zijn plaats even in te gaan op de term „drukkamerluidspreker” die zo nu en dan in verschillende folders wordt gebruikt met de bedoeling te suggereren dat dit dé oplossing is om alle vervorming in het lagetonegebied op te heffen. De term drukkamerluidspreker wordt gebruikt in die gevallen waar de resonantie van het geheel voornamelijk wordt bepaald door de inhoud van de kast en niet door de resonantie van de „losse” luidspreker. Als we naar de formule kijken, kunnen we ook zeggen dat bij een drukkamerluidspreker C_k klein is ten opzichte van C_l . Dit zal het geval zijn als een luidspreker met een lage resonantie ($C_l =$ groot) wordt ingebouwd in een kleine kast ($C_k =$ klein). De „veer” waaraan de totale

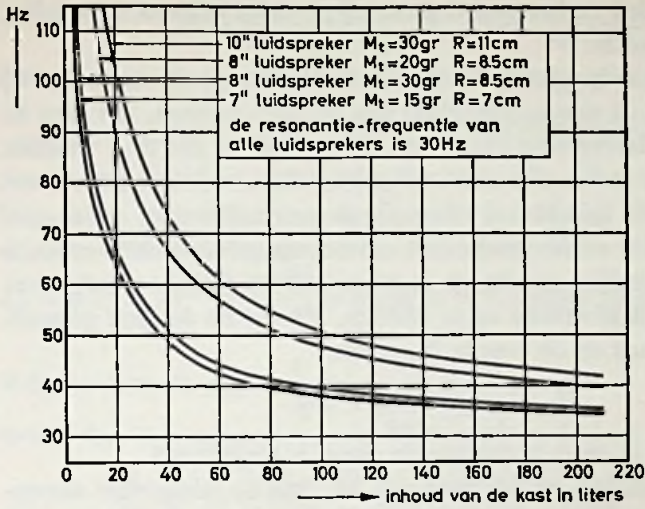


Fig. 5.5

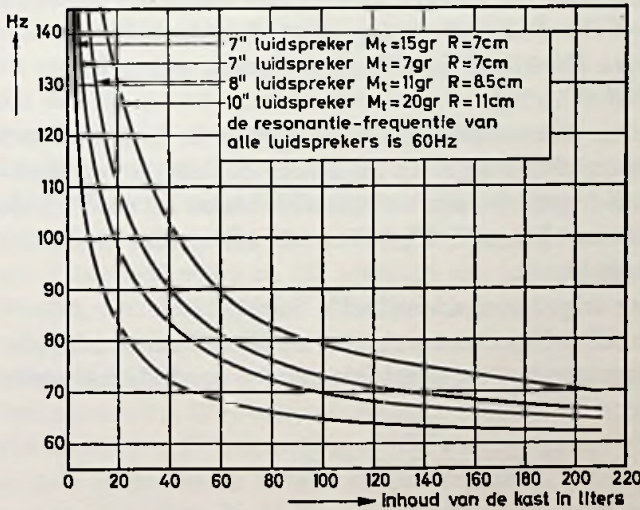


Fig. 5.6

bewegende massa is opgehangen, wordt in dit geval bijna niet meer gevormd door de rand van de conus en de centrering maar voornamelijk door de luchtkolom in de kast. Men gaat hierbij uit van de gedachte dat de lineairiteit van de normale conusophanging slechter is dan die van de luchtkolom. In zijn algemeenheid is dit niet te onderschrijven daar deze lineairiteit bij

een goede luidspreker in het gebied waar hij gebruikt behoort te worden, alleszins bevredigend is.

Al enige keren zijn de grootheden M_t (de totale bewegende massa) en C_l (de soepelheid van de conusophanging) aan de orde geweest. Als men de resonantie van een luidspreker kan meten of laten meten, zijn deze waarden gemakkelijk vast te stellen. De eenvoudigste manier om dat te doen is om de resonantie van de luidspreker tweemaal te meten. Eénmaal onder normale omstandigheden en éénmaal nadat een bekend gewicht in de conus is geplakt. Een gemakkelijke manier om de conus met een gewicht te verzwaren is door er een stukje plasticine op te plakken. Als we nu de eerst gemeten resonantie F_{rl} noemen en de tweede F_{rg} geldt:

$$M_t = \frac{F_{rg}^2}{F_{rl}^2 - F_{rg}^2} \times M_g,$$

als M_g het gewicht in gram is dat aan de conus is toegevoegd.

Daar de luchtbelasting, en daarmee ook M_t , van de luidspreker samenhangt met de afmetingen van het klankbord, en deze voor lage frequenties erg groot moet zijn, is het voor de hand liggend deze meting uit te voeren zonder klankbord. Voor de luchtbelasting moet dan de helft van die op een oneindig groot klankbord in rekening worden gebracht ($M_l = \frac{1}{2} \times 6,4 \times R^3 \times 10^{-3}$ g).

Bij het berekenen van de resonantie van de luidspreker in de kast hebben we te maken met de luchtbelasting zoals die bij een oneindig groot klankbord voorkomt. Als richtgetal kunnen we voor deze laatste bij een 5" luidspreker 0,76 g nemen en bij een 7", 8", 10" en 12" luidspreker achtereenvolgens 1,85; 3,9; 8 en 14,6 g.

Ter verduidelijking volgt hier een voorbeeld:

Stel we hebben een 8" luidspreker met een straal van 8,5 cm en een resonantie van 60 Hz. Met een toegevoegd gewicht van 5 g wordt de resonantie 48 Hz.

Volgens de formule
$$M_t = \frac{F_{rg}^2}{F_{rl}^2 - F_{rg}^2} \times m_g$$

volgt hieruit
$$M_t = \frac{48^2}{60^2 - 48^2} \times 5 = 9 \text{ g.}$$

Daar de luchtbelasting (M_l) hier

$$\frac{1}{2} \times 6,4 \times R^3 \times 10^{-3} \text{ g} = \frac{1}{2} \times 6,4 \times 8,5^3 \times 10^{-3} = 2 \text{ g}$$

is en $M_t = M_c + M_l$ vinden we voor $M_c = M_t - M_l = 9 - 2 = 7 \text{ g.}$

Volgens formule
$$F_{rl} = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_t \times C_l}},$$
 waaruit volgt:

$$F_{rl}^2 = \frac{1}{4\pi^2 M_t \times C_l} \quad \text{of} \quad C_l = \frac{1}{4\pi^2 \cdot M_t \cdot F_{rl}^2}$$

kunnen we nu de soepelheid van de conusophanging berekenen:

$$C_l = \frac{1}{4\pi^2 \times 9 \times 60^2} = 0,79 \times 10^{-6} \text{ cm/dyn } (0,79 \times 10^{-3} \text{ m/N}).$$

Als we deze luidspreker monteren in een kast met een inhoud van 20 liter kunnen we volgens de formule $C_k = 0,72 \times 10^{-6} \times V/S^2$ de invloed van de kast in rekening brengen, hier wordt dat:

$$C_k = 0,72 \times 10^{-6} \frac{20 \times 10^3}{\pi^2 \times 8,5^4} = 0,276 \times 10^{-6} \text{ cm/dyn } (0,276 \times 10^{-3} \text{ m/N}).$$

Volgens formule $F_{rk} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_l + C_k}{M_t \times C_l \times C_k}}$

wordt dan de resonantie van de luidspreker in de kast

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{0,79 \times 10^{-6} + 0,276 \times 10^{-6}}{11 \times 0,79 \times 10^{-6} \times 0,276 \times 10^{-6}}} = 106 \text{ Hz.}$$

(Voor M_t is hier $M_c + M_l = 7 + 4 = 11$ g ingevuld.)

Soms wordt de term „voldoend groot klankbord” wel eens genoemd en dit vraagt nog enige toelichting. Hierbij moeten we tevens denken aan het feit dat bij een luidspreker of luidsprekersysteem beneden zijn resonantie het akoestische vermogen dat wordt uitgestraald, snel daalt en wel met 12 dB per octaaf. Dit wil zeggen dat bij een systeem dat bijvoorbeeld een resonantie heeft van 120 Hz, de verzwakking een octaaf lager, dus bij 60 Hz al ongeveer 16 maal is. Dat voor het weergeven van een bepaalde lage toon een klankbord nodig is, dat minstens een halve golfengete is in lengte en breedte, is in dit hoofdstuk al eerder aan de orde geweest. Eveneens is daar aangegeven dat beneden die frequentie het uitgestraalde akoestische vermogen 6 dB, of een factor 4 per octaaf naar beneden gaat. Uit deze beide verschijnselen is de conclusie te trekken dat als de luidspreker afvalt beneden zijn resonantie, dit niet meer goed is te maken met een klankbord. Het heeft in zo'n geval niet de minste zin een klankbord maar groter en groter te maken. Als bijvoorbeeld een luidspreker een resonantie heeft van 250 Hz heeft het geen zin deze op een klankbord te plaatsen van $1,70 \times 1,70$ m dat een afvalfrequentie van $\frac{34000}{340} = 100$ Hz heeft, bij welke frequentie de luidspreker toch al 16 dB is afgevallen. Omgekeerd is voor het weergeven van bijv. een frequentie van 340 Hz een klankbord van 50×50 cm al voldoende. In fig. 5.7 is een en ander nog eens nader toegelicht.

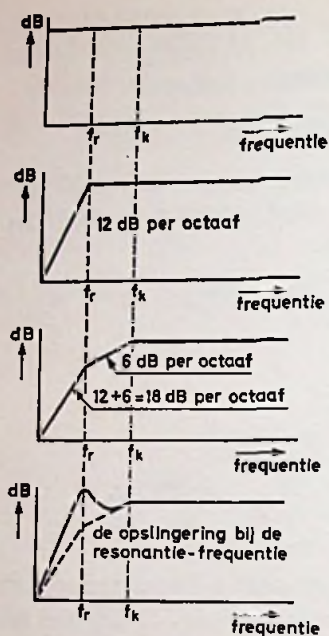


Fig. 5.7. Voorbeelden van het frequentieverloop tengevolge van het gebruik van een klankbord.

- Een ideale geluidsbron op een „oneindig” groot klankbord.
- Als deze geluidsbron een resonantie heeft van f_r zal hij daaronder 12 dB per octaaf afvallen.
- Wordt het klankbord dan verkleind tot een afmeting waarbij de kantelfrequentie f_k is, dan zal vanaf dat punt een extra afval van 6 dB per octaaf optreden.
- Vaak heeft de luidspreker in de praktijk een verhoogde energieafgifte rond de resonantie (opslingering). Als vuistregel mag men stellen: De resonantie van een luidspreker mag voor een goede aanpassing ongeveer 1 octaaf beneden de kantelfrequentie van het klankbord liggen.

De weergaveresultaten van één luidspreker

Nu zowel de technische eigenschappen van luidsprekers als de verschillende schakelmogelijkheden ervan aan de orde geweest zijn, zullen we eens nagaan wat met een bepaalde luidspreker te bereiken valt. Dat hierbij ook rekening gehouden wordt met andere factoren die invloed hebben op de akoestische eigenschappen van het systeem, spreekt vanzelf. We kunnen hierbij onder meer denken aan de invloed van een klankbord of een kast die samen met de luidspreker wordt gebruikt en mede het akoestische resultaat bepaalt. Daar het hele akoestische gebeuren een nogal gecompliceerde zaak is en zich moeilijk in een algemeen verhaal laat behandelen, gaan we enige proeven uitvoeren en aan de hand daarvan de akoestische resultaten bespreken.

We beginnen met een 5" luidspreker waarvan de conus is voorzien van een hogetonenkegel. We nemen aan dat de luidspreker wordt aangesloten op een versterker waarvan de uitgangsspanning als functie van de frequentie constant is. Dat wil zeggen, dat door de versterker de hoge frequenties evenveel worden versterkt als de lage frequenties. De voor ons belangrijke technische gegevens van deze luidspreker zijn:

maximale belastbaarheid	10 W
aanpassingsimpedantie	8 Ω
resonantiefrequentie	65 Hz
inductie in de luchtspleet	0,98 T
de impedantiekarakteristiek	zie fig. 6.1
de frequentiekarakteristiek	zie fig. 6.2a
de vermogenskarakteristiek	zie fig. 6.2b

De beide eerstgenoemde gegevens duiden aan dat deze luidspreker geschikt is voor een versterker waarvan het uitgangsvermogen niet meer is dan 10 W en waarvan de aanpassingsimpedantie 8 Ω is. Voor andere aanpassingsimpedanties moet een daarmee overeenstemmende aanpassingsimpedantie van

de luidspreker worden gekozen, of worden samengesteld door serie- of parallelschakeling van diverse luidsprekers, zoals in een van de voorafgaande hoofdstukken is besproken.

De resonantiefrequentie van 65 Hz doet vermoeden dat de laagtonenweergave goed kan zijn, maar door zijn geringe afmetingen kan een grote geluidsproductie in dit gebied niet worden verwacht, dit in verband met de dan vereiste grote amplitude. De luidspreker heeft een conus met een straal van $4\frac{1}{2}$ cm en met behulp van fig. 4.1, zonodig met de daar aangegeven formule, kunnen we nagaan dat bij 65 Hz voor 10 mW akoestisch vermogen al een amplitude van 5,5 mm nodig is. Van de hier bedoelde luidspreker is de maximale amplitude ongeveer 3 mm zodat we voor die lage frequenties

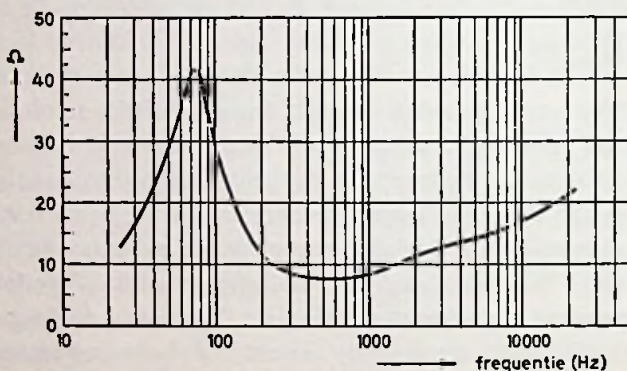


Fig. 6.1. De impedantiekarakteristiek van een 5'' luidspreker.

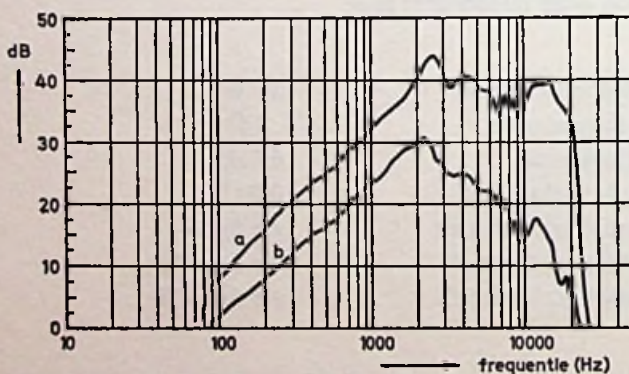


Fig. 6.2a. De frequentiekarakteristiek van een 5'' luidspreker. Deze karakteristiek is opgenomen in een dode kamer terwijl de luidspreker niet in een kast of op een klankbord gemonteerd is.

b. De vermogenskarakteristiek van dezelfde luidspreker opgenomen onder dezelfde omstandigheden.

maar op 3 mW mogen rekenen, hierbij aangenomen dat het klankbord groot genoeg is.

De impedantie karakteristiek in fig. 6.1 geeft aan dat de luidspreker een matig oplopende impedantie heeft. Tussen 400 en 1000 Hz is de impedantie 8Ω terwijl bij 20 000 Hz een waarde van ongeveer 20Ω wordt bereikt. Door deze $2^{1/2}$ maal hogere waarde zal de stroom door de luidspreker afnemen, waardoor het uitgestraalde akoestische vermogen van de hoge tonen vermindert.

De frequentie- en vermogenskarakteristieken, die in fig. 6.2 te zien zijn, geven aan dat zowel de hoge als de lage tonen ten opzichte van het gebied rond de 2000 Hz verzwakt worden weergegeven. De verzwakking van de hoge tonen is niet alleen een gevolg van de oplopende impedantie zoals boven genoemd is, maar ook het gewicht en de stijfheid van de conus zijn hiervoor aansprakelijk. Deze ongunstige eigenschap van het weergeven van hoge tonen kan alleen worden beïnvloed door de versterker die gebruikt wordt om deze luidspreker te voeden. Op de meeste versterkers zijn toonregelingen aanwezig waarmee men de hoge en/of lage tonen kan verzwakken of versterken. In het hier genoemde geval zal men door middel van de hogetonenregeling nog iets kunnen corrigeren, maar een helemaal „rechttrekken” van de weergave is niet mogelijk.

Op een klankbord

De minder sterke weergave van de lage tonen wordt veroorzaakt doordat de luidspreker niet op een klankbord is gemonteerd. In een van de vorige hoofdstukken is dit al aan de orde geweest. Om aan deze onvolkomenheid tegemoet te komen, zullen we de luidspreker op een klankbord monteren en nagaan wat daarvan het resultaat is. We beginnen met een rond klankbord met een diameter van 37 cm waarbij de luidspreker in het midden is vastgezet.

In fig. 6.3 zijn hiervan de resultaten te zien op de gegeven frequentie- en vermogenskarakteristiek. Volgens de theorie die in een van de vorige hoofdstukken is behandeld, moet de luidsprekerkarakteristiek nu niet meer afvallen bij 2000 Hz maar bij ongeveer $\frac{340}{0,74} = 460$ Hz. Een scherp punt is niet te geven maar duidelijk is te zien dat de karakteristiek beneden 500 Hz dezelfde val gaat vertonen als zonder klankbord het geval was. Hieruit blijkt duidelijk dat beneden 500 Hz de luidspreker weer de bekende afval vertoont die eigen is aan een luidspreker zonder klankbord.

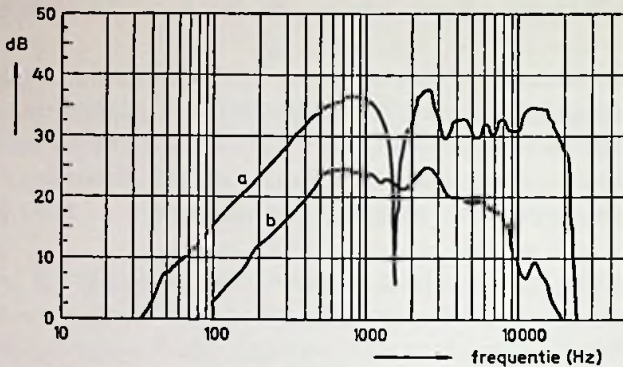


Fig. 6.3.a. De frequentiearakteristiek van de 5'' luidspreker uit fig. 6.2 terwijl de luidspreker gemonteerd is op een ronde baffle met een diameter van 37 cm.
 b. De vermogenskarakteristiek van deze luidspreker onder dezelfde omstandigheden gemeten.

Een opvallend verschijnsel is dat bij ongeveer 1500 Hz een diepe insnijding in de frequentiearakteristiek ontstaat die op de karakteristiek van de luidspreker niet aanwezig is. Dit is duidelijk een gevolg van het gebruik van dit klankbord en ontstaat doordat de geluidsgolven van de voor- resp. achterkant van het klankbord elkaar op de plaats waar de meetmicrofoon is opgesteld, opheffen of uitdoven. We kunnen ook zeggen dat deze twee geluidsgolven op de plaats, waar de microfoon zich bevindt, in tegenfase zijn. Dat dit mogelijk is, komt doordat de weg van het geluid vanaf de voorkant van het klankbord naar de microfoon, korter is dan vanaf de achterkant. Als deze weglengten een hele golfengete gaan verschillen, zal deze diepe insnijding kunnen ontstaan.

In fig. 6.4 wordt een en ander nog eens toegelicht. In het algemeen wordt

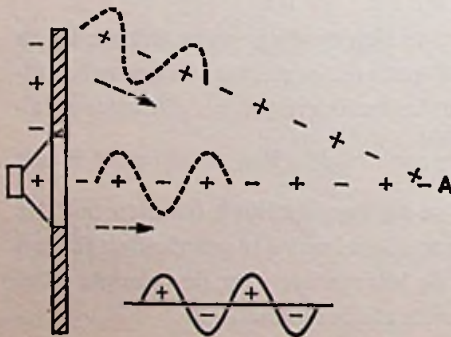


Fig. 6.4. Een voorbeeld, waarin een geluidsgolf vanaf de voorkant van de baffle die van de achterkant in punt A tegenwerkt, waardoor uitdoving optreedt.

het verschijnsel dat twee signalen elkaar op deze manier beïnvloeden, *interferentie* genoemd en in het geval dat ze elkaar opheffen doordat ze in tegenfase zijn, spreekt men van een *uitdoving*. Hier gebeurt dit bij 1500 Hz. In het vakjargon van de akoestiek wordt een scherpe insnijding als hier bedoeld, een *dip* genoemd en als hij ontstaat tengevolge van de invloed van het klankbord of baffle heet het een *baffledip*. Theoretisch zal deze dip ook optreden bij ieder veelvoud van deze frequentie maar door allerlei andere oorzaken zijn deze nauwelijks op de karakteristieken terug te vinden. Het opmerkelijke is wel dat de dip alleen voorkomt in de frequentie karakteristiek maar in de vermogenskromme niet is te vinden. De hinderlijkheid van deze zo veel besproken dip is dan ook voornamelijk een niet volmaakte frequentie karakteristiek maar bij het luisteren naar deze luidspreker op het klankbord zal hij in het algemeen niet opvallen evenmin als alle andere interferenties die in een normale luisterruimte veelvuldig optreden tengevolge van de reflecties van het geluid tegen de wanden.

Als dezelfde luidspreker op een vierkante baffle wordt gemonteerd waarvan de afmetingen groter zijn dan van de hiervoor gebruikte ronde baffle, dan mogen we verwachten dat de weergave verder doorloopt in het lage-tonengebied en dat de baffledip bovendien wat breder en minder diep is. Dit laatste ontstaat doordat er geen sprake meer is van een bepaalde weglengte van de achterkant van het klankbord naar de microfoon maar doordat het klankbord vierkant is, zal de weg over een hoekpunt daarvan langer zijn dan die langs het midden van de zijkant naar de microfoon. In fig. 6.5 is dit nog eens in tekening gebracht, terwijl in fig. 6.6 de akoestische resultaten zijn weergegeven.

Een andere methode om de baffledip te verminderen, kan worden gevonden door de luidspreker een beetje „uit het midden” van het klankbord te monteren zodat de weglengtes van het geluid vanaf de achterkant van het klankbord naar de microfoon zoveel mogelijk verschillend worden.

Wij hebben reeds gezien dat voor de weergave van de lage tonen met hun grote golflengte in de praktijk meestal een te grote baffle moet worden gebruikt. Het is daarom begrijpelijk dat men naar andere wegen heeft gezocht om tot een acceptabele oplossing te komen. Al enkele malen is opgemerkt dat hinder wordt ondervonden van de golf die van de achterkant van de baffle komt. Een voor de hand liggende methode is daarom te vinden in het afschermen van het geluid van de achterkant. Om dit te verwezenlijken, monteren we een gesloten kapje aan de achterkant van het klankbord over de luidspreker. Het resultaat hiervan is te zien op de krommes in fig. 6.7.

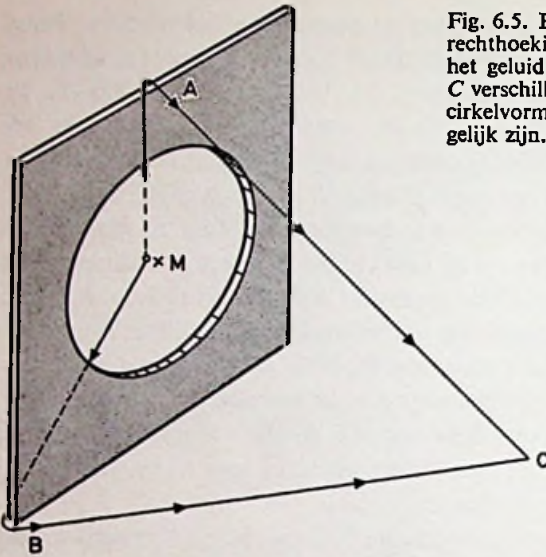


Fig. 6.5. Bij een klankbord van vierkante of rechthoekige vorm, zijn de weglengten van het geluid vanaf de achterkant naar punt C verschillend, dit in tegenstelling met een cirkelvormig klankbord waar deze allemaal gelijk zijn.

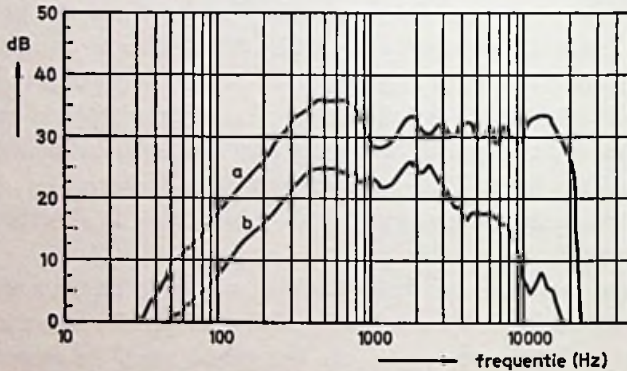


Fig. 6.6. *a* en *b*. Als fig. 6.3 doch nu op een vierkant klankbord van 49×49 cm.

Als we deze vergelijken met de in fig. 6.3 gegeven kromme die op hetzelfde klankbord en met dezelfde luidspreker ontstaat als geen kapje over de luidspreker is aangebracht, valt direct op dat de meeste onregelmatigheden zijn verdwenen, maar dat de afval in het lagetonengebied sterk is toegenomen. Dit laatste ontstaat doordat de conus aan de achterkant is afgedekt waardoor bij het achteruitgaan van de conus de lucht in het kapje wordt samengeperst en bij het vooruitgaan wordt verdund zodat het gemakkelijk heen en weer gaan van de conus wordt tegengewerkt. Het gevolg hiervan is dat

de resonantie van het geheel hoger is geworden waardoor de luidspreker niet meer geschikt is voor het weergeven van lage frequenties.

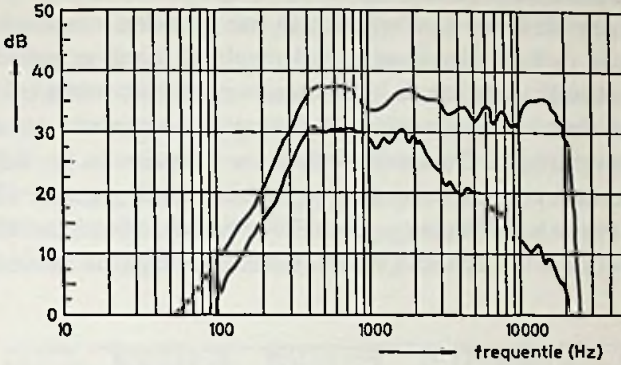


Fig. 6.7. Dezelfde luidspreker als in fig. 6.3 gemonteerd op hetzelfde klankbord terwijl er een kapje over de luidspreker is geplaatst.

In een gesloten kast

Om toch nog lage tonen te kunnen weergeven, moeten we ervoor zorgen dat de luchthoud van het kapje voldoende groot is, zodat de overdruk resp. de onderdruk die in het kapje ontstaat niet te hoog oploopt. Aan deze wens komt men tegemoet door de luidspreker in te bouwen in een wand van een voldoende grote kast die overigens luchtdicht is afgesloten. Ook op deze manier ontkomen we er niet aan dat de resonantie van het gehele systeem hoger is dan die van de „losse” luidspreker, maar bij geschikt ge-

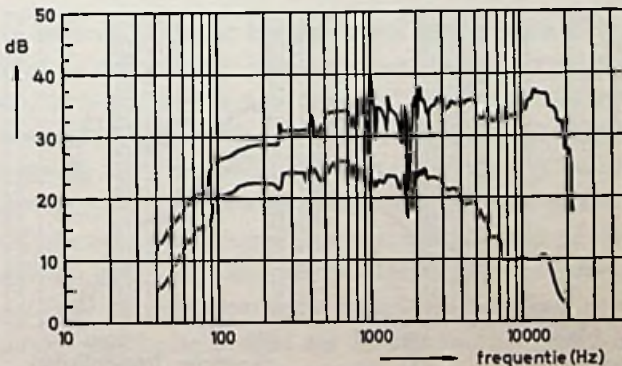


Fig. 6.8. Dezelfde luidspreker als in fig. 6.3 doch nu gemonteerd in een geheel gesloten kast met een inhoud van 15 liter.

kozen waarden zijn goede resultaten te bereiken. Een voorbeeld van de akoestische resultaten die op deze manier te behalen zijn, kan worden afgelezen uit de karakteristieken in fig. 6.8. Hier ziet de karakteristiek er wel erg wild uit, maar dit is toe te schrijven aan het optreden van allerlei ruimteres resonanties in de kast. Om deze te onderdrukken wordt er geluiddempend materiaal gebruikt waarmee de binnenkant van de kast wordt bekleed. Ook wordt soms de hele ruimte achter de luidspreker opgevuld om een goede demping te verkrijgen. Het resultaat hiervan is te zien in fig. 6.9 waar we duidelijk kunnen constateren dat de lage tonen vanaf ongeveer 125 Hz onverzwaakt kunnen worden weergegeven. Voor het klankbord van 49×49 cm was dit rond de 300 Hz, zodat we meer dan één octaaf in het laag hebben

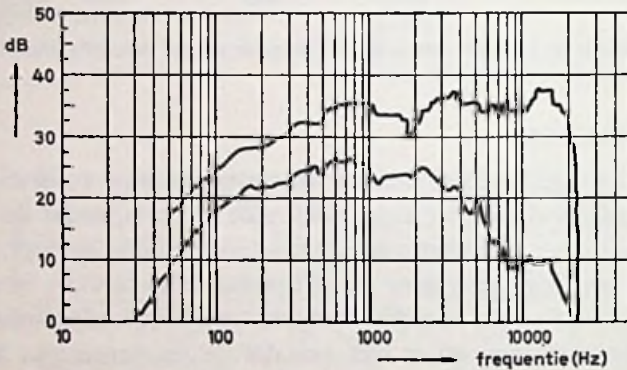


Fig. 6.9. Als fig. 6.8 doch met voldoende dempingsmateriaal in de kast aangebracht.

