

Radio-Nieuws.

ORGAAN VAN DE NED. VER.

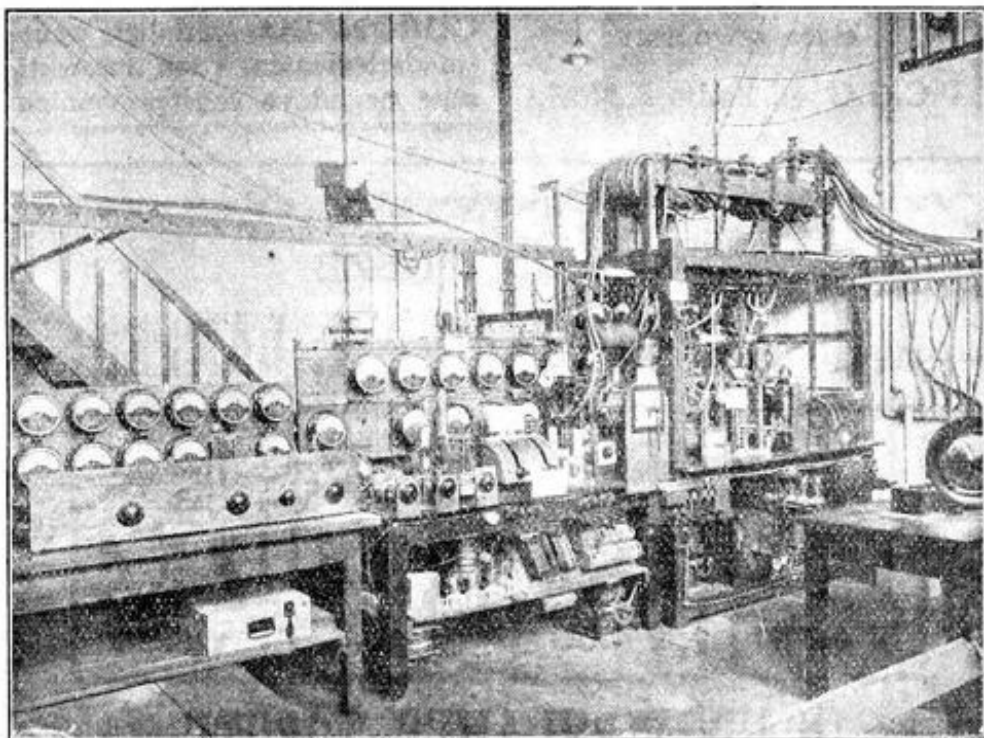
Onder Redactie van
J. CORVER,

Burnierstraat 38, Den Haag.



VOOR RADIO-TELEGRAFIE.

Uitgever: N. VEENSTRA,
Laan van Meerdervoort 30,
Den Haag. Tel. 32112.



TELEFONIE HOLLAND-INDIË
DE KORTE GOLFZENDER P. C. J. J.

Radio-Nieuws.

ORGAAN VAN DE NED. VER.

Onder Redactie van J. CORVER,

BURNIERSTRAAT 36,

DEN HAAG.

**VOOR RADIO-TELEGRAFIE.**

Uitgever: N. VEENSTRA,

LAAN VAN MEERDERVOORT 30,

DEN HAAG. Tel. 32112.

Abonnementsprijs voor niet-leden f 9.— per jaargang van 12 nummers. Buitenland f 10.—

Leden der Vereeniging (contributie f 8.— per jaar) ontvangen het maandblad gratis.

Secretaris-Penningmeester: B. Slikkerveer, Obrechtstraat 104/6, den Haag.

INHOUD: Radiotelefonie Holland—Indië. — Vereenigingsnieuws.

Radiotelefonie Holland — Indië.

Door J. J. NUMANS.

Inleiding.

Voor draadloos telefoneren is in het algemeen aanzienlijk méér zend-energie noodig dan voor draadloos telegraferen.

Voor telegrafie is het voldoende, wanneer het verschil tusschen aan- en afwezigheid van een signaal, bijv. een fluittoon met eenige zekerheid geconstateerd kan worden, zoodat daarmee punt-streep signalen gegeven kunnen worden.

Om te kunnen telefoneren is het noodzakelijk — door middel van een ontvanginstallatie en een telefoon — sterktevariatiën in een draadloos signaal vrij nauwkeurig als luchtdrukvariatiën te kunnen reproduceeren. Ook geringe sterktevariatiën moeten daarbij nog duidelijk onderscheiden kunnen worden. En, aangezien de zender de energie moet kunnen leveren, zelfs voor de grootste amplitude van de sterktevariatiën, is voor telefonie een veel krachtiger zender noodig dan voor telegrafie.

Voor het draadloos telegraferen met Indië met lange golflengte (eenige duizenden meters) is een antenne-energie noodig gebleken van eenige honderden kilowatts.

Voor het telefoneren tusschen Engeland en Amerika — over een afstand dus van ca.

5000 K.M. — is eveneens een antenne-energie noodig van enkele honderden kilowatts. Daarbij wordt bovendien, — o.a. ter energiebesparing — nog gebruik gemaakt van een bijzonder zendsysteem, dat ongeveer berust op het slechts uitzenden van de sterktevariaties (single-sideband).

Voor het telefoneeren met Indië met lange golflengte — waarbij een afstand van ca. 12000 K.M. overbrugd moet worden en waarbij in aanmerking genomen moeten worden de veelal hevige luchtstoringen in de tropen — zou momenteel de techniek vermoedelijk niet in staat zijn een voldoende krachtigen zender te construeeren.

Het is dan ook geen wonder, dat aan de technische mogelijkheid van telefoneeren met Indië, of over dergelijke afstanden, voor enkele jaren nog niet gedacht werd.

Met het in gebruik komen van korte golven van de orde van enkele tientallen meters werd de toestand echter anders.

De zendproeven door amateurs (1) en de uitzendingen van het Amerikaansche station KDKA te Pittsburgh en de proeven door de Marconi Co. toonden aan, dat op korte golflengte met *geringe energie* zeer groote afstanden overbrugd konden worden. De theoretische verklaring van dit verschijnsel lag daarbij nog in het duister.

(1: Transatlantische duplex verbinding met een golflengte van omstreeks 100 meter tusschen Deloy te Nice en Schnell te Hartford op 27 November 1923. Energie was ca. 0,5 k.W.)

Bij deze proeven met korte golven deden zich snelle en hevige schommelingen in signaalsterkte — bekend onder den naam "fading-effect" — in hinderlijke mate gelden. Een gunstige omstandigheid, — speciaal met het oog op verkeer met Indië — is, dat luchtstoringen relatief minder hevig zijn dan op lange golf.

In den loop van 1925 bleek, dat met een energie van slechts enkele honderden watts telegrafie-verbinding tusschen Nederland en Indië vice versa mogelijk was. Voor een betrouwbaar dienstverkeer zou natuurlijk meer noodig zijn.

De kortegolfsenders van de Rijkstelegraaf, eerst in het laboratorium te Den Haag, later te Kootwijk, hebben het bewijs geleverd, dat, in weerwil van het fadingeffect een betrouwbare telegraafdienst onderhouden kan worden (opening 7 Augustus 1925) met slechts enkele kilowatts antenne-energie.

De vraag, of telefonie met Indië wellicht met *korte golf* mogelijk zou zijn, was zeer zeker gewettigd, in aanmerking genomen de resultaten met telegrafie. Echter zijn de moeilijkheden, verbonden aan het opwekken van korte golven, zeer veel ernstiger dan van lange golven, zóó zelfs dat toentertijd enkele kilowatts reeds vrijwel de grens van het technisch bereikbare was. En ook nu is de techniek in dit opzicht niet zoo heel veel verder ! Enkele tientallen kilowatts behooren nu tot het technisch mogelijke.

Een tweede vraag, welke zich voordeed, was, of het fadingeffect de verstaanbaarheid van telefonie niet zoodanig zou beïnvloeden dat van een eenigszins betrouwbare verbinding geen sprake zou zijn.

De ontvangstresultaten in Nederland van het Amerikaansche kortegolf-

telefoniestation KDKA op een golflengte van ca. 65 meter, waren, — hoewel op zichzelf zeer merkwaardig — in dit opzicht niet zeer hoopgevend, in aanmerking nemende dat daarbij reeds van de grootst mogelijke energie gebruik gemaakt werd. Onder gunstige omstandigheden waren nu en dan enkele woorden of zinnen verstaanbaar.

In elk geval was omstreeks 1925 wel duidelijk, dat het mogelijk zou zijn met korte golf over zeer grooten afstand te telefoneren, maar of van eenige betrouwbaarheid van een dergelijke verbinding sprake zou kunnen zijn, werd allerwege sterk betwijfeld.

Korten tijd later versterkten o.a. telefonieproeven door amateurs (o.a. Engeland, met Amerika, Australië en New Zealand) dit vermoeden. Inderdaad was de verbinding zeer grillig en niet betrouwbaar. De energie bedroeg echter slechts ca. 1 kilowatt. Dit geschiedde met golflengten van ca. 25 tot 45 meter.

Hier stond evenwel iets anders tegenover.

Ontvangproeven op zeer korte golflengte van zenders o.a. in Zuid-Amerika — ongeveer gelijke afstand als Ned. Indië — toonden aan, dat op omstreeks 25 tot 35 meter golflengte over dezen afstand de signaal sterkte groter en fading minder hinderlijk was dan op langere golven. En wanneer het mogelijk was met ca. $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ k.W. te telegraferen zou het vermoedelijk wel mogelijk moeten zijn met bijv. 10 k.W. te telefoneren ! Alleen het experiment zou op deze vraag antwoord kunnen geven — doch een dergelijk experiment is zeer kostbaar. De ruime gelegenheid, welke op het Natuurkundig Laboratorium van de N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken bestond tot het verrichten van de noodige experimenten, verbonden aan het feit dat genoemde firma zich reeds geruimen tijd toelegde op het fabriceren van watergekoelde zendlampen voor groot vermogen zoowel voor lange als voor korte golf en daarvoor in het laboratorium o.a. een gelijkrichterinstallatie van groot vermogen bezat, zijn dan ook de factoren geweest welke geleid hebben tot den bouw van den Philips' zender PCJJ.

Daarbij werd niet alleen gedacht aan de mogelijkheid van een eventuele toekomstige duplexverbinding, doch tevens aan een omroep, eventueel ook naar andere werelddeelen. In aanmerking kwamen o.a. Zuid-Amerika, Australië en Z-Afrika. De golflengtekeuze geschiedde dan ook met het oog daarop.

Van den aanvang af kwam het vraagstuk dus neer op de constructie van een kortegolfzender met zoo groot mogelijk vermogen en zoo zuiver mogelijke modulatie. Wanneer het doel had bestaan uitsluitend in het breken van een record, had met aanzienlijk minder hooge technische eischen volstaan kunnen worden, doch een dergelijke proef zou vermoedelijk betrekkelijk weinig waarde gehad hebben voor het onderzoeken van de betrouwbaarheid en duidelijkheid van een telefonische verbinding met Indië.

De eerste experimenten hadden ten doel het opwekken van zoo groot mogelijke hoogfrequentenergie op een golflengte van ca. 40 meter en geschiedden met een zoo eenvoudig mogelijke schakeling. Met het grootste type glazen triode kon niet veel meer dan ca. één kilowatt verkregen worden en op korter golflengte zelfs minder. Deze proeven leidden o.a. tot het inzicht, dat met glazen trioden het opwekken van voldoende hoogfrequentenergie slechts gelukken zou door parallelschakeling van een betrekkelijk

groot aantal en dat dit juist op korte golflengte vrij ernstige technische bezwaren zou opleveren. Toepassing van watergekoelde trioden zou hier in vele opzichten eenvoudiger blijken.

Een gelukkige omstandigheid was, dat reeds toentertijd Philips een speciale watergekoelde kortegolf-triode vervaardigde. De mechanisch stevige en vacuumdichte lasch van glas aan een bijzondere chroomijzerleggering, welke in het laboratorium was gevonden en uitgewerkt, opende daartoe de mogelijkheid, en had geleid o.a. tot de vervaardiging van watergekoelde zendtrioden en gelijkrichterbuizen. De chroomijzeren anode vormt daarbij een deel van den buitenwand en kan met circuleerend water intensief gekoeld worden. Een dergelijke triode kan een zeer groote energie verwerken.

Voor proeven met watergekoelde trioden werd in het najaar 1925 een proefzender gebouwd, eveneens volgens eenvoudige schakeling. Zonder bijzonder groote technische moeilijkheden bleek het hiermee mogelijk te zijn een aanzienlijk vermogen te ontwikkelen. Bij telegrafiproeven kon de toegevoerde anode-energie ca. 40 kilowatt bedragen bij een anodespanning van 15.000 V.

Met beide proefzenders werden telegrafiproeven genomen, o.a. met het oog op het later kunnen vaststellen van een geschikte golflengte voor den telefoniezender.

Voor het uitzenden van telefonie zou het principieel voldoende geweest zijn, wanneer bijv. de anode- of de roosterspanning en daardoor de amplitude van de hoogfrequente trillingen gevarieerd werd door middel van een microfoon en bijbehorende versterkers. Het zou dus ongetwijfeld mogelijk geweest zijn, met dien zender te telefoneren. Bij de proeven bleek echter — zooals ook theoretisch te voorzien was — dat de opgedrukte spanningvariaties ook nog frequentievariaties tengevolge hadden, hetgeen met dergelijke eenvoudige schakelingen gewoonlijk wel het geval is. Deze frequentievariaties kunnen bij de ontvangst aanleiding geven tot bijkomstige sterktevariaties, zoodat de resulterende sterktevariaties niet meer overeenkomstig de opgedrukte spanningvariaties zijn. Behalve de gewenschte "amplitude-modulatie" treedt dus ook nog "frequentie-modulatie" op, welke vooral op korte golf aanleiding kan geven tot zoodanige vervorming, dat spraak zelfs onverstaanbaar wordt.

De volgende proeven hadden daarom tot doel te geraken tot een systeem, waarbij de frequentie onafhankelijk is van de spanningen. Zonder bezwaar konden deze proeven met de geringe energie van 10 tot 50 watt geschieden.

Voor het verkrijgen van een constante frequentie werd in Amerika in het bijzonder voor kortegolfzenders gebruik gemaakt van een triode-oscillator met een piëzo-electrisch kwartskristal dat mechanisch in zeer hooge en uiterst constante frequentie vibreert en dus ongeveer dienst doet als electro-mechanische stemvork.

De op deze wijze verkregen geringe hoogfrequent-energie van uiterst constante frequentie kan met behulp van trioden versterkt worden. Dit proces kan, door toepassing van eenige versterkers in cascade, zoo vaak herhaald worden, totdat voldoende energie verkregen wordt. Daarbij moeten de noodige voorzorgen genomen worden opdat de laatste versterkertrappen met groote energie niet terugwerken op voorgaande trappen, aangezien dit tot zeer ongewenschte verschijnselen zou kunnen leiden, o.a. vernieling van

de apparaten van de eerste trappen.

Aangezien aan de modulatiekwaliteit van den toekomstigen zender hoge eischen zouden worden gesteld, werden gelijktijdig proeven genomen met modulatiesystemen. Ook aan het microfoonprobleem en de bijbehorende laagfrequentversterkers werd de noodige aandacht geschonken.

Den 25 juni 1926 had de eerste van een reeks proefuitzendingen plaats met een kortegolf-telefoniezender van gering vermogen en een golflengte van 90,56 meter, feitelijk bestaande uit een combinatie van de apparaten, waarmee bovengenoemde proeven waren genomen. Dit was dus de eerste kortegolftelefoniezender in Europa welke met kristal gestuurd werd.



Fig. 1. Experimenteele telefoniezender met kristal gestuurd. Golflengte 90,56 m. De linksche tafel bevat versterkers en modulator; de rechtsche tafel het hoogfrequente deel.

Fig 1 is een foto van dezen zender, en fig 2 is een afbeelding van de microfoon met bijbehorenden versterker.

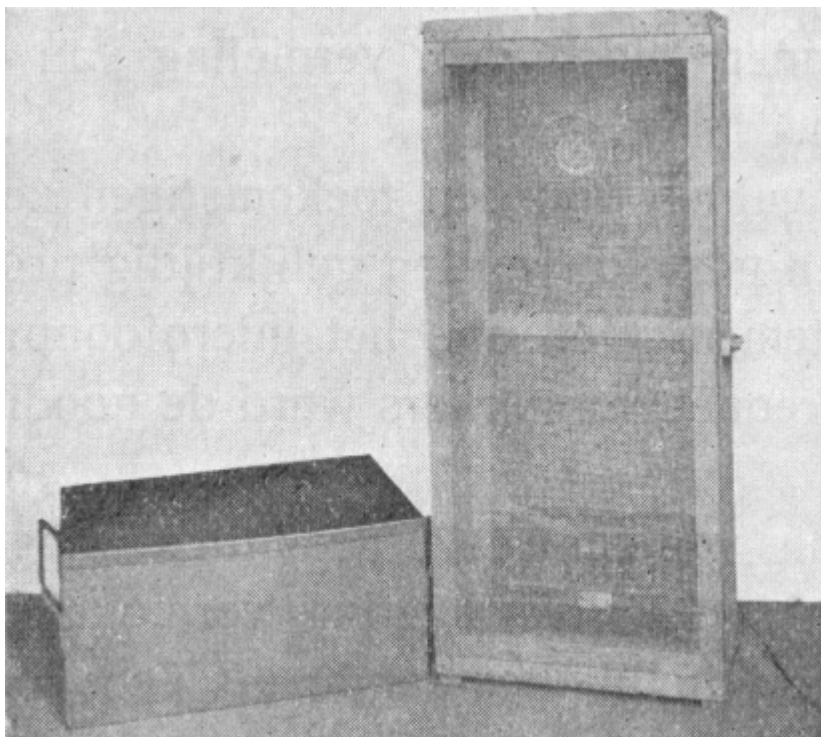


Fig. 2. Microfoon in kopergaasscherm en versterker (links).

Spoedig werd de energie van dezen zender verhoogd tot ca. 300 watt en gedurende den zomer van 1926 vonden tweemaal per week uitzendingen plaats welke tot in Duitsland en Oostenrijk duidelijk ontvangen werden. Als muziekbron werd in hoofdzaak, van een gramfoon gebruik gemaakt. De modulatiezuiverheid van dezen zender bleek inderdaad aan de verwachtingen te voldoen, terwijl tevens bleek, dat de frequentie-constantheid tengevolge van de toepassing van het kristal daar veel toe bijdroeg. Van groot belang bleken ook te zijn toepassing van een goede microfoon en van versterkers, welke alle in aanmerking komende frequenties gelijkelijk weergeven en versterken. Ook de acoustische eigenschappen van het vertrek waarin de microfoon opgesteld is, zijn van grooten invloed, in het bijzonder op de verstaanbaarheid van het gesproken woord.

De golflengte van ca. 90 meter was gekozen, aangezien deze gunstig is voor de betrekkelijk korte afstanden waarvoor deze zender bedoeld was en dit een harmonische frequentie is van 30 meter, de golflengte van den toekomstigen kortegolfsender van groot vermogen. Als merkwaardigheid kan genoemd worden, dat bij de eerste uitzendingen met den 30-meterzender gebruik gemaakt werd van het oscillatorgedeelte met kristal van den zoeven afgebeelden 90-meterzender, en van de microfoon met versterker daarvan.

In het najaar van 1926 werd begonnen aan den bouw van den 30-meter zender. Omstreeks December kwam het oscillatorgedeelte gereed tot en met den laatsten versterkingstrap.

Omstreeks januari kwam het modulatorgedeelte gereed. Door bijzondere omstandigheden was echter nog niets aanwezig van de benoodigde smoorspoelen en condensatoren voor de afvlakking en modulatie. Naar het zich liet aanzien, zou hierop, in het bijzonder op de condensatoren, nog vrij geruimen tijd gewacht moeten worden, zoodat de eerste maanden nog geen telefonie-uitzending zou kunnen plaats vinden.

Het bleek echter, dat met den aanwezigen zesfazengelijkrichter door verlagen van de emissie van de gelijkrichterbuizen een vrij zuivere gelijkstroom verkregen kon worden, ook zonder eenig afvlakmiddel, terwijl niettegenstaande de hooge verliezen, toch nog voldoende energie voor eventueele uitzending verkregen kon worden. Tevens bleek, dat de onder deze omstandigheden vrij hooge inwendige weerstand van de gelijkrichterbuizen tegelijk als koppelimpedantie voor het moduleeren kon dienen. Deze combinatie van gelukkige omstandigheden maakte, dat op 6 Maart 1927 een proefuitzending met telefonie kon plaats vinden. In verband met den nog vrij sterken bromtoon werden evenwel nog geen aankondigingen gedaan. De daarop volgende week werd besteed aan het aanbrengen van eenige kleine verbeteringen aan zender en modulatieinrichting terwijl bovendien een betrekkelijk kleine smoorspoel gereed kwam. De verbetering in afvlakking en modulatie hiermee was reeds aanzienlijk. Bij de proefuitzending in den vooravond van 11 Maart 1927 was de modulatie zoodanig dat — zij het na eenige aarzeling — tweemaal de indentiteit van het station bekend gemaakt werd door de mededeeling dat het een proefuitzending was van het Philips' laboratorium te Eindhoven.



H. M. de Koningin en H. K. H. Prinses Juliana spreken Nederlandsch Oost- en West-Indië toe op 30 Mei 1927.

Den volgenden morgen werd een telegram ontvangen van den Heer A. C. de Groot uit

Bandoeng hetwelk de goede ontvangst van de uitzending van den vorigen avond meldde en in de avondbladen verscheen een overeenkomstig Anetatelegram. Later bleek, dat gelijktijdig ook de heer S. van Viegen te Koeningan bij Cheribon ontvangst had gehad. De heer de Groot telegrafeerde: "30,2 meter kortegolffoon schitterend" en de heer van Viegen schreef: "hoorde ik de muziek en na beëindiging van het nummer met een bijna verbijsterende duidelijkheid — de aankondiging: "Hier Philips' radiolaboratorium Eindhoven, Holland op 30,2 meter golflengte.". Modulatie onberispelijk. Het geheele programma kwam schitterend over. Luchtstoringen, ofschoon vrij sterk, niet hinderlijk tengevolge van de enorme sterkte der muziek. Het was praktisch *volmaakt !*" In verband hiermee werd de geheele volgende week elken avond uitgezonden. Naarmate verdere ontvangstberichten volgden en zooals vooral uit de gedetailleerde rapporten van de Gouvernementsradiodienst bleek, was de ontvangst geenszins een toevalseffect, aangezien uren achtereen zoowel muziek als het gesproken woord duidelijk ontvangen konden worden.

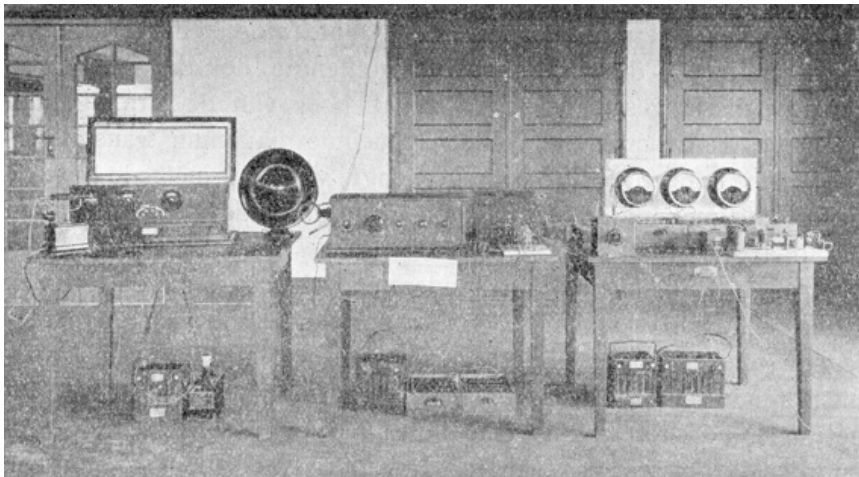


Fig. 3. Ontvangers en versterkers welke dienst hebben gedaan bij de eerste proeven met duplex-telefonie Holland-Indië (Juni 1927), waarbij meermalen de verbinding uitstekend gedurende verscheidene uren gehandhaafd kon worden. Teneinde storing door den eigen zender te voorkomen werd dit ontvangststation door ir. G. van Beusekom opgesteld in een localiteit op eenigen afstand van het laboratorium gelegen.

