

MAANDELIJKS

DE

RADIO REVUE

10-11

SPECIAAL
STUDIEWEEK
NUMMER

BEHEER EN REDACTIE :
Prins Leopoldstraat, 28
Antwerpen (Borgerhout)



PRIJS : 60 FR.

Laboratoires **E.P.Lathuy**
Electronic Belgian Service
Eghezée (België)



Algemeen vertegenwoordiger voor België en
het Groot Hertogdom Luxemburg der apparaten
van de

HALLICRAFTERS Co
Echophone division
Chicago

(Een beperkte hoeveelheid der vermaarde apparaten
voor de handelsdiensten zijn toegekomen en uit
voorraad leverbaar. Echophone commercial 3800 fr.)

Technisch agentschap voor België van

Vacuum Physical Laboratories
British Bosch Electronics - London

DE

Nr 10 en 11 — JANUARI 1947

RADIO

MAANDBLAD

BEHEER EN REDACTIE :
PRINS LEOPOLDSTRAAT 23
ANTWERPEN

REVUE

Prijs per nummer : 30 fr. — Abonnement : 340 fr. voor 12 nrs.

Uitgave van « N.V. Algemene en Technische Boekhandel v/h. P. H. BRANS ».

Postcheckrekening 485811

NOG EENS... DE STUDIEWEEK NABERICHT

Zoals in ons vorig nummer bekend gemaakt zou de Radio Revue een volledig verslag brengen over de eerste Radio-Studieweek gehouden in het Nationaal Radio- en Filmtechnisch Instituut te Brussel.

Wij hebben opdracht tot het opstellen van dit verslag gegeven aan leerlingen van bovengenoemd Instituut om aldus de samenwerking tusschen de inrichters n.l. bestuurder en afdeling-oversten der Nederlandsche en Fransche afdeling een-

zijds en de Radio Revue anderszijds volledig te maken.

Aan het officieele deel, n.l. de opening en de sluiting, behoeven wij niet veel tijd of ruimte te besteden. Alleen dient vermeld dat bij de opening aanwezig waren de HH. Lacoste, van het Algemeen Commissariaat ter bevordering van den Arbeid, en den Heer Van Caeneghem, Kabinets-



Hr. Ing. A. L. BERNAERT

de geest van de studieweek, heette de hooge bezoekers welkom en dankte de deelnemers voor het geleverde werk.



Dr. Prof. E. J. I. M. PALMANS,

de ziel der studieweek sprak tijdens de openingsvergadering.



Dhr. LACOSTE

van het Algemeen commissariaat ter bevordering van den arbeid drukte in een prachtige, weloverwogen rede zijne bewondering uit voor het op de studieweek geleverde werk.

overste van den Eersten Minister. Zij loofden beiden het initiatief der inrichters en wenschten de onderneming veel succes toe.

De Beheerraad van het Na.Ra.F.I. was vertegenwoordigd door haar voorzitter, die eerst iets... aarzelend daarna begeesterd sprak over het geleverde werk.

Het Ministerie van Onderwijs blonk uit door zijn... afzijdigheid. Was het onverschilligheid? — Was het opzet? — Nochtans tot tweemaal toe werden uitnodigingen aan het betreffende Ministerie gezonden. Wij vragen ons af of sommige Belgische politiciers nu nooit iets zullen bijleeren en of ze werkelijk nooit zullen begrijpen dat buiten de voor hen gunstige politiek nog iets anders bestaat dat toch de aandacht wél waard is.

Ondanks hunne afwezigheid werd de Studieweek een reuzensucces en hier is dan meteen het bewijs geleverd dat de duizenden bezoekers waaronder vele vooraanstaanden niet gekomen zijn omdat het Ministerie van Onderwijs de onderneming genegen was, maar wél omdat zij in de prestatie belang stelden.

Iets gelijkaardig zou men kunnen zeggen van verschillende groote industrieelen welke tot deelname werden uitgenoodigd, afwezig bleven en misschien de Studieweek wel zouden tegengewerkt hebben als zulks mogelijk geweest ware. — Dit was onmogelijk want de solidariteit der «kleinen» was te sterk.

Dit is nog eens te meer gebleken uit de doelmatige en voorgehouden samenwerking tijdens de Studieweek zelf. Dit werd opgemerkt door de buitenlanders. Velen spraken er hunne hooge waardeering over uit en wenschten de inrichters van harte geluk.

De leerlingen van het Na.Ra.F.I. hebben ten slotte voordeel gehaald uit de tijdelijke schorsing der leergangen en velen hebben tijdens de Studieweek gelegenheid gevonden om zich bijzonder verdienstelijk te maken. Men zij hier huide gebracht. Vele deelnemers aan de tentoonstelling zullen er den besten indruk van bewaren.

DE REDACHTIE DEELT MEDE...

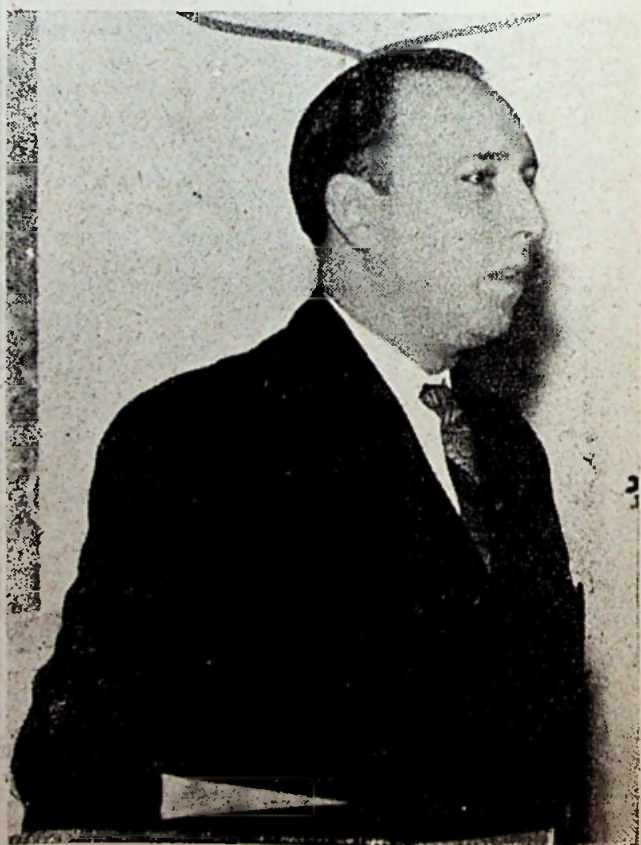
... dat No 10 van de Radio Revue niet vroeger kon verschijnen tengevolge van vele technische moeilijkheden en wegens het feit dat sommige teksten door voordrachtgevers in te leveren, langer uitbleven dan oorspronkelijk voorzien was.

Hierdoor zijn wij achteruit op ons programma waarvoor wij ons bij de abonnés en de lezers verontschuldigen.

Wij zullen al het mogelijke doen om den verloren tijd in te halen en in geen geval zal wie ook er schade door lijden.

Bijna zijn de moeilijkheden van het eerste jaar der herneming achter den rug. De laatste twee nummers zullen nu vlug volgen en... wij plannen reeds voor het volgende jaar.

Wij verklappen nog niets. Het mag wel even een aangename verrassing zijn. P. H. B.



Hr. VAN CAENEGHEM

Cabinetschef van den eersten minister vóór tijdens zijn rede ook vele woorden van waardeering.



Een zicht op de zoo talrijk bijgewoone openingsvergadering. — Op de voorste rij van links naar rechts H.H. Lacoste v.h. A'g. secr. ter bevo'dering v.d. arbeid, Kolonel Henrotay : voorzitter van den beheer-raad van het NARAFI. Ing. R. Devillez... het hart der studieweek.



Leerlingen van het Na Ra Fi... experimenteeren en ...verstrekken u'tleg over de tentoongestelde apparaten. Zij waren de... stille werkers waaraan de bezoekende gemeenschap veel te danken heeft en die het succes der onderneming volledig maakten.

STUDIEWEEK IN HET NA. RA. FI.

ALGEMEENE INDRUKKEN DER TENTOONSTELLING

De publiciteit eenerzijds, en de interesse voor de nieuwste technische vindingen anderzijds, heeft velen er toe aangezet een bezoek te brengen aan de Na.Ra.Fi Studieweek. Er zal werkelijk geen enkel bezoeker de tentoonstelling ontgoocheld hebben verlaten, want de verscheidenheid der apparaten was meer dan groot genoeg om elkeen te bevredigen, zooals dadelijk uit volgende opsomming zal blijken.

De eerste zaal waar we werden rondgeleid, werd volledig in beslag genomen door de firma «Staar» te Brussel. Projecties werden uitgevoerd met de draagbare klankprojectoren «De Vrij». Met de apparaten voor televerbindingen «Link» waren demonstraties aan den gang. Men stond in verbinding met een auto die de stad doorkruiste. De toestellen waren frequentiegemoduleerd en handig in het gebruik. Een andere, zeer krachtige zender was eveneens te zien; evenals een 20 watt versterker van hoge kwaliteit, aangesloten op een luidspreker Dupiex-Alter met speciale diffusieschermen. Bovendien stelde Staar nog een kwartstoonafnemer voor, uitgerust met specialen filter,

die de aansluiting mogelijk maakt op enkelvoudige en push-pull input. Het meest belangrijke element van deze stand was wel de Bruh-surface analyser: een vibratie pick-up door een speciale synchronomotor bewogen over het oppervlak, tast dit af, en zet de mechanische oneffenheden om in elektrische trillingen, die na versterking aan een registreertoestel worden toegevoegd. Als demonstratie toont men aan dat gerectificeerde vlakken, reliëfverschillen vertonen van de orde van 0,1—0,001 mm; zeer zuiver afgewerkte vlakken van 0,01—0,001 mm en vlakken van uiterste precisie van 0,01 tot 0,0001 mm. Verdere uitbreidingen op medisch gebied, zooals het registreren van de hartslagen hadden bij de demonstratie door de buitengewoon sympathieke vertegenwoordiger van Staar, een geweldig succes. Het opsporen van trillingen op machinedeelen is zeer nauwkeurig. Proeven met apparaten «Paravox», voor hardhorigen, overtuigden ons van hun gevoeligheid. Tenslotte interesseerde zich menig technicus aan de soldeerbouten «American Brantz» waarvan de soldeerpunt, dank zij een



Tijdens den rondgang door de tentoonstelling verstrekt de Heer BERNAERT, directeur van het Na Ra Fi uitleg over een HF.-puntlascbmachine. Kijk met welke gespannen aandacht de aanwezigen luisteren.



De « Brush surface analyser » wekt groote belangstelling en bewondering.

een speciale legering, bestand is tegen oxydatie.

De firma O.I.P., Soc. Belge d'Optique et d'Instruments de Précision, exposeert in de conferentiezaal. Zij legt zich voornamelijk toe op het klieven der kwartskristallen en het nameten ervan. Enkele mooie speciemens worden tentoongesteld, en men kan de structuur nagaan met een microscoop. Door een tweede speciale microscoop kan men de polariteit van een willekeurig kwarts onmiddellijk bepalen. Een monochromatisch licht, uitgestraald door een natriumdamp, wordt waargenomen doorheen twee kristallen waarvan de onderlinge stand kan gewijzigd worden.

De O.I.P. is ook zeer gespecialiseerd in het vervaardigen van microscopen, waaronder binoculaire verrekijkers, prisma-verrekijkers en vergrootglazen. Tenslotte stelt O.I.P. ons een interessante serie kalibers, schroefdraadkalibers en mallen voor.

Tegenover O.I.P. is een plaats voorbehouden aan de firma Henkart, Van Velsen en Laoureux, die een uitgebreide reeks meetinstrumenten van Chauvin Arnoux voorstelt. We onderscheiden een handig universeel meetinstrument met 2 schalen voor service-men, nauwkeurige pyrometers, en stevige toestellen voor industrieel gebruik.

Een oven met thermostaat, waarvan de temperatuur zeer nauwkeurig kan worden geregeld, alsook een handbediende centrifugeermachine voor het scheiden van vloeistoffen met verschillende densiteit, wekten ieders aandacht.

De boekhandel P. H. Brans vertegenwoordigt de documentaire zijde van de tentoonstelling en stelt ons een boeiende reeks werken van hoge technische en tevens praktische waarde voor. De firma heeft er voor gezorgd dat de laatste nieuwigheden worden bekend gemaakt; noemen we hier als voorbeeld de « Piezo-electriciteit » door E. J. Palmans. Dit vertegenwoordigt een unicum op dat gebied. Vergeten wij natuurlijk niet het Radiolampen Vade Mecum te vermelden, waarvan de eene oplage de andere volgt, en die een afzetgebied vindt in alle werelddeelen. Een kaart toont ons trouwens op aanschouwelijke wijze aan, dat de firma P. H. Brans talrijke agentschappen bezit, over de geheele wereld verspreid.

Nemen we nu een kijkje in de aanpalende zaal, waar de firma's Decca-Fonior, Decca Ltd. London, en Pye-Cambridge exposeeren.

Wat we vooral opmerken is de finesse waarmee de laboratoriumtoestellen van Pye uitgevoerd zijn: Potentiometers, Weerstandsdoozen tot op 0,01 % na nauwkeurig, Spiegelgalvanometers waaronder één met ingebouwde schaalaflezing, en een meetbrug met rechtstreekse ijking. Op dezelfde tafel stelt Pye ook een universeel meetrek voor: dit rek groepeerst haast alle instrumenten onontbeerlijk voor de radio-dépanneur: bovenaan een meetzender die een band dekt van 100 kHz tot 50 MHz, continu verdeeld over 7 banden met directe aflezing. De uitgangsspanning die steeds varieert met de frequentie kan bij ieder frequentiebereik tot op 0,1 Volt geregeld worden door

aflezing op een ingebouwde meter. Men kan de draaggolf moduleeren of wel uitwendig door een ingebouwde 400 Hz-bron. De modulatie diepte kan op 30 % geregeld worden, door aflezing op het voornoemde instrument. Men kan buitendien de LF-bron afzonderlijk aftakken; dan stemt 30 % modulatie overeen met 1,4 Volt uitgangsspanning. Met het toestel wordt een kunstmatige antenne geleverd. Een tweede instrument op dit rek is een outputmeter met drie schalen: een dB-schaal, een schaal tot 300 mW en een tot 3000 mW; er zijn impedantie-aanpassingen voor courante luidsprekers, een voor impedantie alsook voor hoge impedantie. Tenslotte is het onderste deel van het rek voorbereiden aan een meetbrug voor weerstanden en condensatoren. De capaciteiten gaan van 10 pF tot 20 μ F, verdeeld in 3 banden, de weerstanden van 20 Ω tot M Ω verdeeld in 2 banden. De aflezing geschiedt op een ingebouwden meter. Bij maximale uitslag is de brug in evenwicht. Buitendien kan op hetzelfde instrument ook de lekstroom bepaald worden door den condensator voor proefspanningen van 6 tot 450 Volt.

Plots wordt onze aandacht getrokken door een kleine luidspreker die aankondigt: « Wij bevinden ons thans aan het station te Vorst; is de modulatie bevredigend? » En inderdaad, men neemt juist proefnemingen met een draadloze telefoon, insgelijks van Pye-Telecommunicaties: een auto was zoojuist vertrokken met een installatie gelijkaardig aan deze die in de zaal gebleven was. Een gewone autobatterij van 6 volt wordt

aangesloten aan een kastje; in het onderste deel zijn drie draaiende omvormers voorzien die ieder de ontvanger, de zender en een afzonderlijke versterker meten. Deze versterkere dient tot « Public Address » t.t.z. door middel van de microfoon kan men langs een grooten luidspreker, vóór de auto opgesteld, bevelen richten tot het publiek. Dit is van groot belang voor politie en brandweer (ordediensten...). De zender is met kwarts gestuurd, op een golflengte van drie meter en is voldoende voor een groote agglomeratie. Het geheele stel kan geborgen worden in het koffer of onder een zetel, daar het bediend wordt door een klein contrôlekastje dat op het bord geplaatst is. Ook luidspreker en microfoon worden bij de hand ingesteld.

Zeer interessant is ook de gekende Pye's « We begin » legerzenders-ontvangers, die tijdens de veldtochten groote diensten hebben bewezen. Het geheel is gevoed door een inwendige droge batterij. Alle spanningen worden door een omschakelaar op één meetinstrument afgelezen en gebeurlijk bijgeregeld. De antenne bestaat uit uitneembare segmenten. Het bovenste deel is voorbehouden aan de ontvanger, het onderste aan de zender. Het afstembereik gaat van 5 tot 9 MHz. Zender en ontvanger kunnen juist afgestemd worden door zwinging. De zender is hoorbaar op 15 Km. Om het stroomverbruik te bezuinigen wordt de zender slechts ingeschakeld bij het spreken; dit geschiedt door een drukknop in de microfoon aangebracht. Een leerling was in verbinding met een gezelschap die ergens in het park opgesteld was.



De Laboratoria Vandamme behaalden het meeste succes met hun « werkend ontvangerschema ». — Rechts Dhr. H. Vandamme die inlichtingen verschaft aan de hooge bezoekers.



Een leerling in verbinding met een gezelschap... ergens in het park.

Een supplementaire koptelefoon liet ons toe, het gesprek te volgen.

Deze zeer belangwekkende stand van Pye werd besloten met de demonstratie van het HF-puntlasch pistool. Dit instrument is wel een der meest originele toepassingen der HF-verwarming. Twee krachtige trioden vormen de oscillatorkring; door de geweldig hoge frequentie (175 MHz) zijn de koppelkringen ontaard in verzilverde-U-vormige geplooide staven. De lampen worden op 2000 V wisselstroom rechtstreeks gevoed. De HF-energie, van de orde van 100 W wordt door trombonekoppeling op een coaxiale lijn overgedragen en toegevoegd aan een pistoolvormig werktuig. Bij het aandrukken van de haan wordt de energie toegevoegd. Een glijcontact op het pistoollichaam dient tot het aanpassen van de transmissielijn aan de golf lengte. De aanpassing wordt aangeduid door een gloeilampje in het pistool. Het HF-veld ontwikkelt zich op het uiteinde van den loop tusschen een indrukbare punt en de omgevende mantel. Een ingebouwd tijdregelsysteem doet het apparaat afslaan na een zekeren tijd, die bepaald wordt door 'n regelknop. Het systeem berust eenvoudig op een condensator, die zich ontlaadt over een regelbaren weerstand; deze exponentieel afnemende spanning stuurt een lamp, waarvan de plaatstroom 'n relais controleert. Dit relais onderbreekt bij onvoldoende plaatstroom hoogspanningsleiding, dus als het rooster te negatief wordt. Het apparaat is speciaal ontworpen tot het plaatsgewijs onmiddellijk verharden van lijm bij het plakken van sierhout, waardoor de schadelijke stoomverwarming en de omvangrijke persen wegvallen. Een demonstratie toont ons de degelijkheid van het apparaat: 1 à 2 seconden volstaan om de lijm steenhard te doen worden. Een speciaal zuur met hoge dielectrische verliezen wordt tusschen de lagen toegepast waardoor het inwendig effect der verhitting nog sterker wordt. De « autogene lassching » en het hermetisch sluiten van plastische stoffen en cellophaan zijn nog twee even belangwekkende toepassingen.

Wat Decca-Londen betreft, deze heeft ons een staalje gegeven van kwaliteit in geluidswaer-

ve: de « Deccola »; dit meubel, zeer schoon en harmonieus van uitvoering, bevat een gramfoonversterker met platenwisselaar. De arm is dynamisch en de safier is zeer elastisch opgehangen; het gewicht op de plaat is 17 gram. De versterking geschiedt volledig met triodes in push-pull, geneutrodyniseerd en met stroomtegenkoppeling. De volumeregeling wordt door een filter aangepast aan de geluidskromme van het oor (verhoging van de lage t.o.v. de hoge tonen bij verzwakking). De toonregeling voor lage en hoge tonen behelst ieder dier standen. De permanent dynamische luidsprekers zijn zoo opgesteld dat eigen resonanties vermeden worden. Diffusieschermen verzekeren een goede verspreiding der hoge tonen, en... werkelijk, enkele goedgekozen platen overtuigden ons van de prachtweergave.

Decca-Fonior zijnerzijds geeft ons een heel belangwekkend overzicht over de weinig bekende kultuur van Seignettezoutkristallen. Het zout ($\text{KNaC}_2\text{H}_3\text{O}_6$) wordt opgelost tot oververzadiging; de neergeslagen kristallen worden onderzocht; deze zeer regelmatig structuren worden voortgebracht in thermostaat-ovens waarvan men de temperatuur geleidelijk laat dalen; zoo blijft de oververzadiging behouden en het kristal groeit aan. Op voldoende grootte gekomen (b.v. na 5 weken) wordt het kristal gekleefd volgens de elektrische as en gebruikte de vervaardiging der pick-ups en microfoons. Bij pick-ups wordt de piëzo-electriciteit opgewekt door wringing, bij microfoons door buiging. Nu heeft een piëzo-electrisch kristal ook de eigenschap te buigen onder invloed van een potentiaalverschil op zijn vlakken. Het wordt toegepast bij de piëzo-electrische motor: aan twee groote samengeplakte kristalstaven wordt een wisselspanning toegepast, die omgezet wordt in mechanische trillingen. Door een haak worden deze trillingen overgebracht op een tandrad dat begint te draaien.

Nadien maken we kennis met de Decca-Navigator, waarvan de werking uitgelegd wordt in de voordracht van de heer Buys: « De jongste toepassingen der Radio-Navigator ».

Eindelijk merken we nog in dezelfde zaal: een reductieapparaat G.M., tot het overbrengen van beelden op film van verschillend formaat en een 16 mm-geluidsfilmprojectie-apparaat « Victory-Précisivox ».

Thans belanden we in den stand van een jonge maar veelbelovende vereniging « Les Applications Electroniques ». Enkele apparaten tonen ons aan met welke ernst deze firma haar werken uitvoert: een electronisch tijdrelais dat in serie geschakeld kan worden met b.v. de belichtingslamp bij kunstlichtopname of in een vergrootingsapparaat. Een instelbare regeling en een drukknop zijn voldoende. Verder een capaciteitsmeetbrug met aflezing van verlieshoek en ook een merkwaardige « Z »-meter, waar de waarde van spoelen alsook hun kwaliteit nagegaan kan worden.

De Bell Telephone Mfg Co exposeerde in een stemmig klaslokaal. We vonden daar een kathodestraaloscillograaf die juist de voorstelling gaf van

een grondfrequentie en haar tweede harmonische. De oscillograaf was met alle denkbare regelingen voorzien, en de innerlijk opgewekte zaagtandspanning was buitengewoon stabiel. Er waren ook nog drie generatoren voorhanden. De twee studenten die hiermee demonstreerden waren buitengewoon goed op de hoogte van hun taak, en ze wisten op verzoek op de oscillograaf verbazend interessante figuren te maken. Dit alles met de drie generatoren en de klpfrequentie.

Hierna komen we in vrijwel de grootste zaal der tentoonstelling. De firma Bosch Electronics uit Londen heeft hier een groot type stroomluidspreker en groote versterker. De weergave is goed, en de installatie kan een geweldig vermogen ontwikkelen. Ook de ultra-kleine lamptypes voor apparaten voor doven en kleine zakontvangers zijn van de partij. Eveneens verschillende soorten van kwikdampgelijkrichters. Het grootste deel van deze stand wordt evenwel in beslag genomen door de ovens met HF-verwarming en de z.g. « electronisch naaimachine ». De ovens laten toe alle stoffen te verwarmen en zelfs te bakken. Belangstellenden brengen de hen interesserende producten mee om er demonstraties mee te doen. De heer Van den Bosch doet dit steeds bereidwillig op altijd even nauwkeurige wijze. Een bezoeker vroeg zelfs om eens een ei te bakken. Het ging veel te goed want het ei knalde dadelijk uiteen in het hoogfrequentveld. Bij matige instelling van



Ing. A. BIOT
verstreckt inlichtingen over de prima optische apparaten
van O.I.P.



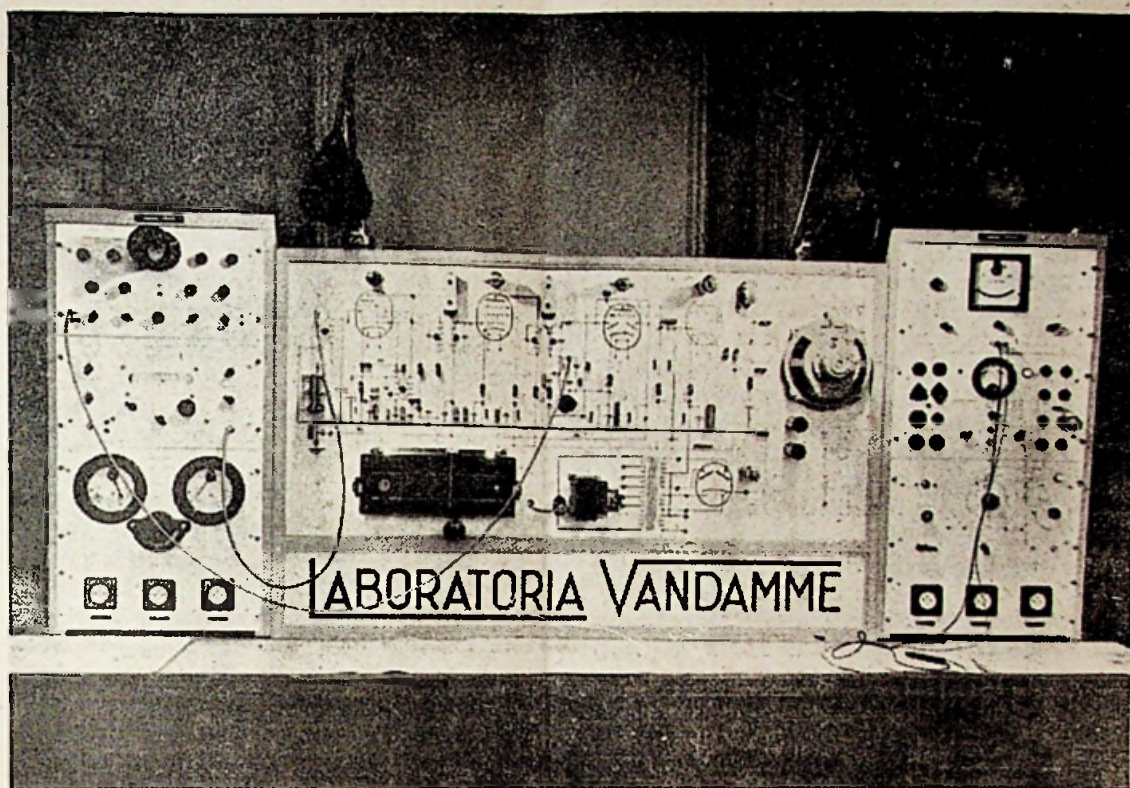
Dr. VAN DEN BOSCH
tijdens eene zijner voordrachten.

de oven is dit echter zeer goed mogelijk. Er is al een oefening voor nodig. Het HF-veid is regelbaar, evenals de tijd gedurende dewelke het veld moet blijven bestaan. Het apparaat schakelt dan automatisch uit.

De « electronische naaimachine » is op hetzelfde principe gebaseerd; ze bevat 2 evenwijdige koperen staafjes waartusschen de te lasschen plastische stof wordt gebracht. Door de dielectrische verwarming smelten zij snel aaneen. Keurige, door de heer Van den Bosch uitgevoerde portefeuilles voor treinabonnementen en handige tabakzakjes, worden door onze studenten dankbaar meegedragen als bewijs voor de huidige stand der hoogfrequentietechniek. De bediening van deze apparaten is zeer handig, alleen... opgepast voor brandwonden!

Juist hiertegenover vinden we Unic-Radio van Luik, met talrijke apparaten.

Een eerste toestel is een HF-generator met frequentiemodulator, om de kringkwaliteit te meten. De bandbreedte van afgestemde kringen kan hiermede worden vastgesteld. De generator is regelbaar van 100 kHz-2MHz. Een ingebouwde vaste oscillator van 9 kHz kan ook worden geregeld op 4,5 - 16 en 21 MHz voor het afregelen van KG-spoelen. De stabiliteit van de 9 MHz frequenten kan voortdurend door 't apparaat zelf worden nagegaan. Eventueele afwijking door onnauwkeurig geworden capaciteiten kunnen gecompenseerd worden afgelezen door een kleine draaibare condensator die parallel over de eerste is geschakeld en waarmede men dus de grondfrequentie over



Het « wonderschema » der laboratoria Vandamme.

kleine waarden kan doen veranderen. De oscillograaf zelf bevat nog twee versterkers die het mogelijk maken om zeer zwakke signalen te versterken. Ze hebben elk een versterking van 35 en kunnen ook in serie worden opgesteld voor een versterking van 55².

Een tweede apparaat dient om capaciteiten en weerstanden te meten. Het werkt zoals een Wheatstone-brug met electronenstraaflafstemindicator. Weerstanden tot 10 Ω en capaciteit tot 100 μF kunnen worden gemeten van electrolytische condensatoren, kan zelfs de lekstroom worden nagegaan. De $\text{tg}\varphi$, dus de verlieshoek, kan eenvoudig worden afgelezen. Het apparaat bevat ook een multimeter voor gelijk- en wisselstroomspanningen. Vergelijkende metingen op zelfinducties zijn mogelijk.

Een volgend apparaat bevat een Volt- en Amperemeter voor controle van voedingstransformatoren. Kortsluiting in enkele windingen kan worden opgespoord. Verder nog een ingebouwde zelfinductie om de opwekking der luidsprekers te vervangen. Een proef uidspreker met regelbare impedanties van 1500 tot 14000 Ω is voorzien. Men kan ook de wisselspanningen op spreekspoelen en transformatoren meten.

Het toestel bevat nog een lampvoltmeter en een HF- en LF-generator. Deze signalen zijn allen regelbaar en afzonderlijk af te nemen.

We vinden er ook nog een speciale oscillograaf. Hij bevat alle noodige verfijningen en eveneens

voorzien van 2 versterkers. De kipspanning kan op de x of y-as worden aangelegd. De 2 versterkers kunnen worden omgeschakeld en kunnen afzonderlijk voor andere versterkingen worden gebruikt. Zij kunnen ook in serie worden geschakeld. Een speciale inrichting laat toe zaagstandspanningen relaxatietrillingen, te bestuderen. Schakelaars en relais kunnen worden bestudeerd wannerser ze onderbreken. Een laatste apparaat: de « commutateur electronique » dient om vervormingen in versterkingen te meten.

De firma Jacquemart toont ons speciale meetinstrumenten, zooals een LF-generator, een lampvoltmeter en meters voor het meten van de waterstofionenconcentratie of Ph. Verder nog laagfrequenttransformatoren en filmprojectoren N.S.B. Onder deze is er één voor filmen van 35 mm, die bijzonder de aandacht trekt. Hij staat in de grote hall opgesteld en alle bijzonderheden in het toestel kunnen duidelijk worden nagegaan.

De firma S.O.B.A.C. en Mees toonen ons alle soorten van klankfilmapparaten. Beide firma's geven ook nog doorlopende filmvoorstellingen in drie zalen van het gebouw. We kunnen ons dus overtuigen van de prestaties der toestellen.

In de volgende plaats staat de firma Vandamme, gespecialiseerd in het vervaardigen van meetinstrumenten en alle soorten controle-apparaten voor dépanneurs. De overzichtelijkheid van de opstelling maakt goede indruk. Een overgroot schema van een radiotoestel is op een plaat geschilderd. Daar waar de weerstanden, condensa-

toren, transformatoren, antenne- en oscillatorspoelen alsook de lampen en andere diverse onderdeelen geteekend staan, zijn ze ook werkelijk aangebracht. Door een verdienstelijk agent der firma worden nu met dit toestel demonstraties gegeven. Wanneer deze dus b.v. een trimmer van een HF-transformator bijregelt, doet hij dit op het plan, en tegelijkertijd in werkelijkheid. Alle contrôleinstrumenten zoals HF-generator, LF-generator, oscillograaf, Volt- en Amperemeters, Ohmmeters, Lampenmeter enz. worden nu met het schema, en dus met de werkelijke ontvanger om beurten aangesloten. We zien dus om zo te zeggen de practische uitbeelding van een theoretische les. Als originaliteit is het systeem buitengewoon. We zagen zeer dikwijls dat het lokaal gevuld was met aandachtige cursisten, en de firma Vandamme mocht dan ook op een reuzebelangstelling vanwege bezoekers en studenten bogen. De voordrachten door deze firma gegeven, namen meer dan één uur in beslag. De doelmatigheid der apparaten is nu voor iedereen die er mee kennis maakte, een voldoende feit. Bladen met korte beschrijving der toestellen, foto's en prijzen worden welwillend ter beschikking gesteld.

In volgend stemmig lokaal heeft de firma Gedeco (General Development Co) een massa toestellen tentoongesteld. Het meest opvallend is een HF-oven. We kunnen hem hier in werking zien. Het HF-veld is regelbaar, evenals de tijd gedurende dewelke het moet optreden. Het toestel wordt op verzoek geopend en we kunnen dan duidelijk de zender in werking zien, met zijn twee luchtgekoelde triodes. Op twee groote tafels vinden we dan nog draaibare condensatoren, vaste condensatoren en verschillende types toonafnemers en microfoons. Zelfs keelmicrofoons zijn hier te vinden.

Om personen te roepen, of bepaalde mededelingen te doen zooals aankondigen van filmvoorstellingen, zijn aan de ingang een microfoon en een versterker, beide van het merk « Pam » opgesteld. Twee zeer krachtige luidsprekers van zeldzame herkomst zijn in de zalen opgesteld en wel zoo dat ze overal kunnen worden gehoord. Deze versterker is van het 25 Watt-type en voorzien van ingangen voor microfoon en pick-up. De bediening is zeer eenvoudig en wordt door twee toonregelaars, één voormeregelaar voor pick-up en één voor microfoon, bevolen. Het toestel was zeer snel opgewarmd wanneer men het noodig had en bood een hoog esthetisch uitzicht.

Kortom, om even de indruk onzer wandeling samen te vatten, mogen we zeggen dat het Na.Ra.Fi. een prachtprestatie heeft geleverd bij het op touw zetten dezer Studieweek. De personen die gelast waren met het opnemen der namen der bezoekers, dit om redenen van statistiek, deelden ons mede dat het enthousiasme onder de bezoekers zoo groot was, dat een groot percentage onder hen, drie en viermaal de inrichting bezocht. In het bezoek van vele vooraanstaande personaliteiten, ook zeer talrijke Nederlanders, Engelschen en Polen, mochten zij zich terecht verheugen.

Het weze ons toegelaten op deze plaats een openlijke hulde te brengen aan de heren Bernaert en Pa'mans, voor de toewijding die zij hebben getoond en voornamelijk voor de moed die zij hadden om zoiets als de Studieweek op touw te zetten. Als deze eerste Studieweek reeds tot volslagen succes leidde dan is het aan hun impuls te danken!



En dit was het schitterende besluit van de Na Ra Fi-studieweek. De Londensche en Parijische televisie werd te Blankenberge ontvangen met een gewone « Pye » home television receiver door de h.h. A. L. Bernaert en Ing. D. Jackson der Fa Pye.

Verlagen der voordrachten gehouden tijdens de Studieweek te Brussel

en waarvan wij tot dusver geen oorspronkelijken tekst ontfingen. De verslagen werden gemaakt door dhr. Karel Ceoen, derde jaarsstudent van het Na.Ra.Fi., die zich tijdens de Studieweek bijzonder verdienstelijk maakte.

Luchtvaart navigatiestelsels.

Voordracht gehouden door den Heer F. W. Buys,

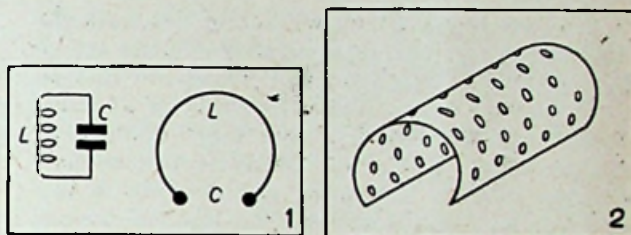
De heer Buys heeft vooral de hoofdlijnen en werkingsprincipes in zijn voordracht uitgediept maar dit reeds vormt zoo'n uitgebreide stof dat zij moeilijk in een paar uren bevattelijk kan voorgesteld worden. Het hoofddoel dezer stelsels is de beveiliging van vliegwezen en navigatie. Het is klaar dat de opzoekingen en toepassingen op dit gebied tijdens de oorlogsjaren een geweldige vlucht genomen hebben en dat er tusschen oorlogvoerenden een wesenlijke strijd bestond in het ontdekken van meer afdoende stelsels. Nu heeft voornamelijk de vooruitgang op radiotechnisch gebied deze toepassingen mogelijk gemaakt. Een der groote vereischten is de ultra-kortegolftchniek die in de gewone constructie heel wat beperkingen heeft opgelegd: zoo is een gewone radiolamp met concentrisch opgestelde elektroden bruikbaar voor golflengten tot één meter.

Vóór den oorlog dacht men er reeds aan de dimensies in te krimpén en met eikellampen bereikte men nog een normale werking tot golflengten van 50-45 cm.

Een tweede methode is de z.g. Barkhausen-schakeling die gebruik maakt van de eindige looptijd tusschen rooster-kathode en een positieve roosterpolariteit toepast; aldus worden cm-golven bereikt.

Een andere toepassing is het aanwenden der snelheidsmodulatie die zooniet een overbodig nevenverschijnsel is, vermits gewoonlijk slechts stroommodulatie bruikbaar is. Aldus bekomt men heel korte golven met constanten stroom, gemoduleerd in snelheid. Men kan dus samenvatten dat er nood was: 1°) aan U.K.G.-buizen (denk aan Radar, waar de bundeling der energie en de mogelijkheid van tijdsmeting der reflectiegolven zeer korte golven vereischen).

2°) Aan K.G.-systemen die terzelfdertijd een voldoende energie afleveren: dit stelt de Barkhausenstelsels buiten toepassing. Nieuwe systemen drongen zich dus op: Magnetron: de electronenvloed tusschen kathode-anode wordt door een wisselend magnetisch veld beïnvloed. Deze toepassing wordt verbeterd door de studie der golfgeleiding en resonantieholten: aldus kunnen K.G. overgebracht worden op gewone buizen als hun afmetingen overeenkomen met de golflengte; immers een resonantieruimte is een ontaarde tril-



lingskring, bestaande uit een gedeeltelijke winding die de zelfinductie verwzenlijkt, en waar de afstand tusschen beide uiteinden de condensator uitmaakt (fig. 1).

In een resonantieruimte, bestaande uit een gebogen doorboorde plaat kan men dus den electronenstroom moduleeren (fig. 2).

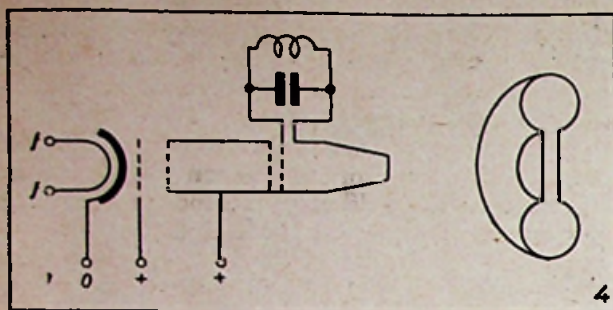
Een magnetron, voorzien van zulke resonantieruimten noemt men een rhumbatron, waarvan U de opstelling en equivalentschema ziet in fig. 3: (π -opstelling). De uitgang wordt afgenomen door een lusje koperdraad in de ruimte (A). Dergelijke inrichtingen kunnen reeds 2000 KW. afleveren op cm-golven.

Worden nu twee rhumbatrons gekoppeld dan bekomt men een klystron (fig. 4), waaronder we o.a. de reflexklystron (fig. 5) kunnen vermelden. De twee rhumbatrons worden door een fijn rooster in de buis verbonden.

Het is niet onnuttig, in verband hiermede het Radarprincipe te herhalen: een HF-generator met gebundelde uitstraling zendt impulsen uit: het richtingseffect toont de ligging van het weerkaatsende voorwerp aan; het tijdsverloop tusschen de heen en weerkeerende impuls is een maat voor de afstand. Het gemiddeld vermogen is dus laag, maar het piekvermogen is zeer hoog. Een kleine impuls laat een betere tijdsbepaling toe, maar dan mag de frequentieband der ontvangers wegens richteffect door vreemde zenders niet gestoord worden. De bandbreedte in

$$\Delta f = \frac{1}{t (\mu \text{ sec})}$$





Gaan wij thans de ontwikkeling der kathode-straalbuizen na: ook deze moeten voldoen aan de opgesomde K.G.-eischen: wat betreft de fluorescentie kan de veroorzaakte lichtvlek in afmeting gereduceerd worden door een meer doorgezette lichtbundeling. Vooral de tijdbasissystemen hebben zich moeten aanpassen aan de jongere toepassingen der oscilloscopen. Zoo kunnen we opsommen:

1°) De welbekende lineaire tijdbasis (rechtstreeksche gesynchroniseerde terugkeer van de lichtvlek naar den oorsprong).

2°) Circulaire tijdbasis: twee van 90° gedephaserde spanningen, aangelegd op twee paar platen verwekken een ronddraaiend lichtpunt.

3°) Tijdbasis met amplitudemodulatie: dit geeft een spiraalvormig ronddraaiend punt.

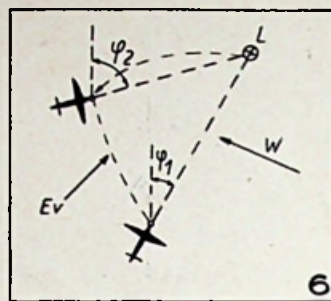
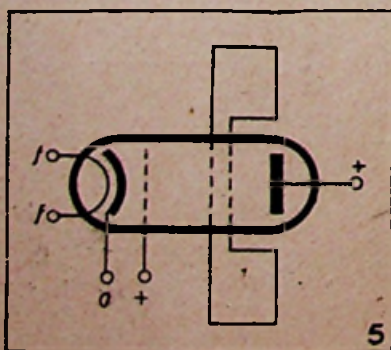
4°) Radiale tijdbasis: de straal draait rond in synchronisme maar met verschillende radialen. De straal gaat n.l. door een kegelcondensator waardoor de radiaal zich wijzigt.

5°) Lineair gesplitste tijdbasis: hier zijn twee afzonderlijke tijdbasissen voorhanden die op het scherm kunnen aangewend worden door Trigger-circuits. Zulke circuits laten het voortdurend ompolen der inwerkingsstelling der basissen toe.

Tenslotte kan nog aangehaald worden dat wat betreft modulatiestelsels frequentiemodulatie nuttig is wegens beveiliging tegen motorstoringen: vermits de amplitude constant is kan zonder nadeel in den ontvanger een amplitude-begrenzer opgenomen worden.

Dit weze dus een overzicht van de verscheidene toestellen en methodes die ten dienste waren tot het ontwikkelen en in practijk brengen der radio-electrische navigatiestelsels.

Wat werd nu verwezenlijkt op dit gebied tot in 1939?

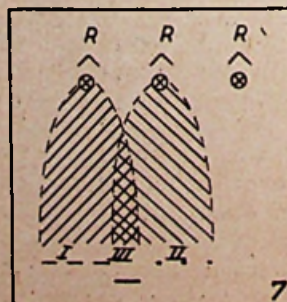


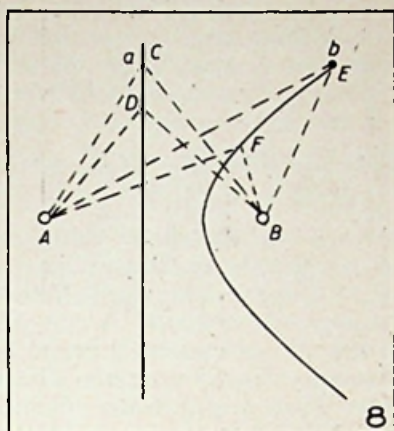
1°) Radiogoniometrische inrichtingen: men weet dat een raamanienne richtingseffect bezit. Op dit principieel steunend werden o.a. te Croydon twee vaste maar loodrecht op elkaar staande ramen opgericht. Deze ramen werden aan een kompas in de contrôledienst gekoppeld waardoor dus de uitwijkingshoek bekomen werd dank zij de loodrechte opstelling. Zulke inrichting nu vertoont vele nadelen:

- a) hoge antenne's zijn hinderlijk op landings-terrein;
- b) de ramen spelen ook de rol van antenne! De capaciteit tusschen de wikkelingen en t.o.v. den grond geven kwadratuureffect;
- c) rechtstreeksche ontvangsfouten door onvolledige afschermingen;
- d) ontvangsfouten door nachteffect (verplaatsing der onrechtstreeksche golven). Geen correctie is mogelijk daar de ionisatiesfeer voortdurend schommelt;
- e) de metalen massa der vliegtuigen heeft een hinderlijke invloed.

2°) Radiokompas: Dit is reeds een groote verbetering. Een vliegtuig richt zich b.v. naar een landingsbaken en stelt zich dus in een zekeren kompashoek; als er nu zijdelingsche wind heerscht zal het vliegtuig de baken bereiken in een anderen hoek dan deze die origineel werd aangegeven (zie fig. 6). Bij het radiokompas wordt deze afwijking aangepast.

3°) Zendbakens met fictieve scheidingslijnen (fig. 7): Bakens A zend b.v. in sector I streepseinen uit en bakens B in sector II puntseinen, zoodanig dat de som dezer seinen een continuein uitmaakt (mengingsgebied III). De piloot hoeft dus slechts zóó te navigeeren dat het continuein bewaard blijft. Nadeel: eens het gebied uit het oog verloren kan de piloot door geen enkel hulpmiddel dit weervinden.





4°) Zendantennes: Hatcockstelsels: Onrechtstreeksche go ven worden slechts voortgebracht door deze golfuitstralingen die in een vlak liggen loodrecht op het aardoppervlak; dus door deze antennedeelen die horizontaal opgesteld zijn. Men kan dus onrechtstreeksche ontvangst, waarvan we de nadeelen opgesomd hebben, verhinderen door slechts te zenden in een horizontaal polarisatievlak, t.t.z. door zuiver verticale peilers. Maar dan moet iedere andere uitstraling verhinderd worden: men is verplicht zenders en transmissielijnen in den grond te bergen.