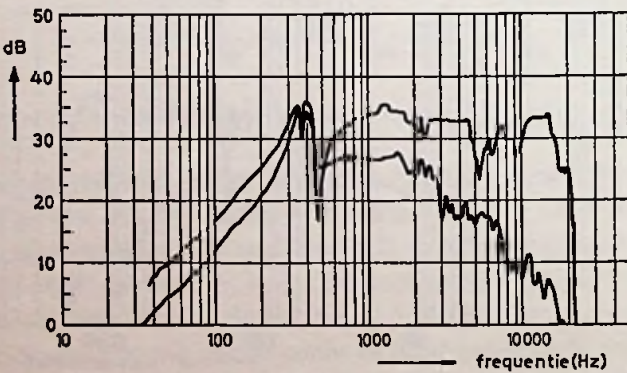


Fig. 6.10. Dezelfde luidspreker als gebruikt in fig. 6.9 doch nu gemonteerd in een „open” kast.

gewonnen door de luidspreker in een kast te plaatsen met een inhoud van 15 liter. De afmetingen waren: een voorkant van $18,5 \times 26$ cm en een diepte van 18,5 cm. Met de gegeven luidspreker zijn niet veel betere resultaten te verkrijgen in een 15 liter box. Bij het gebruik van een grotere kast of als een zeer grote baffle wordt gebruikt (fig. 6.11) die voor praktisch gebruik echter meestal niet in aanmerking komt, is de lagetonenweergave nog wezenlijk te verbeteren, maar de akoestische output voor het laag, zal door de geringe afmetingen van de conus, beperkt blijven. Toch is met deze luidspreker in een gesloten 15 literkast een geluidswaergave gerealiseerd die vele malen beter is dan met deze luidspreker mogelijk is in een „open” kast. Meestal treedt in dit geval een resonantie op van de holte die zich achter de

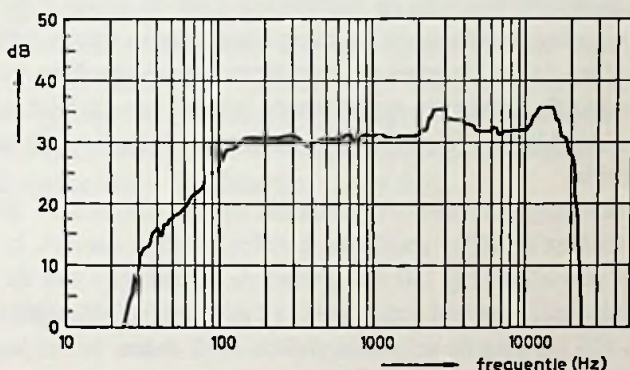


Fig. 6.11. Een 5" luidspreker als gebruikt bij de voorafgaande proeven en gemonteerd op een groot klankbord.

luidspreker bevindt waardoor het geluid hol gaat klinken. Door de achterwand van het gebruikte kastje weg te nemen is deze situatie nagebootst en het resultaat is in fig. 6.10 te zien. Een sterke piek in de weergave is in dit geval te zien tussen 250 en 500 Hz hetgeen een hinderlijke kleuring van het geluid tot gevolg heeft. In vaktermen heet dit „boemerig” klinken.

Het lijkt ons goed hier even de aandacht te vestigen op het feit dat bij het gebruik van een luidspreker in een gesloten kast alle geluid dat aan de achterkant door de luidspreker wordt uitgestraald niet meer naar buiten komt, maar door de geluiddempende materialen in de kast wordt geabsorbeerd. Hieruit volgt logischerwijze dat dit deel van het geluid ook niet kan bijdragen aan het vormen van het geluidsveld in de kamer. Het gevolg is dat het nuttig effect van het hele systeem de helft is geworden of 3 dB minder

dan op grond van de metingen aan de luidspreker verwacht zou worden. Daartegenover staat dat de luidspreker, die in de resonantiefrequentie nogal eens de neiging heeft te willen uitslingeren, nu goed wordt gedempt waardoor de kwaliteit van de weergave in het lagetoneengebied veel beter wordt. Ook de vervorming die soms optreedt als twee tonen tegelijkertijd worden weergegeven, zal gunstiger zijn als de amplitude van de luidspreker in de resonantie wordt begrensd. Een ander voordeel dat optreedt als een luidspreker in een daarbij goed aangepaste kast gemonteerd wordt, is de gunstige belastbaarheid. Doordat de bewegingen van de conus beter zijn gedempt, zal de rand van de conus ook minder worden uitgerekt waardoor het optreden van beschadigingen, bijvoorbeeld kleine scheurtjes in de rand, wordt voorkomen. Een gevolg van deze demping is ook dat de aansluitsnoetjes, die van de aansluitlippen van de luidspreker naar de conus lopen, minder sterk worden gebogen waardoor de levensduur hiervan wordt verlengd. Dit is ook de reden, dat in de gegevens van lagetonenluidsprekers vaak de belastbaarheid wordt opgegeven en tevens de inhoud van de kast waarbij die belastbaarheid geldt. In een grotere dan de genoemde kast zal de belastbaarheid kleiner zijn.

In het voorafgaande hebben we gezien dat met de gekozen 5" luidspreker in een 15 liter-box redelijke resultaten konden worden bereikt. In het lagetoneengebied was echter bij 130 Hz, gezien de afmetingen van de conus en de toe te laten amplitude van 3 mm, maar 12 mW aan geluidsafgifte mogelijk en beneden 125 Hz ging de geluidsproductie sterk dalen. In het hoge gebied was boven 2000 Hz ook verminderde uitstraling aanwezig, veroorzaakt door te grote massa van de conus en de oplopende impedantie. Op een groot klankbord was het wel mogelijk beneden 125 Hz nog geluidsenergie uit te stralen, maar bij 65 Hz kan deze nooit boven enkele milliwatts uitkomen, daar anders vervorming zal gaan optreden. Voor de erg lage frequenties is deze vervorming niet erg hinderlijk, daar ons oor niet in staat is bij die lage frequenties kleine vervormingen te horen, maar toch is de geluidswaergave duidelijk voor verbetering vatbaar.

Willen we een geluidswaergave die meer naar de kant van de Hi-Fi gaat, dan zullen we in de eerste plaats iets moeten doen aan het hogetoneengebied, waar van een goede energie-uitstraling nog geen sprake was. Daarna is het nodig ook de weergave in het laag nog eens kritisch te bekijken. Voor de verbetering van de weergave in het hoog is een luidspreker met een gunstiger frequentiekaracteristiek wel een stap in de goede richting maar nog niet voldoende, belangrijk is namelijk het totaal uitgestraalde vermogen en van-

daar dat we een luidspreker moeten zoeken met een rechte vermogenskromme, ook doorlopend in het hogetonengebied. Zoals al in één van de vorige hoofdstukken werd vermeld, is een luidspreker die tegelijk de hoge en de lage tonen moet weergeven altijd een compromis; óf hij is goed voor de lage óf goed voor de hoge tonen. We hebben al gezien wat met een 5" luidspreker, die voorzien was van een hogetonenkegel, te bereiken was, omdat voor een 7" of 8" luidspreker hetzelfde geldt, uitgezonderd het weergeven van de lage tonen en het grotere volume van de kast dat nodig is, gaan we hier niet verder op in. Alleen de opmerking dat voor het weergeven van het laag de grootste conus de beste resultaten kan geven, is hier op zijn plaats en we moeten wel bedenken dat een luidspreker met een rechte vermogenskarakteristiek over het hele frequentiebereik voorlopig nog slechts een vrome wens is. De enige goede oplossing is een speciaal voor de hogetonenweergave gemaakte luidspreker toevoegen aan een luidspreker die goed is voor de weergave van het laag en het middentoengebied. De op deze manier samengestelde weergavesystemen worden tweewegsystemen genoemd. In het volgende hoofdstuk zullen we een tweewegsysteem behandelen en verder ingaan op de elektrische filters die daarvoor nodig zijn.

Weergaveresultaten van systemen met meer dan één luidspreker

In het vorige hoofdstuk is de onvolkomenheid van de weergave, indien maar één luidspreker wordt gebruikt, al toegelicht. Het hoofdbezwaar was wel de sterke afname van de uitgestraalde energie voor hoge frequenties. Alleen recht voor de luidspreker, in het directe geluidsveld, was met zo'n systeem een redelijke weergave te verkrijgen. Om echter in een groter deel van de kamer een goede geluidswaergave te verkrijgen, is het nodig het stralingsdiagram zodanig te beïnvloeden dat in een groter gebied hoge tonen worden uitgestraald. Het spreekt vanzelf dat in dit geval meer energie nodig is dan voor een sterk gebundelde uitstraling, zoals dat met één luidspreker het geval was.

Om dit gewenste energieniveau in het hoog te verkrijgen, moeten we onze toevlucht nemen tot het gebruik van meer luidsprekers, bijvoorbeeld één voor het weergeven van de lage tonen en het middengebied en één voor de weergave van de hoge tonen. Het zonder meer in serie of parallel schakelen van deze luidsprekers stuit op ernstige bezwaren. In de eerste plaats zou iedere luidspreker alle frequenties toegevoerd krijgen. Door iedere luidspreker wordt dan, in het geval twee luidsprekers worden gebruikt, de helft van het door de versterker afgegeven vermogen opgenomen, ongeacht de frequentie. Het gevolg van een en ander is dat de luidspreker die voor de hogetonenweergave is bestemd en niet geschikt is voor het maken van grote amplituden gemakkelijk wordt beschadigd daar hij ook de lage frequentie krijgt toegevoerd. Bovendien gaat op deze manier de helft van het versterkervermogen verloren doordat bijv. aan de lagetonenluidspreker ook de energie van de hoge tonen wordt toegevoerd terwijl deze luidspreker voor de hoge frequenties geen of nauwelijks geluidsenergie kan uitstralen.

De beste manier om aan deze bezwaren tegemoet te komen, is ervoor te zorgen dat aan de luidspreker alleen dát deel van het frequentiespectrum waarvoor hij geschikt is, wordt toegevoerd.

Elektrische filters

Om dit te realiseren wordt gebruik gemaakt van elektrische filters, in dit geval *scheidingsfilters* genoemd. Door deze filters kan het uitgaande vermogen van de versterker in twee of meer delen worden gesplitst, waarvan één deel alleen de lage frequenties bevat en het andere alleen de hoge. Het laatstgenoemde deel gaat naar de hogetonenweergave, het andere deel naar de luidspreker die voor de weergave van het laag en het midden zorgt. De hier genoemde filters kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd. We kennen de enkele en de dubbele filters en soms wordt alleen maar een condensator gebruikt om tot een zekere vermogensverdeling over de beide luidsprekers te komen. In het laatste geval gaat men ervan uit dat de impedantie van de luidspreker die voor het laag en midden wordt gebruikt, nogal oploopt in het hogetonengebied. De weergever die voor de hoge frequenties bestemd is, wordt dan via een condensator parallelgeschakeld met eerstgenoemde luidspreker waardoor het grootste deel van de geluidsenergie in de hoge frequenties naar de hogetonenluidspreker gaat. Een voorbeeld van een dergelijke schakeling is gegeven in fig. 7.1. Het bezwaar van deze schakeling is dat het moeilijk is tot een juiste aanpassingsimpedantie te komen tenzij men over speciale luidsprekers kan beschikken. Bovendien kan men de vermogensverdeling over de luidsprekers niet goed beïnvloeden en moet men het min of meer aan het toeval overlaten of de luidsprekers samen akoestisch wel het resultaat geven dat gewenst wordt. De condensator is hier gebruikt

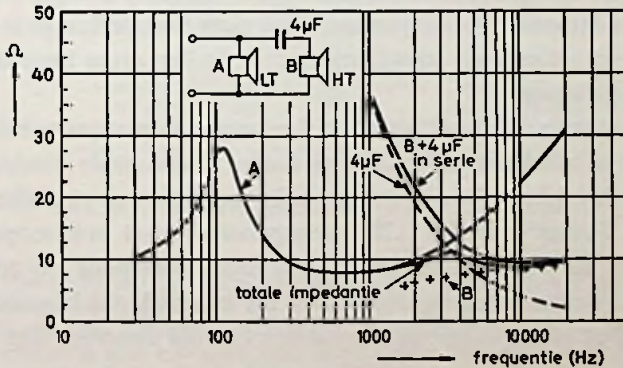


Fig. 7.1. Parallelschakeling van een luidspreker (voor de weergave van het laag en het midden) en een condensator van $4 \mu\text{F}$ met een hogetonenluidspreker in serie. De impedantiecurve A is sterk oplopend in het hoog. De condensator heeft een impedantie die omgekeerd evenredig is met een frequentie $Z_c = \frac{1}{2\pi f \times C}$ en het impedantieverloop is gestippeld getekend. De impedantie van het geheel heeft een gunstiger verloop gekregen.

als een soort „veranderlijke weerstand”. Deze „wisselstroomweerstand” hangt af van de frequentie waarop hij is aangesloten. Hoe hoger de frequentie, hoe kleiner de impedantie (wisselstroomweerstand) is. In formule uitgedrukt zegt men: $Z_c = \frac{1}{2\pi f \times C}$ waarin Z_c dan de impedantie is en f de frequentie waarop deze condensator met een capaciteit C aangesloten is. De eenheid van capaciteit is de F (farad) die onderverdeeld is in μF (microfarad: één miljoenste deel van een farad) en pF (picofarad: één miljoenste deel van een μF). We kunnen ons bijvoorbeeld afvragen wat de impedantie is van een condensator van $4 \mu\text{F}$ ($4 \times 10^{-6}\text{F}$) bij 5000 Hz.

$$Z_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ of } \frac{1}{2\pi \cdot 5000 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \text{ of } \frac{10^3}{40\pi} = 8 \Omega,$$

een waarde die in fig. 7.1 is gebruikt.

Een andere „veranderlijke weerstand” die bij de scheidingsfilters wordt gebruikt, is de spoel. Deze gedraagt zich net andersom als een condensator. De impedantie neemt hier namelijk tóe met het hoger worden van de frequentie. In formule uitgedrukt is: $Z_l = 2\pi f \times L$, waarin Z_l de impedantie is van een spoel met een zelfinductie L als deze aangesloten is op een wisselspanning met een frequentie f . De eenheid van zelfinductie is de H (henry) en wordt onderverdeeld in mH (millihenry) en μH (microhenry), die resp. 10^{-3} en 10^{-6} H zijn. Met deze twee onderdelen spoel en condensator hebben we de mogelijkheid naar keuze óf de lage óf de hoge tonen te verzwakken. Als we bijvoorbeeld een lagetonenluidspreker hebben en we willen voorkomen dat ook hoge frequenties door deze luidspreker gaan dan kunnen we er een zelfinductie (spoel) voorzetten die een grote impedantie heeft voor de hoge tonen.

Ook is het mogelijk voor hetzelfde doel een condensator parallel aan de luidspreker te schakelen zodat de hoge tonen, waarvoor de condensator een kleine weerstand heeft, er „langs” gaan. In fig. 7.2 is een en ander nog eens toegelicht. Tevens is in fig. 7.2B aangegeven dat het ook mogelijk is de condensator en de spoel samen te gebruiken, waardoor de zo bekende „cross-over”-filters ontstaan. Hiermee is het mogelijk een bepaald deel van de frequenties toe te laten tot die luidspreker die daarvoor het meest geschikt is.

Een verdere behandeling van de theoretische achtergronden van filters valt buiten het bestek van dit boek en wordt achterwege gelaten. Door de verklaring van het enkelvoudige filter is een goede basis gelegd voor een duidelijk begrip omtrent de werking van filters in het algemeen.

Wel wordt speciale aandacht gevraagd voor de tekens (+ en —) die in fig. 7.2B bij de luidsprekers zijn geplaatst en die aangeven hoe de luidspreker theoretisch moet worden aangesloten.

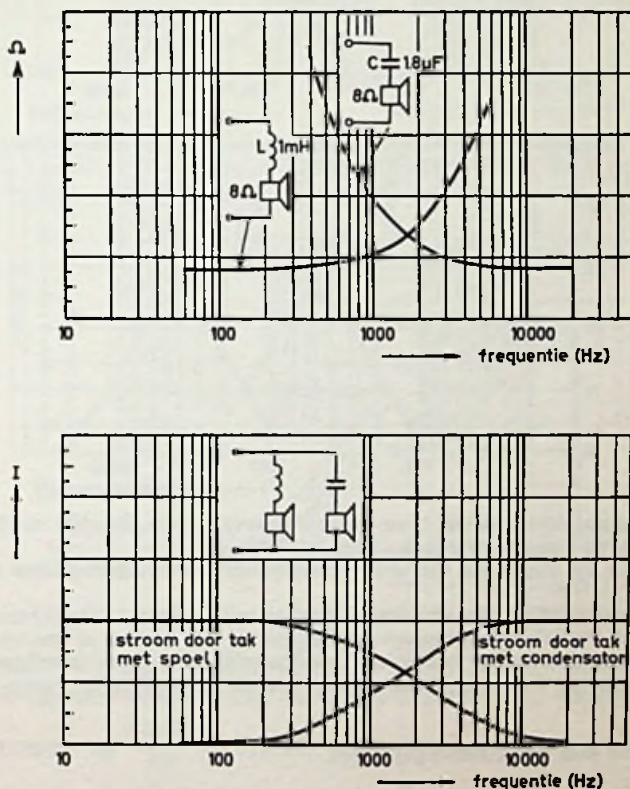


Fig. 7.2A. Voorbeeld van het impedantieverloop van een luidspreker die hier als een zuivere weerstand (8Ω) is beschouwd, in serie met een spoel of een condensator. Bij 1800 Hz hebben beide takken dezelfde waarde. Bij lagere frequenties is de „weerstand” van de luidspreker in serie met spoel klein en bij hogere frequenties waar de impedantie van deze luidspreker sterk oploopt, is de impedantie van de luidspreker met de condensator juist klein. Als deze twee systemen parallel geschakeld worden en aangesloten op een versterker met een constante uitgangsspanning, zal de stroom bij lage frequenties nagenoeg geheel door de luidspreker met voorgeschakelde spoel gaan. Bij 1800 Hz zijn de impedanties gelijk en neemt ieder systeem evenveel stroom terwijl bij hogere frequenties de stroom door de luidspreker in serie met de condensator sterk gaat stijgen, om na 5000 Hz nagenoeg constant te blijven.

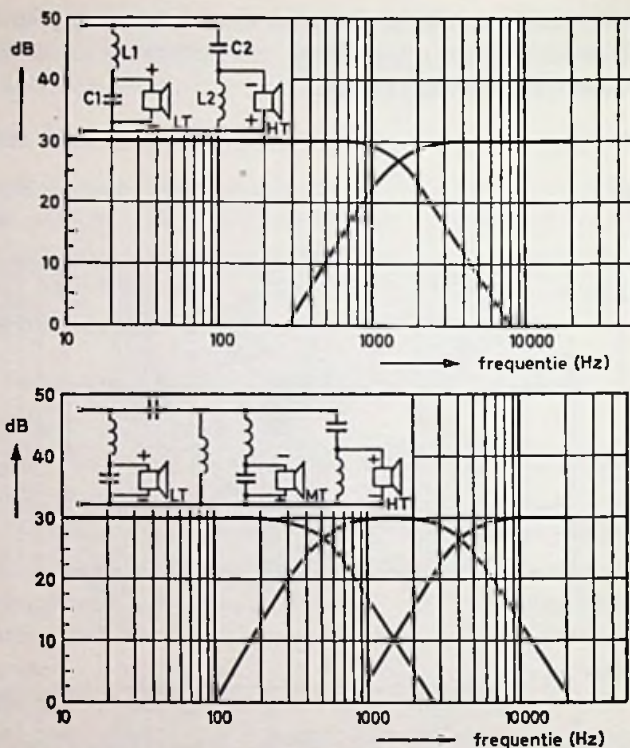


Fig. 7.2B. Voorbeelden van een twee- en een driewegsysteem. Speciale aandacht wordt gevraagd voor de fase van de aan te sluiten luidsprekers.

Voorbeeld van een schakeling van een tweewegsysteem waarin dubbelfilters worden gebruikt.

De overnamefrequentie is hier 1500 Hz en de afval van de filters is 12 dB per octaaf.

Voorbeeld van een schakeling van een driewegsysteem met spoelen en condensatoren om de gewenste energieverdeling van de lage, midden en hoge tonen te verkrijgen. Tevens is aangegeven hoe de frequentiecarakteristiek van een geïdealiseerd systeem er uitziet.

De weergave met een tweewegsysteem

In het begin van dit hoofdstuk waren we tot de conclusie gekomen dat het voor een goede geluidsreproductie zeer gewenst is meer dan één luidspreker te gebruiken. We zullen daarom nu eens nagaan wat te bereiken is door een 8" luidspreker, met een lage resonantie en een stevige conus, te gebruiken in combinatie met een speciaal voor hogetonenweergave ontwikkelde tweeter. In fig. 7.3 zijn de frequentie- en de vermogenskarakteristieken van deze luidsprekers weergegeven. Het eerste wat hierbij opvalt, is de daling van de kromme van de 8" luidspreker in het laag met ongeveer 6 dB per octaaf.

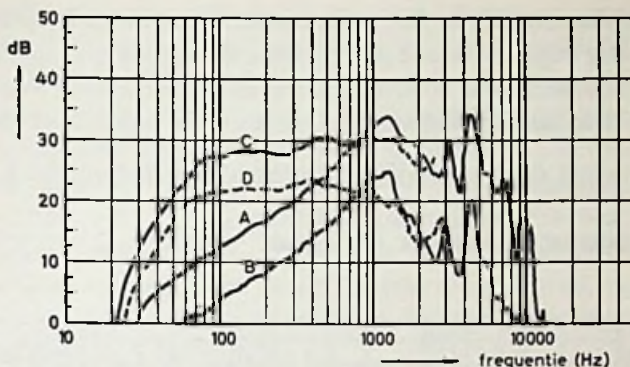


Fig. 7.3A. De frequentie- en de vermogenskarakteristiek van een 8" lagetonenluidspreker (A en B). Dezelfde karakteristieken worden voorgesteld door C en D, doch hier is de luidspreker gemonteerd in een kast met een inhoud van 15 liter.

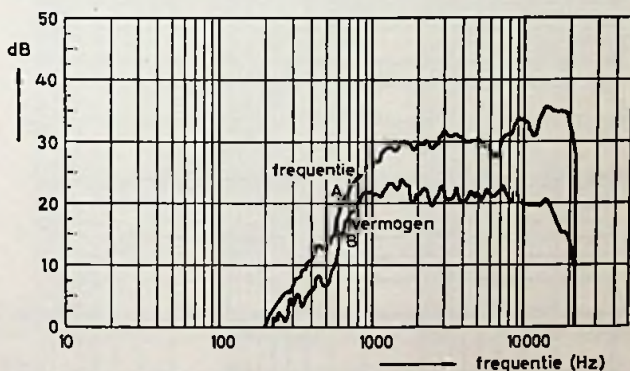


Fig. 7.3B. Dezelfde karakteristieken als boven, doch van een 1" hogetonenluidspreker.

Zoals al eerder is gezegd, komt dit door het afwezig zijn van een klankbord. Daar de luidspreker een diameter heeft van ongeveer 19,5 cm ligt zijn eigen kantelfrequentie op $\frac{34000}{39} = 870$ Hz.

Vanaf deze frequentie zal de karakteristiek 6 dB per octaaf gaan stijgen als de luidspreker in een kast wordt gebouwd waardoor deze daling teniet zal worden gedaan. In fig. 7.3 is de karakteristiek, verkregen door een meting van deze luidspreker gemonteerd in een 15 liter-kast, aangegeven waarbij tevens opvalt dat de resonantiefrequentie is gestegen. Als we nu de karakteristiek van de lagetonenluidspreker in de kast en die van de hogetonenluidspreker bij elkaar „passen”, lijkt een overnamefrequentie van 1000 Hz een goed uitgangspunt. De vermogenskarakteristiek van de woofer

gaat daar dalen evenals de frequentie karakteristiek en de karakteristieken van de tweeter beginnen daar ongeveer. Daar de impedantie van de beide te gebruiken luidsprekers 8Ω is, zullen we bij de berekening van de filteronderdelen hiermee rekening moeten houden. Voor een dubbel filter nemen we voor de spoel een waarde die te berekenen is uit de formule: $L = \frac{Z\sqrt{2}}{2\pi f}$

en een condensator waarvan de waarde volgt uit: $C = \frac{1}{2\pi f \times Z\sqrt{2}}$

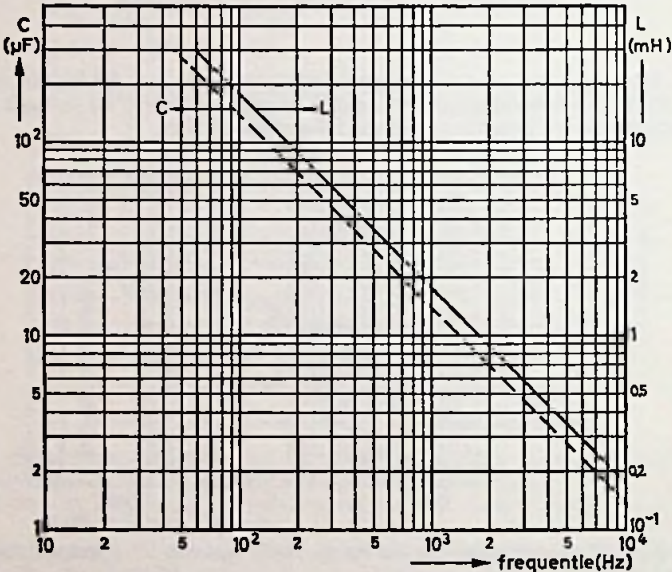
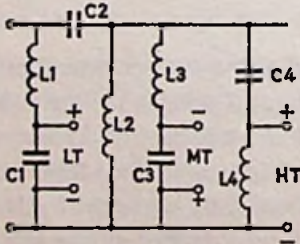


Fig. 7.4. Grafiek voor het aflezen van de waarden van de zelfinductie (L) en de capaciteit (C), die nodig zijn voor het maken van een meerwegsysteem met dubbelfilters en een impedantie van 8Ω .



Voor overnamefrequenties van bijvoorbeeld 450 en 3000 Hz geldt:
 $L_1 = L_2 = 4 \text{ mH};$
 $L_3 = L_4 = 0,6 \text{ mH};$
 $C_1 = C_2 = 31 \mu\text{F};$
 $C_3 = C_4 = 4,7 \mu\text{F}.$

Voor luidsprekers met een impedantie van 16Ω moet men de gevonden waarde van de zelfinductie verdubbelen en die van de capaciteit halveren. Voor een 4Ω -aanpassing de zelfinductie halveren en de capaciteit verdubbelen.

waarin Z de aanpassingsimpedantie van de luidspreker voorstelt. Uit de grafiek in fig. 7.4 is voor 1000 Hz af te lezen dat de condensator 14 μF moet zijn en de spoel 1,8 mH als de impedantie van de luidspreker 8 Ω is. Nadat we met deze gevonden waarden een dubbelfilter hebben gemaakt en daarop de luidsprekers hebben aangesloten terwijl het geheel in een 15 liter-kast is gemonteerd, gaan we zowel de frequentie- als de vermogenskarakteristiek opnemen. In fig. 7.5A zijn de resultaten te zien. Deze stemmen helaas niet overeen met de verwachtingen. Zowel in de frequentiekarakteristiek als de vermogenskarakteristiek, is een duidelijke piek te ontdekken rond de 1000 Hz. De verklaring daarvoor is te vinden in de impedantiekromme van de tweeter, die gegeven is in fig. 7.5B.

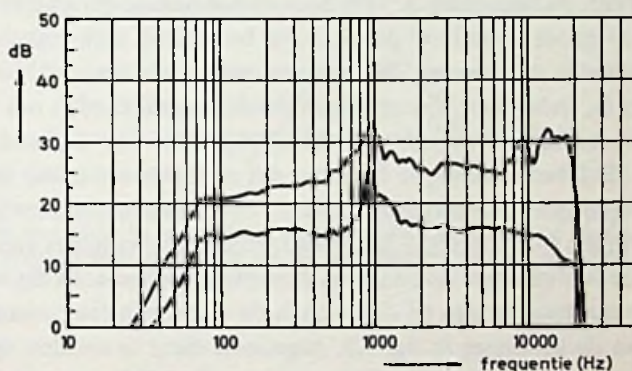


Fig. 7.5A. De frequentie- en vermogenskarakteristiek van een 8" woofer en een 1" tweeter. Voor dit tweewegsysteem is een symmetrisch filter gebruikt met een overnamefrequentie van 1000 Hz.

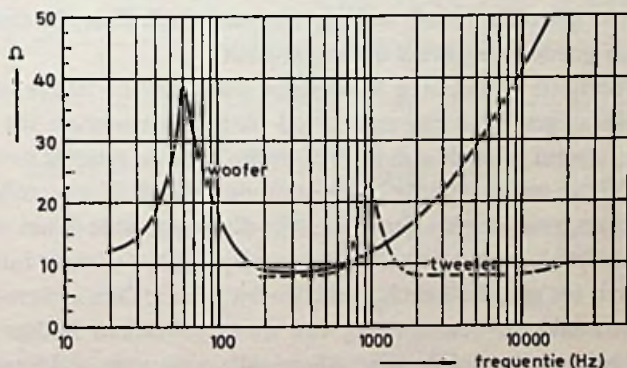


Fig. 7.5B. Door de oelopende impedanties van de luidsprekers in het overnamepunt, vallen de filters niet steil genoeg af, zodat in het middengebiet een opvallende piek ontstaat.

