



G. SLOT - VAN MICROFOON TOT OOR

G. SLOT

# Van microfoon tot oor



MODERNE GELUIDSOPNAME  
EN -WEERGAVETECHNIEK

PHILIPS' TECHNISCHE BIBLIOTHEEK  
POPULAIRE SERIE

VAN MICROFOON  
TOT OOR

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK



# VAN MICROFOON TOT OOR

*Moderne geluidsopname en  
weergave techniek*

UDC 681.84.083 : 534.85

DOOR

**G. SLOT**

**J. P. de Jongh, PAoDEJ  
Begoniastraat 54  
Roosendaal**

1955

UITGAVE : MEULENHOF & Co. N.V. - AMSTERDAM

Mededeling van de uitgever  
Dit boek wordt uitgegeven in vier talen  
Nederlands, Engels, Frans en Duits

Copyright N.V. Philips' Gloeilampfabrieken — Eindhoven (Nederland)  
Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden.  
Gedrukt in Nederland.

Alle in dit boek opgenomen gegevens  
zijn medegedeeld zonder octrooigarantie van de  
N.V. Philips' Gloeilampfabrieken te Eindhoven.

## Woord vooraf.

Het mensdom beschikt over een onbegrensd rijk geestelijk bezit. Veel van deze rijkdommen heeft de menselijke geest zich pas verworven toen het menselijk vernuft de mogelijkheid opende om kennis op grotere schaal aan anderen mee te delen. De wetenschap nam pas haar hoge vlucht toen de boekdrukkunst praktische toepassing begon te vinden en daarmee grote geestelijke waarden algemene verbreiding vonden. Maar de muziek, zowel als het gesproken woord bleven nog een viertal eeuwen langer dan het geschreven woord gebonden aan de plaats van uitvoering.

Een vijfenzeventig jaren geleden werden ook deze kluisters verbroken. Aanvankelijk waren de methoden van geluidsopname en -weergave nog zeer primitief en kon het resultaat vergeleken worden met het haastig op slecht papier gedrukte, vergankelijke dagblad. In het laatste decenium zijn deze methoden aanzienlijk verbeterd en in alle opzichten waardig geworden voor het voor eeuwig vastleggen van de schoonste muzikale scheppingen, die eens gedoemd leken slechts bevredigend te worden uitgevoerd voor een kleine groep van geregelde concertbezoekers. Dit heeft geleid tot een in zeer brede kring sterk gestegen belangstelling voor de meesterwerken van de menselijke geest, zowel als voor haar meer speelse uitdrukkingen en hiermee wordt het grote publiek door de techniek verrijkt en verblijd.

Met de belangstelling voor muziek en woord op band en plaat steeg ook de belangstelling voor de techniek die deze vorm van communicatie mogelijk maakt en die niet alleen afstand doch ook tijd overbrugt, zodat muziekklink en woord voor het nageslacht bewaard blijven, lang nadat de uitvoerders ervan van ons zijn heengegaan. De auteur ontving uit alle werelddelen vragen over geluidsopname en geluidsweergave, die geleid hebben tot het schrijven van dit boek. Deze brieven bereikten hem van technici, zowel als van niet-technische geschoolde muziekliefhebbers, die wisten geregistreerde muziek of spraak zo goed mogelijk weer te geven.

De auteur heeft gepoogd een antwoord te geven op de vele vragen die de grammofoonbezitters stellen en tevens om een begrip te geven van de belangrijkste technische problemen in hun onderling verband. Dit begrip is onontbeerlijk voor een inzicht in de beperkingen, doch vooral ook in de mogelijkheden van band en plaat. De auteur hoopt dat zijn beschrijvingen dusdanig zijn, dat zij ook de niet-technische lezer, die hier net zo goed als de technische geschoolde recht op heeft, een duidelijk beeld verschaffen van de geluidsopname en -weergave techniek.

Uiteraard is de omvang van dit boek bepalend voor de hoeveelheid informatie die gegeven kon worden. Al werd de volledigheid dan niet bereikt, de auteur vleit zich toch met de verwachting, dat een bevredigend overzicht werd samengesteld van wat er geschiedt tussen microfoon en oor.

G. SLOT.

V



# Inhoudsopgave.

WOORD VOORAF . . . . .	V
Hoofdstuk I: VAN TINFOLIE TOT MICROGROEF.	
1. Het akoestische tijdperk . . . . .	1
2. Het elektrische tijdperk . . . . .	2
Hoofdstuk II: VAN HERTZ TOT GRAMMOFOON.	
1. Over hertz en decibel . . . . .	6
2. De fundamentele grammofoon . . . . .	8
Hoofdstuk III: VAN KLANK TOT PLAAT.	
1. Van microfoon tot oor . . . . .	10
2. Het snijden . . . . .	11
3. Van master tot matrijs . . . . .	14
4. De plaat wordt geperst . . . . .	17
Hoofdstuk IV A: TOONOPNEMERS — VERKLARING VAN DE WERKING.	
1. Algemene eisen . . . . .	20
2. De kristal-toonopnemer . . . . .	21
3. De magnetische toonopnemer . . . . .	24
4. Dynamische toonopnemers en microfoons . . . . .	26
5. Condensator-toonopnemers en microfoons . . . . .	28
Hoofdstuk IV B: TOONOPNEMERS — EIGENSCHAPPEN.	
6. Frequentiekaracteristieken . . . . .	31
7. Over krachten en massa's . . . . .	35
8. Vervorming - Tweeërlei . . . . .	38
9. Het meezingen van de naald . . . . .	40
Hoofdstuk V: VAN NAALD EN PLAAT.	
1. De afspeelvervorming . . . . .	41
2. Aftastvervorming en pinch effect . . . . .	43
3. De moderne opnamekarakteristiek . . . . .	46
4. Opname- en weergavekarakteristieken . . . . .	48
Hoofdstuk VI: DE ZORG OM NAALD EN PLAAT.	
1. De grammofoonnaald . . . . .	52
2. Hardmetaal, saffier en diamant . . . . .	57
3. Grammofoonplaten en hun verzorging . . . . .	59



Hoofdstuk VII: PLATENSPELERS EN PLATENWISSELAARS.	
1. De motor . . . . .	63
2. De draaitafel . . . . .	69
3. De toonarm . . . . .	72
4. Het schakelmechanisme . . . . .	73
5. De platenspeler . . . . .	74
6. Platenwisselaars . . . . .	76
7. Het wisselmechanisme . . . . .	80
Hoofdstuk VIII: VERSTERKERS.	
1. Vermogen en vervorming . . . . .	84
2. Impulsgeluiden en ultrasonore trillingen . . . . .	88
3. Brom en ruis . . . . .	90
4. Toonregeling . . . . .	91
5. Geluidsterkteregeling . . . . .	93
6. Tegenkoppeling . . . . .	95
7. Versterkerschema's . . . . .	97
Hoofdstuk IX A: LUIDSPREKERS — WERKING EN EIGENSCHAPPEN.	
1. De electrodynamische luidspreker . . . . .	103
2. Electrostatistische luidsprekers . . . . .	108
3. De kristalluidspreker . . . . .	109
4. Eigenschappen van luidsprekers . . . . .	109
Hoofdstuk IX B: LUIDSPREKERS: AKOESTISCHE PROBLEMEN EN OPLOSSINGEN.	
5. Klankborden en luidsprekerkasten . . . . .	118
6. Meer dan één luidspreker . . . . .	125
7. De luisterruimte . . . . .	128
Hoofdstuk X: HIGH FIDELITY — BEOORDELING EN BEPROEVING.	
1. High Fidelity . . . . .	132
2. De beoordeling van gereproduceerde muziek . . . . .	135
3. Metingen aan grammofoons . . . . .	139
Hoofdstuk XI: MAGNETISCHE BANDOPNAMEN.	
1. Grondprincipes . . . . .	143
2. Banden voor geluidsofname . . . . .	146
3. Vervorming en hoogfrequent-voormagnetisatie . . . . .	148
4. Bandrecorders: constructies en eigenschappen . . . . .	151
5. Verlengde speelduur . . . . .	156
6. Band of plaat . . . . .	158
Hoofdstuk XII: TECHNIEK IN DIENST VAN DE MUZIEK.	
1. Microfoonopstelling . . . . .	162
2. Bandmontage en geluidseffecten . . . . .	164
AANHANGSEL . . . . .	169

# HOOFDSTUK I

## VAN TINFOLIE TOT MICROGROEF

### § 1. Het akoestische tijdperk

Hoewel het draaiorgel, de speeldoos en de pianola alle een rol hebben gespeeld in de geschiedenis van de geregistreeerde muziek, konden deze instrumenten alleen maar klanken weergeven die oorspronkelijk in hun mechanisme waren „ingebouwd”. Het „geheugen element” was hierbij dus veel minder perfect dan bij de grammofoon, die niet alleen toonhoogte en rythme, doch een exacte replica van elke samenstelling van geluiden weergeeft. De grammofoon en het bandopname-apparaat hebben geen eigen stem, doch kunnen alle muziekinstrumenten voor ons doen klinken en het is dus geen wonder dat zij de oudere „muziekmachines” naar de achtergrond verdrongen hebben. Na 75 jaren van evolutie en revolutie hebben zij thans zulk een graad van perfectie bereikt dat de luisteraar de identiteit van een zanger, zelfs die van de bouwer van een viool, uit de weergave kan vaststellen.

De vroegste weergave-instrumenten waren echter lang niet zo volmaakt. Edison was de eerste die een werkend instrument demonstreerde. De „Phonograph” in zijn oervorm gebruikte een met tinfoolie bedekte cylinder. De geluidstrillingen werden in de folie gegraveerd, en de cylinder werd met de hand rondgedraaid. De hieruit voortvloeiende snelheidsfluctuaties maakten de reeds povere weergave nog slechter en de Phonograph van 1877 was dan ook geen groot succes.

Terwijl Edison het waarschijnlijk met zijn gloeilamp te druk had om zich veel met de Phonograph te bemoeien, werkten Chichester Bell en Sumner Tainter hieraan verder, en zij vervingen het tinfoolie door was. Dit was een aanzienlijke verbetering en de Phonograph en de „Graphophone”, zoals Bell en Tainter hun apparaat noemden, waren de grondslag van de handel in „Muziek in blik”.

Natuurlijk was de weergave nog lang niet op het huidige niveau. Het ruisniveau was hoog, dynamiek en toonbereik waren beperkt en het geluid was schor. Oorspronkelijk kon men twee, later vier minuten muziek op één was-



85182

*Fig. 1.*  
*Het eerste model van Berliner's grammofoon.*



Fig. 2. Edison Phonograph met veermotor.

gever werd door middel van de groef zelf over de plaat bewogen en niet meer door een speciale schroefas zoals bij de „Phonograph”. Het naaldgeruis van de eerste „Gramophones” was echter bijzonder luid. Berliner zette zijn werk voort en reeds na drie jaar slaagde hij er in een methode te vinden om opnamen te vermenigvuldigen — in grote lijnen wordt deze methode ook thans nog toegepast. Een van zijn grootste moeilijkheden was het vinden van een geschikt persmateriaal; „Dureloid”, een schellakmengsel dat voor het maken van knopen werd gebruikt, bleek het meest geschikt te zijn! De kledingindustrie droeg nog verder bij tot de ontwikkeling van de grammofoon, toen Johnson, die ingenieur bij een naaimachinefabriek was, de eerste bruikbare grammofoonmotor construeerde.

Het jaar 1901 was van groot belang voor de grammofoonindustrie want door een patentuitwisseling werd het toen mogelijk de kwaliteit van de apparaten aanzienlijk te verbeteren — en Caruso begon voor de grammofoon te zingen. Hoewel de „Gramophone”, toen van een veermotor voorzien, een bijna moderne indruk maakte, was de „Phonograph” nog vele jaren het meest geliefd, waarschijnlijk omdat het naaldgeruis bij het afspelen van de wascilinders aanzienlijk minder was dan van de nog ver van volmaakte „Gramophone”platen. Pas enige jaren later werd dit anders.

## § 2. Het elektrische tijdperk

De weergave was echter nog lang niet perfect; de beste resultaten werden nog behaald met zangstemmen, zodat het programma zich voornamelijk hierop concentreerde. In de jaren na 1925 kwam de radio-omroep op, die oorspronkelijk een



Fig. 3. Opname in het akoestische tijdperk.

ernstige bedreiging voor de grammofoon scheen te zijn. Echter — zoals wel meer het geval is — het nieuwe bleek geen vijand van het oude te zijn, juist het tegendeel was waar. De microfoons en versterkbuizen, tezamen met de magnetische snijders, gaven de fabrikanten de mogelijkheid de kwaliteit van hun platen aanzienlijk te verbeteren, en toen ook magnetische toonopnemers ontwikkeld werden, bleek een nieuw tijdperk voor de grammofoon te zijn ingetreden. Nu hoefde men zich niet langer te beperken tot operazangers en vaudeville artisten, doch elk muziekwerk kon bevreemdend worden opgenomen en weergegeven.

Met de eerste automatische rem werd het platen spelen reeds wat gemakkelijker gemaakt — de vervanging van de veermotor door een elektrische motor was een verdere belangrijke verbetering en toen in de dertiger jaren de eerste platenwisselaars hun intrede in de huiskamers deden, werd het spelen van complete opera's werkelijk ontspanning in plaats van inspanning.

In de jaren onmiddellijk voor en na de tweede wereldoorlog kon men zeggen dat althans de betere grammofoons een redelijke toonumfang hadden — van ongeveer 100 tot 5000 Hz. De toonopnemers waren toen al betrekkelijk licht, met een naalddruk van omstreeks 40 gram in plaats van 150 gram in 1928, en daardoor kon men minder leesten aan het platenmateriaal toevoegen wat van gunstige invloed was op het naalddruis. Een gevolg van de geringere ruis was dat de pianissimo-passages zachter opgenomen konden worden. Verbeteringen aan de opnameapparatuur veroorloofden een luider fortissimo, zodat de dynamiek van de muziek beter tot haar recht kwam. Met dat al bleef deze met 25 db toch nog aanzienlijk beneden de 60 db in de concertzaal.

In de periode 1940-1945 werden op verschillende gebieden belangrijke technische vorderingen geboekt; uitvindingen op het gebied van plastica en magnetische geluidsregistratie bleken later voor de grammofoon van groot belang te zijn. Verbeteringen aan kristaltoonopnemers maakten naalddrukken in de orde van 25 gram mo-

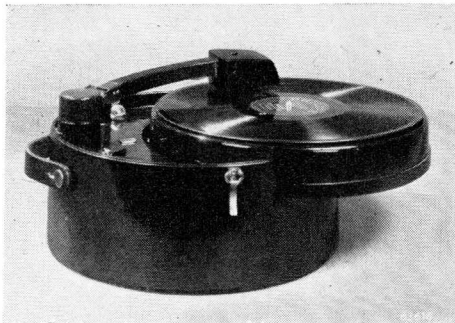


Fig. 4.

*Electrische grammofoon „Portedisc” (1937).*

In 1947 begon Philips met de productie van de eerste vederlichte toonopnemer (die in het laboratorium de bijnaam „schoensmeerdoos” kreeg), de eerste lichtgewicht pick-up die niet uitgebalanceerd was. Hoewel reeds voor de oorlog proeven met microgroef platen genomen waren, was toen de techniek voor de toepassing nog niet ver genoeg gevorderd. In 1948 was dit wel het geval, en juist in dit jaar kwamen de eerste niet professionele draad- en bandopname-apparaten — waaraan sinds 1890 gewerkt was — op de markt. Deze apparaten werden veelal als een bedreiging van de grammofoon opgevat, doch de geschiedenis herhaalde zich: het tegenovergestelde bleek juist weer het geval te zijn. Op het band-apparaat kon men lange ononderbroken opnamen maken, waaruit fouten verwijderd konden worden, en het was mogelijk deze opnamen zonder kwaliteitsverlies later op platen te kopiëren. Voor langspeel-opnamen bleek het bandopname-apparaat een zeer noodzakelijk gereedschap te zijn. Voor de langspeelplaten die in 1948 hun entree maakten kon zonder overwegende bezwaren ten aanzien van de prijs gebruik worden gemaakt van de nieuwe ruisvrije persmaterialen; hun onbreekbaarheid was, gezien de uit de aard der zaak niet onaanzienlijke prijs van platen met drie kwartier muziek, van groot belang.

Dank zij het gebruik van verbeterde snijders en versterkers en van verhitte snijbeitels, werd de kwaliteit van de platen steeds hoger opgevoerd, en dit kwam tot uiting in onvervormde weergave van zelfs de allerhoogste tonen. Een verdere verbetering werd geboden door de invoering van het principe van variabele groefafstand, waardoor de speelduur nog

gelijk, en bij deze geringe druk kon men grammofoonplaten uit een soort vinyl geperst gaan gebruiken. Dit materiaal is korrelvrij en dus praktisch zonder ruis; het is onbreekbaar, en indien met een voldoende lichte toonopnemer gespeeld, is het ook zeer slijtvast. Echter was de prijs een belemmering voor algemene toepassing. Ook begon men na 1945 de opnamekarakteristiek van de platen te verbeteren, waarvan in het bijzonder de hoge-tonen weergave profijt trok.

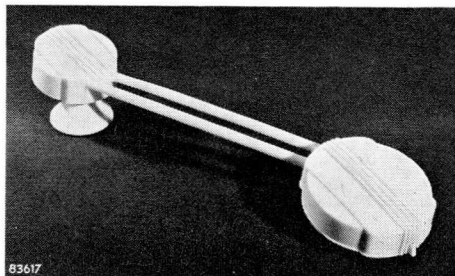


Fig. 5.

*De eerste vederlichte toonopnemer type 2962.*

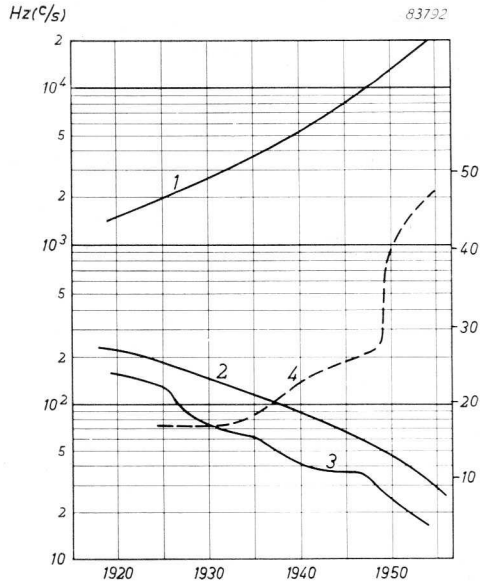


Fig. 6. De vooruitgang 1920-1955.  
 1) Hoge-tonen weergave. 2) Lage-tonen weergave. 3) Vervorming.  
 4) Dynamiek.

kon worden verlengd en tevens de dynamiek groter kon zijn.

Vanaf 1947 werden voornamelijk saffiernaalden gebruikt; de laatste jaren komen steeds meer diamantnaalden in omloop, en dit, tezamen met de thans uiterst geringe naalddruk van 10 gram, heeft geleid tot een zo geringe platenslijtage, dat men in het algemeen kan zeggen dat thans een grammofoonplaat een praktisch onbeperkt aantal malen een voordien ongekend zuivere muziekweergave veroorlooft. Hoe deze weergave bereikt wordt en aan welke voorwaarden de verschillende onderdelen van de grammofoonketen moeten voldoen, zullen wij in de volgende hoofdstukken uiteenzetten.

## HOOFDSTUK II

### VAN HERTZ TOT GRAMMOFOON

#### § 1. Over hertz en decibel

Daar bij de grammofoon alles om het geluid draait zullen wij dit eerst behandelen. Geluid omvat alle door het menselijk oor waarneembare trillingen. Dit zijn voornamelijk luchttrillingen; tenzij anders wordt vermeld bedoelen wij uitsluitend deze. Bij de meeste muziekinstrumenten treffen wij een trillend voorwerp aan, zoals een snaar van een viool of het vel van een trom — dit voorwerp stoot de lucht aan die deze trilling overneemt. Als bijvoorbeeld het vel van de trom zich op een gegeven ogenblik naar voren beweegt, worden de luchtdeeltjes hiervoor in gelijke richting bewogen; en deze beweging wordt in de lucht voortgeplant. Even later zal het trommelvel naar achteren gaan, en dientengevolge worden de luchtdeeltjes naar die kant gezogen en zet zich deze beweging door de lucht voort. Daar deze voortplanting van de luchtbe-

weging met een zeer bepaalde snelheid plaats heeft — namelijk 343 m/sec — zullen de luchtdrukveranderingen achter elkaar aan reizen. De voortplanting van geluid heeft dus een golfvorm zoals in fig. 7 is weergegeven. Voor de goede orde voegen wij hier nog aan toe, dat de luchtdeeltjes zich alleen heen en weer bewegen — het zijn hun bewegingen, niet de luchtdeeltjes zelf, die de luisteraar waarneemt.

Als een trommelvel of een snaar zeer snel trilt — dus bij een hoge toon, zal de afstand tussen twee golven kleiner zijn dan in het geval van een lage toon — deze afstand tussen de geluidsgolven noemt men de golflengte. Een andere maat voor de toonhoogte van een geluidstrilling is de frequentie — dat is het aantal trillingen per seconde. Van de  $A$  is de frequentie 440 trillingen per seconde of 440 hertz — haar golflengte is 78 cm, want de golflengte is de



Fig. 7. Geluidsgolven.

voortplantingssnelheid gedeeld door de frequentie.

Bekijken we nu zo een trilling, bij voorbeeld die van een z.g. zuivere toon (die geen boventonen bevat), dan blijkt deze te verlopen als in fig. 8. De luchtdeeltjes bewegen eerst met toenemende snelheid naar een bepaalde richting, gaan daarna steeds langzamer lopen, en keren op een gegeven moment van richting om, waarna de snelheid eerst weer toeneemt, dan af, enzovoorts. Zo een heen-en-weerslingering wordt periode genoemd en men spreekt daarom meestal van perioden/secunde en niet van trillingen per secunde.

Bij muziekweergave interesseert ons niet alleen de toonhoogte, maar ook de sterkte van een geluidstrilling — of eigenlijk zijn hier nog meer van belang de sterkteverhoudingen tussen de verschillende tonen, want het algemene geluidsterkteniveau kunnen wij meestal naar wens met de volumeregeling instellen. De maat die bij de akoestiek voor geluidsterkteverhoudingen wordt gebruikt, is de decibel (db). Het aantal decibels is gelijk aan 10 maal de logaritme van de geluidsterkteverhouding of aan 20 maal de logaritme uit de verhouding van de geluidsdrukken op een bepaald punt. Als de geluidsterkte (of het afgegeven vermogen van een versterker) 2 maal zo groot wordt, neemt deze 3 db ( $10 \log 2$ ) toe, bij 4 maal 6 db ( $10 \log 4$ ) enz. De geluidsdruk (of de afgegeven spanning van een opnemer of versterker) is dan 1,4, respectievelijk 2 maal zo groot geworden. De decibel komt ongeveer overeen met het kleinste geluidsterkteverschil dat door het menselijk oor nog kan worden waargenomen. Ons oor is een bijzonder gevoelig instrument; het kan reeds een geluidsdruk van 0,0002 milligram/cm<sup>2</sup> waarnemen. De sterkste geluidsdruk die wij zonder pijn nog kunnen verdragen is 200 mg/cm<sup>2</sup>, dat wil zeggen dat de geluidsdruk dan 1 miljoen maal, de geluidsterkte dan 1.000.000.000.000 maal groter is. De pijngrens ligt dus 120 db boven de gehoorrens. Bij concertuitvoeringen komen contrasten voor van ongeveer 60 db tussen pianissimo en fortissimo, waarbij het pianissimo b.v. 20 db boven de gehoorrens ligt (dat is ongeveer fluistersterkte), en het fortissimo 40 db onder de pijngrens, wat ongeveer dezelfde geluidsterkte is als heerst in een treincoupé met open ramen.

De in fig. 8 weergegeven trilling is een zogenaamde zuivere toon die in de muziek eigenlijk niet voorkomt, benaderingswijze soms wel bij de laagste fluittonen. Muzikale tonen bestaan uit een grondtoon en een aantal boventonen. De boventonen geven aan de muzikale toon zijn eigen karakter — het timbre — en de boventonen zijn voor elk muziekinstrument anders. In het algemeen hebben de boventonen frequenties die een geheel veelvoud van de grondtonen zijn — dus 2, 3, 4 maal zo hoog. Het aantal, de sterkte en de manier van inzetten en uittrillen van de boventonen bepalen het timbre en het is aan deze boventonen te danken dat een hobo anders

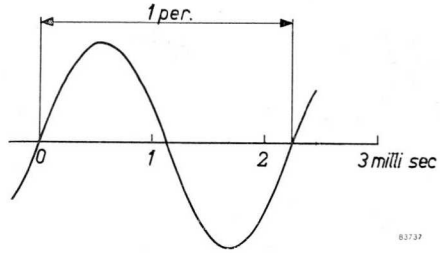


Fig. 8.

Grafische voorstelling van een trilling.



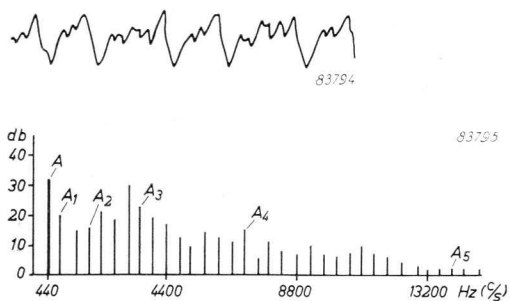


Fig. 9a. Grafische voorstelling van een viooltoon.

Fig. 9b. Grondtoon en boventonen van een viooltoon.

streepjes stellen de grondtoon A en de verschillende boventonen voor. De lengte van deze strepen is evenredig met de sterkte van de betreffende toon. Hoewel de grondtoon de toonhoogte volkomen bepaalt, is het wel duidelijk van hoe groot belang de boventonen voor de weergave zijn — de viool heeft trouwens bijzonder veel en sterke boventonen; bij een hobo is het aantal harmonischen dat aan de klank bijdraagt meer dan twee maal zo klein.

Het bereik van de grondtonen der verschillende muziekinstrumenten loopt van 16 tot 4000 Hz (c4 tot C4), en een grammofoon die dit frequentiegebied weergeeft zal dus geen **noot** verdoezelen. Wil men elke **toon** echter tot zijn recht doen komen dan moeten ook alle boventonen gereproduceerd worden en in zo een geval moet de weergave tot minstens 16.000 Hz gaan zodat ook alle boventonen nog goed worden weergegeven. Daar het menselijk oor meestal geen hogere tonen dan 16.000 Hz kan waarnemen, is een hogere weergavegrens niet strikt noodzakelijk, doch voor kwaliteitsweergave toch wel gewenst.

## § 2. De fundamentele grammofoon

Met de in het vorenstaande vervatte kennis kunnen wij veel van de grammofoon doorgronden.

Stel dat een orkest speelt in een zaal waarin maar één klein venster is, dat door een membraan, bij voorbeeld een dunne plaat mica, is afgesloten. Als de geluidstrillingen tegen dit membraan komen, brengen ze ook dit mica aan het trillen, en het trillende membraan stoot op zijn beurt de lucht buiten de zaal aan, zodat ook daar de muziek hoorbaar wordt. De bewegingen van het membraan zullen — als alles ideaal is — volkomen identiek zijn aan de geluidstrillingen van het orkest. Als dus de mogelijkheid bestond om precies de membraanbewegingen te noteren — op een manier als in fig. 9a — en om later aan de hand van onze notaties het membraan weer op precies dezelfde manier te bewegen, dan zou ook de gereproduceerde muziek precies zó klinken als het origineel.

Dit is nu wat bij de grammofoon gebeurt. Bij de primitiefste apparaten werd een hoorn die aan het nauwe eind met een stuk mica was afgesloten op de geluidsbron gericht. Een aan dit mica bevestigde naald grifte een spoor in een rol of plaat was en dit spoor, was identiek aan de geluidstrillingen die de membraan plus de naald deden bewegen. Op een later ogenblik werd het geluidsspoor weer bewogen langs de naald, welke dientengevolge begon te trillen; het membraan trilde mee en een meer of minder goed gelukte replica van de oorspronkelijke tonen klonk uit de hoorn.

Een dergelijk geluidsspoor is te zien in de microfoto van figuur 42.

Zoals reeds in hoofdstuk I werd vermeld, volgt na de opname van de plaat een vermenigvuldigingsprocédé, en bovendien geschiedt de opname langs elektrische weg. Hierdoor is een en ander veel gecompliceerder geworden, doch het grondprincipe is uit de aard der zaak behouden gebleven — ook bij de bandopname-apparaten, hoe ver die ook van Edison's machine verwijderd lijken te zijn.

# HOOFDSTUK III

## VAN KLANK TOT PLAAT

### § 1. Van microfoon tot oor

Het fascineert de schrijver steeds weer opnieuw dat een geluid — in materie gegrift en na vele van de meest gecompliceerde bewerkingen — op elk moment weer tot klinken kan worden gebracht, en wel met een dusdanige gelijkheid aan het origineel, dat men zich nauwelijks realiseert zich niet in de concertzaal te bevinden. Een geluidstrilling wordt in de grammofoonplaat „bevroren” met een precisie die elders in de techniek nagenoeg haar gelijke niet heeft.

Ingewikkeld is het zeker. In figuur 10 is de lange weg van het geluid vereenvoudigd geschetst. De geluidstrillingen worden door de microfoon (1) opgevangen en in elektrische spanningen omgezet. Deze spanningen worden door de versterker (2) versterkt en komen dan op het bandopnameapparaat (3). Hier wordt het geluid op een lange band die met ijzerpoeder bedekt is, vastgelegd in de vorm van min of meer sterke magnetische gebiedjes. Op een willekeurig moment kan men deze bandopname over een afspeelapparaat (31) afspelen, dus de op de band vastgelegde trillingen weer omzetten in levende elektrische trillingen, die worden toegevoegd aan een snijder (4) welke de geluidstrillingen in een plaat grift, die „Master” genoemd wordt.

In de galvanische afdeling (5) worden van de „Master”-plaat matrijzen gemaakt; hiermee worden in de perserij (6) platen geperst welke thuis door onze toonopnemer (7) afgetast worden. De golven op de plaat worden door die toonopnemer weer in elektrische trillingen omgezet; de versterker (8) en de luidspreker (9) doen daarna de rest, en wij hebben alleen maar te luisteren.

Over de microfoon zullen wij in dit hoofdstuk niet veel zeggen, aangezien deze werkt volgens dezelfde principes als de toonopnemers die in hoofdstuk IV worden behandeld. Beide hebben zeer verwante functies en de in Scandinavië voor toonopnemer gebruikelijke naam „naaldmicrofoon” is dan ook zeer gelukkig gekozen. Ook voor de bandrecorder, de versterker en het principe van de snijder, verwijzen wij naar volgende hoofdstukken, om nu te schrijven over het snijden van de plaat en wat daarop volgt.

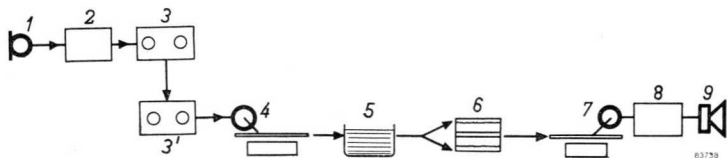


Fig. 10. Van microfoon tot oor.

## § 2. Het snijden

Terwijl men voor de grammofoonplaat bij voorkeur een vrij harde materie kiest, worden voor de opname juist zeer zachte materialen toegepast. Vroeger werd de opname in een dikke plaat was gesneden die van te voren goed vlak en glad gedraaid werd, doch tegenwoordig gebruikt men bijna uitsluitend de zogenaamde lakplaten. Deze lakplaten bestaan uit een vlakke metalen plaat waarop een dun en zeer homogeen laagje acetaat is uitgegoten. Dit acetaat is bij hogere temperaturen vloeibaar doch stolt iets boven kamertemperatuur. De groef die in zo een lakplaat gesneden wordt is uiterst fijn en dus moet de laklaag aan zeer hoge eisen voldoen; de minste poriën of klontjes zouden aanleiding geven tot ontoelaatbare ruis of tikken. Ook het oppervlak moet, als men platen van werkelijk hoge kwaliteit wil maken, volmaakt glad zijn. Bij de lakplaten waarvan later geen matrijzen worden gemaakt, stelt men de eisen niet op het uiterste en dergelijke lakplaten mogen nog minuscule golfjes op het oppervlak vertonen. Voor „Masters”, zoals men de opnamen noemt die als basis van een vermenigvuldigingsprocédé dienen, is elk „sinaasappelschil” effect uit den boze en deze platen zien er dan ook uit als een volmaakte spiegel.

Bij het afspelen van de grammofoonplaat moet de toonopnemer door de aanwezige groef over de plaat worden gestuurd. Deze spiraalvorm is bij de opname nog niet aanwezig en de snijder moet dus zodanig bewogen worden dat de groef de gewenste spiraalvorm krijgt. Dit doet men bijvoorbeeld door de snijder te bevestigen op een draaiende schroefspil, zodat de snijder langzaam van buiten naar binnen over de draaiende plaat bewogen wordt. Nu is de afstand tussen twee groeven van een microgroefplaat soms niet meer dan 0,08 millimeter en daar de groeven zelf ook nog ruimte innemen en onder geen voorwaarde elkaar mogen snijden of zelfs raken, kan men zich gemakkelijk realiseren dat het leimechanisme van de snijder wel aan uitzonderlijk hoge eisen moet voldoen. Elke speling of snelheidsvariatie, hoe klein dan ook, zal onherroepelijk leiden tot een zodanige fout dat een plaat moet worden afgekeurd. Ook elke trilling van het mechanisme kan de groef bederven en zich bovendien later manifesteren als een dreuntoon.

Zo dit de enige eisen waren, dan was het reeds lastig genoeg, doch de laatste jaren is hier nog een ander probleem bij gekomen — namelijk de variabele groefafstand. Reeds bij de 78-toeren schellakplaten was de afstand tussen twee groeven niet altijd gelijk. Op één kant van de 30 cm plaat kan men ongeveer  $4\frac{1}{2}$  minuut muziek opnemen, maar als een compositie toevallig slechts 4 minuten duurt, dan wenst de fabrikant de plaat toch vol te snijden, omdat een plaat met een grote blanke spiegel niet zo gemakkelijk verkoopt. Dit probleem wordt dan opgelost door de afstand tussen de groeven iets groter te maken, wat eenvoudig bereikt wordt door de tandwieloverbrenging tussen motor en leispil te veranderen. Het tegenovergestelde probleem, namelijk dat een bepaald werk juist niet op een plaat gaat, is erger. In dit geval wil men de groeven dichter bij elkaar brengen, doch dan bestaat het gevaar, dat deze bij de luide passages elkaar gaan snijden. Vroeger wist men hier raad mee door de luidste passages iets te verzwakken, doch hierdoor ging de dynamiek gedeeltelijk verloren, iets wat bij voorkeur moet worden vermeden. Het ligt voor de hand, alleen bij de luide

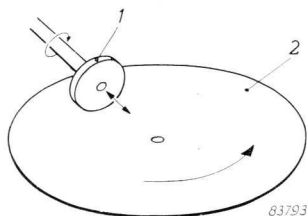


Fig. 11. Spilaandrijving voor variabele groefafstand.

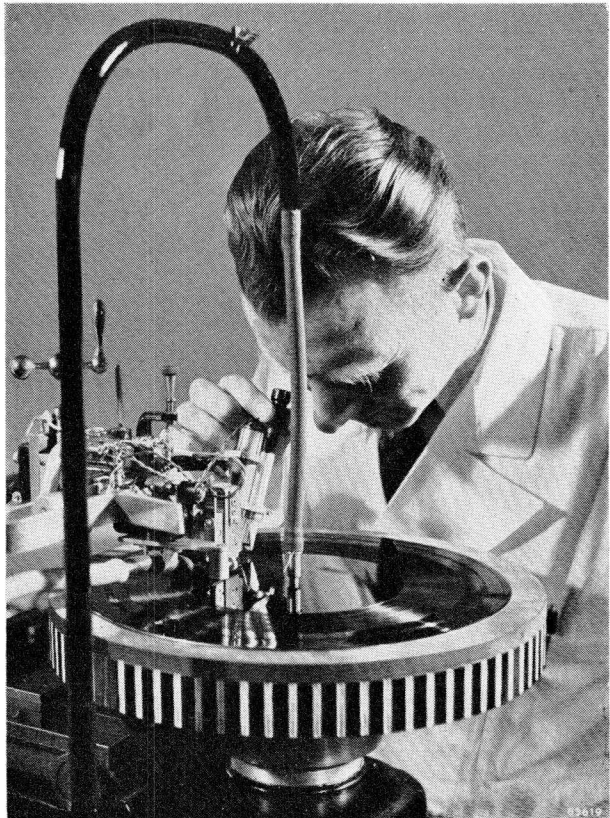
figuur 11), dat op een met constante snelheid draaiende schijf 2 rust. Het wieltje 1 kan over zijn as worden verschoven, en zijn snelheid is dan afhankelijk van de plaats waar het de aandrijfschijf raakt — de snelheid is kleiner naarmate het wieltje dichterbij het midden van de schijf staat. Door het wieltje te verplaatsen kan de snelheid van de snijderbeweging — dus de groefafstand — zeer gelijkmatig worden geregeld.

De moeilijkheid is dan nog alleen maar dat men van te voren moet weten wanneer een harde passage in de muziek komt, omdat de groefafstand natuurlijk reeds voor de fortissimogedeelten vergroot moet worden, en dan nog zeer geleidelijk, om storende bijgeluiden te vermijden. Aan de hand van de partituur is het natuurlijk mogelijk op het juiste moment de vereiste maatregelen te nemen, doch de met het snijden van de plaat belaste technicus heeft reeds zoveel zorgen dat dit een ongewenste belasting voor hem zou betekenen. Daar de plaat thans steeds van een bandopname wordt gecopieerd, bestaat de mogelijkheid de snijderbeweging automatisch te sturen. Op een zekere afstand voor de afspeelkop die met de snijversterker verbonden is wordt een tweede afspeelkop geplaatst. De spanning van deze wordt toegevoerd aan een speciale versterker die deze spanning tevens omvormt en doorgeeft aan een apparaat dat de plaats van het wiel op de leispil automatisch regelt. Even voor een sterk signaal op de snijder komt wordt het wiel 1 meer naar de buitenkant van de aandrijfschijf 2 geplaatst en automatisch loopt het weer naar het midden van 2 terug als de fortissimo passage voorbij is. De hierboven geschetste methode is maar één van de vele; een andere is bij voorbeeld die waarbij de leispil wordt aangedreven door een synchroommotor die gevoed wordt door een generator waarvan de frequentie evenredig is met de spanning op de hulpafspeelkop. Op welke manier de groefafstand wordt gevarieerd is voor de platenliefhebber trouwens niet belangrijk — het voornaamste is dat hij hierdoor platen met maximale speelduur en volle dynamiek krijgt. Een plaat met variabele groefafstand is te herkennen aan de donkere en lichtere ringen op haar oppervlak, en al verbeteren deze het uiterlijk niet bepaald, de toon, waar het om gaat, vaart er wel bij. Dit systeem wordt natuurlijk alleen toegepast waar het nut heeft, dus niet bij voorbeeld bij een rustige vioolsolo. Bij het snijden van de plaat wordt de groef voortdurend met een microscoop gecontroleerd (figuur 12). Aangezien de groef steeds nauwkeurig een bepaalde breedte en diepte moet hebben is dit geen overbodige maatregel. Hier komt nog bij dat de krul die door de snijbeitel uit de plaat wordt gesneden zich nooit om de beitel mag heen-

leggen, omdat hierdoor de groef beschadigd zou worden, en ook de bovenranden van de groef moeten volkomen gaaf blijven en mogen geen „horentjes” vertonen die, als gevolg van de druk van de snijbeitel, wel eens willen ontstaan. Verder moet de technicus ook waken tegen groeven die in elkaar overlopen.

Die krul is overigens een heel probleem, zoals amateurplatensnijders onder de lezers kunnen beamen. In amateur-installaties probeert men haar met een kameelharen borstel van de snijbeitel verwijderd te houden — bij studio-installaties wordt zij met vacuümpompen weggezogen — de slangen hiervan zijn in figuur 12 duidelijk zichtbaar. Daar de krul electrostatisch opgeladen is, willen stukjes hiervan toch wel eens op ongewenste plaatsen blijven kleven, en daarom heeft men ook in de beroepsstudio graag een kwast bij de hand.

De snijbeitel is een uiterst klein stukje saffier of diamant, doch ondanks zijn minuscule afmetingen zijn er vele zeer geleerde artikelen over geschreven. Zijn vorm en nauwkeurigheid van afwerking zijn van het grootste belang voor de gladheid van de



*Fig. 12.  
Het snijden van de  
lakplaat.*

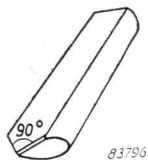


Fig. 13.

De snijbeitel.

groef. Zoals in fig. 13 zichtbaar is heeft de beitel een vlakke voorkant, en wij zullen later zien welke invloed dit heeft op de weergave, waarbij — ter vermindering van excessieve platen-slijtage — de plaat afgespeeld wordt met een ronde naald. De recente verbeteringen van de platenkwaliteit zijn voor een belangrijk deel te danken aan de verbeterde snijbeitels; een andere belangrijke bijdrage werd geleverd door de „Hot Stylus” (waarvoor nog geen Nederlandse term bestaat). De beitel moet zich door de lak bewegen, en het is begrijpelijk dat een verwarmde beitel dit gemakkelijker en beter doet dan een koude, wat in het bijzonder voor de hoge frequenties (korte golflengten) van belang is; ook zal een verwarmde beitel een gladdere groef snijden waardoor de ruis minder wordt. De gehele plaat verwarmen gaat niet, omdat dan de lak zou wegvloeien; en de kunst is om zoveel warmte aan de snijbeitel toe te voeren, dat, waar de beitel de lak raakt, deze week wordt en direct daarna weer stolt. Men verwarmt de beitel bijvoorbeeld met een er omheen geplaatst electrisch spiraaltje. Omdat de snijder, noch de plaat, verwarmd mogen worden en de onderlinge afstanden in millimeters en fracties van millimeters gemeten worden, is de „Hot Stylus” eenvoudiger te beschrijven dan te maken. De hieraan bestede inspanning is echter zeer lonend, want met een koude beitel komen van de hoogste boventonen er maar bitter weinig op de plaat te staan, terwijl de ruis ongeveer 15 db sterker is dan wanneer een warme snijbeitel gebruikt wordt.

Het maken van de in- en uitloopgroeven is betrekkelijk kinderspel, want hiervoor bestaat speciale hulpapparatuur — wij vermelden nog dat voor de lakplaten altijd een grotere maat wordt genomen dan de uiteindelijke plaat, zodat aan de buitenkant een rand overblijft waarop vóór de opname de snijder kan worden ingesteld en die bij de verdere behandelingen gebruikt wordt om de plaat vast te houden. Gewoonlijk gebruikt men lakplaten van 40 cm diameter.

In het tijdperk voorafgaande aan het gebruik van de bandrecorder was het platen-snijden een zeer enerverende bezigheid, omdat bij de directe opname het minste foutje betekende dat de artisten weer van voren af aan moesten beginnen. De bandrecorder is echter geduldig, en zo al een lakplaat mislukt, dan draait de recorder zonder protesten nog eens een keer. Doordat dus een bepaalde zenuwspanning is weggefallen, kan de snijtechnicus zich beter op zijn taak concentreren — bovendien is het nu niet meer een zo kostbare geschiedenis om een plaat even opnieuw te snijden, en gaat men in het geval van een kleine fout eerder hiertoe over dan vroeger, toen dit kon betekenen dat een honderdtal musici nog langer in de studio moesten blijven.

### § 3. Van master tot matrix

De volgende stap in de fabricage van grammofoonplaten is het maken van de matrixen. Dit geschiedt volgens de galvanoplastische methode, dit wil zeggen, de master of één der volgende fazen wordt geplaatst in een chemische oplossing, waardoorheen een electrische stroom gaat als gevolg waarvan metaal op het voorwerp neerslaat. Het eerste wat men moet doen, is de master geleidend maken. Vroeger werd dit gedaan door een heel fijn laagje grafiet op de gesneden wasplaat aan te brengen. Op

dit laagje, dat zo dun was dat de groefvorm redelijk behouden bleef, werd dan metaal neergeslagen en als de metaallaag dik genoeg was geworden, werd deze verwijderd. Zodoende stond een matrijs — die dus het negatief van de plaat was (groef was ribbel en ribbel was groef geworden) ter beschikking. Thans is dit procédé verfijnd maar ook veel complexer geworden.

Het met grafiet bedekken gaf een veel te grove structuur van de bovenlaag, waardoor de ruis aanzienlijk toenam. De lakplaten worden thans even in een tinchloride-oplossing gedompeld en direct daarna weer afgespoeld, zodat er nog juist een uiterst dun laagje tinchloride overblijft. Daarna wordt de master met een zilvernitraat oplossing bespoten, het tin op de master en het zilver in de oplossing verwisselen chemisch van plaats, en in luttele seconden vormt zich een helder glanzende zilverlaag, van slechts enige moleculen dik, op het oppervlak van de plaat. Volgens een andere methode wordt de master in een vacuümkamer geplaatst tussen een anode en een gouden kathode. Tussen anode en kathode staat een gelijkspanning van ongeveer 4000 V. Hierdoor ontstaat een ontlading waarbij goudmoleculen op de master worden neergeslagen. Dit goudverstuivingsprocédé had enige jaren geleden een zeer goede reputatie doch waarschijnlijk was dit voornamelijk te danken aan de gedachtenassociaties tussen goud-duur en duur-goed. Het zilvernitraatprocédé wordt thans algemeen als minstens gelijkwaardig beschouwd en is voor de fabricage veel prettiger, zodat nu praktisch elke plaat wordt behandeld volgens dit systeem. De verzilverde plaat gaat onmiddellijk onder de douche, waar het overtollige nitraat wordt weggespoeld en de plaat is dan klaar voor de volgende behandeling, namelijk het galvanoplastisch aanbrengen van een sterke metaallaag op het zilvervliesje. Hiervoor kan men zowel nikkel als koper gebruiken, en in de aanvang geschiedt het vernikelen of verkoperen in een zeer langzaam tempo, opdat het metaal een zeer fijne structuur krijgt; als de laag een zekere dikte heeft bereikt, kan het tempo worden versneld. Zodra de metaallaag voldoende stevigheid heeft bereikt wordt de plaat uit het bad genomen, natuurlijk weer gewassen, en dan worden met een hamer en een soort beitel de lakplaat en de metalen afdruk van elkaar gescheiden — waarbij de eerstgenoemde meestal sneuvelt.



Fig. 14. Galvanisch bad waarin een „vader” gemaakt wordt.



De metalen afdruk heet officieel het „negatief”, doch wordt steeds de „vader” genoemd. Allereerst wordt hier de snel oxyderende zilverlaag van verwijderd, wat zonder kwaliteitsverlies kan omdat dit laagje zo uiterst dun is, en daarna wordt de vader „gepacificeerd”, zodat er wel weer metaal op neergeslagen kan worden doch dit hier niet aan hecht. De vader zou namelijk wel als matrijs gebruikt kunnen worden, doch als hij versleten of beschadigd was, zou men eerst weer een nieuwe master moeten maken, wat uit het oogpunt van bedrijfseconomie niet wenselijk is. Dus maakt men van de vader weer een nieuwe metalen afdruk — zeer toepasselijk de „moeder” genoemd — op dezelfde manier waarop eerst de vader werd gemaakt — doch nu wordt het metaal neergeslagen op de (negatieve) vader in plaats van op de (positieve) master.

Als de moeder klaar is, worden vader en moeder gescheiden — wat hier heel gemakkelijk gaat — en heeft men dus in metaal een exacte copie van de master ter beschikking, die met een toonopnemer kan worden afgespeeld, wat voor controle dan ook gedaan wordt, terwijl de moeder tevens met het microscoop nauwkeurig bekeken wordt. Ook de moeder gaat nog een keer in het bad, en op dezelfde manier als hierboven beschreven, wordt op de moeder na pacifieren een nieuwe metaallaag neergeslagen, die de persmatrijs zal vormen, doch voorlopig nog „zoon” heet. De zoon is weer een negatief, en kan dus niet worden afgespeeld, doch als men er een afdruk mee maakt in een plastische massa, ontstaat een afspeelbaar positief. Voor de stevigheid wordt op de zoon nog een uiterst dun laagje van het harde metaal chroom aangebracht waardoor hij minder snel slijt of beschadigt. Terwijl de vader na het vervaardigen van de moeder de kast in gaat, heeft de moeder een drukker leven, want elke keer dat een matrijs versleten is, geeft zij weer leven aan een nieuwe zoon. Alleen als de moeder versleten raakt, komt de vader weer uit de kast.

Dit zo nuchter beschreven proces is een van de meest spectaculaire in de grammofoonplatenfabricage. De chemische oplossingen die in de galvaniseerbaden gebruikt worden hebben ongedacht mooie en felle kleuren, en plaat en vloeistoffen worden voortdurend in beweging gehouden om een gelijkmatig neerslaan van het metaal te bevorderen, zodat men eigenlijk het penseel van een begenadigd schilder in plaats van de onbewogen cameralens nodig heeft om hier een beeld van te geven.

In de fabriek heeft men echter geen tijd om hierbij stil te staan, want van de zoon moet een matrijs worden gemaakt. Eerst moet de achterkant van de zoon goed vlak gemaakt worden, opdat hij later foutloos in de pers kan worden ingespannen. Dit wordt op een draaibank gedaan die — omdat hierop zonen van 30 cm kunnen komen — zo groot is dat men zich verwondert, dat hierop de vereiste nauwkeurigheid kan worden bereikt. Niet alleen handigheid, doch ook zorg voor zijn machine, behoren tot de vereisten voor de draaier. Daarna wordt het middengat aangebracht, want bij de verschillende voorgaande bewerkingen is het oorspronkelijke middengat dusdanig vervormd, dat het niet meer bruikbaar is. Dit betekent, dat de zoon, die al practisch matrijs is, nauwkeurig op een speciale machine moet worden gecentreerd. Men moet dus van een slingerende spiraal — want dat is de groef — het middelpunt bepalen met een nauwkeurigheid van ongeveer 1/10 millimeter, opdat men later geen

zwevingen of variabele ruis bij de weergave krijgt. Moge dit niet gemakkelijk lijken — het is nog moeilijker dan men denkt. In de groef van de matrijs laat men een naald lopen die via een hefboom met een wijzer is verbonden en als de wijzer na veel heen en weer draaien aan de instelknoppen van de centreerbank niet al te veel meer slingert, wordt met een pons snel een putje in het midden van de matrijs geslagen. Met dit putje als middelpunt wordt in de matrijs een gat gemaakt waarin een blokje gezet wordt met een pen welke het middengat in de plaat moet maken en die precies de juiste dikte heeft. Omdat deze pennen sneller slijten dan de matrijs, moeten zij af en toe worden vernieuwd, wat op deze manier eenvoudig gaat. Zo dit niet gedaan werd, zou het gevaar bestaan dat een deel van de geproduceerde platen een te klein middengat kregen en niet op de spil van de draaitafel pasten.

#### § 4. De plaat wordt geperst

Tot nu toe is het in principe om het even of men een microgroef of een normaalgroefplaat maakt, zij het dan dat bij de eerste alle bewerkingen met nog groter zorg uitgevoerd moeten worden dan bij de „grove” normaalgroefplaten. De 78-toerenplaten worden echter van z.g. schellak gemaakt, de microgroefplaten van een soort vinyl. De schellakplaat wordt geperst uit een mengsel bestaande uit schellak — de secretie van een in India veel voorkomende schildluis — en een aantal andere materialen, als copal (een harde boomhars, die ook veel voor imitatie-barnsteen wordt gebruikt), stearine en carbon black (zeer fijn roet), dat de plaat haar bekende kleur geeft. Het malen, zeven en mengen van deze materialen geschiedt met de uiterste zorg, doch is tevens een van de lawaaiigste industriële processen die wij kennen. Het geluid van de cyclonen is zo oorverdovend, dat men een bezoeker aan de maalkamer vóór zijn bezoek watjes en daarna aspirine behoorde te geven. Met de nieuwe grondstoffen worden tevens steeds een aantal grammofoonplaten meegemalen — meestal uitval en afval van de perserij. Als de grondstoffen voldoende innig zijn vermengd worden zij verhit tot een breiachtige consistentie is bereikt, die weer grondig gekneet wordt en daarna van een kolossale machinale „deegrol” in lagen wordt afgenomen; deze lagen worden op een lange tafel uit-

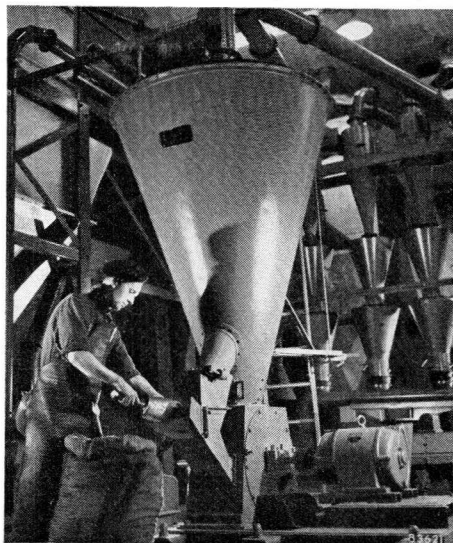


Fig. 15. Het malen en zeven van de persmaterialen.

gestrekt en in plakken verdeeld. Elk van deze plakken is juist groot genoeg voor een plaat. Kort voor het persen wordt elke plak weer verwarmd en gekneet tot een langwerpige klomp; deze noemt men het „broodje” — zij het dan dat dit brood zeer zwart en alleen voor de platenpers verteerbaar is.

Voor microgroefplaten zijn de grondstoffen andere, voornamelijk „vinylite”, dat als een wit poeder in de fabriek komt, doch ook het reeds genoemde „carbon black”. De verwerking loopt meer of minder parallel aan die van schellak, doch men heeft ontdekt dat een grotere homogeniteit wordt bereikt door bij het persen van vinylite niet uit te gaan van „broodjes” doch van korreltjes, de „dropjes”, welke in zeer grote aantallen door speciale machines worden gemaakt. Deze platen zijn, dank zij het feit dat practisch zuivere vinyl wordt gebruikt, buigbaar en zelfs nagenoeg onbreekbaar; hun ruis is zeer gering, doch de hoge kostprijs van dit materiaal belet de toepassing voor 78-toerenplaten.

Volledigheidshalve vermelden wij nog dat, waar de grondstoffenpositie dit voordeliger maakt, ook voor 78-toerenplaten wel vinyl in plaats van schellak wordt gebruikt. De samenstelling van dit mengsel is echter zodanig dat de eigenschappen van de plaat ongeveer dezelfde zijn als bij gebruik van schellak. Deze platen zijn dus wel breekbaar en ruisen ook vrij sterk; de uiteindelijke kwaliteit is hierbij sterk afhankelijk van het percentage bijmengsels, dat bij goede microgroefplaten juist minimaal is. Schellak- en microgroefplaten worden op dezelfde soort persen gefabriceerd. Op de onderste tafel van de pers wordt een matrijs bevestigd; aan de bovenste, beweegbare tafel, een tweede. Beide matrijzen kunnen met stoom verwarmd en met water gekoeld worden. De perser legt eerst een etiket op de onderste matrijs, daarbovenop het voorverwarmde broodje en vervolgens wordt een etiket tegen de bovenste matrijs gelegd. Als de pers nu met stoomdruk wordt gesloten, verweekt het broodje — of verweken de dropjes — snel en vloeit de massa over het gehele oppervlak en dringt in de groeven van de matrijs. Na een bepaalde tijd worden de matrijzen gekoeld, de pers gaat open en de plaat is zo goed als klaar. Alleen de persrand moet er nog worden afgehaald en de overblijvende rand wordt netjes glad afgewerkt.

Zonder meer is niet te zien wat voor soort platen geperst worden; maar de druk, persduur, koelduur en temperaturen zijn voor microgroefplaten anders dan voor schellakplaten, en de nauwkeurigheid waarmee de diverse cycli worden aangehouden is van grote invloed op de kwaliteit van de plaat; vandaar dat men dit alles automatisch regelt. Het voeden en openen van de pers wordt echter door mensenhanden verricht, want als men hiervoor een machine moest maken, werd deze zó gecompliceerd, dat de bedrijfskosten hoger zouden zijn dan het loon. Het instellen van de pers — met de twee matrijzen precies boven elkaar — is trouwens geen sinecure, doch vereist ervaren krachten en kost zoveel tijd, dat het persen van kleine platenseries economisch niet verantwoord is — zeer ten ongerieve van de verzamelaars, die het betreuen dat weinig gevraagde opnamen soms uit de circulatie zijn genomen.

Fouten zijn menselijk, doch het is een zeer grote uitzondering dat men een plaat koopt waarop een verkeerd etiket zit of de etiketten omgewisseld zijn. Dit komt niet omdat de persers zich nooit vergissen — dit zou men onmogelijk van hen kunnen eisen — doch door de inspectie vóór de verzending. Elke plaat wordt nauwkeurig bekeken.

en elk exemplaar met zichtbare fouten gaat naar de maalterij, om na verpulvering weer een nieuw leven te beginnen. Niet elke plaat wordt vóór verzending afgespeeld. De perstijd is veel korter dan de speeltijd en dit vooral bij langspeelplaten waar de speelduur het veertigvoudige van de fabricage-tijd kan bedragen. Als bij elke pers 40 controleurs werden gezet, zou de platenprijs zeer beduidend stijgen en daarom volstaat men met het nemen van steekproeven, zoveel dat, als men een fout vindt, die ook bij de voorgaande exemplaren kan voorkomen, deze nog te achterhalen zijn. Indien bij de fabricage de juiste maatregelen zijn genomen is de kans op een serieuze fout echter uiterst klein, en in de meeste gevallen worden deze fouten reeds door de zeer geroutineerde mechanische inspecteurs ontdekt vóór de muziekcontrole hiertoe de gelegenheid heeft gehad.

Tussen het tijdstip waarop de bandopname gemaakt werd en dat waarop de eerste plaat in haar hoes gestoken wordt, kunnen vele maanden zijn verlopen, doch vanaf het eerste ogenblik is het geluid zo perfect „ingemaakt” dat het onbeperkt bewaard kan blijven zonder ook maar iets van zijn oorspronkelijk karakter te verliezen. En ondanks de vele ingewikkelde bewerkingen is het totale kwaliteitsverlies van de uiteindelijke plaat ten opzichte van de oorspronkelijke bandopname zo gering, dat dit zelfs op de allerbeste installaties ternauwernood te ontdekken is — op elke weergave-installatie waarvoor het predicaat prima niet toepasselijk is, zal dit kwaliteitsverschil zelfs niet eens meer zijn te constateren. Dit betekent, dat het geluidspoor op de plaat veel minder dan 1/10 micron — dus minder dan 1/10.000 millimeter afwijkt van dat op de master — zodat onze opmerking over de geweldige precisie, waarmee wij dit hoofdstuk aanvingen, zeer zeker gerechtvaardigd is.



*Fig. 16. De platenpers.*

## HOOFDSTUK IV-A

### TOONOPNEMERS : VERKLARING VAN DE WERKING

#### § 1. De algemene eisen

De toonopnemer, dikwijls pick-up genoemd, heeft als functie de in de plaat geperste geluidstrillingen in elektrische trillingen om te zetten. In de plaat zijn de geluidstrillingen als het ware bevroren; daar de plaat beweegt ten opzichte van de naald, zullen de uitwijkingen van de groef de grammofoonnaald heen en weer doen bewegen. De taak die de toonopnemer te verrichten heeft, is het omzetten van de trillingen van de naald in elektrische trillingen. Dit stelt dus voorop, dat de bewegingen van de naald zo volkomen mogelijk overeenstemmen met de oorspronkelijke bewegingen van de snijbeitel. Bepaalde principiële redenen waarom dit niet voor honderd procent gelukt, zijn aanwezig, doch ook in de toonopnemer zelf kunnen factoren aanwezig zijn die de vertaling van groefmodulatie in naaldbeweging beïnvloeden. Daarom is de manier waarop de naald met de rest van de toonopnemer is gekoppeld van het grootste belang en mogen deze twee eigenlijk nooit los van elkaar worden beschouwd.

De eerste eis die wij aan een toonopnemer dus stellen is, dat hij de omvorming van mechanische in elektrische trilling volkomen waarheidsgetrouw verricht — d.w.z. niets aan het trillingsbeeld toevoegt, waardoor vervorming of bijgeluiden zouden ontstaan — niets overdrijft, waardoor bepaalde tonen zouden overheersen — en niets verdoezelt, waardoor bepaalde tonen in timbre veranderen of zelfs ontbreken. Wij eisen verder dat deze omzetting met een redelijk hoog rendement plaats heeft, dus dat de afgegeven spanning van de toonopnemer zo hoog is dat niet te veel versterking nodig is, doch ook dat dit gedaan wordt zonder de plaat te snel af te slijten; immers, een grammofoonplaat moet vervelen voor zij versleten mag zijn. Voor klassieke muziek in het bijzonder betekent dit dus dat de slijtage praktisch nihil moet zijn. Verder moet een toonopnemer redelijk robuust zijn, zodat hij niet met bijzondere zorgen omringd behoeft te worden; moet bovendien minimaal onderhoud nodig hebben — dit houdt in, dat de naald slechts zelden verwisseld behoeft te worden, doch vooral dat na enige maanden gebruik geen revisie nodig is. Dit laatste is bij voorbeeld wel nodig bij sommige toonopnemers die in omroepstudio's worden gebruikt, doch voor huiskamergebruik is dit natuurlijk uit den boze. Dit verlanglijstje sluiten wij af met de wens, dat de prijs zo laag mogelijk zal zijn, een eis die natuurlijk met alle voorgaande in strijd is. Hieruit volgt wel, dat het ontwerpen en fabriceren van een toonopnemer een aantal problemen met zich meebrengt, en men heeft langs de meest verschillende wegen naar oplossingen hiervoor gezocht. Practisch elke bekende methode om mechanische in elektrische trillingen om te zetten is wel eens voor toonopnemers geprobeerd. De voornaamste typen in volgorde van populariteit zijn :

- de kristal (piëzo-electrische) toonopnemer,
- de magnetische,
- de dynamische en de

condensator-toonopnemer.

Foto-electrische, variabele weerstand en electronische toonopnemers zijn ook wel eens gemaakt, doch zijn momenteel zo zeldzaam dat wij over deze typen niet zullen spreken.

Het eerst vermelde type — de kristalpick-up — is in het algemeen de goedkoopste en wordt daarom verreweg het meest toegepast, de andere typen zijn alle duurder, en hoe hoger de prijs is, des te minder worden zij gekocht. Zonder rekening te houden met reputaties, die dikwijls zijn gebaseerd op ervaringen met oudere constructies waarbij kwalitatief nog lang niet het onderste uit de kan werd gehaald, willen wij hier vaststellen dat met elk van deze typen uitzonderlijk goede resultaten bereikt kunnen worden, en dat het er in principe niet veel toe doet welke manier wordt gekozen om mechanische trillingen om te zetten in elektrische. Het is een feit dat thans kristalopnemers in de handel zijn die een betere weergave mogelijk maken dan vele niet onbelangrijk duurdere pick-ups van andere constructies, doch dit mag natuurlijk niet worden gegeneraliseerd — er zijn goede en slechte toonopnemers van elke soort.

## § 2. De kristal-toonopnemer

In 1880 werd door Pierre Curie, tezamen met zijn broer Jacques een verschijnsel ontdekt, dat door hen piëzo-electriciteit genoemd werd. Deze naam (piëzo-electriciteit = „druk”electriciteit) werd gegeven aan het bij sommige materialen optredende verschijnsel dat, als er een druk op wordt uitgeoefend, deze materialen zich elektrisch opladen, terwijl ook omgekeerd een op die materialen gelegde elektrische spanning tot mechanische vervorming ervan leidt. Het is maar een beperkt aantal stoffen waarbij dit gebeurt, en alle zijn dit, zonder uitzondering, kristallen.

Waar het ons om gaat is het geval dat op een stukje piëzo-electrisch materiaal krachten worden uitgeoefend die door dit materiaal worden omgezet in elektrische ladingen.

Eerst willen wij beschrijven wat in het omgekeerde geval gebeurt, dus als een elektrische spanning op zo een stukje kristal wordt gelegd. In fig. 17a zien wij dat, als op een kristalplaatje dat aan beide zijden geleidend is gemaakt, een spanning wordt gelegd, en wel een positieve (+), aan de bovenkant en een negatieve (—) aan de onderkant, dit plaatje langer wordt. Keren wij de spanning om, dan wordt bij het aanleggen van de spanning het plaatje korter (fig. 17b). Als twee plaatjes op elkaar worden gelegd en er wordt op de in figuur 17c aangegeven manier een spanning op gezet, dan wil het bovenste plaatje langer worden en het onderste plaatje korter. Als beide plaatjes aan

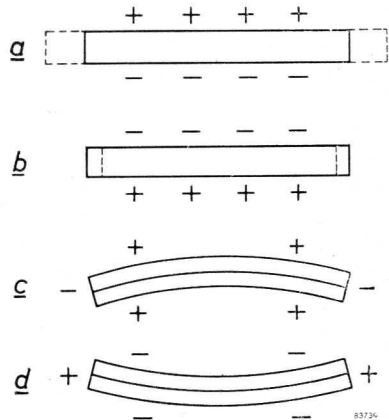


Fig. 17a, b, c, d.

Principe van de kristal-toonopnemer.

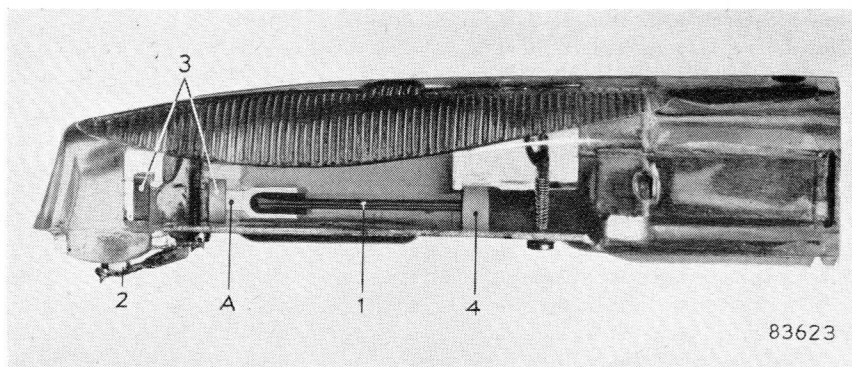


Fig. 18. Constructie van de kristal-toonopnemer type AG 3010.

elkaar zijn geplakt, dan bestaat er maar één mogelijkheid: het geheel gaat buigen. Het langer of korter worden van de plaatjes is natuurlijk niet willekeurig doch wordt geheel bepaald door de manier waarop zij uit het kristal zijn gesneden.

Uit het vorenstaande volgt dat, als zo een samenstelsel van twee kristalplaatjes wordt verbogen, hierop spanningen ontstaan op de in fig. 17c aangegeven manier. Worden de plaatjes in de tegengestelde richting gebogen, dan wisselt ook de spanning van richting om (fig. 17d). Ziedaar in principe de werking van de kristal pick-up. Twee aan beide zijden geleidend gemaakte plaatjes worden aan één kant vast ingeklemd, aan de andere kant wordt op de een of andere manier de naald bevestigd. Deze naald wordt door de groef heen en weer bewogen; hierdoor worden de plaatjes heen en weer gebogen en dientengevolge in steeds wisselende richting geladen. Deze lading nu kan als een wisselende elektrische spanning via de geleidende lagen worden afgenomen.

De werkelijke uitvoering is iets gecompliceerder. In plaats van de kristalplaatjes te buigen kan men ze ook torderen, dit heeft op het principe geen invloed. De naald kan echter niet direct aan het „kristalelement” worden bevestigd, omdat dan de weergavekwaliteit zeer slecht wordt. Een praktische constructie is gegeven in fig. 18. Met 1) is het kristalelement aangeduid dat rechts bij 4) is ingeklemd. Links is het z.g. anker A zichtbaar en in dit anker wordt de naald 2) gestoken. Het anker zit gelagerd in twee ringen 3) en kan dus de bewegingen die de naald maakt volgen. Doordat het anker met een soort vork om het linker uiteinde van het kristalelement grijpt, komen de bewegingen van het anker ook op het kristal, dat aldus wordt getordeerd, waardoor spanningen tussen de erop aangebrachte geleidende lagen ontstaan.

Ook deze voorstelling is nog vereenvoudigd. Alle delen waaruit zo een toonopnemer is samengesteld, hebben bepaalde resonantiefrequenties, dus eigen tonen, die bijzonder sterk worden weergegeven. Dit is voor kwaliteitsweergave niet toelaatbaar en om deze resonanties te dempen of op te heffen wordt bij voorbeeld tussen het kristalelement en de ankervork nog een dun stukje rubber gestoken. Ook de inklemming 4), zowel als de lagerringen 3), zijn hierom van rubber van zeer speciale hardheid

gemaakt, terwijl verder het gehele kristalelement is omgeven met een soort gelei, die dient om deze resonanties verder te onderdrukken of op te heffen. Op de tweede functie van dit gelei komen wij later terug.

Niet elke kristallijne stof heeft piëzo-electrische eigenschappen — de meest gebruikte is seignette zout. Bij de fabricage van plaatjes voor kristal pick-ups is het uitgangspunt een reuzenkristal van seignette zout. Deze kristallen worden gekweekt door een kiemkristal, dat niet veel groter is dan een speldeknoop, te leggen in een bak met een verzadigde seignette zoutoplossing. De temperatuur, die aanvankelijk ongeveer 50° C is, laat men zeer langzaam, namelijk in 4 à 6 weken, tot kamertemperatuur dalen, en tengevolge hiervan wordt het kiemkristal steeds groter, tot het uiteindelijk verschillende kilogrammen zwaar is. Dit grote kristal wordt in plakken gezaagd; de plakken zaagt men in repen en de repen in plaatjes. De zijden van de plaatjes worden met grafiet of metaal geleidend gemaakt en twee aan twee verenigd, waarna de aansluitdraden worden aangebracht.