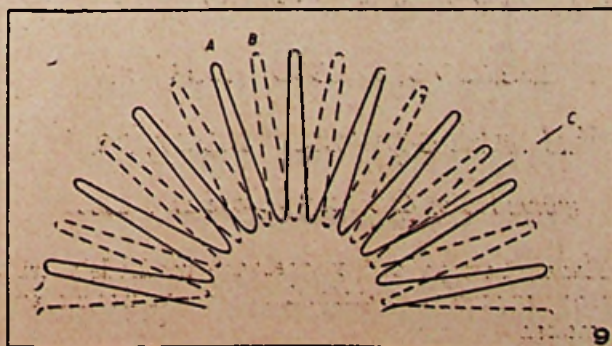
Nu werd bevonden dat de tot dan toe ontwikkelde systemen beslist onvoldoende waren voor oorlogsdoeleinden; meer zekere en uitgebreidere navigatiestelsels werden dan noodgedwongen uitgedacht. Ziehier dan de hoofdlijnen der nieuwe stelsels:

1°) DECCA: Principie: De meetkundige plaats van alle punten gelegen op gelijken afstand van twee punten is een rechte lijn (fig. 8a). De meetkundige plaats van alle punten, gelegen op een constant afstandsverschil tusschen twee punten is een hyperbool (fig. 8b). Zoo is voor a: $AC - BC = AD - BD = 0$ en $AE - BE = AF - BF = x$.

Wezen nu A en B twee gesynchroniseerde zenders: bevindt de ontvanger zich op de middellijn dan komen de golven tegelijkertijd, dus in phase toe. Wijkt de ontvanger af, dan is het ontstane phaseverschil in de ligging een maat voor de afwijking. Na een halve golflengte zijn de golven weer in phase. Een halve golflengte noemt men een laan. Meet men een phaseverschil van x graden dan kan men dus afleiden dat het vliegtuig zich bevindt op één van de punten der hyperbool die overeenstemt met dit phaseverschil. Is nu A ook gesynchroniseerd met een andere zender C dan kan men op een andere phasemeter aflezen op welke hyperbool tusschen A en C het toestel zich bevindt. Het kruispunt dezer hyperbolen geeft dan de juiste ligging aan. Speciaal uitgegeven kaarten geven de ligging aan der zenders en der hyperbolen. Er is dus steeds een hoofdzender en een hulpzender; de hulpzender moet zijn phase regelen volgens de hoofdzender. Om rond den hoofdzender dus een gesloten kring te vormen,

stelt men hierrond drie hulpzenders op gelegen t.o.v den hoofdzender in een hoek van 120°. De phaseverschillen tusschen den hoofdzender en ieder der drie hulpzenders worden op drie afzonderlijke phasemeters nagegaan. Daar de hoofden hulponvangst afzonderlijk aan den phasemeter moet toegevoegd worden kunnen beide zenders niet op dezelfde golflengte uitzenden; zooniet is schifting in de ontvangst onmogelijk. Daartoe zenden beide uit op verschillende frequentie maar zoodanig dat zij gemeene harmonischen hebben. Beide seinen worden afzonderlijk ontvangen, worden in frequentievermenigvuldigers weer op dezelfde frequentie gebracht en aan dan de phasemeters toegevoegd. De hoofdzender ligt op ongeveer 100 km van de hulpzenders. Hier worden dus ongemoduleerde golven uitgezonden die toelaten de ontvarstbandbreedte in te krimpen tot 200-300 kHz (vermindering der storingen). Er worden lange golven gebruikt wegens lange rechtstreeksche draagkracht. De ontvangstpost is vast afgestemd. De phasemeters kunnen vrij ronddraaien; bij ontregeling sluit men ze aan een referentie-oscillator; met de hand regelt men dan de meters tot nul. De gradenverdeling geschiedt in 100 graden. Nadeel: Het vertrekpunt moet vooraf gekend zijn (de baan moet geïdentificeerd zijn). Decca heeft echter onlangs hieraan door permanente aflezing verholpen.

2) CONSOL: Duitsch systeem dat zeer goede plaatsbepaling verwezenlijkt. Twee zenders zenden afwisselend achter elkaar een stervormig stralingsveld met verreikende punten uit (A en B, fig. 9) die door elkaar gestrengeld zijn. De scheidingslijnen tusschen twee toppen heet men koerslijnen (C). Zender A zendt b.v. puntseinen uit, zender B streepseinen. Op de koerslijnen compenseeren deze elkaar weer tot een continue sein. Het vliegtuig hoeft dus weer op het gehoor te navigeeren. Nu is het mogelijk dat het vliegtuig uit de koerslijn geraakt. Om dit ongemak te verhelpen handelt men als volgt: gedurende 1 minuut laat men de velden draaien zoodat het vliegtuig dus weer in een koerslijn terechtkomt. Dan zendt de zender gedurende 1 minuut zijn ligging en herkenningsteeken uit enz. 4/6 van het vermogen worden in den centralen zender opgenomen. De twee reflectie-antenne's nemen ieder 1/6 op. De zij-antennes hebben onderling 180° phaseverschuiving en t.o.v. de centrale-antenne 90° phaseverschuiving. Dit systeem reikt tot 1500 mijl.



3) LORAN: Berust evenals Decca op de hyperbolische navigatie, maar hier wordt Radarimpuls toegepast: de hoofd- en hulpzender zenden hier uit op dezelfde golfenlengte maar met een verschillende pulstempo. Men moet het tijdsverschil tusschen de impulsen der beide stations die natuurlijk weer gesynchroniseerd zijn. Men kan tot op een μ -sec juist aflezen, wat een plaatsbepaling toelaat tot op

$$\frac{300.000 \text{ Km}}{1 \mu\text{-sec}} = 300 \text{ m}$$

na. De twee signalen worden door Triggercircuits en gesplitste tijdbasis zichtbaar gemaakt op een oscilloscoop. Het ontvangstapparaat wordt juist geregeld door vergelijking met referentiepulsen.

Deze inrichting is zeer ingewikkeld en duur; zij wordt vooral toegepast voor scheepvaart; de draagwijdte bereikt 700 mijl. De impulsmethode brengt mede dat het topvermogen 150 kW, het gemiddeld vermogen 100 W bedraagt.

4) GEE: Principieel uitgevoerd zooals het Loranstelsel; de golfenlengte bedraagt hier echter slechts 4-10 meter, daar de rechtstreeksche golven bij luchtvaart geen hindernissen ontmoeten. De draagkracht is hier slechts merkbaar tot 300-400 mijl. Het vergelijkingssysteem is echter eenigszins anders: de hoofdzender zendt twee seinen uit; ieder der twee hulpzenders antwoordt ieder op één sein: men moet dus twee tijdsruimten meten; hun verschil geeft een maat aan voor de liggingaanduiding, die aldus nauwkeuriger kan geschieden. Dit vergelijkingssysteem vergt dus twee gesplitste tijdbasissen met ieder twee lijnen.

5) POST OFFICE POSITION INDICATOR: Dit stelsel bevindt zich nog in een experimenteel stadium. De zender zendt telegrafieseinen uit met gerichte straling door middel van antennegroepen. De stations liggen zoo dicht bij elkaar dat de hyperboelen reeds op korten afstand rechte koerslijnen vormen. De phasemeting geschiedt op L.F.-doorzweving van twee hoofdzenders met een derden hulpzender. De ontvangst geschiedt op raamantenne.

Besluit. — Dit beknopt overzicht laat ons zeker reeds toe, ons een idee te vormen over de geweldige ontwikkeling die de radio-electrische navigatiestelsels ondergaan hebben; en deze ontwikkeling zal er veel toe bijdragen, nu in vreedstijd het algemeen vertrouwen te winnen voor de luchtvaart, dank zij de uitgebreide veiligheidsmaatregelen, waarover zij thans beschikt.

Demonstratie met de "Brush-surface analyser"

gehouden op Zaterdag 9 November 1946.

Heden bestaan er verscheidene methodes om kleine oppervlakte-oneffenheden waarneembaar te maken:

1) Mechanische snede: Men snijdt het te onderzoeken stuk door, zoodat men het oppervlak in doorsnede kan nagaan. Deze methode wordt natuurlijk nooit toegepast want hieruit volgt de vernietiging van het voorwerp!

2) Methode van Schmoltz: Men onderzoekt het oppervlak volgens een optische snede van 45° .

3) Microscop van Meschau: Onder het objectief wordt een prisma geplaatst; tegen een der vlakken van het oppervlak; een lichtstraal wordt onder zoodanigen invalshoek in de microscoop weerkaatst dat de weerkaatsing totaal is. Nu zal deze weerkaatsing slechts gebeuren daar waar het oppervlak het prisma niet raakt (dus de uithollingen). Aan de raakpunten integendeel wordt de straal opgeslorpt. Men verkrijgt dus een beeld maar het relief wordt omgezet in lichtcontrasten.

Nu hebben al deze klassieke methodes het groote nadeel, slechts vergelijkende waarden te geven over de oneffenheden; zij geven geen rechtstreeksche afmetingen. Hieraan kan gedeeltelijk verholpen worden door een microscoop met één oculair en twee objectieven te gebruiken: voor het ééne zet men het oppervlak in kwestie, voor het andere een referentievlak waarvan de afmetingen vooraf gekend zijn. Beide vlakken worden dus in het oculair samen waargenomen; de uitwijkingen van het eene vlak zijn een maat voor deze van het andere, maar het is licht begriipelijk dat deze vergelijkingmethode geen nauwkeurige nametingen toelaat.

4) Aftastingsmethodes: Deze methodes brengen een groote verbetering, want zij laten een rechtstreeksche aflezing toe in absolute eenheden. Door enregistratie kan het aflezingsdiagram gemakkelijk onderzocht worden.

De procédés berusten op magnetische inductieveranderingen, electrostatische veldveranderingen of op piëzo-electriciteit. Aldus worden respectievelijk magnetische, condensator- en kwartsvibratiepick-ups als aftasters gebruikt. De vibratiepick-up is in principe uitgevoerd zooals een gewone toonafnemer: een stift die de oppervlakte afzoekt brengt de oneffenheden over in den pick-up onder den vorm van mechanische trillingen. Tot het iiken van het aflezingsstoel is een referentie-oppervlak noodig dat men practisch solidair vasthecht aan den meetarm.

De mechanische trillingen worden omgezet in electriciteit; deze worden in een rechtlijnigen versterker versterkt en aangesloten op een galvanometer met gebeurlijk een entregistreerpunt, of zichtbaar gemaakt in een oscilloscoop.

Ziehier de eigenschappen van de « Brush-Surface-Analyser »:

De vibratie pick-up werkt met een piëzo-electrisch kwarts. Een synchroonmotor met demultiplicator en excentriek geeft aan den pick-up een langzaam heen- en weerwaande beweging; deze kan gebeuren in twee loodrecht op elkaar staande richtingen. De stift verricht een beweging van 1 mm in 10 seconden. De ingangsspanning aan den versterker bedraagt ± 10 mV. De versterker

werkt in vier trappen. De totale versterking bedraagt 5000. De versterker werkt lineair in frequentie van 1 tot 500 Hz en in amplitude van $0,02 \mu$ tot 75μ oppervlakteverschillen. De uitgangsspanning is van de orde van 15 Volt. De registreerrol schuift onder de naald met een snelheid, regelbaar van 5 tot 25 mm/sec.

Met dit toestel kan men dus met groot gemak rechtstreeksche aflezingen doen tot op deelen van 1μ , zoodat men de vooraf beschouwde methodes als historisch materiaal kan klassereen. Als demonstratie toont men aan dat gerectificeerde vlakken reliëfverschillen vertoonen van de orde van $0,1-0,001 \text{ mm}$; zeer zuiver afgewerkte vlakken van $0,01-0,001 \text{ mm}$ en vlakken van uiterste precisie van $0,01$ tot $0,0001 \text{ mm}$!

“Piezo-electrische theorie en moderne kristallen”

Voordracht gehouden door den h. P. Germain, op Dinsdag 12 November:

De Heer Germain, na een samenvattende verklaring over de fundamentele piëzo-electrische begrippen, wijdt zijn voordracht voornamelijk aan de beschrijving en eigenschappen der verscheidene kristallen en brengt ons op de hoogte van enkele nieuwe kristalculturen, uitgevoerd in Zwitserland.

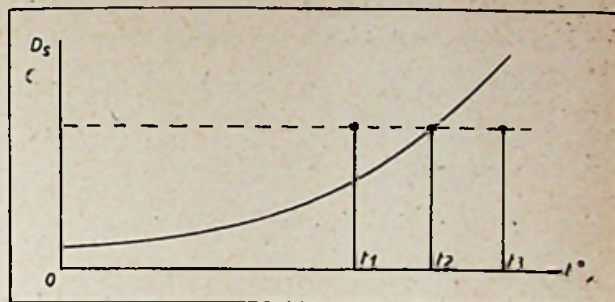
Heden zijn een en twintig kristalsoorten met piëzo-electrische eigenschappen gekend. Hieronder is o.a. de kristalsuiker geklasseerd!

Ziehier de kristallen, aangewend in de praktijk:

1) **Siliciumkwarts**: Is een natuurlijk gevormd kristal dat hoofdzakelijk in Zuid-Amerika opgedolven wordt. Het kwarts heeft een groote mechanische stevigheid, maar een betrekkelijk geringe piëzo-electrische modulus. Daarentegen bezit het als groote eigenschap dat zijn temperatuurscoëfficiënt ongeveer $= 0$ is, t.t.z. zijn eigenfrequentie is haast onafhankelijk van de temperatuur. Kwarts kan dus uitstekend als vaste frequentiestandaard worden gebruikt.

In de Vereenigde Staten tracht men kunstmatig gekweekte kwartskristallen te bereiden onder hooge drukking en temperatuur. Dit synthetisch kwarts heeft volledig dezelfde eigenschappen als het natuurlijk kristal maar zijn te trage kristallisatie belet een gunstig commercieele uitbating.

2) **Seignettezout**: Is de gewone benaming voor Kalium-Natrium tartraat ($\text{K Na C}_4 \text{H}_4 \text{O}_6$). Het Seignettezout wordt heden op groote schaal kunstmatig in kristalvorm aangekweekt wegens zijn geweldig snellen groei en zijn hoogen piëzo-electrischen modulus. Het wordt dan oök voornamelijk gebruikt in piëzo-electrische pick-ups en microfoons. Door zijn temperatuurscoëfficiënt is het Seignettezout echter minder geschikt als frequentiestandaard.



Ziehier nu, hoe men te werk gaat bij het kunstmatig aankweken van kristallen:

Het zout wordt in een waterachtige oplossing gestort bij een bepaalde temperatuur tot verzadiging optreedt. Nu is de verzadiging evenredig met de temperatuur.

Voorbee'd: Bij een temperatuur t_2 (zie figuur) hebben we een zout opgelost tot verzadiging. Verhoogen we tot t_3 , dan is de oplossing onderverzadigd, t.t.z. we kunnen weer een zekere hoeveelheid zout bij oplossen; verlagen we integendeel tot t_1 , dan treedt oververzadiging op en het overtollige zout slaat neer in kristalvorm. Deze kristallen worden nu eerst onderzocht in hun structuur; slechts regelmatige kristallen worden weder in het oplossingsbad ge'egd; het geheel wordt in een oven met thermostaat gebracht. Nu laat men de temperatuur van den oven gradueel dalen (b.v. $1/10$ graad per dag), zoodat de oververzadiging behouden blijft en het opgelost zout dus voortdurend neerslaat op de oorspronkelijke kiem. Deze groeit dus progressief aan en wel in zulke mate dat men na vijf weken van een kiem van een paar kubieke millimeters reeds een kristal bekomt waarvan de basisafmetingen 10 op 5 cm en de hoogte 3 cm bedragen! Tijdens het kweken moet iedere aanraking of trilling vermeden worden; de minste schok kan immers bij een oververzadigde oplossing parasietkristallen doen ontstaan die het origineele kristal zouden vervormen. Zulke kristallen zijn nu zeer hygroscopisch en moeten dus bewaard worden in alcohol of onder een beschermende laag; zooniet worden zij weer amorph. Na cultuur worden de kristallen gekleefd volgens den hoek die piëzo-electrische verschijnselen vertoont, op gewenschte grootte gereduceerd; door galvanoplastie worden de beide zijden ge'eidend gemaakt, zoodat hieraan de opgewekte ladingen kunnen worden afgenomen.

3) **Kaliumphosphaat** ($\text{KH}_2 \text{PO}_4$): Dit is een kristal waarvan de toepassingsmogelijkheden slechts onlangs werden onderzocht in Zwitsersche laboratoria, en dat aldus wel interessante eigenschappen schijnt te bezitten. Zoo is zijn piëzo-electrische modulus tienmaal grooter dan deze van het kwarts. Nadeel: Men kan het niet snijden volgens een temperatuurscoëfficiënt $= 0$. Zijn eigenfrequentie is slechts standvastig op een temperatuur hooger dan de omgevende. Hieruit volgt dat dit kristal niet geschikt is als frequentiestandaard, maar het leent zich uitstekend als bandfilter.

4) Ammoniumphosfaat ($\text{NH}_4 \text{H}_2 \text{PO}_4$) : Bezit dezelfde eigenschappen als het Kaliumphosfaat.

5) Kaliumphosfaat, gekristalliseerd in zwaar water ($\text{KD}_2 \text{PO}_4$) : Hier is de waterstof vervangen door zijn isotoop. Dit kristal nu zal waarschijnlijk in de toekomst de andere kristallen verdringen ; immers : zijn piëzo-electrische modulus is twintig maal sterker dan deze van het kwarts en zijn temperatuurscoëfficiënt is = 0 voor de omgevende temperatuur ! Ziedaar dus een ernstige concurrent voor het kwarts !

Deze interessante uiteenzetting heeft dus aan het licht gebracht dat de piëzo-electrische toepassingen dank zij deze zeer belangwekkende uitvindingen een grooten vooruitgang geboekt hebben en dat zij steeds meer en meer oudere methode's succesvol zullen verdringen daar waar zij reeds ten deele voldoen.

Wie meer uitgebreide gegevens wenscht over piëzo-electriciteit, raadplege met succes het uitstekend werk van E. Palmans « Theorie en Practijk der Piëzo-Electriciteit », uitgegeven bij P. H. Brans.

Hoog-frequent-verhitting.

Voordracht gehouden door den h. Van den Bosch, op Donderdag 14 November 1946 :

Aan de basis van iederen hoog-frequent-verhitter ligt natuurlijk een oscillator, die de gewenschte frequentie levert, soms gevolgd door een krachtversterker. De voorvader van de huidige oscillators is wel de vonkenzender (fig. 1).

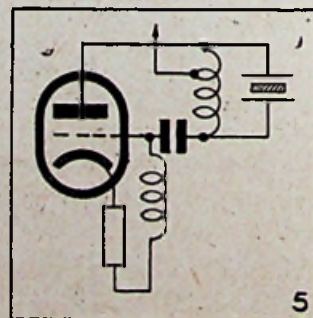
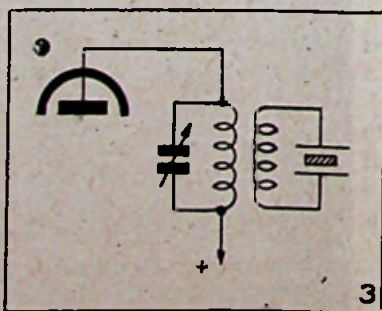
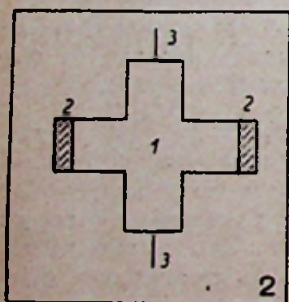
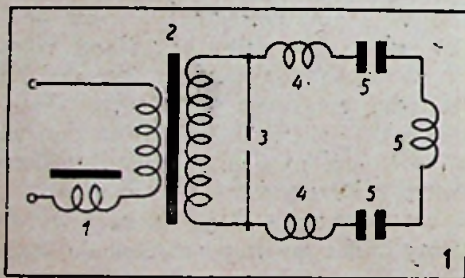
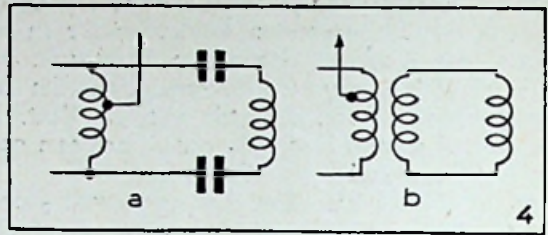


Fig. 2 toont in détail een lid van de vonkenbrug. Een ventilator is noodzakelijk om blijvende vonkenvorming te beletten. Deze vonkenzenders worden nu zelden gebruikt ; hun rendement bedraagt slechts 25-30 %. Tegenwoordig worden slechts

electroden staat. De vereischte energie wordt door de volgende formule gegeven :

$$W = \frac{0,637 \times d \times C_p \times t \times V}{T}$$



lamposcillatoren aangewend. Nemen we als voorbeeld de Hartley-schakeling (fig. 3). De H.F.-energie kan nu afgenomen van den oscillator, hetzij capacitatief (fig. 4a), hetzij inductief (fig. 4b).

Nu zijn er twee wel te onderscheiden wijzen van H.F.-verhitting, nl. : de verhitting door inductiestromen in metalen (Foucault-stromen) en door omwisselende polarisatie van dielectrica. De lijn wordt aangepast door regelbare koppeling (in afstand of volgens hoek).

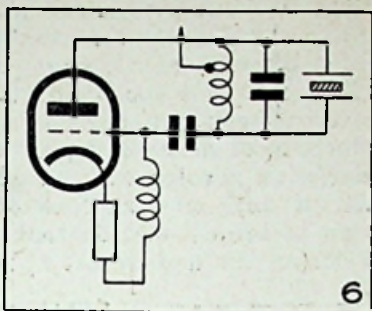
A) Inductieverwarming.

De optimum-frequentie bedraagt hier 300-600 kHz om inwendige verwarming te bekomen. De energie wordt in een solenoïde opgehoopt (zie fig. 4) ; in het veld dezer solenoïde wordt het te bewerken metaal geplaatst. Dat deze spoel de gekste vormen aannemen kan is duidelijk. Wil men een uitgesproken oppervlakteverwarming bekomen (b.v. : uitwendig harden van tandwielen, remtrommels, wijl het lichaam zijn soepelheid bewaart) dan past men frequentie toe tot 20 MHz. Hierboven doet het huideffect zijn invloed echter teveel gevoelen.

Opmerkelijk is dat deze schakeling reeds een rendement toelaat van 60 %.

B) Diëlectrische verwarming.

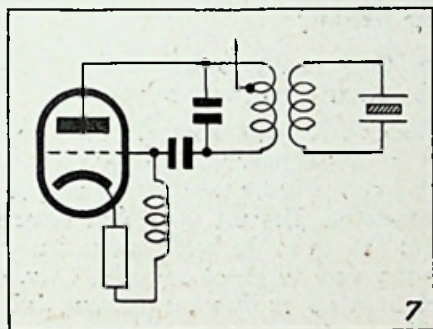
Hier wordt het diëlectricum onderworpen aan de inwerking van het electrostatisch wisselveld van den oscillator ; men kan dus het diëlectricum ofwel rechtstreeks aanbrengen tusschen de electroden van den oscillatorcondensator (fig. 5), ofwel, wat beter is, van een condensator in parallel geschakeld met den trillingskring (fig. 6). Dit kan trouwens ook door inductieve koppeling geschieden (fig. 7), wat belet dat er hoogspanning op de



d = dichtheid,
 V = volume,
 C_p = temperatuurscoëfficiënt,
 t = vereischte temperatuur,
 T = werkingstijdsduur,

} van het diëlectricum

De frequentie moet aangepast worden aan den aard van het diëlectricum.



Voor polyvinyl (thermoplastische stof) bedraagt zij 20-45 MHz.

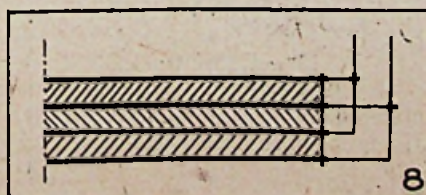
Onze formule toepassend kunnen we berekenen dat de voorverwarming van plastisch poeder ong. 2 kW vergt. Onder die voorwaarden bedraagt het rendement reeds 69%. Voor houtverwarming is de optimumfrequentie boven 45 MHz. Bij alle toepassingen moeten intermitterende trillingen vermeden worden.

Tot het verwarmen van verschillende lagen ontdubbelt men de condensatorplaten (fig. 8).

Het is van belang te weten dat in geen geval wijzigingen mogen aangebracht worden aan den eigenlijke trillingskring; slechts de secundaire mag afgestemd worden, b.v. bij het aanpassen van de transmissielijn.

Om een homogeen veld te vormen is het goed tusschen het diëlectricum en de elektroden een kleine ruimte te laten.

H.F.-verhitting is buitengewoon nuttig in de fabricatie van plakhout. Een goed procédé is eerst het plakhout in water te drenken en dan op te warmen; het warme en vochtige hout is dan buitengewoon ploo- en vervormbaar en laat zich gemakkelijk verwerken.



tengewoon ploo- en vervormbaar en laat zich gemakkelijk verwerken.

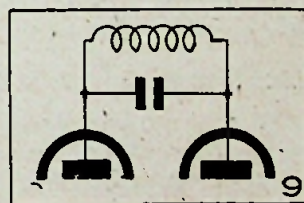
Een laatste snuffje op het gebied van H.F.-verwarming is de electronische naaimachine: de samen te voegen plastische stoffen worden gelegd tusschen twee rolletjes in plaats van onder den ganzepoot eener gewone naaimachine. Zet men de machine in werking dan draaien de rolletjes, terwijl hiertusschen het veld ontwikkeld wordt. De naad tusschen de twee stoffen is dan over de hiele lengte in elkaar gesmolten. Zeer goede resultaten werden reeds verkregen, maar de goede behandeling van een dergelijke machine vergt reeds zekere vakkennis, zoodat zij moeilijk aan ongeschoold personeel kan toevertrouwd worden.

Deze methode levert 67% verlenging van den levensduur der matrijzen op en 91% tijdwinst!

Opmerkingen :

1) Ingeval van leegloop (als de energie niet medegedeeld wordt) wordt al het vermogen gedissipèerd in de lamp wat beschadiging kan teweeg brengen. Om dit te vermijden plaatst men liefst een maximum-uitschakelaar in den plaatkring en vervangt men den roosterweerstand (R in fig. 3) door een gloeilamp die als zekering werkt.

2) Rendement : Om een goed rendement te verkrijgen is het noodzakelijk, vooraf de plaatspanning gelijk te richten, wat niet steeds gedaan wordt. Voor push-pull eindkringen (Amerikaansch systeem) is dit minder noodzakelijk (fig. 9).



Men moet immers goed in acht nemen dat een gelijkrichtingssysteem slechts éénmaal betaald wordt, wijl rendementverlies door gebrek aan gelijkrichting zich voortdurend doet gevoelen.

**"Thermische behandeling ..
der Metalen met hooge
Frequentie"**

Voordracht gehouden door den h. Grünewaldt,
op Donderdag 14 November 1946 :

De verschillende doeleinden waaraan de metalen stukken moeten beantwoorden zijn oorzaak van zeer uiteenlopende behandelingen, die bij gewone methodes soms geweldig delicaat zijn om uit te voeren.



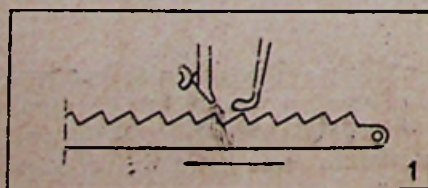
Ing. Grünewaldt

Beschouwen we enkele bewerkingsmethododes : oppervlakkige, gedeeltelijk, totale harding, inwendige harding :

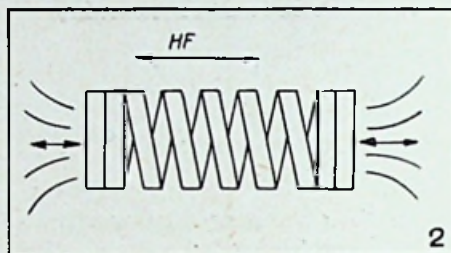
1) Oppervlakkige harding :

Zooals men weet doet een wisselveld in een metalen massa wervelströmen ontstaan. Past men nu een wisselveld met tamelijk hoge frequentie toe, dan doet het skin-effect zich gevoelen, m.a.w., slechts de oppervlakte-lagen van het metaal worden verhit.

Wenscht men b.v. een staaf te harden die toch soepel moet blijven dan plaatst men ze in het veld van een spoel waar een wisselstroom doorloopt. Na een bepaalden verhittingstijd valt dan de staaf in een hardingsbad. Dat de spoel de meest zonderlinge vormen kan aannemen ligt voor de hand. Het voordeel der oppervlakkige harding komt vooral tot uiting bij de behandeling der remtrommels, tandwielen en zagen. Om het oppervlakkig karakter dezer harding nog te verhoogen gebruikt men den ook staalsoorten die moeilijk harder. Tandwie'en kunnen tand voor tand behandeld worden. Het is klaar dat door



H.F.-verhitting op éézelfde metaalvlak verschillende graden van harding kunnen verkregen worden. Ook is het mogelijk zeer kleine oppervlakjes te harden. Nemen we als voorbeeld : het harden der tanden van metaalzagen (fig. 1) : een kleine lus is de inductiespoel en wordt geplaatst op ieder tandje, onmiddellijk gevolgd van een waterstraal. Aldus bewaart de zaag integraal haar soepelheid : haakt men nu te bruusk met de zaag vast, dan breekt men slechts een tand en niet de heele zaag.



2) Totale harding :

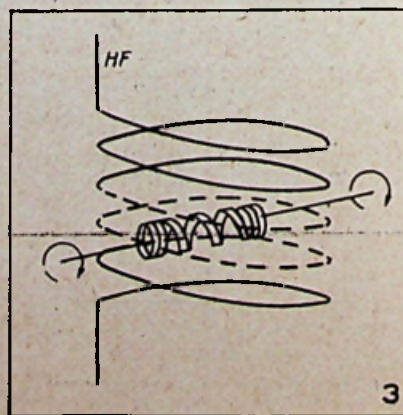
De Heer Grunewaldt beschouwt als voorbeeld het volledig harden van een rolveer :

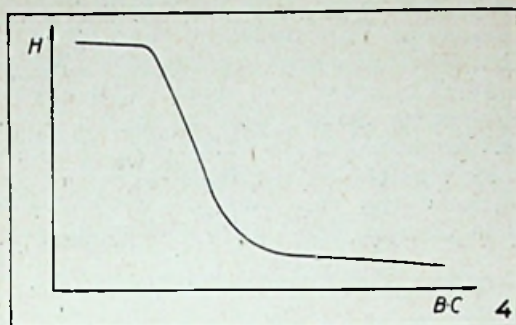
1° Methode : Men laat door de veer een H.F.-veld gaan in overlansche richting. Nu zijn gewoonlijk bij een rolveer de uiterste ringen op elkaar kortgesloten. Hieruit volgt het onvermijdelijke nadeel dat de in de beide uiteinden ontwikkelde energie veel te groot zal zijn, t.o.v. de andere segmenten en er dus vervorming zal optreden (fig. 2).

2° Methode : Men plaatst de veer in een spoel, zoo dat de wikkelingen gekruist liggen (fig. 3). De verwarming doet zich nu echter slechts gevoelen in die deelen die loodrecht op de ontwikkelde krachtlijnen liggen. Om dus homogene harding te bekomen draait men de veer een tijdje rond binnen de klos, waarna ze in het hardingsbad valt. Een dergelijke inrichting vergt 20 kW, werkt op een frequentie van 450 kHz. Men kan er 300 veeren mede harden.

3) Gedeeltelijke harding :

Men mag gedeeltelijke niet met oppervlakkige harding verwarren : hier, inderdaad, wenscht men de totale harding te bekomen van zekere deelen van een metalen lichaam, b.v. het harden der





boorden van metalen p'aten.

Voor dit laatste geval geven we het diagram (fig. 4), waaruit we kunnen opmaken dat, naargelang men zich van den boord verwijderd, de hardingsgraad op een redelijke discontinue wijze afneemt; hiermede is een juiste scheidingslijn te trekken tusschen het geharde en niet-geharde deel.

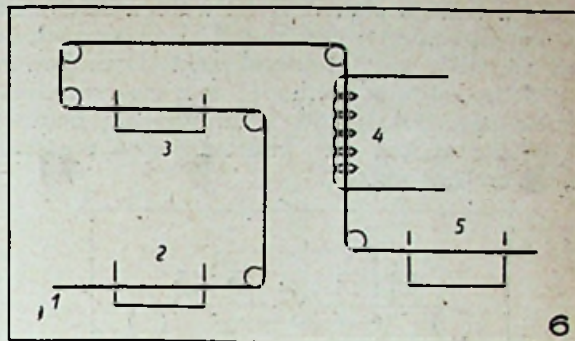
4) Braseeren :

Om een goed braseerpunt te bekomen is men verplicht beide meta'en op snelle en homogene wijze tot smelttemperatuur te brengen en het dan onmiddellijk te bewerken, vooraleer oxydatie optreedt. Tot het braseeren van een stuk ronde staaf met twee winkelhaakkrommige latten (fig. 5) is men verplicht zeven man tegelijkertijd aan het werk te stellen opdat de bewerking zou slagen.

Plaatst men ditzelfde stuk in een inductiespoel, dan geschiedt dit aanstonds en zonder eenige tus-schenkomst, waardoor alle feilen vermeden worden. Om een intensief en homogeen veld te beko-men, gebruikt men in dit geval een spoel met zeer dichten spoel.

5) Het vertinnen :

Om redenen van economischen aard werd tij-dens den oorlog uitgezien naar werkwijzen die toelieten de beschermende tinlagen te verdunnen, wyl toch de meta'en massa volledig bedekt bleef. Het was niet zoozeer de methode van het neer-slaan zelf dan wel het naderhand hersmelten van de tinlaag die onregelmatigheden opleverde bij te dunne bedekkingen. Het tin wordt aan de me-taalmassa gehecht door electrolyse; daarna wordt het in een oven weer op smelttemperatuur ge-bracht en dan in een bad gehard. Bij deze werk-wijze is het toegelaten minimum aan tinverbruik van de orde van 1,500 Kg tin voor 100 Kg staal. Wordt de onttinde laag nu echter door H.F.-ver-hit (fig. 6) dan kan men dit minimum verlagen

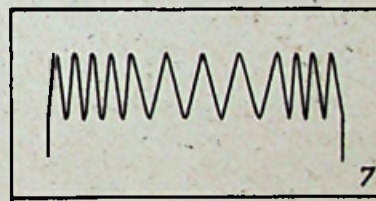


tot 500 gr tin voor 100 Kg staal wat overeenkomt met een tin.aag van 1 micron dikte.

Nu is voor deze toepassing echter aan te mer-ken dat de vervanging der verwarming door H.F. zeer hoge exploitatiekosten medebrengt, die vooral te wijten zijn aan het geweldig energiever-bruik (3.600 kW!). Ook worden deze kosten geenszins gedekt door de besparing aan tin die hieruit voortvloeit. Dit systeem was dan ook slechts te verrechtvaardigen tijdens den oorlog omdat er toen een geweldig gebrek aan tin be-stond.

6) Het uitgloeien :

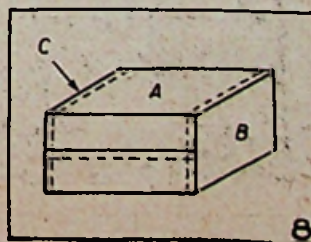
Wat betreft het uitgloeien zij slechts vermeld dat hier absoluut éénvormigheid van warmte-opwekking moet heerschen. Daar nu de krachtlijnen van een veld, opgewekt door een solenoïde in het midden van de spoel meer geconcentreerd zijn dan op haar uiteinden, zal men dit verschijn-sel moeten compenseeren door de spoel op haar uiteinden wat dichter te winden (fig. 7).



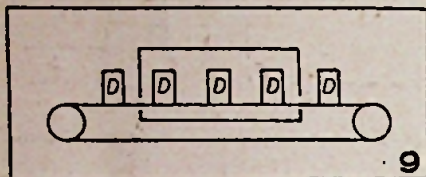
7) Het soldeeren van conservendozen.

Dit is weer een vraagstuk van hoogdringendheid dat zich tijdens de oorlogsjaren opdrong. Het kwam er vooral op aan een geweldige serie-fabricage te verwezenlijken, zonder evenwel een overdreven aantal arbeiders hiervoor te mobi-liseeren.

Ziehier hoe men conservendozen samenstelt : eerst worden de drie elementen — de toegevouw-de mantel A en de twee deksels B en C (fig. 8)

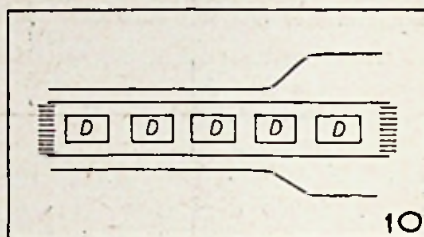


— in een vorm geplaatst. Eerst worden beide deksels aan den mantel gesoldeerd, daarna wordt de naad van den mantel toegebracht. Deze bewerking, door courante methode's toegepast vereischt vier minuten. Het gestelde leveringsaantal bedroeg nu 100 dozen per uur. Hiertoe waren practisch veertig meisjes noodig.



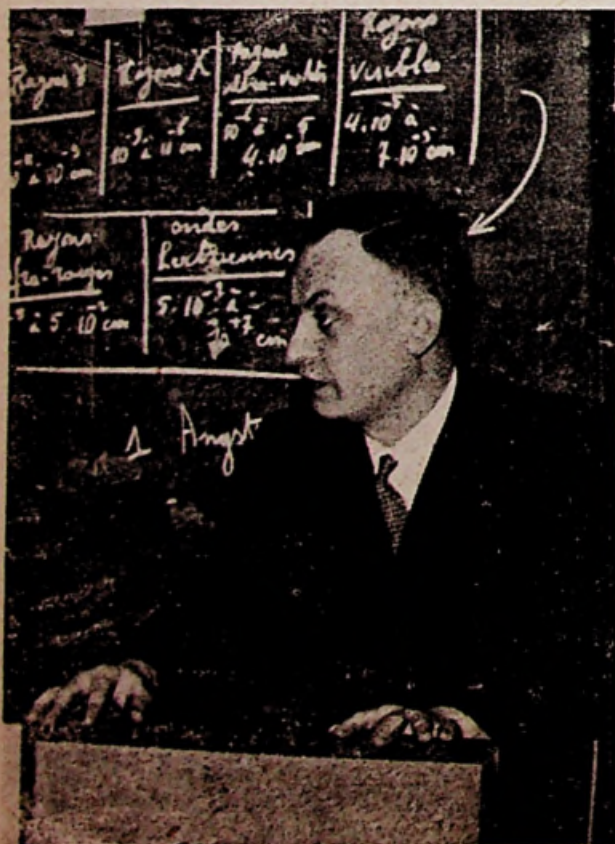
De H.F.-verwarming bracht hieraan verbetering: Vooraf moeten de dekselboorden die aan den mantel gelascht worden een ronden vorm hebben. Dan brengt men de eene zijde in het H.F.-verhittingsveld: de lasch smelt en dringt door haar buiskracht (capillariteit) in de nabije plooiën, zoodat het geheel homogeen gelascht is. Daarna stelt men de andere zijde b.o.t. Wil men de bewerking in éénmaal uitvoeren dan is teveel energie vereischt wat de dozen doet kromtrekken en verkleuren. Deze methode beantwoordde echter nog niet aan de gestelde eischen. Daar het gebruiken van verscheidene H.F.-ovens terzelvertijd niet toeliet een geregeld debiet te verzekeren, kwam men tenslotte tot de uitvoering aan den loopenden band (fig. 9). Men stelt de dozen de ééne na de andere op een riem in glas-

zijde en laat ze langzaam in een cilindervormigen oven passeeren. Deze opstelling heeft nu het na-deel dat door onderlinge warmte-uitwisseling de temperatuur in zoo'n oven steeds stijgt naarmate de doos verder glijdt, zoodat ze op het uiteinde toch zal kromtrekken en verkleuren. Dit gebrek wordt nu gemakkelijk gecompenseerd door in de tweede helft van den oven de windingen wat uiteen te plaatsen (fig. 10) waardoor de kracht-



lijnen minder geconcentreerd zijn en de opgenomen temperatuur slechts behouden wordt. Bij groote uitvoeringen hebben de spoelen een vierkanten vorm.

Met dit laatste voorbeeld besluit de Hr. Grünwaldt zijn leerrijke voordracht. De enkele grepen uit de practische toepassingen van H.F.-verhitting hebben ons aangetoond dat ieder vraagstuk met de meeste zorg moet behandeld worden en dat het soms zeer moeilijk zijn kan, voora'eer een rationeele ene doelmatige werkwijze uitgewerkt.



Ing. Genard tijdens zijn lezing



Ing. Hoyaux sprak over « Radar »

“De ultrasonore trillingen in de Physica en de Techniek”

Voordracht gehouden door Pr. dr. A. V. Itterbeek, op Woensdag 13 November :

I. — Inleiding.

Men kan een stof op twee wijzen onderzoeken :

a) door Röntgenstralen: dit is een werkwijze die ons toelaat zeer diep in de stof door te dringen daar de toegepaste golfenlengte zeer klein is en dus het doordringingsvermogen zeer groot. Het is deze methode die bij uitstek aangewend wordt voor microscopisch onderzoek ;

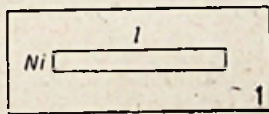
b) door ultrasonore trillingen: de hier toegepaste frequentie's zijn uiterst laag; maar hier kunnen de trillingen zeer veel energie afleveren zoodat zij de aangewezen weg zijn voor macroscopisch onderzoek.

II. — Princip.

Ultrasonore trillingen grijpen plaats boven de 18.000 Hz, t.t.z. zij liggen boven de gehoorgrens.

III. — Opwekking.

1) Het in trilling brengen van een staaf. Beschouwen we een nikkelen staaf van lengte l (fig. 1) en bepalen we de maximumfrequentie



waarvoor hij trillen kan: deze staaf trilt zoals een snaar, t.t.z. op een halve golflengte, dus hij voert buigingsgolven uit $\rightarrow \lambda = 2 l$. De snelheid

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

waarin $E = 18,8 \times 10^{11}$ C.G.S.-eenheden, en de dichtheid $\rho = 2,3$. Nu is

$$\lambda = \frac{V}{V_1}$$

als $V_1 =$ frequentie van de trillende staaf. Dus is ook

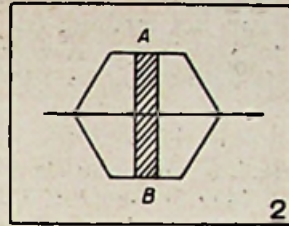
$$V_1 = \frac{V}{\lambda} = \frac{1}{2l} \times \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

en

$$V_1 \times l = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Dit is voor een lengte $l = 10$ cm voor de staaf in kwestie: $V_1 \times l = 237$ kHz of $V_1 = 23,7$ kHz. De maximum frequentie voor een dergelijke staaf zou dus 23,7 kHz bedragen.

2) Het in trilling brengen van een kwartsplaatje. Snijden we een plaatje AB uit een piëzo-electrisch kwartskristal dan bevindt zich de elektrische as volgens den aangeduiden pijl (fig. 2). Nu is reeds



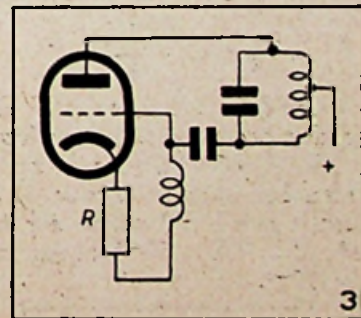
voor kwarts $V_1 \times l = 269$ kHz als we slechts transversale trillingen beschouwen. Dit maakt reeds voor een plaatje met $l = 1$ cm: $V_1 = 169$ kHz, $l = 2$ mm: $V_1 = 13.10^3$ kHz als grondfrequentie.

Men kan dus ook hogere harmonischen opwekken maar deze zijn dan minder energierijk. Wat betreft de verrichte verplaatsing is deze redelijk gering. Leggen we b.v. op een kwartsplaatje van 2 mm dikte een spanning aan van 23 Volt om het tot trilling te brengen dan bedraagt de uitzetting slechts $\approx 10^{-9}$ cm (0,1 A).

Deze wisselspanning wordt nu gewoonlijk opgewekt door een lamposcillator (fig. 3), Voor dergelijke kwartsoscillator kunnen we dus een bewegingsvergelijking opstellen met het tweede lid. Dit tweede lid drukt de opgelegde oscillatorfrequentie uit :

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + W \frac{dx}{dt} + Kx = P \sin \omega t$$

waarin: $M =$ massa van het plaatje, W de wrijving die rechtstreeksch afhangt van de viscositeit van het medium, K een afhankelijke factor en P de amplitude der oscillatorfrequentie.



De oplossing van deze differentiaalvergelijking geeft ons een term δ die ongeveer gelijk is aan de innerlijke wrijving. δ wordt uitgedrukt door :

$$\delta = \frac{W}{2NM}$$

waarin $N =$ eigen frequentie van het kwartsplaatje, of:

$$\delta = 4 \frac{\rho_m V_m}{\rho_a V_a}$$

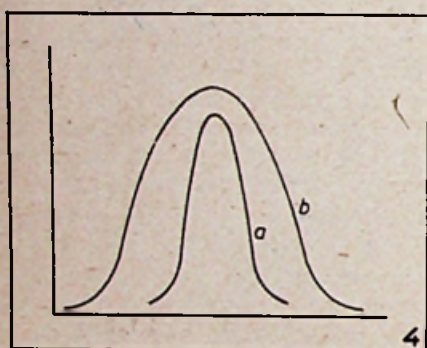
waarin :

- ρ_m = dichtheid van het medium,
- v_m = velociteit van het medium,
- ρ_q = dichtheid van het kwartsplaatje,
- v_q = velociteit van het kwartsplaatje.

Tenslotte drukt δ dus de verhouding uit van de eigenschappen van het medium ten opzichte van deze van het kwartsplaatje. Rekenen we δ uit voor lucht als medium: $\rho_m = 1.10^{-3}$, $v_m = 332$ m/sec, dus:

$$\delta = 1,2 \times 10^{-4}$$

Doen we hetzelfde voor olie als medium: $\rho_m = 8.10^{-1}$ en $v_m = 1450$ m/sec, dus $\delta = 3.10^{-1}$. Wij zien dus dat δ rechtstreeksch afhankelijk is van het medium. Trekken we nu de resonantiekromme van het kwarts dan zal deze een min of meer selectief karakter hebben, naargelang het medium waarin men het kwarts laat werken. Zoo is kromme a (fig. 4) opgenomen voor lucht, b voor olie.