Al spoedig bereikte de telegrammen- en brievenstroom van alle zijden van de wereld dergelijke afmetingen, dat het niet doenlijk was de behandeling daarvan op het laboratorium te doen geschieden. Medio April werd de Heer Ir. J. M. Verff belast met de functie van "omroeper". Behalve het doen van de noodige mededeelingen en het samenstellen van de programma's omvat deze taak het sorteren en beantwoorden van de ingekomen ontvangrapporten, het in overzichtelijken vorm brengen van den wezenlijken

inhoud hiervan enz. De hoeveelheid arbeid hieraan verbonden, kan men o.a. beoordeelen aan het feit, dat sinds de eerste uitzending ca. 6000 brieven en telegrammen betreffende de uitzendingen ontvangen zijn.

Over de Technische Inrichting van kortegolf-telefoniezenders.

Een telefoniezender is in het algemeen een inrichting waarmee wisselstroom van zeer hoge frequentie opgewekt wordt en waarvan de amplitude wijzigingen ondergaat overeenkomstig de amplitude van een laagfrequenten wisselstroom, welke verkregen kan worden van een bij de geluidsbron opgestelde microfoon.

De functie van het antennesysteem is, de door den zender opgewekte energie voor een zoo groot mogelijk deel uit te stralen in den vorm van electromagnetische golven en wel in voor de transmissie zoo gunstig mogelijke richtingen. Voor het bereiken van één bepaald ontvangstation of één werelddeel is in het algemeen geringe spreiding gunstig; voor een omroep, waarmee bijv. beoogd wordt werelddeelen in verschillende richtingen te bestrijken, moet de spreiding daarentegen groot zijn: d.w.z. de antenne moet weinig richtwerking vertoonen en zooveel mogelijk in alle richtingen stralen.

In verband met de eigenschappen van het medium — i.c. geïoniseerd gas, in de hoge lagen van de atmosfeer, waarvan de ionisatiegraad vermoedelijk in hoge mate afhankelijk is van de zonnestraling — dienen, behalve de golflengte, ook de tijd waarop de transmissie geschiedt en de elevatiehoek van de straling, aan bepaalde voorwaarden te voldoen, teneinde maximum transmissierendement te bereiken. Voor de golflengte van 30,2 meter is bijv. de verbinding met Indië het gunstigst in de namiddag- en avonduren in Holland.

Naast de ontwikkeling van zenders en ontvangers zal de techniek in de toekomst waarschijnlijk in toenemende mate zich gaan toeleggen op het vinden van systemen waarmee stralings- en transmissierendement zoo hoog mogelijk opgevoerd worden en waarbij het zoo hinderlijke fadingverschijnsel — vermoedelijk veroorzaakt door snelle wisselingen van het transmissierendement — tot een minimum gereduceerd wordt.

Wij zullen hier niet nader ingaan op de verschijnselen, welke voor de transmissie van korte golven van belang zijn, doch onze aandacht meer richten op de electro-technische zijde van de zendtechniek, dus op hetgeen in het zendstation gebeurt.

Van de vele zendersystemen, welke in de radiotelegrafie met lange golven toepassing hebben gevonden, is tot nog toe slechts één bruikbaar gebleken voor het technisch opwekken van korte golven, n.l. de triodezender. Met andere systemen is het nog niet mogelijk gebleken met de vereischte frequentieconstantheid een voldoende vermogen op te wekken met een redelijk rendement. Het rendement van een triodezender daarentegen is binnen wijde grenzen practisch onafhankelijk van de golflengte, mits de noodige voorzorgen genomen worden. Op golven langer dan ca. 10 meter, zooals die voor de praktijk in aanmerking gekomen zijn, kunnen betrekkelijk gemakkelijk 10 à 20 k.W. hoogfrequentenergie opgewekt worden. De moeilijkheden zijn voor een groot deel gelegen in het constanthouden van de golflengte.

Aan een triodezender kunnen in het algemeen de volgende deelen onderscheiden worden:

1e. de *energiebronnen* voor den eigenlijken zender. Noodig is in hoofdzaak energie voor de gloeidraden van de trioden (gelijk- of wisselstroom van 10 à 20 V. spanning) en hooggespannen gelijkstroom voor de anodevoeding (enkele duizenden Volts).

2e. het *hoogfrequente deel* (de eigenlijke zender) bestaande uit trioden en bijbehorende trillingsketens, waarmee de toegevoerde energie voor een zoo groot mogelijk deel omgezet wordt in hoogfrequent-energie van zeer constante frequentie — ook constant blijvend gedurende het moduleeren.

3e. de *modulatie-inrichting*, eveneens trioden bevattende en dienende, om de amplitude van den opgewekten hoogfrequentstroom te moduleeren overeenkomstig de amplitude van den microfoonstroom.

4e. de *opname-inrichting*, bestaande uit microfoons en bijbehorende versterkers, welke eveneens trioden bevatten.

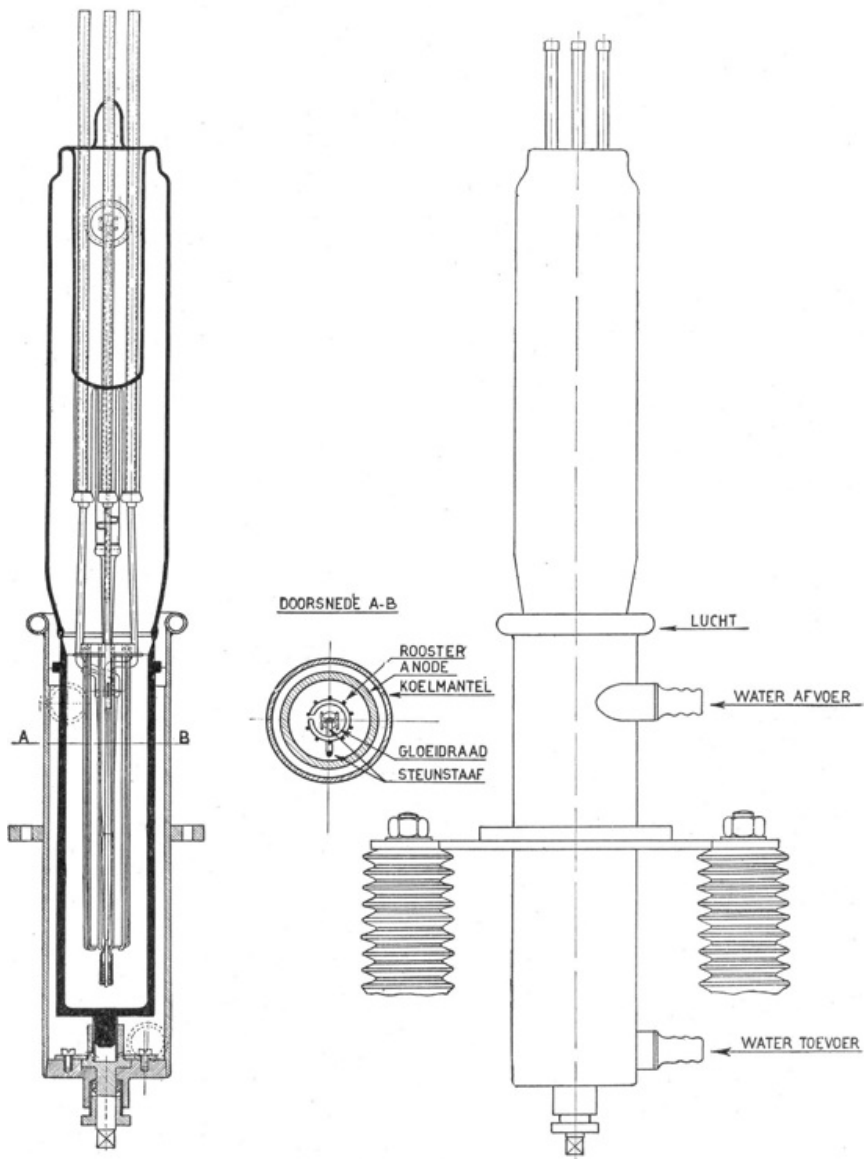


Fig. 4. Watergekoelde modulortriode MA 12/15000.

De gegevens van deze triode zijn:

Gloeispanning $V_f = 17,5 \text{ V}$.

Gloeistroom $i_f = 78 \text{ A}$.

Emissie $I_s = ca. 8 A.$

Max. anode dissipatie $W_a = 15 k.W.$

Fig. 4 en 5 zijn afbeeldingen van watergekoelde trioden, zooals die in den Philips-kortegolfzender gebruikt worden. Het zijn normale types zendtrioden, zooals deze door genoemde firma in den handel gebracht worden.

Bij de watergekoelde triode voor groot vermogen van fig. 4 bestaat de gloeidraad uit twee parallel geschakelde V-vormige wolframdraden. Het rooster bestaat uit eenige wolframstaven, welke een wolfram spiraal dragen. De anode is een chroomijzeren cylinder en maakt deel uit van den buitenwand. De tengevolge van electronen-bombardement aan de anode vrijkomende warmte wordt door middel van circuleerend koelwater afgevoerd. De triode is daartoe voorzien van een koelmantel. De cilindrische glazen stukken aan de anode zijn aan het chroom ijzer gelascht volgens een speciaal procédé, dat mechanische stevigheid en volkomen vacuumdichtheid waarborgt. Gloeidraadpolen en anodelasschen worden door middel van luchtstroomen gekoeld. De druklucht kan verkregen worden van een ventilator (z.g. blower).

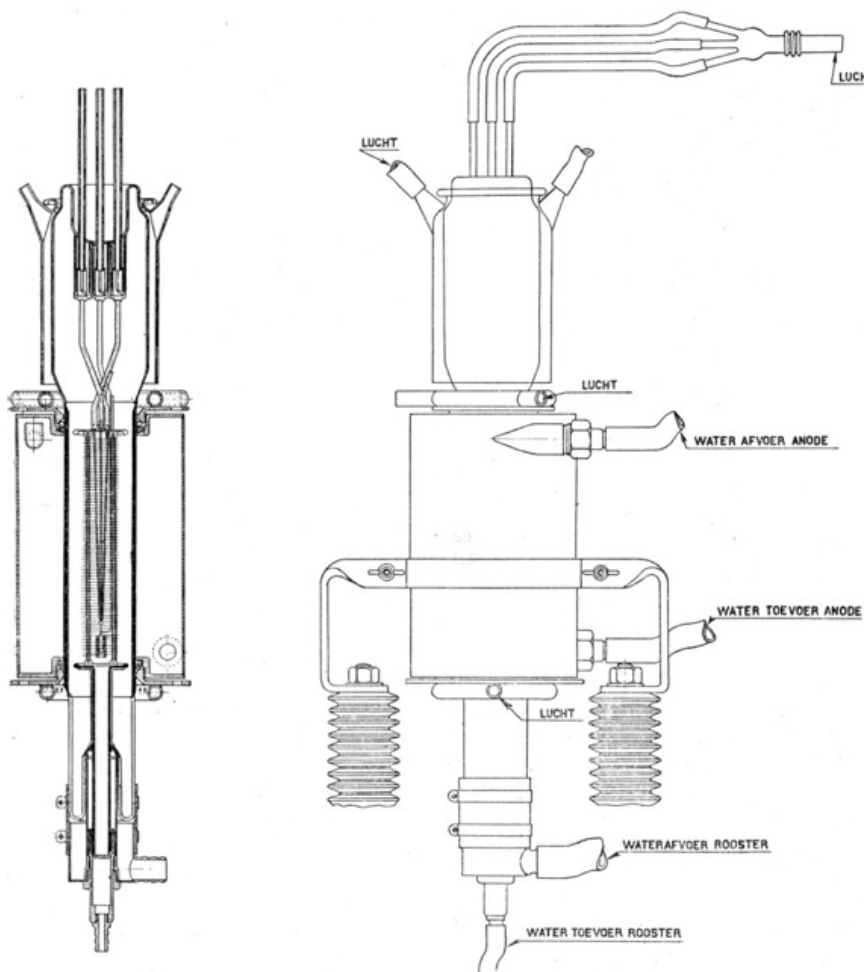


Fig. 5. Watergekoelde zendtriode TA 12/20.000 K. speciaal voor korte golf met watergekoelden roosterdoorvoer.

Tengevolge van de capaciteit tussen het rooster en de andere elementen, in het bijzonder de anode, zal op korte golf in verband met de zeer hoge frequentie van de wisselspanning, een aanzienlijke hoogfrequente verschuivingsstroom (wattloze, capacitieve stroom) vloeien tussen rooster en anode. De stroomsterkte kan enkele tientallen ampères bedragen. De doorvoerleiding van het rooster moet in staat zijn dezen sterken stroom te voeren, vandaar de zware afmetingen van dit onderdeel en de extrakoeling met lucht. Voor zeer korte golf en hoge spanning wordt zelfs waterkoeling toegepast. Hiervoor dient de speciale roosterwaterkoeler van fig. 6.

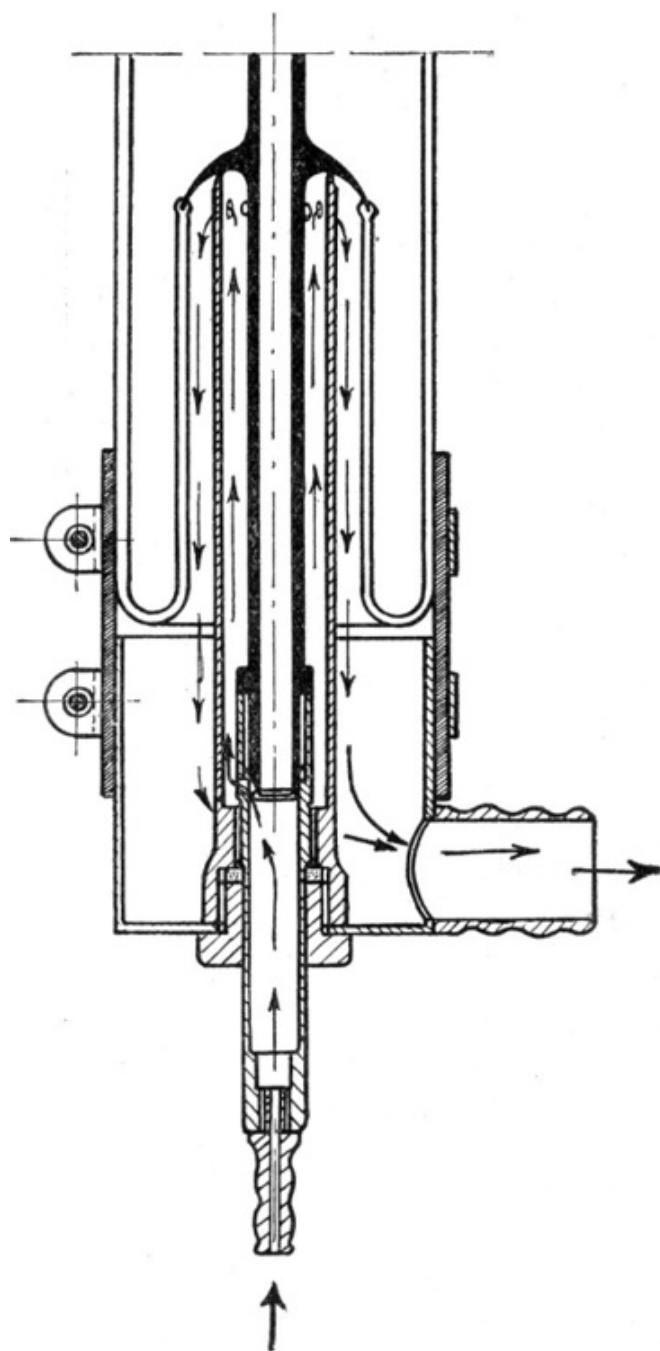


Fig. 6. Watergekoelde roosterdoorvoer van de kortegolftriode TA 12/20.000 K.

De gloeidraad wordt gevoed onder een spanning van ca. 17 V. met een stroom van ca. 80 amp. De temperatuur bedraagt omstreeks 2600° K. De electronen-emissie bedraagt dan verscheidene ampères en neemt uiterst snel toe met de temperatuur. De levensduur neemt evenwel — tengevolge van verdamping van den gloeidraad — zeer snel af met de temperatuur.

De formule van Richardson geeft het verband tusschen de temperatuur en de maximale electronen-emissie van een gloeidraad:

$$I_s = F. a. \sqrt{T}. e^{-\frac{b}{T}} \quad (1)$$

I_s = verzadigingsemissie.

F = emitterend oppervlak.

T = absolute temperatuur.

e = basis Nep. log. stelsel.

a en b zijn materiaalconstanten. Voor *Wolfram* is

$a = 2,36. 10^7$ A/cm².

$b = 5,25. 10^4$ / graad.

Deze formule zegt, dat met een bepaalde gloeidraad bij een bepaalde temperatuur de electronenemissie een zekere waarde niet kan overschrijden.

Is een rechte gloeidraad in hoog vacuum gespannen, coaxiaal in een metalen cylinder, (diode) dan zal de stroom tusschen gloeidraad en anode afhangen van het potentiaalverschil. Bij een bepaalde positieve anodespanning, zullen, tengevolge van de ruimtelading, niet alle electronen welke de gloeidraad emitteert, de anode bereiken. De formule van Langmuir-Schottky geeft het verband tusschen electronenstroom en anodespanning.

$$I_e = 0,01465. 10^{-3}. \frac{l}{r}. V_e^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

I_e = emissiestroom.

l = effectieve lengte van de diode.

r = straal anode cylinder met potentiaal V_e .

We kunnen ook schrijven:

$$I = c. V_e^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

waarin c een constante voorstelt, afhankelijk van de constructie van de diode.

Het geldigheidsgebied van deze formule is dus beperkt tot stroomen welke kleiner zijn dan de verzadigingsstroom. Fig. 7 illustreert beide formules, en geeft het verloop van den ruimteladingsstroom voor een diode volgens fig. 8 als functie van de anodespanning bij verschillende temperaturen van de kathode.

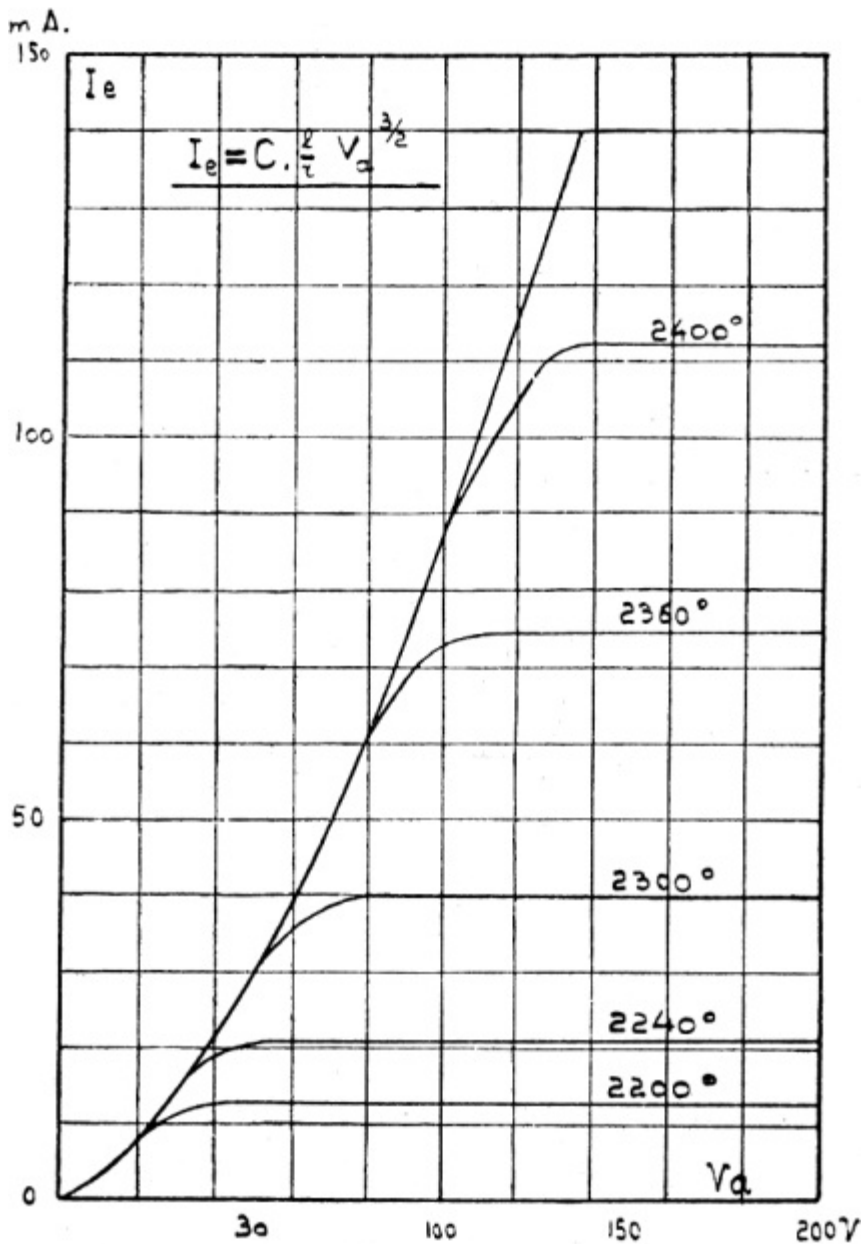


Fig. 7. De stijgende lijn is gegeven door de formule van Langmuir-Schottky. De hoogten van de horizontale gedeelten zijn gegeven door de formule van Richardson.

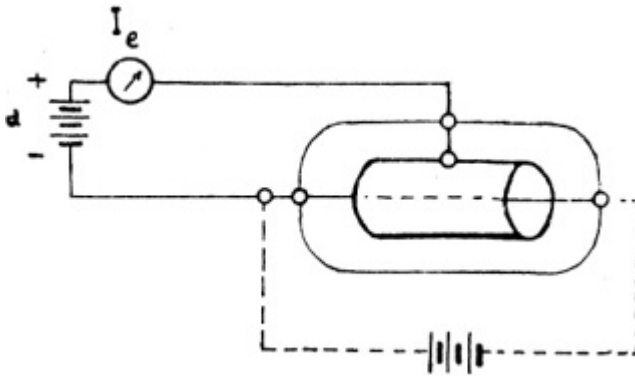


Fig. 8. De cilindrische diode.

Bij het bombardement van de anode door de electronen wordt de kinetische energie hiervan omgezet in warmte, zoodat de temperatuur van de anode stijgt. Het aan de anode gedissipeerde vermogen is gelijk aan het product van anodestroom en anodespanning.

Bij een *triode* is de effectieve spanning V_e behalve van de anodespanning ook afhankelijk van de roosterspanning.

Ter plaatse van het rooster is de electronenwolk reeds zeer dun en kan de invloed van de ruimtelading praktisch verwaarloosd worden voor de berekening van de potentiaal daar ter plaatse. Men kan gemakkelijk aantonen, dat in dit geval geldt:

$$V_e = \left(V_g + \frac{V_a}{g} \right) \cdot \frac{g}{1 + g} \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

g is een constante welke berekend kan worden uit de afmetingen van de triode en bedraagt praktisch van 3 tot 150.

Uit deze formule volgt, dat de invloed van de anodepotentiaal slechts $1/g$ is van den invloed van de roosterpotentiaal op de effectieve potentiaal, dus op den emissiestroom. Een vergrooting van V_a met dV_a kan dus gecompenseerd worden door een verkleining van V_g met dV_a / g . Hieruit kunnen we inzien dat

$$g = - \left(\frac{dV_a}{dV_g} \right).$$

Schakelen we een zeer groote (theoretisch oneindig groote) impedantie in de anodeketen, welke zich verzet tegen het optreden van stroomvariaties, dan zullen roosterspanningvariaties dus tengevolge hebben dat anodespanningvariaties optreden, welke g maal zoo groot zijn. De grootheid g wordt daarom de *spanningversterkingsfactor* genoemd.

Zoolang de anode positief en het rooster negatief is t.o.v. den gloeidraad, zullen alleen electronen naar de *anode* getrokken worden en is de anodestroom dus gelijk aan den

emissiestroom:

$$I_a = I_e$$

Is evenwel ook het rooster positief t.o.v. den gloeidraad dan zullen ook naar het rooster electronen getrokken worden. De emissiestroom verdeelt zich dan tusschen rooster en anode. Hoe de stroomverdeling is bij verschillende positieve spanningen van rooster en anode toont fig. 9.