Seignette zout heeft vele goede, doch ook enige onaangename eigenschappen. In water, of in zeer vochtige lucht, lost het snel op. Bij grote droogte droogt het uit en vervalt het tot poeder. Bij temperaturen boven 50 à 55° C treedt het zich in het kristal bevindende kristalwater uit; het kristal lost zich hierin op en vloeit weg. Een seignettezout kristal voelt zich het best bij gematigde temperatuur en vochtigheidsgraad, en heeft daarbij een zeer lang leven. Door de in een grammofoon ontwikkelde warmte, door hoge luchtvochtigheid ten gevolge van plotselinge afkoeling, in de tropen en zelfs in de subtropen, kan een seignette kristal echter ernstig bedreigd worden. Om de invloed van vocht tegen te gaan worden de kristalelementen met een was- of laklaag bedekt. Dit geeft een zekere mate van bescherming, doch bijzonder effectief is deze nog niet, omdat waterdamp op de duur toch nog door de betrekkelijk dunne bescherm laag kan heendringen. Het kristalelement in een dichtgesoldeerd blikje plaatsen is niet mogelijk, omdat de naald hierdoor naar buiten moet steken. De enige oplossing van dit probleem is het kristal te omringen met een vet of gelei dat alle openingen afsluit en toch de naaldbewegingen niet belemmert. Zoals reeds hierboven vermeld, heeft een dergelijke gelei tevens een goede invloed op de weergave, terwijl een derde voordeel is dat het kristalelement hierdoor ook nog tegen breuk wordt beschermd. De vroegere kristal-toonopnemers sneuvelden veelal reeds bij veel lagere temperaturen dan 50° C; ook was toen over de juiste constructievorm nog weinig bekend, zodat de weergave verre van fraai was. Het voordeel van de kristal-toonopnemer is de hoge afgegeven spanning, die ligt in de grootteorde van 1 V, waardoor deze zonder voorversterking zelfs op een eenvoudig radioapparaat aangesloten kan worden. Het uiterst geringe gewicht (6 gram, in het geval van de in fig. 18 afgebeelde opnemer) is natuurlijk van groot belang voor de platenslijtage. Daardoor, alsook door de betrekkelijk lage prijs, is de huidige populariteit, ondanks aanvankelijke vooroordelen, te verklaren. Bij de besprekingen van de electrische eigenschappen zal blijken dat deze populariteit, ook wat de weergavekwaliteit betreft, verantwoord is.

Behalve seignettezout, worden nog een tweetal andere materialen voor piëzo-electrische toonopnemers gebruikt. Het ene, ammoniumdihydrogeniumphosphaat (A.D.P.)



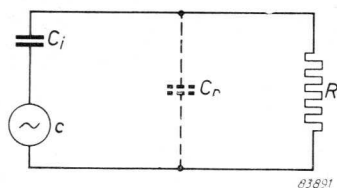


Fig. 19. Vervangingsschema van de kristal-toonopnemer.

is meestal meer bekend onder de handelsnaam P.N. Dit materiaal blijft bruikbaar bij temperaturen tot  $100^{\circ}\text{C}$ ; het gevaar van uitdrogen is niet aanwezig, terwijl de vochtgevoeligheid gelijk is aan die van seignettezout. Een nadeel van deze kristallen is de lage inwendige capaciteit (enige honderden picofarad tegen  $2000\text{ pF}$  bij rochellezout), uit hoofde waarvan de ingangsweerstand  $R$  van de versterker zeer hoog gekozen moet worden, omdat anders de lage tonen teveel verzwakt worden (zie fig. 19). Als gevolg hiervan bestaat het gevaar, dat het pick-up snoer ontoelaatbaar veel brom opneemt, terwijl tevens bij een lang snoer door de leidingcapaciteit de hoge-tonen weergave wordt verzwakt. De A.D.P.toonopnemer wordt dientengevolge alleen gebruikt als de leiding naar de versterker zeer kort kan zijn. Daar ook de afgegeven spanning niet erg hoog is en de hoge ingangsweerstand niet voor elke versterkerbuis en schakeling toelaatbaar is, wordt A.D.P. in geringere mate dan seignettezout toegepast. Het andere materiaal, bariumtitanaat in diverse variaties, verschilt van de reeds genoemde door het feit, dat het multikristallijn is en vooral doordat het een keramisch materiaal is. Dientengevolge hebben vocht en temperatuur practisch geen invloed op de theoretisch onbeperkte levensduur.

Helaas bezit bariumtitanaat een aantal andere, minder gunstige, eigenschappen. Zoals practisch elk keramisch materiaal, is het zeer bros, zodat de plaatjes niet al te dun gemaakt mogen worden; dientengevolge zijn zij vrij stijf, wat voor de lage zowel als voor de hoge-tonen weergave ongunstig is, terwijl tevens de afgegeven spanning eigenlijk juist iets te laag is voor aansluiting op een normaal radiotoestel, namelijk in de grootteorde van  $0,1\text{ V}$ . Desondanks is de kans op breuk toch nog vrij groot. Een eigenaardige bijzonderheid van bariumtitanaat is, dat de plaatjes gepolariseerd moeten worden voordat zij piëzo-electrische eigenschappen vertonen — door hoge temperaturen kan het piëzo-electrische karakter weer verloren gaan, doch door hernieuwde polarisatie weer worden hersteld. De polarisatie wordt eenvoudig verkregen door even een hoge gelijkspanning tussen de aansluitingen van het toonopnemer-element te zetten.

Het vervaardigen van bariumtitanaatplaatjes is nog moeilijker dan dat van goede seignettezout kristallen; het is zelfs meer kunst dan wetenschap, en dit, tezamen met de andere, minder prettige eigenschappen, verklaart waarom ook keramische toonopnemers nog niet erg veel gebruikt worden.

### § 3. De magnetische toonopnemer

In de jaren vóór 1940 was dit eigenlijk de belangrijkste soort toonopnemers, die echter wegens twee nadelen; het vrij hoge gewicht en de geringe afgegeven spanning, in recentere tijd veel terrein hebben verloren. Door verbeteringen van de constructie zijn echter, wat betreft gewicht en weergavekwaliteit, belangrijke vorderingen gemaakt, zodat de magnetische toonopnemers thans weer een betrekkelijk belangrijke plaats innemen.

De werking van de magnetische pick-up berust op een geheel ander principe dan die van de kristal pick-up. Als een spoeltje zich in een magnetisch veld bevindt en de sterkte van dit veld verandert, dan wordt in die spoel een elektrische spanning opgewekt. De richting van die spanning is afhankelijk van de manier waarop het magnetische veld verandert. Het eenvoudigste model van deze pick-up is een spoel waarin een staafmagneet gestoken wordt — als de magneet naar binnen gaat komt op een van de twee spoelenden bijvoorbeeld een positieve spanning te staan; trekt men de magneet er weer uit, dan komt op dezelfde aansluiting een negatieve spanning te staan. Zolang de magneet niet wordt bewogen, ontstaat geen spanning in de spoel. De spanningen die worden opgewekt zijn evenredig met de sterkte en de snelheid waarmee het magneetveld in de spoel verandert. Ook de richting van het magnetische veld is van belang; dit veld moet namelijk door de spoel in haar asrichting lopen; loodrecht op de spoel gerichte velden kunnen geen spanningen opwekken.

Een magnetische toonopnemer is in fig. 20 vereenvoudigd voorgesteld. Deze bestaat uit een (in doorsnede getekende) spoel 1), die tussen twee poolschoenen is geplaatst en tegen welke poolschoenen een hoefijzermagneet is bevestigd. De linkerpoolschoenen zijn magnetische noord-, de rechterpoolschoenen magnetische zuidpolen. Midden in de spoel zit het anker: een weekijzeren staafje waarin onderaan de grammofoonnaald 2) is geplaatst. Dit anker kan om een lager 3) heen en weer bewegen. Als het anker precies verticaal staat en dus even ver van de noord- als van de zuidpolen verwijderd is, lopen er geen krachtlijnen van het magnetische veld doorheen. Als de naald naar rechts wordt bewogen, komt de onderkant dicht bij de onderste zuidpool en de bovenkant dicht bij de bovenste noordpool. Dientengevolge gaat een deel van het magnetische krachtveld door het anker en dus loopt er dan een veld door de spoel in de asrichting. Op het moment dat het anker zich uit de middelste stand begint te bewegen, verandert zo het door de spoel gaande magnetische veld, en dientengevolge wordt in die spoel een spanning opgewekt, die groter is naarmate het anker sneller beweegt. Als de naald naar links beweegt, gebeurt weer hetzelfde doch dan is de richting van het magnetische veld door de spoel juist omgekeerd. Bij heen en weer bewegen van de naald gaat dus een wisselend magneetveld door de spoel en ontstaat hierin dientengevolge een wisselspanning.

Het is gemakkelijk in te zien dat door de verschillende krachten die op de naald werken, het gevaar bestaat dat het anker naar één kant omklapt; om dit te voorkomen worden de dempingsblokjes 4) aangebracht. Deze zijn meestal van rubber en houden het anker in het midden, zonder dit evenwel te beletten de golvingen van de platen-

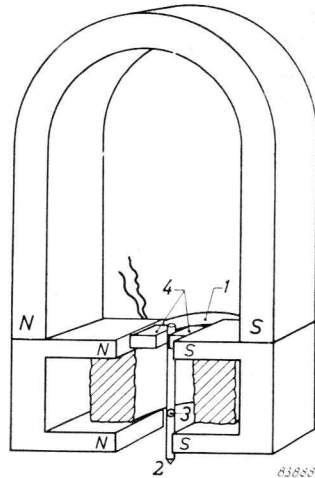


Fig. 20.

*Magnetische toonopnemer.*

groef te volgen. Met de magnetische toonopnemer kan een zeer goede weergavekwaliteit worden bereikt, doch zijn gewicht is tengevolge van het aanwezige ijzer en staal, nogal hoog. De rubberdempingsblokjes, die hier een veel directer constructie-element zijn dan bij de kristaltoonopnemer, willen na verloop van tijd nog al eens hard worden of vergaan, waardoor de weergavekwaliteit achteruit gaat, terwijl ook het gevaar bestaat dat op de duur het anker polair, d.w.z. lichtelijk permanent magnetisch wordt, waardoor het naar één kant wordt getrokken, wat zich eveneens als vervorming der weergave uit. De door een magnetische toonopnemer afgegeven spanning is meestal aanzienlijk lager dan die van een kristal pick-up, in de grootteorde van 0,1 V, of, bij kwaliteit-toonopnemers, nog minder. Als namelijk de afstand tussen het anker en de poolschoenen klein wordt gekozen, neemt de gevoeligheid van d. toonopnemer toe, doch de veranderingen van het krachtveld door het anker blijven dan niet meer recht evenredig met de ankerbeweging, hetgeen vervorming veroorzaakt. Omgekeerd maakt men voor kwaliteitsweergave de luchtspleet daarom groot, wat helaas weer een ongunstige invloed op de grootte van de afgegeven spanning heeft. De moderne naam van de magnetische toonopnemer is „Variable Reluctance” pick-up (variabele reluctantie pick-up). Een principieel verschil met vroegere uitvoeringen bestaat er niet, doch de in fig. 21 geschetste constructie-vorm heeft wel enige voordelen boven oudere uitvoeringen. In plaats van één, worden twee spoelen gebruikt, en het anker bevindt zich nu tussen twee op de spoelen (1) geplaatste poolschoenen. De magneet is met 4) aangeduid. Bij het heen en weer gaan van het anker neemt het veld door de beide spoelen afwisselend toe en af. De lagering van het anker kan nu zo worden uitgevoerd, dat geen dempingsblokjes meer nodig zijn om in het midden te houden, terwijl een eventueel permanent-magnetisch worden van het anker ook minder hinderlijk is. Ook in deze uitvoering geeft de magnetische toonopnemer een zo lage spanning af (ongeveer 8 mV), dat extra spanningsversterking nodig is: het gewicht bedraagt omstreeks 30 g, wat ten opzichte van de oudere uitvoeringen een aanzienlijke verbetering is.

#### § 4. Dynamische toonopnemers en microfoons

Het principe van de dynamische toonopnemers vertoont zeer grote overeenkomst met dat van de magnetische toonopnemers; uiteindelijk berusten beide op dezelfde natuurkundige verschijnselen. Bij de magnetische toonopnemers werd de spanning opgewekt door de sterkte van het door een spoel lopend magnetisch veld te variëren; bij de dynamische toonopnemer wordt de richting van een spoel gewijzigd ten opzichte van een magnetisch veld, resp. de richting van het veld ten opzichte van de spoel. Ook in deze gevallen wordt gedurende de

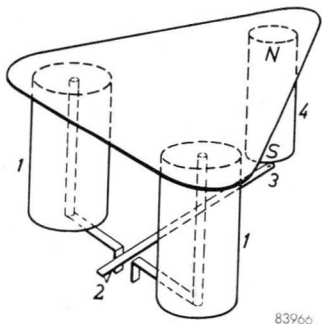


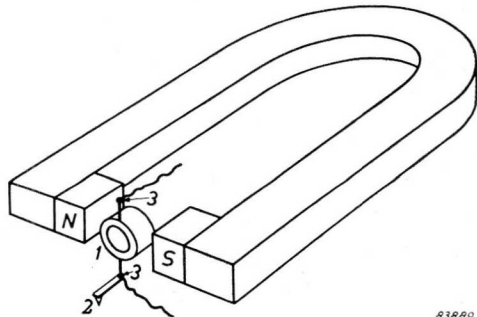
Fig. 21.

Variable reluctance toonopnemer.

beweging een spanning in de spoel opgewekt, waarvan de grootte afhankelijk is van de bewegingssnelheid.

In fig. 22 is een electro-dynamische toonopnemer vereenvoudigd getekend. Een, uiterst klein en licht, spoeltje 1) is opgesteld tussen de poolschoenen van een hoefmagneet. Dit spoeltje kan om de lagers 3) bewegen en aan de spoel is de naald 2) bevestigd. Als het spoeltje om de lagers 3) bewogen wordt, beweegt het dus ten opzichte van het magnetisch veld dat tussen de beide poolschoenen aanwezig is, en diengevolge ontstaat een elektrische spanning. Bij het heen en weer bewegen van de spoel ten gevolge van de bewegingen die de naald van de groef op de grammofoonplaat krijgt, ontstaat een wisselspanning, die aan de versterker wordt toegevoerd. Ook bij de hier geschetste constructie zal het spoeltje op de een of andere manier gesteund moeten worden, om omklappen tegen te gaan; het grootste probleem is echter dit spoeltje voldoende licht te maken. Het bestaat daarom meestal uit slechts weinige windingen zeer dun koperdraad, en de afgegeven spanning is diengevolge uiterst laag, slechts enkele mV. Electro-dynamische toonopnemers hebben een zeer lage inwendige weerstand, soms maar enkele ohms tegen enige duizenden ohms bij de magnetische toonopnemers en daarom kan met voordeel van een aanpassings-transformator gebruik worden gemaakt, waardoor de spanning omhoog getransformeerd wordt en niet zoveel voorversterking meer nodig is. De extra transformator betekent echter een zekere kostprijsverhoging, vooral omdat een goede afscherming nodig is om brommen tegen te gaan.

Electro-dynamische toonopnemers worden slechts betrekkelijk weinig gebruikt. Als men de naald door een membraan vervangt, krijgt men een microfoon die — mits goed ontworpen — van uitzonderlijke kwaliteit is en daarom veel in opnamestudio's wordt gebruikt. De luchtrillingen zijn uit de aard der zaak nog zwakker dan de trillingen die de naald van de groef toegevoerd krijgt en daarom is het bij de microfoon van nog groter belang de bewegende delen uiterst licht te maken. Om deze reden vervangt men het spoeltje wel eens door een enkel aluminium bandje, dat dan tevens als membraan werkt. Deze bandmicrofoons kunnen bijzonder goed zijn. Het is natuurlijk ook mogelijk de electro-dynamische toonopnemer met een band in plaats van met een spoeltje uit te voeren, doch de afgegeven spanning wordt dan wel erg gering. De magnetodynamische toonopnemer is een praktische mogelijkheid geworden door het feit dat men tegenwoordig beschikt over een magnetisch materiaal, namelijk Ferroxdure, waarvan dunne staafjes ook dwars gemagnetiseerd kunnen worden. Bij de magneetstalen als Ticonal en Reco, was alleen magnetisatie in de lengte-



63889

Fig. 22. Electro-dynamische toonopnemer.

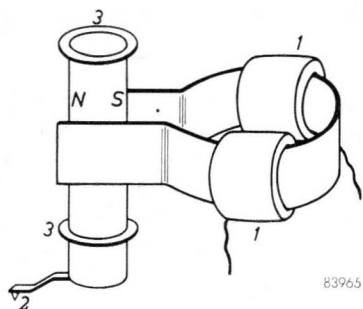


Fig. 23.

*Magnetodynamische toonopnemer.*

richting mogelijk. Een dwars gemagnetiseerd staafje Ferroxdure (een keramisch materiaal) kan men dus voorstellen als een cylinder waarop aan twee zijden in de lengterichting een streep is gezet — de noordpool en de zuidpool. Bij magneetstalen moet men zich voorstellen dat strepen in de lengterichting niet mogelijk zijn, en dus alleen maar de eindvlakken kunnen worden gekleurd. De werking van de magnetodynamische toonopnemer volgt uit figuur 23. Een gemagnetiseerd staafje Ferroxdure (slechts 0,8 mm dik) bevindt zich tussen de beide enden van een U-vormige beugel, waarop 2 spoelen (1) zitten. De noordpool van het Ferroxdurestaafje zit aan de voorkant precies midden tussen de beide benen van de U en de zuidpool, aan de achterkant van het staafje, bevindt zich eveneens precies midden tussen de benen. Zodra de naald 2) door de groef op de plaat gaat heen en weer bewegen, gaat de noordpool, bij voorbeeld, van de naald af gezien, naar rechts en de zuidpool naar links, zodat nu een magnetisch veld door de U-beugel gaat lopen. Even later gaat de noordpool naar links en de zuidpool naar rechts; het veld door de U-beugel is dan van richting omgekeerd. Door de spoelen op de U-beugel gaat een wisselend magnetisch veld en diensgevolge wordt hier een wisselspanning in opgewekt.

Daar bij de magneto-dynamische toonopnemer de spoelen niet bewegen, kunnen deze veel groter gemaakt worden dan bij de electro-dynamische pick-up. Weliswaar is het kleine Ferroxduremagneetje niet zo sterk als de magneet in de electro-dynamische toonopnemer, maar uiteindelijk kan bij gelijk totaalgewicht de magnetodynamische opnemer toch gevoeliger gemaakt worden dan het andere type; de afgegeven spanning is gemiddeld 20 mV, terwijl dan tevens de aanpassingstransformator — door het grotere aantal windingen — overbodig geworden is. Bovendien is het gewicht van het Ferroxdurestaafje geringer dan dat van het kleinste mogelijk bewegende spoeltje, wat voor de hoge-tonen weergave van bijzonder belang is. Door zijn cilindrische vorm is ook het traagheidsmoment van het bewegende deel van de magneto-dynamische pick-up uiterst laag. De afgegeven spanning is echter nog zodanig, dat voor aansluiting op een radioapparaat extra voorversterking nodig is.

### § 5. Condensator-toonopnemers en microfoons

Deze categorie onderscheidt zich van alle voorgaande door het feit dat hierbij een hulpspanning moet worden toegevoerd. Het principe is eenvoudig genoeg. Als men twee metalen plaatjes neemt, een stijf (1<sup>1</sup>) en een gemakkelijk beweegbaar (1) dat men vlak bij het eerste opstelt, dan vormen deze twee platen tezamen een condensator, waarvan de capaciteit wordt bepaald door de afmetingen van de platen en hun on-

derlinge afstand. Door aan het beweeglijke plaatje een naald te bevestigen, wordt de afstand tussen de beide platen overeenkomstig met de uitwijkingen van de groef beïnvloed, en wordt dus ook de capaciteit meer of minder evenredig hiermee veranderd. Het probleem dat nu nog moet worden opgelost, is hoe de capaciteitsvariëaties in wisselspanningen kunnen worden omgezet. Hiervoor bestaan twee methoden. De ene berust op het feit dat de lading (= hoeveelheid electriciteit) van een condensator gelijk is aan het product van capaciteit en de aangelegde spanning, in formule:  $Q = C \times V$ . Als de lading op de een of andere manier constant wordt gehouden terwijl de capaciteit wordt gevarieerd, zal de spanning omgekeerd evenredig met de capaciteit moeten veranderen.

Deze spanningsveranderingen kunnen aan de versterker worden toegevoerd. Om een en ander te berekenen, wordt de toonopnemer of microfoon over een zeer hoge weerstand aangesloten op een gelijkspanning van bijvoorbeeld 200 V. Door de hoge waarde van de weerstand, bij voorbeeld 100 megohm, kan de lading op de condensator bij het trillen van de beweeglijke electrode niet snel genoeg veranderen, en dientengevolge fluctueert de spanning op de condensator. De condensatormicrofoon heeft zulke goede eigenschappen, dat men heenstapt over de bezwaren dat een hulpspanning nodig is en dat ter voorkoming van gevoeligheidsverlies (door de leidingscapaciteit) de eerste versterkbuis in het kapsel van de microfoon moet worden ingebouwd. Voor nauwkeurige akoestische metingen is de condensatormicrofoon zelfs het aangewezene type. In deze uitvoering zijn echter op het ogenblik, voor zover bekend, geen toonopnemers in de handel.

Men kan evenwel nog op een andere manier de capaciteitsvariëaties in wisselspanningen omzetten. Het microfoon- of toonopnemelement wordt dan gebruikt als afstemcondensator van een miniatuur-F.M.-zender. Als de beweeglijke condensatorplaat gaat trillen, wordt de zender in frequentie gemoduleerd; dit F.M.-signaal wordt aan een vereenvoudigde F.M.-ontvanger toegevoerd, die het omvormt in laagfrequentie wisselspanningen die via een versterker naar de luidspreker gaan. Deze methode heeft op de hiervoren beschrevene het voordeel dat de wisselspanningen waarmee wordt gewerkt, veel hoger zijn, zodat het bromgevaar veel minder is; zij

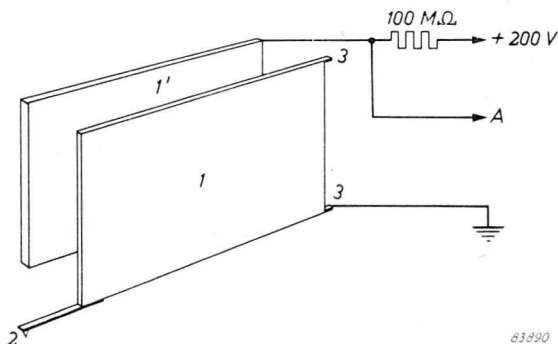


Fig. 24.

Condensator-toonopnemer.

83290

wordt daarom voor microfoons en ook voor toonopnemers gebruikt. De F.M.-zender moet weer vlak bij de microfoon gemonteerd worden doch kan desnoods via een geschikte kabel van verscheidene meters lengte met de F.M.-ontvanger en verdere apparatuur worden verbonden. Om echter een voldoende gevoeligheid te krijgen, wordt de microfoon of toonopnemer wel eens zodanig gedimensionneerd, dat bij sterke signalen een zekere hoeveelheid vervorming ontstaat. Iets dergelijks hebben wij reeds bij de magnetische toonopnemer vermeld (zie blz. 26), en hiermee moet ook bij het ontwerpen van dynamische toonopnemers rekening worden gehouden; bij condensator-toonopnemers schijnt het probleem echter nijpender te zijn. Om namelijk een hoge gevoeligheid te verkrijgen wordt de afstand tussen vaste en beweeglijke plaat zo klein gemaakt dat de capaciteitsvariëaties niet langer recht evenredig met de membraanbewegingen zijn, doch neemt de capaciteitsvariatie bij grotere trillingsamplituden meer dan evenredig toe. Het is echter mogelijk de F.M.-zenders dezelfde vervorming in tegengestelde zin te geven, zodat beide vervormingen elkaar opheffen. Door de daarbij nodige apparatuur en de moeilijkheden van instelling, die, althans voor de leek, niet onderschat mogen worden, wordt de condensator-toonopnemer niet veel toegepast — de condensator-microfoon daarentegen is in heel wat opnamestudio's in gebruik.

# HOOFDSTUK IV-B

## TOONOPNEMERS : EIGENSCHAPPEN

### § 6. Frequentiekaracteristieken

Alvorens ons in details met de eigenschappen van toonopnemers bezig te houden, stellen wij ons op de hoogte van de grondvorm van de opnamekarakteristiek. Deze wordt in hoofdstuk V uitvoerig behandeld, doch voorlopig bekijken wij alleen de vooroorlogse 78-toeren opnamekarakteristiek, die in feite reeds uit het akoestische tijdperk stamt. De uitwijkingen van de conus van een luidspreker of van het mica membraan van een akoestische weergever van een ouderwetse grammofoon zijn bij gelijke geluidssterkte het grootst voor de lage tonen, en worden bij het toenemen van de frequentie kleiner. Dit kan ook worden waargenomen aan de snaren van een strijk- of tokkelinstrument en aan de percussie-instrumenten. Indien wij de mogelijkheid hebben dit te meten, dan blijkt dat de uitwijking van het trillende element van een geluidsbron bij gelijke geluidssterkte exact omgekeerd evenredig met de toonhoogte is. Waar hier over geluidssterkte wordt gesproken, bedoelen wij de natuurkundige geluidssterkte, niet de luidheid, die wegens de eigenschappen van het menselijk oor van de geluidssterkte kan afwijken (zie fig. 63).

Als nu twee tonen van gelijke geluidssterkte worden vergeleken, bij voorbeeld een A met een frequentie van 440 Hz en een A<sup>1</sup> met een frequentie van 880 Hz, dan is de amplitude (uitwijking) van de trillingen met de hoogste toon de helft van die met de laagste toon. De hoogste toon volbrengt een complete trilling (periode) precies in de helft van de tijd die de A hiervoor nodig heeft. Uit deze twee feiten volgt de conclusie, dat de snelheid waarmee de luchtdelen trillen, in beide gevallen dezelfde zijn moet. Dus bij gelijkblijvende geluidssterkte is de trillingsamplitude omgekeerd evenredig met de frequentie, en de snelheid waarmee de lucht of het membraan trilt, is onafhankelijk van de toonhoogte; dit is in fig. 25 te zien. De getrokken lijn is de snelheid, en de streeplijn is de amplitude van de trillingen voor verschillende frequenties.

De trillingen worden bij een ideale opname onvervormd in de plaat vastgelegd. Rekening houdend met het feit dat geen grammofooninstallatie absoluut zonder stoorgeluiden is en, wat in het bijzonder voor de vooroorlogse platen geldt, dat de grammofoonplaat zelf ruis veroorzaakt, moet de kleinste amplitude zo groot gekozen worden, dat de erbij behorende

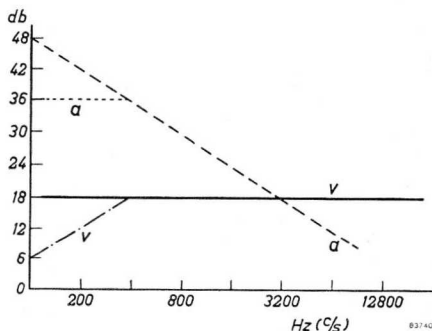


Fig. 25. De fundamentele opnamekarakteristiek.



toon niet door de ruis en de andere storingen wordt overstemd.

Uit de figuur volgt, dat de kleinste amplitude bij de hoogste weer te geven toon voorkomt. Is deze bij voorbeeld 12.800 Hz, en als wij voor de amplitude 2 micron aannemen, dan is de amplitude bij 100 Hz veel groter, en wel 256 micron.

Daar de afstand tussen twee groeven op een 78-toerenplaat slechts 100 micron is, moeten de laagste tonen aanzienlijk worden verzwakt, opdat de groeven elkaar niet snijden. In plaats van de theoretische 50 micron, kan 64 micron worden toegestaan; bij 100 Hz moet de amplitude dus een factor 4, dat is 12 db, verzwakt worden. Bij 200 Hz is de verzwakking die nodig is om de amplitude tot 64 micron te beperken, 6 db, en bij 400 Hz is geen verzwakking meer nodig. Het toegestane verloop van de amplitudekarakteristiek beneden 400 Hz wordt dus door de stippellijn aangegeven; de snelheidskarakteristiek wordt hierdoor natuurlijk ook beïnvloed, en deze wordt voor de lage frequenties door de streeppuntlijn aangegeven. Bij de akoestische opnamen werd de gewenste correctie, nolens volens, door het slechte rendement van de gebruikte hoorns bij lage frequenties verkregen — bij de elektrische opnamen wordt dit bereikt door het gebruik van correctiefilters.

Zoals reeds in de paragrafen 3 en 4 van dit hoofdstuk werd vermeld, zijn de afgegeven spanningen van de magnetische en dynamische toonopnemers evenredig met de snelheid van het bewegende element — dus uiteindelijk met de naaldsnelheid, en de lijn v in fig. 25 is dus tevens de weergavekarakteristiek van de magnetische en dynamische toonopnemers.

Bij de piëzo-electrische en condensator-toonopnemers is de spanning evenredig met de amplitude van de naaldbeweging, en de lijn a is zodoende de principiële weergavekarakteristiek van deze typen; in het eerste geval is er dus een tekort aan lage tonen, in het tweede geval zijn juist de tonen boven 400 Hz te zwak.

In beide gevallen bestaat de mogelijkheid een en ander te corrigeren. De kristal-toonopnemer kan in principe een zeer hoge spanning afgeven, van wel 15 V, en dat is meer dan nodig is. Door nu de koppeling tussen naald en kristalplaatjes voor de lage tonen zwakker te maken dan voor de hoge frequenties, wordt de weergavekarakteristiek vlakker gemaakt, en hiermee zijn zeer goede resultaten te bereiken, zoals is te zien in fig. 26, die de weergavekarakteristiek van de toonopnemer AG

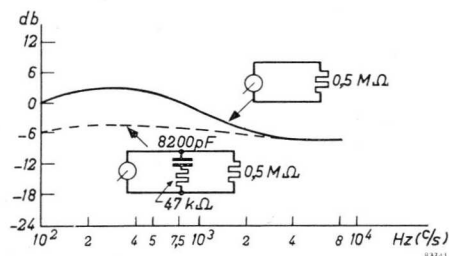


Fig. 26. Weergavekarakteristiek toonopnemer type AG 3012.

3012 toont. Deze karakteristiek, opgenomen met HMV plaat DB 4037 (tot 8000 Hz), laat zien dat het verschil in gevoeligheid bij 400 en 8000 Hz slechts 9 in plaats van 27 db is. Afgezien van het feit dat de iets te sterke lage-tonen weergave door vele luisteraars wordt gewaardeerd, kan de weergavekarakteristiek met behulp van een eenvoudig electrisch filter practisch volkomen recht worden gemaakt (streeplijn in fig. 26).

In het geval van de magnetische en

dynamische toonopnemers liggen de kaarten volkomen anders; de uitgangsspanning van deze toonopnemers is zo laag, dat de hiervoor vermelde correctiemethode niet goed toe te passen is. Weliswaar kan men door het anker bij voorbeeld bij 150 Hz te laten resoneren, (dus als het ware op die frequentie af te stemmen), het lage-tonen verlies gedeeltelijk compenseren, doch deze methode, die leidt tot een aanzienlijk verlies in weergavekwaliteit, wordt thans praktisch niet meer toegepast. Met behulp van een correctiefilter in de versterker worden de lage tonen nu op het juiste niveau gebracht (zie Hoofdstuk VIII).

De weergavekarakteristiek van een toonopnemer is, behalve van de eigenschappen van de toonopnemer, natuurlijk ook afhankelijk van de grammofoonplaat waarmee deze wordt opgemeten. Een weergavekarakteristiek zonder vermelding van de gebruikte plaat of platensoort, is dan ook waardeloos.

Hoewel de bepaling van deze karakteristiek een van de eenvoudigste metingen is die in het laboratorium moeten worden verricht, blijkt helaas regelmatig dat publicatiekarakteristieken niet altijd met de werkelijkheid overeenstemmen, en dat men te veel en te graag van een liniaal gebruik maakt. In het geval van de magnetische en dynamische toonopnemers wordt soms de weergavekarakteristiek opgegeven voor een hypotetische plaat met constante naaldsnelheid over het gehele bereik; zolang men hierbij is uitgegaan van een geschikte meetplaat en alleen correcties heeft ingevoerd voor het afvallen van de plaat bij de laagste frequenties, is hier natuurlijk niet het minste bezwaar tegen.

Een oorzaak van verwarring is nog, dat een microgroef-frequentieplaat een andere weergavekarakteristiek kan geven dan een schellak normaalgroefplaat die met dezelfde opnamekarakteristiek is gesneden. Dit is een punt van belang in het geval van toonopnemers met twee naalden — één voor microgroef-, en één voor normaalgroefplaten, waarbij men veelal met één meting volstaat. Door de grotere elasticiteit van het vinyl van de microgroefplaat, zullen de hoogste tonen bij het afspeelen van deze plaat iets zwakker zijn dan bij het spelen van de schellakplaat. Ook de toonopnemerresonantie zal bij de microgroefplaat iets lager komen te liggen.

Het is namelijk zó, dat een toonopnemer met een vlakke karakteristiek bij een bepaalde hoge frequentie even extragevoelig wordt, om bij nog hogere frequenties zeer ongevoelig te worden. Dit wordt meestal door een resonantie van het anker veroorzaakt. Dit kleine piekje in de weergavekarakteristiek, en de eventuele snelle afval daarboven, bevoordelen de in de buurt liggende frequenties in sterkere mate dan men uit de grafiek zou verwachten — de toon wordt door deze resonantie aanzienlijk scherper, en men streeft er daarom steeds naar deze piek zoveel mogelijk boven de hoogste hoorbare frequentie te leggen. Het gedrag van een toonopnemer op microgroefplaten is dus, zoals reeds gezegd, niet met zeker-

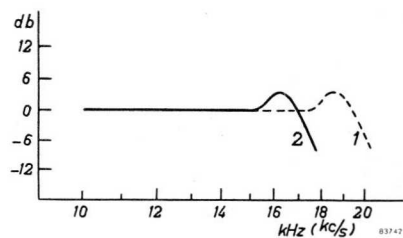


Fig. 27. Invloed van het platenmateriaal op de weergavekarakteristiek.

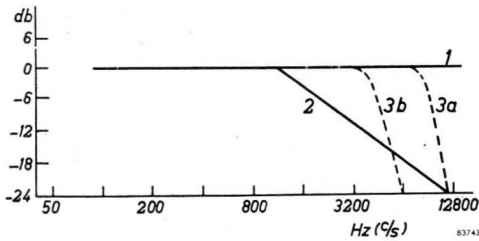


Fig. 28. Verschillende weergavekarakteristieken.

vlak mogelijk tot de hoogste hoorbare frequenties — en soms zelfs nog verder. Indien ook de andere eigenschappen van de toonopnemer goed zijn, kan men in zo een geval van High Fidelity spreken (1 in fig. 28). Bij de tweede groep loopt de karakteristiek vlak tot een bepaalde frequentie, en vervolgens daalt zij geleidelijk (2 in fig. 28). In principe echter is elektrische correctie nog mogelijk, doch in het algemeen bezwaarlijk uit te voeren, door het aanzienlijke versterkingsverlies dat er het gevolg van is. Dergelijke toonopnemers hebben een warme klank; van de hoogste tonen is nog wel iets te horen, doch het karakteristieke timbre van een aantal muziekinstrumenten is grotendeels verloren gegaan.

Bij de laatste soort daalt de karakteristiek boven een bepaalde frequentie snel (3a en 3b in fig. 28). Dit heeft het onverwachte gevolg, dat de toon scherper wordt, dus als het ware de indruk geeft dat er meer hoge tonen worden weergegeven dan in werkelijkheid het geval is. Volkomen te verklaren is dit verschijnsel moeilijk — men zou het kunnen vergelijken met wat de kunstschilder soms doet, en ook de wasserij met de witte was: door het wit een klein beetje blauw te maken, geeft het de indruk witter te zijn. Dus door het toonspectrum van het geluid op een bepaalde manier te beperken, krijgt men de indruk dat het compleet is. Het wordt dan echter „witter dan wit” en gauw iets te schel. In het geval 3a van fig. 28, is de afsnijfrequentie vrij hoog gelegen; het geluid wordt iets te scherp, doch de luisteraar die op zoek is naar hogetonen weergave krijgt hierdoor ten onrechte de indruk dat een dergelijke toonopnemer beter is dan die met karakteristiek 1. Deze weergave is echter vermoeiend, en als bij voorbeeld de toon van een echte viool met de door zo een toonopnemer weergegeven viooltoon wordt vergeleken, blijkt het verschil duidelijk.

De karakteristiek 3b heeft een heel ander doel. Deze snijdt af juist boven de hoogste, normaal in de muziek voorkomende, grondtoon. Door deze weergever wordt dus geen noot verdoezeld, al komt lang niet elke toon tot zijn volle recht. Bij niet perfecte platen, als oude 78-toerenplaten met veel vervorming en minder geslaagde microgroefplaten, wordt de vervorming, die voornamelijk uit hogere frequenties bestaat, diens gevolge grotendeels onderdrukt.

Ook de ruis van schellakplaten wordt hierbij veel minder. Een dergelijke toonopnemer heeft een warme klank, en geeft ook minder goede platen aanvaardbaar weer; door de steilheid van het afvallende deel van de karakteristiek juist te kiezen, wordt

heid uit metingen met behulp van schellakplaten te leiden. In fig. 27 is geschetst hoe de resultaten met dezelfde toonopnemer op een schellakplaat (1) en een identieke vinylplaat (2) kunnen zijn.

De weergavekarakteristieken van toonopnemers kunnen in drie categorieën worden gesplitst. Bij de eerste soort verloopt de karakteristiek, na de eventueel nodig zijnde elektrische correctie, zo

de klank nog iets helderder gemaakt. Hiermee mag men natuurlijk niet te ver gaan; anders wordt de weergave weer te schel.

De vorm van de weergavekarakteristiek bij de allerlaagste frequenties is voor kwaliteitsweergave eveneens van belang. Indien, eventueel na elektrische correctie, de karakteristiek recht verloopt tot 25 Hz, worden ook de allerlaagste opgenomen tonen getrouw weergegeven. Sommige toonopnemers echter vallen beneden 100 of 150 Hz zeer snel af; hierdoor gaan de grondtonen van een aantal muziekinstrumenten grotendeels verloren. Hoewel dit verlies gedeeltelijk door de wél gereproduceerde boven-tonen wordt gemaskeerd, komt de oorspronkelijke toon niet goed tot zijn recht. Deze afwijking wordt soms bewust aangebracht, om de eventueel aanwezig zijnde motor-dreun te onderdrukken.

### § 7 Over krachten en massa's

De naalddruk van een toonopnemer moet zo groot zijn, dat de naald bij sterke passages niet uit de groef loopt of zelfs geen neigingen daartoe vertoont, omdat reeds de neiging tot uitlopen zich door vervorming en extra platenslijtage laat merken. Aan de andere kant mag de naalddruk ook weer niet te hoog zijn. Voor elke soort toonopnemer bestaat een gunstigste naalddruk; deze bedraagt bij de huidige stand van de techniek meestal 10 à 12 gram.

De gewenste naalddruk wordt bepaald door verschillende factoren, waarvan de „compliantie” (compliance) en de bewegende massa wel de belangrijkste zijn. Beide hebben betrekking op de beweeglijkheid van de naald, de compliantie bij lage, de bewegende massa bij hoge frequenties.

Om de naald vanuit haar middelste stand te bewegen, is een kracht nodig om de stijfheid van de naaldbevestiging te overwinnen. Deze stijfheid kan worden bepaald door op de naald een bekende zijdelingse kracht uit te oefenen en met een meet-microscop vast te stellen over welke afstand de naald bewogen wordt.

Stijfheid wordt dan uitgedrukt in grammen per centimeter, en bedraagt bij voorbeeld  $500 \text{ g/cm} = 50 \text{ milligram per micron}$ . De praktische waarde van deze meting is echter beperkt, omdat in werkelijkheid de naald snel heen en weer wordt bewogen, zodat wrijvingskrachten en resonantieverschijnselen een rol gaan spelen die bij deze methode niet tot uiting komt.

Juister is het de naald snel, bijvoorbeeld 50 maal per seconde, heen en weer te bewegen en dan de uitwijkingen en krachten te bepalen, wat echter veel moeilijker is. Bij deze meting bepaalt men de „compliantie”, dat is de naalduitwijking in centimeters die het gevolg is van een kracht op de naaldpunt van 1 dyne (1 dyne = 1 milligram — wetenschappelijk is dit niet juist, doch deze vrijheid is hier toelaatbaar). Voor het meten van de compliantie bestaan verscheidene methoden, die helaas nog niet altijd dezelfde uitkomsten geven. Dit kan tot grote verwarring aanleiding geven, en daarom bestaat bij firma's die meetmethoden gebruiken welke lage uitkomsten geven, de neiging de resultaten niet te publiceren, terwijl de firma's die een andere meetmethode toepassen, veel eerder de getallen bekend maken. Hier volstaan wij dus met te zeggen, dat bij een naalddruk van 10 gram de compliantie ongeveer  $10^{-6} \text{ cm/dyne}$  (1 miljoenste cm/dyne) moet bedragen; dat is ongeveer 0,01 micron per milligram. Als de grootste voor-

komende amplitude 64 micron is, dan is de kracht op de naald dus 6,4 gram. Daar de hoek van de groefwand  $45^\circ$  is, is af te leiden dat de naalddruk minstens 6,4 gram moet zijn. Omdat verschillende factoren een rol spelen, neemt men een zekere veiligheidsfactor en kiest men een naalddruk van omstreeks 10 gram. Bij grotere waarden van de compliantie, zou een lagere naalddruk toelaatbaar zijn, doch dan raakt men soms bij de hogere frequenties in moeilijkheden.

Bij de frequenties boven 2000 Hz is de stijfheid van geen belang meer, doch alleen maar de bewegende massa. Deze is veel kleiner dan de totale massa van de toonopnemer en bestaat voornamelijk uit de naald, benevens, gedeeltelijk, het anker. Deze massa wordt zeer snel heen en weer bewogen, tot 10.000 maal per seconde en meer, en wordt dus regelmatig versneld en weer afgeremd. Voor de wiskundig aangelegden geven wij de volgende berekening.

De maximale naaldpuntsnelheid kan 25 cm/sec bedragen; dit wil zeggen, de momentele naaldpuntsnelheid  $V_m = 25 \sin \omega t$ . De versnelling is dus  $a = \frac{dv}{dt} = 25 \omega \cos \omega t$  en heeft een maximale waarde  $2\pi \times 25 \times f$ , waar  $f$  de frequentie is.

Bij 10.000 Hz is de versnelling dus ongeveer 1.600.000 cm/sec<sup>2</sup>, dat is 16 km/sec<sup>2</sup>. Zou deze versnelling 3 minuten duren, dan werd door de naaldpunt de afstand van hier naar de maan afgelegd, en het is alleen te danken aan het feit dat deze versnelling zo uiterst kort duurt, dat de naald niet, in figuurlijke zin, naar de maan gaat.

De momenteel optredende versnellingskrachten zijn echter zeer aanzienlijk, en met behulp van de bekende formule  $k = m \times a$  (kracht = massa  $\times$  versnelling) volgt dat de kracht die nodig is om een massa van 1 milligram de hierboven berekende versnelling te geven, 1600 dyne, dus 1,6 gram bedraagt. Als de bewegende massa dus 4 milligram is — en dat is zeker niet veel — dan zijn de krachten bij hoge frequenties van dezelfde orde van grootte als bij lage frequenties, bij een compliantie van  $10^{-6}$  cm/dyne. Hieruit laat zich verklaren waarom men de naalden van de moderne toonopnemers zo klein maakt: elke milligram extra gewicht vergroot het gevaar dat bij sterke hoge tonen de naald de groef niet goed meer kan volgen; dit zal weliswaar geen uit de groef springen tot gevolg hebben, doch uit zich wel in vervorming en extra platenslijtage.

Bij de toonopnemer die in fig. 18 is afgebeeld, bedraagt de bewegende massa ongeveer 6 milligram; bij een uitvoering van fig. 21 was de massa 8 milligram, terwijl bij de magnetodynamische toonopnemer van fig. 23, 3 milligram werd gemeten.

Zo hieruit een lering getrokken kan worden, dan is dit wel dat verlagings van de naalddruk bij een bepaalde constructie vrij onherroepelijk tot moeilijkheden bij de hoge-tonen weergave aanleiding zal geven, vooral bij microgroefplaten die het predicaat High Fidelity verdienen, en dat de naalddruk niet alleen op de compliantie gebaseerd mag worden.

De manier waarop een bepaalde naalddruk bereikt wordt, is ook van belang. Bij een zeer lichte toonopnemer en toonarmconstructie, is een naalddruk van 10 gram zonder moeilijkheden te realiseren; als toonopnemer en arm zwaar zijn, dan is balanceren nodig. Het is niet juist te veronderstellen dat het er niet toe doet op welke manier

een bepaalde naalddruk wordt verkregen, want er bestaan wel degelijk verschillen, zoals aan de hand van een eenvoudig voorbeeld is aan te tonen.

Gesteld dat een 2 meter lange zware ijzeren staaf en een even lange dunne houten lat beide precies in het midden wrijvingloos worden opgehangen; ze zijn dan volkomen in evenwicht. Als nu onder één uiteinde van elke staaf een naald wordt bevestigd en een gewicht van 10 gram er bovenop gelegd wordt, is de naalddruk in beide gevallen precies 10 gram (fig. 29). Probeert men nu met een vinger onder de naald deze op te heffen, dan zal dat in het geval van de dunne, lichte lat niet veel moeilijkheden geven, doch bij de zware staaf komt men tot de pijnlijke ontdekking dat hij zo moeilijk beweegt, dat de naald in onze vinger dringt voor de ijzeren staaf omhoog wil gaan. Omgekeerd blijkt dat, als beide naalden eenmaal over een hoogte van bij voorbeeld 10 cm zijn opgelicht, de ijzeren staaf veel meer tijd nodig heeft dan de lichte lat, om weer in de oorspronkelijke stand terug te komen. Dit is wel een extreem voorbeeld, doch de uitkomsten zijn zonder meer toe te passen voor gebalanceerde en niet gebalanceerde toonarmen.

Als door een schok of trilling de plaat omhoog gaat, moet ook de naald mee omhoog. De zware gebalanceerde arm verzet zich tegen de beweging, en de naald beschadigt de plaat. De lichte, niet gebalanceerde arm heeft de neiging tot verzet natuurlijk ook, doch in veel mindere mate. Wanneer op een later ogenblik de trilling benedenwaarts gericht is, kan de lichte toonarm de plaat onmiddellijk volgen; de zware toonarm is te traag, de naald blijft even boven de plaat zweven en het gevaar is groot dat, als deze eindelijk op de plaat terecht komt, dit op de verkeerde plaats is. Ook als de plaat niet volkomen vlak is, wat nogal eens het geval is, treden dezelfde verschijnselen op, en kan het bij een zware arm voorkomen, dat deze over de plaat gaat dansen.

Door de massa van de toonarm aan het eind geconcentreerd te denken, kan het vorenstaande ook met een eenvoudige berekening worden aangetoond. Als de plaat door de een of andere oorzaak met een snelheid  $v$  omhoog gaat, wordt deze snelheid aan de naald, en dus aan de toonarmmassa  $m$ , meegedeeld. Het arbeidsvermogen van beweging  $\frac{1}{2} mv^2$  wordt aan de plaat ontleend, en als  $m$  groot is, is het arbeidsvermogen ook groot, wat tot platenbeschadiging kan leiden. Op het moment dat de plaat ten gevolge van de schok het hoogste punt heeft bereikt, is de verticale afstand tot de beginstand  $h$ . Gaat de plaat nu weer omlaag, tot de beginstand, dan is het arbeidsvermogen van plaats van de toonarm  $D \times h$ , als  $D$  de naalddruk is. Dit product moet groter zijn dan  $\frac{1}{2} mv^2$ , anders zal de naald bij de plaat achterblijven.

$$\text{Dus: } D \cdot h > \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{of} \quad \frac{D}{m} > \frac{1}{2} \frac{v^2}{h}.$$

Voorwaarde voor stabiliteit is dus, dat de naalddruk  $D$  zo groot mogelijk is ten opzichte van de massa  $m$ , of, in woorden: om groefspringen en platenbeschadiging door schokken of op onvlakke grammofoonplaten te voorkomen, moet de naalddruk zo groot mogelijk zijn ten opzichte van het toonarmgewicht. Dus is bij gelijke naald-

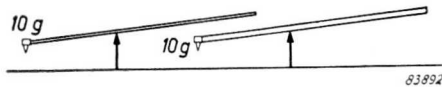


Fig. 29. Lichte en zware toonarmen.

druk een niet gebalanceerde toonarm beter dan een zeer zware gebalanceerde toonarm. Balanceren kan niet altijd worden vermeden; het moet dan door een veer en niet door een, de massa vergrotend, contragewicht gedaan worden. Het is wel duidelijk, dat een en ander niet alleen voor verticaal, doch ook voor horizontaal gerichte trillingen geldt. Met behulp van een kromme plaat is het hierboven behandelde zeer eenvoudig te demonstreren.

### § 8 Vervorming — Tweeërlei

Als bij de weergave de sterkteverhoudingen tussen de tonen van verschillende frequenties niet meer aan de oorspronkelijke gelijk zijn, spreekt men van lineaire vervorming. Als andere geluiden dan brom, dreun en ruis aanwezig zijn, die niet in het oorspronkelijke geluid voorkwamen, maar door fouten in de technische installatie zijn ontstaan, dan spreekt men van niet-lineaire vervorming. De oorzaak van deze niet-lineaire vervorming, die in het spraakgebruik meestal zonder meer „vervorming” wordt genoemd, is dat, als ergens in de installatie een spanning bij voorbeeld 2 maal zo groot wordt, de door de spanning veroorzaakte stroom niet precies 2 maal zo groot wordt, maar iets meer of minder. Een zuiver sinusvormige trilling (zuivere toon, zie fig. 8) wordt dientengevolge bij voorbeeld als in fig. 30 a. Bij nader onderzoek blijkt een dergelijke vervormde toon te bestaan uit een aantal op zichzelf zuivere tonen — namelijk de oorspronkelijke trilling, benevens een aantal zwakkere trillingen met dubbele, drievoudige, en in ernstige gevallen met zelfs nog hogere frequenties (zie fig. 30b). Hierdoor wordt de toon veranderd en, in het algemeen, niet verfraaid. Als de som van de amplituden van die hogere harmonischen (eigenlijk

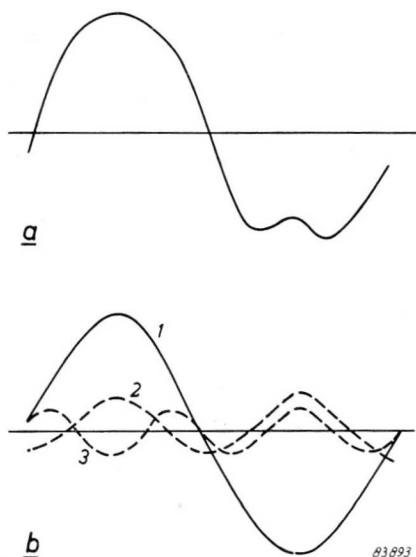


Fig. 30. a) Vervormde trilling.  
b) De grondtoon met harmonischen.

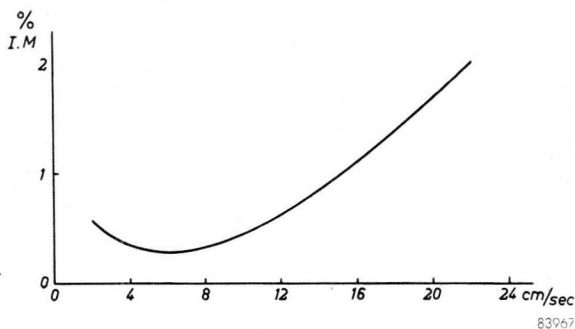


Fig. 31. Intermodulatie-karakteristiek van magnetodynamische toonopnemer.

83967

de wortel uit de som van kwadraten) een zekere sterkte ten opzichte van de grondtoon bereikt, wordt de vervorming duidelijk hoorbaar; dit treedt op bij vervormingen boven 5 à 10 %.

Bij muziekweergave heeft men echter nooit met één enkele zuivere toon te maken, doch treden vele trillingen gelijktijdig op. Hierbij doet zich een nieuw, hoewel hiermee verwant, verschijnsel voor, namelijk intermodulatievervorming. De verschillende tonen gaan elkaar beïnvloeden, en de niet-lineaire vervorming leidt tot het ontstaan van nieuwe trillingen, die in generlei harmonisch verband staan tot de oorspronkelijke tonen, en daarom bijzonder hinderlijk zijn. De frequenties van de nieuwe trillingen zijn gelijk aan de sommen en verschillen van de oorspronkelijke trillingen. Moeten dus bij voorbeeld een toon van 100 Hz en een van 4000 Hz gelijktijdig worden weergegeven, dan ontstaan, bij aanwezigheid van intermodulatievervorming, tevens trillingen met de frequenties 3900 en 4100 Hz. Daar muzikale tonen meestal uit een grondtrilling en een groot aantal boventonen bestaan, en in een orkest steeds een groot aantal instrumenten gelijktijdig spelen, heeft de intermodulatievervorming zodra deze boven een bepaalde grens komt een zeer ongunstige invloed op de weergavekwaliteit. Intermodulatievervorming kan velerlei oorzaken hebben, en kan bijvoorbeeld van de toonopnemer, maar ook van de plaat afkomstig zijn, wat de meting niet eenvoudig maakt. Tot dit doel zijn speciale meetplaten in de handel, waarop twee tonen, meestal 100 en 4000 Hz, in sterkteverhouding 4 : 1 gelijktijdig opgenomen zijn. De sterkte is niet op de gehele plaat constant; aan de buitenkant is deze maximaal; de naaldpuntsnelheid is dan bij voorbeeld 20 cm/sec, en naar binnen toe daalt de sterkte van de meettoon geleidelijk tot nul. In hoofdstuk VIII wordt de meting verder besproken — in fig. 31 is de intermodulatiekromme van de magnetodynamische toonopnemer AG 3021 getekend. Voor de goede orde wijzen wij er op, dat hier de intermodulatie van plaat plus toonopnemer werd gemeten.

Het verloop is niet altijd volkomen geleidelijk; bij kleine amplituden van de naald is de intermodulatievervorming soms vrij sterk, om bij grotere opnamesterkte weer af te nemen. — Dit duidt er dan op, dat de ankerbeweging onderhevig is aan wrijving, die het ergst is bij zeer zwakke bewegingen.

Naast de intermodulatievervorming kent men nog de z.g. verschiltoonvervorming,



waarbij het verschil tussen beide meetfrequenties juist 1000 Hz is. Bij goede toonopnemers geeft deze vervorming geen moeilijkheden.

### § 9 Het meezingen van de naald

Ook elektrische toonopnemers zetten een deel van de naaldbeweging in direct geluid om. Als de grammofoon in een gesloten kast staat, is dit op zichzelf niet hinderlijk; bij een open opstelling, en vooral als de afstand tussen luidspreker en toonopnemer groot is, kan dit wel bezwaarlijk zijn.

Voor dit meezingen kunnen verscheidene oorzaken zijn aan te wijzen. Het kan door meetrillen van het toonopnemerhuis of de arm worden veroorzaakt, en deze trillingen kunnen onder omstandigheden zodanig op de naald terugwerken, dat de plaat hierdoor sneller slijt. Als de naald voor bepaalde frequenties een te lage compliantie of een te grote effectieve bewegende massa heeft, kan dit eveneens meezingen en platenslijtage tot gevolg hebben. Geheel vermeden kan het meezingen nooit worden, omdat de bewegende naald met wat er aan vast zit, de lucht aanstoot en deze dus ook aan het trillen brengt — hiertegen is natuurlijk niets te doen, en dit zal ook de plaat niet in gevaar brengen.

Een andere oorzaak is, dat de naald niet alleen in horizontale, maar ook in verticale richting beweegt (zie blz. 43). De verticale trillingen hebben de dubbele frequentie van de horizontale trillingen, en daar juist bij hoge frequenties kleine trillingsamplituden reeds een sterk geluid opwekken, zullen deze verticale trillingen spoedig meezingen veroorzaken. Het is van bijzonder belang, dat het gewicht van de saffier- of diamantnaald zo klein mogelijk is; van de in dit boek vermelde Philips toonopnemers bedraagt het naaldgewicht slechts 0,4 milligram.

# HOOFDSTUK V

## VAN NAALD EN PLAAT

### § 1 De afspeelvorming

Bij het opnemen wordt de snijbeitel door de leispil in een rechte lijn van de rand naar het midden van de plaat bewogen. De afspeelnaald beweegt zich echter niet in een rechte lijn, doch volgt een cirkelboog, omdat de pick-up aan een arm bevestigd zit, die om een vast punt draait (fig. 32a) De toonopnemer staat dus het grootste deel van de tijd in een andere stand ten opzichte van de platengroeven dan de snijder gedurende opname, en de richting waarin de naald bewegen kan — loodrecht op de as van de toonopnemer — valt dus niet meer samen met de richting van de groefmodulatie, die namelijk steeds loodrecht op de groef is.

In fig. 32b hebben wij getekend wat er nu gebeurt. De getrokken lijn is de groef, en dit is dus de weg die bij de opname werd gevolgd door de snijbeitel. De punt van de afspeelnaald volgt deze weg ook, doch de zijdelingse snelheid is niet gelijk aan die van de snijbeitel, en zij bevindt zich zodoende op een bepaald ogenblik bij 2, terwijl, als de toonopnemerstand juist was geweest (in het verlengde van de streep-punt lijn), de naaldpunt op hetzelfde moment bij 1 zou zijn geweest. De naaldpunt is dus op dat ogenblik iets te ver naar links, en de momentele spanning is diensgevolge evenredig te laag. Op deze manier kan punt voor punt worden berekend hoe groot de naaldafwijking is op elk willekeurig moment; men ziet dit in fig. 32b aangegeven door de streeplijn. Terwijl dus de oorspronkelijke groefuitwijking correspondeerde met een zuivere toon, blijkt de naaldbeweging vervormd te zijn. Er treden even harmonischen op: dit zijn trillingen met dubbele, 4-voudige en 6-voudige frequenties. De tweede harmonische, dat is die waarvan de frequentie het dubbele is van die van de oorspronkelijke toon, is de sterkste.

Om deze vervorming te vermijden, bestaan verscheidene mogelijkheden. Allereerst kan men de toonopnemer op een parallelgeleiding bevestigen — d.w.z. deze laten lopen over een staaf die, evenals de leispil van de snijder, naar het middelpunt van de plaat gaat. Een praktische oplossing is dit niet, omdat ze, wat uitvoering betreft, kostbaar is en tevens het bedienen van de platenwisselaars met een dergelijke constructie zijn praktisch niet te maken. Een andere

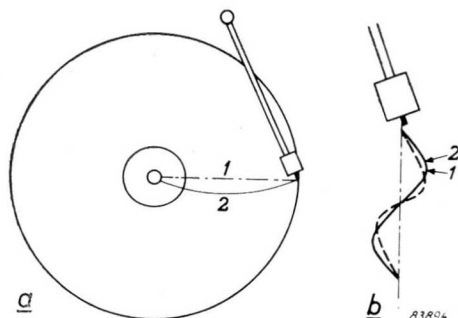


Fig. 32. De oorzaak van afspeelvorming.

oplossing is de toonopnemer op de een of andere manier regelmatig automatisch ten opzichte van de toonarm zo te draaien, dat hij toch steeds de juiste stand ten opzichte van de groef inneemt. Hoewel de bediening van de grammofoon hierdoor niet wordt gecompliceerd, vindt deze oplossing door de hieruit voortvloeiende hoge kosten praktisch geen toepassing. Door de toonarm heel lang te maken, komt de cirkelboog 2 van fig. 32a steeds dichterbij de rechte lijn 1, doch ook hier geldt weer het prijsbezwaar, in het bijzonder omdat door de grote lengte van een dergelijke toonarm het meubel waarin de grammofoon gemonteerd moet worden, extra groot wordt. Alleen in studiomachines worden dergelijke lange toonarmen gebruikt — de lengte is hier echter reeds het gevolg van een andere overweging — namelijk dat ook 40 cm lakplaten moeten worden gespeeld.

Door berekeningen is aan te tonen dat, als men de arm een gebogen vorm geeft, de afspeelfout aanzienlijk kan worden gereduceerd. Dit is geïllustreerd in fig. 33, waar de toonarm in twee verschillende standen is getekend, en de pick-up in beide gevallen nagenoeg loodrecht op een hartlijn (streep-punt lijn) van de plaat staat. De gebogen vorm van de toonarm is dus niet uit esthetische, doch om zuiver technische redenen gekozen, en bij een goed ontwerp kan de afspeelfout dan ook zo klein zijn dat de eruit voortvloeiende vervorming ook onder de meest ongunstige omstandigheden beneden 0,5% blijft, wat veilig verwaarloosd mag worden. De gebogen vorm van de toonarm brengt nog een tweede gunstig effect met zich mee. De draaiende plaat oefent — door wrijving tussen plaat en naald — op de toonarm een kracht uit, die loopt in de richting van de groef, ter plaatse waar deze de naald raakt. Deze kracht (pijlje in fig. 33) loopt dus niet in dezelfde richting als de verbindingslijn tussen naaldpunt en toonarmlager, en kan dientengevolge in twee krachten worden ontbonden, een in de richting van de verbindingslijn, en een tweede loodrecht hierop en naar het middelpunt van de plaat gericht. Terwijl de ene kracht alleen op het lager van de toonarm werkt, probeert de tweede kracht de arm naar binnen toe te bewegen. Deze middelpuntzoekende

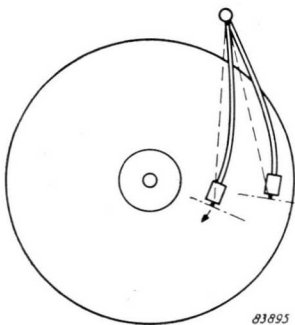


Fig. 33. Methode voor vermindering van afspeelvervalsing.

kracht is om verschillende redenen zeer welkom. Door de wrijving in het toonarmlager wordt de toonopnemer gehinderd in zijn weg naar het midden van de plaat. De hierboven genoemde middelpuntzoekende kracht helpt deze wrijving te overwinnen, en daardoor kan de toonopnemer de groef gemakkelijker volgen en wordt de druk van de groefwand op de naald, die nodig is om de pick-up te bewegen, verminderd. Bij het opzetten van de toonopnemer op de plaat, zal de naald dank zij de naar het middelpunt gerichte kracht ook gemakkelijker in de inloopgroef komen. Ten slotte wordt bij platenspelers de automatische schakelaar, en bij platenwisselaars het wisselmechanisme, veelal in werking gesteld door de versnelde beweging van de toonarm als de naald in de uit-

loopgroef komt. Om de schakelaar in werking te zetten is een zekere kracht nodig, en de kracht die als gevolg van de wrijving op de toonarm werkt, is hierbij van groot nut.

Om de afspeelvervorming zo gering mogelijk te maken, wordt de toonarm zo lang gemaakt, dat de naaldpunt even voor de middenpen van de draaitafel komt als de arm geheel naar het midden gedraaid wordt. De middelpuntzoekende kracht is dan vrijwel constant en voldoende groot om van praktische waarde te zijn. De toonarmen van Philips apparaten zijn zó geconstrueerd, dat de naar het middelpunt gerichte kracht ongeveer 1 gram is.

In geval de automatische schakelaar in werking wordt gezet door de teruggaande beweging van de toonarm die deze bij platen met een excentrische uitloopgroef krijgt, kan een naar buiten werkende kracht gewenst zijn. Dan wordt de toonarm soms zo kort gemaakt, dat de ontbondene van de naald-wrijvingskracht van de middenpen af gericht is. Dit is echter voor afspeelvervorming en platenslijtage minder gunstig.

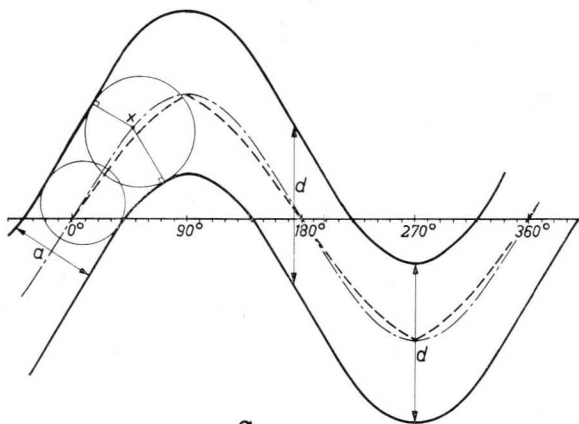
## § 2 Aftastvervorming en pinch effect

In fig. 34 is een klein deel van een platengroef sterk vergroot getekend, en wel in bovenaanzicht (a) en in doorsnee (b en c). Zoals uit fig. 34b zichtbaar is, heeft de moderne naald een bolvormige punt, die door de zijwanden van de groef gesteund wordt en niet op de bodem rust. De hartlijn van de groef is in fig. 34a aangegeven door een streep-punt lijn — voor onvervormde weergave is voorwaarde dat het middelpunt van de naaldspits precies deze hartlijn volgt. De weg die dit middelpunt echter in werkelijkheid volgt kan meetkundig worden geconstrueerd door op regelmatige afstanden cirkels in de groef te tekenen; deze weg is in fig. 34a door de streepjeslijn aangegeven.

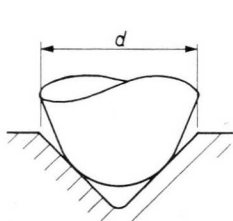
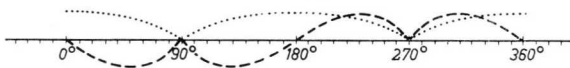
Nu vallen hierbij verschillende punten op.

De in verticale richting gemeten breedte van de groef  $d$  is steeds constant, want zij werd bepaald door de breedte van de snijbeitel die steeds loodrecht bewoog ten opzichte van de richting van de ongemoduleerde groef. De kortste afstand tussen de twee groefwanden,  $a$ , is alleen bij  $90^\circ$  en  $270^\circ$  gelijk aan  $d$ ; op die plaatsen loopt de groef over een uiterst kleine afstand evenwijdig aan de richting van de ongemoduleerde groef. Elders is  $a$  kleiner dan  $d$ . Dientengevolge zakt de naald op al deze plaatsen minder diep in de groef (fig. 34c) en bijgevolg gaat bij het afspeelen van de plaat de naald steeds omhoog en omlaag. Deze verticale beweging van de naald ten gevolge van het „pinch”effect (= knijp-effect) van de groef is in de figuur door een puntjeslijn aangegeven, en wij zien dat de frequentie van de verticale beweging twee maal die van de horizontale uitwijking van de groef is. Het is wel duidelijk, dat het pinch effect erger wordt naarmate de amplitude van de groefuitwijking groter is en de golflengte kleiner (dus de frequentie hoger). Het pinch effect is het sterkst voor hoge tonen.

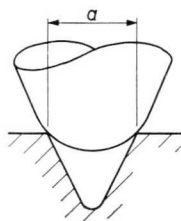
Indien de toonopnemer niet op verticale naaldbewegingen reageert, is het pinch effect alleen hinderlijk als hoofdoorzaak van het meezingen; zoals reeds gezegd, is het daarom gewenst de massa van de naald zo klein mogelijk te houden. Indien de toonopnemer ook op verticale naaldbewegingen reageert, treedt vervorming op, vooral



**a**



**b**



**c**

64005

*Fig. 34. De oorzaken van pinch effect en aftastvervorming:*

- a) bovenaanzicht van de groef;*
- b) doorsnede groef (recht gedeelte);*
- c) idem (gebogen gedeelte).*

van sterke en hoge tonen. Omdat de frequentie van het pinch effect gelijk is aan tweemaal die van de opgenomen toon, zijn het even harmonischen die hoorbaar worden. De amplitude van het pinch effect kan onder omstandigheden 10% van de groefamplitude bedragen, zodat, als de toonopnemer even gevoelig is voor de verticale bewegingen als voor de horizontale bewegingen, de vervorming 10% bedraagt — bij een goed geconstrueerde toonopnemer kan deze vervorming echter tot beneden 10% beperkt blijven. Daar de hoogste tonen practisch zonder uitzondering boventonen zijn die bij lagere grondtonen behoren, en zij slechts zelden een grote waarde hebben, zal in de practijk bij een goede toonopnemer niets van de door het pinch effect veroorzaakte vervorming gehoord worden.

De weg die het middelpunt van de naaldspits volgt is in fig. 34a geconstrueerd door steeds raakcirkels in de groef te trekken en de middelpunten van deze cirkels te verbinden. Enige van deze cirkels zijn getekend, en het is duidelijk zichtbaar dat het middelpunt niet op de hartlijn van de groef ligt, doch daar beneden.

Dit is een gevolg van het feit dat de loodlijn uit punt x op de bovenste groefwand korter is dan die op de onderste groefwand. Het verschil tussen hartlijn en naaldpuntweg is nog eens afzonderlijk op vergrootte schaal uitgezet, en dit verschil is de grafische voorstelling van de aftastvervorming. Door analyse is aan te tonen dat deze vervorming voornamelijk uit oneven harmonischen bestaat, dus uit trillingen met frequenties die 3, 5, 7 maal zo hoog zijn als de frequentie van de geregistreerde toon. Ook de frequentie van de toon zelf blijkt in de vervorming aanwezig te zijn, doch deze trilling is tegengesteld aan de toon en verzwakt deze dus.