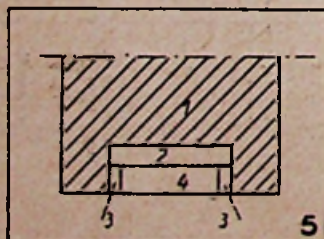


Ziehier dus reeds een interessante toepassing der ultrasonore trillingen: naar gelang den vorm der resonantiekromme kan men nagaan welke de eigenschappen zijn van het medium, waarin we het kwarts laten werken.

Welke is nu de maximumtrilsterkte die men met een kwartsplaatje kan bekomen? Zij wordt uitgedrukt door:

$$\delta l_{max} = \frac{Tl}{E}$$

waarin E = druk, T = trekkracht, l = lengte. Deze waarden bedragen voor een kwartsplaatje maximaal: $E = 8500$ Kg/mm² en $T = 30$ Kg/mm². Men kan dus de uitslag δl berekenen voor een plaatje met $l = 1$ cm en een zekerheidsmarge = 10: $\delta l = 1,5 \times 10^{-4}$, of één laterale uitslag: $0,75 \times 10^{-4}$.



Het maximaal toepasbaar vermogen in olie bedraagt 20 Watt/cm² bij een aangelegde maximumspanning $V_{max} = 50.000$ Volt. De vrijgemaakte acoustische energie is dus veel grooter dan deze van een luidspreker.

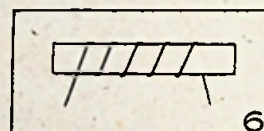
In lucht echter mag men slechts toepassen $V_{max} = 15$ Volt! Dus is een fatsoenlijke trillingsuitslag onmogelijk.

Om een dubbele trillingsuitslag te bekomen, past men volgende opstelling toe (fig. 5):

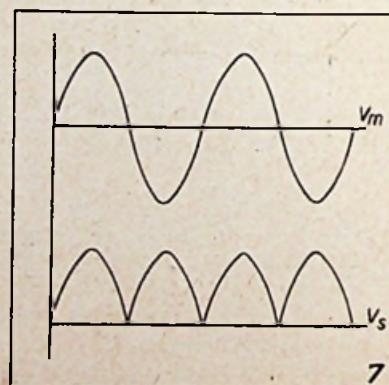
Het kwartsplaatje wordt op vier steunvlakken geplaatst op den bodem van het olie-bad, zoodat er zich tusschen bodem en kwarts een ingesloten ruimte vormt. Dit veerkrachtig luchtkussen verzet zich tegen den onderwaartschen uitslag van het kristal zoodat ook deze beweging naar boven wordt weerkaatst. Longevin heeft getracht het rendement te verhoogen door te werken met een kwartsmozaïek.

3) De magnetostrictie: Plaatst men een staaf in een veranderlijk magnetisch veld dan begint deze te trillen; er treedt een lengteverandering op (fig. 6). De verhouding tusschen de lengte vermeerdering Δl en de oorspronkelijke lengte bedraagt:

$$\frac{\Delta l}{l} = 10^{-4}$$



Daar de beide alternaties van het magnetisch veld slechts een uitslag verwezenlijken in één richting, zal de uitzettingsfrequentie het dubbele bedragen van de frequentie van het magnetisch veld (fig. 7).



IV. — Toepassingen.

1) Geluidssnelheidsmetingen in gassen, afhankelijk van de temperatuur. De snelheid wordt gemeten door volgende formule:

$$v = \sqrt{\frac{C_p RT}{C_v M}}$$

2) Zuiverheidsbepaling van gassen: deze wordt afgeleid uit de snelheidsmetingen.

3) Concentratiedichtheidsbepaling: dit geeft ons volgende formule:

$$V = \sqrt{C_p^1 x + C_p^2 (1 - x) RT}$$

(Vervolg p. 338)

TOEPASSINGEN DER ELECTRONENTECHNIEK IN DE NIJVERHEID

door J. H. REYNER

A.C.G.I. - B. Sc. — D.I.C. - M.I.E.E. - M. Inst. R.E.
Directeur van de Furzehill Laboratoria - Engeland.

Hieronder laten we de volledige vertaling volgen der zo belangrijke voordracht van den Heer Reyner, op de Studieweek te Erussel. Deze voordracht werd gehouden op 14 November 1946, in de Engelsche taal.



Dr. REYNER

stond na zijne prachtige voordracht talrijke belangstellende bezoekers te woord.

De electronica zou kunnen gedefinieerd worden als een mengsel van elektrische en mechanische techniek. In hoofdzaak is het een kunst waarin de twee technische methodes elkaar aanvullen en waarbij elk die functie vervult waarvoor zij het meest geschikt is. Er zijn vele processen die gemakkelijker en beter mechanisch voltrokken worden en waarin de elektrische equivalent noch eenvoudig noch betrouwbaar is. De electronica is dus niet een methode om alles elektrisch te verrichten.

Eén der grootste voordeelen der elektrische techniek is echter haar buigzaamheid. Het is betrekkelijk eenvoudig mechanische eigenschappen zoals verplaatsingen enz... om te zetten in elektrische spanningen. Potentiometers, inductieve of capacitieve apparaten kunnen hiervoor in aanmerking komen en de keuze ervan staat in ruime mate in verband met de praktische uitvoerbaarheid. In de veronderstelling dat deze elektrische spanningen de mechanische grootheden voorstellen, dan kan men ze combineren en verwerken volgens verschillende methodes.

Optelling en aftrekking verkrijgt men door de spanningen ofwel in serie of parallel te schakelen in overeenstemming met den kring, de termen worden opgeteld of samengevoegd wanneer de spanningen in phase verlopen en ze worden afgetrokken wanneer ze in tegengestelde phase verkeerren.

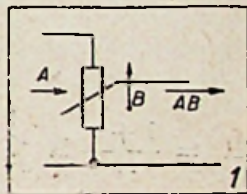


Fig. 1

De vermenigvuldiging kan langs electro-mechanischen of langs volkomen electrischen weg verkregen worden, maar met den tegenwoordigen stand der zaken kan dit slechts in zeer beperkte mate geschieden. Eén der eenvoudigste vermenigvuldigingsschakelingen is die van fig. 1. Ze bestaat uit een eenvoudige potentiometer. Een sein wordt aangevoerd over den potentiometer terwijl de verplaatsing van het schuifcontact evenredig geschiedt met de tweede term. De output van den potentiometer is dan evenredig met het product der twee termen.

Indien de weerstand van den potentiometer op een geschikte wijze varieert dan kan de verplaatsing een gepaste functie voorstellen van de tweede term. Dus als de potentiometer bijvoorbeeld een sinussoidaal weerstandsverloop heeft dan is de output evenredig met $A \sin B$.

Een deeling wordt verkregen door vermenigvuldiging van de reciproke der betreffende grootheid. Hierbij wordt verondersteld dat met deze eenvoudige inrichting geen stroom wordt afgenomen van den potentiometer, maar indien de schakeling zoo is ingericht dat er toch stroom wordt

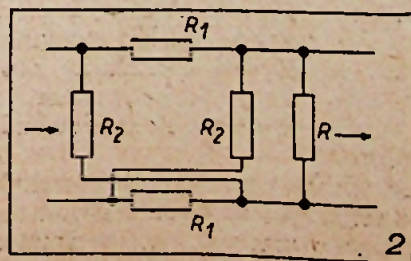


Fig. 2

afgenomen, is het evenwel toch mogelijk een geschikte gradatie van den potentiometer te verkrijgen die tevens de belastingsstroom compenseert en in sommige gevallen wordt een bijkomende potentiometer gebruikt die gelijk loopt met de eerste en die zoo is verbonden dat de totale belastingsweerstand constant blijft.

In fig. 2 geven we een andere vorm van een vermenigvuldigingsschakeling waarin een vierklemmen-netwerk gebruikt wordt. Een dergelijke inrichting heeft de eigenschap, wanneer ze uitloopt in een belastingsweerstand R, haar ingangsimpedantie altijd gelijk te houden aan R en dit voor alle graden van verzwakking, op voorwaarde dat R₁ en R₂ aan zekere wetten gehoorzamen. Een dergelijke stator verkrijgt men door twee paar samenloopende potentiometers (dubbele potentiometers) en de transmissiecoëfficiënt van het netwerk die nooit grooter is dan 1 verkrijgt men uit:

$$v = (R_1 + R_2 - 2R) / (R_1 - R_2)$$

De output si dan Av.

Om een gegeven transmissiecoëfficiënt v te verkrijgen moeten de waarden van weerstanden R₁ en R₂ als volgt zijn:

$$R_1 = \frac{1+v}{1-v} R$$

$$R_2 = \frac{1-v}{1+v} R$$

De potentiometers zijn zoo gebouwd dat de vereischte transmissiecoëfficiënt verkregen wordt in verhouding met den mechanischen stand.

Er zijn verschillende andere vormen van electro-mechanische vermenigvuldigers die gesteund zijn op hetzelfde grondbeginsel en zulke inrichtingen worden zeer veel gebruikt bij elektrische compilatie (opname van gegevens).

De vermenigvuldiging kan eveneens geheel electrisch worden uitgevoerd. In de radiotechniek wordt die o.a. dagelijks toegepast in de mengtrap van een superontvanger. Een plaatdetector werkt als een vermenigvuldiger vermits men twee seinen heeft

$$v_1 \sin \omega t \quad \text{en} \quad v_2 \sin \omega t.$$

De output is:

$$(v_1 \sin \omega t + v_2 \sin \omega t)^2 =$$

$$(v_1^2 + v_2^2 + 2 v_1 v_2) \sin^2 \omega t$$

Men ziet daaruit dat het product te voorschijn treedt in het resultaat. Het is evenwel vergezeld van een somterm die moet geëlimineerd of anderszins verwijderd worden.

De conventionele hexodemenglamp verwekt eveneens waarachtige vermenigvuldiging daar de electronenstroom gecontroleerd wordt bij de spanningen van het controle- en het mengrooster, en hier hebben wij in den anodekring een gelijkstroom die evenredig is met het product verhoogd met een dubbele frequentie-term die onderdrukt moet worden.

Deze electrische vermenigvuldigerschakelingen vertoonen sommige gebreken: Ze werken slechts succesvol binnen zeer beperkte seingebieden. Elke afwijking in de rechtlijnige karakteristiek der

lamp of gelijkrichter voeren fouten in het resultaat aan en daar geringe afwijkingen der karakteristiek van de rechte lijn onvermijdelijk zijn, verloopt het verschijnsel niet zeer precies. Nochtans, voor vele industriële doeleinden is de nauwkeurigheid der vermenigvuldiging niet een belangrijke hoofdzak.

Een ander nadeel is het welbekende modulatie-effect dat wanneer één der seinen veel sterker is dan het andere de output slechts evenredig is met de sterkte van het zwakste sein (dit effect is inderdaad uitgebaat in superheterodyne mengschakelingen en zwevingsoscillatoren om een constante output te verkrijgen). Tengevolge van dit effect gaat de werkelijke vermenigvuldigungsactie verloren zoodra de seinen sterk ongelijk worden in amplitude, maar dit is geen onontwijkbare moeilijkheid daar het altijd mogelijk is slechts een deel te gebruiken van de input van het sterkste sein en de multiplicatie te laten geschieden op een niveau waarop de twee seinen van dezelfde grootte-orde worden.

Eén der meest belangrijke feiten van de electrische techniek is de eenvoud waarmee afleidingen van een gegeven sein kunnen verkregen

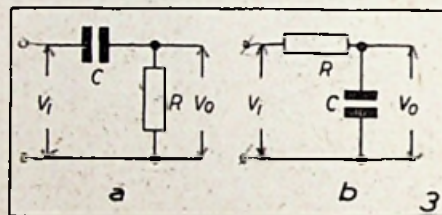


Fig. 3

worden. De grondschakeling geven we als fig. 3. Een differentieele schakeling bestaat uit een condensator in serie met den weerstand (fig. 3a). De lading op den condensator bedraagt $q = CV_c$ bijgevolg is de stroom $i = CdV_c/dt$ en de eindspanning $V_0 = RCdV_c/dt$. Maar wanneer R klein is, dan gaat al de spanning verloren in den condensator zoodat

$$V_c = V_1$$

Dus $V_0 = RCdV_1/dt$ ongeveer.

Indien men R kleiner maakt beteekent dit dat de verzwakking van het sein gedurende het proces groot is en dit verlies moet gecompenseerd worden door het gebruik van een daaropvolgende versterker.

Een integreerende schakeling wordt verkregen door de elementen van plaats te verwisselen zoodals in fig. 3b.

Hier is

$$V_0 = q/C = \frac{1}{C} \int i dt$$

indien

$$X_c \ll R, i \approx V_1/R$$

zoodat

$$V_0 = \frac{1}{CR} \int V_1 dt$$

(zeer benaderend).

Doorgaans heeft men slechts te doen met de

$Q = C \cdot V_c$
 $i = \frac{dQ}{dt}$
 $i = C \frac{dV_c}{dt}$

amplitude van een draaggolf die gemoduleerd werd door het betreffende sein. Dus is het de omhullende, of modulatie waarvan de afgeleide vereischt wordt. Bijgevoeg is het noodzakelijk de draaggolf te demoduleeren alvorens de bewerking uit te voeren en vervolgens de draaggolf te hermoduleeren met de afgeleide indien dit noodzakelijk is. Vaak wordt een geschikte afgeleide toegevoegd aan de oorspronkelijke draaggolf. De techniek is hier zeer conventioneel en behoeft niet in bijzonderheden beschreven te worden. Men heeft schakelingen uitgedacht waarin de demodulatie en de daaropvolgende hermodulatie in één lamp geschieden maar het essentiële beginsel blijft onveranderd.

Hierbij valt op te merken dat het mogelijk is elk proces te voltrekken door een omgekeerd proces te doen plaats grijpen in de terugvoerlijn van den negatief teruggekoppelden versterker zooals hierna zal worden aangetoond. Beschouwen wij

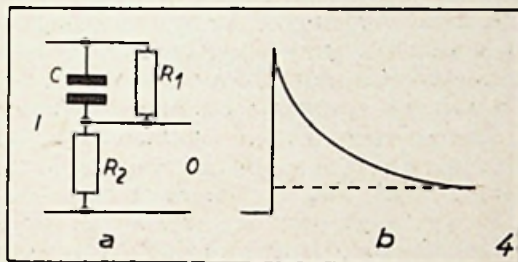


Fig. 4

b.v. fig. 4e. Het aanleggen van een impuls in dezen kring zal een sein voor gevolg hebben dat den vorm heeft der kromme van fig. 4b, bestaande uit een klein vlak deel tengevolge van de rechtstreeksche transmissie van de impuls door R_2 , plus een plotselinge stijging veroorzaakt door het netwerk R_1C . Indien echter het sein door een versterker met negatieve terugkoppeling gevoerd wordt, waarin een netwerk volgens fig. 5a voorkomt, dan verkrijgt de negatieve terugkoppeling den vorm van fig. 5b — d.i. eerst 0 en vervolgens exponentieel opgaand tot zijn maximum waarde. Bijgevoeg moet de versterking op een zeker moment zeer hoog zijn en vervolgens exponentieel afnemen tot de volle terugkoppeling verkregen is waardoor men het verloop van fig. 5c verkrijgt dat hetzelfde is als dit van fig. 4b.

Deze techniek is zeer doelmatig daar differentieel schakelingen een toenemende versterking der hoogere frequenties verschaffen zoodat elke ongelijkheid of interferentie van het sein versterkt worden. Een integreerend schakeling daar-

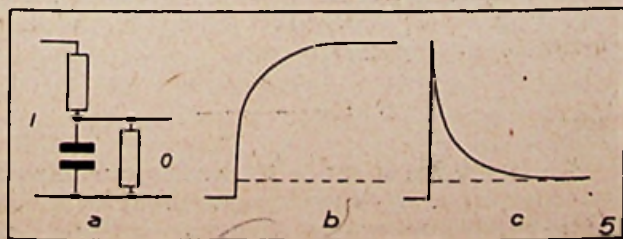


Fig. 5

entegen heeft een neiging om elke ongelijkheid te onderbreken en moet bijgevoeg overal de voorkeur genieten. Er werden verschillende vormen voor integreerend kringen uitgedacht vooral in de laatste jaren en het is onmogelijk dit alles hier in bijzonderheden te bespreken. Een speciale schakeling kan hier echter vermeld worden daar ze van zeer groot belang is.

Met een normale integreerende schakeling zooals b.v. een diode welke dient voor het laden van een condensator is het maximum der spanning waarop de condensator kan geladen worden juist gelijk aan de piekspanning van het aangevoerde sein en de schakeling wijkt van de echte integratie af lang voordat deze grenswaarde verkregen wordt.

In fig. 6 geven we een schakeling (1) waarin de spanning op de condensator, verkregen door integreerende werking gecompenseerd wordt door een gelijke maar tegengestelde spanning, zoodat, voor zoover het de diodeschakeling betreft, de kring steeds in een zekere status quo verkeert en steeds juist staat op het beginpunt der werking. Bijgevoeg kan de spanning op de condensator opgevoerd worden tot een waarde die verschillende

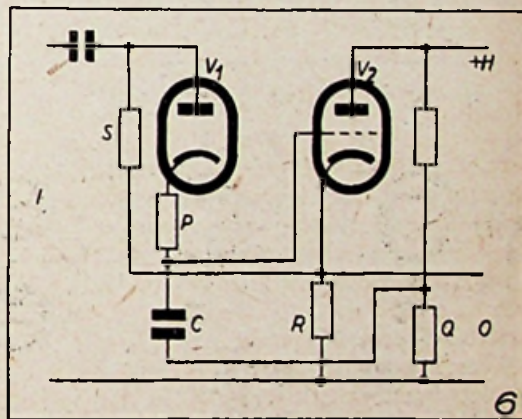


Fig. 6

malen de inputspanning bedraagt en dus zal de schakeling volkomen nauwkeurig integreeren gedurende het geheele verloop van het verschijnsel. De spanning op condensator C wordt gevoerd naar het rooster van een «kathode-followerlamp» en de spanning over weerstand R in de kathode wordt teruggevoerd naar de diodekring. Vermits deze spanning tengevolge der kathode-followerwerking gelijk is en tegengesteld aan de spanning op het rooster hebben we de juist hierboven gemelde voorwaarden waarbij de spanning op den condensator volledig geneutraliseerd wordt. De diodeschakeling bestaat uit den kring PCQRS en de diode altijd werkt onder de aanvangsvoorwaarden. Weerstand Q dient om een zwak sein te injecteeren teneinde het contactpotentiaal der diode en dit, veroorzaakt door den initialen stroom in V_2 , te elimineeren.

Negatieve terugkoppeling.

Eén der eerste bezwaren tegen de electronische

(1) British Patent Nr 566200.

techniek was dat de doelmatigheid van elke inrichting met lampen onderworpen was aan variatie, vermits de versterking der lamp zelf niet alleen afhankelijk is van de veranderingen in de lamp zelf, maar van veranderingen in de uitwendige kringen en wel tengevolge van temperatuur, veroudering, of andere oorzaken. Deze nadeelen werden hoofdzakelijk geëlimineerd door de moderne techniek.

De eerste stap in deze richting bestond in het aanvoeren van negatieve terugkoppeling in de versterkers, waarvan de beginselen thans zoo goed gekend zijn dat het hier niet noodig is daarop verder in te gaan. Het procédé bestaat er in van de eindklemmen van den versterker een deel van het outputsein terug te voeren naar den ingang en wel in tegenovergestelde phase van het input-sein.

Veronderstel en we dat de versterking A bedraagt en dat de input van den versterker = v .
De normale output = $vA = V$.

Wanneer men nu een deel β van deze uitgangsspanning terug voert naar de ingangsklemmen dan wordt de effectieve ingangsspanning:

$$\begin{aligned} &= v + \beta V. \\ &= V/A + \beta V. \\ &= V (1/A + \beta). \end{aligned}$$

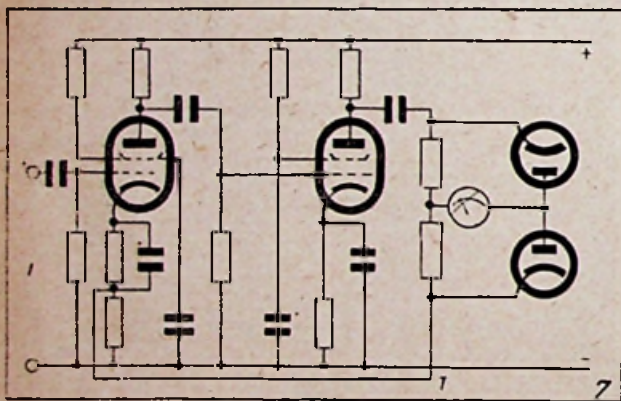


Fig. 7

De effectieve versterking is dan:

$$= \frac{V}{V (1/A + \beta)}$$

Indien nu βA veel grooter is dan 1 dan leidt bovenstaande breuk zich tot $\frac{1}{\beta}$.

Onder deze voorwaarden is de prestatie van den ontvanger geheel bepaald door het tegenkoppelnetswerk, dat zeer stabiel kan gemaakt worden en de invloed van variaties in de lampkarakteristieken of veranderingen der waarden van de componenten der schakeling mag verwaarloosd worden. Een voorbeeld van een tegenkoppelnetswerk zien we in fig. 7 — die in hoofdzaak het schakelschema is van een gevoelige lampvoltmeter. Deze bevat een tweetrapsversterker die een diodebrugschakeling voedt, aan de uitgangsklemmen hiervan is het indicatormeetinstrument verbonden. De gelijkstroom door het meetinstrument wordt teruggevoerd naar de ingangsklem-

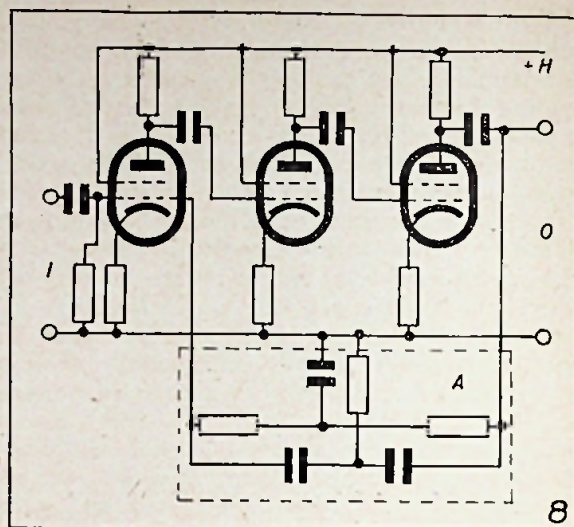


Fig. 8

men van den versterker en wel in omgekeerde phase zoodat het geheele systeem op de zoeven beschreven wijze gestabiliseerd is. Hierdoor verkrijgt men een prestatie van het instrument die over langere periodes, en onafhankelijk van de uitwisseling der lampen, binnen weinige procenten behouden blijft. Het is inderdaad mogelijk een lamp te vervangen door een andere van hetzelfde type, zonder de ijking van het instrument te beïnvloeden.

Daar de prestatie van de tegengekoppelde versterker volkomen afhankelijk is van het terugkoppelnetswerk, is het duidelijk dat dergelijke versterkers gemakkelijk aan te passen zijn aan bepaalde specifieke eischen. In fig. 8 bijvoorbeeld is een versterker geschetst die de karakteristieken heeft van een scherp afgestemde kring ondanks het feit dat hij noch spoelen noch condensatoren bevat. A is daarin het negatieve terugkoppelnetswerk. Het is een gewone directe versterker met een terugkoppelschakeling die een frequentiebrug bevat. Deze brug verkeert in evenwicht op een bepaalde frequentie in zoverre dat op dit punt de negatieve terugkoppeling gelijk is aan nul en dat de versterker dus de volle versterking levert. Op andere frequenties werkt evenwel de negatieve terugkoppeling zoodat de versterking vrij laag is. Bijgevolg heeft een frequentievariatie het effect dat de versterking plotseling honderden malen grooter wordt volgens een scherpe piek die hetzelfde effect heeft als een resonantiekromme.

De frequentiebrug die hiervoor gebruikt wordt is een drieklemsvariante van de gewone vierklemmenbrug zoodals voorgesteld in fig. 9. De voorwaarden voor evenwicht zijn:

$$f = \frac{1}{2 \pi C R}$$

De mogelijkheid om in het terugkoppelnetswerk te integreeren werd reeds vermeld en bewerkingen van dit soort worden vaak door moderne elektronische techniek gepresteerd.

SERVO techniek.

Een andere moderne techniek, die in werkelijkheid ontstaan is uit die van de negatieve terugkoppeling bestaat in het gebruik van wat men doorgaans noemt een servo-systeem. Hier is het principe zóó dat de input van het systeem evenredig is met een afwijking van de standaardconditie en dat de output teruggevoerd wordt naar de input op zulke wijze dat deze afwijking terug tot nul gereduceerd wordt, zoodat het sein in het systeem opgeheven wordt.

Zoo kan b.v. door de positie van het roer op een schip een sein worden opgewekt, dat kan vergeleken worden met een « datum »- of momentsein. Zoodra het roer zijn oorspronkelijke positie verlaat zijn deze twee seinen niet meer in evenwicht en het verschilsein wordt aan den versterker toevertrouwd die een motor aandrijft waardoor het roer terug in zulke positie gebracht wordt dat het sein terug nul wordt. Indien anderszijds het momentsein verandert, wat het geval kan zijn indien het schip van koers verandert, dan zal de servomotor het roer weer doen omzwenken zoodat het een nieuwe positie inneemt die overeenstemt met een nul-inputsein voor den versterker.

Het is duidelijk dat in een geval als hierboven vermeld de werkelijke prestatie van den versterker slechts een secundair effect heeft na de bewerking waardoor de snelheid waarmede het systeem in werking komt, ofwel de stevigheid van het systeem veranderd wordt maar nooit de nauwkeurigheid.

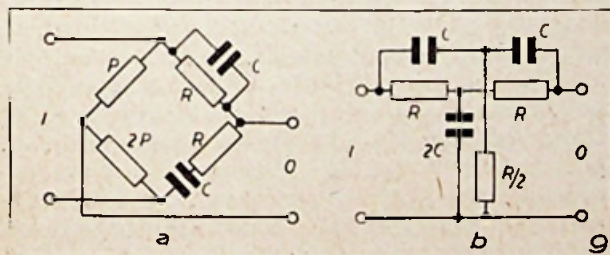


Fig. 9

E'k terugkoppelsysteem heeft een zekere neiging tot genereeren. Fysisch geeft dit een effect dat bekend is als « hunting » (Jagen). Het contróléstelsel werkt niet meer wanneer de vereischte voorwaarden bereikt worden maar de inertie van het systeem voert dit voorbij het betreffende punt, zoodat het in tegenovergestelde richting in werking moet komen.

Dit verschijnsel kan voortgezet worden en het kan zelfs sterker worden, zoodat het heele systeem oncontróleerbaar gaat genereeren om het juiste punt heen. Dit is een electromechanische trilling die zoowel te weinig als juist of te veel gedempt kan zijn. Dit genereeren kan ontstaan wanneer het phaseverschil over het geheele netwerk meer bedraagt dan 180° en wanneer op dit punt de versterking van het geheele systeem groter is dan de eenheid. Bijgevolg moet dit systeem zóó ontworpen worden dat deze voorwaarden niet gezamenlijk kunnen ontstaan.

Dit kan vaak geschieden door verschillende tijdconstanten te doen ontstaan op verschillende punten van het systeem, zoo dat wanneer de phaseverschuiving groter is dan 180° de versterking minder bedraagt dan de eenheid; terwijl op de frequentie waar de effectieve versterking groter is dan de eenheid de phaseverschuiving geen 180° bedraagt. Deze voorwaarden zijn niet gemakkelijk te verwezenlijken, en er is heel wat vernuft toe noodig om een schakeling uit te vinden die aan deze eischen beantwoordt.

De voorwaarden verschillen voor elke toepassing en er kan geen vaste regel worden aangegeven. In sommige gevallen moet men een phasevoorsprong in den kring opwekken wat kan gebeuren door het sein te differentieeren. Dit staat gelijk met een term die evenredig is met het tempo waarin de gebeurtenissen voorkomen, zoodat in zekeren zin het systeem vooruitloopt op komende gebeurtenissen.

Het verdient nog opgemerkt te worden dat een servo-systeem op zichzelf van anticipatieven aard is vermits de grootte der contrólés spanning afhankelijk is van de afwijking van « datum »- of momentvoorwaarden. Een groote afwijking geeft een maximum sein maar als men de vereischte voorwaarden nadert en dus het inputsein tot nul nijgt, dan vermindert de grootte van de inwerkende kracht en wanneer het sein nul is, is er geen output meer van het contrólésysteem.

Snelheidscontrólésystemen.

We zullen besluiten met enkele voorbeelden uit de electronische techniek. De reeks is in geen enkel opzicht volledig maar de voorbeelden zijn

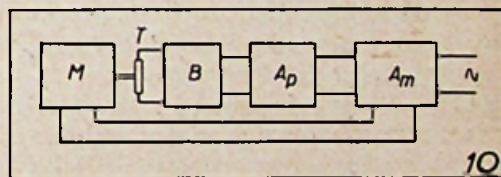


Fig. 10

zóó gekozen dat ze sommige wegen en middelen aantoonen waartoe de electronica geleid heeft en dit in verband met de persoonlijke ervaring van den schrijver zelf.

Een dergelijk systeem is de electronische snelheidscontrôle zooals principieel geschetst is in fig. 10. We zien daarin een motor. Op dezelfde is een kleine generator gemonteerd die een frequentie opwekt welke evenredig is met de draaisnelheid. Deze frequentie wordt naar een frequentiebrug gevoerd zooals reeds vermeld en die afgestemd is op de frequentie die overeenstemt met de vereischte snelheid. De output van deze brugschakeling wordt naar een versterkersysteem gevoerd dat op zijn beurt 'n magnetische versterker contróleert die weer energie aan den motor levert. Elke afwijking in de snelheid van den motor wekt een sein op dat de naar de motor gevoerde energie zal verhoogen of verlagen, tot de draaisnelheid weer juist is.

De hierbovengenoemde magnetische versterker

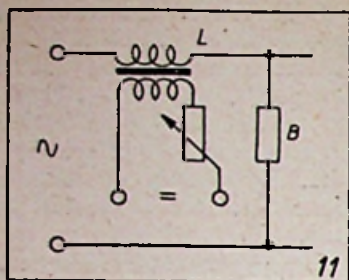


Fig. 11

is een inrichting waarin een geringe gelijkstroom-contrôlespanning betrekkelijk groote hoeveelheden energie controleert. Ze is gesteund op de verzadigde kern, methode toegelicht in fig. 11. De reactantie van smoorspoel L is afhankelijk van de gelijkstroomvoorspanning, zoodat de spanning welke werkelijk over de belasting heerscht veranderd kan worden door den gelijkstroom welke door de spoel vloeit.

Een magnetische versterker gedraagt zich gedeeltelijk als hierboven beschreven en gedeeltelijk als een vrij positieve in- en uitschakelaar. Een vereenvoudigde schakeling geven we als fig. 12, waaruit blijkt dat er twee verzadigingsspoelen over de buitenste beenen van een driekerntransformator gewikkeld zijn met een contrôlewikkeling over het middenbeen. De twee verzadigingsspoelen zijn tegengesteld gewikkeld en normaal gaat hun magnetisch veld door het middenbeen in dezelfde richting. De reluctantie van het middendeel van den kern kan echter varieeren in overeenstemming met de gelijkstroomvoorspanning en vermits de gelijkstroomcontrôle toeneemt verhoogt de impedantie van het systeem tot op het punt dat het middenbeen verzadigd is en de wisselstroomkring virtueel open is.

Fig. 13 vertoont de typische karakteristieken van de betrekking tusschen den stroom in den kring en de aangelegde spanning. Uit de figuur blijkt dat de karakteristieken groote gelijkenis vertoonen met die van de pentodelamp, zoodat de prestatie van het apparaat eenigszins gelijkend is met die van gewone pentoden maar voor grotere vermogens. De cijfers in de figuur stellen de gelijkstroomvoorspanning voor.

Hierbij kan worden opgemerkt dat het mogelijk is een deel van den belastingsstroom gelijk te richten en deze gelijkgerichte stroom terug te voeren naar de contrôlekern ofwel in positieve of in negatieve richting. Het systeem heeft dus

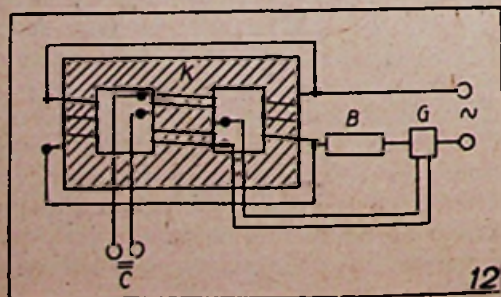


Fig. 12

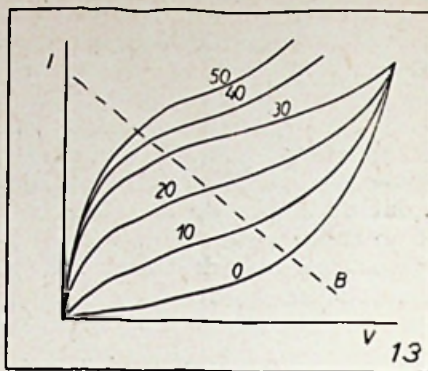


Fig. 13

blijkbaar een zeer groot aanpassingsvermogen en is uiterst soepel.

In fig. 14 hebben we een andere schakeling n.l. die van een instrument dat gebouwd werd voor het meten, onder dynamische condities van de ruimte tusschen de rotorbladen en den carter van een turbo-reactiemotor. Tengevolge van de hooge draaisnelheid ontstond er vervorming van het metaal en het was volstrekt noodzakelijk waarschuwing te verkrijgen vóór dat de bladen werkelijk de kast zouden aanraken en bijgevolg de geheele rotor vernielen. Daartoe werd een kleine capaciteitsindicator in de rotorkast aangebracht. Hiermede kon de capaciteit tusschen de bladen en den carter gemeten worden. Met deze capaciteit werd de frequentie van een trillingskring veranderd en de frequentie werd naar een brugschakeling gevoerd. De resulterende stroom uit de brug werd versterkt, gelijkgericht, en naar een kathodestraalbuis gevoerd. Het resulterende beeld bestond uit een reeks korte impulsen die elk overeenstemden met een rotorblad. Door het synchroniseeren van de tijdbasis en de draaisnelheid van den rotor met behulp van een referentie-sein was het mogelijk op het scherm der buis een beeld te verkrijgen van den geheelen rotor. Zoolang als de impulsen dezelfde hoogte hadden en beneden een critische waarde bleven liep de machine veilig. Elk begin van vervorming treedt te voorschijn als een verhooging van de impuls in één of ander deel van de kromme en het was niet al een mogelijk de machine stil te leggen alvorens werkelijke schade ontstond maar men kon zelfs met zekerheid bepalen welke schoep vervormde.

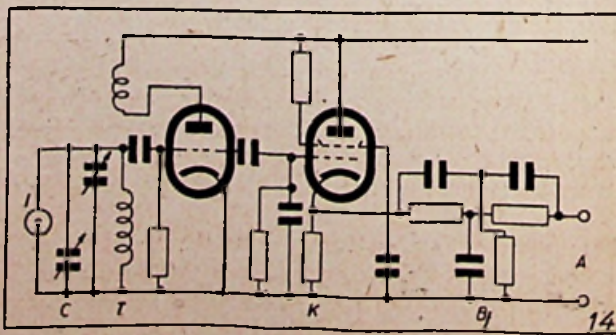


Fig. 14

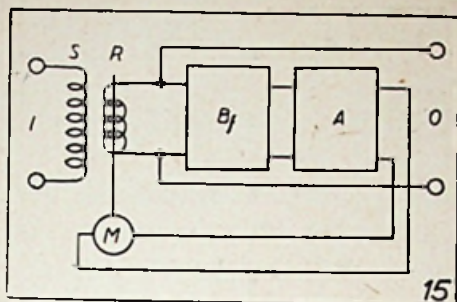


Fig. 15

Nog een andere belangrijke en interessante toepassing is toegelicht door schakeling (fig. 15) die werd uitgedacht om een groot vermogen op een bestendige frequentie te verkrijgen. Een dergelijke inrichting is van zeer groote waarde voor de fabricatiecontrole van uurwerken, snelheidsmeters enz., die thans zoo nauwkeurig loopen dat de frequentie van het gewone lichtnet niet constant genoeg meer is.

De inrichting steunt op het beginsel dat de in de rotor van een inductiemotor geïnduceerde stroom een frequentie hebben die gelijk is aan het verschil tusschen de elektrische draaisnelheid van het statorveld en het elektrische equivalent van de mechanische draaisnelheid van den rotor. Wanneer een inductiemotor met een gewikkelde rotor gebruikt wordt, met deze rotor stationair, dan werkt hij als een gewone transformator en de in de rotor geïnduceerde stroom hebben dezelfde frequentie als die in den stator. Wanneer de rotor mechanisch aangedreven wordt dan zal de frequentie van de rotorstroom toe- of afnemen naargelang de rotor in tegenovergestelde of in dezelfde richting loopt als het elektrische draai- veld in den stator geproduceerd.

Het is ook daarom dat de output van de rotor naar een frequentiebrug gevoerd wordt die afgestemd is op de vereischte frequentie, b.v. 50 Hz. Wanneer de input van de stator juist 50 Hz. bedraagt dan is de output van de frequentiebrug gelijk aan nul en er gebeurt niets, maar als de statorfrequentie van haar oorspronkelijke waarde afwijkt, dan is er een output uit de frequentiebrug. Deze wordt versterkt en gevoerd naar een hulpmotor die de stator doet wentelen in zulke richting en met zulke snelheid dat de rotorfrequentie juist 50 Hz gaat bedragen.

Hiertoe is noodig dat de rotor doorgaans altijd in de eene of andere richting betrekkelijk langzaam draait, zoodat er altijd eenige hulp vanwege de hulpmotor moet zijn en dat bijgevolg de rotorfrequentie nooit precies 50 Hz kan bedragen.

Bij voldoende versterking echter en de keuze van een gepaste koppeling tusschen de hulpmotor en de rotor is het niet moeilijk een constante outputfrequentie te verkrijgen met een nauwkeurigheid van 0,01 %.

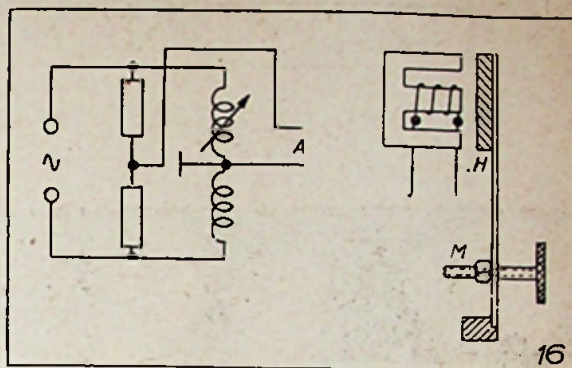


Fig. 16

Tenslotte kunnen we nog een eenvoudig voorbeeld geven van een statisch electronisch apparaat. Dit is voorgesteld in fig. 16 en het is een inrichting om drukkingen te meten. Het bestaat uit een brugschakeling met twee inductieve armen en twee weerstandsarmen. De inductieve armen dienen als opnameorgaan en bevatten een kleine magnetische kring met een beweegbaar anker. Twee identische apparaten worden gebruikt waarvan één onderworpen wordt aan de drukking, terwijl de andere als vergelijking moet dienen en onderworpen kan worden aan bekende drukkingen. De brug wordt met wisselstroom van een passende frequentie gevoed, b.v. 1000 Hz, en de output wordt versterkt, gelijkgericht, en verbonden met een geschikte indicator. Het systeem kan oorspronkelijk uitgebalanceerd worden door het stellen van de vergelijkingsspoel totdat de output gelijk is aan nul. Elke verandering in de voorwaarden van het opname-apparaat levert dan een gelijkstroomeindspanning. Een ander uiterst belangrijk voordeel is dat de output kan geïntegreerd worden door het opname-apparaat onberoerd te laten terwijl men een bekende drukking doet inwerken op het vergelijkingsapparaat.

Een variante dier inrichting werd gebruikt tot het meten van trillingen in turbineotorlagers. In dit geval werd de variatie der zelfinductie niet door drukkingverandering voortgebracht maar door de werkelijke beweging van het anker tengevolge der trilling waarbij het geheele opname-apparaat gemonteerd werd op een seismografische fundeering zoodat het apparaat op zichzelf onbeweeglijk was terwijl het anker verbonden was met het lager zelf dat dus zijn eigen trillingen opteekende. De output werd verbonden met een kathodestraalbuis waarvan de tijdbasis gesynchroniseerd was met de rotor zoodat de krachten die het evenwicht verstoorden zoowel in grootte als in phase op het scherm te voorschijn traden. Deze techniek vond een zeer ruime toepassing tijdens den oorlog voor het vlugge dynamisch uitbalanceeren van vrij kleine machines.

ULTRASONORE TRILLINGEN

EN HUN PRACTISCHE TOEPASSINGEN



De universiteit van Leuven op bezoek onder leiding van Prof. VAN ITTERBEEK en Dhr. VAN PAMEL in gesprek met Ing. LAMBERT.

Het is niet de bedoeling in dit artikel een uiteenzetting te geven van de grondbeginselen waarop de opwekking van ultrasonore trillingen steunt. Deze zijn thans tamelijk bekend en kan men in de leerboeken terugvinden. Het is eerder de bedoeling den nadruk te leggen op enkele belangrijke punten in de ontwikkeling van de techniek der ultrasonore trillingen, te wijzen op het werk in het Natuurkundig Laboratorium van de Universiteit te Leuven verricht en ook de toekomstmogelijkheden na te gaan.

Het principieel belang van de ultrasonore trillingen is onmiddellijk klaarlijkend als men bedenkt dat het niets anders zijn dan mechanische trillingen met uiterst kleine golflengte (gaande tot 10^{-4} cm). Onderzoekingen, die met hoorbaar geluid dienen uitgevoerd en belangrijke moeilijkheden meebrengen, worden veel eenvoudiger met ultrasonoor geluid. Wanneer de golflengte klein is heeft men veel minder storende invloed van de wanden waartusschen het geluid zich voortplant. Daarenboven kon men de onderzoekingsruimte veel kleiner nemen.

Tengevolge van hun golflengte met macroscopische grootte kan men tevens verwachten dat ultrasonore trillingen zullen beïnvloed worden door onregelmatigheden in metalen, eveneens van macroscopische grootte. Het bleek dan ook spoedig dat de ultrasonore golven een uitstekend hulpmiddel zijn om structuuronderzoek in metalen uit te voeren. Hun belang is daarom vooral groot omdat zij een belangrijke aanvulling vormen van de bestaande techniek voor het onderzoek der materie met röntgenstralen en electronenstralen. Deze laatste stralen ondergaan in 't bijzonder een afbuiging in het gebied van microscopische grootte-orde, dus van dezelfde orde als hun eigen golflengte.

De kleine golflengte van ultrasonore trillingen

door Prof. dr. A. VAN ITTERBEEK, der Universiteit van Leuven, en A. DE BOCK, aspirant van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek.

maakt het mogelijk dat de mechanische trillingen kunnen gericht worden, wat van groot nut is voor het geven van signalen en het uitvoeren van dieptepeilingen.

Gaan we even na hoe we geluid kunnen opzoeken. Wanneer we een metalen staaf, vastgeklemd in haar midden, aans'aan, ontstaan er mechanische trillingen. De eigen frequentie waarmede die staaf (lengte : l) trilt kan men als volgt berekenen. De voortplantingssnelheid van geluidsgolven is :

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

waarin E de elasticiteitsmodulus en ρ de dichtheid is. Wordt de staaf aan het trillen gebracht in de grondtoon dan trilt ze in een halve golflengte :

$$l = \frac{\lambda}{2}$$

en met een frequentie

$$\partial_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Met de waarden voor nikkel : $E = 18.8 \cdot 10^{11}$ c.g.s. eenheden

$$\rho = 8,3 \text{ g/cm}^3$$

wordt

$$\partial_1 \cdot l = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 237 \text{ kHz.}$$

Voor een staaf van 100 cm lengte is de grondfrequentie dus 2,37 kHz. Is de staaf slechts 10 cm lang dan wordt dit 23,7 kHz. Dit was dus zoowat de grens die men practisch kon bereiken voor mechanische trillingen op het oogenblik dat Curie zijn ontdekking deed der

Piëzo-electriciteit.

Het verschijnsel bestaat hierin dat op de oppervlakken van bepaalde kristal'en ladingen verschijnen onder invloed van druk of trekbelasting en dat omgekeerd onder invloed van een elastisch veld het kristal vervormd wordt.

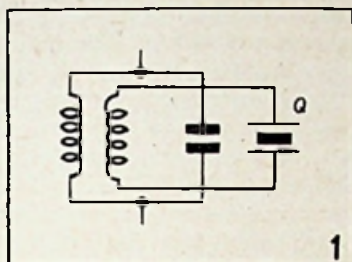
De grootte-orde van deze statische vervorming kan berekend aan de hand van de betrekking

$$\frac{\Delta d}{d} = d_{11} E_x$$

waarin d_{11} de piezo-electrische modulus is ; voor kwarts is $d_{11} = 6,36 \cdot 10^{-8}$ c.g.s. eenheden.

Voor een kwartsplaatje van 2 mm dikte en een veldsterkte van 25 Volt cm wordt de vervorming $\sim 10^{-3}$ cm.

Brengt men nu het kristal in een wisselveld dan zal het mechanische trillingen uitvoeren met dezelfde frequentie als het wisselveld.



Is er resonantie tusschen de opgelegde frequentie en de eigenfrequentie van het kristal dan wordt de amplitude van de trilling veel grooter.

Het frequentiebereik bestreken met kwartstrillingen (lengtetrillingen) kan weer afgeleid uit de betrekking

$$\partial_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Voor $l = 1$ cm is $\partial_1 = 269,9$ kHz en voor $l = 0,02$ cm is de eigenfrequentie 13.000 kHz.

Voor diktetrillingen is $\partial_1 \cdot d = 283,9$ kHz.