Rond de 1000 Hz ligt deze kromme veel hoger dan in de rest van het frequentiegebied, waar hij 8Ω is. Het gevolg hiervan is dat het filter, dat berekend was voor een aansluiting van 8Ω , bij 1000 Hz wordt afgesloten met ongeveer 22Ω , waardoor de afkap van de lagere frequenties heel anders verloopt dan wanneer dit filter met 8Ω zou zijn afgesloten.

In fig. 7.6A is dit aangegeven en in plaats van een waarde van -3 dB bij 1000 Hz zien we dat de karakteristiek een waarde van $+3$ à 4 dB aangeeft, of ruim 6 dB te veel. Voor het filter dat door de woofer wordt afgesloten, geldt éézelfde verhaal ofschoon iets gematigder. In dezelfde figuur is dit aangegeven en de waarde ligt rond 3 dB te hoog. Het resultaat is dat zowel de hogetonenluidspreker als de woofer in dit gebied meer spanning krijgen toegevoerd dan de bedoeling is. Hierdoor wordt ook de geluidsproductie in dit gebied te groot waardoor de hiervoor besproken piek ontstaat die in fig. 7.5A duidelijk was te zien. We kunnen ons nu afvragen of hier nog iets aan te doen is. Inderdaad zijn er verschillende mogelijkheden om een meer acceptabele akoestische weergave te verkrijgen. Een voor de hand liggende methode is de filters zodanig te bemeten dat de lagetonen-afkap iets eerder begint en de hogetonenweergave iets later. We noemen dit „het uit elkaar trekken” van het filter. In fig. 7.6B zijn de impedantiekrommes van de beide filters, als de luidsprekers er op aangesloten zijn, gegeven. In fig. 7.7 is het akoestische resultaat te zien en duidelijk is de verbetering te constateren ten opzichte van de krommes in fig. 7.5. Algemeen dient te worden opgemerkt dat het $+$ en $-$ teken die bij de filters gegeven zijn, alleen maar gelden voor symmetrische filters. In die gevallen dat asymmetrische filters worden gebruikt worden de tekens experimenteel bepaald. Van deze combinatie, met een uit elkaar getrokken, ook wel een asymmetrisch filter, in een 15 literkast kan een goede weergave worden verwacht.

De energieafgifte in het laag loopt door tot ongeveer 70 Hz, terwijl het afgegeven vermogen over een zeer breed frequentiespectrum tot ongeveer 14 000 Hz constant is en de geluidsdruk recht voor de tweeter doorgaat tot 20 000 Hz. Voor een maximale belastbaarheid van 15 W kan zo'n systeem een goede weergever worden genoemd. Uit dit experiment is het voldoende duidelijk geworden dat het niet altijd eenvoudig is, twee of meer luidsprekers te combineren tot een akoestisch verantwoord geheel. Ook al verwacht men bij een oppervlakkige beschouwing van de te gebruiken luidsprekers dat gunstige resultaten mogelijk zijn. Alleen als men over voldoende meetmogelijkheden beschikt op elektrisch en akoestisch gebied zijn dergelijke problemen op te lossen. Voor de „zelfbouwer” is dit niet mogelijk en hij zal

bij het aanschaffen van luidsprekers voor een meerwegsysteem zeer kritisch te werk moeten gaan of zich moeten houden aan door de fabrikant verstrekte schema's en andere gegevens.

We zullen nu eens nagaan of het aan de hand van bepaalde gegevens mogelijk is om met zekerheid tot een goed resultaat te komen.

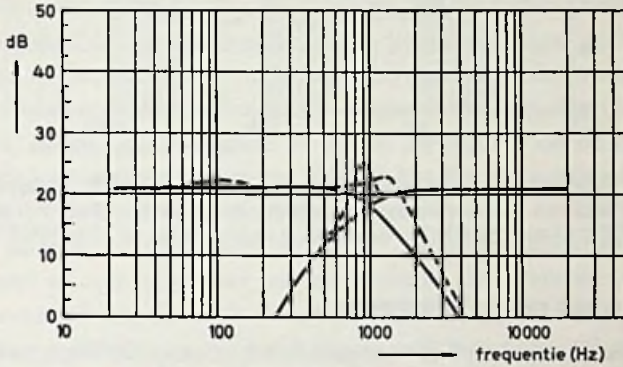


Fig. 7.6A. De getrokken lijnen zijn de karakteristieken van een tweewegsysteem, als op de filters die weerstand is aangesloten waarvoor het filter berekend is. De gestippelde lijnen zijn dezelfde karakteristieken als de weerstanden worden vervangen door luidsprekers met een impedantieverloop zoals is aangegeven in fig. 7.5B.

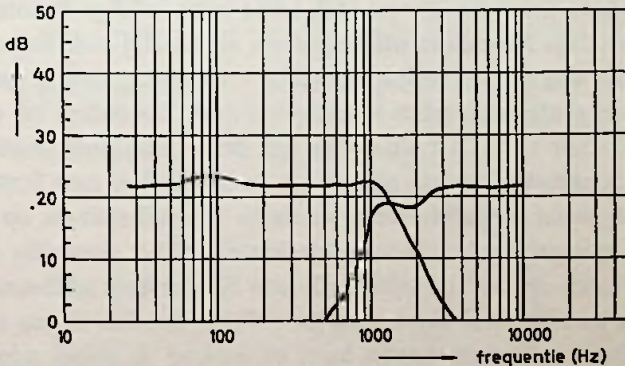


Fig. 7.6B. De karakteristieken van een tweewegsysteem waarbij het „laag”-filter ingesteld is op een overnamefrequentie van 800 Hz en het „hoog”-filter op 2000 Hz. Op de filters zijn in dit geval dezelfde luidsprekers aangesloten als boven. In dit geval spreekt men van een asymmetrisch filter.

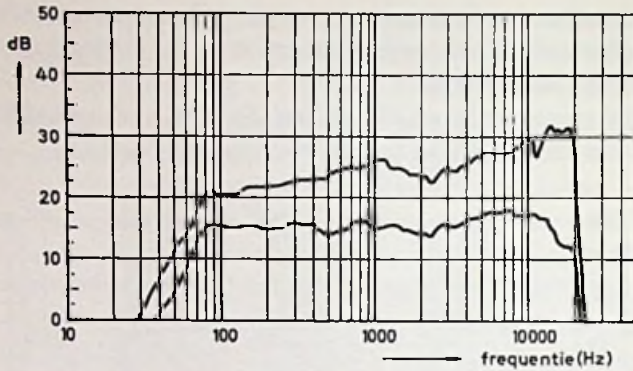


Fig. 7.7. De frequentie- en vermogenskarakteristieken van dezelfde luidsprekers als in fig. 7.5. De filters van het tweewegsysteem zijn nu echter ingesteld op 800 en 2000 Hz. Doordat het filter nu asymmetrisch is ingesteld, is de piek in het middengebiet verdwenen.

De weergave met een driewegsysteem

Als we nagaan waardoor het voorgaande experiment faalde, was dit hoofdzakelijk te wijten aan het impedantieverloop van de luidsprekers in de buurt van de overnamefrequentie. Als we er nu voor gaan zorgen dat dit in de opzet van een ander meerwegstelsel niet voorkomt, kunnen we bij voorbaat rekenen op een goed resultaat. Het voorafgaande houdt wel in dat we de impedatiekrommes van de luidspreker moeten kennen of kunnen (laten) meten.

In de eerste plaats moeten we een goede lagetonenluidspreker kiezen.

De definitieve keuze hangt van veel, soms tegenstrijdige factoren af. Als men een zeer lage frequentie wil weergeven en daarbij ook nog een flinke geluidsenergie eist met zo weinig mogelijk vervorming, dan is men aangevoerd op een grote luidspreker in een grote kast. Bovendien zal deze luidspreker wel duur zijn, daar de conus een flinke amplitude moet kunnen maken en de spreekspoel daarbij niet uit de luchtspleet mag komen zodat een groot en zwaar magneetsysteem nodig is. Meestal stuit dit op grote bezwaren, óf er is geen ruimte voor grote kasten, óf het financiële offer is te groot. Daar met een $10''$ luidspreker in een 50 liter-kast uitstekende resultaten zijn te bereiken, zullen we onze keus hierbij bepalen en een exemplaar opzoeken dat een lage resonantie heeft en waarbij de conus minstens een slag van ongeveer 8 mm kan maken. De praktijk is dat voor deze soort luidsprekers een zware spoel wordt gebruikt, waardoor de impedantie bij 700 à 800 Hz al begint op te lopen. Dit kan aanleiding geven tot moeilijk-

heden in verband met de aanpassing aan de filters, doch daarop komen we straks terug. Een andere reden om niet hoger te gaan met de woofer houdt verband met het optreden van intermodulatie tengevolge van het dopplereffect. Daar het moeilijk is een luidspreker te vinden die van 600–20 000 Hz een constante geluidsenergie afstraalt is het beter een driewegsysteem te bouwen en een goede middentoonluidspreker (squawker) te zoeken. Als we de eerste overnamefrequentie bij ongeveer 500 Hz nemen, moeten we een squawker zoeken die zijn resonantie niet te hoog heeft, daar anders het gevaar bestaat dat de oplopende impedantie bij de resonantie ons in het overnamegebied parten gaat spelen. Een 4" of een 5" luidspreker die aan deze eis voldoet, is geen zeldzaamheid en als de frequentie- en de vermogenskarakteristiek recht zijn tot ongeveer 3000 Hz kan het een goede middentoonluidspreker worden voor ons driewegsysteem.

Tevens moeten we erop gaan letten dat de impedantiekromme boven 3000 Hz niet te snel stijgt daar anders moeilijkheden kunnen worden verwacht in verband met de filters. Voor de tweeter kunnen we dezelfde luidspreker gaan gebruiken als in het vorige geval, maar we stellen ons voor pas over te nemen bij 3000 Hz om niet weer in dezelfde moeilijkheden te verzeilen. In de figuren 7.8 en 7.9 zijn verschillende karakteristieken gegeven die van belang zijn voor het verdere ontwerp van dit driewegsysteem.

De lagetonenluidspreker heeft een resonantie van rond de 25 Hz en de karakteristiek ziet er goed uit. Als we bedenken dat deze luidspreker een diameter heeft van 26 cm en daaruit bepalen dat zijn kantelpunt bij 650 Hz

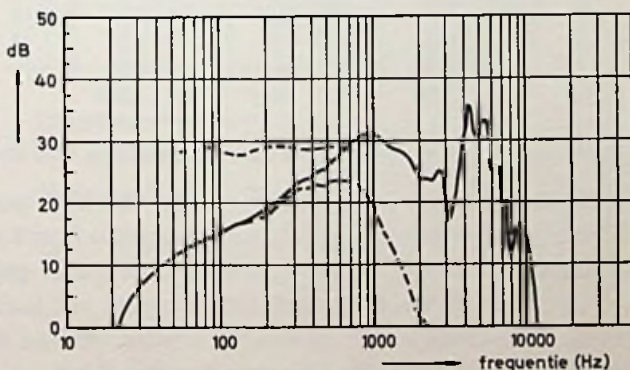


Fig. 7.8A. Frequentiekarakteristiek van een 10" woofer. Gestippeld is aangegeven hoe deze karakteristiek wordt als de luidspreker wordt aangesloten op het „cross-over“-filter dat een overnamefrequentie heeft van 500 Hz.

ligt, kunnen we vanaf deze frequentie de karakteristiek corrigeren. Hij komt dan te liggen op ongeveer 29 dB en zal nog eens 3 dB zakken als de luidspreker in een kast wordt ingebouwd. Het resultaat hiervan is in de figuur gestippeld aangegeven, op een niveau van 26 dB.

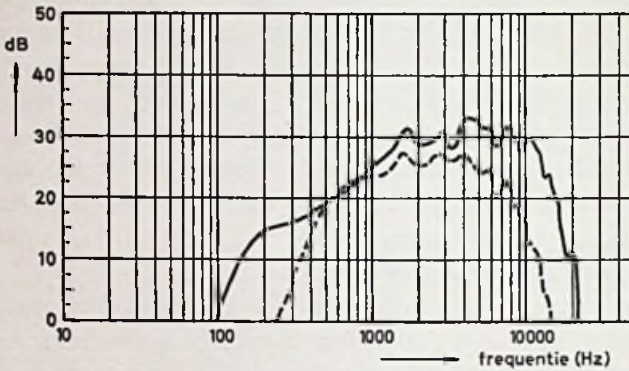


Fig. 7.8B. Dezelfde karakteristieken voor een 4" squawker. De overneemfrequenties zijn hier 500 en 3000 Hz.

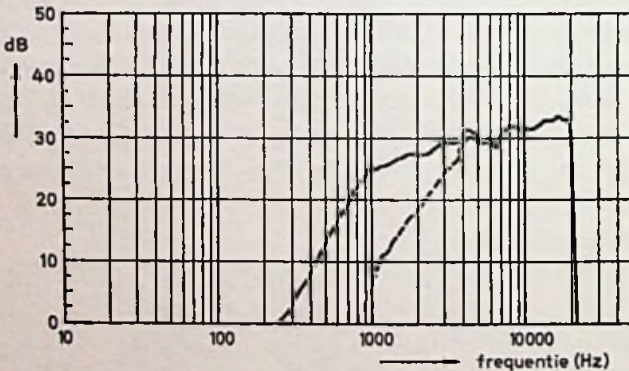


Fig. 7.8C. Hetzelfde voor de tweeter waarbij het filter is ingesteld op 3000 Hz.

De impedantie karakteristiek loopt sneller op dan verwacht werd en zal ongetwijfeld moeilijkheden geven. De piek in de resonantie is niet zo ernstig daar bij de inbouw in een goede kast deze voldoende wordt gedempt en bovendien ligt hij niet in de buurt van het overnamepunt van het filter. De oploop boven de 500 Hz zal verbeterd moeten worden om van een goede afskap van het filter zeker te zijn. Dit kan men bereiken door een geschikte serieschakeling van een weerstand en een condensator parallel aan de luidspreker te zetten. In dit geval is een weerstand van 8 Ω en een condensator

van $20 \mu\text{F}$ gekozen. Het gemeten resultaat is gestippeld aangegeven in fig. 7.9A.

De squawker was 4Ω in plaats van 8Ω waarvoor het systeem is bedoeld, maar daar het rendement van deze luidspreker voldoende groot is, kunnen we er zonder meer een weerstand van 4Ω mee in serie zetten waardoor de gewenste impedantie van 8Ω ontstaat. Een bijkomend voordeel hiervan is

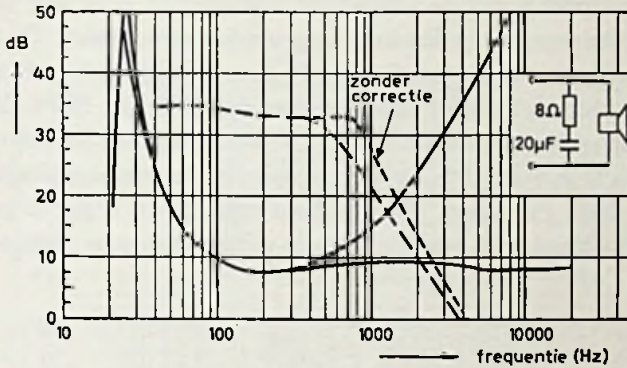


Fig. 7.9A. Het impedantieverloop van de 10" woofer. De steil oplopende kromme in het hoog is zonder correctie, terwijl de vlak doorlopende kromme ontstaat nadat een weerstand van 8Ω en een condensator van $20 \mu\text{F}$ in serie, parallel aan de luidspreker geschakeld zijn. Gestippeld is aangegeven hoe de spanning over de luidspreker verloopt als hij aangesloten is op het filter met een overneemfrequentie van 500 Hz. Duidelijk is te zien dat de spanning niet bij de juiste frequentie daalt als het filter is aangesloten op een luidspreker met oplopende impedantie karakteristiek.

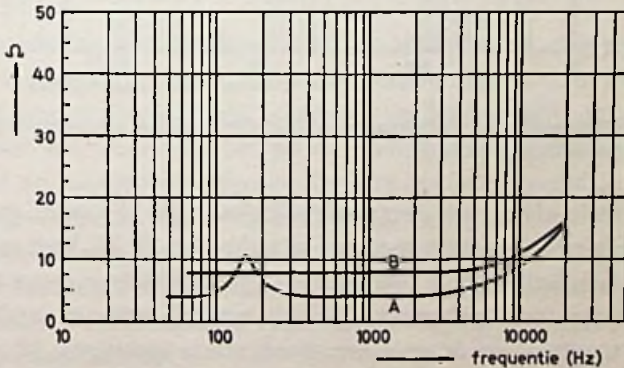


Fig. 7.9B. De impedantie karakteristiek van de 4" middentoon-luidspreker. De luidspreker was 4Ω en kromme A geeft het impedantieverloop weer. Op kromme B is het impedantieverloop aangegeven als een weerstand van 4Ω in serie met de luidspreker is opgenomen en de luidspreker in een klein kastje (gevuld met watten) is gemonteerd.

dat de impedantiecurve die bij 2000 Hz al begon te stijgen dit nu pas bij 5000 Hz gaat doen. De resonantiepiek die in de impedantiecurve is te zien, kan hinderlijk gaan werken op het filter en zal dus weggewerkt moeten worden. De eenvoudigste manier om dit te doen, is het aanbrengen van een mechanische demping in de vorm van een klein kastje waarin de luidspreker wordt gemonteerd. Hierdoor ontstaat de vlakke impedantie-karakteristiek die in de figuur is getekend. Een bijkomend voordeel hiervan is dat de luidspreker aan de achterkant afgeschermd is en dan samen met de laagtonenluidspreker in één kast mag worden gemonteerd. De tweeter is dezelfde als bij de vorige proef en geeft geen moeilijkheden als maar niet wordt overgenomen bij een frequentie lager dan 3000 Hz. Door alle voorafgaande maatregelen hebben we nu een stel luidsprekers die geschikt zijn voor het door ons te bouwen driewegsysteem, waarbij de overnamefrequenties op 500 Hz en 3000 Hz liggen. Het resultaat van een en ander is gegeven in fig. 7.10. De akoestische box die op deze wijze ontstaan is, behoort wel tot

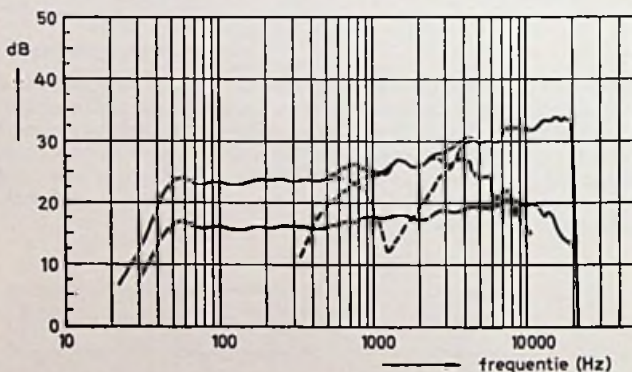


Fig. 7.10. De frequentie- en vermogenskarakteristieken van een driewegsysteem gemaakt volgens de beschrijving in dit boek.

een zeer goede klasse, de weergavekwaliteiten zijn bijzonder goed en de combinatie is zeker geschikt voor een belasting van 20 W. Stelt men hogere eisen aan de belastbaarheid dan zal men zijn toevlucht moeten nemen tot het gebruik van meer luidsprekers per tak, waarbij serie- of parallelschakeling wordt toegepast om de gewenste impedantie te verkrijgen. Bij het zoeken naar geschikte luidsprekers voor een meerwegstelsel wil het nogal eens voorkomen dat de rendementen van de luidsprekers onderling te veel verschillen om een goede balans te krijgen tussen het hoog, het laag en het

midden. In dergelijke gevallen zullen we één of meer luidsprekers moeten verzwakken. Een belangrijke eis waaraan moet worden voldaan, is in de eerste plaats dat de impedantie hierbij hetzelfde moet blijven. Het zonder meer voorschakelen van een weerstand kan dus niet, altijd zal er ook één parallel aan de luidspreker moeten worden geschakeld. In fig. 7.11 is een grafiek getekend waarop de gewenste weerstandswaarden zijn af te lezen voor een luidspreker van 4, 8 of 16 Ω als een bepaalde verzwakking wordt gewenst.

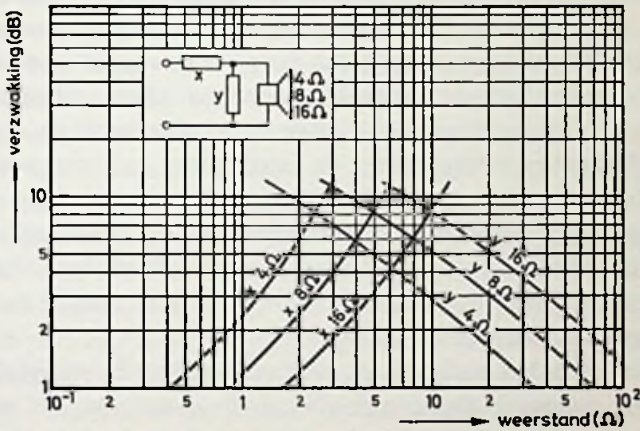


Fig. 7.11. Grafiek om de waarden van de serie- en parallelweerstand af te lezen, die nodig zijn om een luidspreker van 4, 8 of 16 Ω een gewenst aantal decibell te verzwakken.

Daar nu de meeste problemen rond het kiezen en combineren van luidsprekers voor een topklasse-luidsprekersysteem aan de orde zijn geweest, zullen we ons in de volgende hoofdstukken bezighouden met praktische vragen over het maken en het op de juiste manier dempen van kasten. Tevens zal o.a. aandacht worden geschonken aan het vervaardigen van spoelen en de juiste keuze van de condensatoren voor de cross-over-filters. Hoe de luidsprekerkasten kunnen worden opgesteld in de luisterruimte en wat de belangrijkste eigenschappen van de versterkers zijn die verband houden met de akoestische resultaten die er mee kunnen worden verkregen, zal daarna nog aan de orde komen.

De bouw van een luidsprekerkast

Nu we ons gaan bezighouden met het maken van een geschikte kast voor luidsprekers, is het nuttig eerst eens na te gaan aan welke technische eisen zo'n kast moet voldoen. We kunnen hiervoor het beste van de gedachte uitgaan dat de kast dient om te voorkomen dat de akoestische energie, die vanaf de achterkant van de luidspreker komt, invloed gaat uitoefenen op het geluid dat aan de voorkant wordt uitgestraald. Dit houdt in, dat de kast geheel luchtdicht moet zijn en dat de wanden aan de binnenkant met geluidabsorberende materialen moeten worden bekleed. Bovendien moeten de wanden voldoende stijf zijn om te verhinderen dat ze, onder invloed van de in de kast optredende over- en onderdrukken, gaan doorbuigen of meetrillen. Een andere functie van de kast is een bijdrage te leveren aan de mechanische demping van de luidspreker.

Ook hiervoor is het nodig dat de kast van voldoende stevigheid en van een geschikt volume is. Om aan de eis van stevig en luchtdicht te voldoen, zijn heel wat constructies aanbevolen. Een van de meest bekende is wel de wanden van baksteen te maken. In dit geval kunnen we beter de algemene term „de behuizing” van de luidspreker gebruiken, dan te spreken van een kast. Toch is het metselen van zo'n „huis” voor de lagetonenluidspreker een uitstekend idee en akoestisch kunnen we niet beter wensen. Daar het echter in veel huizen een „sta in de weg” zal zijn, vooral daar tegenwoordig stereo wordt bedreven en meestal twee van deze bouwsels worden gebruikt, zal een andere manier de voorkeur verdienen. Daar aan de eis, stevig en luchtdicht, ook wel op een eenvoudiger wijze kan worden voldaan, laten we het metselen maar over aan de liefhebbers, of aan die doe-het-zelvers die nog een lege ingebouwde kast of een oude schoorsteen over hebben. Het gebruik van een stuk rioleringspijp of een oude dekenkist behoort ook tot de mogelijkheden, maar al dergelijke oplossingen, die soms heel goed kunnen zijn, laten we over aan de vindingrijke lezer die in zijn speciaal geval hier iets aan heeft.

Het maken van een gesloten kast

In de meeste gevallen zal men een kast gaan bouwen die het voordeel heeft dat hij gemakkelijk te plaatsen en te verplaatsen is. Over het algemeen zullen we hout gebruiken, ofschoon ook andere materialen niet uitgesloten mogen worden. Met het oog op de bewerkbaarheid zal echter hout de voorkeur verdienen.

Om de wanden voldoende „dood” te maken (hiermee bedoelt men dat het mee gaan trillen van de wanden moet worden voorkomen), worden wel kasten aanbevolen met dubbele wanden, opgevuld met zand. Hiertegen is geen enkel bezwaar afgezien van het feit dat deze kasten „loodzwaar” zijn, wat de eventuele verplaatsbaarheid niet ten goede komt. Een ander nadeel van zo'n bouwwerk is het vele werk dat een dergelijke constructie met zich meebrengt, terwijl „gewone” kasten ook uitstekend kunnen voldoen. Door goed hout van voldoende dikte te kiezen, kan altijd wel aan de belangrijke eis van de stevigheid worden voldaan. Als „vuistregel” kunnen we aanhouden dat voor een 3 liter-kast een houtdikte van 10 mm wel voldoende is als we bijvoorbeeld multiplex gebruiken of een houtsoort van een gelijkwaardige stevigheid. Voor een 7 liter-kast is 15 mm voldoende terwijl van 7 liter tot ongeveer 35 liter de dikte wel 20 mm mag worden. Voor nog grotere kasten zal 25 mm meestal dik genoeg zijn. In plaats van de inhoud van de kast zou de oppervlakte van de wanden een betere maat zijn voor de te gebruiken houtdikte, maar als we een geschikt model aan de kast geven en hem niet al te ondiep maken, zijn de oppervlakten van de wanden ook min of meer bepaald, als het volume bekend is.

De gemakkelijkste manier om een kast te maken, is de op maat gezaagde wanden gewoon tegen elkaar te timmeren, maar een stevige constructie zal dan niet ontstaan, terwijl het luchtdicht zijn van de kast ook aan het toeval wordt overgelaten. Veel beter lukt het als men de loodrecht op elkaar staande wanden met behulp van daarvoor geschikte latten aan elkaar bevestigt. Het hechtingsvlak is dan veel groter en de houtschroeven die worden gebruikt, hebben in dit geval beter houvast. Behalve het vastschroeven van de latten, is het raadzaam ook houtlijm te gebruiken, waardoor de constructie veel steviger wordt en de naden gemakkelijker luchtdicht zijn te maken. Als we ervoor zorgen dat de wanden waaruit de kast is opgebouwd goed recht afgezaagd en onderling goed aan de maat zijn, kunnen we een hoop moeilijkheden voorkomen en zal een lekke kast een uitzondering zijn.

Meestal kan men tegenwoordig het hout op de gewenste maat kopen, zodat het recht afzagen, wat toch wel enige handigheid en goed gereedschap

vereist, niet meer kan mislukken. Het toepassen van verschillende houtverbindingen zoals zwaluwstaarten en enkele of dubbele sponningen is prima, maar dergelijke sterke, doch voor de amateur moeilijke constructies, kan men beter overlaten aan de vakman. Heeft men de nodige ervaring, handigheid en tijd, dan is er echter niets op tegen om ook eens een stukje vakmanswerk te leveren, waar familie en kennissen versteld van staan. In fig. 8.1 is een en ander nog eens toegelicht en de tekening spreekt wel voor zichzelf.

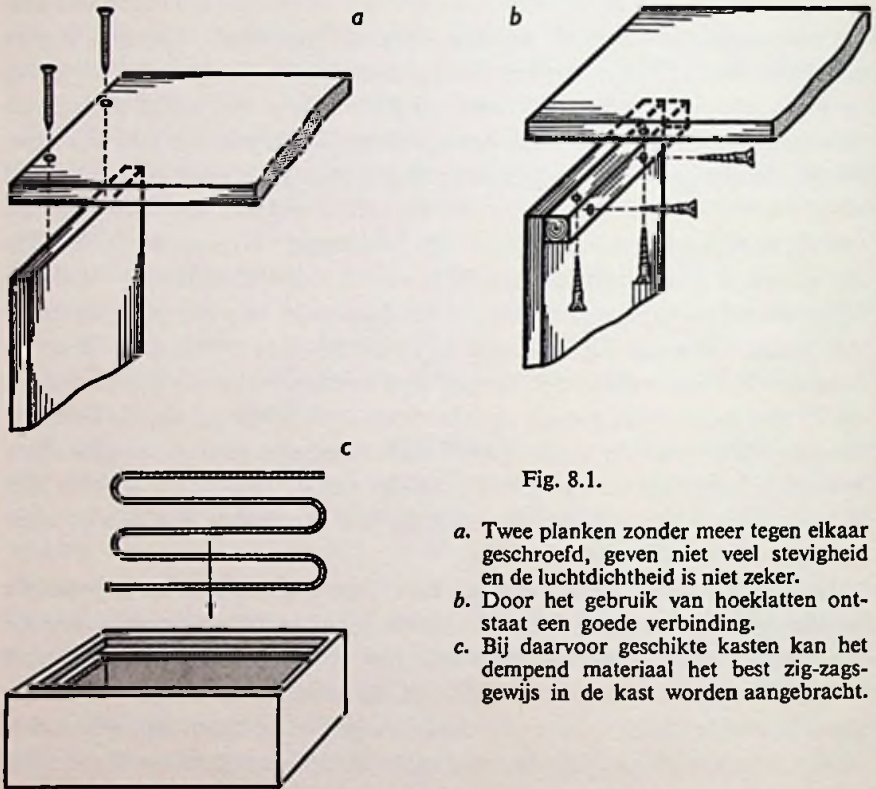


Fig. 8.1.