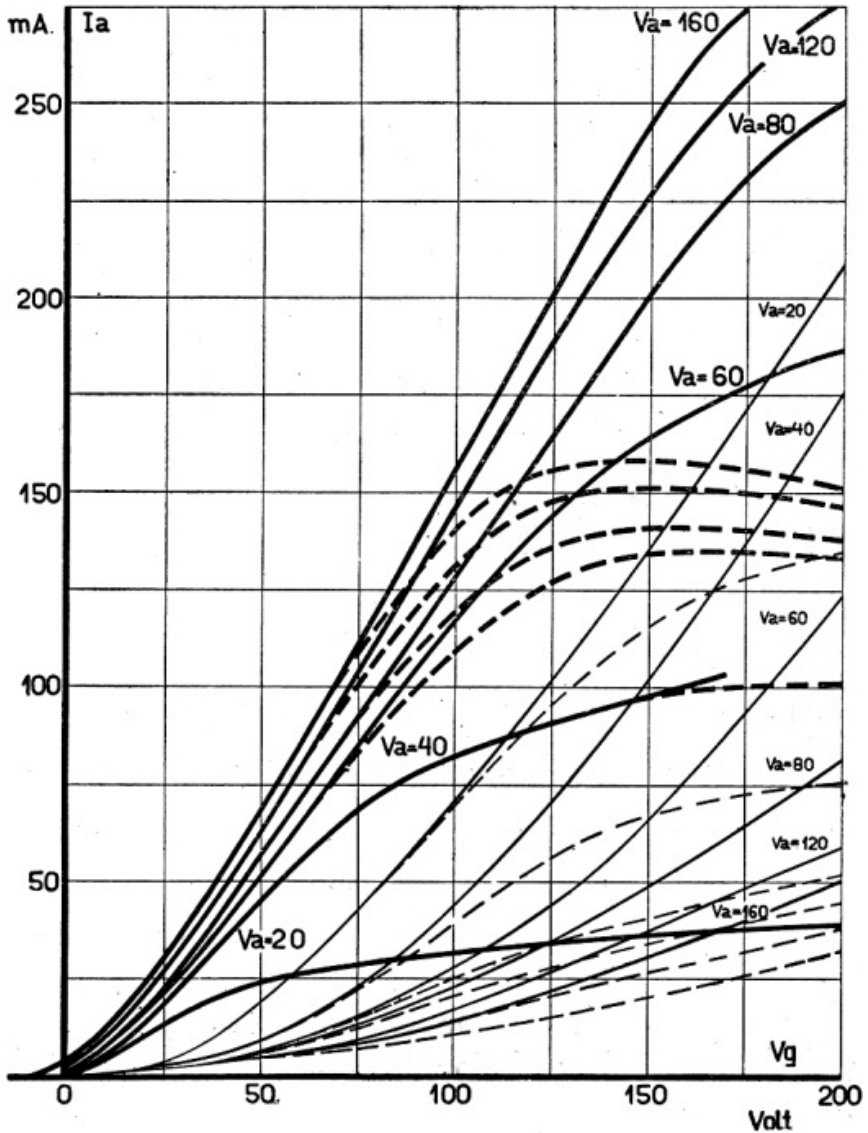


Fig. 9. Stroomverdeling in een triode bij positieve rooster- en anodespanningen. De anodestroomkarakteristieken zijn dik geteekend; de roosterstroomkarakteristieken zijn met dunne lijnen aangegeven. Voorts zijn aangegeven de bijbehorende anodespanningen.

De getrokken lijnen zijn de karakteristieken, opgenomen bij zóó hoge gloeidraad temperatuur, dat de verzadigingsemissie niet bereikt wordt en geen invloed uitoefent, op den vorm van de karakteristieken. De stroomen worden in dit geval in hoofdzaak bepaald door de aangelegde spanningen en de ruimteladingen. Gestippeld is aangegeven het stroomverloop bij verlaagde temperatuur, waarbij dus de verzadigingsemissie van invloed is op het stroomverloop. Uit deze karakteristieken zien we, dat we in hoofdzaak twee gevallen kunnen onderscheiden:

1e. de gevallen waarbij binnen het beschouwde gebied ook de verzadigingsemissie invloed uitoefent op den vorm van de karakteristieken. Bij elke gloeispanning behoort dan een bepaalde karakteristiekenbundel.

2e. het meer algemeene geval, waarbij binnen het beschouwde gebied de verzadigingsemissie practisch geen invloed uitoefent. De verzadigingsemissie is dan grooter dan de maximale ruimteladingstroom. De stroomen worden in hoofdzaak bepaald door de ruimteladingen en de aangelegde spanningen.

Volledigheidshalve dienen we op te merken, dat in het algemeen ook nog de grootte van de secundaire emissie van rooster en anode invloed kan uitoefenen op den vorm van de karakteristieken. Onder bepaalde omstandigheden kan deze invloed zelfs zeer aanzienlijk zijn. Voor het berekenen van rooster- en anodedissipatie is het noodig primaire en secundaire emissie te scheiden. In de gevallen welke we hieronder zullen beschouwen en zooals die voor de praktijk het belangrijkste zijn, kunnen we in dit opzicht den invloed van de secundaire emissie gewoonlijk wel verwaarlozen.

Wij zullen hier niet nader ingaan op de factoren, welke invloed uitoefenen op den vorm van de karakteristieken en afwijkingen kunnen veroorzaken van de uit de voorgaande formules gevonden waarden — doch de werking van de triode als modulator en als oscillator en de arbeidskarakteristieken daarvoor aan een nadere beschouwing onderwerpen. Bijwijze van voorbeeld zullen we daarbij uitgaan van den z.g. statischen karakteristieken bundel van een kleine zendtriode (type TB 04/10), voor het geval dat de stroomen niet beïnvloed worden door de verzadigingsemissie. Praktisch is dit het meest belangrijke geval, hetwelk mogelijk maakt de gevonden uitkomsten te extrapoleren tot het geval dat zeer groote trioden en hoge spanningen toegepast worden.

De Triode als Modulator en Eindversterker.

Bij gebruik van een triode als modulator, doet deze meestal dienst als omzetter van gelijkstroomenergie in laagfrequente wisselenergie. Overeenkomst hiermee vertoont het gebruik als eindversterker bijv. voor het voeden van luidsprekers.

Meestal is de belastingweerstand — in ons geval de weerstand van den oscillator welke gemoduleerd moet worden — niet rechtstreeks in de anodeketen geschakeld doch onder tusschenkomst bijv. van een transformator zoodat practisch geen energieverlies ontstaat tengevolge van den in de anodeketen vloeienden gelijkstroom.

De wisselspanningen, welke aangelegd worden tusschen rooster en gloeidraad worden verkregen van een microfoon onder tusschenkomst van triodeversterkers.

Teneinde ernstige vervorming te voorkomen, moeten de anodestroomvariëties zooveel mogelijk proportioneel zijn aan de roosterspanningvariëties, d.w.z. dat er een zooveel mogelijk lineair verband moet bestaan tusschen roosterspanning en anodestroom. Volgens de formule van Langmuir, bestaat dit verband niet. Maken we echter slechts gebruik van een klein deel der karakteristieken, dan kunnen we in dit gebied wel een nagenoeg lineair verband aannemen, zooals we straks zullen zien.

Overwegingen van technischen aard leiden ertoe, als tweeden eisch te stellen, dat nimmer roosterstroom mag vloeien, zoodat de voorafgaande triode met laagfrequent-transformator (of ander koppel-element) in de roosterketen van den beschouwdan modulator steeds onbelast is. Het plotseling optreden van roosterstroom zou tengevolge van de belastingvariëtie een spanningdaling veroorzaken van de positieve helften van de periode, hetgeen dus een vervorming meebrengt. Het optreden van roosterstroom kan voorkomen worden zooals uit het voorgaande volgt, door het rooster steeds negatief ten opzichte van den gloeidraad te houden. De laagfrequente roosterwisselspanning wordt dan gesuperponeerd op een negatieve roostergelijkspanning. Vanzelfsprekend moet de versterkingsgraad van de voorafgaande versterkers zóó geregeld worden, dat de grootste amplituden van de wisselspanning kleiner zijn dan de negatieve roosterspanning.

Fig. 10 is een afbeelding van de statische karakteristieken van de TB04/10 triode voor positieve en negatieve roosterspanningen met verschillende positieve anodespanningen als parameter.

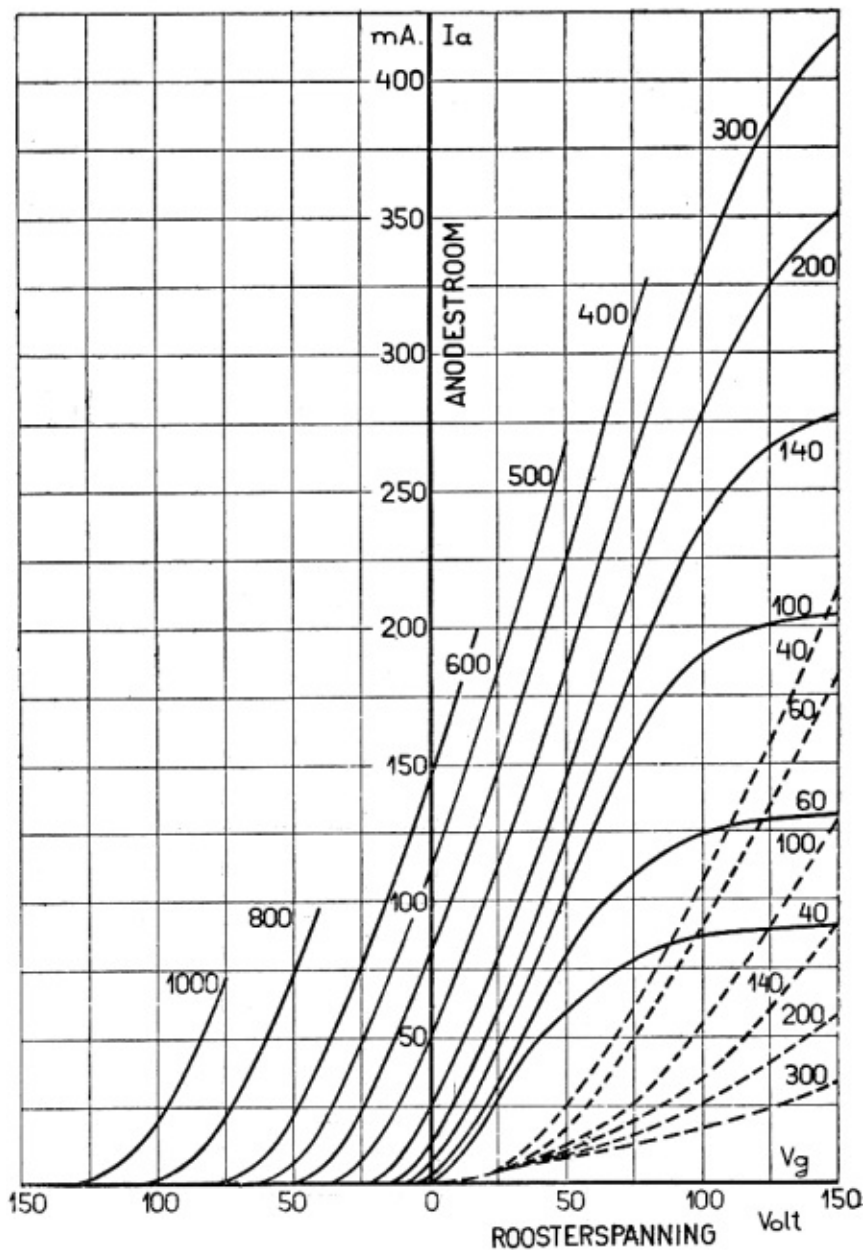


Fig. 10. Karakteristiekenbundel van een Philips TB 04/10 triode (10-watt amateurzend- en modulator lamp). Getrokken zijn de anodestroom en gestippeld de roosterstromen.

De gegevens van deze lamp zijn:

Gloeispanning $V_f = 6.8$ Volt.

Gloeistroom $I_f = 1.25$ Amp.

Max. anodespanning $V_a = 400$ Volt.

Verzadigingsstroom $I_s = 500$ m.A.

Max. anodedissipatie $W_a = 10$ watt.

Versterkingsfactor $g = \text{ca. } 7.5$.

Steilheid $S = \text{ca } 2$ m.A./Volt.

Inwendige weerst. $R_i = 3500 - 4000$ ohm.

In fig. 12 is op grooter schaal geteekend het deel van de karakteristieken, dat in aanmerking komt voor het gebruik als modulator: het is dus het gedeelte, gelegen links van de nul-roosterspanninglijn.

Zooals we ook reeds uit de formule van Langmuir gezien hebben, kunnen we den karakteristiekenbundel altijd voorstellen door:

$$I_a = f(V_a, V_g)$$

$$d I_a = \left(\frac{\partial I_a}{\partial V_g} \right)_{V_a} \cdot d V_g + \left(\frac{\partial I_a}{\partial V_a} \right)_{V_g} \cdot d V_a \quad \dots \quad (5)$$

Denken we I_a constant, dan is:

$$-\left(\frac{\partial V_a}{\partial V_g} \right)_{I_a} = \frac{\left(\frac{\partial I_a}{\partial V_g} \right)_{V_a}}{\left(\frac{\partial I_a}{\partial V_a} \right)_{V_g}} \quad \dots \quad (6)$$

We noemen:

$$-\left(\frac{\partial V_a}{\partial V_g} \right)_{I_a} = g \quad \text{spanningversterkingsfactor}$$

$$\left(\frac{\partial I_a}{\partial V_g} \right)_{V_a} = S \quad \text{steilheid}$$

$$\left(\frac{\partial V_a}{\partial I_a} \right)_{V_g} = R_i \quad \text{inwendige weerstand.}$$

Dan is dus: $g = S \cdot R_i$ (formule van Barkhausen).

g hebben we reeds bij de formule van Langmuir leeren kennen als een constante.

Door differentieeren van de formule van Langmuir vinden we voor S , met een kleine tussenrekening:

$$S = C_o \cdot I_a^{1/3}$$

$$\text{waarin } C_o = \frac{3}{2} \cdot \frac{g}{1 + g} \left(0,01465 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{r} \right)^{2/3}$$

We zien dus dat de steilheid, en daarom ook de inwendige weerstand, geen constante is, doch evenredig met den derdemachtswortel van den stroom. Hieruit volgt dus, dat we over *een klein gebied* de steilheid wel ongeveer als constant mogen aannemen. Dit is ook in overeenstemming met hetgeen we na beschouwing van de karakteristieken van fig. 12 zouden verwachten.

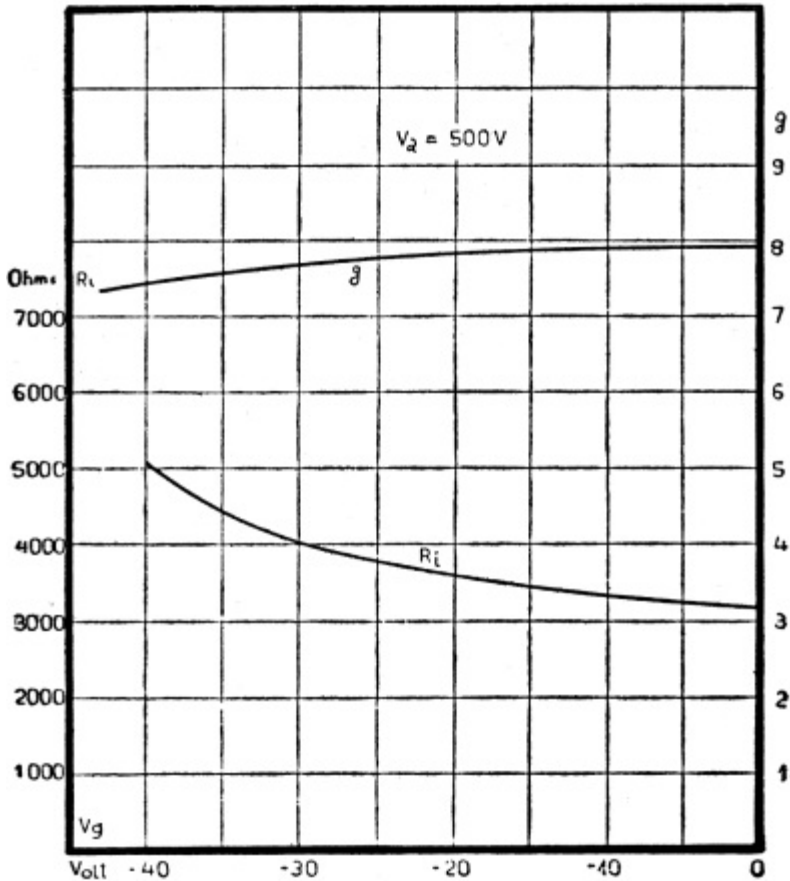


Fig. 11. g en R_i van TB 04/10 triode als functie van de negatieve roosterspanning bij $V_a = 500$ Volt.

Fig. 11 geeft g en R_i als functie van de neg. roosterspanning bij 500 V.

anodespanning. We zien hieruit, dat praktisch ook g niet geheel constant is. Voor het gebruik als modulator maken we dus gebruik van het nagenoeg "rechte deel" van de karakteristieken en beschouwen dan g , S en R_i als constanten.

Uit verg. 5 volgt:

$$d I_a = S \cdot d V_g + \frac{1}{R_i} \cdot d V_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Is de uitwendige weerstand gelijk nul (de anode direct aan de plus van de anodebatterij aangesloten) dan is $d V_a = 0$ en is dus:

$$d I_a = S \cdot d V_g.$$

Is de uitwendige weerstand R_u : (bij tusschenschakeling van een transformator met transformatieverhouding n en oscillatorweerstand R_o , is $R_u = n^2 \cdot R_o$):

$$d V_a = - R_u \cdot d I_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

$$d I_a = S \cdot d V_g - \frac{R_u}{R_i} \cdot d I_a$$

$$d I_a = \frac{R_i}{R_i + R_u} \cdot S \cdot d V_g \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Verg. 7 is het verband tusschen anodestroom- en roosterspanning-variaties dat gegeven wordt door de "statische" of "kortsluitkarakteristieken" van fig. 12.

Verg. 9 geeft het verband tusschen anodestroom- en roosterspanning-variaties, wanneer een bepaalde belastingweerstand in de anodeketen geschakeld is zooals weergegeven wordt door de bijbehorende "dynamische" of "belastingkarakteristiek" van fig. 12.

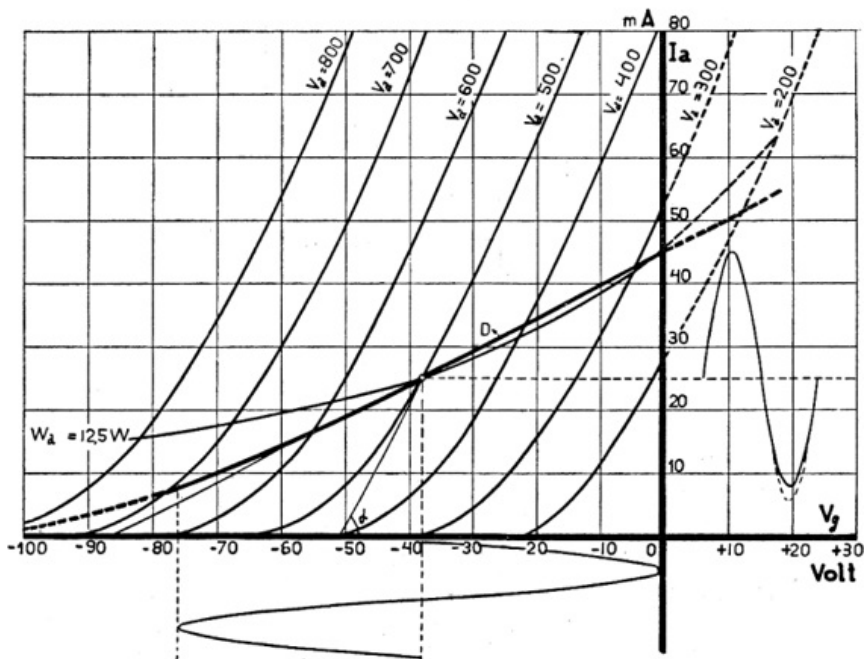


Fig. 12. Statische karakteristieken van TB 05/10 triode met dynamische karakteristiek (lijn D) voor een uitwendigen weerstand $R_u = 11250 \text{ ohm}$ en instelling: $V_a = 500 \text{ V}$. $I_a = 25 \text{ m.A}$. $V_g = -38 \text{ V}$. Voorts is geteekend de lijn voor $W_a = 12,5 \text{ Watt}$.

De dynamische karakteristiek van fig. 12 is geteekend voor het geval dat de belasting gevormd wordt door een secundair met weerstand belasten transformator, zoodat geen gelijkspanningsverlies optreedt.

Aangezien $R_i \cdot S = g$, is:

$$d I_a = \frac{g \cdot d V_g}{R_i + R_u} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (10)$$

In deze formule is dV_g een willekeurige functie van den tijd, meestal een combinatie van wisselspanningen van verschillende frequentie (30 tot 15000) en verschillende amplitude. Een dergelijke kromme kan volgens Fourier ontbonden worden in sinusvormige componenten, zooals in fig. 13 gedaan is voor den toon van een orgelpijp.

TOON VAN EEN ORGELP'JP, ONTBONDEN VOLGENS
FOURIER IN SINUS VORMIGE COMPONENTEN.

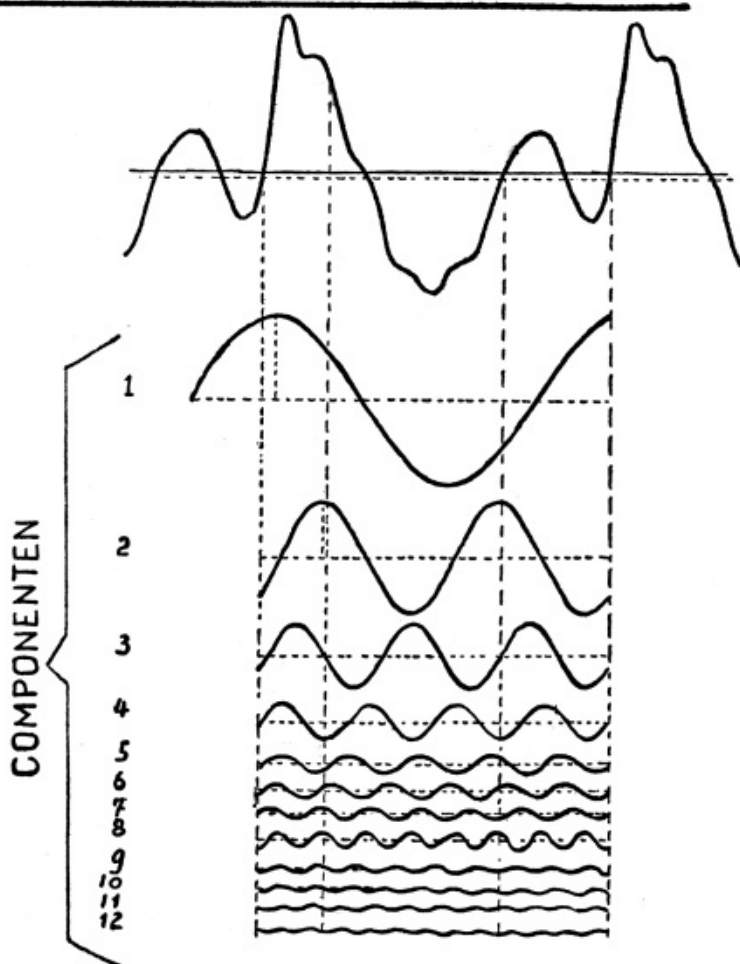


Fig. 13.

Voor het gemak van de verdere redeneering nemen we voor dV_g aan een sinusvormige wissel spanning met amplitude E_g en effectieve waarde e_g . De amplitude van den anode-wisselstroomcomponent noemen we J_a . Bovenstaande verg. wordt hiervoor:

$$J_a = \frac{g \cdot E_g}{R_i + R_u}$$

Deze verg. zegt ons, dat onder deze omstandigheden de triode zich gedraagt als een

wisselstroomgenerator met een EMK met amplitude $g \cdot E_g$ en inwendigen weerstand R_i . Het vervangingsschema is dus volgens fig. 14.

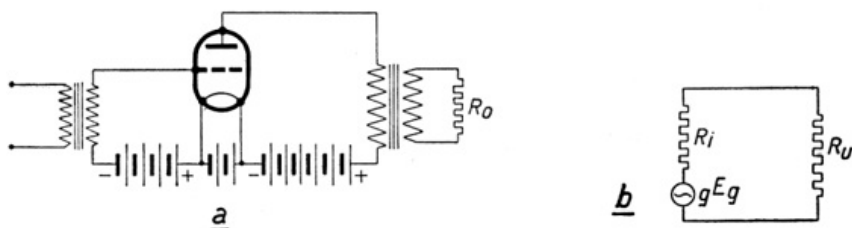


Fig. 14. Schema (a) en vervanginsschema (b) voor een triode als modulator werkende.