Daar door toepassing der piezo-electriciteit de trilling op eenvoudige wijze electricch kan onderhouden worden zal men de kwartspaatjes of staven veel dunner of korter kunnen nemen. Door het aanslaan van de boventonen kan men zelfs frequenties bereiken gaande tot 50.000 kHz, wat bij het stabiliseeren van oscillatoren met hooge frequenties kan gebruikt worden.

Andere piezo-electrische stoffen zijn het Seignettezout en het tourmalijn. Dit laatste wordt vanwege zijn zedzaamheid bijna niet gebruikt.

Seignettezout heeft weliswaar een groot piezo-electrisch effect maar daarentegen is het mechanisch minder stevig en daarenboven hygroscopisch.

Naar onze meening ligt de belangrijkste toepassing der ultrasonore trillingen voor de toekomst in het gebruik van groote energie. Wanneer men nagaat welke geweldige geluidsenergie men kan bereiken in het gebied der ultra-geluiden kan men a priori een reeks belangrijke verschijnselen en toepassingen verwachten. Het is dan ook vooral onder dezen gezichtshoek dat we het vraagstuk verder zullen bekijken.

Een kwartskristal wordt meestal aan het trillen gebracht door het inductief te koppelen aan den trillingskring van een zender (fig. 1).

Het kristal met massa M zal onder invloed van een uitwendige kracht een periodische beweging uitvoeren. Het zal tevens een wrijvingskracht te overwinnen hebben evenredig aan zijn snelheid en een elastische kracht tengevolge van zijn innerlijke stijfheid. Stellen we de bewegingsverge-

lijking op van het kristal trillend in het luchtledige:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + W \frac{dx}{dt} + Gx = P \sin \omega t.$$

Het kristal voert een ongedempte sinusoidale beweging uit; wordt de uitwendige kracht plots nul dan wordt dit een gedempte trillingsbeweging met als dempingsfactor:

$$\delta = \frac{W}{2MN} \sim \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{\rho}{c_{11}}} \eta$$

(N eigenfrequentie, c_{11} piezo-electrische constante, η inwendige wrijving).

Trilt het kristal in lucht of in een vloeistof dan worden de omstandigheden anders. Er is dan een veel belangrijker demping veroorzaakt door de kolom lucht of vloeistof die het kristal moet doen meestillen. Men berekent dan de demping

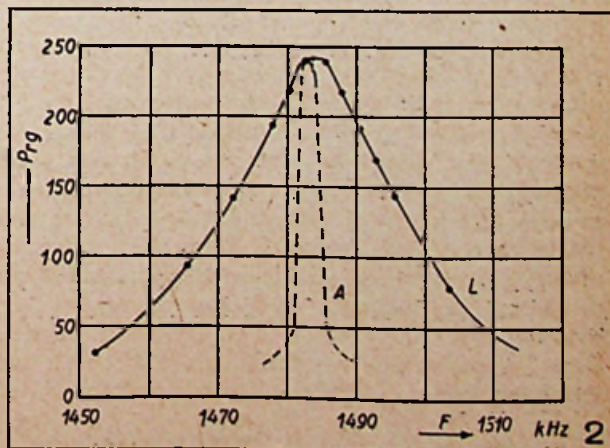
$$\delta = 4 \frac{\rho_0 v_0}{\rho v}$$

waarin $\rho_0 v_0$ de stralingsweerstand van het medium en ρv deze van kwarts zijn. Men heeft b.v. de volgende numerieke gegevens:

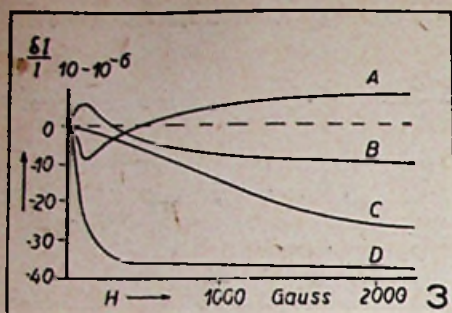
- lucht: $\rho_0 = 10^{-3}$ g/cm³; $v_0 = 334$ m/sec;
 $\rho_0 v_0 / \rho v = 3 \cdot 10^{-3}$; $\delta = 1,2 \cdot 10^{-1}$;
- olie: $\rho_0 = 8 \cdot 10^{-1}$ g/cm³; $v_0 = 1440$ m-sec;
 $\rho_0 v_0 / \rho_0 = 8 \cdot 10^{-2}$; $\delta = 3 \cdot 10^{-1}$.

Men ziet dus dat de demping in lucht duizend maal kleiner is dan in olie. Dientengevolge heeft men in olie een veel grotere acoustische energiedichtheid dan bij lucht waar deze onder den vorm van straling verloren gaat. Ten gevolge hiervan is dan de resonantiekromme van een in lucht trillend kristal veel scherper is dan deze in een vloeistof (fig. 2). Dit maakt dan ook het gebruik als frequentienormalen mogelijk.

In vloeistoffen daarentegen kan men uit de resonantiekromme sommige eigenschappen der vloeistof afleiden. Zoo worden b.v. op dit oogenblik in het Cryogeen laboratorium te Leuven metingen uitgevoerd over de resonantiekromme in vloeibaar gemaakte gassen.



A = lucht. — L = Vloeistof.



Berekenen we nu de maximaal toegelaten trillingsamplitude en de maximale hoogfrequentiespanning die op het kristal mag aangelegd.

De breukvastheid van kwarts volgens de elektrische as bedraagt voor drukbelasting 160 kg/mm^2 en voor trekbelasting 13 kg/mm^2 . Het is dus over 't algemeen gedurende een uitzetting dat een kwarts zal stuk gaan. Als we aannemen dat de wet van Hooke geldt tot op het oogenblik der breuk dan wordt de maximale uitzetting van een kristal met dikte d (cm) gegeven door:

$$\delta_{\max} = 13 d/E$$

(E is de elasticiteitsmodulus van kwarts 8700 kg/mm^2).

Doen we onze berekeningen voor een kwarts van 1 cm dikte dan is $\delta_{\max} = 13/8700 \text{ cm}$. Nemen we een zekerheidsmarge van 10 dan is $\delta_{\max} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$.

Men kan berekenen dat, om in olie, deze amplitude te bereiken, een hoogfrequentiespanning van 85.000 Volt vereischt is. Dit is dan meteen de maximale spanning die men op het kristal mag brengen zonder gevaar voor breuk. Met de gebruikelijke afmetingen voor zulke kwartsen stemt dit overeen met een energie van de orde van 20 Watt/cm^2 . Interessant is hierbij de vergelijking met de gegevens van een gewone luidspreker: $10^{-9} \text{ Watt/cm}^2$, of een kanonschot: 10^{-3} W/cm^2 .

Voor het opwekken van zeer intense mechanische trillingen moet men natuurlijk in de eerste plaats beschikken over een voldoende sterken zender (een 400-ta! Watt volstaat).

Niet alleen omwille van de isolatie maar ook om een groote energiedichtheid te bereiken is het noodzakelijk het quartzkristal te laten trillen in een oliebad. Eveneens met het doel de uitgestraalde acoustische energie etc vergrooten plaatst men het kristal over de opening van een met lucht gevulde ruimte. De naar onder uitgezonden golven worden aan het scheidingsoppervak quartz-lucht volkomen weerkaatst. Ze treden bovenaan uit het kristal geheel in phase met de golven door de bovenzijde van het kristal uitgezonden. Men verkrijgt op die manier een dubbele energie-uitstraling. Het is natuurlijk vanzelfsprekend dat men het quartz best in den grondtoon aan het trillen brengt.

Magnetostrictie.

Ferromagnetische staven gemagnetiseerd volgens hun lengterichting bezitten de eigenschap

ofwel in te krimpen ofwel uit te zetten. Deze eigenschap noemt men magnetostrictie. De lengteverandering is steeds onafhankelijk van het teeken van het magnetisch veld en is van de grootteorde van 10^{-6} cm .

In fig. 3 vindt men de lengteverandering van enkele stoffen, als functie van de veldsterkte, voorgesteld. Enkel nikkel en gegloeid kobalt hebben een eenvoudig verloop. De andere stoffen vertoonen een omkeerpunt waar de lengteverandering van teeken wisselt. Het magnetostrictie-effect is afhankelijk van de temperatuur en wel neemt het af bij stijgende temperatuur om te verdwijnen bij het Curiepunt.

Brengt men een staaf in een wisselend magnetisch veld (spoel van een zender) dan zal de staaf periodisch bijv. inkrimpen, maar vermits het effect onafhankelijk is van het teeken van het veld zal de frequentie der trilling het dubbel zijn van deze der elektrische trilling. Om dit te vermijden kan men de staaf met een gelijkstroom vóórmagnetiseeren en tevens instellen in dat punt van de $(\delta l, H)$ kromme waar de lengteveranderingen het grootst zijn. Is er resonantie tusschen de opgelegde en de eigenfrequentie van de staaf dan wordt de amplitude weer veel grooter.

De eigenfrequentie van een staaf kan berekend uit

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

of

$$N \cdot l = 237 \text{ kHz.}$$

De hoogste bereikte frequentie bedraagt 60 kHz . Daartoe is een nikkelstaaf vereischt van 4 cm lengte.

Het voordeel van de magnetostrictieve oscillatoren ligt in hun eenvoudigheid. Men kan er zeer groote geluidsenergiën mee bereiken zonder gevaar voor breuk van de staven. Hun nadeel is gelegen in het naar boven begrensde frequentiebereik en de temperatuurafhankelijkheid van het effect.

Toepassingen van ultrasone golven.

Wij willen ons in de eerste plaats beperken tot eigen werk, dat in het Leuensch laboratorium ondernomen werd. Aldus werd a'daar een uitgebreid onderzoek gewijd aan de eigenschappen van gassen. O.i. kan dit werk aanleiding geven tot interessante technische toepassingen welke we hier willen vermelden.

Zoals we in het begin van dit stuk gezien hebben bieden de ultrasone golven het voordeel dat de geluidsgolflengte in gassen klein is, zoodanig dat de geluidsproeven kunnen uitgevoerd worden in apparaten waarvan de afmetingen klein kunnen gekozen worden. Aldus kan men zonder al te groote moeilijkheden de voortplantingssnelheid van het geluid bepalen bij zeer lage temperaturen, zelfs temperaturen van vloeibaar helium.

Men kan de gassen onderzoeken uitgaande van

DE RADIO REVUE

BIJLAGE AAN N° 10 — JANUARI 1947

MAANDBLAD

BEHEER EN REDACTIE : PRINS LEOPOLDSTRAAT, 28 ANTWERPEN

RADIO-CURSUS

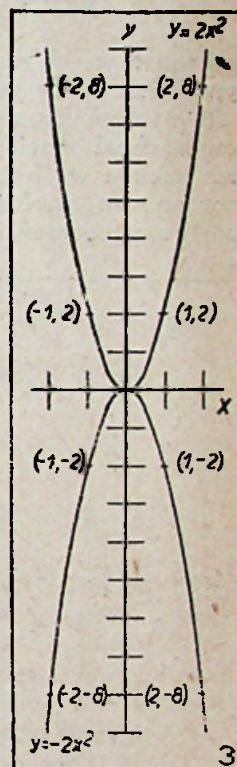
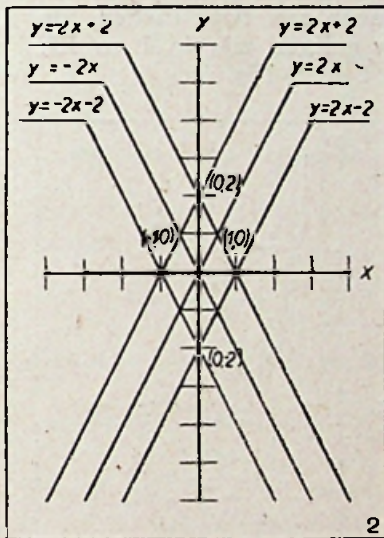
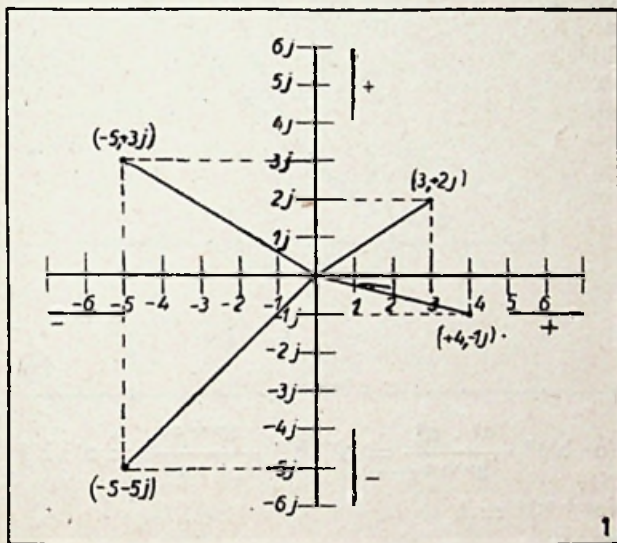
OPLOSSINGEN DER VRAAGSTUKKEN

Radio Revue n° 2, blz. 42.

Oefening 1.

Beeldt de volgende complexe getallen af:

$$3 + 2j, \quad -5 + 3j, \quad +4 - j, \quad -5 - 5j.$$



Oefening 2.

Maakt de grafische voorstelling der volgende vergelijkingen:

$$y = 2x + 2 \quad y = -2x + 2 \quad y = 2x - 2$$

$$y = -2x - 2$$

Deze grafische voorstellingen bekomen we door aan x verschillende waarden toe te kennen, de daarbij behorende waarden te zoeken van y , en tenslotte de door de waardenstelsels bepaalde punten in ons coördinatenstelsel uit te zetten. Deze punten onderling verbindend komen we voor al deze grafische voorstellingen rechte lijnen.

Oefening 3.

Idem voor $y = 2x^2$ en $y = -2x^2$.

We gaan weer op dezelfde wijze te werk als hierboven. Wij hebben echter steeds twee waarden, een positieve en een negatieve, die ons gelijke waarden geven voor y . We vinden als grafische voorstellingen kromme lijnen symmetrisch ten opzichte der y -as. De krommen zijn hier wat we noemen parabolen.

Oefening 4.

Idem voor:

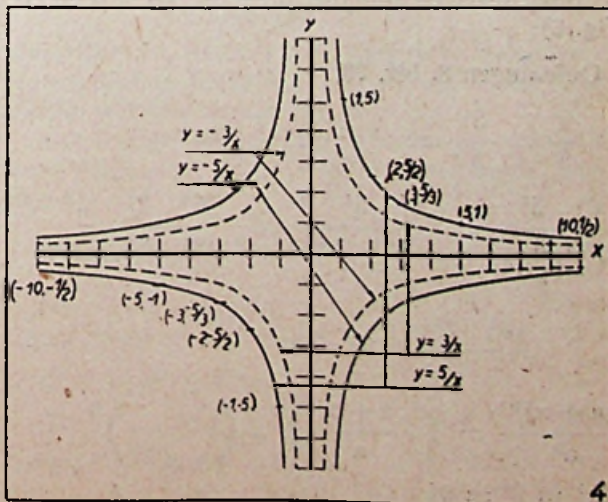
$$y = \frac{5}{x}, \quad y = \frac{-5}{x}, \quad y = \frac{3}{x}, \quad y = \frac{-3}{x}$$

Merkt op hoe we in dit geval krommen krijgen met twee takken. Het zijn z.g. hyperbolen.

Oefening 5.

Idem voor $y = 2x$ en $y = -2x$.

Vermits in deze vergelijkingen voor $x = 0$ ook



$y = 0$ zien wij onmiddellijk, dat we te doen hebben met lijnen die door het nulpunt moeten gaan. We hebben ze voorgesteld in fig. 2.

Radio Revue n° 3, blz. 77.

Oefening 6.

Construeert in een zelfde figuur:

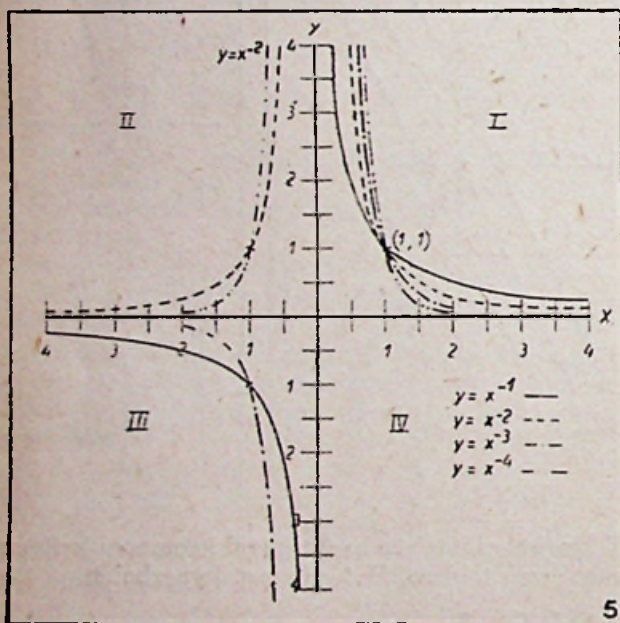
$y = x^{-1}$, $y = x^{-2}$, $y = x^{-3}$, $y = x^{-4}$

In de verg. $y = x^{-1}$, welke geschreven kan worden als

$$y = \frac{1}{x}$$

herkennen we onmiddellijk de vergelijkingen der hyperbolen uit de vorige oefening.

De overige krommen zijn, mits tekening op groote schaal, moeilijk duidelijk te teekenen. Ook hier hebben we krommen met twee takken, die voor oneven machten gelegen zijn in I en III, voor even machten in I en II (fig. 5).



Oefening 7.

Construeert de functies $y = 2^x$ en $y = 3^x$ (fig. 6).

Oefeningen 8, blz. 78.

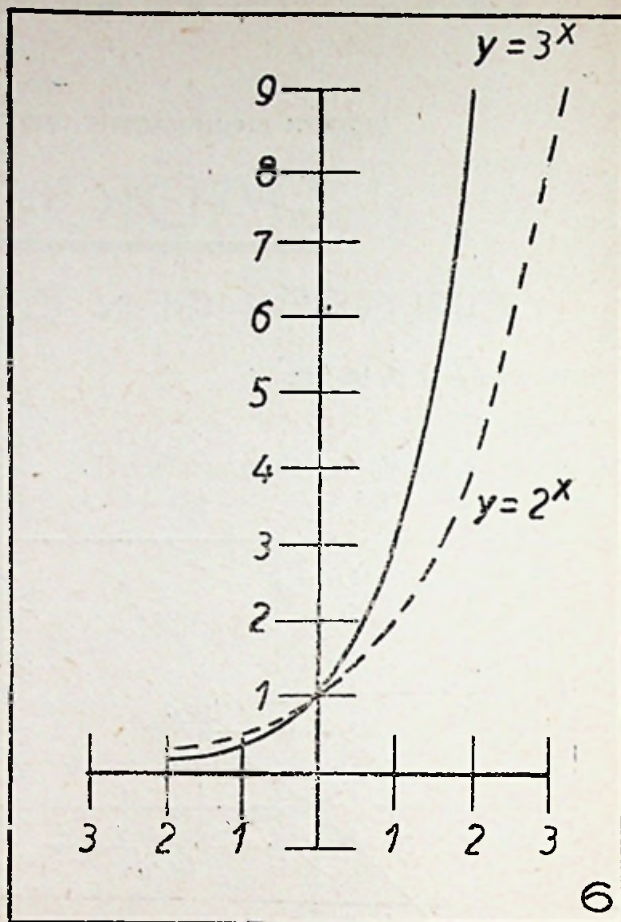
$$\frac{5^7 \cdot 5^0}{5^8 \cdot 5^2} = \frac{5^{13}}{5^{10}} = 5^3 = 125$$

$$\frac{6^4 \cdot 5^4}{4^4 \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^4} = \frac{6^4 \cdot 5^4 \cdot 2^4}{4^4 \cdot 5^4} = \frac{6^4 \cdot 2^4}{2^4 \cdot 2^4} =$$

$$\frac{3^4 \cdot 2^4}{2^4} = 3^4 = 81$$

$$\frac{(a+x)^b}{a^b} = \left(\frac{a+x}{a}\right)^b = \left(1 + \frac{x}{a}\right)^b$$

$$(2^3)^2 = 2^6 = 64$$



$$(a^4 \cdot b^3)^3 \frac{a^p \cdot a^q}{a^{p+q}} = a^{12} b^{3n} \frac{a^{p+q}}{a^{p+q}} = a^{12} b^{3n}$$

$$(a^p + 3^q)^0 = 1$$

$$[(a^n)^3]^m = a^{3mn}$$

$$\frac{(a^3 \cdot b^2)^3}{a^2 b^3} = \frac{a^9 \cdot b^6}{a^2 \cdot b^3} = a^7 \cdot b^3$$

$$n^3 \sqrt[5]{n^2} = n^3 \cdot n^{\frac{2}{5}} = n^{3\frac{2}{5}}$$

$$\frac{\sqrt[n]{a^b}}{\sqrt[n]{a^{b-1}}} = \frac{a^{\frac{b}{n}}}{a^{\frac{b-1}{n}}} =$$

$$a^{\left(\frac{b}{n}\right) - \left(\frac{b-1}{n}\right)} = a^{\frac{b-b+1}{n}} = a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$$

$$\sqrt[3]{a \cdot b} \sqrt[3]{\frac{a}{b}} = \sqrt[3]{\frac{a^2 b}{b}} =$$

$$\sqrt[3]{a^2} \text{ of nog } a^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{x}{y} \cdot \sqrt[n]{\frac{x^{n+1}}{y^{n+1}}} = \frac{x}{y} \times \frac{x^{\frac{n+1}{n}}}{y^{\frac{n+1}{n}}} = \frac{x^{1+\frac{n+1}{n}}}{y^{1+\frac{n+1}{n}}}$$

$$= \frac{x^{\frac{n+n+1}{n}}}{y^{\frac{n+n+1}{n}}} = \frac{x^{\frac{2n+1}{n}}}{y^{\frac{2n+1}{n}}} = \frac{x^{2+\frac{1}{n}}}{y^{2+\frac{1}{n}}}$$

$$= \frac{x^2}{y^2} \times \frac{x^{\frac{1}{n}}}{y^{\frac{1}{n}}} = \left(\frac{x}{y}\right)^2 \sqrt[n]{\frac{x}{y}}$$

$$\frac{\sqrt[4]{81}}{\sqrt[4]{625}} = \sqrt{\frac{\sqrt[4]{81}}{\sqrt[4]{625}}} = \sqrt{\sqrt{\frac{81}{625}}} =$$

$$\sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[n]{a} \text{ of } a^{\frac{1}{n^2}}$$

$$a^{\frac{1}{a+1}} \sqrt[a-1]{x} = \frac{(a+1)(a-1)}{\sqrt{x}} = \frac{a^2-1}{\sqrt{x}} \text{ of } (x)^{\frac{1}{a^2-1}}$$

$$\sqrt[10]{25} = \sqrt{\sqrt[5]{25}} = \sqrt[5]{5}$$

$$\left(a^{-\frac{3}{4}}\right)^{-\frac{5}{4}} = a^{\frac{15}{16}} = \sqrt[16]{a^{15}}$$

$$\frac{10^{\frac{2}{3}}}{5^{\frac{1}{3}}} = \frac{\sqrt[3]{10^2}}{\sqrt[3]{5}} = \frac{\sqrt[3]{100}}{\sqrt[3]{5}} =$$

$$= \frac{\sqrt[3]{20} \sqrt[3]{5}}{\sqrt[3]{5}} = \sqrt[3]{20}$$

$$(y^{m/n})^{-p/q} = y^{\frac{-mp}{nq}}$$

Oefeningen 9 op blz. 80.

$$x = a^3 b^2 c$$

$$\log x = 3 \log a + 2 \log b + \log c$$

$$x = a \sqrt[3]{b} \sqrt{c}$$

$$\log x = \log a + 1/3 \log b + 1/2 \log c$$

$$x = \sqrt{a^3 b c^5}$$

$$\log x = \frac{3 \log a + \log b + 5 \log c}{2}$$

$$x = \frac{\sqrt[3]{a}}{\sqrt{b}}$$

$$\log x = 1/3 \log a - 1/2 \log b$$

$$x = \frac{a \cdot \sqrt{b}}{c^2 \sqrt[3]{d}}$$

$$\log x = (\log a + 1/2 \log b) - (2 \log c + 1/3 \log d)$$

$$\log x = \log a + 1/2 \log b - 2 \log c - 1/3 \log d$$

$$= x \left(\frac{a \sqrt[5]{b^3}}{c^2} \right)$$

$$\log x = \log a + 3/5 \log b - 2 \log c$$

$$x = \sqrt[5]{\frac{a^5}{b^2 c}}$$

$$\log x = \frac{5 \log a - (2 \log b + \log c)}{5} = \frac{5 \log a - 2 \log b - \log c}{5}$$

$$\log x = \log a - \frac{2 \log b + \log c}{5}$$

$$\log x = \log a + 2 \log b - 3 \log c$$

dus

$$x = \frac{a b^2}{c^3}$$

$$\log x = 1/2 (\log a + \log b) - 3/4 \log c$$

dus

$$x = \frac{\sqrt{ab}}{\sqrt[4]{c^3}}$$

Radio Revue n° 3, oefening 10, blz. 111.

Om deze grafische voorstelling te bekomen volstaat het gelijk altijd eenige willekeurige waarden te kiezen voor de frequentie en de bijbehorende waarde te zoeken voor de golfengete, b.v. bij:

f = 300 kHz, d.w.z. 300.000 perioden per sec. hebben we:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{300.000} = 1000 \text{ m}$$

enz. Opgelet, dat om λ in meters te bekomen de voortplantingssnelheid σ natuurlijk moet uitgedrukt worden in meters.

Zie verder het resultaat op gewoon gemillimeterd papier fig. 7; op dubbel logaritmisch papier fig. 8.

Oefeningen 11, blz. 112.

1)

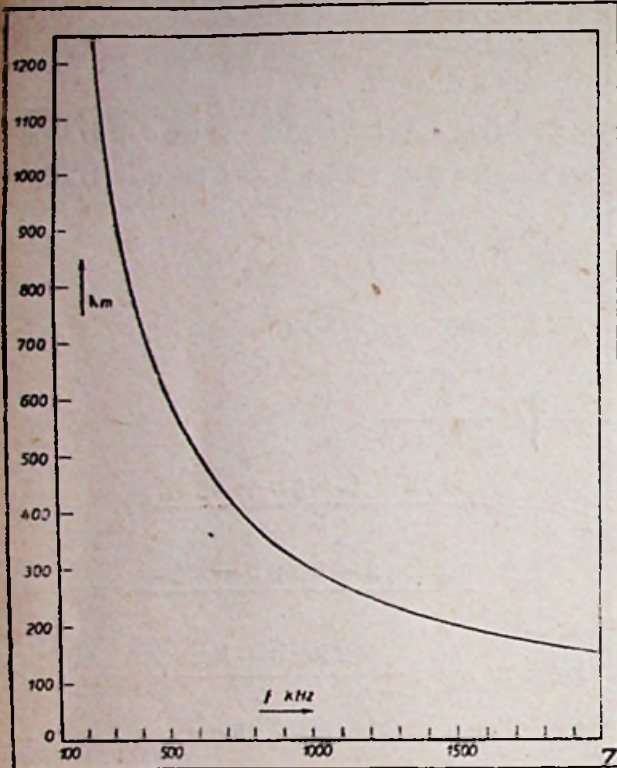
$$(5 + 2) \cdot (2x - 2) = 3(3x + 3)$$

$$7(2x - 2) = 9x + 9$$

dus

$$14x - 14 = 9x + 9$$

$$14x - 9x = 14 + 9$$



$$5x = 23$$

$$x = \frac{23}{5} \text{ of nog: } x = 4 \frac{3}{5}$$

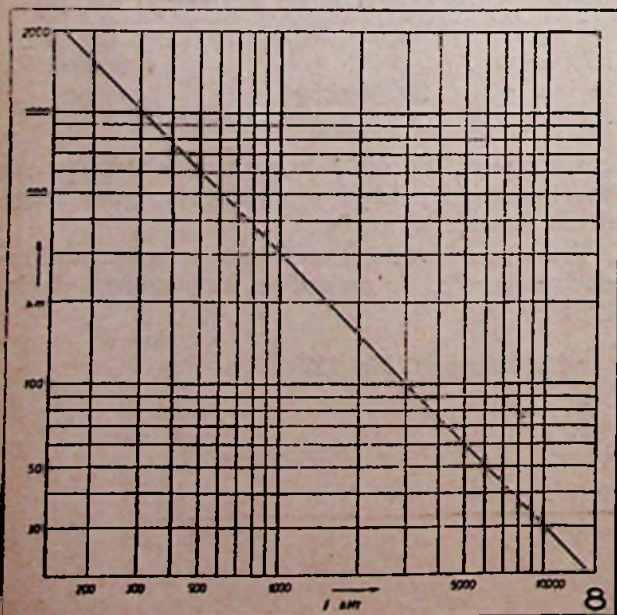
2)

$$\frac{x}{2} + \frac{x}{3} + \frac{x}{4} + \frac{x}{5} = x - 17$$

$$\frac{30x + 20x + 15x + 12x}{60} = x - 17$$

$$30x + 20x + 15x + 12x = 60(x - 17)$$

$$77x = 60x - 1020$$



$$77x - 60x = -1020 \text{ of } 17x = -1020$$

$$x = \frac{-1020}{17} \text{ dus } x = -60$$

3)

$$\frac{5x - 4}{3} = x + 4$$

$$5x - 4 = 3(x + 4) \text{ of } 5x - 4 = 3x + 12$$

$$5x - 3x = 4 + 12$$

$$2x = 16 \text{ of } x = 8$$

4)

$$ax + x = 4a$$

$$x(a + 1) = 4a$$

$$x = \frac{4a}{a + 1}$$

5)

$$\frac{x - 3}{4} = \frac{4 - x}{3}$$

$$(x - 3)3 = (4 - x)4$$

$$3x - 9 = 16 - 4x$$

$$3x + 4x = 9 + 16 \text{ of } 7x = 25$$

$$x = \frac{25}{7} \text{ of nog } x = 3 \frac{4}{7}$$

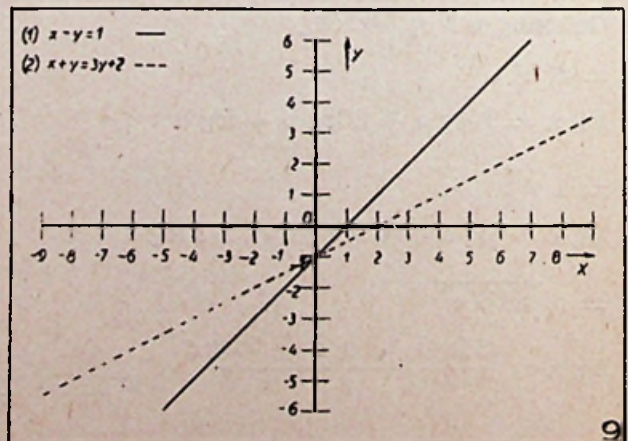
Oefeningen 12, blz. 114.

Los langs grafischen weg de volgende stelsels van vergelijkingen op:

1) $x - y = 1$

$x + y = 3y + 2$

Beide vergelijkingen stellen een rechte lijn voor; de coördinaten van het snijpunt der lijnen bepaalt de gemeenschappelijke waarde van x en y, welke voldoet aan het stelsel van vergelijkingen. Dit zijn hier: $x = 0$ $y = -1$ (zie fig. 9).



2) Idem voor:

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 1$$

(1)

$$\frac{x-a}{a} + \frac{y}{b} = 2 \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} bx - ay &= ab & (1) \\ b(x-a) + ay &= 2ab & (2) \end{aligned} \right\}$$

of nog:

$$bx - ab + ay = 2ab \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} bx - ay &= ab & (1) \\ bx + ay &= 3ab & (2) \end{aligned} \right\}$$

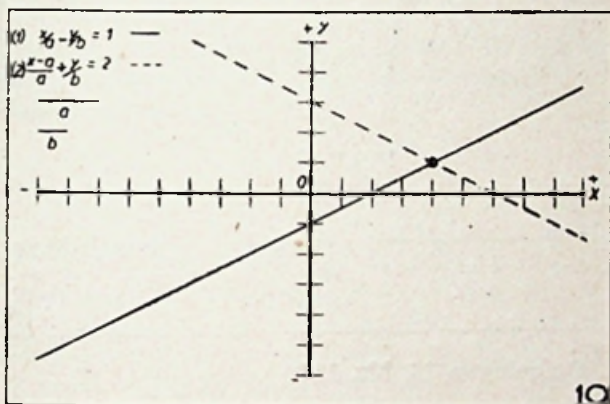
uit (1) $bx - ay = ab$ leiden we af:

voor $x = 0$; $y = -b$ want: $-ay = ab$,

voor $y = 0$; $x = a$ want: $bx = ab$.

We kunnen dus de lijn trekken: $bx - ay = ab$.

Uit (2) $bx + ay = 3ab$ bekomen we:



voor $x = 0$; $y = 3ab$ want: $ay = 3ab$,

voor $y = 0$; $x = 3a$ want: $bx = 3ab$.

We kunnen dus ook de lijn trekken:

$bx + ay = 3ab$.

De waarden van x en y zijn gegeven door het snijpunt (fig. 10).

Oefeningen 13, blz. 114.

1)

$$x^2 + 13x + 36 = 0$$

$$x = \frac{-13 \pm \sqrt{13^2 - (4 \cdot 36)}}{2} = \frac{-13 \pm \sqrt{169 - 144}}{2}$$

$$x = \frac{-13 \pm \sqrt{25}}{2} = \frac{-13 \pm 5}{2}$$

$$x' = \frac{-13 + 5}{2} = \frac{-8}{2} = -4$$

$$x'' = \frac{-13 - 5}{2} = \frac{-18}{2} = -9$$

Onderzoek:

voor $x = -4$

$$(-4)^2 + 13(-4) + 36 = 0$$

$$16 - 52 + 36 = 0$$

voor $x = -9$

$$(-9)^2 + 13(-9) + 36 = 0$$

$$81 - 117 + 36 = 0$$

$$-117 + 117 = 0$$

2)

$$3x^2 + 8x + 5 = 0$$

$$x = \frac{-8 \pm \sqrt{8^2 - (4 \times 3 \times 5)}}{2 \times 3} =$$

$$\frac{-8 \pm \sqrt{64 - 60}}{6}$$

$$x = \frac{-8 \pm \sqrt{4}}{6} = \frac{-8 \pm 2}{6}$$

$$x' = \frac{-8 + 2}{6} = \frac{-6}{6} = -1$$

$$x'' = \frac{-8 - 2}{6} = \frac{-10}{6} = -1 \frac{2}{3}$$

Onderzoek:

voor $x = -1$

$$3(-1)^2 + 8(-1) + 5 = 0$$

$$3 - 8 + 5 = 0$$

$$8 - 8 = 0$$

voor $x = -9$

$$3\left(-1 \frac{2}{3}\right)^2 + 8\left(-1 \frac{2}{3}\right) + 5 = 0$$

$$\frac{25}{9} - \frac{40}{3} + 5 = 0 \text{ dus } \frac{25 - 40}{3} + 5 = 0$$

$$\frac{-15}{3} + 5 = 0 \text{ of nog } -5 + 5 = 0$$

3)

$$(2x + 1)^2 = 8x$$

$$4x^2 + 4x + 1 - 8x = 0$$

$$4x^2 - 4x + 1 = 0$$

$$x = \frac{4 \pm \sqrt{(-4)^2 - (4 \times 4 \times 1)}}{2 \times 4}$$

$$x = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 16}}{8} = \frac{4 \pm \sqrt{0}}{8}$$

$$x' = x'' = \frac{4}{8} = 0,5$$

Onderzoek:

$$[(2 \times 0,5) + 1]^2 = 8 \times 0,5$$

$$(1 + 1)^2 = 4$$

$$2^2 = 4 \text{ of } 4 = 4$$

4)

$$2x^2 - 9x = 0$$

$$x = \frac{9 \pm \sqrt{(-9)^2 - [4 \times 2 \times 0]}}{2 \times 2}$$

$$x = \frac{9 \pm \sqrt{81-0}}{4} = \frac{9 \pm \sqrt{81}}{4}$$

$$x = \frac{9 \pm 9}{4}$$

$$x' = \frac{9+9}{4} = \frac{18}{4} = 4,5$$

$$x'' = \frac{9-9}{4} = \frac{0}{4} = 0$$

Onderzoek :

voor $x' = 4,5$
 $2(4,5)^2 - 9 \times 4,5 = 0$
 $(2 \times 20,25) - 40,5 = 0$
 $40,5 - 40,5 = 0$
 voor $x'' = 0$
 $2 \times (0)^2 - 9 \times 0 = 0$
 $0 - 0 = 0$

Oefening 14, blz. 114.

Grafische voorstelling van :

$$y = x^2 + 3x + 2$$

$$y = x^2 + 3x + 2$$

voor $x = 0$

$$y = (0)^2 + (3 \times 0) + 2 = 2$$

voor $x = 1$

$$y = 1^2 + (3 \times 1) + 2 = 6$$

voor $x = 2$

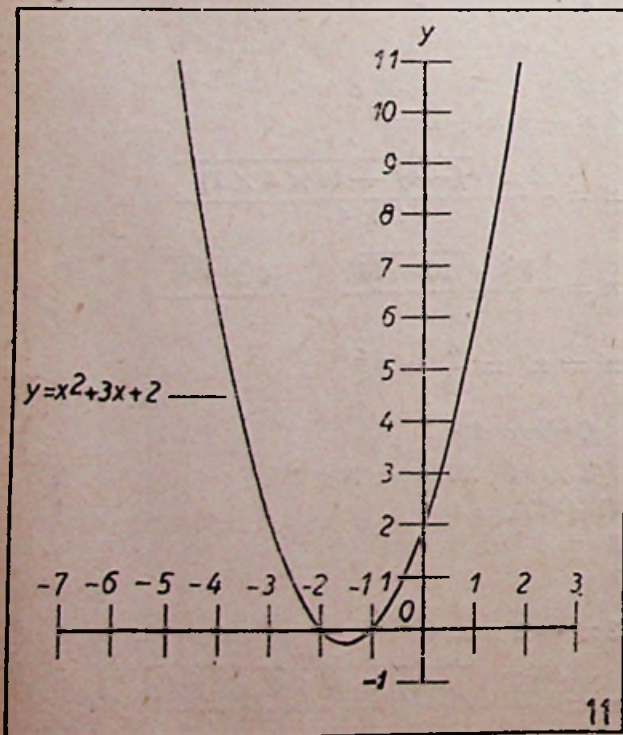
$$y = 2^2 + (3 \times 2) + 2 = 12$$

voor $x = 3$

$$y = 3^2 + (3 \times 3) + 2 = 20$$

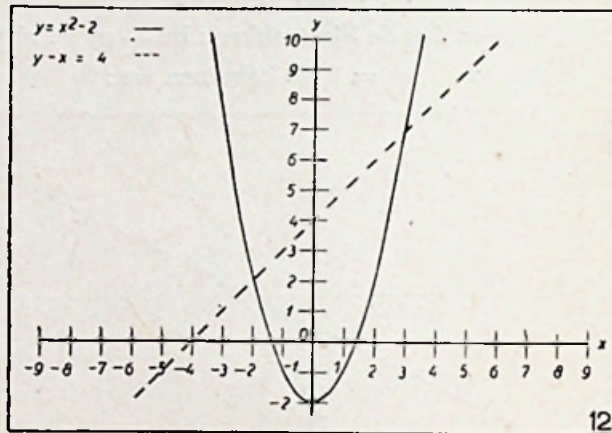
voor $x = -1 \frac{1}{2}$

$$y = (-1 \frac{1}{2})^2 + (3 \times -1 \frac{1}{2}) + 2 = 0,25$$



voor $x = -1$
 $y = (-1)^2 + (3 \times -1) + 2 = 0$
 voor $x = -2$
 $y = (-2)^2 + (3 \times -2) + 2 = 0$
 voor $x = -3$
 $y = (-3)^2 + (3 \times -3) + 2 = 2$
 voor $x = -4$
 $y = (-4)^2 + (3 \times -4) + 2 = 6$
 voor $x = -5$
 $y = (-5)^2 + (3 \times -5) + 2 = 12$

Verbindt de bekomen punt en we vinden als grafische voorstelling de parabool uit fig. 11.



Oefeningen 15, blz. 114.

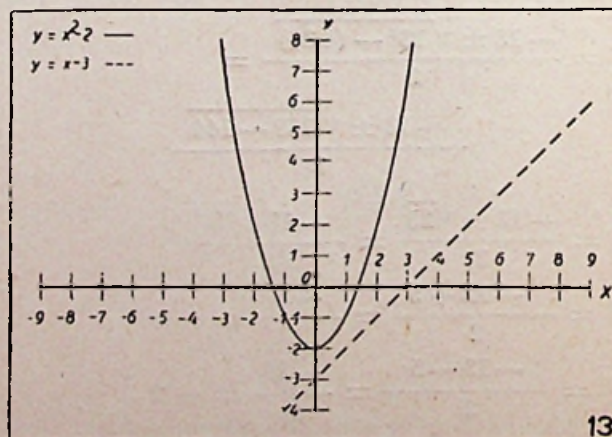
Zoekt langs grafische weg de oplossingen van :

$$\left. \begin{array}{l} 1) y = x^2 - 2 \\ y = x + 4 \end{array} \right\} \text{fig. 12.}$$

1° Verg. geeft een parabool ; 2° verg. een rechte lijn. Deze snijden elkander in twee punten. Dus twee gemeenschappelijke oplossingen, namelijk :

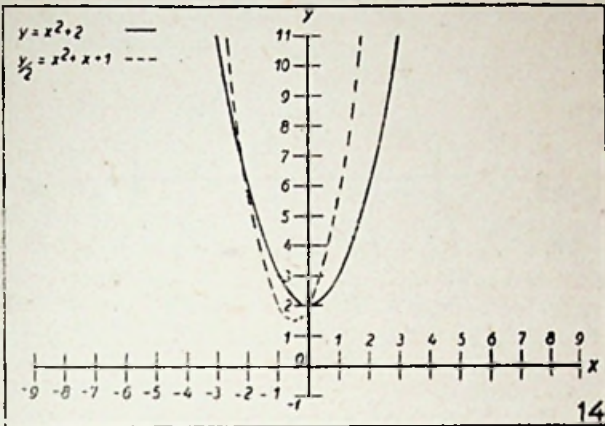
$$\begin{array}{ll} x_1 = 3 & y_1 = 7 \\ x_2 = -2 & y_2 = 2 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2) y = x^2 - 2 \\ y = x - 3 \end{array} \right\} \text{fig. 13}$$



De parabool voorgesteld door 1° verg. wordt niet gesneden door de rechte lijn bepaald door de 2° verg., dus geen gemeenschappelijke wortels.

3) $y = x^2 + 2$
 $\frac{y}{2} = x^2 + x + 1$ } fig. 14.

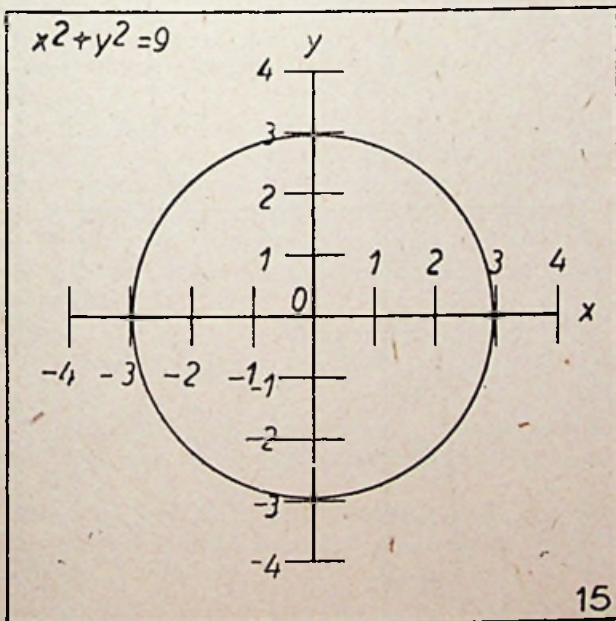


Beide vergelijkingen zijn parabolen, zij snijden elkaar in twee punten. Als gemeenschappelijke wortels vinden we :

$x_1 = 0$ $y_1 = 6$
 $x_2 = -2$ $y_2 = 6$

Radio Revue n° 5, blz. 142.

Oefening 16. — Men vraagt na te gaan, dat de vergelijking $x^2 + y^2 = 9$ grafisch voorgesteld wordt door een cirkel met straal = 3. Hiertoe zou het weer volstaan van x verschillende waarden toe te kennen, de bijbehorende waarden van y te bepalen en de punten onderling te verbinden (fig. 15).



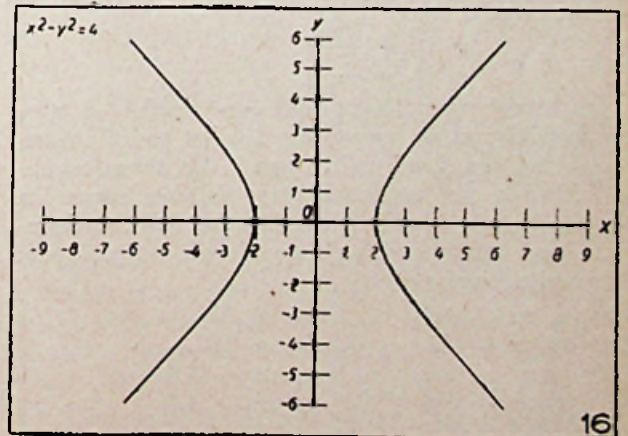
$x = 0$
 $y = \pm \sqrt{9 - 0} = \pm 3$
 $x = \pm 1$
 $y = \pm \sqrt{9 - 1} = \pm 2,8284$

$x = \pm 2$
 $y = \pm \sqrt{9 - 4} = \pm 2,2361$
 $x = \pm 2,5$
 $y = \pm \sqrt{9 - 6,25} = \pm 1,6583$
 $x = \pm 3$
 $y = \pm \sqrt{9 - 9} = 0$
 enz.