- a. Twee planken zonder meer tegen elkaar geschroefd, geven niet veel stevigheid en de luchtdichtheid is niet zeker.
- b. Door het gebruik van hoeklatten ontstaat een goede verbinding.
- c. Bij daarvoor geschikte kasten kan het dempend materiaal het best zig-zagsgewijs in de kast worden aangebracht.

Om het geheel gemakkelijk te kunnen samenstellen, wordt de frontplaat waarop de luidsprekers en het filter worden gemonteerd meestal uitneembaar gemaakt. Dit wil zeggen dat de frontplaat niet in de kast wordt vastgelijmd maar alleen maar geschroefd. Om ook in dit geval een luchtdichte afsluiting te verkrijgen, kan men het beste een plastic strip zoals bijv. tochtband tussen frontplaat en kast aanbrengen.

Nu we de gewenste stevige en luchtdichte kast hebben besproken, zullen

Het bouwen van een kast — in woord en beeld

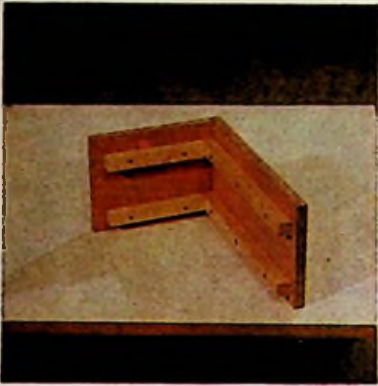
De hiervolgende foto's werden opgenomen tijdens het bouwen van een 7-liter kast, volgens het systeem dat op blz. 120 e.v. is beschreven. Nadat het hout volgens de gegevens in de tabel op blz. 116 op maat is gezaagd, worden de gaten als aangegeven op de betreffende schets in het klankbord gemaakt. Voor de wanden is multiplex gebruikt, terwijl de hoeklatjes en het frame waarop het luidsprekerdoek wordt aangebracht, van vurenhout zijn gemaakt. Het materiaal voor het luidsprekerdoek moet voldoende open zijn, zodat een vrije geluidsuitstraling voor alle frequenties mogelijk is.



Alle delen zijn op maat gezaagd en klaar gelegd voor het in elkaar zetten. De latjes voor het frame van het luidsprekerdoek liggen op de hoek van de tafel.



Het plaatsen van de hoeklatjes: De onderkant moet in één vlak komen te liggen met de boven- en zijpanelen. De latjes worden met lijm en schroeven bevestigd.



De bovenkant en een zijkant tegen elkaar geplaatst. De plaats van de schroeven is duidelijk zichtbaar.



Het klankbord is dof zwart gemaakt en vervolgens is de tweeter gemonteerd. Daarna wordt de woofer bevestigd. Onder de schroefkoppen worden sluitringen aangebracht.

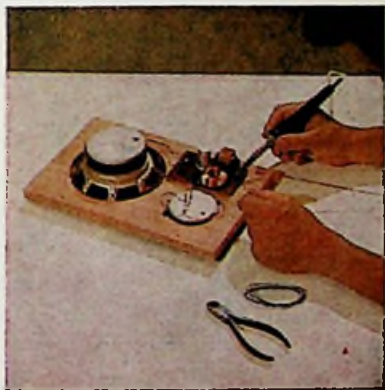


De gedrukte bedrading en de onderdelen van het scheidingsfilter. De draad dient voor het aansluiten van de luidspreker.

Het gemonteerde scheidingsfilter. De schroeven en de afstandsbusjes, waarmee het filter op het klankbord wordt bevestigd, zijn duidelijk zichtbaar. Als geen afstandsbusjes worden gebruikt tussen het gedrukte bedradingspaneel en het klankbord, kan het paneel gemakkelijk breken.



Het aansluiten van de luidsprekers aan het scheidingsfilter. Het verbindingssnoer tussen de kast en de versterker wordt nu aangesloten. De kleine inkepingen voor de tweeteraansluitlippen zijn duidelijk zichtbaar. De (+) aansluiting op de luidspreker is door een rode cirkel bij de aansluitlip aangegeven. De (-) aansluiting is niet gemerkt.

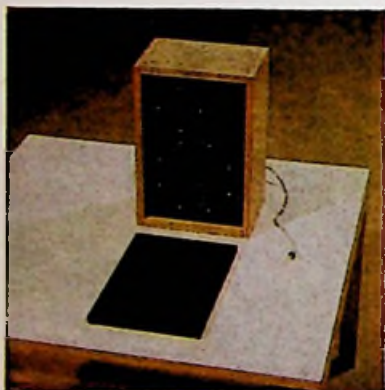


Het in elkaar schroeven van de kast. Door middel van de achterwand worden de boven- en de onderwand evenals de twee zijwanden samengevoegd tot een kist. Er wordt overvloedig lijm gebruikt om er zeker van te zijn dat de kast luchtdicht wordt. Lange hout-schroeven zorgen voor de stevigheid van de kast.

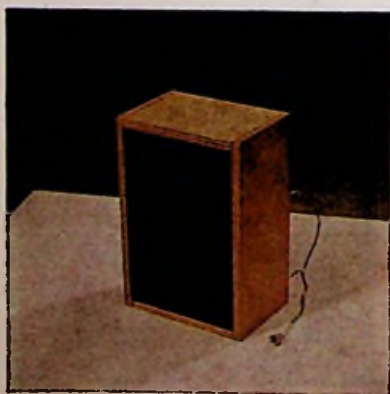




Het raamwerk met luidsprekerdoek (sierfront). Het is niet nodig de achterkant van de lijst (op de foto zichtbaar) zwart te schilderen. Het doek wordt op de lijst gespannen en gelijmd. Gedurende het drogen van de lijm kan het doek door middel van enkele spijkertjes op zijn plaats gehouden worden. Om vlekken op het doek te voorkomen is het aan te raden alleen op de achterkant van het raamwerk lijm aan te brengen.



De glaswol is aangebracht, het klankbord op zijn plaats geschroefd. Een schuimplastic strip tussen het klankbord en de latten in de kast zorgt voor de luchtdichtheid. Let op de 10 mm ruimte die aanwezig is voor het plaatsen van het sierfront.



De kast is nu gereed. Omdat de houtskleur bij deze kast naturel is, zal met een laagje blanke lak een aantrekkelijk uiterlijk te verkrijgen zijn.

we even aandacht moeten besteden aan het bekleden van de binnenkant met geluidabsorberende materialen. Tegenwoordig wordt daarvoor een dikke laag glaswol gebruikt. Glaswol is te krijgen bij de handel in bouwmaterialen ofschoon ook de zaken die luidsprekers verkopen er steeds meer toe overgaan de voor luidsprekerkasten geschikte glaswolmatten in voorraad te hebben. De glaswol, meestal lichtgeel van kleur, heeft voldoende samenhang om als een soort deken te worden gebruikt. De eenvoudigste manier om de glaswolmat in de kast aan te brengen is een strip glaswol, even breed als de binnenwerkse breedtematen van de kast, zigzagsgewijs losjes in de kast te stapelen, totdat deze „vol” is (fig. 8.1c), waarna de frontplaat met de onderdelen erop als een soort deksel op de kist kan worden geschroefd. Het verbindingsnoer tussen luidsprekerkast en versterker dat meestal door een gat in de achterwand loopt, moet inmiddels ook aangesloten zijn op het filter. Om te voorkomen dat bij een ruk aan het snoer de verbindingen aan het filter beschadigen, kan men een knoop in het snoer leggen zodat deze de krachten op kan vangen, als hij voor het gat in de achterwand blijft hangen. Een stekerverbinding kan natuurlijk ook worden gebruikt.

Het gat in de achterwand moet niet te groot worden gemaakt want dan zou lek kunnen gaan optreden. Indien dit niet lukt, kan men het gat eventueel dichtsmen met een of andere kit. In plaats van glaswol zijn ook materialen als verpakkingswatten (stofleederswatten), kapok of „kramforac” geschikt voor het bekleden van de kast.

De meeste soorten schuimplastic zijn niet geschikt, daar ze meestal een te hard oppervlak hebben en te „dicht” zijn waardoor het geluid niet voldoende goed geabsorbeerd wordt. In het geval dat men kapok of losse watten gebruikt, moet wel worden voorkomen dat ze bij het sluiten van de kast tegen de achterkant van de luidsprekerconus komen. Het is dan aan te bevelen de achterkant van de luidspreker af te dekken met een dunne doek.

Niet altijd is het nodig de kast helemaal op te vullen met absorberende materialen, ofschoon het wel gemakkelijk werkt. Voor grote kasten zou men dan veel meer materiaal gebruiken dan nodig is. In dergelijke gevallen kan men ook alleen de wanden gaan bekleden. De glaswolmat of wattendeken kan dan losjes aan de binnenzijde van de wanden worden opgehangen. De dikte ervan moet echter op zijn minst 5 cm zijn en om hem te bevestigen kunnen bijv. lange spijkers worden gebruikt. Onder de kop daarvan brengen we een kartonnen schijfje aan om te voorkomen dat de bekleding er gemakkelijk af kan glijden. Het is niet nodig ook de frontplaat waarop de luidsprekers zijn gemonteerd met absorberend materiaal te bedekken.

Het maken en het monteren van de frontplaat zal geen speciale moeilijkheden opleveren. We gaan uit van een stevige plank, waarin passende gaten zijn gemaakt voor de diverse luidsprekers die we willen gebruiken. In het algemeen is het raadzaam de luidsprekers zó te monteren, dat het geluid aan de voorkant ongehinderd naar alle kanten kan uitstralen. Het is daarom niet aan te bevelen ze aan de achterkant van de frontplaat te monteren, omdat deze meestal nogal dik is. Beter is ze aan de voorkant te monteren. Hierdoor wordt voorkomen dat de uitstraling op de één of andere manier wordt belemmerd, zodat akoestische onvolkomenheden, die hiervan het gevolg zouden kunnen zijn, worden vermeden. Een bijkomend voordeel is dat het bij een kleine storing gemakkelijk is één van de luidsprekers los te kunnen nemen, in plaats van tot algehele sloop over te moeten gaan. In fig. 8.2 wordt een en ander nog eens duidelijk gemaakt. Met uitzondering van de lage-

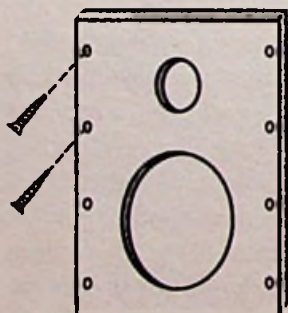
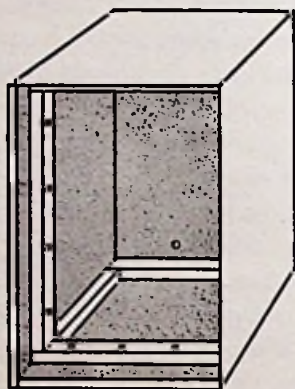


Fig. 8.2. Duidelijk is hier aangegeven dat de luidsprekerplank als laatste in de box kan worden vastgeschroefd. Om luchtdichtheid te verzekeren, kan tussen de plank en de latten tochtband of iets dergelijks worden aangebracht.

tonenluidspreker moeten alle luidsprekers aan de achterkant luchtdicht worden afgesloten. Hierdoor wordt voorkomen dat bij het naar binnen gaan

van de conus van de woofer (waardoor een overdruk in de kast ontstaat) de conus van één van de andere luidsprekers naar buiten wordt geperst. De kans bestaat dan dat de spreekspoel hiervan zo ver uit de luchtspleet raakt, dat de signalen die aan deze luidspreker worden toegevoerd vervormd worden weergegeven. Bovendien wordt de weergave van het laag verminderd, omdat nu als het ware twee conussen in tegenfase werken.

Het afdekken van de luidspreker geschiedt meestal door hierover een of andere doos of pot te plaatsen die luchtdicht tegen het voorfront wordt bevestigd. Voor dit kleine kastje gelden dezelfde regels als voor de grote kast; stevig, luchtdicht en aan de binnenkant voorzien van absorberend materiaal. De afmetingen van het kastje hangen nauw samen met de gebruikte luidspreker en de overneemfrequentie. Vooral bij lage overneemfrequenties moet men erop letten dat het kastje niet zó klein wordt gemaakt dat de resonantie van de luidspreker in het kastje hoger wordt dan de gekozen overneemfrequentie. Voor de berekening van de inhoud kan men de in een van de vorige hoofdstukken gegeven formules gebruiken. Soms komt het voor, dat het membraan van de luidspreker van achteren al is afgesloten door de kap van de luidspreker of het magneetsysteem. In dat geval is het afdekken met een extra kastje niet meer nodig.

Ter verduidelijking wordt een en ander nog eens in fig. 8.3 in beeld gebracht.

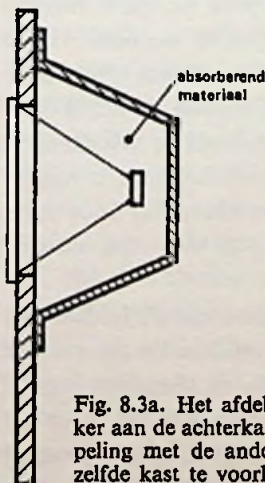


Fig. 8.3a. Het afdekken van een luidspreker aan de achterkant om akoestische koppeling met de andere luidsprekers in dezelfde kast te voorkomen.

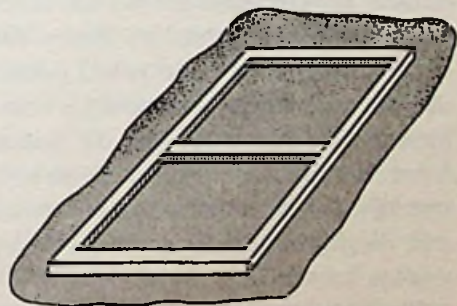


Fig. 8.3b. Raamwerk om het luidsprekerdoek op te plakken.

Als de frontplaat geheel gereed is, kan hij in de box worden geschroefd, waarna de luidsprekerkast klaar is voor de eerste akoestische test. De ver-

dere afwerking van de luidsprekerbox is veelal een kwestie van smaak. In hobbyboeken en tijdschriften worden verschillende mogelijkheden hiervoor gegeven. Men kan de box fineren of beplakken met kunstleer, verven of schuren en met blanke lak behandelen. In folders van fabrikanten van verf of plakplastics staan „tips” in overvloed. We zullen hierop niet verder ingaan daar het geen invloed heeft op de akoestische eigenschappen van het luidsprekersysteem waar het hier uiteindelijk om gaat. Wel zullen we even stil moeten staan bij de afwerking van de voorkant, daar niemand zich gelukkig voelt met een akoestische box waarvan de luidsprekers zichtbaar zijn. Om het aanzicht van de box acceptabel te maken, wordt de voorkant meestal afgewerkt met doek of geperforeerd metaalplaat. Indien de luidsprekers te veel worden afgedekt bestaat de kans dat de weergavekwaliteit achteruitgaat. Het geluid moet ongehinderd naar alle kanten uitstralen en daarom zal de doorlaatbaarheid van de gebruikte stof of het gaas voldoende moeten zijn. Een vaste regel hiervoor is niet gemakkelijk te geven. Als vuistregel kunnen we stellen dat het siermateriaal niet te dik moet zijn, ongeveer één mm. Verder kunnen we stellen dat het geluid voldoende vrij kan uitstralen als we er voor zorgen dat minstens 25% „gat” aanwezig is, tegenover 75% materiaal. Hierbij moeten we wel bedenken dat deze 25% gelijkmatig over het oppervlak verdeeld moet zijn. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als we metaalgaas gebruiken of een niet te dicht geweven stof. Diepe smalle spleten en dicht geweven doek hebben een nadelige invloed op de weergave van een bepaald frequentiegebied en dienen daarom vermeden te worden. Als de doorlaatbaarheid voor het geluid gunstig is, brengt dit met zich mee dat de stof ook min of meer doorzichtig is zodat de luidsprekers zich door het doek heen donker aftekenen. Om dit hinderlijke bijverschijnsel te voorkomen, is het raadzaam de voorkant van de box achter het doek dofzwart te maken met bijv. schoolbordenverf of zwarte waterbeits. Niet alleen het hout maar ook de glimmende delen van de luidsprekerkap die te zien zijn, moeten worden behandeld.

Het spreekt wel vanzelf dat de conus en de conusrand van de luidspreker niet mogen worden ingesmeerd met deze dofzwarte verf daar de akoestische eigenschappen dan zullen veranderen. Bovendien zijn de conussen van de meeste luidsprekers daarom al door de fabrikant donker gekleurd. Voor het geval dat de box wordt afgewerkt met stof is het gunstig dit op een passend raamwerk te spannen dat dan in zijn geheel aan de voorkant van de box kan worden bevestigd (fig. 8.3b). Ook kan men uitgaan van bijvoorbeeld hardboard waarvan het materiaal weggenomen is op die plaatsen waar de

luidsprekers zich bevinden. Het geheel kan dan worden beplakt met de gewenste stof terwijl aan de achterkant bijv. stroken klitteband gebruikt kunnen worden voor het afneembaar bevestigen van dit sierfront aan de luidsprekerkast. De voorkant van de kast wordt hiertoe ook voorzien van corresponderende stroken van bovengenoemd band. Bovenstaande zijn maar enkele uit de vele mogelijkheden en het toepassen van andere methoden wordt overgelaten aan het inzicht van de lezer.

Het maken van een scheidingsfilter

De elektrische eigenschappen van de scheidingsfilters, die nodig zijn voor meerwegsysteemen, zijn al in een van de vorige hoofdstukken besproken. Hier zullen we ons bezig gaan houden met de mechanische aspecten ervan. Voordat we daarop verder ingaan, is het van belang te weten dat deze filters, die vroeger bijna niet waren te krijgen, nu door verschillende handelaren te koop aangeboden worden. Meestal kan men ze krijgen in de vorm van een dubbelfilter met een bepaalde overneemfrequentie maar ook zijn er wel enkelvoudige filters op de markt. Door het combineren van verschillende filters kan men zelf een meerwegsysteem maken. In het laatste geval moet men bij het aansluiten van de luidsprekers wel letten op de „plus” en de „min” van de aansluitklemmen. In het hoofdstuk waar de elektrische eigenschappen van de filters aan de orde waren, is hieraan voldoende aandacht besteed, zodat dit geen speciale moeilijkheden met zich meebrengt. Van belang voor het aanschaffen van een filter is dat men goed weet wat de impedantie van de luidspreker is die men op het filter wil aansluiten en voor welke overneemfrequentie het bedoeld is. Het lijkt ons hier de juiste plaats er nog even op te wijzen dat de ohm-weerstand van de filterspoelen niet te groot mag worden ten opzichte van de weerstand van de luidspreker die er op aangesloten zal worden. Over het algemeen kunnen we stellen dat de weerstand van een filterspoel voor een luidspreker niet groter mag worden dan 10% van de impedantie van deze luidspreker.

Naast de aanbieding van de filters in onderdelen, ziet men steeds meer aanbiedingen van filterpakketten waarbij behalve de spoelen en de condensatoren, ook een montageplaat met gedrukte bedrading is verpakt. Vaak bevinden zich hierbij uitgebreide bouwaanwijzingen, zodat het monteren ook geen moeilijkheden meer kan geven.

Voor de doe-het-zelver kan het toch nog interessant zijn zelf zijn spoelen te maken en voor hem volgen hieronder enige aanwijzingen.

Hoe groot de zelfinductie van de spoel moet worden voor een bepaalde

overneemfrequentie is in een van de vorige hoofdstukken al behandeld, hier zullen we het aantal windingen bepalen dat daarvoor nodig is. Het beste kan dat worden gedaan aan de hand van een grafiek waarop het aantal benodigde windingen is aangegeven.

Daar de zelfinductie ook afhangt van de vorm van de spoel moet, behalve het aantal windingen, ook de vorm van de spoel worden gegeven waarbij tevens de diameter van de gebruikte draad wordt vastgelegd. Spoelvormen kunnen worden gemaakt van hout, plastic of een ander isolatiemateriaal (fig. 8.4). IJzer of koper is niet geschikt, daar dit invloed zal hebben op de zelfinductie, waardoor het opgegeven aantal windingen niet meer klopt. Door het gebruik van ijzer kan de zelfinductie worden verhoogd, maar dan zal een speciaal voor dit doel bruikbare soort moeten worden toegepast.

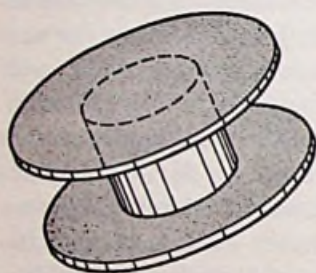
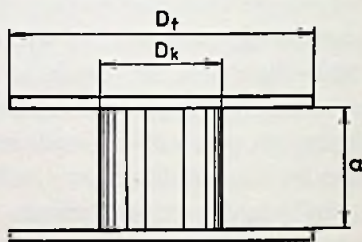


Fig. 8.4. Spoelvorm om draad op te wikkelen.



Maten in mm

spoel-vorm	D_k	D_f	a
A	20	50	12
B	25	65	25
C	25	80	40

Fig. 8.5

In de regel wordt zo'n kern, waar de windingen omheen gelegd worden, opgebouwd uit een stapel dunne blikjes, om allerlei verliezen die in het ijzer kunnen optreden te voorkomen (transformatorblik). Wanneer men de spoel zelf wil maken, is het beter een luchtspoel (een spoel zonder ijzeren kern) te kiezen, omdat dan geen rekening hoeft te worden gehouden met de magnetische eigenschappen van het ijzer en de aan te brengen luchtspleet in het ijzercircuit. In fig. 8.5 zijn verschillende spoelvormen gegeven en tevens is vermeld hoeveel windingen erop moeten om een bepaalde zelfinductie te verkrijgen als de aangegeven draaddiameter wordt aangehouden. De voorgeschreven spoelkoker moet voldoende stevige flenzen bezitten; anders is de

Fig. 8.5. Gegevens om spoelen voor „cross-over“-filters te maken. In de grafieken is aangegeven bij welk aantal windingen de spoel een weerstand heeft van $0,85 \Omega$ (ruim 10% van 8Ω).

Fig. 8.5A. Aantal windingen dat nodig is om een bepaalde zelfinductie te krijgen met koperdraad waarvan de diameter 0,7 mm is en spoelvorm A wordt gebruikt.

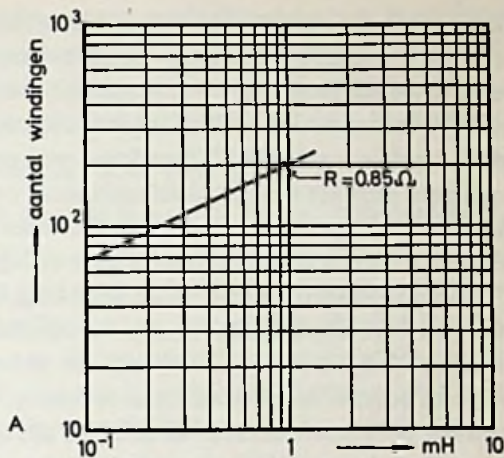


Fig. 8.5B. De resultaten die verkregen worden als draad met een diameter van 1 mm wordt gebruikt op spoelvorm B.

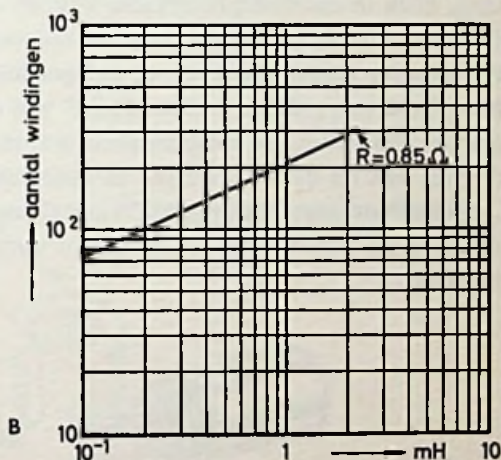
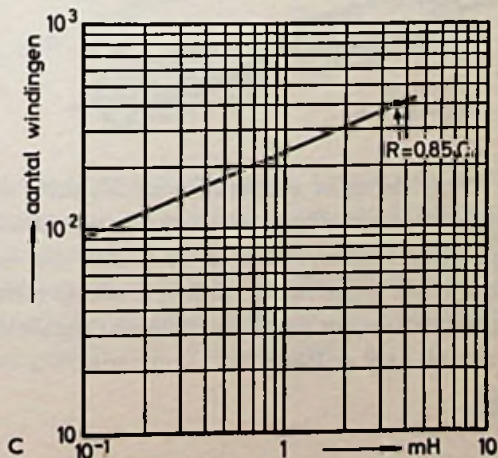


Fig. 8.5C. Het aantal windingen dat nodig is als spoelvorm C wordt gebruikt en koperdraad met een diameter van 1,2 mm.



kans groot dat deze fienzen tijdens het wikkelen van de spoel van de koker afbreken, omdat de zijwaarts gerichte krachten dan nogal groot kunnen zijn. Voor de draadsoort wordt meestal geëmailleerd koperdraad gebruikt, dat over het algemeen in de daarvoor in aanmerking komende zaken voor dit doel wordt aangeboden. Koperdraad met een andere isolatie is natuurlijk ook goed mits het aantal wikkelingen maar op de voorgeschreven spoelvorm kan, wat met geëmailleerd koperdraad zeker lukt als men probeert de windingen zo netjes mogelijk naast elkaar te leggen.

De condensatoren die voor de scheidingsfilters worden gebruikt, hebben voor de lage impedanties van de luidsprekers een nogal hoge capaciteitswaarde. Daarom is het in verband met afmetingen en prijs meer praktisch om elektrolytische condensatoren te nemen. We moeten hierbij wel bedenken dat deze condensatoren in principe alleen geschikt zijn voor gelijkspanning, doch in een luidsprekerketen worden aangesloten op wisselspanning. Daarom moeten we bij de aanschaf hiervan een bipolaire elektrolytische condensator nemen die hiervoor wel geschikt is. Als er moeilijkheden zijn in verband met „niet in voorraad zijn” van dit type, kunnen eventueel ook gewone elektrolytische condensatoren worden gebruikt maar dan moet men er twee van de dubbele waarde in serie schakelen en wel zodanig dat de „minnen” (eventueel de „plussen”) met elkaar worden verbonden. Voorbeelden hiervan worden gegeven in fig. 8.6 waar een en ander nog eens wordt toegelicht.

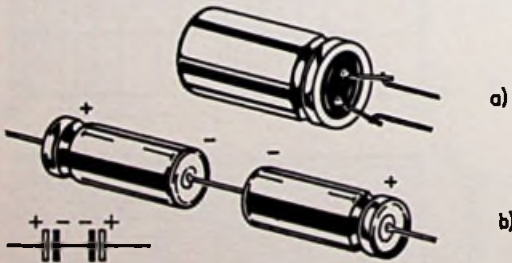


Fig. 8.6.a. Een bipolaire elektrolytische condensator.
b. Twee normale elektrolytische condensatoren zodanig geschakeld dat een bipolaire ontstaat.

Voor de lagere capaciteitswaarden moet men bij voorkeur condensatoren gebruiken met papier of plastic als tussenstof. Tegenwoordig zijn er bijv. al polyestercondensatoren in de handel die een waarde hebben van $5,6 \mu\text{F}$ zodat het beneden die waarde is aan te raden dit type te gebruiken. Eventueel kan men er twee van deze soort parallel schakelen waardoor een waarde van $11,2 \mu\text{F}$ ontstaat.

De spanning waarvoor de condensatoren geschikt moeten zijn, is eenvoudig vast te stellen. Het totale vermogen dat aan het geluidssysteem wordt toegevoerd, is gelijk aan het kwadraat van de spanning op de aansluitklemmen, gedeeld door de impedantie van het luidsprekersysteem. In formule:

$$W = E^2/R \text{ of } E = \sqrt{W \times R}$$

Voor een installatie van 8Ω die geschikt is voor 40 W , wordt de berekende spanning dus $\sqrt{40 \times 8} = 18 \text{ V}$. Voor deze spanning moeten de condensatoren geschikt zijn. Voor het geval dat geen bipolaire condensatoren te krijgen zijn en de normale gebruikt worden, moeten we rekening houden met de optredende topwaarde van de bovengenoemde wisselspanning die $\sqrt{2}$ maal zo groot is ofwel 25 V . Daar in dit geval altijd 2 condensatoren in serie staan, moet ieder geschikt zijn voor de helft van bovengenoemde spanning, d.i. $12\frac{1}{2} \text{ V}$.

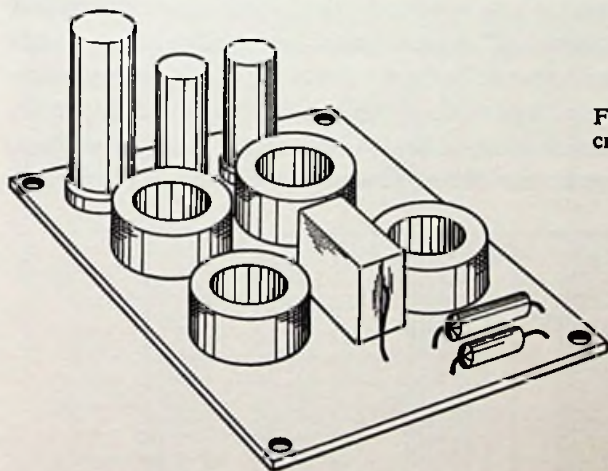


Fig. 8.6.c. Samengesteld cross-over-filter.

