

Tijdschrift van het
Nederlands Radiogenootschap

DEEL 23 No. 6

1958

Akoestische Meetmethoden en Meetapparaten

door J. J. Geluk *)

Inleidende voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap en de Geluidstichting op 22 mei 1958.

Summary

An introduction is given in the acoustic field, summarizing historical technical developments and nowadays measuring technique. The most important acoustic quantities are defined, giving special attention to those, used in the following papers.

Both physical and psychological results are mentioned, as well as tendencies in the acoustic science.

Als inleider van deze dag heb ik mij tot taak gesteld een globaal overzicht te geven van de huidige stand van de meetmethoden in de akoestiek, hier en daar iets te vertellen over meetapparaten, beide gericht op de straks volgende voordrachten.

Ik heb de verleiding niet kunnen weerstaan om ook terug te blikken in de methodiek van grote natuurkundigen van de afgelopen eeuwen; hoewel wij wellicht glimlachen kunnen over de omslachtigheid, zal iedereen moeten toegeven, dat er veel ingenieuze gedachten in verwerkt zijn.

Men heeft al vroeg onderkend, dat het theoretisch aspect van de akoestiek zó moeilijk was, dat het *experiment* niet te vermijden was en we zien heden door de grote keuze van meetapparaten, dat in de akoestiek het experiment zo niet primair, dan toch nauwelijks onderdoet voor de theorie.

Ook een groot theoreticus als *Rayleigh* had behoefte aan het experiment en uiteraard moest daarbij gebruik worden gemaakt van directe methoden zoals mechanische, optische en thermische middelen.

*) Nederlandsche Radio Unie, Hilversum.

1. Historisch overzicht.

Vóór het jaar 1800 was het voornamelijk de *geluidsvoortplantingssnelheid* en de *frequentie*, die de experimentatoren boeide, doch omstreeks 1858 was het *Scott*, die door middel van membraan en naald registraties kan aantonen op roterende trommels.

De z.g. *Phonautograph* heeft stellig *Edison* in 1877 geïnspireerd tot het uitvinden van de *Phonograaf*. Verbeteringen werden hierin later aangebracht, o.a. door *Miller* (1909), die met behulp van de optiek grotere gevoeligheden kon bereiken met zijn z.g. *Phonodeik*.

Ook *Wheatstone* heeft zich aan het akoestische experiment gewaagd en men kan het instrument *Kaleidophone* al zien als een voorloper van het afbuigstelsel van oscilloscopen (1827). Hierbij werden twee rechthoekige plaatjes loodrecht op elkaar en in elkaars verlengde bevestigd, waarbij een richtingsafhankelijke gevoeligheid ontstond in twee richtingen.

Kwantitatieve methoden kwamen na het midden van de 19e

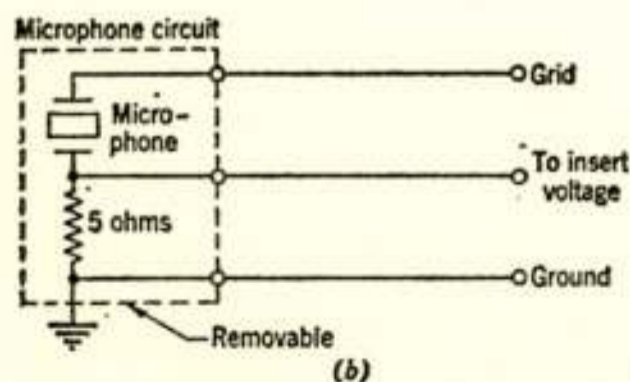
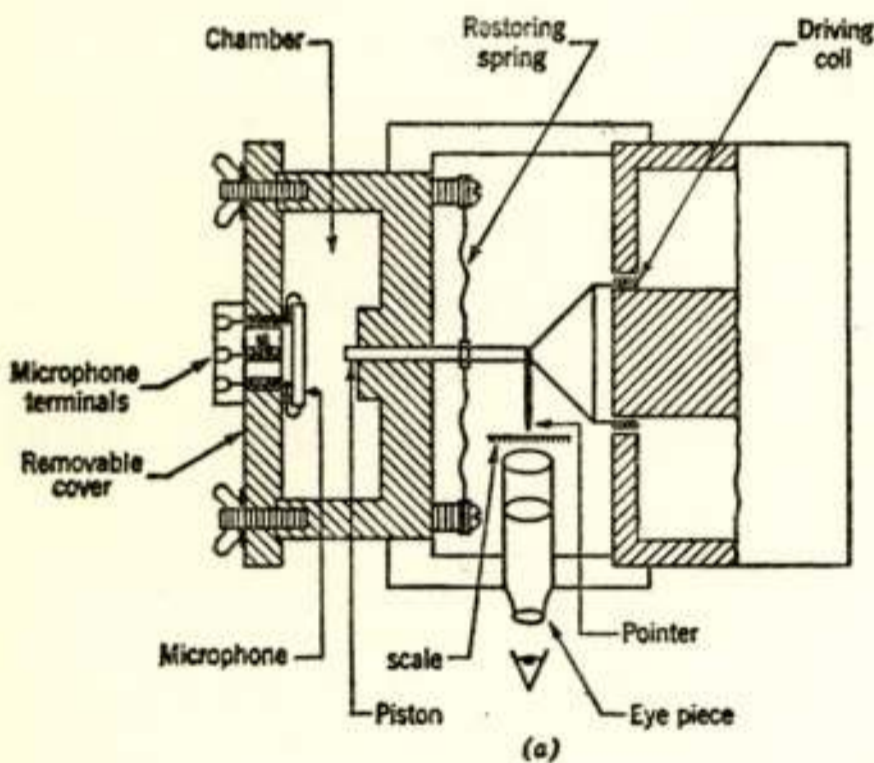


Fig. 1

Pistonphone. Het electromagnetische systeem (driving coil) veroorzaakt drukvariaties in de kamer (chamber). De uitwijking en de daaruitvolgende drukvariatie worden met de microscoop afgelezen.

eeuw naar voren, waarvan genoemd kunnen worden de *Gevoelige Vlam* (*Le Conte*), de *Manometrische Vlam* (*Koenig*) en de *Interferentiemethode* van *Boltzmann*.

Als eerste „toongenerator” zou men de *Tonometer* van *Scheibler* kunnen noemen, die in 1834 een serie geijkte stemvorken in een apparaat onderbracht. Verbeterd door *Koenig* beschikte men toen over toonhoogten van 16 tot 90.000 Hz.

Als de beste kwantitatieve methode voor het meten van de deeltjessnelheid ontstond in 1882 de z.g. *Rayleigh-disc*, een methode, die ook nu nog de enige absolute methode is voor deze grootte. Diegenen die wel eens hiermee hebben

„gespeeld” zullen kunnen beamen, dat in onze dynamische wereld de uitvoering eigenlijk ondoenlijk is.

Direct voor de uitvinding van de *triode* was het *Pierce* die voor het eerst een electromagnetische *transducer* gebruikte.

Na gelijkrichting gelukte het hem een galvanometer tot uitslaan te brengen en geluidsdrukken af te lezen.

Met behulp van standaard-geluidsbronnen (zoals *Sirenes* en *Thermophones*) probeerde men de ontvangstapparatuur te ijken.

In een volgende voordracht zal U een moderne versie van een dergelijke standaard-geluidsbron worden getoond, waaruit we nogmaals zien dat een terugblik in de historie zijn waarde kan hebben.

Op het gebied van de zaalakoestiek werd ook voor 1900 reeds

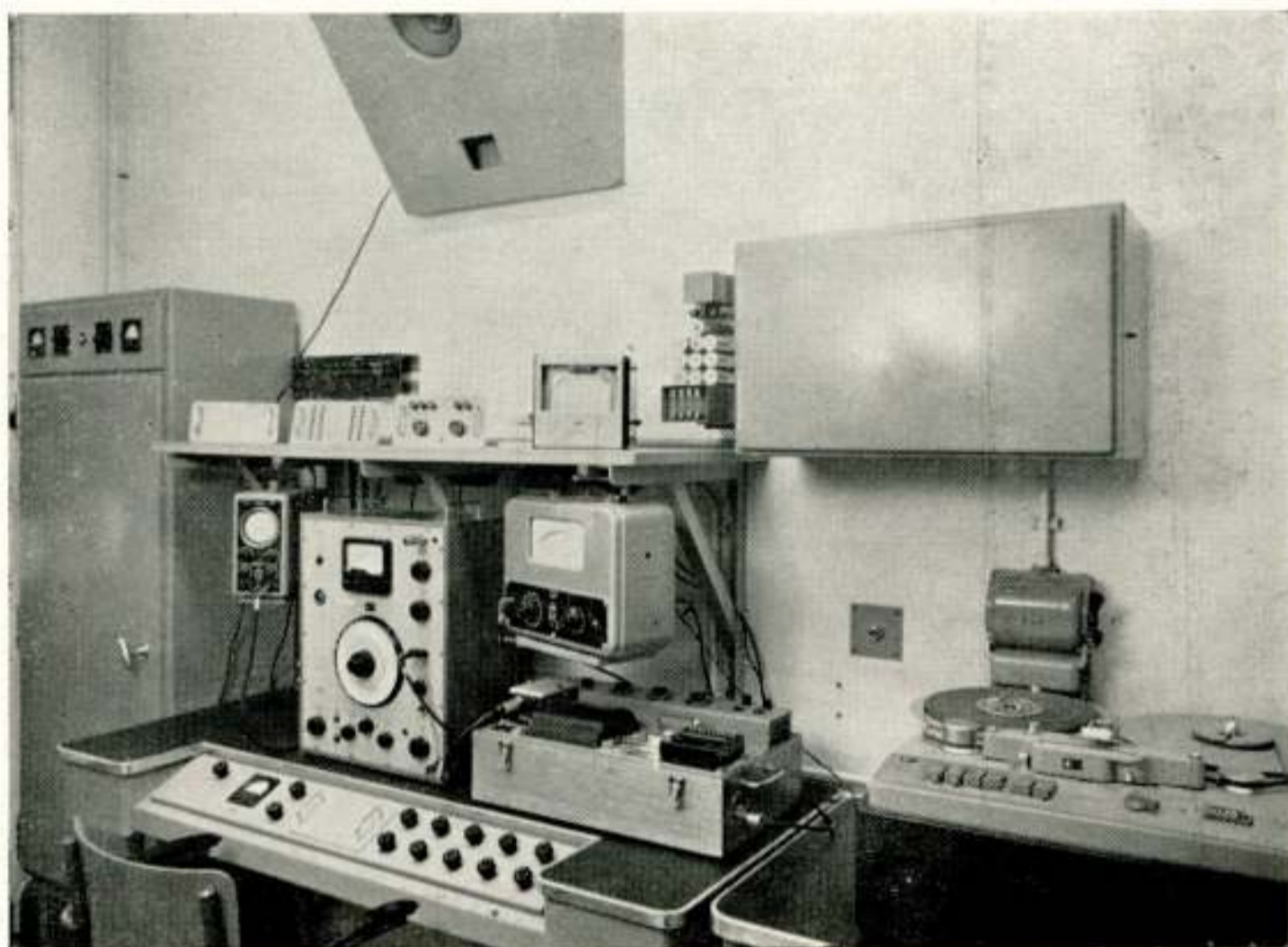


Fig. 2

Meetapparatuur van een galmvrije kamer, waarmede een reciprociteitsmeting kan worden uitgevoerd (N.R.U. Hilversum).

geëxperimenteerd en we kunnen nu wel medelijden hebben met *Sabine*, die slechts met stopwatch en orgel gewapend en met zijn eigen gehoor nagalmtijden bepaalde, maar heden ten dage zijn er nog „akoestici”, die slechts met handenklappen hun meting verrichten.

Het was nà 1920 dat de grootheid *transducer* (transducent) geboren werd, die als „sleutel” zou kunnen worden betiteld, om

toegang te verkrijgen tot het „dorado” van de experimentator: de *Elektronika*.

De akoestische wetenschap is hier in goed gezelschap van welhaast de gehele techniek, van werktuigbouwkunde af tot aan kernfysica. Met een variant op het gezegde van Galileï kan men beweren; „Geef ons een transducer, en wij meten het onmogelijke”.

Tot die onmogelijkheden behoort stellig de „omzetter” van fysische grootheden naar subjectieve gewaarwording. Probeert men op dit gebied iets te doen, dan treft men steeds weer de gecompliceerdheid van de mens, zowel psychologisch als fysiologisch.

Verlaten we thans de historie en vestigen we de aandacht op enkele akoestische grootheden en haar meting. Hierbij wil ik zoveel mogelijk de grondbegrippen omvatten, waarvan de

volgende sprekers in hun voordrachten stellig gebruik zullen maken.



Fig. 3

Galmvrije ruimte. De hoge absorptie aan de wanden is bereikt met behulp van wiggen slakkenwol (Estanisol).

2. Akoestische grootheden en moderne methoden.

2.1. De geluidsdruk p .

Voor lage frequenties is nog steeds een methode in gebruik, bekend onder de naam *Pistonphone*. In fig. 1 is schematisch aangegeven, hoe de meting hiermede plaats vindt. Onder de microscoop zijn de volume-wijzigingen van de drukkamer te bepalen en voorzover de kamer klein is t.o.v. de golflengte is de wisselende druk in de kamer hieruit af te leiden en kan men nauwkeurigheden bereiken van enkele procenten.

Voor hoge frequenties is de methode echter niet bruikbaar en wordt algemeen het *reciprociteitsprincipe* toegepast.

Om ook de veldverstoring in rekening te brengen is het bovendien nodig de akoestische drukken te kunnen vervangen door mechanische krachten op het membraan van de condensatormicrofoon. In fig. 2 is de apparatuur afgebeeld, die behoort bij een galmvrije kamer, die zoals tegenwoordig algemeen toegepast, voorzien is van wiggen absorptiemateriaal (zie fig. 3). De ijk-schakeling komt dan neer op een hoogfrequentschakeling van fig. 4.

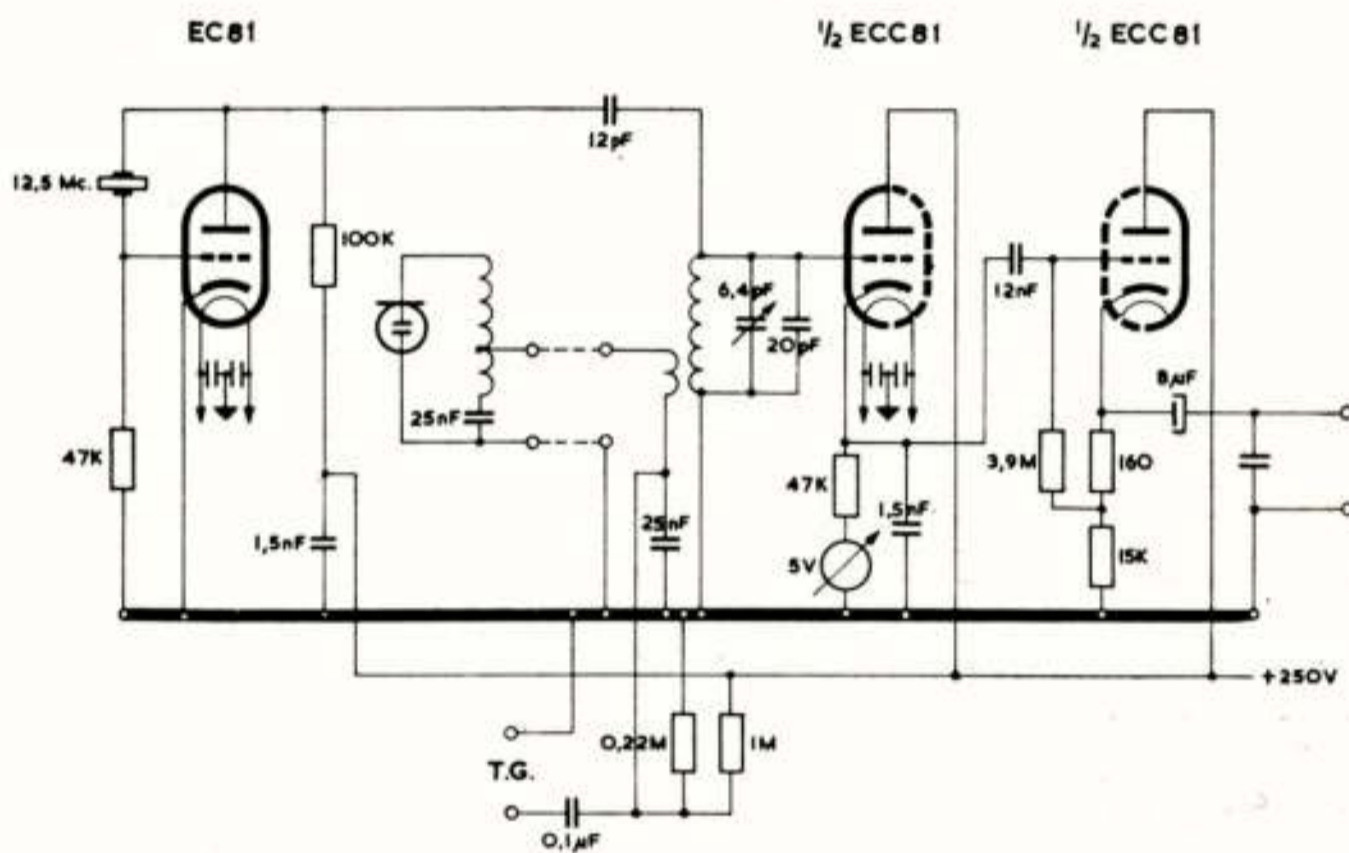


Fig. 4

Hoogfrequent-schakeling van een condensatormicrofoon. Een laagfrequentspanning kan geïntroduceerd worden (klemmen TG), welke het membraan doet bewegen en stelt derhalve een vervanging voor van een geluidsdruk.

Het reciprociteitsprincipe.

Er worden twee metingen uitgevoerd en wel:

- 1) Eén van de microfoons wordt als geluidsbron een stroom i_1 toegevoerd; een andere microfoon geeft tengevolge van het geluidsveld (op een afstand d van de bron) een e.m.k. van e_2 Volt.
- 2) Beide microfoons worden na elkaar aan hetzelfde geluidsveld van een willekeurige luidspreker blootgesteld; zij leveren daarbij e.m.k.'s resp. e_1 en e_2 , afhankelijk van hun gevoeligheden en eventuele veldverstorende invloeden.

Aangezien nu de gevoeligheid g van een reciproke microfoon zowel gegeven kan worden als bron

$$\left(\frac{\text{Volume-snelheid}}{\text{stroom}} = \frac{\dot{V}}{i} \right) \text{ of als microfoon } \left(\frac{\text{e.m.k.}}{\text{geluidsdruk}} = \frac{e}{p} \right)$$

levert de eerste meting op: $\frac{e_2}{i_1} = C \cdot g_1 \cdot g_2$. De constante C kan met grote benadering gesteld worden als $\frac{f_0}{2d}$, waarin d = afstand,

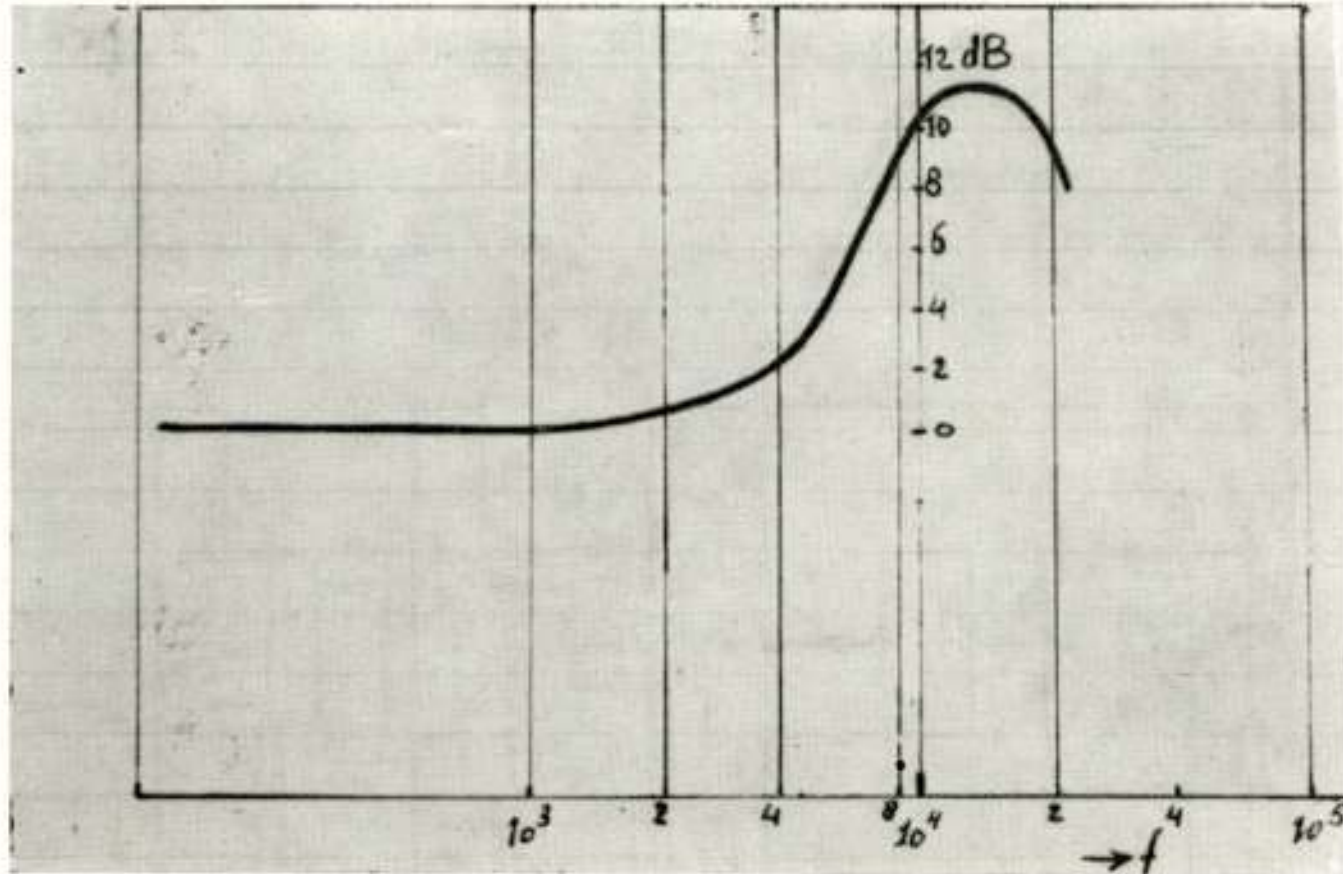


Fig. 5

Drukverhoging van een ijkkapsel, verkregen met behulp van een reciprociteitsijking.

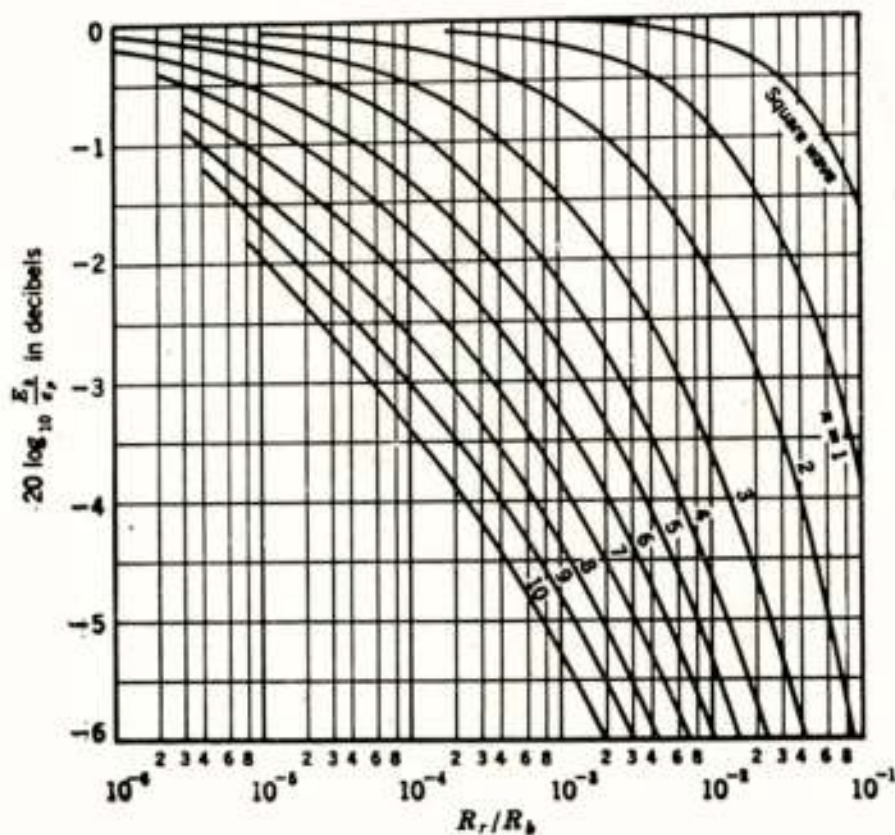


Fig. 6

Verband in decibels tussen de aflezing van een quasi piekmeter en de piek-som van inharmonische sinusgolven.

E_b is de enkelzijdig gelijkgerichte spanning; R_r is de effectieve voorwaartse weerstand; R_b is de effectieve lekweerstand.

f = frequentie en ρ = luchtdichtheid.

De tweede meting levert de verhouding van beide gevoeligheden g_1 en g_2 . Uiteraard vereist de methode een goed experimentator.

Als uitkomst van een dergelijke ijking is in fig. 5 de drukoploop aangegeven van een enkel kapsel en dat merkwaardigerwijze een hogere oploop vertoont dan 6 dB. Een technische moeilijkheid is verder nog het *aanwijs-instrument* van de geluidsdrukmeting. Hiertoe kunnen zowel piek-

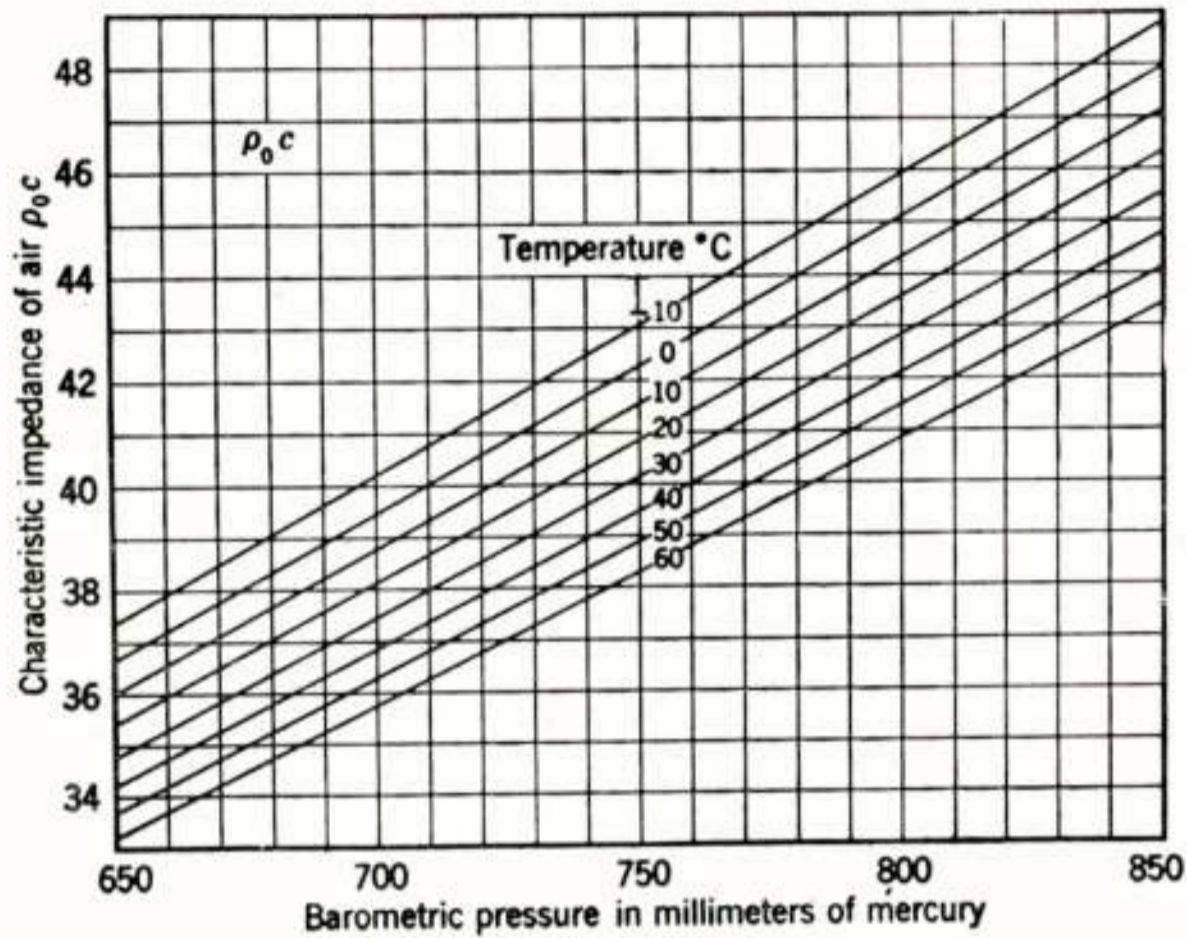


Fig. 7

Variatie van de karakteristieke impedantie $\rho_0 c$ van lucht als functie van druk en temperatuur.

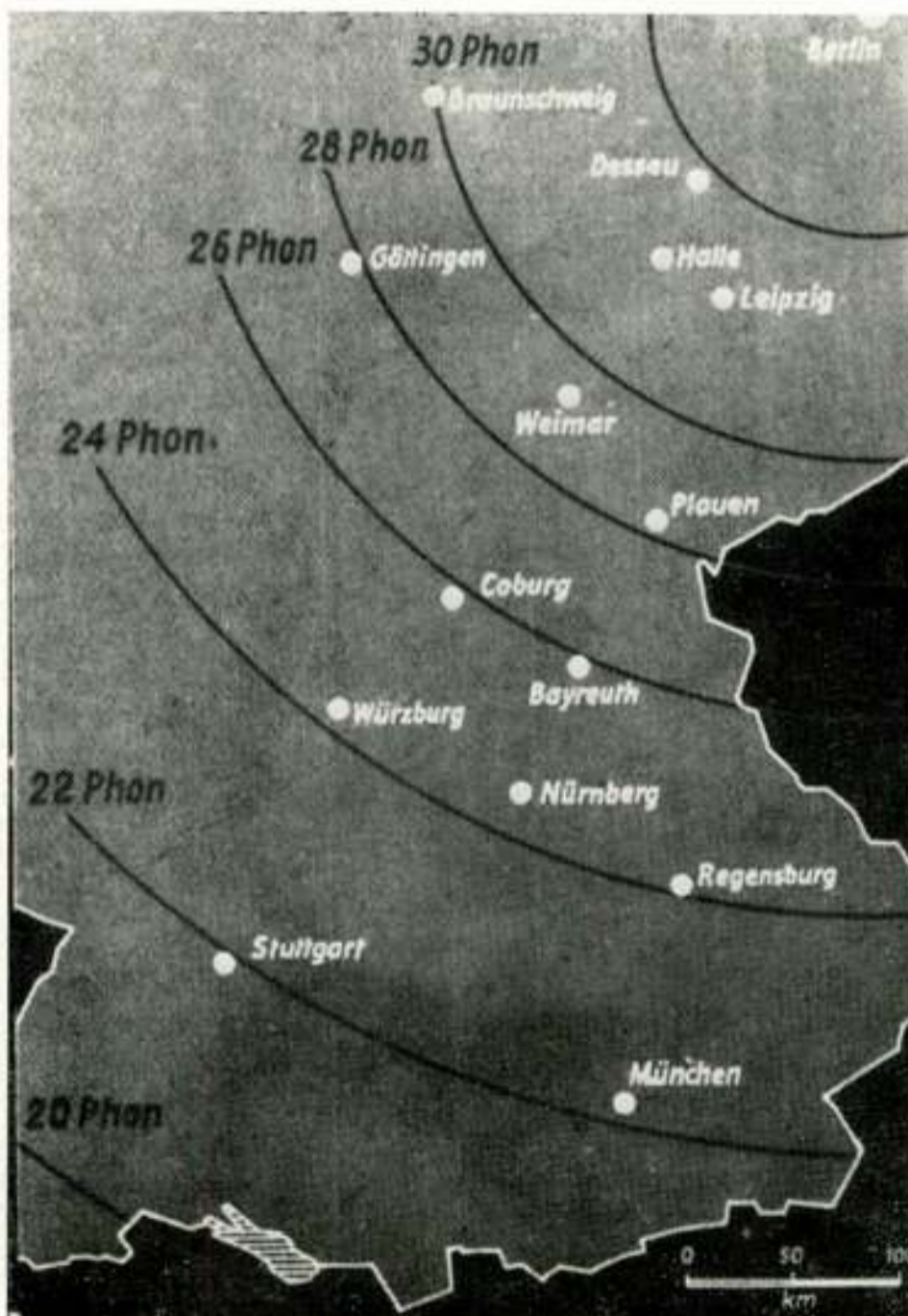


Fig. 8

Theoretische geluidsverdeling in het vrije veld met bolvormige golven en zonder demping.

waarden, gemiddelde waarden en effectieve waarden worden gebruikt. Technisch is de gemiddelde waarde het meest attractief, hoewel grote afwijkingen kunnen ontstaan van de voor sinusvormige spanningen geldende verhoudingen.

In fig. 6 is aangegeven, hoe bij een aantal inharmonische sinusgolven de gemeten quasi piek met de werkelijke piekwaarde gekoppeld is. In de voordracht van de Heer Peekel zal hierover stellig nog e.e.a. gezegd worden.

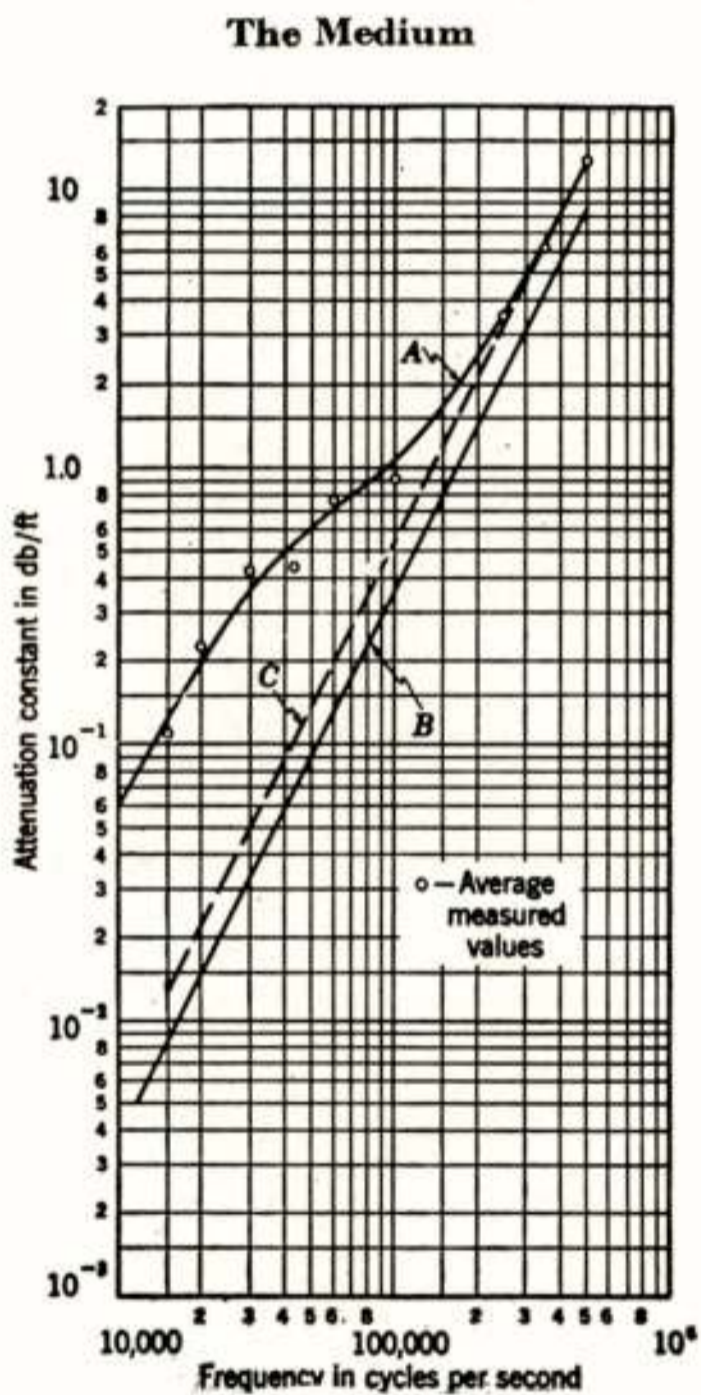
2.2. De deeltjessnelheid

Als tweede akoestische grootte kunnen wij de

deeltjessnelheid noemen, u . De methode met de *Rayleigh-schijf*, waarbij een koppel ontstaat, evenredig met u^2 , werd steeds meer vervangen door de drukdifferentie-microfoon. Voorzover het systeem een snelheid krijgt evenredig met deze deeltjessnelheid, kan een betrouwbare meting resulteren. De moeilijkheid hierbij is de verdeelde massa van een bandmicrofoon, waardoor vooral de fasekarakteristiek niet constant blijft. Men vermijdt dan ook veelal de meting van u en gaat uit van de grootte ρc die voor het vrije veld de specifieke akoestische impedantie is.

Overigens hangt deze nog wel van veel factoren, zoals temperatuur en druk af, zoals uit fig. 7 duidelijk te zien is.

Behalve deze *golfsimpedantie* treedt er ook *extinctie* op, die



Dempingsconstanten voor vrij droge lucht (1 atm., $26\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$, relatieve vochtigheid 37%)

A is gemiddeld meetresultaat; B is de klassieke demping; C is de asymptotische waarde, waartoe kromme A nadert.

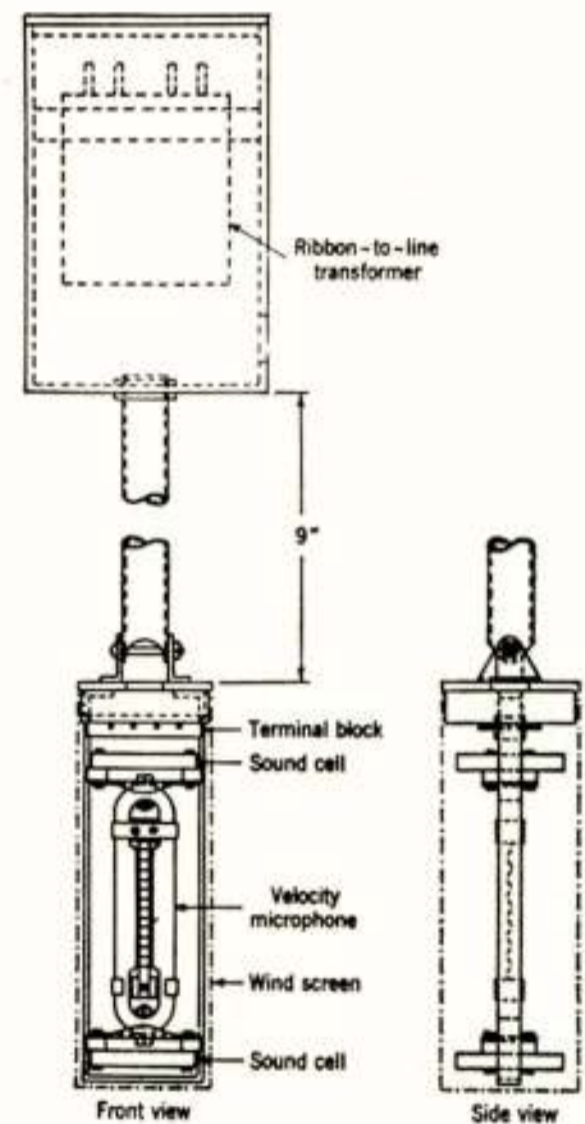


Fig. 10

Combinatie van druk en druk-differentie-microfoon.

Twee drukmicrofoons zijn gemonteerd aan de uiteinden van een bandmicrofoon; de drukmicrofoons geven gemiddeld de druk van het bandsysteem (naar Clapp en Firestone).

vooral bij openluchttheaters en geluidsversterking een belangrijke invloed uitoefenen.

Het is interessant te zien hoe in fig. 8 een geluidsbron van 150 Watt in Berlijn, die op 100 m afstand een geluidsdruk van $10 \mu\text{bar}$ geeft (94 phon) nog aan het Bodenmeer op fluistersterkte te horen zou moeten zijn.

Theoretisch hebben *Stokes* en *Kneser* hieraan gewerkt en metingen verricht, waarbij zowel de warmte-convectie, viscositeit als intermoleculaire verschijnselen werden beschouwd. Fig. 9 laat hiervan voor hoge frequenties de uitkomst zien (bij normale druk; temperatuur $t = 26,5^\circ$, 37% vochtigheid).

Een meer praktische methode is om het drukniveau op 100 m afstand L_1 te noemen, de afstand R in honderden meters uit te drukken en een volgende empirische formule aan te houden:

$$L_2 = L_1 - 20 \log r - D.r.$$

Afhankelijk van de weersomstandigheden komt men voor de grootte D op waarden tussen 3 en 8.

2.3. De intensiteit.

Voor het meten van de *intensiteit* is tot op heden geen bruikbare methode gevonden. Deze intensiteit in een bepaalde richting Θ ,

$$I_\Theta = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot v_\Theta dt$$

vereist derhalve het meten van de geluidsdruk en de deeltjes-

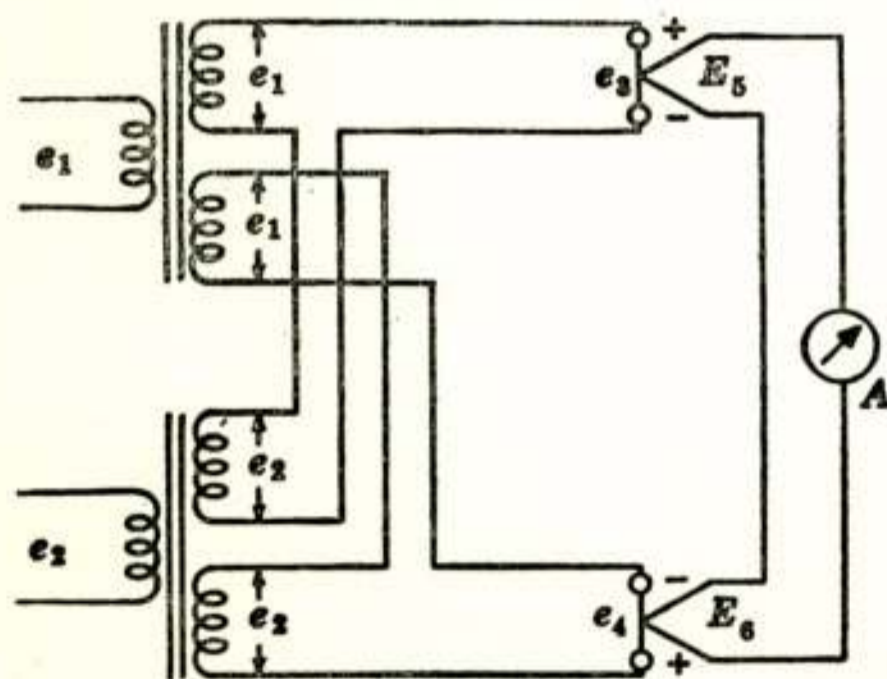


Fig. 11

Schakeling van de intensiteitsmeter van Clapp en Firestone. e_1 stelt de druk voor, e_2 de snelheid.