Oefening 17. — Grafische voorstelling van :
 $x^2 - y^2 = 4$

$x^1 - y^2 = 4$
 $y^2 = x^2 - 4$
 $x = 0$
 $y = \pm \sqrt{0 - 4} = \pm 2 j$
 $x = \pm 1$
 $y = \pm \sqrt{1 - 4} = \pm 1,73 j$
 $x = \pm 2$
 $y = \pm \sqrt{4 - 4} = 0$
 $x = \pm 3$
 $y = \pm \sqrt{9 - 4} = \pm 2,2361$
 $x = \pm 4$
 $y = \pm \sqrt{16 - 4} = \pm 3,4641$
 $x = \pm 5$
 $y = \pm \sqrt{25 - 4} = \pm 4,5826$
 $x = \pm 6$
 $y = \pm \sqrt{36 - 4} = \pm 5,6569$
 $x = \pm 7$
 $y = \pm \sqrt{49 - 4} = \pm 6,7082$

We vinden inderdaad een hyperbool (fig. 16).



Oefening 18. — Grafische voorstelling van :

$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{9} = 1$
 $x = 0$
 $y = \pm \sqrt{\frac{144 - 0}{16}} = \pm \sqrt{9}$

$$x = \pm 1$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{144 - (9 \times 1)}{16}} = \pm \sqrt{8,43} = \pm 2,9$$

$$x = \pm 2$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{144 - (9 \times 4)}{16}} = \pm \sqrt{6,75} = \pm 2,6$$

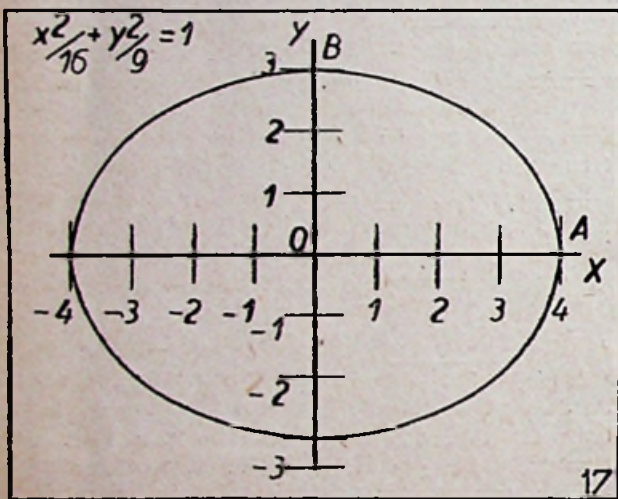
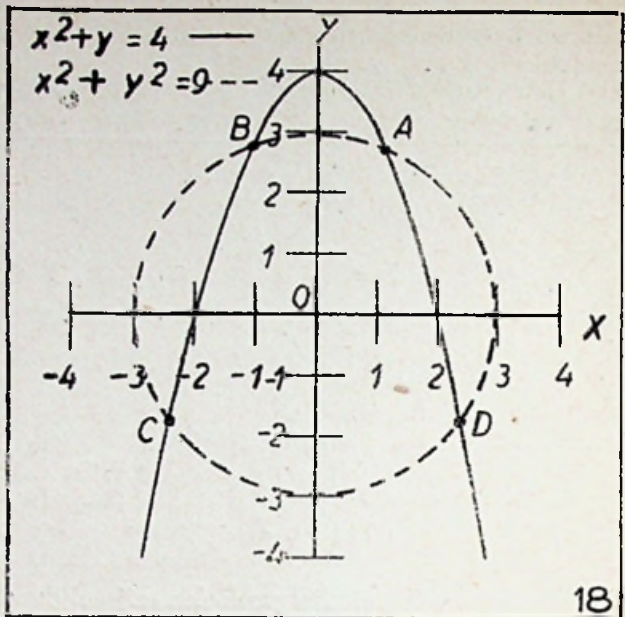
$$x = \pm 3$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{144 - (9 \times 9)}{16}} = \pm \sqrt{3,93} = \pm 1,98$$

$$x = \pm 4$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{144 - (9 \times 16)}{16}} = \pm \sqrt{0} = 0$$

enz.



We bekomen een ellips met als groote as $OA = 4$ en als kleine as $OB = 3$ (fig. 17).

Oefening 19. — Zoekt langs grafische weg de wortels van :

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= 9 \\ x^2 + y &= 4 \end{aligned}$$

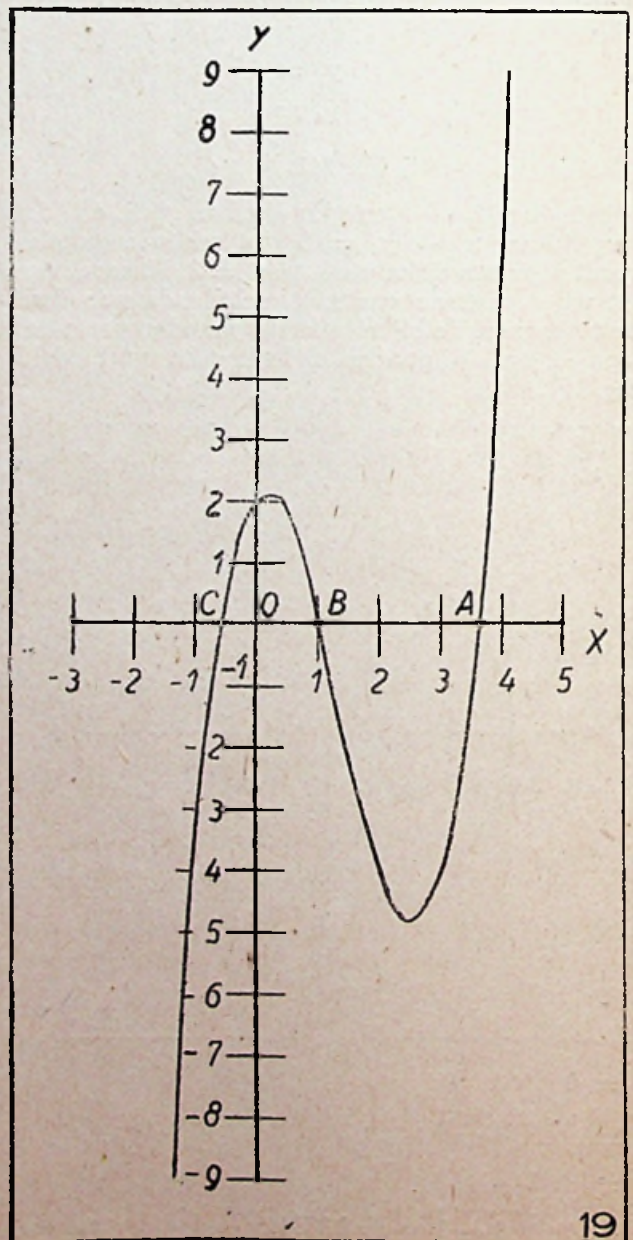
De eerste vergelijking stelt een cirkel voor met als middelpunt de oorsprong van het coördinatenstelsel en een straal gelijk aan 3. De tweede vergelijking is een parabool. Deze snijden elkaar in 4 punten (zie fig. 18) A, B, C en D. De coördinaten dezer punten zijn de gevraagde oplossingen. Deze zijn ongeveer :

- | | |
|------------------|--------------|
| (A) $x_1 = 1,1$ | $y_1 = 2,8$ |
| (B) $x_2 = -1,1$ | $y_2 = 2,8$ |
| (D) $x_3 = 2,4$ | $y_3 = -1,8$ |
| (C) $x_4 = -2,4$ | $y_4 = -1,8$ |

Oefening 20. — Lost grafisch op :

$$x^3 - 4x^2 + x^2 + 2 = 0.$$

We stellen $x^3 - 4x^2 + x^2 + 2 = y$ en stellen deze functie grafisch voor. De gevraagde oplossingen bekomen wij dan door de snijpunten te zoeken met de lijn voorgesteld door de vergelijking $y = 0$ (d.w.z. de x-as). In de figuur zijn dat de punten A, B en C, die resp. bij benadering als abscis hebben 3,6 ; 1 en 0,6 (zie fig. 19).



metingen over de voortplantingssnelheid of over de geluidsabsorptie.

Het Leuvensch laboratorium is deze beide richtingen uitgegaan. De voortplantingssnelheid van het geluid in een ideaal gas wordt gegeven door de vergelijking:

$$W = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \frac{RT}{M}} \quad (1)$$

waarin C_p en C_v de soortelijke warmten voorstellen, R de gasconstante, T de absolute temperatuur en M de moleculaire massa. Bovendien de belangrijke toepassing die in de physica algemeen bekend is om uit de voortplantingssnelheid van geluid de verhouding der soortelijke warmten te bepalen, dient opgemerkt te worden, dat, daar de moleculaire massa in formule (1) voorkomt, deze toelaat de moleculaire massa te bepalen. Aldus wordt in ons laboratorium die methode gebruikt om de zuiverheid van gassen zoals waterstof na te gaan.

De voortplanting van het geluid is op dergelijke wijze heel gevoelig aan onzuiverheden. Voor een vlugge gasanalyse is deze methode zeer geschikt. Ook zou men het apparaat kunnen gebruiken voor het analyseeren van het gas in de mijnschachten om aldus gewaarschuwd te zijn tegen de aanwezigheid van mijngas (fig. 5-6).

Wanneer men formule (1) opschrijft voor gasmengsels bekomt men:

$$W = \sqrt{\frac{C_p x + C_p'(1-x)}{C_v x + C_v'(1-x)} \frac{RT}{Mx + M'(1-x)}} \quad (2)$$

Ze laat toe aan de hand van de voortplantingssnelheid de gasconcentratie x bij binaire mengsels te bepalen. Dit wordt ook in ons laboratorium toegepast.

Verder willen we nog wijzen op het feit dat metingen over de voortplantingssnelheid van het geluid als functie van den druk het mogelijk maken de toestandsvergelijking van het gas te bepalen. Immers de toestandsvergelijking van een gas kan in eerste benaming geschreven worden onder den vorm:

$$pv = RT \left(1 + \frac{B}{v} \right) \quad (3)$$

(p : druk, B de viriaalcoëfficiënt). Kent men B dan kent men de toestandsvergelijking van het gas.

Vergelijking (1) is een bijzonder geval van de algemeene formule voor de voortplantingssnelheid:

$$W^2 = - \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T \frac{v^2}{M} \quad (4)$$

Immers voor een ideaal gas $pv = RT$ gaat (4) over in (3). Berekenen we

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T$$

uit (3) en voeren dit in in (4), dan bekomen we:

$$W^2 = W_0^2 (1 + S p) \quad (5)$$

met

$$S = B + \frac{T}{\lambda} \frac{dB}{dT} + \frac{T^2}{2\lambda(\lambda+1)} \frac{d^2B}{dT^2} \quad (6)$$

Men gaat nu als volgt te werk: men meet bij een bepaalde temperatuur hoe de voortplantingssnelheid van het geluid verandert als functie van den druk (zoals b.v. in fig. 4 is afgebeeld: deze figuur stelt de metingen over de voortplantingssnelheid van het geluid voor in zware waterstof, de isotoop van waterstof, bij vloeibare waterstof-temperaturen).

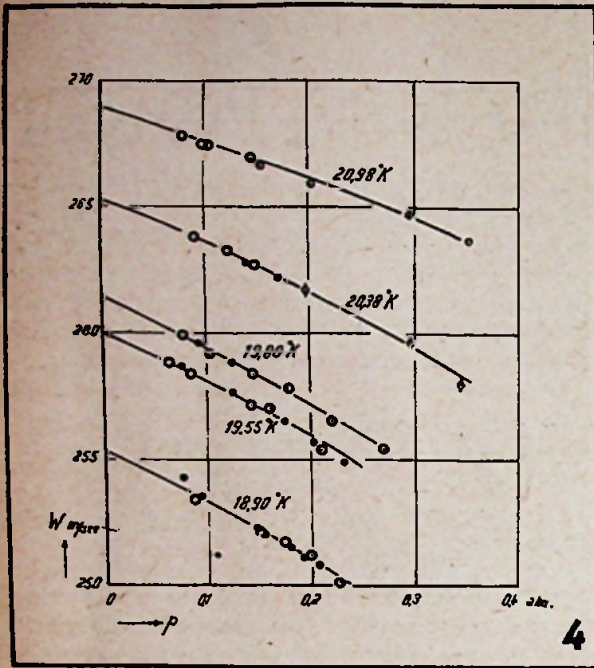
In fig. 5 is het apparaat voorgesteld dat bij onze voortplantingsmetingen gebruikt wordt. Met de micrometerschroef M kan de reflector R op en naar bewogen worden waardoor men periodisch de gas kolom boven het kwarts gelijk aan een geheel aantal halve golflengten maakt. Dank zij deze preciese micrometerschroef wordt de golflengte van het geluid gemeten met een groote nauwkeurigheid (0,01 mm). Het waarnemen van de staande golven gebeurt electrisch. Wanneer men boven het kwarts een geheel aantal halve golflengten heeft is de trillingsweerstand van het kwarts het kleinst, dit kan nagegaan door de amplitude van de wisselspanning aan de kwartselectroden of door den anodestroom te meten van den oscilator in wiens roosterkring het kwarts is gep'aatst.

Het meten van de toestandsvergelijking van een gas volgens de hierboven geschetste methode kan ook zonder moeite toegepast worden op gasmengsels. Dergelijke metingen kunnen voor de scheikundige industrie belangrijk zijn, aldus b.v. voor synthesesereacties waarbij binaire mengsels onder hoogen druk worden gebruikt.

Metingen over geluidsabsorptie geven de mogelijkheid de wisselwerking tusschen moleculen bij het botsen na te gaan. Immers de geluidsabsorptie bij meeratomige moleculen komt grotendeels voort van het verlies in translatie-energie der moleculen welke omgezet wordt in inwendige bewegingsenergie der moleculen. Onder de catalytische werking van kleine bijmengsels kan deze overdracht veel gemakkelijker geschieden. B.v. wanneer men de geluidsabsorptie in CO_2 meet stelt men vast dat het geluid practisch niet meer doorgelaten wordt wanneer men enkele sporen waterdamp aan het koolzuur toevoegt. Onder de catalytische werking van den waterdamp wordt de geluidsenergie in inwendige moleculaire beweging omgezet.

De geluidsabsorptie maakt het dus mogelijk de catalytische werking van gassen bij reacties te bestudeeren.

In fig. 6 is een toestel afgebeeld dat in het Leuvensch laboratorium gebruikt wordt voor het meten van de geluidsabsorptie in gasmengsels. Het toestel is zoo op'evat dat het kwarts gemakkelijk kan verwisseld, zoodat ook de geluidsabsorptie bij verschillende frequenties kan gevo'gd worden.



4

In hetgeen voorafgaat hebben wij dus voornamelijk Leuvenisch werk besproken. Groot in aantal zijn de toepassingsmogelijkheden welke wij hier volledigheidshalve nog even zullen in het licht stellen.

a) Physico-chemische werkingen.

1) Men heeft het verbreken van labiele evenwichtstoestanden door bestraling met ultrageluidsgolven waargenomen. Een reactie die gewoon niet doorgaat wordt ingezet zoo gauw men met ultrageluid bestraalt.

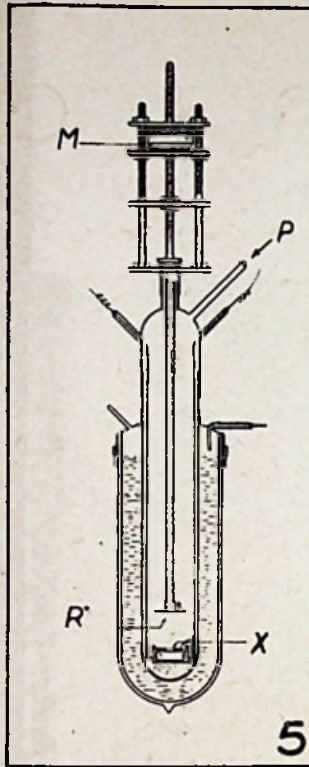
2) Electrochemie: Er bestaan electrochemische reacties die zonder bestraling met ultrageluid niet mogelijk zijn. De mechanische en chemische grenslaagpassiviteit (b.v. ijzer in zwavelzuur en in salpeterzuur) wordt door ultrageluid beïnvloed.

3) Photochemie: Het is mogelijk de ontwikkelbare zwarting van het latent beeld van een fotografische plaat te verhoogen door bestraling met ultrageluid.

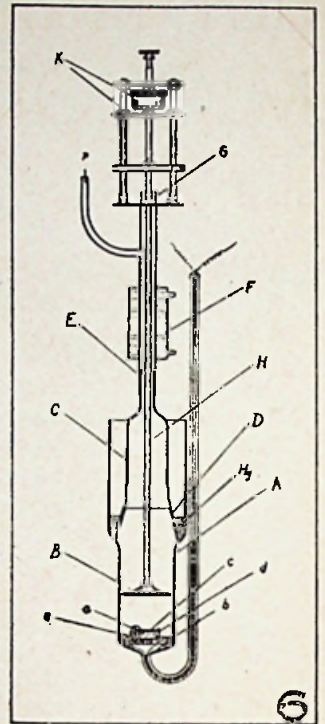
b) Biologische werkingen: Een groot aantal levende organismen wordt gedood door bestraling met ultrageluid. Het inwendige der cellen wordt heftig bewogen waardoor hun uitzicht heelemaal verandert.

c) Maken van emulsies: Door hevige mechanische schokken kunnen sommige stoffen fijn verdeeld worden. Bestraling met ultrageluid maakt het dan ook mogelijk b.v. suspensies van kwik en van olie in water te maken.

d) Materiaalonderzoek: Metaalstukken zonder storingen laten de ultrasonore trillingen goed door. Storingen in het metaal, zooals breuken of holten, weerkaatsen ze echter zeer sterk. Men kan nu



5



6

P = Maat pomp

aan één zijde van een werkstuk een bron van ultrageluidsgolven opstellen en aan de andere zijde het oppervlak met een ontvanger voor ultrageluiden aftasten. Verminderde ontvangst zal dus duiden op weerkaatsing van de trillingen door storingen.

e) Bestraling met ultrageluid wordt gebruikt bij het smelten van metalen en legering en om mechanische eigenschappen te bekomen.

f) Richtingsbepaling: Ten laatste is er een zeer belangrijk toepassingsgebied der ultrageluiden en wel het geven van signalen onder water. Men kan die signalen gebruiken als verbindingsmiddel tusschen oorlogsschepen en om de aanwezigheid van vijandelijke schepen vast te stellen.

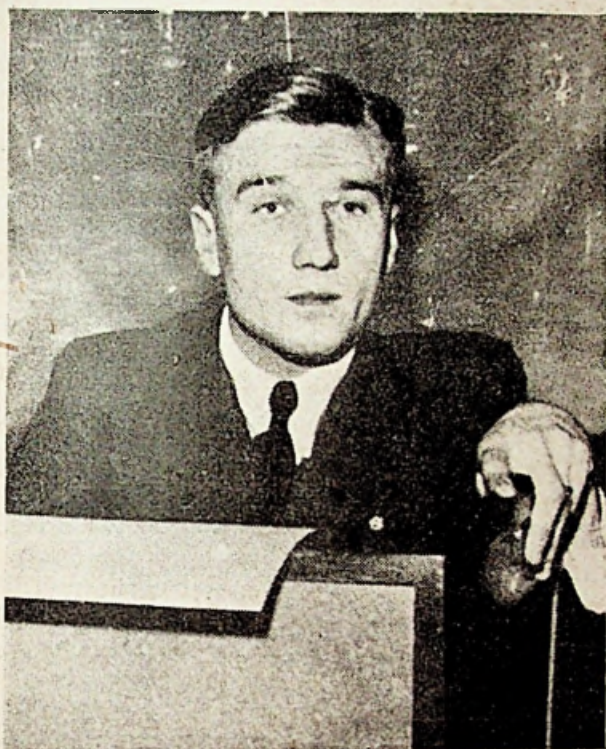


Dr. REYNER

na zijne schitterende voordracht in gesprek met een belangstellende bezoeker, in bijzijn van dhr. A. L. BERNAERT.

HET IJKEN VAN MICROFOONCONDENSATOREN

door A. LAMBERT, Electro-technisch Ing. E.S.E. Paris.
Ingenieur van Bell Telephone Mfg. Co.



Ing. A. LAMBERT
tijdens zijn voordracht.

I. — VOLSTREKTE DOELMATIGHEID. DOELMATIGHEID IN EEN VRIJ ACOUSTISCH VELD.

In zijn boek getiteld « Modern Acoustics » doet Davis terecht opmerken, « dat een microfoon goed is wanneer hij geijkt is in volstrekte acoustische eenheden en dat hij dan tevens een uiterst confortabel en soepel instrument vormt voor het meten der geluidsintensiteit. Men moet evenwel erkennen dat deze instrumenten vaak een diameter van 50 tot 75 mm hebben en dat ze bijgevolg vrij groot zijn om zich dan als reflector te dragen voor geluiden met zeer hoge frequenties. In dit geval, indien het geluid normaal teruggekaatst wordt, dan is de drukking op de reflecterende oppervlakte tweemaal zoo groot dan wanneer deze oppervlakte werd weggenomen. Op de lage frequenties is de microfoon, vergeleken met de golflengte van het geluid, klein en werkt niet meer als noembare reflector en de drukking op de triplaat is even groot als die welke bestond in het geluidsveld vóór dat de microfoon er aangebracht was. Op de tussenfrequenties is het vaak moeilijk deze verhouding te berekenen

omdat de microfoons niet eenvoudig van vorm zijn ».

Dit leidt er ons toe twee soorten doelmatigheiden te bepalen :

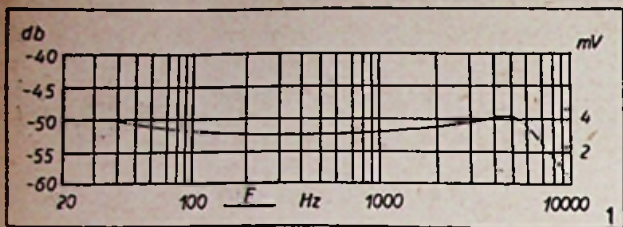
1°) De volstrekte doelmatigheid wordt gemeten ten opzichte van de klemmenspanning berekend in volt bij de effectieve drukking op de triplaat, deze drukking wordt gemeten in bar.

2°) De doelmatigheid in een vrij acoustisch veld waar de resulterende doelmatigheid gemeten wordt ten opzichte van de klemmenspanning, uitgedrukt in volt, bij den geluidsdruk welke op het punt bestond waar de microfoon geplaatst is vóór hij deze plaats innam. Deze drukking wordt eveneens in bar gemeten.

II. — DE CONDENSATORMICROFOON.

De karakteristiek van deze microfoon, m.a.w. de kromme welke de doelmatigheid op de verschillende frequenties weergeeft noemt men ook de frequentiekromme of weergavekromme ; ze is vrij gelijkmatig over een ruime frequentieband. Daaruit volgt dat deze microfoon niet alleen gevan het geluid maar dat zij tevens kan dienen als waardevol instrument voor het uitvoeren van acoustische metingen in het algemeen.

In verband met zijn geringe gevoeligheid echter dient opgemerkt te worden dat het gebruik van de condensatormicrofoon zeer beperkt is geweest tot op het oogenblik dat goede versterkers en degelijke lampen konden worden gebruikt. De condensatormicrofoon heeft een gevoeligheid van ong. 2 tot 3 mV/bar, deze van de piëzo-electrische microfoon kan 4 tot 5 mV/bar bereiken, naargelang de montage der kristallen (de microfoon met dubbel kristal met aangrijpingspunt in het midden levert een E.M.K. in de buurt van 125 μ V/bar) terwijl de « Canti evermontage » met dubbel kristal en aangrijpingspunt op één der uiteinden 4 tot 5 mV/bar levert), de gevoeligheid van de electro-dynamische microfoon ligt in de buurt van 9,5 mV/ μ bar die van de koolmicrofoon bedraagt ong. 25 mV/bar, maar de werking van deze laatste is zeer verschillend der voorgaanden vermits bij de koolkorrelmicrofoon de omzetting van geluidsenergie en electrische energie geheel afhankelijk is van een stroombron, en de triplaat alleen functionneert als contrôlemiddel der geluidsstroomvariatie der stroombron. Deze microfoon functionneert dus eigenlijk niet als een drie-



electroden versterker amp waarbij de trilplaat de functie van het rooster zou vervullen en de trilingsenergie van de trilplaat die in rechtstreeksche verhouding staat met de geluidsintensiteit heeft dus geen enkel noodzakelijk verband met het door den microfoon afgeleverde vermogen.

Kortom, door het gebruik van een versterker met electronlampen is de condensatormicrofoon te beschouwen als een instrument dat als grondslag kan dienen voor de acoustische metingen en door de volstreekte ijking is hij een standaardapparaat geworden in de electro-acoustiek. Men kan gerust aannemen dat de moderne acoustiek haar ontwikkeling tegemoet is gegaan samen met die van de door WENTE uitgevonden condensatormicrofoon. Het zou evenwel niet juist zijn te beweren dat dit het eenige apparaat gebleven is dat als ijkstandaard kan gebruikt worden, want in den laatsten tijd is de piëzo-electrische microfoon, tengevolge van de jongste verbeteringen, een zeer merkwaardig apparaat geworden voor het meten van den geluidsdruk. Door sommige zijner karakteristieken komt hij zeer dichtbij het ideale standaardapparaat voor het meten van de geluidsdruk.

Ziehier trouwens een kort overzicht van de eischen waaraan een goede ijkmicrofoon moet beantwoorden.

De hoofdvereischte is een juiste reproductie van den geluidsdruk die in een punt bestond vóór dat de microfoon er geplaatst werd; dit werd verkregen met verschillende microfoontypes maar voor een beperkte hoorbare frequentieband; het ligt voor de hand dat de microfoon beter zal zijn naarmate de band breeder is.

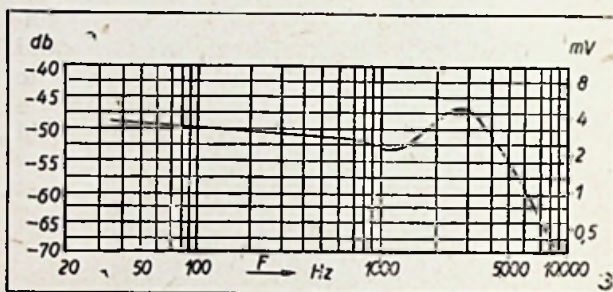
Vervolgens moet de weergavekromme zoo vlak mogelijk verlopen. Hierbij valt echter op te merken dat kleine variaties wel kunnen geduld worden maar dat het gemakkelijker is, correcties aan te brengen indien men kan uitgaan van een gelijkmatig verlopende kromme.

Van een standaardmicrofoon wordt eveneens vereischt dat de uitgangsspanning lineair verloopt voor groote amplitudevariatiën van de geluidsdruk. Dit is noodig om de microfoon even goed in

de buurt van sterke geluidsbronnen te kunnen gebruiken als op grooteren afstand van zwakkere bronnen. Daartoe is het noodig dat het electro-mechanisch systeem zelf lineair is voor groote drukvariatiën.

De afmetingen van de microfoon moeten zoo gering mogelijk zijn vergeleken met de golflengte van het geluid waarvan men de geluidsdruk wil meten, want indien de diffractie der golven veroorzaakt door de aanwezigheid van de microfoon te groot is dan verandert de doelmatigheid met den hoek bepaald door het voorvlak van den microfoon en de voortplantingskromme van het geluid (zie fig. 1, 2 en 3).

In fig. 1 is de ijking uitgevoerd in functie van de geluidsdruk. In fig 2 geschiedde de ijking in functie van het veld wanneer de geluidsgolven de microfoon bereiken in een loodrecht op het voorvlak staande richting terwijl fig. 3 als fig. 2



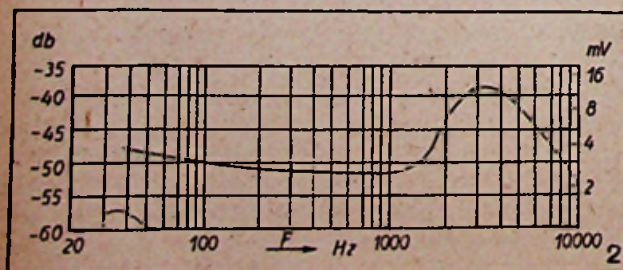
is met een richting gelijklopend met het voorvlak van den microfoon. Soms zelfs voor vrij aanzienlijke golflengten is een zeer kleine microfoon noodig indien de geluidsdruk moet gemeten worden in betrekkelijk geringe afgesloten ruimten, dit is noodig omdat de physische afmetingen van deze ruimte niet zouden gewijzigd worden door het aanbrengen van den microfoon; het is een typisch voorbeeld van het groote nut van een kleine microfoon.

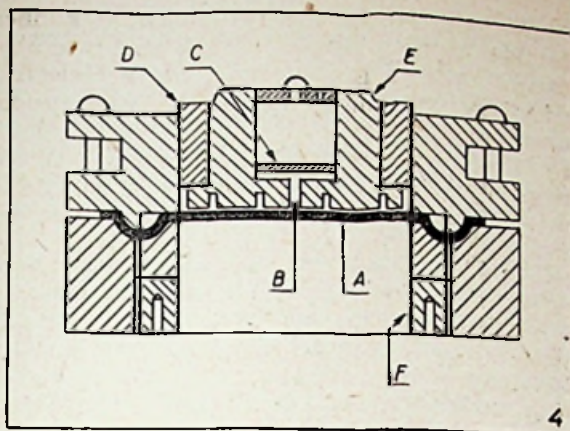
Het is eveneens noodig dat de elektrische impedantie van een ijkmicrofoon zoo gelijkmatig mogelijk is om hem te kunnen aanpassen aan een normale versterker, zoo niet zou het kunnen gebeuren dat de eenvormigheid van zijn spanningskarakteristiek in open kring totaal nutteloos is.

Tenslotte moet de acoustische impedantie van de ijkmicrofoon buitengewoon hoog liggen over het geheele hoorbare frequentiebereik. Indien deze acoustische impedantie niet verschillende malen grooter is dan die van het omgevende milieu kan hieraan een groote wijziging gebracht worden door het aanbrengen van de microfoon.

De nieuwe piëzo-electrische microfoon beantwoordt in ruime mate aan de hierboven opgesomde voorwaarden. Nochtans wordt nog steeds de condensatormicrofoon als ijkinstrument gebruikt en sommige verbeteringen als kleinere afmetingen en sterker gespannen trilplaat hebben hem terug in eere hersteld.

Zooals blijkt uit fig. 4 bestaat de condensatormicrofoon uit een trilplaat A, die parallel en stevig ingespannen is ten opzichte van een massieve plaat E. De nieuwe piëzo-electrische microfoon

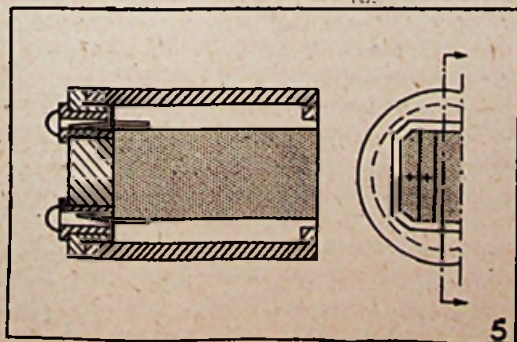




daarentegen is samengesteld uit verschillende schijfjes gesneden uit piëzo-electrische kristallen; ze zijn gemonteerd op een stevige basis. De buitenkanten zijn bedekt met een dun vliësjie (fig. 5). Terwijl de spanning der trilplaat van de condensatormicrofoon beperkt wordt door de weerstand van het materiaal is dit niet het geval voor de piëzo-electrische kristallen; de voor een groote acoustische impedantie noodzakelijke stevigheid is dus in de condensatormicrofoon beperkt terwijl ze het practisch niet is voor de piëzo-electrische microfoon, althans niet in de gewone gebruiksvoorwaarden.

Bovendien valt de afwezigheid op te merken eener holte tegenover de trilplaat in de piezo-electrische microfoon en daardoor wordt een andere bron van mogelijke vervorming op de hogere hoorbare frequenties vermeden. Verder vallen de geringe afmetingen op waardoor de microfoon nader bij het theoretische ideaal der geluidsopname komt. De piezo-electrische microfoon heeft een diameter van ong. 15 à 16 m/m en een lengte van 23,5 m/m. De nieuwe WESTERN ELECTRIC-condensatormicrofoon heeft een diameter van 25 m/m en een lengte van 25 m/m. Vermelding verdient de condensatormicrofoon van Flanders met een diameter van 13 m/m en waarvan de geluidsdruk op één of twee db na dezelfde is in alle punten van de trilplaat zelfs wanneer het geluid aankomt in het vlak dezer trilplaat.

We kunnen niet langer stilblijven bij de samenstelling der twee ijkapparaten. We moeten de studie van de condensatormicrofoon aanvatten die eigenlijk het onderwerp is der studie over het ijken van microfoons.



De condensatormicrofoon (fig. 4) functioneert door de variatie eener capaciteit tusschen de trilplaat en een vast stuk. (Back-plate). De trilplaat en de plaat vormen condensatorbelegels waarvan de capaciteit varieert onder den invloed der geluidsgolf. Deze capaciteit bedraagt

$$C = C_0 + C_1 \sin \omega t$$

Condensator C wordt in een kring geschakeld die tevens een batterij van meerdere 100 Volt e_0 bevat (fig. 6) en die men voorspanningsbatterij noemt; de seriewerstand R is zeer hoog vergeleken met

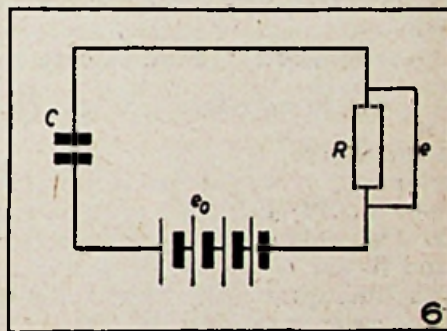
$$\frac{1}{C \omega}$$

Wanneer de capaciteit van de microfoon varieert ontstaat er een overeenstemmende spanningsval e in weerstand R. Men meet e over de klemmen van R.

De vergelijking van dezen kring kan als volgt geschreven worden:

$$e_0 = R_1 + \frac{q}{C} = R_1 + \frac{1}{C} \int i dt$$

vervangt men C door de hierboven uitgedrukte waarde en differentieert men vervolgens dan ver-



krijgt men de volgende differentiaalvergelijking die we overnemen uit APPLIED ACOUSTICS van OLSON en MASSA.

$$R(C_0 + C_1 \sin \omega t) \frac{di}{dt} + (1 + R.C_1 \omega \cos \omega t) i = e_0 C_1 \omega \cos \omega t$$

die men als volgt kan oplossen:

$$i = \frac{e_0 C_1}{C_0 \sqrt{\frac{1}{C_0^2 \omega^2} + R^2}} \cdot \sin(\omega t + \Phi_1)$$

$$e_0 \cdot C_1^2 \cdot R \cdot \frac{C_0 \sqrt{\left(\frac{1}{C_0^2 \omega^2} + 4R^2\right) \left(\frac{1}{C_0^2 \omega^2} + R^2\right)}}{\sin 2 \omega t + \Phi_1 - \Phi_2}$$

$$\text{tg } \Phi_1 = \frac{1}{C_0 \omega R} \quad \text{en} \quad \text{tg } \Phi_2 = \frac{1}{2 C_0 \omega R}$$

Vermits we een spanning verlangen die over-

eenstemt met de variatie der capaciteit, m.a.w. zonder harmonischen neemt men C_1 klein vergeleken met C_0 . De spanning e wordt dan :

$$e = R_1 = \frac{e_0 C_1 R}{C_0 \sqrt{\frac{1}{C_0^2 \omega^2} + R^2}} \sin(\omega t + \Phi_1)$$

Uit deze vergelijking blijkt dat voor zoover het den kring betreft de condensatormicrofoon kan beschouwd worden als een generator van electromotorische kracht :

$$e_0 \cdot \frac{C_1}{C_0} \cdot \sin(\omega t + \Phi_1)$$

en met een inwendige impedantie gelijk aan : $\frac{1}{C_0 \omega}$

In electrisch opzicht moeten we onthouden dat e evenredig is met e_0 (voorspanning) en in omgekeerde reden verandert tot $C_0 \cdot e_0$ en dat deze spanning vaak 200 V kan bereiken. Men mag ze niet hooger nemen want indien men wil dat C_0 groot zij dan moet C_1 veel kleiner zijn dan C_0 . Daartoe is het noodig dat de belegsels dicht bij elkaar liggen (0,025 mm.) en men moet vanzelfsprekend vermijden dat vonkvorming ontstaan kan tusschen beide elektroden. De lucht binnen in den condensatormicrofoon moet dan ook volkomen droog zijn.

Hoe groot men ook C_0 neme blijft de impedantie $\frac{1}{C_0 \omega}$ van de microfoon toch zeer hoog voor de lage frequenties.

Indien b.v. $C_0 = 300 \mu\text{F}$ dan verkrijgt men een impedantie van 10 MΩ een frequentie van 50 en 0,106 MΩ op frequentie 5000. Bijgevolg is een weerstand R van 15 tot 20 MΩ noodzakelijk om een behoorlijke spanning op de klemmen der eerste versterkerlamp te verkrijgen. Lange verbindingen tusschen microfoon en versterker leveren niet alleen storingen op voortkomende van vreemde electro-motorische krachten die langs de draden worden opgenomen, maar ze functionneeren bovendien als een zeer merkbare shunt op de microfoon want het volstaat enkele meter gewone draad te gebruiken om een capaciteit te verkrijgen, welke groeter is dan die van de microfoon. Als gevolg daaraan wordt de eerste versterkertrap vaak in een zoo klein mogelijke afscherming ingebouwd welke achteraan of onder de microfoon gemonteerd is. Is het volstrekt noodig de microfoon ver van den versterker te gebruiken, dan worden beide verbonden door een speciale kabel met geringe capaciteit.

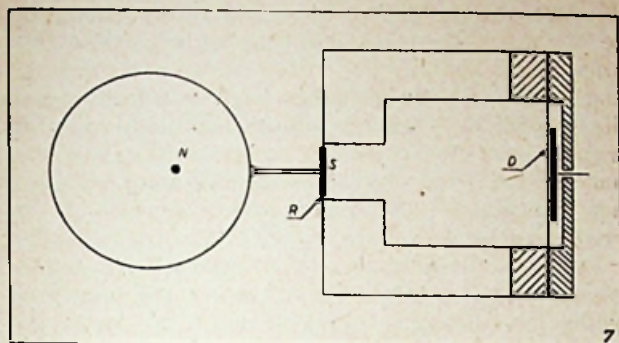
Uit fig. 4 blijkt dat de trilplaat geheel ingebouwd is in een metalen kap. Hare eigen frequentie ligt boven 10.000 Hz. en kan zelfs 20.000 Hz bereiken. De trilplaat van de eerste microfoons was een uiterst dun stalen plaatje (51μ), dat sterk aangespannen werd om het zoo stevig mogelijk te maken. (Hierbij valt op te merken dat juist daardoor de microfoon niet zeer gevoelig was). De stevigheid werd nog verhoogd door die van den luchtfilm tusschen de trilplaat en de achterplaat,

de resonantiefrequentie lag dus uiterst hoog en ze overschreed in elk geval de te verwerken frequenties, zoodat er door deze laatsten de mechanische impedantie practisch een reactantie was die het gevolg van de onbuigzaamheid was der trilplaat en een constante acoustische druk gaf nagenoeg dezelfde verplaatsing der trilplaat voor het meerendeel der hoorbare frequenties die te verwerken waren.

Daaruit ontstond een vrij eenvormige weergavekromme voor de lage frequenties voor dewelke de stevigheid van de luchtfilm sterk verminderde. Inderdaad de ruimte gelegen tusschen de trilplaat en de vaste achterplaat is met een dun buisje verbonden aan een daarachterliggend kabeltje (fig. 4) dat afgesloten is door een buigzaam gummivliesje dat voor doel heeft de atmosferische druk in deze kamer constant te houden. Op de lage frequenties heeft de lucht de tijd om van de trilplaat naar het kabeltje af te vloeien door het dunne buisje, de wrijvingscoëfficiënt der lucht haalt het dan over de veerkracht met het gevolg dat de stevigheid van het systeem minder groot wordt, het tegenovergestelde gebeurt met de hooge frequenties. De stevigheid van het systeem verhoogt dus met de frequentie en bijgevolg is voor een constante acoustische druk het verplaatsingsamplitude der trilplaat hooger bij afnemende frequentie. Bij de eerste microfoons was de achterplaat volkomen vlak. Nochtans door vergroting der ruimte tusschen de trilplaat en de achterplaat kan de sterkte van de luchtstroom practisch onafhankelijk worden van de frequentie (CRANDALL Theory of vibrating systems and Sound). Men kon evenwel deze ruimte niet vergroeten zonder de capaciteit of de gevoeligheid te verminderen. De moeilijkheid werd ontgaan door groeven te snijden in de achterplaat waardoor men de verlangde demping der trilplaat verkreeg.

Anderszijds was de massa van de oorspronkelijke stalen trilplaat vrij groot en de stevigheid moest wel zeer hoog zijn indien men de verlangde resonantiefrequentie wou verkrijgen; de gevoeligheid van de microfoon, d.i. de verplaatsing der trilplaat per krachtséénheid, was dus gering. Bijgevolg moest men aan de trilplaat zoo weinig mogelijk stevigheid verschaffen in zooverre dit aanvaardbaar was met de verlangde demping. Men heeft dit doel kunnen bereiken door de massa der trilplaat te verminderen en men heeft aldus de verlangde resonantiefrequentie verkregen ondanks het feit dat de stevigheid der trilplaat verminderde. (Anderzijds kan men, tengevolge van de stevigheid van den luchtfilm, de spanning der trilplaat verminderen evenals de verplaatsingsamplitude op de resonantiefrequentie). — Het is voor de hierboven opgegeven reden dat de stalen trilplaat werd vervangen door een trilvliesje vervaardigd uit een aluminiumlegering. Het vliesje is ongeveer 0,027 mm. dik.

Men kan aannemen dat van dit oogenblik af de condensatormicrofoon afgewerkt is en dat men hem kon gebruiken als instrument voor acoustische metingen. Men heeft hem dan ook als dusdanig rechtstreeks en in absolute waarde geijkt.



III. — VERSCHILLENDE IJKMETHODES VAN DE CONDENSATORMICROFOON.

(Korte beschrijving).

A. VOLSTREKTE METINGEN.

1. — Methode met de pistonfoon (fig. 7).

Het apparaat van WENTE beschreven in « Physical Review » van 1922 bestaat uit een kleine ruimte met dikke wanden omgeven en aan één zijde gesloten door de trilplaat D van de te ijken microfoon terwijl de andere zijde afgesloten wordt door een kleine zuiger S en door 'n gummivlies R. De zuiger wordt met een bekende frequentie heen en weer bewogen volgens een sinusoidale amplitude. Dit gebeurt met een nok N.

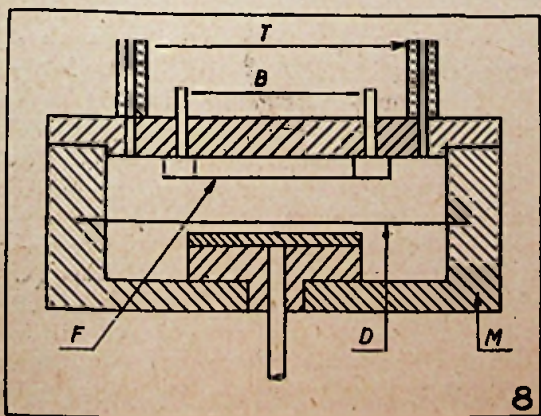
Indien P de druk voorstelt in de afgesloten ruimte en V het volume, wanneer de zuiger niet in beweging is, dan heeft men als eerste benadering :

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V}$$

Veronderstelt men dat de samendrukking adiabatisch verloopt dan stelt ze de verhouding voor tusschen de specifieke warmten. De geluidsdruk p is gelijk aan dP. Men heeft dus :

$$p = -P\gamma \frac{dV}{V} = -P\gamma \frac{S_p y}{V}$$

y is hierin de elongatie van den zuiger en S_p de oppervlakte van den zuiger. De druk p is bekend



en men meet de uitgangsspanning van de microfoon op de frequentie der zuigertrilling.

In feite is de samendrukking niet volkomen adiabatisch vermits de wanden der ruimte uit metaal bestaan. Balantine en Wente hebben correctieformulas opgegeven die we later zullen vermelden.

Het apparaat kan enkel gebruikt worden tot frequenties van 2 tot 300 Hz. Deze methode is wel het meest rechtstreeksche middel om een wisselende drukking te verkrijgen op de trilplaat.

2) De methode met de thermofoon (fig. 8).

Het is in 1898 dat BRAUN in de « Annalen der Physik » meldde dat wanneer een wisselstroom door een zeer dunne geleider gaat de wisselende verwarming en afkoeling van dezen geleider een geluidsgolf opwekte. Later beschreven ARNOLD en CRANDALL in de « Physical Review » van 1917 hoe dit beginsel kon worden toegepast bij de constructie van een apparaat dat als geluidsbron kon gebruikt worden en dat ze thermofoon noemden. De thermofoon bestaat uit een afgesloten ruimte waarvan één der wanden gevormd is door de trilplaat van den microfoon M. Voor de trilplaat D bevindt zich een platinavliesje F of een uiterst dun gouden plaatje (± 7 μ dik), van ong. 1 cm breed en 3 to 4 cm lang en dat gespannen is tusschen de klemmen langswaar de stroom wordt aangevoerd B. De warmtecapaciteit van het goudbladje is zeer gering en het temperatuursverschil is zeer merkbaar want de afmetingen der omgevende ruimte zijn zeer klein, de diameter bedraagt niet meer dan 4 cm.

Men kan volgens twee methodes werken. De eerste bestaat hierin dat men alleen een wisselstroom door het goudbladje voert ; in dit geval is de frequentie van de geluidsgolf tweemaal zoo hoog als die van den stroom. Noemt men r de weerstand van het goudbladje en i sin ω t de wisselstroom dan is de voortgebrachte warmte evenredig met r i² sin² ω t wat men ook als volgt kan schrijven :

$$\frac{r i^2}{2} (1 - \cos 2 \omega t)$$

Bij de tweede methode wordt een wisselstroom i sin ω t gesuperponeerd op een gelijkstroom i₀, de voortgebrachte warmte is dan evenredig met

$$r (i_0 \sin \omega t)^2$$

of na ontwikkeling dezer uitdrukking :

$$r \left(i_0^2 + \frac{i^2}{2} \right) + 2 r i_0 \sin \omega t - \frac{r i^2}{2} \cos 2 \omega t$$

De term met de dubbele frequentie kan waarloosd worden bij oordeelkundige keuze van i₀ en i (i/i₀ zeer klein). In dit geval zijn de voortgebrachte warmte en bijgevolg de drukking evenredig met i₀ . i sin . ω t. Dus hebben ze dezelfde frequentie als die van den wisselstroom. Deze laatste methode wordt meer gebruikt ; ze verdient in elk geval de voorkeur indien men de geluids-

golf juist op dezelfde frequentie wil hebben als de elektrische golf en indien men tevens verlangt dat ze denzelfden vorm heeft.