Bij beschouwing van figuur 34, waarvan de verhoudingen ter wille van de duidelijkheid overdreven zijn, blijkt al spoedig, dat de aftastvervorming toeneemt bij kleinere golflengte van de opgenomen trilling en bij grotere amplituden. Het is ook zonder meer in te zien, dat de vervorming af moet nemen als de groef smaller en de naaldpunt dunner worden gemaakt. De golflengte van een geluidstrilling is gelijk aan de voortplantingssnelheid gedeeld door de frequentie. Indien de trilling is vastgelegd op een grammofoonplaat, wordt de voortplantingssnelheid vervangen door de snelheid van de plaat, dit is: het aantal meters of centimeters groef dat per seconde onder de naald passeert; dit is geen constant getal.

Bij de eerste groef van een 30 cm,  $33\frac{1}{3}$ -toeren/min plaat, is de snelheid 52 cm/sec, bij de laatste groef ongeveer 23 cm/sec. Bij een 78-toeren plaat zijn de snelheden respectievelijk 120 en 40 cm/sec. Dit betekent dus dat de golflengte van een bepaalde toon op een grammofoonplaat niet constant is — voor een A bedraagt deze in de hierboven gegeven gevallen respectievelijk 1,2, 0,5, 2,7 en 1,1 millimeter en op andere punten van de plaat of bij andere snelheden is zij weer anders (zie fig. 35).

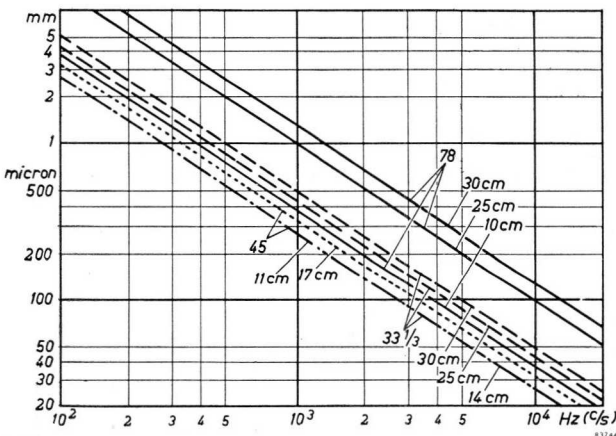


Fig. 35. De golflengte als functie van de frequentie op  $33\frac{1}{3}$ , 45 en 78 toeren/min. platen.

Nu blijkt, als alles op schaal wordt uitgezet of, als de vervorming wordt berekend, dat deze pas bij veel kortere golflengten dan 0,5 mm, dus bij veel hogere frequenties dan 440 Hz, belangrijk wordt, doch, daar bij  $33\frac{1}{3}$ -toeren/min platen de golflengten kleiner zijn dan bij 78-toeren/min platen, moet, om de vervorming gelijk te houden, een smallere groef en een dunnere naald worden gebruikt. En dit is dan ook gedaan: de straal van de punt van standaardgroefnaalden is meestal 75 micron — bij microgroefnaalden 25 micron. Standaardgroefplaten die met een z.g. V-groef zijn gesneden, kunnen (afgezien van ruis en slijtage) ook met een microgroef-naald gespeeld worden, en dan is de vervorming in fortissimo passages inderdaad geringer dan wanneer de standaardgroefnaald wordt gebruikt.

Verder volgt uit het bovenstaande een verklaring van het bekende feit, dat de weergavekwaliteit van een plaat het best is aan het begin en dat fortissimo passages dicht bij het einde van de plaat gauw vervormd klinken, terwijl ook de hoge tonen iets zwakker worden weergegeven. Componisten die voor de grammofoon schrijven, behoren hier rekening mee te houden, doch helaas is dit een punt dat ook door de arrangeurs van lichte muziek te veel over het hoofd wordt gezien.

De frequentie waarboven de aftastvervorming bij grotere geluidsterkten belangrijk kan worden, is bij ongeveer 2000 Hz, en als de opnamekarakteristiek van fig. 25 ook voor microgroefplaten zou worden aangehouden, kon de vervorming bij de hoogste frequenties wel 20 tot 30% bedragen. Nu is de derde harmonische van 10.000 Hz weliswaar ver buiten het gehoorbereik, doch door intermodulatie met harmonischen van andere tonen kan toch een duidelijk hoorbare en zeer hinderlijke vervorming ontstaan.

### § 3 De moderne opnamekarakteristiek

Bij het vaststellen van een opnamekarakteristiek moet dus rekening worden gehouden met de volgende punten :

- 1 De minimale amplitude moet groot genoeg zijn om niet door de ruis te worden overstemd.
- 2 De maximale amplitude mag niet zo groot zijn, dat twee nevenliggende groeven elkaar kunnen snijden en is dus afhankelijk van de groefbreedte en de afstand tussen de groeven.
- 3 De aftastvervorming moet binnen de perken worden gehouden.
- 4 De dynamiek van de oorspronkelijke muziek moet zo goed mogelijk bewaard blijven.
- 5 De maximale sterkte van de verschillende tonen die in de muziek voorkomen is ook van belang.

Om deze eisen met elkaar te combineren, is men tot opnamekarakteristieken gekomen die aanzienlijk van die van fig. 25 afwijken.

De eis dat de kleinste amplitudes voldoende groot moeten zijn om niet door ruis en andere bijgeluiden in de plaat te worden overstemd, is het belangrijkste voor de hoogste frequenties, omdat juist daar bij een bepaalde geluidsterkte de amplitude het kleinst is, hoewel de snelheid waarmee de naaldpunt of de luchtdelen trillen, even groot is

als bij lagere frequentie. De ruis wordt veroorzaakt door korrels in het platenmateriaal of door onregelmatigheden van het groefoppervlak, en de trillingen moeten groot genoeg blijven ten opzichte van de afmetingen van deze onregelmatigheden; het is dus in principe mogelijk de gehele opnamekarakteristiek iets te laten zakken, met uitzondering van de allerhoogste frequenties. Men kan de karakteristiek beneden 2000

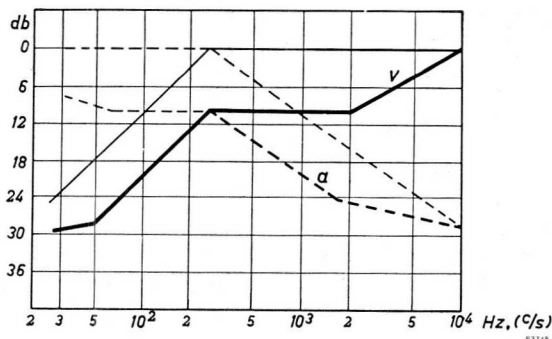


Fig. 36.

De grondvorm van de moderne opnamekarakteristiek.

Hz bij voorbeeld 10 decibel laten zakken, bij 10.000 Hz niets veranderen en tussen 2000 en 10.000 Hz de karakteristiek geleidelijk laten verlopen (fig. 36). Dit heeft natuurlijk verscheidene consequenties voor de weergave. Als men een op een dergelijke manier opgenomen grammofoonplaat speelt op een installatie die is ingericht voor platen volgens de dunne lijnen van fig. 36, dus bij voorbeeld met de toonopnemer AG 3012 of AG 3013 (zie fig. 26), dan moet de volumeregelaar meer naar rechts worden gedraaid, om voldoende sterkte voor de tonen tot en met 2000 Hz te krijgen. Ten tweede moet de toonregeling op dof gezet worden, om het teveel aan hoge tonen te corrigeren. (Als de versterker of de luidspreker de hoge tonen te zwak weergeeft, zal juist dan de toonbalans goed zijn, en op platen met de oude karakteristiek niet!) Op deze manier heeft men echter bereikt, dat de muziek-ruis verhouding over het hele frequentiebereik practisch constant en zo gunstig mogelijk is, doch tevens dat de aftastvervorming voor frequenties beneden 10.000 Hz is verbeterd.

De grootste dynamiekverschillen en het grootste gevaar dat bij fortissimo passages groeven elkaar gaan snijden, treden op bij lagere frequenties. Door de wijziging van de opnamekarakteristiek heeft men hier nu meer ruimte gekregen, waardoor de mogelijkheid is ontstaan de fortissimo's beter op te nemen en de dynamiek niet behoeft te worden aangetast. Ongeveer op deze manier zijn de moderne opnamekarakteristieken tot stand gekomen; over een en ander zal nog verder worden gehandeld in § 4.

De werkelijke karakteristieken zijn niet hoekig, als in fig. 35, doch hebben een vloeiend verloop; de hoofdvorm van alle moderne opnamekarakteristieken is echter door deze illustratie gegeven.

Een bijkomend voordeel is, dat de allerlaagste frequenties, beneden 70 Hz, nu zelfs relatief sterker opgenomen kunnen worden, zodat de bas-tonen beter tot hun recht komen.

Tot nu toe is alleen gesproken over een toon van variabele hoogte, doch constante sterkte. Bij metingen die in concertzalen verricht zijn, is gebleken dat de als maximum



voorkomende geluidsterkten (dus de grootste snelheden van de trillende luchtdeeltjes) tot 2000 Hz voor alle frequenties ongeveer gelijk zijn. Boven 2000 Hz blijkt de maximale geluidsterkte met toenemende frequentie af te nemen, en wel met ongeveer 6 decibel per octaaf. Dit betekent dus dat, bij de hoogste frequenties, de tot nu toe als maximum aangenomen amplitude waarschijnlijk nooit zal voorkomen, zodat dienvolgende de aftastvervorming aanzienlijk minder is dan uit de zuiver theoretische overwegingen volgde. Daar bij grammofoonopnamen het geluid van sommige hooggestemde muziekinstrumenten dikwijls bewust iets luider wordt opgenomen dan overeenkomt met de geluidsterkteverhoudingen in de concertzaal, wordt weliswaar niet altijd de volle winst geboekt, doch het eindresultaat is toch dusdanig dat bij een goed opgenomen grammofoonplaat de aftastvervorming niet meer hinderlijk is. Zoals reeds op blz. 35 is uiteengezet, zijn belangrijke krachten nodig om de naald heen en weer te bewegen. Bij het tekenen van fig. 34 is aangenomen dat de platen-groef volkomen star is, wat vooral voor microgroefplaten in de praktijk niet opgaat. Door de elastische eigenschappen van het vinyl, wordt de groef onder invloed van de krachten op de naald iets vervormd, in het bijzonder bij sterke, zeer hoge, tonen. Dit heeft tot gevolg dat de verzwakking der hoogste tonen groter is dan uit de aftastvervormingstheorie volgt, terwijl de niet lineaire vervorming juist minder wordt. Dit laatste is natuurlijk zeer prettig, omdat de extra verzwakking van de hoge tonen dan in de versterker grotendeels kan worden gecompenseerd. Dit verschijnsel treedt vooral op boven 10.000 Hz, en bijgevolg kunnen ook deze frequenties, die eveneens voor werkelijkheidsgetrouwe muziekweergave van belang zijn, opgenomen en weergegeven worden met een zo geringe vervorming, dat deze beneden het als minimum waarneembare niveau ligt. Dit wil niet zeggen, dat de hoogste tonen op elke plaat vervormingsvrij zijn, doch alleen dat het theoretisch en praktisch mogelijk is vervormingsvrije weergave te bereiken.

#### § 4 Opname- en weergavekarakteristieken

Uit de in de voorgaande paragraaf behandelde theorie volgt, dat de „ideale” opnamekarakteristiek niet exact te berekenen is, doch dat bij het kiezen van de vorm een aantal ervaringselementen een rol spelen, en dat het inzicht en de opvatting van diegenen die een dergelijke karakteristiek vaststellen invloed hebben op de beslissing. Het gevolg hiervan is dat, hoewel alle moderne opnamekarakteristieken het algemene beeld van fig. 36 volgen, er toch onderlinge verschillen bestaan tussen de karakteristieken van de diverse merken. Dit betekent dus dat, om onder alle omstandigheden een goede toonbalans te hebben, regelmatig de toonregeling van de versterker moet worden bediend, met nog de mogelijkheid dat bepaalde verschillen niet geheel te compenseren zijn.

Bovendien is de opnamekarakteristiek in feite een meer of minder theoretisch begrip, behalve voor meetplaten. Een meetplaat wordt opgenomen door aan de snijversterker een zuivere toon (sinusspanning) van bepaalde sterkte, doch variabele frequentie toe te voeren. Als men de eigenschappen van versterker en snijder kent, kan inderdaad een plaat met een van te voren bepaalde karakteristiek worden gesneden, en deze snijkarakteristiek is ook naderhand te controleren (zie fig. 102). Bij muziekopnamen

worden microfoons gebruikt waarvan de karakteristiek niet zo eenvoudig is te bepalen, doch in het bijzonder heeft hierbij de akoestiek van de concertzaal een grote invloed op de uiteindelijke toonbalans. In een zaal met een betrekkelijk slappe houten vloer zijn de lage tonen dikwijls veel sterker dan in een zaal met een cementen vloer. Als de muren in een zaal met doek bespannen zijn, worden hierdoor de hoge tonen verzwakt. Elke zaal heeft haar specifieke akoestische eigenschappen, die niet met een toonregeling tot een bepaalde standaard-akoestiek zijn te herleiden. Hierdoor is het begrip opnamekarakteristiek dus enigszins op losse schroeven komen te staan — als men bij voorbeeld de opname-installatie eerst in de grote en daarna in de kleine zaal van het Amsterdams Concertgebouw plaatst, zal een bepaalde viool of een bepaalde cello heel anders uit de luidspreker klinken.

De laatste jaren houdt men daarom bij voorkeur rekening met een standaard-weergavekarakteristiek. Deze is het spiegelbeeld van de opnamekarakteristiek. Als dus uit de opnamekarakteristiek blijkt, dat een toon van 10.000 Hz bij voorbeeld 10 db sterker wordt opgenomen dan een 1000 Hz toon, dan moet deze toon bij de weergave 10 db ten opzichte van de 100 Hz toon worden verzwakt. Bij het snijden van de plaat worden de toonregelingen van de opnameversterker zó ingesteld dat, als later de plaat wordt afgespeeld over een grammofoon waarvan de weergavekarakteristiek volgens de standaard is, de weergave de goede toonbalans heeft.

Hiermee heeft men dus bereikt dat alle platen goed klinken — en niet de ene dof en de andere te schel — zonder dat men wordt gedwongen alle opnamen in dezelfde zaal te maken met dezelfde microfoonopstelling. Zaal en microfoonopstelling kunnen

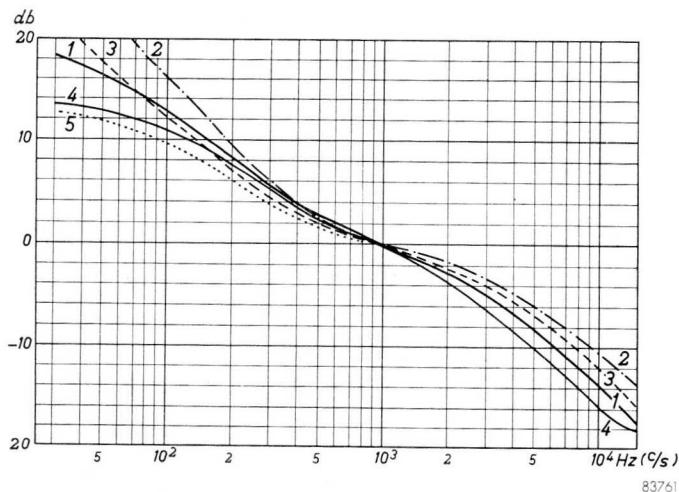


Fig. 37. De voornaamste weergavekrommen :

I.E.C. 1—1

FFRR 4—2

A.E.S. 3—3

NAB 4—4

Zie verder tabel bij fig. 38.

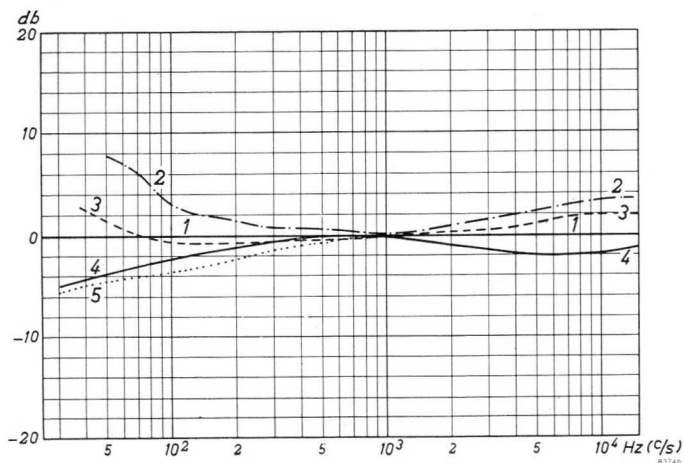


Fig. 38. Weergavecorrecties voor verschillende platenmerken bij gebruik van een versterker die reeds voor platen met een I.E.C. opnamekarakteristiek is gecorrigeerd.

Merk	Lage tonen	Hoge tonen	Merk	Lage tonen	Hoge tonen
Capitol *	3	3	Omega	5	3
Capitol (Duitsland)	3	2	Pathé-Marconi	1	1
Columbia *	4	4	Philips *	3	3
Concert Hall *	3	3	Polydor *	5	2
Decca (U.S.A.) *	4	4	Remington *	1	4
Decca FFRR	4	2	R.C.A. (oud)	2	1
Decca (Duitsland)	3	2	R.C.A. (nieuw)	1	1
D.G.G. *	5	2	Telefunken	3	2
London FFRR *	4	2	Urania	1	4
M.G.M.	1	1	Westminster	1	4
H.M.V.	1	1			
Nixa, meeste platen	4	4			
Nixa, VLP en CLP	3	3			
WLP en NLP	4	3			

De met een sterretje aangegeven platenmerken zijn voor hun nieuwe opnamen reeds op de I.E.C. karakteristiek overgegaan of hebben aangekondigd dit spoedig te zullen doen.

nu aan de eisen van het muziekstuk worden aangepast, en het eigen akoestisch karakter van een zaal of studio kan men toch nog uit laten komen zonder gevaar te lopen, dat bepaalde opnamen een onacceptabele toonbalans hebben. Door verschillende oorzaken, als de lineaire vervorming ten gevolge van de aftastvervorming, en het feit dat de platen niet oneindig star zijn, wordt de uiteindelijke afspreekarakteris-

tiek enigszins vervormd en wel in een mate die ook van de eigenschappen van de toonopnemer (afmetingen van de naald, bewegende massa) afhankelijk is. Ook de luidspreker en de akoestische eigenschappen van de luisterruimte beïnvloeden de uiteindelijke weergavekarakteristiek, zodat, al wordt een elektrische afspreekarakteristiek vastgelegd, toch dientengevolge nog verschillen tussen de diverse merken zullen blijven bestaan. Deze verschillen kunnen echter kleiner zijn dan in het geval dat elke fabrikant zich op dezelfde opnamekarakteristiek baseert, en bovendien wordt per merk een grotere mate van gelijkheid in toonbalans verkregen. Helaas is het op het ogenblik nog niet zo ver, dat alle platenfirma's hun opnamen op dezelfde weergavekarakteristiek baseren, hoewel dit op de duur wel zal gebeuren. Daar overigens de vele duizenden reeds in de handel zijnde platen nog met verschillende karakteristieken zijn opgenomen, zal het bovendien tal van jaren duren, voordat uniformiteit een realiteit wordt, omdat onmogelijk is te verwachten dat alle firma's al hun oude opnamen gaan overmaken zodra een algemene standaard is gekozen. Daarom zijn in fig. 37 een aantal van de belangrijkste weergavekarakteristieken verzameld. Hierbij zij nog opgemerkt dat het door de ingewikkelde internationale verknoppingen in de grammofoonwereld best mogelijk is dat bepaalde platen met het etiket van de firma X door de firma Y met karakteristiek van deze laatste zijn opgenomen, zodat niet alleen op de gepubliceerde karakteristieken mag worden afgegaan, doch de uiteindelijke beslissing aan het oor toekomt (zoals steeds bij grammofoonweergave).

De karakteristieken van fig. 37 zijn nogmaals getekend in fig. 38, doch nu ten opzichte van de I.E.C. weergavekarakteristiek, die, naar wij verwachten, de standaard voor de toekomst is. Fig. 38 laat dus zien welke tooncompensaties nodig zijn indien een installatie wordt gebruikt die met de toonregeling in de neutrale stand juist de door het I.E.C. (Internationaal Electrotechnisch Comité) aanbevolen weergavekarakteristiek heeft. Aangezien bij al de krommen het uitgangspunt bij 1000 Hz is, dus daar de karakteristieken practisch recht zijn, kunnen de onderlinge verschillen in de meeste gevallen met een goede toonregeling zodanig worden gecompenseerd, dat de eventueel resterende verschillen de weergavekwaliteit practisch niet meer beïnvloeden. Een zekere mate van standaardisatie is dus reeds aanwezig, wat voor de platenliefhebber van groot belang is.

# HOOFDSTUK VI

## DE ZORG OM NAALD EN PLAAT

### § 1 De grammofoonnaald

In fig. 34b is uit de in doorsnee getekende groef te zien dat de naaldpunt niet op de bodem rust, doch door de wanden van de groef wordt gesteund. Hoewel bij een spitse naald de aftastvervorming minder wordt, mag de naald toch niet al te scherp worden gemaakt, omdat anders de slijtage van plaat en naald te snel verloopt. Bovendien, als de naald op de bodem van de groef gaat lopen en dus niet meer door de zijwanden wordt gesteund, dan kan zij willekeurige zijdelingse bewegingen maken en dit „schaatsen” veroorzaakt vervorming en extra ruis. Ook is de groefbodem niet altijd volkomen glad, en er bevindt zich nogal gauw wat vuil op, waardoor eveneens de weergavekwaliteit zou lijden. Bij moderne microgroef- en sommige standaardplaten is de straal van de groef-onderkant 5 micron; een naaldpuntstraal van 10 micron is dus theoretisch ruim voldoende; de practijk heeft uitgewezen dat — rekening houdend met slijtage en afwijkingen in de groef — 25 micron de gunstigste waarde is voor naalden voor microgroefplaten. Bij normaalgroefplaten is een aanzienlijk stompere naald nodig om de slijtage op het grovere schellak voldoende laag te houden, en ook omdat de V-groef (standaardgroef met 5 micron bodemstraal) nog niet overal wordt gesneden. Zelfs de soms gebruikte puntstraal van 55 micron blijkt voor bepaalde platen nog te klein te zijn; 75 micron is dan ook de veiligste en meest gebruikte waarde. Stalen naalden worden in moderne toonopnemers niet meer gebruikt. Deze naalden hebben een heel scherpe punt, die door de plaat snel in de groefvorm wordt geslepen. Dit gaat betrekkelijk goed bij zware toonopnemers op schellakplaten, doch bij de moderne lichte toonopnemers duurt het te lang voordat de naald is ingeslepen en dientengevolge lijdt de plaat te veel. Op vinyl platen is dit nog erger; deze worden door een stalen naald ernstig beschadigd.

De materialen die thans worden gebruikt, zijn voornamelijk hardmetaal, saffier en diamant. De vorm is steeds dezelfde: een rond staafje met een kegelvormige punt met een tophoek van 45 graden (de hoek van de groef is ongeveer 90 graden). De levensduur van deze naalden kan echter zeer variëren; de getallen die men hiervoor aantreft in de vakliteratuur tonen dan ook zeer grote verschillen.

De factoren die de levensduur van een naald beïnvloeden zijn onder andere :

- het platenmateriaal;
- de toestand waarin de plaat verkeert: nieuw - oud, schoon - vuil;
- de naalddruk;
- de eigenschappen van de toonopnemer: compliantie, bewegende massa, resonanties;
- de vorm en de massa van de toonarm;
- de wrijving van het toonarmlager;
- de grootte en de aard van de platencollectie.

Om een beeld te krijgen van de levensduur van een bepaalde naaldsoort moeten dus de bovenvermelde factoren steeds zoveel mogelijk gelijk worden gehouden. Een plaat, bij voorbeeld, die slechts enige uren geleden werd geperst, zal minder naaldenslijtage geven dan een exemplaar dat meer dan een maand oud is. Een toonopnemer met een grote bewegende massa geeft meer naaldenslijtage. Daar een niet onbelangrijk deel van de massa voor rekening komt van de naald, hebben de afmetingen van de naald zelf dus invloed op haar slijtage. Hieronder wordt steeds gesproken over naalden met de afmetingen van fig. 39, als worden gebruikt in de Philips toonopnemers; dit zijn, voor zover ons bekend, ongeveer de kleinste naaldjes die voorkomen. De proeven met microgroefnaalden zijn genomen met deze naaldjes gemonteerd in de toonopnemer type AG 3013 in een Philips platenwisselaar AG 1000; naalddruk steeds 11 gram. De platen waren alle orkeststopnamen, bij de aanvang van de proef ongebruikt en minstens één maand oud, en de experimenten werden gedaan in een omgeving die ongeveer even stoffig was als een normale huiskamer en met stof van ongeveer dezelfde samenstelling als in een huiskamer.

In fig. 40 is de levensgeschiedenis te zien van een microgroef saffiernaald die tot 225 uur werd gebruikt op één kant van een 25 cm microgroefplaat. Na slechts 25 uur gebruik is met de microscoop reeds slijtage te constateren, doch deze is zó gering dat zij in een cliché-afdruk niet goed meer tot uiting komt. Indien de naald onderdeel is van een High Fidelity grammofooninstallatie, kan een geoefend luisteraar reeds een geringe achteruitgang in de weergavekwaliteit constateren, in het bijzonder aan het einde van de plaat, waar de golflengten het kleinst zijn. In de meeste installaties worden de gevolgen van naaldenslijtage pas hoorbaar als de toestand van fig. 40b is bereikt en soms, als gebruik wordt gemaakt van een toonopnemer met de karakteristiek 3b als gegeven in fig. 28, is zelfs dan nog weinig te merken en wordt de vervorming pas hoorbaar als de situatie van fig. 40c is bereikt. Daar de vervorming zeer geleidelijk toeneemt, bestaat zelfs het gevaar dat de luisteraar hieraan went en nog naalden als in fig. 40d en e gebruikt. Dergelijke naalden zijn gevaarlijk voor de plaat. In fig. 41 hebben wij getekend hoe een versleten naald in de groef rust. In a is het vooraanzicht zichtbaar; daar de naald te diep in de groef zakt, bestaat het gevaar, dat de punt ongerechtigd op de groefbodem raakt. In b is het bovenaanzicht gegeven, met de naald in drie verschillende standen. De randen van de slijtvlakken zijn als het ware beitels die in de groefwanden hakken, en vooral daar waar sterke tonen zijn opgenomen ernstige schade toebrengen (2 en 3 in fig. b). Wat de naald van fig. 40e kan doen, blijkt uit fig. 42, waarin boven een microfoto van een nieuwe plaat is afgedrukt; beneden is weergegeven hoe een ander deel van deze plaat er uitziet na tweemaal met een sterk versleten naald te zijn afgespeeld. Het is dus in het belang van de platen een naald niet te lang te gebruiken.

Hoe lang een saffiernaald kan worden gebruikt is moeilijk op te geven; uit uitgebreide

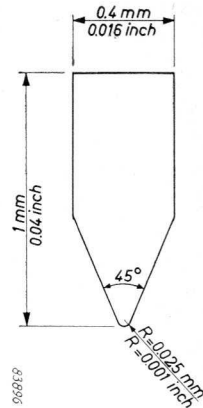
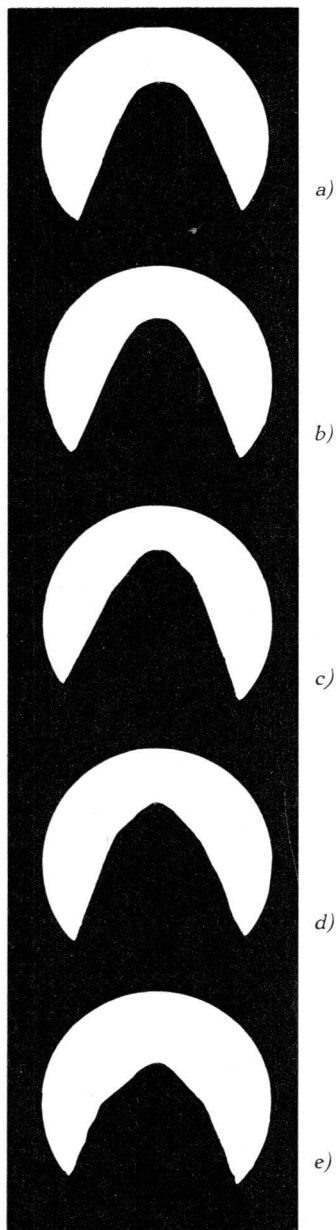


Fig. 39.  
Microgroefnaald.



83624

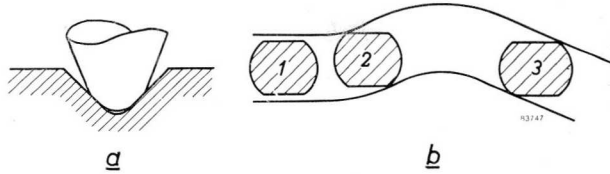
proeven is gebleken dat, zolang de toestand van 40c niet is bereikt, het gevaar voor de platen nog niet erg groot is, doch op dat moment is verwisselen noodzakelijk. Bij beschouwing van fig. 40 blijkt duidelijk, dat de slijtage in een steeds sneller tempo plaats heeft naarmate de naald langer in gebruik is. Een verklaring hiervan schuilt in het feit dat het saffierslijpsel op de plaat achterblijft en op zijn beurt de naald aantast. De naald van fig. 40c was 125 uur op één platenkant gebruikt, en al het slijpsel van de saffiernaald concentreerde zich dus op deze ene plaat. Bij herhaling van de proef met 5 platen (10 kanten), bleek de toestand 40c pas na ongeveer 160 uur op te treden. De omstandigheden van de proef zijn echter gunstiger dan bij normaal gebruik, waar schokken en stoten tegen de grammofoon niet altijd te vermijden zijn, zodat voor de naalden waarvan hier sprake is, 125 uur een veiliger getal is. Juist omdat het slijtagetempo met het gebruik toeneemt, moet er op worden gelet dat een naald niet te laat wordt vervangen.

Dit is echter nog niet de hele geschiedenis. Een herhaling van de proeven dicht bij een fabrieksruimte met vrij veel en nogal scherp stof toonde, dat onder deze omstandigheden de slijtage een factor twee toenam. Dit wijst er dus op hoe belangrijk het is de platen goed vrij van scherp stof te houden.

In verschillende tijdschriften en boeken treft men slijtagegegevens aan die belangrijk ongunstiger zijn dan de hierboven gegeven getallen. Dit kan gedeeltelijk worden verklaard door het gebruik van minder zorgvuldig gekozen saffierstaafjes en minder goede bewerking — in bepaalde gevallen kan de slijtage daardoor drie maal zo snel verlopen (toestand van fig. 40c na 40 uur bereikt), zodat de kwaliteit van de saffiernaald dus een niet te onderschatten invloed heeft.

Fig. 40. Microgroef-saffiernaald, nieuw en na 75, 125, 175 en 225 uur gebruik.

Fig. 41.  
Versleten naald  
als groefvernier.



Toonopnemers met een lagere compliantie en een grotere bewegende massa veroorzaken eveneens meer naaldenslijtage, terwijl, als de naaldruk te hoog, maar ook als hij te laag is, de slijtage toeneemt. Dit laatste is een waarschuwing voor de platenliefhebbers die bij voorkeur met een extra lage naalddruk werken; en daarbij komt nog dat hierdoor het gevaar ontstaat van uit de groef lopen en van vervorming bij luide passages, met als gevolg dat de naald en de plaat sneller slijten.

De invloed van het platenmateriaal kan aanzienlijk zijn; zuivere vinyl geeft minimale naaldenslijtage; een kleurmiddel als carbon-black heeft weinig invloed op de slijtage. Sommige mengsels voor microgroefplaten waarin, om de prijs laag te houden, behalve vinyl, vrij veel andere stoffen voorkomen, kunnen ongunstige eigenschappen bezitten. In een weliswaar extreem geval werd geconstateerd, dat de naaldenslijtage 5 maal zo snel verliep als bij platen waarvoor een materiaal van normale samenstelling was gebruikt.

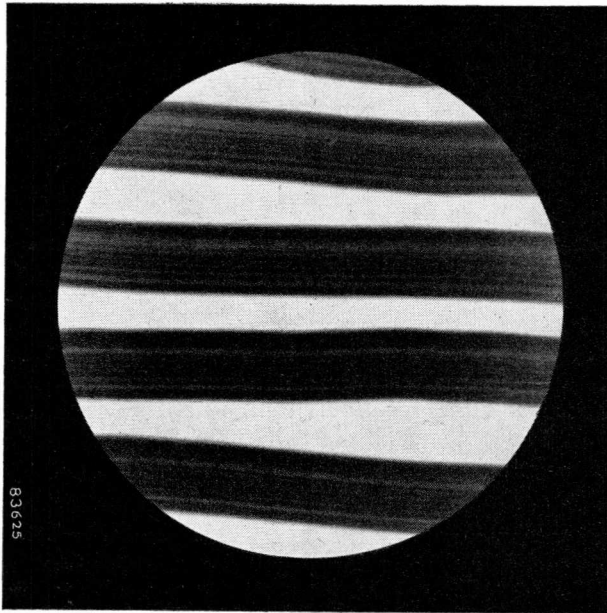
Bij bijzonder griezelige verhalen over naalden die reeds na 10 uur zijn versleten, willen wij ter geruststelling nog aantekenen dat, als de naald steeds in een enkele winding van de groef (bij voorbeeld de uitloopgroef) loopt, de slijtage om de hiervoor reeds genoemde reden bijzonder sterk toeneemt. Bij proeven genomen op een plaat met één groef bleek de slijtage bijzonder snel te zijn, doch dergelijke proeven hebben generlei praktische waarde.

Daar de eigenaar van een grammofoon de verschillende omstandigheden moeilijk kan beoordelen, en bovendien meestal slechts zeer globaal weet hoeveel uren een naald in gebruik is geweest, is op verschillende manieren gepoogd om tot een naaldenkeurmethode te komen. Het best is een microscoop met 80- tot 200-voudige vergroting te gebruiken. Bij een geringere vergroting kan de slijtage pas worden ontdekt als zij in ernstige mate optreedt; bij te sterke vergroting wordt geen voldoende overzicht van de naald verkregen, en gaan vele ongerechtigheden onopgemerkt voorbij.

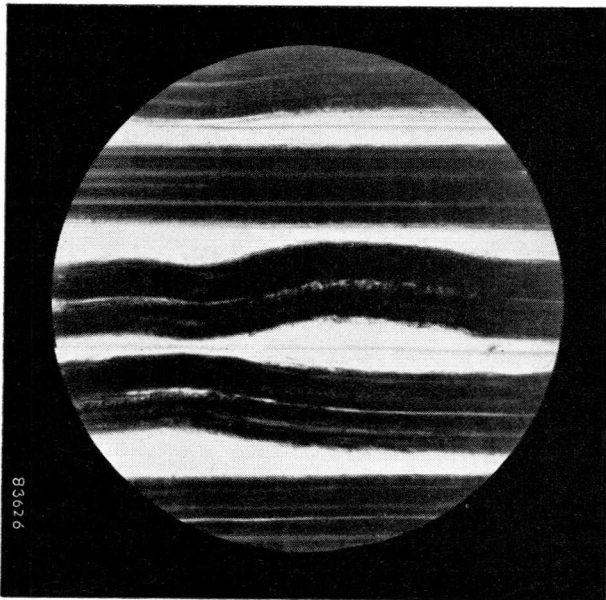
Het best is de naald in de richting van de slijtvlakken te bekijken (zoals in fig. 40), omdat bij inspectie loodrecht op de slijtvlakken de slijtage voor minder geoefenden pas in latere stadia goed duidelijk is. In fig. 43 is een naaldenmicroscoop afgebeeld, waarbij de toonopnemer op een steun wordt geplaatst en de naald dan praktisch onmiddellijk in focus komt.

Een andere methode voor het keuren van naalden die in Amerika wel toepassing vindt, is het maken van een afdruk van de naaldpunt in een zeer dunne metaalfoelie en deze afdruk microscopisch te doen onderzoeken door een centrale instantie, die over de toestand van de naald een rapport uitbrengt. Deze methode is echter pas be-





a)



b)

*Fig. 42. a) Microfoto  
nieuwe plaat.*

*b) Microfoto van  
plaat na spelen met  
beschadigde naald.*

trouwbaar als de slijtage reeds vrij ver is gevorderd.

Een derde manier is het gebruik van een speciaal grammofoonplaatje van zeer zacht materiaal: een versleten naald zal de groef namelijk zichtbaar beschadigen. Het bezwaar in deze methode is dat, als het materiaal zo zacht wordt gemaakt dat een niet al te erg versleten naald zichtbare beschadiging geeft, een nieuwe naald dit ook reeds doet, terwijl bij gebruik van een harder materiaal, alleen zeer zwaar beschadigde naalden — die reeds lang de muziekplaten in gevaar brengen — een duidelijk spoor op de testplaat achterlaten.

## § 2 Hardmetaal, saffier en diamant

Het op het ogenblik meest gebruikte materiaal is waarschijnlijk saffier. Zoals in de vorige paragraaf werd vermeld, bestaan er grote kwaliteitsverschillen tussen saffiernaalden van verschillende fabrikaat — deze verschillen vinden hun oorzaak in de vak-kennis en de zorg van de fabrikant, en niet zozeer in variaties van het materiaal zelf.

Saffier is de doorzichtige vorm van carborundum en wordt in de natuur gevonden, doch ook synthetisch vervaardigd door aluminiumoxyde onder hoge druk te smelten. Natuurlijk saffier is blauw gekleurd door de aanwezigheid van bepaalde verontreinigingen — synthetisch saffier is nagenoeg kleurloos. Beide kunnen voor grammofoonnaalden worden gebruikt — de synthetische saffieren zijn door hun grotere homogeniteit voor dit doel het meest geschikt. Saffier is na diamant het hardste materiaal en kan zeer glad worden bewerkt. Het soortelijk gewicht is laag, zodat de massa van een saffiernaald uiterst klein is, wat met het oog op het meezingen en de slijtage van naald en plaat een zeer belangrijk punt is. Robijn is eveneens doorzichtig carborundum, doch rood gekleurd; het wordt thans slechts zelden voor grammofoonnaalden gebruikt.

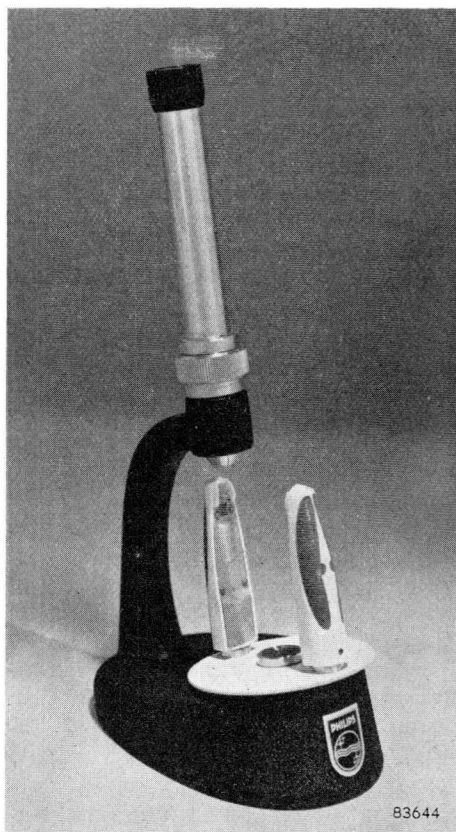


Fig. 43. Naaldenmicroscop.

Osmium is een hard metallisch element dat, zowel als cobalt en titaancarbid, in alliages voor grammfoonnaalden wordt gebruikt. Het is de zwaarste stof die bestaat — meer dan  $1\frac{1}{2}$  maal zo zwaar als lood en 8 maal zwaarder dan saffier. Meestal wordt niet de hele naald, doch alleen het uiterste puntje van osmiumalliage gemaakt; dit puntje wordt gezet in een staafje van een metaal dat lichter en gemakkelijker te bewerken is.

Een goede osmiumnaald slijt ongeveer 4 maal zo snel als een goede saffiernaald, en nog iets sneller dan een slechte saffiernaald. Een osmiumnaald moet daarom na omstreeks 30 uren worden uitgewisseld, om te voorkomen dat de slijtvlakken de plaat ernstig beschadigen. Weliswaar is osmium zachter dan saffier, doch het is nog steeds veel harder dan het platenmateriaal, en een versleten osmiumnaald veroorzaakt even veel schade als enige andere naald in dezelfde toestand van slijtage. Als voordeel van osmium wordt wel vermeld, dat er niet zo gauw stukjes afspringen, bij voorbeeld bij ruwe behandeling. De ervaring van de schrijver is, dat dit voordeel misschien theoretisch wel aanwezig, doch praktisch van weinig waarde is, omdat bij een op de juiste wijze geslepen naald van saffier of diamant, zelfs bij ruwe behandeling de kans op het afspringen van schilfers bijzonder klein is. Andere metallische naalden, b.v. van wolframcarbide, geven ongeveer gelijke resultaten.

Diamant is de hardste aller stoffen, en dientengevolge is de levensduur van diamantnaalden bijzonder lang. De hoge prijs van deze naalden is niet alleen een gevolg van de hoge materiaalprijs, doch wordt ook door de bewerkingskosten veroorzaakt. Terwijl een saffiernaald met behulp van diamantpoeder betrekkelijk snel in de vereiste vorm kan worden geslepen, omdat het diamantpoeder veel harder is dan saffier, eist de bewerking van een diamantnaald veel meer tijd — bijna twintig maal meer. Synthetisch diamant is weliswaar in laboratoria vervaardigd, doch van generlei praktische waarde. Diamantnaalden worden uit scherfjes diamant of uit hele diamanten vervaardigd. Dit laatste — wat het geval is bij de naalden van de Philips toonopnemers — heeft als voordeel, dat de naald zodanig uit de diamant kan worden genomen, dat de slijtage homogeen is en niet één kant sneller slijt dan de andere. Bij proeven bleek dat een diamantnaald ongeveer 10 maal zo langzaam slijt als een goede saffiernaald. Dit betekent dus dat de periode gedurende welke de muziek absoluut onvervormd weergegeven wordt in de orde van grootte van 250 uur is. Zoals in de volgende paragraaf nog zal worden behandeld, is het praktische verschil nog groter; de platenslijtage is namelijk ook geringer, o.a. omdat de diamantnaald langer haar oorspronkelijke vorm behoudt en omdat minder slijpsel in de groef achterblijft.

Stalen, houten, cactus- en bamboenaalden worden thans nagenoeg niet meer gebruikt. De levensduur van deze naalden is korter dan de speelduur van één kant van een langspeelplaat, zodat omwisselen of slijpen gedurende het spelen nodig zou zijn. Bovendien worden in de moderne toonopnemers naalden van zo kleine afmetingen gebruikt, dat het herhaaldelijk omwisselen een te grote last zou betekenen. Deze naalden speelden een belangrijke rol toen de naalddruk 50 gram of meer bedroeg, waarvoor saffier en diamant niet geschikt zijn; bij de huidige lage naalddrukken is de platenslijtage reeds zo gering, dat gebruik van de zeer zachte cactusnaalden geen merkbare verbetering geeft, wel een aanzienlijk zwakkere weergave van de hoge tonen.

Tot nu toe is uitsluitend over microgroefnaalden gesproken. Bij normaalgroefnaalden, die een stompere punt hebben, zou men verwachten dat de slijtage relatief langzamer plaats heeft, omdat de naalddruk over een groter oppervlak wordt verdeeld. Daar het schellakmengsel van 78-toeren platen een meer slijpende werking heeft dan het materiaal van langspeelplaten, gaat dit voordeel echter geheel verloren. Alle hierboven gegeven getallen kunnen daarom zonder meer voor normaalgroefnaalden worden gebruikt.

Een belangrijke vraag is nog wat er gebeurt als platen die eerst met stalen naalden zijn gespeeld later met saffiernaalden worden afgespeeld — of als men de saffiernaald door een diamantnaald vervangt. De vrees bestaat dat het op de plaat achtergebleven slijpsel van de oude naalden de nieuwe naald beschadigt. Deze vrees blijkt echter ongegrond, want de slijpseldeeltjes, zelfs die van stalen naalden, zijn zo klein dat het gevaar dat zij splinters van de naalden uit edelsteen doen afspringen nihil is. Omdat in beide gevallen het slijpsel van de oude naald zachter is dan het materiaal van de nieuwe naald, zal de invloed van dit slijpsel op de naaldenslijtage uiterst gering zijn. Het veelvuldig spelen van reeds in de jeugd van de schrijver met stalen naalden gespeelde platen met saffier- en diamantnaalden toonde aan, dat de slijtage van de laatstgenoemde volkomen normaal was. Intensief met diamantnaalden gespeelde platen moeten bij voorkeur echter niet meer met saffiernaalden worden gespeeld, omdat dan wél versnelde naaldenslijtage kan optreden.

### § 3 Grammofoonplaten en hun verzorging

Menig discophiel die op een zeker moment uitrekent hoeveel geld hij in zijn platenverzameling heeft geïnvesteerd, slaat de schrik om het hart, doch voornemens om het in de toekomst wat kalmer aan te doen, blijken meestal ijdel te zijn. Dat men een kostbare platencollectie met alle zorg omringt, is echter volkomen logisch, en daarom moet het naaldenprobleem ook met het oog op de platen worden bekeken.

Een soms verkondigde theorie is, dat de platenslijtage in grote mate een gevolg is van de inderdaad hoge temperaturen die ter plaatse van het aanrakingsvlak plaatnaald ontstaan. Hieruit wordt dan de conclusie getrokken, dat een niet al te harde naald gebruikt moet worden, omdat ten gevolge van de grote plaatselijke druk een zachtere naald iets meer indeukt en dus een groter aanrakingsvlak biedt, waardoor de druk per vierkante centimeter geringer is en de temperatuur lager blijft. Ook slijt een dergelijke naald sneller, waardoor het aanrakingsoppervlak nog groter wordt.

Vergelijkende proeven tussen saffier- en diamantnaalden toonden inderdaad aan dat, als men een nieuwe plaat met een nieuwe naald gaat spelen, de platenslijtage de eerste uren het geringst is bij gebruik van een saffiernaald, voornamelijk omdat een saffiernaald iets gladder kan worden afgewerkt. Nadat beide naalden 5 à 10 uur in gebruik zijn geweest, verandert dit echter. Op de saffiernaald hebben zich dan reeds zodanige slijtvlakken ontwikkeld, dat de slijtage van de plaat hierdoor wordt beïnvloed. Het zij vermeld, dat de hier bedoelde platenslijtage uiterst gering is en slechts op de beste installaties en met zorgvuldig uitgezochte platen te ontdekken is, en dat bovendien steeds een volkomen nieuwe plaat ter vergelijking gebruikt wordt. Als in de installatie of plaat enige vervorming aanwezig is, of als de plaat geen

fortissimo passages bevat, ontsnapt deze aanvangsslijtage zelfs de geoefende luisteraar.

Bij voortgezet gebruik blijkt dat de slijtvlakken die zich op de naalden gaan vormen en de dientengevolge ontstane snijkanten de voornaamste oorzaken van de platenslijtage zijn, en dat uiteindelijk de diamantnaald, ook wat platenslijtage betreft, de gunstigste oplossing is; saffier komt als tweede in aanmerking en hardmetaal als derde. Van belang is hierbij natuurlijk ook, dat diamant de laagste wrijvingscoëfficiënt heeft — een lagere zelfs dan saffier. Gebleken is dat, hoe harder de naald is, hoe minder slijpsel in de groeven blijft, en hoe minder bij een volgende maal spelen van de plaat, naald en groef worden aangetast.

Een moeilijkheid is dat geen betrouwbare methode bestaat om platenslijtage te meten. Met bepaalde testplaten zou het misschien lukken een beeld te verkrijgen van de toename der vervorming na een bepaald aantal keren spelen, doch, daar de slijtage het ergst is bij fortissimo passages in de muziek, en juist deze passages niet voor meting toegankelijk zijn, is de waarde van een dergelijke proef uiterst gering.

Ook het platengeruis kan alleen op speciale meetplaten en in de stille passages van de muziek worden gemeten, doch het is juist in de fortissimo passages dat de bijgeluiden het sterkst toenemen. Dientengevolge is men helaas op subjectieve luisterproeven aangewezen. Een serie van dergelijke proeven toonde aan, dat er een vrij nauw verband tussen naalden- en platenslijtage bestaat, dus dat, als op een gegeven moment of onder bepaalde omstandigheden een naald snel slijt, dit ook met de plaat het geval is. Vele op de vorige pagina's vermelde conclusies over naalden gelden dus eveneens voor platen.

Bij goede verzorging blijkt de levensduur van een microgroefplaat zo lang te zijn, dat hij praktisch gesproken onbepikt is. Bij een proef waarbij een zestig maal gespeelde microgroefplaat werd vergeleken met een nieuw exemplaar, bleek geen van de 50 aanwezig een verschil te kunnen ontdekken. Het is waarschijnlijk dat enkelen onder hen bij herhaald luisteren toch in de fortissimo passages een kleine afwijking zouden hebben gehoord, doch na zestig maal spelen is de slijtage kennelijk uiterst gering. Voor demonstraties van High Fidelity apparatuur kunnen naar onze ervaring de demonstratieplaten (normale handelsplaten) tot 200 maal gebruikt worden; daarna is vervanging wenselijk. De kwaliteitsachteruitgang is dan echter nog zo gering, dat dergelijke platen nog zeer genietbaar zijn, zelfs op een High Fidelity installatie, terwijl bij gebruik van een versterker met een iets beperkter weergavebereik of met een zekere vervorming (die het praedicaat Hi-Fi niet verdient) het verschil met een nieuwe plaat nagenoeg nog niet opvalt.

Platen die 500 maal gespeeld zijn, hebben heel wat van hun beste eigenschappen verloren, doch als zulke platen worden gespeeld op een installatie met beperkte weergavekarakteristiek, valt de vervorming en de ruis nog erg mee, en zelfs op een High Fidelity installatie zijn dergelijke „oudjes” nog af te spelen. Na 1000 maal spelen echter is de kwaliteit zo slecht geworden, dat de platen onbruikbaar zijn geworden, hoewel een nieuwe plaat op een slechte grammofoon soms niet fraaier klinkt en door de eigenaar toch nog met genoegen wordt beluisterd.

De bovenstaande getallen zullen vele lezers sterk geflatteerd noemen. Inderdaad, als

aan de platen niet de juiste zorg wordt besteed, gaat de kwaliteit veel sneller achteruit. De eerste voorwaarde voor langdurig genot van een platencollectie is dat men nooit te ver gesleten naalden gebruikt. Natuurlijk moet ook de toonarm goed vrij kunnen bewegen. De naalden van fig. 40 zijn aan één kant sterker versleten dan aan de andere kant, en wel treedt de sterkste slijtage op bij de zijde die het dichtst bij het midden van de plaat is. Dit is een gevolg van de naar het midden gerichte kracht op de toonopnemer, die aan de hand van fig. 33 werd verklaard. Als echter het toonarmlager te zwaar loopt, slijt dientengevolge de buitenkant van de naald het snelst en heeft ook de groef extra te lijden. Dit is dus ook een punt waarop bij het controleren van de naalden, in het belang van de platen, moet worden gelet. Een verdere voorwaarde is, dat scherp stof van de platen wordt afgehouden. Het stof dat in onze huiskamers rondwarrelt is deels zacht — pluïsjes die van planten of textiel afkomstig zijn — deels scherp — zand en kalkkorreltjes, metaalslijpsel en uiterst fijn gruis van allerlei aard.

Het is dit scherpe stof, dat gevaarlijk is, en dat tevens het moeilijkst is te verwijderen. Platen moeten daarom zoveel mogelijk in de hoes worden gehouden. Borstelen voor het spelen heeft maar een beperkt nut; het stof dat in de groeven is gedrongen kan op deze manier slechts gedeeltelijk worden verwijderd, en het ergste is dat door dit borstelen de plaat nog electrostatisch wordt opgeladen en daardoor stof gaat aantrekken. Hoewel er verschillende vrij goede borstels voor microgroefplaten bestaan, is een enigszins vochtige, of een speciaal geprepareerde lap nog steeds het best. Ook een afgedankte nylonkous is uitstekend geschikt. Mochten zich grotere stofdeeltjes, b.v. kalkkorreltjes, op de plaat bevinden, dan moeten deze eerst door blazen worden verwijderd. Bij het neerleggen van de plaat op de draaitafel of elders, moet er ook op worden gelet dat het oppervlak waarop de plaat komt schoon is. Bij een met vilt of fluweel beklede draaitafel is het niet zo gevaarlijk dat daar een hard korreltje op ligt, omdat dit eerder in deze bekleding dan in de plaat dringt; rubber of plastica nemen harde korreltjes niet op, en dan is de plaat het kind van de rekening. Ook de hoes moet van binnen stofvrij zijn; vooral lijmnaden zijn gevaarlijk. Hoezen met open binnenhoezen hebben het grote voordeel dat de plaat in de binnenhoes kan worden gelegd in plaats van geschoven, zodat scherp stof dat zich eventueel op de plaat bevindt, er niet in krast. Hoezen van een materiaal dat scherpe deeltjes kan opnemen, o.a. filtreerpapier, prefereren wij boven plastic hoezen, waarbij het krasgevaar nog steeds bestaat. Het feit dat het filtreerpapier zelf de neiging tot pluizen heeft, waardoor de plaat een stoffig aanzien krijgt, kan rustig op de koop toe worden genomen, daar deze pluïsjes te zacht zijn om de plaat te beschadigen. De pluïsjes blijven aan de naald hangen en kunnen van tijd tot tijd met de vinger of een zacht penseel voorzichtig worden verwijderd. Ditzelfde geldt ook voor haartjes die van met textiel beklede draaitafels afkomen. Hoezen zonder binnenhoes probere men, bij het uithalen of weer instoppen van de plaat, iets open te buigen, zodat de plaat gemakkelijk glijdt en niet over het papier heen krast.

Van platenreinigingsmiddelen, al dan niet met anti-statische eigenschappen, mag men niet het onmogelijke verwachten; een klein beetje water op een doek blijkt even effectief als de meeste speciale reinigingsvloeistoffen. Vloeistoffen die op de plaat

worden gespoten en langzaam drogen, tasten soms de draaitafelbekleding of de metalen delen aan; voorzichtigheid hiermee is dus geboden.

Na een platenconcert zal men soms sporen van de genoten verversingen op de platen aantreffen. Hoewel boter-, room-, likeur- en jeneverresten op zichzelf niet erg gevaarlijk voor de plaat zijn, vangen zij stof op, dat wél gevaarlijk is. Door de plaat voorzichtig af te sponsen met een zeer slappe, praktisch koude, oplossing van een zeepvrij wasmiddel, en daarna goed te spoelen met zuiver water, kunnen dergelijke ongerechtigheden worden verwijderd. De meeste ontvlekkingsmiddelen tasten grammofoonplaten aan — alleen ethylalcohol is niet gevaarlijk, hoewel ook hiermee voorzichtig moet worden gewerkt, omdat het natuurlijk altijd mogelijk is dat een bepaalde fabrikant op een gegeven moment een in ethylalcohol oplosbaar ingrediënt door zijn platen verwerkt.

Het is in het algemeen raadzaam de plaat alleen op de onbespeelde gedeelten aan te raken en vingerafdrukken op de groeven te vermijden. Als een plaat echter te groot is om ze op deze manier gemakkelijk te hanteren, bestaat het gevaar, dat men ze laat vallen; het is dus soms verstandiger maar een paar vingerafdrukken te riskeren. Als de platen goed stofvrij worden gehouden en de naalden steeds in goede toestand verkeren, gaan de platen heel lang mee, en alleen de door onvoorzichtige behandeling veroorzaakte krassen zijn dan meestal de voornaamste oorzaak van kwaliteitsachteruitgang. Ook hiertegen kan gewaakt worden, en verder moeten de platen dus op de juiste manier worden opgeborgen. Grammofoonplaten moeten bij voorkeur verticaal worden bewaard; zij mogen nooit schuin staan, en opstapelen is alleen toelaatbaar als de stapels niet te hoog zijn en slechts platen van één maat bevatten, omdat ze anders onherroepelijk krom trekken.

Indien het aantal platen in een vak van een kast onvoldoende is om dit geheel te vullen, zodat de platen scheef gaan hangen, moet het vak met boeken of planken worden gevuld, zodat de platen absoluut verticaal staan. Langspeelplaten worden bij voorkeur in de hoes bewaard, schellakplaten eventueel in albums. Mocht een plaat door een of andere oorzaak toch krom zijn getrokken, en ondervindt men last van slippen op de draaitafel, of is de toonarm vrij zwaar, zodat variabele slijtage wordt gevreesd, dan kan men de plaat weer vlak maken door haar op een vlakke glazen plaat te leggen en zeer voorzichtig te verwarmen. In de zomer kan dit gebeuren door de plaat in de zon te leggen, 's winters door bestraling met een op niet te kleine afstand geplaatst electrisch kachelkje. Men moet zolang verwarmen, tot de plaat door haar eigen gewicht weer vlak geworden is; nooit mag worden geprobeerd dit proces door buigen van de plaat te versnellen. Een plaat kan ook krom trekken door bij het persen ontstane materiaalspanningen. Hoewel men dit op de bovenbeschreven manier weer in orde kan brengen, blijft dan steeds de mogelijkheid bestaan dat de betreffende plaat enige tijd na de behandeling dezelfde fout opnieuw vertoont. Indien een plaat zo weinig krom is dat men er bij het afspelen geen last van heeft, neme men een dergelijke schoonheidsfout voor lief en late men de grammofoonplaat ongemoeid. Het verdient altijd aanbeveling grammofoonplaten te bewaren op een plaats die niet al te warm is, dus bij voorkeur niet vlak bij een kachel of radiator van de centrale verwarming. Een zeer droge omgeving is eveneens minder gewenst.

## HOOFDSTUK VII

### PLATENSPELERS EN PLATENWISSELAARS

#### § 1 De motor

Platenspelers en platenwisselaars hebben beide dezelfde fundamentele samenstelling: een toonarm, een draaitafel die door een motor wordt bewogen en een orgaan dat, op de een of andere manier door de toonarm bestuurd, de schakelaar of het wisselmechanisme in werking stelt als de afspelnaald in de uitloopgroeven van de plaat is gekomen. Het zijn juist de gemeenschappelijke elementen die op de prestaties van een afspelapparaat de grootste invloed hebben. Eventuele kwaliteitsverschillen tussen platenspelers en platenwisselaars komen in het algemeen niet voort uit het al of niet aanwezig zijn van een wisselmechanisme, doch vinden hun oorzaak hoofdzakelijk in de draaitafel, de motor of de toonarm.

De moderne grammofoonmotoren zijn, practisch zonder uitzondering, kooiankermotoren met inductieve fazeverschuiving. Alleen in de motoren die op gelijkstroomnetten worden aangesloten, treft men nog een collector aan en bestaat dus het gevaar van motorstoringen die via de versterker een rateltoon door de luidspreker kunnen veroorzaken. De genoemde inductiemotoren hebben een zo constante snelheid, dat een centrifugaalreguleerder overbodig is geworden; hoewel het geen synchroommotoren zijn, blijkt, bij niet al te sterk variërende belasting en voor netspanningsvariaties die 10 à 20% niet overschrijden, de snelheid binnen enkele tienden procent constant te zijn.

Alleen netfrequentievariaties hebben een merkbare invloed op de snelheid van de motor; deze is namelijk met de frequentie evenredig. Daar de frequentie van het lichtnet echter zeer constant is en alleen rond de spitsuren soms iets verandert, en dan nog slechts weinig, brengt ook dit geen moeilijkheden met zich mee.

Het principe van de kooianker-grammofoonmotor is verklaard aan de hand van fig. 44. Een anker is draaibaar opgesteld tussen de poolschoenen van een electromagneet welke door de op het wisselstroomnet aangesloten spoel L wordt bekrachtigd. In elk van de beide poolschoenen van de z.g. stator is een inkeping aangebracht, waardoorheen op de geïllustreerde manier een in zichzelf kortgesloten winding ligt.

Ten gevolge van de stroom door de spoel, ontstaat een wisselend magnetisch veld, dat van de ene poolschoen door het anker naar de andere poolschoen loopt — de richting van dit veld is door stippellijnen aangegeven. In fig. 44b is getekend hoe de sterkte van dit veld met de tijd varieert. Het veld van het hoofddeel van de poolschoenen (streeplijnen) is op een gegeven moment nul, neemt geleidelijk in sterkte toe tot een bepaald maximum, om daarna zwakker te worden, van richting om te keren, enzovoorts. Hetzelfde gebeurt met het veld van de delen van de poolschoenen die met de kortsluitringen zijn uitgerust, doch ten gevolge van die kortsluitringen gebeurt alles iets later.



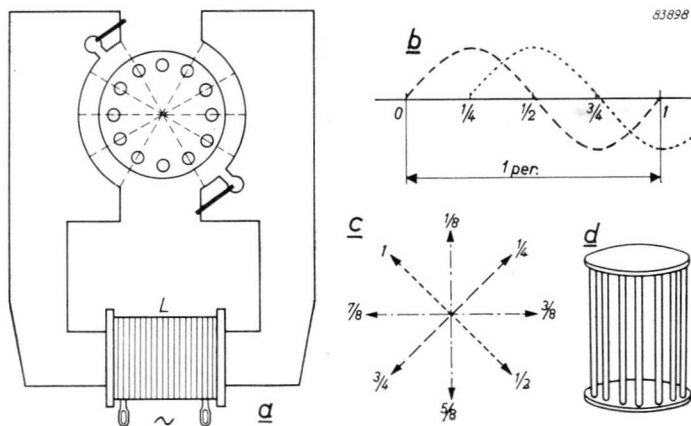


Fig. 44. Principe van de twee-polige gramfoonmotor.

Na  $\frac{1}{4}$  periode komt het magnetisch veld dus alleen van het hoofddeel van de poolschoenen, na  $\frac{1}{2}$  periode van het deel met kortsluitringen, en het is dan meestal iets zwakker. Na  $\frac{3}{4}$  periode komt het magnetisch veld weer van het hoofddeel, doch het is nu van richting omgekeerd; na 1 periode komt het weer van het andere deel, eveneens van richting omgekeerd. Op de tussenliggende tijdstippen wekken beide delen van de poolschoenen magnetische velden op. De som van die twee velden is practisch gelijk aan de veldsterkte na  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  of  $\frac{3}{4}$  periode, de richting is verschoven ten opzichte van die na  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  of  $\frac{3}{4}$  periode. Deze cyclus herhaalt zich 50 maal per seconde als de netfrequentie 50 Hz is, en bij een 60 Hz net 60 maal per seconde; dit is in fig. 44c getekend. Uit een en ander valt te concluderen, dat bij benadering hetzelfde resultaat zou worden verkregen als een staafmagneet 50 maal per seconde werd rondgedraaid.

Het anker of de rotor is in fig. 44 afzonderlijk getekend. Het bestaat uit een aantal (b.v. 13) koperen staven die in koperen platen zijn gesoldeerd, terwijl de staven met ijzer zijn omgeven. Ten gevolge van dit ijzer kan het magnetisch veld gemakkelijk door de rotor gaan, en loopt het ook in de juiste richting. Daar het magneetveld draait, beweegt het ten opzichte van de koperen staven, waarin dientengevolge, zoals reeds in de verhandeling over de toonopnemers werd gezegd, spanningen ontstaan.

Omdat de staven door de koperen platen onderling zijn verbonden, kunnen er stromen doorheen vloeien; deze inductiestromen nu wekken op hun beurt een magnetisch veld op. Indien wij nu dit magnetisch veld ook weer met een staafmagneet verbonden denken, dan is gemakkelijk in te zien wat er gebeurt: deze hypothetische staafmagneet wordt aangetrokken door de hypothetische staafmagneet die het statorveld voorstelt. Deze draait 50 maal per seconde, en de rotormagneet vertoont de neiging hem te volgen.

Het ankermagneetveld is als het ware met het anker verbonden, zodat dit mee zal gaan draaien. In feite maakt het anker geen 50 omwentelingen per seconde of 3000 omw./min., maar iets minder, bij voorbeeld 2950 omw./min., want als het anker precies 3000 toeren/min. maakte, zou het statormagneetveld dat exact deze snelheid heeft, niet meer ten opzichte van de rotorstaven bewegen en konden dientengevolge in deze geen spanningen meer worden opgewekt.

Naast deze tweepolige motor treft men ook vierpolige motoren aan (fig. 45). De werking van beide is principieel gelijk; de snelheid van de vierpolige motoren is half zo groot als die van de tweepolige motor, dus iets minder dan 1500 omw./min.

Over de voor- en nadelen van twee- en vierpolige motoren bestaan nog al eens misverstanden. Zo wordt wel verondersteld, dat de laatstgenoemde rustiger zou lopen dan de tweepolige motoren, omdat bij de vierpolige uitvoering het anker per omwenteling tweemaal zoveel „duwtjes” van het magneetveld krijgt.

Wat echter voor het gelijkmatig lopen van belang is, is het aantal krachtstoten per seconde, en dit is bij beide typen gelijk. Bij een automotor loopt een achtcilinder motor weliswaar rustiger dan een viercilinder motor, doch hier is het toerental in beide gevallen practisch hetzelfde, zodat bij de achtcilinder motor het aantal stoten per seconde ongeveer tweemaal zo groot is. Bij electromotoren echter is er geen verschil; integendeel, loopt de tweepolige motor, dank zij de hogere snelheid, juist rustiger. De hoeveelheid energie die in de motor wordt opgezameld is — bij gelijk rotorgewicht — bij de tweepolige motor viermaal zo groot (deze energie is  $\frac{1}{2} m \omega^2$ , waarin  $m$  de massa en  $\omega$  de draaisnelheid). Vierpolige motoren zijn meestal groter en hebben een zwaarder anker dan tweepolige motoren. Dit brengt enerzijds weliswaar het vermogen in de rotor weer omhoog, doch anderzijds moeten nu ook de krachtstoten die de rotor doen draaien groter zijn, en dit is niet gunstig met het oog op het dreunniveau. Als dit zwaardere anker bovendien iets slingert ten gevolge van een — zij het ook geringe — lagerspeling, dan duwt het dientengevolge ook harder tegen het tussenwiel dan het lichtere anker van de tweepolige motor.

Van uiterst groot belang is het natuurlijk, dat het anker gelijkmatig draait, en daarom is bij de motor die in fig. 46 is afgebeeld, het aantal kortsluitringen tot 10 uitgebreid. Dit geeft een gelijkmatiger verloop van het magnetisch veld; de hypothetische magneet is nu steeds even sterk en beweegt zich niet meer met schokken, doch draait gelijkmatig, waardoor de rotor veel minder trilt.

De speling in de lagers moet tot een minimum worden beperkt. Om dit te bereiken, maakt men de as soms iets te dik en laat de motor net zo lang inlopen tot de as juist gemakkelijk in het lager draait. Een ernstig nadeel van deze methode is, dat de slijtage van as en lager zich niet tot de inlooperperiode beperkt, en dat bijgevolg, na enige maanden gebruik, lagerspeling, en dus ook verhoogde motordreun, optreden. Bij de motor van fig. 46 wordt de as, na normaal te zijn geslepen, nog op een

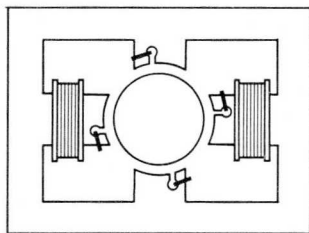


Fig. 45.

Vier-polige gramfoonmotor.

speciale manier nabewerkt (men noemt dit in de fabriek in verbasterd Engels „superfijnen”), zodat ook de slijpkrassen verdwijnen en de as zo glad is, dat de slijtage zelfs bij langdurig gebruik nihil is. Dit stelt natuurlijk wel zeer hoge eisen aan de nauwkeurigheid waarmee de lagers moeten worden gemaakt; zowel de as- als de lagerbewerkingen vertonen dan ook grote overeenkomst met de werkmethoden die in de horlogefabricage worden toegepast.

Voor goede resultaten is het verder noodzakelijk dat de rotor goed gebalanceerd is. Dit kan geschieden door de motoras op twee evenwijdige messen te plaatsen, zodat het zwaarste deel van de rotor naar beneden draait (net zoals bij voorbeeld bij een fietswiel het ventiel de laagste stand zal innemen). Daar wordt dan wat materiaal uit de rotor weggeboord. Veel beter is het echter de rotor met de normale snelheid te laten draaien en dan op een dynamische balanceerbank het zwaartepunt te bepalen. Gedurende deze meting wordt de rotor met een stroboscooplampje belicht, en bij het cijfertje (zie fig. 46) dat dan steeds weer voor een wijzer verschijnt, is het te zware punt gelegen. In tegenstelling tot statisch balanceren, kan bij dynamisch balanceren een zuiver evenwicht aan beide aszijden worden bereikt.

Een ander punt van belang is hoe sterk de motor moet zijn. Het vermogen dat nodig is om een draaitafel met een 30 cm plaat met de juiste snelheid te draaien is ongeveer 50 milliwatt; als op de draaitafel 10 platen liggen zal het iets meer zijn door de toegenomen lagerwrijving. Aannemend dat de overbrenging tussen motor en draaitafel een rendement van 50% heeft, moet de motor dus 100 milliwatt = 0,1 watt afgeven. Hoewel het rendement van grammofoonmotoren laag is, volgt uit het vorenstaande, dat een motor met een opgenomen vermogen van slechts enkele watts reeds voldoende moet zijn.