Additie en subtractie vinden in transformatoren plaats, kwadratering in twee thermokoppels.

snelheid in een bepaalde richting, zowel naar amplitude als fase.

Omstreeks 1941 hebben *Clapp* en *Firestone* een instrument vervaardigd. Fig. 10 geeft aan, hoe met twee drukmicrofoons en één drukdifferentie-microfoon dit kon worden verwezenlijkt.

Het vermenigvuldigen van beide grootheden geschiedde door kwadrateren van de som en verschilspanningen (zie fig. 11).

Een andere methode is die via de *stralingsdruk*, een methode die in de ultrasone techniek veel wordt toegepast, omdat daar de golflengte zo klein is en de energie-dichtheden meestal groot zijn. Men kan aantonen, dat deze stralingsdruk P_{st} gelijk is aan $(1 + \gamma) \times$ de energie-dichtheid D . Hieruit kan de *intensiteit* afgeleid worden, indien de geluidsbron vrijuit straalt.

2.4. De geluidsdichtheid.

Veel moeilijker is het om de *geluidsdichtheid* direct te meten. Immers, deze bestaat zowel uit kinetische energie als potentiële energie en is:

$$D = \iiint_V \left(\frac{1}{2} \rho u^2 + \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho c^2} \right) dx dy dz.$$

Voorzover het sinusvormige grootheden betreft kan men, met behulp van het impedantiebegrip, hiervoor schrijven:

$$D = \iiint \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{\rho c}{z} \right)^2 \right] \frac{p^2}{\rho c^2} dx dy dz.$$

Gemiddeld over de tijd kan men een effectieve geluidsdruk invoeren, waardoor de gemiddelde geluidsdichtheid

$$D_g = \iiint \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{\rho c}{z} \right)^2 \right] \frac{p^2_{eff}}{\rho c^2} dx dy dz.$$

Voor lopende geluidsgolven is de impedantie wel bekend, doch voor meer ingewikkelde velden moet zij apart worden bepaald. Bij de geluidisolatie-metingen tracht men de gemiddelde dichtheid van een ruimte te bepalen door de geluidsdrukken te meten en haar kwadraten te middelen.

2.5. De akoestische impedantie.

Even zo belangrijk als een *impedantie* in de electrotechniek is, is zij dit ook in de akoestiek, doch de moeilijkheden van meten zijn hier veel groter.

Men onderscheidt drie soorten *impedanties*, t.w.: de *specifieke akoestische impedantie* $z = \frac{p}{u}$; de *akoestische impedantie* $z_{ak} = \frac{p}{u.S}$

en de *mechanische impedantie* $z_{mech.} = \frac{p.S}{u}$.

Hierin betekent S het oppervlak, waarop de druk werkt en waarover de snelheid u constant is verondersteld.

Er zijn drie principiële methoden bekend om akoestische impedanties te meten.

1e. Men kan direct aan een monster de geluidsdruk meten en een zekere snelheid mededelen. Deze methode is alleen voor

lage frequenties geschikt, omdat men de snelheid op de plaats van het monster dient te meten zonder geluidsvervormend te werken. Fig. 12 geeft een opstelling van een dergelijke meting, die bedoeld is om materiaalvullingen in spouwmuren

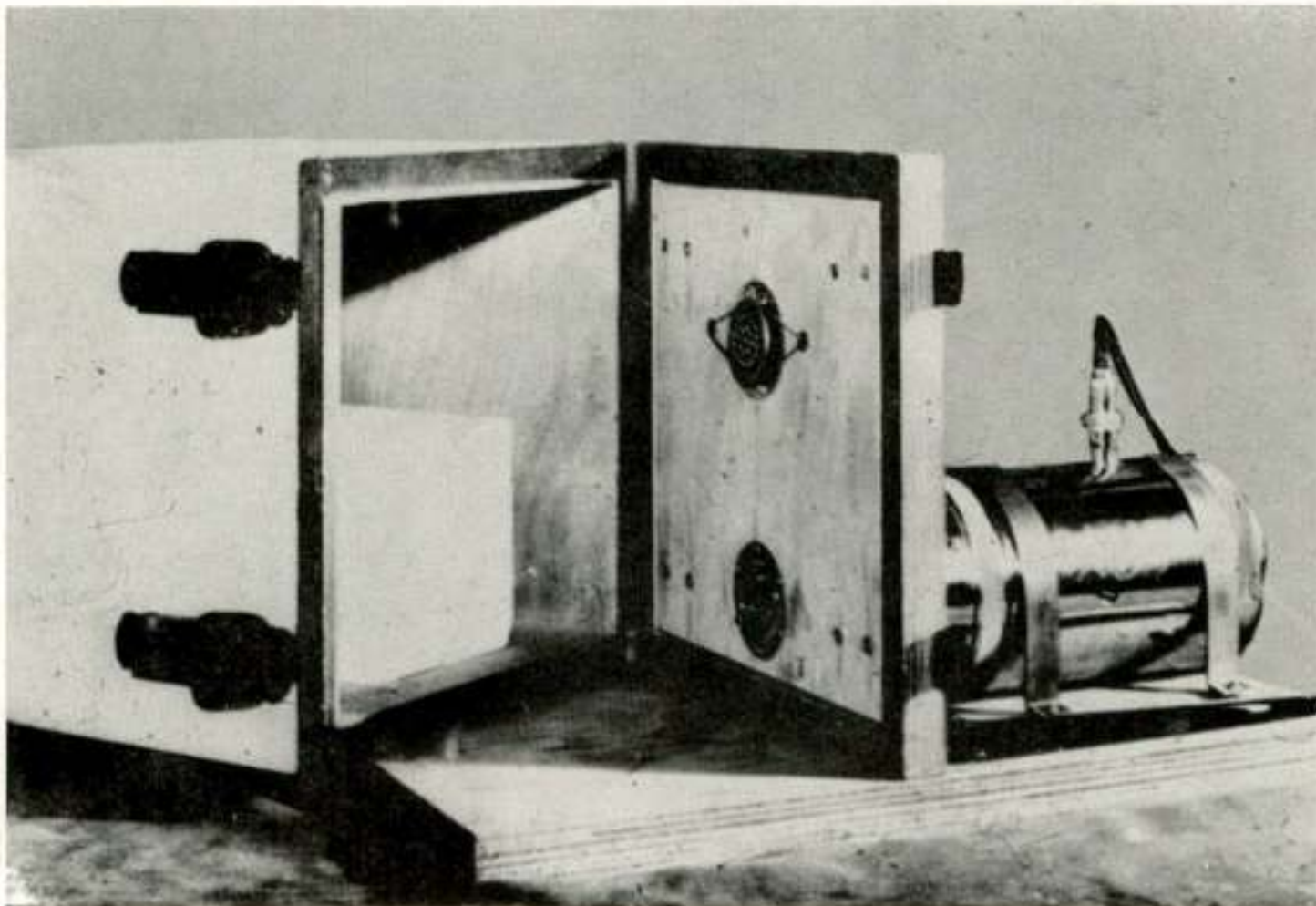


Fig. 12

Impedantiemeter van spouwmuur-vullingen. Snelheid wordt gegeven door een trillingsexciter.

te onderzoeken.

2e. Via een *transmissie-systeem* kan men de impedantie transformeren naar het begin van een akoestische leiding.

Als meest belangrijke meting komt hier naar voren de *interferometer-methode*, ter bepaling van de geluidabsorptie. In fig. 13 is een commercieel verkrijgbaar apparaat afgebeeld, waarmee uit de staande golf-verhouding de absorptie kan worden verkregen en uit de plaats van de extremen bovendien de gehele impedantie.

Het zal de heer van Os zijn, die hiervan bijzonderheden zal behandelen.

3e. Met behulp van akoestische brugschakelingen zijn ook pogingen ondernomen om impedanties te meten. Een groot nadeel hierbij is de onhandelbaarheid van standaard-impedanties en de onnauwkeurigheid van deze.

Onder dezelfde methode zou men kunnen vatten de terugwerking die vanuit het akoestische veld de elektrische impedantie beïnvloedt.

De voordracht van de Heer van Leeuwen zal hiervan een

mooi voorbeeld bevatten, n.l. van een stralende luidspreker.

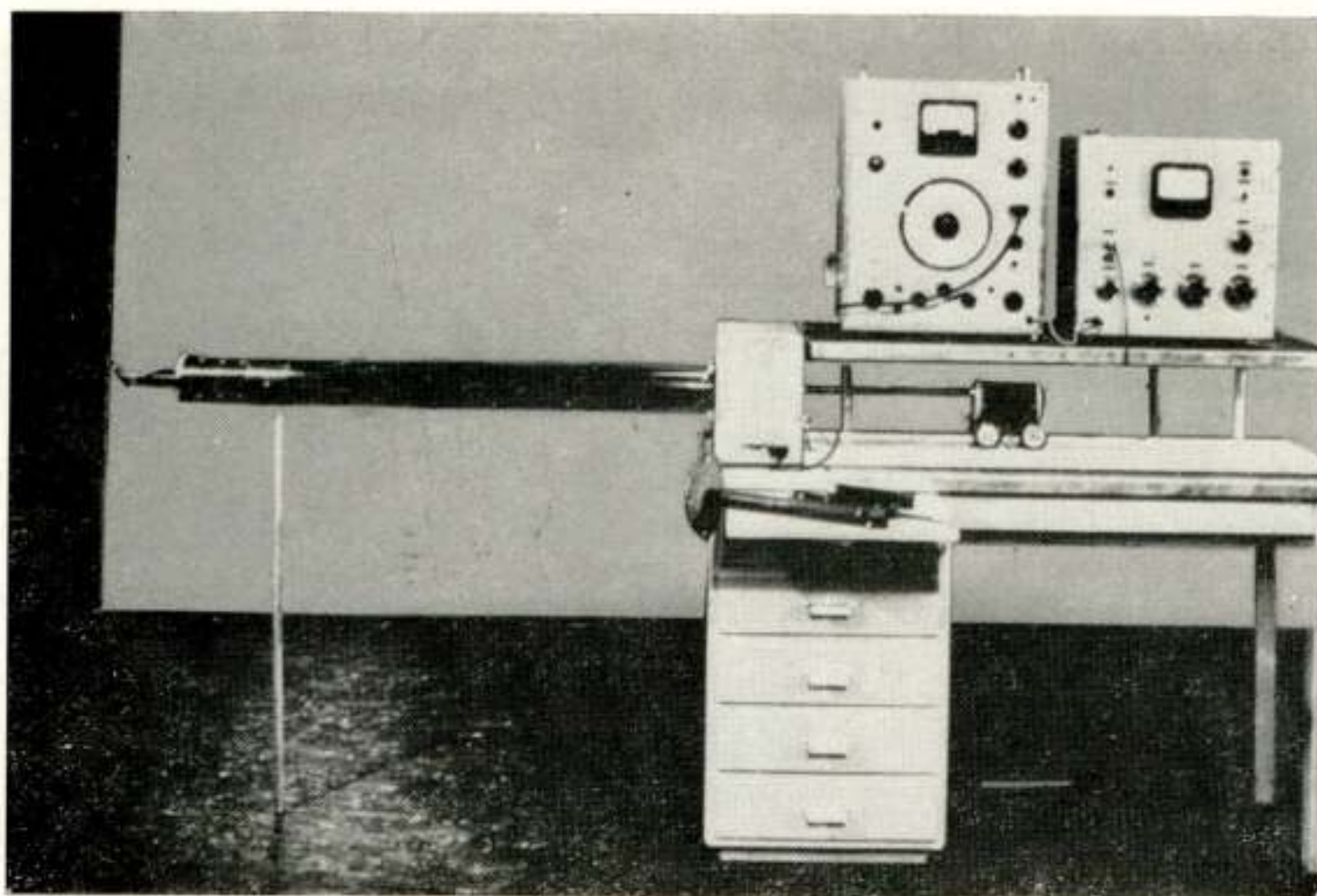


Fig. 13

Akoestische interferometer (fabr. Brüel en Kjær).
De microfoon is verrijdbaar geplaatst buiten de interferometer en door middel van een dunne buis welke door de luidspreker heen gaat, verbonden met de staande golven in de grote buis.

2.6. *Mechanische trillingsgrootheden.*

Hoewel in strikte zin niet akoestisch, behoren toch ook *mechanische* trillingen tot een zeer nauw verwant gebied. De koppeling immers tussen geluid-uitstraling en mechanisch trillende vlakken is hecht en het is een grote uitzondering, wanneer zonder mechanische trillingen geluid wordt voortgebracht.

De in aanmerking komende *transducers* berusten op elektrodynamische-, magnetodynamische- en piezo-elektrische principes. Daarnaast verdienen ook de z.g. rekstrookjes een eervolle vermelding, doch vinden meer hun toepassing in de werktuigbouwkunde.

Van de *piezo-elektrische transducers* komen die met bariumtitaanaat heden sterk naar voren. Een vergelijking met andere piezo-elektrische materialen is in fig. 14 aangegeven.

Voor een hoog afgestemd systeem komt men dan tot een *versnellingsmeter*, waarbij een frequentiebereik tot 28.000 Hz mogelijk is en waarmede versnellingen van 2000 *g* tot aan 0,04 *g* bereikbaar zijn. Het meten van snelheden en uitwijkingen bereikt men door elektrische integratie.

Property	Unit	Material			
		Rochelle salt	ADP	Quartz	Barium Titanate
Piezoelectric effect P	volt/cm dyne	18×10^{-5}	17×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-5}
Density	g/cm ³	1.77	1.78	2.6	5.5
Max. safe temp	degree C	45	125	550	110
Max. safe humidity	%	85	94	100	100
Min. safe humidity	%	30	0	0	0
Dielectric constant ϵ		350	15	4.5	1200
Breaking stress B	dyne/cm ²	1.5×10^8	2×10^8	10×10^8	8×10^8
Effectivity factor $P \times B \times \epsilon$	volt/cm	9.5×10^6	0.5×10^6	0.23×10^6	9.6×10^6

Fig. 14

Een vergelijking van piëzo-elektrische materialen voor toepassing als versnellingstransducer. De effectiviteit wordt bepaald door het product van het piëzo-elektrische effect, breukspanning en diëlektrische constante.

3. Subjectieve grootheden.

Hiermede wilde ik de objectieve meetmethoden besluiten en nog enkele subjectieve methoden en begrippen aanstippen.

In de eerste plaats het begrip *toonhoogte* (pitch), dat weliswaar sterk afhangt van de frequentie, doch eveneens bepaald wordt door *spectrum-samenstelling* en *intensiteit*. In fig. 15 is aangegeven hoe voor zuivere tonen deze pitch afhangt van de fre-

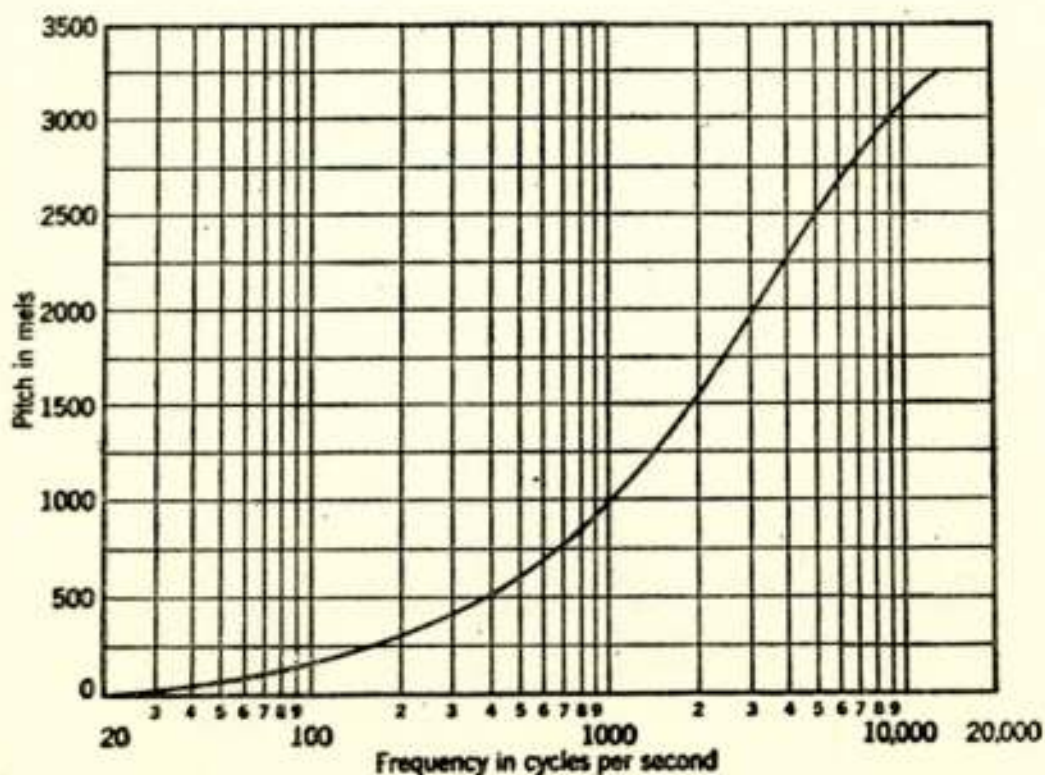


Fig. 15

Verband tussen subjectieve toonhoogte, uitgedrukt in mels en de frequentie voor een luidheidsniveau van 40 phon.

quentie, waarbij de intensiteit van 1 000 Hz gelijk gekozen is aan 40 dB. De toonhoogte-eenheid wordt *Mel* (van melodie) genoemd.

De luidheidsniveau's zijn ook reeds lang vastgesteld op grond van metingen van *Fletcher*.

Nog éénmaal wil ik u deze z.g. *oude phonwaarden* laten zien,

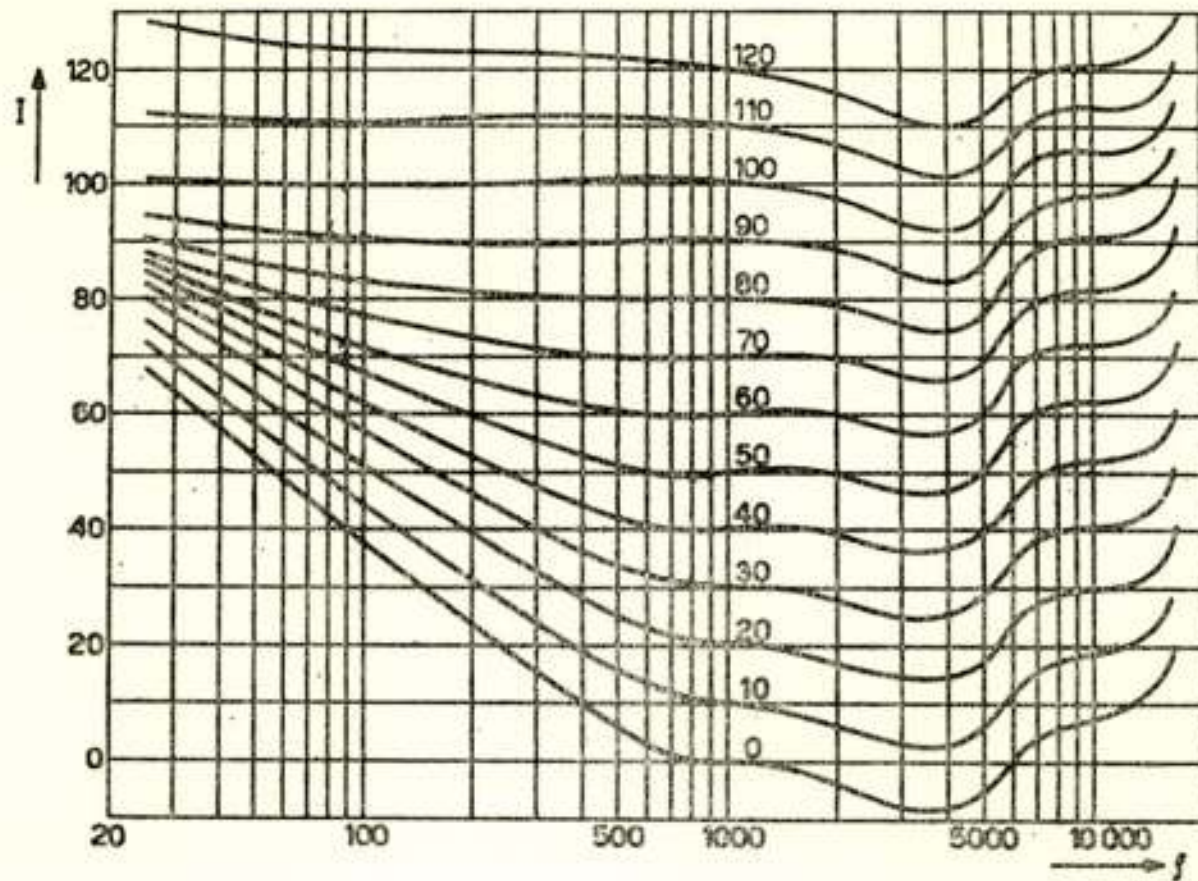


Fig. 16

Lijnen van gelijke luidheidsniveau's volgens Fletcher en Munson (verouderd). (Voor zuivere tonen in het vrije veld).

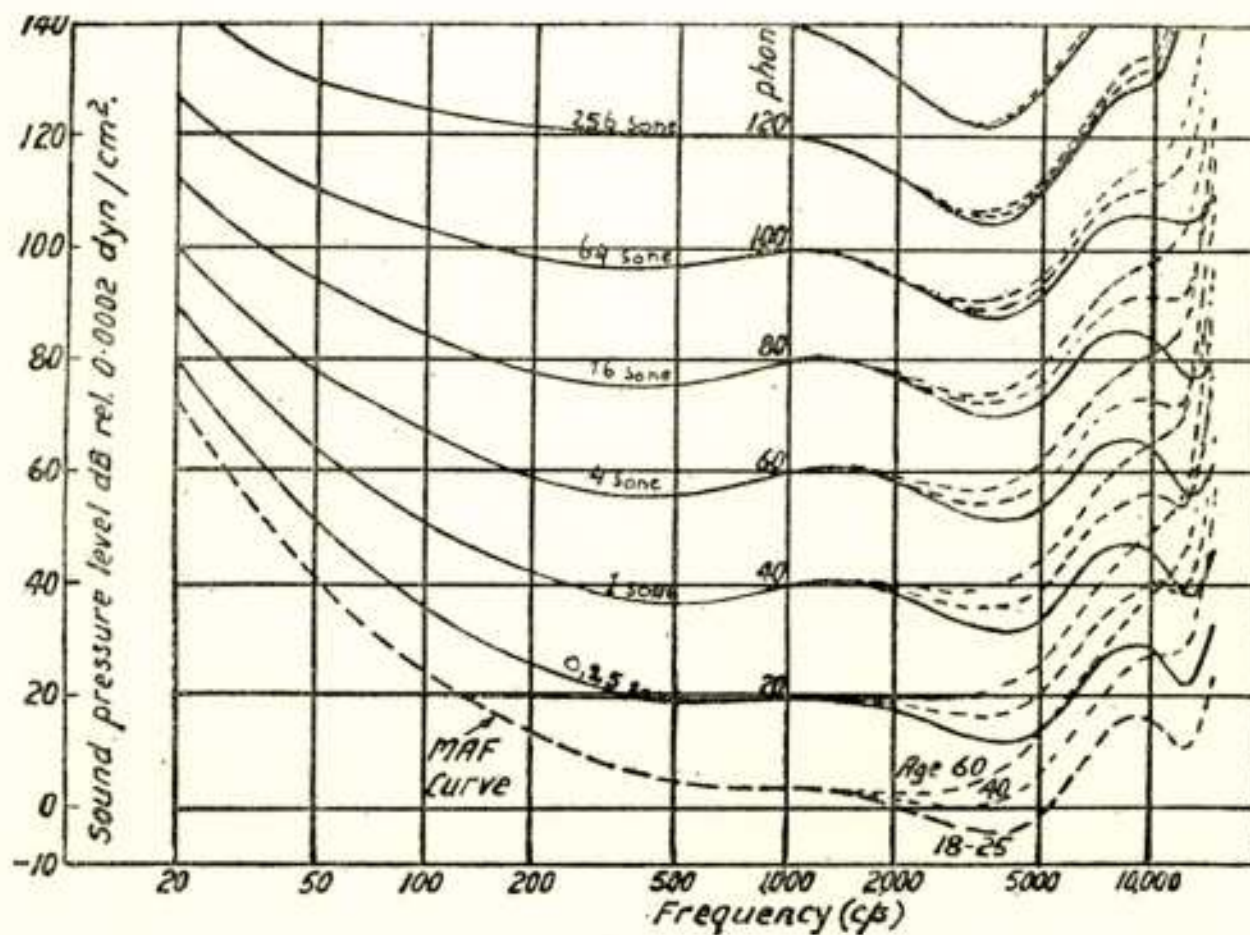


Fig. 17

Lijnen van gelijke luidheidsniveau's volgens Robertson en Dadson (nieuw). (Voor zuivere tonen in het vrije veld).

doch er tevens bij vermelden, dat aanzienlijk nauwkeuriger metingen van *Robertson* en *Dadson* thans ter beschikking staan (fig. 16 en 17).

De subjectieve *luidheid* wordt tegenwoordig algemeen aangegeven in de eenheid *Sone*, die er rekenschap van geeft, dat de luidheid niet correspondeert met het *aantal* phon's van de luidheidsniveau's.

Fig. 18 laat het verband zien dat er bestaat tussen de sones en de phon-waarden. Standaardisatie heeft geleid tot het eenvoudige verband tussen beide grootheden door de betrekking:

$$S = 2^{\frac{P-40}{10}}$$

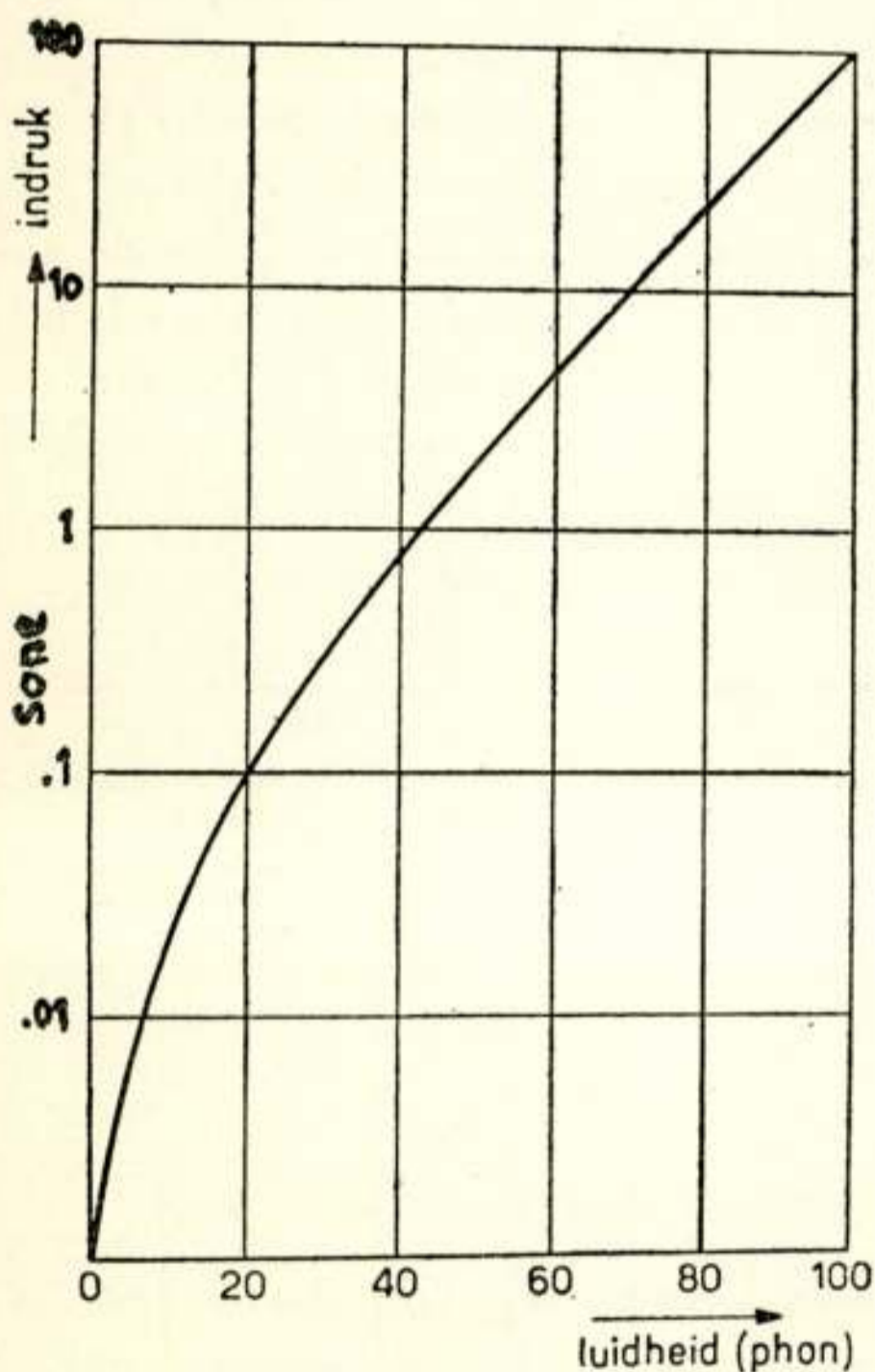


Fig. 18

Verband tussen luidheid (in sone's) en het luidheidsniveau (inphon's) voor zuivere tonen.

gelijke luidheid verkrijgt als spraak. Wellicht is dit één van de redenen waarom veelal z.g. toonregelingen van ontvangers op „laag” worden ingesteld.

De Heer Peekel zal stellig in zijn voordracht dieper ingaan op het probleem, hoe uit een octaaf analyse van een geluid de luidheid kan worden bepaald.

In fig. 19 toon ik u slechts even het verband dat bestaat tussen de luidheid en de intensiteit, indien deze per octaaf wordt gemeten.

Als merkwaardige uitkomst, die mij als omroepmedewerker frappeerde, ziet u in fig. 20 een tabel, die voor spraak, highfidelity-muziek en „smalle” radio-ontvangst de luidheid aangeeft.

Het valt daarbij op, hoe radio-muziek met weinig hoge tonen een

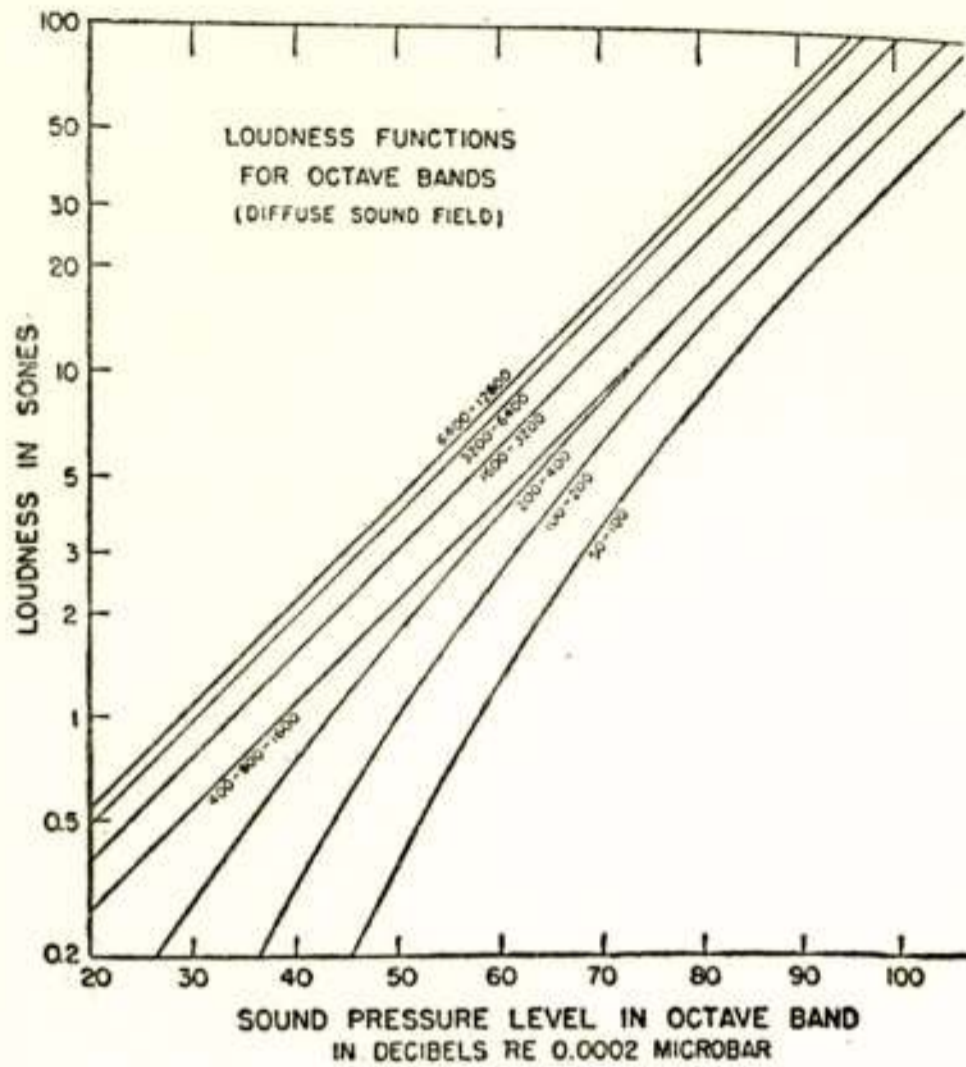


Fig. 19

Verband tussen luidheid en intensiteit (in dB) voor octaafuisbanden.

4. Bouwakoestiek.

Op het gebied van de *geluidisolatie* zijn de meetmethoden eigenlijk triviaal te noemen. In fig. 21 is de meting van de luchtgeluid-isolatie aangegeven, doch voor zo een meting is een geheel proefhuisje noodzakelijk (zie fig. 22), waarbij z.g., *flanking transmission* vermeden wordt. Men brengt zowel het oppervlak S van de proefwand als de absorptie A van de ontvangende ruimte in rekening.

$$R_{in\ dB} = 20 \log \frac{p_1}{p_2} + 10 \log \frac{S}{A}$$

TOTALE INTENSITEIT	40	50	60	70	80	90	100	dB
LUIDHEID <u>MUZIEK</u>	2,1	4,3	8,9	17,3	35	70	140	SONE
LUIDHEIDSNIVEAU	50	61	71	82	92	101	111	PHON
LUIDHEID <u>RADIO</u>	1,3	3,2	6,4	12,4	25	50	100	SONE
LUIDHEIDSNIVEAU	42	57	67	76	87	96	107	PHON
LUIDHEID <u>SPRAAK</u>	1,54	3,4	6,6	13,2	26	53	106	SONE
LUIDHEIDSNIVEAU	46	58	67	77	87	97	108	PHON

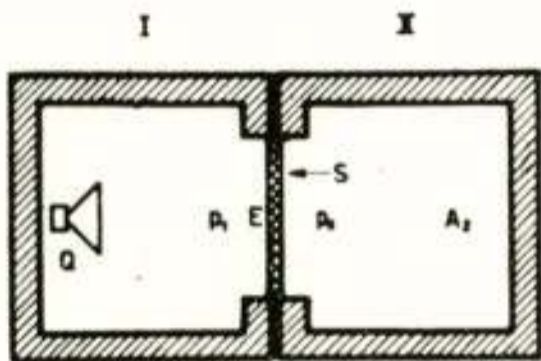
Fig. 20

Tabel van de luidheid voor spraak, „radio-ontvangst” en high-fidelity-muziek voor diverse intensiteiten.

Voor *contactgeluid-isolatie* heeft men gestandaardiseerde hamerwerken, die men op de vloer opstelt en meet men het geluidsniveau in een ontvangende kamer. Fig 23 laat u de opstelling

zien. Ook hier wordt rekening gehouden met de absorptie van de ontvangende ruimte. Het geluidsdrukniveau L_N wordt dan genormeerd als

$$L_N = L - 10 \log \frac{10}{A}$$



Q = geluidsbron, E het te meten object, p_1 de geluidsdruk in de ruimte met het sterke geluid, p_2 de geluidsdruk in de ruimte met weinig geluid, S is de oppervlakte van het te meten object, A_2 de absorptie van de ruimte met weinig geluid.

Fig 21

Principe van een luchtgeluid-isolatiemeting.

$$R = 20 \log \frac{p_2}{p_1} - 10 \log \frac{A_2}{S} \text{ db}$$



Fig. 22

Proefhuis voor geluidsisolatie-metingen (N.R.U. Hilversum)

5. Zaalakoestiek.

In de *zaalakoestiek* zijn vele nieuwe meetmethoden naast de eenvoudige nagalmtijdmeting ontstaan. In dit gebied ziet men een naarstig zoeken naar het subjectieve kenmerk van een *goede* akoestiek, wat eigenlijk bemoeilijkt wordt door de schier onbeperkte meetmogelijkheden. Het eenvoudige nagalmverschijnsel van fig. 24 kan op vele manieren worden gemeten; als geper-

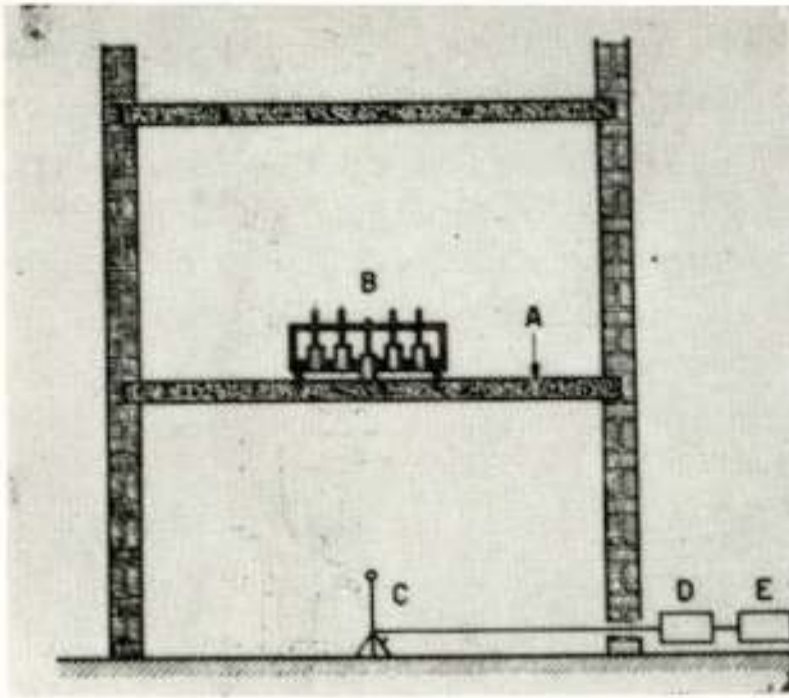


Fig. 23

Principe van de meting van contactgeluid-isolatie met behulp van een gestandaardiseerd hamerwerk.

A is het te onderzoeken materiaal, *B* is het gestandaardiseerde hamerwerk, *C* is de microfoon, *D* de geluidsdruckmeter. *E* is een $\frac{1}{3}$ octaafilter en *F* het registreerapparaat (niet getekend).

afwijkingen van de meetfrequentie geven daarentegen sterke fasevariatiën (zie fig. 27).

Nieuwe grootheden in de zaalakoestiek zijn de z.g. *definitie*

fectioneerd systeem kan gezien worden het in dit Tijdschrift beschreven apparaat (Nr. 1, bl. 13, 1951) waarvan in fig. 25 een resultaat is gegeven. De lengten van de verticale lijnen zijn evenredig met de nagalmtijd zelf. *Somerville* (B.B.C.) heeft een methode ingevoerd, waarbij de nagalmkrommen vlak naast elkaar worden opgetekend, steeds met iets verhoogde frequentie. Een *pulse-glide* figuur is in fig. 26 getoond, waarbij uitgesproken eigenschappen wel naar voren komen, doch het criterium „goed-slecht” verborgen blijft. Een alternatief is nog, om niet de amplitude-afname tijdens de nagalm te bestuderen, doch het fase-verloop in die periode. Eigenfrequenties uit zich dan als iso-fasische lijnen; kleine

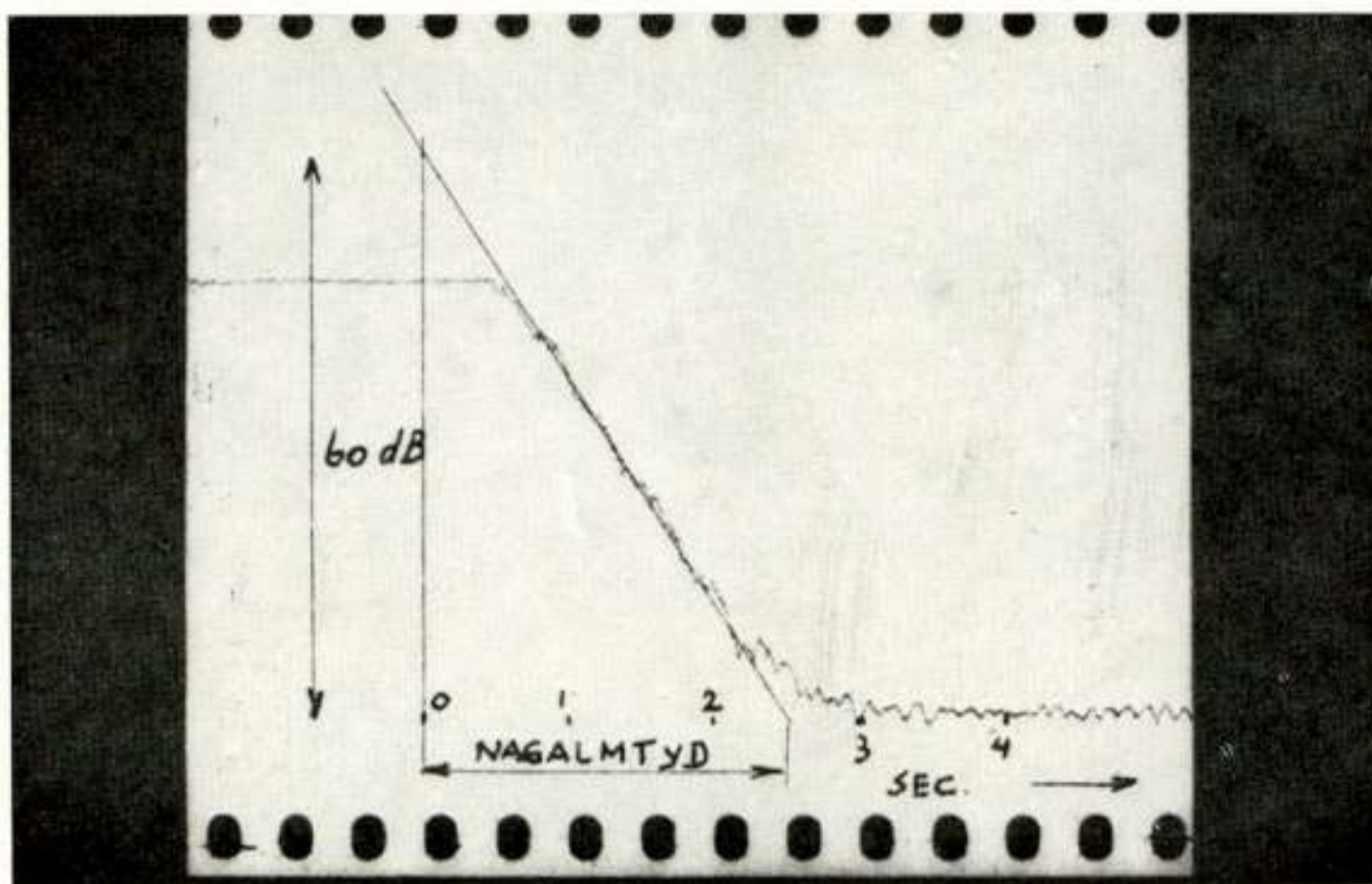


Fig. 24

Een nagalmkromme.