De volstreekte druk in de thermofoon opgewekt kan berekend worden door de formule van Ballantine opgegeven in « Journal of the Acoustical Society of America » van Januari 1932, blz. 129):

$$p = \frac{2S}{\omega \cdot m \cdot C \cdot V \cdot A \cdot \alpha} \cdot \frac{0,48 \cdot i_0 \cdot i \cdot r}{D^{1/2}}$$

waarin

$$D = \left(1 - \frac{4kS^2}{\omega \cdot C \cdot V \cdot A} \right)^2 + \left(1 + \frac{4S}{V \cdot A \cdot \alpha} + \frac{4k \cdot S \cdot \alpha}{\omega \cdot C} + \frac{4k \cdot S^2}{\omega \cdot C \cdot V \cdot A} \right)^2$$

$$A = \frac{T_a}{T_{so}} \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} - 1$$

$$m = \frac{(\gamma - 1) \cdot T_{so}}{\gamma \cdot P_0}$$

$$\alpha = \left(\frac{\pi f \cdot C_p \cdot \rho}{k} \right)^{1/2}$$

p = volstreekte waarde van de geluidsdruk.

C = totale warmtecapaciteit van goudblaadje (massa × specifieke warmte).

i₀ = gelijkstroom uitgedrukt in ampères.

i = maximum waarde van den wisselstroom in ampères.

r = totale weerstand van het goudblaadje uitgedrukt in Ω

T_{so} = gemiddelde volstreekte temperatuur van het goudblaadje.

T_a = gemiddelde volstreekte temperatuur van het gas in de thermofoon.

k = warmtegeleidbaarheid van het gas.

ρ = gasdensiteit.

C_o, C_p = specifieke warmten van het gas.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_o}$$

P_o = gemiddelde druk in de ruimte.

S = totale oppervlakte van het goudblaadje (één zijde).

V = inhoud der ruimte.

ω = 2 π f, f = frequentie.

Wente heeft een andere formule gevonden maar ze is minder goed dan die van Ballantine, trouwens de met beide formules verkregen uitslagen verschillen minstens 20 % in de buurt van 30 Hz. Anderzijds, alhoewel de formule van Ballantine vollediger is dan die van Wente, berusten ze evenwel op een heele reeks veronderstellingen, n.l. dat: de wanden der ruimte volkomen onwrikbaar zijn, terwijl die zijde gevormd door de trilplaat van den microfoon niet als dusdanig kan beschouwd worden.

De afmetingen der ruimte klein zijn vergeleken met de golflengte der geluidstrilling.

Het warmteverlies door straling en geleiding van het goudblaadje kunnen verwaarloosd worden.

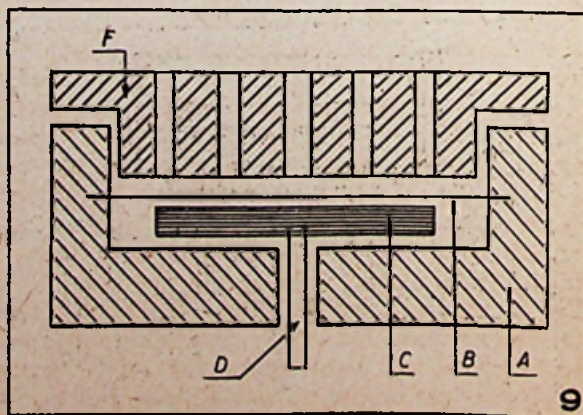
De correcties berekend door Ballantine zijn verschillend in bovengenoemd tijdschrift van Jan. 1932.

De ruimte wordt gevuld met waterstof die aan- en afgevoerd wordt door twee uiterst dunne buisjes (opening van 0,25 mm) en die meerdere cm lengte hebben, teneinde verlies aan gevoeligheid te voorkomen op de lage frequenties wat zou kunnen ontstaan door drukverlies door de buisjes. De door de waterstof te vervullen rol is zeer belangrijk want de theorie der afgesloten ruimten heeft alleen zin wanneer de afmetingen dezer ruimten zeer gering zijn vergeleken met de golflengte zoals blijkt uit de hierboven opgesomde hypothesen; de voortplantingssnelheid van het geluid in waterstof is gelijk aan 1261 m per sec, dit is ong. viermaal de voortplantingssnelheid in de lucht. De golflengten op gelijke frequenties zijn bijgevolg ook viermaal groter.

Bij deze meetmethode wordt gebruik gemaakt van verschillende fysieke en elektrische grootheden waarvan sommigen niet altijd nauwkeurig bekend zijn (o.a. de juiste temperatuur); deze metingen zijn niet alleen omslachtig maar ze bevatten tevens fout-oorzaken. Dit is een groot bezwaar en het gebruik van waterstof is er een ander. Nochtans werd de thermofoon met succes gebruikt voor het ijken van den condensatormicrofoon op frequenties hooger dan die waarvoor de pistonfoon in aanmerking komt. Men kan dus een condensatormicrofoon ijken volgens de methode van de thermofoon voor alle belangrijke hoorbare frequenties, d.i. van 30— tot 10.000 Hz. Boven deze frequenties wordt de ijking onzeker.

3) Methode der electro-statische aantrekking (fig. 9).

Deze methode is jonger dan de twee voorgaande. Experimenteel is ze ontegensprekelijk veel praktischer dan die van de thermofoon. Ze berust op het principe der electro-statische aantrekking die ontstaat tusschen twee parallel en dicht bij elkaar gelegen electroden waarop men een spanning doet aangrijpen. Indien deze spanning een wisselspanning is en indien de trilplaat van de microfoon één dezer electroden is terwijl de an-



F = rooster. — B = trilplaat

dere onwrikbaar is, dan oefenen de electrostatische krachten op de trilplaat dezelfde doorbuigingen uit als acoustische drukkingen. De berekening der drukkingen komt dus neer op die van de electrostatische krachten. In werkelijkheid is de vaste electrode geen éénvoudige vlakke plaat maar een rooster waarvan de holten voor doel hebben een te groote acoustische belasting van de trilplaat te vermijden welke zou ontstaan door de aanwezigheid op geringen afstand van een vlakke plaat die dan de impedantie der trilplaat zou wijzigen. De spanning aangelegd tusschen het rooster en de trilplaat heeft meestal den vorm :

$$E_0 + E \cdot \sin \omega t$$

de drukking is dan :

$$p = \frac{(E_0 + E \sin \omega t)^2}{8 \pi d^2}$$

en indien E gering is vergeleken met E_0 , dan is de trillingsdruk gelijk aan :

$$p = \frac{1}{4 \pi d^2} \cdot E_0 \cdot E \cdot \sin \omega t$$

of in practische eenheden :

$$p = \frac{E_0 \cdot E \cdot 8.85}{d^2} \cdot 10^{-7} \text{ bar.}$$

De spanningen worden uitgedrukt in Volt.

In deze formule is niet verondersteld dat de onwrikbare plaat geperforeerd is; in werkelijkheid heeft men te doen zooals hierboven gezegd met een rooster en er is bijgevolg een correctiefactor te berekenen zooals we dit verder zullen toelichten.

4) Wederkeerige methodes.

Het is een bekend feit dat wanneer men een dun plaatje snijdt uit een kristal en indien men dit doet in de gepaste richtingen dat de twee vlakken van het plaatje geladen worden met ongelijknamige electriciteit zoodra men dit plaatje aan een drukking onderwerpt (in de richting der electricische as b.v.). De electricische densiteit op deze vlakken is dan :

$$\sigma = k p \text{ C/cm}^2;$$

de electriche lading is $Q = S k p$.

$k =$ de piëzo-electrische modulus.

Het is het rechtstreeksche piëzo-electrische effect. Omgekeerd indien men de vlakken waarop de electriche ladingen optreden bij het rechtstreeksche piëzo-electrische effect nu onder spanning brengt dan ontstaat er een vervorming van het plaatje en de variatie δ der lengte in de richting der electriche as wordt als volgt uitgedrukt : $\delta = k \cdot E \text{ cm}$; de volume verandering $v = S \cdot k \cdot E$ k is ook hier de piëzo-electrische modulus.

Dit is het omgekeerde piëzo-electrische effect.

De omkeerbaarheid van het verschijnsel is een speciaal geval van het beginsel der wederkeerigheid. Het is niet alleen toepasselijk op het kristal maar ook op de condensatormicrofoon. Volgens

dit principe kan de uitgang van een electro-acoustisch apparaat (dat zoowel als microfoon en als geluidsbron kan dienen), gebruikt worden als geluidsbron en het kan berekend worden indien men de gevoeligheid kent wanneer het gebruikt wordt als microfoon en omgekeerd.

Het principe der wederkeerigheid kan niet worden toegepast op de condensatormicrofoon tenzij hij lineair is, d.i. indien de electriche ladingen opgewekt tusschen de twee electroden rechtstreeks evenredig zijn met de op de trilplaat heerschende druk. Men kan dan schrijven $Q = T \cdot p$ (rechtstreeksch effect). Volgens het wederkeerigheidsbeginsel heeft men :

$$V = T \cdot E \text{ (omgekeerd effect).}$$

De eerste vereischte om de wederkeeringe methode te kunnen gebruiken is dus de lineariteit; de condensatormicrofoon moet dus een voorspanning hebben.

Indien men p uitdrukt, in bar, Q in Coulomb, v in cm^3 , E in Volt dan heeft men :

$$Q = T p \text{ en } v = 10^7 \cdot T \cdot E.$$

Toepassing der methode voor het ijken van een condensator-microfoon met behulp van een kristal.

We hebben gezien dat voor een kristal met oppervlakte S

$$Q = S \cdot k \cdot p.$$

$$V = 10^7 \cdot S \cdot k \cdot E.$$

$$k = \text{piëzo-electrische modu'sus.}$$

Het kristal wordt afwisselend gebruikt als microfoon en als ge'uidsbron. Veronderstellen we dat de gevoeligheid van de te ijken condensatormicrofoon gelijk is aan :

$$\rho = \frac{E_m}{p} \text{ volt/bar}$$

De gevoeligheid van het als microfoon gebruikte kristal is (rechtstreeksch effect) :

$$\frac{Q}{C_p} = \frac{S k}{C} \text{ volt/bar}$$

$C =$ de capaciteit van het kristal, Q/C is dus de spanning op de klemmen van het kristal.

Hier voert men de capaciteit C van het kristal in want het is eenvoudiger

$$\frac{Q}{C} = E$$

te meten dan Q .

Vooraf meet men de verhouding der uitgangsspanning van de condensatormicrofoon E_m en van het kristal E_c beiden als microfoon gebruikt en aan dezelfde acoustische druk onderworpen. Men heeft dan :

$$\frac{E_m}{E_c} = \frac{\rho \cdot C}{S \cdot k} \quad (1)$$

Vervolgens meet men de uitgangsspanning E_m van den condensatormicrofoon gekoppeld met het

kristal, deze laatste wordt bekrachtigd door een spanning E'_c ; het kristal werkt dus als geluidsbron en de variatie v van zijn volume veroorzaakt een drukvariatie in de ruimte van den koppelaar. Indien V het volume van deze ruimte is, γ de verhouding der specifieke warmte van het daarin bevatte gas, P de atmosferische druk, dan heeft de acoustische druk doorgaans de volgende waarde :

$$p = \gamma \frac{v}{V} P = \gamma \frac{10^7 S k E'_c P}{V} = \left(\frac{10^7 \gamma P}{V} \right) \cdot S \cdot k E'_c \text{ bar}$$

Dit is slechts op voorwaarde dat v ook klein is vergeleken met V .

De uitgangsspanning van de condensatormicrofoon veroorzaakt door deze druk is :

$$E'_m = \rho \left(\frac{10^7 \gamma \cdot P}{V} \right) S \cdot k \cdot E'_c \text{ volt (2)}$$

Uit (1) en (2) berekent men :

$$\rho = \sqrt{\frac{10^{-7} V}{\gamma P C} \cdot \left(\frac{E'_m}{E'_c} \right) \left(\frac{E'_m}{E'_c} \right)} \text{ volt/bar}$$

die de gevoeligheid van de condensatormicrofoon voorstelt.

Op dezelfde wijze kan men de piëzo-electrische modulus k van het kristal berekenen.

Men kan hetzelfde beginsel toepassen op twee condensatormicrofoons waarvoor men respectievelijk heeft :

$$\rho_1 = \frac{E_1}{p} \quad \text{en} \quad \rho_2 = \frac{E_2}{p}$$

waaruit

$$Q_1 = C_1 E_1 = C_1 \rho_1 p$$

en

$$v_1 = 10^7 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot E'_1$$

Het verloop der meting is hetzelfde als in het voorgaande geval nadat men het kristal vervangen heeft door een andere condensatormicrofoon. De eerste meting bestaat er weer in de verhouding der gevoeligheid te meten :

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

waarbij men dezelfde geluidsdruk doet inwerken op de twee microfoons.

Voor de tweede meting koppelt men de twee microfoons; men voert een spanning E'_1 naar microfoon 1 en men meet de uitgangsspanning E'_2 van microfoon 2.

Voor microfoon 1 heeft men nog :

$$v_1 = 10^7 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot E'_1$$

wat aanleiding geeft tot een acoustische druk :

$$p = \gamma \cdot \frac{10^7 C_1 \rho_1}{V} \cdot P \cdot E'_1$$

Voor microfoon 2 — :

$$E'_2 = p \cdot \rho_2 = \gamma \cdot \frac{10^7 \cdot C_1 \cdot \rho_1}{V} \cdot P \cdot \rho_2 \cdot E'_1 \quad (2)$$

maar (1) levert :

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

waaruit :

$$\rho_1 = \sqrt{\frac{10^{-7} \cdot V}{\gamma \cdot C_1 \cdot P} \cdot \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \left(\frac{E'_2}{E'_1} \right)} \text{ volt/bar}$$

die de gevoeligheid voorstelt van microfoon 1.

Op dezelfde wijze verkrijgt men voor de gevoeligheid van microfoon 2 :

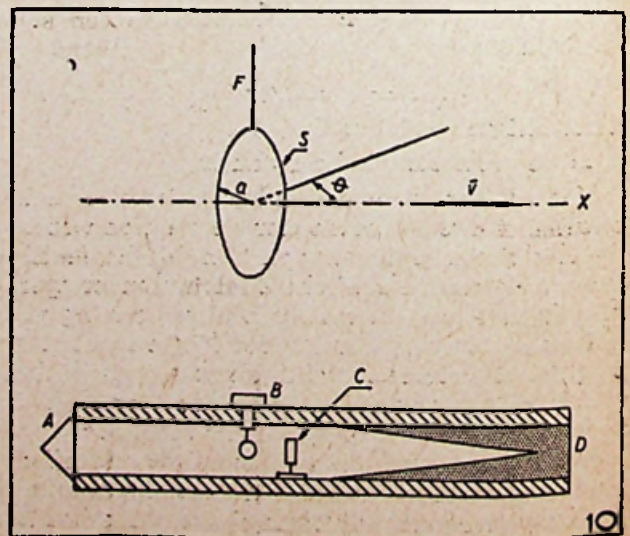
$$\rho_2 = \sqrt{\frac{10^{-7} \cdot V}{\gamma \cdot C_1 \cdot P} \cdot \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \left(\frac{E'_2}{E'_1} \right)} \text{ volt/bar}$$

Daaruit blijkt dus dat de absolute ijking van twee microfoons verkregen wordt door de meting van een volumen, een capaciteit, de atmosferische druk, en van twee spanningsverhoudingen. γ wordt in tabellen met vrij groote nauwkeurigheid opgegeven.

Er zijn verschillende correcties aan te brengen. Wat de bijzonderheden over deze correcties betreft kunnen we verwijzen naar het artikel van COOK verschenen in het « Journal of Research of the National Bureau of Standards » Novembernummer 1940. In hetzede artikel wordt eveneens het middel opgegeven om de omkeerbaarheid van twee condensatormicrofoons te controleren, evenals de bijzonderheden en de resultaten der proefneming. Indien men werkelijk de wederkerigheidsmethode gebruiken wil voor het ijken van condensatormicrofoons zal men goed doen dit artikel te raadplegen.

B. METING DER DOELMATIGHEID IN EEN VRIJ ACOUSTISCH VELD. — METHODE VAN RAYLEIGH (fig. 10).

Met het Rayleigh-schijfje kan men zeer nauwkeurig de snelheid der luchtdeeltjes meten in een



A = geluidsbron. — B = Rayleighpl. atje
C = condensator microfoon. D = geluidopslopend materiaal

gegeven punt van een geluidsveld. Men kan dus de acoustische druk in dit punt kennen.

We weten dat wanneer de trillingsdruk p sinusoidaal varieert dat dit ook het geval is met de trillingssnelheid v en voor de vlakke golf die zich in een bepaald milieu voortplant wordt de verhouding Z tusschen p en v uitgedrukt door de formule:

$$Z = \frac{p}{v} = \sqrt{PE} = \rho V$$

ρ = de specifieke massa van het gas, V de voortplantingssnelheid (344 m per seconde). Door Z_0 stelt men vaak de waarde der specifieke acoustische impedantie voor van een onbepaalde vlakke golf; heeft de golf een andere vorm, sferisch b.v. dan stelt men door Z de verhouding tusschen p en v voor in een bepaald punt en men kan Z uitdrukken in functie van Z_0 . De waarde van Z_0 voor de verschillende stoffen is dus van zeer groot belang en men moet ze kennen want deze grootte karakteriseert werkelijk de stof in acoustisch opzicht (voor lucht b.v. is Z_0 gelijk aan 42).

Hierbij kan onmiddellijk worden opgemerkt dat deze evenredigheid niet altijd onder dezen eenvoudigen vorm bestaat en dat in het geval van een sferische golf b.v. de verhouding kan veranderen met de frequentie en volgens een afstand tusschen de geluidsbron en het betreffende punt. Deze variaties worden veroorzaakt door de faseverandering tusschen de drukking en de trillingssnelheid. Men vindt deze kromme terug in de werken over geluidsleer.

Het apparaat van Rayleigh bestaat uit een zeer licht schijfje S waarvan de diameter a uiterst klein is (ong. 1 cm). Het is opgehangen aan een torsiedraad F in een gas met een snelheid v in richting x (fig. 10).

Men zal dadelijk vaststellen dat het schijfje een neiging vertoont om zich loodrecht te gaan plaatsen op de richting der snelheid. Deze oriëntering verandert niet wanneer de richting der snelheid omkeert en het blijft bijgevolg in dezen stand wanneer de verplaatsing van het gas wisselend is. Het schijfje is dus onderworpen aan een koppel van krachten dat door KEUNIG berekend werd (zie « Anna'en der Physik » van 1891).

$$\Gamma = \frac{4}{3} \rho \cdot a^3 \cdot v^2 \sin 2\theta$$

ρ = hierin de specifieke massa van het gas, a de straal, θ de hoek gevormd door de snelheid en de normaal op het schijfje S . Uit de formule blijkt, wat trouwens vanzelfsprekend is, tengevolge der symmetrie, dat het koppel nul is voor $\theta = 0$ en voor

$$\theta = \frac{\pi}{2};$$

het is trouwens duidelijk dat de hefboomarm evenredig is met straal a van het schijfje en dat de kracht evenredig is met de oppervlakte of m.a.w. met a^2 ; waaruit de evenredigheid volgt van Γ en van a^3 . De formule is niet alleen geldig

voor constante snelheid maar ook wanneer deze sinusoidaal varieert; in dit geval is v^2 de gemiddelde waarde van het vierkant der snelheid m.a.w. het vierkant der effectieve snelheid.

Kent men de wringingconstante C van draad F en θ de wringinghoek dan kan men het koppel berekenen uit $\Gamma = C \theta$ en daaruit kan men de trillingssnelheid v afleiden.

Wanneer een microfoon geplaatst is in een geluidsveld dan wordt dit vervormd tengevolge der afmetingen en van den vorm van het apparaat. Deze vervorming geschiedt vooral op de hoge frequenties en dit blijkt uit de frequentiekarakteristiek van den microfoon.

IJking in een vrij veld.

Hiermede kan men deze vervorming meten, hoofdzakelijk wordt een vlakke doorgaande golf opgewekt; men bepaalt in een zeker punt de geluidsdruk en men brengt er de microfoon in waarvan men de uitgangsspanning opneemt. De geluidsbron bestaat meestal uit een luidspreker, maar de sferische golf kan in de plaats treden van een vlakke golf, (op 1% na) wanneer de afstand tusschen geluidsbron en microfoon gelijk is aan $3,5 \lambda$. Men kan niet in de vrije lucht werken want het schijfje is vanzelfsprekend beweeglijk door de minste luchtbeweging; men handelt dan in een ruimte met geluidsabsorberende wanden waarin dus geen weerkaatsing plaats vindt.

Meerdere inrichtingen werden gebruikt. Eén dezer inrichtingen bestaat uit een vrij lange houten koker (zie fig. 10) waarvan de wanden zeer dik zijn en bedekt met materialen die het geluid geheel opslorpen. Aan één der uiteinden bevindt zich een luidspreker, de geluidsofslorpemde materialen vullen den koker aan één zijde op teneinde te verhinderen dat stationaire golven ontstaan (in sommige inrichtingen ligt er geen ruimte tegenover den luidspreker) een Rayleighschijfje wordt op een zekere afstand vóór den luidspreker opgehangen en onmiddellijk achter het schijfje plaatst men de microfoon. Een venster of elk ander optisch middel wordt gebruikt in de wand van de kamer om het verschijnsel te observeren en de verplaatsing van het schijfje te meten.

Men meet de volstreekte drukking met behulp van het schijfje en terzelfdertijd meet men de uitgangsspanning van de microfoon voor de bijzondere frequentie. Deze methode is vooral geschikt voor de lage frequenties. Op hogere frequenties kunnen de golven teruggesloopt worden, de drukking op het plaatje wordt hierdoor gewijzigd. Men kan de moeilijkheid ontwijken door het meten der drukking, als de microfoon is weggenomen. Er zijn trouwens andere inrichtingen die men vermeld vindt in de werken over geluidsleer. Het is noodzakelijk dat de diameter van het schijfje zeer klein is vergeleken met de golflengte (een golflengte = 1 cm stemt overeen met een

frequentie $f = \frac{V}{\lambda} = 34.400$ Hz). Om het even welk microfoontype kan volgens deze methode

geijkt worden terwijl alleen de condensatormicrofoon kan geijkt worden volgens de methodes beschreven in par. A.

De methode met de Rayleighschijf wordt dus speciaal gebruikt voor opnamemicrofoons of voor het meten van luidsprekers.

C. VERGELIJKING DER VERSCHILLENDE METHODES.

De keuze tusschen de in hoofdstuk A beschreven ijkmethodes en de methode met het Rayleighschijfje wordt bepaald door het gebruik dat men later van de microfoon zal maken. De resultaten verkregen, hetzij door de eerste, hetzij door de laatste methode kunnen volkomen verschillen zijn. Hierbij valt evenwel op te merken dat de resultaten slechts elkaar kunnen benaderen wanneer de afmetingen van de microfoon tamelijk klein zijn vergeleken met de golflengte van het geluid en wanneer er geen noembare geluidsimpedantie is tusschen de trilplaat en het geluidsveld (hierbij kan opgemerkt worden dat de spanning van de condensatormicrofoon een korte cilindrische holte vormt die evenwel voldoende is om op sommige frequenties een belangrijke acoustische impedantie te vormen).

De door de vier meetmethodes verkregen resultaten verschillen vrij veel. Volgens een artikel van R. COOK over het meten der volstreekte doelmatigheid (Journal of Research of the Bureau Standards Nov. 1940) geeft de wederkeerigheidsmethode uitslagen die geheel overeenstemmen met die verkregen door de pistonfoon en het electrostatisch rooster maar die verschillen met diegenen welke men verkrijgt met de thermofoon. Volgens frequentiesommen in hetzelfde artikel opgegeven verschillen de door de wederkeerigheidsmethode en door het electrostatisch verkregen rooster tusschen 0,1 en 0,4 db ong., vergeleken met de resultaten verkregen met de thermofoon verschillen ze nagenoeg 2 db.

Anderzijds, indien men de verschillende methodes beschouwt, is die met de thermofoon ontegensprekelijk niet practisch en is ze vatbaar voor vele fouten wegens de moeilijkheden die men bij het meten der verschillende grootheden, voorkomende in de formule, ontmoet. Daarentegen is de methode der electrostatische aantrekking zeer comfortabel en veilig, die met het pistonfoon is het eveneens alhoewel de constructie van het apparaat zelf enkele moeilijkheden biedt, die natuurlijk bronnen van mogelijke fouten zijn.

Bovendien is laatst genoemde methode slechts goed voor metingen op lage frequenties. De combinatie van de laatste twee methodes kan een deugdrijke ijkingsverschaffen, waarbij de electrostatische methode de niveaus aangeeft betrekking hebbende op verschillende lage en hoge frequenties en de pistonfoon het volstreekte niveau op de lage frequenties.

De wederkeerigheidsmethode is merkwaardig door haar eenvoud. Ze blijkt thans de algemeen aangenomen methode te zijn in de Amerikaanse laboratoria.

IV. — IJKMETHODES VOOR DE CONDENSATORMICROFOON GEBRUIKT IN DE LABORATORIA VAN BELL TELEPHONE Mfg Cy.

Voorwoord.

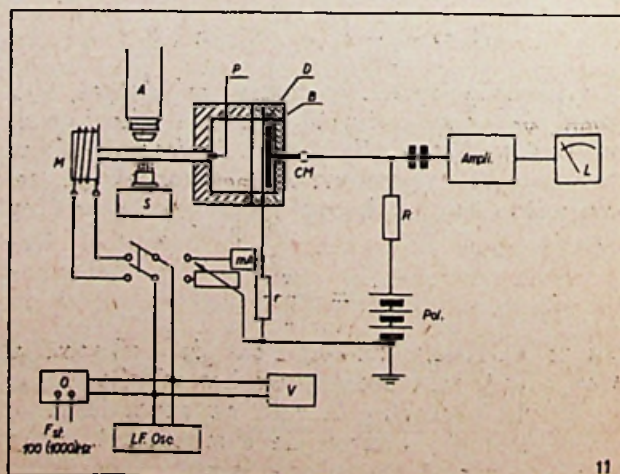
Tensinde de waarde van een transmissiesysteem te bepalen is het noodzakelijk dit te vergelijken met een referentiestelsel of een grondstelsel. Hiertoe maakt men gebruik van een apparatencombinatie die men « Telephone Transmission Reference System » noemt. De aan een dergelijk systeem gestelde eischen, zijn o.a. geen vervorming binnen de grenzen der hoorbare frequenties, een zoo regelmatig mogelijke werkkromme voor elk apparaat enz.

De condensatormicrofoon is geheel aangewezen als opname-instrument in dit stelsel; het is dus noodzakelijk dat de weergavekromme voor de hoorbare frequenties bekend zij om er gebruik te kunnen van maken. Tot dit doel werden tot op heden twee ijkmethodes gebruikt; het zijn die met de pistonfoon en met de electrostatische aantrekking dus twee volstreekte meetmethodes. De condensatormicrofoon is eveneens dienstig voor het ijken van de kunstmatige « mond », de acoustische sonde die op haar beurt weer gebruikt worden voor het ijken van elk ander microfoon-type. Daarbij kunnen nog gevoegd worden het ijken van electro-dynamische ontvangers en de fabricatiecontrole-apparaten.

Methode met de pistonfoon (fig. 11).

Zoals reeds gezegd bestaat de pistonfoon hoofdzakelijk uit een klein kamertje met dikke wanden waarvan één dezer de trilplaat van den te ijken condensatormicrofoon is. Een zeer geringe drukvariatie wordt in deze kleine ruimte veroorzaakt met behulp van een heen- en weergaande zuiger die een rechtlijnige sinusoidale beweging uitvoert op de verlangde frequentie.

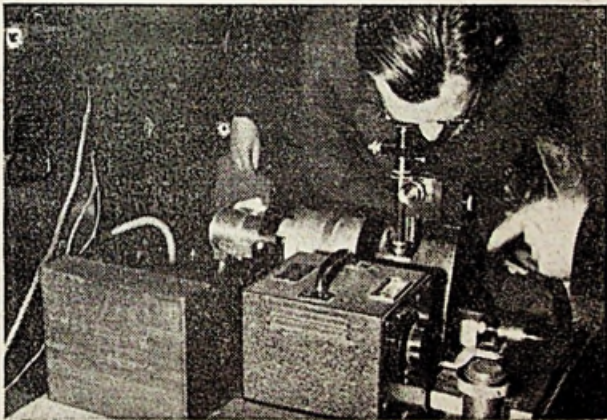
De zuiger wordt in beweging gebracht door een eenvoudige electro-dynamische motor M die veel gelijkenis vertoont met die van een luidspreker waarvan de spreekspoel doorloopen wordt door een sinusoidale stroom met bekende frequentie. Alle hoorbare frequenties kunnen verkregen wor-



den over de klemmen van een rechtstreeksch in frequentie geijkten L.F.-oscillator (LFO). De sinusoidale spanning kan naar willekeur. geregeld worden om de amplitude der spoelverplaatsing van den motor te verkrijgen en daardoor ook van den zuiger P. Deze amplitude is vanzelfsprekend zeer gering en wordt gemeten volgens een stroboscopische methode S met behulp van een microscoop A waarvan het oculair een beweegbare streep en een micrometer bevat.

Om de uitgangsspanning van den microfoon te meten gebruikt men een lampversterker waarvan de ingang verbonden wordt met de microfoon CM en de uitgang met een drooggelijkrichter, die tevens een meetinstrument L voedt.

Voor de bijzondere waarde van de acoustische druk op de bekende frequentie verwekt in de pistonfoon, wordt de versterking zoo geregeld dat men een zekere afwijking van het meetinstrument verkrijgt. Op dit oogenblik meet men de amplitude der verplaatsing van den zuiger. Vervolgens koppelt men de motor van de pistonfoon los en de uitgang van den oscillator waarvan de frequentie niet verandert wordt verbonden met



Prof. VAN ITTERBEEK aan de Pistonfoon.

de ijkweerstand r waarvan men de waarde kent en die in serie geschakeld is met de microfoon. De spanning van oscillator LFO wordt dan zóó geregeld dat men dezelfde naalduitslag van het meetinstrument verkrijgt als op het oogenblik waarop de pistonfoon was aangesloten. Dit moet evenwel gebeuren zonder iets aan den versterker te veranderen. Op dit oogenblik wordt de stroom door deze weerstand gemeten; men leidt er de waarde der spanning $e = ri$ uit af die naar den ingang van den versterker moet gevoerd worden om denzelfden naalduitslag te verkrijgen op het meetinstrument, alle andere factoren gelijk blijvende. Deze spanning is gelijk aan die welke optreedt aan de klemmen van den microfoon. Deze vervangmethode maakt de meting onafhankelijk van de karakteristiek van den versterker en van de impedantie van den microfoon.

Daar de spanning uitgedrukt is in mV b.v. en de acoustische drukking in bar bedraagt de gevoeligheid van den microfoon in open kring:

$$S = \frac{e}{P} \text{ mV/bar}$$

de formule waaruit de drukking in effectieve waarde kan worden afgeleid is:

$$p = \frac{P_o \cdot y \cdot S_p}{V_o} \cdot \frac{\gamma}{\sqrt{2}}$$

ze is slechts bruikbaar wanneer de samendrukking adiabatisch verloopt wat alleen het geval kan zijn wanneer de dikte der wanden voldoende is om geen enkel warmteverlies toe te laten. Ballantine steunde op het feit dat de wanden doorgaans in metaal zijn en hield rekening met de afkoeling die daardoor kon ontstaan. Hij gaf een nieuwe formule op als volgt:

$$p = \frac{P_o y \cdot S_p}{V} \cdot \frac{\gamma}{\sqrt{2}}$$

$$\left\{ 1 + \frac{1}{\alpha V_o} \frac{(\gamma - 1) S \omega}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{(\gamma - 1) \cdot S \omega}{\alpha V_o} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \left(\frac{\omega \cdot P \cdot C_p}{2k} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \omega = 2 \pi f.$$

Ze bevat een correctieterm waarin de oppervlakte der metaalen wanden voorkomt alsmede het volume der ruimte, verhouding der specifieke warmte der lucht, de specifieke massa van de lucht, de thermische geleidbaarheid der lucht en de frequentie. Wenté gaf eveneens een verbeterde formule voor de drukking op. Deze formules komen voor in een artikel van Ballantine, waarin hij doet uitschijnen dat de waarden welke men na de correctie verkrijgt zeer weinig verschillen met de eersten en dat het verschil zonder belang is vergeleken bij de andere foutoorzaken. Tot dit doel heeft men de twee formules toegepast bij laboratoriummetingen en men heeft gevonden dat voor een frequentie van 100 Hz een drukverschil van 0,0438 bar verkregen werd met de formule van Ballantine, en 0,2 bar met de formule van Wenté. De correctiefactoren waren respectievelijk 0,995 en 0,973. De formule van Wenté is:

$$p = \frac{P_o Y \cdot S_p}{V_o} \cdot \frac{\gamma}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{S \omega}{\alpha V} + \frac{S^2 \omega}{2 \alpha^2 V_o^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

de verschillen verminderen nog wanneer de frequentie toeneemt alhoewel de verschillen vergroeten, vooral deze verkregen met de formule van Wenté, indien de frequentie afneemt. Op 20 Hz kan men het verschil niet meer verwaarloosen. In elk geval dient men een zeer duidelijke afwijking der resultaten te noteeren welke men verkrijgt door de toepassing der formules en het is voorzeker wenselijk de invloed der afkoeling door de wanden zoo veel mogelijk te vermijden. Daartoe kan men niet alleen de wanden zoo dik mogelijk nemen, maar men kan ze ook met isoleerstoffen omgeven.

Bij deze berekening wordt eveneens verondersteld dat de wanden volkomen onwrikbaar zijn. De trilplaat van den microfoon vormt echter één

der wanden, ze trilt onder den invloed van den acoustischen druk. De onwrikbaarheid is dus niet volmaakt en ook hiervoor is het noodig een drukcorrectie aan te voeren. Sivian geeft den volgende correctiefactor op:

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(\gamma \cdot p_0 \cdot v)^2}{V_0} + 2 \frac{\gamma \cdot p_0 \cdot v}{V_0} \cdot \cos \Phi}}$$

waarin v de volume variatie is tengevolge der verplaatsing van trilplaat bij een effectieve druk van 1 bar, en Φ de phaseverschuiving tusschen deze verplaatsing en de aangelegde drukking. Voor lage frequenties kan Φ gelijk genomen worden aan 1. Teneinde zich rekenschap te geven van de grootte-orde van den correctiefactor kan men met zeer groote benadering, v als volgt berekenen: indien d de afstand voorstelt tusschen twee electroden en x de amplitude der verplaatsing van de trilplaat wanneer deze onderworpen is aan een eff. druk van 1 bar dan is de capaciteit in de uiterste posities resp.:

$$\frac{S}{4\pi(d+x)} \quad \text{en} \quad \frac{S}{4\pi d(1 + \frac{x}{d})}$$

x is zeer klein vergeleken met d en men heeft bij benadering:

$$\frac{S}{4\pi d(1 + \frac{x}{d})} = \frac{S}{4\pi d} \left(1 - \frac{x}{d}\right) = \frac{S}{4\pi d} - \frac{Sx}{4\pi d^2}$$

Indien C_0 de capaciteit van de microfoon voorstelt met de trilplaat in rusttoestand en C_1 de amplitude der capaciteitsvariatie wanneer de trilplaat in beweging is, dan heeft men:

$$C_0 = \frac{S}{4\pi d} \quad \text{en} \quad C_1 = \frac{Sx}{4\pi d^2}$$

$$(C = C_0 + C_1 \sin \omega t)$$

waaruit:

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{x}{d}$$

We hebben ook gezien dat de condensatormicrofoon beschouwd kon worden als een generator met electromotrische kracht.

$$e = e_0 \cdot \frac{C_1}{C_0} \cdot \sin(\omega t + \Phi)$$

Voor sommige laboratoriummicrofoons (type 394 van Western Electric n° 4915) hebben we bij benadering aan de klemmen van de microfoon een spanning van 3 mV per bar in open kring. Als C_0 gelijk is aan 200 V zou men in deze voorwaarden hebben:

$$3 = 200.000 \cdot \frac{C_1}{C_0} \cdot \frac{1}{v_2}$$

waaruit

$$\frac{C_1}{C_0} = 2,125 \cdot 10^{-5}$$

d is hierin gelijk aan 0,0025 cm., dan zou x gelijk zijn aan

$$x = \frac{C_1}{C_0} \cdot d = 2,125 \cdot 10^{-5} \times 0,0025 = 5,31 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

Indien de oppervlakte der trilplaat gelijk is aan $\pi R^2 = 14,5 \text{ cm}^2$ dan is de volumenvariatie $v = \frac{\pi R^2 x}{2}$ waaruit:

$$v = \frac{14,5 \times 5,31 \cdot 10^{-8}}{2} = 3,84 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3$$

vermits het volume V_0 van de pistonfoonruimte nagenoeg gelijk is aan 79 cm^3 , en p_0 de atmosferische druk op 10^6 bar en $\gamma = 1,41$ heeft men:

$$\frac{\gamma \cdot p_0 \cdot v}{V_0} = \frac{1,41 \times 10^6 \times 3,84 \times 10^{-7}}{78} = 6,94 \cdot 10^{-7}$$

en

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(0,542)^2}{78} + 2 \times 6,94 \times 10^{-7}}} = \frac{1}{\sqrt{1,01766}} = \frac{1}{1,01} = 0,992$$

wat een drukverschil van 0,0698 bar uitmaakt. Dit verschil is nog onbetekenend in vergelijking met de andere foutoorzaken.

Grootte-orde en mogelijke fouten.

Houdt men rekening met het bovenstaande en met de meetfouten der kamer en van den zuiger dan kan men besluiten tot een systematische fout van ong. 0,1 db. De hoofdfout ontstaat grootelijks door het meten van de amplitude der zuigerbeweging; men kan ze schatten op 0,3 db. Vermelden wij eveneens de leesfout op het meetinstrument verbonden met de uitgangsklemmen van den versterker; deze fout mag geschat worden op 0,1 db.

De totale fout op de drukking ligt dus niet lager dan 0,5 db. Deze fout mag echter niet als onwrikbaar beschouwd worden en dit is reden van de onbestendigheid der fout gemaakt bij het meten der amplitude. Deze meting is buitengewoon moeilijk tengevolge der onbestendigheid welke voortspruit uit de verschillende apparaten, zelfs indien deze laatsten in verband met de gewenste stabiliteit speciaal ontworpen werden. Zoals we in het vorige hoofdstuk hebben gezien kan de constructie van de pistonfoon zelf geen foutoorzaken bevatten; vele voorzorgen moeten genomen worden, vooral bij het smeren van den zuiger en in verband met de lekken die daarin kunnen ontstaan. Het eenige middel om zich juist rekenschap te geven der fout bestaat in het uitvoeren van een groot aantal metingen. De in het laboratorium uitgevoerde metingen hebben er ons toe

gebracht een mogelijke totale fout van 0,5 db. als normaal te beschouwen. Men kan evenwel aannemen dat de waarschijnlijke fout niet hoger dan 0,4 db. ligt indien een groot aantal metingen uitgevoerd worden en indien men speciale voorzorgen neemt.

Hierna zullen wij de verkregen resultaten vergelijken met die welke verkregen werden volgens de methode der electrostatische aantrekking en we zullen zien dat in werkelijkheid de fout lager ligt dan het hierbovengenoemde peil.

METHODE DER ELECTROSTATISCHE AANTREKKING.

Zoals we reeds gezien hebben wordt de hulpelectrode op geringen afstand van de trilplaat opgesteld (0,4 tot 0,5 mm). Het is een doorboorde plaat die eerder den vorm van een rooster heeft.

De electrostatische krachten die op de trilplaat werken zijn evenredig met het vierkant der heerschende spanning tusschen rooster en trilplaat. Het rooster kan op twee wijzen worden bekrachtigd.

Volgens de eerste methode laat men rechtstreeksch een sinusoidale spanning inwerken; zij heeft den vorm:

$$E \cdot \sin \omega t$$

de opgewekte drukking is dan:

$$p = \frac{E^2 \sin^2 \omega t}{8 \pi d^2} \quad \text{of} \quad \frac{E^2 (1 - \cos 2 \omega t)}{16 \pi d^2}$$

een formule die aantoont dat de frequentie der drukking het dubbele is van die der aangevoerde spanning.

De tweede methode, die welke werd toegepast in het laboratorium bestaat in het superponeeren van een gelijkspanning E_0 op deze wisselspanning. De werkzame drukking is dan:

$$p = \frac{(E_0 + E \sin \omega t)^2}{8 \pi d^2}$$

Na uitrekening en op voorwaarde dat E klein is vergeleken met E_0 verkrijgt men:

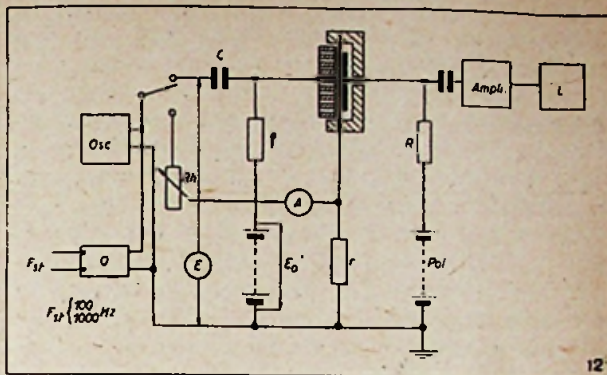
$$p = \frac{1}{4 \pi d^2} \cdot E_0 \cdot E \cdot \sin \omega t$$

wat als volgt in practische eenheden kan worden neergeschreven:

$$p = \frac{885 \cdot E_0 \cdot E}{d^2} \cdot 10^{-7} \text{ bar}$$

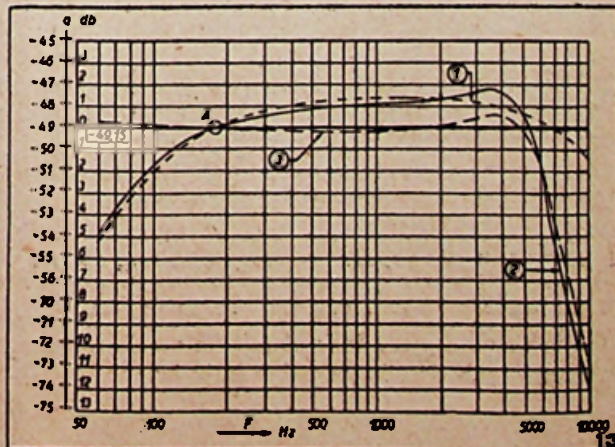
de waarde van b is de effectieve waarde in bar wanneer E uitgedrukt wordt in Volt Effectieve spanning en d in cm.

Voor deze formule moet men een correctiefactor gebruiken. Inderdaad de openingen verminderen de electrostatische krachten die uitgeoefend worden op de trilplaat en een coëfficiënt k zoals hierboven reeds bepaald, moet in de berekening gebracht worden zoodoende houdt men rekening met de afmetingen de gaten. Deze coëfficiënt werd berekend door BALLANTINE, voor een rooster waarvan de staven hoog zijn vergeleken met hun



breedte en die voldoende ver van elkaar liggen vergeleken met den afstand tusschen rooster en trilplaat. De kromme waaruit deze coëfficiënt is af te lezen werd opgegeven in een artikel van Ballantine verschenen in « Journal of the Acoustical Society of America » van Januari 1932. Voor de hulpelectrode die in het laboratorium gebruikt werd is de coëfficiënt gelijk aan 0,762 en de met de formule berekende drukkingen worden derhalve met dit getal vermenigvuldigd.

Een der groote voordeelen van deze methode is dat de kracht uitgeoefend op de trilplaat voor een bepaalde wisselspanning, onafhankelijk is van de frequentie; dan wordt ook het verloop der ijk-kromme eenvoudig en gemakkelijk te teekenen. Het elektrische schakelschema na de uitgang van de microfoon gelijkt op dat wat gebruikt werd voor de pistonfoon. Wij geven het als fig. 12 (weerstand ρ verspert den weg aan den oscillatorstroom terwijl condensator C de doorgang van de gelijkstroom belet). De methode voor het meten der uitgangsspanning van de microfoon is nog steeds een vervangmethode. Ze kan worden toegepast voor elk punt der frequentiekromme; in feite wordt deze kromme zeer vlug in twee deelen opgenomen, zooals blijkt uit fig. 13; indien het meetinstrument aan de eindklemmen van den ontvanger rechtstreeksch geijkt is in coulomb, dan is de verkregen karakteristiek een kromme der betreffelijke niveau's op de verschillende frequenties. We hebben gezien dat de drukking onafhankelijk is van de frequentie wanneer spanning E constant blijft. Deze drukking blijft dus



a = aanwijzing van het meetinstrument

constant op alle frequenties. Het tweede stadium bestaat in het teekenen der ijk-kromme van den versterker (kromme 2) voor dezelfde frequenties en uitgaande van een punt A waarin op deze fde frequentie het meetinstrument dezelfde naalduitslag verkrijgt als wanneer de hulpelectrode onder spanning staat of wanneer de ijkweerstand r van een versterker gevoed wordt (substitutie). Dit wordt gemakkelijk verkregen door het regelen van den stroom in r. Deze bijzondere waarde wordt genoteerd om $e = r i$ (vervangspanning) te verkrijgen en wordt constant gehouden gedurende de ijking van den versterker. Deze laatste karakteristiek is ook een kromme der betrekkelijke niveau's, voor een constante ingangsspanning e voor alle frequenties.