Bij een bepaalde waarde van de roosterwisselspanning E_g wordt maximum energie in R_u ontwikkeld, wanneer:

$$R_u = R_i$$

Bij een modulator heeft men het in de hand E_g binnen zeer wijde grenzen te variëren — praktisch naar believen — door wijziging van den versterkingsgraad van de voorafgaande versterkers. De maximum toelaatbare E_g wordt dan bepaald door de lengte van het rechte deel van de dynamische karakteristiek.

Naarmate de uitwendige weerstand grooter is, wordt de helling van de dynamische karakteristiek geringer — en dan kan men het werkpunt over een lijn van constante anodespanning zóó verplaatsen, dat de toelaatbare roosterwisselspanningamplitude en de in den uitwendigen weerstand ontwikkelde energie daardoor grooter worden. Nadere beschouwing doet inzien, dat een maximum wordt bereikt, wanneer

$$R_u = 2 R_i.$$

Dit is dus de conditie voor maximum onvervormde energie, welke de triode kan leveren bij een bepaalde anodespanning, wanneer men het in de hand heeft de roosterwissel- en gelijkspanningen op de voor die anodespanning gunstigste waarden in te stellen.

Tengevolge van het feit, dat de vervorming door de kromming (speciaal in de onderste bochten) van de karakteristieken geringer is, naarmate de uitwendige weerstand grooter is, kan men bij toenemenden uitwendigen weerstand een grooter deel van de karakteristieken benutten. (De dynamische karakteristieken zijn n.l. minder krom dan de statische en wel des te minder naarmate de uitwendige weerstand grooter is. Kleine variaties van den inwendigen weerstand hebben dan immers den minsten invloed op den totalen weerstand in de keten).

Bij de meeste trioden blijkt men daarom, bij een bepaalde toelaatbare vervorming,

maximum output te kunnen bereiken wanneer:

$$R_u = 2 \text{ à } 5 R_i$$

Er zijn vaak ook nog andere argumenten welke pleiten voor een hoogen uitwendigen weerstand.

Bij modulatoren voor zenddoeleinden is meestal gevraagd zoo veel mogelijk onvervormde energie te kunnen leveren, niet bij een bepaalde anodespanning, doch bij een bepaalde maximaal toelaatbare anodedissipatie. Daarbij is men dan nog betrekkelijk vrij in de keuze van de anodespanning.

Aangezien, wanneer niet gemoduleerd wordt, het rendement nul is — en deze toestand vrij langdurig kan zijn — mag de input niet grooter zijn dan de maximaal toelaatbare anodedissipatie. Maximum output wordt dan verkregen bij instelling op maximaal rendement. Daarvoor zou noodig zijn een zeer groote uitwendige weerstand en zeer hooge anodespanning.

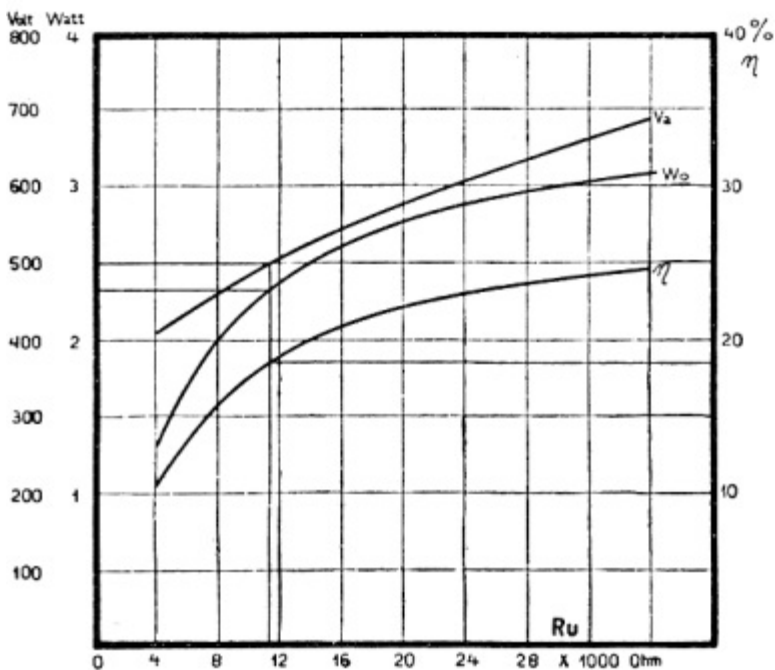


Fig. 15. TB 04/10 triode als modulator. Max. output W_o , rendement η en benodigde anodespanning V_a als functie van den uitwendigen weerstand R_u .

Fig. 15 geeft de maximum output (bij geringe vervorming) welke de triode kan leveren,

als functie van den uitwendigen weerstand. Tevens is aangegeven de anodespanning welke daarvoor benodigd is en het rendement. Verondersteld is, dat in ongemoduleerden toestand de toelaatbare anodedissipatie van $12\frac{1}{2}$ watt niet overschreden wordt en steeds ingesteld wordt op de bij elken uitwendigen weerstand behorende gunstigste condities. Practisch maakt men $R_u = 2 \text{ à } 5 R_i$ en steeds wel $R_u < 10 R_i$, teneinde niet in al te hooge anodespanningen te vervallen. Bij sinusvormige modulatie kan men practisch aldus rendementen halen tot ca. 30 %. Wanneer de karakteristieken volkomen recht waren, zou men theoretisch een rendement kunnen halen van 50 %.

Fig. 12 toont de statische karakteristiek van een TB 04/10 triode met daarin geteekend de dynamische karakteristiek welke maximum output vertegenwoordigt bij een anodespanning van 500 V. en toelaatbare anodedissipatie van $12\frac{1}{2}$ W.

Het met dezen toestand overeenkomende punt in fig. 15 is daar door het trekken van de abcissen en ordinaten gemarkeerd.

In fig. 12 is voorts geteekend de lijn van constante toelaatbare anodedissipatie (12,5 watt).

Vergelijken we de sinusvormige roosterwisselspanningskromme met de anodewisselstroomkromme (het verband wordt gegeven door de dynamische karakteristiek) dan zien we dat de vervorming betrekkelijk gering is.

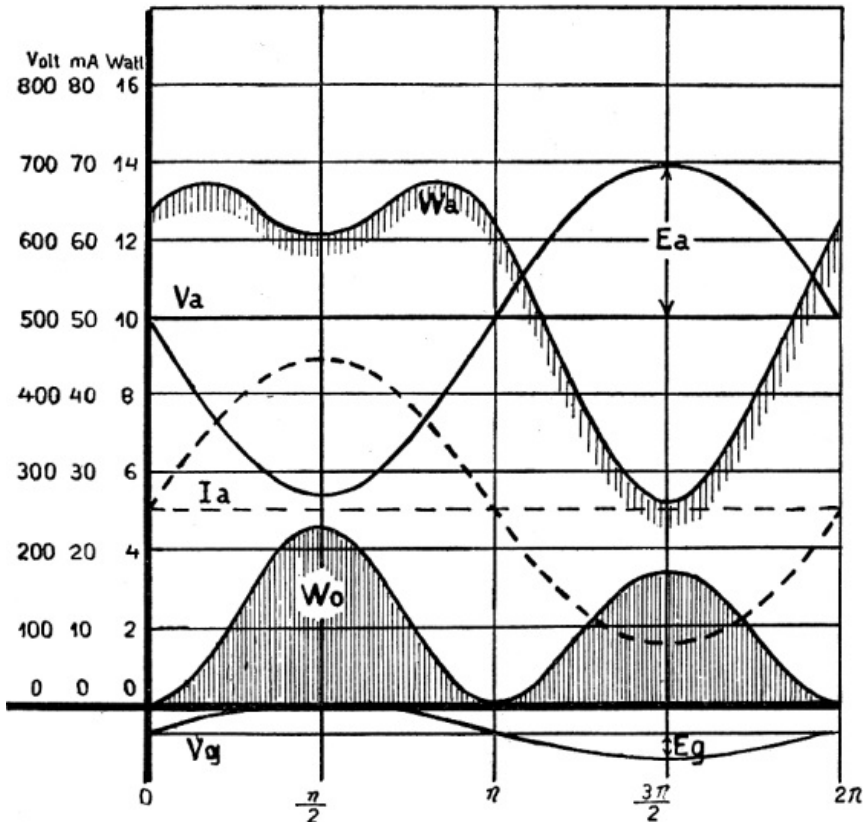


Fig. 16. TB 04/10 triode als modulator. Oscillogram voor één periode, afgeleid uit de statische karakteristieken van fig. 10 voor den volgenden toestand:

Anodespanning $V_a = 500 \text{ V}$.

Anodestroom $I_a = 25 \text{ m.A.}$

Input $W_i = 12,5 \text{ W}$.

Output $W_o = 2,2 \text{ W}$.

Anodedissipatie $W_a = 10,3 \text{ W}$.

Neg. roosterspanning $V_g = -38 \text{ V}$.

Roosterwisselspanning amplitude $E_g = 38 \text{ V}$.

Uitwendige weerstand $R_u = 11250 \text{ ohm}$.

Inwendige weerstand in "rustpunt" $R_i = 5000 \text{ ohm}$,

dus: $R_u / R_i = 2,25$

In fig. 16 is uitgezet het bij dezen toestand behorende oscillogram voor één periode van de roosterwisselspanning, afgeleid uit de statische karakteristieken.

Voor vele doeleinden is het van voordeel de triodekarakteristieken op een andere

wijze uit te zetten; n.l.: anodestroom als functie van anodespanning, met de roosterspanning als parameter.

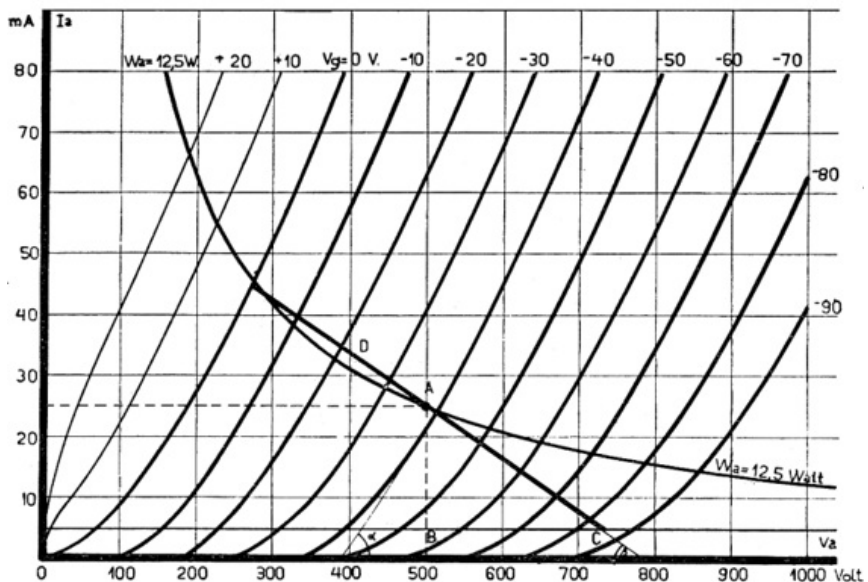


Fig. 17. TB 04/10 triode als modulator. Statistische karakteristieken: anodestroom als functie van anodespanning bij verschillende negatieve roosterspanningen met dynamische karakteristiek D voor instelling van fig. 16 en lijn voor anodedissipatie $W_a = 12,5$ watt.

Fig. 17 toont een dergelijke karakteristiekenbundel voor de TB 04/10 — welke dus gemakkelijk uit de vorige afgeleid kan worden. Ook hierin is de lijn van constante anodedissipatie uitgezet (een gelijkzijdige hyperbool: $V_a \cdot I_a = W_a = \text{constant}$), benevens de dynamische karakteristiek voor bovengenoemde toestand.

$$\cotg \beta = R_u$$

$$\cotg \alpha = R_i$$

Bij groote benadering laten zich onmiddellijk aflezen (de vervorming verwaarloozende:)

$$\text{de anodewisselspanningamplitude } E_a = BC$$

$$\text{de anodewisselstroomamplitude } J_a = AB$$

$$\text{de geleverde energie } W_o = \frac{E_a}{\sqrt{2}} \cdot \frac{J_a}{\sqrt{2}}$$

oftewel: $W_o = \frac{1}{2} E_a \cdot J_a$ = oppervlak driehoek ABC.

Neemt men de vervorming in aanmerking, dan wordt de geleverde energie iets kleiner.

Practisch is de uitwendige-weerstand-lijn vaak niet volkomen recht.

De belasting (uitwendige weerstand) van den modulator wordt gevormd door den inwendigen weerstand van den oscillator en deze is vaak geen constante doch zelf een functie van de anodespanning. Kleine variaties van den uitwendigen weerstand zijn gelukkig niet van heel groot gewicht.

Meestal is de belasting van den modulator niet gevormd door een zuiveren weerstand doch door een impedantie, welke afhankelijk is van de frequentie en waarvan de fazehoek tusschen stroom en spanning eveneens afhankelijk is van de frequentie. In het algemeen is de dynamische karakteristiek dan geen rechte lijn, doch een ellipsvormige figuur en voor elke frequentie een andere. Het zou ons te ver voeren hierop nu nader in te gaan.

We kunnen daarbij opmerken, dat het maximum vermogen, dat de triode onvervormd kan leveren, bepaald wordt door de som van wattenergie en wattlooze energie. Hoe grooter de fazeverschuiving is, des te geringer is dus de (nuttige) wattenergie, welke de triode kan leveren. Voor een triode is dus weerstandbelasting het gunstigste. Evenals bij een wisselstroom generator kan men het maximum-vermogen, dat een triode *onvervormd*, kan leveren, dus uitdrukken in volt-ampères (in plaats van in watts).

De vervorming tengevolge van het overschrijden van het lineaire deel van de triodekarakteristieken, z.g. "overbelasting" van den versterker, uit zich in het optreden van hogere harmonischen in den anodestroom, welke niet in de roosterspanning aanwezig waren. Tengevolge van gelijkrichting gaat hiermee meestal gepaard een verandering van den uitslag van een draaispoelmeter, welke in de anodeketen geschakeld is. Deze meter vormt dus een eenvoudig indicatie-instrument voor de aanwezigheid van niet-lineaire vervorming.

De Triode als Oscillator.

We zullen nu overgaan tot de beschouwing van de condities waaronder meer output en hooger rendement verkregen kan worden, wanneer we den eisch van vervormingsvrijheid laten vallen, en dus ook van de gebogen deelen van de karakteristieken gebruik mogen maken en de roosterspanning positief mogen laten worden. Dit is ongeveer de toestand welke zich meestal voordoet bij het gebruik van een triode als oscillator voor het omzetten van gelijkstroom-energie in hoogfrequent-energie en het "versterken" van hoog-frequentenergie en bij z.g. frequentievermenigvuldiging.

De roosterwisselspanning (rooster-excitatie) is dan gewoonlijk van hooge frequentie. In de anodeketen is een trillingskring opgenomen, afgestemd op de frequentie van de rooster-excitatie. Met dezen trillingskring is bijv. de antenne gekoppeld, meestal inductief of capacitief. Het effect hiervan kunnen we voorstellen door een weerstand, in serie met de zelfinductie in de anodeketen, ter grootte van R_a (fig. 18).

Onder deze omstandigheden is de uitwendige weerstand R_u in de anodeketen een zuivere weerstand van de grootte:

$$R_u = \frac{L}{C \cdot R_a} = \text{golfweerstand} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Hoe lossier de antennekoppeling is, des te kleiner is R_a en des te groter is de golfweerstand R_u .

Het blijkt nu, dat een hoog rendement en veel output verkregen kunnen worden door toepassing van een groote roosterwisselspanning (sterke excitatie) en ook door vergrooting van de negatieve roosterspanning. De roosterwisselspanning-amplitude wordt meestal zóó groot gemaakt, dat het rooster gedurende een deel van de periode sterk positief wordt, (zoodat dus roosterstroom gaat vloeien). Gunstige condities worden meestal bereikt bij een zoo hooge negatieve roosterspanning, dat in niet-geëxciteerden toestand bij de aangelegde anodespanning de anodestroom nul is — de triode "afgeknepen" is. Slechts gedurende een kort deel van de periode vloeit er dan anodestroom.

(Noot: De anodestroom vloeit dus stootsgewijze. We kunnen het systeem vergelijken met een slinger, welke aan den gang blijft door op het juiste moment toegediende impulsen — zooals in bijv. bij een uurwerk geschiedt. De anode batterij vormt een analogie met de veer.)

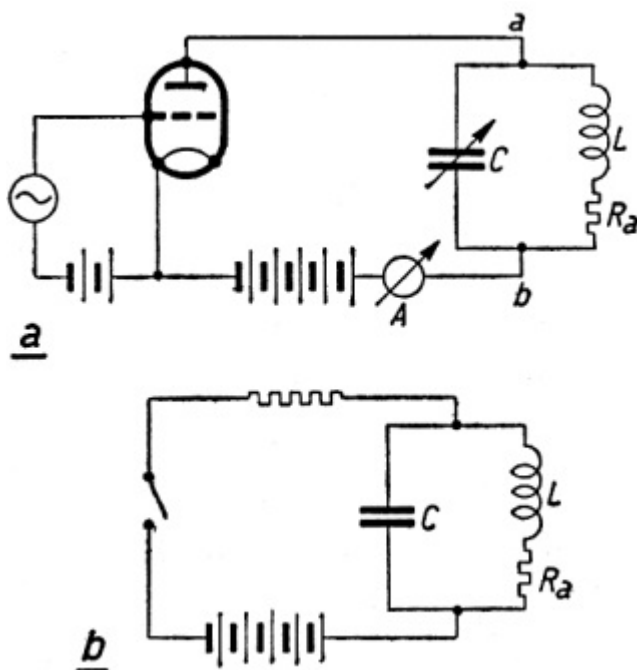


Fig. 18. Schema (a) en vervangingsschema (b) voor de triode als oscillator.

De triode kan men onder deze omstandigheden vervangen denken (fig. 18) door een schakelaar, welke periodiek geopend en gesloten wordt met een frequentie, nagenoeg gelijk aan de eigen frequentie van de trillingsketen — en daarmee in serie een weerstand, welke afhankelijk is van den stroom, en van de instelling van het stelsel. Wanneer de capaciteit C niet te klein is (en practisch is dat bijna steeds het geval) dan is de wisselspanning tusschen a en b (de anodewisselspanning E_a) nagenoeg sinusvormig, evenals de stroom in de LCRA keten. De stroom door de triode heeft een meer trapeziumachtigen vorm en is onder praktische omstandigheden vele malen kleiner dan de stroom in LCRA. We kunnen aannemen dat ook de roosterwisselspanning nagenoeg sinusvormig is.

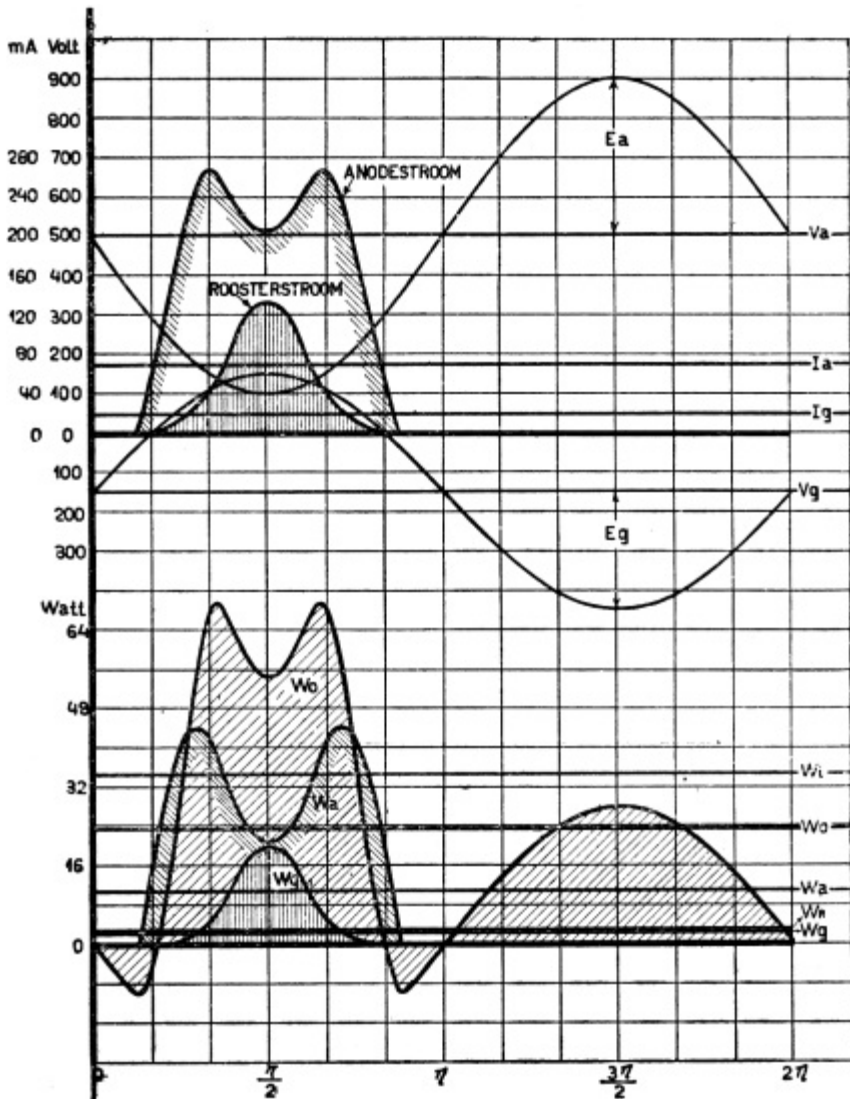


Fig. 19. Oscillogram van één periode van TB 04/10 triode als oscillator, afgeleid uit de statische karakteristieken van fig. 10, voor onderstaande instelling:

Anodegelijkspanning $V_a = 500 \text{ V}$.

Anodewisselspanningamplitude $E_a = 400 \text{ V}$.

Roostergelijkspanning $V_g = -150 \text{ V}$.

Roosterwisselspanningamplitude $E_g = 300 \text{ V}$.

Het rooster wordt dus onder deze omstandigheden een oogenblik $300 - 150 = 150 \text{ V}$.

positief ten opzichte van den gloeidraad. Op dit moment is de anodespanning slechts 500 - 400 = 100 volt positief t.o.v. den gloeidraad.

Uit het oscillogram vinden we, bij instelling op bovenstaanden toestand:

Gemiddelde anode (gelijk) stroom $I_a = 69,4 \text{ m.A.}$

Gemiddelde rooster (gelijk) stroom $I_g = 19,0 \text{ m.A.}$

Input $W_i = 34,7 \text{ W.}$

Anodedissipatie $W_a = 11,0 \text{ W.}$

Roosterdissipatie $W_g = 2,4 \text{ W.}$

Roosterlekdisipatie $W_l = 2,9 \text{ W.}$

Bij vreemd-excitatie wordt de energie voor roosterdissipatie en roosterlekdisipatie (in lekweerstand of roosterbatterij) geleverd door de voorafgaande triode, welke de excitatie levert. Bij terugkoppeling worden deze energiehoeveelheden aan de anodeketen van de in beschouwing zijnde triode zelf onttrokken: hoogfrequent-output en rendement zijn dus geringer.

V r e e m d - e x c i t a t i e.

Output $W_o = 23,7 \text{ W.}$

Rendement $\eta = 68,4 \%$.

Versterking = output / (rooster + roosterlekdisipatie) = 4,5.

Uitwendige weerstand (golfweerstand) $R_u = 3370 \text{ ohm.}$

Differentiaalweerstand van den oscillator $R_o = 500 / (69,4 \times 10^{-3}) = 7200 \text{ ohm.}$

T e r u g k o p p e l i n g.

Output $W_o = 18,4 \text{ W.}$

Rendement $\eta = 53,0 \%$.

Terugkoppelverhouding = $E_g / E_a = 0,75.$

De negatieve-roosterspanningbatterij kan vervangen worden door een roostercondensator met lekweerstand ter grootte van:

$R_g = V_g / I_g = 7900 \text{ ohm.}$

Fig. 19 is een uit de statische karakteristieken afgeleid oscillogram voor een bepaalden, gunstigen toestand van rooster-excitatie en uitwendigen weerstand voor de TB 04/10 triode, zooals die practisch veel voorkomt — onder aanname van sinusvormige rooster- en anodewisselspanningen.