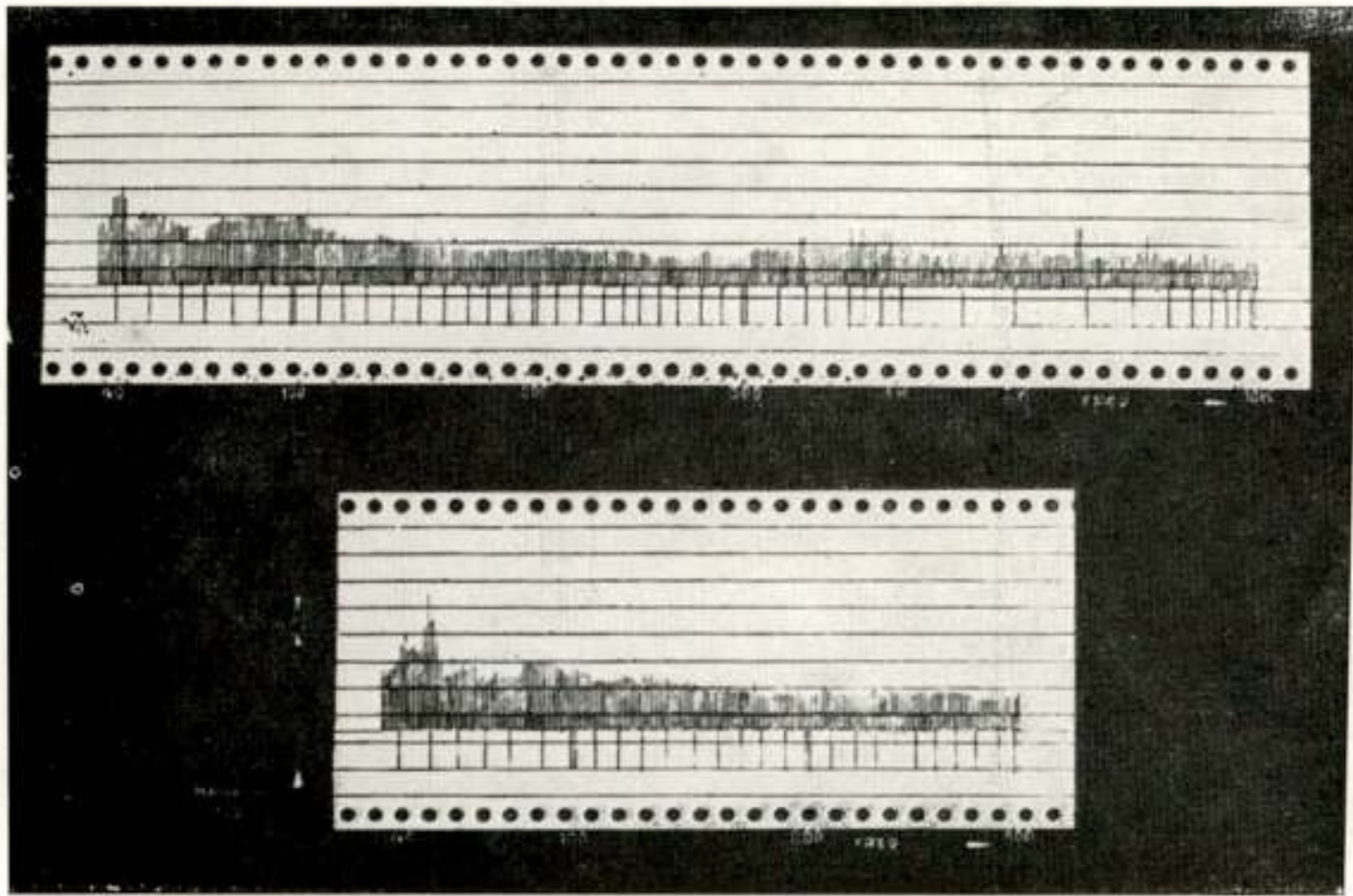


Fig. 25

Registratie van de nagalmtijden als functie van de frequentie, verkregen met een automatische nagalm-apparatuur.

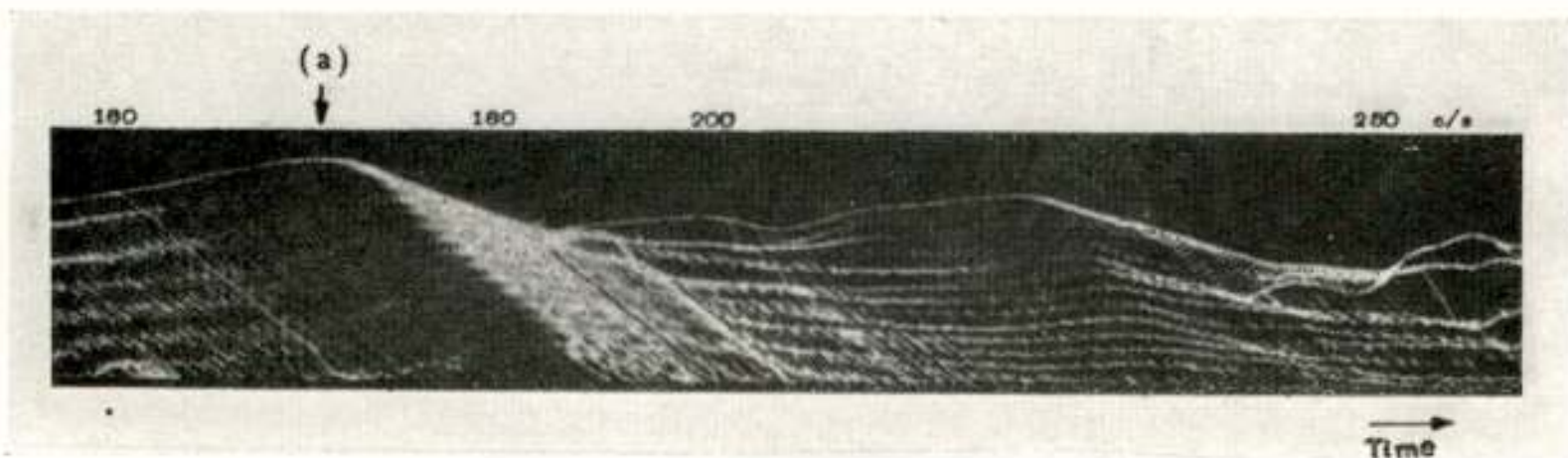


Fig. 26

Overlappend opgetekende nagalmkrommen voor toenemende frequentie (pulse-glide methode).

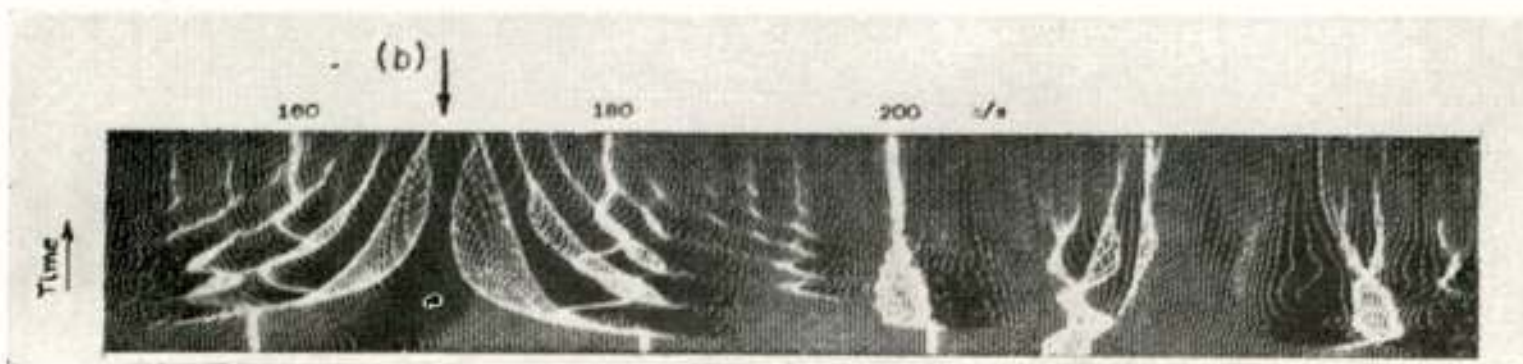


Fig. 27

Fase-afwijkingen tijdens het nagalmverschijnsel bij variërende frequentie.

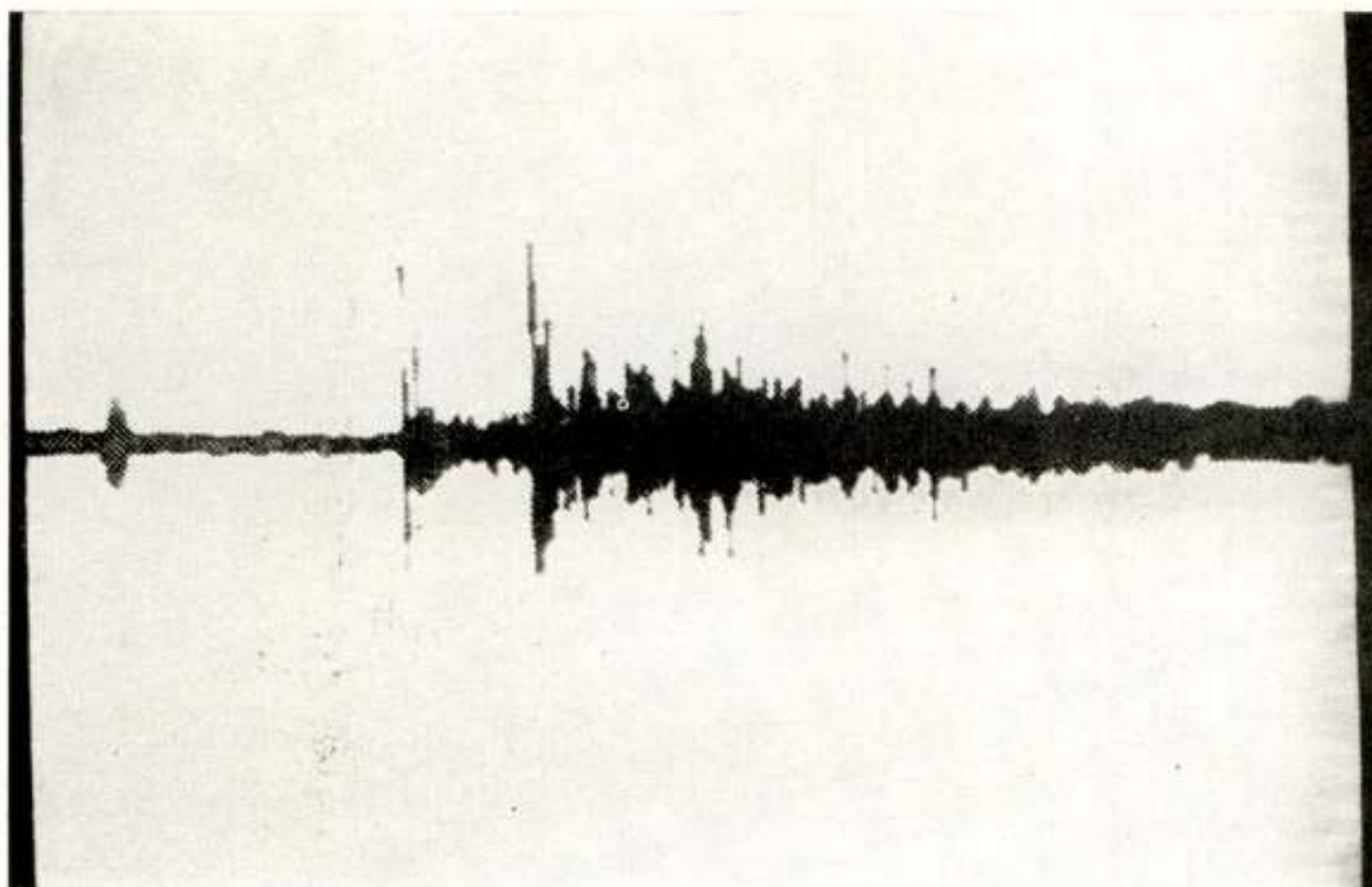


Fig. 28

Oscillogram van een puls in een grote ruimte. Duidelijk zijn de reflecties en looptijden te onderkennen.

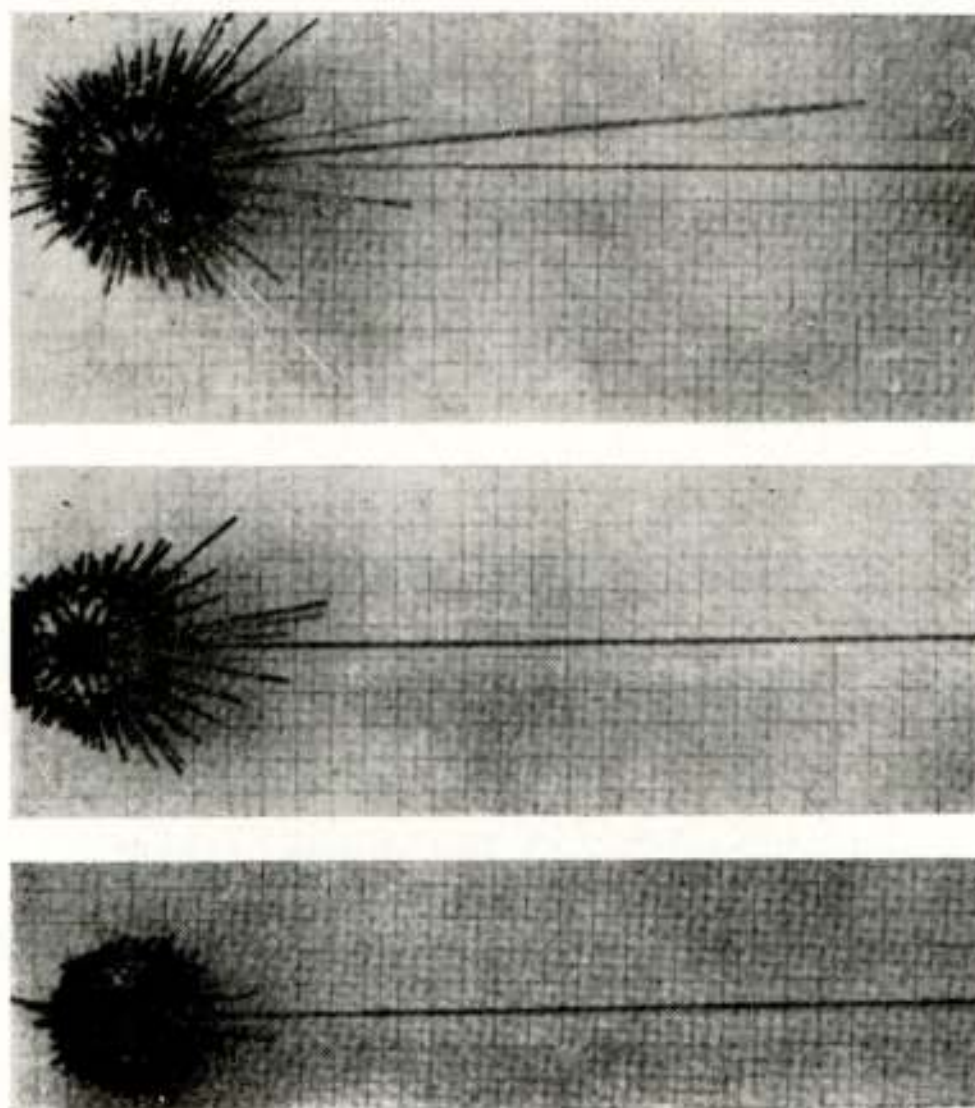


Fig. 29

Richtingsdiffusiteit voorgesteld als egel-figuur.

en de *diffusiteit*. Onder de eerste grootheid verstaat men de energie die in de eerste 50 msec. de toehoorder bereikt tot het totaal, tengevolge van een pulsachtig geluid. Met behulp van

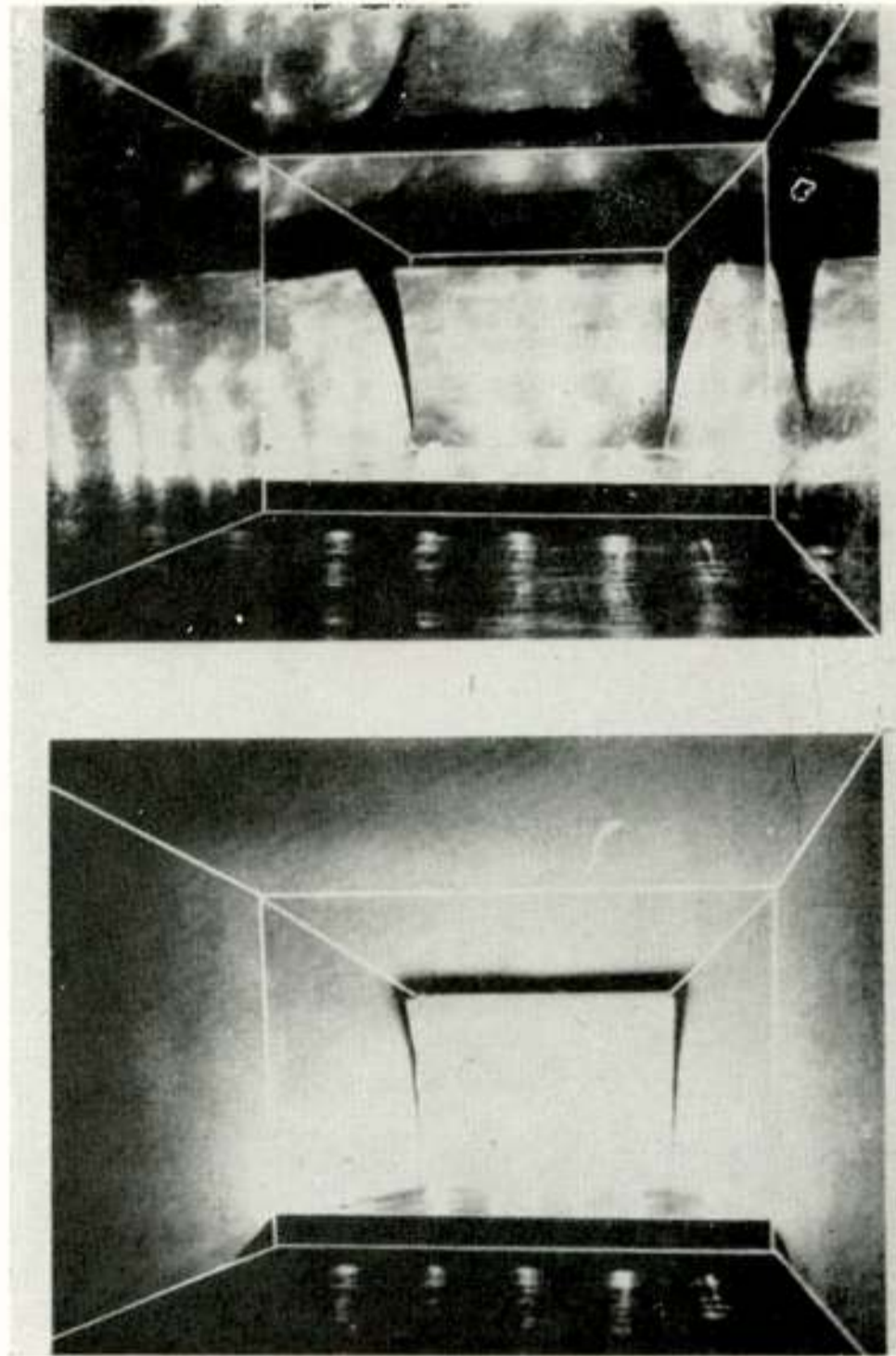


Fig. 30

Optische analogie van de diffusiteit in een zaal (schaalmodel).

een tijdschakelaar en integrator kan de *definitie* worden gemeten.

Voor de vrije ruimte wordt deze grootheid maximaal (100 %) doch dit impliceert niet een „ideale” akoestiek. Fig. 28 geeft een oscillogram van een puls in een grote ruimte.

De *diffusiteit* geeft rekenschap van de richtingsverdeling van de wandreflecties. Met behulp van sterk gerichte microfoons kunnen deze worden afgetast en men kan die verwerken in de vorm van 3-dimensionale meetfiguren, welke wel „egels” worden genoemd. In fig. 29 is een dergelijke verwerking aangegeven, waarbij de meest egale egel een grote diffusiteit betekent. In een sterk galmende ruimte kan men een optimale diffusiteit bereiken, doch ook hier kan deze toestand niet als ideaal worden aangemerkt. Het product van beide laatste grootheden kan wellicht beschouwd worden als een kenmerk voor een goede akoestiek. De reflecterende eigenschappen van wanden kunnen ook met behulp van licht-analogieën kwalitatief worden bepaald. Op kleine schaal beeldt men de zaal af en vervangt de geluids-

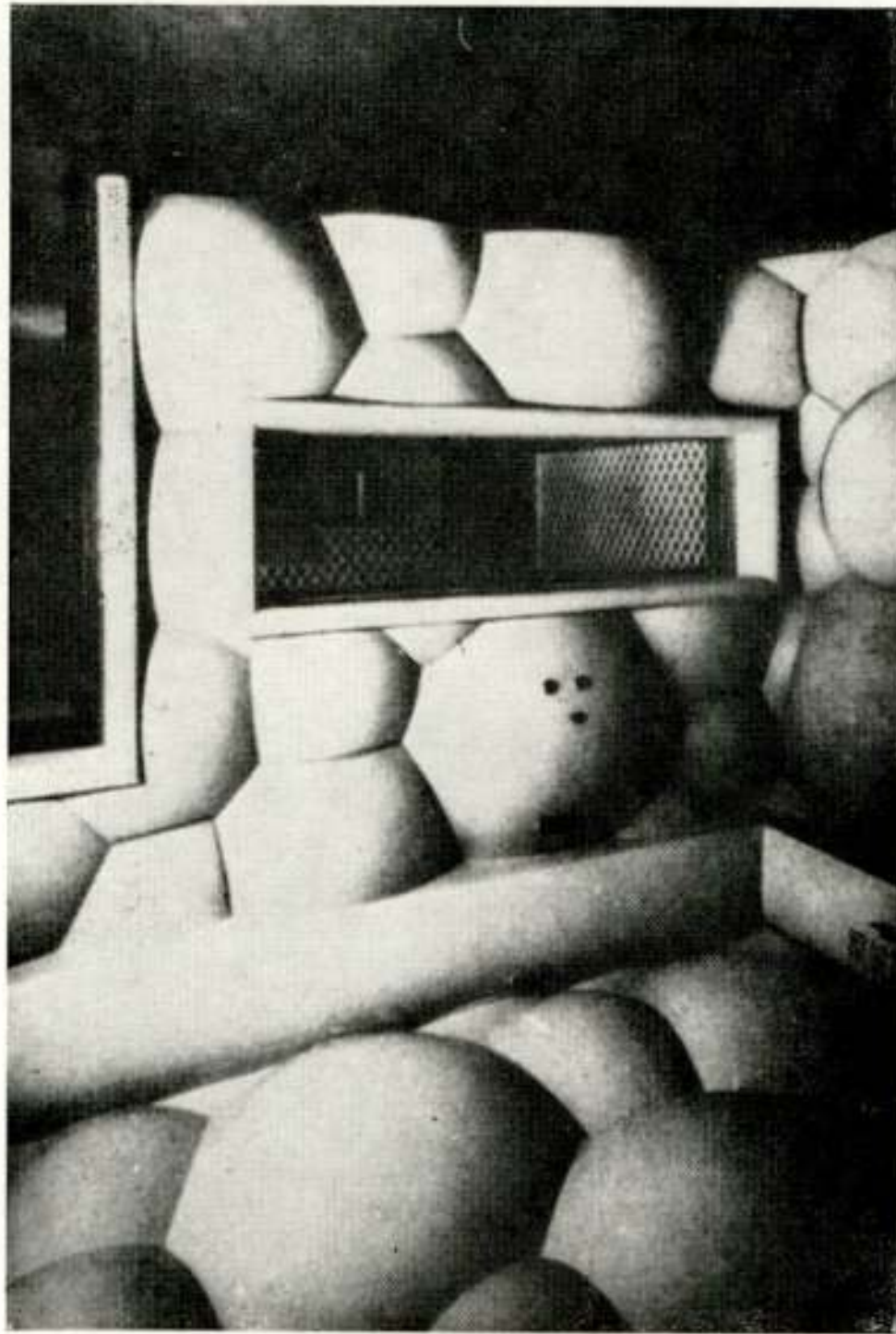


Fig. 31

Architectonische uitwerking van diffuse wanden. (omroepstudio R.T.F. Parijs.)

bron door een sterke lichtbron. Hinderlijke spiegelingen en focusseringen kan men door diffuse oppervlakken aan het model elimineren (zie fig. 30). In de praktijk zullen niet alle diffuse oppervlakken even esthetisch werken. Zo kan m.i. de oplossing van een Parijse studio (fig. 31) niet als fraai worden aangemerkt.

6. Bijzondere meetmethoden.

Een ander belangrijk meetobject is het *overgangsverschijnsel* (transient) van elektro-akoestische circuits. Immers de gebruikelijke meting met behulp van sinusvormige signalen beantwoordt in genen dele aan de praktijk, waar het steeds schakelverschijnselen betreft.

Twee wegen kan men hierbij thans volgen, n.l. volgens het *iteratie-proces* of wel het *herhalings-procédé*. Met behulp van lussen van magnetofoonband kan men door een meetobject een signaal van willekeurige vorm sturen en het aan de uitgang

verkregen wederom na zekere tijd toevoeren aan hetzelfde meetobject. Men verkrijgt daardoor een „vermenigvuldiging” van de eigenschappen van het meetobject.

Vooralsubjectief heeft deze meetmethode veel waarde, omdat zij als het ware een vergrootglas biedt voor de circuitfouten.

Het *herhalingsprincipe* werkt eveneens met een magnetische lus, maar biedt de experimentator ruimschoots gelegenheid de

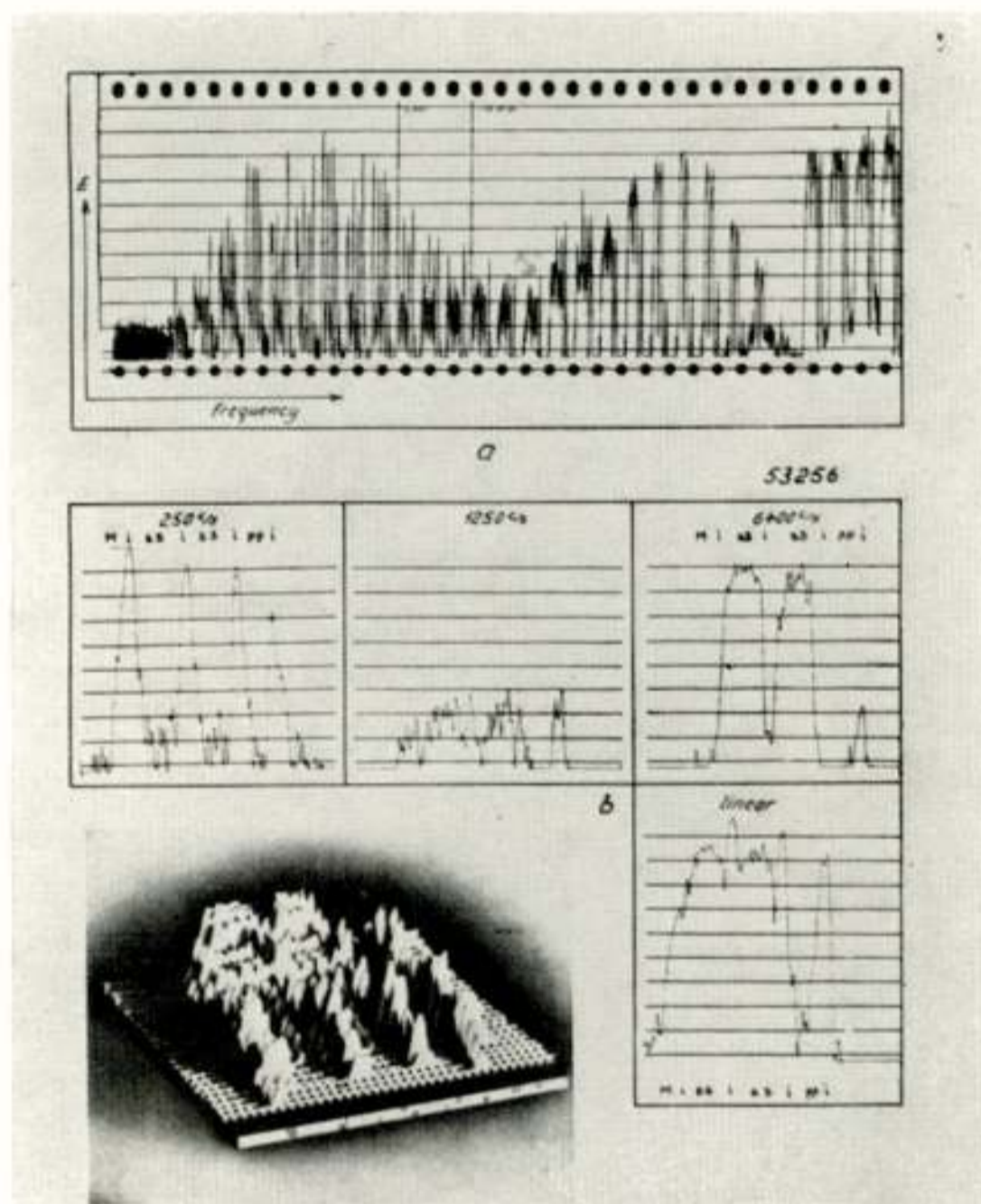


Fig. 32

- a) Spanningsverloop met de tijd voor achtereenvolgens oplopende tertsfilters.
- b) Vergroting van het verloop voor bepaalde filters; laatste figuur voor gehele spectrum.

op de lus opgetekende signalen nauwkeurig te analyseren. Iedere volgende omloop kunnen andere filters worden tussengeschakeld en een spectrum-analyse ook van kortstondige signalen worden uitgevoerd. Een voorbeeld hiervan is in fig. 32 gegeven, waar als functie van de tijd en de frequentie het gesproken woord „Mississippi” is geanalyseerd.

Een speciale uitvoering van een dergelijke lus-magnetofon vindt men als pauseteken-machine in fig. 33. De weergeefkop

is bij deze machine niet in contact met de band, doch op zo kleine afstand, dat aftasting kan plaatsvinden.

Een variant op de laatste methode kan het apparaat ont-



Fig. 33

Lusmagnetofoon, in gebruik als pauzeteken-machine (fabr. E.M.T.).



Fig. 34

Het analyseren van magnetofoonband-signalen met vertraagde bandsnelheid. Roterende koppen zorgen voor een gelijkblijvende relatieve snelheid tussen kop en band.

wikkeld door *Springer* genoemd worden (fig. 34). Hierbij roteren magnetofoon-weergeefkoppen langs een magnetofoonband en de verkregen spanningen zijn bepaald door de *relatieve* snelheid van de kop t.o.v. de band.

Het is hiermede dus mogelijk om ook bij *stilstaande* band plaatselijke aftastingen te doen plaatsvinden. Het praktische toepassingsgebied ligt bij de nasynchronisatie van film en radio-programma's waarbij de programma-tijdsduur verkort, respectievelijk verlengd kan worden zonder noemenswaardige wijziging van de kwaliteit en toonhoogte. De overgangsverschijnselen zullen overigens het onderwerp van de voordracht van Drs. Wansdronk zijn.

Na de beschouwingen van de hedendaagse meettechniek in de akoestiek, wilde ik tenslotte ook nog iets vermelden betreffende de toekomstige ontwikkelingen; vooral op het gebied van de zaalakoestiek kan men verwachten dat nieuwe meetmethoden nog zullen worden ingevoerd.

Zo is men in staat zaalmodelproeven te nemen met behulp van magnetische registraties en de schaal zo klein te kiezen als elektro-akoestisch mogelijk is. Met behulp van stereo-opnamen kan men theoretisch de nog te bouwen zaal reeds laten horen aan de geïnteresseerden.

Het zal nog een lange weg zijn voordat in deze meetmethode de akoestische eigenschappen van de ruimte de bepalende kwaliteit geven.

Een aanverwante methode is aangegeven door *Lauridsen*, die met behulp van stereo-opnamen in *bestaande* zalen de richtingsverdeling van reflecties kon nagaan. Uiteraard is het mogelijk om een gemaakte stereo-opname ad libitum te vertragen, omdat de verhouding van de beide stereo-signalen (die de richting bepalen) gehandhaafd blijft.

Deze methode is technisch niet alleen hoopvol te noemen, doch naar mijn gevoel meer overeenkomend met de natuurlijke omstandigheden van luisteren; dit in vergelijking met de methode van *Meyer* voor de bepaling van de richtingsdiffusiteit.

Met deze blik op de toekomst van de akoestische meetmethoden, de opsomming van enkele actuele specifieke grootheden en een kleine historische terugblik, meen ik een overzicht van het huidige onderwerp te hebben gegeven en de sprekers bij u te hebben ingeleid.

Apparaat voor het zichtbaar maken van Complexe Frequentie-karakteristieken

door F. J. v. Leeuwen *)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap en de
Geluidstichting op 22 mei 1958.

Summary

An apparatus has been developed to measure complex frequency responses. The response is made visible as a curve in the complex plane on the screen of a cathode-ray tube.

1. Inleiding.

Frequentiekarakteristieken geven nuttige informatie omtrent het gedrag van talloze apparaten, zoals luidsprekers, microfoons, versterkers, filters, enz. Al deze apparaten zijn in wezen vierpolen. Bij het opmeten van een frequentiekarakteristiek wordt de ingangsgrootheid (elektrische spanning, stroom, geluidsdruk) constant gehouden en de uitgangsgrootheid gemeten bij veranderlijke frequentie. Daar we veronderstellen, dat de vierpool lineair werkt, komt dit neer op het bepalen van de grootte van het quotiënt uitgangsgrootheid: ingangsgrootheid als functie van de frequentie.

We kunnen nu de informatie nog uitbreiden door behalve de grootte ook de hoek van dit quotiënt te meten. We vormen dus het complexe quotiënt. Afgebeeld in het complexe vlak geeft dit een punt. Bij variëren van de frequentie doorloopt dit punt in het algemeen een gebogen lijn, de complexe frequentiekarakteristiek.

Vooraf bij onderzoekingswerk geeft de complexe frequentiekarakteristiek een onontbeerlijke informatie.

In het volgende wordt een apparaat beschreven, waarvan het principe is aangegeven in Siemens Zeitschrift¹⁾. Het werd verder ontwikkeld in het laboratorium van de N.R.U. en maakt com-

*) Laboratorium Nederlandse Radio Unie, Hilversum.

¹⁾ Ein Ortskurvenschreiber für das Tonfrequenzgebiet; Siemens Zeitschrift Dec. 1955, blz. 563.

plexe frequentiekaracteristieken zichtbaar op het scherm van een kathodestraalbuis. Het frequentiebereik is van 10 Hz tot 22 kHz.

2. Blokschema.

Het apparaat bestaat in hoofdzaak uit een toongenerator, welke twee wisselspanningen afgeeft, die 90° in fase verschoven zijn, twee identieke fase-detectors en een normale gelijkspanningsoscillograaf.

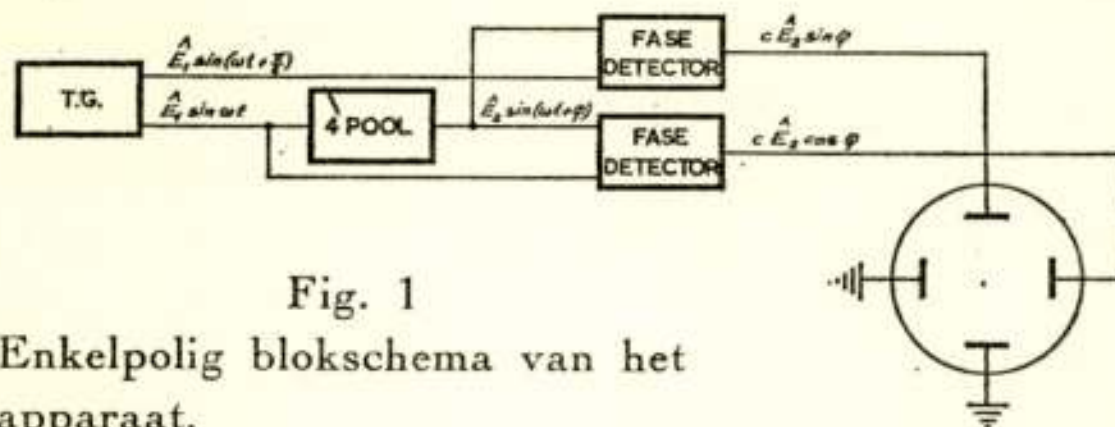


Fig. 1

Enkelpolig blokschema van het apparaat.

In fig. 1 is de schakeling afgebeeld. Ter vereenvoudiging is het schema enkelpolig getekend. Aan de te onderzoeken vierpool wordt de uit de toongenerator afkomstige spanning $\hat{E}_1 \sin \omega t$ toegediend. Uit de vierpool komt $\hat{E}_2 \sin (\omega t + \varphi)$. Beide spanningen worden nu toegevoerd aan een fase-detector, die een gelijkspanning afgeeft, welke evenredig is met de grootte van de uitgangsspanning van de vierpool en met de cosinus van het fase-verschil tussen de uitgangs- en ingangsspanning, dus $c \hat{E}_2 \cos \varphi$. Deze gelijkspanning is gelegd aan het verticale platenpaar van de oscillograaf.

De uit de toongenerator afkomstige 90° voorijlende spanning is nu met de uitgangsspanning van de vierpool gelegd aan een tweede identieke fase-detector. Deze geeft een gelijkspanning $c \hat{E}_2 \sin \varphi$ welke aan het horizontale platenpaar van de oscillograaf gelegd is.

Aldus ontstaat op het scherm van de oscillograaf een punt, waarvan de afstand tot de oorsprong evenredig is met de grootte van de uitgangsspanning van de vierpool en waarvan de verbindinglijn met de oorsprong een hoek met de positieve reële as maakt, welke gelijk is aan het fase-verschil φ tussen uit- en ingangsspanning. Daar de grootte van de ingangsspanning constant is, is het punt de afbeelding van het quotiënt uitgangsspanning: ingangsspanning. De schaalwaarde van de afbeelding wordt gevonden door de vierpool te vervangen door een doorverbinding, waardoor het punt $+ 1$ wordt afgebeeld.

Het is ook mogelijk om impedantie-karakteristieken van tweepolen zichtbaar te maken. Deze meting wordt teruggebracht tot die van een vierpool volgens fig. 2. In serie met de tweepool wordt een weerstand R geschakeld,

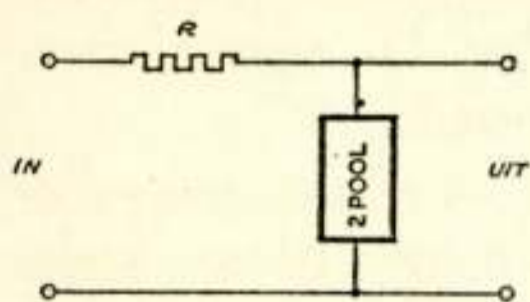


Fig. 2

Omzetting van een impedantiemeting in een vierpoolmeting.

pool wordt een weerstand R geschakeld, welke groot is ten opzichte van de impedantie van de tweepool. Er ontstaat dan een constante stroom door de tweepool. De spanning aan de tweepool is evenredig met de impedantie. Eigenlijk verkrijgt men de impedantie-karakteristiek van de parallelschakeling van de tweepool en R . De bepaling van de schaalwaarde geschiedt door de tweepool te vervangen door een bekende weerstand.

3. Enige details.

3.1 De toongenerator.

De keuze is gevallen op het zwevingsprincipe. Het gehele audiofrequente gebied wordt door één bereik bestreken.

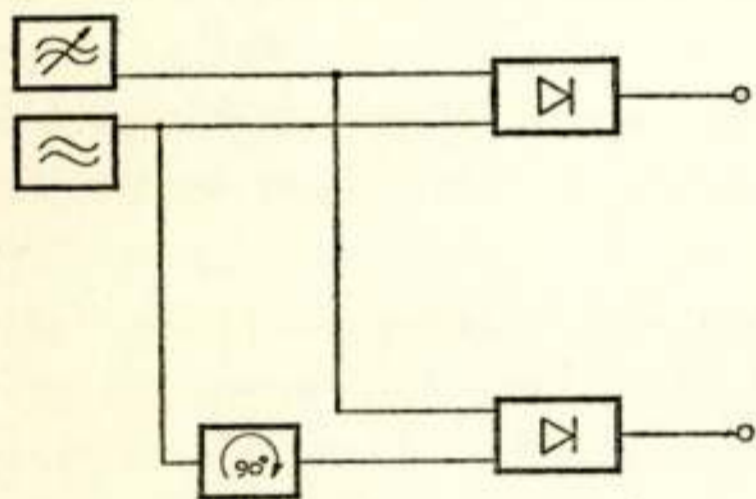


Fig. 3

Principe van de wijze waarop de toongenerator twee wisselspanningen produceert, welke 90° in fase verschoven zijn.