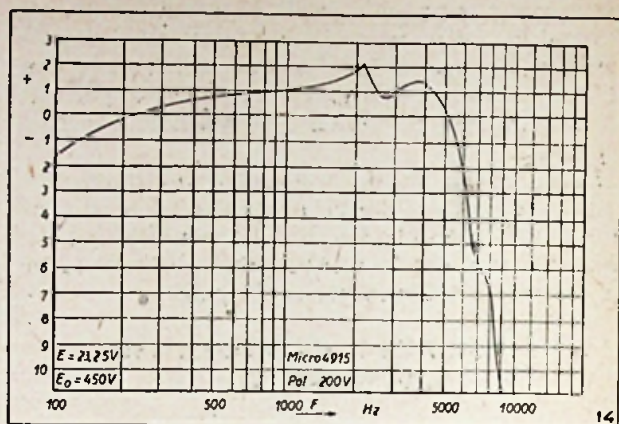
Vermits de gevoeligheid uitgedrukt wordt door de verhouding e/p kan men onmiddellijk de gevoeligheidskromme voor de verschil lende frequenties bepalen (kromme 3). Door het eenvoudige verschil der ordinaten tusschen de twee hierbovengenoemde krommen. Deze karakteristiek is vanzelfsprekend een betrekkelijke niveauekromme; het volstrekke niveau ervan wordt bepaald door dit van het gemeenschappelijke punt A der twee reeds tevoren opgenoemde krommen en dat gemakkelijk kan berekend worden vermits men de drukking p kent: $e = r i$ en bijgevolg $S = e/p$. Bepaalt men het niveau op nul db. op 1 V-bar dan vindt men zeer vlug het volstrekke niveau in db. De gewone voorstellingswijze is: db boven 1 V/bar; vermits de gevoeligheid van de microfoon enkele mV/bar bedraagt is de ordinatenas vanzelfsprekend verdeeld in negatieve db.

Sommige voorzorgen moeten genomen worden bij de constructie der hulpelectrode. In de eerste plaats moet het rooster der trilplaat zoo volledig mogelijk bedekken. BALLANTINE heeft de invloed van de oppervlakte dezer roosters op de weergavekromme bestudeerd en heeft vastgesteld dat een vermindering dezer oppervlakte niet alleen de volstrekke waarde der op de trilplaat uitgeoefende drukking beïnvloedt maar eveneens een variatie van deze drukking met de frequentie veroorzaakt.

Vervolgens, indien de hulpelectrode eenvoudig samengesteld is uit een rooster dat zich voor de trilplaat van de microfoon bevindt dan ziet men bij het opnemen der weergavekromme dat er resonanties ontstaan die op sommige frequenties gevolgd worden door anti-resonanties (zie de weergavekromme fig. 14 met een rooster alleen zonder buisje). Dit is verklaarbaar wegens het feit dat de trilplaat van de microfoon zich op het uiteinde van een cilindervormige holte bevindt die gevo'gd wordt door de spanning. Tengevolge van den vorm van het rooster is deze holte nog dieper en vormt aldus een korte buis. De mechanische impedantie van den microfoon wordt beïnvloed door die van de buis. Inderdaad, de mechanische impedantie aan den ingang der buis is:

$$Z_c = Z_j \operatorname{tg} \alpha l$$

Z. = de karakteristieke impedantie der buis,



m.a.w. vermits het een mechanische impedantie is, is ze gelijk aan $Z_0 S$.

$Z_0 = \rho V$ (ρ is de specifieke massa der lucht) ($V =$ geluidssnelheid in de lucht).

$S =$ doorsnede der buis.

$\alpha =$ golfengteconstante $= \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{V}$ vermits

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$l =$ lengte der buis.

De mechanische impedantie van de trilplaat is:

$$r + j \left(m \omega - \frac{1}{C \omega} \right)$$

$r =$ mechanische weerstand der trilplaat met het dampingseffect der lucht.

$m =$ massa van de trilplaat en de ermee in contact zijnde lucht.

$c =$ toegevendheid der trilplaat die het omgekeerde is van de stevigheid.

De totale impedantie is:

$$r + j \left(Z \operatorname{tg} \frac{\omega l}{V} + m \omega - \frac{1}{C \omega} \right)$$

De verplaatsing der trilplaat is dus gelijk aan:

$$\frac{\text{op de trilplaat aangrijpende kracht}}{\omega \sqrt{r^2 + \left(Z \operatorname{tg} \frac{\omega l}{V} \right)^2}}$$

De uitgangsspanning van de microfoon φ is evenredig met en eveneens beïnvloed door de variaties van:

$$\operatorname{tg} \frac{\omega l}{V}$$

op de punten waarvoor men heeft:

$$\frac{\omega l}{V} = 2\pi f \frac{l}{V} = \frac{\pi}{2}$$

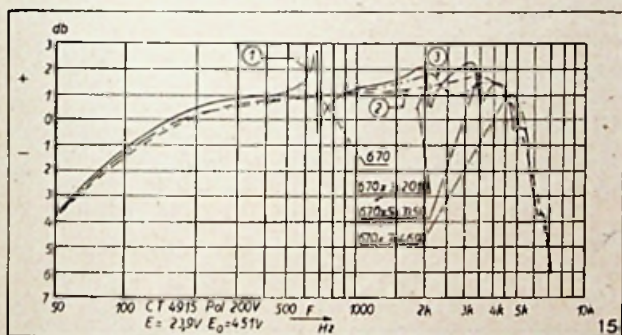
of $\frac{3\pi}{2}$ of $\frac{5\pi}{2}$ of $\frac{7\pi}{2}$

dus voor de frequenties :

$$f = \frac{1}{4} \cdot \frac{V}{l} \quad \text{of} \quad \frac{3}{4} \cdot \frac{V}{l}$$

$$\text{of} \quad \frac{5}{4} \cdot \frac{V}{l} \quad \text{of} \quad \frac{7}{4} \cdot \frac{V}{l} \dots\dots$$

wordt de term met tg plotseling + ∞ of - ∞. In werkelijkheid is de impedantie niet oneindig maar ze is nochtans zeer groot en ze verandert plotseling van teeken. De kromme die de uitgangsspanning van de microfoon voorstelt, vertoont dus een resonantie gevolgd van een anti-resonantie op de hierboven berekende frequentie. De vorm der kromme is dus golvend en daaruit vloeit voort dat de weergavekromme moeilijk op te nemen is in de resonantiepunten. Men moet er dus een middel op vinden om deze resonanties te doen verdwijnen. Hiertoe kan men geraken door de impedantie tegenover de triplaat meer resistief dan reactief te maken. Dit doel werd bereikt in het laboratorium door het rooster te verlengen met een buis welke met watte gevuld is. Men heeft vermeden deze watte samen te drukken aan het vrije uiteinde der buis teneinde elke reflectie der golf te vermijden.



Twee krommen werden bepaald (fig. 15) met rooster voorzien van een buis. De eerste (kromme 1) is zonder watte en kromme 2 is met watte gevuld. Men bemerkt de betrekkelijke stand der resonantie en antiresonantie waaruit wel degelijk blijkt dat $f_2 = 3f_1$, $f_3 = 5f_1$. Men bemerkt eveneens dat, behalve de resonanties en antiresonanties de twee krommen elkaar nagenoeg bedekken. SIVIAN heeft trouwens talrijke experimenten uitgevoerd met verschillende buizen en is tot de conclusie gekomen dat de met watte gevulde buizen de ijking niet merkbaar beïnvloeden.

Nauwkeurigheid der meting.

De absolute nauwkeurigheid van de methode is afhankelijk van de spanningsmetingen en van de afmetingen van het rooster, vooral van de ruimte d tusschen het rooster en de triplaat (factor k is niet alleen afhankelijk van de afmetingen van het rooster maar ook van de afstand d, zie kromme van Ballantine). Maar de meting van d is bijzonder delicaat en het gebeurt zelden dat men de meting kan uitvoeren met een fout van minder dan 1 % wat voor de drukking overeenstemt met een drukking van 0,2 db.

De voorspanning van het rooster verwekt geen

noembare verpaatsing der triplaat ten opzichte van de tegenelectrode; men houdt er dus geen rekening mede.

De constructie van het rooster zelf kan een bron van fouten zijn. Inderdaad alle staven zijn niet juist even dik; bovendien kan het gebeuren dat het rooster niet volkomen parallel opgesteld is met de triplaat. Men neemt dan de gemiddelde afmetingen. Kortom men kan de mogelijke fout op ongeveer 0,4 db. schatten. De persoonlijke fouten schijnen vrij zelden voor te komen, te oordeelen althans naar het groot aantal metingen die in het laboratorium werden uitgevoerd wat trouwens een goede controle was voor de groote stabiliteit der methode die er trouwens de hoofd-karakteristiek van is.

Vergelijkingen der volgens de twee methodes verkregen resultaten.

Past men alleen de correcties toe welke BALLANTINE heeft opgegeven voor de methode met de pistonfoon zonder rekening te houden met de andere correcties waarvan hierboven sprake is geweest, dan verschillen volgens de twee methodes verkregen uitsagen onderling van 0,2 tot 0,3 db. gemiddeld en max 0,4 db.

Daaruit blijkt dat volgens twee totaal verschillende methodes men er toe gekomen is acoustische drukkingen op te wekken die met deze de microfoon een gevoeligheidsverschil aanwijzen van maximum 0,4 db.

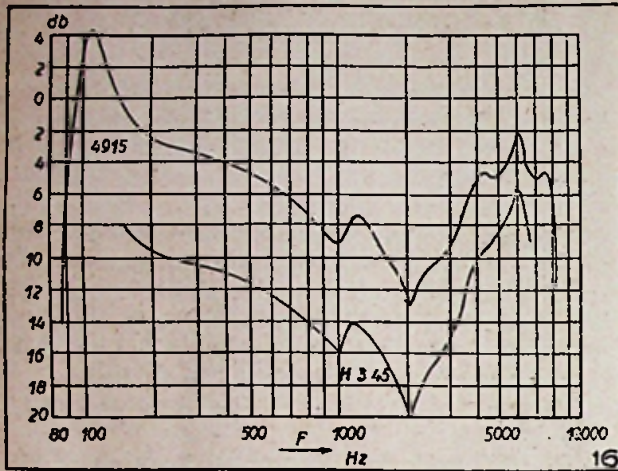
Men kan dus zonder enig gevaar de methode met de pistonfoon vergelijken met de andere methode der electrostatische aantrekking.

Combinatie der twee methodes.

In de laboratoria combineert men vaak de twee methodes. De weergavekromme wordt geheel geteekend volgens de methode der electrostatische aantrekking. Deze kromme is zooals we het vroeger reeds aantoonde een kromme der betrekkelijke niveau's. Men meet dan het absolute niveau voor een lage frequentie, 200 Hz b.v. volgens de methode van de pistonfoon. Men vermijdt aldus de toepassing der formule der electrostatische drukking en eveneens de complicatie van het opnemen der juiste afmetingen van het rooster. Het is evenwel wenschelijk het absolute niveau te berekenen door de formule der twee methodes. Op die wijze heeft men een controlemiddel.

Gebruik van een electrodynamische ontvanger voor het opnemen der ijkkromme uitgaande van een bekende absolute kromme.

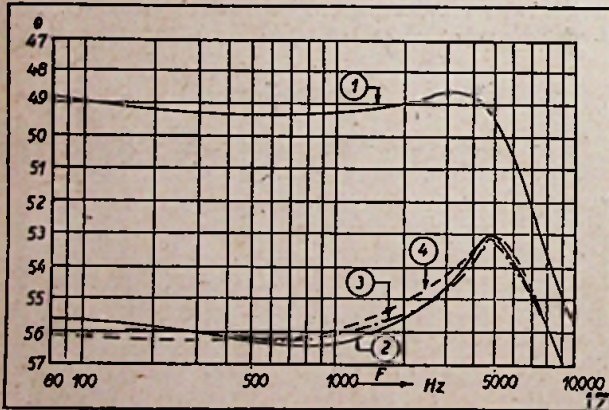
In geval meerdere microfoons moeten geijkt worden kan men de gevoeligheidskrommen tekenen uitgaande van een reeds geijkte microfoon. De methode bestaat in het achtereenvolgens koppelen van een volkomen stabiele electrodynamische ontvanger met elk der te ijken microfoons, ook met die waarvan men de gevoeligheidskromme bezit. Terwijl men de voedingsspanning van een ontvanger volkomen constant houdt, (deze spanning wordt geleverd door een L.F.-oscillator)



H345 wordt H351

neemt men de kromme der uitgangsniveaus op voor elke microfoon (fig. 16). Men meet vervolgens de verschillen der ordinaten van de krommen vergeleken met die van de geijkte microfoon, verschillen die men vervolgens afzet te beginnen van de bekende gevoeligheidskromme (microfoon 4915 is een geijkte microfoon en de H351 is de te ijken microfoon.

In fig. 17 geven we de gevoeligheidskromme van de H351 opgenomen volgens de methode der electrostatische aantrekking. Vergelijkt men de twee dan ziet men dat de verschillen 0,3 tot 0,4 db. bedragen voor de gemiddelde frequenties



(men heeft dezelfde kromme geteekend met een andere electrodynamische ontvanger waarvoor de verschillen grooter zijn. Men heeft een zeer uitgesproken instabiliteit vastgesteld op frequenties beneden 100 Hz. In dit gebied zijn de metingen praktisch onmogelijk.

In elk geval kan deze laatste methode slechts als vergelijking dienen.

Besluit. — Het is mogelijk een condensatormicrofoon te ijken volgens twee absolute methodes die alhoewel volkomen principieel verschillen toch vergelijkbare resultaten opleveren. De twee methodes zijn die met de pistonfoon, en die met het electrostatisch rooster. Ze leveren niet alle onderlinge vergelijkbare resultaten op maar de verkregen uitslagen kunnen ook vergeleken worden met die welke men verkrijgt met de wederkeerigheidsmethode die in de jongste tijd veel gebruikt wordt in de Amerikaansche laboratoria.

“De ultrasonore trillingen in de Physica en de Techniek”

(Vervolg van p. 310)

4) Toestandsvergelijkingen der gassen :

$$\rho V = RT \left(1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} \right)$$

$$W^2 = - \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\delta R}{\delta v} \right) \frac{U^2}{TM} \rightarrow : W^2 - W_n^2 (1 + \delta p)$$

Waaruit volgt :

$$\delta = B + \frac{T}{\lambda} \frac{dB}{dT} + \frac{T^2}{2\lambda(\lambda+1)} \frac{d^2B}{dt^2}$$

Kennen we dus $\delta = f(T)$, dan kunnen we berekenen : $B = f(T)$.

5) Bepaling der gasmengsels :

$$B = B_1 x + \alpha (1-x) x + B_2 x (1-x^2).$$

α = coëfficiënt van inwerking der beide gasmoleculen op elkaar.

6) Bepaling van den absorptiecoëfficiënt in gassen.

7) Verder kunnen we nog de toepassingen vermelden die in alle technische tijdschriften beschreven worden : biologische opzoekingen, onderzoek van emulsies en colloidale oplossingen, metallographische opzoekingen, dieptebepaling bij navigatie enz.

De Radio Cursus wordt voortgezet

in n^r 12

De huidige stand der Piezo-electriciteit

door P. GERMAIN,

Assistent aan de Universiteit van Brussel.

De piëzo-electrische toepassingen zijn de laatste jaren zeer talrijk geworden en dit overzicht heeft voor doel de nog duister gebleven punten zoowel als de nieuwe punten in dit domein te bestudeeren.

Het verschijnsel der piëzo-electriciteit is nauw verbonden met dat der polarisatie. Veronderstellen wij een element met oneindig klein volumen dv , uit een willekeurige stof gesneden. Dit volumen-element bevat geëlectriseerde punten in beweging. Indien de totale electricische belasting van dit element nul is, kunnen wij, van het standpunt van den electricischen invloed op de buitenzijde van dit element de positieve ladingen vervangen door hun massa met lading $+q$ en de negatieve belastingen door hun massa met lading $-q$. Indien deze beide centra niet samenvallen, mogen wij zeggen dat het midden gepolariseerd is. De aldus gevormde electricische dipool heeft per definitie een electricisch moment gelijk aan ql , l zijnde de vector tusschen spanningen $-q$ en $+q$. Indien wij verder aannemen, — wat vrij normaal schijnt, — dat het electricische moment in verhouding staat tot het volumen-element dv , zou het electricisch moment kunnen geschreven worden: $p dv$. De vector p wordt polarisatievector genoemd van het beschouwde midden op het beschouwde punt en oogenblik.

Alle stoffen zijn polariseerbaar; hiervoor volstaat het ze in een electricch veld te plaatsen. Zekere stoffen zijn polariseerbaar door vervorming en per definitie zijn de stoffen die door vervorming polariseerbaar zijn piëzo-electrisch. Het is bijvoorbeeld algemeen bekend dat een stuk kwarts polariseert wanneer men het aan een tractie onderwerpt en tusschen de platen van den condensator, waarvan het de dielectric vormt, een meetbaar potentiaalverschil doet ontstaan. De kristallijne stoffen kunnen in 32 klassen onderverdeeld worden. Door de symmetrie-principes van Curie of door een zuiver mathematische methode, toont men aan dat slechts 21 klassen vatbaar zijn voor piëzo-electriciteit, t.t.z. dat 21 klassen geen symmetrisch centrum hebben. Uit deze 21 klassen kan men er nog 1 weglaten zodat tenslotte slechts 20 categoriën van piëzo-electrische kristallen overblijven.

De methodes die toelaten, de piëzo-electriciteit van een substantie aan het licht te brengen, zijn, hetzij statisch, hetzij dynamisch. Een logische methode die gesteund is op de definitie zelf der piëzo-electriciteit bestaat er in, in het kristal een element van een bepaalden meetkundigen vorm uit te snijden, dit te onderwerpen aan vervorming en vervolgens het potentiaalverschil, ontstaan door de polarisatie van het middenpunt, te meten. Men kan ook het omgekeerde effect aanwenden



Dhr. P. GERMAIN
bij zijn lezing tijdens de Studieweek.

want een piëzo-electrisch lichaam, dat in een electricch veld geplaatst wordt, ondergaat eveneens een vervorming, die trouwens zeer klein en moeilijk om meten is. Door een klein spiegeltje op het kristal te kleven kan ze evenwel toch aan het licht gebracht worden dank zij de optische versterking die aldus wordt verwezenlijkt. Tot in 1925 kende men slechts een tiental piëzo-electrische kristallen waarvan het grootste deel door de gebroeders Curie bestudeerd werd. Het is slechts vanaf het oogenblik dat GIEBE en SCHEIBE de zoogenaamde poedermethode uitwerkten dat de verschillende kristallen, die tot de 20 piëzo-electrische klassen behooren, systematisch konden worden bestudeerd. Op het huidige oogenblik kent men ongeveer 200 piëzo-electrische kristallen.

De zgn. poedermethode is een dynamische methode en is essentieel kwalitatief, terwijl de vroegere statische methodes toelaten behalve het aan het licht brengen der piëzo-electriciteit, ook de coëfficiënten te meten die het piëzo-electrische effect van de stof karakteriseeren. De poedermethode biedt evenwel het groote voordeel dat zij de stof gebruikt in den vorm van een kristal-

lijn poeder, als wanneer de voorgaande methodes een vrij groot kristal noodzaakten waarvan men de kristallografische positie der assen moest kennen, hetgeen niet altijd mogelijk was.

Het procédé bestaat erin, een relatief groot aantal kristallen of gedeelten daarvan ter grootte van 0.1 à 5 mm tusschen de platen van een condensator te plaatsen welke in zijn eenvoudigsten vorm uit twee metalen platen bestaat. Deze piëzo-electrische condensator wordt parallel geschakeld in den trillingskring van een zwakken zender. Men richt de capaciteit en de spoel van den trillingskring derwijze in, dat men een bereik van 1 tot 10 MHz bestrijkt. Met dezen oscillator is een ontvanger zeer zwak gekoppeld die in zijn eenvoudigsten vorm als volgt is samengesteld: een versterker, een detector, en een koptelefoon. Het verschijnsel dat zich thans voordoet is het volgende:

Telkens wanneer de frequentie van den zender samenvalt met een der eigenfrequenties van één der kleine kristallen, zal deze laatste, indien de stof piëzo-electrisch is gaan trillen en verwekt, tusschen de platen van den condensator tengevolge van de aldus verkregen polarisatie een potentiaalverschil, dat in overeenstemming is met de eigenfrequentie van het kristal. Indien men de frequentie van den zender tamelijk snel doet variëren, ontstaat er een interferentie tusschen de frequentie van den zender en deze van het kristal. De gedetecteerde interferentie wordt versterkt en verwekt in den koptelefoon een hoorbaren toon. Indien de eigenfrequenties van de kristallen dicht bij elkaar liggen en verdeeld zijn over het gebruikte frequentiegebied, — hetgeen altijd het geval is wegens het groot aantal gebruikte kristalstukjes, — hoort men in den koptelefoon een ononderbroken toon in plaats van een korten klank.

Om de gevoeligheid van deze schakeling te verhoogen is het noodzakelijk zekere voorzorgen te treffen. Het zal volstaan aan te stippen dat de geluidsterkte afhankelijk is van de elastische eigenschappen der gebruikte kristallen. Tengevolge van de grootere demping der eigentrillingen wordt de studie van de zachte kristallen veel moeilijker dan die der harde kristallen. Bij zachte kristallen is het goed op lage temperatuur te werken, waarop de demping minder sterk is. De piëzo-electrische condensatoren mogen om het even welken vorm hebben om de piëzo-electriciteit van de stof bij lage- of hooge temperatuur of bij normale of verminderde spanning te bestudeeren.

De methode is er dus een van het eenvoudigste onderzoek en zij leent zich bij uitstek tot de studie van een groot aantal stoffen.

Tusschen de piëzo-electrische kristallen, andere dan de klassieken, citeeren wij de gewone cristallisé-suiker, rietsuiker, natrium chloraat, strychnine, kamfer enz.

De eenige piëzo-electrische kristallen welke de laatste jaren in den handel werden gebruikt waren het kwarts en het Seignettezout, en zulks voor zeer verschillende redenen. Het kwarts is een

natuurlijk kristal; het bezit een groote mechanische stevigheid, zijn piëzo-electrische en elastische eigenschappen zijn onafhankelijk van de vochtigheid der lucht en de atmosferische drukking; zijn variaties ten overstaan van de temperatuur zijn steeds zeer gering. Men kan trouwens zekere kwartssneden vinden waarvan de temperatuurscoëfficiënt nul is. Jammer genoeg is zijn piëzo-electrische modulus betrekkelijk klein in verhouding tot dezen van het Seignettezout die ongeveer duizendmaal grooter is. Daarentegen is het Seignettezout een kunstmatig kristal dat vrij gemakkelijk kristalliseert; het is erg breekbaar en zijn eigenschappen zijn zeer sterk afhankelijk van vreemde invloeden en vooral van de temperatuur. Telkens men dus stabiliteit of reproductibiliteit wenscht, hetzij in sterkte, hetzij in frequentie, zal men het kwarts gebruiken. Dit verklaart zijn gebruik als frequentiestandaard enz. Maar telkens wanneer de gevoeligheid van het apparaat meer belang heeft zal men zijn toevlucht nemen tot Seignettezout. Dit verklaart zijn gebruik in microfoons, toonafnemers enz.

De laatste jaren laten echter toe te voorzien dat het kwarts en het Seignettezout niet de eenige piëzo-electrische kristallen zullen blijven die in den handel gebruikt worden.

Eenerzijds schijnt het vervaardigen van synthetisch kwarts grooten vooruitgang te hebben gemaakt en anderszijds schijnen de opzoekingen door de leden van de school te Zürich sedert 1935 vruchten te hebben gedragen.

Het verkrijgen of het winnen van synthetisch kwarts, m.a.w. langs artificieelen weg kwartskristallen bekomen is reeds een oud probleem dat tijdens den oorlog wel de moeite waard werd geacht om opgelost te worden. Inderdaad, de behoefte aan piëzo-electrisch kwarts liet zich tijdens de vijandelikheden op enorme wijze gevoelen. Het volstaat even te denken aan het massieve gebruik van K.G.-zenders en ultra-sonore peilapparaten. Het kwarts is evenwel een natuurlijk kristal dat zeer langzaam in de gesteenten gevormd wordt en groote stukken feilloos kwarts worden zelden gevonden. Het probleem bleef dus op de dagorde. In 1906 gelukte SPEZIA erin kleine kwartskristallen te bekomen in een oplossing van natriummetasilicaat en natriumchloride op een weinig meer dan 300°, maar deze kristallen van slechts enkele mm lengte vergden verschillende maanden voor hun groei. Elke industriële voortbrengst was op die wijze uitgesloten. Tijdens den oorlog werden deze opzoekingen in Engeland en Amerika hervat. De ontvangen inlichtingen zijn jammer genoeg nog zeer vaag. Het echtpaar WOOSTER uit Cambridge zou er in gelukt zijn, kwartskristallen in enkele uren te kweken met een bad van natriummetasilicaat en gesmolten silicium in hetwelk zij een kwartskiem hadden opgehangen. Dit synthetisch kwarts vertoont bij Röntgenonderzoek dezelfde structuur als het natuurlijke kwarts. In Amerika zouden KERR en ARMSTRONG gewerkt hebben met een druk van 3000 kgr/cm² en met temperaturen tot 870° C.

De te Zürich bestudeerde kristallen, voornamelijk kaliumfosfaat KH_2PO_4 , ammoniumfosfaat $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, en kalsiumfosfaat waarvan de gewone waterstof = H met atomische massa 1 vervangen is door zijn isotoop, zware waterstof met massa 2, t.t.z. KD_2PO_4 .

Het KD_2PO_4 is als het ware de overgangsvorm tusschen kwarts en Seignettezout; het heeft een piëzo-electrische modulus die 10 maal grooter is dan die van het kwarts op gewone temperatuur; het is stevig, gemakkelijk verkrijgbaar door kristallisatie en ongeveer onafhankelijk van vreemde invloeden. Het heeft een nadeel ten opzichte van het kwarts: zijn temperatuurcoëfficiënt t.o.v. de omgevende temperatuur is niet en kan niet geannuleerd worden door een zorgvuldige keuze van de snede zooals bij het kwarts. Het vertoont voor de omgevende temperatuur geen hysteresis zooals het Seignettezout. Tengevolge van zijn temperatuurcoëfficiënt, t.o.v. de omgevende temperatuur niet te verwaarloozen, lijkt het ons niet wenschelijk het te gebruiken voor een stuuroscillator doch er is evenwel toch een aanwending waar het zeer voordeelig het kwarts kan vervangen, n.l. de bandfilter. Men weet dat deze laatste een elektrische keten is die ingeschakeld wordt om een bepaalden frequentieband door te laten terwijl andere frequenties, hogere of lagere, daardoor zeer sterk verzwakt worden. Wanneer men een filter in brugschakeling gebruikt waarbij elke aftakking een kwartsoscillator is, kan men aantonen dat de doorgelaten band ongeveer 0,8% van de middenfrequentie vormt. Indien deze 100 kHz bedraagt kan de filter dus dienen voor het overbrengen van het gesproken woord. Door het gebruik van bijgevoegde spoelen, kan men de doorlaatband terugbrengen tot 6%. Het schijnt dus, volgens een onlangs verschenen artikel van MATHIAS en SCHERRER, dat het KH_2PO_4 zou toelaten met spoelen van driemaal minder waarde doorlaatbandbreedten van 14% te bekomen, zelfs met een brugschakeling.

Voor de eerste maal zag men in 1942 het KD_2PO_4 , waarvan de samenstelling verschillend is van die van KH_2PO_4 , verschijnen want aan het gebruik van groote hoeveelheden « zwaar water » om het te kristalliseeren is natuurlijk niet te denken. In een artikel verschenen in 1945 kondigde BANTLE aan dat het zout ongeveer dezelfde eigenschappen vertoont als het KH_2PO_4 , maar het heeft overigens een piëzo-electrische modulus die tweemaal grooter is en bij normale temperatuur een temperatuurcoëfficiënt nul. Dit laatste feit is zeer belangrijk want dit zou toelaten het kwarts bij de frequentiestabilisatie te vervangen door KD_2PO_4 .

Om te sluiten mogen we nog aanstippen dat spijs de hooge prijs van « zwaar water », het KD_2PO_4 tegen een niet al te hoogen kostprijs zou kunnen vervaardigd worden.

Contrôle der oppervlaktefijnheid

Tenslotte kan men zich tevreden stellen met een algemeen oppervlakkig onderzoek der oppervlakte maar dan moet men door vergelijking werken. Dit vergelijkend onderzoek geschiedt met een microscoop met dubbel objectief waarvan we U een verwezenlijking zullen toonen waarmede men in het gezichtsveld van één enkel objectief de beelden van twee te vergelijken oppervlakten kan superponneeren. Met dit apparaat verkrijgt men vergrotingen van 30, 50 of 70.

In dezelfde orde van gedachten noemen we nog de microscoop van MECHAU. In dit apparaat is er een volkomen reflecteërend prisma waarvan het terugkaatsende oppervlak tegen een generatrix van de te bestudeeren oppervlakte komt liggen. Wordt de reflecteërende oppervlakte schuin belicht, dan zal het licht op de deelen van het vlak in contact met het metalen stuk niet worden gereflecteerd; deze deelen van het reflecteërende vlak zullen dus zwart schijnen op een witten achtergrond. Men kan met dit apparaat zelfs de ruwheid karakteriseeren door een cijfer dat de verhouding aangeeft der lengten van de donkere en de lichte deelen.

Het apparaat is zoo ingericht dat de druk door het prisma op het te onderzoeken stuk uitgeoefend constant blijft en gelijk aan 1 kg.

Tot slot geven we hierna nog enkele grootteorden op betreffende de hoogte der oneffenheden op verschillende oppervlaktetypes:

Grof afgewerkt: 10 tot 1000 micron.

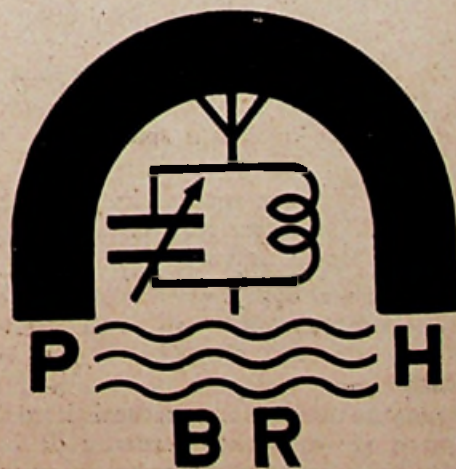
Gerectificeerd: 1 tot 100 micron.

Fijn gerectificeerd: 1 tot 10 micron.

Gedraaid of zeer fijn geruimd: 0,1 tot 1 micron.

Geslepen of gepolijst: 0,1 tot 0,1 micron.

Fijnslans: minder dan 0,01 micron.



Contrôle der oppervlaktefijnheid

door Mr. VAN VIJVE,
Dienstoverste van het Centraal Laboratorium der F.N.

De huidige voordracht heeft geen ander doel dan de apparaten die we U gaan demonstreeren en die behooren aan het metrologisch laboratorium van de F.N. in hun raam te situeeren.

Al deze apparaten hebben voor gemeenschappelijk doel de micromeetkunde der oppervlakten te bepalen of wat hetzelfde is hunne ruwheid of effenheid of fijnheid. Het betreft hier dus het onderzoek van onregelmatigheden der oppervlakte van de orde van 1 micron en kleiner.

Om een oppervlakte volledig te kunnen bepalen, onverschillig welke afmetingen ze heeft, zou men elk punt ervan moeten kunnen bepalen door drie coördinaten. Dit is natuurlijk onmogelijk. Men bepaalt er zich trouwens toe een deel der oppervlakte te onderzoeken. Een eerste reeks methodes bestaat er in een doorsnede te maken van de oppervlakte. Deze doorsnede kan mechanisch verkregen worden. In dit geval bedekt men de oppervlakte met een laagje electrolytisch koper om de beschadiging ervan te voorkomen tijdens het doorsnijden. De koperlaag wordt verder bedekt met een nikkellaag en men polijst de verkregen doorsnede waarna men deze met zuur aantast om beter het profiel der oppervlakte te doen uitkomen. Deze methode heeft vanzelfsprekend het nadeel dat het te onderzoeken stuk vernietigd is.

Een tweede methode bestaat erin het profiel van een oppervlakte te bepalen door de verplaatsingen van een aftaster te registreeren. Deze aftaster wordt verplaatst over een bepaalde lijn der oppervlakte welke men wil bestudeeren.

Dit registreeren geschiedt meestal electrisch. Men kan bijgevolg de aftaster of het stiftje voorzien met een spoel die in een constant magnetisch veld gedompeld is.

Dit levert electro-motorische krachten op die naar een kathodestraaloscillograaf gevoerd worden. Men kan ook, en dit is het geval voor het apparaat BRUSH dat we hier voor ons hebben, het staafje bevestigden aan een piëzo-electrisch kristal dat aldus geaden wordt en deze ladingen kunnen na versterking een schrijfgalvanometer in werking brengen. Hierbij valt op te merken dat bij deze methodes de profiel der oppervlakte niet wordt opgenomen ten opzichte van een referentie-oppervlakte, maar ten opzichte van de door het opname-orgaan beschreven baan die over het te bestudeeren oppervlak verloopt. Dit orgaan glijdt op zijn beurt over de te bestudeeren oppervlakte door tusschenkomst van wat de Amerikanen een « slof » noemen. Een tweede punt waarop de aandacht dient gevestigd is de afmeting van het aftaststaafje zelf. Dit kan natuurlijk niet neerdalen dan in de « plooiën » waarvan de breedte grooter is dan zijn eigen diameter. De punt van dit aftaststaafje is zelf enkele micron dik.

Het aldus verkregen profiel vormt een geheel onregelmatige lijn. Om de oppervlakte te karakteriseeren stelt men zich vaak tevreden met het bepalen van het rekenkundige gemiddelde tusschen hoogten en daarop volgende diepten ofwel neemt men het quadratisch gemiddelde van deze zelfde hoogten. In feite volstaat dit niet om het profiel te kenmerken want het ligt voor de hand dat men twee profielen die allebei niveauverschillen van 1 micron vertoonen tusschen toppen en diepten, niet als gelijkend kan beschouwen wanneer dezelfde niveauverschillen verkregen worden eenerzijds over een band van 10 micron breed voor de een en van 0,1 micron voor de andere. Thans is er ook een neiging om de onregelmatigheden te groepeeren in golflengte en blijkbaar oriënteert men zich naar de definitie van een oppervlaktetoestand door een spectrum dat veel gelijkenis vertoont met acoustische spectra.

In een derde methode wordt gebruik gemaakt van een optische doorsnede. Het is de methode van SCHMALZ.

Men werpt op het oppervlak een lichtbundel volgens een helling van 45° en men onderzoekt deze lichtbundel in een richting welke loodrecht gelegen is op zijn vlak.

Het is één der oorspronkelijk gebruikte methodes en ze bleek zeer vruchtbaar te zijn.

Naast de methode der doorsneden die een nauwkeurige definitie geeft van een deel der te bestudeeren oppervlakte en die tevens als analytische methode kan worden beschouwd, tracht men bij andere methodes de oppervlaktetoestand te karakteriseeren door een gemiddelden coëfficiënt.

Men kan b.v. op de te bestudeeren oppervlakte een lichtbundel werpen en de intensiteit van het gereflecteerde licht meten in verschillende richtingen.

In andere gevallen wordt de te onderzoeken oppervlakte gebruikt als electrode van een kleine condensator waarvan de andere electrode volkomen vlak is. De oppervlakte-onregelmatigheden doen natuurlijk de capaciteit van den condensator veranderen. Men kan nog de oppervlakteruwheid schatten door het principe toe te passen van den solexvergasser. Indien men een luchtkanalatie voedt met lucht onder constanten druk, dan is de spanningsval tusschen ingang- en uitgang van deze leiding afhankelijk van de verhouding der afmetingen van den inlaat en den uitlaat. In het betreffende geval is de uitlaat gevormd door de ruimte tusschen een zeer effen oppervlak waarin een opening waardoor de samengeperste lucht aangevoerd wordt en het te bestudeeren oppervlak. De oneffenheden van dit laatste veranderen vanzelfsprekend de luchtontsnapping en bijgevolg het spanningsverlies.

(Vervolg p. 341)

Over de studie van preciese, dunne, doorschijnende en optisch evenwijdige blaadjes

door A. BIOT.
Directeur der O.I.P., Gent.

1) Het probleem.

Een blaadje, met effen en optisch evenwijdige vlakken, heeft niet noodzakelijk werkelijk effen en perfect evenwijdige vlakken. Zulks is practisch alleen mogelijk wanneer de grondstof buitengewoon homogeen is, m.a.w. wanneer de brekingsindex op alle punten van het blaadje dezelfde is.

Veronderstellen we inderdaad dat een der vlakken volkomen effen is. Trekken we thans verschillende loodlijnen op dit vlak. Zij e de lengte van het segment in het blaadje van een dezer loodlijnen. Zij n vervolgens de gemiddelde brekingsindex van de stof langsheen dit segment voor de uitstraling der golflengte λ . De voorwaarde tot optische evenwijdigheid der beide vlakken van het blaadje wordt uitgedrukt door de formule:

$$n e = C^{\text{te}}$$

die de interventie van n aantoont. Gezien in de practijk geen enkel stukje der stof volkomen homogeen is, volgt hieruit dat e niet constant zal zijn wanneer het ééne vlak volkomen effen is en het andere niet.

In de practijk zelf zal geen der vlakken volkomen effen zijn. Zulks is onmogelijk te verwezenlijken. Wanneer λ bijvoorbeeld de golflengte is der groene straling van kwikzilver ($\lambda = 546 \text{ m}\mu$), zou men er kunnen toe komen de effenheid van een der vlakken te verwezenlijken, zoodat deze geen fout vertoont hooger dan $\lambda/10$ of $\lambda/20$ of zelfs, in uiterst zelden voorkomende gevallen, $\lambda/50$. Het tweede vlak zal bijgevolg derwijze moeten geslepen worden, volgens de precisie van de gewenschte optische evenwijdigheid, dat rekening gehouden wordt niet alleen van de locale afwijkingen van den brekingsindex, maar ook van de fouten van het eerste vlak.

Het is slechts na opeenvolgend bijwerken en hertoetsen, dat men er toe komt een blaadje een optische evenwijdigheid van groote precisie te geven, waarbij de verschillende stadia telkens gevolgd worden door het nameten der evenwijdigheid. De klassieke methode voor deze nametingen bestaat uit de methode der franjen. Het gebruikte instrument is heel eenvoudig. Het is een soort kijker met bijzondere karakteristieken, ingesteld op het oneindige, loodrecht op het na te meten stuk. Een weerkaatsend blaadje is met een hoek van 45° tusschen den kijker en het te bestudeeren stuk geplaatst en zendt naar dit laatste het licht van een monochromatische bron. Een deel van dat licht wordt weerkaatst naar den kijker langs het eerste vlak van het te bestudeeren blaadje, het overige door het andere vlak. Aldus vertoonen zich in het brandpunt van den kijker zekere



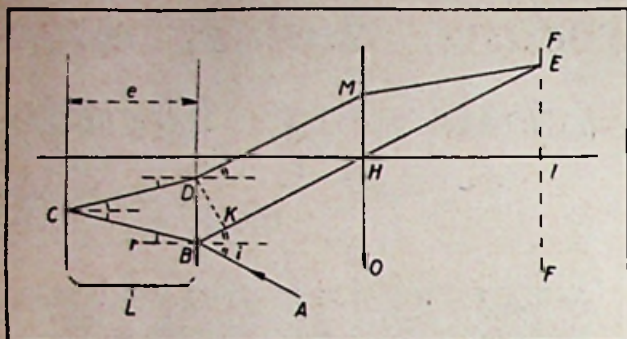
Dhr. A. BIOT

interferentiefiguren, bestaande uit donkere en lichtere kringen, waarvan de diameter verschilt volgens de optische dikte van het blaadje. Men verplaatst het blaadje evenwijdig met zichzelf vóór den kijker. Indien de optische dikte van het blaadje constant is, blijft het uitzicht der interferentiekringen ongewijzigd. Indien deze dikte echter met Δ ne vermindert, bijvoorbeeld, verbreden zich de kringen en nieuwe kringen schijnen in het centrum van de figuur te ontstaan. Indien $n e$ integendeel met Δ ne verhoogt vermindert de diameter der kringen en ze schijnen in bedoeld centrum te verdwijnen.

Deze methode is in haar eenvoud toch zeer gevoelig. Wij zouden willen aantoonen hoe men zich er van kan bedienen, niet alleen kwalitatief, maar ook quantitatief om de dikten van de af te nemen stof op de verschillende punten van het blaadje te bepalen.

2) Hoofdbetrekkingen.

In fig. 1 hebben wij het objectief 0 van den kijker voorgesteld waarvan het brandpunt FF is.



Het blaadjē L, dat verondersteld is homogeen en evenwijdig te zij, heeft als dikte e. Een invallende straal monochromatisch licht AB (golflengte λ) verdeelt zich over het eerste vlak. Een andere is tweemaal gebroken en eenmaal weerkaatst op de baan BCDME.

Men heeft dus :

$$BC = \frac{e}{\cos r} = \frac{e}{1 - \frac{v^2}{2}} = e \left(1 + \frac{r^2}{2} \right)$$

(r klein)

De optische weg volgens BCD, indien n de index is :

$$2n BC = 2n e \left(1 + \frac{r^2}{2} \right) = 2n e + \frac{e i^2}{n}$$

Overigens is BK het segment tusschen het invalspunt en den voet van de loodlijn neergelaten uit D op HH :

$$BK = 2 e \sin r \cdot \sin i = 2 e r i = \frac{2 e i^2}{n}$$

De stralen HE en ME, interferentie in E, hebben, op λ/2 na, als verschil :

$$2 n B e - BK = 2 n e - \frac{e i^2}{n} \quad (1)$$

Al de invalstralēn op het blaadje, evenwijdig aan AB, verwekken in E het besproken verschijnsel dat gekarakteriseerd is door het verschil (1).

Beschouwen wij thans alle invalsrictingen, waarvan den inva shoek bepaald wordt door i. Elk van hen stemt overeen met een verschillend E-punt en voor redenen van symmetrie zijn deze punten op een cirkelomtrek gelegen. De stralen IE van deze cirkelomtrekken met gelijke vertraging zijn evenredig met i.

Op een cirkelomtrek met gelijke vertraging, is deze vertraging, uitgedrukt in golflengte λ, op een constante na, gelijk aan :

$$\Delta_1 = \frac{2 n e}{\lambda} - \frac{e i^2}{n \lambda} \quad (2)$$

Op een seconde van deze cirkelomtrekken heeft men, op dezelfde constante na :

$$\Delta_2 = \frac{2 n e}{\lambda} - \frac{e i_2^2}{n \lambda}$$

Het constant verschil van deze vertragingen tusschen de punten van deze cirkelomtrekken is :

$$\Delta_1 - \Delta_2 = \frac{e}{n \lambda} (i_2^2 - i_1^2)$$

Kiest men bij voorbeeld als cirkelomtrek een eerste die samen oopt met een zwarten kring van de figuur, een tweede die samenvalt met den kring van de αste orde en die den eersten omringt, dan is er tusschen die twee cirkelomtrekken een vertraging die gelijk is aan :

$$\Delta_1 - \Delta_2 = \frac{e}{n \lambda} (i_2^2 - i_1^2) = \alpha \quad (3)$$

Daaruit volgt :

$$\frac{e}{n \lambda} = \frac{\alpha}{i_2^2 - i_1^2} \quad (4)$$

Overigens toont (2) aan dat het verschil der vertraging tusschen het middenpunt der twee kringen en de cirkelomtrek van straal i gelijk is aan :

$$|\Delta c i| = \frac{c i^2}{n \lambda}$$

Brengen wij in deze betrekking thans de waarde van $\frac{e}{n \lambda}$ die wij in (4) gevonden hebben en we krijgen :

$$|\Delta e i| = \alpha \frac{i^2}{i_2^2 - i_1^2} \quad (5)$$

Dit is onze hoofdvergelijking, die in zich alleen de meetbare hoeveelheden in het veld van het instrument omvat.

3. Aanwending van de betrekking (5).

Veronderstellen we thans dat het blaadje in zijn optische evenwijdigheid fouten vertoont. Zij n de gemiddelde aanwijzing van het punt o. Op dit punt waarvan de optische dikte gelijk is aan $n_0 e_0$ heeft men, volgens (5)

$$|\Delta e i| = \alpha \frac{i^2}{i_2^2 - i_1^2}$$

Op een ander punt waar de optische dikte $n_0 e_0 + \Delta (n_0 e_0)$ geworden is heeft men eveneens :

$$\Delta' e i = \alpha' \frac{i^2}{i_2^2 - i_1^2}$$

Indien men zorg heeft gedragen de kringen te volgen bij het voorbijgaan van het eerste naar het tweede punt, zal men kunnen vaststellen hebben of de optische dikte grooter of kleiner is geworden. Meer nog, in deze voorwaarden heeft men op het tweede punt de kringen i' , i'_1 en i'_2 die afgeleid zijn van i , i_1 en i_2 hetgeen in het bijzonder voert tot $\alpha = \alpha'$.

Van het eene punt tot het andere bedraagt het verschil der traagheid, uitgedrukt in golflengte (men zegt ook de afwijking van de orde der interferentie) :

$$|\Delta'| - |\Delta| = \alpha \left(\frac{i^2}{i_2'^2 - i_1'^2} - \frac{i^2}{i_2^2 - i_1^2} \right) = \frac{2 \Delta (n_0 e_0)}{\lambda}$$

waaruit volgt:

$$\Delta(n_0 e_0) = \frac{\lambda (|\Delta''| - |\Delta'|)}{2} \quad (6)$$

De tweede formule van (6) laat zich berekenen wanneer men de met i evenredige waarden kent. Met i kan men dus een willekeurige schaal meten, bij voorbeeld, door ergens in het brandpunt van den kijker een schaal te plaatsen met gelijke verdelingen. Aangenomen dat de i aldus afgeleid zijn, trekt men volgende conclusies:

Deze hoeveelheid drukt uit, hoeveel de optische weg langer of korter is wanneer men van een punt $n_0 e_0$ naar een punt $n_0 + \Delta n_0, e_0 + \Delta e_0$ gaat. Men kan deze waarde uitdrukken als dikte van het glas met index n_0 . Men heeft dan:

$$\Delta(n_0 e_0) = n_0 \Delta' e_0$$

$\Delta' e_0$ stelt de dikte van het glas voor dat dient afgenomen of bijgevoegd op het tweede observatiepunt, opdat men in dat punt $\Delta(n_0 e_0) = 0$ zou hebben.

Wanneer men in een voldoende aantal punten van het blaadje $\Delta' e_0$ vaststelt kan men daarop de kringen met gelijke waarde van $\Delta' e_0$ aanduiden, t.z. de « topografische kaart » van het blaadje maken.