In de Philips batterijgrammofoon wordt een motor van minder dan 1 watt gebruikt. De motor wordt echter meestal iets groter genomen dan strikt noodzakelijk is, opdat het niet te lang duurt vooraleer na het inschakelen de draaitafel op toeren is gekomen, en bij een wisselaar tevens omdat het wisselmechanisme moet worden

aangedreven. Een 8 watt motor is ruim voldoende; wij zullen namelijk later nog zien, dat de motorcracht weinig of geen invloed heeft op de constantheid van de draaitafelsnelheid, en dat een te zware motor niet alleen extra warmteontwikkeling veroorzaakt, doch ook het dreunniveau in ongewenste mate beïnvloedt. Net zo min als een zware dieselmotor voor een personenauto bruikbaar is, is een te zware grammofoonmotor geschikt.

De beweging van de motoras wordt in verreweg de meeste

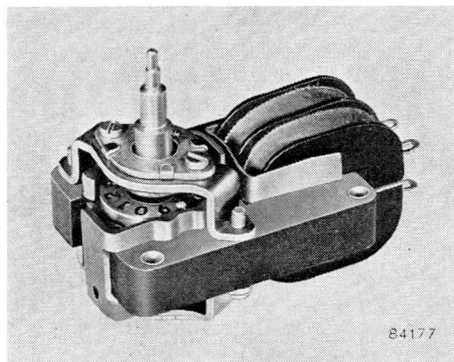


Fig. 46. Motor van platenspeler AG 2004.

gevallen op de draaitafel overgebracht via een zogenaamd tussenwiel. De constructie met worm en wormwiel is nagenoeg geheel verlaten, gezien de moeilijkheden die een dergelijke overbrenging voor drie verschillende draaitafelsnelheden met zich meebrengt, vanwege het feit, dat het onvermijdelijke dreunen van de motor hierbij in relatief sterke mate op de draaitafel wordt overgebracht, en ten slotte uit prijsoverwegingen.

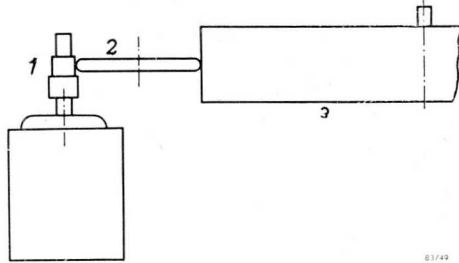


Fig. 47. Drie-snelheden draaitafelaandrijving: 1) poelie 2) tussenwiel 3) draaitafel.

Het grondprincipe van een drie-snelheden aandrijving met tussenwiel is in fig. 47 geschetst. De poelie (1) op de motoras heeft 3 verschillende diameters, en het tussenwiel (2) drukt tegen deze poelie en de draaitafel (3). Als de motoras draait, wordt diens omwenteling ook het tussenwiel bewogen, en de beweging wordt door dit wiel weer naar de draaitafel overgebracht. De snelheid van de draaitafel wordt alleen bepaald door de omwentelingssnelheid van de motoras en door de diameters van de poelie en de draaitafel ter plaatse van het tussenwiel; de doorsnede van het tussenwiel heeft hierop geen invloed.

Dit is gemakkelijk te berekenen: als de poeliediameter  $d_1$  is, die van het tussenwiel  $d_2$  en die van de draaitafel  $d_3$ , terwijl de poelie  $n_1$  omwentelingen per minuut maakt,

dan is de omwentelingssnelheid van het tussenwiel:  $n_2 = \frac{d_1}{d_2} \times n_1$  (de toerentallen zijn omgekeerd evenredig met de diameters — net als bij een tandwiel).

De snelheid van de draaitafel is:

$$n_3 = \frac{d_2}{d_3} \times n_2 = \frac{d_2}{d_3} \times \frac{d_1}{d_2} \times n_1 = \frac{d_1}{d_3} \times n_1.$$

In deze formule komt de diameter van het tussenwiel niet meer voor.

Uitgaande van een draaitafeldiameter van 25 cm en een motorsnelheid van 2950 omw./min., vindt men dus voor de vereiste poeliediameter:

voor  $33\frac{1}{3}$  toeren/min draaitafelsnelheid: 2.8 mm,

voor 45 toeren/min. draaitafelsnelheid: 3.78 mm,

voor 78 toeren/min. draaitafelsnelheid: 6.56 mm.

Daar de draaitafelsnelheid in grote mate wordt bepaald door de poeliediameter, moeten de poelies vervaardigd worden met grote nauwkeurigheid; de toelaatbare toleranties zijn in de orde van grootte van 10 micron, Zelfs bij de grootste nauwkeurigheid, is het soms toch wenselijk over een zekere instelmogelijkheid te beschikken; dit kan bereikt worden door elk der drie delen van de poelie enigszins taps te maken; door de plaats van het tussenwiel te variëren, kan de snelheid dan nauwkeurig worden ingesteld.

Een andere oplossing is die waarbij de aandrijving van de draaitafel niet op de

rand, maar op de onderkant plaats heeft (zie b.v. fig. 54).

Het tussenwiel is een zeer belangrijk onderdeel. De stelling dat het geen invloed op de draaitafelsnelheid heeft, gaat alleen op als het zuiver rond is. Als dit tussenwiel niet volkomen rond is, draait het met ongelijke snelheid. Deze snelheidsvariëaties vallen ook de draaitafel ten deel, en de toonhoogte van de muziek begint dien-tengevolge in een vrij snel tempo te fluctueren, wat van funeste invloed is op de weergavekwaliteit; ook dreunen kan hiervan het gevolg zijn. Daar het tussenwiel nagenoeg geheel van rubber is of in elk geval een rubber loopvlak heeft, is het verre van eenvoudig dit zuiver rond te maken. De samenstelling en de kwaliteit van het gebruikte rubber zijn van grote invloed op het uiteindelijke resultaat. De rubberrand kan niet met voldoende nauwkeurigheid worden gefabriceerd, en daarom wordt deze rand op een speciale sneldraaiende slijpbank geslepen tot de omtrek zuiver cirkelvormig is. Het gebruik van rubber heeft twee redenen:

Ten eerste wordt door het rubber de onvermijdelijke restdreun van de motor niet op de draaitafel overgebracht. Bij de in fig. 47 getekende constructie komt namelijk tussen motor en draaitafel tweemaal een rubberlaag, tussen poelie en tussenwiel en tussen dit tussenwiel en de draaitafel.

Ten tweede kan men, dank zij het rubber loopvlak, de slip van het tussenwiel ten opzichte van de poelie en die van de draaitafel ten opzichte van het tussenwiel verwaarloosbaar klein maken. Terwijl men om deze redenen dus een zo groot mogelijk deel van het tussenwiel van zo zacht mogelijke rubber zou willen maken, mag hier ook weer niet te ver mee worden gegaan, omdat het rubber dan onder invloed van de erop werkende krachten te veel elastisch vervormt, wat eveneens onregelmatig lopen van de draaitafel tot gevolg heeft.

Materiaalkeuze en vormgeving — mede omdat rubber neiging heeft om hard te worden als de samenstelling voor het doel niet geschikt is — zijn daarom zeer moeilijk.

De bevestiging van het tussenwiel is ook verre van eenvoudig. Het moet met een zekere, vrij geringe, druk tegen poelie en draaitafel drukken, zodat een starre opstelling van het tussenwiellager is uitgesloten; bovendien moet het tussenwiel met een hefboom teruggetrokken en naar een ander gedeelte van de poelie kunnen worden overgebracht. Desondanks mag het geen willekeurige bewegingen maken. In fig. 54 is een typische oplossing van dit probleem te zien.

Een andere moeilijkheid is dat, als rubber lange tijd onder druk staat, het blijvend wordt vervormd. Bij een afspeelapparaat dat gedurende geruime tijd niet wordt gebruikt, drukt de motorpoelie steeds tegen dezelfde plaats van het tussenwiel, waardoor het rubber plaatselijk kan worden ingedeukt, wat een onaangename dreuntoon veroorzaakt. Nadat het apparaat weer een zekere tijd in gebruik is geweest, verdwijnt deze dreuntoon weer geheel of gedeeltelijk; hoe erg een en ander is hangt trouwens af van de kwaliteit van de rubber. Daar voorkomen beter is dan genezen, heeft bij de Philips platenspelers en -wisselaars de snelheidskeuzeknop thans een vierde stand, waarbij het tussenwiel van de motorpoelie en de draaitafel wordt weggetrokken. Hoewel van een speler of wisselaar alleen af en toe het draaitafellager moet worden gesmeerd wordt er toch op gewezen, dat bij het smeren nooit vet op het

rubbervlak van het tussenwiel mag komen, omdat dit anders onherroepelijk wordt aangetast; het draaitafellager mag niet met olie worden gesmeerd.

## § 2. De draaitafel

De draaitafel moet met een bepaalde snelheid volkomen regelmatig omwentelen. Zelfs als de motor met een volkomen constante snelheid draait, is aan deze eis nog niet à priori voldaan. Gedurende een zware passage in de muziek, wordt de plaat, en dus de draaitafel, iets geremd; bij gevolg wordt het rubber van het tussenwiel even vervormd en daalt de draaitafelsnelheid tijdelijk. Na korte tijd heeft het rubber weer een bepaalde stand gekregen, en ook al is de kracht van de naald op de plaat nog steeds groot, de oorspronkelijke snelheid wordt weer bereikt. Als de harde passage voorbij is, gebeurt juist het omgekeerde. Men kan dit vergelijken met de beweging van een wagentje dat aan een stukje elastiek over een tafel wordt getrokken. Als met constante snelheid aan het elastiekje getrokken wordt, rekt het tot een bepaalde lengte uit. Zodra de wielen van het wagentje tegen een kleine hindernis stoten, wordt zijn beweging even vertraagd — het elastiek wordt tijdelijk verder uitgerekt — maar zodra de eerste stoot is overwonnen, herkrijgt het wagentje zijn oorspronkelijke snelheid. Als de hindernis voorbij is, treedt het tegen-gestelde op: het wagentje loopt even iets sneller. Is het wagentje echter zeer zwaar, dan zal het bij voldoende snelheid reeds door zijn eigen gewicht de hinder-nissen nemen en blijft zijn snelheid veel beter constant. Zo is het ook bij draaitafels: als deze zwaar genoeg zijn, blijkt de omwentelingssnelheid voldoende constant te blijven, ook als de wrijving tussen naald en plaat plotseling verandert.

Hoeveel „voldoende zwaar” is, valt in het algemeen niet te zeggen. Al naarmate de toonopnemer een grotere compliantie en een kleinere bewegende massa heeft, en al naarmate de toonarm lichter is, kan met een lichtere draaitafel worden volstaan. Het is wel duidelijk dat ook het draaitafellager hier van overwegende invloed is; indien dit lager zwaar loopt, zal het de draaitafel moeilijker vallen de snelheid constant te houden. Een goed geconstrueerde draaitafel onderdrukt eveneens snelheidsfluctuaties die uit de motor stammen, bij voorbeeld door plotselinge kortstondige netspannings-schommelingen en zulke die worden veroorzaakt door onvolmaaktheden van het tussenwiel. Om snelheidsfluctuaties te voorkomen, zijn andere voorwaarden natuurlijk dat het draaitafellager slechts uiterst weinig speling heeft, dat de draaitafel ter plaatse waar zij wordt aangedreven goed vlak is, dat de draaitafelrand (bij randaandrijving) zuiver rond is, en de draaitafel niet slingert.

Zelfs als aan al deze voorwaarden is voldaan, zullen nog kleine snelheidsfluctuaties optreden. Dientengevolge zal de toonhoogte van de weergegeven muziek fluctueren. Indien deze toonhoogte variaties betrekkelijk langzaam zijn (1 à 3 maal per seconde), noemt men dit verschijnsel — zo het hoorbaar is — jengel; ook wordt dan wel gesproken van zwevingen. Treden snelle toonhoogtefluctuaties op, die geen gedachten-associaties met zweven opwekken, doch de muziek iets „fladderig” maken, dan wordt dit verschijnsel officieus „kanariën” genoemd; meer officieel gebruikt men de Engelse term „flutter”. Uit proeven is gebleken dat, als de snelheid niet meer dan 0,3% fluctueert, jengel en flutter zeer moeilijk zijn te constateren.

Verder bleek, dat deze verschijnselen voornamelijk bij de weergave van betrekkelijk lage tonen hoorbaar zijn en, behalve in zeer ernstige gevallen, alleen als een bepaalde toon vrij lang wordt aangehouden. Gedragen pianomuziek is in dit opzicht wel het meest kritisch; liefhebbers van snelle rythmische muziek zullen echter niet gauw last hebben van „jengel“.

De bovengenoemde eis van 0,3% is vrij zwaar; hiertegenover staat dat, zelfs op kritische muziek, vele — overigens kritische luisteraars — door deze snelheidsfluctuaties niet worden gehinderd. Aangezien bij lage draaitafelsnelheden het gewicht van de draaitafel het minst meewerkt aan het constant houden van de snelheid ( $\frac{1}{2} m \omega^2$  klein), is het voorkómen van hoorbare jengel vooral moeilijk voor de draaitafelsnelheid van  $33\frac{1}{3}$  toeren/min. Desondanks is het mogelijk om, ook bij massaproductie, deze waarde gemiddeld aan te houden, mits de gehele constructie en de fabricagemethode hierop zijn berekend.

Indien hogere eisen worden gesteld, moeten speciale maatregelen worden genomen; de draaitafel wordt dan gegoten, op een precisiedraaibank afgedraaid en ten slotte uitgebalanceerd; bovendien mag het gietijzer van zulke draaitafels geen gietgallen bevatten. Dit alles maakt de prijs aanzienlijk hoger dan die van een gewone draaitafel. Weliswaar is een draaitafel omdat ze zwaar is nog niet altijd goed, en als niet alle vereiste voorzorgen bij de fabricage zijn genomen, kunnen de ermee verkregen resultaten nog tegenvallen. In dit verband is het de moeite van het vermelden waard, dat bij de Philips High Fidelity wisselaars en spelers de jengel en flutter gemiddeld beneden 0,2% blijven.

Hoewel, zoals reeds gezegd, de hinderlijkheid van jengel en flutter afhankelijk is van de muziek, en ook van het vermogen van de luisteraar om deze verschijnselen waar te nemen, kunnen onderstaande getallen als richtlijnen dienen.

	Juist merkbaar	Absoluut ontoelaatbaar
Gedragen pianomuziek	0,2%	1,0%
Vioolmuziek	0,5%	1,5%
Symphonie-orkest	0,5%	1,5%
Dansmuziek	0,5%	1,5%
Dansmuziek met piano	0,5%	1,2%
Jazz	1,0%	2,0%

De getallen zijn niet absoluut; bij vlug pianospel is iets meer jengel toelaatbaar; bij een slepende wals in de vioolpartijen, bij een hoornsolo in een symphonisch werk, kunnen de eisen soms wat zwaarder zijn dan de normale.

Het is de schrijver gebleken, dat het afspeelapparaat dikwijls ten onrechte de schuld krijgt, terwijl de oorzaak van jengel elders ligt. Indien de plaat namelijk niet precies midden op de draaitafel ligt, wat het gevolg kan zijn van een te groot gat in de plaat, een excentrisch platengat of excentrische groeven op de plaat, of als de middenpen van de draaitafel niet precies in het midden zit, kan ook jengel optreden.

Met zeer weinig wiskunde laat zich dit verklaren. Als de afstand van een bepaalde groef tot het middelpunt van de plaat  $r$  cm is, en de draaitafel maakt  $N$  omwente-

lingen per minuut, dan is de groefsnelheid  $2 \pi rN$  cm/min. Ligt het draaipunt niet in het midden van de plaat, doch is het  $d$  cm verschoven, dan is (zie fig. 48) op het ene ogenblik de groefsnelheid  $2 \pi (r+d)N$  cm/sec, en op een volgend ogenblik  $2 \pi (r-d)N$  cm/sec. De snelheid wijkt dan dus  $2 \pi dN$  cm/sec van de juiste af, eerst te snel en daarna te langzaam, enzovoorts. In procenten uitgedrukt, is de snelheidsfluctuatie dus:

$$\frac{2 \pi dN}{2 \pi rN} \times 100\% = \frac{d}{r} \times 100\%$$

De als gevolg van excentriciteit optredende jengel is dus bij alle platensnelheden gelijk, en hij is het ergst als  $r$  klein is, dus bij de laatste groeven op de plaat. Nemen wij aan dat  $r$  dan

5 cm is, dan veroorzaakt dus een excentriciteit van slechts 3/10 mm 0,6% jengel. Bij de eerste groef van een 30 cm plaat is de jengel in dit geval 0,2%. Hoewel de toelaatbare excentriciteit dus uiterst klein is, blijkt een te grote excentriciteit van het platengat in de praktijk slechts zelden voor te komen. Ook onronde groeven ziet men niet veel, doch helaas bestaat nog niet veel eenheid wat betreft de gatdiameters.

De middenpen van studiomachines wordt meestal iets dikker gemaakt dan die van „huiskamer” platenspelers. Sommige platenfabrikanten baseren de afmetingen van het middengat op studiomachines, en de mogelijkheid bestaat dus dat op een gewone platenspeler of platenwisselaar het gat wat te ruim is voor de pen, en de plaat niet precies midden op de draaitafel komt te liggen. De meeste platenfabrikanten houden echter rekening met dünnere middenpenen, en deze platen passen dan niet of slechts met moeite op de studiomachines.

Als een plaat met een te groot gat jengelt, kan men dit verhelpen door een dun papiertje over de middenpen te leggen, voordat de plaat op de draaitafel komt. Bij een platenwisselaar die alleen van een lange wisselpen is voorzien, gaat dit natuurlijk niet; dan is de enige mogelijkheid geduldig te proberen de plaat precies in het midden te krijgen. Kromme platen en slingerende draaitafels kunnen op een dergelijke manier jengel veroorzaken. Als een platenspeler vrij goed is, kan de weergave met een plaat waarvan het gat juist iets aan de grote kant is, goed of slecht zijn, al naarmate de fluctuaties van de draaitafelsnelheid en die welke ten gevolge van de excentriciteit optreden, elkaar opheffen, dan wel ondersteunen.

Het meten van fluctuaties van de draaitafelsnelheid is niet eenvoudig en geschiedt met speciale meetapparatuur. De z.g. stroboscoopschijven, die worden gebruikt om de draaitafelsnelheid te controleren, zijn hiertoe niet geschikt, en eventuele slingeringen van de streepjes op deze schijven zijn bijna altijd te wijten aan kleine onnauwkeurigheden, bij voorbeeld als gevolg van rek van het papier van die stroboscoopschijven; en deze slingeringen hebben niets te maken met de jengel. Proeven met zeer nauwkeurige metalen stroboscoopschijven hebben trouwens aangetoond, dat alleen

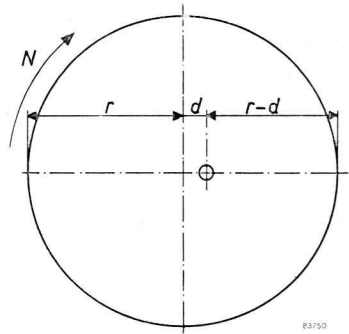


Fig. 48. Verklaring van zwevingen tengevolge van excentriciteit.



heel ernstige gevallen van jengel op deze manier kunnen worden aangetoond, en dat het menselijk gehoor een veel gevoeliger instrument is.

Over de draaitafelbekleding is reeds geschreven in verband met het onderhoud van grammofoonplaten. Een goede textielbekleding is het gunstigst omdat harde stofdeeltjes door de vezels worden ingesloten; ook is een dergelijke bekleding veerkrachtiger dan rubber, met uitzondering van schuimrubber, dat echter moet worden bekleed, omdat het anders zeer snel vuil wordt. Plastica hebben dezelfde nadelen als rubber; de keuze van plastica moet bovendien zeer zorgvuldig geschieden, om het risico te vermijden, dat de weekmaker waaraan de stof zijn mechanische eigenschappen dankt, niet gaat reageren op de weekmaker in de plaat.

Het meest wordt toegepast een bedekking met haren van vilt, kunstzijde of nylon. De draaitafel bespuit men hiertoe eerst met lijm, en daarop worden de vezels gespoten. Een betere methode is het de vezels door een electrostatisch veld (spanning 25.000 à 50.000 V) op de draaitafel te „trekken”. De vezels komen dan alle loodrecht op de draaitafel te staan, waardoor zij dieper in de lijm dringen en het geheel tevens veerkrachtiger wordt. Door een speciale nabehandeling kan de hechting van de vezel aan de draaitafel nog verder worden verbeterd.

### § 3. De toonarm

Na wat op de bladzijden 37 en 41 over de toonarm geschreven is, kunnen wij er hier kort over zijn. De toonarm moet zodanig zijn gelagerd, dat de naald ongehinderd naar het midden van de plaat kan bewegen en niet op een gegeven moment weigert de groef te volgen; dit is ook van belang om de naaldslijtage laag te houden. Bij een goede constructie van het toonarmlager kan een wrijvingskoppel van 10 à 20 gcm worden bereikt, corresponderend met een kracht op de naald van minder dan 1 gram. Ook in verticale richting moet de toonarm licht kunnen bewegen, want platen zijn bijna nooit volkomen vlak, en als het lager voor de verticale beweging te stroef loopt, is versnelde platenslijtage hiervan het gevolg. De betreffende lagere moeten echter een minimale speling hebben, omdat anders de weergavekwaliteit ongunstig wordt beïnvloed. Een belangrijk punt is de zogenaamde toonarm-resonantie. Ook een toonarm heeft een „eigen toon”, waarbij de arm gemakkelijk trilt. Als die toon op de plaat voorkomt, gaat, via de naald, ook de toonarm in dezelfde frequentie tril-

len. Het principe van de toonopnemer is, dat de naald beweegt ten opzichte van het vast in de toonarm bevestigde toonopnemelement. Als nu echter de toonarm zelf, en dus ook het element, meertillen, worden de naaldbewegingen ten opzichte van dat element kleiner of groter, afhankelijk van de omstandigheden. Dientengevolge zal die bepaalde toon, waarvoor de toonarm gevoelig is, verzwakt of versterkt worden weergegeven. Bij een goed ontworpen toonarm is de

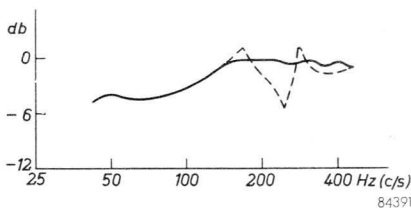


Fig. 49.

*Invloed toonarm op lage-tonen weergave.*

eigen frequentie zo laag, dat deze niet of slechts zelden op de plaat voorkomt, en bovendien zijn maatregelen getroffen om deze eigen resonantie van de toonarm zoveel mogelijk te dempen. De toonarm-lagers spelen hierbij een belangrijke rol. In fig. 49 is een deel van de weergavekarakteristiek getekend van een bepaalde pic-up in twee verschillende toonarmen. Hieruit volgt dat de opgave van een weergavekarakteristiek pas waarde heeft als is vermeld welke toonarm wordt gebruikt.

#### § 4. Het schakelmechanisme

In nagenoeg elke moderne grammofoon is een element aanwezig dat op het eind van een plaat een schakelaar of wisselmechanisme in werking zet. In principe bestaan hiervoor drie verschillende systemen :

##### a) De afstandsschakelaar

Deze treedt in werking als de toonarm in een bepaalde stand is gekomen. Daar de diameter van de laatste muziekgroef op een plaat niet steeds dezelfde is — in het bijzonder bestaan grote verschillen tussen  $33\frac{1}{3}$ , 45 en 78 toeren/min. platen, doch ook tussen exemplaren van hetzelfde soort — moet een dergelijke schakelaar steeds opnieuw worden ingesteld. Men kan dit vereenvoudigen door de schakelaarinstelling met de snelheidsinstelling te koppelen, en dan over de kleinere individuele verschillen tussen platen van één soort maar heen te stappen; doch erg bevredigend is dit niet, en dit is dan ook de reden waarom de afstandsschakelaar thans steeds meer in onbruik geraakt.

##### b) De slingergroefschakelaar

De allerlaatste, in zichzelf gesloten, groef is op vele moderne platen een excentrische cirkel. Als de naald in deze groef komt, krijgt de toonarm diensgevolge een heen en weergaande beweging.

Van het feit dat de toonarm dus regelmatig over een bepaalde afstand van binnen naar buiten gaat, wordt wel gebruik gemaakt om een schakelaar te bedienen. Dit gaat zo : Op een aan de toonarm bevestigde hulparm zit een palletje. Bij het naar binnen bewegen van toonarm plus hulparm, glijdt dit palletje langs de schakelaar. Als de arm naar buiten wordt bewogen, haakt de pal even tegen de schakelhefboom en wordt de schakelaar diensgevolge uitgezet. In de praktijk is de constructie iets ingewikkelder en komen er nog een paar extra hefboomen bij te pas — onder andere opdat door het verder naar buiten bewegen van de toonarm, het apparaat weer ingeschakeld wordt. Ook een wisselmechanisme kan op deze manier in werking worden gezet. Het nadeel van deze schakelmethode is, dat op platen die niet van een excentrische laatste groef zijn voorzien, de schakelaar uit de aard der zaak niet werkt. Hoewel heel veel platen een dergelijke groef hebben, blijkt het aantal platen met een andere uitloopgroef bij analyse van de internationale platenmarkt nog steeds verre van onbelangrijk te zijn. Een voordeel van dit schakelsysteem is, dat ook zonder speciale constructiemaatregelen de toonopnemer met de hand op elk willekeurig punt van de plaat kan worden gezet, dit in tegenstelling tot de in de volgende alinea's te beschrijven methode.

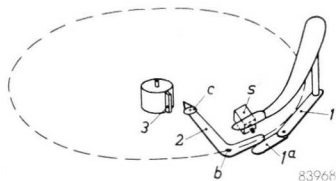


Fig. 50.

*Principe versnellingschakelaar.*

c) **De versnellingschakelaar**  
 Zowel bij platen met een excentrische laatste groef, als bij platen met spiraal-uitloopgroeven, (waarbij de laatste groef een concentrische cirkel is), krijgt de toonopnemer een versnelde binnenwaartse beweging zodra de naald de muziekgroef verlaten heeft en in de uitloopgroef terecht is gekomen. Van deze versnelde beweging kan eveneens gebruik worden gemaakt om een schakelaar te bedienen. Het principe van een dergelijk systeem is in fig. 50 geschetst. Aan de verticale as van de toonarm zit een hulparm 1 bevestigd, die aan het einde een plaatje 1a draagt, dat met enige wrijving ten opzichte van 1 kan draaien. Als de toonarm naar het midden van de grammofoonplaat wordt bewogen, bewegen 1 en 1a mee. Op een gegeven moment komt het plaatje 1a tegen de schakelhaak 2, die bij punt b is gelagerd. De haak 2 kan erg gemakkelijk draaien, en hij wordt door de plaat 1a dan ook linksom gedraaid. Daar de toonarm slechts zeer langzaam over de plaat beweegt, is de draaiende beweging van 2 ook uiterst langzaam, doch op een gegeven moment is de schakelhaak in een zodanige stand gekomen, dat een nok 3 op de draaitafelnaaf of op de draaitafel tegen het rolletje C, dat op de schakelhaak bevestigd zit, aanslaat. Hierdoor wordt de schakelhaak weer iets teruggeduwd; dit kan omdat 1 a ten opzichte van de hefboom 1 bewegbaar is, doch regelmatig wordt door het verder bewegen van de toonarm de haak 2 weer linksom gedraaid en dan door de nok weer teruggeduwd. De bewegingen waarover hier wordt gesproken zijn slechts enkele tiende delen van een millimeter. Zodra de naald in de uitloopgroef komt, worden de toonarm en ook de schakelhaak veel sneller bewogen (ongeveer 6 mm per draaitafelomwenteling). Dan komt de nok 3 niet meer tegen het rolletje C, doch wordt hij opgevangen door de uiterste punt van de schakelhaak, welke dientengevolge omklapt en de schakelaar S bedient of het wisselmechanisme in werking zet.

Dit schakelprincipe werkt op platen met allerlei uitloopgroeven; een bezwaar is alleen, dat het mechanisme ook in werking treedt als de toonopnemer met de hand naar het midden van de plaat wordt gebracht, zodat het spelen van een bepaalde passage uit een opname hierdoor kan worden bemoeilijkt. Door juist dimensionneren van de verschillende onderdelen kan worden bereikt dat het schakelmechanisme pas in werking kan komen als de toonopnemer zich op ongeveer 6 cm van het midden van de plaat bevindt. Daar binnen deze afstand steeds een aantal uitloopgroeven aanwezig zijn, is betrouwbare werking van het mechanisme dan nog verzekerd, en ook kan de naald praktisch zonder moeilijkheden op elk willekeurig punt van het met muziekgroeven gesneden deel van de plaat worden neergezet.

**§ 5. De platenspeler**

In de vorige paragrafen van dit hoofdstuk hebben wij ons zoveel mogelijk tot algemene principes beperkt. De praktische uitvoeringen kunnen onderling echter aanzienlijk verschillen; een enigszins volledige verhandeling over dit onderwerp is

in het kader van dit boek uitgesloten; wij zullen ons moeten beperken tot één voorbeeld.

In fig. 51 is de platenspeler AG 2004 afgebeeld. De motor is van het hiervoren beschreven type: de as loopt verticaal en is aan de bovenkant voorzien van een getrapte poelie. Het tussenwiel kan met behulp van een hefboom op en neer worden bewogen en in 4 standen worden gefixeerd. In de laagste stand wordt het tussenwiel van de poelie en de draaitafelrand afgehouden; in de daarop volgende stand rust het tussenwiel tegen het dikste deel van de poelie en is de draaitafel-snelheid 78 omw./min. De motor met tussenwiel, de hefboom en de bus waarin de hefboom, zijn gezamenlijk bevestigd op een metalen plaat, die op veren rust. Hierdoor wordt voorkomen dat de motortrillingen zich via de montageplaat van „Philite” materiaal naar de draaitafel en toonarm kunnen voortplanten. De draaitafel heeft een z.g. gyroscooplager — boven in de bolle middenpen zit een kogel die rust op een op de montageplaat bevestigde pen. Een dergelijk lager loopt bijzonder licht en zuiver. Onder de draaitafel zit een nok (1) die het schakelmechanisme bedient. Op het toonarm-lager zit de hefboom, die de glijplaat (2) naar deze nok beweegt. Zolang de naald in de muziekgroeven loopt, is de beweging van de glijplaat zeer langzaam en wordt de glijplaat regelmatig teruggeduwd als de nok tegen de plastic buffer (3) duwt. Zodra de naald in de uitloopgroef komt, wordt de glijplaat snel bewogen, en voor de nok tegen de buffer kan komen, is deze reeds tegen de punt van plaat (2) aangekomen, waardoor de glijplaat wordt verschoven en de schakelaar wordt bediend.

Als de toonarm met de hand weer naar buiten wordt bewogen, wordt door de werking van de hefboom de schakelaar weer ingezet. Gelijktijdig met deze netschakelaar wordt de pick-up schakelaar bediend, welke de toonopnemer kortsluit zolang de motor niet draait. Hierdoor worden bijgeluiden, o.a. het gekras in de uitloopgroef, onderdrukt.

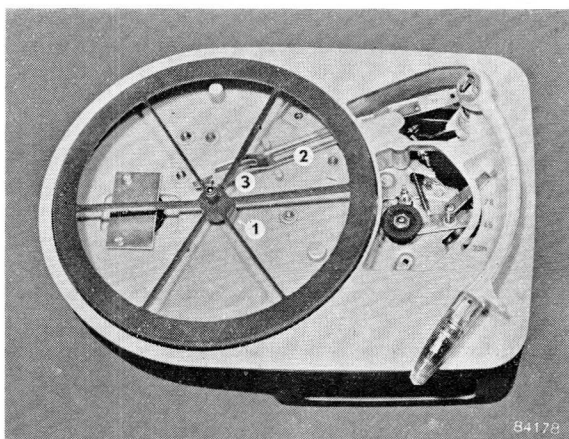


Fig. 51. Platenspeler  
AG 2004  
(opengesneden).

Indien deze platenspeler in een radiogrammofoon of ander apparaat met een ingebouwde luidspreker wordt gemonteerd, wordt de speler op een aantal veren opgehangen. Deze veren dienen om te voorkomen, dat de trillingen van de luidspreker weer op de toonopnemer terecht komen. Deze trillingen zouden op hun beurt door de toonopnemer in elektrische spanningen worden omgezet en weer versterkt aan de luidspreker worden toegevoerd, enzovoorts. Het gevolg van deze akoestische terugkoppeling is, dat de grammofooninstallatie gaat oscilleren, en uit de luidspreker een huilton komt waarvan de toonhoogte onder andere wordt bepaald door de akoestische eigenschappen van de kast. Dit verschijnsel treedt natuurlijk alleen op als de versterking boven een bepaalde waarde komt; bij lage standen van de volumeregelaar zijn de trillingen die uit de luidspreker komen te zwak om een huilton in stand te houden — wel kan dan een zekere vervorming van bepaalde tonen optreden. Microfonie ontstaat soms pas als een bepaalde toon in de muziek aanwezig is; soms is de ruis van de versterker, hoe gering ook, voldoende om het verschijnsel in gang te zetten. Door de platenspeler op veren te bevestigen, wordt voorkomen dat de geluidstrillingen op de toonopnemer kunnen komen, doch een voorwaarde hiervoor is dat de veren voldoende slap zijn.

Het microfonieprobleem beperkt zich niet tot platenspelers, doch alle afspeelapparaten moeten, als zij in dezelfde kast als de luidspreker worden ingebouwd, verend opgesteld worden. Ook als de platenspeler of de platenwisselaar niet in dezelfde kast als de luidspreker is bevestigd, bestaat het gevaar van microfonie — bij voorbeeld als de luidspreker op een vrij slappe vloer staat en de tafel die het afspeelapparaat draagt eveneens niet erg stevig is. Ook als de platenspeler of de wisselaar vlak bij een radioapparaat op dezelfde tafel of kast staat, is de mogelijkheid van microfonie aanwezig.

Deze microfonie kan in ernstige gevallen zelfs veroorzaken dat de grammofoonnaald uit de groef springt; dit kan bijzonder onaangenaam zijn als men voor vrienden de nieuwste platen draait en men de versterker onbewust wat luider laat spelen. Indien dan groefspringen optreedt, hoewel dit van te voren nooit gebeurde, is het verstandig na te gaan of dit niet een gevolg is van akoestische terugkoppeling, en zo ja, de volumeregelaar iets terug te draaien.

## § 6. Platenwisselaars

Bij platenwisselaars treden belangrijke verschillen tussen de verschillende modellen op. Er zijn vele wegen om een bepaald doel te bereiken, en hoewel men uit het grote aantal octrooien zou verwachten dat elke weg nu wel bekend is, blijkt steeds weer dat nog iets nieuws mogelijk is.

De platenwisselaar onderscheidt zich van de platenspeler door de aanwezigheid van een mechanisme dat de toonarm, als een plaat gespeeld is, naar buiten draait en daarna de naald op het begin van een plaat neerzet, en van een mechanisme dat een stapel platen vasthoudt, om op het juiste moment de onderste van zo'n stapel platen vrij te laten, zodat deze op de draaitafel terecht komt.

Platenwisselaars kunnen verschillende eigenschappen bezitten, die wij hieronder willen bespreken.

**a. Platenmaat selectie** De toonarm moet op de een of andere manier weten wanneer de naald boven de eerste groef van de plaat is en dus op de plaat kan worden gezet. Als alle platen dezelfde diameter hebben, bv. 17 cm, is dit natuurlijk eenvoudig. Daar de meeste platenwisselaars voor platen van verschillende diameters zijn ingericht, moet de toonarm naar behoefte kunnen worden ingesteld. Dit kan geschieden met behulp van een knop (handbediening) of doordat de plaat door een „voeler” wordt afgetast. Bij de automatische diameter instelling onderscheidt men nog twee varianten — bij de eerste kunnen alleen platen van gelijke diameter na elkaar gespeeld worden — bij de tweede is het ook mogelijk platen van verschillende diameters willekeurig na elkaar te spelen. Een voordeel van automatisch z.g. gemengd spelen is, dat de bediening hierdoor wordt vereenvoudigd en de kans op vergissingen is uitgesloten.

**b. Onderbreken** Als een knop bediend wordt, treedt het wisselmechanisme in werking; het spelen van een plaat wordt dientengevolge onderbroken, een nieuwe plaat komt op de draaitafel en wordt afgespeeld. De onderbrekingsknop is meestal ook de start (inschakel) knop.

**c. Herhaling** Als de herhalingsknop wordt bediend, wordt een plaat die speelt herhaald. Hierbij zijn weer twee mogelijkheden, namelijk dat zodra de knop wordt ingedrukt de toonopnemer weer naar het begin van de plaat terugkeert of dat eerst de hele plaat wordt afgespeeld.

**d. Pauze** Bij gebruik van een eventueel aanwezig zijnde pauzeknop wordt een onderbreking van meestal 1 à 5 minuten tussen twee platen ingelast.

**e. Stoppen** Vele platenwisselaars stoppen automatisch na de laatste plaat gespeeld te hebben. Soms wordt de laatste plaat herhaald tot de luisteraar het apparaat uitschakelt, soms gebeurt dit niet en blijft de toonarm in een neutrale stand staan, doch moet de netschakelaar door de luisteraar worden bediend.

Bij een aantal platenwisselaars kan door bediening van een speciale knop worden bereikt, dat als de op dat moment spelende plaat, ook als dit niet de laatste is, beëindigd is, de wisselaar zich zelf automatisch uitschakelt. In dit geval kan ook door bediening van onderbrekings- en stopknop de wisselaar direct worden uitgeschakeld. Dit laatste wordt bij andere wisselaars weer bereikt door de toonarm met de hand op de uitschakelpal te plaatsen.

**f. Wisselcyclus** De tijd die nodig is om de toonopnemer van de plaat op te lichten, een nieuwe plaat te laten vallen en de toonopnemer weer op de plaat te zetten is bij 78-toerenplaten gemiddeld 4 seconden, bij 45-toerenplaten ongeveer 7 seconden en bij  $33\frac{1}{3}$ -toerenplaten ongeveer 10 seconden. Sneller is voor een betrouwbare werking niet gewenst, langzamer, hoewel dit ook voorkomt, in principe overbodig. Bij sommige systemen is de wisseltijd voor alle drie draaitafelsnelheden dezelfde — meestal omstreeks 5 seconden.

De belangrijkste eigenschap van een platenwisselaar is diens betrouwbaarheid. Een wisselaar die op de meest onverwachte ogenblikken kuren vertoont is een ergernis. Helaas is het niet mogelijk algemene regels te geven waaraan de betrouwbaarheid kan worden beoordeeld. Indien dit kon, dan zou het ook niet moeilijk zijn een goede

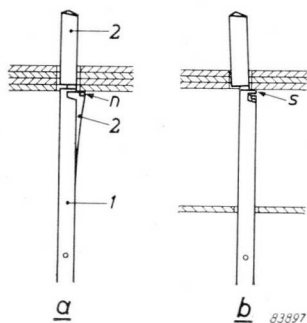


Fig. 52. Wisselpen  
voor platen met klein gat.

platenwisselaar te fabriceren; behalve het ontwerp zijn ook de fabrieks-outillage en de zorg die aan de fabricage en aan de verzending besteed wordt van groot belang. Met behulp van transport, schok- en levensduurproeven kan een fabrikant veel ervaring opdoen, die mits op de goede wijze toegepast, tot een product voert dat jarenlang foutloos functioneert.

De vraag „platenspeler of platenwisselaar” hoeft dus niet vanuit de gezichtshoek der betrouwbaarheid bekeken te worden. Ook wat de geluidsweergave betreft bestaan geen principiële verschillen tussen goed ontworpen platenwisselaars en platenspelers. De wisselaar biedt een groter gemak en ongestoord luisteren, dit is vooral van belang

bij het spelen van 78 en 45 toeren platen. Een voordeel van de wisselaar, dat ook voor langspeelplaten geldt, is dat het mechanisme de toonopnemer voorzichtiger op de plaat zet en hier weer van afneemt, dan men dit met de hand kan doen, zodat het gevaar van krassen op de plaat praktisch is uitgesloten. Bij volautomatische platenspelers is dit voordeel natuurlijk ook aanwezig, de prijs van spelers met automatische toonopnemerplaatsing is echter nagenoeg gelijk aan die van een wisselaar. Soms wordt de vrees geuit dat bij een wisselaar de platen kunnen breken of dat het middengat wordt beschadigd. Dit gevaar is bij een goed ontworpen apparaat uiterst gering — bij laboratorium proeven hebben wij tientallen platen meer dan duizend maal „gewisseld” voordat beschadigingen optraden, wel waren na een dergelijke proef de groeven natuurlijk aardig versleten. Onze ervaring is dat bij normaal gebruik platen praktisch niet slijten, ernstige achteruitgang der weergavekwaliteit wordt eerder door krassen o.a. ten gevolge van het zorgeloos of onhandig opzetten van de toonopnemer, of door stof veroorzaakt. Bij gebruik van een wisselaar wordt de eerstgenoemde oorzaak grotendeels geëlimineerd.

Het probleem dat bij een wisselaar een stapel grammofoonplaten vastgehouden moet worden en dat deze één voor één losgelaten moeten worden zou betrekkelijk eenvoudig zijn als alle platen precies dezelfde dikte hadden, wat helaas niet het geval is. Bij vele oudere typen platenwisselaars rustte de platenstapel op enige uit „torens” stekende messen. Als een plaat moest vallen werden de messen weggedraaid, doch kwamen andere messen, die iets hoger dan de eerste waren, naar voren. Deze werden tussen de onderste en de op één na onderste plaat gedraaid, zodat op het moment dat de onderste plaat zijn steun verloor de rest van de stapel gesteund bleef. Even later, als de messen weer in hun oorspronkelijke stand waren gedraaid, kwam de stapel weer op de onderste messen te liggen. Een nadeel van deze methode is dat een dergelijke wisselaar niet eenvoudig instelbaar te maken is voor verschillende plattendiameters, om over automatisch gemengd spelen nog maar te zwijgen.

Een andere methode waarbij de platendikte minder kritisch is, doch waarbij de toleranties op de platendiameter een grotere rol spelen, is die waarbij een gebogen midden-

pen gebruikt wordt. De platen rusten in het midden op een knik in die pen en aan de rand op een tafeltje — zij bevinden zich hierbij in een schuine stand. Op het moment van wisselen duwt een mes tegen de onderste plaat die diens gevolgde voorbij de knik in de middenpen wordt geschoven en zo langs de pen op de draaitafel kan vallen. Hoewel de instelling voor de diverse platendiameters bij deze constructie minder moeilijk is, blijft het bezwaar bestaan dat gemengd spelen niet mogelijk is.

Bij de modernste constructies rusten de platen op een nok van de middenpen en worden meestal door een zogenaamde platendrukker horizontaal gehouden. De werking van de Philips wisselpen volgt uit figuur 52. Deze pen bestaat uit een vast deel 1 en een beweeglijk deel 2. De platenstapel rust in de neutrale stand (fig. 52a) op de verbrede neus *n* van het beweeglijke deel. Bij het wisselen beweegt deel 2 van de pen naar links. De onderste plaat van de stapel kan deze beweging niet volgen omdat deze door de schouder *s* van de pen 1 wordt tegengehouden (fig. 52b). Daar de neus geheel weggetrokken wordt verliest deze plaat zijn steun en glijdt langs de pen naar beneden. Het luchtkussen onder de zich horizontaal bevindende grammofoonplaat voorkomt dat deze beweging te snel verloopt.

De rest van de platenstapel is door het bovenstuk van het bewegende pen-deel meegenomen en komt op de schouder *s* te rusten. Als daarna, aan het eind van de wisselcyclus dit bewegende deel weer naar de rusttoestand terugkeert, worden de platen hierdoor van de schouder *s* afgeschoven en komen dan op de neus *n* te rusten waarmee de toestand van fig. 52a weer is bereikt. De bewegingen van de pen worden door het wisselmechanisme gestuurd.

De hier beschreven wisselpen moet uit de draaitafel worden getrokken alvorens de gespeelde platen kunnen worden verwijderd. Bij andere constructies wijkt het beweeglijke deel als de platen van onder af langs de pen omhoog worden getrokken en hoeft de pen dus niet te worden verwijderd. Wel moet er dan op worden gelet dat de platen goed horizontaal worden gehouden om te vermijden dat de middengaten worden beschadigd.

De platendikte is bij alle wisselpennen van groot belang. Volgens de internationale normalisatie voorstellen mag de platendikte variëren tussen 1,6 en 2,3 mm. Zou men 2 dunne platen hebben, elk bijvoorbeeld 1 mm dik, dan bestaat het gevaar, dat beide platen tegelijk door de wisselpen losgelaten worden. Een te dikke plaat daarentegen blijft hangen. Daarom is het van belang dat de platendikte-toleranties worden aangehouden. De aard van het persprocédé brengt mee dat deze toleranties vrij groot zijn, kleinere fabrikanten van schellakplaten maken nog al eens te dikke platen, goedkope langspeelplaten zijn soms te dun. Het is van belang om platen die mogelijkerwijze buiten de tolerantiegrenzen zijn met een kaliber te controleren. Voor de platen met een groot gat (38 mm, de 45-toerenplaatjes) is het tolerantieprobleem minder nijpend

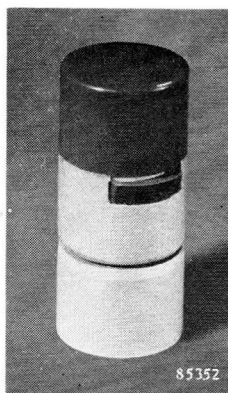


Fig. 53. Wisselpen voor platen met groot gat.



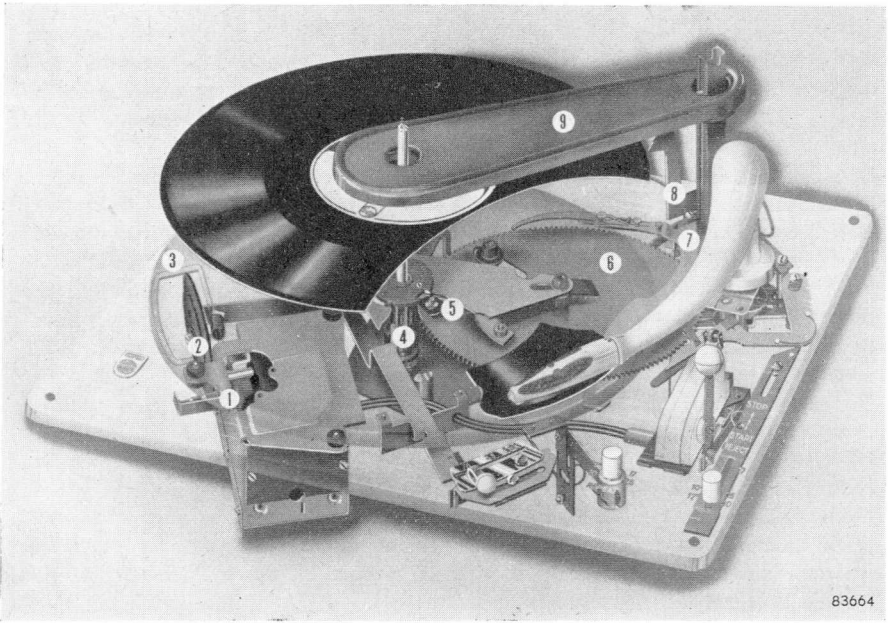


Fig. 54. Platenwisselaar AG 1000.

dank zij de speciale vorm van die platen. De speciale wisselpennen hiervoor (fig. 53) hebben twee stel bovenelkaar geplaatste messen die volgens de op blz. 78 beschreven manier voor het ondersteunen en vrijlaten van de platen zorgen. Men kan hierbij ook een constructie toepassen waarbij een aantal „buffers” die uit de pen naar buiten komen, de platen vastklemmen — voor platen met een klein gat (7,2 mm) is deze methode, gezien de grote krachten die worden vereist en gezien de toleranties op het middengat, minder gewenst.

### § 7. Het wisselmechanisme

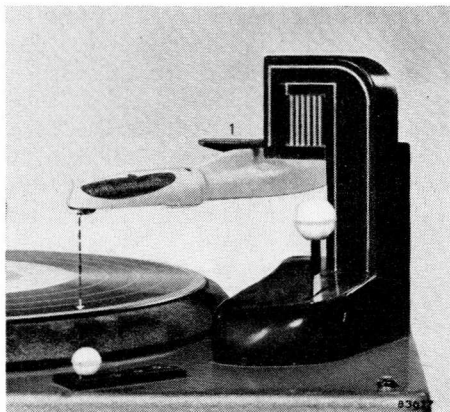
In wisselmechanismen bestaan zoveel variaties dat wij hier alleen maar enige voorbeelden kunen behandelen, naar wij menen van de belangrijkste uitvoeringen. Fig. 54 toont de Philips wisselaar AG 1000 in doorzicht. De draaitafel (3) is hier vaag getekend en wordt via het tussenwiel (2) door de motor (1) aangedreven. Het hefboomstelsel waarmee het tussenwiel verplaatst kan worden is duidelijk te zien. Op de draaitafelnaaf (4) bevinden zich tanden waardoor de commandoschijf (6) aangedreven kan worden. In de ruststand draaien deze tanden vrij rond in de uitsparing bij (5) in de rand van de commandoschijf. Als deze schijf echter een duwtje krijgt, hetzij aan het einde van de plaat door de impulshaak 5 (vergelijk met

fig. 50) of door beweging van een met de starthandle verbonden beugel, gaat de commandoschijf draaien en maakt een complete omwenteling. Tengevolge van deze beweging wordt door een pen, die door het verticale toonarmlager loopt, de toonarm omhoog geduwd. Tevens drukt een stop (6a) tegen het rechter deel van de stuurhaak (7). Deze stuurhaak is met de toonarm verbonden en beide bewegen naar buiten. De commandoschijf zorgt nu ook dat het bewegelijke deel van de wisselpen bewogen wordt en kort daarna komt de stop 6a tegen het linker deel van de stuurhaak waardoor de toonopnemer weer naar de plaat wordt geleid en vervolgens hierop wordt neergezet. De verschillende onderdelen zijn dusdanig bemeten, dat de naald automatisch in de inloopgroef van een 25 cm plaat neergezet wordt. Als echter een 30 cm plaat gevallen is, dan glijdt deze langs de voeler (8) die iets naar achteren schiet. Een hefboom aan de onderkant van die voeler komt dientengevolge omhoog en blokkeert de toonarmbeweging reeds op het moment dat deze in de positie voor het afspelen van een 30 cm plaat is. Daar het linkerdeel van de stuurhaak gedeeltelijk verend is, is deze blokkering zonder schade voor het mechanisme mogelijk. Voor het spelen van 17 cm platen wordt met een knop en schuif een speciale haak voor de stuurhaak gebracht. Het stoppen gebeurt door de toonarm als deze in de buitenste stand is, te beletten weer naar binnen te zwaaien. Als de toonarm dan even later zakt, komt zij niet op de plaat, doch op de schakelaar die tengevolge de motor uitschakelt. Deze blokkering kan geschieden door de platendrukker (9) als deze nadat de laatste plaat gespeeld is naar beneden schiet — of met behulp van de bedieningshandle.

Bij indrukken van de herhalingsknop wordt de wisselpen losgekoppeld van het mechanisme zodat geen nieuwe plaat op de draaitafel komt. Een nok op de commandoschijf brengt de herhalingsknop weer in de neutrale stand zodra de naald op de plaat is gezet.

De platenwiselaar AG 1004 werkt eveneens met een commandoschijf, doch het zetten op de inloopgroef van de plaat wordt op een andere manier gedaan (zie fig. 54a). Als een 25 cm plaat valt, raakt deze de haak (1) die dientengevolge iets naar beneden wordt geduwd en dan in een bepaalde stand wordt vastgehouden. Een vin op de toonarm stoot tegen die haak aan en dientengevolge kan de toonarm niet verder naar binnen bewegen. De haak is zo gedimensioneerd, dat als de toonarm zakt de naald precies in de inloopgroef van een 25 cm plaat komt.

Bij het passeren van een 30 cm plaat wordt de haak verder naar beneden geduwd en in een lagere stand vastgehouden. Dientengevolge wordt de toonarm bij zijn binnenwaartse beweging gedurende het tweede deel van de wisselcyclus reeds eerder geblokkeerd — precies boven de inloopgroef van de 30 cm plaat. Alleen als een 17 cm plaat op de draaitafel komt wordt de haak niet aangeraakt en kan de toonarm dientengevolge vrij naar binnen zwaaien, totdat de stuurhaak — onder de montage plaat — wordt geblokkeerd en de naald op het beginpunt van de 17 cm plaat zakt. Het mechanisme van de in fig. 55 afgebeelde platenwiselaar AG 1003 werkt volgens geheel andere principes. Bij deze ook als automatische platenspeler te gebruiken wisselaar worden de bewegingen van de toonarm gestuurd door een commandotrommel (1 in fig. 55 gedeeltelijk zichtbaar). Deze trommel maakt één omwenteling



*Fig. 54a. Het opzetmechanisme van de platenwisselaar AG 1004.*

zodat de worm gedurende het spelen van de plaat vrij in de aanwezige opening kan ronddraaien. De opening kan echter door een koppelplaatje met een paar tanden worden afgesloten.

Bij het begin van een wisselcyclus wordt dit plaatje voor de opening gebracht, worm en wormwiel worden zodoende met elkaar gekoppeld; als het wormwiel een omwenteling volbracht heeft laat het koppelplaatje de opening weer vrij zodat de worm verder vrij ronddraait en as 2 tot stilstand komt. Het koppelplaatje wordt bestuurd door de stang 3. Als op de startknop 4 wordt gedrukt komt de haak 5 naar voren, die tegen stang 3 drukt waardoor het koppelplaatje voor de opening in het wormwiel komt. Aan het einde van een plaat raakt de met de toonarm verbonden impulshaak 6 de stang 3. Zolang de toonarm nog langzaam naar binnen beweegt wordt de stang 3 regelmatig door een richel op de draaitafel terugbewogen. Zodra echter de naald in de uitloopgroef van de grammofoonplaat is gekomen, wordt de impulshaak 6 met een grotere snelheid bewogen en de stang 3 over een dusdanige afstand verplaatst dat het koppelplaatje voor de opening in het wormwiel komt.

Een rondsel op as 2 beweegt, gedurende de wisselcyclus, de beide bladen van schaar 7 waarin de wisselpen steunt die, dientengevolge, de onderste plaat uit de stapel vrijgeeft en op de draaitafel laat glijden (vergelijk fig. 52).

Een aftaster die uit de z.g. commandokolom steekt wordt door de grammofoonplaat op haar weg naar de draaitafel geraakt en „seint“ de diameter van de plaat naar een beugeltje dat de toonarm belet verder naar binnen te zwaaien op het moment dat de naald boven de inloopgroef van de betreffende plaats is gekomen. De pick-up komt dus steeds volkomen automatisch op de juiste plaats terecht, onverschillig of het een 17, 25 of 30 cm plaat is die moet worden gespeeld.

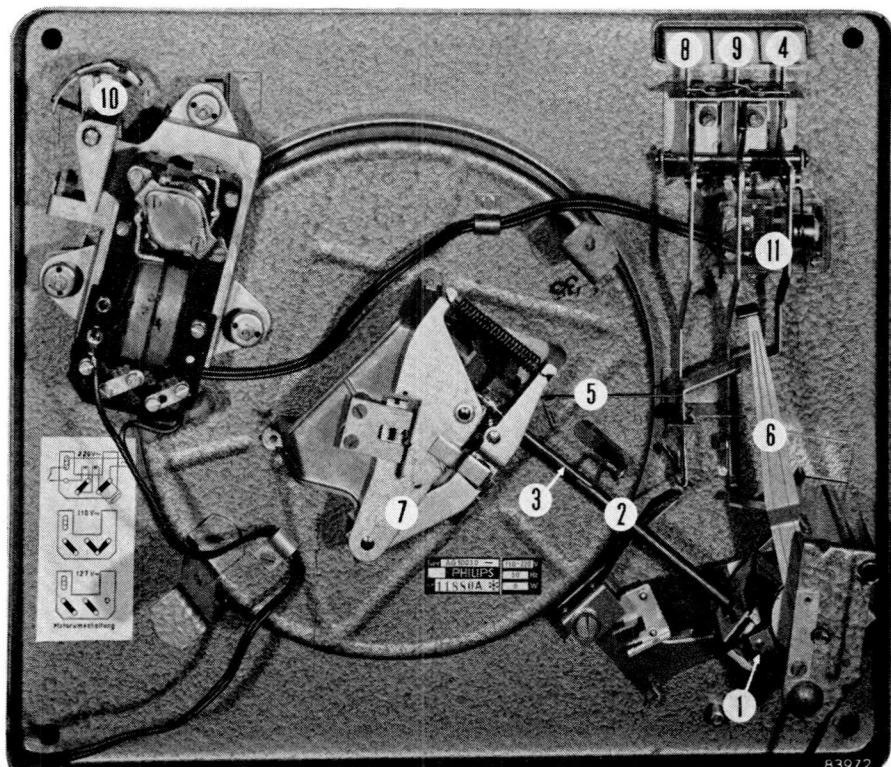
De instelling van de toonarm kan echter ook met de hand geschieden, door de knop 8 meer of minder in te drukken. Terwijl immers voor platen met een speelduur van

3-9 minuten het nut van een wisselaar duidelijk en onomstreden is, komt het vrij dikwijls voor dat maar één langspeelplaat wordt gespeeld. Hoewel de wisselaar de pick-up voorzigtiger op de plaat zet dan mensenhanden dit kunnen doen, is het anderzijds een beetje omslachtig om de plaat ook door de wisselaar op de draaitafel te laten leggen. Bij het hier beschreven afspeelapparaat kan de plaat met de hand op de draaitafel worden gelegd terwijl de toonopnemer automatisch kan worden opgezekt, zodat, zonder enig risico van platenbeschadiging, toch het gewenste bedieningsgemak is verkregen. Het mechanisme zorgt er tevens voor dat, nadat de muziek is beëindigd, de toonopnemer weer automatisch van de plaat wordt gelicht.

Desgewenst kan de toonopnemer natuurlijk ook met de hand op de plaat worden gezet of daarvan afgenomen, zodat het ook mogelijk is alleen bepaalde gedeelten van een plaat te spelen. De wisselaar AG 1003 is dus tevens een automatische en een normale platen-speler.

Drukknop 9 dient om op elk moment de platenwisselaar uit te schakelen. Met de hefboom 10 wordt het tussenwiel verplaatst, als de draaitafelsnelheid moet worden veranderd, bij 11 is de motorschakelaar zichtbaar. Als de toonarm op zijn steun komt wordt, door het gewicht van de toonarm, een pen naar beneden gedrukt die deze schakelaar bedient, de rechts bij 11 zichtbare veer zet de schakelaar in, als op de startknop 4 wordt gedrukt.

Fig. 55. Het wisselmechanisme van de platenwisselaar AG 1003.



## HOOFDSTUK VIII

### VERSTERKERS

#### § 1. Vermogen en vervorming

De door de toonopnemer afgegeven spanningen en stromen zijn veel te zwak om aan de luidspreker te worden toegevoegd en moeten daarom worden versterkt. Dit gebeurt in met buizen of transistoren uitgeruste versterkers. Voor de werking hiervan verwijzen wij naar de speciale literatuur op dit gebied.

Het is wel zeker dat de transistor in de toekomst een belangrijke rol voor de grammofoon gaat spelen. De belangrijkste voordelen van de transistor zijn dat geen gloeidraadspanning nodig is en dat met een lage gelijkspanning, bij voorbeeld 6 of 12 V, kan worden volstaan. Het is voor de schrijver een vaststaand feit, dat de koffergrammofoon met veermotor en zware akoestische weergever in de nabije toekomst volkomen zal worden vervangen door elektrische grammofoons met transistorversterkers, die werken op een paar zaklantaarnbatterijen en waarmee ook langspeelplaten gespeeld kunnen worden. Dan kunnen dus ook daar waar geen elektrisch net is, grammofoonplaten met minimale slijtage en goede weergavekwaliteit afgespeeld worden. Voor voorversterkers biedt de transistor door de lage benodigde spanning en omdat door het ontbreken van een gloeidraad de kans op versterkerbrom veel minder is, duidelijke voordelen. Ook voor de versterker-eindtrap, waardoor een grote energie afgegeven moet worden, zoals voor kwaliteitsweergave de eis is, zijn de geschikte transistoren reeds verkrijgbaar.

Bij elke versterker kunnen de volgende delen worden onderscheiden :

De **eindtrap** waarin spanningen en stromen van dusdanig vermogen worden opgewekt dat hiermee een luidspreker kan worden bedreven. De uitgangstransformator die de luidspreker impedantie aan die van de eindbuis of transistor aanpast heeft ongeveer dezelfde taak als de overbrenging bij een auto, met dit onderdeel wordt bereikt dat de energie-overdracht van eindbuis op luidspreker zo efficiënt mogelijk geschiedt — een auto, waarbij de wielen direct op de sneldraaiende motoras zijn geplaatst, komt nooit op gang — als de overbrenging te klein is kan de auto ook nooit een hoge snelheid ontwikkelen.

De **voorversterker** die de door de toonopnemer afgegeven spanning zoveel versterkt dat deze voldoende wordt om de eindtrap uit te sturen.

Een **toonregeling**, waarmee fouten in de toonbalans gecorrigeerd worden.

Een **volume- of geluidsterkeregelaar**, waarmee de geluidsterkte wordt ingesteld.

Een **tegenkoppelingcircuit** waardoor de niet lineaire en soms ook de lineaire vervorming wordt gereduceerd.

Een **voedingsgedeelte** dat de benodigde gelijk- en wisselspanningen voor de beide versterkergedeelten levert.

Meestal zijn al deze elementen niet gescheiden doch op één chassis ondergebracht, soms wordt een deel van de voorversterker met toon en volumeregeling als een

afzonderlijk apparaat — dan voorversterker geheten — uitgevoerd, de rest noemt men in dit geval — eindversterker. Elke van de hiergenoemde elementen is van belang voor de weergavekwaliteit — als één onvoldoende is, kan het geheel nooit perfect zijn. De eisen die aan een grammofoonversterker worden gesteld zijn vele, de twee bekendste eigenschappen zijn de frequentiekaracteristiek en het afgegeven vermogen, die nauw met elkaar zijn verbonden. Uit het feit dat voor de laagste frequenties de amplitudes van de trillingen het grootst zijn, volgt dat daar ook de grootste vermogens optreden. Indien een versterker voor de weergave van de allerlaagste frequenties geschikt moet zijn, dan betekent dit dus niet alleen dat de frequentiekaracteristiek bij die lage frequenties nog redelijk recht moet zijn, doch ook dat deze versterker geschikt moet zijn om een voldoende groot vermogen aan de luidspreker af te geven. Als voorbeeld diene dat een versterker met een maximaal vermogen van 3 Watt zelfs voor een grote kamer voldoende is als de lage tonen weergave bij 80 Hz begint, bij weergave vanaf 30 Hz moet het vermogen echter 10 watt zijn. In het geval dat het weergavebereik van de 3 watts versterker ook tot 30 Hz doorloopt en de beide versterkers bij afwezigheid van de lage tonen in de muziek op dezelfde geluidsterkte worden ingesteld dan blijkt het verschil pas — maar dan meestal heel duidelijk, zodra lage bastonen in de muziek voorkomen. Hiermee is het feit te verklaren, dat een versterker die met een bepaalde toonopnemer nooit vervormde met een andere toonopnemer, die de lagere tonen beter weergeeft, plotseling wel vervorming laat horen. Hoewel dit een bekend feit is, krijgt toch dikwijls de betere toonopnemer, volkomen onschuldig, door de beperkingen van de versterker een ongunstige beoordeling. Bij de keuze van een kwaliteitsversterker is het dus verstandig om deze niet te klein te nemen, de hierboven gegeven zeer globale getallen — die trouwens nog van het rendement van de luidsprekers afhankelijk zijn — geven een zekere indicatie.

Veelal wordt van een versterker opgegeven welk vermogen deze kan leveren met een vervorming van bijvoorbeeld 5% gemeten bij een frequentie van 1000 Hz. Een dergelijke opgave is niet voldoende want het is best mogelijk dat bij hogere frequenties de vervormingsgrens reeds bij een veel lager vermogen wordt bereikt, bijvoorbeeld doordat de tegenkoppeling bij die hoge frequenties niet meer werkzaam is of wel omdat de gevoeligheid van de versterker dermate gezakt is dat de ingangsspanning aan de versterker zo groot moet worden, dat de voorversterker gaat vervormen. Een te kleine uitgangstransformator heeft vooral bij de lage tonen een ongunstige invloed op het zonder vervorming af te geven vermogen. In figuur 56a zijn de karakteristieken van het vermogen bij 5% vervorming voor een goede en een slechte versterker getekend, beide met gelijk vermogen bij 1000 Hz. In figuur 56b zijn de karakteristieken van beide versterkers op een andere manier getekend, de lijnen geven in deze grafiek aan hoeveel de vervorming bij diverse vermogens en frequenties is. Hierdoor wordt het verschil wel duidelijk geïllustreerd.

Zoals reeds bij de toonopnemers werd vermeld, geeft de intermodulatie vervorming een duidelijker beeld van de eigenschappen van een weergaveinstallatie dan de met één enkele toon gemeten vervorming. Het is de gewoonte om intermodulatie-vervorming te meten door één spanning van lage en één van hoge frequentie gelijktijdig aan

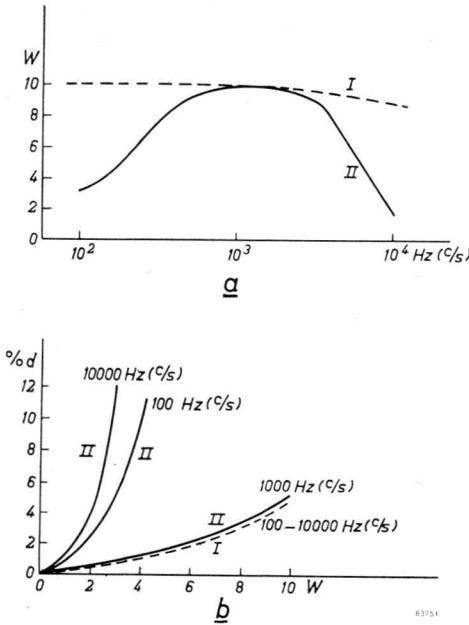


Fig. 56. Vermogen en vervorming van twee verschillende versterkers.

de versterker toegevoerd wordt. Figuur 57c laat het vervormde signaal aan de uitgang van de versterker zien, de toon met de laagste frequentie wordt met een filter hieruit verwijderd zodat de in figuur 57d afgebeelde trilling overblijft. Vergelijking van figuur 57a en d laat duidelijk de vervorming zien — de hoge toon is, om in radiotermen te spreken, gemoduleerd door de trilling van lage frequentie terwijl hierbij frequentieverdubbeling aanwezig is. De intermodulatie-vervorming is nu de modulatie diepte van de vervorming op het signaal van de hoogste frequentie dus :

$$\text{I.M.} = \frac{A - B}{A + B} \times 100\%.$$

Hierin is A tweemaal de grootste amplitude van de in d afgebeelde trilling en B tweemaal de kleinste amplitude.

Het is de gewoonte om van versterkers de intermodulatiekromme op te geven, dit is het verband tussen intermodulatievervorming en afgegeven vermogen. Op dit punt zijn de geleerden het nog niet helemaal eens. Men kan zeggen, dat de ergste vervorming optreedt op de ogenblikken dat het somsignaal de grootste sterkte heeft en voor die ogenblikken het piekvermogen uitrekenen. De spanning van de luidspreker heeft dan een waarde  $V_1 + V_h$  en het zo berekende vermogen is dan

$$\left( \frac{V_1 + V_h}{\sqrt{2}} \right)^2 : R_l,$$

als  $V_l$  en  $V_h$  de amplitudes van respectievelijk de lage en de hoge toon zijn en  $R_l$  de luidspreker impedantie is.

Daar  $V_l = 4 V_h$  is het piekvermogen dus  $12\frac{1}{2} V_h^2 : R_l$ .

Men kan echter ook het gemiddelde afgegeven vermogen berekenen en dat is :

$$\left(\frac{V_l}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{V_h}{\sqrt{2}}\right)^2 : R_l.$$

Door weer  $V_l = V_h$  in te vullen vindt men voor het gemiddelde vermogen  $8\frac{1}{2} V_h^2 : R_l$ .

Meestal wordt de intermodulatie als functie van het piekvermogen opgegeven.

In figuur 58 is de intermodulatiekromme getekend (getrokken lijn a) van een High Fidelity versterker type AG 9000. Deze kromme bestaat uit een nagenoeg horizontaal deel dat vrij abrupt in een bijna verticaal deel overgaat. Algemeen wordt aangenomen, dat de intermodulatie vervorming pas merkbaar wordt indien deze 2 % overschrijdt en bij High Fidelity versterkers poogt men dit punt daarom bij een zo hoog mogelijk vermogen te leggen en neemt dan op de koop toe dat daarboven de vervorming zeer snel toeneemt. Bij gewone versterkers verloopt het eerste deel van de kromme minder vlak en het tweede deel dientengevolge minder steil (streeplijn b in figuur 58).

Als vuistregel kan men aannemen dat de intermodulatievervorming van een goede versterker waarbij de vervormingskromme dus vrijwel recht loopt (zie figuur 56) ongeveer 3 à 4 maal zo hoog is als de niet lineaire enkel-toon vervorming. Dit betekent dus dat voor onvervormde weergave de enkel-toon vervorming slechts 0,5 % mag bedragen — dit is dus heel wat anders dan de 5 of 10% van conventionele versterkers.