Twee l.f. spanningen, die 90° in fase verschoven zijn, worden als volgt verkregen (fig. 3). De signalen uit twee h.f. oscillatoren, een met variabele frequentie en een vaste worden gesommeerd en daarna gedetecteerd, waardoor een l.f. wisselspanning ontstaat. Van de vaste h.f. oscillator wordt nu een 90° in fase verschoven h.f. wisselspanning afgeleid. Deze wordt weer opgeteld bij de variabele oscil-

latorspanning en het totaal gedetecteerd. Aldus ontstaat een l.f. wisselspanning, welke 90° in fase verschoven is met de eerste.

Daar de faseverschuiving na de vaste oscillator plaatsvindt is de faseverschuiving tussen de twee l.f. spanningen onafhankelijk van de toonfrequentie.

Bijzondere aandacht is geschonken aan een beperking van het meesleepeffect der beide oscillatoren, waardoor tot zeer lage frequenties (2 Hz) een voldoende vervormingsvrij signaal wordt verkregen. Een belangrijke oorzaak van het meesleepeffect is

gelegen in de koppeling, welke bij de sommatie van de beide h.f. spanningen ontstaat. Zoals bekend, zijn de amplituden van deze h.f. spanningen verschillend, er is een grote h.f. spanning en een kleine. Naar gelang het quotiënt van beide spanningsamplituden verder van 1 verwijderd is, is het l.f. signaal minder vervormd.

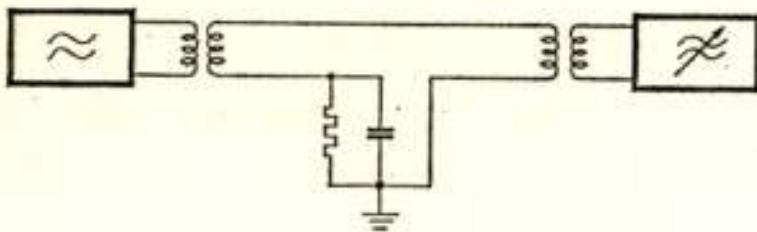


Fig. 4

Ter illustratie van het meesleepeffect.

Wordt nu door serieschakeling gesommeerd en gedetecteerd, zoals in fig. 4 is aangegeven, dan vindt als volgt een magnetische koppeling plaats. De condensator wordt periodiek opgeladen in het ritme van de grote h.f. spanning. In dit ritme vloeien dus stroomstootjes door de koppelspoel van de bron met kleine h.f. spanning en deze werken terug op de bijbehorende oscillator. Zelfs door een h.f. scheidingsstrap aan te brengen tussen de oscillator en de sommatieschakeling wordt deze terugwerking nog niet voldoende gereduceerd.

Een aanzienlijke verbetering wordt bereikt door de detectieschakeling te dupliceren en er zorg voor te dragen, dat de magnetische velden in de koppelspoelen van de bron met kleine h.f. spanning als gevolg van de oplaadstroomstootjes der beide detectoren elkaar compenseren.

Fig. 5 laat zien hoe dit is uitgevoerd. De grote h.f. spanningen zijn in tegenfase, de kleine zijn in fase. De gesommeerde spanningen E' en E'' zijn nagenoeg in tegenfase. Daar de kristal-

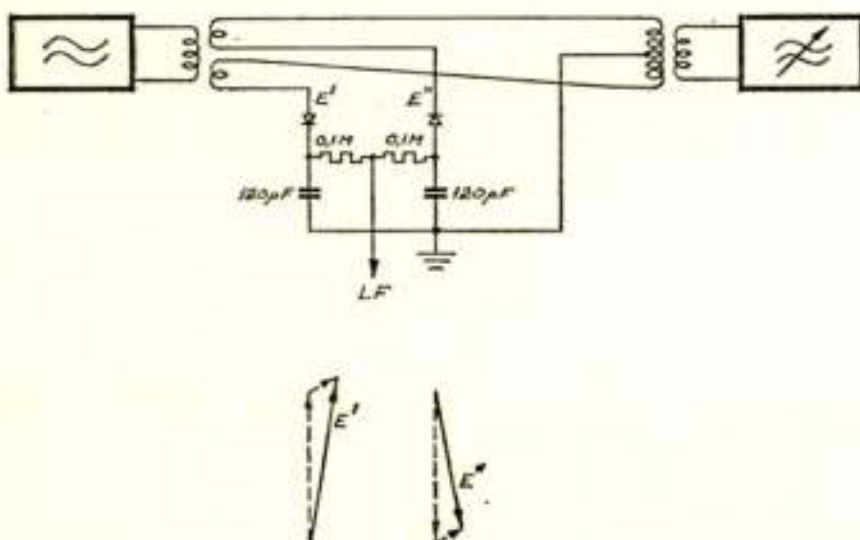


Fig. 5

dioden der beide detectoren tegengesteld geschakeld zijn, vinden de oplaadstroomstootjes nagenoeg op hetzelfde tijdstip plaats. Daar ze in tegengestelde zin de beide koppelspoeltjes van de bron met kleine h.f. spanning doorlopen, vindt nagenoeg geen terugwerking meer plaats.

Compensatie-schakeling ter beperking van het meesleepeffect. Tevens worden even harmonischen onderdrukt en vindt een compensatie van h.f. plaats, waardoor een h.f. filter gemist kan worden.

Deze schakeling biedt nog twee voordelen. In de eerste plaats is zoals reeds is opgemerkt, de vervorming van

het l.f. signaal afhankelijk van de verhouding der beide gesommeerde h.f. spanningen. Is deze n (grootste gedeeld door kleinste) dan is het vervormingspercentage aan 2de en 3de harmonischen resp. $\frac{100\%}{4n}$ en $\frac{100\%}{8n^2}$. Fig. 6 laat de onderlinge fasenrelatie tussen de beide spanningen E' en E'' uit fig. 5 zien, benevens de aan de beide detectiecondensatoren verkregen l.f. wisselspanningen. Het blijkt nu, dat alle oneven componenten (in het bijzonder de grondgolf) van beide l.f. spanningen in fase zijn en de even componenten in tegenfase.

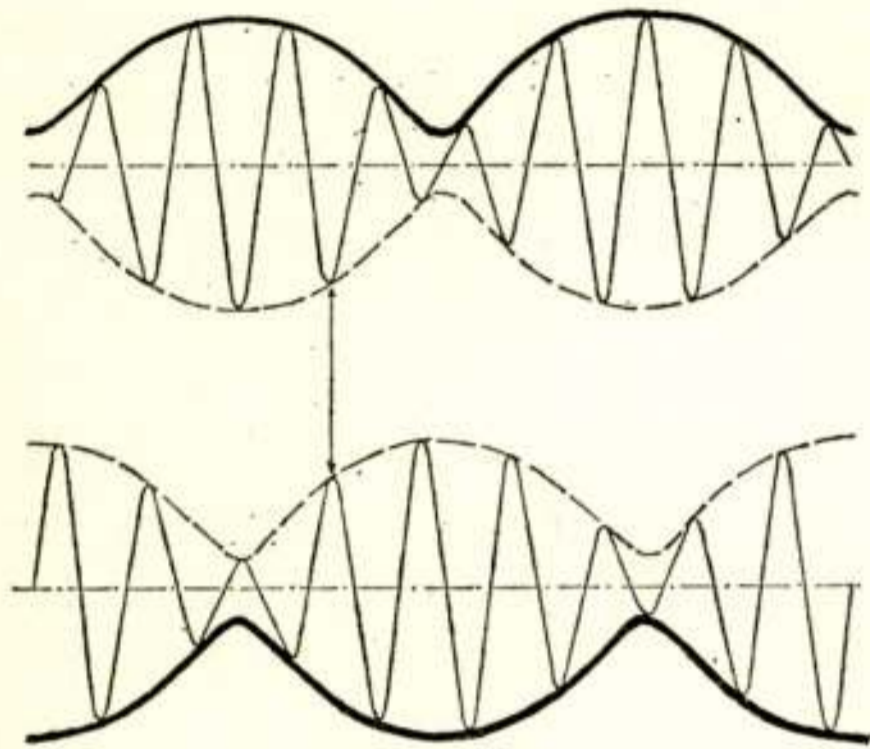


Fig. 6

Zwevingen in de beide helften van de compensatieschakeling. De dik getrokken omhullenden stellen de beide gedetecteerde l.f. spanningen voor; de even harmonischen zijn in tegenfase. De beide h.f. spanningen zijn nagenoeg in tegenfase.

wordt aanzienlijk verminderd. Anderzijds is het mogelijk om de verhouding n minder groot te kiezen bij gelijkblijvend totaal vervormingspercentage.

Een derde voordeel van deze schakeling is, dat de h.f. componenten in de beide l.f. signalen in tegenfase zijn en door het middelen worden gecompenseerd. Een h.f. filter is dan ook niet nodig.

3.2 De fasedetectoren.

Zoals reeds is opgemerkt, hebben de fasedetectoren de functie om uit twee wisselspanningen $\hat{E}_1 \sin \omega t$ en $\hat{E}_2 \sin (\omega t + \varphi)$ een gelijkspanning te vormen, die evenredig is met $\hat{E}_2 \cos \varphi$. Dit is als volgt bereikt.

Vooreerst is er zorg voor gedragen, dat $\hat{E}_2 \ll \hat{E}_1$. Door beide wisselspanningen te sommeren wordt een wisselspanning verkregen, waarvan de amplitude bij benadering gelijk is aan $\hat{E}_1 + \hat{E}_2 \cos \varphi$ (fig. 7). Aftrekken van de wisselspanningen geeft een amplitude, die bij benadering gelijk is aan $\hat{E}_1 - \hat{E}_2 \cos \varphi$. Door

Door beide l.f. spanningen door middel van twee weerstanden te middelen, zoals in figuur 5 is aangegeven, worden dus alle even componenten gecompenseerd en de vervorming

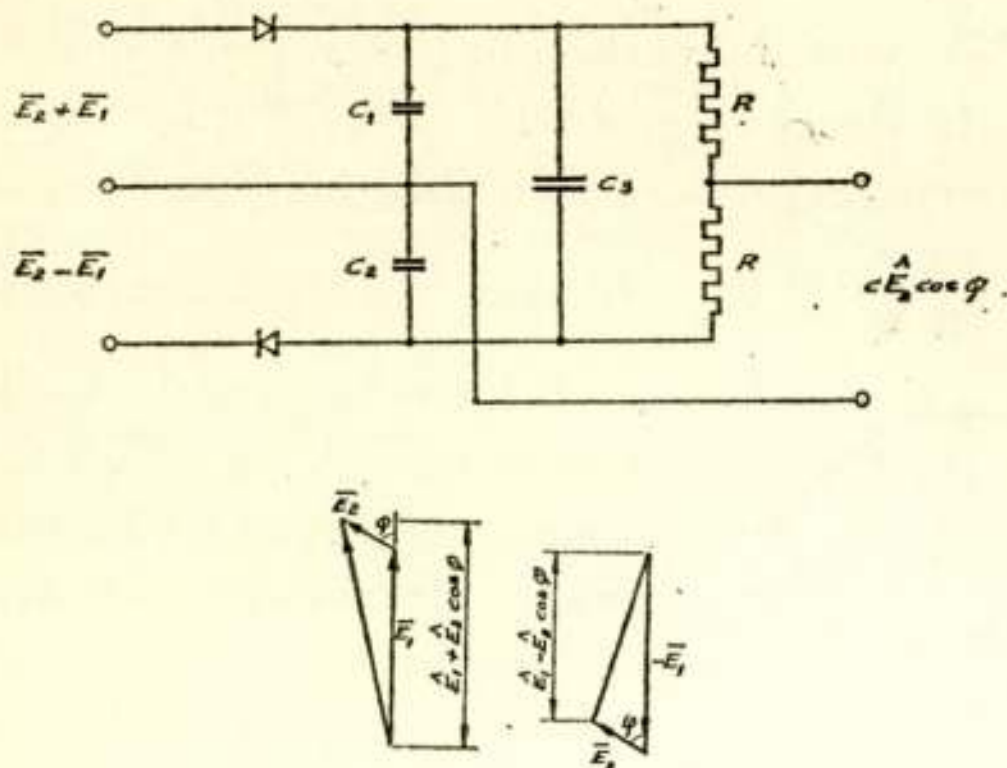


Fig. 7

De fase-detector. Goede afvlakking ($C_1 R = C_2 R$ groot) is gepaard met snelle volgzaamheid, dank zij C_3 .

maximale fout van slechts ruim 1° in het argument van het af te beelden punt.

Het optellen van de beide wisselspanningen geschiedt door deze resp. aan het stuurrooster en schermrooster van een penthode te leggen, dus door additieve menging. Het aftrekken geschiedt op gelijke wijze, doch onder voorschakelen van een fase-omkeertrap. De gelijkrichting vindt verder plaats zoals in fig. 7 is aangegeven. Van de somspanning wordt een positieve gelijkspanning t.o.v. aarde verkregen, de verschilspanning levert echter een negatieve gelijkspanning op. Door deze gelijkspanningen te middelen, dus het halve verschil van de absolute waarden te vormen, wordt volgens het bovenstaande de gewenste gelijkspanning verkregen, welke evenredig is met $\hat{E}_2 \cos \varphi$. Dit wordt gerealiseerd door middel van de twee weerstanden R .

Een bijzonderheid van deze schakeling is gelegen in de functie van C_3 . Zonder deze condensator functioneert de schakeling ook reeds. De rimpelspanningen op C_1 en C_2 zijn nagenoeg in tegenfase en compenseren elkaar na middeling grotendeels. Bedenkt men echter, dat de wisselspanning E_2 , welke uiteindelijk de gewenste gelijkspanning $\hat{E}_2 \cos \varphi$ moet opleveren hoogstens $0,2 E_1$ is doch ook kan afnemen tot $0,005 E_1$, terwijl E_1 ongeveer de rimpel bepaalt, dan is het duidelijk, dat aan de kleinheid van de rimpel zeer hoge eisen worden gesteld. Dit kan worden bereikt door $RC_1 = RC_2$ zeer groot te kiezen. Het gevolg is dan echter een grote traagheid bij veranderende E_2 . Weliswaar

deze som- en verschilspanningen gelijk te richten, worden twee gelijkspanningen verkregen. De som van deze gelijkspanningen is evenredig met \hat{E}_1 en dus constant. Het verschil is echter evenredig met $\hat{E}_2 \cos \varphi$.

Opmerkelijk is dat de fout als gevolg van de gebruikte benadering reeds bij een verhouding $\hat{E}_2 : \hat{E}_1 = 1 : 5$ slechts hoogstens 2% bedraagt; dit geeft een

kan de oplaadtijdconstante klein gekozen worden door kristal-dioden te kiezen met kleine doorlaatweerstand en door de inwendige weerstand van de spanningsbronnen $E_2 \pm E_1$ klein te houden (kathodevolgers), de grote ontlaadtijdconstante blijft echter een snel reageren in de weg staan. Deze moeilijkheid nu is opgelost door de condensator C_3 aan te brengen.

Uit het voorgaande volgt, dat over C_3 een constante gelijkspanning staat. Wordt door een verandering in $\hat{E}_2 \cos \varphi$ C_1 b.v. opgeladen, dan moet C_2 met hetzelfde bedrag ontladen worden. De snelle oplading van C_1 bewerkt nu via C_3 een snelle ontlading van C_2 en omgekeerd. Uiteraard moet hiertoe $C_3 \gg C_1 = C_2$ zijn.

3.3 *Nog enige bijzonderheden.*

Het frequentiebereik is van 10 Hz tot 22 kHz en wordt door één schaal bestreken. Met behulp van een tweede schaal kan op een eenmaal gekozen frequentie een variatie van 0 tot 250 Hz worden aangebracht. Een nul Hertz ijking wordt met behulp van een afstemindicator uitgevoerd. De 90° in fase verschoven toongeneratorspanningen zijn beide op stekerbussen uitgevoerd.

De grootte van de spanning E_1 , welke naar de ingang van de te meten vierpool of tweepool wordt geleid, is in stappen regelbaar van 12 mV tot 2,5 V; de inwendige weerstand varieert hierbij van 5Ω tot 100Ω . Voor impedantiemetingen aan tweepolen is een extra serieweerstand in het apparaat ingebouwd, welke in stappen regelbaar is van 0 tot $100 \text{ k}\Omega$.

De uit de vierpool of tweepool afkomstige meetspanning wordt aan een coaxiale ingang van het apparaat toegevoerd, waarvan de weerstand $2 \text{ M}\Omega$ is; de ingangscapaciteit is kleiner dan 1 pF. Met behulp van een ingebouwde verzwakker kan de gevoeligheid worden geregeld. Het gevoeligste bereik is 5 mV.

De reeds eerder genoemde verhouding $\hat{E}_2 : \hat{E}_1 = 1 : 5$ is als maximale uitsturingsgrens aangehouden. Het apparaat geeft dan 0,5 mV gelijkspanning af, die naar de gelijkspanningsoscillograaf wordt geleid. De fout van de modulus en van het argument van de afbeelding in het complexe vlak bedraagt voor wat het apparaat zelf betreft (dus afgezien van invloed van bronimpedantie aan ingang vierpool of tweepool en belasting van uitgang) resp. 2% en 2° .

Door de middenaftakking gevormd door de weerstanden R in fig. 7 een weinig te verplaatsen, wordt een extra gelijkspanning op het aftakpunt verkregen. Aldus kan het nulpunt van

het complexe vlak in de richting van de reële en van de imaginaire as verschoven worden. Het is nu mogelijk om een detail van de complexe frequentiekarakteristiek te vergroten en daarna, indien nodig, door verschuiving weer binnen de begrenzing van het scherm te brengen.

Tenslotte is er de mogelijkheid door omschakeling de condensatoren van de beide fase detectoren te verkleinen, waardoor de snelheid van het apparaat wordt vergroot. De laagste frequentiegrens wordt hierdoor van 10 Hz op 20 Hz gebracht.

Voor de afbeelding wordt gebruik gemaakt van een afzonderlijke kathodestraaloscillograaf. De maximaal benodigde gevoeligheid voor de beide platenparen is 0,5 mV gelijkspanning voor een verplaatsing over de diameter van het scherm.

4. Toepassingen.

Thans volgen enige toepassingen op akoestisch en elektronisch gebied.

Fig. 8 laat het impedantiediagram zien van een basreflexkast, gemeten aan de luidsprekerklemmen. Globaal is dit een cirkel met een lus. De figuur werd met toenemende frequentie rechtsom doorlopen. De cirkel stelt het resonantieverschijnsel van de

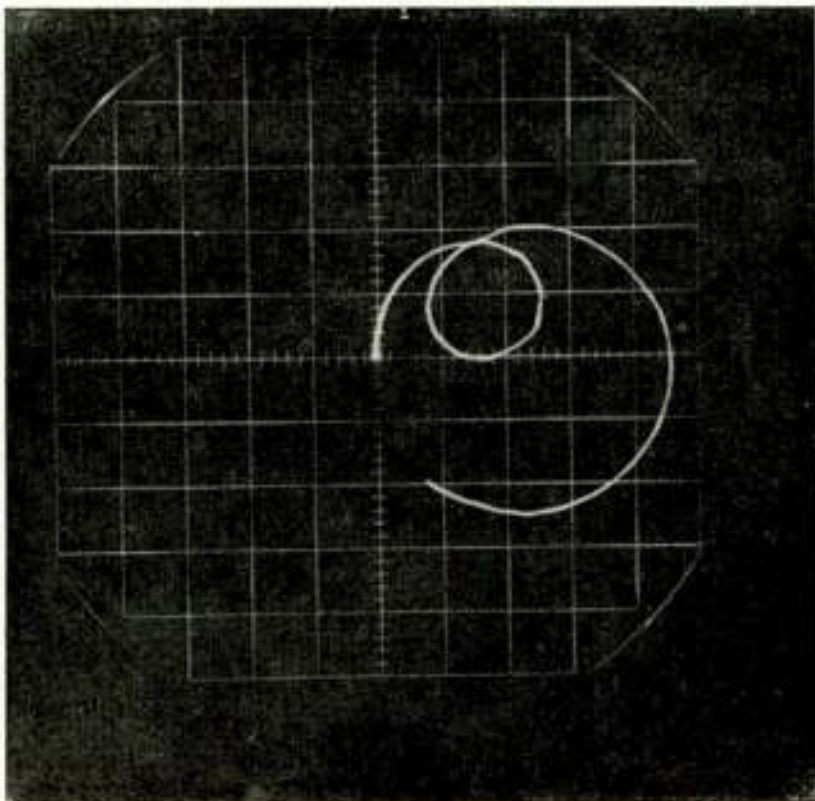


Fig. 8

Impedantiediagram van een luidspreker in een basreflexkast.

luidspreker voor; de lus wordt veroorzaakt door de Helmholtz-resonantie van de kast. Uit deze terugwerking van de mechanische belasting op de elektrische impedantie kan het gedrag van de kast worden afgeleid²⁾. Uiteraard is het dan nodig om een frequentie-markering aan te brengen; dit kan eenvoudig geschieden door pulsen op de Wehneltcylinder van de kathodestraalbuis te brengen.

Toepassingen op ruimte-akoestisch gebied tonen de figuren 9, 10 en 11. Fig. 9 stelt

²⁾ De basreflexstraler in de akoestiek, F. J. v. Leeuwen; Tijdschrift v. h. N.R.G., sept. 1956, blz. 195.

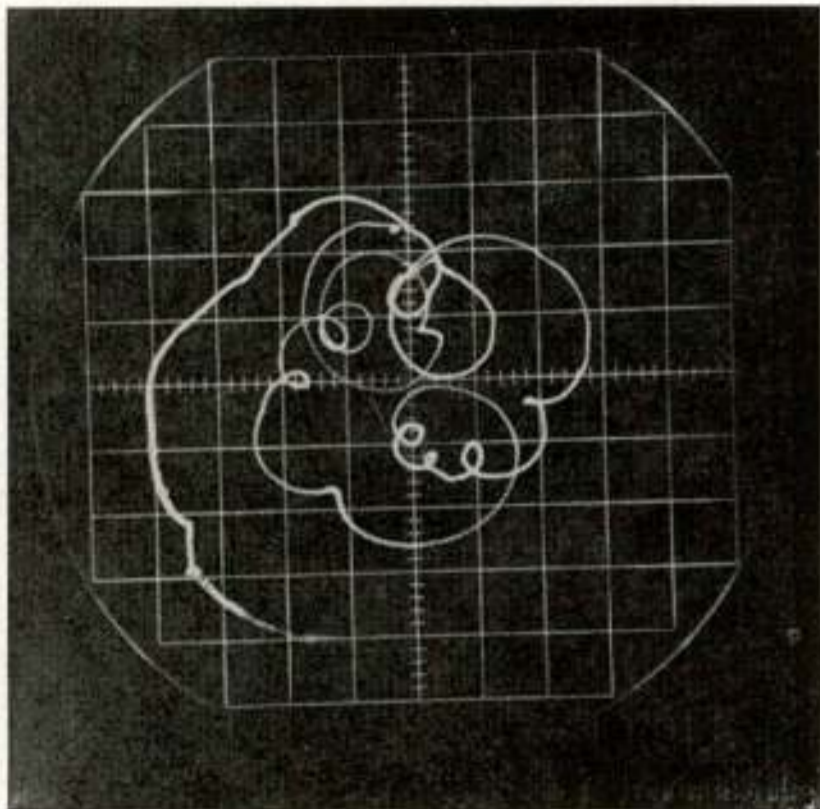


Fig. 9

Frequentiekarakteristiek van een ruimte.

Opgenomen is de geluidsdruk in het indirecte veld van een luidspreker. De frequentie is een weinig gevarieerd in de omgeving van 2 kHz.

Gemiddeld neemt het argument van de geluidsdruk af en wel is de gemiddelde afname in radialen per Hz frequentietoename 0,64 maal de nagalmtijd³⁾.

de complexe frequentiekarakteristiek van een vrij weinig geluidabsorberende kleine ruimte voor. Hierin werden een luidspreker en een drukmicrofoon opgesteld. De microfoon bevond zich in het indirecte veld. Gemeten werd vanaf de luidsprekercontacten tot aan de microfooncontacten, en wel ongeveer bij 2 kHz. Binnen een zeer klein frequentie-interval verloopt de frequentiekarakteristiek reeds grillig. Dit is een gevolg van de vele eigentrillingen, die reeds binnen een klein frequentie-interval voorkomen. De figuur werd bij toenemende frequentie in rechtsomgaande zin doorlopen.

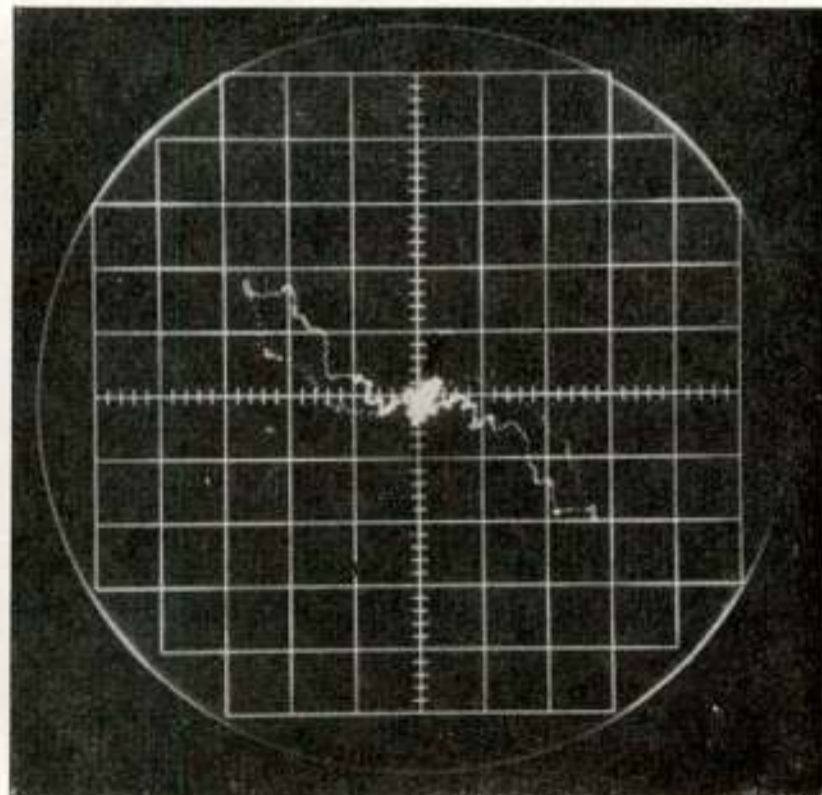
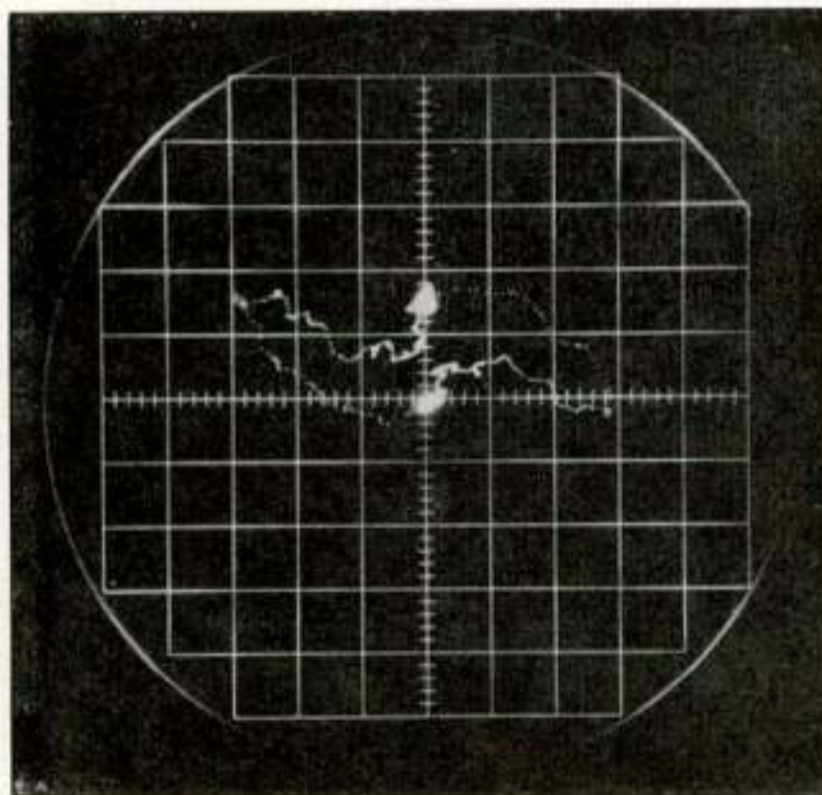


Fig. 10 en 11

In- en uitslingerverschijnselen van de geluidsdruk in een ruimte bij twee verschillende frequenties van ongeveer 2 kHz. Beide verschijnselen zijn vectorisch complementair, waardoor een symmetrisch figuur ontstaat.

³⁾ Galm en geluidsabsorptie, J. J. Geluk; dissertatie Delft 1946, blz. 83.

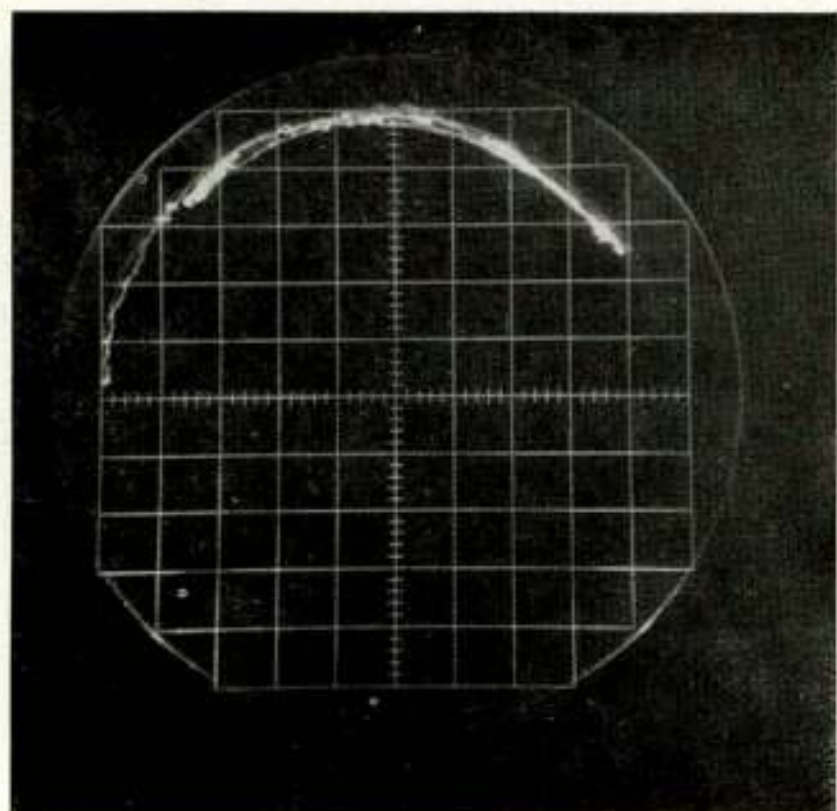


Fig. 12

Wow meting aan een professionele magnetofoon. Gemeten is van ingang opneemkanaal tot uitgang weergeefkanaal. De booghoek is een maat voor de wow. De meetfrequentie is 3 kHz, de bandsnelheid 58 cm/sec. en de afstand tussen de opneem- en weergeefkop bedraagt 7 cm; 180° komt dan overeen met $1^\circ/\infty$. De wow is hier dus ca. $0,8^\circ/\infty$.

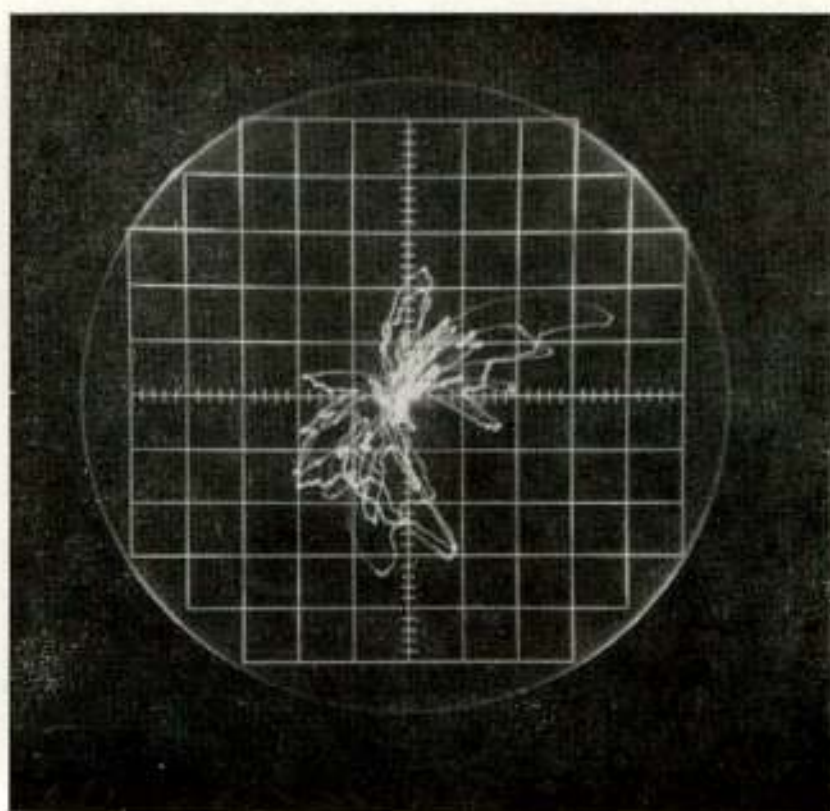


Fig. 13

Wow en fluttermeting aan dezelfde magnetofoon als van fig. 12. Horizontaal en verticaal signaal zijn nu gedifferentieerd met een RC-schakeling; de tijdconstante is 0,05 sec. De meetfrequentie is 3 kHz. Is de afstand van het verst van het nulpunt afgelegd punt tot het nulpunt gelijk aan de straal van de boog uit fig. 12 dan bedraagt de wow en flutter $1^\circ/\infty$; hier treedt ca. $0,8^\circ/\infty$ op.

Fig. 10 en 11 laten bij dezelfde opstelling voor twee verschillende frequenties het in- en uitgalmverschijnsel zien. Beide verschijnselen zijn vectorisch complementair d.w.z. de vectorische som van de geluidsdrukken een willekeurige tijd na inschakelen van de geluidsbron en eenzelfde tijd na uitschakelen van de geluidsbron (nadat de stationaire waarde was bereikt) is constant en wel gelijk aan de stationaire waarde. Hierdoor ontstaan figuren met een symmetriepunt⁴⁾.

Ontwikkeld werd een methode om met behulp van het apparaat fluctuaties bij magnetische registratie te meten⁵⁾. Gemeten wordt van ingang opneemkanaal tot uitgang weergeefkanaal. Frequentie-variatië uitent zich, doordat de afbeelding in het complexe vlak over een cirkelboog heen en weer beweegt met het nulpunt als middelpunt. Fig. 12 toont een opname hiervan.

⁴⁾ Galm en geluidsabsorptie, J. J. Geluk; dissertatie Delft 1946, blz. 83.

⁵⁾ A method of measuring tape-speed fluctuations in magnetic recording, J. J. Geluk; E.B.U. Review, okt. 1958, blz. 18.

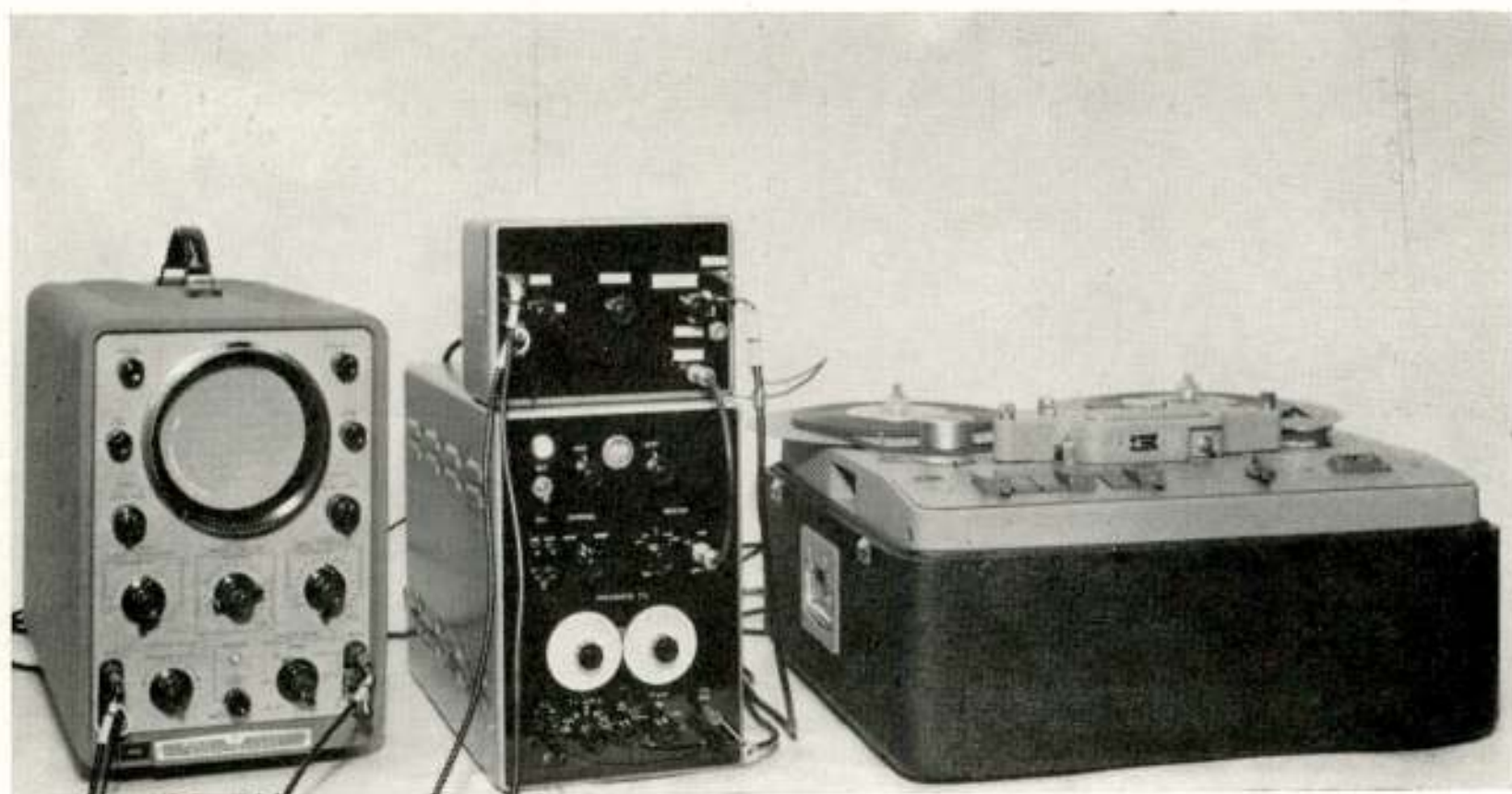


Fig. 14

Opstelling voor wow en fluttermeter aan een magnetofoon. Van links naar rechts: de kathodestraaloscillograaf; het beschreven apparaat in hoofdzaak bevattende de speciale toongenerator en fasedetectoren, waarboven een kastje, dat onder meer de benodigde differentieerleden bevat; daarnaast een professionele magnetofoon.

De booghoek is een maat voor de relatieve bandsnelheidsvariaties van lage frequentie („wow”). De schaalwaarde hangt af van de frequentie van de meettoon, van de gemiddelde bandsnelheid en van de afstand van de opneemkop tot de weergeefkop.

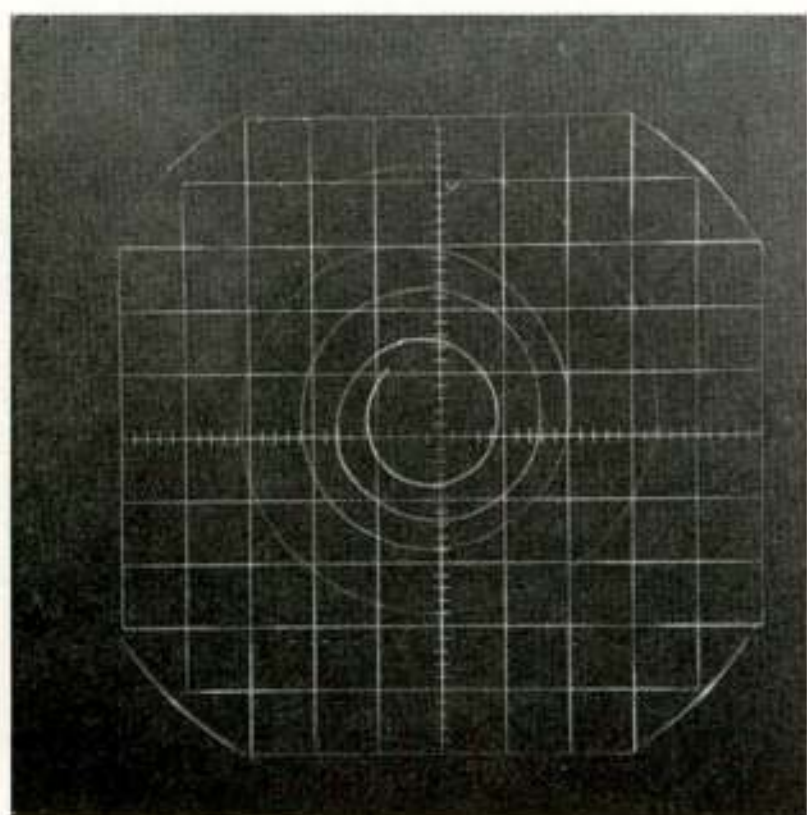


Fig. 15

Geluidsdruk in de as van een luidspreker opgesteld in een galmvrije kamer bij variërende afstand. Frequentie 2 kHz.

Fig. 13 laat dezelfde meting zien nadat de aan de oscillograaf toegevoerde variërende gelijkspanningen gedifferentieerd zijn. Het blijkt nu, dat de grootste modulus van deze afbeelding gedeeld door de straal van de cirkelboog welke zonder differentiatie ontstaat, een maat is voor de totale relatieve bandsnelheidsvariatie („wow” en „flutter”).

Een evenredigheidsconstante wordt bepaald door de RC waarde van de differentieerschakeling.