Om deze ideeën nu uit te werken, nemen we aan dat $\lambda = 546 \text{ m}\mu$ (groene streep van het kwikzilver). Verder nemen we aan dat een verschil van den optischen weg dat gelijk is aan meer dan $\lambda/10$, hetzij $55 \text{ m}\mu$ aanvaardbaar is. Dan heeft men:

$$\Delta(n_0 e_0)_{\text{limite}} = 55 \text{ m}\mu.$$

De fouten $\Delta' e_0$, die toegelaten zijn, zijn ten hoogste gelijk aan:

$$\frac{55}{1.5} \text{ m}\mu = 36 \text{ m}\mu.$$

4. Het controleapparaat.

Wij hebben in het voorgaande de algemeene werking aangetoond van het gebruikte apparaat wanneer men visuele waarnemingen wil verrichten.

Wanneer men thans het blaadje evenwijdig aan zichzelf verplaatst teneinde er de verschillende punten van waar te nemen, zal men zorg dragen er telkens de juiste posities van op te teekenen in verhouding tot de vaste punten: het is alsdan mogelijk de plaats te bepalen op het blaadje met de waargenomen punten.

Als lichtbron neemt men bij voorbeeld een lage druk kwikdamplamp. Men weet dat deze bron stralingen uitzendt die interferenties geven met groote verschillen. De groene streep ($\lambda = 546 \text{ m}\mu$) vooral, die men gemakkelijk kan isoleren door middel van een kleurfilter, is niet alleen opmerkelijk intens, doch ook gelegen in de zone der maxima gevoeligheid van het oog. Men zal ze met voordeel gebruiken.

Aldus is de eenvoudigste inrichting:

Men kan ze op voordeelige wijze uitbreiden door een tafel met twee verplaatsbare stukken, rechthoekig van vorm, waarop het te bestudeeren blaadje geplaatst wordt. De verplaatsingen van deze worden vastgesteld met behulp van schalen.

Men kan ook nog de visuele waarneming vervangen (of liever: vervolledigen) door de fotografische observatie. Het volstaat hiervoor, het toestel te voorzien van een foto-apparaat, in het brandpunt waarvan men een fotografische plaat bevestigt, die evenwijdig met zichzelf kan verplaatst worden.

*Triomf
der Engelsche techniek.*

de
MULLARD
buizen zijn
bij alle
radiospecialisten
verkrijgbaar



Mullard



METHODISCH FOUTZOEKEN

door W. DIEFENEACH.

(Vervolg)

Speciale gevallen.

Fluittoontjes en andere door zelfopwekking ontstane storende geluiden treden verder op bij slecht of niet-geaarde afscherming van de spoelafscherming en de afgeschermd leidingen in den M.F.-versterker. Overigens bemerkt men dergelijke terugwerkingen ook in reeds gerepareerde superheterodynes, die een verandering der bedrading hebben ondergaan. Door het willekeurig inbouwen der bedrading bekomt men vaak ongewenschte koppelingen.

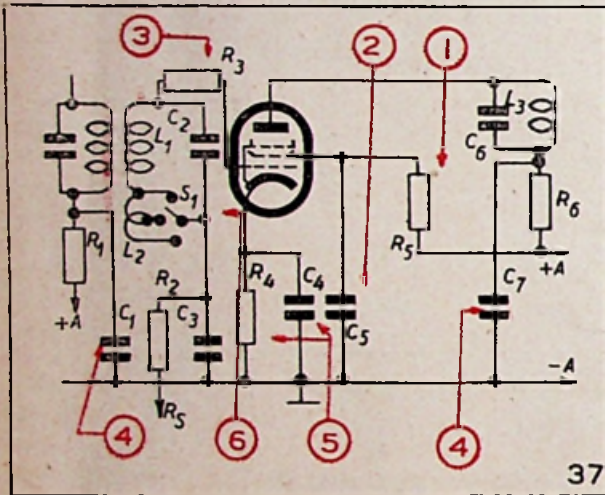


Fig. 37. — Schakelschema voor het opsporen der fout bij gestoorde weergave.

Een in superheterodynes vaak voorkomende fout bestaat daarin, dat men geen onberispelijke afregeling meer kan bekomen. A's foutoorzaak kan hier schade aan de H.F.-ijzerkern (slechte wikkeling, kernmassa oxydeert) of aan de spoelenwikkeling (kortsluiting, afgeschoven wikkelingen) voorkomen. Ook de parallelcondensator kan een fout bezitten (geheel of gedeeltelijk capaciteitsverlies). Door deze fouten kan de M.F.-kring niet meer op de voorgeschreven frequentie afgestemd worden.

Bij de regeling der bandbreedte treedt hier en daar een ontoelaatbaar groote verstemming van het toestel op, zoodat men telkens na de omschakeling van breede op smalle band en omgekeerd de afstemming moet bijregelen. Men onderzoek in dergelijke gevallen zorgvuldig de omschakel-inrichting op onberispelijke contacten (en mechanisch).

E) — Foutzeken in een H.F.versterker.

De in den H.F.-versterker optredende fouten verschillen meestal niet van deze uit den M.F.-versterker, daar de schakeling veel gelijkenis vertoont en de werkwijze heelemaal dezelfde is. Voor fouten in den H.F.-versterker kan men bijgevolg op dezelfde wijze te werk gaan als bij den M.F.-versterker. Men overleze nog eens paragraaf D.

Andere foutmogelijkheden, die in den M.F.-versterker niet in dezen vorm optreden, willen wij hier in het kort bestudeeren. Bij de foutomschrijving zal men de meetzenderspanning eerst aan de volgende trappen leggen. Bij een ontvanger met rechtstreeksche versterking dus aan den detectorkring, bij een superheterodyne aan den demodulator, den M.F.-versterker en aan den mengtrap. Pas wanneer de controle aangetoond heeft, dat deze trappen onberispelijk werken en de fout waarschijnlijk in den H.F.-versterker ligt, zal men dezen laatsten controleren. Men legt de H.F.-spanning aan den roosterkring en soms ook aan den anodekring. Fouten in den H.F.-versterker zijn meestal gekenmerkt door zwakke, vervormde of gestoorde weergave evenals door siechte selectiviteit.

Bij een stemmen ontvanger onderzoek men, buiten de bij den M.F.-versterker besproken foutmogelijkheden, o.a. ook de trimmers T1 en T2 voor de midden- en lange golf op kortsluiting. Liggen de trimmers parallel met de spoelen L1 en L2 dan kunnen de spoelen van den trillingskring kortgesloten zijn. Bij de in fig. 38 weergegeven scha-

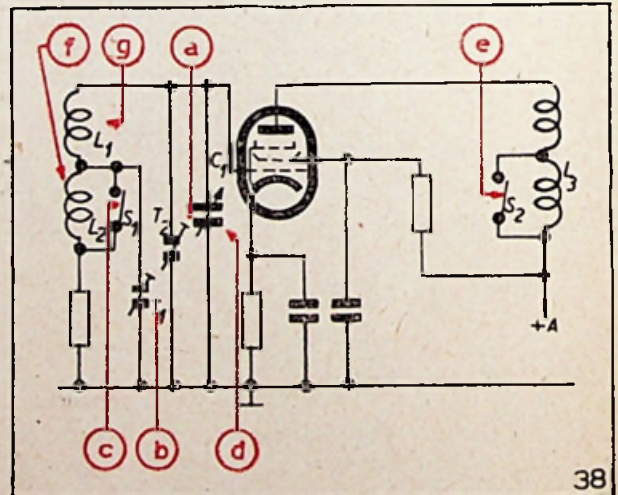


Fig. 38. — Schakelschema voor het opsporen der fout in een H.F.-versterker.

keling verwekt een door de trimmers T1 en T2 veroorzaakte kortsluiting soms een kortsluiting met de massa van den roosterkring. In dit geval is T1 kortgesloten (positie a). Werkt het toestel slechts op de middengolf, dan kan de oorsprong in een kortsluiting van den trimmer voor lange golf T1 te zoeken zijn (positie b). Wanneer de ontvangst in het lange-golfbereik uitvalt, dan is soms een golflengteschakelaar beschadigd. In dit geval is het schakelcontact S1 voortdurend kortgesloten (schakelcontact gebroken of verschoven). Omgekeerd is slechts de ontvangst op lange golf mogelijk wanneer het schakelcontact S1 niet werkt (contactveer versleten, afgebroken enz.). Een andere mogelijkheid tot kortsluiting die het

volledig stilvallen van het toestel voor gevolg heeft, levert afstemcondensator C1 van den roosterkring op. Deze condensator kan een kortsluiting tusschen de platen vertoonen. Deze fout kan zoowel in één punt als in het geheele draaibereik liggen (positie c).

Stille weergave wordt soms door een sterk bevuilden afstemcondensator C1 veroorzaakt (positie d), welke den roosterkring dempt. Zwakke weergave kan ook door een fout aan den gof schakelaar in den anodekring ontstaan wanneer op lange golf de koppelspoel L3 kortgesloten blijft. (S2 beschadigd) of wanneer bij de middengolf het contact S2 niet gesloten is (positie e). Buiten de reeds bij den M.F.-versterker besproken foutmogelijkheden kan zwakke weergave in een of twee golfbereiken door een kortsluiting tusschen de wikkelingen van L1 of L2 ontstaan (positie f en g). Overigens ontstaat zwakke ontvangst vaak door een verstemming van de afregeling, waarbij gelijktijdig de selectiviteit verminderd. In dit geval zijn de zelfinducties en de trimmers T1 en T2 bij te regelen.

Vervormingen kunnen buiten de reeds bij den M.F.-versterker beschreven mogelijkheden, soms door een ontbrekende verbinding van de massa of kathodeverbinding met de metalisering der lampen door zelfopwekkingsverschijnselen ontstaan. Een andere oorzaak bij H.F.-trappen met smoorspoel-condensatorkoppeling vormt de condensator C1 (geval fig. 39). Bij kortsluiting of

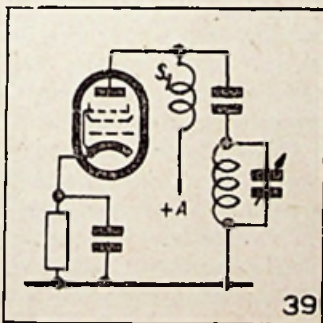


Fig. 39. — Speciale gevallen in een H.F.-versterker met smoorspoelcondensatorkoppeling.

slachte isolatie van dezen condensator geraakt de anodespanning op het stuurrooster der volgende lamp. Door de verandering der werkingswijze van deze lamp kunnen gemakkelijke vervormingen optreden.

Bij gestoorde weergave onderzoeken men naast de afschermleidingen, afschermdoosjes enz. ook den afstemcondensator op onberispelijke verbinding met de massa. Bij H.F.-trappen met smoorspoel-condensatorkoppeling moet ook de H.F.-smoorspoel op geheele of gedeeltelijke kortsluiting onderzocht worden. Kraakgeluiden ontstaan vaak door beschadigde contacten van een gof lengteschakelaar, en dit vooral in den roosterkring en bij A- en C-lampen. Zij ontstaan ook door de roosterafschermleiding, de afschermkap inbegrepen, boven op de lamp. Overigens raadplege men de voor den M.F.-versterker beschreven foutmogelijkheden.

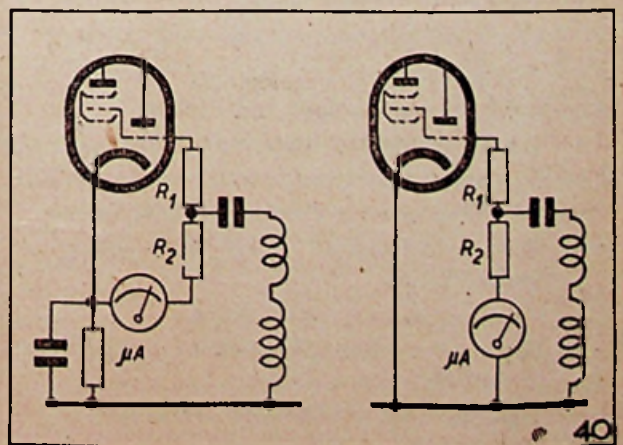
F) — Foutzoeken in den mengtrap.

Zijn de lampen gecontroleerd en de lampenspanningen evena's de stroomen gemeten en heeft men in de andere trappen (voedingsdeel, L.F.-deel, demodulator en M.F.-deel) geen fouten kunnen vaststellen, dan doet men met den meetzender een korte H.F.-controle van den mengtrap. Daartoe legt men op het stuurrooster der mengtrap een H.F.-spanning van b.v. 1500 kHz. De meting van het uitgangsvermogen en de luisterproef geven ons belangrijke aanduidingen over de foutoorzaken in den mengtrap. De luisterproef (meetzender met vreemde modulatie, b.v. phonoplaat) geeft de volgende resultaten:

- a) Geen weergave.
- b) Zwakke weergave.
- c) Vervormde weergave.
- d) Gestoorde weergave.
- e) Speciale gevallen.

Ter snellere opsporing van de fout is het noodig dat men de werking van een mengtrap goed kent. Wij willen daarom eerst op het volgende wijzen. In de mengtrap wordt door het mengen van de ontvanfrequentie met de in den oscillator opgewekte hulpfrequentie de M.F. gemaakt. Bij de hedendaagsche superheterodynes is de oscillatorfrequentie steeds een M.F. grooter als de ontvanfrequentie. Wil men met een M.F. van b.v. 468 kHz een op 1500 kHz werkende zender ontvangen, dan moet de oscillator dus op 1968 kHz werken. Daaruit volgt, dat de oscillatorfrequentie steeds gelijk moet zijn aan de M.F. + de ontvanfrequentie, en dat de M.F. het verschil van de oscillator- en zenderfrequentie is. De oscillator zelf verschilt bijgevolg in zijn dimensionering en stemt in zijn elektrische karakteristieken niet met den H.F.-kring overeen.

Onder een oscillator verstaat men een opwekker van trillingen, die meestal met een inductieve koppeling werkt, en waarvan de generatorstroom over het gansche ontvangstbereik zoo mogelijk stabiel en vrij van harmonischen moet zijn. Van de werking van den oscillator hangt de goede werking van het toestel in hooge mate af. Het is daarom aan te bevelen, buiten de metingen van den anodestroom en -spanning nog deze van den generatorstroom te doen. Door ta'rijke firma's wordt een meer of minder nauwkeurige waarde



van den generatorstroom aangegeven. De meting van dezen stroom wordt volgens fig. 40 gedaan, doordat men bij menglampen met een kathode-weerstand den μ A-meter tusschen het onderste einde van den oscillator-roosterlekweerstand R2 en de kathode schakelt. Bij menglampen zonder kathodeweerstand wordt de μ A-meter tusschen het onderste einde van R2 en de massa geschakeld. De optredende generatorstromen verschillen volgens het gofbereik en nemen af naarmate de frequentie grooter wordt, zooals b.v. uit de onderstaande tabel voor een middelklasse-standaardsuper blijkt. In dit toestel wordt een ECH11 gebruikt.

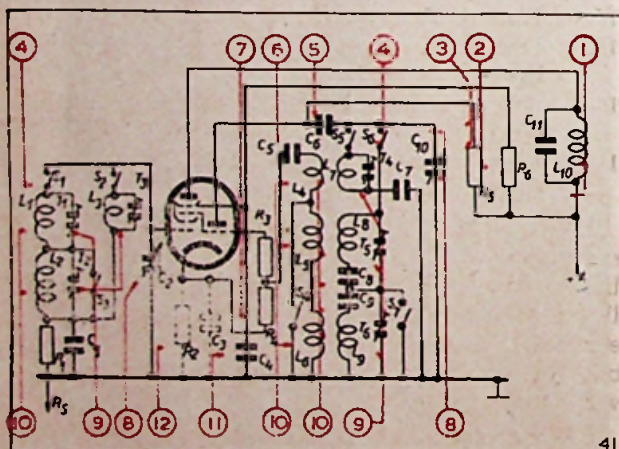
Generatorstromen (ECH11) :

Korte golf	0,16	0,24 mA.
Middengolf	0,24	0,32 mA.
Lange golf	0,26	0,40 mA.

Bij het meten van den generatorstroom is het noodig alle golfbereiken door te meten en daarbij de afstemming van den draaicondensator over het gansche bereik te veranderen. Wijzigingen van den stroom binnen de hierboven aangegeven grenzen zijn toelaatbaar. In alle andere gevallen b.v. bij een sprongsgewijze toe of afnemende generatorstroom, is er een fout in den oscillator.

a) Geen weergave.

Bij het ontbreken der weergave in den mengtrap zijn meestal de volgende fouten voorhanden (fig. 41) :



- 1 — Anodekring onderbroken.
- 2 — Oscillator-anodeweerstand onderbroken.
- 3 — Schermroosterweerstand onderbroken.
- 4 — Golfengteschakelaar beschadigd.
- 5 — Oscillator-anodecondensator onderbroken.
- 6 — Oscillator-roostercondensator onderbroken.
- 7 — Oscillator-roosterweerstand onderbroken.
- 8 — Afstemcondensator heeft kortsluiting of onderbreking.
- 9 — Paralleltrimmer kortgesloten.
- 10 — Spoelen van den trillingskring kortgesloten of onderbroken.
- 11 — Schermroostercondensator kortgesloten.
- 12 — Kathodeweerstand onderbroken.

Blijkt uit de meting der anodespanning dat op de anode der menglamp geen spanning heerscht, dan onderzoekt men den anodekring op onderbreking. Ook de kringspoel L10 moet onderzocht worden. Een onderbreking in de wikkeling van deze laatste beteekent het volledig uitvallen van den mengtrap. De onderbreking kan ook vóór L10 liggen, b.v. aan het aansluitpunt van de hoofdleiding der anodespanning (geval 1).

Evenzoo is geen weergave mogelijk, wanneer de hulpanode der menglamp geen spanning bekommt. Dit kan geschieden wanneer de toevoering of de voorschakelweerstand R6 onderbroken is (geval 2). In dit geval treedt eveneens geen generatorstroom op, daar de oscillator niet kan werken. Verder bekommt men het uitvallen van den mengtrap, wanneer geen schermrooster-spanning aan het schermrooster der menglamp voorhanden is. In de meeste gevallen gaat het om een onderbreking van den voorschakelweerstand R5 of van de aansluitverbinding (geval 3).

Vaak draagt de golfengteschakelaar schuld aan het uitvallen van den mengtrap. Soms heeft deze een siecht contact doordat de veer versleten of de contacten zelf bevuild zijn. Vaak werkt de golfengteschakelaar heelmaal niet als gevolg van een gebroken schakelnok. Soms treedt door den overgangswaerstand van den golfengteschakelaar een sterke damping van den kring op zoodat geen generatorstroom verwekt wordt. Ook bij een verkeerde positie van den golfengteschakelaar blijft vaak de ontvangst uit (geval 4).

De anodecondensator C6 in den oscillator veroorzaakt door een onderbreking het stomblijven van het toestel. Bij een kortsluiting van C6 wordt dan de anodespanning korgesloten. Dit is het geval wanneer in het korte-golfbereik geen seriecondensator gebruikt wordt (geval 5).

Bijzondere aandacht zal men aan den roostercondensator C5 schenken. Een onderbreking bewerkt het uitvallen van den mengtrap, terwijl een capaciteitsverlies soms geen generatorstroom toelaat (geval 6). Evenzoo heeft een onderbreking van den roosterweerstand het uitblijven der oscillatortrilling en de ontvangst voor gevolg (bij toestellen met K.G.-bereik een onderbreking van de roosterweerstand R3 en R4) (geval 7).

De afstemcondensatoren C2, C10 bieden eveneens verschillende foutmogelijkheden voor den mengtrap. Bij kortsluiting tusschen de platen of onderbreking van C10 in den oscillatorkring blijft het opwekken der trillingen eveneens uit. Heeft daarentegen C2 kortsluiting dan is eveneens geen ontvangst mogelijk tengevolge van de kortsluiting van den H.F.-kring. Een ontoelaatbaar hooge damping van den oscillatorkring kan verder door een slecht contact der platen van afstemcondensator C10 ontstaan. Als gevolg van deze kortsluiting treden vaak geen trillingen meer op (geval 8).

Bovendien is het goed de trimmers in de trillingskringen van den mengtrap zorgvuldig op kortsluiting te onderzoeken. Zijn de trimmers parallel met den afstemcondensator geschakeld, dan ontstaat door een kortsluiting van de trim-

mers bijgevolg een kortsluiting van den afstemcondensator en den betreffenden kring. In superheterodynes met een kort gofbereik zijn de trimmers parallel met de spoelen van den trillingskring geschakeld. Is een trimmer kortgesloten, dan heet bijgevolg ook de betreffende trillingskring (b.v. korte-golf trillingskring) kortsluiting, terwijl in de andere bereiken de toestand normaal is (geval 9).

In het oscillatordeel optredende onderbrekingen der trillingskring- en terugkoppelspoelen verwekken het uitvallen van den oscillator, daar geen opwekking van trillingen mogelijk is. Ligt de onderbreking vóór L1 dan valt in alle bereiken de ontvangst uit. In het andere geval wordt slechts in een of twee bereiken de ontvangst onderbroken. Hetzelfde geldt voor de spoelen van den oscillator. Bij een onderbreking van L7 valt slechts de ontvangst op korte golf uit. Een onderbreking van L9 veroorzaakt het stom blijven van de lange golf. Onderbrekingen in den H.F.-kring verwekken soms het uitvallen van den mengtrap, b.v. wanneer de onderbreking tusschen het contact S1 van den golflengteschakelaar en spoel L1 ligt (geval 10).

Bij ontbrekende of heel geringe schermrooster-spanning moet ook de schermroostercondensator C4 op kortsluiting of slechte isolatie onderzocht worden (geval 11). Een onderbreking in de kathodeleiding kan door een defecte kathodeweerstand R2 of door een onderbreking van de leiding ontstaan. Deze fouten hebben eveneens het volledig uitvallen van den mengtrap voor gevolg (geval 12).

Speciale gevallen.

Soms kan men bij het controleeren der bouwdeelen van den mengtrap geen fout bemerken. Het toestel werkt echter niet!

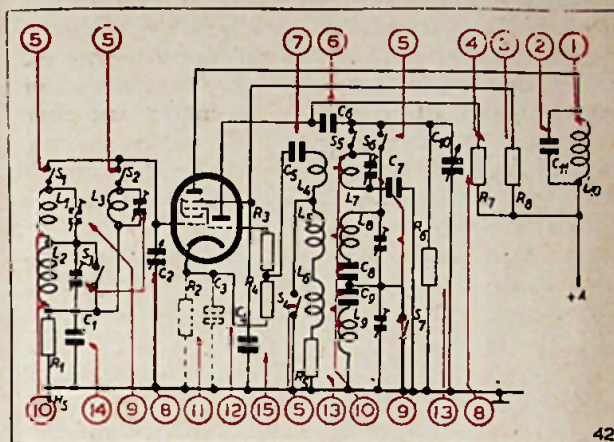
In dergelijke gevallen is het mogelijk dat de oscillator om de een of andere reden niet functioneert. Het meten van den generatorstroom (fig. 40) geeft hierover dadeeljk uitkomst. Kan men geen trillingen vaststellen, dan onderzoek men de meestal in den roosterkring (b.v. bij een ECH11) van den oscillator aangebrachte terugkoppelspoelen (L4, L5, L6) op voldoende koppeling met de toebehoorende trillingskringspoel (L7, L8, L9). Bij te losse koppeling blijven de trillingen uit. Soms is de terugkoppelwikkeling verschoven of zijn enkele toeren uitgeschakeld. Het kan voorkomen dat de oscillator in enkele punten niet genereert. In dit geval treden er doode plekken op. Men onderzoek de spoelen op eventuele verschuiving der wikkeling. Men zal dit vooral doen bij de kortegolfspoelen.

De trillingen kunnen omgekeerd ook bij een te vaste koppeling uitblijven. Zij verdwijnen bij een te kleine afstand tusschen de spoelen. Hierdoor verkrijgt men meestal een te sterke generatorstroom waarbij ook harmonischen optreden.

b) Zwakke weergave, c) Vervormde weergave.

Bij zwakke en vervormde weergave kunnen vaak dezelfde fouten gevonden worden. Daarom zullen wij de fouten aan de hand van één schakelschema bestudeeren (fig. 42). Meestal bestaan de volgende fouten:

kelschema bestudeeren (fig. 42). Meestal bestaan de volgende fouten:



- 1 — M.F.-spoel heeft kortsluiting tusschen de wikkelingen.
- 2 — M.F.-condensator beschadigd.
- 3 — Schermroosterweerstand verouderd.
- 4 — Anodeweerstand verouderd.
- 5 — Golflengteschakelaar beschadigd.
- 6 — Oscillator-roostercondensator defect.
- 7 — Oscillator-roostercondensator beschadigd.
- 8 — Afstemcondensator beschadigd.
- 9 — Paralleltrimmer defect.
- 10 — Spoelen hebben kortsluiting tusschen de wikkelingen.
- 11 — Kathodeweerstand verouderd.
- 12 — Kathodecondensator heeft slechte isolatie.
- 13 — Dempingsweerstand beschadigd of onderbroken.
- 14 — Afvlakcondensator der automatische sterkteregeling defect.
- 15 — Schermrooster-afvlakcondensator heeft slechte isolatie.

Heeft de M.F.-spoel L10 in den anodekring der menglamp een kortsluiting tusschen de wikkelingen, dan vermindert de geluidsterkte (afregeling gestoord) (geval 1). Dit is eveneens zóó bij een beschadigde M.F.-kring condensator C11, die b.v. een slechte isolatie of capaciteitsverlies kan vertoonen (geval 2).

Een verouderde schermroosterweerstand heeft een verkeerde bedrijfsspanning der menglamp voor gevolg. Naar aanleiding hiervan treedt meestal een vermindering der versterking en geluidsterkte, evenals vervorming op (geval 3). Ongeveer hetzelfde geldt voor den oscillator-anodeweerstand R7. In de meeste gevallen bekomt men hierdoor een te kleine amplitude (geval 4).

Door een beschadigd contact van den golflengteschakelaar wordt vaak de kring sterk gedempt, zoodat het genereren ophoudt. Dit laatste kan gebeuren bij een bepaalde positie van den afstemcondensator. Het is vooral zóó bij bevulde contacten of contactveeren met hoogen overgangswaerstand. Door een verkeerde nokkenpositie, gebroken schakeldeelen enz. bekomt men een verkeerde bereiksschakeling. Het kan gebeuren dat de spoelen van een bepaald bereik niet wor-

den ingeschakeld. Hierdoor ontstaat soms een beïnvloeding van de terugkoppeling, geringe generatorstroom en stille weergave. Bij spoelen met kortsluitcontacten, die de niet-gebruikte spoelen moeten kortsluiten, treden soms bij bepaalde posities van den afstemcondensator resonantiepunten op. Dit geschiedt wanneer de niet-gebruikte trillingskringspoelen door een defect van den golfengieschakelaar ingeschakeld blijven in de plaats van kortgesloten te worden (stille weergave) (geval 5).

Bij stille weergave onderzoeken men verder den oscillatorkoppelcondensator C6, daar, door een slechte isolatie van dezen condensator de anodespanning en bijgevolg ook de amplitude kan verminderen (geval 6). Ook door een beschadigde roostercondensator C5 bekomt men moeilijk genereren en een geringe amplitude, waarbij het werkpunt der lamp verschoven wordt en zwakke ontvangst optreedt. Heeft de roostercondensator een te kleine capaciteit dan genereert de oscillator slecht, waarbij de ontvangst op korte golf soms uitvalt (geval 7).

Ook de afstemcondensator C2, C10 draagt soms schuld aan zwakke ontvangst. Een sterke demping van den trillingskring ontstaat wanneer de afstemcondensator een overgangsweerstand heeft of de platen een slecht contact bezitten (geval 8). Men onderzoeken of geen stof of spaanders in den draaicondensator voorkomen alsmede of de aardingsveer een onberispelijk contact maakt.

Verschillende foutmogelijkheden bieden de talrijke trimmers die parallel met de spoelen van den trillingskring geschakeld zijn. Door een onderbreking van de trimmeraansluiting verandert de afregeling. De geluidsterkte en de selectiviteit neemt af. Soms zijn de elektroden onderbroken. Overgangsweerstanden veroorzaken een hoge demping van den betreffenden kring (geval 9).

Aan een vermindering der geluidsterkte dragen vaak de spoelen in de kringen schuld. Een kortsluiting tusschen de wikkelingen beteekent naast een vermindering der zelfinductie en gestoorde afregeling ook een verhoogde demping en een vermindering der geluidsterkte (geval 10). De geluidsterkte vermindert ook door een slechte soldeering aan de draadeinden (hoge kringdemping). Verdere demping wordt veroorzaakt door de seriecondensatoren (b.v. C8, C9) die in de spoelenreeks van den oscillator geschakeld zijn. Zóó kan bij een optredende overgangsweerstand de geluidsterkte verminderen. Een kortsluiting van den seriecondensator heeft vooral een storing van den gelijkloop voor gevolg (stille ontvangst).

Door een verouderde kathodeweerstand R2 verandert de roostervoorspanning en wordt het werkpunt der lamp verschoven, waardoor de geluidsterkte vermindert (geval 11). Bij een te hoge roostervoorspanning der regellampen is slechts de ontvangst van sterke zenders mogelijk, daar de automatische sterkteregeling de

gevoeligheid belangrijk vermindert. Heeft de kathodecondensator een slechte isolatie dan ontstaat een te lage roostervoorspanning, een verschuiving van het werkpunt en een stille weergave (geval 12).

Een ontoelaatbaar hoge waarde van den generatorstroom in den oscillator ontstaat vaak door een beschadigde of afgebroken dempingsweerstand (b.v. R5, R6). Een beschadigde dempingsweerstand moet door een geschikte weerstand vervangen worden (geval 13).

Bezit de afvlakcondensator C1 in de leiding der automatische sterkteregeling een slechte isolatie, dan treden bij sterke zenders sterke vervormingen op, doordat de automatische sterkteregeling slecht werkt (geval 14).

Vervormingen en gering geluidsterkte kan men verder bemerken bij 'n beschadigden schermrooster-afvlakcondensator C4, die geheel of gedeeltelijk kan kortgesloten zijn (geval 15).

Speciale gevallen.

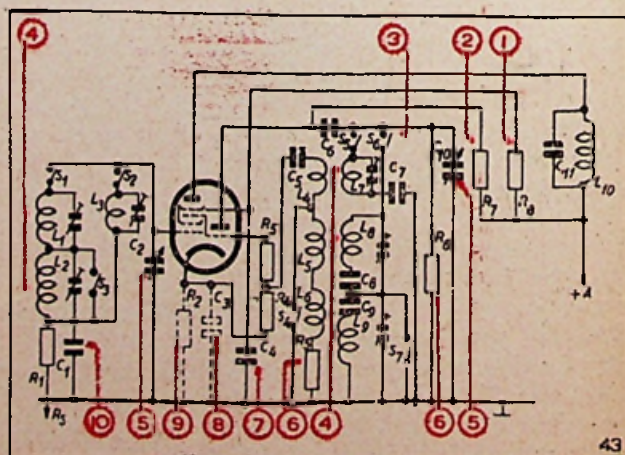
Een geringe geluidsterkte ontstaat soms ook door een beschadigde afscherinleiding. Zoo treedt door een slechte isolatie een hoge demping van den in aanmerking komenden kring op.

Indien geen fout aan een der bouwdeelen vastgesteld wordt, dan onderzoeken men verder de terugkoppelspoelen op juisten afstand met de toebehoorende spoel van den trillingskring. Moeilijk of niet-genereren op enkele punten der afstemschaal kan een vermindering der gevoeligheid verwekken.

Bevindt zich in den H.F.-kring een M.F.-sperring of een M.F.-zuigkring, dan kan de condensator van deze kringen, die als parallel- of seriecondensator geschakeld wordt, door een slechte isolatie een merkbare vermindering der geluidsterkte verwekken. Deze vermindering is soms slechts op een of meerdere bepaalde golfbereiken te bemerken.

d) Gestoorde weergave.

Bij het optreden van een storend geluid (knakken, fluiten, huilen enz.) in den mengtrap heeft men meestal met de volgende fouten te doen (fig. 43) :



- 1 — Schermroosterweerstand beschadigd .
- 2 — Anodeweerstand beschadigd.
- 3 — Golfengteschakelaar defect.
- 4 — Spoelen hebben kortsluiting tusschen de wikkelingen.
- 5 — Afstemcondensator trilt.
- 6 — Dempingsweerstand onderbroken of kortgesloten.
- 7 — Schermroostercondensator onderbroken.
- 8 — Kathodecondensator onderbroken.
- 9 — Kathodeweerstand beschadigd.
- 10 — Afvlakcondensator in den kring der automatische sterkeregelung beschadigd.

Door een beschadigden schermroosterweerstand bekomt de menglamp afwijkende spanningen en stroomen evenals een ongewenschte verschuiving van het werkpunt. Als gevolg hiervan kan een brontoon optreden (geval 1). Bij ouderdomsverschijnselen en contactstoringen van den schermroosterweerstand kunnen ruisch- en krastonen optreden. Dit is eveneens het geval voor een beschadigde anodeweerstand R7 (geval 2).

Door een beschadigd contact van den golfengteschakelaar kunnen ruisch-, kras- of kraakgeluiden ontstaan. Meestal worden ruisch- en krastonen door bevulde contacten veroorzaakt, terwijl kraakgeluiden door een versleten contactveer opgewekt worden (geval 3).

Door kortsluiting tusschen de wikkelingen der

spoelen worden kraakgeluiden opgewekt. Dit is echter slechts dan het geval wanneer het om geen blijvende, maar wel om een tijdelijke kortsluiting gaat, die vooral door mechanische schokken veroorzaakt wordt (geval 4). Dit geldt zoowel voor de spoelen van een trillingskring als voor de koppelspoelen.

Huilverschijnselen ontstaan soms door den afstemcondensator wanneer door een groote geluidsterkte de platen mede trillen (geval 5).

Fluittonen maken zich bij sterke harmonischen van den oscillator bemerkbaar. Bij verhoogde bedrijfsspanningen der menglamp zal men dit vooral in den oscillator bemerken. Het is eveneens het geval wanneer de amplitude een te hooë waarde bereikt, als gevolg van een beschadigde dempingsweerstand in het oscillatordeel. Dit is b.v. zóó wanneer de in parallel met den trillingskring geschakelde dempingsweerstand R6 een onderbreking vertoont of de serieweerstand R5 in den terugkoppelkring kortgesloten is (geval 6).

Door een onderbroken afvlakcondensator b.v. in den schermroosterkring treedt brommen op. Heeft de afvlakcondensator een slechte isolatie dan heeft men vaak met kras- en kraakgeluiden te doen (geval 7). Brommen is verder bij een onderbroken kathodecondensator C3 bemerkbaar (geval 8). Ook een beschadigde kathodeweer-

CONSTRUCTEURS,

HET RENDEMENT VAN UW TOESTEL ZAL NOG VERHOOGD WORDEN DOOR TOEPASSING VAN

PHILIPS "MINIWATT"

BUIZEN EN ONDERDEELEN.

"STANDAARD,, REEKS

WISSELSTROOM

UNIVERSEEL



FCH 21	ECH 4	ECH 4	UCH 21	UCH 4	UCH 21
ECH 21	FCH 4	EF 9	UCH 21	UCH 4	UF 21
EBL 21	EBL 1	EBC 3/EBF 2	HBL 21	UBL 1	UF 21
AZ 1	AZ 1	EL 4	UYIN	UYIN	UHL 1
EM 4	EM 4	AZ 1	UM 4	UM 4	UYIN
		EM 4			UM 4



LUIDSPREKERMOTOREN met permanenten magneet 13 - 17 - 21 cm.

Uitgangstransformatoren hiervoor. Potentiometers. Ceramische en buiscondensatoren. Draaibare condensatoren, smoorspoelen, regelbare luchtcondensatoren. Buisvoetjes. Koolweerstand en draadgewikkelde weerstanden. Electrolitische condensatoren. IJzerkernen.

stand kan soms een bromtoon verwekken (geval 9).

Tenslotte bemerkt men verschillende storende geluiden bij een beschadigde atv.akcondensator in den kring der automatische sterkteregeling. Men kan zowel brommen als zelfopwekking bemerken (ook het zgn. « druppelen ») (geval 10). Ongeveer dezelfde storingen bemerkt men bij een open roosterkring, waarbij soms ook de avlakweerstand R_1 in de leiding der automatische sterkteregeling beschadigd is.

Terugwerkingen van verschillende aard ontstaan overigens door een slechte afscherming. Heeft b.v. de M.F.-bandfilter een ontoereikende afscherming of is de verbinding met de massa onderbroken, dan bestaat er gevaar voor zelfopwekking (fluiten enz.). Dit is eveneens zóó voor afschermleidingen met onderbroken verbinding met de massa.

Speciale gevallen.

Buiten de reeds besproken foutmogelijkheden zijn er nog verschillende andere fouten die in den mengtrap optreden. Bij onvoldoende selectiviteit, die niet door den M.F.-versterker ontstaat, hebben in de meeste gevallen den oscillator en H.F.-kring geen voldoende afregeling. Vaak is het niet mogelijk den mengtrap onberispelijk af te regelen. In dit geval is meestal een fout in de trillingskringen aanwezig. Zoo kan b.v. door een fout aan de spoel geen afregeling bereikt worden (H.F.-ijzerkern beschadigd, schroefdraad gebroken enz.). Dit is ook het geval wanneer een fout aan den trimmer aanwezig is (trimmer beschadigd, capaciteit te klein of te groot, contactafname beschadigd enz.). Men onderzoekt verder ook de in den oscillatorkring geschakelde seriecondensatoren (capaciteitsmeting met de meetbrug).

Een afwijkende ijking kan ontstaan door een mechanische fout aan de schaal of een elektrische fout in den oscillator. Als mechanische fouten vindt men vaak verschoven schaalnaalden en schalen enz. Elektrische fouten in den oscillator zijn o.a.: capaciteitswaarde van den trimmer en den seriecondensator veranderd, trimmer of spoel van den trillingskring beschadigd enz.

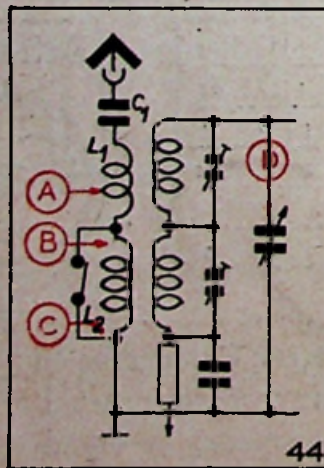


Fig. 44. — Schakelschema voor de controle van den antennekring met den meetzender.

G) — Foutzoeken in den antennekring.

Heeft men in den mengtrap geen fout kunnen vinden, dan zal men in een superheterodyne met H.F.-versterker, in dezen laatste zoeken. Hierbij gaat men op dezelfde wijze te werk als bij het foutzoeken in den M.F.-versterker.

Wanneer na de controle van al de ontvangertrappen de fout nog niet gevonden is, dan blijft als laatste mogelijkheid de antennekring over. Ter controle stelt men den meetzender en het toestel b.v. op 1500 kHz in, en onderzoekt met de aansluiting van den meetzender de bouwdeelen van den antennekring. Treedt bij het aanleggen H.F.-spanning aan de punten A, B, of C (fig. 44) geen of slechts zwakke ontvangst op, terwijl bij het aanleggen der H.F.-spanning aan den H.F.-kring (punt D) een normale ontvangst mogelijk is, dan gaat het waarschijnlijk om een fout in den antennekring.

De in den antennekring optredende fouten maken zich meestal op de volgende wijze bemerkbaar:

- a) Geen ontvangst.
- b) Zwakke ontvangst.
- c) Gestoorde ontvangst.

a) Geen ontvangst.

Bij het uitblijven der ontvangst zijn meestal de volgende fouten aanwezig (fig. 45):

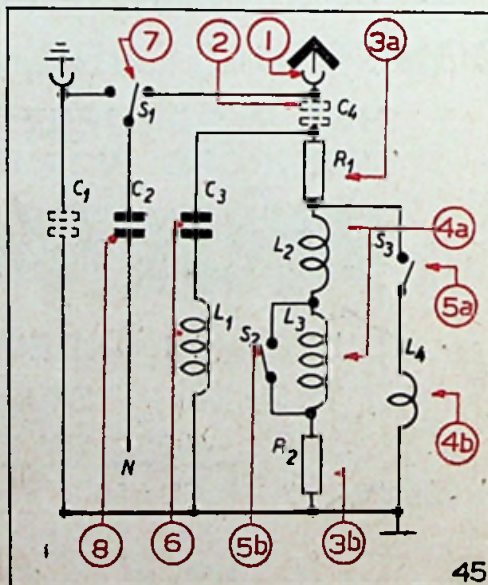


Fig. 45. — Schakelschema voor het opsporen der fouten bij het ontbreken der weergave.

- 1 — Antennebus beschadigd.
- 2 — Schermcondensator onderbroken.
- 3 — Dampingsweerstand onderbroken.
- 4 — Antennespoel onderbroken.
- 5 — Golflengeschakelaar beschadigd.
- 6 — Zuigkring veroorzaakt kortsluiting.
- 7 — Schakelaar van de netantenne beschadigd.
- 8 — Condensator van de netantenne onderbroken.

(Wordt voortgezet)

BON

(Voor de Redactie.)

In welke artikels stelt U het meest belang?

Welke onderwerpen zoudt U graag behandeld zien ?

.....

.....

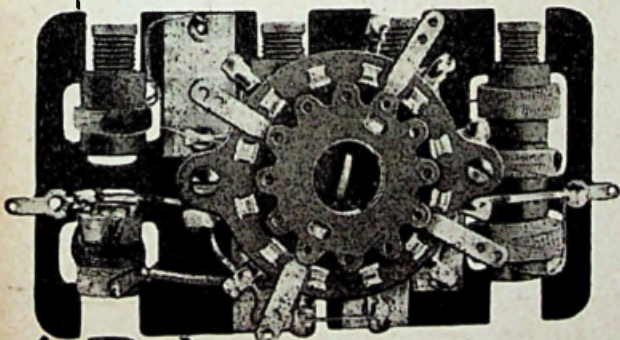
.....

.....

.....

.....

.....



★ **ISOFER**
Noyau magnétique
à réglage progressif
et freiné.
Equipe aussi
ISO MF 44

ISOBLOC 245

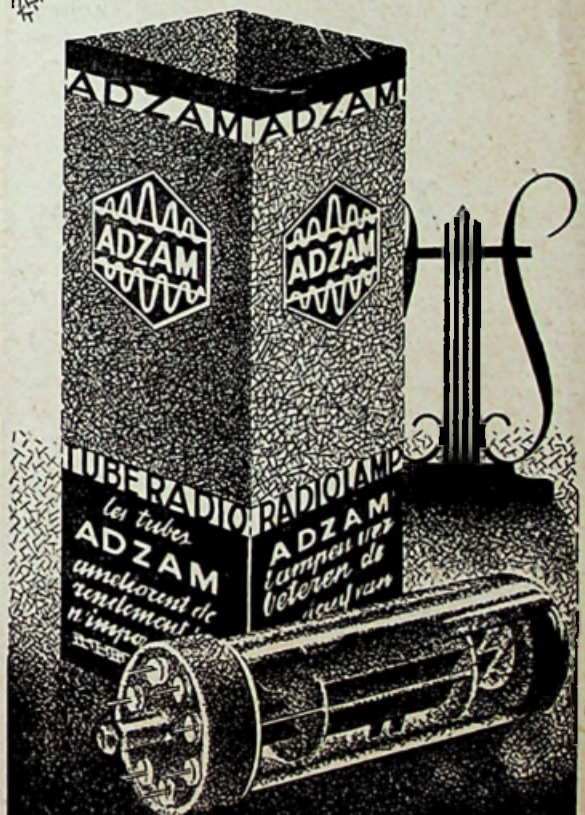
Bloc 3 gomes à
5 circuits réglables
par noyau ISOFER.

**SOCIÉTÉ
OMEGA**

15 rue de Milan, Paris-9^e - Tri 17-60
11-13 rue Songieu, Villeurbanne - Vil 89-90

R.-L. Dupuy.

GEBRUIKT
ADZAM
LAMPEN
IN UWE
APPARATEN



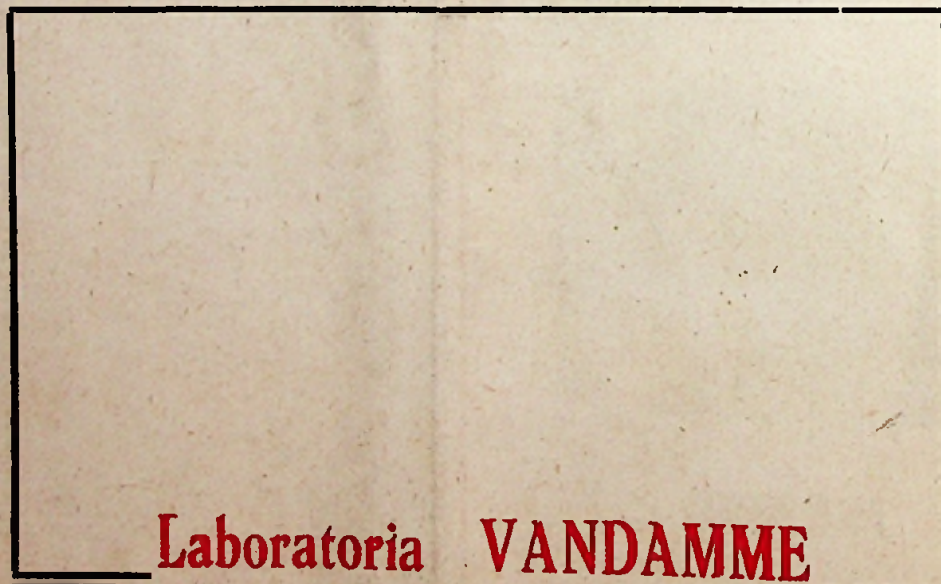
ADZAM

A.P.I.

IN UW VAK **GEBRUIKT U**

**M E E T Z E N D E R S
M E E T B R U G G E N
U N I V E R S E E L E M E T E R S
O S C I L L O G R A F E N
L A M P T E S T E R S**

Ze vervaardigen is **ONS VAK**



Laboratoria VANDAMME

**PRINS LEOPOLDSTRAAT, 28
ANTWERPEN (BORGERHOUT) Tel. 552.55**