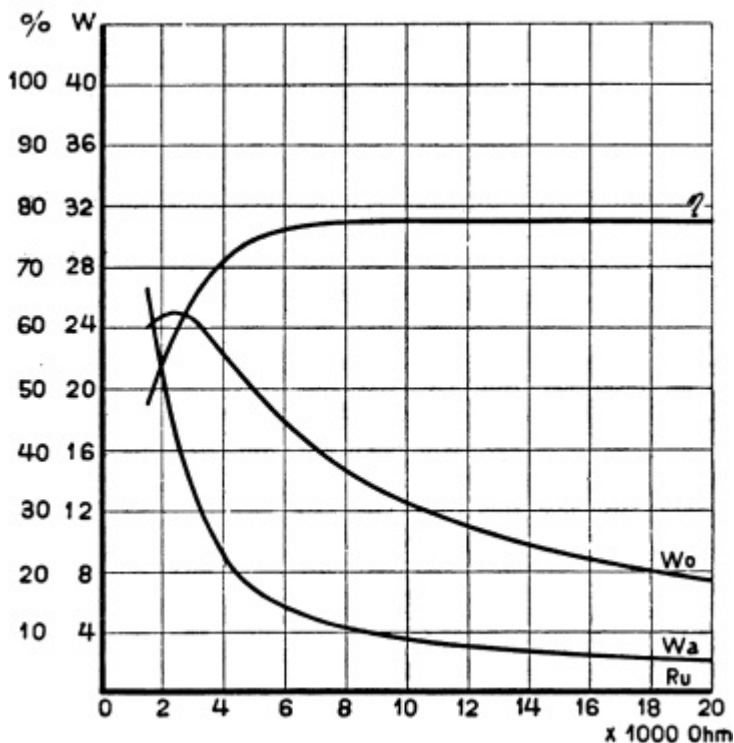


Fig. 20. TB 04/10 als oscillator (vreemd-excitatie).

Output W_o , anodedissipatie W_a en rendement η als functie van den uitwendigen golfweerstand R_u waarbij steeds is:

Anodegelijkspanning $V_a = 500 \text{ V}$.

Roostergelijkspanning $V_g = -150 \text{ V}$.

Roosterwisselspanning amplitude $E_g = 300 \text{ V}$.

De toestand bij $R_u = 3370 \text{ ohm}$ komt overeen met dien van het oscillogram van fig. 19.

We zien, dat versterking van de antenne koppeling zoowel output als anodedissipatie (dus ook de input) doet toenemen. Bij zeer sterke antennekoppeling neemt het rendement vrij snel af, en daardoor tenslotte ook de output.

Fig. 20 geeft output, rendement en anodedissipatie als functie van den uitwendigen weerstand, voor een bepaalde constante roosterexcitatie. Een groote uitwendige weerstand komt overeen met een losse antennekoppeling. We zien, dat evenals bij de meeste andere elektrische convertors de energietoevoer automatisch zich richt naar de belasting. Praktische toestanden zijn in de omgeving van de maxima aan den rechterkant daarvan.

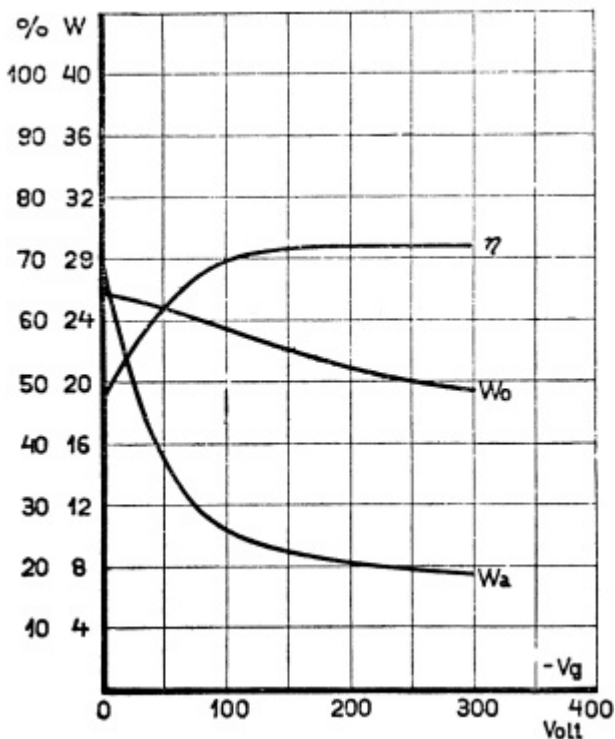


Fig. 21. TB 04/10 als oscillator (vreemd-geexciteerd).

W_o , W_a , en η als functie van de negatieve roosterspanning V_g bij $R_u = 4000$ ohm en anode-gelijkspanning $V_a = 500$ V.

Steeds is ingesteld op $E_g - V_g = 150$ V. d.w.z. het rooster wordt steeds evenveel maximaal positief.

We zien, dat verhooging van de negatieve roosterpanning boven 100 à 150 volt het rendement niet meer doet toenemen en dus ongewenscht is, aangezien de roosterlekverliezen wel toenemen.

Fig 21 geeft dezelfde grootheden voor een bepaalden uitwendigen weerstand als functie van de negatieve roosterspanning, wanneer tevens de rooster-excitatie zóó geregeld wordt, dat in alle gevallen het rooster evenveel maximaal positief wordt.

Uit fig. 19 kunnen we aflezen de verhouding van den gemiddelen anode stroom tot den maximalen ruimteladingstroom. Deze verhouding te kennen onder verschillende omstandigheden is van belang, aangezien de verzadigingsemissie van den gloeidraad voldoende groot moet zijn om dien maximalen ruimteladingstroom mogelijk te maken. Onder normale omstandigheden is bedoelde verhouding 3 à 5, d.w.z. dat de

verzadigingsemissie minstens 3 à 5 maal zoo groot moet zijn als de gemiddelde anodestroom I_a , welke een draaispoelmeter, geschakeld bij A in fig. 18 die aanwijst.

Uit fig. 19 zien we voorts, dat de voor de roosterexcitatie benodigde energie — de som van de aan het rooster en in de roosterbatterij gedissipeerde energie (2) — aanzienlijk kleiner is dan de door den triode-oscillator geleverde hoogfrequent-energie. De triode-oscillator werkt dus als *versterker*. Dit is een zeer waardevolle eigenschap.

(2: De roosterbatterij wordt g e l a d e n door den roosterstroom !)

De rooster-excitatie kan men verkrijgen van een anderen kleinen triode-oscillator (z.g. vreemd-excitatie) of deze door middel van z.g. terugkoppeling aan de anodeketen onttrekken (zelf-excitatie). Volgens de laatste methode kan de triode-oscillator continue trillingen voortbrengen, welke bijv. kunnen dienen voor de excitatie van een andere, grootere triode.

Frequentie-vermenigvuldiging.

Inplaats van de anodeketen af te stemmen op dezelfde frequentie als van de roosterexcitatie, kan men afstemmen op een veelvoud daarvan. De frequentie van de anodewisselspanning zal dan een veelvoud zijn — praktisch past men twee of drie toe — van de frequentie van de roosterwisselspanning. Op deze wijze kan met behulp van een triode de frequentie "vermenigvuldigd" worden. (Men kan het systeem vergelijken met een slinger welke om de andere slingering, of elke derde slingering een impuls toegediend krijgt.)

Fig. 22 geeft voor een TB 04/10 triode een uit de statische karakteristieken afgeleid oscillogram voor frequentie-verdubbeling voor een bepaalde, gunstige instelling, zooals die practisch voorkomt en onder aanname van sinusvormige wisselspanningen.

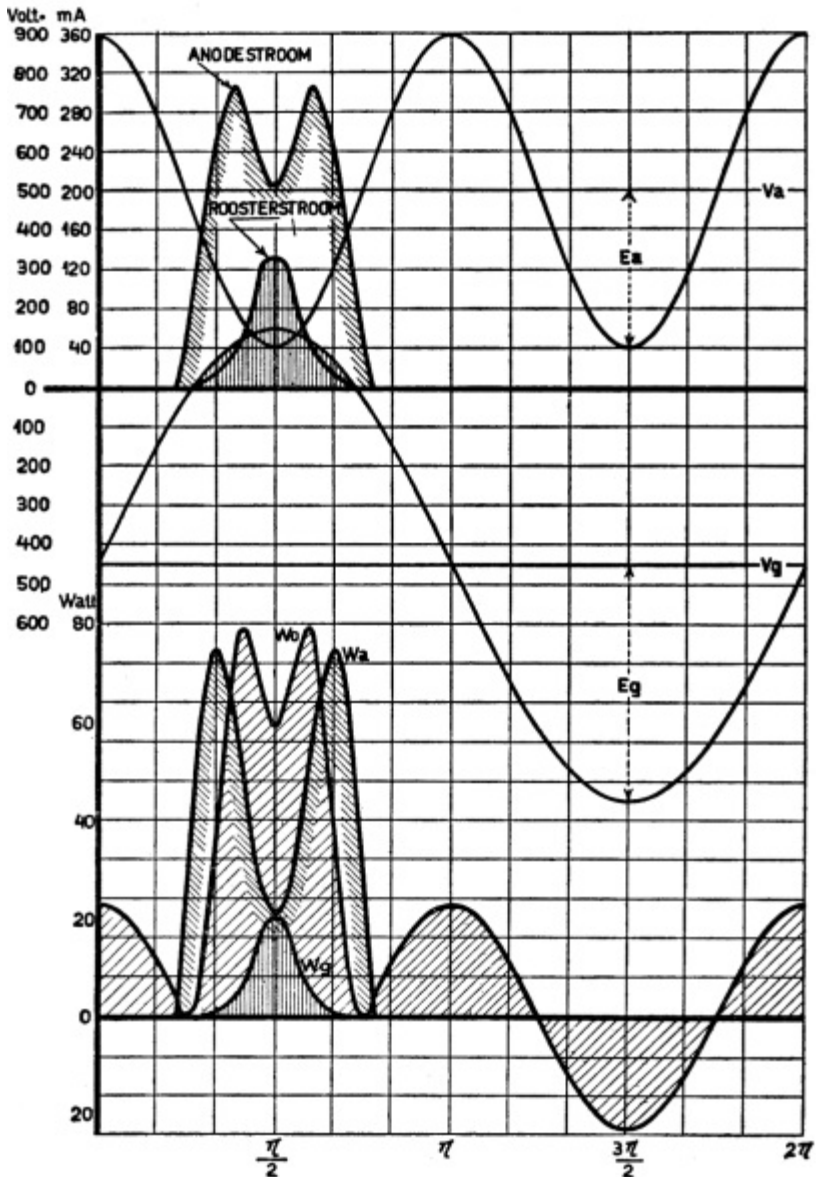


Fig.22. Frequentieverdubbeling met TB 04/10. Oscillogram van één periode van de roosterwisselspanning bij frequentie verdubbeling afgeleid uit de statische karakteristieken van fig. 10, voor onderstaande instelling:

Anodegelijkspanning $V_a = 500$ V.

Anodewisselspanningamplitude $E_a = 400$ V.

Roostergelijkspanning: $V_g = -450\text{ V}$.

Roosterwisselspanningamplitude $E_g = 600\text{ V}$.

Het rooster wordt hier dus evenveel maximaal positief (150 V .) als in fig. 19.

Onder deze omstandigheden vinden we uit het oscillogram:

Gemiddelde anodestroom $I_a = 57,0\text{ mA}$.

Gemiddelde roosterstroom $I_g = 12,0\text{ mA}$.

Input $W_i = 28,5\text{ W}$.

Anodedissipatie $W_a = 12,8\text{ W}$.

Output $W_o = 15,7\text{ W}$.

Roosterdissipatie $W_g = 1,6\text{ W}$.

Roosterlekdisipatie $W_l = 5,4\text{ W}$.

Rendement $\eta = 55\%$.

Versterking $V = 2,24$.

Uitwendige weerstand $R_u = 5100\text{ ohm}$.

Lekweerstand $R_g = 37500\text{ ohm}$.

Fig. 23 geeft output, rendement en anodedissipatie als functie van den uitwendigen weerstand voor een bepaalde, constante rooster-excitatie.

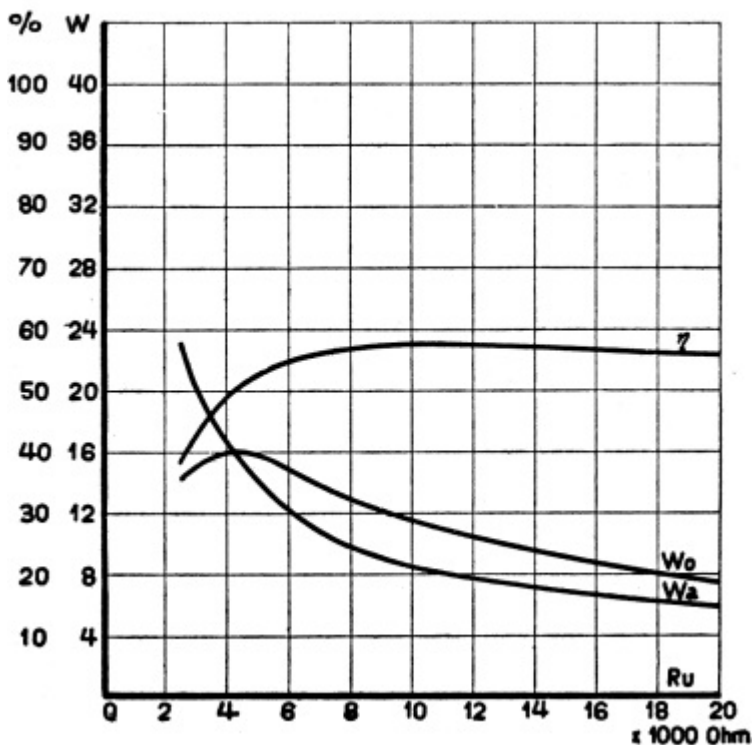


Fig. 23. Frequentie-verdubbeling met TB 04/10. Output W_o , anodedissipatie W_a en rendement η als functie van den uitwendigen golfweerstand R_u , waarbij steeds is: Anodegelijkspanning: $V_a = 500 \text{ V}$.

Roostergelijkspanning $V_g = -450 \text{ V}$.

Roosterwisselspanningamplitude $E_g = 600 \text{ V}$.

De toestand bij $R_u = 5100 \text{ ohm}$ komt overeen met dien van het oscillogram van fig.

22.

Fig. 24 geeft dezelfde grootheden bij een bepaalden uitwendigen weerstand als functie van de negatieve roosterspanning, waarbij de rooster-excitatie zóó geregeld wordt, dat voor elken toestand het rooster evenveel maximaal positief wordt.

Uit deze krommen zien we, dat ook met frequentieverdubbeling gunstige rendementen bereikt kunnen worden, mits de negatieve roosterspanning zeer hoog is, nl. in deze gevallen zelfs van de orde van de anodespanning!

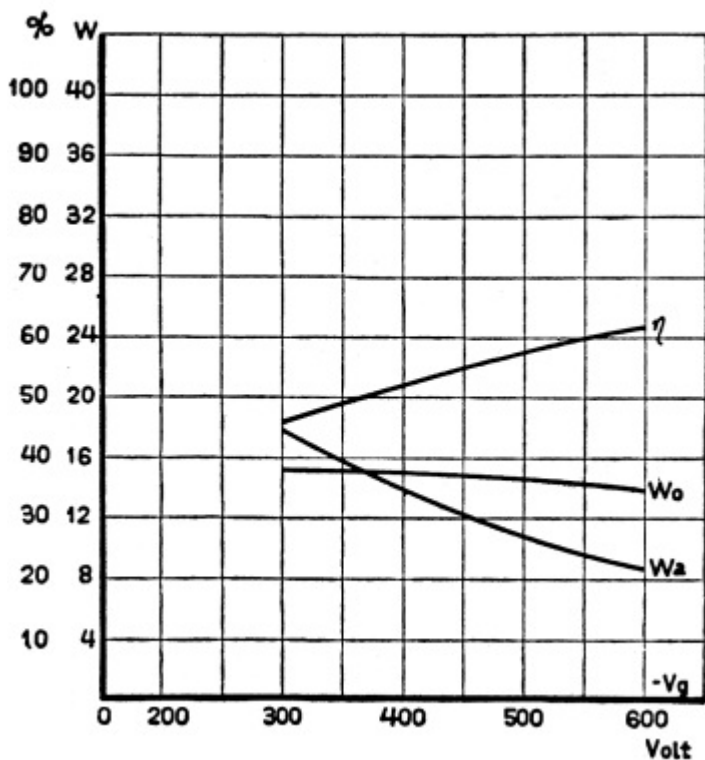


Fig. 24. Frequentieverdubbeling met TB 04/10. W_o , W_a en η als functie van de negatieve roosterspanning V_g bij $R_u = 6000 \text{ ohm}$ en $V_a = 500 \text{ V}$. en zoodanige instelling dat het rooster steeds evenveel maximaal positief wordt, nml. 150 V .

Fig. 25, 26 en 27 geven de overeenkomstige krommen voor frequentie verdrievoudiging.

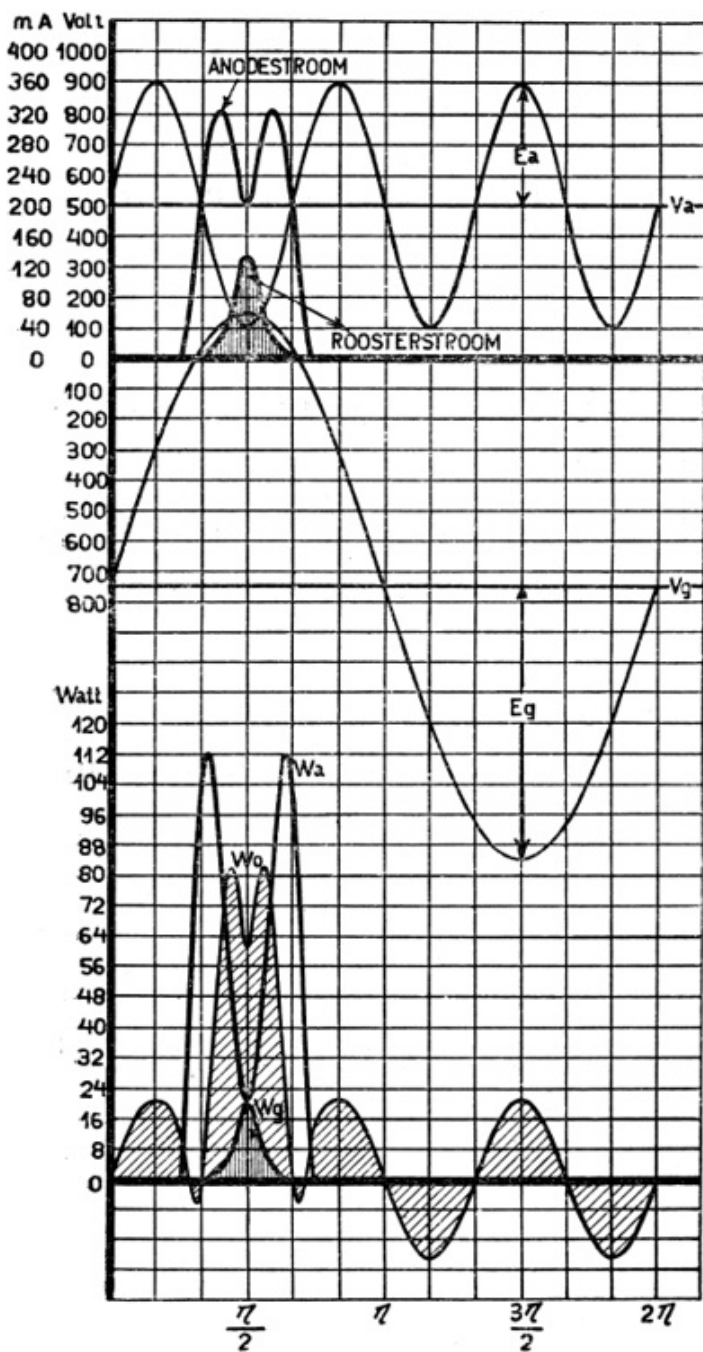


Fig. 25. Frequentieverdrievoudiging. Oscillogram voor één periode van de roosterwisselspanning, afgeleid uit de statische karakteristieken van fig. 18.

Anodegelijkspanning $V_a = 500\text{ V}$.

Anodewisselspanningamplitude $E_a = 400\text{ V}$.

Roostergelijkspanning $V_g = -750\text{ V}$.

Roosterwisselspanningamplitude $E_g = 900\text{ V}$.

Het rooster wordt hier dus evenveel maximaal positief als in fig. 19 en 22.

Uit het oscillogram vinden we:

Gemiddelde anodestroom $I_a = 52,4\text{ mA}$.

Gemiddelde roosterstroom $I_g = 8,7\text{ mA}$.

Input $W_i = 26,2\text{ W}$.

Anodedissipatie $W_a = 15,5\text{ W}$.

Output $W_o = 10,7\text{ W}$.

Roosterdissipatie $W_g = 1,1\text{ W}$.

Roosterlekdisipatie $W_l = 6,5\text{ W}$.

Rendement $\eta = 41\%$.

Versterking $V = 1,4$.

Uitwendige weerstand $R_u = 7470\text{ ohm}$.

Lekweerstand $R_g = 86200\text{ ohm}$.

In verband met de zeer hoge rooster spanningen en anodedissipatie zou met een normale TB 04/10 bij deze instelling de levensduur gering zijn — het is dus geen praktische toestand.

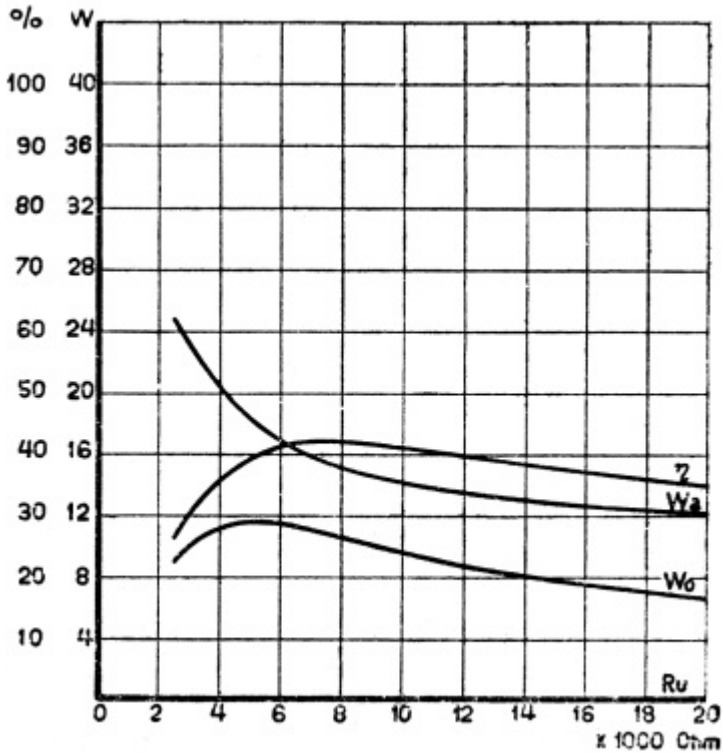


Fig. 26. Frequentieverdrievoudiging met TB 04/10. Output W_o , anodedissipatie W_a en rendement η als functie van den uitwendigen golfweerstand R_u . Steeds is hierbij: Anodegelijks spanning $V_a = 500 \text{ V}$.

Roostergelijks spanning $V_g = -750 \text{ V}$.

Roosterwisselspanningamplitude $E_g = 900 \text{ V}$.

De toestand bij $R_u = 7470 \text{ ohm}$ komt overeen met dien van het oscillogram van fig.

25.

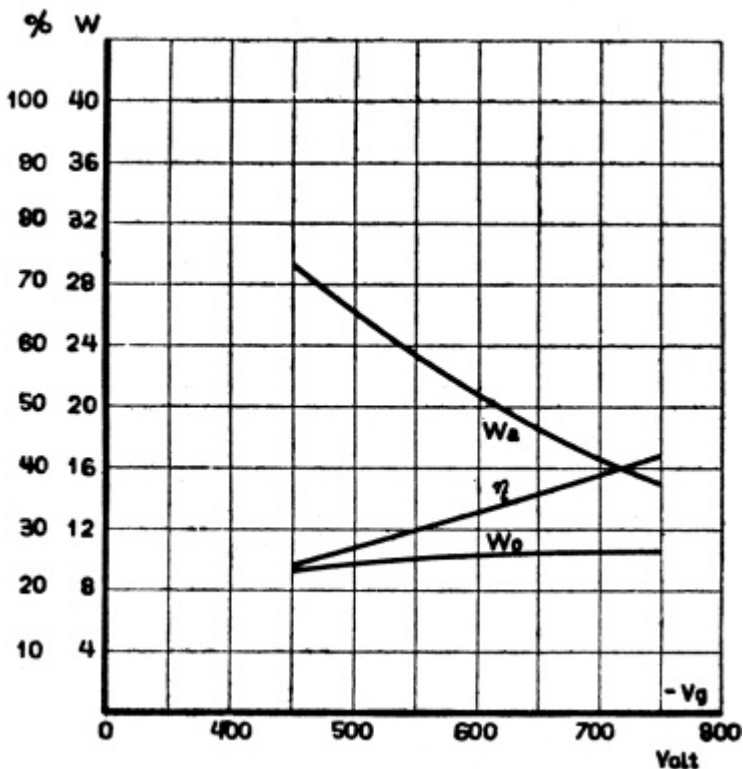


Fig. 27. Frequentieverdrievoudiging met TB 04/10. W_o , W_a en η als functie van de negatieve rooster spanning V_g bij $R_u = 8000 \text{ ohm}$ en $V_a = 500 \text{ V}$. en zoodanige instelling, dat het rooster steeds evenveel (150 V.) maximaal positief wordt.