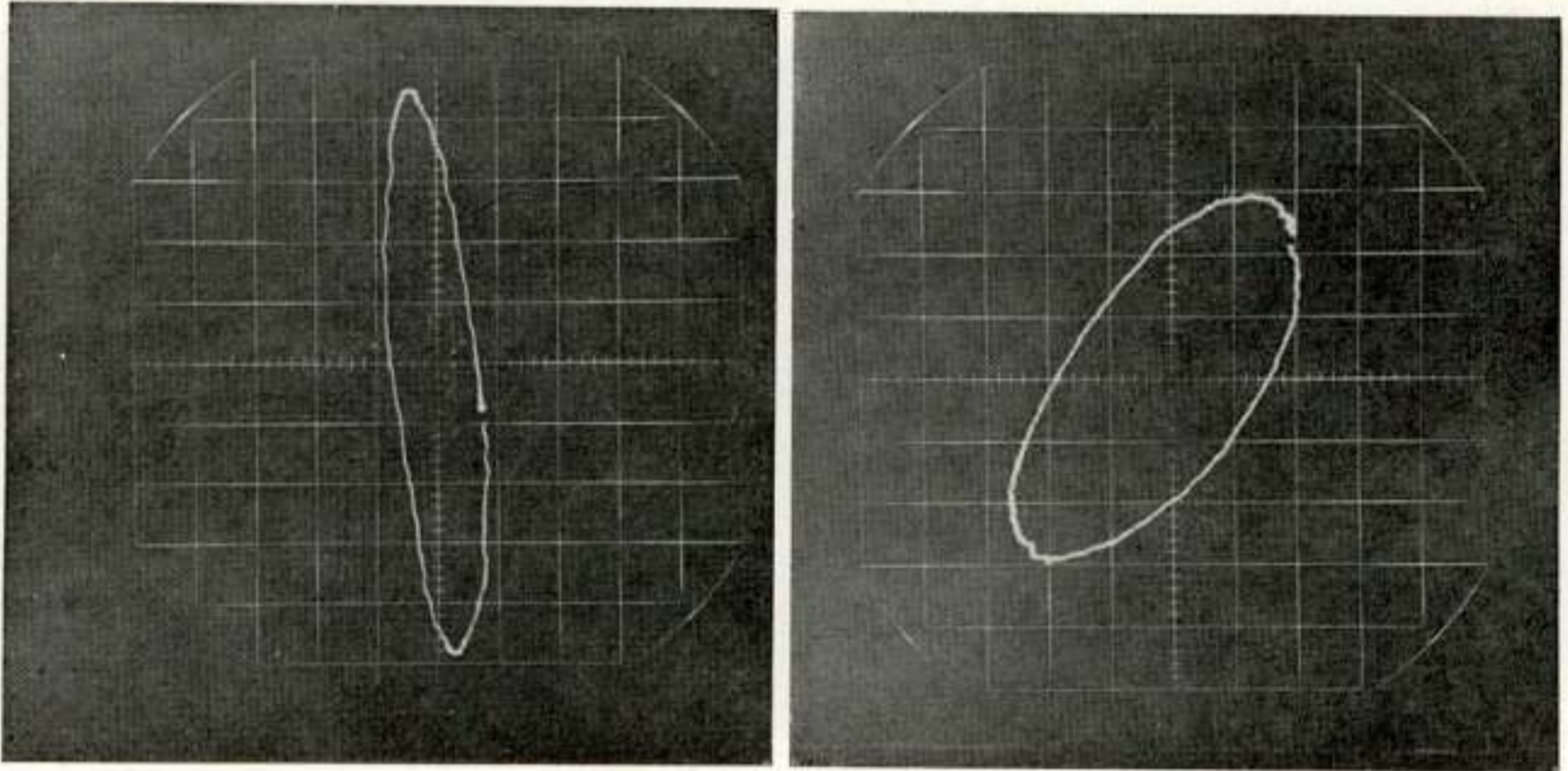


Fig. 16 en 17

Geluidsdruk in een akoestische interferometer bij variatie van de afstand tot het monster. Het monster is Treeperac; de meetfrequenties zijn resp. 500 Hz en 1,5 kHz, de geluidabsorptie-coëfficiënten resp. 0,46 en 0,83.

Fig. 15 toont de geluidsdruk in de as van een luidspreker, opgesteld in een galmvrije kamer. De frequentie werd constant gehouden; de afstand van de meetmicrofoon tot de luidspreker werd gevarieerd. Bij toenemende afstand wordt de figuur rechtsom doorlopen. Telkens na verplaatsing over een afstand gelijk aan de golflengte vermindert het argument van de geluidsdruk met 2π terwijl de modulus afneemt.

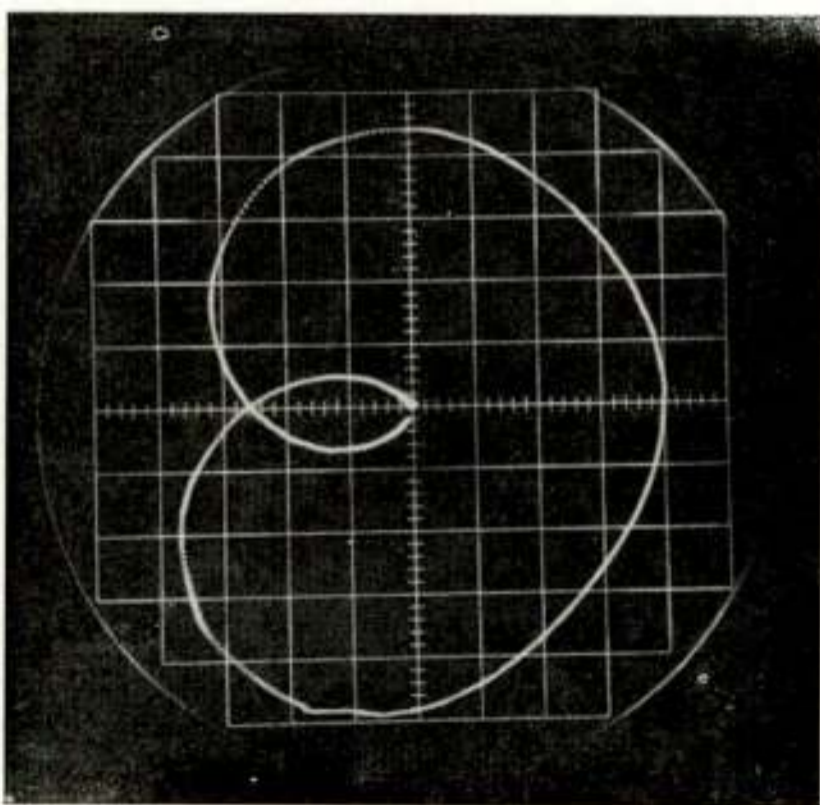


Fig. 18

Complexe frequentiecarakteristiek van een Siemens octaafilter in de frequentieband 400 - 800 Hz.

Fig. 16 en 17 hebben betrekking op de akoestische interferometer. Deze bestaat in hoofdzaak uit een buis, aan een uiteinde voorzien van een luidspreker, aan het andere uiteinde afgesloten door een monster, waarvan men de geluidabsorptie-coëfficiënt wil bepalen. De luidspreker zendt een vlakke lopende geluidsgolf naar het monster, waarop een gedeelte wordt gereflecteerd. De opvallende en gereflecteerde golf vormen tezamen een staande golf; uit de

staandegolfverhouding is de absorptie-coëfficiënt van het monster te berekenen.

De staandegolfverhouding wordt gemeten met behulp van een drukmicrofoon, welke in axiale richting binnen de buis verplaatsbaar is. Bij verplaatsing draaien de geluidsdrukvectoren van de beide lopende golven ter plaatse van de microfoon over gelijke hoeken, doch in tegengestelde zin (als gevolg van de tegengestelde voortplantingsrichtingen). De lengten der beide vectoren blijven hierbij constant (vlakke golven). Het eindpunt van de somvector beschrijft dan een ellips. Het quotiënt van de beide assen is de staandegolfverhouding. Wordt geen geluid geabsorbeerd, dan ontardt de ellips in een rechte lijn. Is daarentegen de absorptie volledig, dan gaat de ellips over in een cirkel. Fig. 15 toont de ellips voor een monster Treeperac bij 500 Hz; de absorptiecoëfficiënt is 0,46 (bij loodrecht invallend geluid). Fig. 16 is opgenomen aan hetzelfde materiaal bij 1,5 kHz; de absorptiecoëfficiënt is 0,83.

Fig. 18 toont de complexe frequentiekarakteristiek van een Siemens octaaffilter in de frequentieband 400-800 Hz. De voor een juiste waardering noodzakelijke frequentie-markering is niet aangebracht.

Een kleine draagbare geluidsdrukkniveau-analysator voor het bepalen van de eigenschappen van een lawaai

door Chr. Peekel *)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap en de Geluidstichting op 22 mei 1958.

Summary

In view of the complexity of operation of the human ear and the difficulty of establishing quantitative measurement of the sensation of a noise by normal soundlevelmeters a very small portable soundspectrum-analyser is described, which analyses the soundspectrum in 9 octavepassbands so that more detailed information is obtained.

Particulars are given for calculating loudnesslevel, loudness and speech-interference level. The possibilities of hearingloss from noise exposure is discussed with a tentative no-damage-risk-level for octavebands. Charts are given for estimating the reaction of people to noise in a residential area and for recommended noise criteria for rooms.

1. Inleiding.

Over het algemeen wordt verondersteld door diegenen, die voor het eerst lawaai-metingen moeten gaan verrichten, dat door een simpele directe meting b.v. door het meten van het totale geluidsdrukkniveau, het mogelijk is de eigenschappen van een lawaai te bepalen.

Deze veronderstelling is onjuist en wel, doordat het horen een zeer ingewikkeld gebeuren is, waar vele physiologische en psychologische waarden een rol spelen, welke voor directe metingen niet toegankelijk zijn. Wil men van een complex geluid b.v. het luidheidsniveau in foon of de luidheid in soon of het spraakstoorniveau of de hinderlijkheid of het gevaar van gehoorbeschadiging enz. enz. kunnen bepalen, dan is het noodzakelijk te kunnen beschikken over een geluidsdrukkniveau-spectrogram. Bovendien geeft een dergelijk spectrogram vele waardevolle gegevens omtrent de mogelijke maatregelen, welke genomen kunnen worden om het lawaai te reduceren.

De hier te bespreken geluidsdrukkniveau-analysator analyseert het spectrum in banden met een octaafbreedte.

*) Laboratorium voor Electronica 'PEEKEL' N.V., Rotterdam

De grondgedachte van deze geluidsdruk-niveau-meter stamt van de Technisch Physische Dienst te Delft, welke dit apparaat enige jaren geleden in vereenvoudigde vorm heeft ontworpen, waarna het verder in het laboratorium van spreker is ontwikkeld tot het huidige stadium.

2. Beschrijving geluidsdruk-niveau-analysator type GRB.

De werking van de te bespreken draagbare door ingebouwde batterijen gevoede geluidsdruk-niveau-analysator laat zich het best verklaren aan de hand van het blokschema fig. 1.

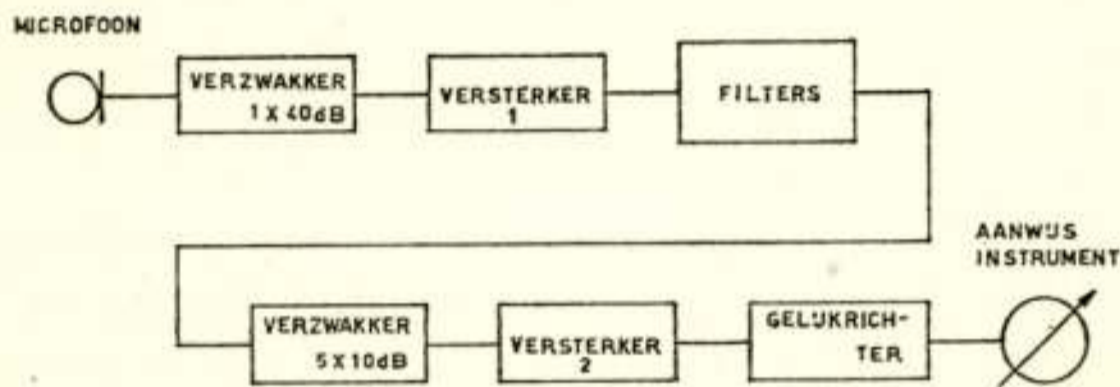


Fig. 1

Blokschema van de geluidsdruk-niveau-analysator

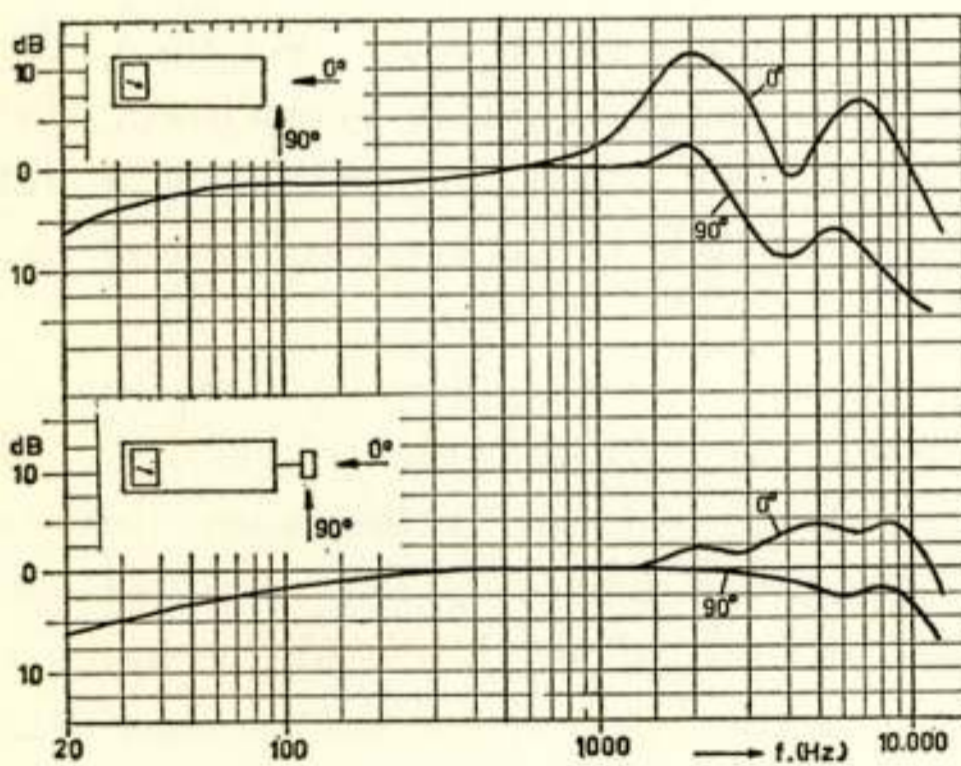


Fig. 2

In een vrij geluidsveld opgenomen frequentie weergave curven van de geluidsdruk-niveau-analysator voor geluid, dat invalt op de microfoon onder een hoek van 90° en 0° . Boven: de microfoon ingeschoven; onder: de microfoon uitgetrokken.

verbetering te zien die door deze maatregel bereikt wordt.

De kleine cilindervormige microfoon heeft slechts een diameter van 3 cm en kan ongeveer 12 cm uit het kastje waarin de geluidsdruk-niveau-analysator gebouwd is getrokken worden. Dit is noodzakelijk om te voorkomen dat het te meten geluidsveld verstoord zou worden door de aanwezigheid van het kastje van de analysator. Fig. 2 geeft beide toestanden weer, microfoon in de kast geschoven en uitgetrokken. Uit de curven is duidelijk de

Direct achter de microfoon is zoals uit fig. 1 blijkt een verzwakker met één stap van 40 dB aangebracht om te voorkomen dat, bij de zeer grote geluidsdrukken welke deze analysator nog kan verwerken, de eerste versterker overstuurd zou geraken.

De versterker 1 bestaat uit een drietraps-versterker waarvan de versterking gestabiliseerd is door middel van tegenkoppeling. In verband met de octaafbandfilters welke op deze versterker aangesloten kunnen worden, is het noodzakelijk dat versterker 1 een bepaalde inwendige weerstand heeft, en om oversturing te vermijden, eveneens een bepaalde versterking.

Door in deze versterker gecombineerde spannings- en stroomtegenkoppeling toe te passen, welke individueel ingesteld kunnen worden, is het mogelijk een bepaald versterkingscijfer en een bepaalde inwendige weerstand te bereiken.

Er zijn 8 filters ingebouwd welke beurtelings ingeschakeld kunnen worden. In fig. 3 zijn de frequentie-weergave-curven

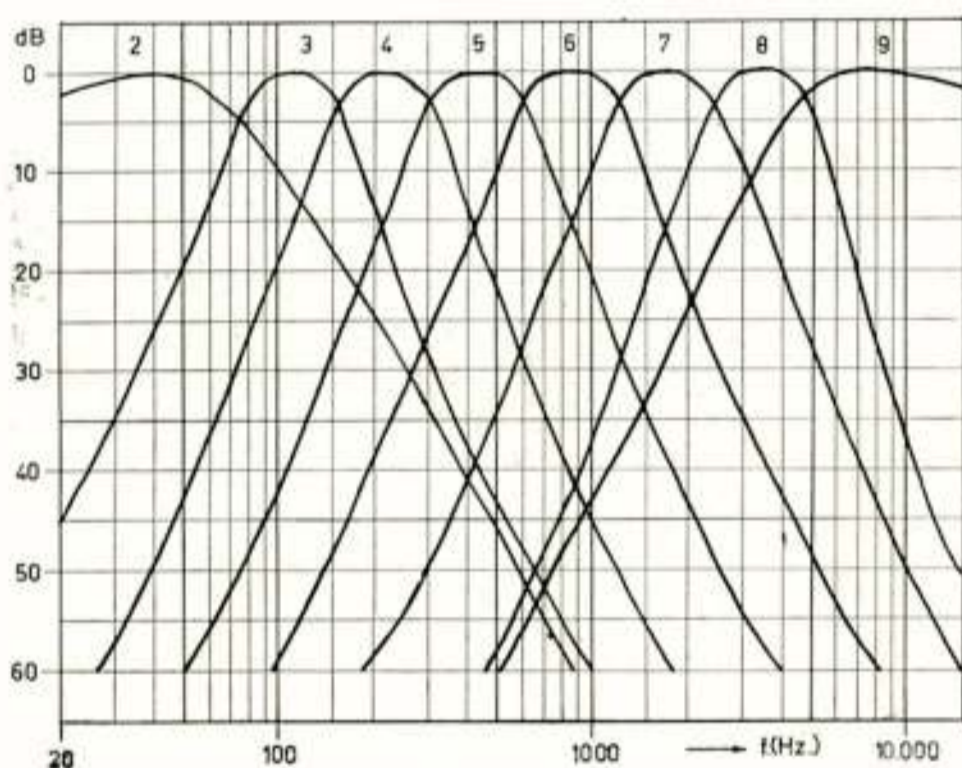


Fig. 3

Frequentie weergave curve van de ingebouwde filters

van deze filters met inbegrip van de versterkers weergegeven.

Zoals blijkt, zijn er een laagdoorlatend filter, 6 octaaffilters en vervolgens een hoogdoorlatend filter aangebracht. Ondanks de kleine ruimte, welke slechts beschikbaar was, is door toepassing van moderne materialen bereikt dat filters van uitstekende kwaliteit ingebouwd zijn.

Na de filters volgt een verzwakker met 5 standen van 10 dB verzwakking, daarna weer een versterker volgens hetzelfde principe als versterker 1 en tot slot een gelijkrichtschakeling met draaispoel aanwijs-instrument. Door toepassing van speciale poolschoenen in het draaispoelinstrument is een quasi lineaire dB schaal verkregen.

Alle versterkers zijn zo gedimensioneerd dat deze ongeveer een factor 3 verder uitstuurbaar zijn dan noodzakelijk voor volle uitslag van de aanwijsmeter, in verband met de juiste aanwijzing van sterk samengestelde signalen met grote piekwaarde doch kleine effectieve waarde.

De geluidsdruk-niveau-analysator is zodanig geïjkt dat uit de combinatie van verzwakker-standen en aflezing van het aanwijsinstrument direct het geluidsdruk-niveau in dB boven $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ gevonden wordt.

Het totale meetgebied gaat van 20 dB tot 130 dB.

Een zeer grote versterking is noodzakelijk om de buitengewoon kleine geluidsdrukken nog te kunnen meten.

Hoe uiterst klein de drukschommelingen zijn, welke ons oor

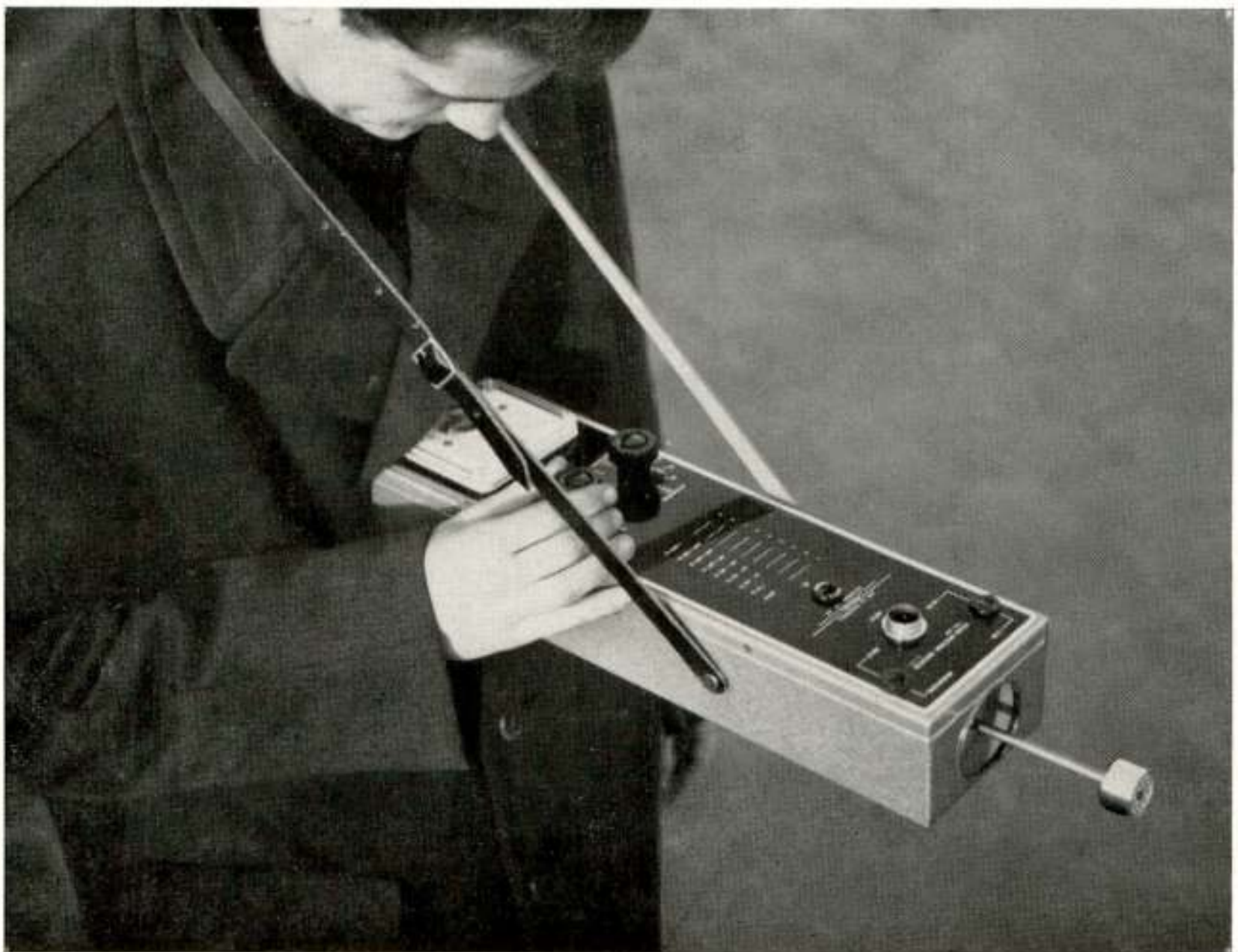


Fig. 4
Geluidsdruk-niveau-analysator type GRB.

nog in staat is om als geluid waar te nemen, moge blijken uit het feit, dat het trommelvlies excursies maakt van slechts 1/10 deel van de doorsnede van een waterstof-atoom, wanneer een toon van 1000 Hz met een geluidsdruk-niveau dat overeenkomt met de gehoordrempel, door dat oor beluisterd wordt.

De totale spanningsversterking in de geluidsdruk-niveau-analysator type GRB bedraagt ongeveer 200 000 x hetgeen er op neerkomt dat enkele micro-volts reeds gemeten kunnen worden.

Controle op de juiste werking van de analysator kan uitge-

oefend worden door deze met een speciale verbindingkabel met het lichtnet te verbinden.

Een tweede controle is mogelijk door middel van een kleine standaard lawaaibron, welke op de microfoon geschoven kan worden. Deze bestaat uit een groot aantal (vele duizenden) kleine kogeltjes, welke evenals het zand in een zandloper naar beneden vallen en op hun weg tegen een membraan botsen. Hierdoor ontstaat een binnen 1 dB nauwkeurig bekend z.g. wit geruis met een geluidsdruk-niveau van even boven de 100 dB.



Fig. 5

Het instrument kan gemakkelijk getransporteerd worden.

Met deze mechanische standaard geruisbron is het te allen tijde mogelijk de gevoeligheid van het gehele instrument te controleren.

Hoe handig de gehele geluidsdruk-niveau-analysator is te gebruiken blijkt uit fig. 4 waarop U kunt zien hoe de meettechnicus zich gemakkelijk kan bewegen en bovendien beide handen vrij heeft om de knoppen te bedienen en de gegevens op te schrijven. Bovendien toont fig. 5 hoe gemakkelijk deze analysator te transporteren is.

3. Het berekenen van het luidheidsniveau en de luidheid.

Zoals reeds in de inleiding is vermeld, zegt het heel weinig omtrent de eigenschappen van een lawaai wanneer alleen het gehele geluidsdrukniveau gemeten wordt. Maar, zult U zich afvragen, wat meet dan een z.g. geluidsniveau-meter, of ook wel

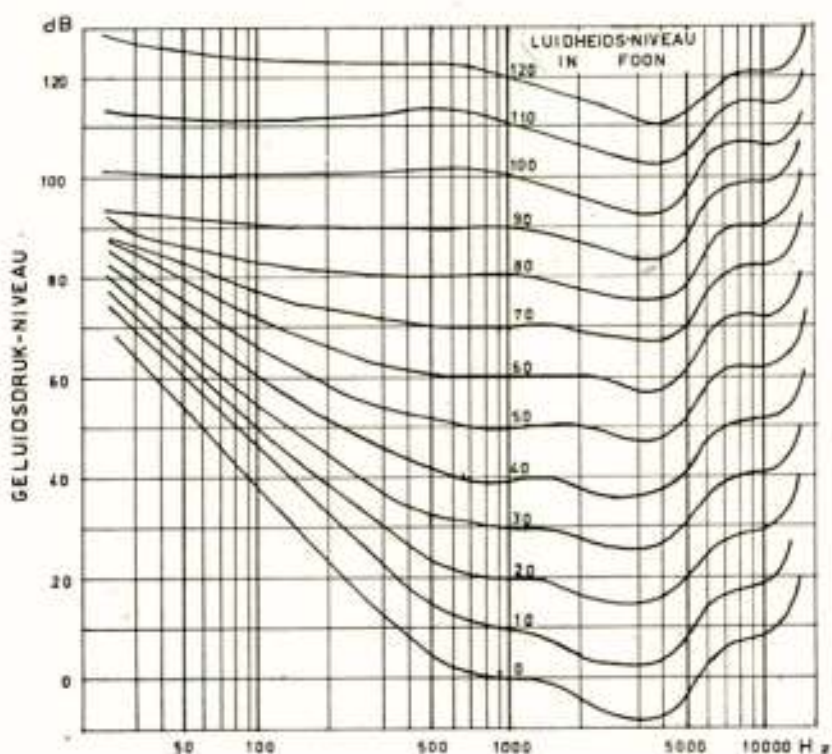


Fig. 6

In een vrij geluidsveld opgenomen curven van gelijke luidheid voor zuivere tonen volgens Fletcher en Munson.

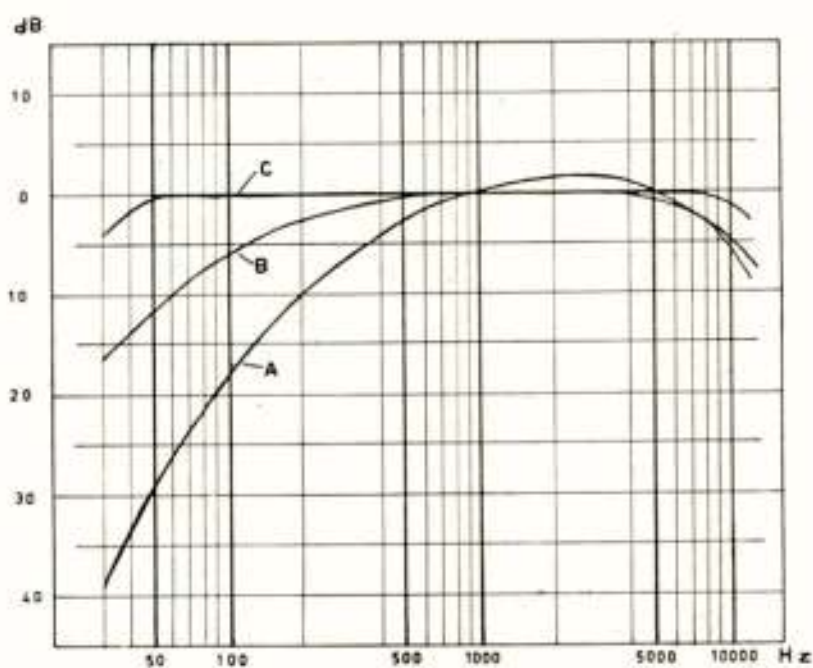


Fig 7

Waarderingscurven, welke in geluidsniveau meters worden gebruikt om de gevoeligheid van het menselijke oor te imiteren. Voor elk niveau gebied wordt een andere curve gebruikt.

gemeten moet worden, kan men inderdaad met een dergelijke geluidsniveau-meter het luidheidsniveau direkt in foon meten. Anders wordt dit, wanneer een samengesteld geluid gemeten

foonmeter genoemd, welke voorzien is van filters, die de gevoeligheid van het menselijke oor imiteert? Alvorens hier antwoord op te geven, dient nagegaan te worden volgens welk grondprincipe deze z.g. foonmeters of geluidsniveau-meters werken.

In fig. 6 zijn de bekende Fletcher Munson curven weergegeven. Dit zijn lijnen van gelijke luidheid voor zuivere tonen. Omdat als vergelijkingspunt 1000 Hz genomen is en bij 1000 Hz het geluidsdrukniveau in dB hetzelfde is als het luidheidsniveau in foon worden deze lijnen ook wel isofonen genoemd.

Baserend op deze curven heeft men in z.g. geluidsniveau-meters voor verschillende niveaugebieden 3 inschakelbare correctiefilters aangebracht welke de gevoeligheid, afhankelijk van de frequentie, van het menselijke oor imiteren. In fig. 7 zijn deze frequentie-weergave curven, welke ook wel waarderingskarakteristieken genoemd worden, getekend. Zolang één zuivere toon

wordt b.v. een geluid, dat bestaat uit *twee* zuivere tonen, welke betrekkelijk ver uiteen liggen wat de frequentie betreft. B.v. een toon van 200 Hz en een van 2000 Hz. Laten wij nu veronderstellen dat elke toon apart een luidheid bezit welke overeenkomt met een toon van 1000 Hz met een geluidsdruk-niveau van 85 dB. Beide tonen wekken dus ieder apart een luidheidsniveau van 85 foon op. Deze waarde wordt inderdaad door een foonmeter aangewezen wanneer één van de tonen opgewekt wordt.

Daar het geluidsdruk-niveau van de tonen uit dit voorbeeld dusdanig hoog is dat met een waarderingskarakteristiek gemeten kan worden welke lineair is, kan gemakkelijk berekend worden wat de geluidsniveau-meter aanwijst, wanneer beide tonen tegelijk klinken. De meter zal 3 dB hoger aanwijzen dan elke toon apart dus 88 dB.

Door nu deze zelfde tonen tegelijk te laten klinken en met het oor te vergelijken met een toon van 1000 Hz zal echter een foonniveau gevonden worden van 95 foon. Het blijkt dus dat het oor twee tonen, welke ver uiteen liggen, geheel anders optelt dan de geluidsniveau-meter of z.g. foonmeter. Dit is dan ook de reden dat de geluidsniveau-meters, al of niet voorzien van z.g. waarderings frequentie-karakteristieken, niet in staat zijn het luidheidsniveau in foon te meten, zodra het om samengestelde geluiden gaat. De uitkomst met dergelijke meters verkregen correleert dus niet met hetgeen men hoort. Afwijkingen van 15 à 25 foon kunnen gemakkelijk optreden. Alvorens nu aan te geven hoe het luidheidsniveau in foon berekend kan worden, wanneer over een geluidsdruk-niveau spectrogram beschikt wordt, zal eerst nog nader ingegaan worden op de luidheid uitgedrukt in soon. Waarom, zo zult U zich afvragen, naast het luidheidsniveau in foon nog een andere eenheid in soon? Dit kan het beste wederom met een voorbeeld beantwoord worden. Wanneer een lawaai een luidheidsniveau heeft van b.v. 85 foon, dan wil dit zeggen dat dit lawaai even luid klinkt als een 1000 Hz toon met een geluidsdruk-niveau van 85 dB. Wanneer men de luidheid van dit lawaai b.v. voor de helft wil reduceren, dan zou men geneigd zijn te veronderstellen dat dan de oorspronkelijke 85 foon gereduceerd moet worden tot 42.5 foon. Dit blijkt echter niet het geval te zijn; om de luidheid te halveren zal het luidheidsniveau van 85 foon op ongeveer 75 foon gebracht moeten worden. De omstandigheid dat een luidheidsniveau in foons ons dus niet in evenredigheid de luidheid aangeeft en het voor het berekenen van de luid-

heid noodzakelijk is om over een schaal te beschikken, waar men verschillende luidheden kan *optellen* en *afrekken*, heeft er toe geleid voor luidheid een nieuwe eenheid in te voeren, de soon. De schaal welke geheel rechts in fig. 8 getekend is, geeft het verband aan tussen het luidheidsniveau in foon en de luidheid in soon. De luidheid neemt evenredig toe met het aantal soons. Zo zal b.v. een lawaai met een luidheid van 40 soon half zo luid klinken wanneer het 20 soon is.

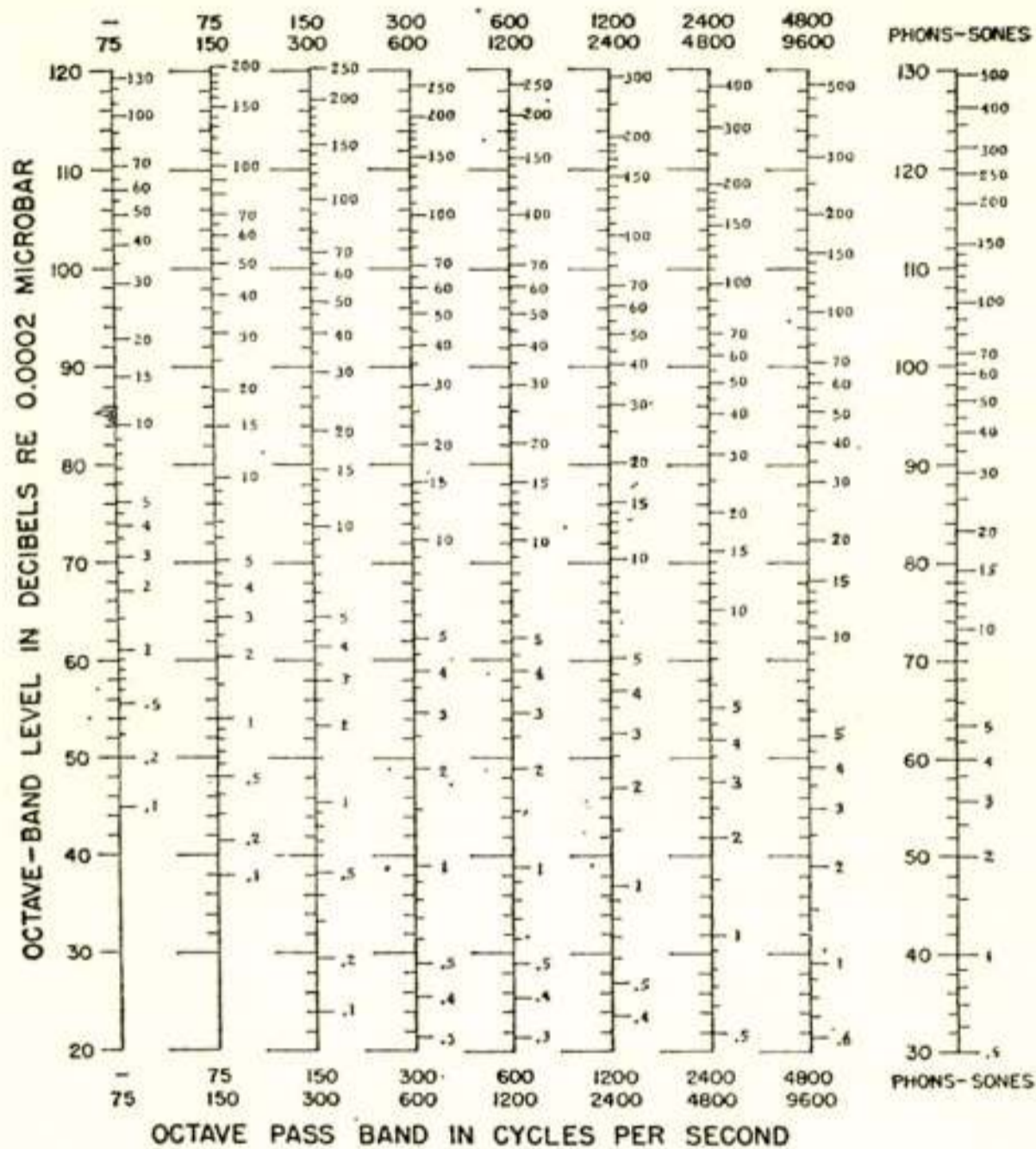


Fig. 8

De gemeten geluidsdrukniveau's in de verschillende banden kunnen met behulp van deze schalen direct omgezet worden in soon waarden.

Wanneer we terugkeren tot het oorspronkelijke voorbeeld van twee tonen van 200 en 2000 Hz met elk een luidheidsniveau van 85 foon dan ziet U dat ze elk 22,5 soon luid zijn en dus tezamen 45 soon of 95 foon. Geluiden welke wat frequentie betreft ver uiteen liggen zijn dus op de soon-schaal op te tellen, maar niet op de foon-schaal.

Om van een lawaai met een breed spectrum zoals het meeste lawaai is, dat in de industrie voorkomt, zoals opgewekt door machines, motoren enz. de luidheid in soon of het luidheidsni-

veau in foon te bepalen is het noodzakelijk het spectrum in een aantal stukjes te knippen zodat men als het ware een groot aantal geluidsbronnen overhoudt. Nu blijkt uit onderzoeken van Stevens dat geluiden waarvan de toonhoogten dicht bij elkaar liggen door het oor niet lineair volgens de soon-schaal worden opgeteld, en bovendien dat het luidste deel de zwakkere delen maskeert. Prof. Stevens heeft hiervoor een methode van berekenen ontwikkeld, welke in de praktijk goed blijkt te kloppen voor lawaai met een breed spectrum. Bovendien worden bij deze methode dezelfde filters gebruikt als in de geluidsdrukniveau-analysator type GRB.

De gemeten geluidsdrukniveau's worden voor elke band direct omgezet met behulp van fig. 8 in soon waarden. Vervolgens wordt de grootste gevonden soonwaarde geheel in rekening gebracht en de som van de overblijvende soonwaarden met 0,3 vermenigvuldigd en daarna bij de soonwaarde van de luidste band gevoegd. Deze uitkomst is dan de luidheid in soon en kan desgewenst omgezet worden in het luidheidsniveau in foon met de tabel geheel rechts in fig. 8

4. **Voorbeeld voor het berekenen van de luidheid in soon en het luidheidsniveau in foon**, uit de meetgegevens verkregen met de geluidsdrukniveau-analysator type GRB.

	dB	Soon	
A	74,5		
B	78		
C	79		
2	65	1,6	
3	69	4,5	
4	76	12	
5	65,5	6,5	
6	62	4,9	
7	67,5	8	
8	66	10,5	
9	63	10,5	

58,5

12,-

$46,5 \times 0,3 = 14$

12

14

26 soon = 87 foon

In de eerste kolom zijn de standen van de filter-keuze-scha-

kelaar aangegeven. In de standen *A*, *B* en *C* verloopt de frequentiekarakteristiek volgens z.g. waarderingcurven, zie fig. 6. Stand *C* is nagenoeg lineair. In de standen genummerd 2 tot en met 9 worden de verschillende octaaffilters van fig. 3 ingeschakeld.

In de tweede kolom van bovenstaand voorbeeld zijn de gemeten geluidsdruk-niveaus in dB boven $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ aangegeven.

In de derde kolom zijn de met behulp van fig. 8 omgezette soonwaarden aangegeven.

Het berekenen van de luidheid van dit lawaai is verder in dit voorbeeld volgens de methode Stevens geschied en de gevonden uitkomst 26 soon weer met behulp van fig. 8 omgezet

in de foon waarde. Uit dit voorbeeld blijkt eveneens nogmaals dat de direkt gemeten 'foon' waarde met behulp van de waarderingcurve sterk afwijkt van de berekende foon waarde n.l. in de stand *B* wordt hier 78 dB ('foon') gevonden, terwijl de berekende waarde 87 foon is.

Het lawaai van dit voorbeeld is een kleine huishoud centrifuge gemeten op circa 1 meter afstand in een keuken.