Door de onderdelen waaruit het filter is opgebouwd, op een geschikte plaat van plastic of hout te monteren en volgens het schema te bedraden, wordt het samenstel gemakkelijk hanteerbaar waardoor het eenvoudig is het filter in zijn geheel op de frontplaat, waarop ook de luidsprekers zijn gemonteerd, te bevestigen (fig. 8.6c.). De samenstelling van het filter en de luidsprekers op deze plank is nu gemakkelijk te controleren.

De belastbaarheid van een luidsprekersysteem

In een van de vorige hoofdstukken is deze term al aan de orde geweest, maar in verband met het gebruik van meer dan één luidspreker in een weergeefstelsel is het nodig om hierop nog even terug te komen. Allereerst zullen we ons moeten gaan verdiepen in de beproevingsmethode, waarmee getest wordt of een luidspreker of luidsprekersysteem geschikt is voor een bepaalde belastbaarheid van bijv. 6 of 8 W.

Hiervoor gelden regels die door een internationale commissie (I.E.C.) zijn vastgelegd, zodat niet iedere fabrikant naar eigen goeddunken maar wat kan opgeven. In publikatie 268-5 van de I.E.C. wordt aangegeven hoe een levensduurtest moet worden uitgevoerd. Het komt hierop neer dat aan een luidspreker een elektrisch vermogen wordt toegevoerd dat gelijk is aan de verwachte belastbaarheid, gedurende 100 uur. Na deze test mag de luidspreker niet beschadigd zijn en moeten de akoestische eigenschappen ook nog goed zijn. De frequentieverdeling van het toegevoerde elektrische vermogen is bij deze test ook omschreven en is zodanig dat bij een levensduurtest van 100 uur, aangenomen mag worden dat de desbetreffende luidspreker zeer lange tijd met een „normaal” muzieksignaal kan worden belast zonder dat er enige beschadiging optreedt. In fig. 8.7 is van dit testsignaal een voorbeeld gegeven. Voor de zeer lage en hoge tonen is de energie niet erg groot, de meeste energie zit tussen de 50 en de 300 Hz. We moeten hierbij opmerken, dat in het laag en het hoog, kortere of langere stoten in de muziek voorkomen

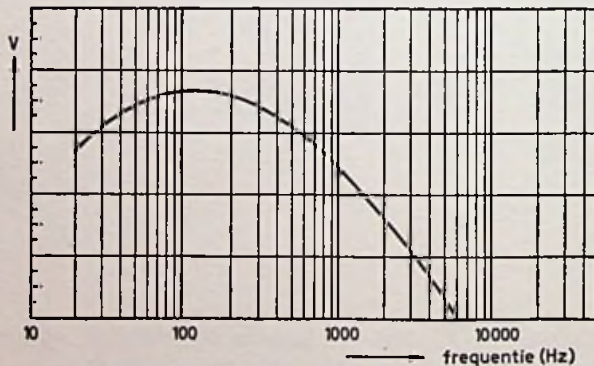


Fig. 8.7. Als functie van de frequentie is hier de energieverdeling van de ruis aangegeven waarmee de luidsprekers worden getest. Met behulp van dit signaal wordt bepaald voor welk vermogen een luidspreker geschikt is. Duidelijk is te zien dat tussen de 50 en de 300 Hz de gemiddelde energie die aan de luidspreker wordt toegevoerd het grootst is. Voor de hogere frequenties wordt veel minder energie toegevoerd. De piekwaarden kunnen in dit gebied echter wel hoog zijn.

die wel degelijk een hoog vermogen hebben. Als zulke klappen of stoten maar af en toe voorkomen en een korte tijd duren, is hun bijdrage aan de gehele gemiddelde energieverdeling echter gering. Als we nu teruggaan naar ons driewegsysteem, dan blijkt dat de energie die naar de hogetonenluidspreker wordt gevoerd, veel kleiner is dan het deel dat naar de lagetonenluidspreker gaat. Hoe de toegevoerde energie over de verschillende luidsprekers van een meerwegsysteem is verdeeld, hangt sterk samen met de overneemfrequenties van het scheidingsfilter dat wordt gebruikt.

In fig. 8.8 is af te lezen hoe deze energieverdeling wordt, afhankelijk van de „cross-over” frequentie. Als we het luidsprekersysteem aansluiten op het hiervoor genoemde testsignaal is duidelijk in te zien dat de hogetonenluidspreker, als de overneemfrequentie bijvoorbeeld 3000 Hz is, maar ongeveer 2% van de totale energie krijgt toegevoerd. Dat wil zeggen dat voor een hogetonenluidspreker in een meerwegsysteem, altijd een luidspreker kan worden genomen, waarvan de belastbaarheid maar enkele procenten is van het totale vermogen dat door de versterker kan worden geleverd. De luid-

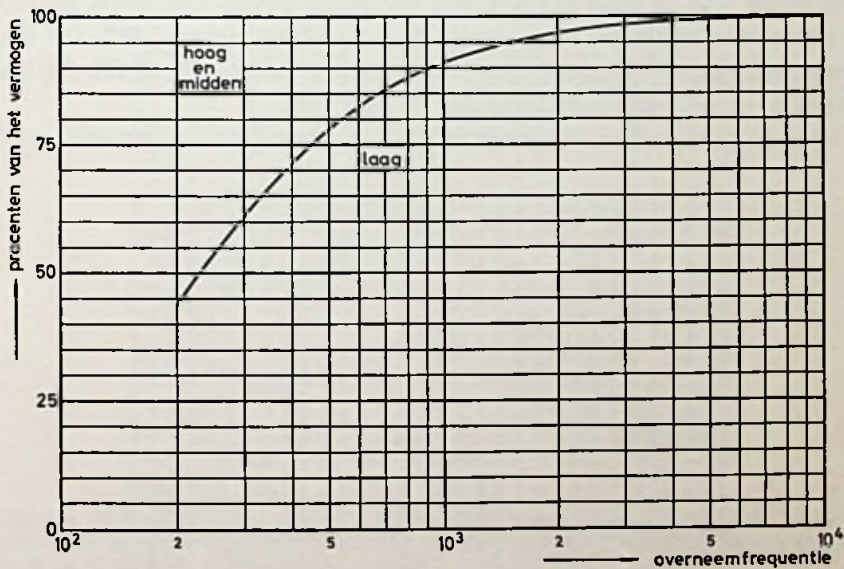


Fig. 8.8. De energieverdeling van het testsignaal bij verschillende overneemfrequenties van de scheidingsfilters. Hierdoor is het mogelijk na te gaan, welk deel van het toegevoerd vermogen in de verschillende luidsprekers van een twee- of driewegsysteem terecht komt. Bij een filterfrequentie van 400 Hz zal bijv. 71% van de energie in de woofer terecht komen en de resterende 29% in het hoog en het midden. Als de hogetonenluidspreker bijv. bij 2000 Hz begint, zal deze maar 3% van de energie toegevoerd krijgen, zodat er 26% overblijft voor de squawker.

spreker moet echter wel bestand zijn tegen een piekvermogen dat gelijk is aan het maximale vermogen dat door de versterker kan worden geleverd. Een luidsprekerbox die geschikt is voor de aansluiting op een 40 W-versterker, hoeft maar een tweeter te hebben die geschikt is voor ongeveer 3% van 40 W of 1,2 W. In de regel kunnen de tweeters wel tegen 3 of 6 W, zodat in de meeste gevallen een flinke reserve aanwezig is. Het voorafgaande is geheel gebaseerd op een energieverdeling zoals in fig. 8.8 is aangegeven. Als we een signaal toevoeren, dat sterk afwijkt van het hiervoor gegeven testsignaal, is het niet uitgesloten dat een of meer luidsprekers van het systeem kunnen worden beschadigd.

Als voorbeelden van sterk afwijkende signalen volgen enige passages uit grammofoonplaten. Hierbij is het frequentiespectrum heel anders verdeeld als bij het testsignaal het geval is (fig. 8.9).

Bij bijvoorbeeld het stuk uit de *Non stop-dancing* van James Last wordt dientengevolge aan het luidsprekersysteem een vermogen toegevoerd waarvan in fig. 8.9a de verdeling is te zien als functie van de frequentie. Bij een overneemfrequentie van bijvoorbeeld 2000 Hz blijkt ongeveer 20% van het vermogen in de hogetonenluidspreker terecht te komen (fig. 8.10). Bij het hiervoor omschreven testsignaal was dit maar 3%.

Uitgaande van de veronderstelling dat het driewegsysteem geschikt moet

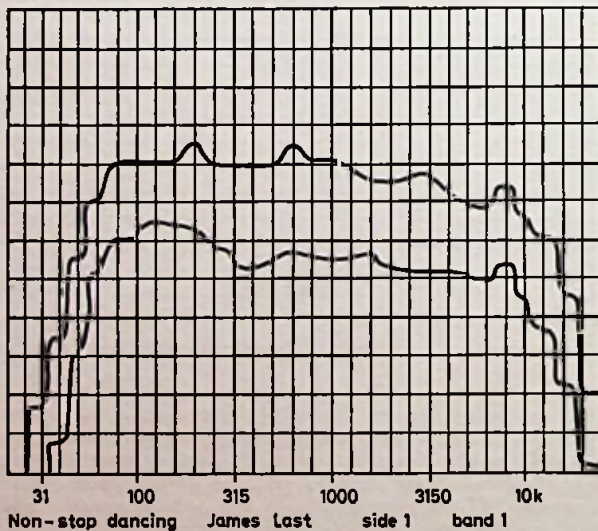


Fig. 8.9

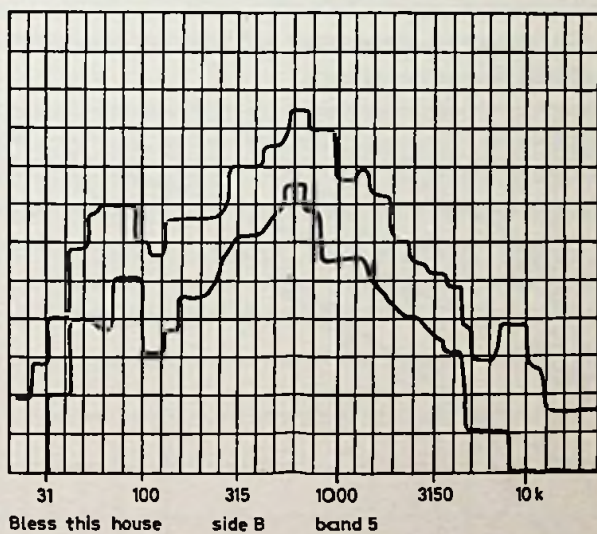
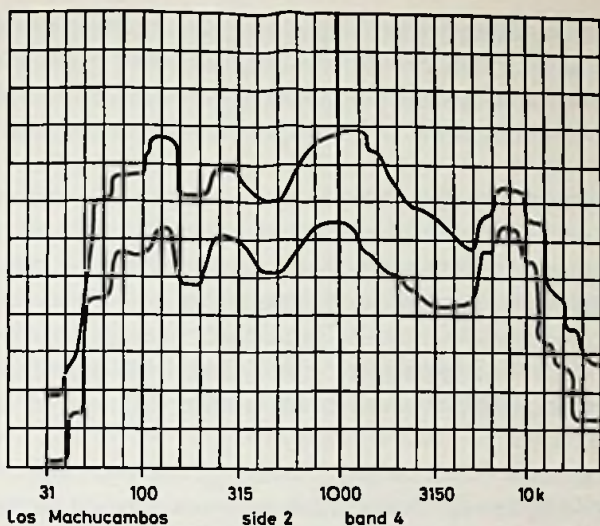


Fig. 8.9. Drie voorbeelden van de frequentieverdeling die gemeten is in sommige passages van verschillende grammofonoplatten. De bovenste lijn stelt de gemiddelde topwaarde voor en de onderste de gemiddelde waarde.

zijn om te worden aangesloten op een versterker van bijv. 40 W, wordt bij de test 3% van 40 W (1,2 W) aan de tweeter toegevoerd.

Bij het draaien van een passage uit de genoemde plaat, lijkt dit oppervlakkig beschouwd 20% van 40 W (8 W). De vraag of in zo'n geval de test

wel voldoende waarborg geeft voor een safe gebruik van de tweeter ligt voor de hand. In fig. 8.9 zijn om dit toe te lichten twee lijnen getekend. De bovenste lijn stelt de gemiddeld optredende topwaarden van het muziek-sig-naal voor terwijl de onderste lijn de gemiddelde waarden van het signaal weergeeft.

Bij de meeste grammofonplaten is het verschil in deze beide signalen op zijn minst 10 dB. Om de muziek vervormingsvrij te kunnen weergeven, moet voor deze topwaarden de versterker niet worden overstuurd. We kunnen de versterker zó instellen dat in de maximale pieken het hele vermogen van de versterker wordt gebruikt. Daar de gemiddelde waarden over het algemeen 10 dB (een factor 10) lager liggen, is het gemiddeld toegevoerd vermogen aan de luidspreker ook evenzoveel malen minder. Voor een 40 W-versterker wordt dit dan 4 W.

Terwijl gedurende de test het gemiddeld toegevoerd vermogen 40 W is geweest, blijkt dit bij een 40 W-versterker, waar een normaal muziekprogramma mee wordt beluisterd, maar 4 W te zijn. 20% van dit vermogen is 0,8 W en de tweeter die gedurende de test met 1,2 W belast is geweest, zal dit vermogen gemakkelijk kunnen opnemen.

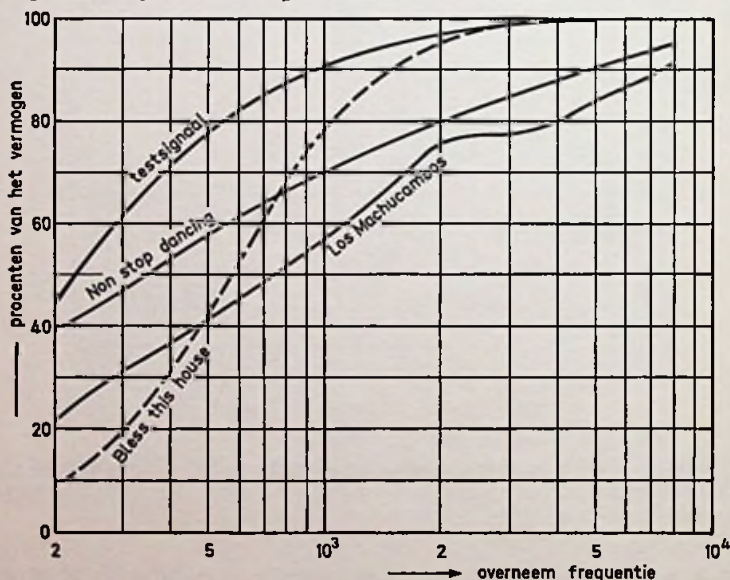


Fig. 8.10. De energieverdeling van verschillende muzieksignalen zoals gemeten bij verschillende overneemfrequenties van het scheidingsfilter. Bij bijvoorbeeld een overneemfrequentie van 2000 Hz, wordt bij een bepaalde passage uit „Bless this house” 5% van de energie boven deze frequentie afgegeven. Voor een stuk uit de Non stop-dancing van James Last is dit rond 20% en voor een deel uit „Los Machucambos” zelfs 25%.

In het extreme geval dat het volle uitgangsvermogen van de versterker als het ware wordt „samengebundeld” in één frequentie, wat gebeurt als we de versterker „op vol uitgangsvermogen” testen met een toongenerator, terwijl de luidsprekerbox erop aangesloten is, zal er bijna altijd schade ontstaan. We hebben hiervóór opgemerkt dat voor een 40 W-versterker een tweeter van 3 W al voldoende is. Als we nu met een toongenerator bijvoorbeeld een toon van 5000 Hz toevoeren aan een versterker en de volumeregelaar zodanig instellen dat er 40 W in het luidsprekersysteem terecht komt, zal dit geheel moeten worden opgenomen door de tweeter, die maar geschikt is voor 3 W!

Een dergelijke omstandigheid kan zich ook voordoen bij het versneld spoelen van een recorder waarbij tevens wordt afgeluisterd. Het hele toongebied wordt dan als het ware opgeschoven zodat de hogetoonluidsprekers te zwaar kunnen worden belast.

Dat dit resulteert in een kapotte luidspreker, behoeft geen betoog. Voor de lage- en middentoon luidsprekers gelden, hoewel in mindere mate, dezelfde regels en daarom zijn ook deze op bovenomschreven manier te beschadigen. Als we bijvoorbeeld 40 Hz op „vol” vermogen aan de luidsprekerbox toevoeren, zal de woofer worden overbelast en, als de totale opzet van de box „net op het randje” was, zeker worden beschadigd. Dit overbelasten van een luidspreker van het systeem kan niet alleen gebeuren tijdens het testen met een toongenerator, maar komt ook voor als bijv. een basgitaar lange tijd achtereen de luisteraar van een grote dosis geluid voorziet. In dergelijke gevallen dienen speciale boxen te worden gebruikt waarbij met deze omstandigheden rekening is gehouden.

De Hi-Fi-keten in het algemeen

In de voorafgaande hoofdstukken hebben we gezien hoe een goede luidsprekerbox moet worden gemaakt. We zullen ons in dit hoofdstuk meer richten op de weergaveresultaten die met zo'n box zijn te bereiken. Als we de hele weergaveketen beschouwen, is het luidsprekersysteem slechts een onderdeel ervan en als maximale resultaten worden gewenst, moeten ook de andere schakels in deze keten goed zijn.

De weergaveketen bestaat in principe uit een signaalbron, een versterker en een weergeefstelsel. Als signaalbron komen een platenspeler, een recorder, een radio of een tuner in aanmerking. Wat de beide laatstgenoemde betreft, komt alleen, als we aan goede kwaliteit denken, de FM-band van deze ontvangers in aanmerking. In tegenstelling tot de amplitudegemoduleerde (AM-)zenders waarvan het uitgezonden signaal geen frequenties bevat die hoger liggen dan 4500 Hz, worden door de frequentiegemoduleerde (FM-)zenders, ook de hogere frequenties, tot ongeveer 15 000 Hz, uitgezonden. Bovendien worden alleen door de FM-zenders de stereo-uitzendingen verzorgd, die zeer zeker kunnen bijdragen tot een betere geluidsoverdracht. Dit wil echter nog niet zeggen dat iedere FM-ontvanger geschikt is en evenmin dat een tuner, waarmee ook AM-ontvangst mogelijk is, niet goed of slechter zou zijn. Bij de aanschaf van één van deze ontvangers zal men zich vakkundig moeten laten voorlichten en bereid moeten zijn niet altijd de goedkoopste te kiezen, ofschoon het evenmin waar is dat alleen het duurste goed genoeg is. Men kan erop toezien dat bij de demonstratie niet alleen wordt afgestemd op dichtbijgelegen stations, maar dat ook verder afgelegen stations uiteraard binnen de reikwijdte hiervan voldoende storingvrij zijn te ontvangen.

Bij de beoordeling van een platenspeler hebben we niet alleen te letten op het regelmatig draaien en de mechanische geluiden die hij voortbrengt, maar ook op het opneemelement dat wordt gebruikt. Het spreekt vanzelf dat bij het weergeven van een grammofoonplaat de draaitafel met een constant aantal toeren moet draaien. Als er veranderingen in de snelheid optreden,

zal de toon die op dat moment wordt weergegeven, veranderen in hoogte. Deze toonhoogtevariatie tengevolge van het niet-constant zijn van het toerental, heet *jengel*. Snelle veranderingen worden *flutter* en langzame worden *wow* genoemd. Vooral als er een lang aanhoudende toon, bijvoorbeeld het uitklinken van een pianosnaar, wordt weergegeven, is dit verschijnsel erg hinderlijk. Verder wil het nogal eens gebeuren dat onvolmaaktheden in het mechanische deel van de speler tijdens het draaien door het opneemelement worden geregistreerd, hetgeen zich uit in een samenstel van lage tonen, dat met de weergegeven muziek uit de luidspreker komt. Men noemt dit de *dreun* ook wel *rumble* van een speler en het ligt voor de hand dat dit niet zo erg moet worden dat het storend is. Men doet er goed aan tijdens een demonstratie hierop te letten; vooral als zachte passages worden weergegeven en ook tussen twee muziekstukken in is het gemakkelijk te horen. Zoals gezegd zijn het voornamelijk lage tonen die de hoeveelheid dreun bepalen.

Het is dus duidelijk dat luidsprekerkasten en opneemelementen die geen lage tonen kunnen weergeven, ook de dreun vrijwel onhoorbaar maken. Bij de demonstratie moeten daarom een luidsprekerkast en een versterker worden gebruikt die minstens evenveel laag kunnen weergeven als de kast en de versterker die thuis worden gebruikt. Hetzelfde geldt voor het opneemelement. Het beste is de hele installatie thuis te beluisteren daar het omgevingslawaai en de akoestiek van de kamer ook hun invloed hebben op het wel of niet acceptabel zijn van de dreun. Als de technische gegevens van de speler bekend zijn, mag men voor goede weergave, zeker eisen dat de wow en flutter beneden $\pm 0,2\%$ blijven en de dreun, gemeten volgens *DIN A*, niet boven de -35 dB uitkomt, gemeten met het opneemelement dat uiteindelijk gebruikt zal worden.

Vaak is een speler voorzien van een opzetmechanisme waardoor het opzetten van een nieuwe plaat wordt vereenvoudigd. In plaats van met de hand de naald in de aanloopgroef te zetten, wordt de naald boven de gewenste plaats gebracht, waarna het langzaam dalen van de pickuparm wordt ingeleid door aan een handel te draaien of op een knop te drukken. Over het algemeen is tevens een inrichting aanwezig die de arm omhoog beweegt (lift) als de naald aan het einde van de plaat in de uitloopgroef komt. Met de hiervoor genoemde hefboom of knop is het bovendien mogelijk te allen tijde het spelen te onderbreken of te starten door de arm resp. omhoog of omlaag te laten gaan. Het spreekt vanzelf dat de bewegingen van de arm voorzichtig moeten geschieden of met andere woorden voldoende gedempt moeten zijn. Om beschadiging van zowel plaat als naaldpunt te voorkomen, mag de

naald nooit met een te grote snelheid op de plaat terecht komen of er op vallen.

Naast de handbediende speler bestaat ook de automatische. Bij deze laatste hoeft men, nadat de plaat is opgezet, alleen maar op een knop te drukken waardoor de arm uit zijn ruststand komt en de naald voorzichtig in de aanloopgroef wordt gezet. Na het afspelen van de plaat, wordt de arm gelicht en keert hij in zijn ruststand terug waarna het spel opnieuw kan beginnen. Behalve de knop voor de keuze van het toerental kan een speler nog voorzien zijn van een toerenfijnregelaar. Hiermee kan men de draaitafel op het exact voorgeschreven toerental instellen zodat de toonhoogte van het weergegeven muziekstuk precies klopt, wat nodig is als men met een muziekinstrument mee wil spelen. Om het eventueel verlopen van het toerental tengevolge van eventuele slijtage op te vangen, kan bovengenoemde regeling ook worden gebruikt. Voor het compenseren van de dwarskrachten op de naald die tijdens het spelen optreden, is op de duurdere spelers een inrichting aanwezig die afhankelijk van de naaldkracht kan worden ingesteld. Vooral voor het weergeven van sterk gemoduleerde passages in het laag is deze voorziening gunstig daar de naald beter midden in de groef blijft en niet de neiging heeft tegen de zijwand te stoten waardoor beschadiging van de plaat op kan treden. Het is verder aan te raden om bij een speler ook te letten op de stoot- of trillingsgevoeligheid. Hiermee wordt bedoeld dat de naald niet direct uit de groef mag wippen als er per ongeluk tegen de platenspeler wordt gestoten. Het opneemelement dient van goede kwaliteit te zijn en moet in staat zijn de hele frequentieband van 40 tot 16 000 Hz weer te geven waarbij vanzelfsprekend de vervorming laag moet blijven.

Men mag eisen dat de frequentiekaracteristiek in dit gebied geen grotere tolerantie heeft dan ± 3 dB. Een element van het magnetodynamische type (MD) zal over het algemeen wel aan deze eisen voldoen ofschoon er ook wel andere types van goede kwaliteit in de handel zijn die hieraan voldoen, bijvoorbeeld keramische elementen. De naald van de MD-kop is meestal soepeler opgehangen dan die van andere systemen, waardoor de erg lage tonen beter kunnen worden weergegeven. Bij een soepeler naaldophanging – men noemt dit vaak een hogere compliantie – is meestal ook een kleine effectieve naaldmassa gebruikt waardoor een geringere naaldkracht nodig is en waardoor de slijtage van de plaat wordt verminderd.

Dit laatste wordt ook gunstig beïnvloed door een regelmatige controle van de naaldpunt; een versleten naald heeft namelijk de neiging in de groef te gaan schrapen waardoor ernstige beschadiging van de plaat optreedt.

Bij het gebruik van een diamantnaald treedt deze situatie minder vaak op dan bij het gebruik van een sneller slijtende saffiernaald. Nu de slijtage van de plaat aan de orde is, lijkt het mij op zijn plaats nog even te wijzen op het feit dat de naaldkracht van een opnemer beter aan de hoge dan aan de lage kant kan worden ingesteld. In het laatste geval is de kans namelijk groot dat de naald niet voldoende stevig in de groef wordt gedrukt en er soms min of meer in gaat „zweven”. Als er dan een zijwaartse kracht op wordt uitgeoefend, schiet hij te ver door en wordt vervolgens door de andere wand van de groef teruggestoten, zodat hij heen en weer blijft slingeren. We zeggen wel eens dat de naald in de groef gaat schaatsen. De kans dat er dan stukjes uit de zijwand van de groef worden gebroken, is onder deze omstandigheden groot. In dit geval is het beter de naaldkracht wat te vergroten, waardoor de naald de groef beter gaat volgen. Ook de dwarskracht(side-thrust)-compensatie, zoals hiervoor al genoemd werd, helpt mee om dit schaatsen te voorkomen. Als wordt opgegeven dat voor een bepaald element een naaldkracht van 1 à 2 gram is vereist, kan men beter de 2 gram aanhouden, dan rond de 1 gram te gaan zitten. Vooral als de opnemer in de aanloopgroef moet pakken gebeurt het wel eens dat hij plotseling doorschiet naar het midden van de plaat en een pracht van een kras nalaat. Ook in dit geval blijkt vaak dat de naaldkracht te laag is ingesteld of dat de dwarskrachtcompensatie niet goed is aangepast. Globaal kunnen we aannemen dat bij een goede opnemer de naaldkracht niet boven de 3 gram moet liggen en dat een soepelheid (compliantie) die kleiner is dan 6 à 8 mm/N niet behoort voor te komen bij een goed geklassificeerde opnemer.

Voor een recorder die eventueel in de weergeefketen kan worden gebruikt, zijn niet gemakkelijk eisen te geven. Natuurlijk zal een eenvoudige recorder op lage snelheid waarvan het toerental niet constant is, niet de resultaten kunnen geven die hier worden bedoeld. De frequentie-omvang van zowel het opneem- als het weergeefgedeelte, moeten ten minste voldoen aan de eisen die ook voor het luidsprekersysteem gelden en de vervorming moet hier natuurlijk ook laag zijn. Dat de versterker die in de luisterketen wordt opgenomen van goede kwaliteit moet zijn, laat geen twijfel en met de mogelijkheden die tegenwoordig aanwezig zijn, hoeft dit geen problemen te geven. De ene fabrikant weet een nog lager vervormingspercentage te bereiken dan de andere en verder voldoet het stoorniveau van de ruis en brom ten opzichte van het gewenste signaal in veel van de versterkers die op de markt zijn ruimschoots aan de eisen die we stellen. De toon- en de balansregeling, evenals in- en uitschakelbare filters voor het onderdrukken van dreun of

ruis, geven de effecten die ervan worden verwacht. De aansluitmogelijkheden beperken zich tegenwoordig niet meer tot één voor een kristal-pick-up, maar meestal is ook voorzien in andere aansluitmogelijkheden.

Voor de MD-opnemer is een aansluiting aanwezig die voorzien is van de juiste frequentiecorrectie die dit soort elementen vereist, terwijl ook de versterking hierop is aangepast. Voor de tuner en de recorder zijn meestal afzonderlijke ingangen aangebracht die naar keuze door middel van een schakelaar in verbinding kunnen worden gebracht met de versterker. Er zijn verschillen in uiterlijk, mogelijkheden en technische specificaties, maar aangenomen dat de versterkers voldoen aan redelijke Hi-Fi-eisen, zijn de verschillen nauwelijks te horen. Een punt dat wél belangrijk is, betreft het uitgangsvermogen dat door de versterker kan worden geleverd.

Daar er nogal verwarring op dit gebied bestaat, zullen we eerst moeten vaststellen wat we bedoelen als we het hebben over een 20 W-versterker. Oorspronkelijk werd daarmee aangegeven dat de versterker in staat was, gedurende zeer lange tijd, 20 W vermogen te leveren aan een weerstand die over de uitgangsklemmen van deze versterker was aangesloten. Men ging er hierbij van uit, dat de waarde van de weerstand gelijk was aan de voorgeschreven aanpassingsimpedantie, dat aan de ingang van de versterker een sinusvormige spanning werd toegevoerd en dat de vervorming niet boven een, in de specificatie vermelde waarde, uitkwam. De hierboven bedoelde waarde van het vermogen wordt meestal nog wel opgegeven, maar dan voorzien van de opmerking: constant sinusvormig vermogen (constant sine wave power). Vaak echter wordt naast deze waarde een muziekvermogen (music power) opgegeven. Hiermee bedoelt men dan dat de versterker gedurende een korte tijdsduur in staat is dit opgegeven vermogen te leveren.