Wanneer het rooster zóó geëxciteerd wordt, dat er roosterstroom vloeit, dan kan de negatieve rooster spanning, behalve door middel van een batterij of machine ook opgewekt worden door middel van een z.g. "lekweerstand en roostercondensator" volgens fig. 28.

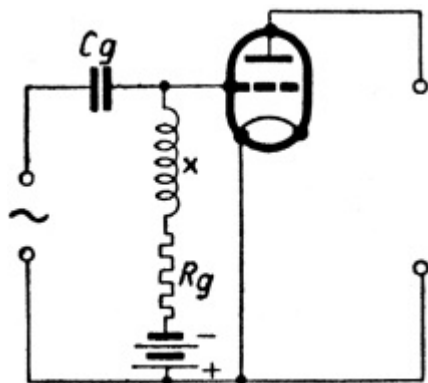


Fig. 28. Roostercondensator C_g met lekweerstand R_g en hoogfrequentsmoorspoel x . De (kleine) negatieve roosterspanningbatterij dient om — wanneer geen rooster-excitatie aanwezig is — de anodedissipatie bij de toegepaste anodespanning beneden de maximaal toelaatbare waarde te houden.

Bij passende keuze van den weerstand in verband met den roosterstroom kan het spanningverval over dezen weerstand juist de gewenschte negatieve roosterspanning opleveren. Praktisch is deze weerstand van de orde van 1000 tot 50.000 ohm.

De Gemoduleerde Oscillator.

De voornaamste in aanmerking komende modulatiesystemen zijn:

1e. anode-modulatie: verandering van den output door verandering van de anode-gelijkspanning V_a ;

2e. roostergelijkspanning-modulatie: verandering van den output door verandering van de negatieve roosterspanning V_g . Dit kan direct geschieden, doch ook indirect door verandering van de grootte van de lekweerstand (z.g. Gittergleichstrom-modulatie);

3e. roosterwisselspanning-modulatie: verandering van den output door verandering van de roosterwisselspanning E_g . Dit kan praktisch het gemakkelijkst geschieden door moduleeren van de voorafgaande triode, welke de rooster-excitatie levert.

We zullen hier slechts ingaan op een nadere beschouwing van de anode-modulatie, aangezien deze voor kortegolf-zenders vele voordeelen biedt en in den Philipszender is toegepast.

Fig. 29 geeft de anode-modulatie-karakteristiek,

$$I_{\text{antenne}} = f(V_a)$$

aan een TB 04/10 triode gemeten met vreemd-excitatie.

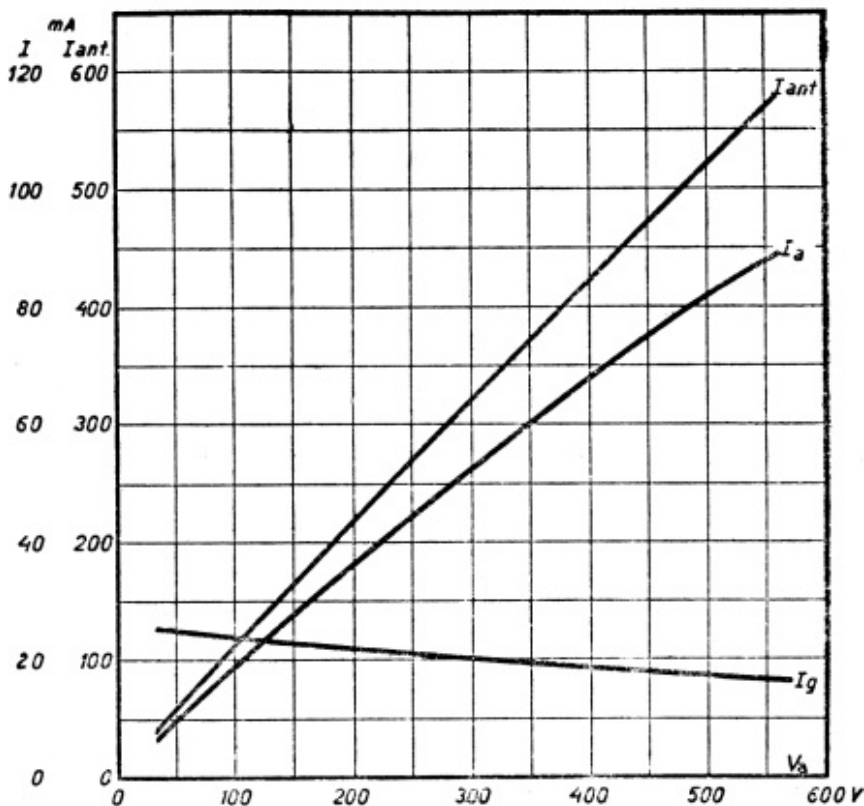


Fig. 29. Anodemodulatiekarakteristiek van een oscillator met TB 04/10 triode. Antennestroom I_{ant} , anodestroom I_a en roosterstroom I_g zijn gemeten als functie van de anodespanning V_a , bij constante anodespanning van de voorafgaande triode welke de rooster-excitatie levert.

Het is blijkbaar zeer goed mogelijk op deze wijze het gewenschte doel te bereiken, n.l. dat de antenne-stroom een zooveel mogelijk lineaire functie is van de anode-spanning. Fig. 29 geeft tevens het verband tusschen anodespanning en anodestroom.

Wat we onder den reeds eerder vaag aangeduiden "weerstand van den oscillator" verstaan, zal nu wat nader verklaard kunnen worden. We noemen

$$R_o = \frac{d V_a}{d I_a}$$

den differentiaal weerstand van den oscillator (in oscilleerenden toestand).

Deze wordt voorgesteld door den cotangens van den hellingshoek van de lijn $I_a = f(V_a)$ in het beschouwde gebied.

De taak van den modulator is nu, de gewenschte anode-spanning-veranderingen tot

stand te brengen. R_o is dus — met inachtnaam van de transformatieverhouding van den transformator welke modulator en oscillator koppelt — de uitwendige weerstand voor den modulator. Voor het bepalen van de condities waaronder de modulator werkt, is het dus noodzakelijk R_o te kennen zooals we uit het voorgaande gezien hebben.

Aangezien onder practische omstandigheden het verband tusschen anode-spanning en anode-stroom vrijwel lineair is en deze lijn door den oorsprong gaat, is:

$$R_o = \frac{d V_a}{d I_a} \approx \frac{V_a}{I_a} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (12)$$

We weten uit het voorgaande (fig. 20 en 21) dat, bij constante en voldoende sterke rooster-excitatie den constante anode-spanning V_a , de grootte van den anode-stroom I_a in hoofdzaak bepaald wordt door den uitwendigen weerstand R_u van den oscillator, waarbij:

$$R_u = \frac{L}{C \cdot R_a}$$

en R_a afhankelijk is van de antenne-koppeling en antenne-weerstand. We zien dus, dat door verandering van de antenne-koppeling, R_o en dus ook die input bij een bepaalde anode-spanning, binnen wijde grenzen gewijzigd kan worden. (R_o staat dus *niet* in nauw verband met den inwendigen weerstand R_i van de triode, zooals we dien uit de statische karakteristieken vinden). De minimum-waarde van R_o waarop we kunnen instellen, wordt in hoofdzaak bepaald door de steilheid S van de statische karakteristieken van de oscillatortriode en door de beschikbare verzadigings-emissie van den gloeidraad. Zijn beide groot, dan kan de triode bij lage anode-spanning een groot vermogen ontwikkelen en kan R_o klein zijn.

Zooals we uit de formule van Langmuir kunnen afleiden, (zie verg. 2) wordt de steilheid bepaald door de verhouding l / r van de triode en de grootte van den anode-stroom.

De prinseschakeling van oscillator en modulator kan bijv. zijn volgens fig. 30.

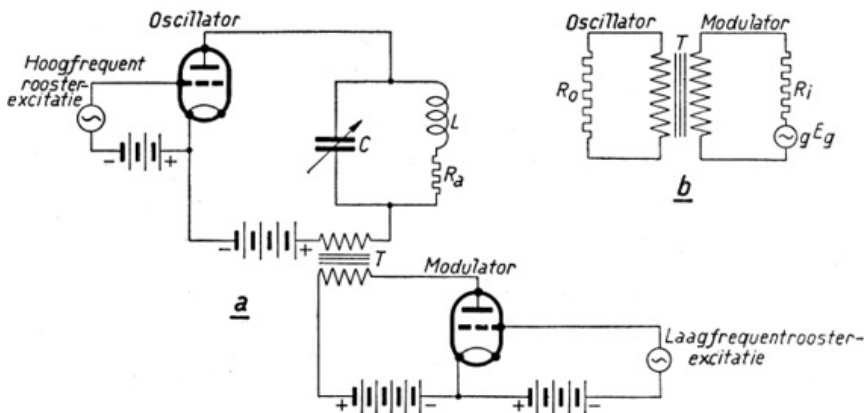


Fig. 30. Prinseschakeling (a) van oscillator en modulator voor anode-modulatie en

overeenkomstig vervangingsschema (b). T is de koppel-transformator. De laagfrequente secundaire wisselspanningen worden gesuperponeerd op de anodeglijkspanning van den oscillator.

De anodeketens van oscillator en modulator zijn door middel van een transformator met elkaar gekoppeld. De transformatieverhouding kan zoo gekozen worden, dat de weerstanden van oscillator en modulator zoo goed mogelijk aangepast zijn.

Vaak wordt eenvoudigheidshalve een auto-transformator toegepast, met transformatieverhouding 1 : 1. Zoo'n transformator is in wezen feitelijk niets anders dan een koppelsmoorspoel. De impedantie hiervan moet dus groot zijn, t.o.v. den weerstand R_o van den oscillator, zelfs voor de laagste in aanmerking komende modulatie-frequenties. Practisch komt men dan tot een waarde van de zelfinductie van 10 tot 50 Henry. Volgens deze schakeling (fig. 31) heeft men de aanpassing van modulator aan oscillator niet zoo goed in de hand.

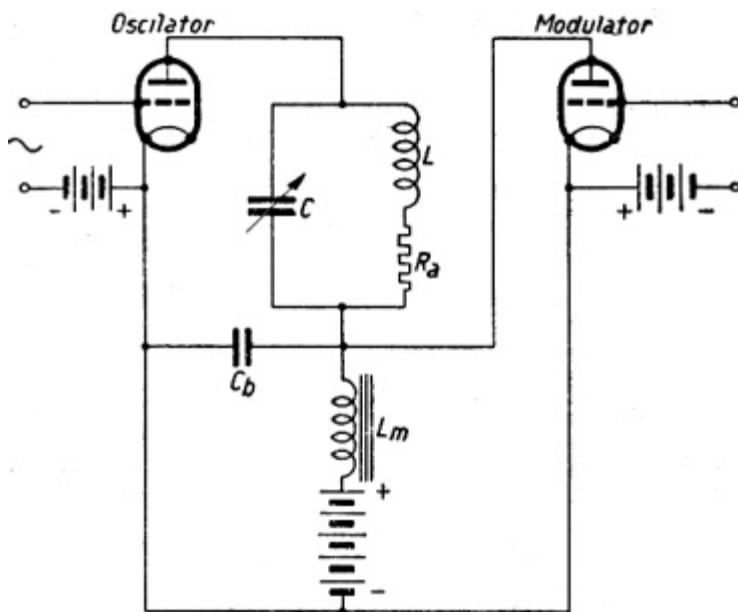


Fig. 31. Principeschema van de smoorspoel modulatiemethode. L_m is de modulatiesmoorspoel.

In den Philips' zender is de smoorspoel-modulatiemethode toegepast, evenwel met een wijziging welke betere aanpassing toelaat. Hierop zullen we bij de beschrijving van den zender nader ingaan.

Op de boven beschreven wijze worden de laagfrequente wisselspanningen, welke de modulator levert, gesuperponeerd op de aan den oscillator toegevoerde gelijkspanning, en

veroorzaken zij overeenkomstige veranderingen in de amplitude van den (hoogfrequenten) antennestroom.

De verhouding van de topwaarde van de laagfrequente wisselspanning welke de modulator levert — voorloopig sinusvormig en met constante amplitude gedacht — tot de gelijkspanning van den oscillator, noemen we de *modulatiediepte* k (zie fig. 32). We veronderstellen dat we steeds werken in de rechte deelen van de dynamische karakteristiek van den modulator en van de oscillatiekarakteristiek van den oscillator.

Bij sinusvormige modulatie (en verwaarloozing van enkele bijkomstige factoren) is het verloop ongeveer als volgens fig. 32.

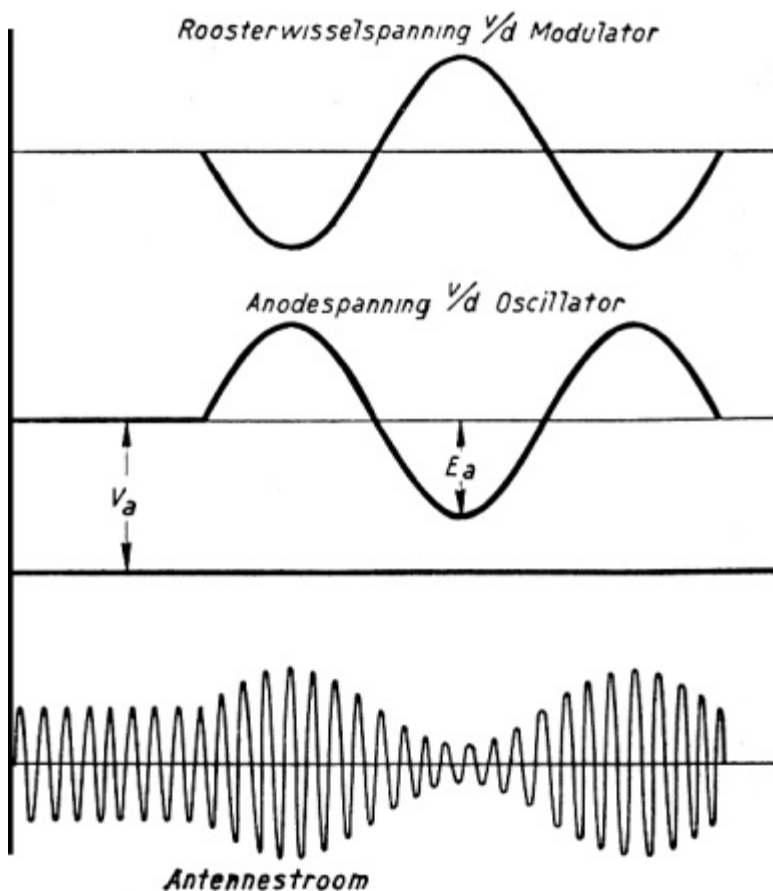


Fig. 32.

We noemen:

I_0 = amplitude antennestroom in ongemoduleerden toestand.

i_o = effectieve waarde antennestroom in ongemoduleerden toestand.

i_m = effectieve waarde antennestroom in gemoduleerden toestand.

k = modulatie diepte.

ω = frequentie van den oscillator (hoogfrequent).

ψ = frequentie van de modulator-wisselspanning (laagfr.).

Dan is de momenteele waarde van den antennestroom:

$$i_t = I_o (1 + k \cos \psi t) \cdot \sin \omega t$$

$$i_t = I_o \sin \omega t + k \cdot I_o \cos \psi t \cdot \sin \omega t$$

Door goniometrische herleiding volgt hieruit:

$$i_t = I_o \sin \omega t + \frac{k \cdot I_o}{2} \sin (\omega + \psi) t + \frac{k \cdot I_o}{2} \sin (\omega - \psi) t \dots \dots \dots (14)$$

We zien hieruit, dat in gemoduleerden toestand de antennestroom uit drie componenten van verschillende frequentie bestaat (zie fig. 33A):

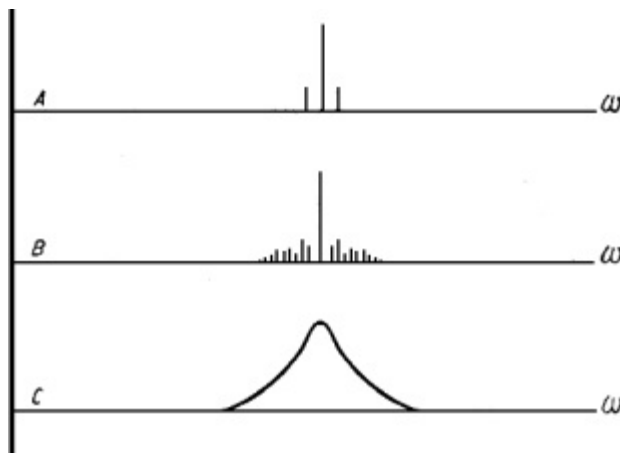


Fig. 33.

1e. de component $I_o \sin \omega t$ met gelijke frequentie ω en amplitude I_o als in ongemoduleerden toestand. Deze component heet: de *draaggolf*.

2e. de componenten $\frac{1}{2} k I_o \cdot \sin (\omega + \psi)$ en $\frac{1}{2} k I_o \cdot \sin (\omega - \psi)$ met frequenties welke de modulatiefrequentie ψ grooter en kleiner zijn dan de frequentie ω van de draaggolf, en

amplitudo $\frac{1}{2} k I_0$.

Bij het uitzenden van muziek, samengesteld uit verschillende frequenties met verschillende amplitudo, bestaan deze twee componenten ieder niet uit één enkele frequentie, doch uit een spectrum van frequenties. Aan weerszijden van de draaggolf is dan zoo'n frequentiespectrum aanwezig, de z.g. *zij-banden* (fig. 33B)

Voor de effectieve waarde van den gemoduleerden antenne-stroom vinden we:

$$i_m^2 = \frac{I_0^2}{2} + \frac{k^2 I_0^2}{4} + \frac{k^2 I_0^2}{4}.$$

$$i_m^2 = \frac{I_0^2}{2} \left(1 + \frac{k^2}{2} \right). \quad (15)$$

In ongemoduleerden toestand ($k = 0$) is de effectieve waarde van den antennestroom:

$$i_o^2 = \frac{I_0^2}{2}. \quad (16)$$

Dit, gesubstitueerd in (15) geeft:

$$i_m^2 = i_o^2 (1 + k^2/2)$$

dus:

$$i_m = i_o \sqrt{1 + \frac{k^2}{2}} \quad (17)$$

Tengevolge van het moduleeren is dus de effectieve waarde van den antennestroom toegenomen. Noemen we:

δ = procentueele toename van den antennestroom, dan is:

$$i_m = i_o (1 + \delta) \quad (18)$$

We vinden:

$$\delta = \sqrt{1 + \frac{k^2}{2}} - 1 \quad (19)$$

De antennestroomtoename is des te grooter, naarmate de modulatiepte grooter is.

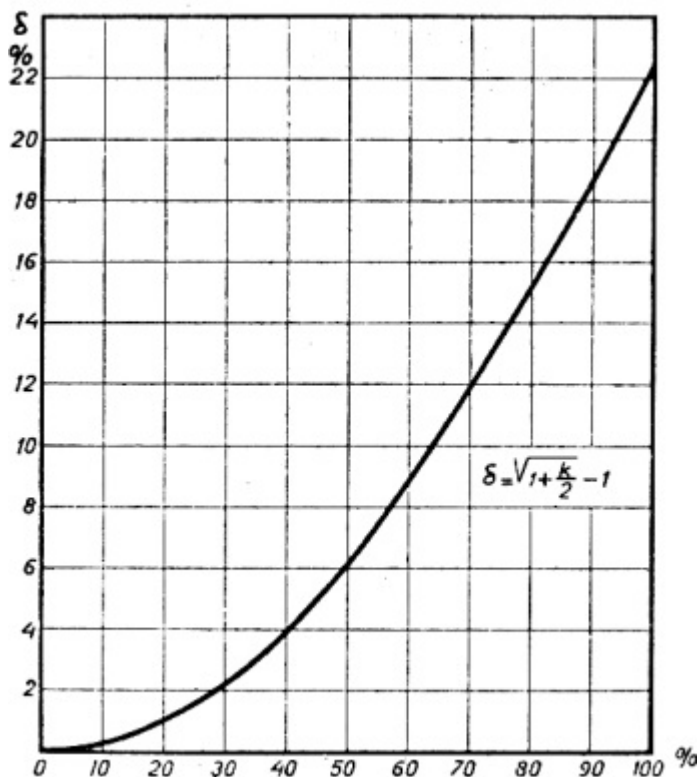


Fig. 34.

Fig. 34, afgeleid uit verg. 19 geeft het verband tusschen modulatiepte en antennestroomtoename, beide in procenten uitgedrukt. Door middel van de antennestroomtoename kan men dus de modulatiepte meten.

Dat de antennestroom *moet* toenemen bij het moduleeren, kan men ook direct inzien, wanneer men bedenkt, dat de laagfrequente energie, welke de modulator levert, aan den oscillator wordt toegevoerd. De input van den oscillator neemt dus toe, en dus, bij nagenoeg constant rendement, ook de output.

Aangezien bij k % modulatiepte zoowel anodespanning als anodestroom ongeveer k % toenemen (bij anodemodulatie) moet:

- 1e. de isolatie van de onderdeelen van den zender berekend zijn op het momenteel optreden van hoge spanningen;
- 2e. de verzadigingsemissie van den gloeidraad k % grooter zijn, dan noodig is in ongemoduleerden toestand (telegrafie).

Praktisch komt dat dus hierop neer, dat bij telefoniebedrijf en anodemodulatie de verzadigingsemissie van den gloeidraad 5 à 10 maal de gemiddelde anodestroom in

ongemoduleerden toestand moet zijn, afhankelijk van de instelling van den oscillator en de toe te laten modulatie diepte en vervorming.

Aangezien bij roostermodulatie de anodespanning constant blijft, zijn daarbij de benodigde anodestroomvariëaties grootter om dezelfde energie-variëatie te verkrijgen. De benodigde emissie is dus ook grootter, en voor goed rendement moet dan de steilheid van de triode grootter zijn. Een groote steilheid kan men o.a. bereiken door parallelschakeling van trioden. Op korte golf gaat het toepassen van meer dan bijv. twee trioden van groote energie met zeer groote moeilijkheden gepaard.

We hebben eerder reeds gewezen op de vervorming welke het gevolg kan zijn van z.g. frequentie-modulatie, veroorzaakt door het varieëren van de draaggolf frequentie tengevolge van het moduleeren. Temperatuurveranderingen van de onderdeelen van den zender en zelfs het naderen met een lichaamsdeel kunnen vooral bij een teruggekoppelden zender frequentieveranderingen veroorzaken. De eigenfrequentie van een trillingsketen, bevattende L C en R is gegeven door de betrekking:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (20)$$

We zien dat de frequentie beïnvloed wordt door den weerstand (zij het ook in mindere mate dan door C of L). Bij een teruggekoppelden oscillator wordt de frequentie van de opgewekte trillingen in hoofdzaak bepaald door de eigen-frequentie van een trillingsketen. Veranderingen van anode- of roosterspanning van den oscillator brengen veranderingen teweeg in den weerstandterm van verg. 20 tengevolge van veranderingen in den "gemiddelden inwendigen weerstand" van de oscillerende triode. Bij de teruggekoppelde triode veroorzaken roosterstroomvariëaties ook nog op andere wijze — nml. door veranderingen van fase-verschuiving tusschen rooster- en anode-wisselspanningen — ernstige frequentievariëaties. De grootte van de frequentieveranderingen is dus o.a. afhankelijk van de instellingen van den oscillator. Modulatie in anode- of roosterketen beïnvloedt dus niet alleen de amplitude van de opgewekte trillingen, doch ook de frequentie van de draaggolf. Bij een teruggekoppelden oscillator gaat amplitude-modulatie vrijwel steeds gepaard met tamelijk ernstige frequentiemodulatie.