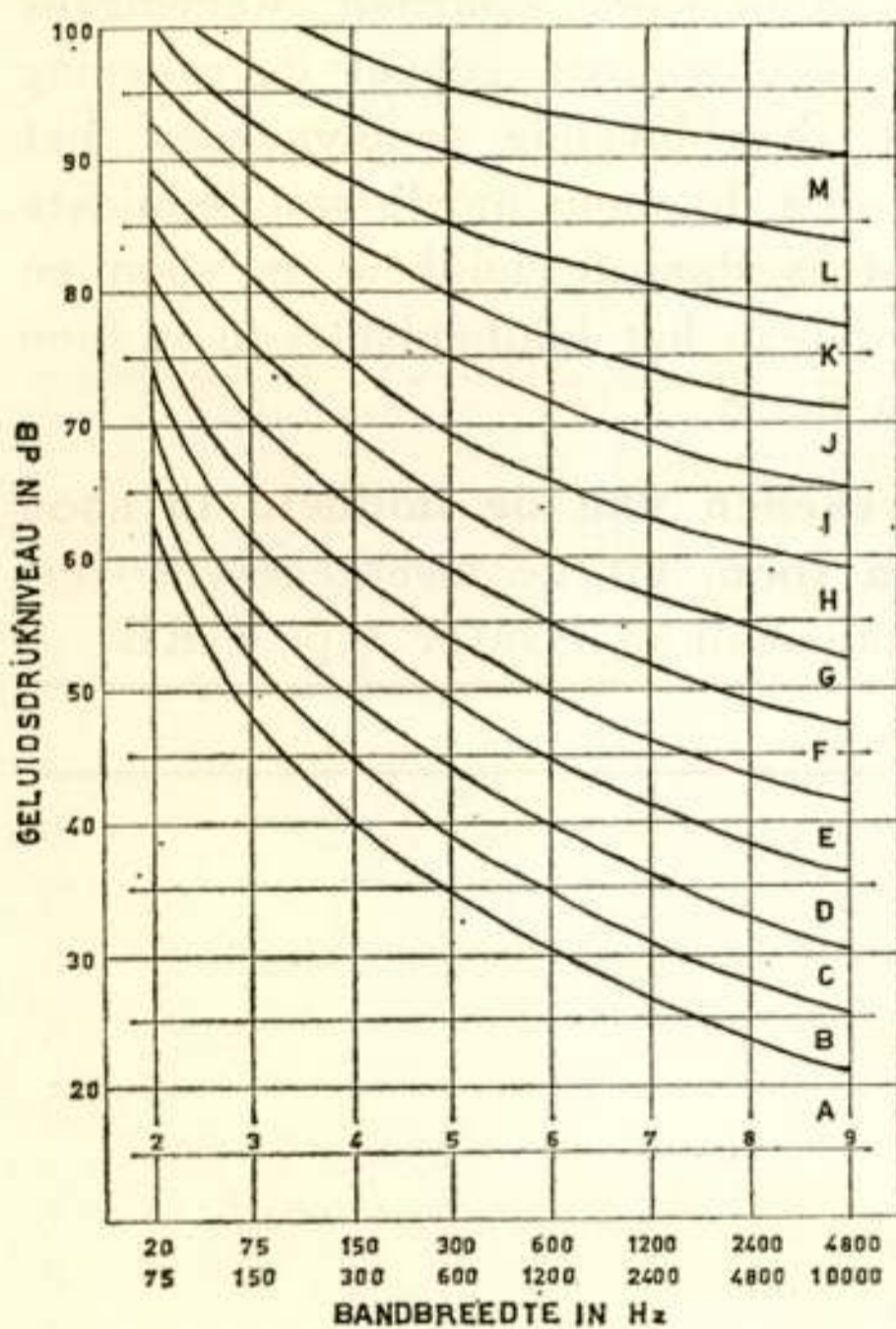


Fig. 9

Curven voor het bepalen van de lawaai-
graad. Elke zône begrensd door twee
lijnen gemerkt door een letter geeft de
graad van lawaai aan. De geluidsdruk-
niveau's in de verschillende octaaf banden
dienen in deze fig. uitgezet te worden. De
hoogste lawaai zône waarin één of meer
octaafband-niveaus binnendringen is de
lawaaigraad van dat geluid.

5. Geluidshinder.

Een ander toepassings-ge-
bied van de geluidsdruk-ni-
veau-analysator type GRB
is het bepalen van de hin-
derlijkheid van een lawaai.
Het is buitengewoon lastig
door objectieve metingen de
hinderlijkheid van een be-
paald lawaai te bepalen.

Hoewel hierboven een
methode is aangegeven om

de luidheid van een lawaai te bepalen, zegt de luidheid echter niets omtrent de hinderlijkheid. Om enige voorbeelden te noemen: het piepen van een krijtje op een schoolbord is beslist niet bijzonder luid, doch buitengewoon hinderlijk; het bromgeluid dat sommige fluorescentie-buisverlichtingen maken, zal vroeg in de avond niemand storen, doch s' nachts wanneer het volkomen stil is, kan hetzelfde geluid zeer hinderlijk zijn. Het tikken van een klok kan de ene dag een prettig en gezellig geluid zijn en de andere dag, afhankelijk van onze gemoedstoestand, zeer irriterend. In een slaapkamer zullen andere maatstaven omtrent hinderlijkheid gelden dan voor een kantoor of een woonkamer. Ook het karakter van het geluid en of het intermitterend of continu optreedt heeft invloed. Om te kunnen bepalen of een lawaai

TABEL I

Correctie-tabel voor het bepalen van de lawaaigraad.

		<i>Correctie</i>
<i>Karakter v. h. lawaai</i>	Componenten met zuivere tonen zijn aanwezig	+1
	Breed-band geruis	0
	Sterke pieken zijn aanwezig	+1
<i>Aantal keren dat het lawaai optreedt</i>	Continu tot één keer per minuut	0
	10 — 60 keer per uur	-1
	1 — 20 „ „ „	-2
	4 — 20 „ per dag	-3
	1 — 4 „ „ „	-4
	1 „ „ „	-5
<i>Achtergrond lawaai</i>	Buitengewoon rustige woonwijk	+1
	Rustige woonwijk	0
	Woonwijk	-1
	Woonwijk in de buurt van industrie	-2
	Omgeving van zware industrie	-3
<i>Tijd van de dag dat het lawaai optreedt</i>	's Nachts	0
	Alleen op de dag	-1
<i>Is er reeds lang lawaai van geringe sterkte opgetreden</i>	Geen	0
	Van matige sterkte	-1
	Vrij sterk	-2

voor een woonwijk als toelaatbaar, hinderlijk of als overlast moet worden beschouwd heeft er toe geleid verschillend lawaai in klassen onder te verdelen.

In fig. 9 zijn deze verschillende klassen of graden aangegeven. Elke zône begrensd door twee lijnen gemerkt door een letter geeft de graad van lawaai aan. De vorm van de zône is de spectrale verdeling van de geluidsdrukkniveau's.

Door nu met de geluidsdrukkniveau-analysator het spectrum te bepalen en de gemeten geluidsdrukkniveau's in te tekenen, kan bepaald worden met welke lawaaigraad men te doen heeft. De hoogste van de alphabetisch gemerkte lawaai-zônes waarin één of meer octaafband-niveau's binnendringen is de lawaaigraad van dat geluid. Nu behoort bij deze figuur nog een correctie-tabel (zie tabel I) welke geraadpleegd dient te worden

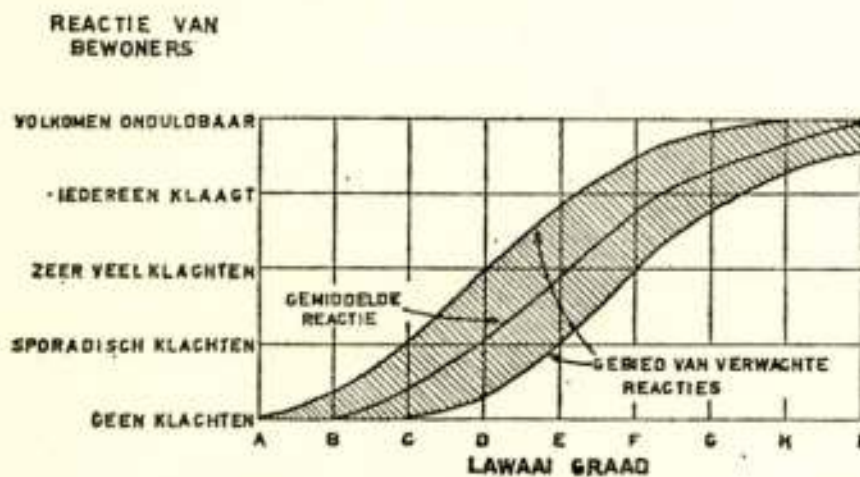


Fig. 10

De reactie van bewoners van een woonwijk, op lawaai van een bepaalde graad, kan uit bovenstaande fig. bepaald worden.

de mensen welke in deze woonwijk wonen op een dergelijke lawaaigraad zullen reageren.

6. Niet schadelijke lawaaigrens.

Een ander voorbeeld waar het eveneens noodzakelijk is het geluidsdrukkniveau spectrogram van een lawaai te kennen is wanneer men bevreesd is dat het lawaai dat b.v. in een fabriek wordt voortgebracht schadelijk voor het gehoor is. Vooral nu de machines steeds groter en krachtiger worden, zijn vele geluiden van een dusdanige intensiteit dat ze gemakkelijk traumatiserend zijn voor het gehoor.

Het diagram van figuur 11 geeft, ook weer gemeten in octaafbanden, het maximaal toelaatbare geluidsdrukkniveau weer, waarbij waarschijnlijk nog geen beschadiging van het oor optreedt, wanneer men dagelijks 8 uur aan deze geluidsdrukken wordt bloot-

om in de resultaten te verdisconteren de aard van het lawaai, de omgeving, op welke tijden het optreedt enz. enz.

De lawaaigraad wordt zoveel verhoogd of verlaagd als het correctie-cijfer aangeeft. Met de uiteindelijk verkregen lawaaigraad uitgedrukt in een letter wordt in figuur 10 opgezocht hoe

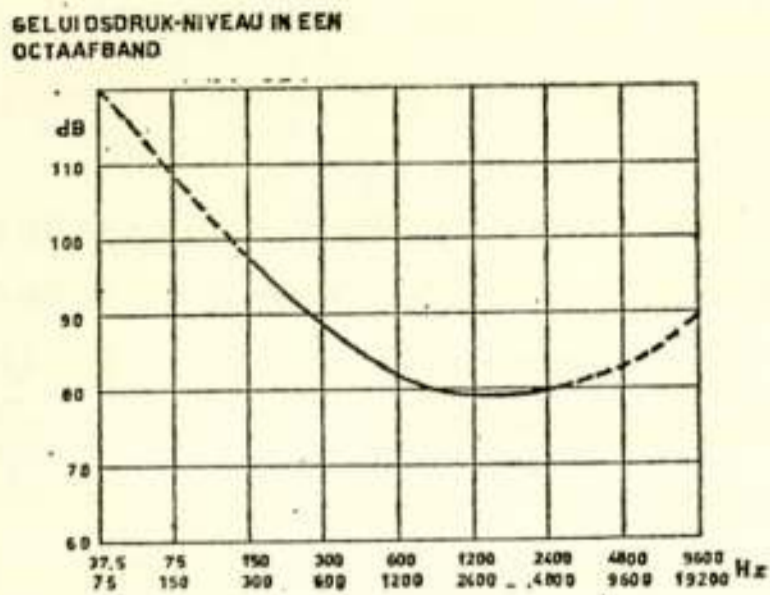


Fig. 11

Niet-schadelijke-lawaaigrens.

De lijn geeft de limiet aan waar beneden in normale gevallen (jaren lang 50 weken van 6 dagen van 7 uur in het lawaai) een verwaarloosbare kans op blijvende gehoorbeschadiging bestaat.

Nu blijkt hoofdzakelijk een gedeelte van het geluidsspectrum spraak het meest te storen en wel de octaafbanden 600 - 1200, 1200 - 2400 en 2400 - 4800 Hz. Door nu het gemiddelde geluidsdruk-niveau in dB in deze drie octaafbanden te nemen, krijgt men het spraakstoorniveau in dB. In de tabel II kan vervol-

gesteld. Deze niet-schadelijke lawaaigrens welke U hier ziet, is niet officieel erkend en er zullen nog wel enige onderzoeken gedaan moeten worden alvorens deze grens definitief bepaald is.

7. Spraakstoorniveau.

Het is dikwijls noodzakelijk te bepalen of in een bepaald lawaai conversatie mogelijk is. Dit kan belangrijk zijn b.v. in ruimten waar het voor de veiligheid noodzakelijk is dat de aldaar aanwezige mensen elkaar goed kunnen verstaan.

TABEL II

voor het bepalen van de mogelijkheid tot het voeren van een gesprek bij een bepaald spraakstoorniveau.

Afstand in meter	Normaal	Luid	Schreeuwen
0,15	71	83	89
0,3	65	77	83
0,6	59	71	77
1	55	67	73
1,5	51	63	69
2	49	61	67
3,5	43	55	61

Spraak stoorniveau in dB
t.o.v. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m²

gens opgezocht worden bij welke afstand met normaal of luid spreken of schreeuwen goede conversatie nog mogelijk is.

8. Maatstaven voor het toelaatbare achtergrond-lawaai.

Welk 'achtergrond' lawaai als toelaatbaar mag worden beschouwd hangt af van het doel waarvoor een bepaalde ruimte bestemd is. Met achtergrondlawaai wordt in dit geval verstaan het binnendringende geluid b.v. van verkeer of andere lawaai-bronnen van buiten de ruimte, alsmede het lawaai dat in de ruimte zelf of in het gebouw gemaakt wordt, b.v. door lucht-behandelingsinstallaties of het lawaai van schrijfmachines uit er naast gelegen ruimten enz.

De geschiktheid van een ruimte voor een bepaald doel wordt dus o.a. bepaald door het niveau en spectrale samenstelling van het achtergrondlawaai in die ruimte.

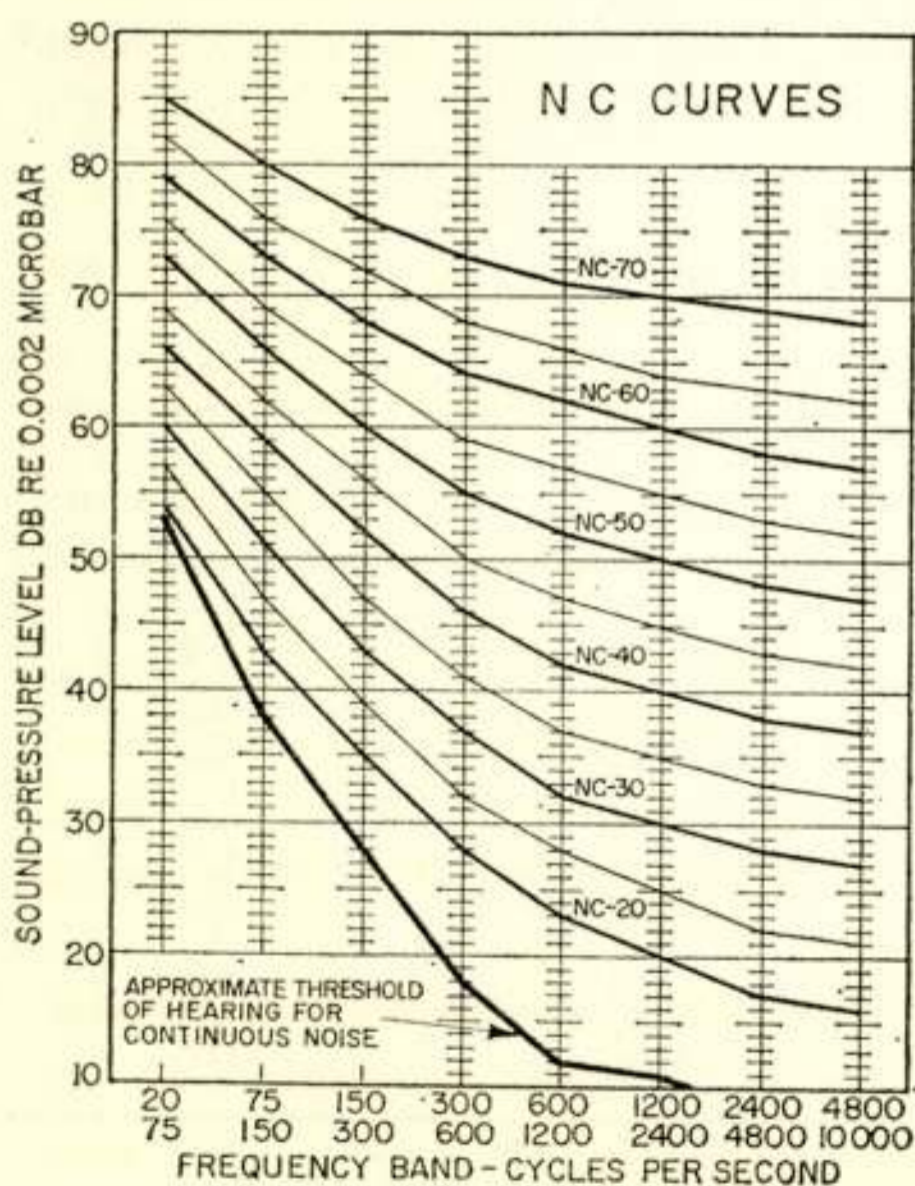
Door onderzoeken van Beranek is gebleken dat het mogelijk is afhankelijk van het gebruiksdoel van een ruimte een bepaalde spectrale verdeling van het achtergrondlawaai voor te schrijven, wil die ruimte voldoen aan de te stellen eisen.

Bij deze z.g. achtergrondlawaai criteria of noise criterion curven (*NC* curven), zie fig. 12, is uitgegaan van de gedachte dat er een bepaalde verhouding dient te bestaan tussen spraakstoorniveau in dB en het luidheidsniveau in foon wil de hinderlijkheid gelijkelijk

uitgesmeerd zijn over het gehele spectrum.

In fig. 12 geeft het getal bij elke curve het spraakstoorniveau weer, terwijl voor elke gehele curve het volgens de methode Stevens berekende luidheidsniveau in foon, 22 eenheden hoger ligt.

Deze curven worden dus gebruikt om de toelaatbare of wenselijke geluidsdrumniveau's in de verschillende banden voor een bepaalde ruimte te specificeren en door de bijzondere wijze waarop ze zijn samengesteld, komen ze over-



Noise levels to be measured in unoccupied rooms. Each noise criterion curve is a code for specifying permissible sound-pressure levels in eight octave bands. It is intended that in no one frequency band should the specified level be exceeded. Ventilating systems should be operating, and outside noise sources, traffic conditions, etc., should be normal when measurements are made.

Fig. 12

Type of Space	Recommended Curve	Type of Space	Recommended Curve
Broadcast studios	NC 15-20	Homes (sleeping areas)	NC 25-35
Concert halls	NC 15-20	Motion picture theatres	NC 30
Legitimate theatres (500 seats, no amplification)	NC 20-25	Hospitals	NC 30
Music rooms	NC 20-25	Churches	NC 30
Schoolrooms (no amplification)	NC 25	Courtsrooms	NC 30
TV studios	NC 25	Libraries	NC 30
Apartments and hotels	NC 25-30	Restaurants	NC 45
Assembly halls (amplification)	NC 25-30	Coliseums for sports only (amplification)	NC 50

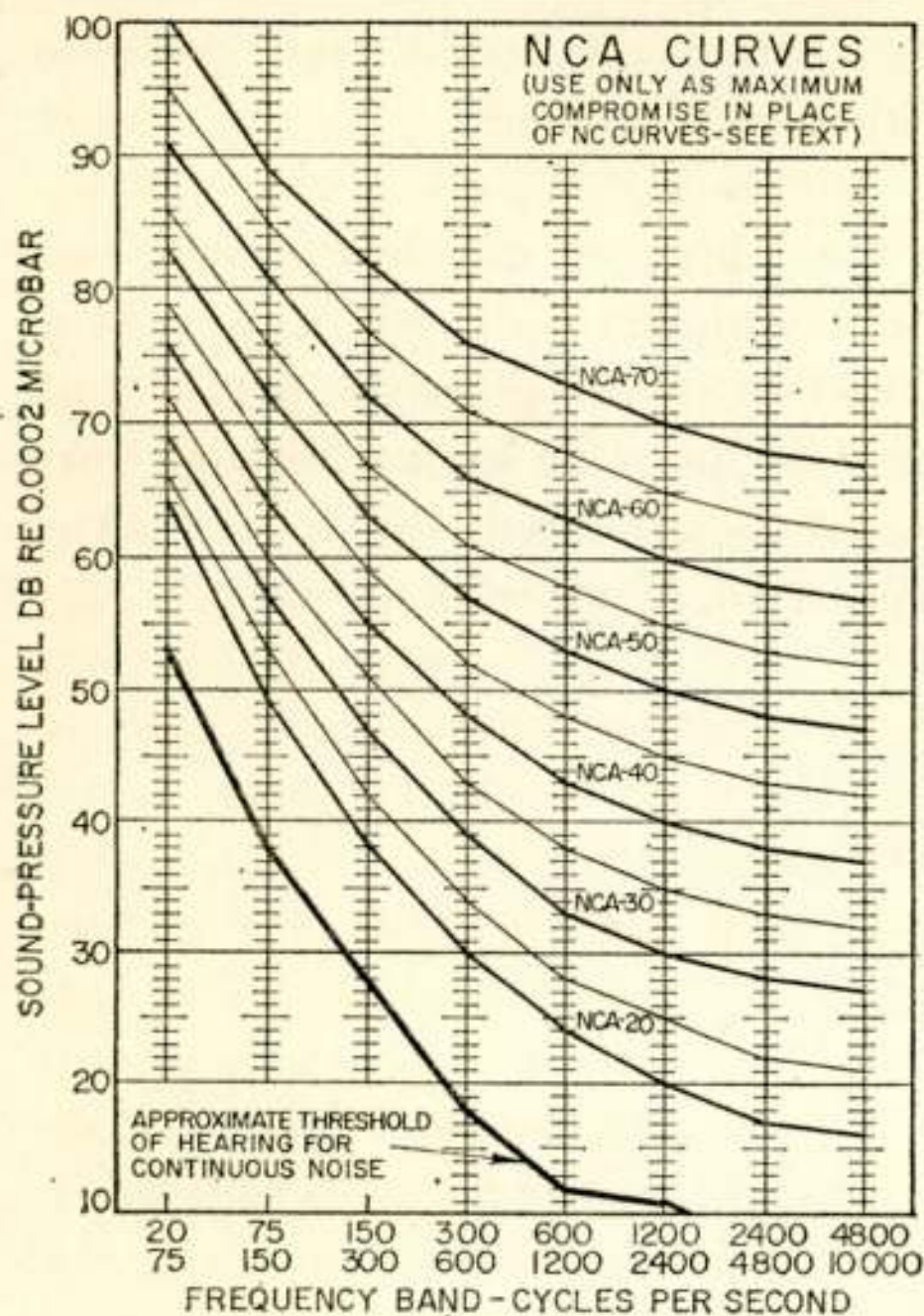


Fig. 13

een met de subjectieve indruk voor de meest gewenste verdeling van de geluidsdruk-niveau's tussen de hoge en lage frequenties.

Zo geldt voor:

concertzaal *NC 15-20*
 schoollokaal *NC 25*
 hotel-kamer *NC 25-30*
 bioscoop *NC 30*
 ziekenhuis *NC 30*
 restaurants *NC 45*

Indien om economische redenen de *NC* curven niet als norm gebruikt kunnen worden, zijn door Beranek nog z.g. *NCA* curven samengesteld. Dit zijn de maximum toelaatbare geluidsdruk-octaf-niveau's welke als achtergrondlawaai nog getolereerd zouden kunnen worden. Hierbij is het luidheidsniveau 30 eenheden groter dan het spraakstoorniveau. Zie fig. 13.

9. Slot

Deze opsomming van de verschillende metingen en berekening van de gegevens welke met de geluidsdruk-niveau-analysator type GRB gedaan kunnen worden, is geenszins volledig, echter de belangrijkste en nieuwste toepassingen op het gebied der lawaaimeting zijn hier behandeld.

Tot nu toe is er in Nederland weinig aandacht besteed om de luidheid uit te drukken in soon, hetgeen te betreuren is, omdat de luidheid in soon een veel beter beeld geeft, speciaal aan de niet ingewijden, dan het luidheidsniveau in foon.

Verder zou het wenselijk zijn om bij het opstellen van voorschriften omtrent toelaatbare luidheid b.v. van een of andere machine, niet de luidheid in soon voor te schrijven doch de

maximaal toelaatbare geluidsdrukniveau's in de verschillende octaafbanden. Hierbij wordt dan uitgegaan van gemakkelijk te meten zuiver fysische grootheden.

Natuurlijk is het noodzakelijk ook op te geven onder welke omstandigheden dus b.v. afstand, plaats en in welke ruimte gemeten wordt, aangezien deze omstandigheden zeer grote invloed op het meetresultaat kunnen uitoefenen.

Moge deze voordracht er toe bijdragen dat het inzicht veld wint dat voor nagenoeg alle lawaaimetingen het noodzakelijk is tenminste een geluidsdrukniveau-spectrogram in octaafbandbreedte op te nemen, temeer daar door de kleine handige vorm waarin de besproken analysator is gebouwd, dit in de praktijk ook beslist niet meer gecompliceerd of moeilijk is.

Het meten van richtingsdiagrammen en overgangsverschijnselen aan luidsprekers

door C. Wansdronk *)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap en de Geluidstichting op 22 mei 1958.

Summary

Apart from the measurement of frequency and phase characteristics of loudspeakers, it is important to know their direction pattern and transient phenomena.

This article contains a description of the apparatus for rapid measurement of the latter two properties by making them visible on the screen of an oscillograph.

Naast de gebruikelijke metingen die aan luidsprekers worden gedaan, zoals het opnemen van de frequentiekaracteristiek, de fasekaracteristiek en het bepalen van de vervorming als functie van het afgegeven vermogen, is het van belang ook het richtingsdiagram en de in- en uitslingerverschijnselen te kennen.

Richtingsdiagrammen.

De eisen die men aan de richtingskaracteristiek van een luidspreker of luidsprekersysteem stelt, zijn afhankelijk van het doel waarvoor ze zijn bestemd.

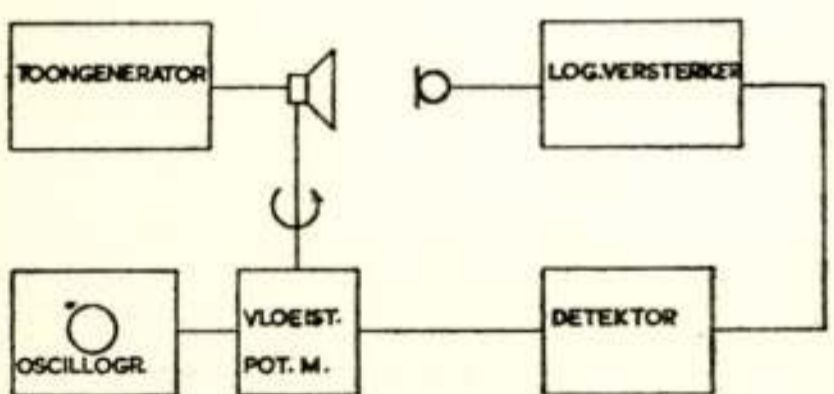


Fig. 1

Blokschema van het meetapparaat voor richtingsdiagrammen.

Als uitersten gelden de bolstraler, een systeem dat naar alle kanten even veel vermogen afgeeft, zoals we dat bij muziekweergave in de huiskamer verlangen, met daartegenover een systeem dat de energie zo veel mogelijk bundelt, zoals bijvoorbeeld een

*) Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven-Nederland.

stationsomroep. Gezien de frequentieafhankelijkheid van richtingsdiagrammen is het vooral bij het construeren van luidsprekers en systemen noodzakelijk de beschikking te hebben over een apparaat dat deze diagrammen snel zichtbaar kan maken. Het daartoe ontwikkelde toestel is schematisch in fig 1 weergegeven.

Een luidspreker, al of niet in kast, straalt een toon van bepaalde frequentie uit in een echovrije ruimte, en draait daarbij rond om een te kiezen as. De luidspreker wordt gevoed door een toongenerator. Een stilstaande microfoon vangt het in zijn richting gestraalde geluid op en het uitgangssignaal van deze microfoon wordt logaritmisch versterkt en gedetecteerd. Achter de detector is een zogenaamde vloeistofpotentiometer geschakeld, die zorgt dat een cirkel op een oscillograafbuis wordt geschreven, die radiaal gemoduleerd wordt door het van de detector afkomstige signaal. De werking van deze vloeistofpotentiometer kunnen we ons het beste voorstellen aan de hand van fig. 2. In een perspex bakje bevindt zich een geleidende vloeistof, aethyleenglycol.

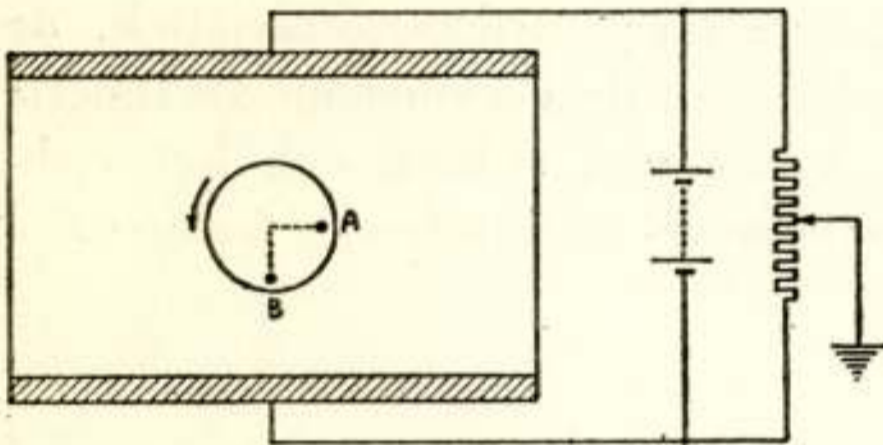


Fig. 2

De vloeistofpotentiometer. Bij draaiing der schijf doorlopen de punten *A* en *B* elk een sinusvormig potentiaalveld, met een onderling faseverschil van 90° .

punten *A* en *B* van grafiet. Sluiten we over de koolplaten een spanningsbron aan die in het midden geaard is, dan is het duidelijk, dat de potentiaal van elk van de beide contactpunten sinusvormig met de tijd zal variëren. Met de spanning van het ene punt bedienen we de horizontale afbuiging van de electronstraal van de oscillograaf met die van het andere punt de vertikale afbuiging. Bij draaiing van de schijf zal nu een cirkel op het scherm verschijnen, mits de beide contactpunten 90° uit elkaar liggen. Denken we ons nu de getekende spanningsbron vervangen door de uitgang van de detector welke dubbelfasig

vloeistof, aethyleenglycol. Tegen twee tegenoverliggende wanden van het bakje bevinden zich koolplaten in deze vloeistof waartussen we een weerstand van $100\text{ K}\Omega$ meten. Een geïsoleerde schijf, waarvan de as zich midden tussen de koolplaten bevindt, kan in dit bakje ronddraaien en loopt synchroon met de luidspreker. Op deze schijf bevinden zich twee contact-

is uitgevoerd dan wordt de cirkel door het gedetecteerde signaal radiaal gemoduleerd, en verschijnt het vereiste richtingsdiagram op de beeldbuis.

De omwentelingstijd bedraagt ongeveer 1 sec. en wordt hoofdzakelijk begrensd door de snelheid waarin men een systeem kan laten ronddraaien zonder dat het daarvan nadelige invloed ondervindt. Wil over een hoekverdraaiing van 5° nog een volledige uitslag op het scherm mogelijk zijn dan zal de

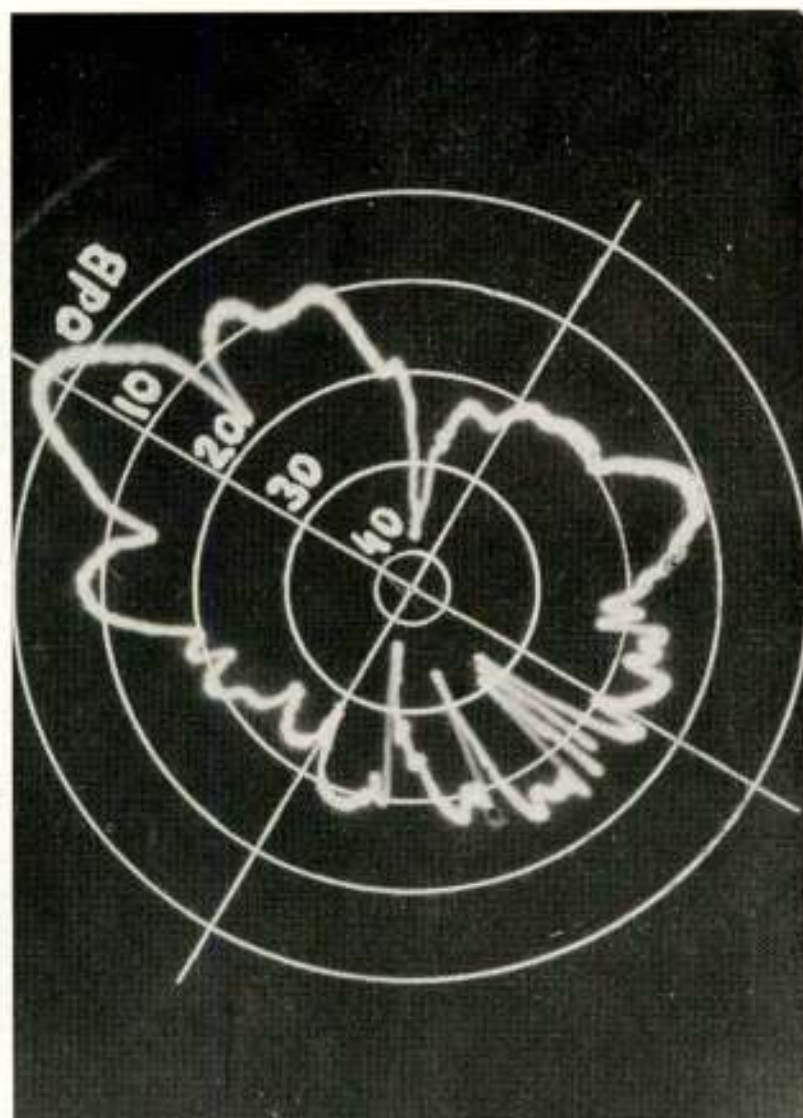
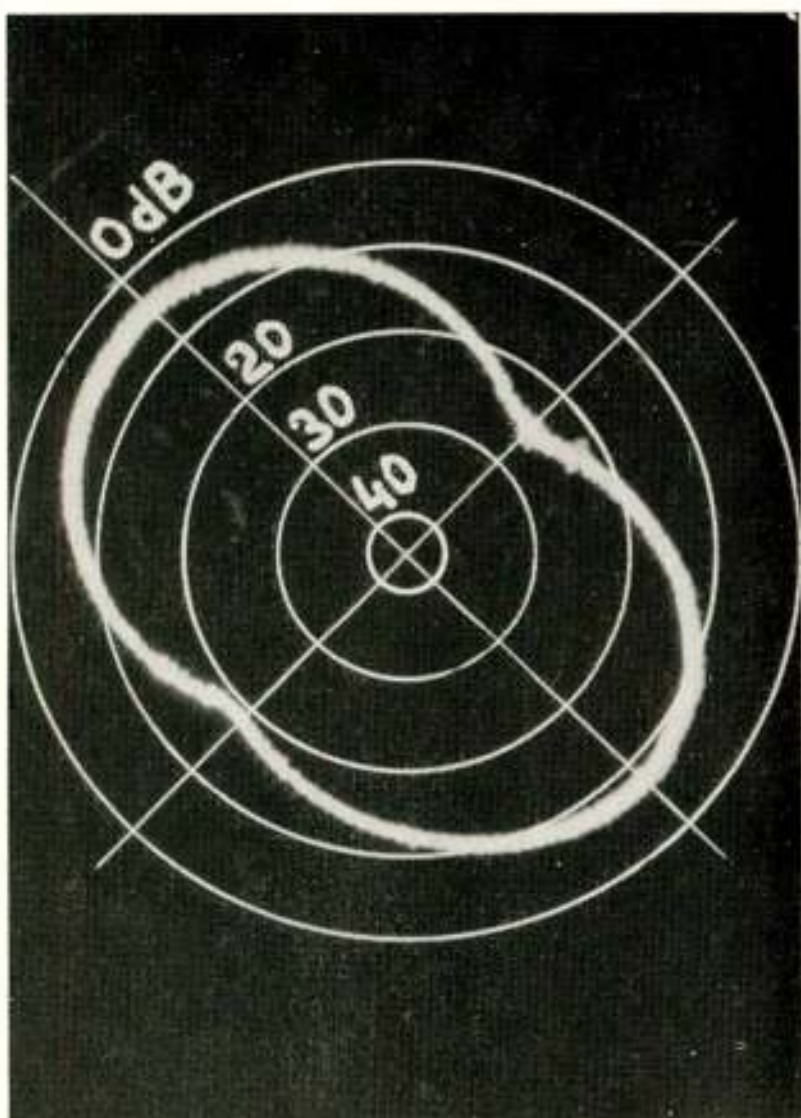


Fig. 3

Richtingsdiagram van een luidspreker bij 520 Hz.

Fig. 4

Richtingsdiagram van een luidspreker bij 16000 Hz.

RC -tijd van het afvlakfilter in de detector niet groter dan $\frac{5}{360} \times 1 = \frac{1}{72}$ sec. mogen zijn.

Uiteraard kan men met behulp van de hier beschreven apparatuur ook richtingsdiagrammen van andere objecten meten, zoals bijvoorbeeld van een lichtbron. De luidspreker wordt dan vervangen door de te meten lamp, de microfoon door een fotocel. De logaritmische versterking is niet essentieel doch bij akoestische metingen wel gewenst.

De figuren 3 en 4 tonen ons richtingsdiagrammen van een enkele luidspreker bij resp. 520 Hz en 16000 Hz.

Overgangsverschijnselen.

Naast het belang van de meting van richtingsdiagrammen moge dat van het meten van in- en uitslingerverschijnselen uit het volgende blijken.

De consonanten geven in de spraak de meeste informatie. Zou men in een geschreven zin alle klinkers door puntjes vervangen, dan bestaat er een redelijke kans dat men de zin nog kan lezen, hetgeen wel niet het geval zou zijn indien we de medeklinkers zouden weglaten en de klinkers laten staan.

Toch zijn sommige medeklinkers niet meer dan een of andere gekleurde ruis terwijl de explosieven slechts een kenmerkend inschakelverschijnsel bevatten, hetwelk de meeste informatie moet geven.

Diegene die wel eens elektronische muziek heeft beluisterd zal zijn opgevallen dat deze muziek vaak droog klinkt. Naast een misschien te harmonische ligging der boventonen van de langs elektronische weg opgewekte klanken missen we hier toch ook wel de karakteristieke inslinger-effekten die bijvoorbeeld sommige blaasinstrumenten typeren.

En gaat niet elke musicus bij lang aangehouden tonen vibreren? Het gaat bij de perceptie vaak om de verandering, de afgeleide naar tijd of plaats. Bij het oog gaat het om contrasten, verandering naar de plaats, terwijl we na verloop van tijd een bepaald beeld adapteren en alleen nog datgene zien wat zich in dat beeld wijzigt.

Het belang der bestudering van de overgangsverschijnselen

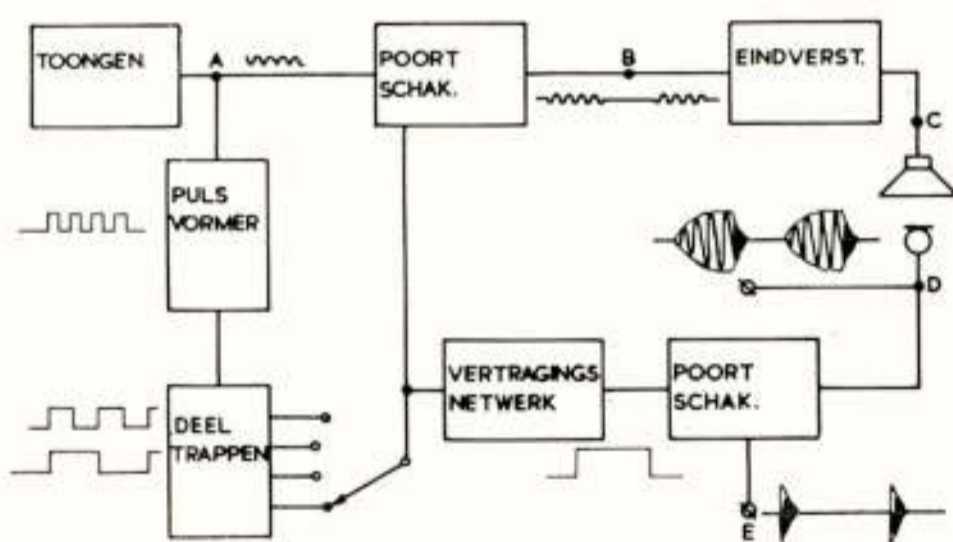


Fig. 5

Blokdiagram van het meetapparaat voor overgangsverschijnselen.

ook bij luidsprekers, moge hiermee nog niet zijn aangetoond, maar wel plausibel gemaakt.

Nu is het wel zo, dat bij een enkelvoudig systeem uit de frequentie-karakteristiek valt uit te rekenen hoe het gedrag bij transiënten zal zijn, maar een ieder weet, dat dit bij luidsprekers tot de onmogelijkheden behoort.

Derhalve heeft het juist hier zin om direkt te meten hoe de overgangsverschijnselen er uit zien en wat het verband

is met de klank en de frequentiekaracteristiek van de luidspreker.

In fig. 5 is het blokschema getekend van het apparaat waarmee deze transiënten kunnen worden gemeten. Met een toongenerator wordt een pulsvormer bediend, die van het sinusvormige signaal rechte blokjes maakt. Deze blokjes worden in een deeltrap gestuurd waaruit we dan blokken krijgen die 4, 8, 16 of 32 perioden breed zijn. Deze blokspanning bedient een poortschakeling waarin ook de oorspronkelijke sinus wordt gestuurd welke hier in stukjes wordt gehakt, die ook 4, 8, 16 of 32 perioden bevatten. Tussen deze golftreintjes liggen stille stukken die even lang duren als het treintje. De pulstreintjes worden dan via een versterker naar de luidspreker gestuurd welks geluid wordt opgevangen door een microfoon. Het microfoonsignaal geeft dan de pulstreintjes voorzien van de in- en uitslingerverschijnselen van de luidspreker in combinatie met de eindversterker en eventueel een kast. Dat de microfoon kritisch gedempt moet zijn en een rechte frequentiekaracteristiek bij grote bandbreedte moet hebben is duidelijk. Willen we alleen het uitslingerverschijnsel bekijken dan dienen we de pulstreintjes zelf uit te snijden. De deeltrap bedient derhalve ook nog een vertragingsnetwerk om voor de looptijd tussen luidspreker en microfoon te kunnen corrigeren. Het blokje van de deeltrap wordt daartoe gedifferentieerd en de aldus verkregen positieve en negatieve puls bedienen elk een monostabiele multivibrator. De tijd, na het omklappen, waarna deze multivibratoren weer terugslaan naar hun stabiele stand is instelbaar en kan gelijk gemaakt worden aan de looptijd van de geluidsgolf tussen luidspreker en microfoon. Van de aldus vertraagde pulsen wordt weer een blokje gemaakt dat een poortschakeling bedient welke dus uiteindelijk alleen maar het uitslingerverschijnsel doorlaat. Om te zorgen dat de inslingering tot rust is gekomen voordat de uitslingering begint, blijkt dat een pulstreintje van 32 perioden in alle gevallen voldoende is.

De spanningen op de punten *A*, *B*, *C*, *D* en *E* zijn zichtbaar te maken op een oscillograaf.