Naast de intermodulatievervorming kent men ook nog de zgn. verschiltoon vervorming. Deze is aan de voorgaande verwant, alleen worden hierbij de frequenties veranderlijk genomen en wel wordt uitgegaan van een toon die continu wordt veranderd van bijvoorbeeld 3000 tot 20000 Hz en een tweede even sterke toon die op elk moment 1000 Hz lager is

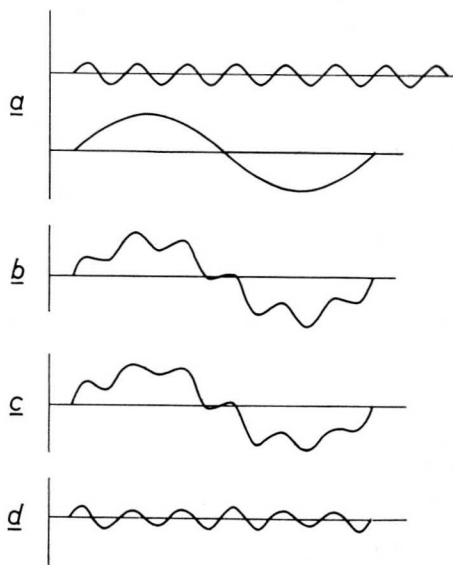


Fig. 57. Intermodulatievervorming:  
 a) De twee meetsignalen  
 b) Het samengestelde meetsignaal  
 c) De vervormde uitgangsspanning  
 d) De vervormde hoge toon.



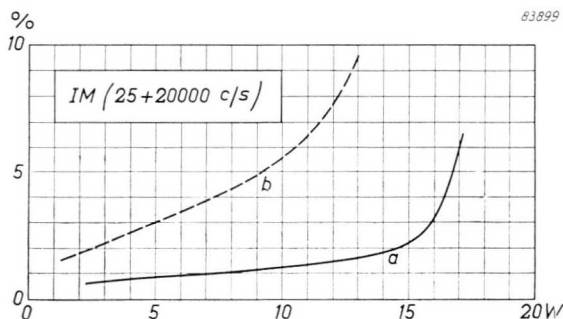


Fig. 58. Intermodulatie krommen:  
a) versterker AG 9000 b) gewone versterker

trekkelijk weinig wordt toegepast kan bepaalde fouten die aan de intermodulatie meting (doch niet aan het oor) ontsnapt duidelijk aantonen.

## § 2. Impulsgeluiden en ultrasonore trillingen

De stelling dat de frequentiekaracteristiek van een High Fidelity versterker ook buiten het hoorbare gebied recht moet doorlopen, wordt niet altijd voetstoots aangenomen. Het is inderdaad niet voor de hand liggend dat afwijkingen in de weergave bij frequenties die zo hoog of zo laag zijn dat deze niet meer kunnen worden waargenomen en zelfs niet meer in de muziek voorkomen, toch de weergave kunnen beïnvloeden. Indien de weergavekromme bijvoorbeeld bij 25000 Hz snel afvalt, wordt het weergegeven geluid hierdoor iets scherper van klank, net zoals trouwens het geval is als de weergavekaracteristiek reeds bij een hoge nog hoorbare frequentie snel afvalt. De verklaring van dit verschijnsel, dat berust op het optreden van fase draaiingen in het afvalgebied valt buiten het kader van dit boek en het treedt natuurlijk alleen op als de toonopnemer bij de hoogste frequentie nog werkzaam is.

Het op het eerste gezicht onverwachte resultaat hiervan is dat de platenruis bij een versterker waarvan de weergavekaracteristiek voldoende recht verloopt tot 50000 Hz zwakker en minder scherp klinkt dan bij gebruik van een versterker die bij 20000 Hz snel afvalt of een resonantiepiek in de weergavekromme vertoont. In het lage tonen gebied moet in het bijzonder tegen resonanties bij sub-hoorbare frequenties gewaarschuwd worden. Indien de toonopnemer voor deze frequenties nog gevoelig is kunnen trillingen van onhoorbaar lage frequenties, die bijvoorbeeld door het lopen in de kamer of het passeren van een auto ontstaan, zoveel versterkt worden dat deze de versterker overbelasten, waardoor de muziek af en toe op onverklaarbare wijze wordt vervormd. Bovendien kan als een toon plotseling inzet of ophoudt de resonantiekring uit gaan trillen in de resonantie-frequentie waardoor eveneens overbelasting van de versterker kan ontstaan.

Voor High-Fidelity weergave is als eis te stellen dat de karakteristiek recht moet zijn binnen 2 db van 20 tot 20000 Hz en binnen 5 db van 10 tot 50000 Hz. In het hele gebied van 10 tot 50000 Hz mogen geen uitgesproken resonanties optreden. Deze

eis is niet eenvoudig doch er kan aan worden voldaan. Van bijzonder belang is ook de juiste weergave van impulsgeluiden. De tonen van tal van muziekinstrumenten zetten zeer abrupt in en trillen dan langzaam uit. Voorbeelden hiervan zijn een aantal slaginstrumenten doch ook de viool, want een enkele viooltoon bestaat uit een hele serie achtereenvolgende geluidsimpulsen. De weergave van een dergelijk impulsgeluid kan door verschillende factoren beïnvloed worden. Indien een deel van de versterker een bepaalde resonantie vertoont en dus signalen in een zeker frequentiegebied extra versterkt, dan blijkt dit uit de weergavekarakteristiek die bij de betreffende frequenties een piek heeft. Als een impulsgeluid aan de versterker toegevoerd wordt dan geeft de versterker niet alleen dat geluid weer (fig. 59a) doch begint tevens te trillen bij de resonantiefrequentie zodat het gewenste signaal door een storing vergezeld wordt. (fig. 59b). Dit komt omdat het resonerende deel door het plotseling inzetten of wegvallen van de impuls aangestoten wordt en gelijk een slinger van een klok door een enkele stoot lange tijd in beweging kan blijven, zo kan een dergelijke resonantie-trilling langer duren dan de toon die hem veroorzaakte.

Resonanties treden op als naast capaciteiten ook zelfinducties (spoelen) in de schakeling aanwezig zijn. Door een verkeerd gelegde bedrading kan een zelfinductie ontstaan die tezamen met de capaciteit van een ontkoppelcondensator bij een hoorbare frequentie resoneert, in het bijzonder de onvermijdelijke zelfinductie van de ontkoppelcondensator kan de schuldige zijn. Een zelfinductie van 1 millihenry tezamen met een capaciteit van 0,5  $\mu\text{F}$  resoneert bij 7000 Hz en waarden in deze orde van grootte komen gemakkelijk voor. De parasitaire capaciteiten van de uitgangstransformator kunnen eveneens met de zelfinductie van de transformatorspoelen hinderlijke resonanties veroorzaken. In feite is het ontwerpen van een goede uitgangstransformator een van de moeilijkste punten bij het versterker-ontwerp. Tot nu toe is een meetsignaal afgebeeld, impulsgeluiden hebben meer het karakter van figuur 59c. Terwijl men uit figuur 59b zou verwachten dat vooral de parasitaire trillingen aan het einde van de impuls storend zijn — omdat deze dan niet meer in zekere mate door het geluid zelf gemaskeerd worden, blijkt dus, daar bij muziek het einde van de impuls niet zo abrupt is als bij de meetimpulsen, dat vooral de verschijnselen die bij het inzetten van de toon optreden van belang zijn. Twee versterkers waarvan de vermogens en de frequentiekarakteristieken gelijk zijn, afgezien van eventuele resonantiepieken, kunnen op muziek geheel andere resultaten geven en als viooltonen onnatuurlijk klinken, kan de oorzaak hiervan soms in de sprongkarakteristiek te vinden zijn.

Ook resonanties in het ultra sonore gebied kunnen funest zijn. Indien tengevolge van de een of andere impuls een resonantie trilling ontstaat dan trilt deze langzaam uit. Zo een gedempte trilling blijkt door trillingen met een lagere frequentie dan de resonantie-frequentie vergezeld te gaan. Deze laatste kunnen zeer wel in het hoorbare gebied liggen. Een dergelijk iets treedt ook bij vonk-zenders op, deze zijn hoorbaar over een geheel frequentiegebied en niet alleen op de officiële golf lengte van de zenders. Bij radiostoringen is hetzelfde waar te nemen. Deze zijn bij een bepaalde golf lengte het ergste doch zijn over een heel golfbereik, en dan meestal bij lagere frequenties (langere golf lengten) eveneens hinderlijk.

### § 3. Brom en ruis

Met recht wordt van een versterker geëist dat deze alleen dat weergeeft wat er aan is toegevoerd en brom- en ruisgeluiden moeten zo zwak mogelijk zijn. Dit is niet altijd even eenvoudig. Ten eerste ontstaat in elke versterkbuis of transistor en in elke weerstand een zekere hoeveelheid ruis. Als de versterking hoog genoeg is kan deze ruis hoorbaar worden en dit geval kan zich voordoen bij zeer gevoelige versterkers, bijvoorbeeld voor electro-dynamische toonopnemers. Ten tweede ontstaat in de versterkerbuizen brom, veroorzaakt door de met wisselstroom gevoede gloeidraden en verder door het feit dat de door gelijkrichting van de wisselspanning van het lichtnet verkregen gelijkspanning altijd een kleine wissel-rimpelspanning heeft.

Ook magnetische en elektrische velden afkomstig van de nettransformator of het leidingnet kunnen een kleine wisselspanning op de ingang van de versterker veroorzaken. Proefondervindelijk is aan te tonen dat een 10 watts versterker waarbij het stoorniveau 60 db onder deze 10 watt ligt, als storingsvrij kan worden beschouwd. Gedurende de muziek is dan niets van de brom of ruis te horen, alleen als de toonopnemer niet op de plaat staat en er dus ook geen platenruis is kan in een stille omgeving nog juist iets van de storinggeluiden worden gehoord als men tenminste over

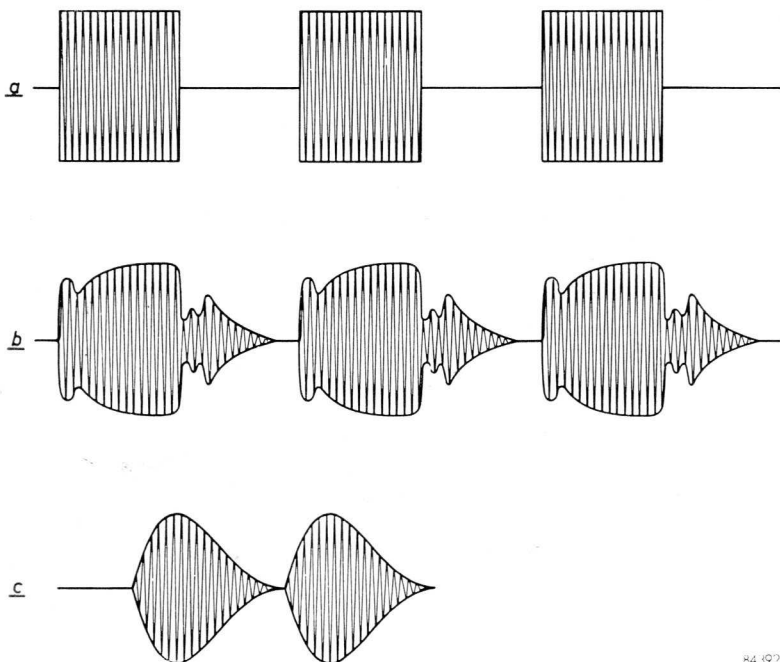


Fig. 59. Vervorming van impulsen:

a) Het onvervormde signaal    b) De vervormde spanning    c) Muziektoon

werkelijk goede oren beschikt. Dit betekent dat dan 0,00001 watt = 0,01 milliwatt aan de luidspreker toegevoerd wordt. Indien voor een uitgangsvermogen van 10 watt aan de versterker 0,1 V ingangsspanning moet toegevoerd worden, dan is de ingangsspanning die een stroomniveau van 0,01 milliwatt veroorzaakt 1000 maal zo klein en dus slechts 0,0001 V dat is 0,1 mV. Daar in elke versterker wisselspanningen van 200 Volt of meer voorkomen betekent dit dat de afscherming dusdanig moet zijn dat minder dan één tweemiljoenste deel hiervan op de versterkingang terecht komt. Daarom moeten de draden in een versterker zeer zorgvuldig worden gelegd en is een goede aardleiding in de versterker van groot belang. Als namelijk wisselstromen door het chassis vloeien, bijvoorbeeld van een afvlakcondensator naar een ander punt, dan kunnen deze wisselstromen reeds een ontoelaatbaar sterke bromspanning op de ingangsledingen van de versterker induceren. De eisen, die aan de afvlakking van de anodespanning gesteld moeten worden zijn natuurlijk, indien men de hierboven gegeven waarden aan wil houden, bijzonder hoog. Het is wellicht goed er op te wijzen dat als de versterker te veel bromt, de bromspanning reeds een gedeeltelijke uitsturing van de eindtrap veroorzaakt. Door sterke signalen wordt deze dientengevolge eerder overbelast dan wanneer geen brom aanwezig is. In het geval de luidspreker de laagste frequenties niet weergeeft zijn de eisen die aan afvlakking en afscherming gesteld moeten worden veel lichter, doch bij te sterke brom kan toch vervorming optreden, waarvan, juist omdat het brommen zelf niet hoorbaar is, de oorzaak meest niet snel wordt gevonden.

#### § 4. Toonregeling

Daar de platen niet met een rechte frequentiearakteristiek worden opgenomen, moeten in de versterker correcties worden aangebracht, ook als dit op de juiste wijze is gedaan dan blijkt dat extra regeling van zowel de hoge als de lage tonen dikwijls gewenst is. Dit kan verband houden met persoonlijke smaak, vele luisteraars houden er van om de lage tonen iets (of soms veel) te accentueren, anderen horen graag de hoge tonen iets te sterk of wat te zwak. Ook de akoestische eigenschappen van de kamer hebben een invloed op de uiteindelijke klank en tenslotte blijkt dat bij platen die officieel met dezelfde opname-karakteristiek gesneden zijn, onderling nog wel eens verschillen bestaan. De toonregeling dient dus als aanvulling op de afspelcorrectie. Toonregeling en correcties kunnen worden verkregen met behulp van schakelingen waarin weerstanden, condensatoren en spoelen voorkomen.

In een goede versterker worden echter nooit spoelen gebruikt omdat deze, tezamen met de altijd aanwezige capaciteiten zeer gauw bij een hoorbare frequentie resonanties veroorzaken. Men gebruikt dus alleen weerstand-condensator combinaties. De frequentiearakteristiek kan op verschillende manieren worden beïnvloed. In het tegenkoppelcircuit kan een combinatie van weerstanden en condensatoren opgenomen worden waardoor de tegenkoppeling in een bepaald frequentiegebied sterker of zwaker wordt dan bij andere frequenties en de versterking dus respectievelijk minder of meer. Deze methode wordt voor kwaliteitsversterkers echter niet veel toegepast omdat zij gauw leidt tot een zekere instabiliteit van de versterker en de sprongkarakteristiek slechter wordt. Men plaatst de filters dus ergens in het normale ver-

sterkerircuit en dan bij voorkeur op een plaats waar de versterking klein is omdat, als een toonfilter gebruikt wordt direct na een versterkerbuis die een grotere versterking geeft, de sprongkarakteristiek slechter wordt. Toonregeling is duurder dan men denkt want wat met de weerstanden en condensatoren wordt gedaan is bepaalde spanningen meer verzwakken dan andere spanningen. Het zogenaamde ophalen van lage of hoge tonen betekent alleen maar dat de betreffende spanningen niet zo veel verzwakt worden als respectievelijk de spanningen van hogere of lagere frequenties. Als de lage tonen bijvoorbeeld tot 12 db sterker weergegeven moeten worden dan de midden- en hoge tonen betekent dit dat de toonregelingsschakeling deze laatste 12 db verzwakt en dat om de versterker vol te kunnen uitsturen, dus 12 db meer versterking nodig is dan wanneer de toonregeling niet aanwezig is.

Het lastigste in dit opzicht is wel de afspeelkarakteristiek correctie welke, zoals uit figuur 37 volgt, een versterkingsverlies van omstreeks 18 db te weeg brengt, dat is dus ongeveer 8 maal ten opzichte van de bij „rechte” weergave optredende versterking. Indien het correctiefilter voor de ingang van de versterker wordt geplaatst blijft er gauw te weinig van de door de toonopnemer gegeven spanning over zodat de brom en de ruis van de versterker te veel naar voren komen. Het is dus wenselijk om de toonopnemerspanning eerst te versterken, echter ook weer niet te veel, om de sprongkarakteristiek niet te bederven. De correctietrap geeft daarom in een goede versterker hoogstens 3 of 4 maal versterking.

In figuur 60 zijn de principe-schema's van twee correctietrappen getekend, bij a voor gebruik van een triode, bij b voor een penthode. Beide zijn berekend voor de IEC karakteristiek (1 in de figuren 37 en 38).

Het is duidelijk dat elektrische afspeelcorrecties niet altijd nodig zijn, namelijk in het geval dat in de toonopnemer langs mechanisch-akoestische weg reeds een zekere mate van correctie is aangebracht. Een voorbeeld hiervan is de weergavekromme van de toonopnemer AG 3013 voor langspeelplaten. De enige correctie die hier nodig is, is een zekere verzwakking van de hoge tonen — het ophalen van de lage tonen is hier overbodig.

Toonregeling bestaat in de eenvoudigste gevallen uit regeling van de hoge tonen en wordt dan bereikt door een serieschakeling van een vaste condensator en variabele weerstand, aan de luidspreker-transformator parallel te schakelen. Hiermee kan alleen

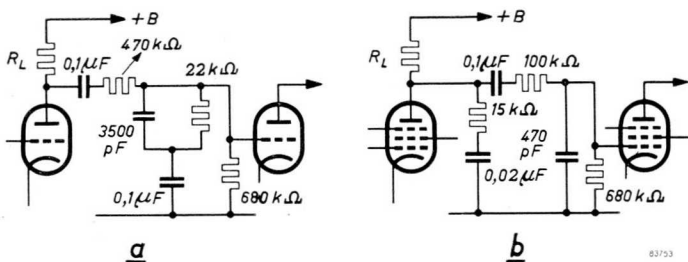


Fig. 60. Afspeelcorrectiefilters: a) Met triode b) Met penthode.

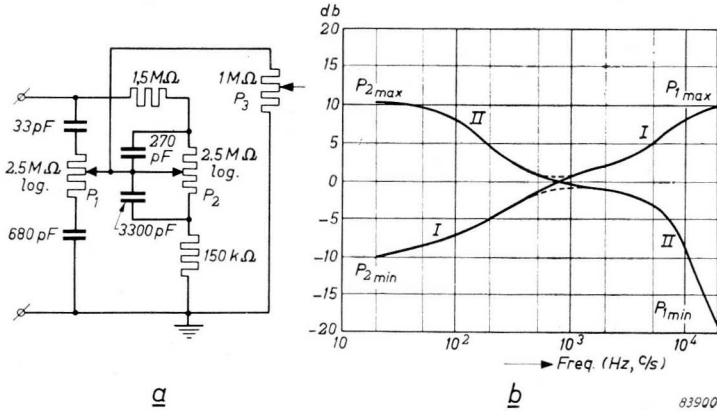


Fig. 61. Schakeling voor regeling van lage en hoge tonen.

een regelbare verzwakking van de hoge tonen weergave der versterker bereikt worden. Als een toonopnemer met een voor de hoge tonen olopende karakteristiek gebruikt wordt dan loopt de totale weergavekromme bij de maximale stand van de weerstand op, bij de minimale valt de hoge tonen weergave een zeker bedrag af. Geschikte waarden zijn  $50.000 \text{ pF}$  en  $0,1 \text{ Megohm}$  doch voor kwaliteitsversterkers is een dergelijke toonregelingsmethode minder geschikt. Bovendien heeft niet elke toonopnemer een bij hoge frequenties olopende karakteristiek en tenslotte is ook regeling van de lage tonen gewenst en daar wij hier over High-Fidelity weergave spreken, zelfs noodzakelijk om compensatie van de verschillen tussen de diverse opnamekarakteristieken mogelijk te maken.

Een schakeling welke onafhankelijke regeling van de hoge en lage tonen mogelijk maakt en waarbij zowel versterking als verzwakking mogelijk is wordt in figuur 61 gegeven. De verzwakking die dit toonfilter bij  $1000 \text{ Hz}$  geeft bedraagt omstreeks  $20 \text{ db}$  en de in figuur 61 b getekende krommen gelden als een kristaltoonopnemer met een inwendige capaciteit van  $2000 \text{ pF}$  aangesloten wordt.

Het totale versterkingsverlies dat door toonregeling en afspeelcorrectie wordt veroorzaakt bedraagt dus ongeveer  $38 \text{ db}$ , dat is bijna  $100$  maal en dit betekent in vele gevallen dat een extra versterkerbuis zal moeten worden toegevoegd. Dit kan op de beste manier worden gedaan door een toonregelingsschakeling te combineren met een correctieschakeling. Een dergelijke combinatie met een totaalversterking van  $4$  maal is in figuur 62 getekend. Het is wel mogelijk meer versterking uit deze correctietrap te halen doch dan bestaat weer het gevaar van ongewenste uitslingeringsverschijnselen welke de weergave ongunstig beïnvloeden.

### § 5. Geluidsterkte regeling

Ook over de volumeregeling is nog iets te vertellen. Het menselijk gehoor is niet voor alle frequenties even gevoelig, de gevoeligheid is het grootst bij de middenfrequenties

en neemt voor lagere en hogere frequenties af. In figuur 63 is dit verschijnsel grafisch voorgesteld en hieruit blijkt dat bij grotere geluidsterkte (1) zoals bij een luidspelende grammofoon mogelijk is (zij het op gevaar van burengerucht) de gevoeligheidsverschillen betrekkelijk gering zijn. Als de geluidsterkte zwak is, ongeveer het zachtste wat bij grammofoonweergave te verwachten is (3), dan is de oorgevoeligheid voor de laagste frequenties aanzienlijk minder geworden. De middelste van de drie lijnen (2) geeft ongeveer het normale luisterniveau aan. Uit deze grafiek volgt dat als de volumeregelaar van een grammofoon teruggedraaid wordt niet alleen de geluidsterkte minder wordt, doch dat ook het timbre van het geluid verandert. Om dezelfde klankkleur te behouden, is het bij verlaging van het geluidsvolume dus ook nodig de toonregeling te bedienen. Het is niet nodig en zelfs niet gewenst het verlies in oorgevoeligheid voor de laagste frequenties bij lagere geluidsterkten volkomen te corrigeren. Hetzelfde effect treedt ook op bij luisteren naar oorspronkelijke muziek en is bijvoorbeeld waar te nemen als een harmonie passeert — de muziek klinkt vlakker als het harmonieorkest ver van de luisteraar is verwijderd, voller als de band vlak bij is. Mede op dit effect berust ons vermogen om de afstand die ons van een geluidsbron scheidt te schatten. Indien men poogt dit fysiologische effect volkomen te compenseren is het uiteindelijke resultaat onnatuurlijk en naar onze smaak daarom niet fraai.

Uitgaande van het feit dat kromme 2 van figuur 63 bij normale geluidsterkte opgenomen is, kunnen bij grote geluidsterkten de lage tonen iets verzwakt worden bij voorbeeld 5 db bij 100 Hz en bij zeer zachte weergave is een correctie van ten hoogste 10 db bij 100 Hz toelaatbaar.

In sommige radioapparaten en versterkers wordt een zogenaamde fysiologische geluidsterkteregeling toegepast. Dit wil zeggen dat als de volumeregelaar in de richting

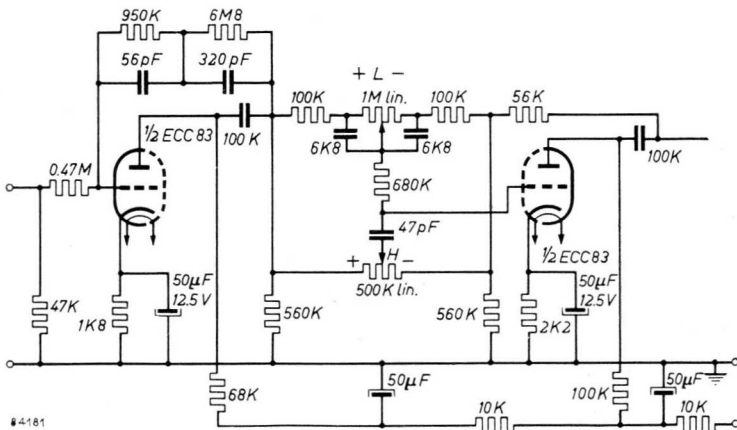


Fig. 62. Voorversterker met toonregeling en afspeelcorrectie.

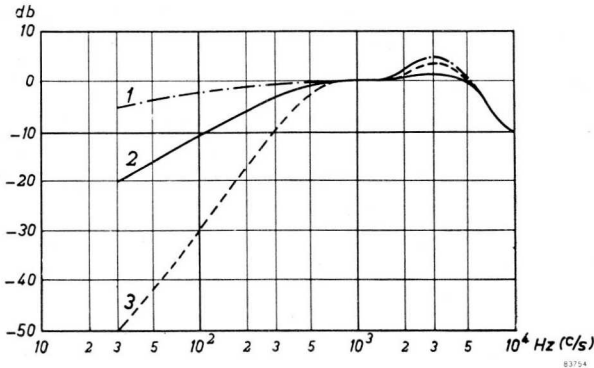


Fig. 63. Oorgevoeligheidskarakteristieken:  
 1) Hoge geluidsterkte 2) Normale geluidsterkte  
 3) Lage geluidsterkte

„zachter” wordt gedraaid, de lage tonen iets minder dan de midden of hoge tonen verzwakt worden. Voor grammofoonversterkers heeft physiologische volumeregeling het nadeel dat deze slechts voor één type toonopnemer goed kan werken, voor andere typen met een hogere of lagere uitgangsspanning krijgt men respectievelijk een te sterke of te zwakke werking van de physiologische volumeregeling. Het is duidelijk dat ook het vertrek, waarin de installatie staat een grote invloed op de uiteindelijke resultaten heeft. In een groot vertrek is de geluidsterkte bij een bepaalde stand van de volumeregelaar kleiner dan in een kleine kamer; terwijl bij een radioapparaat vrij goed te voorspellen is hoe groot het vertrek zal zijn waarin het gebruikt wordt, blijkt dit bij een grammofoon moeilijker te zijn. Om deze redenen wordt bij de grammofoon physiologische volumeregeling zelden toegepast.

## § 6. Tegenkoppeling

Een belangrijk deel van de versterkerschakeling, dat weliswaar soms in advertenties wordt vermeld, doch de leek niets zegt, is het tegenkoppelingscircuit. De hoofdfunctie hiervan is de niet-lineaire vervorming te verminderen. Hoe dit bereikt wordt zullen wij aan de hand van een voorbeeld uiteenzetten.

Stel dat aan een versterker een spanning van 0,1 Volt wordt toegevoerd met een frequentie van 1000 Hz. De versterking is 100-voudig en de tweede harmonische vervorming bedraagt 10%. Aan de uitgang van de versterker is dan aanwezig een spanning met een frequentie van 1000 Hz van 10 V, en een vervormingsspanning van 1 V met een frequentie van 2000 Hz. Van deze uitgangsspanning wordt 1/200 deel weer aan de ingang toegevoerd en wel op een zodanige manier dat de teruggevoerde uitgangsspanning de oorspronkelijke ingangsspanning tegenwerkt. Dan is op dat moment op de ingang van de versterker aanwezig  $0,1 \text{ V} - 0,05 \text{ V} = 0,05 \text{ V}$  1000 Hz en  $0,005 \text{ V}$  2000 Hz.



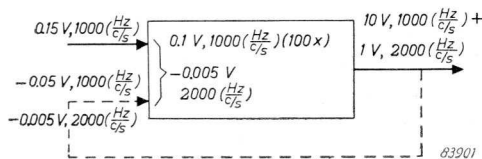


Fig. 64. Schematische voorstelling van terugkoppeling.

Het is duidelijk dat tengevolge van deze tegenkoppeling de uitgangsspanning met een factor 2 daalt, om deze op peil te houden moet de uitwendige spanning die aan de versterker wordt toegevoerd tot 0,15 Volt verhoogd worden (zie fig. 64), dan is de werkelijke spanning weer  $0,15 - 0,05 = 0,1 \text{ V}$ . De 0,005 V spanning van 2000 Hz

wordt door de versterker 100 maal versterkt en is bij de uitgang zodoende 0,5 V geworden en is zodanig gericht dat hierdoor de oorspronkelijke aan de uitgang aanwezige vervormingsspanning wordt tegengewerkt. Deze zakt dientengevolge tot  $1 - 0,5 \text{ V} = 0,5 \text{ V}$  zodat niet 0,005 V doch slechts 0,0025 V vervormingsspanning naar de ingang van de versterker wordt teruggevoerd. Hierdoor is de vervormingscompensatie geringer dan hierboven werd berekend en bedraagt de uiteindelijke vervorming  $6\frac{2}{3}\%$  inplaats van 10% zonder tegenkoppeling. De totale versterking is echter ook slechts  $\frac{2}{3}$  van de oorspronkelijke versterking geworden zodat meer voorversterking nodig is. De vervormingsreductie is hier maar weinig, indien echter  $\frac{1}{200}$  inplaats van  $\frac{1}{200}$  deel van de uitgangsspanning teruggevoerd was, werd de vervorming tot 1,6% gereduceerd en dat is wel de moeite waard. Weliswaar wordt dan ook de versterking een factor 6 kleiner doch daar het grootste deel van de vervorming in de eindtrap ontstaat en de voorversterker betrekkelijk weinig vervorming veroorzaakt, kan het versterkingsverlies door uitbreiding van de voorversterker zonder nadelige gevolgen worden gecompenseerd. Dit wil niet zeggen dat deze methode van vervormingsvermindering geen problemen met zich meebrengt. Wij schreven dat een deel van de uitgangsspanning aan de ingang moet worden teruggevoerd zodanig, dat de oorspronkelijke ingangsspanning wordt tegengewerkt. Dit moet dan voor alle frequenties, die de versterker kan versterken, zo zijn. Als door de één of andere oorzaak spanningen van bepaalde frequenties niet tegen- doch juist meegekoppeld worden, dan is gemakkelijk volgens de hierboven gevolgde methode aan te tonen dat de versterking niet af, doch juist toeneemt en hetzelfde gebeurt dan met de vervorming. Zodoende wordt de frequentie-karakteristiek vervormd, doch tevens bestaat het gevaar, als de meekoppeling te sterk is, dat de versterker onstabiel wordt en gaat oscilleren. Dit kan bij een hoorbare frequentie optreden en dan constateert men vrij gauw wat er aan de hand is, doch de oscillatie frequentie kan ook onhoorbaar hoog zijn. In dit geval wordt door het oscilleren de versterker al gedeeltelijk belast of soms zelfs overbelast, zodat vervorming van de muziek-weergave optreedt. Bij High Fidelity versterkers waar sterke tegenkoppeling wordt toegepast om de niet lineaire vervorming laag te houden en die een zeer groot frequentiebereik weergeven, is het ontwerpen van een geschikt tegenkoppelingscircuit daarom geen sinecure. Door de tegenkoppeling frequentie afhankelijk te maken wordt de frequentiekarakteristiek van de versterker beïnvloed en op deze manier kunnen bepaalde afwijkingen worden gecorrigeerd. Door de tegenkoppeling instelbaar te maken kan de frequentie-

karacteristiek van de versterker naar wens worden veranderd; voor High Fidelity versterkers die tot zeer hoge frequenties werkzaam zijn, leent deze methode van toonregeling zich niet omdat, als het toonregelbereik voldoende groot wordt gemaakt het gevaar van instabiliteit (oscilleren) te ernstig wordt terwijl ook de sprongkarakteristiek in ongunstige zin wordt beïnvloed.

Tegenkoppeling biedt nog andere voordelen. Als de luidspreker na een bepaalde toon te hebben weergegeven op eigen houtje uittrilt, dan worden in de spreekspoel spanningen opgewekt. Deze spanningen worden via de tegenkoppeling aan de ingang van de versterker toegevoerd en komen daarna via de versterker weer op de luidspreker. Hun invloed op de luidspreker is nu dat de uitslagingen onderdrukt worden zodat de weergave van impulsgeluiden wordt verbeterd.

### § 7. Versterkerschema's

Tegenkoppeling kan op verschillende manieren uitgevoerd worden — de details hiervan vallen buiten het kader van dit boek, als alles goed wordt gedaan dan zijn uitzonderlijke resultaten te bereiken. Dit wordt geïllustreerd door figuur 65 waar van een versterker de frequentie- (a) en de vervormingskarakteristieken (b) getekend zijn :

1. in het geval dat de tegenkoppeling aangesloten is en
2. zonder tegenkoppeling.

Deze krommen hebben betrekking op het in figuur 66 getekende schema. De tegenkoppelspanning wordt van de secundaire winding van de luidsprekertransformator afgenomen en aan de ingang van de versterker toegevoerd.

Uit de waarden van de weerstanden R3 en R5 volgt, dat ongeveer 1/200 deel van de uitgangsspanning op de ingang van de versterker komt te staan. De versterking zonder tegenkoppeling is 1250 maal met tegenkoppeling 170 maal, de versterking is dus ruim een factor 7 minder geworden en zo ook de vervorming. Bij hoge frequenties wordt door de condensator C5 gezorgd dat de tegenkoppelspanning nog de juiste richting heeft.

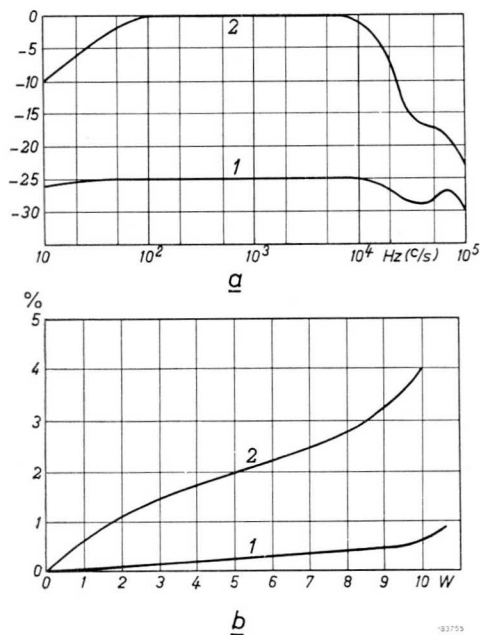


Fig. 65. Invloed van de tegenkoppeling: a) Frequentiekarakteristiek met (1) en zonder (2) tegenkoppeling b) Vervorming met (1) en zonder (2) tegenkoppeling

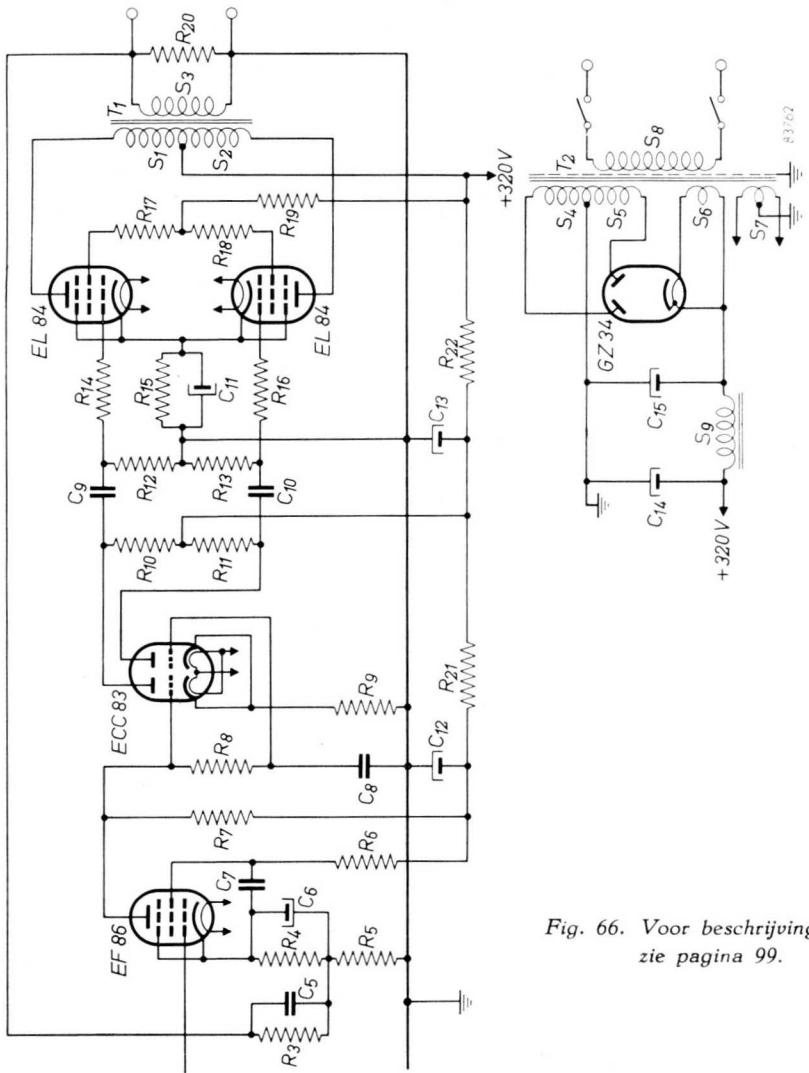


Fig. 66. Voor beschrijving zie pagina 99.

Fig. 66. Schema van eenvoudige kwaliteitsversterker:

R <sub>3</sub>	2,2 kOhm	¼ Watt	R <sub>20</sub>	1 kOhm	¼ Watt
R <sub>4</sub>	2,2 kOhm	¼ Watt	R <sub>21</sub>	47 kOhm	½ Watt
R <sub>5</sub>	10 Ohm	¼ Watt	R <sub>22</sub>	27 kOhm	½ Watt
R <sub>6</sub>	1 MOhm	¼ Watt	C <sub>5</sub>	Mica 1500 pF	
R <sub>7</sub>	180 kOhm	1 Watt	C <sub>6</sub>	Electrolit	
R <sub>8</sub>	1,2 MOhm	¼ Watt		100 µF	12,5 V
R <sub>9</sub>	68 kOhm	½ Watt	C <sub>7</sub>	Papier 47000 pF	400 V
R <sub>10</sub>	0,1 MOhm	½ Watt	C <sub>8</sub>	Papier 0,1 µF	400 V
R <sub>11</sub>	0,1 MOhm	½ Watt	C <sub>9</sub>	Papier 0,1 µF	400 V
R <sub>12</sub>	0,33 MOhm	¼ Watt	C <sub>10</sub>	Papier 0,1 µF	400 V
R <sub>13</sub>	0,33 MOhm	¼ Watt	C <sub>11</sub>	Electrolit	
R <sub>14</sub>	1 kOhm	¼ Watt		100 µF	25 V
R <sub>15</sub>	130 Ohm	3 Watt	C <sub>12</sub>	} 50 + 50 µF	355/400 V
R <sub>16</sub>	1 kOhm	¼ Watt	C <sub>13</sub>		
R <sub>17</sub>	220 Ohm	¼ Watt	C <sub>14</sub>	} 50 + 50 µF	355/400 V
R <sub>18</sub>	220 Ohm	¼ Watt	C <sub>15</sub>		
R <sub>19</sub>	3,9 kOhm	1 Watt			

*Transformatoren :*T<sub>1</sub> Uitgangstransformator type AD 9000T<sub>2</sub> Nettransformator : 2 × 280 V, 130 mA ; 6,3 V, 2 A ; 5 V, 1,9 A.S<sub>9</sub> Smoorspoel type 7833 : L = 8 H ; R = 200 Ohm ; I<sub>max</sub> = 115 mA.

Voor kwaliteitsweergave worden practisch zonder uitzondering balansversterkers gebruikt. Dit biedt verschillende voordelen, waarvan de voornaamste wel zijn dat de vervorming minder is en het afgegeven vermogen groter, terwijl de afmetingen van de transformator kleiner kunnen zijn dan in het geval een enkele eindbuis wordt gebruikt.

Het schema van figuur 66 is opvallend omdat de meeste versterkertrappen direct — dus niet over condensatoren of transformatoren met elkaar zijn gekoppeld. Dit is gedaan om de weergave van de allerlaagste frequenties zo goed mogelijk te maken. Condensatoren zowel als transformatoren veroorzaken een verzakking van de laagste frequenties en kunnen ook fazedraaiingen veroorzaken die de tegenkoppeling in de war brengen. In dit schema komt het rooster van de linker triode van de ECC 83 weliswaar op een positieve spanning te staan, doch door de kathode weerstand van deze buis zeer hoog te kiezen (68000 Ohm) wordt een dusdanig grote voorspanning verkregen dat het rooster toch nog negatief ten opzichte van de kathode is. Hetzelfde is het geval bij de rechter triode. De linker helft van de ECC 83 werkt als een normale versterker. Van de rechter helft is het rooster via de condensator C8 geaard zodat op dit rooster geen wisselspanningen kunnen staan. Op de kathodeweerstand R9 ontstaan wel wisselspanningen omdat deze niet ontkoppeld is. Hierdoor wordt de totale tegenkoppeling vergroot doch tevens wordt hiermee bereikt dat tussen

rooster en kathode van de rechter triode een wisselspanning werkzaam is. Deze spanning is in tegenfase met de wisselspanning op het rooster van de linker triode en de spanningen over R 10 en R 11 zijn dientengevolge onderling in tegenfase — zoals dit nodig is voor uitsturing van de balans eindtrap. Deze eindtrap is via condensatoren met de voorversterker gekoppeld opdat de anodespanning van de ECC 83 niet op de roosters van de eindbuizen komt.

Een ambitieuzer ontwerp is bij de versterker type AG 9000 gevolgd, waarvan fig. 67 het blokschema is. Deze versterker heeft twee ingangen, R voor Radio of Band Recorder,  $\odot$  voor grammofoon. Deze laatste is op een speciale versterkerbuis aangesloten welke door een filter voor afspeelcorrectie gevolgd wordt. Met behulp van een potentiometer kan de volgende buis op de radio- of de gecorrigeerde grammofooningang aangesloten worden.

Tussen deze en de daarop volgende buis is de toonregeling aangebracht. In beide trappen zijn maatregelen genomen om uitslingeringsverschijnselen tegen te gaan. Hierna volgt een versterker- en fase-omkeertrap — welke principieel overeenkomst vertoont met die van figuur 66. De balanseindtrap is onconventioneel daar de uitgangstransformator in de kathode-leidingen is opgenomen. Dit heeft verschillende voordelen, onder andere, voor het ontwerp van de uitgangstransformator. De anodespanningen worden van drie afzonderlijke gelijkrichters verkregen — hierdoor kan de brom tot een minimum teruggebracht worden terwijl het gebruik van meerdere gelijkrichters ook van gunstige invloed is op de stabiliteit van de versterker.

De weergavekarakteristiek van deze versterker is instelbaar met behulp van 2 knoppen (zie figuur 68) en is tevens zichtbaar omdat bij het draaien aan de knoppen

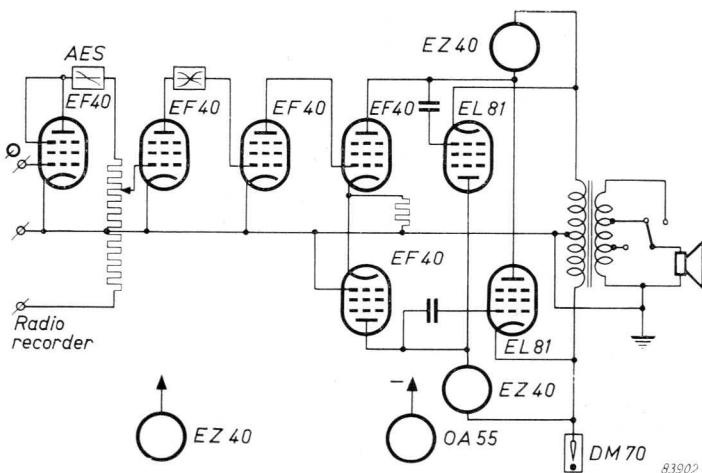


Fig. 67. Blokschema High Fidelity versterker AG 9000.

een lijn achter een frequentieschaal op een met de karakteristiek overeenkomende manier verbogen wordt. Hierdoor heeft de luisteraar bij het spelen van platen met een andere opnamekarakteristiek dan waarvoor de versterker is gecorrigeerd, een hulpmiddel bij het instellen van de toonbalans, terwijl hij tevens een controle op zichzelf heeft waardoor eventuele neigingen tot excessief sterke (of zwakke) weergave van bassen of

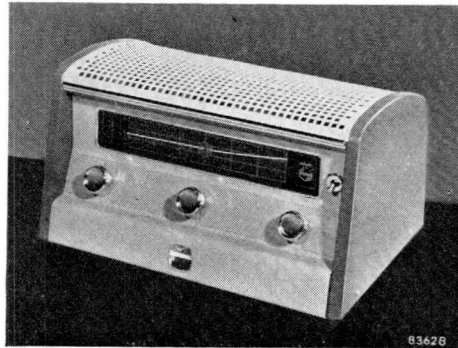
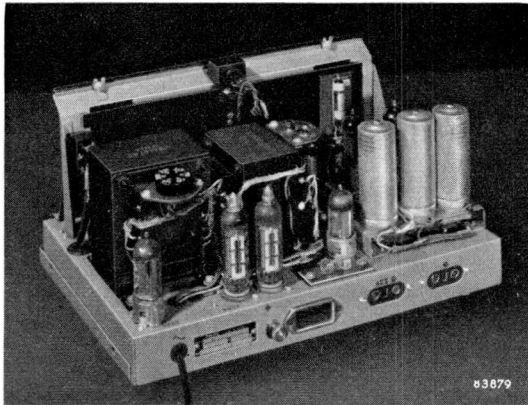


Fig. 68. Versterker AG 9000 met en zonder beschermkap.



hoge tonen onmiddellijk tot uiting komen. Uiteindelijk geeft dit meer luistergenot. Achter het links zichtbare raampje bevindt zich een lampje dat oplicht op momenten dat de versterker bijna het maximum onvervormde vermogen afgeeft. Dit dient als waarschuwing zodat, als luidere passages in de muziek voorkomen de volumeregelaar van te voren kan worden teruggedraaid.

Opvallend is bij deze versterker de grote uitgangstransformator. De uitgangstransformator is een hoogst belangrijk onderdeel. Als deze te krap bemeten is, dan worden de laagste frequenties te zwak weergegeven en bovendien gauw vervormd. Teveel wordt echter alleen aan de lage tonen gedacht, want ook bij hogere frequenties treedt een aantal moeilijkheden op.

De voornaamste hiervan is wel dat de transformatorspoelen niet alleen zelfinductie doch ook capaciteit bezitten. Tezamen met de zogenaamde spreidingsinductie van de transformator kan deze parasitaire capaciteit een afgestemde kring vormen die niet alleen de frequentiekarakteristiek ongunstig beïnvloedt doch ook de tegenkoppeling volkomen in de war kan gooien. De spreidingszelfinductie wordt voorgesteld als een spoeltje, in serie met de transformator en is een gevolg van het feit dat, ook bij de beste transformatoren, de koppeling tussen primaire en secundaire wikkeling nooit precies 100% is. Bij een goede transformator is de spreidingszelfinductie kleiner dan 50 mH bij een zelfinductie van de primaire van bijvoorbeeld 50 H.

De parasitaire capaciteit van de transformator met de aangesloten versterkerbuizen moet, als de spreidingszelfinductie 50 mH is, kleiner dan 180 pF zijn als de resonantiefrequentie minstens 50.000 c/s moet bedragen.

De parasitaire capaciteit en de spreidingszelfinductie moeten dus zo laag mogelijk gehouden worden waarvoor zeer speciale wikkelmethode nodig zijn en wat eveneens tot grote transformatoren leidt.

Bij transformatoren voor balansversterkers komt hier nog een andere eis bij — de beide helften van de transformator moeten nauwkeurig aan elkaar gelijk zijn. Dit alles bij elkaar maakt een „High Fidelity” transformator vrij kostbaar en sommige typen kosten bijna net zoveel als een klein radioapparaat.

Het is interessant om te vermelden, dat verschillende schakelingen ontwikkeld zijn waarbij geen uitgangstransformator meer nodig is — hierbij moeten speciale hoogohmige luidsprekers worden gebruikt. Met gewone schakelingen gaat dit niet omdat dan aanpassingsweerstand van 5000 Ohm of meer nodig zijn en dergelijke hoge spreekspoelweerstand zijn bij electro-dynamische luidsprekers niet te verwezenlijken. Deze schakelingen bieden het voordeel van uiterst geringe lineaire en niet-lineaire vervorming over een uitgestrekt frequentiegebied.

# HOOFDSTUK IX A

## LUIDSPREKERS : WERKING EN EIGENSCHAPPEN

### § 1. De electrodynamische luidspreker

De taak van de luidspreker is de elektrische trillingen die door de versterker worden geleverd om te zetten in geluidstrillingen. De hier te stellen eisen zijn dezelfde als bij alle andere schakels van de grammofoonketen: hoog rendement, geringe vervorming en een ver doorlopende, zo recht mogelijke frequentie karakteristiek. Vooral aan deze laatste eis is moeilijk te voldoen. Evenals bij de toonopnemers, heeft men op verschillende manieren getracht het gestelde doel te bereiken; er bestaat echter één groot verschil. Het gebruik van meer dan één toonopnemer tegelijk is onmogelijk; om verschillende redenen worden voor de weergave dikwijls verscheidene luidsprekers gebruikt. Alvorens op het onderwerp zelf in te gaan, zullen wij de verschillende systemen van omzetten van elektrische trillingen in geluidstrillingen door luidsprekers beschouwen.

In volgorde van belangrijkheid kent men :

1. electrodynamische
2. electrostatische
3. kristal-
4. electromagnetische luidsprekers.

De op gasontladingen berustende werking van de „Ionophone”, de hittedraad- en de hoogontladingsluidsprekers en nog enige andere geluidweergevers, zijn voor grammofoonreproductie van geen praktisch belang. De hierna besproken systemen berusten op soortgelijke principes als respectievelijk de electrodynamische, de condensator-, de kristal- en de magnetische toonopnemer. Rond 25 jaar geleden was de electromagnetische luidspreker verreweg het belangrijkste type, doch deze is intussen door de dynamische luidspreker volkomen naar de achtergrond gedrongen, en de magnetische luidspreker komt thans voor kwaliteitsweergave in het geheel niet meer aan bod. De kristal- en de electrostatische luidsprekers hebben de laatste jaren veel aan populariteit gewonnen als speciale hoge-tonen luidsprekers in combinatie met electrodynamische luidsprekers, doch recente ontwikkelingen zouden er op kunnen wijzen dat de toekomst hierin weer verandering kan brengen.

Het grondprincipe van al deze luidsprekers is, dat een membraan in trilling wordt gebracht, dat op zijn beurt de lucht weer in trilling brengt; de verschillen schuilen voornamelijk in de manier waarop dit geschiedt. Bij de electrodynamische pick-up beweegt een spoel in een magnetisch veld, en dientengevolge wordt een spanning in deze spoel opgewekt. Dit is in feite hetzelfde als wat bij een dynamo geschiedt. Als, omgekeerd, een spanning aan de spoel wordt toegevoerd, dan gaat deze bewegen; op dit principe berust zowel de electromotor als de electrodynamische luidspreker. Terwijl de electromotor en de dynamo uiterlijk veel op elkaar lijken, is dit bij toonopnemers en luidsprekers niet het geval. De krachten die de spoel van de toonopnemer in bewe-



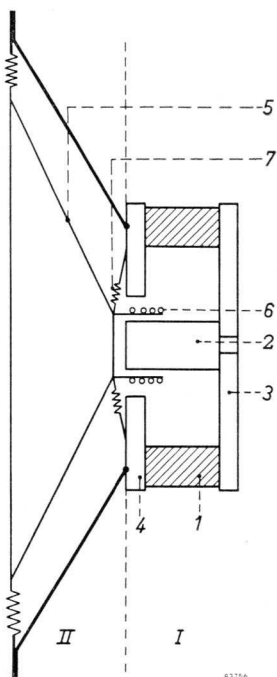


Fig. 69. Electro-dynamische luidspreker: 1) Magneet. 2) Kern. 3 en 4) Poolplaten. 5) Conus. 6) Spreekspoel. 7) Centreerring.

ging brengen zijn uiterst gering. Bij de luidspreker staan veel grotere krachten ter beschikking en kunnen dus de diverse onderdelen veel steviger worden uitgevoerd — dit is noodzaak, omdat voor het in trilling brengen van de lucht relatief grote krachten nodig zijn. In de doorsnedetekening van de electro-dynamische luidspreker (fig. 69) zien wij dat deze bestaat uit een magneetsysteem I en een membraan II. Het magneetsysteem is opgebouwd uit een permanente magneet 1, een weekijzeren kern 2 en twee poolplaten 3 en 4. Tussen de bovenste poolplaat en de kern bevindt zich een luchtspleet waarin door de magneet, via de poolplaten en de kern, een sterk magnetisch veld wordt opgewekt. Het membraan bestaat uit een z.g. conus 5, waaraan een spoeltje 6 dat zich in de luchtspleet bevindt. De conus wordt op zijn plaats gehouden door een centreerring van soepel materiaal 7 en door een omgebogen rand, die beide, evenals het magneetsysteem, aan het luidsprekerframe zijn bevestigd. Als door de spreekspoel 6 een stroom vloeit, wordt deze spoel dientengevolge, afhankelijk van de stroomrichting, naar voren of naar achteren bewogen. Indien een wisselstroom door de spreekspoel gaat, beweegt de spreekspoel, en daardoor ook de ermee verbonden conus, heen en weer. Deze bewegingen hebben dezelfde frequentie als de wisselstroom, en de afstand waarover de conus beweegt is evenredig met de stroomsterkte. Zolang dus de wisselstroom een replica van de oorspronkelijke naaldbeweging is, zal de conusbeweging dit ook zijn, en dit geldt eveneens voor de veroorzaakte ge-

luidstrillingen. Helaas blijkt ook hier weer, dat de natuurwetten de ingenieur het leven zuur maken (en hem zodoende bestaansrecht geven), want uit deze natuurwetten volgen een aantal zeer lastig op te lossen moeilijkheden. De conus krijgt zijn bewegingen dank zij het feit, dat door de spoel een stroom loopt, en het is een eis, dat de uitwijkingen van de conus zoveel mogelijk evenredig zijn met die stroom door de spreekspoel. Nu is er een formule die zegt, dat de kracht op de spreekspoel  $K = 0,1 H i l$  dyne, waarbij  $H$  de magnetische veldsterkte ter plaatse van de spreekspoel,  $i$  de stroom door de spoel en  $l$  de lengte van de draad op de spoel zijn. De draadlengte is uiteraard constant, en als de kracht  $K$  steeds evenredig met de stroom  $i$  moet zijn, dan kan dit alleen het geval zijn als ook de magnetische veldsterkte  $H$  constant is. In figuur 70 is de luchtspleet met de bovenste poolplaat en de kern vergroot weergegeven. De stippellijnen stellen de magnetische krachtlijnen voor, en het veld is het sterkst midden in de luchtspleet en neemt naar links en rechts af. Dit houdt dus in dat, als de spreekspoel heen en weer beweegt, zij zich, zodra de bewegingen te groot wor-

den, niet langer in een constant veld bevindt en dat de krachten op de spreekspoel dientengevolge minder dan recht evenredig met de stroom zijn. De spreekspoelbewegingen zullen dan ook niet meer recht evenredig met de stroom zijn. Tenzij bepaalde maatregelen zijn genomen, treedt bij de electrodynamische luidsprekers boven een bepaalde geluidsterkte vervorming op.

Om deze vervorming tegen te gaan, staan twee wegen open. Ten eerste kan de spreekspoel veel langer gemaakt worden, zodat ze aan beide kanten buiten het veld uitsteekt. Het veld door de spreekspoel blijft dan, ook bij de grootste praktisch voorkomende spoeluitwijkingen, constant. Een nadeel hiervan is, dat het totale conusgewicht wordt vergroot, wat voor de hoge-tonen weergave beslist ongunstig is. Tevens zullen de windingen die buiten het sterkste deel van het veld uitsteken niet of slechts gedeeltelijk meewerken, doch door hun weerstand verliezen veroorzaken.

Een andere oplossing is de luchtspleet langer dan de spoel te maken, zodat de spoel steeds in het gedeelte van het veld beweegt dat vrijwel constant is. Deze methode heeft geen ongunstige invloed op de hoge-tonen weergave of het rendement, doch vereist een grotere magneet, zodat de kostprijs van de luidspreker hierdoor wordt beïnvloed. Voor kwaliteitluidsprekers, als de typen 9758, 9762 en 9710, is dit echter de juiste methode. De magneet is een belangrijk deel van de luidspreker, omdat hij in eerste instantie de gevoeligheid bepaalt. Het rendement van een bepaalde luidspreker is namelijk recht evenredig met het kwadraat van de magnetische veldsterkte in de luchtspleet, en het is dus belangrijk deze zo hoog mogelijk op te voeren. Het is echter niet moeilijk in te zien dat een bepaalde magneet in een nauwe luchtspleet (kleine afstand tussen kern en binnenrand van poolplaat) een sterker veld opwekt dan in een wijde luchtspleet. De breedte van de luchtspleet wordt in eerste instantie bepaald door de dikte van de spoel, en — daar de spoel nooit de kern of de poolplaat mag raken, is dus de nauwkeurigheid waarmee die spoel en de centreerring worden gemaakt eveneens van grote invloed. Indien de fabricage voldoende nauwkeurig is en maatregelen zijn genomen om vervorming van spoel en centreerring gedurende het gebruik tegen te gaan, kan de luchtspleet nauw en de magneet bijgevolg klein gekozen worden, om een bepaald rendement te bereiken — zoniet, dan vereist de ruimere luchtspleet een zwaardere magneet.

De kwaliteit van het gebruikte magneetstaal is natuurlijk eveneens van grote invloed. Een maat hiervoor is het zogenaamde BHmax product, bij vooroorlogse staalsoorten bedroeg dit rond 1 miljoen; bij de moderne Ticonal stalen worden waarden tot 7 miljoen bereikt. Hieruit, en uit de vorige

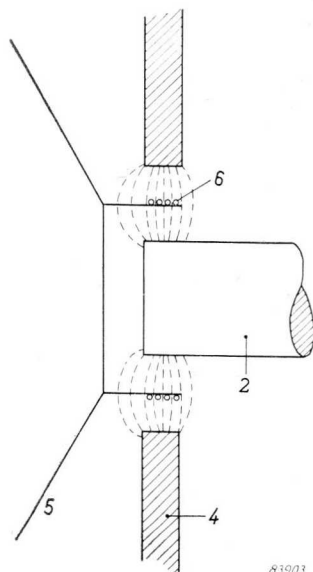


Fig. 70. Het magnetisch veld van de electrodynamische luidspreker: 2) Kern. 4) Poolplaat. 5) Conus. 6) Spreekspoel.

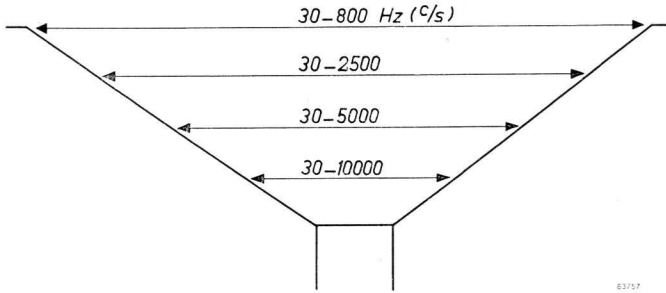


Fig. 71. Schematische voorstelling van de geluidsverdeling over een grote conus.

alinea, blijkt dus dat de afmetingen of het gewicht van een luidsprekermagneet op zichzelf geen maat vormen voor de gevoeligheid van een luidspreker. Slechts als de afmetingen van de luchtspleet en de staalsoort bekend zijn en bovendien de magneet optimaal is geconstrueerd, vormt het gewicht een basis van vergelijking. Hier komt nog bij dat ook de eigenschappen van het weekijzer waaruit de poolplaten en de kern zijn vervaardigd een zekere rol spelen. Daar dit materiaal bij hogere veldsterkten steeds minder effectief wordt, is het zeer moeilijk de veldsterkte groter dan omstreeks 13.000 Gauss te maken.

De conus is echter het moeilijkste deel van de luidspreker. Terwijl aan het magneetsysteem nog veel gerekend kan worden, berust het conusontwerp niet alleen op wetenschap, doch ook heel veel op ervaring.

De conus van de electrodynamische luidspreker bestaat uit geschept papier dat door een behandeling met bepaalde lakken vochtbestendig is gemaakt. Deze lakken hebben ook invloed op de akoestische eigenschappen. De trillende conus brengt de hem omgevende lucht in trilling. Zoals reeds in Hoofdstuk IV, § 6 werd vermeld, zijn deze

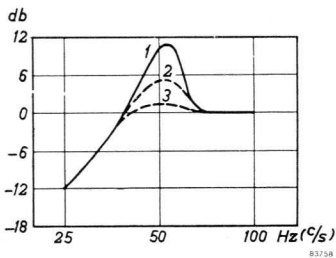
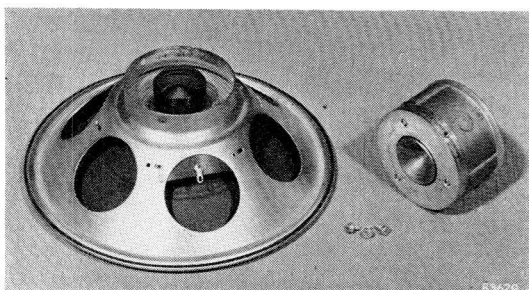


Fig. 72. De fundamentele luidsprekerresonantie: 1) Van een gewone luidspreker. 2) Bij aanwezigheid van een hoes. 3) Bij aanwezigheid van een luchtkussen.

trillingen bij lage frequenties groot, doch betrekkelijk langzaam — bij hoge frequenties snel en klein. Hoe groter de conus is, des te beter zal deze de lucht in trilling brengen, dus des te hoger is het rendement van de luidspreker. Dit geldt vooral voor de lage tonen; de betrekkelijk langzame conusbewegingen hebben onvoldoende „houvast” op de lucht als de conus klein is, en voor goede lage-tonen weergave is dus een luidspreker met grote conus gewenst. Weliswaar is theoretisch ook goede lage-tonen weergave met behulp van een kleine conus mogelijk, doch dan worden de bewegingen die de conus moet maken zo groot, dat onherroepelijk vervorming van het geluid ontstaat.

*Fig. 73. Luidspreker 9710; de doorlopende conuspunt en de verdieping in de kern zijn duidelijk zichtbaar.*



Voor hoge-tonen weergave kan met een veel kleinere conus worden volstaan, en is in feite een grote conus ongeschikt, omdat deze te zwaar en dus te log is om de uiterst snelle trillingen te kunnen volgen. De als maximum toelaatbare conusdiameter neemt af naarmate hogere frequenties weergegeven moeten worden, doch — en zo gelukkig zijn wij niet altijd — de natuur komt ons hierbij te hulp en zorgt dat het niet noodzakelijk is voor de weergave van een heel frequentiespectrum een groot aantal verschillende luidsprekers te gebruiken.

Het blijkt namelijk dat van een grote conus bij hogere tonen voornamelijk het midden-gedeelte trilt. Terwijl bij de lagere frequenties tot ongeveer 1000 Hz de gehele conus als één star stuk beweegt, beweegt bij hogere frequenties een steeds kleiner gedeelte. In fig. 71 is voor bepaalde delen van de conus schematisch aangegeven bij welke frequenties deze nog reageren. Geheel juist is deze voorstelling nog niet; de hoge tonen planten zich als trillingen over de conus voort, en daardoor kan het voor bepaalde frequenties voorkomen, dat op een gegeven moment een deel van de conus zich naar voren beweegt en een ander deel naar achteren, waardoor de betreffende toon wordt verzwakt. Om soortgelijke redenen kunnen zekere tonen ook te sterk worden weergegeven — een en ander komt als dalen en pieken in de weergavekarakteristiek tot uiting. Deze effecten kunnen worden onderdrukt door het aanbrengen van versterkingsrillen in de conus: ook de samenstelling van het conuspapier is hier van grote invloed.

Alles samenvattend blijkt, dat bij een goed ontworpen weergave het frequentiebereik loopt van ongeveer 40 tot 10.000 Hz bij luidsprekers met een diameter van 25 tot 32 cm, van 70 tot 12.000 Hz in het geval van 21 cm luidsprekers, en van 100 tot 15.000 Hz bij 13 en 17 cm luidsprekers. Bij sommige typen is een groter bereik echter mogelijk: bij andere typen is dit bereik bewust kleiner gemaakt; deze zijn echter voor grammofoons minder geschikt.

Het volgende punt dat onze aandacht vraagt is de fundamentele luidsprekerresonantie. Bij een bepaalde lage frequentie blijkt het samenstelsel van conus, centreerring en de lucht bijzonder gemakkelijk te gaan trillen, en de met deze resonantie overeenstemmende toon wordt extra sterk weergegeven; de gevoeligheid daalt beneden de resonantiefrequentie met 12 db per octaaf. Deze resonantiepiek is, zoals steeds, voor kwaliteitsweergave ongewenst, daar bepaalde tonen hierdoor te veel worden be-

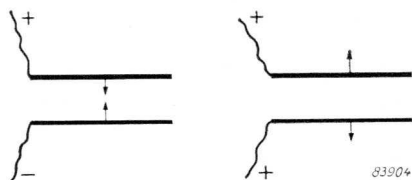


Fig. 74. Principe van de electrostatische luidspreker.

voordeel en bovendien te lang natrillen, zodat de muziek „boemerig” gaat klinken. Verscheidene maatregelen die dienen om deze resonantiepiek te onderdrukken zijn bekend; één ervan is een linnen hoes strak om de luidspreker te spannen. De getrokken lijn (1) in fig. 72 geeft de weergavekarakteristiek van een bepaalde luidspreker zonder hoes, lijn 2 die van een luidspreker met hoes. Door de conuspunt ook in de spreekspoel door te laten lopen, in plaats van af te snijden, en in de kern een hiermee overeenkomende uitsparing te maken, wordt een zeer effectieve demping verkregen (3 in fig. 72); deze constructie is gevolgd bij de in fig. 73 getoonde luidspreker, type 9710. Indien de luidspreker in een kleine kast is gebouwd, kan de resonantiepiek echter wel van nut zijn, zoals in paragraaf 5 nog zal worden behandeld.

Van de electro-dynamische luidspreker bestaan nog andere uitvoeringsvormen, die wij hier echter buiten beschouwing laten.

## § 2. Electro-statische luidsprekers

Electro-statische luidsprekers worden in grammofoons slechts zelden gebruikt, wél in radio-apparaten, als speciale hoge-tonen weergevers. Het principe waarop deze luidsprekers berusten is dat, als tussen twee evenwijdige metalen platen een gelijkspanning wordt aangebracht, de beide platen elkaar aantrekken of afstoten (zie fig. 74). De aantrekkingskracht is afhankelijk van de grootte van de spanning. Indien een van de platen buigzaam is, dan buigt deze onder invloed van het veld iets door; de doorbuiging is eveneens afhankelijk van de spanning. Helaas is de aantrekkingskracht niet recht evenredig met de spanning, doch met het kwadraat daarvan. Indien een wisselspanning dus zonder meer op de beide electroden werd aangesloten, dan zou de beweging van de buigzame plaat niet recht evenredig zijn met de spanning, doch voor grote spanningen meer dan evenredig met de spanning toenemen — de weergave werd dientengevolge vervormd. Om dit effect te reduceren, brengt men behalve de wisselspanning tevens een veel grotere gelijkspanning tussen beide platen aan. Een eenvoudig rekensommetje leert dat, als de gelijkspanning tien maal zo groot is als de wisselspanning, de vervorming minder dan 5% bedraagt. Uitgaande van de in de meeste versterkers reeds aanwezige gelijkspanning van 250 à 300 V, betekent dit dat de wisselspanning tot maximaal 30 V beperkt moet worden. De electro-statische aantrekkingskrachten zijn, behalve van de spanning, ook afhankelijk van de afstand tussen de platen; deze mag niet al te klein zijn, ter voorkoming van kortsluiting en vervorming; dientengevolge zijn de optredende krachten maar klein en de bewegingen van het membraan gering. De grote amplitudes die voor de weergave van lage tonen nodig zijn, eisen veel grotere wisselspanningen dan met het oog op de vervorming toelaatbaar is, tenzij de gelijkspanning tot meer dan 1000 V wordt verhoogd, waaraan veel practische bezwaren zijn verbonden. Dientengevolge worden electro-statische

luidsprekers alleen voor de weergave van hoge tonen gebruikt. Door het membraan tussen twee geperforeerde vaste platen op te stellen, wordt de vervorming wel verminderd, doch de verbetering is nog lang niet zodanig, dat aan de weergave van lage of zelfs middentonen kan worden gedacht.

Van de verschillende in gebruik zijnde constructies is één in fig. 75 geschetst. De vaste plaat 1, die, om de geluidsgolven niet te hinderen, is geperforeerd, wordt door een dunne veerkrachtige isolerende laag 2 gescheiden van het metalen membraan 3, dat uit een laagje metaal, meestal goud of zilver, ter dikte van slechts enkele microns, bestaat. De metaallaag 3 en de beschermkap zijn met de aardleiding verbonden; op de vaste plaat komen de gelijk- en wisselspanning te staan. Een van de vaste plaat geïsoleerde veer 5 drukt het eigenlijke luidsprekerelement naar boven, zodat het gemetaliseerde isolatievlies steeds goed strak staat. De isolerende laag voorkomt kortsluiting tussen 1 en 3, welke anders door stofdeeltjes of overbelasting van de luidspreker kon optreden. Een nadeel van deze constructie is dat de luidspreker hierdoor enigszins temperatuurgevoelig wordt — ook de invloed van vocht mag niet worden onderschat. Een moeilijkheid bij het aansluiten van electrostatische luidsprekers is, dat zij een vrij grote capaciteit hebben, waardoor de frequentie- en de sprongkarakteristiek ongunstig worden beïnvloed.