Meestal is deze waarde ongeveer $1\frac{1}{2}$ maal de eerstgenoemde, doch een vaste verhouding is niet te geven. Dat de fabrikant deze waarde hanteert, is duidelijk als we ons realiseren dat in de muziek nogal veel korte stoten voorkomen, die kortstondig grote vermogens eisen, terwijl het gemiddelde signaal hier ver onder blijft. Voor een muzieksignaal kunnen we hem in dit geval als een 30 W-versterker beschouwen, terwijl bij constante belasting, hetzij door een te hoge temperatuur van de eindtrap en/of de voeding, hetzij door het dalen van de voedingsspanning, de versterker niet meer mag of kan afgeven dan 20 W.

Naast de twee hiervoor genoemde uitdrukkingen om het maximale uitgangsvermogen van een versterker aan te geven, komen nog allerlei andere termen voor die echter alleen maar commerciële betekenis hebben en we

behoeven ons niet te verwonderen dat een versterker die in staat is een constant sinusvormig vermogen van 20 W af te geven, soms aangeprezen wordt als een 80 W-versterker. Het is daarom aan te raden hierop te letten en alleen rekening te houden met het opgegeven muziekvermogen of het constante sinusvermogen waarbij de vermelding voor welk frequentiebereik dit geldt een waardevolle toevoeging is, terwijl ook het vervormingspercentage erbij vermeld dient te worden.

De elektrische vermogens die nodig zijn voor een goede weergave

Een andere vraag is: Welk vermogen is nodig om in een normale huiskamer bevredigende resultaten te verkrijgen? Het antwoord hierop is niet eenvoudig te geven en hangt van veel factoren af. Vooral het rendement van het luidsprekersysteem is belangrijk, maar ook de akoestiek van de luisterruimte speelt een rol. Een opvallend verschijnsel is dat een geluidsbron in de open lucht anders klinkt dan in een besloten ruimte. In de open lucht wordt de geluidsenergie in alle richtingen uitgestraald en maar een klein deel ervan zal ons oor treffen (fig. 9.1). Binnenskamers echter zal niet alleen het direct uitgestraalde geluid worden waargenomen, maar er wordt ook een belangrijke bijdrage geleverd door het geluid dat via reflecties tegen de muur ons trommelvlies bereikt. Dit deel van het waargenomen geluid, het *indirecte geluid*, speelt een grote rol bij de weergave in de huiskamer en de concertzaal.

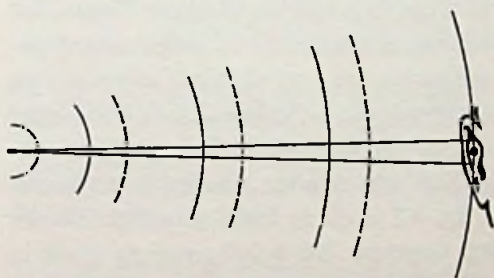


Fig. 9.1. In het vrije veld wordt door ons oor maar een klein deel van de totaal uitgestraalde geluidsenergie opgevangen.

Zoals reeds gezegd, zal in de open lucht slechts een klein deel van de totale uitgestraalde geluidsenergie ons oor treffen maar binnenskamers zal nagenoeg alle uitgestraalde energie meedoen aan het opbouwen van het geluidsveld. Hieruit volgt dat voor het opwekken van een bepaalde geluidsintensiteit in de open lucht veel grotere vermogens nodig zijn dan voor dezelfde geluidsintensiteit in een besloten ruimte. Hoe groot deze verschillen zijn,

hangt sterk af van de absorptie-eigenschappen van de voorwerpen of wanden waartegen het geluid reflecteert en is bovendien nog afhankelijk van de frequentie, wat tot gevolg heeft dat ook de sterkteverhouding tussen het laag en het hoog door de akoestiek van de luisterruimte kan worden beïnvloed.

Algemeen kunnen we stellen dat een versterker met een uitgangsvermogen van 15 à 20 W muziekvermogen in combinatie met de in dit boek gegeven luidsprekersystemen, wel voldoende is.

Voor stereoweergave is 2×15 W toereikend daar over twee kanalen vermogen wordt toegevoerd. Om zonder meer de helft van het „mono”-vermogen te nemen, is niet aan te bevelen daar het soms voorkomt dat het ene ogenblik nagenoeg alles uit het rechterkanaal en het andere ogenblik alles uit het linkerkanaal komt.

Bij het vaststellen van deze vermogens is rekening gehouden met het vermogen dat nodig is om de pieken, die veelvuldig in de muziek voorkomen, zonder vervorming weer te kunnen geven.

Gemiddeld zal de versterker echter maar een paar watt behoeven af te geven en als het rendement van het luidsprekersysteem rond de twee procent is, komt dit neer op een gemiddeld geluidsvermogen van 40 à 50 mW en een mogelijk akoestisch topvermogen van 2% van 30 W of 600 mW. Als we hierbij bedenken dat het maximaal akoestisch vermogen van een piano ongeveer 400 mW is en het gemiddelde van spraak ongeveer 0,024 mW, dan kunnen we ons een idee vormen van de geluidssterkte die met zo'n systeem valt te bereiken. Een saxofoon produceert ongeveer 300 mW en een triangel 50 mW. Dat we een pijporgel dat maximaal 13 W en een orkest bestaande uit 75 man, dat 70 akoestische watts kan produceren, niet met hetzelfde vermogen onze huiskamer kunnen binnenhalen, lijkt misschien een nadeel; maar afgezien van de hinder die dit zou veroorzaken, moeten we bedenken dat de huiskamer veel kleiner is dan een concertzaal. Om dezelfde geluidsdrukken te produceren, is voor een kleinere ruimte heel wat minder akoestisch vermogen nodig dan voor een grote zaal. In fig. 9.2 is dit in beeld gebracht. Als we bedenken dat een grote concertzaal ongeveer 100 à 200 maal zo groot is als een gemiddelde huiskamer dan is gemakkelijk uit deze figuur af te lezen dat voor het produceren van dezelfde geluidsdrukken in deze kleinere ruimte ongeveer 140 maal minder vermogen nodig is.

Een klein rekensommetje leert ons dat in dit geval $\frac{1}{2}$ tot 1 W aan geluidsvermogen voldoende is om dit orkest op volle sterkte in de huiskamer weer te geven. Hoewel echter de geluidsdruk die een orkest produceert, tijdens korte pieken op kan lopen tot ongeveer 110 dB, is het met het oog op de

hinderlijkheid in de meeste gevallen niet wenselijk ze ook op dit niveau weer te geven. We mogen ervan uitgaan dat 90 à 95 dB al een hoog geluidsniveau is voor een gemiddelde huiskamer en zelfs al hinderlijk kan zijn als we op een gehorige flat wonen. Uit één en ander volgt dat we al over voldoende reserve beschikken als we met onze geluidsinstallatie in de huiskamer een geluidsvermogen kunnen opwekken van 500 mW in de pieken. Zelfs met een vermogen dat 10 dB lager ligt, zijn al goede resultaten te bereiken als het rendement van de luidspreker gunstig is.

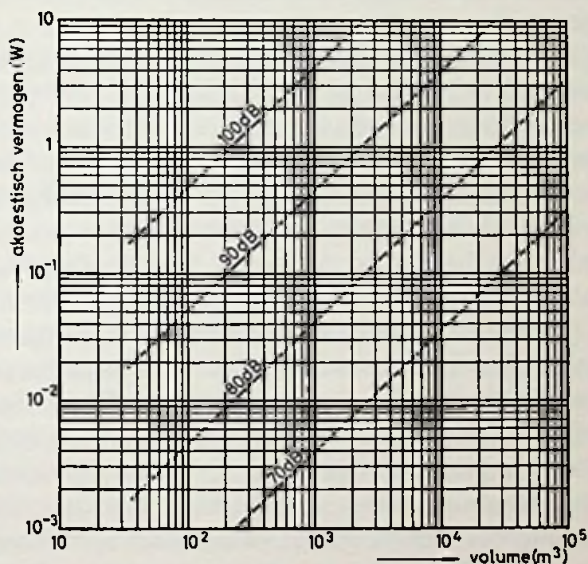


Fig. 9.2. Met deze grafiek wordt de hoeveelheid akoestisch vermogen aangegeven die nodig is om in een ruimte van een bepaalde inhoud een geluidsdruk van 70, 80, 90 of 100 dB te verkrijgen. Voor een kamer van 100 m³ is af te lezen dat we $5 \times 10^{-2} = 50$ mW nodig hebben om een geluidsdruk van 90 dB te realiseren. Als de luidspreker die hiervoor wordt gebruikt, een rendement heeft van 1%, is een versterker met een uitgangsvermogen van 5 W nodig.

De plaatsing van de luidsprekersystemen in de huiskamer

Een ander punt dat nog aandacht verdient, is de plaatsing van de luidsprekerboxen in de luisterruimte. Het is vanzelfsprekend dat de weergave van de hoge tonen niet tot zijn recht komt als vlak voor de boxen bijvoorbeeld stoelen of ander meubilair geplaatst wordt waardoor de vrije uitstraling van de luidsprekers belemmerd wordt en deze tonen al geabsorbeerd worden voordat ze, eventueel na meerdere reflecties tegen de wanden, de luisterruim-

te vullen. De lagetonenweergave wordt hierdoor minder sterk beïnvloed doordat het stralingsdiagram minder gebundeld en de golflengte van het geluid groter is. Wel wordt de weergave in het lagetonengebied sterk beïnvloed door de plaats van de box ten opzichte van de vloer en de andere wanden. Vooral doordat de boxen voor de weergave van de lage tonen steeds kleiner worden, wordt deze invloed steeds groter. Het is bekend dat een luidsprekerkast die in een hoek wordt geplaatst 2 maal meer energie in het laag uitstraalt dan eenzelfde box die op de vloer tegen een zijwand is geplaatst. Als de box „los” van de wand midden op de vloer wordt gezet, gaat er nóg eens 3 dB van de lage tonen af.

Hieruit blijkt wel degelijk dat men bij het ontwerp van de box al rekening dient te houden met de plaats waar hij in de huiskamer wordt geplaatst.

Om deze verschillen in de lagetonenweergave tengevolge van de plaatsing van de luidspreker in de kamer op te vangen, worden de luidsprekerboxen soms voorzien van een schakelaar, waardoor de mogelijkheid aanwezig is de weergavekarakteristiek in dit gebied aan de situatie aan te passen. Wel moet men er rekening mee houden dat lage tonen, waarvan de halve golflengte groter is dan de grootst voorkomende afmeting van de kamer, altijd verzwakt zullen worden weergegeven ten opzichte van frequenties die hoger liggen. Een ander verschijnsel dat optreedt bij het weergeven van geluid in een beperkte ruimte, is het optreden van staande golven. Deze zullen ontstaan bij dié frequenties, waarbij de halve golflengte van de toon overeenkomt met de lengte, breedte of hoogte van de kamer. Ook door de hogere harmonischen van deze frequenties kunnen gemakkelijk staande golven in deze ruimte worden opgewekt. Zo zal een kamer met afmetingen van $3,40 \times 8,00 \times 2,60$ meter gemakkelijk worden aangestoten door frequenties waarvan de golflengten theoretisch resp. 6,80; 16 en 5,20 meter zijn. Dit komt overeen met resp. 50, 21 en 65 Hz en de harmonischen hiervan. Als men in dit geval een weergever heeft waarin een 50 Hz-bromtoon voorkomt, zal de kamer hierdoor gemakkelijk aangestoten kunnen worden. Het gevolg hiervan is dat in een kamer met deze afmetingen de brom beter hoorbaar zal zijn dan in een kamer waarin de afmeting van 3,40 meter niet voorkomt.

Eenzelfde verhaal geldt voor een weergever die ergens in het lagetonengebied een piek heeft in het resonantiegebied doordat de demping niet voldoende is. In de praktijk worden deze effecten allemaal verminderd door grote voorwerpen zoals stoelen, tafels en bergmeubels, die in normale huiskamers altijd wel aanwezig zijn. Het onderbreken van de wanden door inspringende schoorstenen of uitspringende ramen, werkt wat dit betreft ook

gunstig. Al met al is de weergave van geluid in een beperkte ruimte een zeer gecompliceerde zaak die voor iedere kamer weer anders is. Wil men een zo goed mogelijke geluidswaergave dan kan men door een goede opstelling van de luidsprekers en door een geschikte plaatsing van het meubilair, veel bereiken. Anderzijds is het zo dat men gauw gewend raakt aan een zekere weergave en daardoor sommige optredende akoestische afwijkingen van een bepaalde kamer niet meer als zodanig onderkent. Hierdoor kan het voorkomen dat men volledig tevreden kan zijn met een bestaande weergave terwijl een meer ideale weergave aanvankelijk vreemd aandoet.

Voor het weergeven van een stereosignaal moeten we doorgaans over twee boxen beschikken, één voor het weergeven van het rechter en één voor het weergeven van het linker kanaal. In dit geval worden de luidsprekerboxen meestal op een afstand van 3 à 4 meter van elkaar geplaatst. Op een afstand van ongeveer 3 meter of meer mag men dan een duidelijke stereowaergave verwachten. Als de boxen te ver van elkaar staan, kan men de indruk krijgen dat het geluid óf van links óf van rechts komt, terwijl vanuit het midden weinig te horen valt.

Dit wordt vaak aangegeven met de term „het gat in het midden”. Om dit gat in het midden kwijt te raken, kan men de boxen dicht bij elkaar plaatsen of, als dit niet mogelijk is, kan het midden iets opgevuld worden door de boxen een beetje te draaien, zodat ze meer naar het midden van de kamer stralen. Een algemeen geldende regel is ook hiervoor niet te geven, daar de maatregelen die men kan nemen in sterke mate afhangen van de akoestische eigenschappen van de kamer en eveneens worden beïnvloed door het stralingsdiagram van het gebruikte weergeefstelsel.

Het beste resultaat zal ongetwijfeld verkregen kunnen worden door zelf te experimenteren. Interessant is nog te vermelden dat de lage tonen tot ongeveer 300 Hz geen duidelijke bijdrage leveren tot het richtinghoren. Hieruit volgt dat het ook mogelijk is een goede stereowaergave te verkrijgen door alleen het middentoonegebied en het hoog, links en rechts op te stellen, terwijl het laag van het linker- en het rechterkanaal dan samengevoegd zou kunnen worden in één kast. De plaats waar men deze kast dan in de kamer neerzet, is niet zo belangrijk meer daar het stereobeeld geheel wordt bepaald door de units die het midden en het hoog weergeven.

Dat we ondanks het feit dat de geluidsenergieën vanuit allerlei richtingen ons oor treffen toch nog de richting vanwaar het geluid komt kunnen vaststellen, houdt verband met het verschijnsel dat de richting wordt bepaald door de geluidsenergie die het eerst ons oor treft. Daar het direct uitge-

straalde geluid ons oor eerder bereikt doordat het een kortere weg moet afleggen dan dat deel van het geluid dat via de wanden bij ons komt, is het bepalen van de richting geen probleem meer. Algemeen kunnen we nu stellen dat we voor een goede weergave geen geluidssysteem moeten nemen dat te sterk bundelt maar evenmin één dat alleen maar indirect straalt. In het eerste geval kan hinder worden ondervonden van het verschijnsel dat op de ene plaats in de kamer wél en op een andere plaats géén hoge tonen zijn waar te nemen. Hierdoor is men bij het beluisteren van een goede weergave te veel aan één plaats gebonden. In het tweede geval zal het richteffect erg zwak worden waardoor het geluid onnatuurlijk gaat klinken en voor het geval dat weergave in stereo wordt verlangd, kan het voorkomen dat het rechter en het linker kanaal akoestisch niet voldoende van elkaar zijn gescheiden, waardoor het gewenste stereo-effect niet voldoende tot zijn recht kan komen.

Elf verschillende voorbeelden van luidsprekersystemen

In dit hoofdstuk worden enige luidsprekercombinaties besproken waarvan we een goede tot zeer goede weergave kunnen verwachten. Zowel een klein kastje voor een tienerkamer als een ruime kast met meer luidsprekers worden beschreven. Na het lezen van de voorafgaande hoofdstukken zal het duidelijk zijn dat alleen systemen met op zijn minst twee luidsprekers erin een weer-gavekwaliteit kunnen geven die voldoet aan de eisen die in dit boek zijn gesteld.

De afmetingen van de verschillende kasten zijn in één tabel samengevoegd. De opgegeven maten zijn slechts ter oriëntatie bedoeld en bij het bouwen kan men hierin naar eigen inzicht wijzigingen aanbrengen. De inhoud die bij iedere combinatie wordt opgegeven, ligt echter wel vast. Steeds wordt hiermee bedoeld het luchtvolume dat de luidspreker achter zich heeft. Dat wil zeggen dat bij een driewegsysteem, waar een kapje over de middentoon-luidspreker wordt aangebracht, de totaal-inhoud van de kast iets groter moet worden.

Achter de luidspreker moet voldoende ruimte overblijven om een goede demping mogelijk te maken en het is daarom aan te bevelen de kast niet minder diep te maken dan $1\frac{1}{2}$ maal de diepte van de te gebruiken luidspreker. Als een betrekkelijk hoog magneetsysteem wordt gebruikt, is 1,3 maal voldoende. De minimale breedte van de kast hangt samen met de grootste diameter van de luidspreker die wordt gebruikt en moet hieraan minstens gelijk zijn. Achter de hogetonenluidspreker die in de volgende voorbeelden wordt genoemd, behoeft geen kapje te worden geplaatst daar de luidspreker zelf aan de achterkant al luchtdicht is afgesloten.

De hier beschreven systemen hebben allemaal een aanpassingsimpedantie van 8Ω . Als een andere aanpassing wordt verlangd, kan in een van de vorige hoofdstukken worden nagegaan hoe in dit geval de waarden van de spoelen en condensatoren eenvoudig kunnen worden berekend.

Een korte beschrijving bij de voorbeelden geeft in grote lijnen aan waarvoor het ontwerp is bedoeld. Deze kan dienen als steun bij het kiezen van

de voor de lezer meest geschikte combinatie. Hierbij is aangenomen dat de weergavekarakteristiek van de versterker niet is gecorrigeerd zoals bijv. door het „ophalen” van de lage tonen of iets dergelijks waardoor de beoordeling met betrekking tot de weergaveprestaties zou worden beïnvloed.

Met de maximale belastbaarheid die bij ieder voorbeeld is opgegeven, wordt bedoeld dat de box op een versterker kan worden aangesloten die maximaal dit „constant sinusvormig” vermogen kan afgeven. Bovendien wordt aangenomen dat de combinatie wordt gebruikt voor het weergeven van een normaal muziekprogramma. Wenst men bijvoorbeeld deze combinatie te gebruiken voor het weergeven van een elektrisch solo-instrument zoals een basgitaar of een elektronisch orgel, waarin veel lage tonen voorkomen, dan kan men beter een speciaal voor dit doel in de handel gebracht ontwerp nemen, temeer daar voor deze toepassing geen hoge eisen worden gesteld aan de weergavekwaliteit. Hierdoor is het mogelijk deze ontwerpen robuuster uit te voeren en het rendement gunstiger te maken waardoor het doel – „big sound” te maken – beter kan worden gerealiseerd.

Acht voorbeelden van luidsprekerkasten met verschillende inhoud

Inhoud van de box in liters	Afmetingen van de onderdelen van de verschillende boxen zoals in fig. 10.1 is aangegeven.											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
3	10	245	150	90	10	120	150	265	110	245	10	20
7	15	310	200	120	15	160	200	340	160	310	15	20
15	20	425	270	135	20	185	270	465	230	425	20	20
25	20	530	320	155	20	205	320	570	280	530	20	20
35	25	630	380	160	25	220	380	680	340	630	25	20
40	25	700	420	160	25	220	420	750	380	700	25	20
50	25	760	460	170	25	230	460	810	420	760	25	20
80	25	880	540	180	25	240	540	930	500	880	25	20

In de situatieschets *hiernaast* is de constructie van een luidsprekerkast aangegeven. De afmetingen van de hierin met letters aangegeven maten zijn te vinden in *bovenstaande* tabel. De afmetingen van de latten die in de hoeken worden gebruikt, zijn voor alle boxen dezelfde en wel 20×20 mm.

De luidsprekerplank ligt altijd 10 mm binnen de voorkant van de box om ruimte te laten voor het aanbrengen van het sierfront. Bij de volgende voorbeelden is telkens een maatschets van de luidsprekerplank gegeven. Hierin is de plaats van de luidsprekers aangegeven evenals de diameter van de gaten die er in gemaakt moeten worden. Bij de montage is erop gerekend dat de luidsprekers vanaf de voorkant worden gemonteerd.

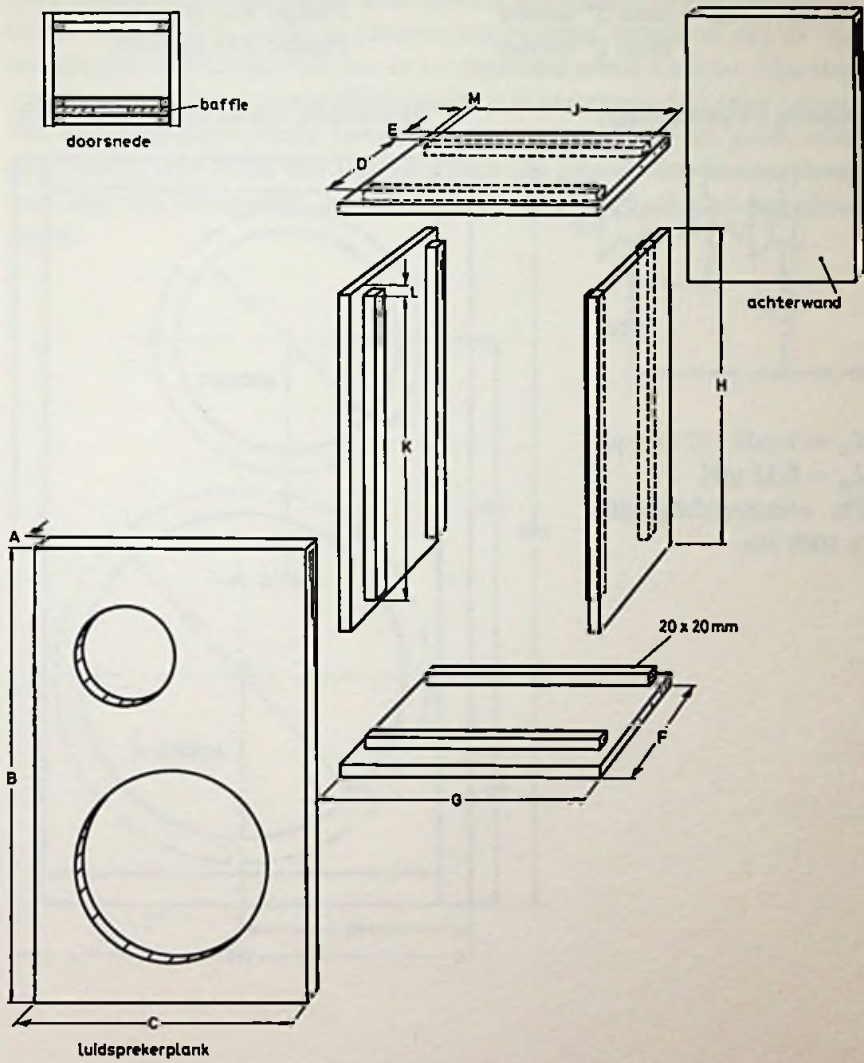


Fig. 10.1. Voorbeeld van de constructie van een luidsprekerkast.

Weergeefsysteem 1

Inhoud: 3 l

Luidsprekers: 1 maal 5" woofer
1 maal 1" tweeter

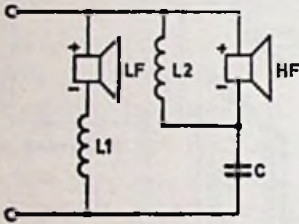
Maximale belastbaarheid: 10 W

Philips AD 5060/W8

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:

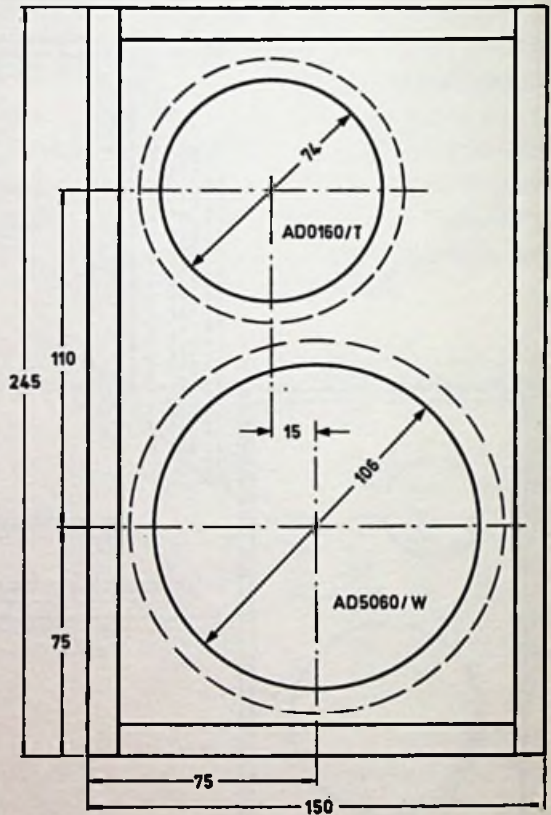
Maatschets van de luidsprekerplank:



$$L_1 = 1 \text{ mH} \quad C = 5 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_2 = 0,35 \text{ mH}$$

De overneemfrequentie
is 1000 Hz.



Deze combinatie is zeer geschikt voor betrekkelijk kleine kamers, bijv. tienerkamers. De weergave van het geheel zal beneden ongeveer 100 Hz gaan afnemen. Door de kleine afmetingen is het gewenst de box zo mogelijk in een hoek van de kamer te plaatsen om voordeel te hebben van de verhoogde geluidsdruk die hierdoor in het laagtonengebied ontstaat. Met twee van deze boxen is een goede stereoweergave te verkrijgen, ook voor ruimere dan de hierbovengenoemde kamers. Is men erg gesteld op een goede weergave van de lage tonen dan kan men beter een grotere kast kiezen. Houdt men meer van pop-muziek dan zal dit systeem zeer bevredigende resultaten geven.

Weergeefstelsel 2

Inhoud: 7 l

Luidsprekers: 1 maal 7" woofer

1 maal 1" tweeter

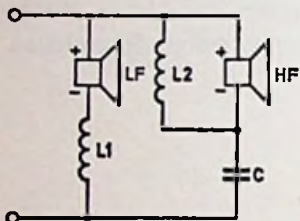
Maximale belastbaarheid: 20 W

Philips AD 7065/W8

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:

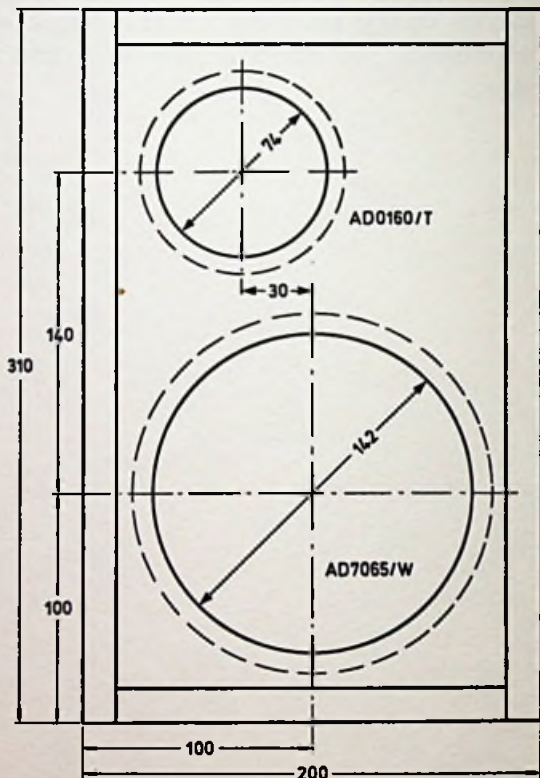
Maatschets van de luidsprekerplank.



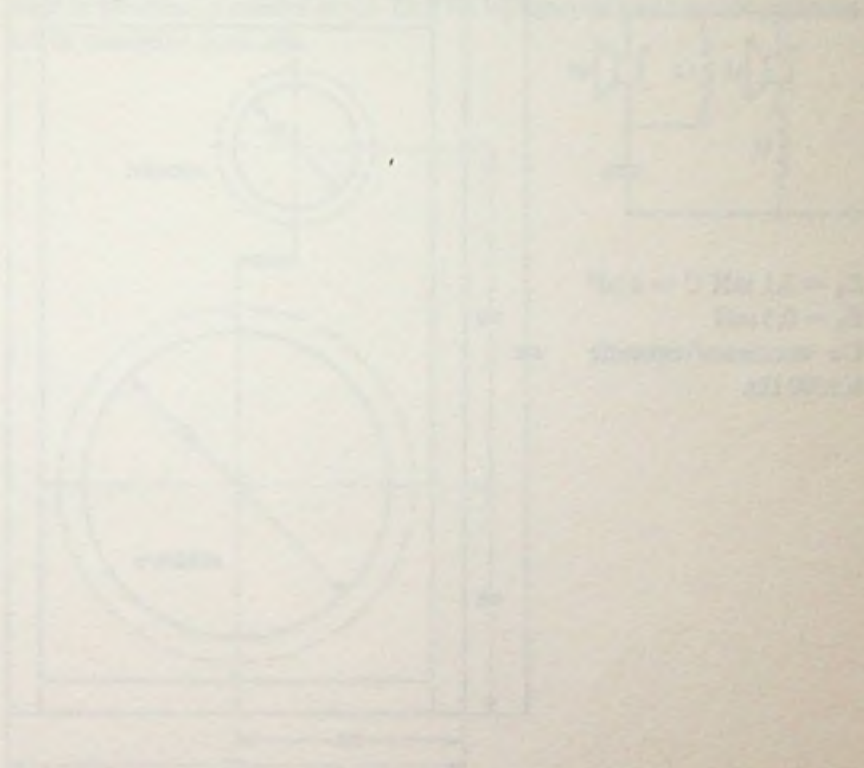
$$L_1 = 2,1 \text{ mH} \quad C = 8 \mu\text{F}$$

$$L_2 = 0,5 \text{ mH}$$

De overneemfrequentie
is 1500 Hz.