Het eerste punt waar te grote in- en uitslingertijden kunnen optreden ligt bij de resonantiefrequentie. Door het kiezen van een geschikte demping zijn deze te vermijden. Tussen 400 en 1200 Hz hebben we dan doorgaans geen last en de frequentiekaracteristiek is daar dan ook meestal recht. Boven 1200 Hz gaat de conus opbreken, hij trilt niet meer als een

geheel, verschillende punten van de conus hebben verschillende fasen. Hier kunnen dan weer te grote overgangstijden optreden gepaard gaande aan pieken en dalen in de frequentiekaracteristiek. Een zo recht mogelijke karakteristiek is altijd het beste.

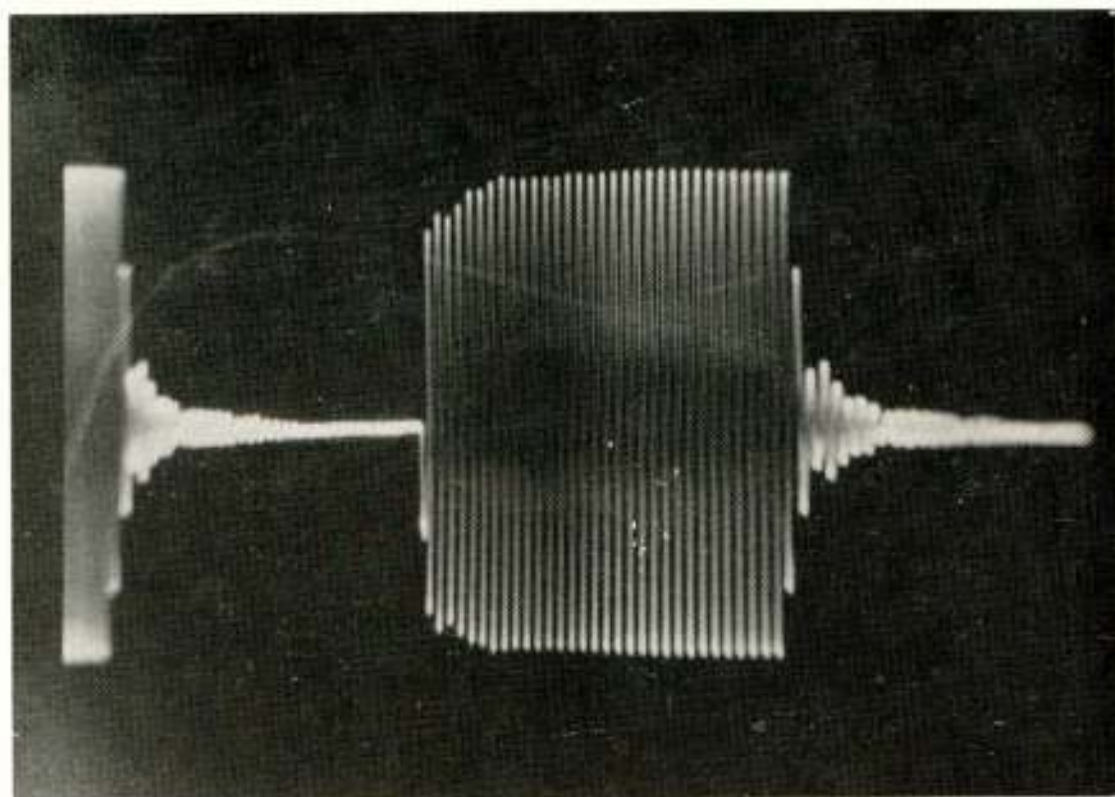


Fig. 6

In- en uitslingering van een luidspreker bij 3500 Hz.

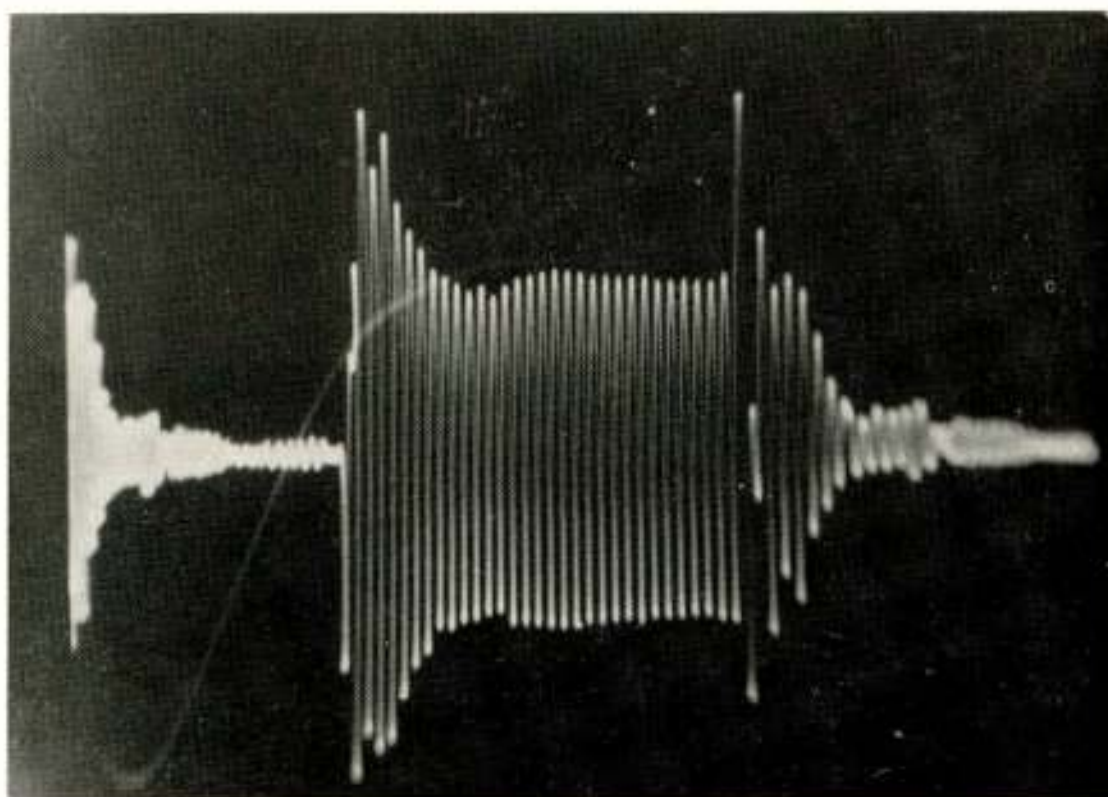


Fig. 7

In- en uitslingering van een luidspreker bij 6400 Hz.

Het vermijden van de te lange in- en uitslingeringen in het hoge gebied is een kwestie van de manier waarop de pap, waaruit de conus wordt geschept, is behandeld.

Indien de in- en uitslingertijden van het luidsprekersysteem maar beneden die van het weer te geven signaal blijven, zullen we nergens last van hebben. Zo niet, dan krijgen we de be-

kende holle, nasale of scherpe klank, soms gecombineerd met de indruk van galm, al naar gelang de gebreken meer in het lage, midden of hoge tonengebied liggen.

Fig. 6 laat zien hoe een luidspreker in- en uitslingert bij 3500 Hz. Duidelijk is te zien dat de conus na ongeveer 8 perioden is ingeslingerd. De uitslingering duurt uiteraard even lang en draagt hetzelfde karakter.

Fig. 7 geeft een voorbeeld van de in- en uitslingering bij een hogere frequentie, in dit geval 6400 Hz.

Vraag. (Dr. Ir. J. J. Geluk):

1. Hoe is het overgangsverschijnsel bij diverse herhalingsfrequenties? Slingert zich het overgangsverschijnsel hier niet door op?
2. Wat betekenen subjectief deze 'mooie' overgangsfiguren? Indien er fabricageëisen zijn gesteld op dit gebied aan luidsprekers, hoe zijn deze dan?

Antwoord:

1. De pulstreintjes liggen zo ver uit elkaar dat de luidspreker pas weer signaal krijgt nadat hij volkomen tot rust is gekomen. Anders zouden we inderdaad een opslinging krijgen.
2. Indien de overgangsverschijnselen in een bepaald gebied te groot worden kunnen we dit horen doordat de luidspreker een onnatuurlijk geluid gaat weergeven. We moeten er dus voor zorgen dat de transiënten van de luidspreker beneden die van het weer te geven signaal blijven opdat ze geen hoorbaar hinderlijk effect geven.

Het meten van de geluidabsorptie

door G. J. van Os *)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap en de Geluidstichting op 22 mei 1958.

Summary

There are two principally different definitions of the sound absorption coefficient: one derived from the reverberation in a room, the other one directly from the reflecting properties of the sample. The former one is determined in a reverberation chamber, and gives a fairly good impression about the absorption characteristics when the material in question is used in practice. Moreover all sorts of samples can be investigated in the reverberation chamber. The latter one is measured mostly in the travelling wave tube. This instrument is indispensable for the study of absorption theories and the development of materials, but only a limited number of sound absorbing materials can be investigated and the results obtained cannot be applied immediately in practice.

Both methods are treated in brief.

Er zijn twee definities van geluidabsorptie in omloop; één, die men praktisch zou kunnen noemen, gaat uit van het verschijnsel dat geluid in een gesloten ruimte des te korter hoorbaar blijft naarmate de begrenzingen van deze ruimte het geluid beter opslorpen of absorberen. De andere meer theoretische definitie gaat uit van de bij de terugkaatsing van de geluidsgolven door dissipatie verloren gaande fractie van de trillingsenergie. Beide uitgangspunten vertonen min of meer ernstige bezwaren; zij zijn dan ook geen van beide universeel bruikbaar. Dat zij echter - noodgedwongen - door elkaar heen worden gebruikt en men - helaas - dikwijls verzuimt expliciet te vermelden uitgaande van welke definitie men zijn meetresultaten heeft verkregen draagt veel bij tot de helaas toch al niet te verwaarlozen spraakverwarring op akoestisch gebied.

De theoretische definitie en de daarop aansluitende meetmethoden.

Geluidabsorptie is volgens dit gezichtspunt het verschijnsel dat een geluidsgolf een gedeelte van zijn energie verliest tenge-

*) Technisch Fysische Dienst T.N.O. en T.H.

volge van dissipatie, dus omzetting van akoestische trillings-energie in warmte; dit kan zowel bij de voortplanting van de golf door een medium het geval zijn (absorptie in de lucht, in bouwconstructies, enz.) als bij de terugkaatsing van de golf tegen het „scheidingsvlak” tussen twee media. (Men gelieve hier dit vlak niet in de mathematische betekenis op te vatten.) Wij zullen ons tot deze laatste soort absorptie bepalen. De bekende geluidabsorberende materialen ontleen hun waarde juist aan dit verschijnsel: bekleedt men een plafond met b.v. zachtboard, dan wordt de op dit plafond vallende geluidgolf slechts verzwakt teruggekaatst. De *absorptiecoëfficiënt* geeft aan welke fractie van de invallende geluidenergie bij de kaatsing verdwijnt. Deze coëfficiënt is vooral afhankelijk van de invalshoek van het geluid en van de frequentie, doch daar niet alleen de oppervlakte van het materiaal, doch de gehele achter dit oppervlak liggende constructie van belang kan zijn, doet men goed te spreken van de absorptiecoëfficiënt van de gehele constructie, b.v. zachtboard-tegel aangebracht onmiddellijk tegen een gepleisterde muur.

a. *De normale interferometer*

Het eenvoudigst voor meting vatbaar is de absorptiecoëfficiënt voor loodrecht op het monster invallend geluid; de hiervoor gangbare meetinstrumenten worden hier te lande akoestische interferometers (of „rhocetrons”), in het buitenland travelling wave tubes, Kundtsche Röhren, tubes de Kundt genoemd. Een principeschets geeft fig. 1. U ziet een aan de binnenzijde glad afgewerkte buis, aan de uiteinden afgesloten met het te onderzoeken monster en met een luidspreker. Men laat de luidspreker nu een enkelvoudige trilling produceren, er ontstaat een lopende golf die inderdaad loodrecht op het monster invalt. De - eveneens loodrecht - teruggekaatste golf „interfereert” met

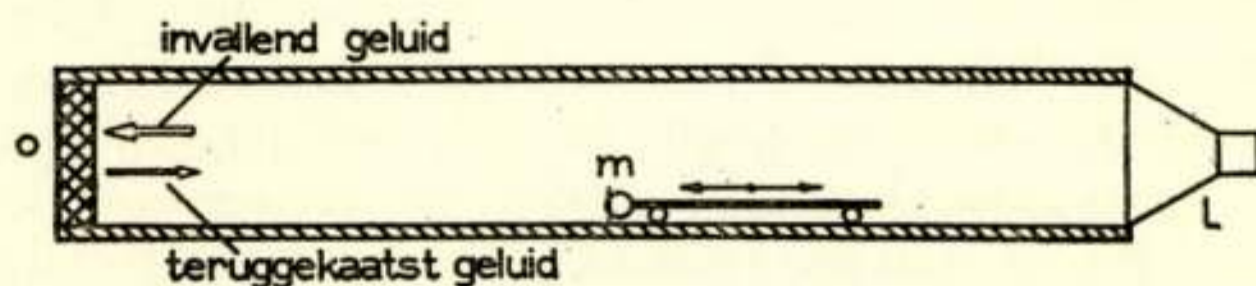


Fig. 1

De akoestische interferometer in principe. De luidspreker *L* produceert in de gladde buis een geluidgolf, die door monster *O* geheel of gedeeltelijk wordt teruggekaatst. Met de microfoon *M* wordt het aldus in de buis optredende geluidveld uitgemeten.

de invallende golf. Hierdoor ontstaan knopen en buiken in de buis, dat zijn resp. plaatsen met minimale en met maximale geluiddruk. Was het monster ideaal geluidabsorberend (absorptiecoëfficiënt gelijk één, alle invallende akoestische energie wordt in warmte omgezet), dan zou er geen teruggekaatste golf zijn, en dus ook geen knopen en buiken: overal zou dezelfde geluiddruk heersen. In het tegenovergestelde geval (absorptiecoëfficiënt gelijk nul) verkrijgt men een zgn. staande golf, met geluiddruk gelijk nul in de minima. Men meet nu de verhouding μ tussen de geluiddruk in de maxima en die in de minima en kan daaruit de absorptiecoëfficiënt berekenen volgens de - hier niet af te leiden - formule:

$$a = 1 - \left(\frac{\mu - 1}{\mu + 1} \right)^2.$$

Uit de plaats van de maxima en minima t.o.v. het monster kan men nog een gegeven afleiden t.a.v. de phasehoek tussen de invallende en de gereflecteerde geluidsgolf; deze phasehoek is van belang voor het begrijpen van de eigenschappen van het monster. Absorptiecoëfficiënt en phasehoek leveren tezamen de zgn. impedantie, d.i. de complexe verhouding tussen geluiddruk en deeltjessnelheid ('rapheid') aan het oppervlak van het monster.

De eerste vraag die opkomt bij het construeren van een interferometer is: welke afmetingen moet de buis bezitten? Deze afmetingen hangen direct samen met het frequentiegebied waarin men de metingen wenst te verrichten. De lengte moet n.l. minstens zo groot zijn, dat ook bij de laagste meetfrequentie zowel een maximum als een minimum in de buis kunnen optreden; aangezien de afstand tussen beide $1/4$ golflengte bedraagt, en in sommige gevallen het dichtst bij het monster gelegen minimum eveneens $1/4$ golflengte van het monster verwijderd is, komt men op een minimale lengte van $\frac{1}{2}$ golflengte. Voor nauwkeuriger metingen is het wenselijk twee minima in de buis te kunnen herbergen; de lengte wordt dan $3/4$ golflengte. Voeg daarbij dan nog zeg $1/4$ golflengte aan de zijde van de luidspreker om de door deze geproduceerde golven de gelegenheid te geven voldoende vlak te worden (vlakke golven zijn per definitie noodzakelijk voor de meting), dan betekent dit dat voor een meetfrequentie van 50 Hz de buis tenminste 6,5 m lang moet zijn, voor 500 Hz 65 cm en voor 5000 Hz 6,5 cm. De dwarsdoorsnede van de buis maakt men enerzijds liefst zo groot mogelijk, om bij de metingen op een niet al te klein monster aangewezen te zijn; anderzijds geeft de eis van vlakke golven een grootste

diameter gelijk aan $\frac{1}{2}$ golflengte (althans bij een vierkante doorsnede van de buis). Dus: meten tot 1000 Hz: diameter maximaal 17 cm; tot 10.000 Hz: 1,7 cm. Het is duidelijk dat men in het laatste geval een aantal monsters van elk materiaal moet onderzoeken om een indruk te krijgen van de gemiddelde eigenschappen; bij een grotere buis worden automatisch de gemiddelde eigenschappen van het dan grotere monster bepaald.

Men kan aan deze voorwaarden, die onontkoombaar lijken te voeren tot verschillende buizen voor het gehele frequentie gebied van zeg 50 tot 10000 Hz, voldoen door een vrij lange en dikke buis te gebruiken, en die voor het meten bij hoge frequenties met schotten onder te verdelen. Hieraan zijn echter verschillende bezwaren verbonden. Een andere uitweg bestaat in het plaatsen van de microfoon zuiver in de hartlijn van de buis, waardoor bij de eenvoudigste typen dwarse golven, zoals deze optreden in de nabijheid van de frequentie waarvoor de dwarsdoorsnede gelijk $\frac{1}{2}$ golflengte is, de microfoon zich steeds in een drukminimum bevindt en dus ongevoelig is. Op deze wijze lukt het de bovenste frequentiegrens bijna een faktor twee naar boven te verschuiven (dus een 17 cm buis is bruikbaar tot

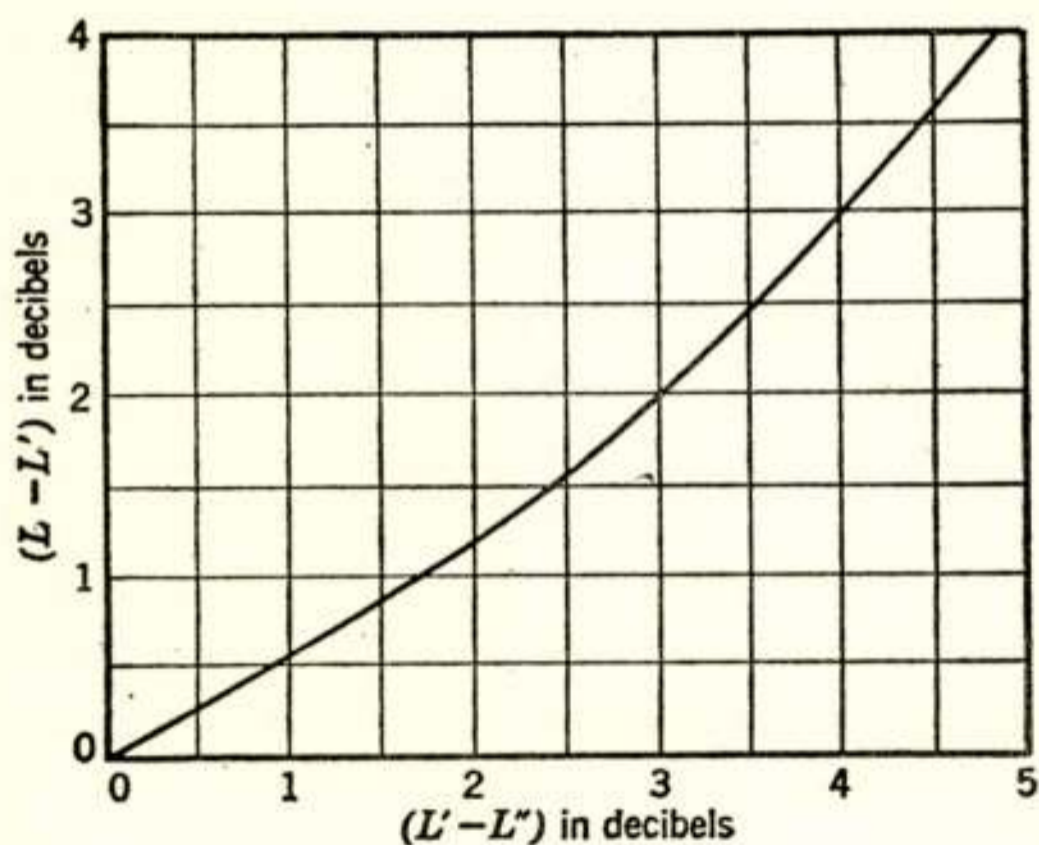


Fig. 2

Door wandabsorptie in de interferometer is het geluidniveau in de minima te hoog. Deze fout is te elimineren door het niveau in het eerste minimum te corrigeren met een aantal dB, dat afhangt van het niveauverschil tussen eerste minimum en tweede minimum.

De grafiek toont deze afhankelijkheid: correctie $(L - L')$ als functie van niveauverschil $(L' - L'')$.

ca 2000 Hz). Ook is voorgesteld tussen meetbuis en monster een exponentiële hoorn aan te brengen, waardoor ook aan een groot monster bij betrekkelijk hoge frequenties gemeten kan worden. De volgende vraag is wel: uit welk materiaal dient de buis te worden vervaardigd? Het antwoord hierop is vrij eenvoudig te geven; immers men wenst de geluidsabsorptie van het monster te bepalen; bij afwezigheid van een monster (b.v. stalen plaat als afsluiting)

moet men dus een absorptiecoëfficiënt van 0,00 vinden. De in de buis lopende golven worden echter verzwakt door de absorptie van de buiswanden en dit leidt tot een schijnbare absorptie van het monster. Deze zgn. nulabsorptie kan men niet eenvoudig van de gemeten absorptie aftrekken om de werkelijke monsterabsorptie te vinden. Het is dus zaak deze wandabsorptie zo klein te maken als maar praktisch mogelijk is, dus gladde, zware en stijve wanden te gebruiken. Steeds blijft echter een zeker wandabsorptie over, daar bij de wanden geen adiabatische condities kunnen heersen, waardoor trillingsenergie verloren gaat. Men kan voor de nulabsorptie corrigeren met behulp van de in fig. 2 gegeven kromme; horizontaal vindt men het niveauverschil tussen 1e en 2e minimum (geteld vanaf het monster), vertikaal het daarbij behorende aantal dB dat van het niveau in het eerste minimum afgetrokken moet worden om het 'echte' minimumniveau zonder nulabsorptie te vinden.

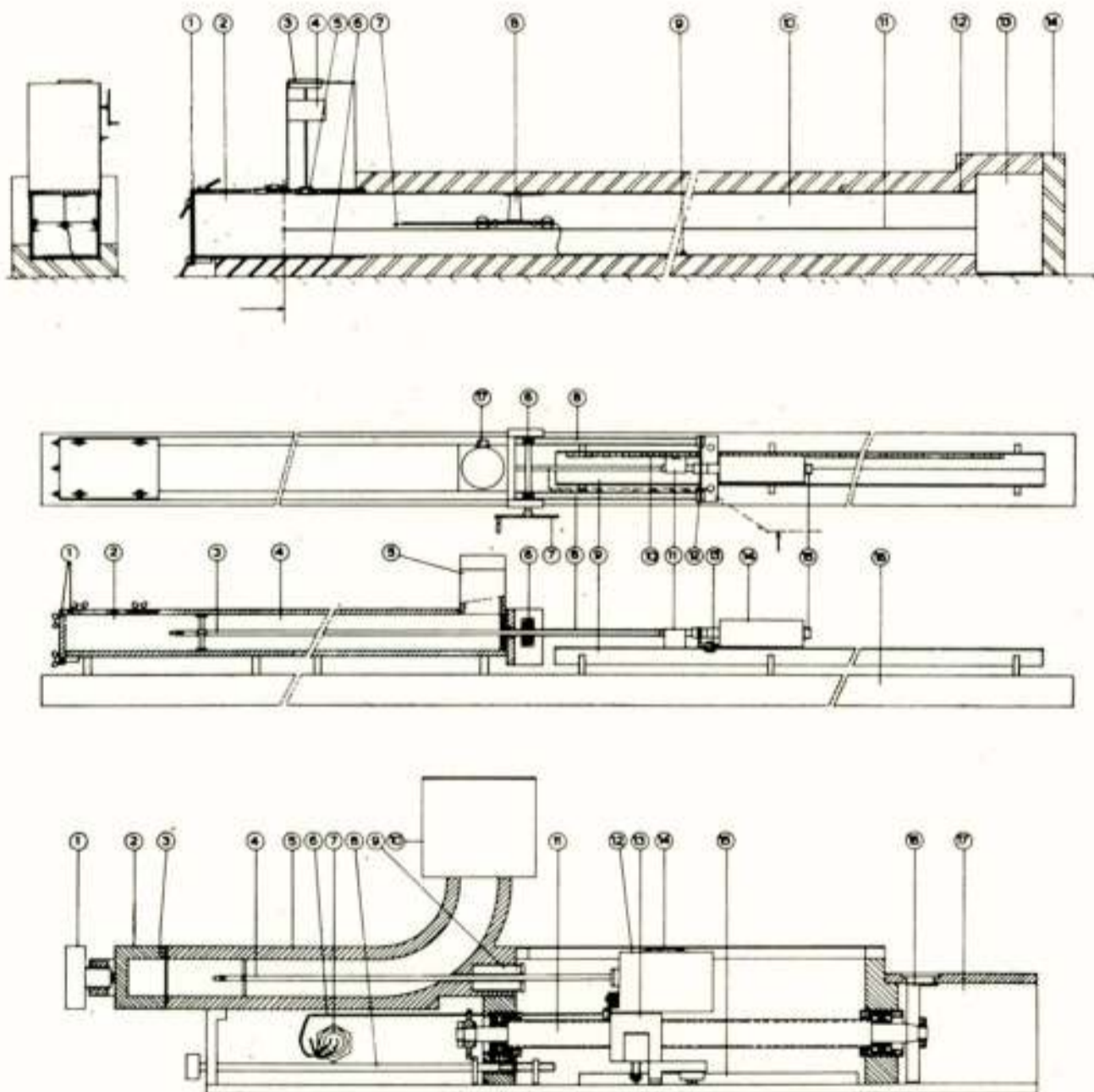


Fig. 3, 4 en 5

De drie door de T.P.D. ontwikkelde interferometers, met doorsneden van resp. $24\text{ cm} \times 24\text{ cm}$, $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ en $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$. De monsterhouder bevindt zich steeds aan de linkerzijde.

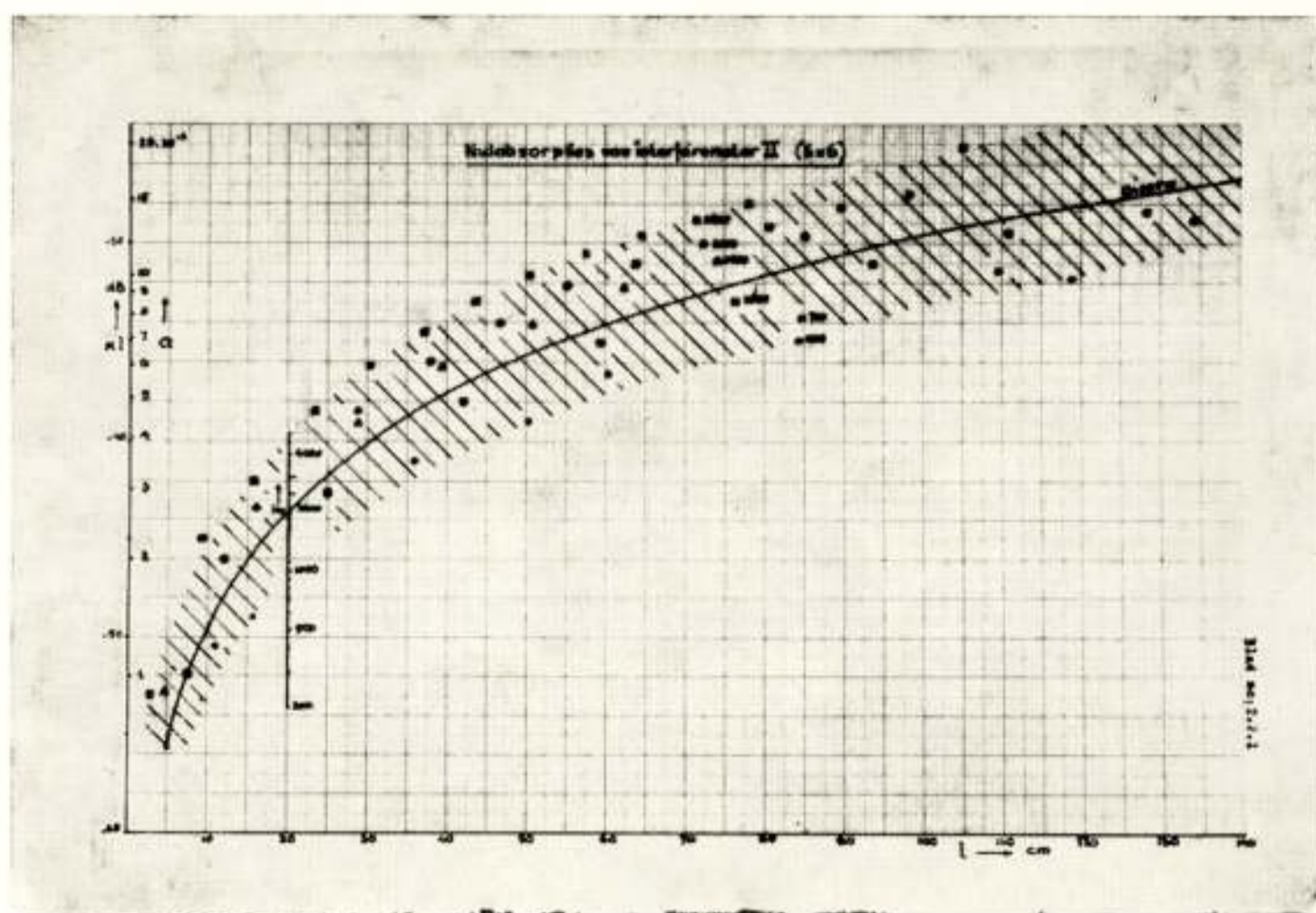


Fig. 6

De nulabsorptie van de interferometer van fig. 4. Vertikaal het niveauverschil tussen maximum en 1e minimum en de daarmee corresponderende demping per m, horizontaal de afstand minimum en monster (hier stalen plaat). De getrokken kurve geeft de theoretisch bereikbare demping voor 2000 Hz; voor andere frequenties lopen de kurven analoog volgens de hulpschaal bij 1 = 20 cm.

Dan komen nog een aantal constructieve vraagstukken aan de orde, voordat een betrouwbare interferometer is verkregen. Wij zullen hierop niet verder ingaan, doch vermelden slechts dat:

- a* de hartlijn van de buis zuiver loodrecht op het monster moet staan (men wenst de absorptie bij loodrechte inval te meten);
- b* de microfoon zo klein moet zijn, dat hij het geluidsveld niet noemenswaard verstoort (zeg kleiner dan 5% van het dwarsoppervlak van de buis);
- c* de microfoon alleen gevoelig mag zijn voor de geluiddruk in de buis, en niet reageert op de niet geheel te vermijden trillingen van de buiswand;
- d* de positie van de microfoon ten opzichte van het monster op zeg 0,1 mm nauwkeurig moet kunnen worden bepaald (dit i.v.m. impedantiemetingen).

De figuren 3, 4 en 5 geven doorsneden van de bij T.P.D. ontwikkelde interferometers. Deze bezitten vierkante doorsneden van resp. $24 \times 24 \text{ cm}^2$, $6 \times 6 \text{ cm}^2$ en $3 \times 3 \text{ cm}^2$; de lengten van de meetbuizen zijn resp. 7 m, 1,5 m en 30 cm, zodat de frequentiebereiken zijn 40 650 Hz, 200 2600 Hz en 1000

5500 Hz. Aangezien wij de microfoon steeds centraal aanbrachten zijn de buizen bruikbaar tot een octaaf boven deze grensfrequenties, mits de monsters niet te inhomogeen zijn.

Figuur 6 geeft een voorbeeld van de nulabsorptie van de middelste van de serie; voor een aantal frequenties is horizontaal aangegeven de positie van de minima in de buis (afstand tot monster) en vertikaal het niveauverschil t.o.v. het maximum en de daaruit volgende nulabsorptie. De getrokken curve geeft de theoretisch te verwachten ligging van de minima voor 2000 Hz; voor de andere frequenties zijn soortgelijke curven te trekken; deze zijn slechts aangegeven met een punt op de verticale schaal bij $l = 20$ cm. Men ziet dat de gemeten absorpties slechts weinig boven de minimale (theoretische) waarden liggen.

Bij de interferometer behoort de noodzakelijke elektronische apparatuur: laagfrequentgenerator en buisvoltmeter; aan de eerste worden geen bijzondere eisen gesteld. De buisvoltmeter moet in elk geval van het selectieve type zijn (bandfilters, heterodyne schakeling, teruggekoppelde RC-schakeling), daar somtijds in de minima de geluiddruk bij de meetfrequentie gering is, doch die bij de harmonischen, die door generator en luidspreker worden geproduceerd dan juist maximaal kan zijn, waardoor een absorptie van 10% (niveauverschil 30 dB, drukverhouding 1 : 31,6) onmeetbaar kan worden bij een distorsie van slechts 1%.

En nog is de belangrijkste voorwaarde voor een goede meting niet genoemd: de experimentator zelf moet een niet geringe dosis gevoel voor akoestische metingen bezitten wil men betrouwbare resultaten verkrijgen. De wijze waarop het monster in de buis wordt aangebracht kan n.l. een enorme invloed op het resultaat hebben, en steeds moet men hierop bedacht zijn en door passende maatregelen trachten deze invloed zo klein mogelijk te doen zijn. In dit kader is het onmogelijk hier diep op in te gaan; ook hier geldt de regel dat men „al doende leert”.

b. *Andere meetmethoden*

De beperking „loodrecht invallend geluid” is misschien wel de ernstigste tekortkoming van de interferometermethode. Immers in de praktijk pleegt het geluid gemeenlijk uit vele richtingen op het materiaal te vallen, en men is met constructies die alleen voor loodrechte inval goed functioneren niet gebaat. Vandaar dat vele pogingen zijn ondernomen meetmethoden te ontwikkelen die metingen bij scheve inval mogelijk maken. Een voorbeeld geeft fig. 7, waar een op het eerste gezicht normale

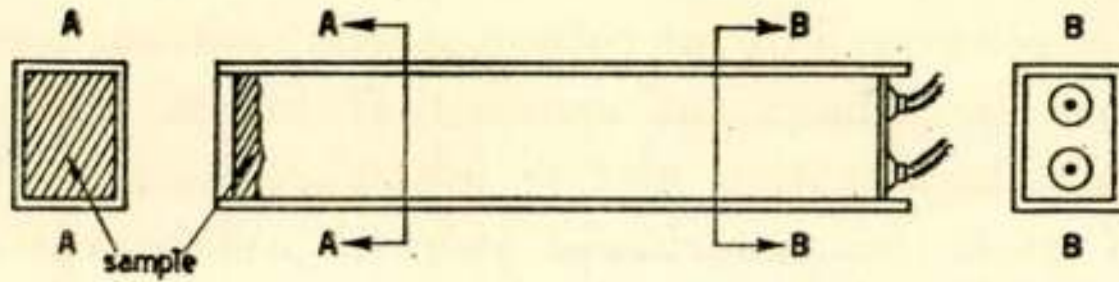


Fig. 7

Een interferometer voor metingen bij scheef invallend geluid. De twee luidsprekers rechts zijn in tegenfase geschakeld. De differentiaalmicrofoon waarmee het geluidsveld wordt uitgemeten is niet aangegeven.

interferometer is geschetst. De bijzonderheid is echter, dat er aan het luidsprekeruiteinde twee luidsprekers zijn aangebracht, die in tegenfase zijn geschakeld.

De niet vlakke golven die men bij de normale interferometer zorgvuldig vermijdt worden hier bewust opgewekt. Men kan dan bij een aantal invalshoeken meten, helaas echter bij elke hoek hoort slechts een enkele frequentie. Bepalen van volledige richtingskarakteristieken is niet mogelijk. Bij mijn weten wordt dit type interferometer dan ook vrijwel niet gebruikt.

Bij een andere, in Duitsland ontwikkelde, methode wordt in een zgn. „Flachraum” gemeten (fig. 8). Dit is een, zoals het woord aangeeft, vlakke, lage ruimte, hier 8 m bij 3 m bij 10 cm. Een der zijden wordt ingenomen door een reeks luidsprekers (lijnbron); men brengt vertikaal in de ruimte op één zijde van een rechte hoek een strook van het te onderzoeken materiaal aan en meet de sterkte van de gereflecteerde golf met een reeks microfoons (lijnontvanger), die tussen de luidsprekers zijn opgesteld. Om hierbij herhaalde reflecties te voorkomen wordt met golfreinen of pulsen gewerkt. Boven- en onderzijde van de ruimte worden door reflecterende vlakken gevormd; de overige

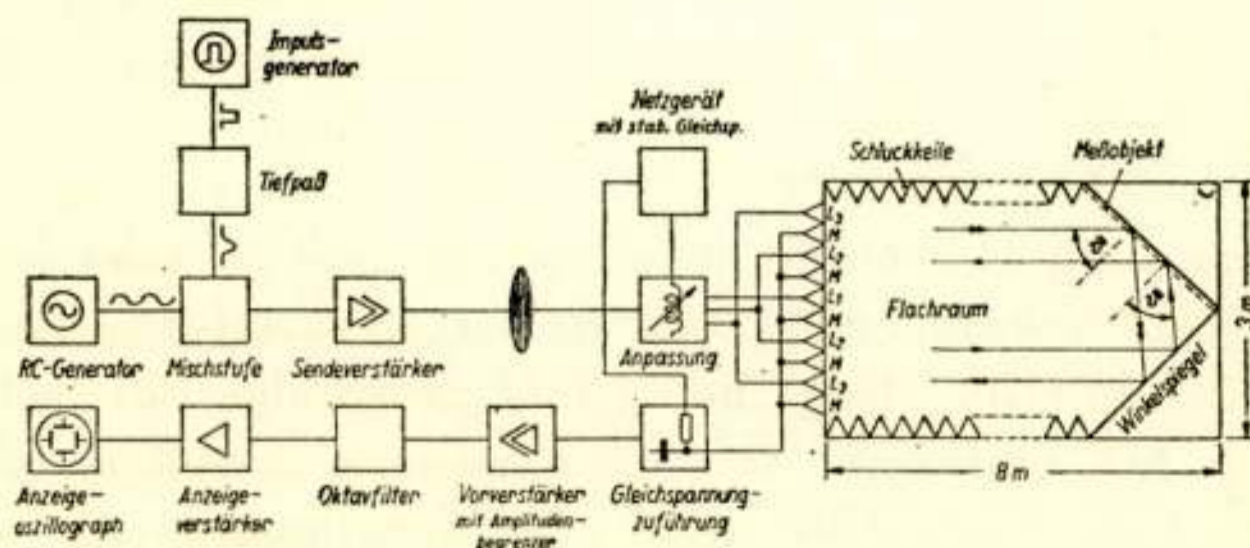


Fig. 8.

Het zgn. Flachraum, waarmee de absorptie bij alle invalshoeken afzonderlijk kan worden bepaald.

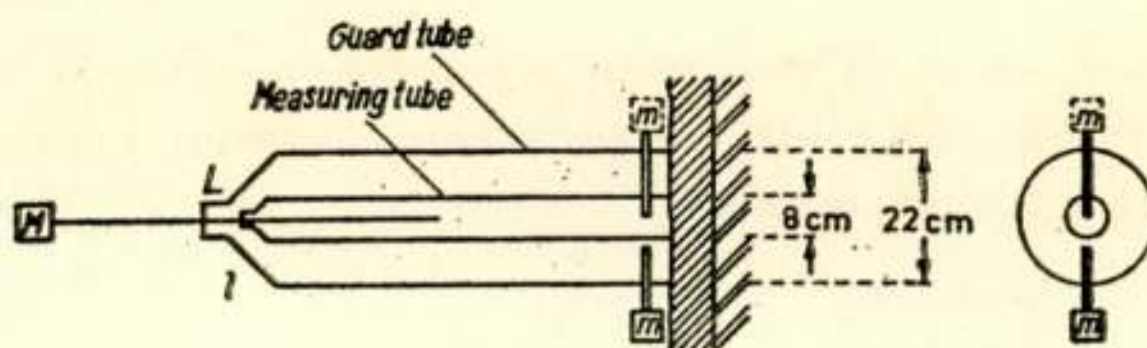


Fig. 9

Met de hier geschetste schutring-interferometer kan men in principe geluidabsorptie bij loodrechte inval meten zonder tot monsternamen van het te onderzoeken materiaal over te gaan.

begrenzungen zijn hoog-absorberend uitgevoerd. Doordat bij deze methode, in tegenstelling met de „normale” interferometer, het monster niet door spiegeling tegen de zijwanden oneindig groot schijnt, wordt last ondervonden van buiging.

Als laatste meetmethode van deze klasse zou ik nog willen noemen de door prof. Kosten aangegeven zgn. schutringinterferometer, die bestemd is om in de praktijk de geluidabsorptie van een oppervlak te kunnen meten zonder tot monsternamen (per zaag en breekijzer) over te gaan. Daar de interferometrie zoals gezegd oneindige uitgestrektheid van het monster veronderstelt, en deze realiseert door het monster in een zijdelings volkomen harde buis aan te brengen, kan men niet volstaan met

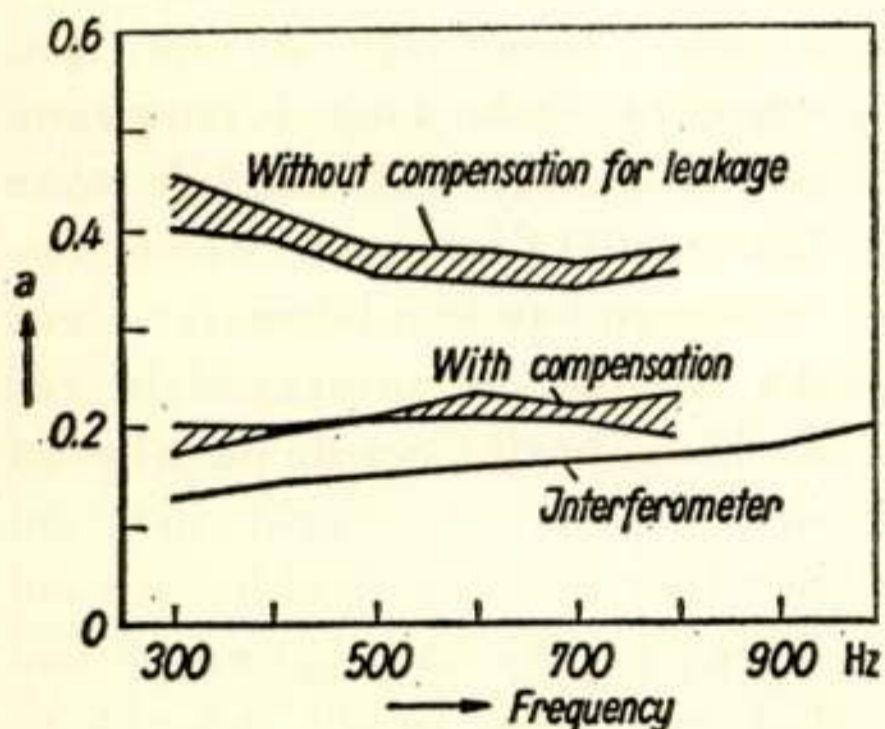


Fig. 10

Enkele meetresultaten met een schutring-interferometer verkregen aan een poreus absorptiemateriaal. De meting zonder compensatie voor het zijdelings weglekkende geluid geeft blijkbaar veel te hoge waarden; met compensatie zijn de verschillen met de normale interferometer niet groot.

het monster-uiteinde van de buis tegen het materiaal aan te brengen; er kan dan n.l. geluid door het materiaal heen om het buisuiteinde ontsnappen en men meet een veel te hoge waarde. De schutringinterferometer (fig. 9) bevat nu een tweede buis om de eigenlijke meetbuis heen, en men stelt in de buitenste ruimte een zodanig geluidveld in, dat ter plaatse van de gemeenschappelijke wand geluiddruk binnen en buiten gelijk zijn en in phase. Er zou dan geen geluid meer 'weg kunnen lekken'. In de praktijk blijkt een en ander moeilijk

te realiseren, en er is nog geen werkelijk praktische uitvoering ontwikkeld. Fig. 10 geeft enkele meetresultaten verkregen met een laboratoriumexemplaar.