### § 3. De kristalluidsprekers

De werking van de kristalluidspreker (fig. 76) is het tegengestelde van die van de kristal-toonopnemer. In principe zou men van de laatste, door aan de naald een papieren conus te bevestigen, een luidspreker kunnen maken. Terwijl de bewegingen die het kristalelement in een toonopnemer maakt, uiterst klein zijn, moeten ze bij de luidspreker aanzienlijk groter zijn. De vereiste bewegingen voor de weergave van lage tonen zijn zo groot, dat zij tot breuk van het kristalelement zouden leiden; om deze reden is het gebruik van de kristalluidspreker beperkt tot de weergave van hoge tonen (boven 5.000 à 10.000 Hz). De weergavekarakteristiek blijkt dan nog verre van regelmatig te zijn, en daarom worden deze luidsprekers dan ook slechts zelden gebruikt.

### § 4. Eigenschappen van luidsprekers

Aan een luidspreker of luidsprekercombinatie worden in het algemeen de volgende eisen gesteld.

- a. Een zo hoog mogelijk rendement.
- b. Een zo gelijkmatig mogelijke weergave van een zo breed mogelijk frequentiegebied.
- c. Minimale vervorming.

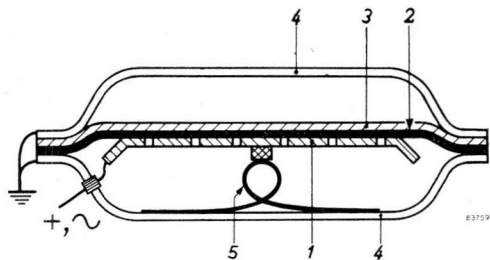


Fig. 75. Electrostatistische luidspreker: 1) Geperforeerde vaste electrode. 2) Elastische isolatielaag. 3) Metaallaag die dienst doet als bewegende electrode. 4) Luidsprekerhuis.

5) Spanveer.

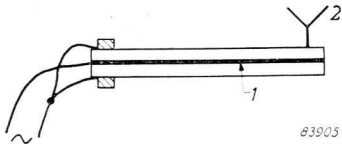


Fig. 76. Principe van de kristal-luidspreker: 1) Kristalelement.  
2) Conus.

Ten slotte is er natuurlijk de voor elk product bestaande eis, dat de prijs zo laag mogelijk moet zijn. Deze eis maakt in dit geval, omdat in luidsprekers nogal veel en duur materiaal wordt verwerkt, de taak van de ontwerper soms erg zwaar.

Indien wij eerst het rendement bekijken, doet zich de moeilijkheid voor dat dit niet voor alle frequenties gelijk is, omdat de weergavekarakteristiek niet vlak verloopt. Het is gewoonte het

rendement te bepalen bij een frequentie die is gelegen tussen de fundamentele resonantie en de hoogste frequentie waarbij de conus nog in zijn geheel trilt (vergelijk fig. 71). Een geschikte meetfrequentie is 400 Hz. Het rendement — dit is de verhouding van afgegeven akoestisch tot opgenomen electrisch vermogen — wordt bepaald door de veldsterkte in de lichtspleet, de afmetingen van de conus, de eigenschappen van centreerring en conusrand, en ten slotte door de eigenschappen van de conus zelf. De practijkwaarden variëren tussen  $1\frac{1}{2}\%$  bij de kleinste luidsprekers met kleine magneten, en  $15\%$  bij luidsprekers met een diameter van 32 cm en zeer grote magneten. Vroeger was een rendement van  $1\%$  de gemiddelde waarde; tegenwoordig ligt dit eerder bij 4 tot  $6\%$ . Voor laboratoriumdoeleinden zijn wel luidsprekers met een rendement van  $50\%$  vervaardigd; de prijs van deze luidsprekers is echter zo hoog, dat het voordeliger is een minder gevoelige luidspreker met een zwaardere versterker te gebruiken.

Daar de prijs van de magneet een belangrijk deel van de totale luidsprekerprijs uitmaakt, zijn gevoelige luidsprekers vrij kostbaar. Indien uit kwaliteitsoverwegingen een extra hoge lichtspleet wordt gebruikt, is voor gelijk rendement een grotere magneet nodig. Dit verklaart de vrij hoge prijs van kwaliteitsluidsprekers met hoog rendement, vergeleken met die van andere typen. Bij de aanschaffing van een luidspreker moet men soms uit financiële overwegingen kiezen tussen vervormingsvrijheid en rendement. Bij de luidspreker type 9710 bij voorbeeld is maximale kwaliteit met gemiddeld rendement gecombineerd, terwijl bij het type 9762 zowel kwaliteit (vervormingsvrijheid) als rendement zo hoog mogelijk zijn opgevoerd. Van invloed op de keuze zijn dus de afmetingen van het vertrek waarin de luidspreker wordt opgesteld en het vermogen van de versterker; in een kleine kamer, of als de versterker een flink vermogen af kan geven, kan met een minder gevoelige luidspreker worden volstaan. De weergavekarakteristiek van een luidspreker is niet gemakkelijk te meten, omdat deze in sterke mate door het eventueel gebruikte klankbord en door de akoestische eigenschappen van de meetruimte wordt beïnvloed. Als van een luidspreker de conus naar voren beweegt, ontstaat daarvoor een luchtverdichting (+), erachter een luchtverdunning (—). Zodra even later de conus in tegengestelde richting beweegt, gebeurt het omgekeerde. De geluidsgolven die aldus aan de achterkant van de luidspreker ontstaan, komen, om het klankbord heen, ook aan de voorkant. De op een afstand  $d$  voor de luidspreker gezeten luisteraar hoort dus zowel de door de voorkant als de door de achterkant opgewekte geluidstrillingen (fig. 77). De laatstgenoemde

ondervinden enige vertraging, daar zij de afstand  $a$  extra moeten afleggen. Als  $a$  heel klein is ten opzichte van  $d$ , is deze vertraging te verwaarlozen, met als gevolg dat de twee geluidsgolven elkaar nagenoeg opheffen — de luchtverdichting aan de voorkant wordt praktisch teniet gedaan door de van de achterkant van de conus afkomstige luchtverdunding.

Als  $a$  niet meer verwaarloosbaar klein is, ontstaat een zeker tijdsverschil tussen de beide golven, waardoor deze elkaar in mindere mate verzwakken. Bij hoge frequenties is de verzwakking voor alle klankbordberekeningen volkomen te verwaarlozen. Door berekening, zowel als experimenteel, is aan te tonen dat, als  $\frac{1}{4}$  van de golflengte gelijk is aan de afstand  $a$ , geen verzwakking meer optreedt. In formule: grensgolflengte =  $4a$ , of: grensfrequentie =  $343/4a$  ( $a$  in meters).

Voor frequenties beneden de grensfrequentie daalt de weergave met een factor 2, dus met 6 db per octaaf. Bij benadering is de golflengte, bij een frequentie van 300 Hz, 1 meter; bij 100 Hz 3 meter; bij 50 Hz 6 meter, zodat dit effect zeer zeker niet te verwaarlozen is. Daar behalve de afmetingen ook de vorm van het klankbord, zowel als zijn andere eigenschappen, als bij voorbeeld meëtrillen bij bepaalde frequenties, het eindresultaat beïnvloeden, is het voor het beoordelen van luidsprekers het best ze zonder klankbord te meten. Voor reclamedoeleinden wordt dit soms als een nadeel gevoeld, omdat de kromme bij de lage frequenties zo neergaat — frequentiekenmerken zonder duidelijke opgave van het gebruikte klankbord hebben daarentegen geen enkele praktische waarde.

Voor het meten van de weergavekarakteristiek wordt op een bepaalde afstand, bij voorbeeld 50 cm, een geijkte microfoon voor de luidspreker geplaatst. Aan de luidspreker wordt een stroom van constante sterkte toegevoerd, waarvan de frequentie wordt gevarieerd van 0 tot 20.000 Hz, en daar de door de microfoon afgegeven spanning een maat voor de geluidsdruk is, verkrijgt men op deze manier een karakteristiek als getoond in fig. 79. Het is noodzakelijk, dat geen geluiden die van elders stammen door de microfoon worden opgevangen, en ook dat alleen het directe geluid van de luidspreker wordt gemeten, en niet het door de wanden van de meetruimte gereflecteerde geluid. Daarom worden de luidspreker en de microfoon opgesteld in een zogenaamde „dode” kamer. De in fig. 78 afgebeelde dode kamer bestaat uit een dikwandige holle kubus die, rustend op zware veren, in een tweede dikwandige kubus is geplaatst. Beide kunnen met zware geïsoleerde deuren worden afgesloten, zodat binnen in de kleinste kubus volmaakte stilte heerst. Alle zes de wanden van de meetkamer zijn voorzien van  $1\frac{1}{2}$  meter hoge wiggen van geluidabsorberend materiaal, zodat het vertrek absoluut geen galm of echo vertoont. De stilte in deze kamer is verbluffend — als men er een kwartier lang zit, van de buitenwereld afgesloten, hoort

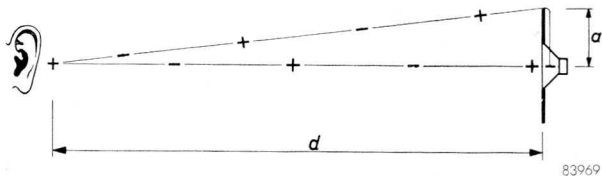
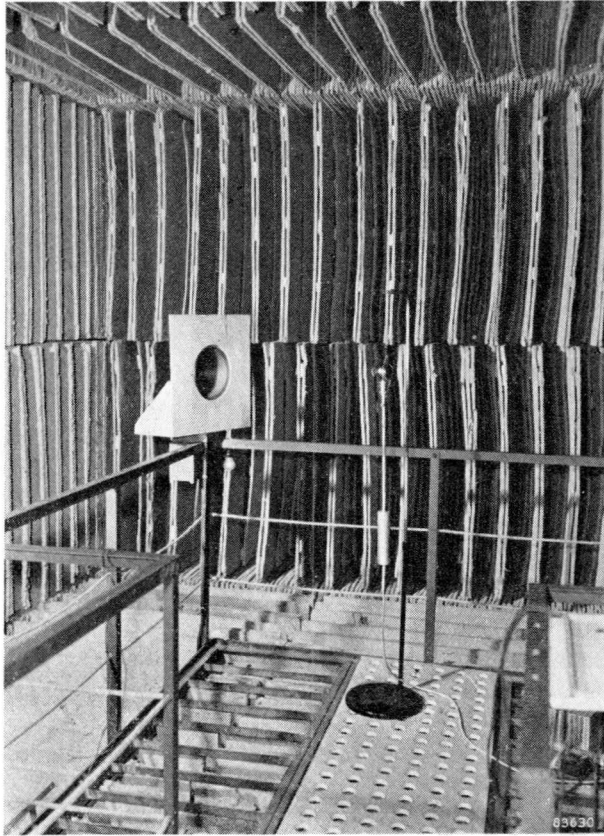


Fig. 77. Invloed van klankbord.





*Fig. 78. Echovrije kamer voor akoestische metingen. De bolvormige microfoon bevindt zich rechts van de, in dit geval op een klankbord gemonteerde, luidspreker*

men duidelijk zijn hart kloppen, de lucht door de neusgaten snuiven, en allerlei anders onhoorbare geluiden die onze spijsvertering begeleiden. Het is beangstigend stil in deze kamer, en zelfs weinig nerveuze personen houden het niet lang in deze geluidskluis uit — maar de metingen kunnen er met zeer grote nauwkeurigheid in worden verricht. Alle meetapparatuur, behalve de microfoon en toebehoren, zijn — ter vermijding van stoorgeluiden — buiten de kamer opgesteld. De toongenerator en de papierstrook waarop de microfoonspanning automatisch wordt opgetekend, worden door een motor bewogen; als controlemaatregel wordt bij 1000 Hz de toongenerator even uitgeschakeld. De hierdoor optredende dip in de karakteristiek is in alle hierop volgende weergavekrommen te zien en heeft dus niets met de eigenschappen van de luidspreker te maken.

Bij beschouwing van fig. 79 blijkt dat tussen 800 en 200 Hz de karakteristiek ongeveer 6 db per octaaf zakt. Dit komt omdat de luidspreker zonder klankbord is

gemeten; de conus zelf werkte als klankbord. De diameter van deze conus (2a) is 21 cm, zodat dus een toon met een golflengte van 42 cm, overeenkomend met een frequentie van ongeveer 800 Hz, nog juist niet wordt verzwakt; lagere tonen wel. Rond 90 Hz is de geluidsdruk veel groter, als gevolg van de extra gevoeligheid bij de resonantiefrequentie; daar beneden valt de karakteristiek 18 db per octaaf, namelijk 6 db per octaaf, wegens het ontbreken van een klankbord, en 12 db per octaaf, zijnde het normale gevoeligheidsverlies van elke luidspreker beneden de resonantiefrequentie. Opmerkelijk is het feit, dat de karakteristiek boven 1000 Hz niet vlak verloopt, doch omhoog gaat. Dit vertegenwoordigt een bewust aan de luidspreker gegeven eigenschap. De conus werkt als een reflector voor de hoge tonen, die daardoor, net als het licht van een schijnwerper, worden gebundeld. Het gevolg hiervan is, dat recht voor de luidspreker de hoge tonen sterker zijn dan schuin opzij. Dit verschijnsel is vooral in een dode kamer goed hoorbaar; in een normaal vertrek wordt het gedeeltelijk opgeheven door reflecties van muren en plafond. Als, wat natuurlijk gewenst is, de totale geluidsenergie ook bij de hoge frequenties constant wordt gehouden, volgt uit het vorenstaande dat recht voor de luidspreker de geluidsterkte bij de hogere frequenties iets te groot wordt. Zo de geluidsdruk recht voor de luidspreker constant wordt gehouden, neemt de totale geluidsenergie bij de hogere frequenties af en wordt de weergave te dof, in het bijzonder schuin opzij van de luidspreker. Een stralingsdiagram van de luidspreker 9770 (gemeten in de ruimte van fig. 78) is gegeven in fig. 80a; de lengte van een lijn vanaf het middelpunt naar een punt op één van de krommen is een maat voor de geluidssterkte in de richting van die lijn. Door het aanbrengen van een klankverstrooiingskegel voor de conus, of door een tweede kleine conus op de spreekspoel te bevestigen, kan het stralingsdiagram worden verbeterd, zoals in figuur 80b (luidspreker 9770 M) is te zien.

De tweede conus dient niet alleen tot verbetering van het stralingsdiagram, doch heeft nog een andere, belangrijke, functie. Een normale conus van zodanige afmetingen, dat de lage tonen goed worden weergegeven, is voor de weergave van de allerhoogste tonen minder geschikt. Daarom wordt voor de hoge-tonen weergave soms een tweede luidspreker met een kleine conus (zogenaamde „tweeter”) gebruikt. De weergavekarakteristiek van deze „tweeter” moet precies aan die van de hoofd-luidspreker worden aangepast, waar speciale filters aan te pas komen. Logischer is het op de spreekspoel een tweede conus te bevestigen, die voor de hoge-tonen weergave dient. Door hieraan de juiste vorm te geven wordt auto-

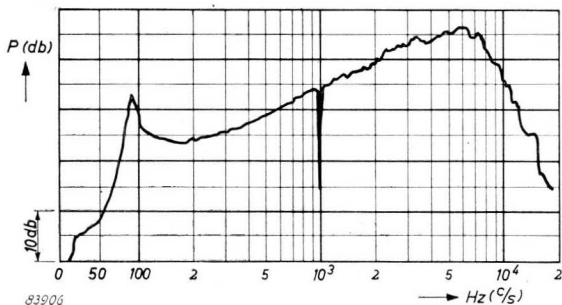


Fig. 79. Geluidsdrukkromme van de luidspreker type 9770.

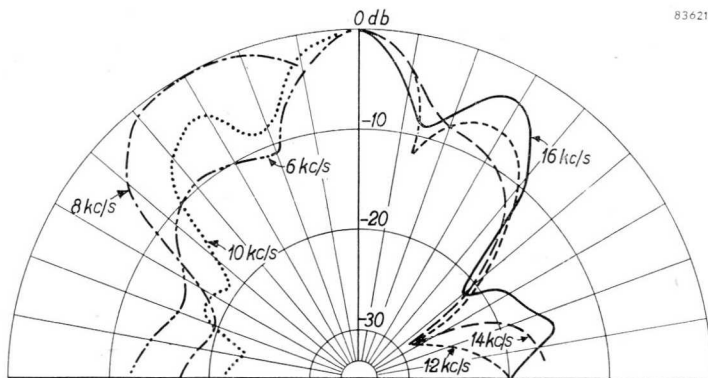
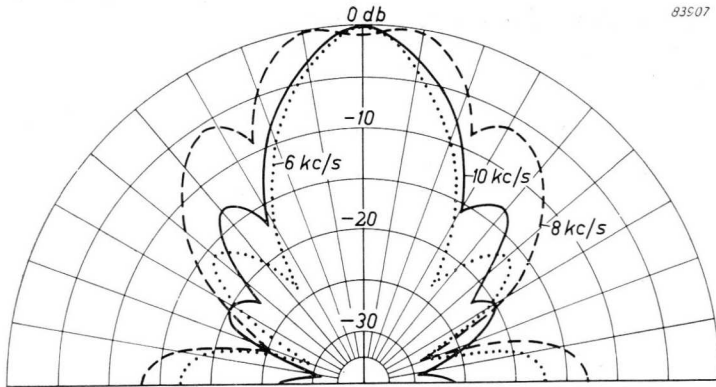


Fig. 80. Stralingskarakteristieken:  
a) Luidspreker 9770. b) Luidspreker 9770 M.

matisch de gewenste aansluiting van de weergavekarakteristiek verkregen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in fig. 81 — de getrokken lijn (a) geldt voor de luidspreker 9710; bij het type 9710 M/88 is een tweede conus aanwezig, waardoor de weergavekarakteristiek tot nog veel hogere frequenties praktisch recht doorloopt (streeplijn b). Ter vergelijking publiceren wij hier de weergavekarakteristiek en een stralingsdiagram van een electrostatische luidspreker voor hoge tonen (fig. 82). Zoals uit deze karakteristieken blijkt, is de lage-tonen weergave zwak; dit is echter, gezien het doel van deze luidsprekers, geen bezwaar. Wel is het om beschadiging te voorkomen gewenst, dat signalen van lage frequentie niet op de luidspreker komen, en daarom wordt deze, meestal via een eenvoudig filter, op de versterker aangesloten.

In het vorige hoofdstuk werd, in verband met de uitgangstransformator, de luidsprekerimpedantie vermeld. De spreekspoel van een electrodynamische luidspreker

heeft een ohmse weerstand, die wordt bepaald door de lengte, de doorsnede en het materiaal (meestal koper) van de gebruikte draad. Indien de weerstand wordt gemeten met een wisselspanning, wordt een waarde gevonden die groter is dan deze ohmse weerstand. De oorzaak hiervan schuilt gedeeltelijk in het feit, dat elke spoel, en dus ook de spreekspoel, een zekere zelfinductie heeft, waardoor de impedantie (wisselstroomweerstand) bij hogere frequenties toeneemt. De impedantiestijging bij hogere frequenties is ook een gevolg van een ander verschijnsel: Als door de spreekspoel een wisselstroom vloeit, begint deze te bewegen. Bij het bespreken van de electrodynamische toonopnemers en microfoons is reeds uiteengezet dat, als een spoel in een magnetisch veld beweegt, een spanning in die spoel wordt opgewekt, en dit gebeurt ook hier. Deze spanning is tegengesteld gericht aan de spanning die aan de luidspreker wordt toegevoerd, en dientengevolge daalt de stroom door de spreekspoel. Bij toenemende frequentie neemt dit verschijnsel in sterkte toe, en bij constant gehouden spanning daalt de stroom dus steeds verder als de frequentie wordt verhoogd. De schijnbare spoelweerstand neemt dus toe met de frequentie; de grootte van dit verschijnsel wordt bepaald door de luidsprekerconstructie. Het gevolg hiervan is, dat de luidspreker slechts over een deel van het frequentiegebied goed aan de eindtrap kan worden aangepast. Als de aanpassing niet juist is, daalt het maximum vermogen dat de eindtrap onvervormd aan de luidspreker kan afgeven. Daar de grootste vermogens nodig zijn voor de weergave van de lagere frequenties, wordt de aanpassing daarvoor goed gekozen. Zoals de getrokken lijn in fig. 83 laat zien, is, als voor de frequentie waarbij wordt aangepast 1000 Hz is gekozen, de aanpassing voor een groot frequentiegebied binnen redelijke grenzen juist. Uit het vorenstaande volgt nog dat, indien de weergavekarakteristiek wordt opgenomen met een constant gehouden spanning in plaats van met een constant gehouden stroom, de weergave bij hogere frequenties zwakker wordt. Bij sommige versterkerschakelingen is dit het geval en moeten de hoge tonen extra worden versterkt, bij voorbeeld door vermindering van de tegenkoppeling, wat, tezamen met de bij hoge frequenties reeds optredende aanpassingsfouten, de weergavekwaliteit niet ten goede komt. Bij luidsprekers voor kwaliteitsweergave worden daarom soms maatregelen genomen om de impedantie nagenoeg onafhankelijk van de frequentie te maken. Daartoe wordt om de kern, ter plaatse van het gat in de bovenste poolplaat (fig. 69), een roodkoperen voering gelegd.

De magnetische velden die door de spreekspoel worden opgewekt als hierdoor een stroom vloeit, wekken

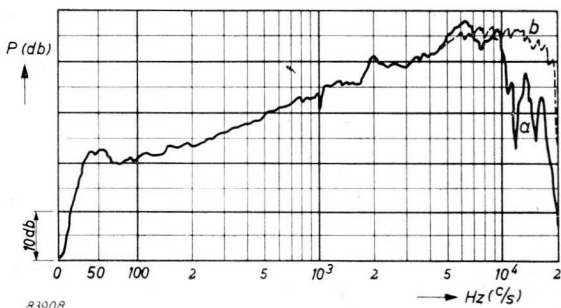
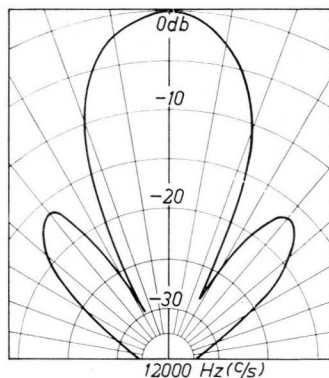
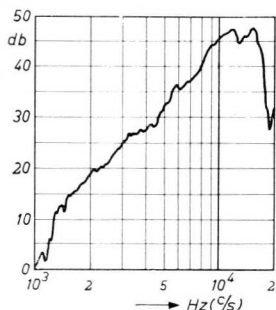


Fig. 81. Geluidsdrukkrommen van:  
a) Luidspreker 9710. b) Luidspreker 9710 M/88.

Fig. 82. Electrostatistische luidspreker:  
 a) Geluidsdrukkromme.  
 b) Stralingskarakteristiek bij 12.000 Hz.



in deze koperen voering stromen op welke de hierboven vermelde „tegen”spanningen aanzienlijk verminderen. De streeplijn in fig. 83 laat zien, dat deze maatregel de impedantie karakteristiek belangrijk verbetert. In dit verband wordt nog opgemerkt, dat de tegenspanningen ook bij lagere frequenties aanwezig zijn en een invloed uitoefenen op de grootte van de resonantiepiek; bij karakteristiekmeting met constante stroom is de fundamentele resonantie veel meer ugesproken dan wanneer de meetspanning constant wordt gehouden.

Ten slotte nog een woord over de vervorming die bij luidsprekers optreedt. Strikt genomen moeten hier dezelfde eisen als bij versterkers en toonopnemers worden gesteld. De meting van vervorming — zowel de niet-lineaire vervorming bij weergave van één enkele toon als de intermodulatievervorming — is in dit geval echter veel moeilijker, en vervormingscijfers worden, behalve bij uitzondering in zeer wetenschappelijke verhandelingen, niet gepubliceerd. Uit het feit, dat bij gebruik van goede luidsprekers kleine verschillen in de vervormingsgetallen van versterkers te horen zijn, kan veilig de conclusie worden getrokken, dat de door deze luidsprekers veroorzaakte vervorming gering is.

In sterkere mate dan bij versterkers en toonopnemers, is de luidsprekervervorming frequentie-afhankelijk: Vervorming in het gebied van de fundamentele resonantie kan tot het eigenaardige resultaat leiden dat de lage-tonen weergave hierdoor schijnbaar wordt verbeterd. Als een lage toon, die op zichzelf ten gevolge van de onvoldoende afmetingen van het klankbord te zwak wordt weergegeven, wordt vervormd, ontstaan dientengevolge boventonen. Het oor herkent deze niet direct als vervorming, doch fantaseert bij deze onechte boventonen een eveneens onechte grondtoon. De vervormde toon geeft een veel sterkere, doch ook „wolliger” geluidsindruk dan de onvervormde toon. Vergelijking met de werkelijkheid valt — natuurlijk — ten gunste van de onvervormde weergave uit.

Wat de intermodulatievervorming betreft, neemt men bij luidsprekers ook het hiermee zeer sterk verwante Doppler effect waar. Het is een bekend verschijnsel dat, als een geluidsbron snel naar een luisteraar toe beweegt, de waargenomen toon hoger is dan

wanneer de geluidsbron van de luisteraar af beweegt. Dit is goed te horen als een fluitende locomotief passeert, en is te verklaren uit het feit, dat de naar de luisteraar gaande geluidsgolven in het eerste geval met de beweging meegaan en de opeenvolgende golven het oor dientengevolge in een versneld tempo treffen; in het tweede geval gebeurt juist het tegenovergestelde. Als een luidspreker gelijktijdig een hoge en een sterke lage toon weergeeft, gebeurt hetzelfde. De conus is de geluidsbron voor de hoge tonen en beweegt tevens in het tempo van de lage toon naar voren en naar

achteren, dus naar de luisteraar toe en van hem af. De hoge toon zal dus respectievelijk iets te hoog en iets te laag worden gehoord. Dit verschijnsel is verwaarloosbaar zolang de conusbewegingen betrekkelijk klein zijn — bij zeer grote amplitudes van de conus kan het Doppler effect tot waarneembare vervormingen leiden. Dergelijke grote conusbewegingen kunnen practisch alleen bij de resonantiefrequentie optreden, waarbij het membraan gemakkelijk beweegt, doch als maatregelen genomen zijn om de fundamentele resonantie voldoende te onderdrukken, vallen de vervormingen ten gevolge van het Doppler effect beneden de waarnemingsgrens.

Door de moeilijkheden die de vervormingsmetingen met zich meebrengen, is het gewoonte geworden het maximale vermogen dat een luidspreker kan verwerken niet alleen te baseren op de vervorming, doch voornamelijk op de levensduur. Indien van een luidspreker als toelaatbaar vermogen 6 W wordt opgegeven, betekent dit dat hij zonder gevaar van beschadiging op een 6 W versterker kan worden aangesloten.

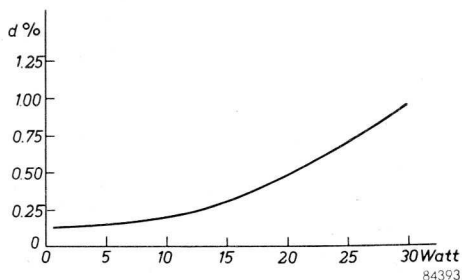


Fig. 84. Vervormingskarakteristiek luidsprekercombinatie AD 5002.

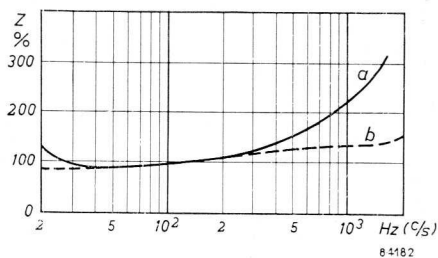


Fig. 83. Spreekspoel-impedantieverloop: a) Normale luidsprekers. b) Luidsprekers met nagenoeg frequentie-onafhankelijke impedantie.

Hoe groot de vervorming bij 6 W is, wordt geheel door de luidsprekerconstructie bepaald; bij een goede luidspreker blijft de vervorming tot vlak onder het gepubliceerde maximale vermogen gering, en ligt de grens waarbij beschadiging kan optreden ongeveer 50% boven het gepubliceerde vermogen. Ter illustratie publiceren wij hier de vervormingskromme van de luidsprekercombinatie AD 5002, gemeten bij een frequentie van 400 Hz (fig. 84).

# HOOFDSTUK IX B

## LUIDSPREKERS :

### AKOESTISCHE PROBLEMEN EN OPLOSSINGEN

#### § 5. Klankborden en luidsprekerkasten

De luidsprekers waarover wij schrijven hebben voor een goede werking een klankbord, kast of hoorn nodig. Zonder deze kunnen de lage tonen niet worden weergegeven, en bovendien zou de luidspreker spoedig defect raken. Door het in de vorige paragraaf vermelde kortsluifeffect, dat optreedt als de kleinste afstand van de luidspreker tot de rand van het klankbord kleiner is dan  $\frac{1}{4}$  golflengte, kan de conus bij lage frequenties, en in het bijzonder bij de resonantiefrequentie, zo gemakkelijk bewegen dat, zodra enig vermogen aan de luidspreker wordt toegevoerd, de conus ontoelaatbaar ver uitslaat, wat beschadiging tot gevolg heeft.

In fig. 85 is het verband tussen de kleinste afstand van de luidspreker naar de rand van het klankbord en de grensfrequentie  $f_c$  getekend. De klankbordafmetingen die uit deze figuur volgen, zijn zodanig, dat wij ons kunnen indenken dat een huisvrouw bezwaren maakt tegen „rechte” weergave tot 60 Hz. Een klankbord van 3 x 3 m is voor een huiskamer te groot.

Bij gebruik van een kleiner klankbord zijn toch nog goede resultaten te verkrijgen, mits de afmetingen worden gekozen onder inachtnaeme van de resonantiefrequentie van de luidspreker. In fig. 86 is de weergavekarakteristiek geschetst van een luidspreker met een resonantiefrequentie van 60 Hz, gemonteerd midden op een klankbord van 1,5 x 1,5 m (getrokken lijn) en van een luidspreker, op het zelfde klankbord gemonteerd, met een resonantiefrequentie van 30 Hz (streeplijn).

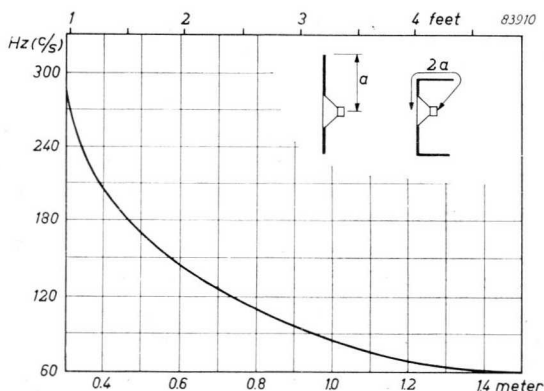


Fig. 85. Grensfrequentie  
als functie van de klankbordafmetingen.

Bij de luidspreker met de hoogste resonantiefrequentie blijkt de weergave tot ongeveer 50 Hz nog bevredigend te zijn; bij deze frequentie is de karakteristiek tot 6 db gezakt, wat nog juist acceptabel is. Van de luidspreker met een resonantiefrequentie van 30 Hz daarentegen is de weergavekarakteristiek reeds bij 60 Hz met 6 db gedaald, en practisch zullen van de allerlaagste tonen alleen die hoorbaar zijn die met de resonantiefrequentie overeenstemmen. Daar, we-

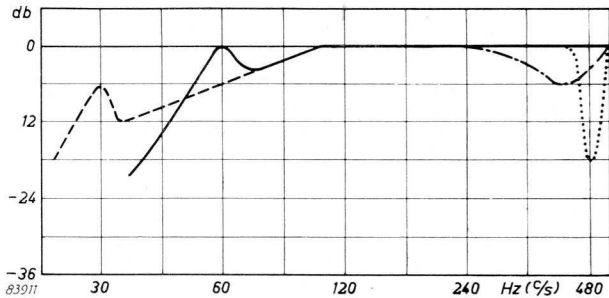


Fig. 86. De invloed van klankbord of luidsprekerkast op de weergave.

gens het te kleine klankbord, de luidspreker akoestisch niet voldoende wordt belast, bestaat dan tevens het gevaar van overbelasting, wat zich allereerst als vervorming kenbaar maakt. De gunstigste oplossing is in het algemeen de resonantiefrequentie één octaaf lager dan de grensfrequentie van klankbord of kast.

Uit de voorgaande figuren is niet af te leiden of het klankbord vierkant of rond was. De laatste vorm is voor klankborden volkomen ongeschikt.

Zoals reeds gezegd, treedt een verzwakking van de weergave op als de golflengte kleiner is dan vier maal de afstand van het midden van de luidspreker tot de rand van het klankbord. Iets dergelijks gebeurt ook bij de vier maal zo hoge frequenties — dus als de golflengte van de toon gelijk is aan de afstand midden luidspreker tot rand klankbord. Bij een rechthoekig of vierkant klankbord is de afstand van middelpunt tot rand niet in elke richting gelijk; bij een cirkelvormig klankbord echter wel, en het resultaat is een zeer scherpe „dip” in de weergavekromme. Als het klankbord niet rond is, zijn de weglengteverschillen in de diverse richtingen niet gelijk, en dus ook niet de daarmee overeenkomende golflengten. Hierdoor wordt dit verschijnsel niet geconcentreerd in een beperkt frequentiegebied, doch „uitgesmeerd” over een groter gebied, waardoor in plaats van een scherpe dip een minder hinderlijk „dal” ontstaat (zie fig. 86; stippellijn = rond, streep-puntlijn = vierkant klankbord).

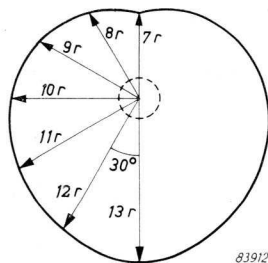


Fig. 87. Hartvormig klankbord.  $7r = a$  in fig. 85.

Het is dus gewenst zoveel mogelijk de cirkelvorm te ontgaan, en daarom verdient het aanbeveling de luidspreker niet precies midden op het klankbord te monteren, doch op een van de diagonalen. Weliswaar komt de luidspreker dan dicht bij twee van de zijanten, waardoor de grensfrequentie hoger komt te liggen, doch de klankbord-dip wordt sterk verminderd.

Een klankbord dat de grootst mogelijke onregelmatigheid in afmetingen bezit en waarbij de klankbord-dip bijna niet meer te constateren is, hebben wij in fig. 87 afgebeeld.

De maat  $7r$  van dit hartvormige klankbord is gelijk aan de maat  $a$  die met behulp van grafiek 85 kan worden gekozen. Hoewel de vorm van het klankbord



op zichzelf wel fraai is, kunnen wij ons best voorstellen, dat deze niet in elk interieur past — een akoestisch goede en voor het oog van de huisvrouw in het algemeen meer bevredigende vorm is geschetst in fig. 88. Dit klankbord geeft de beste resultaten met een luidspreker van ongeveer 30 cm doorsnede.

De klankbordafmetingen die voor werkelijk goede lage-tonen weergave nodig blijken, zijn zodanig dat dergelijke klankborden in de meeste huizen niet kunnen worden geplaatst. De welhaast ideale oplossing is een gat in een muur te maken en de luidspreker daarin te monteren. Practisch gesproken wordt dan over een oneindig groot klankbord beschikt, en komen ook de allerlaagste frequenties tot hun recht. Afgezien van het feit dat de uitvoering van een en ander niet zo eenvoudig is, zal het bezwaar dat het geluid nu in twee kamers even hard hoorbaar is, de toepassing van deze oplossing dikwijls uitsluiten. Bij een dergelijke opstelling moet rekening worden gehouden met het gevaar, dat door tocht of het dichtslaan van een deur de luidspreker kan worden beschadigd; een strakgetrokken hoes om de luidspreker of een ruime beschermkap van goed geluidabsorberend materiaal kan dit gevaar bezweren, hoewel er de resonantiefrequentie door wordt verhoogd.

Methoden waarmee ongeveer gelijke resultaten als met grote klankborden verkregen kunnen worden, doch volgens welke het klankbord minder plaats inneemt, zijn dus van groot belang. Eén hiervan wordt voor radio-apparaten toegepast; het klankbord krijgt dan de vorm van een op één zijde staande open doos en wordt „luidsprekerkast” genoemd. De afmeting  $a$  uit fig. 77 is nu gelijk aan de som van  $p$  en  $q$  in fig. 89. Ook in een dergelijke kast moet de luidspreker bij voorkeur niet precies midden in de voorwand worden gemonteerd. De lucht in de kast en de afmetingen hebben

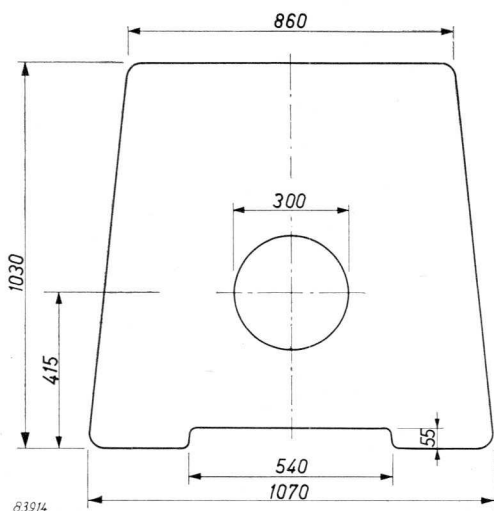


Fig. 88. Trapeziumvormig klankbord.

een zekere invloed op de weergave, en als de kast te diep wordt gemaakt, ontstaat meestal in de buurt van de grensfrequentie een uitgesproken resonantiepiek, waardoor de geluidskwaliteit ongunstig wordt beïnvloed. De klank wordt „boemerig”, met als gevolg, dat spraak en zangstemmen onnatuurlijk klinken en bijna onverstaanbaar worden, terwijl deze resonantie zich zo sterk opdringt dat, als een paar verschillende lage tonen op een cello worden gespeeld, deze alle gelijk klinken, en wel met een toonhoogte gelijk aan die van de resonantiefrequentie. Daarom mag  $q$  niet veel meer dan de helft van  $p$  zijn. Bij

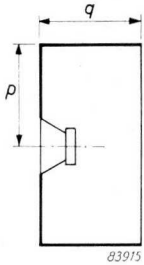


Fig. 89. De open luidsprekerkast.

kleine kasten, of, als men de verhoudingen zeer goed uitzoekt en door metingen controleert, mag van het bovenstaande wel worden afgeweken. Een kast van  $1 \times 1 \times 0,25$  cm presteert dus ongeveer hetzelfde als een klankbord van  $1,5 \times 1,5$  m. Een dergelijke luidsprekerkast mag aan de achterkant niet worden afgesloten, omdat anders de ingesloten lucht als een veerkrachtig kussen gaat werken, met een resonantie in een door de afmetingen van de kast bepaald frequentiegebied. Dit wordt geïllustreerd door fig. 90, waarin de getrokken lijn de weergavekarakteristiek van een luidsprekerkastje voorstelt, als dit niet is afgesloten, en de streeplijn de weergavekarakteristiek in het geval de kast van achteren wel is afgesloten. De grensfrequentie van dit kastje lag bij 700 Hz; de kastdip bij ongeveer 2800 Hz — door het afsluiten van de achterwand ontstond een lelijke resonantie tussen 300 en 1000 Hz, die ook nog de weergave beneden 300 Hz ongunstig beïnvloedde. Indien dus de binnenkant van een dergelijke luidsprekerkast voor kindervingers moet worden afgesloten, is het gebruik van een geperforeerde of gazen achterwand noodzakelijk. Een andere conclusie die hieruit volgt is, dat een dergelijke kast nooit al tegen een muur mag worden geplaatst.

Zelfs een dergelijke open luidsprekerkast vormt nog lang niet altijd de oplossing in de strijd tussen lage-tonen weergave en kamerinrichting, doch verschillende kasten, die echter moeilijker te berekenen en te bouwen zijn, bieden wel de mogelijkheid van goede lage-tonen weergave zonder excessieve afmetingen.

De akoestische box bestaat in principe uit een ook aan de achterzijde gesloten luidsprekerkast van bepaalde afmetingen. Inwendig zijn echter panelen van geluiddempend materiaal aangebracht, die tot functie hebben de door de achterkant van de conus uitgestraalde geluidsgolven te absorberen. Mits goed ontworpen, gedraagt de akoestische box zich precies gelijk een oneindig groot klankbord, en zij wordt ook wel zo genoemd. Voor absorptiemateriaal worden zeer poreuze cellulose platen, meestal ter dikte van 2,5 cm gebruikt, die op een afstand van 1 cm van de wanden op latten worden bevestigd; alleen de voorwand blijft vrij. Een absolute eis voor de akoestische box is, dat de wanden zo stijf zijn dat ze niet mee kunnen trillen, zodat duims hout noodzakelijk is. Ook mag de box niet lekken; dit wil zeggen, de wanden moeten absoluut

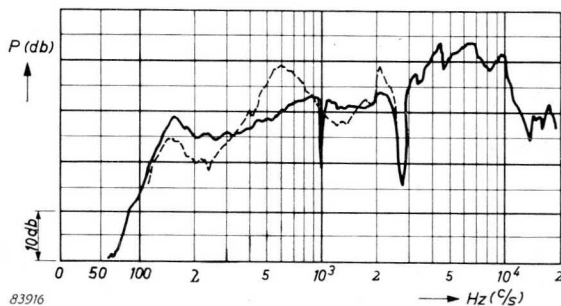


Fig. 90. Geluidsdrukkromme van een luidsprekerkast met/zonder achterwand.

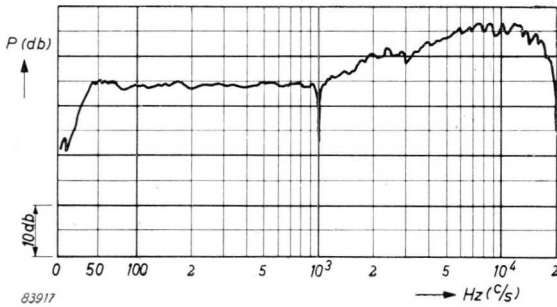


Fig. 91. Geluidsdrukkromme van luidspreker-combinatie AD 5002 (akoestische box met projectoren).

waarde, zodat de val van de tonen beneden de luidspreker-resonantiefrequentie niet 18, doch slechts 12 db per octaaf is. De vervorming beneden de resonantiefrequentie is echter, ook hier, vrij hoog. De te bereiken resultaten zijn te zien in fig. 91 (luidsprekercombinatie AD 5002). Als een vuistregel voor het berekenen van de afmetingen geldt dat, bij gebruik van de luidsprekers type 9710 of 9710 M/88, een akoestische box een inhoud van  $100 \text{ dm}^3$  per luidspreker moet hebben, bij de typen 9758, 9760 en 9762 moet de kastinhoud  $130 \text{ dm}^3$  zijn. De vorm is niet belangrijk zolang de kast maar niet te hoog en te ondiep wordt gemaakt.

Terwijl bij de akoestische box de door de achterkant van de conus opgewekte geluidsgolven worden geabsorbeerd, werkt de bas-reflexkast (fig. 92) volgens een principe waarbij deze golven wél worden gebruikt. In deze kast worden de lage tonen die binnenin ontstaan, met een dusdanige tijdsvertraging via een opening (1) naar buiten geleid, dat zij de directe geluidstrillingen, die van de voorzijde van de luidspreker (2) afkomstig zijn, versterken in plaats van verzwakken. De vertraging wordt verkregen door het ruimte-effect van de kast; de lucht in de kast is te vergelijken met de condensator in een elektrische resonantiekering. De luchtzuil in de kastopening kan worden vergeleken met een zelfinductie van een afstemkring. De combinatie van beide vormt een akoestisch afgestemde kring, en door voor het kastvolume en het oppervlak van de opening de juiste waarde te kiezen, kan de resonantiefrequentie van de kast gelijk aan de luidspreker-resonantiefrequentie worden gemaakt, en treden bij de frequenties, gelegen tussen de resonantie en de grensfrequentie, die zonder achterwand gevonden zou zijn, de gewenste vertragingen op.

De geluidsterkte die bij gebruik van een bas-reflexkast wordt verkregen bij de laagste frequenties is groter dan bij de zo juist beschreven akoestische box, doch helaas moet deze winst worden betaald. Allereerst wordt de luidspreker-resonantiefrequentie door de invloed van de lucht kolom in de kast in sterkere mate verhoogd dan dit

dicht tegen elkaar aansluiten. Dit maakt de constructie voor de niet-vakman moeilijk. De resultaten zijn echter zeer goed — de demping van de luidspreker is zodanig, dat de piek bij de fundamentele resonantie praktisch verdwijnt, waardoor de luidspreker grote vermogens kan verwerken. Indien de kast goed ontworpen is, heeft de grensfrequentie een zeer lage

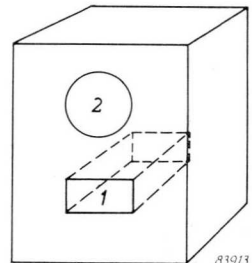


Fig. 92. De bas-reflex kast.

bij de akoestische box het geval is, zodat de allerlaagste tonen niet worden weergegeven, wat nog wordt verergerd door het feit, dat de weergave thans beneden de resonantiefrequentie de volle 18 db per octaaf zakt. Verder treden bij iets hoger gelegen frequenties gauw kastdippen en pieken op. Ten slotte wordt de luidsprekerresonantie niet gedempt, doch door de kastresonantie eerder nog versterkt, zodat wij voor

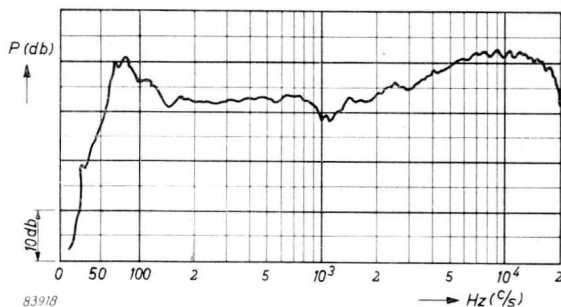


Fig. 93. Geluidsdrukkromme van bas-reflex kast.

kwaliteitsweergave de voorkeur geven aan de akoestische box. Alhoewel wij met onze mening niet alleen staan, zijn wij ons wél bewust, dat velen een andere opinie hebben. De luidspreker-resonantiepiek is bij de bas-reflex dus meer uitgesproken dan bij de akoestische box, waar de piek door demping grotendeels wordt onderdrukt. Juist om deze reden wordt de bas-reflexkast nogal eens voorgetrokken; de in fig. 93 afgedrukte weergavekarakteristiek is van een bas-reflexkast van afmetingen vergelijkbaar met die van de akoestische box van fig. 96; zij laat de verschillen duidelijk zien. Hoewel wij op het standpunt staan dat elke resonantie de weergavezuiverheid ongunstig beïnvloedt, publiceren wij, om onze onpartijdigheid te bewijzen, in fig. 94 een grafiek waarmee de gunstigste afmetingen van een bas-reflexkast kunnen worden bepaald.

Ook hier is het gewenst de binnenkant met geluidabsorberend materiaal te bekleden. De hoeveelheid en de soort van het gebruikte materiaal hebben een zekere invloed op de „levendigheid” van de weergave; de beste oplossing kan alleen door experimenteren worden gevonden.

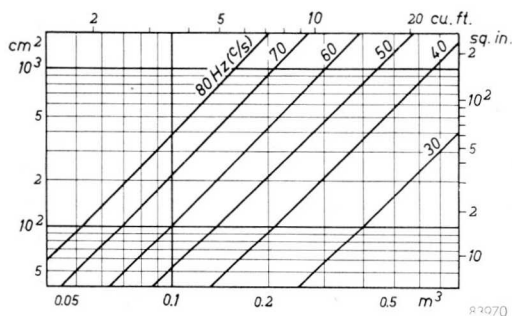


Fig. 94. Grafiek voor het bepalen van kastvolume en sleuf-oppervlak van de bas-reflex kast voor luidsprekers met verschillende resonantiefrequenties.

Het gebruik van een, op de openingen aansluitende, pijp (gestippeld getekend) verlaagt de resonantiefrequentie van de kast. Daar hetzelfde resultaat ook door verkleining van de reflexopening kan worden verkregen, is het beter deze opening iets aan de grote kant te maken, en dan met behulp van een instelbare schuif de opening zo klein te maken, dat het geluid zo mooi mogelijk is. De opening moet niet te dicht bij de luidspreker worden aange-

bracht; grote kasten zijn beter dan kleine kasten, en, evenals bij de akoestische box, moet stevig hout worden gebruikt.

De hoorn zou ideaal zijn om als afsluiting van een luidspreker te dienen zo de afmetingen die voor lage-tonen weergave nodig zijn dit niet onmogelijk maakten. Een hoorn die tonen vanaf 40 Hz weergeeft, heeft een diameter van omstreeks  $2\frac{1}{2}$  m en is meters lang.

Hoewel dit probleem in één geval werd opgelost door de luidspreker in de garage op te stellen en de hoorn in de woonkamer te laten uitmonden, zouden wij de hoorn niet vermelden als geen mogelijkheden bestonden de nodige afmetingen ook in een kleinere ruimte onder te brengen. Door de zaak op te vouwen, zijn voor de huiskamer bruikbare afmetingen te verkrijgen, al is een goede „gevouwen” hoorn

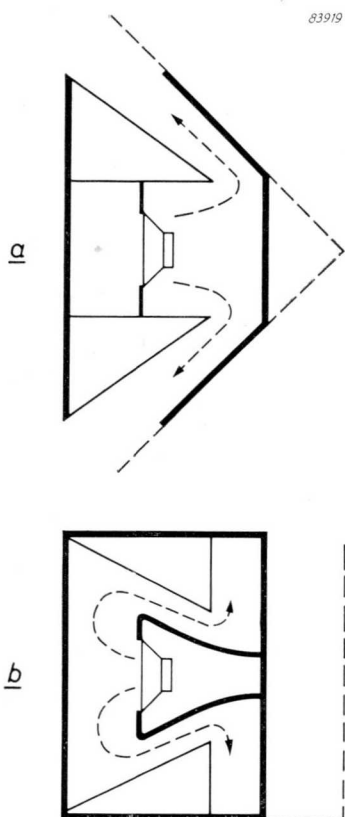


Fig. 95. De gevouwen hoorn in doorsnede: a) Bovenaan-zicht.  
b) Zijaan-zicht.

toch steeds nog een bakbeest. In fig. 95 is a) het boven-, b) het zijaan-zicht van een dergelijke hoorn, die in de hoek van een kamer moet worden geplaatst. De trillingen die aan de achterkant van de luidspreker ontstaan, gaan via een omweg, die zo is gedimensionneerd dat een hoornwerking aanwezig is langs de kamermuren, de kamer in (a). De geluidstrillingen die door de voorkant van de luidspreker worden veroorzaakt gaan eerst naar boven of naar beneden (b) en buigen daarna zijdelings om en volgen verder de weg van de eerstgenoemde geluidstrillingen. De wanden en vloer van de kamer vormen tezamen een voortzetting van de hoorn, en dit is voor de goede werking noodzakelijk. De gevouwen hoorn-luidsprekerkast is gecompliceerder dan uit de vereenvoudigde schetsen te zien is, waardoor de prijs natuurlijk nogal hoog wordt. Het principe om de kamermuren als hoorn te gebruiken is echter gratis en met succes ook op de bas-reflexkast en de akoestische box toe te passen — deze moeten bij voorkeur de vorm van een driehoekig prisma hebben. De kast kan dan gemakkelijk in een hoek worden geplaatst, wat de lage-tonen weergave zeer ten goede komt, en bovendien is een in de hoek geplaatste kast veel minder storend in het interieur.

Wij hebben ons tot nu toe beperkt tot de weergave van de lage tonen, voor de hoge tonen behoeven geen bijzondere maatregelen te worden genomen. Indien afzonderlijke hoge-tonen luidsprekers worden gebruikt, is een klein

klankbord of kastje aan te bevelen, soms is zelfs een klankbord of kastje overbodig.

### § 6. Meer dan één luidspreker

Bij een grammofooninstallatie worden verscheidene luidsprekers in één vertrek toegepast om de volgende redenen :

- a. de hoofd-luidspreker geeft niet voldoende hoge tonen;
- b. ter vermindering van Doppler effect;
- c. om een zekere ruimtewerking te verkrijgen;
- d. om voldoende vermogen te kunnen verwerken.

**Geval a** behoeft weinig commentaar, als de weergave van de hoofd-luidspreker b.v. slechts tot 6000 Hz gaat, moet een extra luidspreker voor de hoogste frequenties worden gebruikt (z.g. tweeter). Een klankbord is bij dergelijke hoge frequenties overbodig; soms wordt een kleine hoorn gebruikt om de hoge tonen beter te richten, soms ook een aantal hoorntjes om het geluid beter te verspreiden. In een aantal gevallen wordt de tweeter in de hoofd-luidspreker voor de conus gemonteerd — in enkele gevallen er achter en gaat het geluid via een kanaal in het magneetsysteem naar een voor de conus van de lage tonen luidspreker geplaatste hoorn. Behalve bij dergelijke combinatieluidsprekers, mag een tweeter nooit met de hoofd-luidspreker in dezelfde kast worden gemonteerd; wel er voor, er naast of er boven. Om te voorkomen dat bij verandering van de toonhoogte de muziek heen en weer springt, mag de afstand tussen tweeter en bas-luidspreker niet groot zijn. Met behulp van een scheidingsfilter worden de hoge en de lage frequenties afzonderlijk aan de betreffende luidsprekers toegevoerd.

**Geval b** is aan het vorige sterk verwant, alleen moet de overgangsfrequentie lager worden gekozen; meestal laat men een luidspreker de lage tonen tot ongeveer 1000 Hz weergeven, en een tweede luidspreker de rest. Ook voor de laatstgenoemde is een, zij het klein, klankbord nodig, en het is tevens van belang dat de beide luidsprekers in fase werken. Dit wil zeggen dat, als de stroom in de luidsprekerleiding een bepaalde richting heeft, beide conussen bijvoorbeeld naar voren moeten bewegen. Dit wordt gecontroleerd door met een zaklantaarnbatterij na te gaan aan welke luidspre-

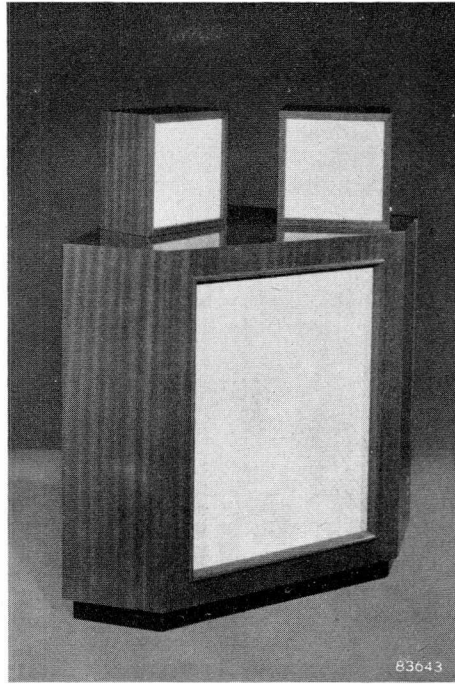


Fig. 96. Luidsprekercombinatie AD 5002.

kerklem de plus-pool moet komen, opdat de conus naar voren beweegt. Als de conusen in tegenfase bewegen, wordt de totale weergavekarakteristiek in het gemeenschappelijk weergegeven frequentiegebied zeer onregelmatig.

De onder *c* vermelde ruimtewerking staat thans in het middelpunt van de belangstelling. Een muziekuitvoering beluisterd door het sleutelgat van de concertzaal verliest veel aan schoonheid. Een luidspreker is zoveel kleiner dan een orkest, dat de muziek die hij weergeeft ons als het ware via een sleutelgat bereikt. Ter vermindering van het sleutelgat-effect gebruikt men verscheidene luidsprekers, die op enige afstand van elkaar zijn geplaatst.

In dit geval moeten alle luidsprekers ongeveer gelijke weergavekarakteristieken hebben, om te voorkomen dat het geluidsbeeld onstabiel wordt. Als b.v. een van de luidsprekers meer hoge tonen weergeeft dan een andere, kan het gebeuren dat een zangstem onderweg naar de hoge *C* plotseling van een hoek van de kamer naar een andere verschuift, wat zo niet voor de zanger(es), dan toch wel voor de luisteraar vermoeiend en irriterend is. Het is eveneens noodzakelijk, dat alle luidsprekers in fase werken. De eis dat alle luidsprekers dezelfde weergavekarakteristiek moeten hebben geldt alleen voor de frequenties boven 300 à 500 Hz. Voor de lagere tonen is ons gehoor weinig richtingsgevoelig, en men kan dus volstaan met slechts een van de luidsprekerkasten groot te maken — de andere mogen rustig kleiner zijn — wel moet met een scheidingsfilter worden gezorgd, dat de luidsprekers in de kleine kastjes de laagste tonen niet toegevoerd krijgen, omdat anders het gevaar van overbelasting bij de resonantiefrequentie bestaat.

Bijzonder goede resultaten worden verkregen door de luidspreker voor de hogere tonen in geluidsprojectoren te monteren, die het geluid vrij sterk bundelen en de geluidsbundels tegen een van de muren doen kaatsen. Evenals diffuus licht de gezelligheid van een huiskamer verhoogt, wint ook de klankwaliteit van electrisch weergegeven geluid door dit te diffuseren.

In dit geval is het noodzakelijk over luidsprekers te beschikken, waarbij het rendement ook bij hoge tonen gelijk blijft, luidsprekers met een vlakke geluidsdrukarakteristiek (zie blz. 113) zijn hiervoor niet geschikt. Een voorbeeld van een voor dit doel ontworpen luidsprekercombinatie is in fig. 96 getoond; op de akoestische box, die de tonen van 30 tot 400 Hz weergeeft, staan twee projectoren, die het frequentiebereik 400 tot 20.000 Hz reproduceren (zie ook fig. 91). Bij een juiste opstelling van de projectoren kan een enige meters breed klankbeeld worden verkregen, waarin de verschillende muziekinstrumenten ruimtelijk gescheiden lijken zonder bij toonhoogteveranderingen te verschuiven. Op deze manier kan ook het bezwaar worden onderzocht, dat een hoek niet de plaats is waar men een solist of orkest zou opstellen. Het geluid moet uit psychologische overwegingen bij voorkeur van een der korte wanden van een kamer komen.

Over het onder *d* genoemde geval dat, om voldoende vermogen te kunnen verwerken, verscheidene luidsprekers worden gebruikt, is weinig te vertellen. Hier zullen meestal gelijke luidsprekers worden gebruikt, doch combinatie met een der andere gevallen is ook mogelijk. Zodra echter verschillende luidsprekers worden gebruikt, moet er rekening mee worden gehouden, dat de karakteristieken goed bij elkaar aanslui-

ten en de rendementen gelijk zijn — anders kan het resultaat zeer teleurstellend zijn. Het is noodzakelijk dat alle luidsprekers in fase werken, en bij de aansluiting moet hierop dus worden gelet; terwijl natuurlijk niet vergeten mag worden, dat bij aansluiting van verscheidene luidsprekers de belastingsweerstand verandert, zodat een andere uitgangstransformator, resp. een andere aftakking, hierop moet worden gebruikt. De vervangweerstand van  $n$  in serie geschakelde luidsprekers met een spreekspoelweerstand van  $R$  Ohm is  $n R$  Ohm; als de luidsprekers parallel geschakeld worden, wordt de vervangingsweerstand  $R : n$  Ohm. Bij parallelschakeling van twee takken, elk bestaande uit twee in serie geschakelde luidsprekers, blijft de vervangweerstand  $R$  Ohm.

Als de hoge en de lage tonen aan afzonderlijke luidsprekers moeten worden toegevoerd, is een scheidingsfilter nodig. Dit bestaat uit een combinatie van spoelen en condensatoren als bij voorbeeld is getekend in figuur 97a; in fig. 97b zijn de karakteristieken van dit filter getekend. In elke tak

worden de stromen van een zekere frequentie af 6 db per octaaf verzwakt. Een prettige eigenschap van dit filter is, dat de ingangswaerstand practisch gelijk aan de weerstand van één luidspreker is, mits althans beide luidsprekers dezelfde spreekspoelimpedantie hebben en deze redelijk frequentie-onafhankelijk is. Als de spreekspoelimpedantie, verhoogd met de verliesweerstand van spoel of condensator,  $R$  is, dan is

$$L = \frac{R}{2 \pi f_0} \quad \text{en} \quad C = \frac{1}{2 \pi f_0 R}, \quad \text{in praktische waarden}$$

$$L = \frac{159 R}{f_0} \quad \text{millihenry} \quad C = \frac{159.000}{f_0 R} \quad \text{microfarad.}$$

$f_0$  is hier de scheidingsfrequentie.

Filters met sneller dalende karakteristiek bestaan ook; het in fig. 97c getekende filter geeft een verzwakking van 12 db per octaaf. De ingangswaerstand van dit filter is

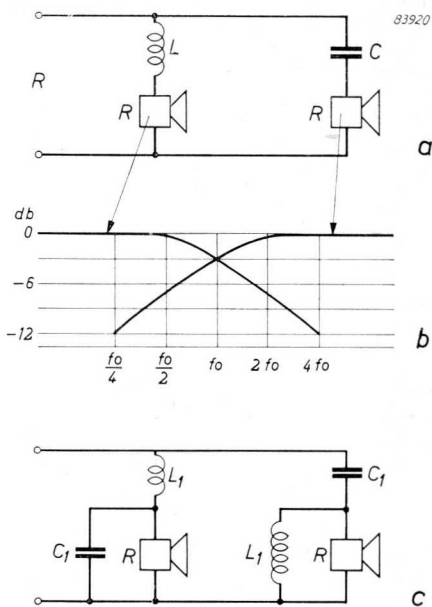


Fig. 97. Luidspreker-scheidingsfilter :  
 a) Schema voor een verzwakking van 6 db per octaaf. b) Frequentie karakteristiek van de in a) getekende schakeling. c) Schema voor een verzwakking van 12 db per octaaf.



eveneens gelijk aan de spreekspoelimpedantie van één luidspreker. Als de scheidingsfrequentie minder dan ongeveer 2 octaven van het kantelpunt van de toonregeling verwijderd is (het kantelpunt van de toonregeling uit de fig. 61 en 62 ligt bij 1000 Hz — zie ook de figuren 37 en 38), verdient een dergelijk filter de voorkeur. Anders kan het voorkomen dat, als bij voorbeeld de hoge-tonen regelaar in de maximum stand staat, de lage-tonen luidspreker ongewenst veel hoge tonen krijgt toegevoerd. De waarden van de onderdelen volgen uit de formule

$$L_1 = \frac{225R}{f_0} \text{ millihenry en } C_1 = \frac{112.000}{f_0 R} \text{ microfarad.}$$

Een val van meer dan 12 db per octaaf is niet wenselijk.

Voor de condensatoren kunnen bipolaire electrolytische condensatoren of desnoods gewone typen worden gebruikt; de bedrijfsspanning van deze laatste moet dan minstens 30 maal hoger zijn dan de op de luidspreker te verwachten wisselspanningen. Voor de spoelen worden bij voorkeur Ferroxdure kernen gebruikt, omdat dan bij kleine afmetingen de verliesweerstand nog laag kan worden gehouden. Voor amateurs die de filters zelf willen vervaardigen, komen eerder luchtspoelen in aanmerking (fig. 98, berekend voor draad van 1,6 mm diameter;  $a = 2\frac{1}{2}$  cm, voor spoelen tot 350 windingen,  $b = 2\frac{1}{2}$  cm,  $c = 7$  cm; grotere spoelen  $b = 4$  cm,  $c = 10$  cm). Door het gebruik van verkeerd ontworpen spoelen met ijzerkernen, kan een aanzienlijke vervorming worden veroorzaakt. De filters veranderen de faze van de stroom, die in de hoge-tonen tak  $90^\circ$  voor- en in de lage-tonen tak  $90^\circ$  najilt. Hiermede moet bij het aansluiten van de luidsprekers rekening worden gehouden; de verbindingen moeten nu zo gemaakt worden, dat de luidsprekers zonder het scheidingsfilter in tegenfaze zouden werken.

## § 7. De luisterruimte

Over akoestiek zijn reeds meer boeken geschreven dan wij zouden willen en kunnen lezen — wij willen, om dit aantal niet nog groter te maken, hier dus slechts kort zijn. Te dikwijls wordt echter vergeten dat de beste installatie in een vertrek met slechte

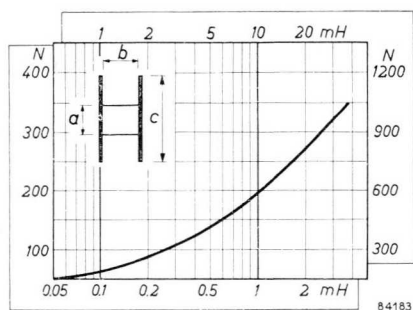


Fig. 98. Grafiek voor het berekenen van spoelen voor scheidingsfilters

eigenschappen nooit werkelijk goed kan klinken, wat trouwens niet alleen voor een grammofoon, maar ook voor oorspronkelijke muziekbronnen opgaat. Zoals akoestisch goede en slechte zalen bestaan, komen ook goede en slechte kamers voor. Een belangrijke akoestische eigenschap is de nagalmtijd. De nagalmtijd is het aantal seconden, waarin de geluidsterkte, na het stoppen van het oorspronkelijk geluid, 60 db zwakker is geworden. De gewenste nagalmtijd is afhankelijk van de grootte van het vertrek, en moet voor woonkamers ongeveer  $\frac{1}{2}$  seconde bedragen. Het is mogelijk de nagalmtijd van een vertrek

te berekenen, doch dit is nogal veel werk, en het klopt toch niet altijd, zodat wij liever om een en ander te verduidelijken gebruik maken van een analogie.

Een volkomen wit betegelde kamer is niet gezellig, omdat het licht veel te sterk is; echter, ook een kamer waarvan alle wanden, zowel als plafond en vloer, zwart zijn, is niet intiem. In geen van beide kamers komt een mooi voorwerp goed uit. Door een juist kleurenschema te kiezen, is wel gezelligheid te bereiken en krijgt het schone een passende achtergrond.

Zo is het ook met geluid; in een kale kamer schettert en galmt het, zodat de luisteraar van het brute geluid hoofdpijn krijgt; in een te zwaar gedrapeerd vertrek wordt het geluid iel en flets, waardoor het niet boeit. Een kamer met twee witte en twee zwarte muren heeft gemiddeld misschien wel ongeveer de juiste reflectiecoëfficiënt voor het licht, doch een vertrek waar alle wanden ongeveer dezelfde reflectiecoëfficiënt hebben, voldoet toch heel wat beter. Zo zal een luisterruimte waar geluidreflecterende en -absorberende vlakken gelijkmatig verdeeld zijn, een betere akoestiek hebben dan een salon waar twee wanden kaal zijn en de rest is behangen met zware gordijnen. Als het geluid iel is, verdient het dus aanbeveling de gordijnen ook 's avonds eens open te laten — schettert de muziek te veel, dan zou dit een aanleiding kunnen zijn om toch maar fluwelen gordijnen aan te schaffen, of een dikker vloerkleed neer te leggen. Berekenen (behalve de prijs van de gordijnen) is niet nauwkeurig mogelijk; voor wie wil experimenteren met in de woning reeds aanwezige materialen geven wij de volgende tabel.

Geluidsabsorptie		
Weinig	Gemiddeld	Veel
Beton	Fluwelen gordijnen (dun)	Karpet meer dan 5 mm dik
Metselwerk	Celotex	Cocosmat
Glas	Schilderijen	Fluwelen gordijnen (zwaar)
Vitrage	Dunne wollen dekens	Kussens
Linoleum enz.	Viltpapier	Donzen dekens
Gepleisterde en behangen muren	Twist mat	Gestoffeerde meubelen
Hout		Kramfors
Rubber		Akoestisch celotex

Ter oriëntatie zij vermeld, dat een vertrek van  $5 \times 4 \times 2\frac{1}{2}$  m, waarvan de muren met celotex zijn bekleed, ongeveer de juiste nagalmtijd heeft; als dit celotex met waterverf wordt beschilderd, verandert de akoestiek volkomen, de nagalmtijd wordt langer en de muziek klinkt harder en scheller.

Indien, om de akoestiek te verbeteren, platen celotex tegen de muren worden bevestigd en tussen muren en platen ruimte overblijft, kan het voorkomen dat de ruimte

tussen plaat en muur als een gesloten, ongedempte klankkast gaat werken, wat van ongunstige invloed is op de kamerakoestiek. In een dergelijk geval moeten een aantal gaten, van ongeveer 1 cm doorsnede, in het materiaal worden gemaakt.

Indien de celotex platen tevens als functie hebben de kamer zoveel mogelijk tegen geluiden van buiten af te isoleren, verdient het aanbeveling de naar de muur gekeerde zijde met lak of verf te bestrijken, waardoor de stoorgeluiden worden teruggekaatst; gaten zijn dan natuurlijk niet toegestaan.

Kramfors, akoestisch celotex en andere speciale materialen absorberen het geluid in zo sterke mate, dat zij niet gebruikt kunnen worden om een kamer geheel te bekleden; deze stoffen zijn zeer zacht en kunnen daarom slechts worden toegepast als zij tegen aanraking beschermd zijn. Verf of lak is ook bij deze materialen van ongunstige invloed op de geluidsabsorptie.

Voor de laagste tonen, die zeer weinig door bekleding worden geabsorbeerd, blijkt meestal dat de vloer een van de belangrijkste factoren is. In een kamer met een slappe houten vloer, in het bijzonder als daaronder een kelder is, kunnen de bas-tonen zich meestal zeer goed ontwikkelen, soms zelfs te goed, zodat de bassen alles overheersen. In een dergelijk geval is het aan te bevelen de luidsprekerkast op rubber tubes of schuimrubber te zetten; eventuele benedenburen zullen hier trouwens dankbaar voor zijn.