Dit ontwerp is nagenoeg gelijk aan het voorafgaande doch door het gebruik van een grotere luidspreker en een grotere kast is er een duidelijke verbetering in de weergave van de lage tonen te constateren. Vanaf 80 Hz is hierdoor een goede weergave mogelijk. Door de hogere overnamefrequentie die bij deze luidspreker mogelijk is, is het middengebied iets beter opgevuld. Geschikt voor een goede weergave in een „gemiddelde” huiskamer waarbij het plaatsen in een hoek of tegen een wand wel gewenst is.



Weergeefstelsel 3

Inhoud: 15 l

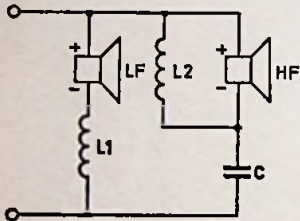
Luidsprekers: 1 maal 8" woofer
1 maal 1" tweeter

Maximale belastbaarheid: 20 W

Philips AD 8065/W8

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:

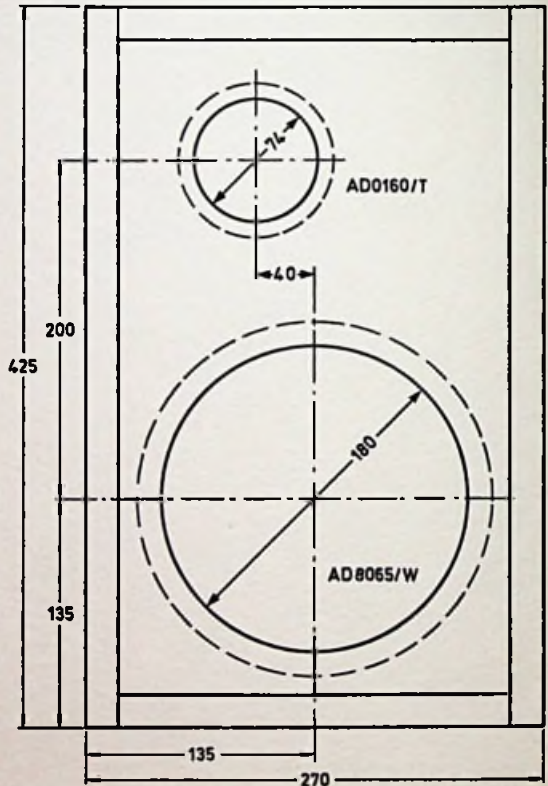


$$L_1 = 2,1 \text{ mH} \quad C = 8 \mu\text{F}$$

$$L_2 = 0,5 \text{ mH}$$

De overneemfrequentie
is 1500 Hz.

Maatschets van de luidsprekerplank:



In het voorafgaande ontwerp werd een 7" lagetonenluidspreker gebruikt terwijl hier de keuze op een 8" luidspreker is gevallen. Doordat in dit ontwerp tevens de kast meer inhoud heeft, is de lagetonenweergave uitgebreid tot ongeveer 70 Hz. Door het grotere conusoppervlak zijn voor het weergeven van lage tonen minder grote uitwijkingen nodig. Hierdoor is de vervorming bij hetzelfde akoestische uitgangsvermogen gunstiger. Deze combinatie is geschikt voor ruime huiskamers en de noodzaak de luidsprekerbox in een hoek te plaatsen, is minder groot. Ook als hij tegen de wand wordt geplaatst, zal de weergave goed zijn.

Weergeefsysteem 4

Inhoud: 25 l

Luidsprekers: 1 maal 8" woofer
 1 maal 5" squawker
 1 maal 1" tweeter

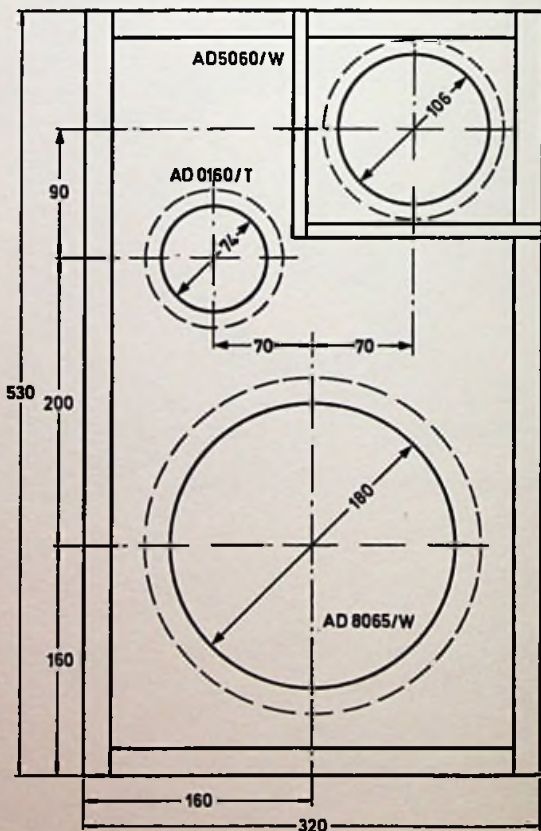
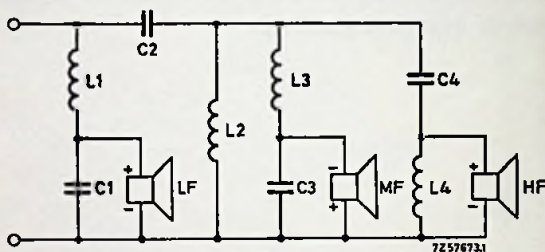
Maximale belastbaarheid: 20 W

Philips AD 8065/W8
 Philips AD 5060/W8
 Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:

$L_1 = 3 \text{ mH}$
 $L_2 = 1,2 \text{ mH}$
 $L_3 = 0,5 \text{ mH}$
 $L_4 = 0,35 \text{ mH}$
 $C_1 = 36 \text{ } \mu\text{F}$
 $C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$
 $C_3 = 8 \text{ } \mu\text{F}$
 $C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$

De overneemfrequenties
 zijn 700 Hz en 3000 Hz.



Maatschets van de luid-
 sprekerplank:

Dit driewegsysteem, dat in een niet al te grote kast is ondergebracht, kan in ruime huiskamers een goede weergave verzorgen. Het is een goed uitgebalanceerd ontwerp waarmee vanaf 60 Hz een goede laagtonenweergave mogelijk is. Door het gebruik van een aparte middentoonluidspreker is aan de weergave van dit gebied extra zorg besteed. Deze box kan in combinatie met een goede versterker een waardevolle bijdrage vormen tot een verhoogd luistergenot.

De afmetingen van het kastje dat over de middentoonluidspreker moet worden geplaatst, zijn $155 \times 120 \times 60$ mm, terwijl de wanden 10 mm dik zijn.

Weergeefstelsel 5

Inhoud: 35 l

Maximale belastbaarheid: 40 W

Luidsprekers: 1 maal 10" woofer

Philips AD 1055/W8

1 maal 5" squawker

Philips AD 5060/W8

1 maal 1" tweeter

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:

$$L_1 = 6,4 \text{ mH}$$

$$L_2 = 1,2 \text{ mH}$$

$$L_3 = 0,5 \text{ mH}$$

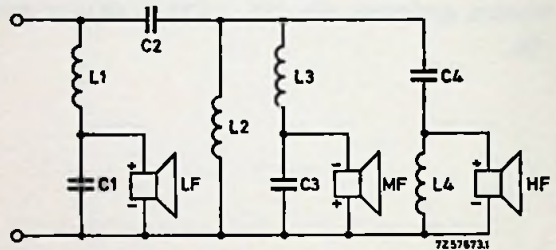
$$L_4 = 0,35 \text{ mH}$$

$$C_1 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

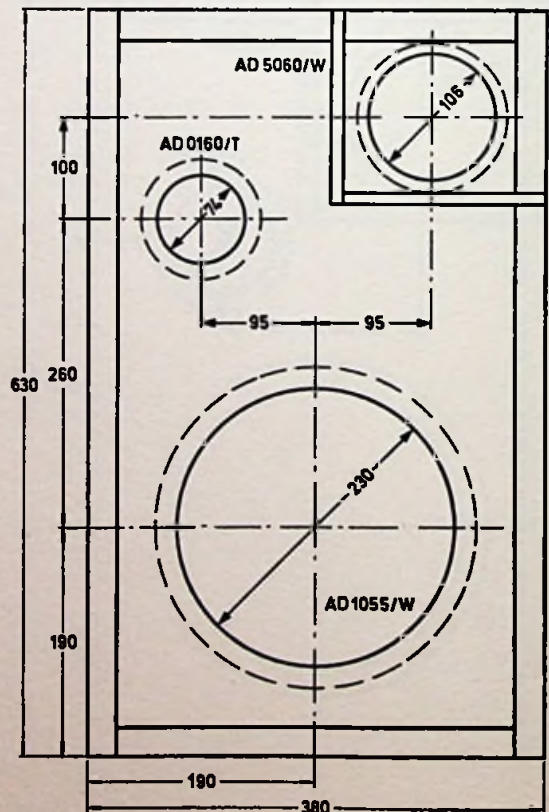
$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$



De overneemfrequenties
zijn 700 Hz en 3000 Hz.



Maatschets van de luid-
sprekerplank:

Dit systeem geeft ten opzichte van het voorafgaande ontwerp, hoewel uitgerust met een 10" lagetonenluidspreker, geen uitbreiding in de richting van de lage frequenties. Wel zullen de lage tonen door de grotere oppervlakte van de conus zeer goed worden weergegeven.

Door deze gunstige eigenschap kan de box het predikaat „Hi-Fi” met glans dragen. In ruime tot grote huiskamers (80–120 m³) zal deze box zeer goede resultaten kunnen geven.

De afmetingen van het kastje dat over de middentoonluidspreker moet worden geplaatst, zijn 185 × 120 × 60 mm, terwijl de wanden 10 mm dik zijn.

Weergeefstelsysteem 6

Inhoud: 40 l

Luidsprekers: 1 maal 10" woofer
2 maal 5" squawker
2 maal 1" tweeter

Maximale belastbaarheid: 40 W

Philips AD 1055/W8
Philips AD 5060/W4
Philips AD 0160/T4

Schema overneemfilter:

$$L_1 = 6,4 \text{ mH}$$

$$L_2 = 1,2 \text{ mH}$$

$$L_3 = 0,5 \text{ mH}$$

$$L_4 = 0,35 \text{ mH}$$

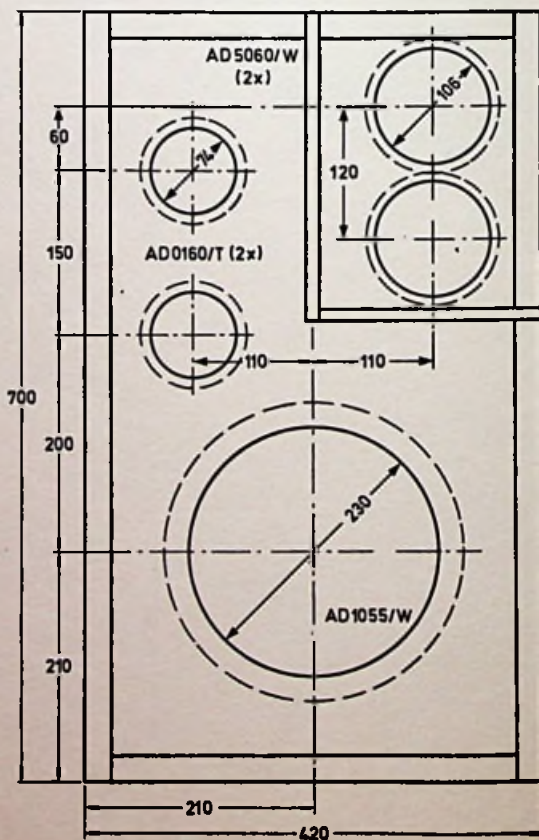
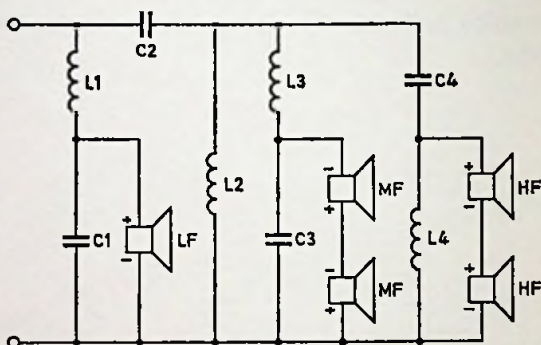
$$C_1 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$

De overneemfrequenties
zijn 700 Hz en 3000 Hz.



Maatschets van de luid-
sprekerplank:

Dit ontwerp heeft wat meer kastvolume dan het vorige. Daardoor is de weergave in het laag met ongeveer 5 Hz uitgebreid. Daar zowel voor het middengebied als het hoog diverse luidsprekers zijn gebruikt, is bij volle belasting een geluidsveld op te bouwen met zeer weinig vervorming, zodat iedere bezitter van deze Hi-Fi-installatie ten volle kan genieten.

De afmetingen van het kastje dat over de middentoonluidspreker moet worden geplaatst, zijn $240 \times 205 \times 60$ mm, terwijl de wanden 10 mm dik zijn.

Weergeefstelsel 7

Inhoud: 50 l

Luidsprekers: 1 maal 12" woofer

2 maal 5" squawkers

2 maal 1" tweeters

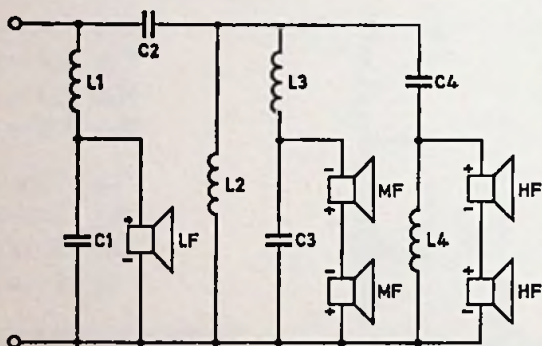
Maximale belastbaarheid: 40 W

Philips AD 1256/W8

Philips AD 5060/W4

Philips AD 0160/T4

Schema overneemfilters:



$$L_1 = 6,4 \text{ mH}$$

$$L_2 = 1,2 \text{ mH}$$

$$L_3 = 0,5 \text{ mH}$$

$$L_4 = 0,35 \text{ mH}$$

$$C_1 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

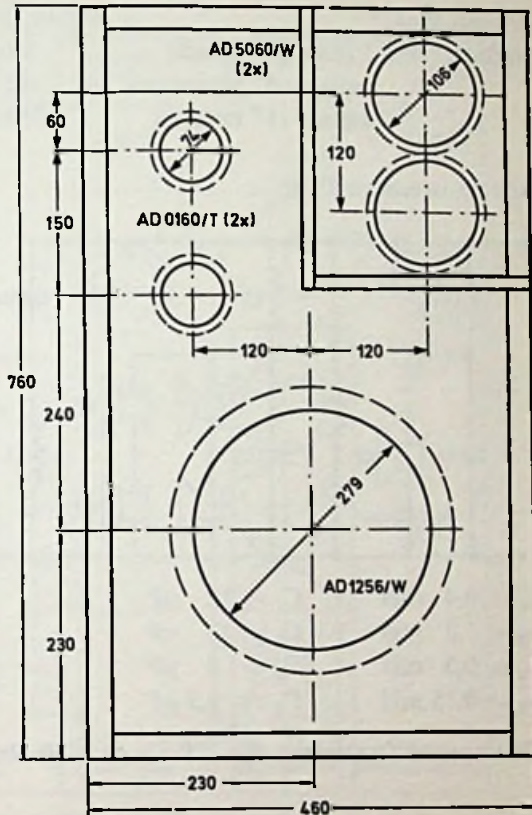
$$C_3 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$

De overneemfrequenties zijn 700 Hz en 3000 Hz.

Maatschets van de luidsprekerplank:

De afmetingen van het kastje dat over de mid-dentoonluidspreker moet worden geplaatst zijn $240 \times 222 \times 60$ mm, terwijl de wanden 15 mm dik zijn.



Evenals met de voorafgaande ontwerpen is met deze box een weergave tot 20 000 Hz mogelijk. Vanaf 55 Hz is een gelijkmatige weergave te realiseren. De kwaliteit is bijzonder goed. De weergave in het laag is goed gedempt en die in het hoog valt op door helderheid en transparantie van toon. Ook voor zeer grote huiskamers is deze box goed te gebruiken. Voor de Hi-Fi-enthousiast een combinatie die zeker aandacht verdient.

Weergeefstelsel 8

Inhoud: 80 l

Maximale belastbaarheid: 40 W

Luidsprekers: 1 maal 12" woofer

Philips AD 1256/W8

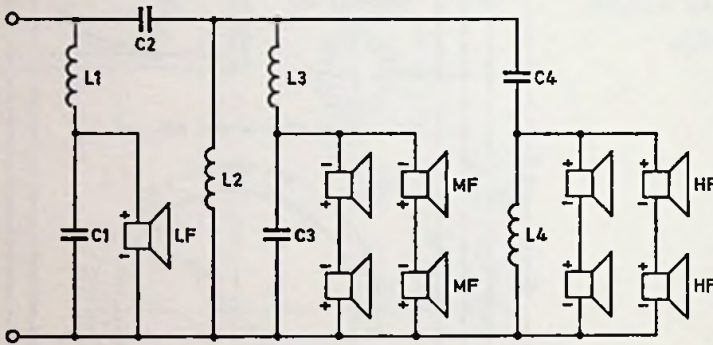
4 maal 5" squawkers

Philips AD 5060/W8

4 maal 1" tweeters

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:



$$L_1 = 6,4 \text{ mH}$$

$$C_1 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_2 = 1,2 \text{ mH}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_3 = 0,5 \text{ mH}$$

$$C_3 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$

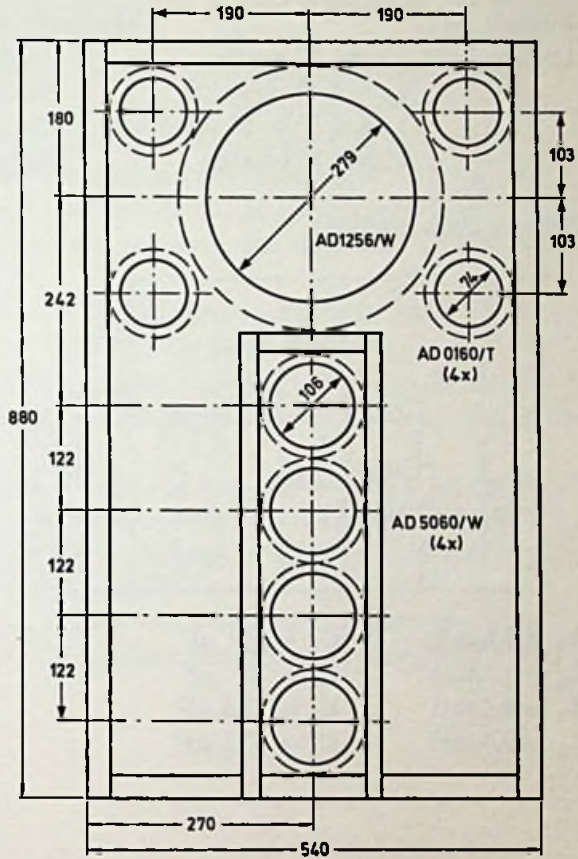
$$L_4 = 0,35 \text{ mH}$$

$$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$

De overneemfrequenties zijn 700 Hz en 3000 Hz.

Maatschets van de luidsprekerplank:

De afmetingen van het kastje dat over de mid-dentoonluidsprekers moet worden geplaatst, zijn $480 \times 120 \times 60$ mm, terwijl de wanden 20 mm dik zijn.



Door de grote inhoud van de kast is het mogelijk, in combinatie met de lage resonantie van de luidspreker, vanaf 45 Hz een zeer goede weergave te verkrijgen. De 4 hogetonen- en middentoonluidsprekers garanderen een geluidsreproductie van zeer goede kwaliteit. Als geheel is deze combinatie een uitstekende schakel in de keten van de geluidsoverdracht. Evenals het vorige ontwerp is deze box ook voor de liefhebbers van orgelmuziek, waarin nogal massaal laag voorkomt, een goede keus. Bij het plaatsen van dergelijke boxen in de huiskamer dient men er goed op te letten dat de hogetonen- en middentoonluidsprekers vrij moeten kunnen uitstralen en niet gehinderd mogen worden door het meubilair.

Weergeefsysteem 9

Inhoud: 20 l

Maximale belastbaarheid: 20 W

Luidsprekers: 1 maal 8" woofer

Philips AD 8065/W8

1 maal 4" squawker

Philips AD 4080/X4

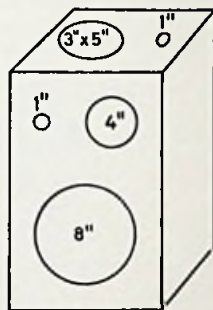
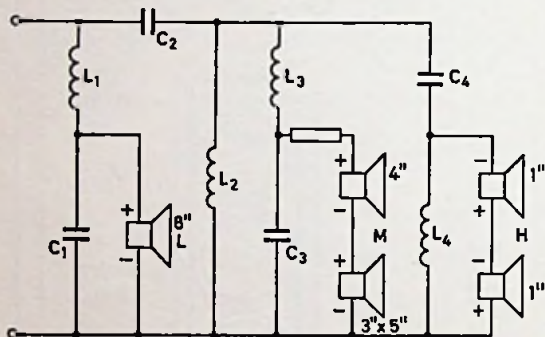
1 maal 3" × 5" squawker

Philips AD 3590/X4

2 maal 1" tweeters

Philips AD 0160/T4

Schema overneemfilter:



$$L_1 = 3,6 \text{ mH}$$

$$C_1 = 28 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_2 = 2,6 \text{ mH}$$

$$C_2 = 20 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_3 = 0,4 \text{ mH}$$

$$C_3 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_4 = 0,4 \text{ mH}$$

$$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$$

Bij dit ontwerp, dat gezien de geringe inhoud toch zeer goede resultaten kan geven, is de vormgeving geheel aan de lezer overgelaten. Op de schets is een mogelijke opstelling aangegeven, waarbij twee luidsprekers naar voren en twee naar boven stralen. Hierdoor krijgt men naast het directe stralen van de middentonen en de hoge tonen ook bewust een indirecte straling van dit deel van het geluid. Het gevolg hiervan is dat men in een veel groter deel van de kamer een goede, zij het een iets vager, stereobeeld kan beluisteren. De buitenafmetingen van de box die in de schets is aangegeven en waarmee de luisterproeven zijn genomen, om dit effect te onderzoeken, waren $50 \times 28 \times 22$ cm.

Achter de 4" en de 3" \times 5" luidsprekers waren kapjes geplaatst met een inhoud van resp. 0,45 en 0,35 liter. De kleine kastjes zowel als de grote, moeten geheel met stoffeerdswatten of glaswol worden opgevuld. De genoemde vulling moet losjes worden aangedrukt om de demping te krijgen die voor dit ontwerp nodig is.

Behalve aan de voorkant moet ook aan de bovenkant een sierrooster worden aangebracht. Een metaalgaasje van $22,5 \times 7,5$ cm aan de bovenkant is al genoeg om een ongehinderde uitstraling door de ovale middentoonluidspreker en de tweeter te verzekeren.

Al met al een zeer aantrekkelijk ontwerp voor die lezers die niet te veel plaats willen inruimen voor de luidsprekerboxen en toch goede Hi-Fi op prijs stellen.

Weergeefstelsysteem 10

Inhoud: 30 l

Maximale belastbaarheid: 2×20 W

Alleen geschikt voor aansluiting op een stereoversterker.

Luidsprekers: 2 maal 8" woofers

Philips AD 8065/W8

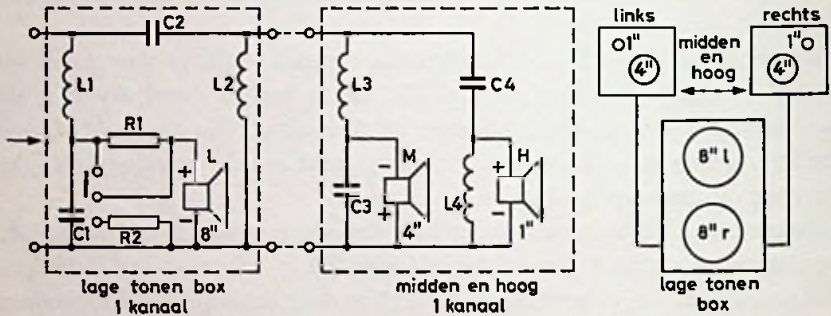
2 maal 4" squawkers

Philips AD 4080/X8

2 maal 1" tweeters

Philips AD 0160/T8

Schema overneemfilter:



$$L_1 = 6,5 \text{ mH}$$

$$C_1 = 50 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_2 = 3,0 \text{ mH}$$

$$C_2 = 36 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_3 = 0,6 \text{ mH}$$

$$C_3 = 4,7 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_4 = 0,6 \text{ mH}$$

$$C_4 = 4,7 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R_1 = 2,2 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 22 \text{ } \Omega$$

In afwijking van de gangbare opstelling, waar twee kasten worden gebruikt, waarvan één voor het linker- en één voor het rechterkanaal, is hier gedacht aan één luidsprekerbox voor de lage tonen, zowel voor het linker- als het rechterkanaal, en twee kleine units voor de weergave van het midden en het hoog van het linker- en het rechterkanaal.

De hele opstelling voor dit geval is in de schets aangegeven. Daar de lage tonen geen richteffect hebben, is de plaats van de lagetonenbox, voor het verkrijgen van een goed stereobeeld niet kritisch en kan in verband met de opstelling van het overige meubilair de meest geschikte plaats worden gezocht. Het hele stereo-effect wordt gevormd door de twee hogetonenstralers. Daar deze maar klein zijn, zijn ze gemakkelijk zó op te hangen of neer te zetten dat het uitgestraalde geluid niet wordt gehinderd door meubilair. Tevens zijn deze kleine afmetingen uiterst gunstig om de meest geschikte plaats te kiezen voor een goed stereobeeld, vooral in dát deel van de kamer, waar men normaal zit te luisteren. Met deze combinatie is een zeer goede weergave mogelijk. In huiskamers waar het plaatsnemen van de luidsprekerboxen moeilijkheden geeft, in verband met het maximaal te bereiken stereo-effect, is dit een praktische oplossing. Om de plaatsingsmogelijkheden van de lagetonenbox niet te beperken, is het mogelijk door een ingebouwde verzwakker, die door een schakelaar op de box is te bedienen, de weergave in het laag 3 dB af te zwakken. Het overneemfilter is voor één kanaal aangegeven. Voor stereo zijn vanzelfsprekend twee van deze filters nodig. Door een stippellijn is aangegeven welk deel van één filter in de lagetonenbox zit en welk deel bij de hogetonenunit kan worden gemonteerd. De gestippelde verbindingen geven het verbindingssnoer aan dat tussen de lagetonen- en één van de hogetonenstralers aanwezig is. De 4" middentoonluidspreker is aan de achterkant luchtdicht afgedekt met een kapje dat een inhoud heeft van 0,7 liter en dat geheel met dempingsmateriaal is gevuld.

De beide 8" lagetonenluidsprekers zijn gemonteerd op de luidsprekerplank van de 30 liter-lagetonenbox die binnenwerks $27,5 \times 50 \times 21,5$ cm is en een wanddikte heeft van 15 mm. De verdere vormgeving, vooral van de hogetonenstralers, wordt geheel overgelaten aan de fantasie van de lezer.

Weergeefstelsysteem 11

Inhoud: 90 l

Maximale belastbaarheid: 40 W

Luidsprekers: 1 maal 12" woofer

Philips AD 1265/W8

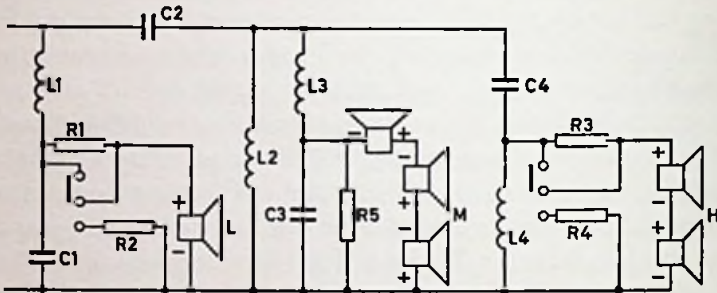
3 maal 3" × 5" squawkers

Philips AD 3590/X4

2 maal 1" tweeters

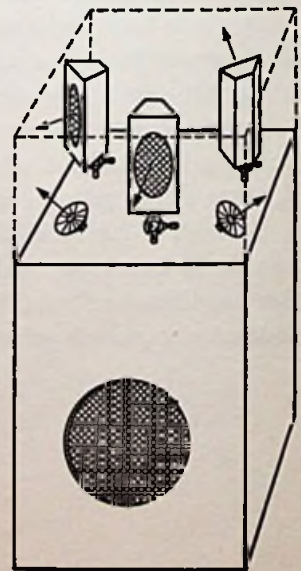
Philips AD 0160/T4

Schema overneemfilter:



$L_1 = 5,6 \text{ mH}$	$C_1 = 36 \text{ } \mu\text{F}$
$L_2 = 3,0 \text{ mH}$	$C_2 = 24 \text{ } \mu\text{F}$
$L_3 = 0,35 \text{ mH}$	$C_3 = 2,2 \text{ } \mu\text{F}$
$L_4 = 0,5 \text{ mH}$	$C_4 = 3,3 \text{ } \mu\text{F}$
$R_1 = 2,2 \text{ } \Omega$	$R_2 = 22 \text{ } \Omega$
$R_3 = 3,9 \text{ } \Omega$	$R_4 = 8,2 \text{ } \Omega$
$R_5 = 27 \text{ } \Omega$	

De overneemfrequenties zijn
400 Hz en 4000 Hz.