Op korte golflengte, d.w.z. zeer hooge frequentie, veroorzaken kleine procentueele variëaties groote veranderingen in het aantal perioden per seconde. Bij een golflengte van 30,2 meter (zooals van den Philipszender) zou een onconstantheid van slechts 1 % een frequentievariëatie beteekenen van 10.000 per. per sec. Een dergelijke onconstantheid is in het algemeen ontoelaatbaar.

De Piëzo-oscillator en Versterkerschakelingen.

Bij den Philipszender wordt een constante frequentie verkregen door middel van een piëzo-electrisch kwartskristal, dat in den roosterkring van een kleine triode (TB04/10) geschakeld kan zijn, bijv. volgens fig. 35.

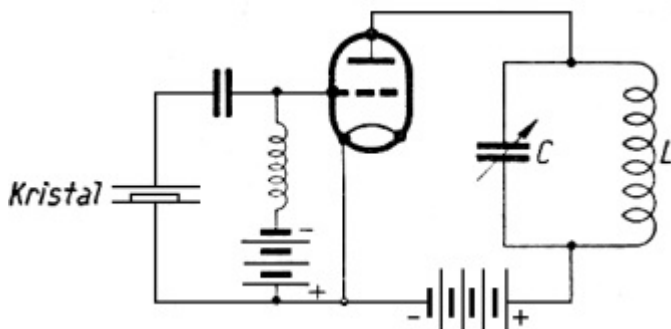


Fig. 35.

Het piëzo-electrisch effect werd in 1880 ontdekt door P. en J. Curie en voor radiodoeleinden toegepast door Cady. Kwarts is daarvoor een zeer geschikt materiaal. Wanneer een op de juiste wijze uit het kristal gesneden schijfje geplaatst wordt tusschen twee metaalplaatjes, als di-electricum van een kleinen condensator, dan zullen spanningveranderingen tusschen de metaalplaatjes het kristal doen uitzetten of inkrimpen, al naar gelang van de polariteit. Maximum effect wordt verkregen wanneer de frequentie van de opgedrukte wisselspanning nagenoeg overeenkomt met een eigenfrequentie van het kwartsplaatje. Voor zenddoeleinden wordt meestal gebruik gemaakt van de eigenfrequentie welke bepaald wordt door de dikteafmeting van het kristal — voor elke 100 meter golflengte moet het kristal ca. 1 m.m. dik zijn. In verband hiermee is het niet doenlijk kristallen te slijpen voor zeer korte golflengte: 40 meter is wel de grens. Voor het verkrijgen van korte golven (hooë frequentie) gaat men meestal uit van een kristal voor betrekkelijk lange golf en past frequentieverveelvoudiging toe, zooals hiervoor nader uiteengezet is.

De mechanische trillingen van het kwartsplaatje veroorzaken capaciteit-variaties van het kleine condensatortje, gevormd door de metalen plaatjes en het tusschenliggende kristal. Aan dit condensatortje is parallel geschakeld o.a. de roostergloeidraadcapaciteit van de triode. Hoe grooter deze capaciteit is, des te geringer zal de invloed zijn van de variaties tengevolge van het trillen van het kwartskristal, zoodat een grootere amplitude van de kristaltrillingen of een kristal van grooter oppervlak noodig zou zijn, om dezelfde roosterspanningvariaties teweeg te brengen. Het effect van een groote rooster-gloeidraad-capaciteit zou men kunnen vergelijken met het effect van een lossere koppeling van het

kristal met de triode. In het algemeen is een groote rooster-gloeidraadcapaciteit dus ongewenscht. Bij het uitvoeren van trillingen met te groote amplitude kan het kristal teveel in temperatuur stijgen, tengevolge van de weerstandverliezen en bestaat zelfs de kans dat het stuk gaat. Temperatuurstijging zou hier bovendien frequentievariatie tengevolge hebben en is dus ongewenscht. De temperatuurcoëfficiënt is gelukkig zeer gering bij kwarts.

Met een piëzo-electrisch kwartskristal en een triode is het dus mogelijk hoogfrequente trillingen op te wekken van zeer constante frequentie. De energie welke men op deze wijze kan verkrijgen, bedraagt gewoonlijk hoogstens slechts enkele watts, zoodat meestal eenige duizenden malen versterkt moet worden om bijv. 15 k.W. energie te verkrijgen. We hebben gezien, dat dit versterken kan gebeuren met triode-oscillatoren. Door cascadeschakeling van een aantal daarvan kan men den gewenschten versterkingsgraad bereiken. Elke volgende triode moet daarbij natuurlijk een grootter vermogen kunnen verwerken dan haar voorgangster. Het principieschema is ongeveer volgens fig. 36a.

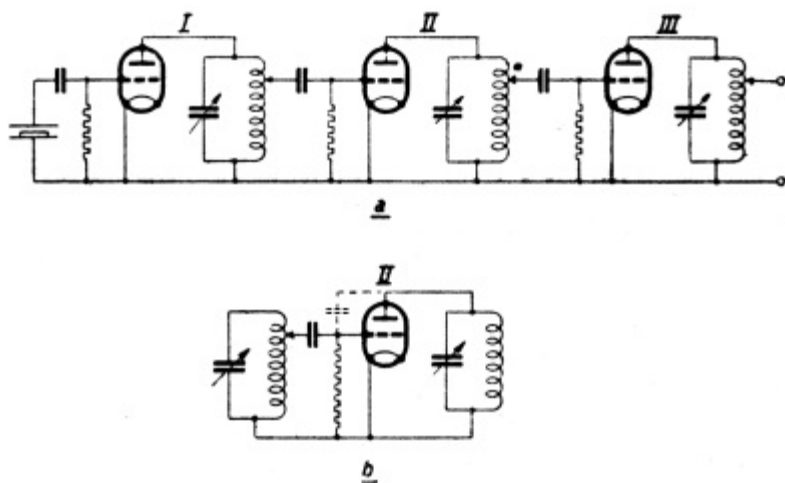


Fig. 36.

Met deze schakeling zou zich evenwel de invloed van de rooster-anodecapaciteit van de trioden in hinderlijke mate doen gelden: de hierdoor gevormde terugkoppeling veroorzaakt neiging tot oscilleeren ook zonder dat het kristal oscilleert.

Bezien we bijv. den tweeden versterkingstrap van fig. 36a nader (fig. 36b) dan merken we op, dat tengevolge van de rooster-anode-capaciteit energie uit de anodeketen aan de roosterketen overgedragen kan worden. Met voldoende groote roosteranodecapaciteit kan deze terugkoppeling spontaan oscilleeren tengevolge hebben, ook zonder dat het rooster door de voorafgaande triode geëxciteerd wordt. Deze ongewenschte toestand — en nog

enkele andere storende verschijnselen welke mede hiervan het gevolg zijn — doet zich praktisch inderdaad in hevige mate voor — vooral op korte golf.

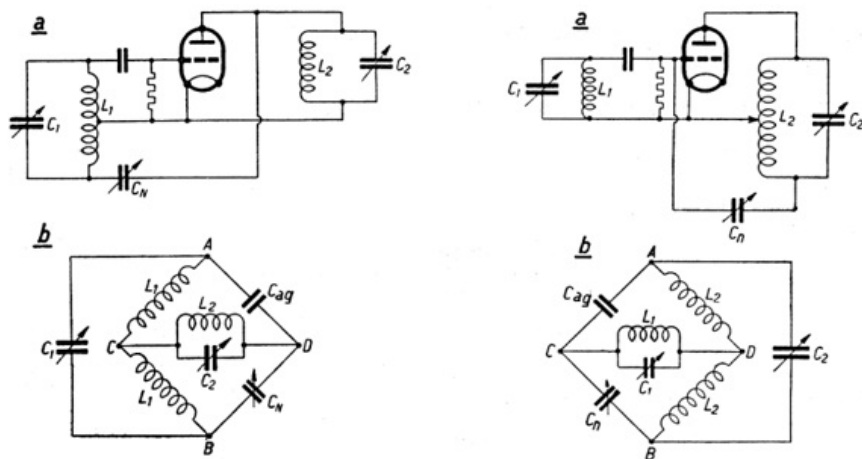


Fig. 37 (links) en fig. 38 (rechts)

Teneinde deze en dergelijke ongewenste terugwerkingen te elimineeren kan men schakelingen volgens fig. 37 of fig. 38 toepassen. Dergelijke schakelingen zijn ook in de ontvangtechniek bekend, onder den naam: *neutraliseering* of *neutrodyneschakelingen*. Men bereikt er in zekeren zin mee een "neutraliseering" van den invloed van de rooster-anodecapaciteit. Zooals uit fig. 37 en fig. 38 te zien is, kan men deze (en dergelijke) schakelingen terugvoeren tot Wheatstonesche-brugschakelingen voor impedanties, met dit onderscheid dat de onderlinge koppeling van de takken, resp. L_2 , hier van essentieel belang is.

Door juiste instelling van den neutraliseeringscondensator C_n zoodat het Wheatstonesche evenwicht verkregen wordt, kan men inderdaad bereiken, dat de ketens L_1C_1 en L_2C_2 niet meer gekoppeld zijn. Bij aanleggen van een wisselspanning tusschen A en B zal tusschen C en D geen wisselspanning ontstaan wanneer de triode niet oscilleert. Bestond er geen koppeling tusschen de takken, resp. L_2 , dan zou een wisselspanning tusschen anode en gloeidraad wel degelijk aanleiding geven tot een wisselspanning tusschen rooster en gloeidraad.

We merken voorts nog op, dat het Wheatstonesche evenwicht alleen bestaat voor de frequentie waarop L_1C_1 en L_2C_2 afgestemd zijn, dus niet bijv. voor een veelvoud van deze frequentie. Versterkertrappen, waarbij tevens frequentievermenigvuldiging wordt toegepast, behoeven meestal niet "geneutraliseerd" te worden, aangezien rooster en anodeketen op verschillende frequenties zijn afgestemd en daardoor praktisch geen merkbare neiging bestaat tot zelf-oscilleeren. Wel kan de capacitieve terugwerking van de vermenigvuldigde frequentie op vorige trappen hinderlijk worden, en inderdaad konden

dergelijke verschijnselen bij den Philipszender geconstateerd worden. Door verschillende schakelingen kon evenwel met betrekkelijk eenvoudige middelen hierin voorzien worden.

Wanneer een trillingskring, bijv. de anodeketen van één der versterkertrappen, niet juist afgestemd is, zal dit — binnen zekere grenzen — praktisch geen invloed uitoefenen op de frequentie van de uitgezonden trilling. Deze eigenschap is zeer waardevol: kleine verstemmingen, hebben in elk geval geen invloed op de frequentie-constantheid, welke zoozeer gewenscht is. Slechts zal de input van den betreffenden trap toenemen en het rendement minder hoog zijn, dan bij juiste afstemming, tengevolge van het feit dat de impedantie van die keten voor de betreffende frequentie is afgenomen en de fazeverschuiving tusschen anode- en roosterwisselspanning niet langer meer 180° is.

Zelfs wanneer één der versterkertrappen, bijv. tengevolge van onvolkomen neutralisering, neiging heeft tot zelf-oscilleeren, bijv. in een iets verschillende frequentie, dan nog zal de frequentie van de uitgezonden trilling praktisch geen verandering ondergaan tengevolge van de z.g. *synchroniseerende werking* van de opgedrukte rooster-excitatie, welke tengevolge heeft dat de vrije trilling onderdrukt wordt en alleen de gedwongen trilling blijft bestaan. In het algemeen is de synchroniseerende werking des te sterker, naarmate meer van de gebogen deelen van de triodekarakteristieken gebruik gemaakt wordt en naarmate de opgedrukte rooster-excitatie sterker is. Deze synchroniseerende werking kan inderdaad zeer aanzienlijk zijn en is daarom van groot praktisch belang.

DE PHILIPSZENDER PCJJ.

De Philipszender PCJJ te Eindhoven (nu overgebracht naar Hilversum) is geconstrueerd volgens de zooeven uiteengezette inzichten. Nadat de daartoe noodige experimenten verricht waren met gering vermogen (10 tot 50 watt) kon met behulp van de daarmee verkregen gegevens met voldoende nauwkeurigheid geëxtrapoleerd worden, om daarop de constructie van een zender van ca. 25 k.W. vermogen te baseeren. De geëxtrapoleerde waarden zijn naderhand in overeenstemming gebleken met hetgeen aan den zender in definitieven vorm gemeten werd.

Het is dus een gestuurde zender, waarvan de frequentie bepaald wordt door een piezo-electrisch kwartskristal met frequentie 1.656.000 per. per sec. (golflengte ca. 181,06 meter). De kristal-oscillatortriode wordt gevolgd door zes versterkertrappen, waarvan één dient voor verdubbeling van de frequentie en een andere voor verdrievoudiging. De aldus verkregen frequentie is dus: 9.936.000 per. per sec. overeenkomende met een golflengte van ca. 30,2 meter. Totaal zijn er dus 7 cascadertrappen, waarvan de laatste twee watergekoelde trioden (type TA 12/20000 K in den laatsten trap) bevatten. Modulatie geschiedt in de anodeketen van de laatste watergekoelde versterkertriode met behulp van twee watergekoelde modulatorendrioden type MA 12/15000, gezamenlijk vermogen 30 k.W. Deze worden voorafgegaan door de beide glazen sub-modulator-trioden (1) type TB 2/250, gezamenlijk vermogen ca. 400 watt.

(1: De sub-modulator werkt als *versterker* en doet dus zelf niet mee aan het eigenlijke modulatieproces.)

De voor de rooster-excitatie van deze z.g. sub-modulatoren benodigde laagfrequentwisselspanningen worden via de z.g. *modulatielijn* (een telefoonlijntje) verkregen van de z.g. *vóórversterkers* (B versterker) welke in een ander vertrek opgesteld zijn: de z.g. *versterker en contrôlekamer*.

De microfoon is opgesteld in een vertrek met voor dit doel gunstige accoustische eigenschappen, de z.g. *klankzaal* of *studio*.

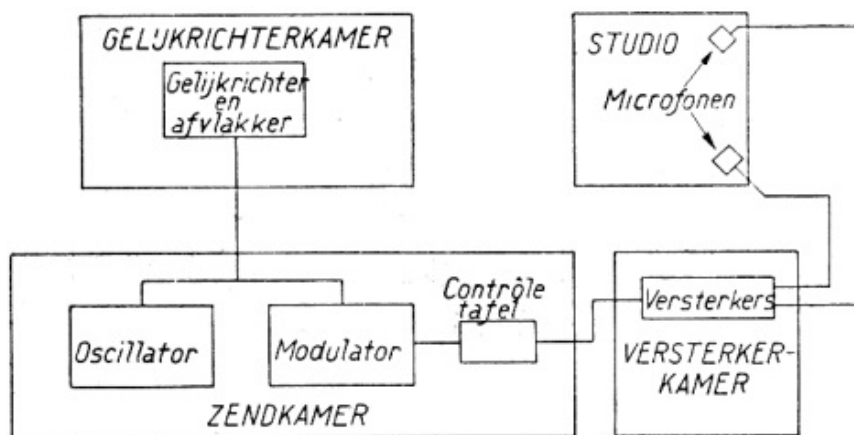


Fig. 39. Indeeling van PCJJ.

De anode-energie voor de voeding van de laatste oscillatortriode en de beide modulatrioden wordt verkregen van een gelijkrichterinstallatie met zes watergekoelde dioden en bijbehorende afvlakinrichting en modulatiesmoorspoel.

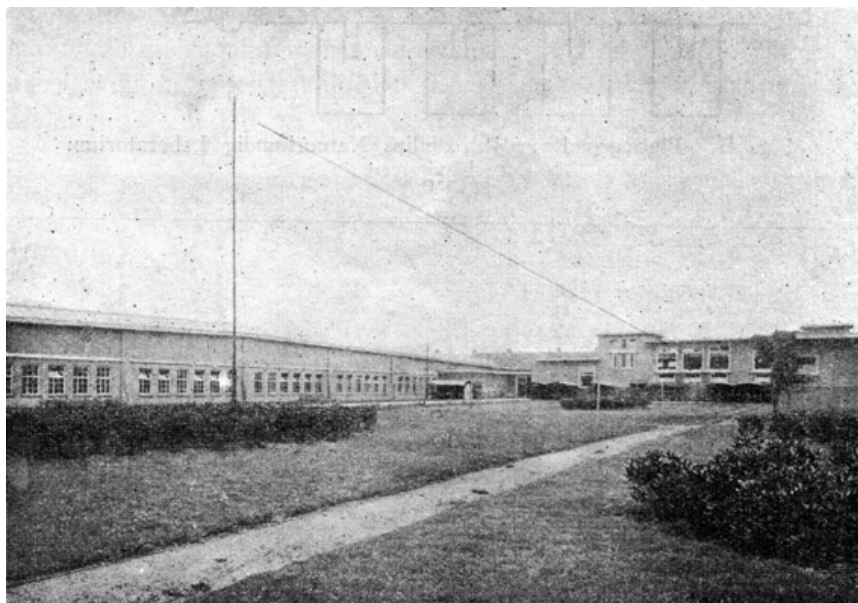


Fig. 40. De antenne van PCJJ te Eindhoven.

De antenne bestaat uit één enkelen draad van fosforbrons, gespannen vanaf den top

van een houten paal op de binnenplaats van het laboratorium naar een punt boven het dak van de zendkamer. Fig. 40 is een foto van de antenne.

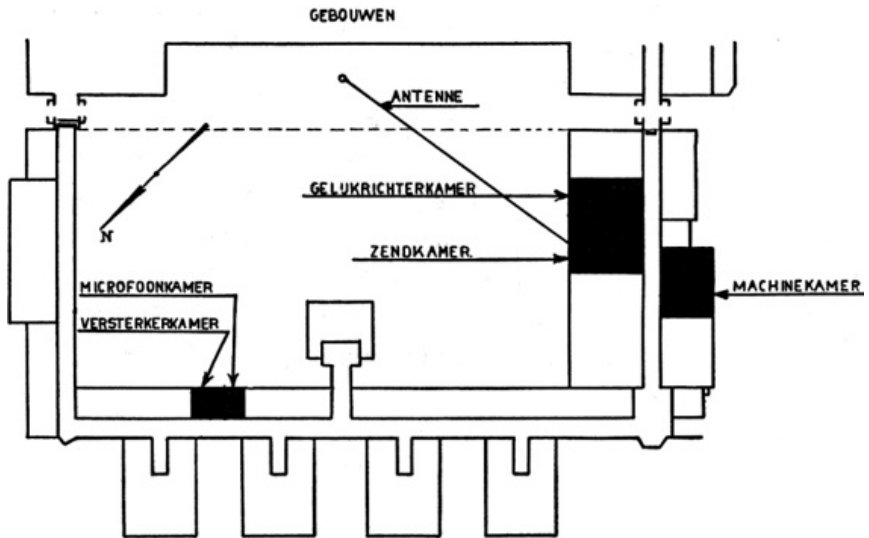


Fig. 41. Plattegrond van het Philips Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven

Fig. 41 is een plattegrond van het laboratorium welke de situatie van een en ander weergeeft.

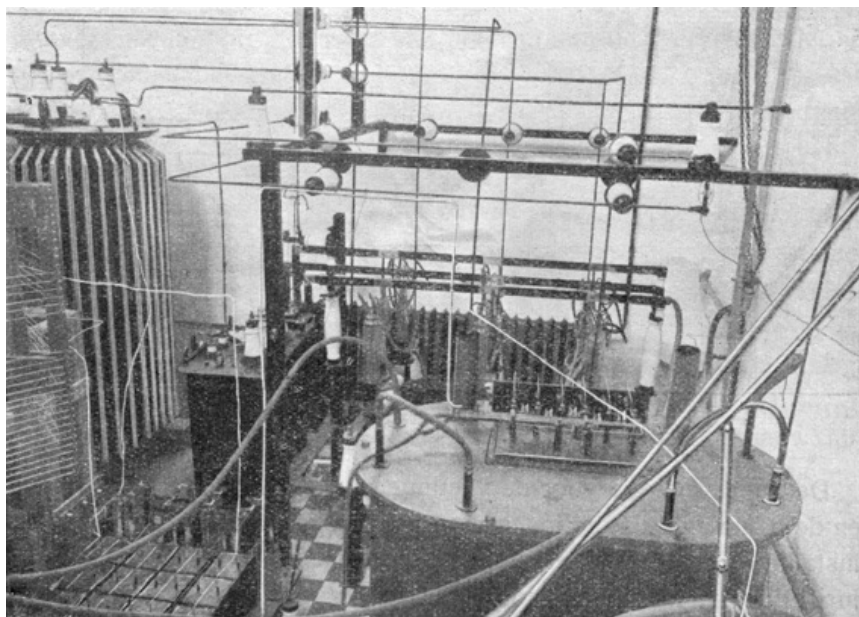


Fig. 42. Zes-fasen gelijkrichter met afvlakinrichting met watergekoelde dioden (rechts achter), maximaal vermogen 200 k.W.

Fig. 42 toont een deel van de groote gelijkrichterinstallatie. Op den voorgrond rechts is nog het bovendee van één der smoorspoelen te zien met veiligheidsvonkbrug. Links is nog iets te zien van den anodespanningstransformator en daarvóór een deel van den afvlakcondensator. Het is een zesfasengelijkrichter met watergekoelde dioden type DA 12/20000. Deze installatie was oorspronkelijk gebouwd — op de afvlakinrichting na — voor voeding van een langegolf-zender van groot vermogen met kunstantenne. (Zie Radio-Expres 27 Maart 1925). Het ontwerp voor den tegenwoordigen vorm is gemaakt door Ir. J.J. van Reysinge.

De regeling van de gelijkgerichte energie kan o.a. geschieden met behulp van regeling van de gloeispanning van de dioden met behulp van een inductieregelaar. Deze methode veroorzaakt wel een vrij aanzienlijk energieverlies, doch het vermogen van de installatie is zóó groot (maximaal 200 k.W.) dat nog ruim voldoende energie voor voeding van den kortegolfzender verkregen kan worden.

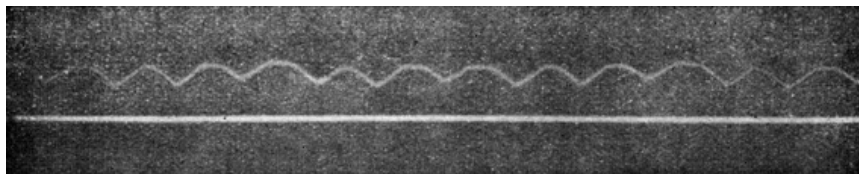


Fig. 43.

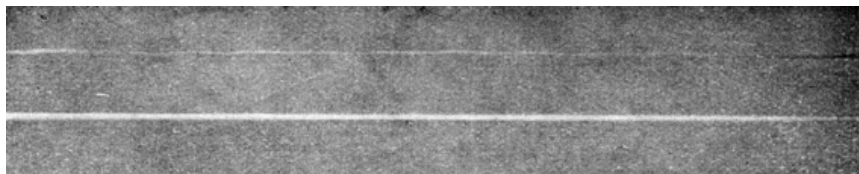


Fig. 44.

Als voordeel van deze methode mag o.a. genoemd worden de geringe "rimpel" in den verkregen gelijkstroom, zodat met betrekkelijk geringe afvlakmiddelen volstaan kan worden. Fig. 43 is bijv. een oscillogram van den gelijkgerichten stroom, bij maximale gloeispanning van de dioden en fig. 44 is een oscillogram bij verlaagde gloeispanning — overigens zonder toepassing van afvlakmiddelen. De "rimpel" is dus reeds zeer gering.

De oscillator en modulator.

Foto fig. 45 geeft een overzicht over het geheele hoogfrequente deel van den zender met modulator en sub-modulator (geheel rechts).

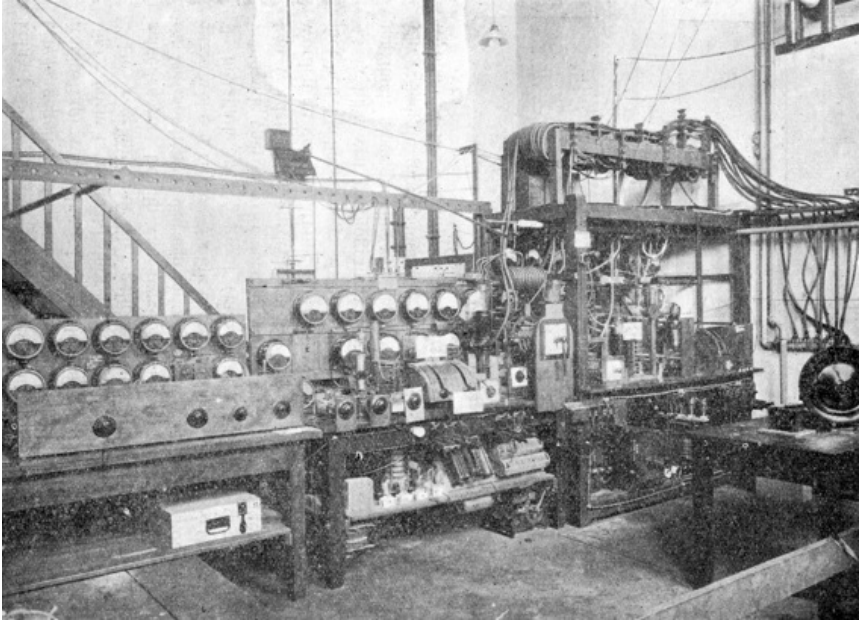


Fig. 45. PCJJ - overzichtsfoto.