Omgekeerd, blijkt een stenen of cementen vloer ongunstig te zijn, en in zalen met dergelijke stijve vloeren zijn de lage tonen meestal te zwak en „leven” niet, onverschillig of het gaat om een oorspronkelijk orkest of om elektrische weergave. Het is een zeer leerzame proef de grammofoon eens in de badkamer en in een even grote slaapkamer te zetten — het is alsof men twee verschillende instrumenten hoort; uit een en ander kunnen goede conclusies over de akoestiek van zit- of muziekkamer worden getrokken.

Door met de band-recorders in verschillende vertrekken opnamen te maken van hetzelfde geluid, bij voorbeeld spraak, en al deze opnamen onmiddellijk na elkaar terug te spelen, komen de verschillen in akoestische eigenschappen nog duidelijker uit; een dergelijk experiment kan eveneens aanwijzingen voor de verbetering van de akoestiek in de luisterruimte geven.

Dat bijgeluiden tot een minimum beperkt moeten worden is wel duidelijk — muziek komt nooit goed uit tegen een achtergrond van verkeerslawaai, rammelende kopjes, babbelende dames (en heren), en bij een hoog lawaainiveau worden de laagste en de hoogste frequenties door zulke storingen het eerst gemaskeerd. Door de muziek in trilling gebrachte ruiten, kopjes, glazen en snuisterijen zijn hinderlijk, doch de oorzaak van dergelijke bijgeluiden is meestal gemakkelijk op te sporen en te verhelpen. Moeilijker, maar zeer leerzaam, was het geval van een grammofooninstallatie die bij de weergave van bas-tonen plotseling een vervormd geluid liet horen.

Na onderzoek van pick-up, versterker en luidspreker bleek de oorzaak te schuilen in het feit dat een onlangs aangeschaft kastje, dat overigens niets met de grammofoon had uit te staan, bij bepaalde tonen ging meetrillen, en daardoor niet alleen die tonen versterkte, doch tevens lelijk vervormde boventonen produceerde.

Ten aanzien van de opstelling van de luidspreker hebben wij er reeds op gewezen,

dat hiervoor een hoek uitermate geschikt is; hieraan zij nog toegevoegd, dat het altijd raadzaam is de luidsprekers zo ver mogelijk van de luisteraars verwijderd op te stellen. Hoewel, indien de platenspeler of -wisselaar en de versterker in dezelfde kast als de luidspreker zijn ingebouwd, dit wat heen en weer geloop betekent, weegt deze inspanning niet op tegen de grotere natuurlijkheid die het geluid krijgt door het feit dat de reflecties en de daaruit volgende nagalm van de kamer goed tot hun recht kunnen komen.

Worden verscheidene luidsprekers gebruikt, waarvan één opgesteld in een nevenliggend vertrek (suite), dan is het resultaat meestal het best als de nagalmtijd van dat vertrek iets langer is, dus de muren het geluid minder absorberen dan in de luisterkamer.

# HOOFDSTUK X

## HIGH FIDELITY — BEOORDELING EN BEPROEVING

### § 1. High Fidelity

Afgaande op de titel van dit boek kon een definitie van het begrip „High-Fidelity” reeds in het eerste hoofdstuk worden verwacht. Hi-Fi is echter niet in een eenvoudige definitie te vangen; een ontzaglijk aantal artikelen is hierover reeds geschreven, wat er al op wijst dat een en ander ingewikkelder is dan de beschrijving die lang voor 1940 werd gegeven: „Weergave van alle frequenties tot minstens 7500 Hz”. Dit was een, zij het verouderde, objectieve technische definitie. De schrijver geeft zijn eigen, subjectieve, definitie: „Een dusdanige weergave dat de muziek mij zoveel mogelijk hetzelfde genoeg geeft als in de concertzaal”.

Daar het doel van muziekweergave eerst en vooral de muziek is, en de techniek hier slechts een dienende rol vervult, geven wij aan de bespreking van de subjectieve beoordeling de voorrang.

Het is bekend dat zeer beroemde musici soms grammofoons bezitten die slechts een magere en vervormde weergave van het geluid in de studio bieden, doch er toch met bijzonder veel genoeg naar luisteren. Als ze „foei” of iets dergelijks zeggen, slaat dit niet op de abominabel slechte klank, doch betekent het alleen dat zij het met de muzikale interpretatie niet eens zijn. Deze mensen luisteren met hun muzikaal herinneringsvermogen — de uit de luidspreker komende klanken zijn voor hun geheugen niet veel meer dan de dirigerestok. Schrijver dezès, die zeker geen beroemd musicus is, stelt hogere eisen — eigenlijk zou het ons aangenaam zijn als alleen het ontbreken van gekuch en gestommel, verraden dat wij thuis en niet in de concertzaal zijn.

Nu is het niet zó, dat de eisen die door een luisteraar aan de weergavekwaliteit worden gesteld, omgekeerd evenredig zijn aan zijn muzikaliteit.

Nee, **sommigen** zijn door hun grote muzikale ervaring met een geringere weergavekwaliteit tevreden, en anderen die deze ervaring in minder sterke maten hebben, stellen de eisen hoger. Tegenover de zeer muzikalen staat de grote categorie van hen die bijna al hun muzikale ervaring uit blik hebben, en eveneens slechts geringe eisen aan de weergavekwaliteit stellen. De beide extremen komen weer dicht bij elkaar daar allebei denken dat het niet anders kan — de muzikalen door verwaarlozing van de technische mogelijkheden of door gebrek aan interesse hiervoor, de „muziek-in-blik” mensen uit onkennis van echte muziek. Wij zijn ons bewust dat een en ander caricaturaal wordt voorgesteld, doch moge het schrijven over muziek moeilijk zijn, het schrijven over „klank” en dat is waar het hier om gaat, is ook erg lastig, reden waarom wij aan het bovenstaande een absoluutheid hebben gegeven die heus niet altijd opgaat.

De eerste reacties van hen die met „Low Fidelity” weergave tevreden zijn en voor het eerst High Fidelity weergave horen, zijn lang niet altijd gunstig. Dit kunnen

wij ons gemakkelijk indenken voor die luisteraars die om de een of andere reden zelden of nooit in een concertzaal komen — deze kennen de echte klank niet. Om een raar voorbeeld te geven : iemand die zijn hele leven lang alleen maar cello's heeft gehoord, zal even moeten wennen aan de klank van een viool. Evenzo zal iemand die alleen maar slechte weergave heeft gehoord evengoed moet wennen aan de originele muziekklanken, als aan goede weergave.

Bij de musici ligt dit iets anders. Als de weergave maar een slap aftreksel is van het oorspronkelijk geluid, stoort deze weergave het „meeluisteren in het geheugen” niet. Bij ideale weergave is — evenals in de concertzaal — voor een dergelijk ongesteld innerlijk meeluisteren minder plaats. De muziek is daar in haar geheel en eist ons op. De dirigent voor wie in de concertzaal het orkest middel is, wordt nu geconfronteerd met een orkest dat niet naar hem luistert — dat hem niet volgt doch juist vóór gaat. Daarbij komt nog dat de concentratie op de muziek in de beslotenheid van een kamer veel groter kan zijn dan in de muziekzaal. Als een musicus over een werkelijk goede installatie een hem onbekend werk hoort, of een instrument van uitzonderlijke kwaliteit — dit gaat vooral op voor zangstemmen — dan gaan hem meestal de oren open en begint hij bijzonder hoge eisen aan de weergave te stellen. Tot welke moeilijkheden trouwens de verwaarlozing van de technische mogelijkheden aanleiding kan geven, bleek uit een recensie van Grumiaux' uitvoering van Paganini's 4e vioolconcert. De recensent schreef dat deze solist zijn instrument nog niet voldoende beheerste. De oorzaak van de door de recenserende musicus gehoorde misklanken was echter niet een onvoldoend meesterschap van de strijdstok, doch vervorming van de versterker ! Dit voorbeeld toont aan hoe nodig het is om bij een beoordeling van grammofoonmuziek het origineel steeds als uitgangspunt te gebruiken.

Nu is onze hierboven gegeven privé-definitie ook nog niet zonder verscholen moeilijkheden. Als Grumiaux in de zaal speelt hoort hij de klank van zijn Stradivarius anders dan wij, omdat hij het instrument vlak bij zijn oor heeft, terwijl wij tal van meters van hem verwijderd zitten. De microfoon, die vlak bij de viool staat, geeft ons via de grammofoonplaat het geluid door dat de solist hoort en deze intimiteit mist men in de concertzaal, doch bevreedt ons soms in de huiskamer.

Bij orkestopnamen treedt dit nog sterker naar voren. De violist in het orkest hoort zijn eigen instrument nauwelijks; dit wordt door de hem omgevende instrumenten overstemd. In de zaal krijgt men een „klank op afstand” — bij een goede microfoonplaatsing hoort men thuis de violen zoals de violisten dit zelf zouden horen als het niet zo een lawaai (excusez le mot) was. Terwijl men gedurende een muziekuivoering slechts één piano of één viool te horen krijgt, kan men bij een platenconcert, onmiddellijk na elkaar een Bechstein. Pleyel of Steinway horen, een Stradivarius of een Amati, en vooral als men niet weet naar welke instrumenten men luistert, kan dit grote verwarring veroorzaken. Omgekeerd volgt hieruit een definitie voor high-fidelity weergave: de weergave moet dusdanig zijn, dat de karakteristieke eigenschappen van individuele muziekinstrumenten volledig tot hun recht komen. Dit alles echter maakt de beoordeling van grammofoonweergave op het gehoor moeilijk en toch is dit de enige uiteindelijke maatstaf.

Niet alleen de subjectieve definitie van „High Fidelity” veroorzaakt moeilijkheden, ook de technische definitie, die objectief behoort te zijn, ligt nog niet vast. Het is voor de hand liggend, dat men de eis stelt dat de weergave vrij van waarneembare vervorming moet zijn.

- Dus 1. Het hele hoorbare frequentiegebied moet gelijkmatig worden weergegeven.  
2. De dynamiek van de oorspronkelijke muziek moet onverzwakt worden overgedragen.  
3. Ook bij de luidste fortissimo passages moet de niet lineaire vervorming en wel in het bijzonder de intermodulatie- en de verschiltoonvervorming beneden het waarnemingsniveau liggen.  
4. Stoorgeluiden, zoals brom en ruis, mogen ook in de pianissimo passages niet hinderlijk zijn.  
5. Impulsgeluiden moeten onvervormd, dus zonder uitslingerverschijnselen, worden weergegeven.

Door voor elk van de bovenstaande punten een bepaalde kwantitatieve eis vast te leggen waaraan een installatie moet voldoen, kan men tot een technische definitie van „High Fidelity” komen.

Bij voorbeeld :

1. Weergave tussen 16 en 20.000 Hz recht binnen 2 db
2. Dynamiekbereik 60 db
3. Intermodulatievervorming bij maximale geluidsterkte, minder dan 2%, verschiltoonvervorming minder dan 0,75%
4. Stoorgeluiden 60 db zwakker dan de fortissimo passages
5. Geen resonanties in de installatie tussen 0 en 60.000 Hz, fazedraaiingen tussen 10 en 20.000 Hz minder dan  $10^\circ$

Ook deze definitie is weer subjectief, want er is nog te weinig bekend over de mate van hinderlijkheid van de verschillende soorten vervorming, in het bijzonder als verscheidene soorten gelijktijdig optreden, om met wetenschappelijke zekerheid te kunnen vaststellen wat wel en wat niet mag. Met evenveel recht mogen bovenstaande eisen dus verzwakt, of lichter gemaakt worden; elke keus binnen het redelijke is min of meer willekeurig. Dit zou op zichzelf nog zo erg niet zijn, als men de zekerheid had dat de installatie, met de beste meetresultaten, ook de beste weergave bood, doch dit is helaas niet altijd het geval. Kennelijk bestaan er dus nog een aantal factoren die aan de huidige meetmethoden ontsnappen, ook als nog andere dan de hierboven vermelde eigenschappen worden gemeten.

Deze factoren zijn gedeeltelijk van psychologische en gedeeltelijk van fysiologische aard. Een hiervan zullen wij met een voorbeeld illustreren. Bij een proef werd in de laboratoriumstudio een piano bespeeld, in een nevenliggend vertrek werd het pianogeluid weergegeven. Microfoon, versterker en luidspreker konden alle beschouwd worden als het beste wat de hedendaagse wetenschap kan bieden. Desondanks waren wij enigszins teleurgesteld door het weergegeven geluid, totdat wij, met één vinger in één oor, ons hoofd eens vlak naast de microfoon hielden. De echte piano klonk toen praktisch net zo als de weergave door de luidspreker. Het enkele elektrische oor, dat wil zeggen de microfoon, kon dus onze beide oren niet

vervangen. Een oplossing, die theoretisch trouwens nog niet volkomen ideaal is, wordt verkregen door twee microfoons, met twee versterkers en twee luidsprekers te gebruiken. Een dergelijke stereofonische weergave is inderdaad beter dan de weergave over één kanaal, doch ook afgezien van de kosten, voor de grammofoonplatenliefhebber van geen praktische waarde, daar nagenoeg geen voor dit doel vervaardigde platen verkrijgbaar zijn. Bij verdere proeven in de studio bleek echter dat, als de enkele luidspreker vervangen werd door meerdere luidsprekers met verschillende weergavebereiken en welke op een juiste manier werden opgesteld, het oorspronkelijke geluid veel beter werd benaderd.

Strikt wetenschappelijk genomen is het aansluiten van verscheidene luidsprekers in één vertrek en op één versterker een soort vervorming; deze vervorming verbeterde echter het resultaat. Evenzo is het bekend dat door de weergavekarakteristiek in het midden-toonbereik niet vokomen recht te maken, het weergegeven geluid natuurlijker kan klinken — een tweede voorbeeld van kwaliteitsverbetering door vervorming. Zo zijn meer voorbeelden te geven en waarschijnlijk is ons heel veel nog onbekend. De moraal van het voorafgaande is dat, nadat alle metingen verricht zijn, de luisterproef essentieel is voor het trekken van conclusies. Muzikale ontwikkeling is niet de eerste vereiste voor de beoordeling op het gehoor, doch wel jarenlange luisterervaring en een gedegen technische kennis, gepaard gaande aan een goed geheugen voor klank. Dit alles is nog niet voldoende als de luisteraar niet over een behoorlijke dosis zelf-critiek beschikt, zodat hij zich niet om de tuin laat leiden door bij voorbeeld een onbewuste voorkeur voor te geaccentueerde bastonen of overdreven hoge tonen, noch door het feit dat hij luistert naar een installatie die hij zelf ontworpen heeft.

Het bovenstaande moet voor de leek wel teleurstellend zijn door het ontbreken van een eenduidig antwoord op de vraag wat „High Fidelity” is. Het verklaart tevens hoe soms aan minderwaardige apparaten het etiket „Hi Fi” gehangen kan worden zonder dat de fabrikant met de rechter in aanraking komt.

Een definitie van High Fidelity bestaat nog niet, een criterium is er wel. Dat is de bevrediging die lang en aandachtig luisteren geeft. Hoewel wij niet willen beweren dat het luisteren naar grammofoonplaten het concertbezoek vervangen kan, bestaat nu toch de mogelijkheid dat men na het horen van een symphonie, een violsolo of een zangrecital niet meer zegt: „Hoe mooi moet dat in de zaal geklonken hebben”. Als Uw installatie zodanig is, dat U, psychologische factoren buiten beschouwing gelaten, de concertzaal nauwelijks mist, dan bestaat een goede kans, dat U de definitie van High Fidelity gevonden hebt.

## § 2. De beoordeling

De uiteindelijke beoordeling van een grammofooninstallatie wordt door het oor gegeven. Dat ons muzikale geheugen, hoe goed dit voor compositie en toonhoogte ook moge zijn, in de meeste gevallen voor klank vrij onnauwkeurig is, maakt dit niet eenvoudig als geen vergelijkingsmateriaal direct bij de hand is. Hoever de techniek gevorderd is bleek uit recente proeven in het Amsterdams Concertgebouw. Hier werd o.a. quatre-mains pianomuziek gespeeld, waarbij een der partijen van te voren was opgenomen en gedurende het spelen van de tweede partij werd weergegeven. De



aanwezige musici, technici en muziekminnaars konden, zonder te kijken, niet zeggen welke van de twee partijen via het weergavekanaal tot hen kwam.

Daar de in particulier bezit zijnde muziekinstrumenten meestal van mindere kwaliteit zijn dan die bij grammofoonopnamen gebruikt worden, de akoestische verhoudingen in de huiskamer anders zijn dan in de concertzaal, en slechts zeer weinigen, opnametechnici uitgezonderd, voor het maken van vergelijkingen, over symphonieorkesten kunnen beschikken, moet voor het vormen van een oordeel echter toch een beroep op het geheugen worden gedaan.

Hieronder zijn een aantal platen gerubriceerd die daarbij van nut kunnen zijn. Dit is maar een kleine keuze uit het enorme repertoire en niet bedoeld als richtlijn bij de aanschaffing. Moussorgsky's „Schilderijtentoonstelling” bij voorbeeld moet uit muzikale interesse en niet vanwege de opnamekwaliteit gekocht worden, doch de bezitters van genoemde plaat kunnen aan de hand hiervan zich over de kwaliteit van hun installatie oriënteren. (Een sterretje bij het nummer geeft aan dat ook nog andere composities op de betreffende plaat staan).

a. Lage-tonen weergave.

Grote trommen en pauken hebben een zeer lage grondtoon. Is de lage-tonen weergave van een apparaat te beperkt, dan wordt de Turkse trom in het geheel niet weergegeven of klinkt als een rommelige pauk en pauken maken een geluid als of ze niet goed gespannen zijn. De turkse trom of andere grote percussie-instrumenten zijn goed hoorbaar in de volgende platen :

Moussorgsky-Ravel „Tableaux d'une Exposition” (Philips A 00607 R) in het deel De Poort van Kiev;

Tchaikowsky „Ouverture Solennelle” 1812 (A00603 R) Finale;

Beethoven „Symphonie No. IX” (A00145/46 L) tussen vocale gedeelten van het laatste deel

Dvorak „Symphonie No. V” (A 001154 L) in het begin;

Duke Ellington „Uptown” (B07008L) In „Skin Deep” en het begin van „The Mooche”;

Music by the Marines II (P 10050 R) o.a. Manoeuvre Mars.

Ook orgelopnamen bevatten soms zeer goede lage tonen, o.a.

Mendelsohn-Bartholdy „Sonate No. 2” (N00118 L).

De laagste toon die wij ooit op een grammofoonplaat hoorden is de gongtoon aan het eind van Begdja „The Gamalan Boy” (N 00165 L); de grondfrequentie ligt beneden 20 Hz en het is dus geen schande als een grammofoon deze gong niet weergeeft.

Dukas, L'apprenti Sorcier (A00175L\*) bevat o.a. in het gedeelte waar de bezemsteel het bad begint te vullen een aantal lage cellotonen, deze moeten goed hoorbaar en met duidelijke toonhoogteverschillen worden weergegeven.

b. Middentonen.

Als de middentonen met onvoldoende sterkte weergegeven worden, klinkt de muziek vlak en zangstemmen geven de indruk van achter het orkest uit te komen. De verstaanbaarheid van de zang is dan minder goed, in het bijzonder als de lagere frequenties door een kast- of luidsprekerresonantie teveel bevoordeeld worden. Bij

het beluisteren van de hieronder genoemde opnamen moet de tekst (bij kennis van de taal) goed te volgen zijn :

Leoncavallo — I Pagliacci (A01102/03 L)

R. Straus „Salome" (A00163/64 L)

Patachou chante Brassens (P76010 R)

American Vocal Parade I (B0764 2R)

Mascagni „Cavalleria Rusticana" (A01612/13 R)

Ook hier zijn slechts een paar opnamen genoemd van vele die voor dit doel geschikt zijn, vooral uit het populaire repertoire.

c. Hoge tonen

De viool en vele percussie-instrumenten zijn bij uitstek geschikt om de hoge-tonen weergave te beoordelen.

Paganini, Vioolconcert No. 1V (A00741 R) :

De viool moet helder klinken, doch niet scherp. Indien bij de hoge viooltonen vervorming wordt geconstateerd, wijst dit op een resonantie op hoge frequentie (slechte sprongkarakteristiek, zie blz. 88).

Mozart, Sonate voor viool en piano, K.V. 301 en K.V. 304 (A00112R) :

Hiervoor geldt hetzelfde; de klank van de Paoloviool is echter niet zo rijk in de hoogste tonen als de „Titian" Stradivarius op de hiervoren genoemde plaat en als geen duidelijk verschil te constateren is wijst dit op beperkte hoge-tonen weergave.

Beethoven, Sonate No. IX (A01609 R) voor viool en piano (Kreutzer Sonate) heeft eveneens een heldere vioolklank; in vergelijking met beide vorengenoemde opnamen moet de hoge-tonen weergave iets verzwakt worden voor een goede toonbalans.

Kreisler, Rondino op een thema van Beethoven (N02101 L) :

De viool klinkt op deze opname iets rustiger dan in de Kreutzer Sonate.

Triangels moeten duidelijk hoorbaar en herkenbaar zijn in:

Liszt: Pianoconcert no. 1 (A00144L\*) 2e deel

Chabrier: España (N00161 L\*)

Dukas: L'apprenti Sorcier (A00175L\*)

Bekkens hebben wij opgemerkt in de volgende opnamen:

Liszt: Preludes (A00144L\*), tegen het slot

Chabrier: España (N00161L\*)

Koper, fel doch niet schel:

Music by the Marines II (P 10050 R)

Santorsola: Concertino voor gitaar en orkest (N00626 R\*)

Dukas: L'apprenti Sorcier (A00175 L\*)

Moussorgsky-Ravel „De schilderijtentoonstelling" (A00607 R)

Tchaikowsky „Ouverture Solennelle 1812" (A00603R\*)

Verder moet in Benevoli: Feestmis voor 53 Stemmen (A00622/23R) de „Zischlaut" (scherpe Duitse s) af en toe goed uitkomen. In Debussy Sirènes (A00160 L\*) daarentegen mag een dergelijk verschijnsel niet optreden, indien toch, dan wijst dit op een ongewenste resonantie in toonopnemer of versterker.

Bij dansmuziek moet het verschil tussen brushes en maraca's duidelijk hoorbaar zijn.  
d. Maximaal vermogen

De weergave mag niet vervormd zijn bij de fortissimo passages in de reeds genoemde opnamen, Overture Solennelle 1812, Schilderijtentoonstelling, Vijfde symphonie van Dvorak, I Pagliacci, Beethoven Overtures Coriolanus en Egmond (A00145 L\*), Prokofiev, Peter en de Wolf (N02605 R) en tal van andere symphonische werken. Daar het altijd moeilijk is te beoordelen of de weergave op de juiste geluidsterkte staat ingesteld en niet te hard of te zacht, is het raadzaam eerst op een pianissimo-gedeelte het volume zodanig in te stellen, dat het geluid inderdaad pianissimo, doch toch duidelijk hoorbaar is. (Bij voorbeeld het deel Catacomben van de Schilderijtentoonstelling). Als een bepaald werk geen uitgesproken pianissimogedeelten bevat, kan de versterker met een zacht opgenomen viool- of pianosolo (bij voorbeeld Mozart K.V. 301) op het juiste niveau worden ingesteld.

e. Diverse muziekinstrumenten

Naast de reeds genoemde platen komen ook op de onderstaande opnamen zuiver geregistreerde klanken van bepaalde muziekinstrumenten voor.

**Piano:** Moussorgsky: Schilderijtentoonstelling (N00652 R), de lage tonen klinken zeer gedragen.

Rachmaninoff: Concert voor Piano en Orkest No. 2 (A00162L) idem

Mozart, Sonates K.V. 301 en K.V. 304 (A00112 R)

De hier door Alice Heksch gebruikte Mozart piano wijkt door de ijlere klank sterk af van die welke werden gebruikt bij het opnemen van de twee vorengenoemde platen: het verschil moet zeer duidelijk zijn. Resonanties bij lage frequenties maken de Mozart piano te „zwaar”; te beperkte lage-tonen weergave brengt de door Uninsky en de Groot bespeelde vleugels te dicht bij de gewone en de Mozartpiano.

Ravel, „La mère l'oye” (N00637R\*)

Lavry „Hora” (N00641 R\*); veel korte hoge tonen

Gould „Interplay” (N00130 L\*)

Liszt, pianoconcert No. 1 (A00114 L\*) (A00200 L\*)

**Slagwerk:** Onder andere in Gould — Spirituals (N00130 L\*), in de Dans van de Zeeven Sluiers uit Richard Strauss' Salome, in de reeds genoemde Ellington Uptown-plaat en in Sophisticated Swing van Les Elgar (B07656 R).

**Gitaar:** Verzamelplaat, uitgevoerd door Luise Walker (N00626 R) met o.a. het reeds genoemde concertino, waarbij de microfoon dicht bij de gitaar stond, zodat de invloed van de zaalgalm bij deze opname uiterst gering is.

**Clavecimbel:** De Bach-serie, uitgevoerd door Isolde Ahlgrimm. De klank van dit instrument moet volkomen vrij zijn van onzuiverheden.

**Cello:** Bruch „Kol Nidrei” (N00107 R\*).

Dvorak „Concert voor cello en orkest” (A00687 R).

**Klarinet:** Mozart „Concert voor Klarinet en Orkest” K.V. 622 (A00698 R)

The New Benny Goodman Sextet (B07024 L).

**Trompet:** Verdi „Gloria all'Egitto” (Aida) (S06018 R\*).

Harry James „Soft lights, Sweet trumpet“ (B07603 R).

Verschillende instrumenten in „Peter en de Wolf“ van Prokofiev en in Pianoconcert No. 3 (A00650 R) van dezelfde componist.

### § 3. Metingen aan grammofoons

Aan weergave-installaties kunnen tal van metingen worden verricht die echter meestal teveel technische kennis vereisen om door niet-specialisten te worden uitgevoerd. Bovendien zijn de kosten, verbonden aan een goede meetapparatuur, zo hoog, dat reeds om deze reden de amateur hiervan moet afzien.

Alleen de frequentiekarakteristiek van een grammofoon kan met weinig technische kennis en een minimum aan apparatuur worden bepaald. De methode is, dat op de draaitafel een frequentieplaat wordt gelegd en de spanning over de luidspreker wordt gemeten met behulp van een buisvoltmeter. Langspeel-frequentieplaten ( $33\frac{1}{3}$  toeren/minuut, microgroef) kosten ongeveer evenveel als klassieke opnamen; de goedkopere 45- en 78-toeren/minuut frequentieplaten zijn voor amateurdoeleinden echter even goed bruikbaar.

Een buisvoltmeter kost vrij veel en de meeste andere wisselspanningsmeters, die trouwens ook niet goedkoop zijn, zijn voor dit doel ongeschikt.

In fig. 99 is het schema getekend van een bruikbaar apparaatje dat parallel aan de luidspreker moet worden geschakeld. Het bestaat uit drie parallel geschakelde lampjes, waarvan twee een voorschakelweerstand hebben. Als op deze schakeling een spanning van 0,6 V wordt gezet, begint lampje 1 juist op te lichten; dit geeft dan ongeveer net zoveel licht als een gloeiende spijker. Bij verhoging van de spanning van 0,6 tot 0,84 V begint lampje 2 op te lichten en als de spanning tot 1,2 wordt opgevoerd, gaat lampje 3 oplichten; de beide andere lampjes branden dan betrekkelijk fel.

Nu is de spanningsverhouding 0,6 tot 0,84 V en 0,84 tot 1,2 V een factor 1,4; dat is in decibels uitgedrukt 3 db, zodat dit instrumentje inderdaad kan worden gebruikt om een frequentiekarakteristiek op te nemen. Daartoe zet men de toonopnemer op de 1000 Hz band van de meetplaat; vervolgens sluit men het indicatie-instrument op de luidspreker aan en men stelt de volumeregelaar zodanig in, dat lampje 2 begint met licht uit te stralen (lampje 1 brandt dan reeds helder). Daarna wordt de toonopnemer op het begin van de plaat gezet. Blijkt dat, bij voorbeeld bij 400 Hz, lampje 2 uit is en 1 praktisch geen licht meer geeft, dan is de karakteristiek bij 400 Hz dus 3 db gezakt. Begint bijvoorbeeld bij 2000 Hz lampje 3 licht te geven, dan is de karakteristiek bij deze frequentie 3 db gestegen.

Het is natuurlijk zeer goed mogelijk dat de verschillen groter zijn dan 3 db. In een dergelijk geval (zie fig. 100, welke is gerefereerd aan de bovenstaande voorbeelden) verricht en noteert men eerst de meting van 400 tot 2000 Hz. Daarna stelt men

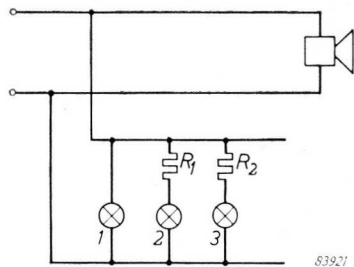


Fig. 99. Eenvoudige outputmeter.

1, 2, 3 = lampje 2,5 V, 0,1 A

$R_1 = 3,75 \text{ ohm, 1 watt}$

$R_2 = 9 \text{ ohm, 1 watt}$

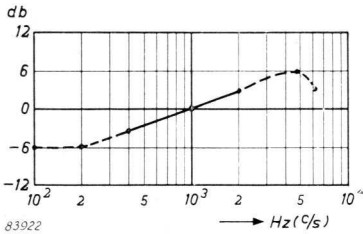


Fig. 100. Frequentie karakteristiek gemeten met behulp van de eenvoudige outputmeter.

bij 400 Hz de volumeregeling zo in, dat lampje 2 juist weer gloeit, en vervolgens meet men de karakteristiek bij de frequenties beneden 400 Hz, die aansluitend bij het reeds gemeten deel van de karakteristiek getekend wordt. Als dan bijvoorbeeld bij 200 Hz lampje 1 weer bijna geen licht geeft, is de karakteristiek bij deze frequentie dus 3 db gezakt ten opzichte van het niveau bij 400 Hz, en dientengevolge 6 db ten opzichte van 1000 Hz. Indien tussen 100 en 200 Hz de lichtsterkte van het lampje niet verandert, loopt de karakteristiek tussen deze beide frequenties dus horizontaal verder. Bij 2000 Hz wordt de volumeregelaar zover teruggedraaid dat lampje 3 uitgaat en lamp 2 weer nauwelijks zichtbaar gloeit. Men vindt dan bijvoorbeeld, dat bij 4500 Hz lampje 3 weer licht gaat geven — de karakteristiek is bij deze frequentie dus 3 db ten opzichte van 2000 Hz gestegen en ligt zodoende 6 db boven het niveau bij 1000 Hz. Gaat bij 6000 Hz lampje 2 weer bijna uit, dan is het niveau bij 6000 Hz gelijk aan dat bij 2000 Hz, enz.

Hoewel een en ander een nogal gecompliceerde indruk maakt, blijkt het na enige oefening mogelijk de weergavekarakteristiek snel en met redelijke nauwkeurigheid te meten en kunnen correcties in de stand van de volumeregelaar, zoals deze bij grotere niveaoverschillen dan  $\pm 3$  db nodig zijn, worden aangebracht zonder de meting te onderbreken. Om te voorkomen dat de lampjes door plotselinge overbelasting ten gevolge van schakelstoten doorbranden, is het raadzaam de versterker in te schakelen en de toonopnemer op de draaiende plaat te zetten voordat het meetinstrumentje aangesloten wordt en dit weer af te schakelen voordat de toonopnemer van de plaat genomen wordt. De volumeregelaar moet bovendien, als de lampjes aangesloten worden, in de laagste stand staan. Daar het soms moeilijk is de nodige weerstanden te verkrijgen, is in fig. 101 nog een enigszins andere schakeling gegeven, die echter iets minder nauwkeurig is. De lampjes 2 en 3 lichten op bij een spanning over de luidspreker, die 6 db hoger is dan de spanning waarbij lampje 1 begint licht te geven. Bij het begin van de meting wordt de toonopnemer weer op de 1000 Hz-band van de meetplaat gezet en de volumeregelaar eerst zo ingesteld, dat lampje 1 begint op te lichten; daarna zodanig dat de lampjes 2 en 3 licht gaan geven. De volumeregelaar wordt vervolgens zo nauwkeurig mogelijk midden tussen beide standen geplaatst. Zolang lamp 1 wel en de lampen 2 en 3 niet branden, wijkt de uitgangsspanning minder dan 3 db van de ingestelde waarde af; de hoeveelheid licht die lamp 1 uitstraalt is een aanwijzing of de spanning over de luidspreker hoger of lager is dan de spanning bij 1000 Hz.

De meetresultaten zijn, behalve van de toonopnemer,

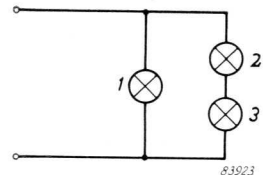


Fig. 101. Eenvoudige uitvoering van fig. 99. 1, 2, 3 = lampje 2,5 V, 0,1 A

de versterker en de stand van de toonregelaar, ook van de gebruikte meetplaat afhankelijk. In het algemeen is de opnamekarakteristiek van dergelijke platen op het etiket vermeld. Mocht dit niet het geval zijn, dan kan de naaldsnelheid (zie blz. 31) berekend worden uit de lichtbandbreedte, dat is de breedte van de heldere lichtstreep die, bij zijdelings opvallend licht, op de plaat te zien is (zie fig. 102). Bij het meten met behulp van een meetlatje of schuifmaat, wordt het oog loodrecht boven de plaats gehouden waar de lichtbandbreedte bepaald moet worden en meet men  $W_1$  van de aan de kant van de lamp liggende lichtband en  $W_2$  aan de andere zijde. De gemiddelde lichtbandbreedte is dan

$$W = 2 (W_1 \times W_2) : (W_1 + W_2).$$

De naaldsnelheid volgt dan uit de formule :

$$V = (W \times N) : 190 \text{ cm/sec.}$$

( $W$  in millimeters;  $N$  = aantal omw/min van de betreffende plaat)

Voor elk frequentiebandje van de plaat moet de snelheid afzonderlijk bepaald worden. Deze methode is zeer nauwkeurig mits de lichtbandbreedte met grote precisie

gemeten wordt — de platenfabrikanten maken voor dit doel van meetmicroscopen gebruik. Voorwaarde is verder dat de op de plaat vallende lichtstralen onderling evenwijdig zijn, wat ten naaste bij bereikt wordt door het gebruik van een lichtbron van zo klein mogelijke afmetingen op minstens 1 meter afstand. Lichte, reflecterende muren, die als secundaire lichtbronnen optreden, hebben een ongunstige invloed op de nauwkeurigheid van de meting. Het principe van deze methode volgt uit fig. 103. Alleen de aangestreepte delen van de groef weerkaatsen het licht recht omhoog, alle andere delen meer of minder zijdelings. Bij grote amplituden ( $a$ ) is het gebied waarin het licht recht omhoog weerkaatst wordt en dus het oog van de waarnemer treft, groter dan bij kleine

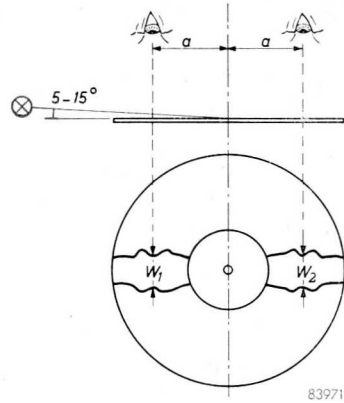


Fig. 102. Bepaling van de lichtbandbreedte van frequentieplaten.

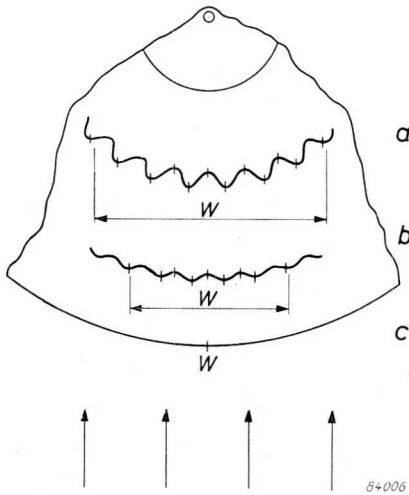


Fig. 103. Het ontstaan van lichtbanden op grammofoonplaten.

amplituden (b) en bij een ongemoduleerde groef (c) is er slechts één punt dat het licht recht naar boven weerkaatst. Het invallend licht wordt voorgesteld door de pijlen onder aan de tekening. Op een ongemoduleerd gedeelte van een plaat is de lichtbandbreedte dus uiterst klein — als de groef niet glad is en de plaat dien-tengevolge meer of minder sterk ruist, is de lichtbandbreedte ook in ongemoduleerde gedeelten vrij groot. Theoretisch kan een lichtbandbreedte van 1 mm op 78 toeren/min, 1,4 mm op 45 toeren/min en 2 mm op  $33\frac{1}{3}$  toeren/min platen toegestaan worden. In de praktijk worden veelal grotere waarden gevonden, omdat aan de voorwaarde dat de op de plaat vallende lichtstralen onderling precies evenwijdig moeten zijn, althans in het amateurlaboratorium, niet kan worden voldaan.

# HOOFDSTUK XI

## MAGNETISCHE BANDOPNAMEN

### § 1. Grondprincipes

Reeds in de negentiende eeuw werd geluid langs magnetische weg opgenomen en weergegeven, doch het heeft tot na 1940 geduurd voordat deze methode ruimere bekendheid begon te krijgen. Gedurende de eerste halve eeuw na de uitvinding van de magnetische geluidsregistratie door Valdemar Poulsen (in 1898) was de hiermee bereikte weergavekwaliteit belangrijk minder dan de kwaliteit van de grammofoonplaat en de kosten van de apparatuur en in het bijzonder die van het opnamemateriaal waren veel hoger dan die voor het maken en afspelen van grammofoonplaten. Het wetenschappelijk en technisch onderzoek gedurende deze periode is echter niet vruchteloos geweest en het is thans mogelijk magnetische geluidsopnamen van uitzonderlijke kwaliteit te maken zonder dat hieraan abnormaal hoge kosten zijn verbonden.

De zeer lange ontwikkelingstijd wijst er op dat de magnetische geluidsregistratie van minder voor de hand liggende principes gebruik maakt, dan de mechanische geluidsregistratie die voor het maken van grammofoonplaten wordt toegepast. Dit is inderdaad het geval en voor een van de belangrijkste gedeelten van het opnameproces, namelijk het hoogfrequent voormagnetiseren van de band, is nog steeds geen voor iedereen aannemelijke verklaring gevonden. De grondbeginselen zijn echter niet zo moeilijk.

Als een stukje staal in een spoel wordt geplaatst, waardoorheen een gelijkstroom vloeit, dan wordt dit stukje staal blijvend magnetisch. De magnetische kracht is, behalve van de eigenschappen van het staal en het aantal en de afmetingen van de windingen van de spoel, van de door de spoel vloeiende stroom afhankelijk. Als daarna deze magneet langs of door een tweede spoel wordt bewogen, ontstaat in de spoel een elektrische spanning. Op deze eigenschap berust trouwens ook de op bladzijde 28 beschreven magneto-dynamische pick-up. De grootte van de spanning is onder andere afhankelijk van de sterkte van de magneet.

In fig. 104 is geschetst hoe, door gebruik van deze twee eigenschappen, geluid langs magnetische weg kan worden opgenomen en weergegeven. De spoel 1 is, via een versterker 2, met de microfoon M verbonden. In de spoel bevindt zich een weekijzeren kern die aan beide einden een poolschoen draagt, die eveneens van weekijzer is. Als de microfoon geluidstrillingen opvangt, ontstaan in de microfoon wisselspanningen die door de versterker worden versterkt, als gevolg waarvan wisselstromen door de spoel 1 gaan vloeien. Hierdoor ontstaat in de luchtspleet tussen de beide poolschoenen een wisselend magnetisch veld, waarvan de frequentie dezelfde is als de frequentie van de geluidstrillingen, terwijl de sterkte van dit magnetisch veld op elk moment evenredig is met de geluidsdruk op de microfoon. Langs de luchtspleet wordt, met vrij grote snelheid, een staaldraad getrokken. Het deel van de draad dat zich op een



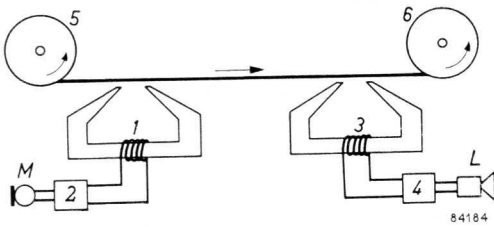


Fig. 104. Het principe van de magnetische opname.

gegeven ogenblik tegenover de lichtspleet bevindt wordt gemagnetiseerd, door het veld dat door de spoel 1 in de spleet wordt opgewekt. De richting en sterkte van de magnetisatie van de staaldraad zijn afhankelijk van de richting en sterkte van de stroom door de spoel. Als dus een zuivere sinusvormige stroom (zie fig. 8) door de spoel vloeit, wordt het eerste stukje draad dat de spoel passeert, niet gemagnetiseerd, de volgende stukjes wel en de magnetisatiesterkte neemt geleidelijk toe tot een zeker maximum is bereikt, om daarna weer tot nul af te nemen. De eerstvolgende stukjes draad worden zwak, de daarna volgende stukjes draad weer sterker gemagnetiseerd, doch in de tegengestelde richting als voorheen, weer wordt een maximum bereikt waarna de stroomsterkte en de magnetisatiesterkte gaan afnemen tot het nulpunt opnieuw is bereikt en de stroom- zowel als de magnetisatierichting opnieuw omkeren. Op de staaldraad is dus het verloop van de stroom genoteerd in de vorm van wisselende magnetisatie sterkte.

De staaldraad komt, nadat hij spoel 1 is gepasseerd, langs spoel 3. Ook deze spoel is voorzien van een weekijzeren kern en poolschoenen. De magnetisatie van de staaldraad veroorzaakt dat door de poolschoenen en de kern van de spoel 3 een magnetisch veld gaat lopen. Dit veld is aanzienlijk zwakker dan het veld dat oorspronkelijk door spoel 1 werd opgewekt, doch het verandert overigens op precies dezelfde manier. Het veld dat door de kern van spoel 3 loopt is dus een replica op verkleinde schaal van het door spoel 1 opgewekte veld — alleen gebeurt alles iets later omdat de staaldraad enige tijd nodig heeft om van 1 naar 3 te gaan. Het wisselende magnetische veld wekt in spoel 3 wisselspanningen op welke weer evenredig zijn met de magnetische veldsterkten op elk moment zodat men, langs dezelfde lijnen als voorheen verder redenerend, tot de conclusie komt dat de in spoel 3 ontstane wisselspanningen weliswaar kleiner zijn dan de aan spoel 1 toegevoerde wisselspanningen, doch hieraan verder volkomen gelijk zijn. Als deze wisselspanningen via de versterker 4 aan de luidspreker L worden toegevoerd, klinkt daaruit een replica van de even van te voren door de microfoon opgevangen geluidstrillingen. De magnetisatiegebieden blijven op de draad aanwezig, ook als deze op de haspel 6 is gewikkeld; als dus de draad weer op haspel 5 wordt teruggewikkeld en daarna weer in de oorspronkelijke richting langs de poolschoenen van 3 wordt getrokken, klinkt uit de luidspreker het eens opgenomen geluid, onverschillig hoe lang van te voren de opname werd gemaakt.

De hierboven beschreven recorder werkt, maar er kleven tal van bezwaren aan. De geluidswaergeving is slecht door de sterke vervorming, door het hoge ruisniveau en

door de veel te zwakke weergave van de hoge tonen, terwijl tevens het geluid niet vrij is van zwevingen.

Allereerst zullen wij nagaan welke factoren de hoge-tonen weergave beïnvloeden. Een periode van een toon van bij voorbeeld 10.000 Hz duurt 0,1 milliseconde. Gedurende de eerste 0,05 milliseconde vloeit de stroom door spoel 1 in een bepaalde richting, gedurende de daarop volgende 0,05 milliseconde in de tegengestelde richting. Gedurende de eerste halve periode van de toon moet dus een bepaald stukje draad in een richting worden gemagnetiseerd, gedurende de daarop volgende halve periode wordt het volgende stukje draad in tegengestelde richting gemagnetiseerd. Het eerste stukje draad mag zich dan niet meer voor de luchtspleet bevinden omdat het anders weer zou worden geontmagnetiseerd.

De hieruit te trekken conclusie is dat de draad zeer snel langs de luchtspleet moet worden getrokken, of dat de luchtspleet heel kort moet zijn. Als wij aannemen dat de snelheid van de staaldraad 19 cm/sec is, dan wordt in 0,05 milliseconde dus een stukje ter lengte van  $0,00005 \times 19 = 0,00095$  cm, dat is 0,0095 mm of 9,5 micron, langs de luchtspleet getrokken. Deze luchtspleet mag dus niet langer dan 10 micron zijn en dezelfde eis moet ook aan de luchtspleet van de weergavespoel worden gesteld. Dit is reeds uiterst weinig, doch zelfs met zo een korte luchtspleet komt van een 10.000 Hz toon maar weinig terecht. Allereerst is het moeilijk om een stalen draad vlak langs de poolschoenen te laten lopen, ten tweede zal de snel lopende draad gauw een gleuf in de poolschoenen slijten met het daaraan verbonden gevaar dat het slijpsel in de luchtspleet terecht komt en deze vult; ten derde is staal een ongeschikt materiaal voor het magnetisch vastleggen van signalen van hoge frequenties, zelfs als men de draadsnelheid verhoogt tot 1 m/sec of meer.

Het gebruik van de draad brengt ook een aantal mechanische moeilijkheden met zich mee. De draad wordt voornamelijk gemagnetiseerd aan de kant die langs de poolschoenen glijdt. Als bij het afspelen de draad iets om zijn as is gedraaid, komt een veel zwakker gemagnetiseerd deel van de draad voor de luchtspleet van de weergavespoel en wordt de toon dientengevolge verzwakt weergegeven. De stand van de draad is vrij willekeurig en de geluidsterkte zal dus even willekeurig variëren.

Als de snelheid van de draad bij het afspelen anders is dan bij de opname, is ook de hoogte van de weergegeven toon niet langer gelijk aan de toonhoogte van het oorspronkelijke geluid. Bij de constructie van figuur 104 draait de haspel 6 met een constante omwentelingssnelheid; al naarmate er meer draad op de haspel komt te liggen neemt dus de draadsnelheid toe. Aangezien dit bij opname zowel als bij weergave gebeurt is dit op zichzelf nog niet zo erg. Indien echter een stuk draad na de opname wordt verwijderd, zal de snelheid waarmee de overblijvende draad de spoelen passeert, lager zijn dan bij de opname, met als gevolg dat de toonhoogte onjuist is. Nog erger is dat de draad nooit volkomen glad op de haspel wordt opgerold en dientengevolge met kleine schokjes wordt bewogen — deze snelheidsfluctuaties veroorzaken jengel en flutter.

Als laatste nadeel van de draadopname-apparaten vermelden wij nog dat, als een knikje in de draad is gekomen en de draad dientengevolge na meerdere malen spelen breekt, de veerkrachtige staaldraad meters ver door de kamer springt.

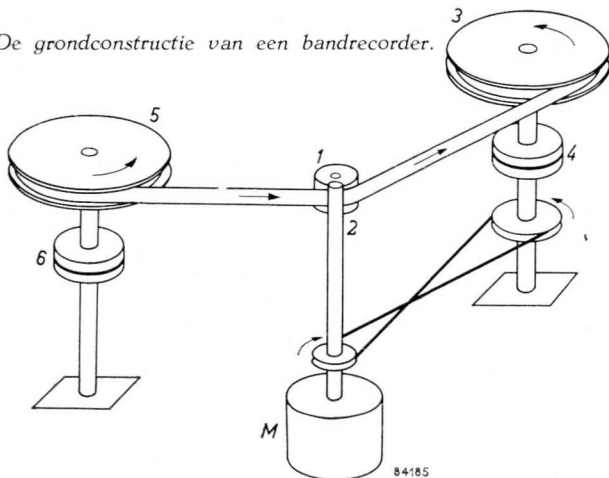
## § 2. Banden en geluidsopname

Een groot deel van deze bezwaren worden ondervangen als de staaldraad door staalband wordt vervangen. Staalband kan niet draaien, zodat de weergegeven toon veel strakker wordt, en de band loopt beter langs de poolschoenen, wat de hoge-tonen weergave ten goede komt, terwijl de vlakke band op betrekkelijk eenvoudige manier (zie fig. 105) met een constante snelheid kan worden aangedreven. De band wordt door een drukrol 1 tegen de poelie 2 gedrukt, zolang de motor M met een constante snelheid draait, wordt de band dientengevolge met constante snelheid van links naar rechts bewogen. De haspel 3 wordt met behulp van een snaar door dezelfde motor aangedreven en de band wordt hierop opgerold. Deze haspel moet zo snel draaien dat de band steeds strak wordt getrokken, al naarmate er meer band op komt te liggen moet de omwentelingssnelheid van de haspel verminderd worden, omdat anders bij het voller worden van deze spoel de kracht op de band te groot zou worden. Dit wordt op een in principe eenvoudige en volkomen automatische manier bereikt door tussen het aandrijfwiel en de haspel een slipkoppeling 4 te plaatsen. De kracht op de band wordt zodoende steeds gelijk gehouden. Om te voorkomen, dat het linker deel van de band slap komt te hangen, wordt de linker haspel 5 door een wrijvingskoppeling 6 afgeremd. Deze constructie wordt in principe bij alle moderne bandrecorders toegepast.

Hoewel staalband dus in meerdere opzichten beter is dan staaldraad, treden nog twee nadelen naar voren: de prijs van het staalband is veel te hoog voor algemene toepassing en de weergave van hoge tonen blijft slecht.

Niet alleen de band, doch ook de opname- en weergavekoppen zijn aan de slechte hoge-tonen weergave schuldig. Als door de opnamespoel een wisselstroom vloeit wordt hierdoor in de weekijzeren kern een wisselend magnetisch veld opgewekt. Deze

Fig. 105. De grondconstructie van een bandrecorder.



kern is een geleider en dientengevolge gaan in deze kern stromen vloeien. Door de weerstand van de kern treden verliezen op en dientengevolge wordt het magnetisch veld in de luchtspleet zwakker. Dit verschijnsel is het ergst bij hoge frequenties en om het tegen te gaan worden kern en poolschoenen niet uit een stuk weekijzer gemaakt doch uit dunne, op elkaar gestapelde plaatjes, die onderling zijn geïsoleerd, zodat in de kern deze wervelstromen niet meer kunnen vloeien. De kwaliteit van het gebruikte ijzer is eveneens van belang, in gewoon ijzer zijn de magnetisatieverliezen te hoog en daarom moeten, ter verkrijging van een goede weergave der hoge frequenties, speciale nikkel-ijzer legeringen worden gebruikt.

De wervelstromen kunnen natuurlijk niet alleen in de kern maar ook in de staalband vloeien. Een ander verschijnsel heeft echter een nog grotere invloed op de sterkte waarmee de hoge frequenties kunnen worden vastgelegd. Als namelijk een groot stuk staal wordt gestoken in een spoel waardoorheen een gelijkstroom vloeit, dan blijkt dat het meerdere seconden kan duren voor dit stuk staal volkomen is gemagnetiseerd. Dit komt omdat het staal zich tegen de magnetisatie wil verzetten en hoe groter het stuk staal is, hoe langer het duurt voor de maximale magnetisatie is bereikt. Bij zeer kleine stukjes staal is de vertraging maar uiterst kort en duurt het bijvoorbeeld maar een tweeduizendste seconde ( $\frac{1}{2}$  milliseconde) voordat de uiteindelijke magnetische toestand is bereikt. Zelfs 0,5 milliseconde is echter te lang als het staal voor geluidsopnamen wordt gebruikt. Immers bij een toon met een frequentie van 5000 Hz duurt een halve periode 0,1 milliseconde zodat, in de tijd van een halve periode een stukje staalband slechts zeer onvolledig kan worden gemagnetiseerd en tonen van nog hogere frequenties in het geheel niet aan de beurt komen.

Van de ideale magnetische geluidsdrager kan men eisen dat hij goedkoop is, geen wervelstroom en andere verliezen veroorzaakt en dat de traagheidseffecten verwaarloosbaar zijn. Verder moet een dergelijke band soepel en dun, maar ook sterk zijn, niet rekken en eenmaal gemagnetiseerd zijnde de magnetisatie goed behouden. Bepaalde plastica voldoen aan de mechanische eisen — sommige ijzerverbindingen waarvan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ferri-ferriet) en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (ferro-ferriet) voor ons doel in aanmerking komen — voldoen aan de magnetische en elektrische eisen. Deze ferrieten lijken veel op ijzerroest en zijn evenals dit een roodbruin poeder doch, in tegenstelling tot gewone roest, zijn zij magnetiseerbaar. Banden voor magnetische geluidsopnamen worden daarom gemaakt door op banden van plastisch materiaal aan één kant een dunne, zeer fijn verdeelde laag van ferro-ferriet met een bindmiddel aan te brengen. Deze laag is slechts 15 micron (0,015 mm) dik, en wordt glad gepolijst opdat de band goed langs de opname- en weergavekop glijdt zonder deze merkbaar te doen slijten en zonder dat de afstand tussen luchtspleet en bandoppervlak te groot wordt. Hoe innig het contact tussen afspeelkop en band moet zijn blijkt uit het feit, dat bij gebruik van een weergavekop met een luchtspleet van 7 micron, een afstand van slechts 12 micron tussen kop en band reeds een vermindering van meer dan 30 db van de door de weergavekop afgegeven spanning veroorzaakt.

De korreltjes ferriet moeten uiterst fijn zijn, anders treedt (net als bij grammofoonplaten) hinderlijk ruisen bij de weergave op. Bij goede banden is de doorsnede van de korreltjes minder dan 1 micron, de totale banddikte is meestal 55 micron, doch thans

zijn ook dünnere banden in de handel. De breedte is 6,25 mm ( $\frac{1}{4}$  inch). Ook worden banden gebruikt waarbij het ferrietpoeder niet als een laag op de band zit, doch zo homogeen mogelijk door het plastische materiaal is verwerkt. Zelfs bij gebruik van de hierboven beschreven banden treedt nog een verlies in weergavesterkte op bij de hoogste frequenties. De gemagnetiseerde gebiedjes zijn maar heel kort, bij het voorbeeld in § 1 slechts 10 micron, en korte magneten hebben steeds de neiging zichzelf te ontmagnetiseren. Daardoor treedt voor de hoogste tonen na de opname nog een verzwakking van de vastgelegde signaalsterkte op.

### § 3. Vervorming en hoogfrequent voormagnetisatie

Tot nu toe is slechts over lineaire (frequentie) vervorming gesproken en werd de niet lineaire (amplitude) vervorming buiten beschouwing gelaten. De lineaire vervorming die bij bandopnamen optreedt is tot op zekere hoogte te vergelijken met het afspeelverlies bij grammofoonplaten (zie blz. 45) en met het verlies dat ontstaat ten gevolge van elastische vervorming van de grammofoonplaat bij de weergave. De niet-lineaire vervorming bij de bandrecorder ontstaat voornamelijk bij de opname, dit in tegenstelling tot de juist bij het afspelen optredende aftastvervorming van grammofoonplaten. Hierbij spreken wij natuurlijk alleen over principiële vervormingsoorzaken en niet over de vervorming die in de versterker ontstaat of een gevolg is van het gebruik van kwalitatief minder goede banden of opname- en weergavekoppen.

Om de oorzaak van de opnamevervorming bij de bandrecorder te begrijpen, gaan wij eerst na hoe magnetische materialen worden gemagnetiseerd. In fig. 106a is getekend hoe de magnetisatie verloopt van een stukje band ten gevolge van de stroom door de opnamespoel. Tot stroomsterkten van ongeveer 0,5 mA neemt de magnetisatie betrekkelijk langzaam toe, van 0,5 tot 2 mA is de stijging van de magnetisatie bij verhoging van de stroom veel sterker; verhoging van de stroom boven 2 mA heeft weer een betrekkelijk geringe toename van de magnetisatie tot gevolg. Als de stroom, zodra deze 3 mA is, wordt uitgeschakeld valt de magnetisatie — omdat het hier een zogenaamd permanent magnetisch materiaal betreft — niet tot nul terug, maar tot 26 gauss.

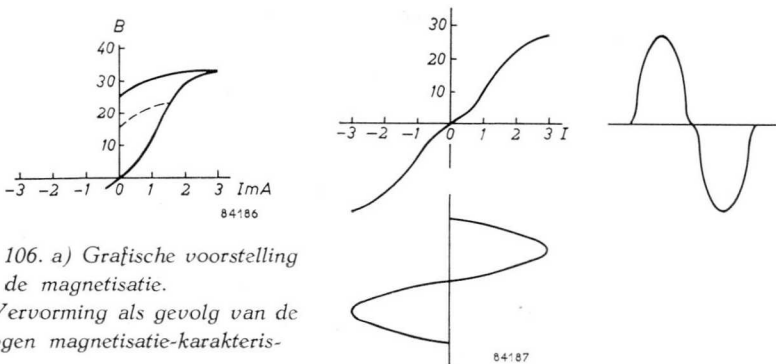
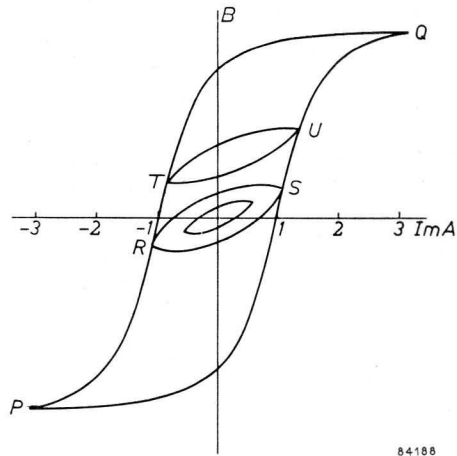


Fig. 106. a) Grafische voorstelling van de magnetisatie.

b) Vervorming als gevolg van de gebogen magnetisatie-karakteristiek.

Indien de stroom reeds bij 1,5 mA wordt uitgeschakeld, blijkt de blijvende magnetisatie 16 gauss te bedragen. In fig. 106 b is getekend hoe de blijvende magnetisatie is voor verschillende stroomsterkten en uit het feit dat deze lijn is gebogen volgt onmiddellijk dat het vastleggen van een trilling op de magnetische band niet vervormingsvrij geschiedt. Rechts in fig. 106b is geconstrueerd hoe de magnetisatie op de band is als door de opnamespoel de onderaan in fig. 106b getekende sinusvormige stroom loopt. De vervorming bestaat uit oneven harmonischen, de derde harmonische is hiervan verreweg de sterkste. Als de magnetisatie op de band een vervormde registratie is van het oorspronkelijke signaal, dan zal de in de weergavekop hierdoor opgewekte spanning uit de aard der zaak eveneens vervormd zijn. Dit verschijnsel treedt bij alle magnetische materialen op; bij sommige in mindere mate dan bij de andere, doch altijd is de vervorming te sterk om kwaliteitsweergave mogelijk te maken. Alleen bij hele zwakke magnetisaties kan de vervorming worden verwaarloosd, hieraan hebben wij helaas weinig, omdat de spanning die in de weergavekop wordt opgewekt dan zo klein is dat de onvermijdelijke ruis het gewenste geluid praktisch overstemt.

Reeds in 1922 werd in Amerika een methode gevonden om de vervorming te verminderen, deze methode raakte meer of minder in het vergeetboek en werd in 1938 in Japan opnieuw ontdekt, doch het duurde tot 1941 voordat, deze keer in Duitsland, de vervormingsvermindering door middel van hoogfrequente voormagnetisatie definitief in gebruik werd genomen. Hoe door H.F. voormagnetisatie de vervorming wordt verminderd, wordt aan de hand van fig. 107 globaal verklaard. Hierin is de magnetisatiekromme getekend, zoals deze verloopt als de stroom door de spoel, na eenmaal 3 mA geweest te zijn, eerst tot nul verminderd wordt, dan van richting omgedraaid wordt en zodra zij weer tot 3 mA is gestegen, weer tot nul wordt verminderd, van richting omgedraaid enz. (lus PQ). De lus RS geeft het geval weer als de stroom niet tussen +3 mA en -3 mA, maar slechts tussen +1 mA en -1 mA wordt gevarieerd, de hierin getekende kleine lus stelt de magnetisatie voor zoals deze verloopt wanneer de stroom tussen +0,6 mA en -0,6 mA wordt gevarieerd. In het geval dat door de spoel een wisselstroom vloeit, geeft de grote lus PQ een beeld van het verloop van de magnetisatie als de wisselstroom een amplitude van 3 mA heeft, de lus RS is het magnetisatieverloop als de wisselstroom tot 1 mA is verlaagd en de kleinste lus laat



84188

Fig. 107. Hoogfrequent-voormagnetisatie.

het gebeuren bij 0,6 mA zien. Als de wisselstroom geleidelijk van 3 mA tot 0 mA wordt verminderd, dan schrompelt de magnetisatielus tot een punt op de verticale as ineen en komt de band in geontmagnetiseerde toestand.

Als door de spoel behalve een wisselstroom van 1 mA ook nog een gelijkstroom van 0,4 mA wordt gestuurd, dan verschuift de magnetisatielus en wordt dan TU. Omdat de flanken van de grote magnetisatielus PQ praktisch recht zijn, is de verschuiving van de kleine magnetisatielus praktisch recht evenredig met de gelijkstroom. Als nu gelijkstroom en wisselstroom beide gelijkmatig worden verminderd, schrompelt de lus TU ineen, als de totale stroom nul is geworden, is van de lus maar een punt overgebleven dat, omdat er geen stroom meer vloeit, op de verticale as gelegen moet zijn en wel daar, waar een rechte lijn door T en U deze as snijdt. Omdat de verschuiving van de magnetisatielus evenredig met de gelijkstroom is, zal ook de resterende, zogenaamde remanente, magnetisatie evenredig met de gevloeid hebbende gelijkstroom zijn.

Bij de bandrecorder wordt de magnetische band langs de opnamekop bewogen. Het stukje band dat zich op een gegeven moment precies voor de luchtspleet bevindt, wordt op dat moment volgens de lus TU (fig. 107) gemagnetiseerd, als door de opnamekop een wisselstroom van 1 mA en een gelijkstroom van 0,4 mA worden gestuurd. Even later is de band de luchtspleet al gedeeltelijk gepasseerd en is gekomen op een plaats waar het door de opnamekop opgewekte veld reeds zwakker is, zodat de magnetisatielus kleiner is geworden — nog iets later is het betreffende bandgedeelte zover van de luchtspleet verwijderd, dat de magnetisatielus tot een punt is verschrompeld en alleen het remanente magnetisme van de band is overgebleven. De sterkte hiervan is, zoals hierboven werd aangetoond, recht evenredig met de gelijkstroom door de spoel.

Als nu de voormagnetisatie-wisselstroom een heel hoge frequentie heeft, bij voorbeeld 100.000 Hz, dan mag de gelijkstroom ook door een laagfrequent-wisselstroom worden vervangen. Immers, voor een goede hoge-tonen weergave is het nodig dat de spleet zo kort is, dat gedurende de tijd dat een bepaald stukje band zich voor de spleet bevindt, de signaalstroom die door de spoel vloeit praktisch niet verandert. Wat daarna gebeurt is niet belangrijk meer want dan heeft dit stukje band de luchtspleet toch reeds verlaten. De remanente magnetisatie van een bepaald stukje opnameband wordt dus geheel en al bepaald door de momentele waarde van de signaal-wisselstroom op het ogenblik dat dit stukje band zich voor de luchtspleet bevindt, de hoogfrequent-voormagnetisatiestroom zorgt dat de remanente magnetisatie inderdaad evenredig is met de voornoemde momentele waarde.

Moge het voorgaande al niet erg eenvoudig zijn geweest, een volledige verklaring van de betreffende verschijnselen is nog veel moeilijker, zonder hier nog dieper op in te gaan zal het toch wel duidelijk zijn dat de frequentie van de voormagnetisatiestroom niet erg kritisch is, zolang deze maar aanzienlijk hoger is dan de hoogste op te nemen frequentie. Al te hoog mag de frequentie ook niet worden gekozen, omdat het dan moeilijk wordt een stroom van voldoende sterkte door de opnamespoel te sturen en bovendien het gevaar bestaat dat de radio-ontvangst wordt gestoord.

De sterkte van de voormagnetisatiestroom is wel belangrijk. Men zou verwachten dat de gunstigste stroomsterkte uit fig. 107 berekend kan worden; omdat de magne-

tisatie aan de bovenkant van de magnetische laag anders is dan aan de onderkant geven berekeningen slechts zeer globale uitkomsten — bij grove benadering is aan te nemen dat de voormagnetisatiestroom van dezelfde orde van grootte moet zijn als de hoogste toelaatbare signaalstroom. Het is dan mogelijk de vervorming beneden de waarnemingsgrens te houden.

Dikwijls hoeft een opname slechts voor beperkte tijd ter beschikking te staan en het is daarom gewenst om over een methode te beschikken, waarmee een opname van de band gewist kan worden, zodat deze weer opnieuw kan worden gebruikt. Bij de verklaring van de hoogfrequent-voormagnetisatie is reeds vermeld dat, als een stukje magnetisch materiaal in een magnetisch wisselveld van continu afnemende sterkte wordt geplaatst, het geontmagnetiseerd is op het moment dat het wisselveld tot nul is gedaald. Dit is ook het geval als het stukje materiaal reeds voordien was gemagnetiseerd, mits althans het wisselveld in de aanvang sterker was dan het reeds aanwezige remanente magnetisme en er natuurlijk door de spoel gedurende het ontmagnetiseren geen andere stroom vloeit. Een geluidsband kan geontmagnetiseerd worden door hem te laten lopen langs de luchtspleet van een zogenaamde „poets-“ of „wis-“kop, waardoorheen een stroom van hoge frequentie en voldoende sterkte wordt gestuurd. Een dergelijke poetskop wordt meestal voor de opnamekop geplaatst; alle sporen van een eventuele voorgaande opname worden op deze manier verwijderd, zodat de nieuwe opname niet door storingen uit het verleden wordt ontsierd. Ook de frequentie van de stroom door de poetskop is niet belangrijk, mits zij maar hoog genoeg is. De stroom wordt meestal van dezelfde oscillator betrokken die ook voor de hoogfrequente stroom door de opnamekop zorgt, de stroomsterkte is hier niet erg kritisch; het aantal ampère-windingen is in het algemeen groter dan dat van de opnamekop. Het uitpoetsen van een opname kan ook worden gedaan door de band langs een permanente magneet te laten lopen. Hoewel deze methode goedkoper is dan het poetsen met een hoogfrequente stroom, wordt zij betrekkelijk weinig toegepast omdat de opname meestal niet geheel wordt verwijderd en als een zekere storing op de band achterblijft.

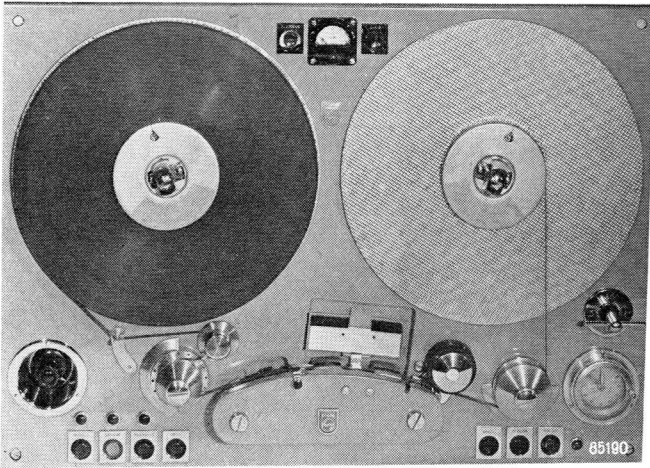
#### § 4. Bandrecorders : constructies en eigenschappen

De bandrecorders, die bijna zonder uitzondering voor opname zowel als weergave geschikt zijn, worden wel in drie klassen verdeeld :

1. Professioneel — de hoogste kwaliteit voor studio-gebruik.
2. Semi-professioneel — niet zo goed als de eerste groep, doch toch nog van hoge kwaliteit.
3. Niet-professioneel — voor gebruik waarbij de eisen minder hoog worden gesteld, zoals bij gebruik in de huiskamer.

De grenzen tussen deze drie categorieën zijn maar uiterst vaag en de afstand tussen klasse 1 en 3 wordt steeds kleiner. Dit is heel logisch, de beste bandrecorders zijn zo goed, dat verdere verbeteringen uiterst moeilijk zijn aan te brengen — de goedkoopste apparaten kunnen veel gemakkelijker worden verbeterd. Daarom is de scheiding tussen de klassen 1 en 2 enerzijds en tussen 2 en 3 anderzijds, moeilijk te trekken. Bij de professionele bandopname-apparaten wordt gebruik gemaakt van afzonderlijke

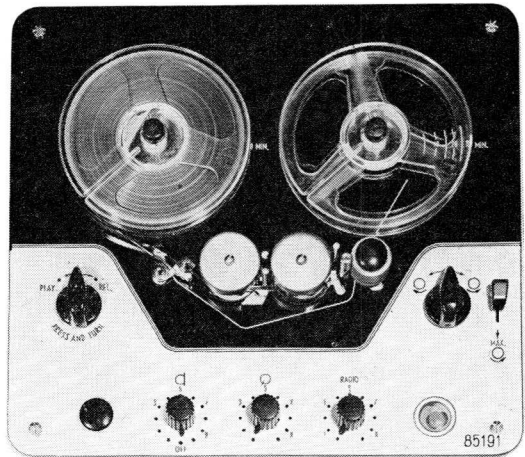




*Fig. 108a en  
fig. 108b.*

*Professionele en  
niet-professionele  
bandrecorders.*

wis-, opname- en weergavekoppens (zie fig. 108a), bij de niet professionele apparaten worden de opname- en weergavekop veelal vervangen door één kop die zowel voor opname als voor weergave wordt gebruikt (fig. 108b). De opstelling van fig. 108a biedt het voordeel dat gedurende het maken van een opname continu kan worden gecontroleerd hoe het geluid op de band is vastgelegd. De bandrecorders waarbij een kop beurtelings voor opname of voor weergave



dienst moet doen, bezitten deze controle-mogelijkheid niet, doch zijn daarentegen goedkoper, terwijl bij opname via een microfoon het meeluisteren voor de amateurgebruiker dikwijls meer tot last dan tot nut is, daar het tot rondzingen aanleiding kan geven.