Deze grote kast die is uitgerust met een 12" luidspreker voor het weergeven van de lage tonen, is bijzonder geschikt voor de liefhebbers van orgelmuziek die bovendien over een ruime kamer kunnen beschikken. De weergave in het laag is bijzonder goed. Een verzwakker is toegevoegd om de lagetonenweergave 3 dB te kunnen verminderen als de kast in een hoek van de kamer wordt geplaatst, ofschoon er ook luisteraars zijn die deze extra 3 dB wel mooi vinden en geen behoefte hebben aan deze schakelaar.

Voor de weergave van de middentonen is gebruik gemaakt van drie ovale luidsprekers die ieder afzonderlijk in een kastje van ongeveer 1 liter inhoud zijn gemonteerd. Deze kastjes zijn draaibaar opgesteld op de bovenkant van de box. Hierdoor kan men het stralingsdiagram van de box aanpassen aan de akoestische eigenschappen van de kamer. Ieder van de middentoonluidsprekers kan zó worden gedraaid dat de meest gunstige geluidsverdeling wordt bereikt. Algemene regels zijn hiervoor niet te geven, maar de lezer die van experimenteren houdt en een goede weergave weet te waarderen, vindt meestal gauw de goede instelling. Het is beslist niet nodig dat alle luidsprekers naar voren stralen. Vaak is het gunstig één ervan scheef naar achteren tegen de wand te laten stralen, waardoor meer indirect geluid wordt verkregen, dat de weergave in sommige gevallen zeer ten goede komt. Hetzelfde geldt voor de hogetonenluidsprekers. Deze kunnen ook instelbaar boven op de kast worden gemonteerd en zodanig worden gericht dat een goede, enigszins diffuse hoogweergave wordt bereikt.

Ook hier is een verzwakkerschakeling aangebracht en wel van 6 dB, voor die lezers die een akoestisch harde kamer hebben, waardoor de hoge tonen minder verzwakt worden door de absorptie dan normaal in een „gemiddelde” huiskamer het geval is. In één van de vorige hoofdstukken is aangegeven hoe de weerstandswaarden moeten worden gekozen als een andere mate van verzwakking gewenst is. De lagetonenluidspreker is ondergebracht in een box waarvan de inwendige afmetingen $70 \times 44 \times 29$ cm zijn, terwijl de wanddikte 25 mm is.

Drie kastjes van 1 liter worden ieder voorzien van één ovale $3" \times 5"$ luidspreker en opgevuld met dempingsmateriaal. Met een kogelgewricht (bij de fotograaf verkrijgbaar) zijn de kastjes aan de lagetonenbox te bevestigen. Ook de beide tweeters kunnen zo worden bevestigd. De hele opstelling kan er dan uitzien als in de schets is aangegeven. Het geheel kan, al naar keuze, worden afgewerkt met metaalgaas of luidsprekerdoek. Twee van deze boxen geven de mogelijkheid een weergave van hoog niveau in de huiskamer te realiseren.

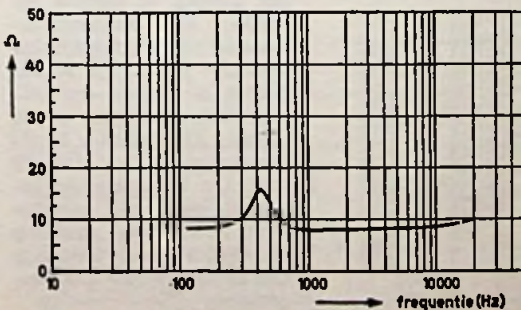
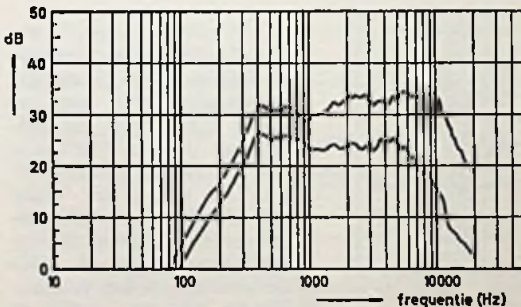
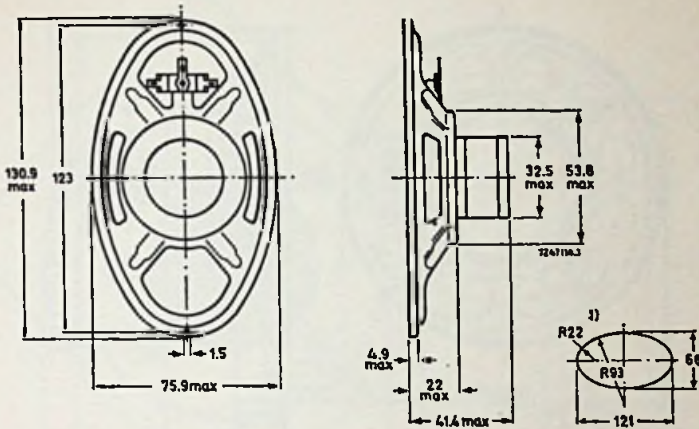
Technische gegevens van de besproken luidsprekers

Tot slot worden in dit hoofdstuk de belangrijkste technische gegevens van de luidsprekers uit de voorafgaande ontwerpen vermeld. Deze gegevens hebben o.a. betrekking op de aanpassingsimpedantie en de resonantiefrequentie die beide zijn af te lezen uit de impedantiekarakteristiek. Bovendien zijn de frequentie- en de vermogenskarakteristiek gegeven evenals de inductie in de luchtspleet en de maximale belastbaarheid van de desbetreffende luidspreker. Voor het kunnen bepalen van de minimale afmetingen van de luidsprekerkast zijn tevens de hoofdafmetingen van de luidspreker gegeven. Bij iedere luidspreker staat verder een kleine beschrijving om een globale indruk te krijgen van de prestaties die ervan verwacht mogen worden alsmede van de functie waarvoor hij is ontworpen.

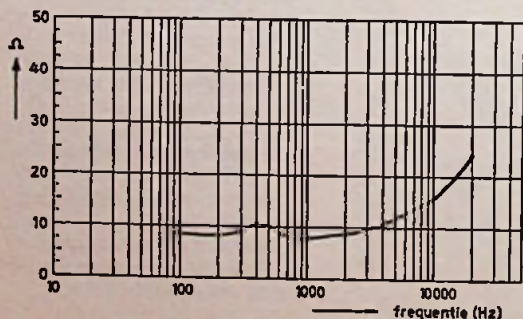
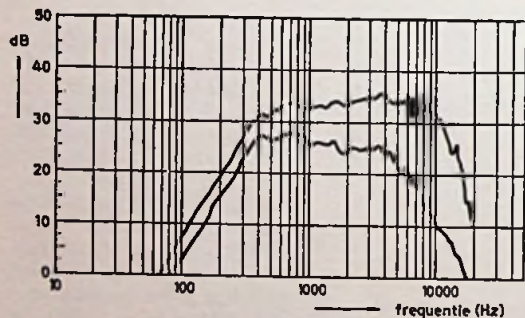
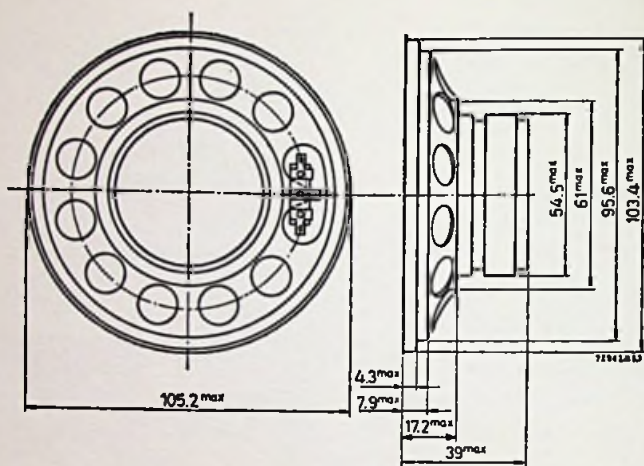
De verschillende akoestische karakteristieken zijn opgenomen in een dode kamer terwijl op de klemmen van de luidspreker een spanning aangesloten was die berekend is voor een elektrisch vermogen van 50 of 500 mW. Als een luidspreker van 8Ω wordt gemeten, betekent dit een spanning van resp. 0,63 of 2 V. De afstand tussen de microfoon en de luidspreker is bij alle metingen steeds 50 cm.

Het niveau van 0 dB op de frequentiekarakteristiek heeft een absolute waarde van 52 dB zodat we voor 10 dB moeten lezen 62 dB en voor 50 dB 102 dB om de absolute geluidsdruk te weten, waarbij 0 dB absoluut overeenkomt met een geluidsdruk van 2×10^{-5} newton per vierkante meter (N/m^2). Van de beide weergegeven akoestische karakteristieken is de bovenste steeds de frequentiekarakteristiek terwijl de andere de vermogenskarakteristiek voorstelt.

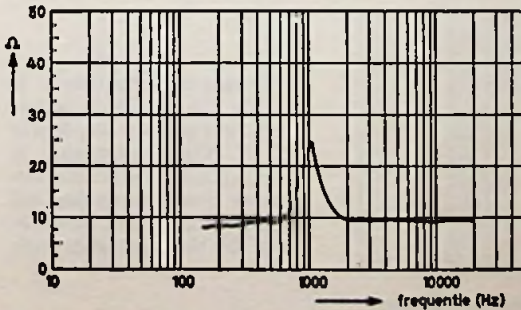
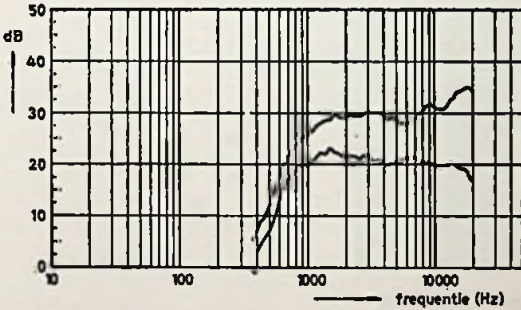
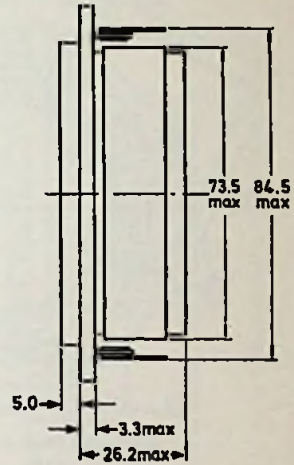
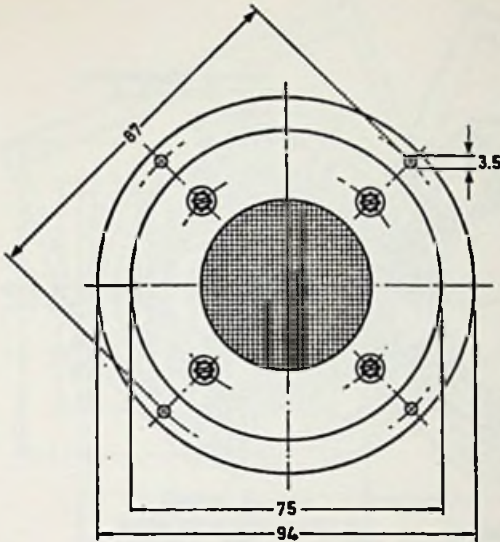
Met de maximale belastbaarheid wordt bedoeld dat de luidspreker in staat is het daarbij opgegeven „muziekvermogen” op te nemen.



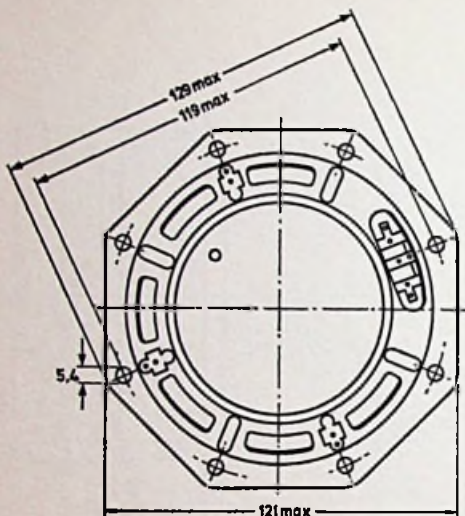
De hier gegeven midden-
toonluidspreker $3'' \times 5''$
was gemonteerd in een 0,9
liter-kastje om de situatie na
te bootsen die in de praktijk
optreedt als de luidspreker
op een luidsprekerplank
wordt geplaatst en aan de
achterkant met een kapje
wordt afgedekt. Zoals valt
af te lezen uit de karakter-
istieken is het frequentiege-
bied tussen 400 en 5000 Hz
zeer goed weer te geven. In-
dien een groter kapje wordt
gebruikt, kan het frequentie-
gebied naar het laag nog
iets worden uitgebreid. De
„losse” luidspreker heeft een
resonantiefrequentie van 200
Hz en de inductie in de lucht-
spleet is 0,85 T (8500 Gs).
De hier gegeven karakter-
istieken zijn opgenomen met
0,63 V (50 mW) op de klem-
men van de luidspreker.



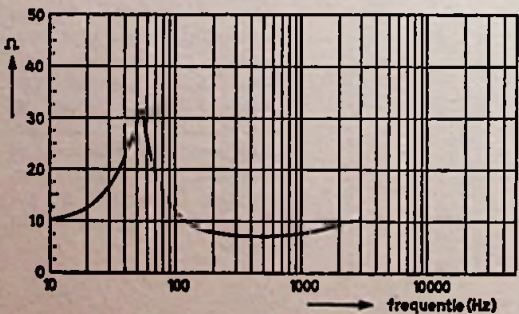
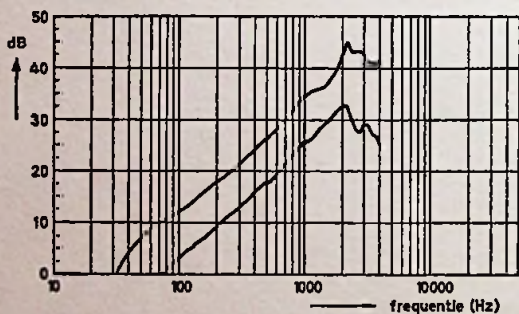
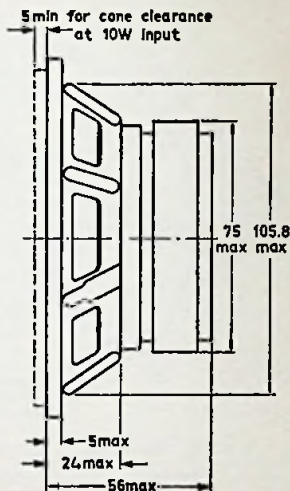
De 4" luidspreker, waarvan de frequentie- en de vermogenskarakteristiek hier gegeven zijn terwijl de luidspreker in een klein kastje van 0,9 liter is gemonteerd, kan de frequenties vanaf 400-4000 Hz zeer goed weergeven. Hij is daarom bijzonder geschikt om als mid-dentoonluidspreker in combinatie met een woofer en een tweeter te worden gebruikt. De resonantiefrequentie van de luidspreker „buiten” het kastje is 165 Hz en is geschikt om 3 W elektrisch vermogen op te nemen. De inductie in de luchtspleet is 1 T (10 000 Gs). De hier gegeven karakteristieken zijn opgenomen terwijl een spanning van 0,63 V op de klemmen van de luidspreker was aangesloten.



Deze luidspreker is bijzonder geschikt als hogetonenstraler, daar de vermogenskarakteristiek nagenoeg van 2000 - 15 000 Hz „recht” is. Als alleen het frequentiegebied boven 1500 Hz wordt toegelaten tot deze luidspreker mag hij worden aangesloten op een versterker van 20 W.

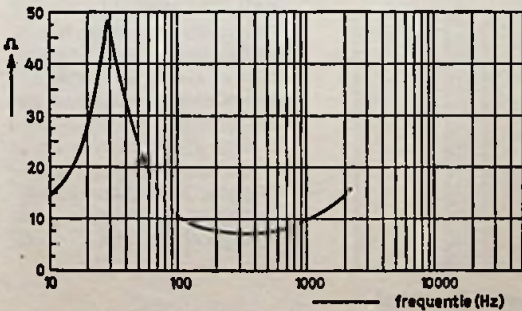
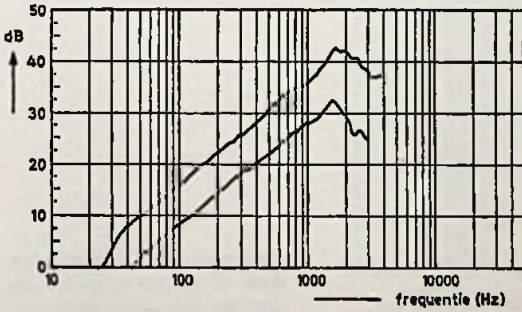
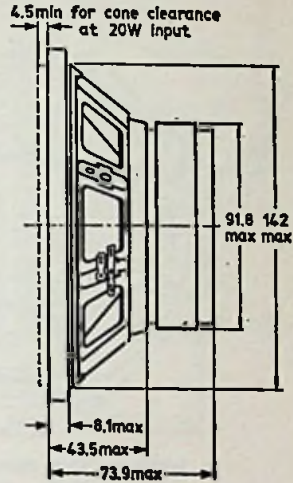
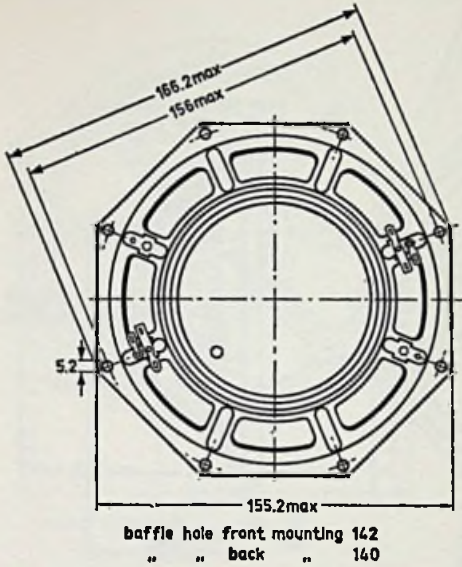


baffle hole front mounting 106
 " " back " 108



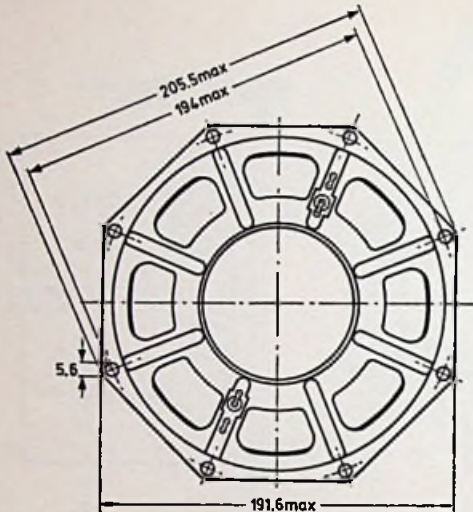
De resonantiefrequentie is 50 Hz. De maximale belastbaarheid in een 3 liter-box is 10 W. Deze luidspreker is alleen geschikt voor het weergeven van frequenties tot ongeveer 2000 Hz. Daarboven valt de luidspreker sterk af.

AD 7065/W8

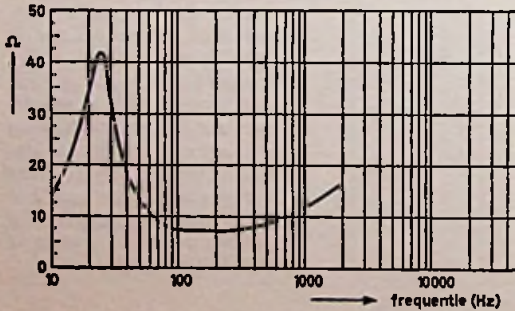
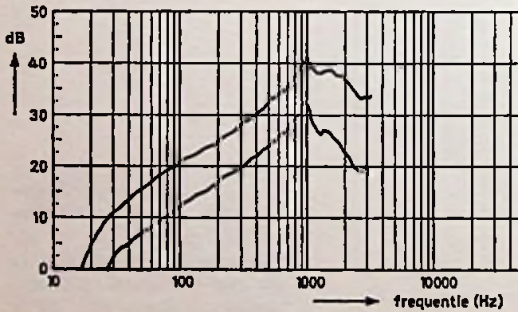
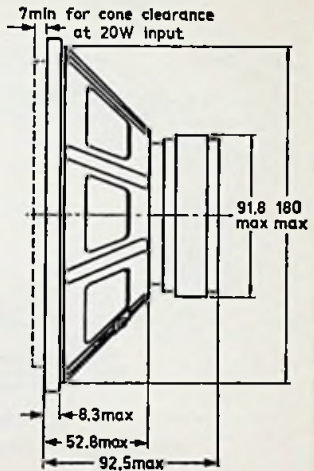


Deze 7" lagetonenluidspreker met een resonantiefrequentie van 28 Hz is geschikt voor een versterker die een maximaal uitgangsvermogen heeft van 20 W (music power) als de kast waarin de luidspreker gemonteerd is, niet groter is dan 7 liter. Voor frequenties boven 1500 Hz is deze luidspreker niet meer te gebruiken daar de akoestische output dan sterk daalt. De karakteristiek is opgenomen met een spanning van 2 V op de aansluitklemmen. De inductie in de lichtspleet is 0,93 T (9300 Gs).

AD 8065/W8

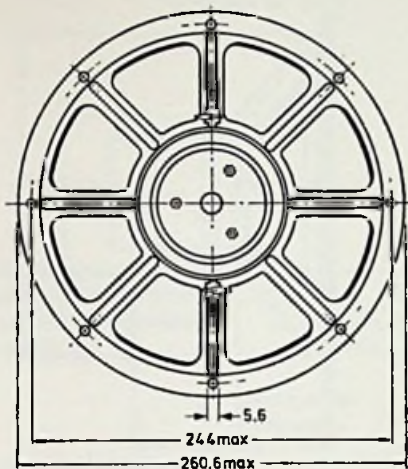


baffle hole front mounting 180
 " " back " 176

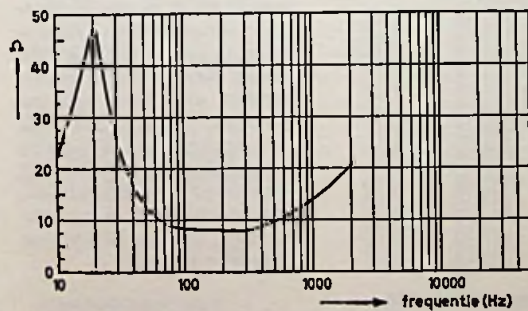
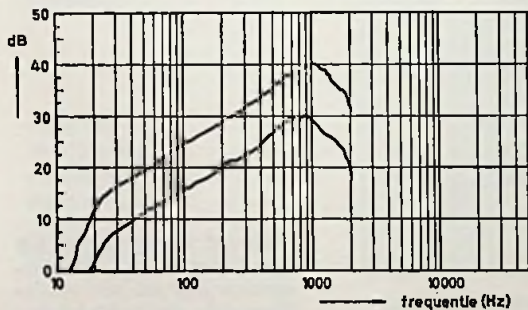
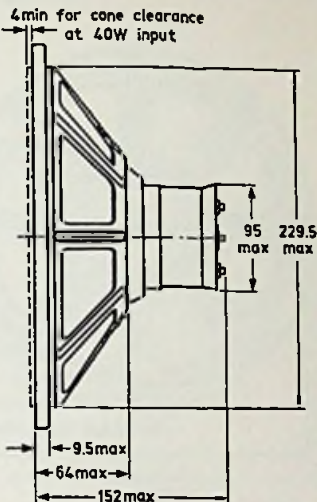


De resonantiefrequentie van deze 8" woofer is 28 Hz en, doordat het uitgangsvermogen na ruim 1000 Hz snel daalt, niet geschikt voor het weergeven van hoge tonen. De maximale belastbaarheid is 20 W als de luidspreker is gemonteerd in een box met een inhoud van maximaal 15 liter. De karakteristiek is opgenomen met een spanning van 2 V op de aansluitklemmen. De inductie in de lichtspleet is 0,9 T (9000 Gs).

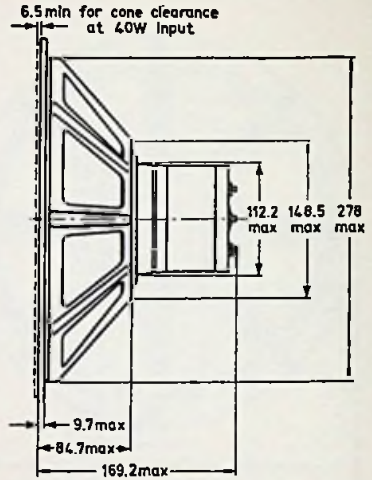
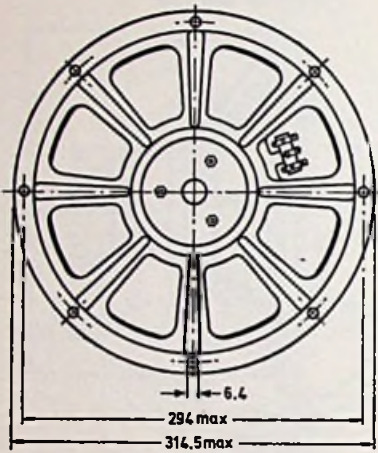
AD 1055/W8



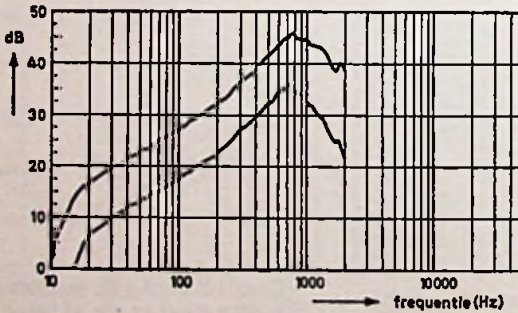
baffle hole front mounting 230
 back .. 227



Deze 10" woofer die geschikt is voor 40 W in een 35 literkast en een resonantiefrequentie heeft van 20 Hz heeft een inductie van 0,87 T (8700 Gs) in de luchtspleet. Boven 1000 Hz is deze luidspreker niet meer bruikbaar doch moet een luidspreker worden toegevoegd die wél geschikt is voor het weergeven van de hoge tonen. De karakteristiek is opgenomen met 2 V op de klemmen van de luidspreker.



baffle hole front mounting 279
 back .. 276



Voor het weergeven van erg lage tonen is deze 12" luidspreker met een resonantiefrequentie van 15 Hz bijzonder geschikt. De belastbaarheid is 40 W in een 80 literbox en de inductie in de lichtspleet is 1,07 T (10 700 Gs). Boven 800 Hz kan de luidspreker niet meer worden gebruikt. De karakteristiek is opgenomen met 2 V op de aansluitklemmen. Voor het weergeven van orgelmuziek, mits gemonteerd in een ruime kast, is deze luidspreker bijzonder geschikt.

Trefwoordenregister

A		F	
aanpassings-impedantie . . . . .	.27	fase . . . . .	.42
akoestische kortsluiting . . . . .	.49	flutter	105
akoestisch vermogen	28, 37	frequentie. . . . .	.11
amplitude.	10, 13	— karakteristiek	29, 48
B		— omvang . . . . .	.12
affle (zie klankbord)		— spectrum . . . . .	.14
affleidip . . . . .	.63	G	
bell	16 e.v.	geluid	9
belastbaarheid	28, 44, 98, e.v.	— direct	48, 109
boventoon	12, 13	— indirect	49, 109
C		geluidabsorberend	29, 89
capaciteit . . . . .	.72	geluidsdruk	17, 30
centreerring . . . . .	.23	— snelheid . . . . .	.11
compliantie	106, 107	— vermogen	16, 37
condensator	72, 95	geluidsintensiteit. . . . .	.15
conus . . . . .	.23	golflengte.	11, 51
cross-over-filter . . . . .	.72	grondtoon	12, 14
D		H	
decibell . . . . .	.16	harmonischen	12, 13
demping	32, 44, e.v.	hertz . . . . .	.11
dode kamer . . . . .	.29	hogetonenkegel . . . . .	.40
dreun	105	I	
driewegsysteem	74, 80	impedantie	27, 40, 72
drukkamerluidspreker . . . . .	.54	impedantiekarakteristiek . . . . .	.27
dwardskrachtcompensatie	106 e.v.	interferentie. . . . .	.63
E		J	
elektrisch vermogen	109 e.v.	jengel	105

K
klankbord 50, 57, 61

L
Lorentz-kracht 20
luchtbelasting 53, 56
luidsprekerbox 52, 87

M
magnetische flux. 18, 23
— inductie 18, 32
— verzadiging 20
magnetomotorische kracht 19

N
naaldkracht 107

O
overneemfrequentie 74, 75

P
parallelschakeling 43

R
rendement 29
resonantiefrequentie 32, 53
rumble 105

S
scheidingsfilters 71, 93, e.v.
serieschakeling 43
side thrust 107
sierfront 92, 116
spoel 72, 94
spreekspoel 21, 22
squawker 81
stralingsdiagram 33

T
timbre 12, 13
toonhoogte 12
tweeter 39
tweewegsysteem 74

U
uitgangsvermogen 108

V
vermogenskarakteristiek 28, 48
vervorming 18

W
woofer 39
wow 105

Z
zelfinductie 72

BIBLIOTHEEK
N.V.H.B.