De praktische definitie; nagalmmetingen

Verschillende geluidabsorberende constructies kunnen in een interferometer in het geheel niet onderzocht worden. Immers de interferometer moet noodzakelijk een kleine doorsnede bezitten, en is dus slechts geschikt voor metingen aan kleine monsters. Sommige constructies absorberen echter doordat zij als geheel door het erop vallende geluid in trilling geraken

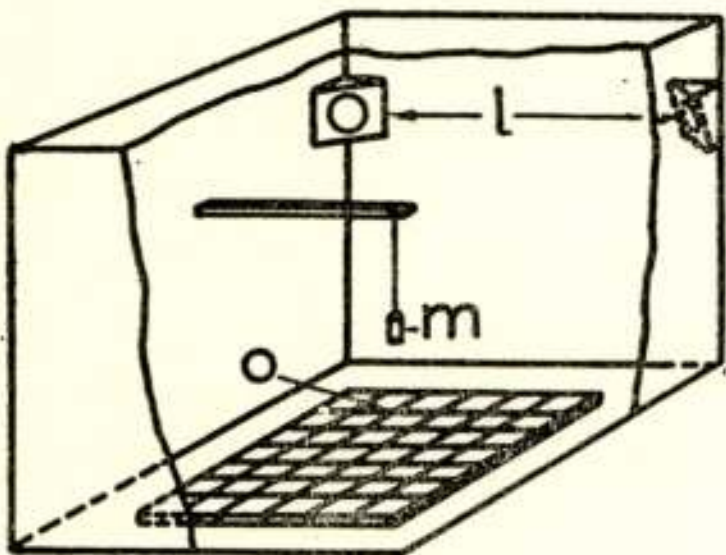
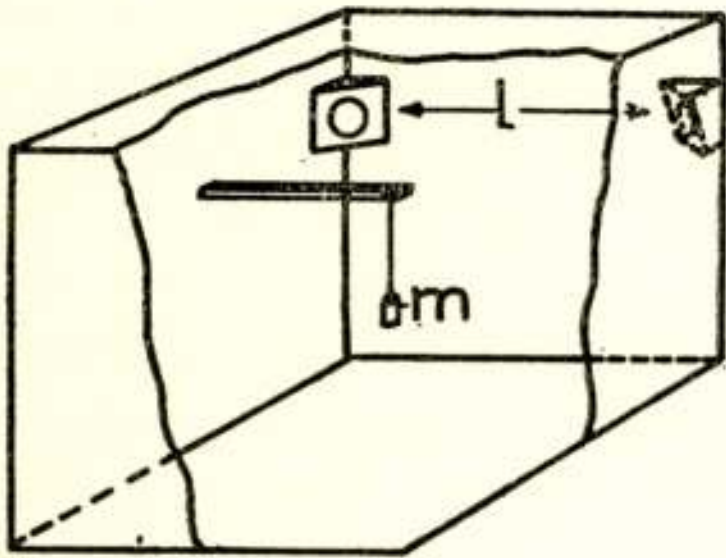


Fig. 11

De nagalmmethode in beeld. Boven de lege kamer, waarvan met behulp van luidsprekers l en microfoon m de nagalmtijd, en daaruit de absorptie wordt bepaald. Onder de kamer met monster O ; de nagalmtijd wordt opnieuw gemeten en de daaruit volgende absorptie is groter dan in het eerste geval. De toename is per definitie de absorptie van O .

(gesloten panelen op luchtlaag); andere constructies vertonen een vreemde betrekking tussen absorptiecoëfficiënt en invalshoek van het geluid (poreuze lagen op grote afstand van de harde wand), en daar het meten van deze afhankelijkheid in de normale interferometer onmogelijk, en met het Flachraum zeer omslachtig is, is men in deze gevallen aangewezen op de zgn. *nagalmmethode*. Deze is trouwens ook algemeen gebruikelijk voor het vaststellen van de eigenschappen van handelsmaterialen; die worden nl. in zeer vele gevallen gebruikt om de nagalmtijd in een ruimte te verkleinen, en het lijkt dus wel heel logisch om in een proefkamer het effect van het materiaal in dit opzicht te bepalen.

Fig. 11 geeft in principe de nagalmmethode weer. Men meet van een vertrek de nagalmtijd (d.i. de tijd waarin het geluidniveau in het vertrek 60 dB daalt na het uitschakelen van de geluidbron); dan brengt men

het te onderzoeken materiaal in het vertrek en meet de nagalmtijd opnieuw. Men heeft dan de benodigde gegevens om de geluidabsorberende eigenschappen van het materiaal te berekenen.

Volgens de formule van *Sabine* wordt de nagalmtijd (in seconden) van een ruimte gegeven door $T = V/6A$, waarin V het volume in m^3 en A de 'absorptie' in m^2 voorstelt. En nu is de kern van de nagalmmethode deze, dat men de nagalmtijd en het volume meet, en daaruit de totale absorptie van de ruimte berekent. De nagalmtijd zal na het aanbrengen van het te onderzoeken monster kleiner zijn; daar volgt dus een grotere absorptie uit, en het verschil in absorptie moet wel aan het monster worden geweten. Deelt men nu dit verschil door het aantal m^2 van het monster, dan verkrijgt men per definitie de *absorptiecoëfficiënt* van het monster. Dit is echter een geheel andere dan bij de interferometermethode gedefinieerde grootte en het verschil is heus niet alleen veroorzaakt doordat in de nagalmkamer het geluid uit alle richtingen invalt. Wat is n.l. het geval? De formule van *Sabine* geldt slechts onder zeer bepaalde condities, die in de praktijk nooit geheel te verwezenlijken zijn; zo moet het geluidveld volkomen homogeen en isotroop zijn, d.w.z. in elk punt van de ruimte heerse dezelfde geluiddruk en er zij geen bepaalde voorkeursrichting voor de golven. Men kan hieraan nooit geheel voldoen; met een geluidbron die zuivere tonen produceert zijn de afwijkingen enorm; gebruikt men zgn. wobbeltönen of, nog beter, banden ruis dan zijn de afwijkingen wat kleiner. Verder ziet men direct dat de formule niet geheel juist kan zijn; immers de nagalmtijd kan nooit gelijk nul worden: een fictieve ruimte van een kubieke kilometer lucht op 20 km hoogte heeft beslist geen reële nagalmtijd, doch de formule geeft: $T = 10^9/6.6.10^6$ (6 wanden van 1 km^2 met absorptiecoëfficiënt gelijk 1) of 28 seconden. Hier schuilt de fout blijkbaar in de berekening van A ; *Eyring* heeft dan ook afgeleid, dat A niet is de som van alle wandoppervlakken elk vermenigvuldigd met

hun absorptiecoëfficiënt of te wel $\sum a S$, doch $-S \ln\left(1 - \frac{\sum a S}{S}\right)$.

Zijn nu de a 's gelijk 1, zoals in het geval van de kubieke kilometer lucht, dan wordt A oneindig groot, en dus de nagalmtijd nul. Aangezien men echter de nagalmkamers een zo klein mogelijke eigen absorptie geeft om een weinig absorberend monster toch een grote invloed op de nagalmtijd te geven, wordt

de gemiddelde $a \left(= \frac{\sum a S}{S}\right)$ steeds klein, en is het verschil tussen

de formules van Sabine en van Eyring te verwaarlozen. Ernstiger is het, dat men verschillende α 's vindt, als men in dezelfde nagalmkamer achtereenvolgens verschillende hoeveelheden van hetzelfde materiaal aanbrengt. Ook als men dezelfde hoeveelheid materiaal in verschillende nagalmkamers onderzoekt blijken de resultaten niet gelijk te zijn. (fig. 12 en fig. 13). Ook is er in het algemeen geen goede overeenstemming tussen de opzijdige geluidsinval omgerekende interferometercijfers en de nagalmcijfers (fig. 14 en 15). Men is thans druk doende om internationaal zodanige afspraken te maken, dat elk laboratorium toch vrijwel dezelfde cijfers vinden zal; hiertoe moeten o.a. het volume en de vorm van de kamer, de lege nagalmtijd, de meetmethodiek en de grootte van het monster worden vastgelegd. Doch daar elk laboratorium al met een kamer en een meetverleden behept is, en de bewoners geen van beiden graag waardeloos zien worden, gaat deze normalisatie niet van een leien dakje, te meer daar het niet a priori te zeggen valt wie tot nu toe de juiste weg bewandeld heeft. De gedachten gaan thans uit naar een kamer van $200 \text{ m}^3 \pm 10\%$, een monstergrootte van 12 tot 15 m^2 , een registratie van het nagalmverschijnsel met een logaritmische niveauschrijver, het dwingend voorschrijven van schots en scheve kamerwanden, enz.

Onlangs is een artikel verschenen van prof. M. E. Meyer uit Göttingen, waarin hij de resultaten vermeldt van een uitgebreid onderzoek naar de invloed van de diffusie in de nagalmkamer op de te verkrijgen resultaten. In een schaalmodel van een nagalmkamer (schaal ongeveer 1:8) werd de vloer geheel met absorptiemateriaal bedekt (*geheel* bedekt om de zgn. randeffecten te miniseren). Van dit materiaal was de „loodrechte absorptiecoëfficiënt” bekend, en er waren tevens metingen gedaan om de richtingsafhankelijkheid van de absorptie vast te stellen.

Het materiaal was voorts „locally reacting”, zodat ook theoretisch een verband aan te geven was tussen $\alpha_{\text{loodrecht}}$ en $\alpha_{\text{alszijdig}}$. De aldus berekende en door metingen bevestigde $\alpha_{\text{alszijdig}}$ werd nu als de te meten α_{nagalm} gekozen. Het bleek nu dat in een kamer met zeer weinig diffusie (gladde, onderling loodrechte wanden) absorptiecoëfficiënten gevonden werden die steeds aanmerkelijk te laag waren; bracht men in de kamer diffuserende elementen (bollen, halve cylinders, gebogen vlakken), dan werden de verschillen kleiner en zelfs verwaarloosbaar, doch alleen boven een bepaalde „grensfrequentie”, die afhing van de afmetingen van die elementen. Het (enigszins) scheef zetten van de

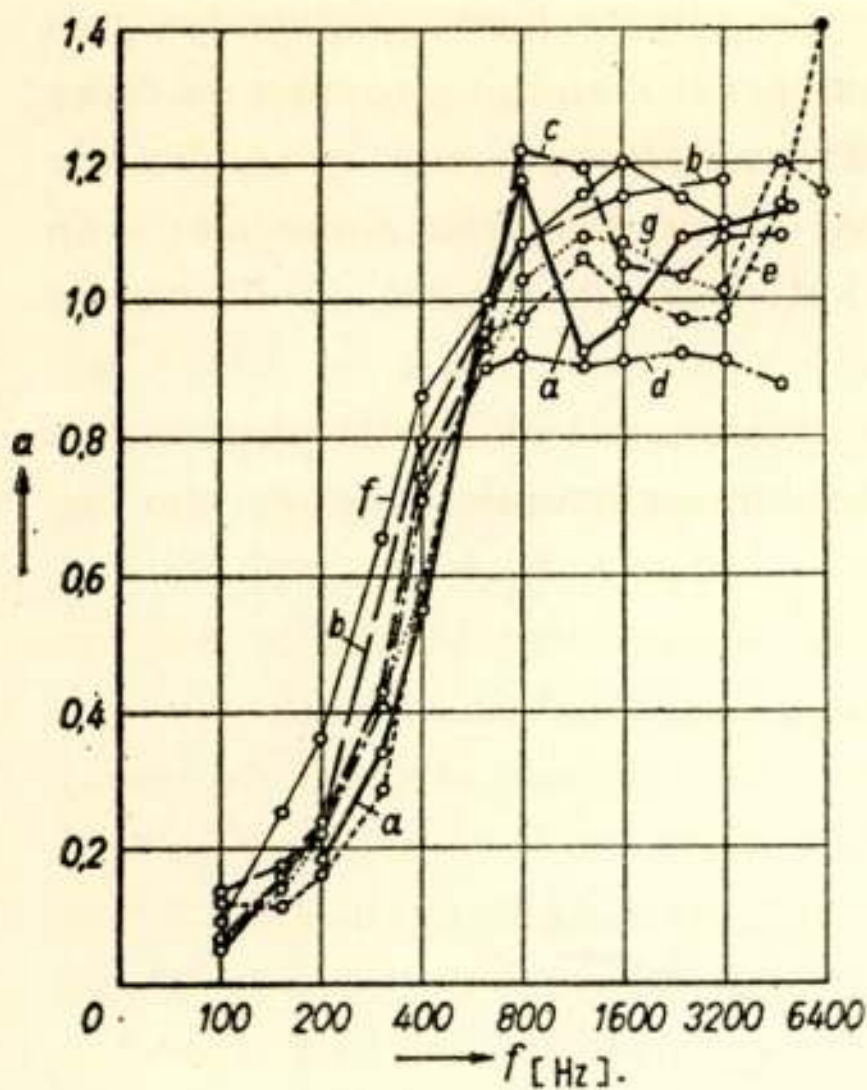


Fig. 12

Eenzelfde monster onderzocht in 8 nagalmkamers. Bij alle metingen werden zgn. wobbeltonen als signaal gebruikt.

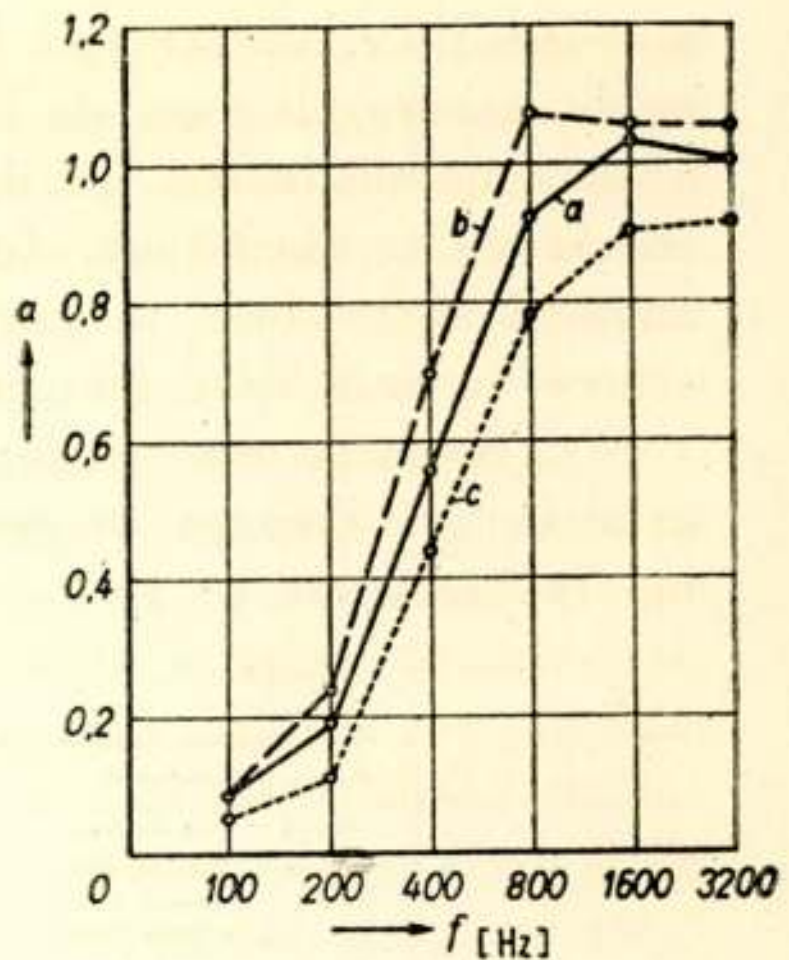


Fig. 14

Absorptiecijfers van één materiaal, volgens de interferometermethode en omgerekend voor alzijdige inval (c); volgens nagalmmetingen met witte ruis (a) en volgens nagalmmetingen met wobbeltonen (b). De gebruikte nagalmformule is die van Sabine.

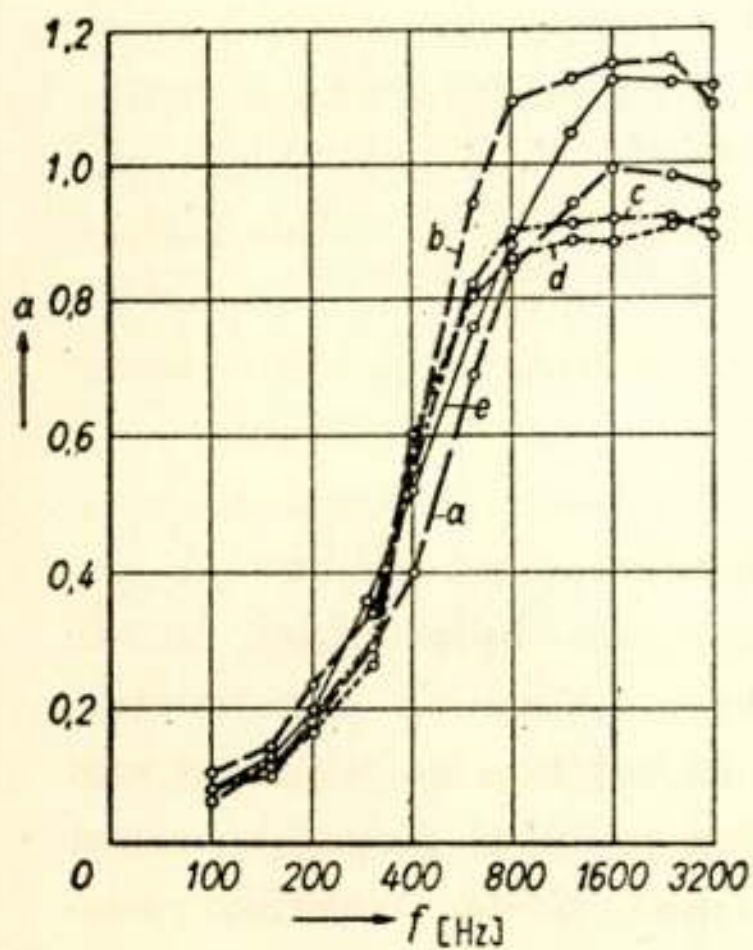


Fig. 13

Nagalmmetingen aan één monster in 5 nagalmkamers, met witte ruis als signaal.

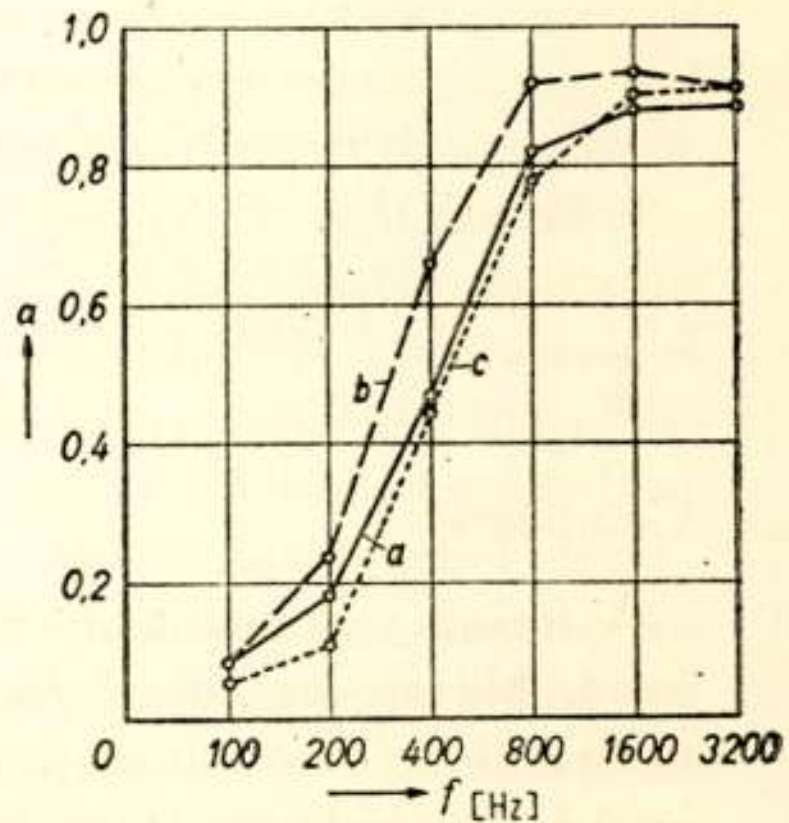


Fig. 15

Werkt men de resultaten van de proef uit fig. 14 uit met behulp van de door Cremer gegeven nagalmformule, dan worden de verschillen tussen nagalmcijfers en omgerekende interferometercijfers kleiner.

wanden t.o.v. elkaar had hetzelfde effect. Een combinatie van beide maatregelen gaf de beste overeenstemming tussen de twee absorptiecoëfficiënten. Uit deze studie kan men zeer waardevolle conclusies trekken t.a.v. de vorm en de afwerking die men aan nagalmkamers dient te geven; het laatste woord is hiermede echter bepaald nog niet gezegd.

Fig. 16 geeft een van de in de genoemde publikatie opgenomen grafieken, verkregen in een nagalmkamermodel met onderling loodrechte wanden.

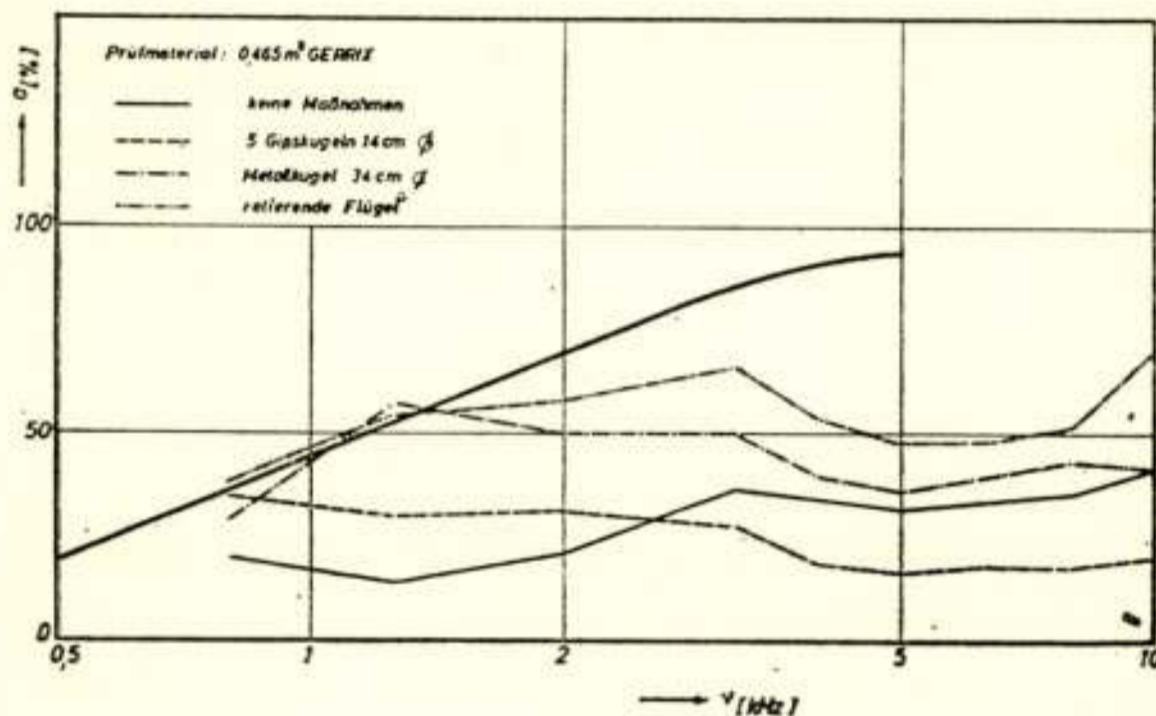


Fig. 16

Enkele resultaten van een modelonderzoek uit Göttingen. De dik getrokken kurve geeft de absorptie-karakteristiek van een materiaal, bepaald volgens de interferometermethode doch omgerekend voor alzijdige inval. De overige kurven geven nagalmresultaten, waarbij verschillende maatregelen waren genomen om de diffusiteit van het geluidveld in de nagalmkamer te vergroten.

Conclusie.

Voorlopig zullen beide meetmethodieken naast elkaar in gebruik blijven; de interferometermethode als hulpmiddel bij de ontwikkeling van absorptiematerialen en speciale constructies en bij de verdieping van het inzicht in het hoe en waarom van de absorptie, de nagalmmethode om een zo reëel mogelijk inzicht te verkrijgen wat een absorptiemateriaal in de praktijk presteert. Zolang nu de beperkingen van beide methoden niet veronachtzaamd worden, en bij gepubliceerde cijfers een voldoende nauwkeurige omschrijving van de toegepaste methode wordt gegeven is hiertegen ook niet veel bezwaar.

Het is te hopen dat men er in zal slagen tussen beide methoden een stevige brug te slaan, al is de kans op vervulling van deze hoop helaas bitter klein.

Discussie

H. Wormsbecher (Algemene Kunstzijde Unie, Arnhem):

1. Op de getoonde absorptiekrommen komen punten voor waarbij de absorptie groter is dan 1; hoe moet men dit zien?
2. In een brochure over „Kramforac” (Kramfors) komt een wel zeer fraaie absorptiekromme voor, welke volgens de nieuwe exponentiële methode is opgenomen. Wat betekent deze methode? Wat is de reële betekenis van de kromme? Kan men blijkbaar, afhankelijk van de meetmethode, meten wat men wil?

Antwoord:

1. Bij de absorptiemetingen volgens de nagalmmethode kan men inderdaad absorptiecoëfficiënten vinden die groter zijn dan 1; dit vloeit voort uit de daarbij gebezigde definitie van de α , n.l. de door het aanbrengen van het monster geïntroduceerde absorptie, gedeeld door het oppervlak van het monster. Door buigingsverschijnselen e.d. kan deze absorptie zeer wel groter uitvallen dan het monsteroppervlak; ook de principiële onnauwkeurigheid van de nagalmformule speelt hierbij een rol.
2. Mij is geen „nieuwe exponentiële methode” bekend; de nagalm verloopt nu eenmaal exponentieel (geluidenergiedichtheid neemt volgens een e -macht af), en dus is elke nagalmmeting „exponentieel”. Bedoeld zal waarschijnlijk zijn dat een exponentiële versterker gebruikt werd. Ik zie geen reden om zondermeer aan de hier bedoelde kromme minder (of meer) realiteit toe te kennen dan aan andere nagalmabsorptiekrommen. Juist omdat de meetomstandigheden en details van de methoden een belangrijke rol spelen bij de nagalmmethode is men thans druk doende deze internationaal te standaardiseren.

F. J. van Leeuwen (N.R.U., Hilversum)

1. Is het niet gewenst om drie wanden van de galmkamer met materiaal te bekleden?
2. Wat is de nagalmformule van Cremer?

Antwoord:

1. Dit hangt van de gebruikte galmkamer af. Indien de kamer geen twee evenwijdige begrenzingsvlakken bezit, en de wanden bovendien uit het lood staan, is deze verdeling van het materiaal niet nodig en zelfs ongewenst in verband met de randeffecten.
2. Deze formule is een tussenvorm tussen die van Eyring en die van Millington:

Sabine:
$$a = \frac{kV}{f} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \frac{kV}{FT_0}$$

Cremer:
$$a = \frac{f_b}{f} \left\{ 1 - e^{-\frac{kV}{T_0} \left(\frac{1}{f_b} - \frac{1}{F} \right) - \frac{kV}{f_b T}} \right\} + \frac{kV}{fT_0} \left(\frac{f}{F} - \frac{f_b}{F} \right)$$

Eyring:
$$a = \frac{F}{f} \left(1 - e^{-\frac{kV}{FT}} \right) + \frac{kV}{T_0} \left(\frac{1}{F} - \frac{1}{f} \right)$$

Millington:
$$a = 1 - e^{-\frac{kV}{T_0} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F} \right) - \frac{kV}{fT}}$$

Hierin is:

$k = 0,163$

$V =$ volume nagalmkamer, in m^3

$f =$ oppervlak monster, in m^2

$T =$ nagalmtijd lege kamer, in seconden

$T_x =$ nagalmtijd kamer met monster, in seconden

$f_b =$ oppervlak van wand(en) waarop monster is aangebracht, in m^2

Bij een nagalmkamer van $200 m^3$ inhoud en $200 m^2$ totaal wandoppervlak, een lage nagalmtijd van 5 seconden en een totaal proefoppervlak van $10 m^2$ vindt men dan:

bij $T =$	5	4	3	2	1,5	seconde
$a_{sab} :$	0,03	0,20	0,47	1,01	1,55	
$a_{cr} :$	0,03	0,18	0,42	0,85	1,21	bij mat. op 1 wand
$a_{cr} :$	0,03	0,18	0,44	0,93	1,38	bij mat. op 3 wanden
$a_{ey} :$	0,03	0,18	0,45	0,95	1,45	
$a_{mil} :$	0,03	0,18	0,37	0,64	0,79	

Literatuur.

waaraan tevens het merendeel der figuren is ontleend:

- L. L. B e r a n e k, Acoustic Measurements, hoofdstuk 7 en hoofdstuk 19 (fig. 2).
E. G. R i c h a r d s o n, Technical Aspects of Sound, hoofdstuk 4 (door C. W. Kosten) (fig. 7).
F. K. S c h r ö d e r, Der Schallschluckgrad als Funktion des Schalleinfallswinkels, Acustica 3 (1953), 54 (fig. 8).
C. W. K o s t e n, A Method for Measuring Sound Absorption in the Field, Acustica 4 (1954), 108 (fig. 9 en 10).
A. E i s e n b e r g, Schluckgrad-Vergleichsmessungen 1950, Acustica, Beihefte (1952), AB 112 (fig. 12, 13, 14 en 15).
E. M e y e r e n H. K u t t r u f f, Akustische Modellversuche zum Aufbau eines Hallraumes, Nachrichten der Akademie der Wissenschaften im Göttingen, Math.-Phys. Klasse 2A, Math.-Phys.-Chemische Abteilung, 1958, 6 (fig. 16).

INTERNATIONALE KONFERENTIE OVER MILLIMETERGOLVEN INFORMATIETHEORIE

De afdelingen Netwerktheorie en Informatietheorie van het „Institute of Radio Engineers” hebben het voornemen een symposium te houden aan de Universiteit van Californië (U.C.L.A.) van 16 tot 18 juni 1959.

Het doel van de konferentie is om de recente vooruitgang in de Informatie- en Netwerktheorie te bespreken. In het bijzonder zullen die gebieden worden onderzocht die voor beide afdelingen van belang zijn.

Geïnteresseerden worden verzocht wetenschappelijke bijdragen op te sturen. De volgende onderwerpen worden aanbevolen:

- 1) Toepassingen van de Linear-Graph-Theorie op communicatie ketens en netwerken.
- 2) Schakelcircuits en codering.
- 3) Beschrijving en samenstelling van aangepaste filters.
- 4) Netwerken met veranderlijke parameters.
- 5) Kenschetsing en optimaal ontwerp van niet lineaire filters.

Er kunnen echter ook andere onderwerpen behandeld worden.

Behalve artikelen die verslag uitbrengen over nieuwe resultaten worden ook bijdragen van wetenschappelijk educatief karakter ingewacht.

Om een grondige discussie van de wetenschappelijke bijdragen mogelijk te maken is het de bedoeling dat een totaaluitgave van de inzendingen voor de aanvang der Konferentie verschijnt.

Daarom is het volgende tijdschema strikt noodzakelijk:

22 dec. 1958: Uiterste termijn voor de ontvangst in triplo van een gedetailleerde 750 woorden tellende samenvatting van het artikel.

19 jan. 1959: Berichtgeving aan de auteurs i.z. aannname of verwerping van hun inzendingen.

16 mrt. 1959: Uiterste termijn voor de ontvangst van de volledige inzendingen op speciaal hiervoor verstrekt papier.

25 mei 1959: Toezending van de totaaluitgave der verzamelde inzendingen.

De leiding der konferentie zal zich alle moeite geven om persoonlijke ontmoetingen en rondleiding etc. te arrangeren, in het bijzonder voor buitenlandse bezoekers.

Aanvragen en correspondentie, ook die i.z. de 750 woorden tellende samenvatting, te adresseren aan

RICHARD A. EPSTEIN
Jet propulsion Laboratory
Pasadena, California
U.S.A.

INTERNATIONALE KONFERENTIE OVER MILLIMETERGOLVEN

In New York wordt op 31 maart, 1 en 2 april 1959 een symposium gehouden over millimetergolven. Dit wordt georganiseerd door het "Air Force Office of Scientific Research", het "Army Signal Research and Development Laboratory", het "Office of Naval Research" en het "Institute of Radio Engineers".

Het symposium is bedoeld om een overzicht te geven van de recente stand van de onderzoeken en toepassingen.

De sluitingsdatum voor het inzenden van voordrachten is 30 januari 1959.

Nadere inlichtingen en aanmeldingen:

PROFESSOR HERBERT J. CARLIN
Microwave Research Institute
55 Johnson street
Brooklyn 1, New York NY USA

Boekbespreking

Gaseous Conductors, Theory and Engineering Applications (2e druk) door J. D. Cobine, Dover Publications Inc., 920 Broadway New York 10, NY, USA, 593 pag. 13,5 x 20 cm, 348 figuren, prijs \$ 2.75.

Deze uitgave is een ongewijzigde herdruk van het in 1941 verschenen boek. Voortdurende vraag naar het uitverkochte boek en het feit dat het schrijven van een nieuw boek nog enige jaren in beslag zal nemen heeft geleid tot de uitgave van deze goedkope Dover editie, die op een goede papiersoort gedrukt en stevig gebonden is.

Het boek bestaat uit drie niet scherp gescheiden delen. Het eerste deel behandelt de elementaire processen, het tweede deel de ontladingsvormen en het derde deel de toepassingen van de gasontladingen. De stof is logisch gerangschikt, maar toch is het boek didactisch minder goed dan het bekende boek van v. Engel en Steenbeck.

Beoordeeld naar de stand van de wetenschap in 1941 bevat het boek een aantal storende fouten en tekorten, waarvan ik er een aantal wil noemen.

- a) Met het Ramsauer-effect, de merkwaardige transparantie van A, Kr, Xe en CH₄ voor elektronen van omstreeks 1 eV, waarvoor in 1929 door Holtsmark een verklaring is gegeven, staat de schrijver blijkbaar op slechte voet (p. 31).
- b) De tabel van de beweeglijkheden van positieve en negatieve ionen in hun eigen gas (p. 38) is zonder meer overgenomen uit het boek van v. Engel en Steenbeck (1932). De metingen die aan deze tabel ten grondslag liggen gaan terug tot 1910 en zelfs vroeger. De tabel is dan ook waardeloos.
- c) Dat de snelheid van de positieve ionen in een gas bij hoge waarden van E/p_0 evenredig is met $\sqrt{E/p_0}$ wordt niet behandeld.
- d) Waarom wordt het bestaan van ambipolaire diffusie besproken aan de hand van een plasma bestaande uit positieve en negatieve ionen, waarvan men weet dat het voornamelijk door recombinatie verdwijnt?
- e) Het Penning-effect wordt noch bij de doorslag, noch bij de verschillende ontladingsvormen behandeld: slechts op p. 94 wordt met enkele woorden gezegd dat metastabiele atomen soms de atomen van een ander gas kunnen ioniseren. Over de importantie van dit effect geen woord!
- f) De ook voor de techniek belangrijke, door Penning en Kruithof verrichte metingen van de eerste Townsend-coëfficiënt in mengsels van neon met argon ontbreken.
- g) Op p. 216 staat dat de normale kathodeval afneemt met de ionisatiespanning van het gas. Dit is onzin.
- h) Op p. 217 wordt een tabel van de kathodeval in verschillende gassen en van verschillende kathodematerialen gegeven zonder te wijzen op de zeer grote onzekerheid van deze waarden.
- i) Ontladingen in magneetvelden ontbreken.
- j) In het meer technische deel van het boek ontbreken een aantal onderwerpen zoals o.a. de glimlichtstabilisator, die op p. 468 met een zin is afgedaan en de Penning-manometer.

Beoordeeld naar de stand van de wetenschap op dit moment is het boek naar mijn mening te sterk verouderd om deze ongewijzigde herdruk met vreugde te begroeten. Men moet daarbij echter in aanmerking nemen dat er naast een aantal uitstekende theoretische boeken over gasontladingen, geen modern boek in de Engelse taal bestaat dat tevens de toepassingen van de gasontladingen behandelt.

G. A.

Magnetische geluidsregistratie, door D. A. Snel, 200 blz., 15,5 x 23,5 cm., 152 figuren, 37 buitentekstfoto's op kunstdrukpapier, prijs f 15,—. Meulenhof & Cc. N.V., Amsterdam.

Dit boek is verschenen in de populaire serie van de Philips Technische Bibliotheek.

In de eerste hoofdstukken wordt een historisch overzicht gegeven van de ontwikkeling van de bandrecorder en enige grondbegrippen uit de geluidsleer verduidelijkt. Hierna worden de beginselen van het magnetisme en de inductie behandeld. Enige elementaire wiskunde is hierbij gebruikt. De nu volgende hoofdstukken zijn gewijd aan het registratieproces, het mechanisme van de recorder, de koppen, de eigenschappen van de band, de opneem- en weergeefversterker, waarbij enige vereenvoudigde schema's worden gegeven, de luidspreker en de microfoon. In de rest van het boek, ongeveer een derde gedeelte, wordt ingegaan op de praktische toepassing van de bandrecorder, bijv. de dicteermachine, amateurfilms met magnetisch geluid. Raadgevingen worden gegeven betreffende microfoonopstelling.

De aandacht van de schrijver is voornamelijk gericht op niet-professionele apparatuur. Het werk is n.l. blijkens de inleiding geschreven voor geluidsamateurs. Voor deze categorie zal het zeker een waardevol boek blijken te zijn.

De uitvoering is keurig verzorgd.

B. V.

Electronisch Jaarboekje 1959, 12de uitgave, 160 bladzijden tekst en illustraties, 9,5 x 14 cm, uitgegeven door de „Muiderkring” te Bussum. Prijs f 2,95.

De inhoud van dit jaarboekje is ongeveer gelijk aan dat van het vorig jaar, uiteraard uitgebreid met de nieuwste gegevens. Zo waren b.v. verleden jaar nog slechts data opgenomen van een 30-tal transistoren. Thans kan men de gegevens van meer dan 100 verschillende types aantreffen.

De nomogrammen aangevende het verband tussen zelfinductie, capaciteit en resonantiefrequentie zijn weggelaten. Het zou o.i. aanbeveling verdienen deze het volgend jaar weer op te nemen, tezamen met een duidelijke gebruiksaanwijzing.

De uitgave van dit jaarboekje, dat tevens als zakagenda gebruikt kan worden, is goed verzorgd.

H.

Uit het Nederlands Radiogenootschap

EXAMENS

Verslag van het examen voor radiotechnicus, radiomonteur en televisietechnicus gehouden in mei, juni en juli 1958.

De schriftelijke examens voor radiotechnicus, radiomonteur en televisietechnicus werden gehouden op 14 en 21 april 1958. De mondelinge examens vonden plaats op 22 en 23 mei, 2, 3, 9, 10, 19, 20, 23, 24, 30 juni en 1 juli 1958.

Het resultaat van het examen is hieronder vermeld.

SCHRIFTELIJK

	deelgenomen	vrijstelling	afgewezen
radiotechnicus	227	7	124
radiomonteur	277	2	82
televisietechnicus	5	—	3

MONDELING

	niet opgekomen	deelge- nomen	afge- wezen	her- examen	geslaagd
radiotechnicus	—	110	34	18	58
radiomonteur	1	196	55	7	134
televisietechnicus	—	2	1	—	1

HEREXAMEN

	deelgenomen	afgewezen	geslaagd
radiotechnicus	5	—	5
radiomonteur	6	—	6

Aan een candidaat radiotechnicus werd de WERA-fonds examenprijs (f 100,—) toegekend.

NIEUWE LEDEN

P. W. L. van Iterson, Jan van Galenstraat 34, Huizen (N.H.).
R. Decossaux, Laan 1940-45 nr. 47, Hilversum.

VOORGESTELDE LEDEN

Ir. J. H. van den Boorn, Karel de Grotelaan 155, Eindhoven (T.H. Eindhoven).
Ir. H. Hermsen, Goudenregenstraat 65, Den Haag (P.T.T.).
Ir. J. Kaashoek, Mimosalaan 17, Eindhoven (Philips).
C. A. M. Lammerts, Steenzicht 29, Den Haag (RVO-TNO, Den Haag).
G. J. Lubben, Boerhavelaan 30, Eindhoven (Philips).
Prof. dr. Ir. J. G. Niesten, Kochlaan 9, Eindhoven (T.H. Eindhoven).
Ir. J. K. Zuidweg, Amalia van Anhaltstraat 40, Eindhoven (T.H. Eindhoven).

NIEUWE ADRESSEN VAN LEDEN

Ir. J. van Baarda, Cincotel S.A., Leeprida 4851 Villa Martelli - Vincente Lopez
Pcia. de Buenos Aires Argentinië.
Ir. C. J. H. van den Berg, Piet Heinlaan 9, Oegstgeest.
Ir. E. G. J. Brants, Cattepoelseweg 258, Arnhem.
Ir. H. G. Bruijning, Beneden Beekloop 54, Geldrop.
Ir. J. Davidse, Zeelsterstraat 207, Eindhoven.
Ir. Y. B. F. J. Groeneveld, Diependaalselaan 478, Hilversum.
Dr. Ir. H. de Lange Dzn., Statensingel 56a, Rotterdam.
Ir. H. Polak, 19 Chemin de Fossard, Genève.
Ir. H. H. Schotanus à Steringa Idzerda, Troelstralaan 21, Heemstede.

CORRECTIE OP No. 5

Ir. H. Miedema, East Main street, Mendham, New Jersey, U.S.A.