De verschillende klassen onderscheiden zich in eerste instantie door de snelheid waarmee de band langs de koppen wordt bewogen. Uit het voorbeeld in § 1 van dit hoofdstuk volgt het volgende verband tussen de lengte van de luchtspleet, de snelheid

van de band en de frequentie waarbij de weergavesterkte zonder speciale maatregelen 6 db gezakt is.

$$\text{Frequentie} = \frac{\text{Bandsnelheid}}{2 \times \text{spleetlengte}}$$

(Bandsnelheid in cm/sec of inch/sec, spleetlengte in cm of inch)

Met behulp van deze formule is de volgende tabel berekend, waaruit is af te lezen bij welke frequentie de weergave karakteristiek 6 db is gevallen.

Spleetlengte	Bandsnelheid			
	3¾ 9,5	7½ 19	15 38	30 inch/sec 76 cm/sec
7,5	6300	12600	25200	> 30000
15	3200	6300	12600	25200
30	1600	3200	6400	12600

Voor een goede hoge-tonen weergave is het dus gewenst de luchtspleten van de opname- en weergavekoppen zo nauw mogelijk te maken en de bandsnelheid zo hoog mogelijk te kiezen. Door de hoge frequenties in de opname- en weergaveversterker extra te versterken, is het mogelijk de uiteindelijke totaal karakteristiek tot hogere frequenties dan hierboven aangegeven nog practisch recht te maken, meer dan een half octaaf hoger dan de in de tabel vermelde frequenties kan men echter niet gaan.

Immers, om even naar het in § 1 gegeven voorbeeld terug te gaan, als de frequentie twee maal zo hoog als in dit voorbeeld wordt genomen, bevindt het bepaalde stukje band dat gedurende de eerste helft van de periode gemagnetiseerd werd, zich ook gedurende de tweede helft van de periode nog voor de luchtspleet en wordt zodoende geontmagnetiseerd. Hieruit volgt dus, dat bij frequenties die tweemaal zo hoog zijn als die waarbij het afspeelverlies 6 db is, de magnetisatie van de band nihil is geworden.

Ook afgezien van de constructieve moeilijkheden die hieruit zouden voortvloeien, heeft het geen nut om de luchtspleet al te nauw te maken omdat de zelf-demagnetisatie van de band toch een ontoelaatbaar hoge tonen verlies veroorzaakt. Daarom worden voor studiomachines de hoogste bandsnelheden en betrekkelijk ruime luchtspleten gebruikt, bij niet professionele bandopname-apparaten wordt de bandsnelheid uit economische overwegingen lager gekozen (19 of 9,5 cm/sec en als alleen spraakopnamen gemaakt moeten worden zelfs wel 4,75 cm/sec) en de kleinst mogelijke luchtspleet genomen.

De keuze van de bandsnelheid heeft in tweeërlei opzicht invloed op de prijs. Uitgaande van een ononderbroken speelduur van 32 minuten blijkt de benodigde bandlengte 180 meter te zijn bij een bandsnelheid van 9,5 cm/sec, 360 meter bij een snelheid van 19 cm/sec enz. De prijs van band is dusdanig dat het belangrijk is hier zo zuinig mogelijk mee te zijn. Een ander punt, dat de kostprijs van de bandrecorder zelf be-

invloedt, is de aandrijving van de band. Een band van 180 meter lengte wordt op spoelen van 13 cm doorsnee geleverd, een band van dubbele lengte op 18 cm spoelen, bij de hoogste snelheden worden spoelen van 21 cm of nog groter gebruikt. Het is wel duidelijk dat, al naarmate de spoelen groter en dus ook zwaarder zijn en al naarmate de bandsnelheid hoger is, de aandrijving van de band en de spoelen moeilijker wordt. Bij een bandsnelheid van  $9\frac{1}{2}$  cm/sec of 19 cm/sec, kan met de in fig. 105 geschetste methode van aandrijving volstaan worden — bij hogere bandsnelheden en grotere spoelen is het niet meer mogelijk de opwindspoel door de motor die ook de band beweegt aan te drijven en is hiervoor een afzonderlijke motor nodig.

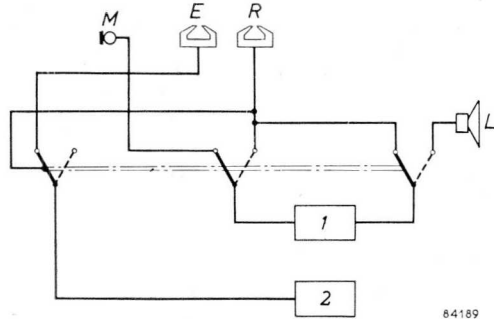
Hierbij komt nog een, bij de grammofoonplaat niet aanwezig zijnde, moeilijkheid naar voren. Als een band is afgespeeld, bevindt hij zich op de opwindspoel en moet, alvorens hij weer kan worden gespeeld op de speelspoel worden teruggewonden. Het is niet erg aantrekkelijk dit terugwinden met dezelfde snelheid als het afspelen te doen en dus bij voorbeeld 32 minuten te moeten wachten voordat de band weer opnieuw speelbaar is. Daarom is het noodzakelijk dat niet alleen de draairichting van de haspels voor het terugspoelen kan worden omgekeerd, doch ook dat de snelheid waarmee de spoelen draaien, kan worden verhoogd. Enerzijds worden hierdoor zwaardere eisen aan de motoren gesteld, waardoor het moeilijker wordt om met slechts één motor ook versneld terug te spoelen, anderzijds zal nu, als één motor inderdaad niet voldoende is, een derde motor voor het versneld terugspoelen nodig zijn. Dit brengt tevens vrij ingewikkelde schakelingen met zich mee zodat bandrecorders met drie motoren gauw heel wat duurder zijn dan apparaten met één motor. Het betere technische inzicht en de ervaring die de laatste jaren verkregen zijn, hebben het mogelijk gemaakt om thans goede bandrecorders met slechts één motor te fabriceren, waarvoor vroeger drie motoren nodig waren.

Niet alleen voor de teruggaande beweging, doch ook in de normale speelrichting is het nodig dat de band met vergrootte snelheid kan worden bewogen. Bij de grammofoon kan de pick-up met de hand op elk willekeurig deel van de plaat worden gezet, indien een bandopname slechts gedeeltelijk moet worden gespeeld kan de gewenste passage alleen maar worden bereikt door de band net zo lang te laten lopen, totdat het weer te geven deel bij de afspeelkop is aangekomen. Om lang wachten te voorkomen, moet dus ook het „heenspoelen” met grotere snelheid kunnen geschieden. In het algemeen is de snelheid bij het vooruit of terug-spoelen ongeveer tien maal zo hoog als bij de opname of weergave; om extra slijtage van de band en de koppen te voorkomen en tevens de motor wat te ontlasten, worden gedurende het versneld spoelen de aandrijfpoelie en de koppen niet tegen de band gedrukt.

Omdat, als een opname wordt gemaakt, automatisch een eventueel reeds aanwezige opname van de band wordt verwijderd, is het van belang om te voorkomen dat bij het afspelen door een verkeerde manipulatie per ongeluk naar opname wordt overgeschakeld en zodoende een misschien zeer geliefde opname verloren gaat. Bij sommige apparaten voorkomt men dergelijke vergissingen door de constructie zo te maken, dat voor het maken van een opname niet één, doch twee knoppen moeten worden ingedrukt, bij andere, waar voor de bediening geen drukknoppen doch een draaiknop wordt gebruikt, is deze knop zo uitgevoerd, dat hij alleen in de opnamestand

gedraaid kan worden na eerst omlaag te zijn gedrukt (zie fig. 108).

Indien bij het maken van een opname de stroom door de opnamekop te klein is, zal het later weergegeven geluid door een onaangenaam geruis worden vergezeld, te grote stromen brengen vervorming teweeg. De hieruit te trekken conclusie is dat op de een of andere manier gedurende de opname, de signaalsterkte moet worden gecontroleerd. Bij professionele machines wordt deze controle met speciaal voor dit doel



84189

Fig. 109. Blokschema van een magneetfoon. *M* = Microfoon. *L* = Luidspreker. *E* = Wiskop. *R* = Opname/Weergavekop. 1 = Versterker. 2 = H.F. oscillator.

gebouwde meters verricht, die voor de meer populaire apparaten echter te kostbaar zijn. Daarom gebruikt men in de meeste gevallen een klein kathodestraalbuisje, van het type dat in radioapparaten wordt gebruikt als afstemindicator, of een neonlampje. De versterker moet dan dusdanig worden ingesteld dat het kathodestraalbuisje of neonlampje, bij de sterkste passages van de muziek juist even oplicht. Het buisje begint namelijk op te lichten vlak voordat het maximaal toelaatbare opnameniveau is bereikt en deze eenvoudige oplossing blijkt zeer goed te voldoen. De spanning die in de afspeelkop wordt opgewekt is van dezelfde orde van grootte als de uitgangsspanning van een magnetische pick-up en dus te laag om zonder meer aan de pick-up aansluiting van een radiotoestel te worden toegevoerd. Ook de door de microfoon afgegeven spanning is laag, zelfs als een kristalmicrofoon wordt gebruikt, zodat ook voor de microfoon extra voorversterking nodig is. In een bandrecorder zit dus een gevoelige versterker, die zowel bij de opname als de weergave wordt gebruikt en tevens een oscillator waarmee de hoofdfrequent wisselstroom wordt opgewekt. Het in fig. 109 getoonde blokschema geeft een indruk van de gebruikelijke schakeling. Als de schakelaar naar links staat, wordt de microfoon *M* op de ingang van de versterker 1 aangesloten en de opname/weergavekop *R* op de uitgang van deze versterker. De oscillator 2 is dan tevens met de opnamekop *R* en de wiskop *E* verbonden. Als de schakelaar naar rechts wordt gezet, worden de microfoon en de oscillator afgeschakeld, de kop *R* wordt met de ingang van de versterker verbonden, terwijl de luidspreker op de uitgang van de versterker wordt aangesloten.

Zoals reeds gezegd, treedt bij het opnemen van signalen met hoge frequenties een verzwakking op. Als deze bij voorbeeld 6 db bij 8000 Hz bedraagt, dan wordt, om dit hoge-tonen verlies op te heffen, een filter aangebracht waardoor de versterking bij 8000 Hz, 3 db groter is dan bij lagere frequenties. Daar dit filter zowel bij de opname als de weergave wordt gebruikt, wordt het optredende gevoeligheidsverlies zodoende gecompenseerd. Hierdoor is het mogelijk om bij voorbeeld bij een bandsnelheid van

$9\frac{1}{2}$  cm/sec en een spleetbreedte van  $7\frac{1}{2}$  micron de weergavekarakteristiek tot 8000 Hz nagenoeg recht te maken. Evenals bij de grammofoon, is het bij bandopname-apparaten nodig om, ter vermindering van vervorming, de laagste tonen verzwakt op te nemen. Bij de weergave worden de lage tonen door een filter dan weer op de juiste sterkte gebracht.

### § 5. Verlengde speelduur

Bij gebruik van 13 cm spoelen en een bandsnelheid van 19 cm/sec, is de speelduur van een band van 55 micron dikte 16 minuten, bij  $9\frac{1}{2}$  cm/sec bedraagt de speelduur 32 minuten. Dit kan onder omstandigheden nog te kort zijn en men heeft naar methoden gezocht om de speelduur te verlengen zonder dat grotere spoelen nodig zijn. Dit kan allereerst worden bereikt door het gebruik van dunnere band. Een 12 cm spoel kan 180 meter band van normale dikte bevatten. Als de band ongeveer 37 micron dik wordt gemaakt, kan een totale lengte van 270 meter op een 13 cm spoel worden gewikkeld en wordt de speelduur zodoende met 50% verlengd. Echter, en zo gaat het bijna steeds in de techniek, deze winst brengt een paar problemen met zich mee. Omdat de dikte van de magnetische laag niet mag worden verminderd en dus ook bij de dunne band 15 micron is, blijft voor de dikte van de drager slechts omstreeks 22 micron over. Desondanks moet deze dunne band aan dezelfde mechanische eisen voldoen als de normale band opdat geen ontoelaatbare rek of breuk optreedt. Door polyester in plaats van cellulose acetaat te gebruiken, kan aan deze eisen worden voldaan en blijft er alleen nog een electrisch probleem over.

Het is bekend dat, als een stukje staal vlak bij een magneet wordt gebracht, dit stukje staal eveneens permanent magnetisch wordt. Hezelfde gebeurt ook als een ongemagnetiseerd stukje opnameband vlak tegen een stukje gemagnetiseerd band wordt gelegd. Het stukje „maagdelijke” band wordt door dit contact lichtelijk gemagnetiseerd. De sterkte van deze „gecopieerde” magnetisatie is afhankelijk van de afstand tussen de beide lagen van magnetisch materiaal, deze afstand is practisch gelijk aan de totale banddikte. De tijd gedurende welke de beide stukjes band tegen elkaar liggen, beïnvloedt eveneens de sterkte van de gecopieerde (of echo-) magnetisatie, welke op zichzelf evenredig is met de magnetisatiesterkte van de gemagnetiseerde band. Dit echo-effect is tenslotte afhankelijk van de frequentie van de toon die op de gemagnetiseerde band is vastgelegd. Bij gebruik van banden met een dikte van 55 micron is het copieer of echo-effect het sterkste bij 2000 Hz, als de bandsnelheid 76 cm/sec is, bij lagere bandsnelheden is deze kritische frequentie evenredig lager, bij een bandsnelheid van 9,5 cm/sec dus 250 Hz. De magnetische echo is bij de kritische frequentie ongeveer 50 db zwakker dan de magnetisatie die haar veroorzaakt. Bij hogere en lagere frequenties bedraagt het verschil ongeveer 55 db. De pre- en post-echo's die op grammofoonplaten soms hoorbaar zijn, worden meestal door dit effect veroorzaakt. Daar de echo's 50 db zwakker zijn dan het signaal waardoor zij worden veroorzaakt, zijn ze nauwelijks hinderlijk, hun sterkte ligt meestal beneden het niveau waarop de pianissimo passages op de plaat zijn vastgelegd.

Dat het echo-effect niet bij alle frequenties even sterk is, verklaart waarom de echo's bij sommige muziekopnamen erger zijn dan bij andere. Als de kritische frequentie

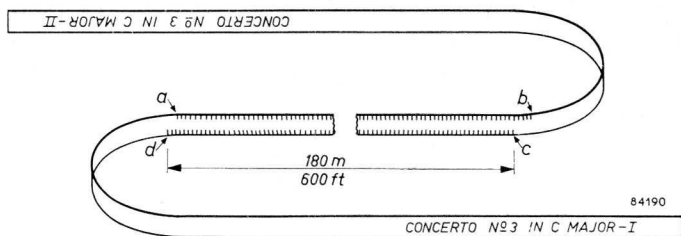


Fig. 110. Dubbelspooropname: a = begin eerste deel, b = einde eerste deel, c = begin tweede deel, d = einde tweede deel. De arcering geeft de beide geluidssporen aan.

bij voorbeeld 2000 Hz is en frequenties rondom 2000 Hz bijna niet in een bepaalde fortissimo-passage voorkomen, zal van de magnetische echo nagenoeg niets te merken zijn.

Bij gebruik van dunne band is de afstand tussen de lagen magnetisch materiaal kleiner en het echo-effect dientengevolge sterker. De toename van dit effect, bij gebruik van band met een dikte van 37 in plaats van 55 micron, is ongeveer 5 decibel en het niveau van het echo-sigitaal is dan dus slechts 45 db beneden het fortissimo niveau. Dit betekent, dat het ongeveer net zo sterk is als een pianissimo-passage en daardoor eerder hinderlijk is. Dientengevolge kan de dunne band niet worden gebruikt voor het maken van opnamen in de studio's van de grammofoonplatenmaatschappijen.

De kritische frequentie, waarbij het echo-effect het sterkst is, ligt bij gebruik van dunne banden ongeveer een half octaaf hoger dan wanneer banden van normale dikte worden gebruikt. Bij de niet-professionele opnameapparaten welke met een bandsnelheid van 9,5 of 19 cm/sec werken liggen de voor echo's meest ongunstige frequenties dus bij respectievelijk 400 Hz en 800 Hz. Daar het gehoor bij deze frequenties voor zwakke geluiden vrij ongevoelig is, zal in het algemeen dus bij de niet-professionele bandrecorders van de echo's, zelfs als de dunne band wordt gebruikt, niets of nagenoeg niets te horen zijn.

Een andere methode ter verlenging van de speelduur, die op de normale, zowel als op de dunne band kan worden toegepast, is het opnemen van twee geluidssporen op een band. Bij de opname wordt eerst alleen maar de bovenste helft van de magnetische band gebruikt en daarna de onderste helft, zoals dit is geschetst in fig. 110. Terwijl wij voordien hebben aangenomen, dat de hoogte van de lichtspleet gelijk was aan de breedte van de band, moet voor deze dubbelspooropname de hoogte van de lichtspleet iets minder zijn dan de halve bandbreedte. Ook aan deze methode is, wij zouden haast zeggen: natuurlijk, een nadeel verbonden. Als slechts de halve bandbreedte voor een geluidsoopname wordt gebruikt is het magnetische veld dat, bij de weergave, elektrische spanningen in de afspreekop opwekt, zwakker dan wanneer de magnetisatie zich over de volle breedte van de band uitstrekt. De in de afspreekop opgewekte spanningen zijn dientengevolge ook zwakker, waardoor de verhouding tussen deze spanningen en de onvermijdelijke ruis ongunstiger wordt. Hoewel hierdoor in de

studio's van de grammofoonplatenmaatschappijen dubbelspoor-opnamen niet gebruikt kunnen worden, is de ruis toch nog zo zwak dat de amateur hier geen hinder van ondervindt.

Bij een dubbelspoor-opname wordt dus eerst op de bovenste helft van de band opgenomen (respectievelijk afgespeeld), als de band geheel van de ene haspel op de andere haspel is overgegaan, worden de beide haspels onderling omgewisseld, zodat dat deel van de band dat zich eerst aan de onderkant bevond, dan aan de bovenkant is en zich dus vóór de opname- resp. afspeelkop bevindt. Het is ook mogelijk het bandapparaat uit te rusten met twee stel koppen, waarbij één stel zo is geplaatst dat het bovenste deel van de band voor de luchtspleten van een stel koppen komt en het andere stel zodanig, dat het onderste deel van de band vóór de luchtspleet komt. In dit geval hoeft men, als de eerste helft van de opname is gemaakt, de spoelen niet van plaats te verwisselen, doch alleen maar de richting van de bandbeweging om te keren —dit kan eventueel ook automatisch worden gedaan. Het is echter wel duidelijk dat het gebruik van twee stel koppen en van de daarbij extra benodigde schakelaars de prijs vrij aanzienlijk beïnvloedt.

Een bijzonder aantrekkelijke eigenschap van bandopnamen is dat men naar behoefte bepaalde gedeelten uit een opname kan verwijderen en de overblijvende delen weer aan elkaar kan plakken of andere delen in een opname kan inlassen. Bij dubbelspoor-opnamen gaat dit niet en ook dit is een reden waarom in de platenstudio van dubbelspooropnamen geen gebruik kan worden gemaakt; de amateur geluidstechnicus die geluidsmontages wil maken zal, als hij over een dubbelspoormachine beschikt, hiermee rekening moeten houden en dus in voorkomende gevallen de band maar enkelvoudig kunnen gebruiken.

## § 6. Band of plaat

Het bandopname-apparaat wordt soms als een concurrent van de grammofoon gezien en af en toe wordt voorspeld dat de bandrecorder binnen afzienbare tijd de grammofoon zal verdringen. Nu is het doen van voorspellingen altijd een zeer hachelijke bezigheid, vooral als die voorspellingen worden gedrukt en wij zullen ons hier daarom beperken tot een nuchtere vergelijkende beschouwing. Daarbij schrijven wij nog uitsluitend over de verhoudingen tussen grammofoonplaten en banden, welke met muziek erop vastgelegd in de handel worden gebracht en schrijven wij niet over eigen opnamen.

De drie factoren die worden bekeken zijn: kwaliteit, gemak van bediening en prijs. Nu is het tenzij men een Jules Vernes is, wat schrijver dezes niet pretendeert, een onmogelijkheid om over dingen te schrijven die nog niet zijn uitgevonden (en misschien nooit worden uitgevonden) en daarom houden wij ons aan de toestand zoals die bij het perse gaan van dit boek is. Dat wil zeggen, dat wij alleen maar de bandsnelheden 9,5 en 19 cm/sec beschouwen, omdat anders hetzij de kwaliteit van de opnamen te slecht is of de prijs te hoog wordt. Uit de tabel en wat daarop volgt in paragraaf 4 van dit hoofdstuk blijkt, dat bij een bandsnelheid van 19 cm/sec en een spleetbreedte van 7,5 micron de hoogste frequentie die kan worden weergegeven ongeveer 18000 Hz bedraagt. Dit is ook bij microgroefplaten mogelijk. Wij zeggen niet dat op elke

microgroefplaat frequenties tot 18000 Hz zijn vastgelegd, doch alleen dat deze grens zowel bij platen als bij de bandrecorder kan worden bereikt. Het ruisniveau van de bandrecorder kan zeer laag zijn, bij de betere microgroefplaten is het ruisniveau van de plaat echter van dezelfde orde van grootte. Bij de bandopnamen kan een iets grotere dynamiek, dus contrast tussen pianissimo en fortissimo, bereikt worden dan bij de plaat, doch het pianissimo-fortissimo contrast op grammofoonplaten is soms al groter dan in de huiskamer nodig of wenselijk is. Bij plaat- zowel als bij bandopnamen zijn principiële oorzaken van niet-lineaire vervorming aanwezig. In beide gevallen is te verwachten dat de gevolgen hiervan tot een minimum zullen worden beperkt en dat het uiteindelijke verschil, wat betreft de niet-lineaire vervorming, tussen plaat en band gering zal zijn. Het feit dat het maken van copieën van opnamen op magnetische banden een minder gecompliceerd procédé is dan het maken van platen, is ongetwijfeld ten gunste van de band, met dien verstande dat toevulsfactoren en kleine ongelukjes bij het maken van platen eerder een ongunstige invloed op de uiteindelijke weergavekwaliteit kunnen hebben, dan bij het kopiëren van bandopnamen. Deze factor mag echter, gezien wat bij de platenfabricage reeds bereikt is om toevalligheden te vermijden, niet overschat worden zodat ons inziens globaal gesproken de kwalitatieve verschillen tussen op band en plaat vastgelegde opnamen klein zullen blijven.

De slijtage van magnetische banden is ongetwijfeld geringer dan van platen, bij goede verzorging slijten platen echter zo weinig, dat de privé-gebruiker van platenslijtage weinig hinder zal ondervinden — in café's, dansscholen en dergelijke kan dit anders zijn. De kans op beschadiging, die bij platen verre van denkbeeldig is, is bij bandopnamen nihil; in dit opzicht is de band belangrijk gunstiger, indien wij het gevaar van het per ongeluk uitwissen van een bandopname buiten beschouwing laten.

Terwijl op een plaat een bepaalde passage van een opname zeer gemakkelijk is te vinden, is dit bij de band veel lastiger. Om een bepaald deel van een bandopname te vinden, is heel wat heen en weer geschakel nodig. Ook het opzetten van de haspels, het inleggen van de band en het eventuele terugspoelen maken de bandrecorder minder gemakkelijk te bedienen dan de grammofoon. Dit bezwaar telt het zwaarst bij albumopnamen met een groot aantal korte composities, doch is ook bij langere composities aanwezig.

Bij dubbelspoor-muziekbanden treedt een speciale moeilijkheid naar voren. Een symphonie bij voorbeeld bestaat uit vier delen, die gewoonlijk niet alle even lang zijn. Bij de grammofoonplaat worden meestal de eerste twee delen op één kant vastgelegd en de andere twee delen op de tweede kant. Indien enige delen nogal kort zijn, (bij voorbeeld bij Beethoven's Ve symphonie, duren het derde en vierde deel tesamen ongeveer 14 minuten) dan hindert dit niet, omdat zodra de laatste toon gespeeld is, de naald toch in de uitloopgroef komt. Bij bandopnamen zal men, als de twee gedeelten van ongelijke lengte zijn, de keus uit twee mogelijkheden moeten maken. Men kan, om band te sparen, de overgang van het eerste naar het tweede muziekspoor precies midden in het muziekwerk leggen. De totale speelduur van Beethoven's Ve symphonie is 32 minuten, 16 min. na het begin is het orkest bezig met het Andante en de eisen der economie zijn hier dus in strijd met de muzikale eisen die geen onder-



breking midden in het Andante wensen. Als aan de muzikale eisen wordt toegegeven wordt de benodigde bandlengte bepaald door de lengte van de delen 1 en 2, (ongeveer 18 minuten), na het beëindigen van de symphonie blijft dan nog op het tweede geluidspoor een lengte van ongeveer 50 meter (overeenkomende met een speelduur van 4 minuten) onbespeeld over. Vooral als een dergelijke onbespeelde periode op het eerste spoor voorkomt is dit hinderlijk, ofwel de onderbreking tussen het eerste en tweede deel van de opname wordt te lang, ofwel het duurt meerdere minuten na inschakelen voordat de muziek begint, tenzij men de ruimte met een ouverture heeft opgevuld.

Het prijsprobleem is, omdat de prijzen van grammofoonplaten en muziekbanden aan wijzigingen onderhevig zijn, niet eenvoudig en exact te behandelen. De kostprijs van een klassieke langspeelplaat kan in drie delen worden gesplitst: opnamekosten (musici, opnamechef, studiohuur etc.), vermenigvuldigingskosten (matrijzen, persmaterialen, perskosten) en verkoopkosten (programmabureau, reclame, verpakking en verzending, verkoopstaf).

Zeer globaal gerekend, zijn alle drie posten ongeveer even groot. Bij muziekbanden zijn de opnamekosten en de verkoopkosten dezelfde als bij platen, zodat eventuele prijsverschillen alleen uit andere vermenigvuldigingskosten kunnen voortvloeien.

Terwijl, zoals wij in hoofdstuk III hebben gezien, een grammofoonplaat, als eenmaal de matrijzen zijn gemaakt en de persen zijn ingesteld, in één klap wordt gemaakt, zodat in ongeveer één minuut wel drie kwartier muziek wordt vermenigvuldigd, is een dergelijk hoog vermenigvuldigingstempo bij magnetische banden niet zonder meer mogelijk. De meest toegepaste methode bestaat hierin dat een opname wordt afgespeeld, de in de weergavekop dientengevolge opgewekte elektrische spanningen worden na versterking aan een opnamekop toegevoerd, waarmee de muziek op een tweede band wordt vastgelegd. Op deze manier zou het kopiëren van drie kwartier muziek ook drie kwartier duren wat natuurlijk veel te lang is. Om de copieertijd te bekorten en daarmee de kosten te verlagen, wordt als volgt gehandeld. Allereerst worden de banden niet met de nominale snelheid bewogen, maar bijvoorbeeld met een 5 maal zo hoge snelheid en, in het geval van dubbelspooropnamen, worden beide sporen gelijktijdig gecopieerd. Verder wordt de copie-opname van achteren naar voren gemaakt, zodat bij het beëindigen van het kopiëren het begin van de opname aan de buitenkant van de spoel ligt en terugspoelen (behalve van de oorspronkelijke opname) niet meer nodig is. Tenslotte maakt men niet één, doch meerdere copieën tegelijk. Door al deze maatregelen zijn de arbeids- en machinekosten verbonden aan het kopiëren van magnetische banden aanzienlijk teruggebracht, doch mede door het steeds nodig zijnde omwisselen van de spoelen en inleggen van de banden, toch zeer zeker niet lager dan de overeenkomstige kosten bij het persen van platen. Daar voor het vermenigvuldigen van banden geen matrijzen nodig zijn, wordt hierdoor de prijs van muziekbanden wel iets in gunstige zin beïnvloed.

Het materiaal waaruit grammofoonplaten vervaardigd worden is niet goedkoop, dit geldt in sterkere mate voor de magnetofoonband. De prijs van een spoel met 180 meter onbespeelde band (64 minuten dubbelspoor speelduur bij een bandsnelheid van  $9\frac{1}{2}$  cm/sec en 32 minuten bij een snelheid van 19 cm/sec) is op dit ogenblik

zeer zeker niet lager dan een derde van de prijs van een 30 cm langspeelplaat. Wij mogen dus veilig de conclusie trekken dat, zelfs al zou het kopiëren van een band niets kosten, door de prijs van de band zelf, een muziekband duurder is dan de prijs van een vergelijkbare grammofoonplaat. Deze prijsvergelijking geldt eveneens voor de dunne langspeelband.

Als wij het voorgaande samenvatten, dan zien wij dat, kwalitatief, band enige kleine voordelen kan bieden en dat band minder kwetsbaar is, doch de bediening van een grammofoon is eenvoudiger. Bij een bandsnelheid van  $9\frac{1}{2}$  cm/sec is een bandopname duurder dan een 30 cm langspeelplaat, bij een snelheid van 19 cm/sec veel duurder dan een, wat speelduur betreft, vergelijkbare 25 cm langspeelplaat. Het lijkt ons dus niet waarschijnlijk, dat de grammofoonplaten door muziekbanden zullen worden verdrongen, wel verwachten wij dat de band de plaat zal aanvullen. De kosten, verbonden aan het maken en bewaren van matrijzen, inclusief de vaders en de moeders en de kosten van het instellen van de platenpersen zijn zo hoog dat het persen van platen alleen in betrekkelijk grote series lonend is. Muziekwerken waarvoor geen voldoende grote belangstelling bestaat zullen dus niet op de plaat verschijnen, ook niet als men van een uitvoering in concertzaal of radiostudio voor het maken van opnamen gebruik kan maken. De voorbereidingen voor het maken van copieën van bandopnamen zijn betrekkelijk eenvoudig en de muziekband lijkt ons daarom het bij uitstek geschikte medium voor slechts zelden gevraagde werken. Een werk als Wagner's Nibelungen Sage is nog steeds niet op platen verkrijgbaar, hier zou de muziekband misschien een oplossing bieden. Moderne composities van nog jonge componisten worden, het is waar, slechts zelden gespeeld, doch nog zeldzamer is, dat een dergelijke compositie op de plaat verkrijgbaar is. „Musique concrète” is eveneens slechts bij grote uitzondering in een platencatalogus te vinden. In deze domeinen zien wij een taak voor de muziekband.



Fig. 111. De bandrecorder in de opnamestudio.

## HOOFDSTUK XII

### TECHNIEK IN DIENST VAN DE MUZIEK

#### § 1 Microfoonopstelling

Techniek en muziek komen slechts bij elkaar op het begin- en het eindpunt van de lange lijn die leidt van microfoon tot oor. De rol die de techniek bij het conserveren en weergeven van muziek speelt is een zuiver dienende; het is aan de luisteraar om te beoordelen of de techniek haar diensten goed heeft verricht en of een juist gebruik van de techniek is gemaakt. Het contact tussen muziek en techniek is het meest intensief in de opnamestudio, waar enerzijds een aantal musici tot taak hebben een muziekwerk zo mooi mogelijk te vertolken, anderzijds een groep niet musicerende lieden ervoor moeten zorgen dat het uitgevoerde muziekwerk op een in alle opzichten zo gunstig mogelijke manier wordt vastgelegd.

Voor deze laatste groep hebben wij met opzet het woord „technici” niet gebruikt, omdat de taak van de opnameleiding niet alleen de technische, doch ook de muzikale verantwoordelijkheid omvat.

De opnameleider is als het ware de bemiddelaar tussen de techniek en de muziek, en hij moet dus van beide voldoende weten; zijn werk begint reeds lang vóór de opname.

Als de programmaleiding besloten heeft een bepaald muziekstuk door bepaalde musici te laten uitvoeren, begint de opnameleider dit muziekwerk te bestuderen. Hij zal hiertoe de partituur doorlezen, het werk misschien op de piano doorspelen en, zo nodig, zich van de muziekhistorie op de hoogte stellen. Aldus kan hij zich een mening vormen over de eisen waaraan de zaal waarin de opname zal worden gemaakt moet voldoen. Het is wel duidelijk, dat een strijkkwartet bij voorkeur niet in een kerk, de Messias niet in een kleine bioscoopzaal wordt opgenomen, doch het verband tussen muziekwerk en opnameruimte stelt nog strengere eisen, en een zaal die voor opera ideaal is, leent zich misschien minder goed voor een Haydn symphonie. Om de beste resultaten te verkrijgen, maakt men de opname dus dikwijls niet in een speciaal hiervoor gebouwde studio, doch in een zaal die de gunstigste akoestische eigenschappen heeft voor het op te nemen muziekwerk, veelal een zaal die in dezelfde periode werd gebouwd als waarin het muziekwerk werd gecomponeerd.

Nadat de zaal is gekozen, wordt, op papier, de microfoonopstelling uitgewerkt. De beste plaats in een zaal voor het beluisteren van een muziekuitsvoering is lang niet altijd de beste plaats voor een microfoon. Ons gehoor kan de richting onderscheiden vanwaar een geluid ons bereikt, en dank zij deze eigenschap kunnen wij een solo-violist gemakkelijk volgen, hoewel het geluid van het de solist begeleidend orkest harder kan zijn dan de vioolklank. De microfoon, die dit vermogen niet bezit, maakt geen onderscheid tussen solist en orkest, en als een microfoon zonder meer op de een of andere meer of minder willekeurige plaats wordt opgesteld, is de kans zeer groot dat, nadat de opname is gemaakt, de vioolklanken volkomen door het orkest worden overstemd. Daarom moet dikwijls van meer dan één microfoon gebruik worden

Fig. 112.  
*Experimenteren met de microfoonopstelling tijdens een opname van het Concertgebouworkest onder leiding van Eduard van Beinum.*



gemaakt. Dit is niet alleen het geval als een orkest met solist wordt opgenomen, maar ook voor orkestopnamen waar de juiste balans tussen de verschillende secties van een orkest niet altijd met een enkele microfoon kan worden verkregen.

Soms wordt nog een extra microfoon gebruikt, die vrij ver van het orkest wordt geplaatst en zorgt dat de nagalm goed tot zijn recht komt, wat de „levendigheid” van bepaalde opnamen gunstig beïnvloedt. De aard van het muziekwerk is ook van belang; terwijl bij een Mozart piano-concert het solo-instrument en het orkest bij wijze van spreken tegenover elkaar staan, zijn bij Brahms' concerten piano en orkest als het ware een eenheid, en het is wel duidelijk, dat deze verschillen in conceptie slechts door verschillend gekozen microfoonopstellingen goed tot uiting kunnen komen.

Uit de vorige alinea mag niet de conclusie worden getrokken, dat alle orkestopnamen met verscheidene microfoons worden gemaakt, en ook niet dat bij opnamen van kleine ensembles altijd maar één microfoon wordt gebruikt. Vaste regels waarmee de microfoonopstelling kan worden berekend bestaan niet; de opnameleider moet zich grotendeels door intuïtie, ervaring en begrip van technische en muzikale eisen laten leiden. Dikwijls loopt hij, bij het proefspelen, met een vinger in een oor in de zaal rond, om na te gaan hoe de microfoon de muziek hoort, en om aan de hand van zijn bevindingen de van te voren bepaalde microfoonopstelling nog te verbeteren. Het kan dan zijn, dat voor een symphonieorkest toch maar één microfoon gebruikt wordt, met, eventueel, enkele geluidsschermen en een gewijzigde opstelling van het orkest. Het kan ook gebeuren, dat voor een klein ensemble twee microfoons worden gebruikt. Als bij voorbeeld een zanger met een zeer krachtige stem door een gitaar wordt begeleid, bestaat het gevaar dat de gitaar niet voldoende uitkomt. Als een microfoon dicht bij de gitaar en betrekkelijk ver van de zanger wordt opgesteld, wordt een betere balans verkregen, doch zal bij het afspelen van de opname blijken, dat de zanger verder van de luisteraar verwijderd schijnt te staan dan de gitarist, wat een

zeer ongewenst effect is. De oorzaak van dit verschijnsel is, dat door de grotere afstand tussen microfoon en zanger de nagalm van de zangstem sterker is dan de nagalm van de gitaar, en om dit te vermijden moet men twee microfoons gebruiken. Het luisteren met één oor bij het bepalen van de gunstigste plaats voor de microfoon, is iets wat wij ook de amateur kunnen aanbevelen.

## § 2. Bandmontage en geluidseffecten

De zorg die aan een grammofoonopname wordt besteed, is nog groter dan de zorg besteed aan radiuitzendingen. Terwijl een foutje in de uitvoering ons de eerste keer aan de aandacht kan ontsnappen, is het gevaar groot dat, als men de opname meer-malen heeft gespeeld, met dit foutje wél hoort, en niets is zo irriterend als het luisteren naar een grammofoonplaat waarvan men weet dat de uitvoerende musicus zich op een bepaald ogenblik heeft vergist. Daarom wordt zeer lang gerepeteerd voordat de opname wordt gemaakt; deel voor deel wordt apart onder de loupe genomen, totdat men ervan overtuigd is, dat de interpretatie van een muziekwerk volkomen in overeenstemming is met de geest van dit werk (althans volgens eigen opvatting) en dat deze interpretatie ook foutenloos ten gehore kan worden gebracht. Bij langere werken blijkt, dat deze nooit geheel zonder fouten kunnen worden gespeeld; men maakt de opname dan in gedeelten, die vervolgens aan elkaar worden gelast (wat, dank zij de bandrecorder, gemakkelijk gaat) of wel, men laat, nadat het gehele werk, of een gedeelte ervan, is uitgevoerd, de stukken waar fouten in voorkomen nog-maals overspelen, en vervangt de onvolmaakte stukken dan door de nieuwe opnamen. Het is meestal de opnameleider die beslist of de musici het werk voldoende beheersen om tot opname over te gaan, en vooral welke gedeelten overgespeeld moeten worden. Hij beslist ook waar met het overspelen moet worden begonnen. Immers, indien de passage te lang wordt gemaakt, is de kans op een nieuwe fout te groot; wordt ze te kort genomen, dan krijgen de musici geen gelegenheid zich in te spelen.

De opnameleider is ook verantwoordelijk voor de montage van de verschillende stukken bandopnamen; hij zal dus een partituur zeer vlot moeten kunnen lezen, om te voorkomen dat een noot wegvalt of dubbel op de plaat komt te staan.

Men zou hier kunnen opmerken, dat de positie van de dirigent ondergeschikt lijkt aan die van de opnameleider. Dit is niet het geval; alleen hebben beiden verschillende terreinen van verantwoordelijkheid. De dirigent is verantwoordelijk voor de interpretatie en de zo goed mogelijke uitvoering van de compositie; de opnameleiding heeft tot taak te zorgen dat de muziek op een later tijdstip zo mooi mogelijk uit de luidspreker klinkt. De opnameleider staat, letterlijk en figuurlijk, op de plaats van de luisteraar, en hoort het geheel dus anders dan de dirigent. Omdat hij op een afstand van het orkest staat, hoort hij, mits hij muzikaal voldoende geschoold is, bepaalde foutjes eerder dan de dirigent, die vlak bij het orkest staat en bij voorbeeld een foutieve inzet niet altijd even gemakkelijk kan waarnemen.

Na beëindiging van een opname beslissen de dirigent en de opnameleider tezamen of de opname aan de te stellen eisen voldoet.

Het is natuurlijk niet juist alleen de musici van het maken van fouten te beschul-

digen; een verkeerde manipulatie van de opnametechnicus, een laag overvliegend vliegtuig, een passerende vrachtwagen of het dichtslaan van een deur kunnen eveneens een opname bederven. De schrijver heeft het meegemaakt dat een opname werd gestoord door een toneelknecht die met een groot bord „Stilte Opname” binnenkwam. Zo de opname direct in de lakplaat werd gesneden, zou een dergelijke storing betekenen dat men weer geheel van voren af aan moest beginnen; bij de bandopnamen knipt men het bewuste stukje er uit en vervangt het door een apart opgenomen stukje. Veelal beperkt deze „plastische chirurgie” zich tot een enkele noot of maat. Ondanks alle ervaring, en ondanks het feit dat fouten gerepareerd kunnen worden, eist een opname toch zeer veel tijd; het is geen uitzondering dat een hele dag wordt besteed voor het vastleggen van een symphonie, of anderhalf uur aan het opnemen van een foxtrot. Alleen als de opnameleider of de uitvoerende musicus het niet zo nauw neemt, kan sneller worden gewerkt; dan worden de opnamen natuurlijk wel goedkoper, doch het resultaat is ook minder.

In het huidige tijdperk van High Fidelity, nu door sommigen speciaal wordt gelet op het duidelijk klinken van triangels, cymbalen, piccolo's enz., bestaat het gevaar dat de microfoons zó worden opgesteld, dat bij voorbeeld de triangel erg goed doorkomt en bijna even hard klinkt als het hele orkest. Muzikaal is dit lang niet altijd te verantwoorden, en het is dus misschien goed er hier nog eens op te wijzen, dat de eis van „getrouwheid” eerst en vooral betrekking heeft op muziek. De opnameleider mag nooit toegeven aan effectenjagerij; anderzijds mag de luisteraar een opname niet afkeuren omdat de cymbalen er niet „uitknallen”, als dit niet de bedoeling was van de componist. Ook overdreven fortissimo's, zo opgenomen ter wille van een verkoopeffect, hebben niets met werkelijke High Fidelity te maken.

Het instellen van de juiste opnamesterkte is, vooral bij symphonische muziek, soms verre van gemakkelijk. Bij muziek waarbij grotere contrasten tussen pianissimo en

*Fig. 113.*  
Bij deze opname van een amusements-  
orkest worden vijf  
microfoons gebruikt.  
Achter het raam is  
de opnameleider  
zichtbaar.



fortissimo voorkomen dan op de plaat kunnen worden vastgelegd, zal de stand van de sterkte-regelknoppen moeten worden bepaald aan de hand van de partituur — ook de geluidstechnicus moet dus een partituur goed kunnen lezen.

De techniek speelt bij het maken van klassieke opnamen een weliswaar zeer belangrijke, doch meestal toch volkomen passieve, rol. Bij amusementsmuziek is dit soms veel minder het geval. Bij klassieke opnamen wordt soms, om een bepaald effect te bereiken, gebruik gemaakt van een echo-kelder, doch daar blijft het dan meestal bij. In het geval van amusementsmuziek staat een heel arsenaal van technische trucjes ter beschikking.

De echo-kelder is een grote kelder waarin aan het ene eind een luidspreker en aan het andere eind een microfoon staan opgesteld. De luidspreker is via een versterker verbonden met de studiomicrofoon. De echo-microfoon is verbonden met het opname-apparaat; het geluid dat door deze microfoon wordt opgevangen is gedeeltelijk het directe geluid van de luidspreker en gedeeltelijk het door de muren van de kelder weerkaatste geluid. Tussen microfoon en luidspreker kan nog een scherm aanwezig zijn, en de galm in een dergelijke echo-kelder is veelal sterker dan het directe geluid. De door de echo-microfoon afgegeven spanning wordt tezamen met de spanning van de studio-microfoon toegevoerd aan het bandopname-apparaat. Door de plaats van luidspreker en echo-microfoon en de sterkte van de door deze microfoon afgegeven spanning te veranderen, kunnen sterkte, klank en lengte van de nagalm naar behoefte worden gevarieerd. Een voorbeeld van de toepassing van een echo-kelder vindt men onder andere in de Strauss opera Salome, waar, dank zij dit hulpmiddel, de stem van Johanaan klinkt alsof zij uit een kerker komt.

Speciale effecten kunnen worden verkregen door een zanger of zangeres in een andere studio dan het orkest te laten optreden, en een echo-signaal aan de zang toe te voegen. Hierdoor wordt de indruk verkregen, dat de solist op enige afstand van het orkest staat. Door de vocaliste zeer dicht bij een microfoon op te stellen en zacht te laten zingen, krijgt men een bijzondere indruk van intimiteit; ook hierbij kan de echo-kelder worden ingeschakeld.

Waar geen echo-kelder ter beschikking staat, kan ook een elektronische echo worden gebruikt. Het signaal van de studiomicrofoon wordt vastgelegd op een magnetische band, doch practisch onmiddellijk daarna weer afgespeeld, weer op dezelfde band opgenomen, enzovoorts. Terwijl de echo-kelder een meer of minder vage nagalm geeft, verkrijgt men met de elektronische echo een opeenvolging van betrekkelijk scherp gedefinieerde echo's. Voor amusementsmuziek is deze pittigere klank soms beter geschikt dan de meer natuurlijke echo die met behulp van een echo-kelder wordt verkregen. Op deze manier bereikt men met één muziekinstrument een effect alsof er vele spelen. Het is ook mogelijk het geluid van een muziekinstrument met of zonder echo op te nemen, en deze opname tegelijk met een tweede solo op een andere magnetische band vast te leggen. Dit is de techniek die wordt gevolgd door zangers die een duet met zichzelf zingen, en ook door sommige instrumentalisten.

Als een opname met een andere snelheid wordt afgespeeld dan waarbij ze werd opgenomen, verandert de toonhoogte hiermee evenredig. Door hierbij nog de weergavekarakteristiek te veranderen, dus de hoge of de lage tonen te versterken of te

verzwakken, kunnen zeer speciale effecten worden verkregen. Zo zal bij voorbeeld een accordeonopname, op halve snelheid en met versterkte lage tonen afgespeeld, klinken als een soort orgel, doch met geheel andere effecten dan een echt orgel. Een versneld afgespeelde mannenstem, eventueel met de lage tonen wat verzwakt, geeft een „Donald Duck” effect. Opnamen kunnen ook achterste-voren worden afgespeeld met zeer verrassende resultaten. Door een aantal van de hierboven vermelde trucjes en andere die hier niet genoemd zijn, te combineren, kunnen de meest uitzonderlijke resultaten worden bereikt. In hoeverre dit alles muzikaal verantwoord is, is een andere kwestie, doch dergelijke truc-opnamen kunnen in het domein van de amusementsmuziek soms zeer aantrekkelijke resultaten geven.





## AANHANGSEL

Op de volgende bladzijden zijn een aantal gegevens, die voor de geluidsweergave van belang zijn, in grafieken voorgesteld. Deze gegevens hebben betrekking op de geluidsterkteverhoudingen (decibelschaal, fig. 114) en het toonbereik.

In fig. 115 is het toonbereik van een aantal muziekinstrumenten uitgezet, de getallen naast deze figuur geven de frequentie, in hertz, van de grondtrillingen der daarmee overeenkomende muziektonen.

Tenslotte zijn in de drie laatste figuren de weergavekarakteristieken van een aantal Philips pick-ups getekend, zoals deze opgemeten zijn met verschillende belastingsweerstand.

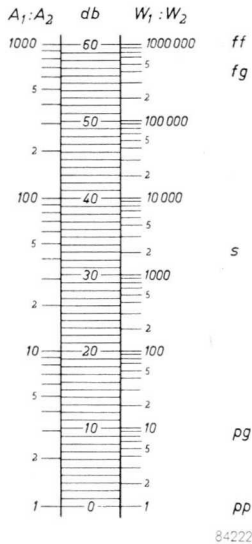


Fig. 114. Decibelschaal.

$A_1 : A_2$ , spanning, stroom- of geluidsdrukverhouding.

$W_1 : W_2$ , vermogen of geluidsterkteverhouding

db, het met bovenstaande verhoudingen overeenkomende aantal decibels.

De letters rechts in de grafiek duiden de geluidsterkteverhoudingen aan: van een orkest in de concertzaal, pp = pianissimo, ff = fortissimo; van grammofoonweergave, pg en fg = pianissimo en fortissimo; s is hierbij ongeveer de normale spraaksterkte

Fig. 115. Frequentie en toonhoogte.

Het toonbereik van verschillende muziekinstrumenten en stemmen. De grondtonen worden door een getrokken lijn aangegeven; bij enkele instrumenten zijn tevens een aantal boventonen door stippen en stippellijnen aangeduid.

1 (v.l.n.r.)	Contrabas	3	Triangel	5	Tuba
	Violoncello		Bekken op bekken		Trombone
	Altviool		Geslagen bekken		Hoorn
	Violino	4	Bas		Trompet
2	Contrafagot		Bariton	6	Grote pauk
	Fagot		Tenor		Kleine pauk
	Clarinet		Alt	7	Harp
	Hobo		Mezzo-sopraan		Vleugel
	Fluit		Sopraan		Orgel
	Piccolo				

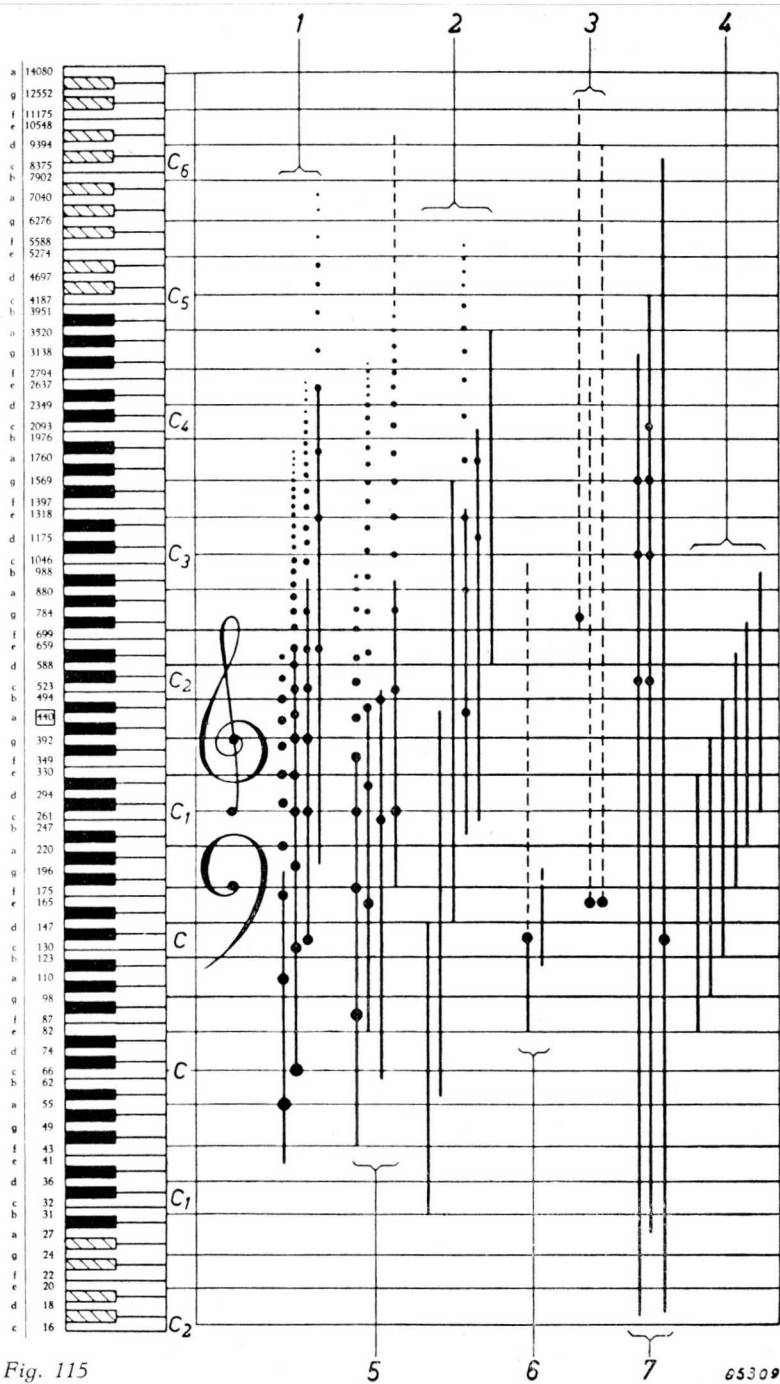


Fig. 115

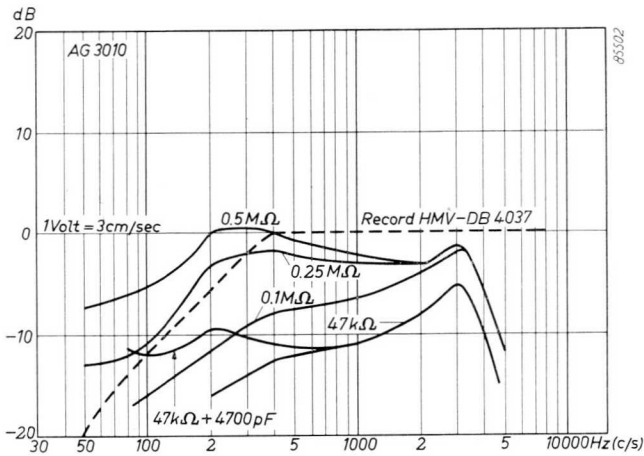


Fig. 116. Frequentiekaracteristieken van de kristal pick-up AG 3010 gemeten met de H.M.V. plaat DB 4037 (78 omw./min.)

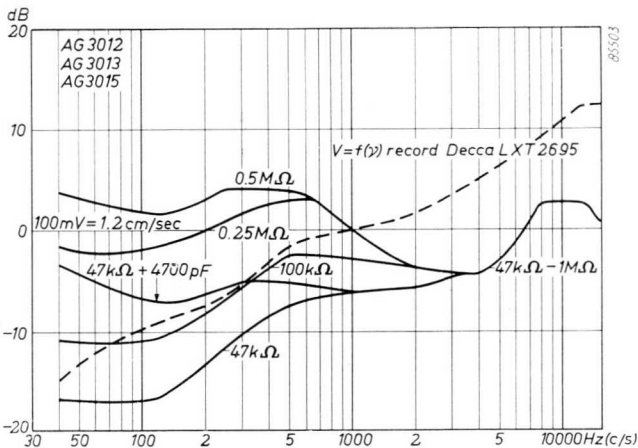


Fig. 117. Frequentiekaracteristieken van de kristal pick-ups AG 3012, AG 3013 en AG 3015 gemeten met de Deccaplaat LXT 2695 (33<sup>1</sup>/<sub>3</sub> omw./min.)

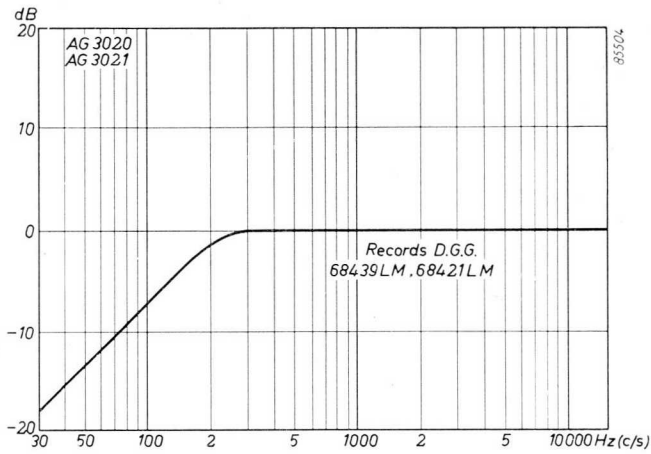


Fig. 118. Frequentiekarakteristiek van de magnetodynamische pick-up AG 3020 en AG 3021 gemeten met de D.G.G. platen 68439 LM en 68421 LM (78 omw./min., fijne groef). De belastingweerstand bij deze meting was 470.000 Ohm.



# INDEX

## A

aandrijving van de draaitafel	67
van band	146
absorptie van geluid	129
acetaat	11
afspeelkarakteristiek	46, 92
akoestiek	128
akoestische box	121
A.D.P.	23

## B

band voor geluidsopnamen	146
montage	164
snelheid	152
speelduur	156, 159
terugspoelen	153
bandopname, apparaat 10, 146, 151,	155
frequentiekarakteristiek	145, 152
magnetische, principe van	143
op draad	144
uitwissen van	151
vermenigvuldigen van	160
vervorming	148
Bariumtitaanaat	24
basreflexkast	122
boventonen	7

## C

carbon black	17
commandotrommel	82
commandoschijf	80
compliantie	35
concertgebouw, proeven in	135
controle van platen	19
conus	106
copal	17
cyclonen	17

## D

decibel	7, 168
Doppler effect	116, 125
draaitafel	69
bekleding van	72
slingeren van	71
dreun	66, 68
dubbelspoelopnamen	157
dynamiek	3, 5, 138

## E

echo, elektronische	165
-kelder	166
magnetische	156
echovrije kamer	111
eindtrap	84
excentriciteit van draaitafel	70

## F

ferroxdure	27
flutter	69
frequentie	6
frequentiebereik van bandopnamen	152
van grammofoons	3, 5
van muziekinstrumenten	169
frequentiekarakteristiek	32, 34, 88, 111
meting van	139
-platen	141

## G

geluid, golfvorm	6
sterkteregeling	94
voortplantingssnelheid	6
geluidseffecten	165
golf lengte, in lucht	6
, op platen	45
goudverstuiving	15



- |                                |          |                              |          |
|--------------------------------|----------|------------------------------|----------|
| grammofoonnaalden, zie naalden |          | lichtbandbreedte             | 141      |
| grammofoonplaten, controle van | 19       | luidsprekers, conus van      | 106      |
| dikte van                      | 80       | electrodynamische            | 103      |
| kromme                         | 62, 71   | electrostatische             | 108, 116 |
| onderhoud                      | 61       | faze van                     | 125      |
| opbergen                       | 62       | frequentiekarakteristiek van | 111      |
| persen van                     | 17       | hoge tonen weergave van      | 113,     |
| slijtage                       | 55, 60   | kristal                      | 109      |
| gramophone                     | 2        | magnetisch veld van          | 104      |
| graphophone                    | 1        | parallelschakeling van       | 127      |
| groefafstand                   | 32       | rendement van                | 105, 110 |
| variabele                      | 11       | resonantiefrequentie van     | 107      |
| groefspringen                  | 6, 7, 37 | serieschakeling van          | 127      |
| groefvorm                      | 43, 52   | spreekspoelimpedantie van    | 114      |
| grondtoon                      | 7        | stralingskarakteristiek van  | 113      |
|                                |          | vermogen van                 | 116      |
|                                |          | vervorming van               | 117      |
| <b>H</b>                       |          | luidspreker filters          | 127      |
| harmonischen, hogere           | 38       | luidspreker-kasten           | 120      |
| hertz                          | 6        | , achterwanden van           | 121      |
| high fidelity, definitie       | 132      |                              |          |
| , eisen                        | 134      | <b>M</b>                     |          |
| grammofoonplaten               | 136      | magneten                     | 105      |
| hoorn, gevouwen                | 124      | massa, van naald             | 36       |
| hot stylus                     | 14       | van toonarm                  | 37       |
|                                |          | master                       | 10       |
| <b>I</b>                       |          | matrijs                      | 16       |
| impulsgeluiden                 | 88       | meezingen, van naald         | 40       |
|                                |          | microfonie                   | 76       |
| <b>J</b>                       |          | microfoons, condensator      | 28       |
| jengel                         | 69       | dynamische                   | 28       |
|                                |          | opstelling van               | 133, 162 |
| <b>K</b>                       |          | moeder                       | 16       |
| klankbord                      | 111      | motoren, inductie            | 63       |
| afmetingen                     | 118      | , kooianker                  | 63       |
| hartvorming                    | 119      | vermogen van                 | 66       |
| oneindig                       | 120      | <b>N</b>                     |          |
| trapeziumvormig                | 120      | naald, amplitude             | 32       |
| klem-effect, zie pinch effect  |          | druk                         | 3, 35    |
| <b>L</b>                       |          | meezingen van                | 40       |
| lakplaat                       | 11       | microscoop                   | 55       |

- |                                     |        |                                  |         |
|-------------------------------------|--------|----------------------------------|---------|
| slijtage                            | 53     | <b>S</b>                         |         |
| snelheid                            | 32     | schakelaar, afstands-            | 73      |
| vorm                                | 52     | pick-up-                         | 75      |
| naalden, algemeen                   | 52     | slingergroef                     | 73      |
| cactus-                             | 58     | versnelling-                     | 74      |
| diamant-                            | 57     | scheidingsfilter                 | 127     |
| hardmetaal                          | 57     | schellak                         | 117     |
| osmium-                             | 58     | seignette zout                   | 23      |
| robijn-                             | 57     | sinaasappelschil-effect          | 11      |
| saffier-                            | 53, 57 | slijtage, invloed stof           | 54, 61  |
|                                     |        | naalden                          | 53, 59  |
|                                     |        | platen                           | 55, 59  |
|                                     |        | snijbeitel                       | 13      |
| <b>O</b>                            |        | Speelduur, verlengde             | 12, 155 |
| omkeertrap                          | 99     | spoelen, berekening van          | 128     |
| oorgevoeligheid                     | 94     | spreekspool                      | 104     |
| opname, maken van                   | 164    | spreidingszelfinductie           | 104     |
| opname-karakteristiek, fundamentele | 31     | stijfheid van toonopnemer        | 35      |
| moderne                             | 46     | stuurhaak                        | 81      |
| outputmeters                        | 139    |                                  |         |
| overgangsfrequentie                 | 125    |                                  |         |
|                                     |        | <b>T</b>                         |         |
| <b>P</b>                            |        | tegenkoppeling                   | 84, 95  |
| periode, van een trilling           | 7      | terugkoppeling, akoestisch       | 76      |
| persen, van platen                  | 18     | timbre                           | 7       |
| phonograph, Edison                  | 1      | toonarm, krachten op             | 42      |
| pick-up, zie toonopnemers           |        | massa                            | 37      |
| piezo-electriciteit                 | 21     | resonantie                       | 72      |
| pinch-effect                        | 43     | toonarm, vorm                    | 42      |
| platenspelers                       | 74     | toonbereik, zie frequentiebereik |         |
| platenwisselaars                    | 76     | toonopnemers, compliantie van    | 35      |
| AG 1000                             | 80     | condensator-                     | 28      |
| AG 1003                             | 81     | eisen                            | 20      |
| AG 1004                             | 81     | electrodynamische-               | 26      |
|                                     |        | frequentiekarakteristiek         | 32, 34  |
|                                     |        | kristal-                         | 21      |
|                                     |        | magnetische-                     | 24      |
|                                     |        | magnetodynamische-               | 27      |
|                                     |        | stijfheid van                    | 35      |
|                                     |        | variabele reluctantie-           | 26      |
| <b>R</b>                            |        | toonregeling                     | 84, 91  |
| recorders, zie bandopname           |        | transformator, uitgang           | 89, 101 |
| resonantie, van toonarm             | 72     | transistor                       | 84      |
| van luidspreker                     | 107    | tussenwiel                       | 67      |
| van pick-up                         | 33     |                                  |         |
| rochelle zout, zie seignette zout   |        |                                  |         |
| ruimte-effect                       | 126    |                                  |         |

**U**

ultra-sonore trillingen 88

**V**

vader 16

versterker, brom 90

, frequentiekaracteristiek 88

ruis 90

schema's 98

vermogen 85

vervorming 85

vinyl 17

viooltoon 8

vervorming, afspreek- 41

aftast- 43

intermodulatie- 39, 86

lineaire- 38

niet lineaire- 38

verschiltoon- 39, 87

volumeregeling 84, 93

voormagnetisatie 148

voorversterker 84, 94

**W**

weergavekaracteristieken 48

A.E.S. 49

F.F.R.R. 49

N.A.B. 49

I.E.C. 49

platenmerken 50

weergavekwaliteit, hoge tonen 137

, lage tonen 136

, middentonen 136

, muziekinstrumenten 137

werkelijkheid, vergelijking met 135

wisselcyclus 77

wisselpen 79

**Z**

zilvernitraat 15

zoon 16

zwevingen, zie jengel

In de Philips' Technische Bibliotheek verschijnen 4 series boeken :

- 1) Serie ELECTRONENBUIZEN
- 2) Serie LICHT EN VERLICHTING
- 3) Serie DIVERSEN
- 4) Populaire serie

De series 1, 2 en 3 komen uit in de afmetingen  $15\frac{1}{2} \times 23\frac{1}{2}$  cm (tenzij anders is aangegeven) en zijn gebonden in blauw-linnen omslag met opdruk in goud. Serie 4 heeft het formaat  $14,8 \times 21$  cm en wordt gebrocheerd in geverniste kleurrijke omslag. De meeste boeken verschijnen in het Nederlands, Engels, Frans en Duits.

### SERIE ELECTRONENBUIZEN

- Deel I Ir J. Deketh, „Grondslagen van de Radiobuizentechniek”
- Deel II Ir J. Deketh, „Gegevens en Schakelingen van Ontvang- en Versterkerbuizen” (uitgebracht in de jaren 1933/39)
- Deel III J. Otte, idem (uitgebracht in de jaren 1940/41)
- Deel IIIa N. S. Markus en J. Otte, idem (uitgebracht in de jaren 1945/1950)
- Deel IIIb N. S. Markus en J. Vink, idem (uitgebracht in de jaren 1951/54)
- Deel IIIc J. Jager, „Gegevens en Schakelingen van Televisiebuizen”
- Deel IV Dr B. G. Dammers, Ing. J. Haantjes, J. Otte en Jhr. Ir H. van Suchtelen. „Toepassing van de Electronenbuis in Radio-ontvangtoestellen en Versterkers” (Boek 1)
- Deel V Idem (Boek 2)
- Deel VII Ir P. J. Heijboer, „Zendbuizen”
- Deel VIIIa A. G. W. Uitjens, „Television Receiver Design” (1)
- Deel VIIIb Ir P. A. Neeteson, idem (2)
- Deel IX Ir P. A. Neeteson, „Vacuum Valves in Pulse Technique”
- Deel X Ir P. A. Neeteson, „Analyses of the Bistable Multivibrator Operation”

De delen VIIIa en VIIIb zijn uitgegeven in het Engels, Duits en Frans. Deel IX verschijnt najaar 1955 in het Engels en het Duits, begin 1956 in het Frans. Deel X verschijnt uitsluitend in het Engels, najaar 1955.

### SERIE LICHT EN VERLICHTING

- a) Ir L. C. Kalff, „Kunstlicht en Architectuur”
- b) Ir P. J. Oranje, „Gasontladingslampen”
- c) Prof. Dr C. Zwicker, „Fluorescentieverlichting”
- d) Dr P. J. Bouma, „Kleuren en Kleurenindrukken”
- e) Dr G. D. Rieck en Ir L. H. Verbeek. „Kunstlicht en Fotografie”
- f) H. A. E. Keitz, „Lichtberechnungen und Lichtmessungen”
- g) H. Zijl, „Manual for the Illuminating Engineer on large-size perfect Diffusors”
- h) Johan Jansen, „Beleuchtungstechnik” Band I, II, III
- i) H. Zijl, „Illuminating Engineering Course”

Boek a) De Nederlandse versie is uitverkocht; nog verkrijgbaar in het Duits; boek b) Nederlands en Duits uitverkocht; nog verkrijgbaar in het Engels en het Frans; boek f) is uitgegeven in het Duits en Engels; boek g) is uitgegeven alleen in het Engels; boek h) de Duitse editie hiervan is gereed, de Franse verschijnt in het najaar 1955 en de Engelse voorjaar 1956; boek i) verschijnt najaar 1955 in het Engels en Duits; de Franse editie verschijnt voorjaar 1956, de Nederlandse werd uitgegeven door de Vereniging voor Electronisch Vakonderwijs, Amsterdam.

#### SERIE DIVERSEN

- 1) Dr N. A. J. Voorhoeve, „Laagfrequentie-Versterkingstechniek”
- 2) Dr Ing. E. M. H. Lips, „Metaalkunde en Constructie”
- 3) F. Kerkhof & Ir W. Werner, „Televisie”
- 4) Dipl. Ing. P. Cornelius, „Korte Samenvatting der Electriciteitsleer”
- 5) Prof. J. J. Koch e.a., „Rekstrookjes-Meettechniek”
- 6) G. W. van Santen, „Mechanische Trillingen”
- 7) William Parrish and Betty White Erwin, „Data for X-Ray Analysis” (1)
- 8) Idem (2)
- 9) G. H. Hepple, „X-Rays in Dental Practice”
- 10) Ir A. H. Schaafsma & Ir F. G. Willemze, „Modern Kwaliteitsbeleid”
- 11) Dr R. Kretzmann, „De Electronentechniek in de Industrie”
- 12) J. Otte, Ph. Salverda en J. van Willigen, „Van het Electron tot de Super”

Boek 6 is in het Nederlands uitgegeven door de Fa. Wed. Ahrendt in Amsterdam. In de Philips' Technische Bibliotheek verscheen een bewerkte uitgave in het Duits en het Engels; de Franse editie van het boek wordt verwacht voorjaar 1956.

#### POPULAIRE SERIE

De boeken van de Philips' Technische Bibliotheek staan in het algemeen op M.T.S.-niveau. Reeds vele malen werd ons gevraagd ook boeken uit te brengen, die bevattelijk zijn voor een bredere lezerskring. Ter voldoening aan dit verzoek hebben wij een Populaire Serie aan de Philips' Technische Bibliotheek toegevoegd. Deze boekjes worden gedrukt op formaat  $14,8 \times 21$  cm en gebrocheerd in governiste kleurrijke omslag.

- 1) A. H. Bruinsma, „Radiografische Afstandsbediening”
- 2) E. Rodenhuis, „Practische Handleiding voor het gebruik van Electronenbuizen in L.F. Versterking”
- 3) Dr S. D. Boon, „Germaniumdioden”
- 4) E. Rodenhuis, „Buizen voor Batterijontvangers”
- 5) G. Slot, „Van microfoon tot oor”