Bovenop den zender zijn duidelijk zichtbaar de rollen gummislang welke dienen voor toe- en afvoer van het koelwater voor de watergekoelde zendlampen. De weerstand van de in zoo'n gummislang besloten waterkolom is zóó groot, dat de elektrische lekverliezen geheel verwaarloosd kunnen worden. Rechts tegen den muur zijn zichtbaar de centrale leidingen voor water en koellucht met bijbehorende kranen en de waterafvoerbak waarin de leidingen uitmonden.

Geheel rechts is nog zichtbaar de tafel, waaraan de persoon zit, die contróle uitvoert over den zender, en o.a. waakt tegen overmodulatie. Op deze tafel zijn gemonteerd:

- a. een nood-druknop waarmee de anodespanning van den laatsten versterkertrap van den oscillator en van de beide modulatoren uitgeschakeld kan worden. .
- b. een contróle-luidspreker welke aangesloten is op de z.g. modulatielijn, en dus weergeeft wat aan den zender toegevoerd wordt.
- c. een potentiometer waarmee de modulatie diepte geregeld kan worden.
- d. een telefoontoestel.

In de zendkamer is voorts opgesteld (niet zichtbaar op de foto) een contrôle-ontvanger met luidspreker, waarmee het uitgezondene gecontroleerd kan worden.

Foto fig. 45 toont den zender van voren gezien. Fig. 46 is het bijbehorende principe-schema, waaruit we zien, dat de zender in drie hoofdgroepen ingedeeld kan worden.

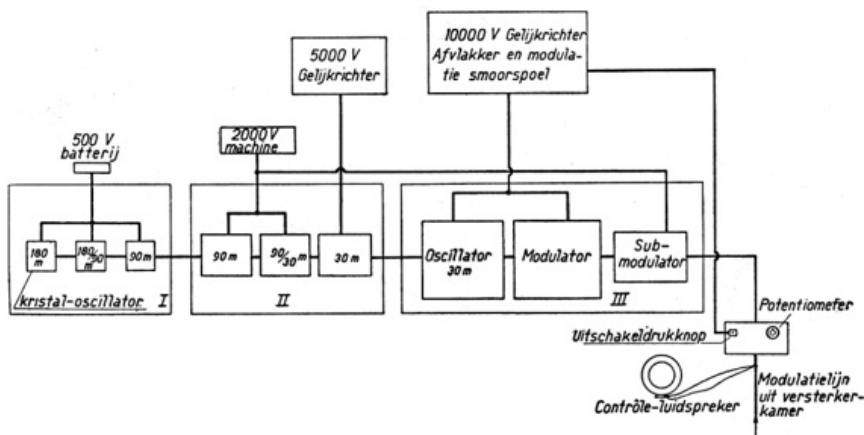
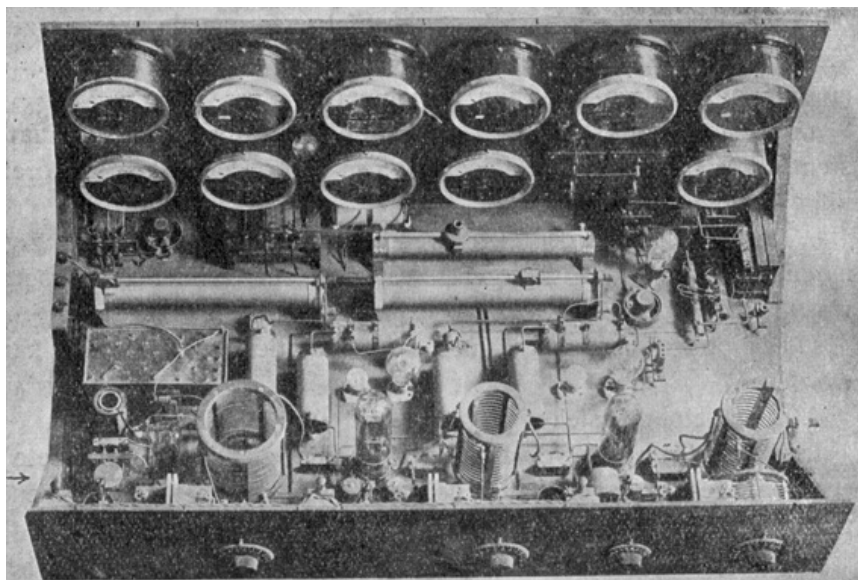


Fig. 46.

De eerste groep links bevat drie trappen, n.l. den kristal-oscillator met TB 04/10 triode en twee versterkers met TB 1/50 trioden. De middelste trap dient tevens ter verdubbeling van de frequentie. Foto fig. 46a geeft een nader beeld van deze groep.



*Fig. 46a. Kristal-oscillator met versterkers en frequentieverdubbeling.
Geheel links vooraan het kristal in een ronde houder.*

Het vermogen dat deze groep kan leveren is ca. 50 watt bij een golflengte van 90,53 meter.

De anodevoeding wordt verkregen vanuit de centrale 500 V. accubatterij van het laboratorium. Een gelijkstroommachine van 500 V. dient voor reserve.

De gloeidraden worden gevoed met wisselstroom. Dit is het geval voor alle trioden van den zender.

De *tweede groep* van den zender bevat eveneens drie trappen, waarvan de middelste de frequentie verdrievoudigt, zoodat een golflengte van ca. 30,2 meter verkregen wordt. Foto fig. 47 toont deze groep van dichtbij.

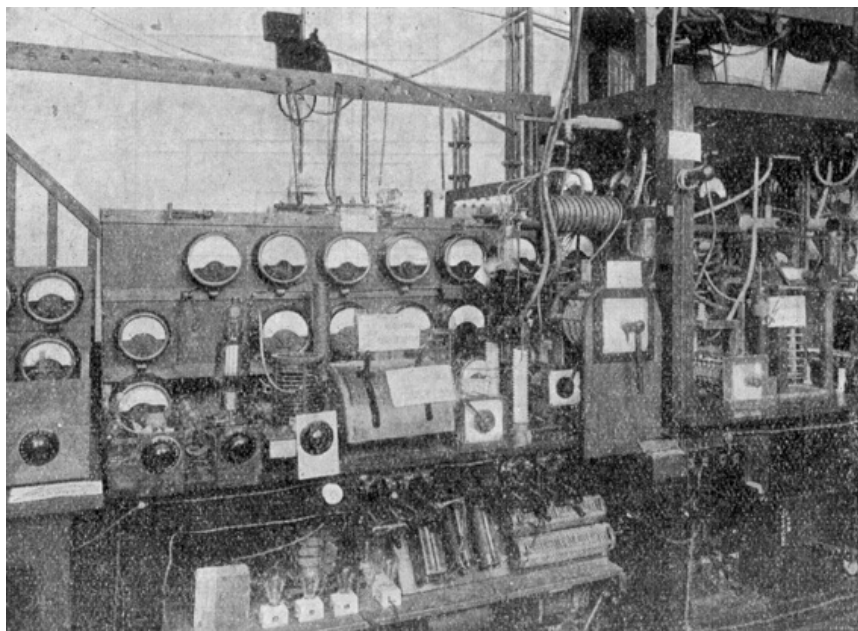


Fig. 47.

De eerste twee trappen bevatten trioden type TB 2/250. De anodevoeding hiervoor wordt verkregen van de centrale 2000 V. machine, welke in de machinekamer van het laboratorium is opgesteld.

De derde trap (de sub-oscillator) bevat een watergekoelde triode type TA 12/10000 K. De anodevoeding hiervoor wordt verkregen van een gelijkrichterinstallatie met 6 glazen dioden type DA 10/1500. Foto fig. 48 is een afbeelding van dezen gelijkrichter.

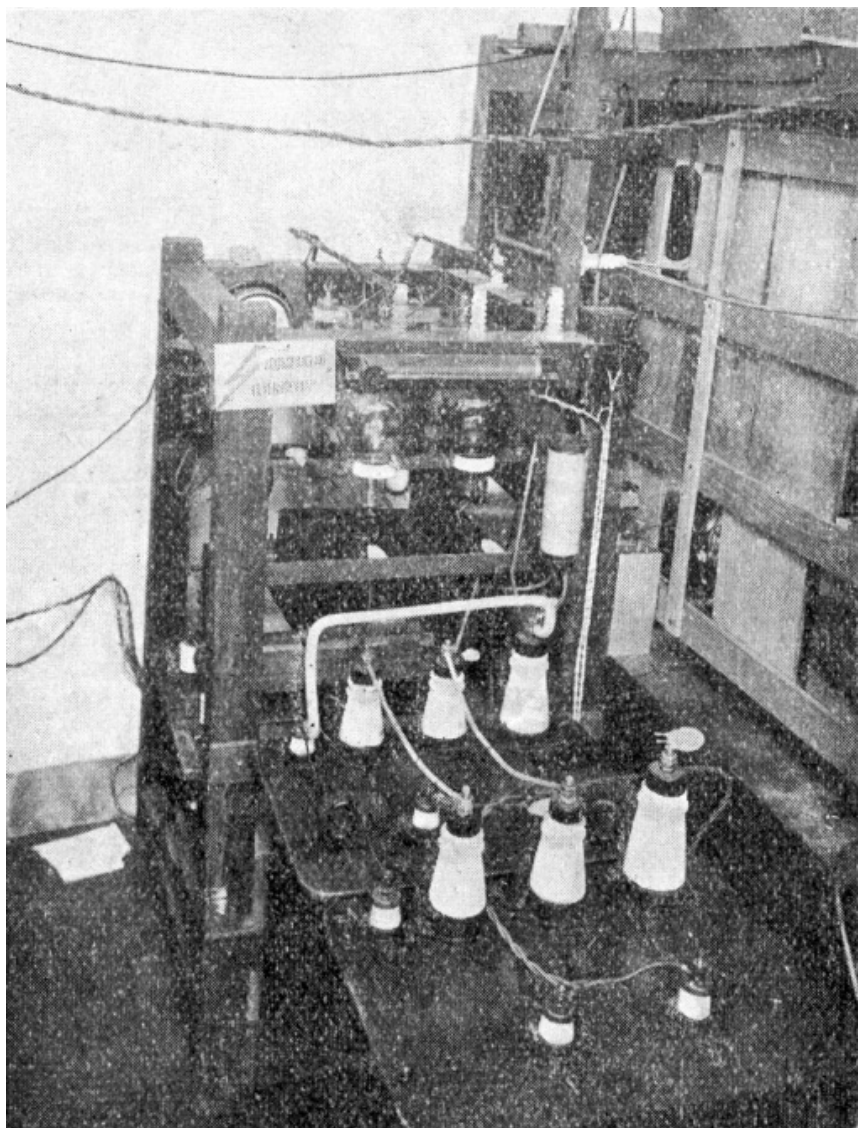


Fig. 48. Gelijkrichter en afvlakker voor anodevoeding van den sub-oscillator.

De afvlakinrichting is onder de gelijkrichterlampen opgesteld. Het maximum te leveren vermogen van deze installatie bedraagt ca. 6500 V. 1 A.

Het hoogfrequente vermogen, dat deze tweede groep van den zender kan leveren, bedraagt ca. 3 k.W. bij een golflengte van 30,2 meter.

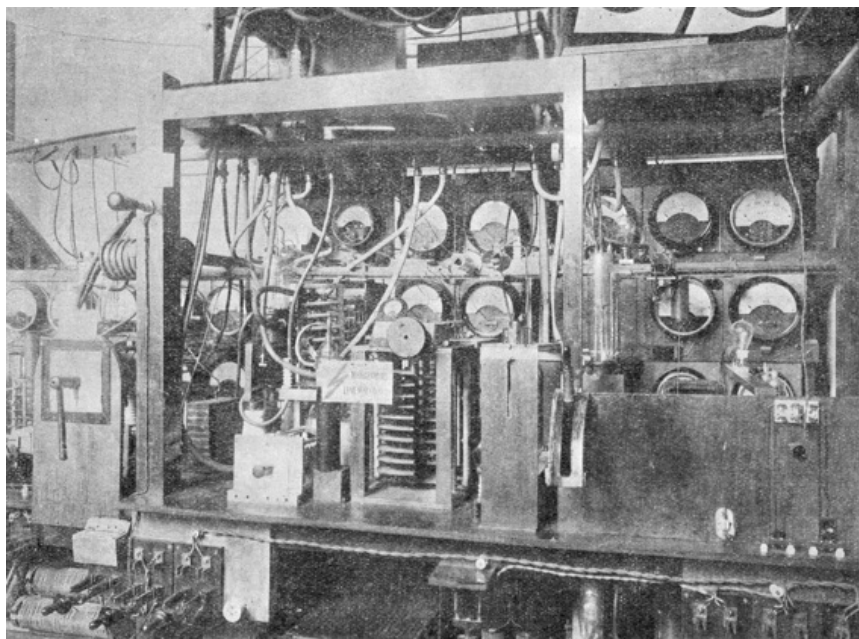


fig. 49. Gemoduleerde oscillator (links) en modulator (rechts).

De *derde groep* van den zender, waarvan fig. 49 een beeld geeft, bevat den laatsten watergekoelden oscillator-versterker, type TA 12/20000 K welke op de foto links nog juist even zichtbaar is, naast de spoel (zie ook fig. 5).

Rechts naast de verticale lat is nog even zichtbaar het glazen bovenstuk van één der watergekoelde modulortrioden type MA 12/15000. De beide sub-modulatoren type TB 2/250 zijn op de foto niet zichtbaar. Ze staan achter de frontplaat rechts.

De anodevoeding voor den laatsten oscillator-versterker en voor de beide modulatoren wordt verkregen van de groote zesfazen-gelijkrichterinstallatie van fig. 42.

De anode-voeding voor den sub-modulator wordt geleverd door de 2000 V. machine van de laboratorium-centrale.

Op de foto zijn duidelijk zichtbaar de condensator van den trillingskring in de anodeketen van den laatsten oscillatorversterker, benevens de bijbehorende spoel, welke tevens deel uitmaakt van twee takken van de Wheatstonesche-brugschakeling. Deze spoel bestaat uit een koperen buis, welke doorstroomd wordt met het water, dat gediend heeft voor de koeling van de anode van de triode. Op deze wijze wordt een uitstekende koeling van de spoel verkregen. Eenzelfde systeem wordt toegepast op de spoel van den voorlaatststen versterker (de sub-oscillator).

Bovenop den afstemcondensator is zichtbaar de antenne-ampèremeter.

Het aan den laatsten oscillator toegevoerde vermogen bedraagt 20 à 25 k.W. Het rendement is ca. 70 %, zoodat het antennevermogen ca. 15 k.W. bedraagt. De

antennestroom is ca. 8 Amp.

Het aan den modulator toegevoerde vermogen bedraagt ca. 30 k.W.

Aangezien de energie, benodigd voor excitatie van den eersten trap van den zender (de kristal-oscillator) minder dan één watt bedraagt, is het wel duidelijk, dat doeltreffende voorzorgen genomen dienen te worden tegen terugwerking van den laatsten versterkertrap op den eersten. Ernstige storing in den vorm van zelfoscilleeren zou het gevolg kunnen zijn van een terugwerking, welke bijv. slechts 1/20000 bedraagt!

Ook het optreden van z.g. parasitaire trillingen in ultra-hooge frequentie, kan ernstige moeilijkheden veroorzaken. Parasitaire trillingen ontstaan meestal doordat bijv. deelen van verbindingsleidingen een z.g. parasitaire keten vormen bijv. met inwendige triode-capaciteiten, in welke frequentie het systeem neiging heeft tot oscilleeren. Vooral bij het parallelschakelen van trioden heeft men hiermee te kampen.

Alle verbindingsdraden zijn daarom zoo kort mogelijk gemaakt, hetgeen vanzelf leidt tot compacten bouw, mogelijk door doelmatige opstelling der onderdeelen en toepassen van onderdeelen welke ieder voor zich zoo min mogelijk ruimte innemen en passend gedimensioneerd zijn. Dergelijke eischen strijden in het algemeen tegen eischen van voldoende elektrische sterkte. In het bijzonder de condensatoren leveren in dit opzicht moeilijkheden op. De doorslagspanning van lucht bij zeer hooge frequenties is aanzienlijk lager dan bij gelijkspanning. De di-elektrische verliezen in isolatiematerialen stijgen zeer snel met de frequentie en zijn op korte golf zeer hoog. Een groot volume der onderdeelen is van een en ander het gevolg, hetgeen weer kan leiden tot ongewenschte verschijnselen, bijv. tengevolge van onderlinge capaciteit van onderdeelen welke volgens het schema niet aanwezig behoorde te zijn!

Het z.g. skin-effect veroorzaakt bij dergelijke hooge frequentie een aanzienlijke weerstandtoename van de geleiders. Gebruikte men voor spoelen en verbindingen massieve geleiders, dan zou bijv. voor een rechten geleider van koper de weerstandtoename tengevolge van skin-effect op een golflengte van 30 meter 50 à 100 voudig kunnen zijn, afhankelijk van de draaddikte. Voor spoelen en verbindingen in kortegolfzenders past men daarom liever buis of platten band toe.

De in den zender gebruikte gelijkstroommeters moeten doeltreffend beschermd worden tegen vernieling door overmatig sterke hoogfrequentstroomen. Daartoe dienen dus hoogfrequentfilters tusschengeschakeld te worden, welke wel gelijkstroom doch vrijwel geen hoogfrequentstroom doorlaten.

Op vele plaatsen dienen zekeringen aangebracht te worden, opdat bijv. het doorslaan van een of ander onderdeel geen catastrofale gevolgen voor andere deelen van den zender, in het bijzonder voor meetinstrumenten en trioden, tengevolge kan hebben.

Deze zekeringen (vaak draadsmeltzekeringen) dienen zelf weer beveiligd te worden tegen doorbranden door hoogfrequentstroom.

Een aanhangend draadje van enkele meters lengte kan vaak al voldoende hoogfrequent-energie opvangen om veel onheil te stichten!

Fig. 50 is het principe-schema van de modulatiemethode welke in den Philipszender toegepast is.

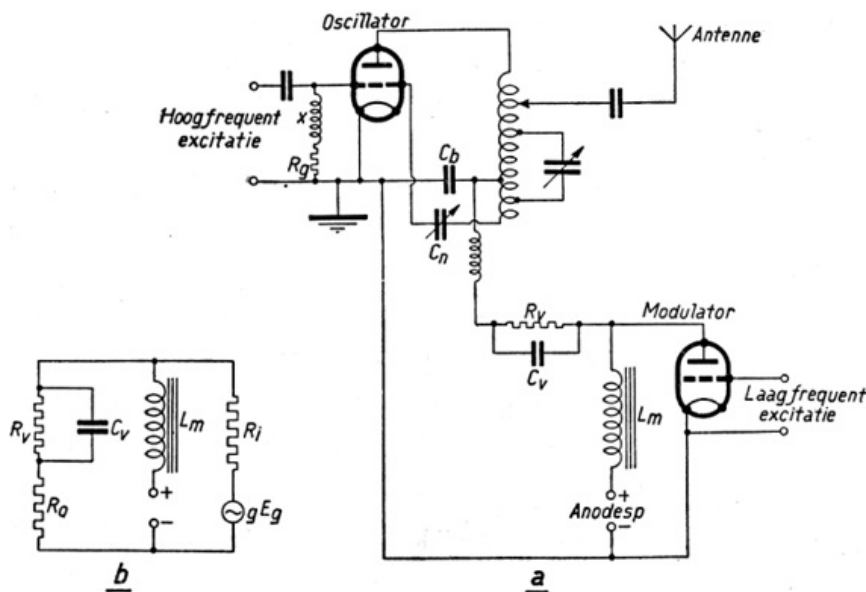


Fig. 50. Principe van oscillator en modulator.

In afwijking met het normale smoorspoel-modatieschema is in serie met de anodevoeding van den oscillator een ohmsche weerstand R_v geschakeld, met parallel hiermee een voldoende groote condensator. De bedoeling is, zoowel oscillator als modulator ieder de meest geschikte anodespanning te kunnen toevoeren, zoodat een groote modulatiepte bereikt kan worden.

De groote condensator C_v dient om den laagfrequenten wisselstroom, welken de modulator aan den oscillator toevoert, praktisch zonder spanningverlies door te laten.

De modulatiesmoorspoel werkt hierbij als auto-transformator 1 : 1. In verband met de inwendige weerstanden van oscillator en modulator is deze transformatieverhouding bevredigend voor de onderlinge aanpassing.

Men kan zich de werking ook eenigszins anders voorstellen; n.l. dat de modulatiesmoorspoel den toegevoerden totaal-stroom naar modulator en oscillator samen, praktisch constant houdt.

Wanneer de zelfinductie van de modulatiesmoorspoel groot genoeg is, kan men dit inderdaad aannemen, en praktisch zal men bij het ontwerp van de modulatiesmoorspoel hiernaar zooveel mogelijk streven, als met de economie in overeenstemming is.

Variaties van den anodestroom van den modulator zullen dan evengroote variaties met nagenoeg tegengestelde fase tengevolge hebben in den anodestroom van den oscillator, zoodat overeenkomstige antennestroomvariaties zullen ontstaan.

Aan de hand van de karakteristieken van modulator en oscillator zullen we een en

ander nader toelichten.

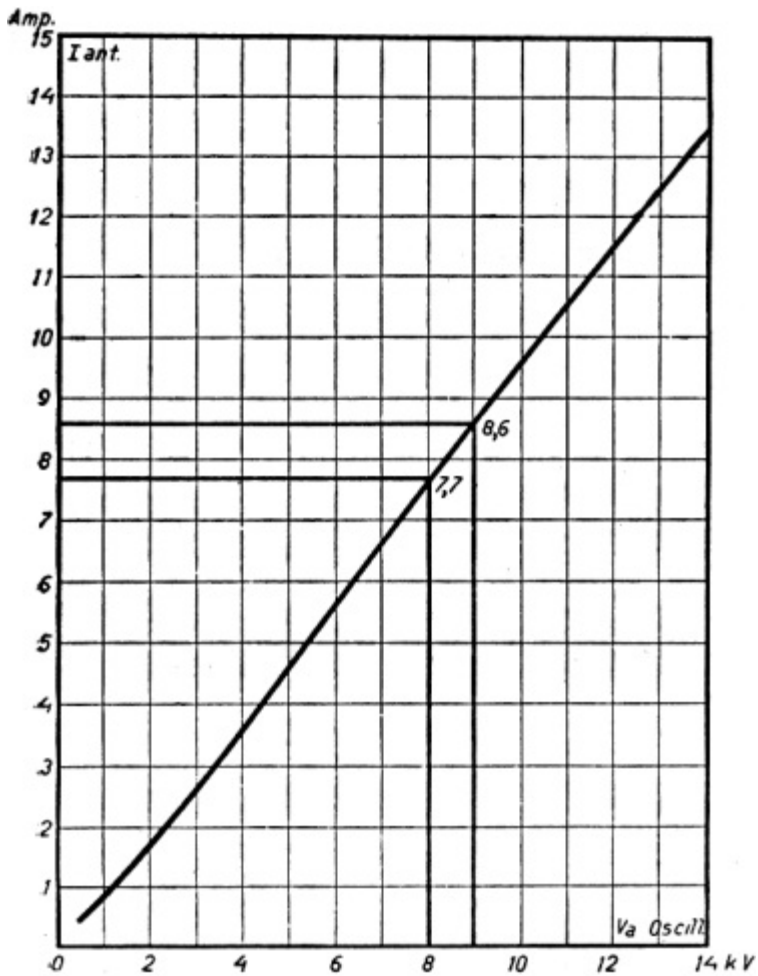


Fig. 51. Oscillatiekarakteristiek (voor anode-modulatie) van den laatsten (gemoduleerden) oscillator.

Fig. 51 is de z.g. oscillatie-karakteristiek van den laatsten oscillator-versterker, gestuurd door de voorgaande trappen. De antennestroom is uitgezet als functie van de anodespanning, bij constante anodespanning van de triode welke de rooster-excitatie levert. Fig. 52 is het verband tusschen anodestroom en anodespanning.

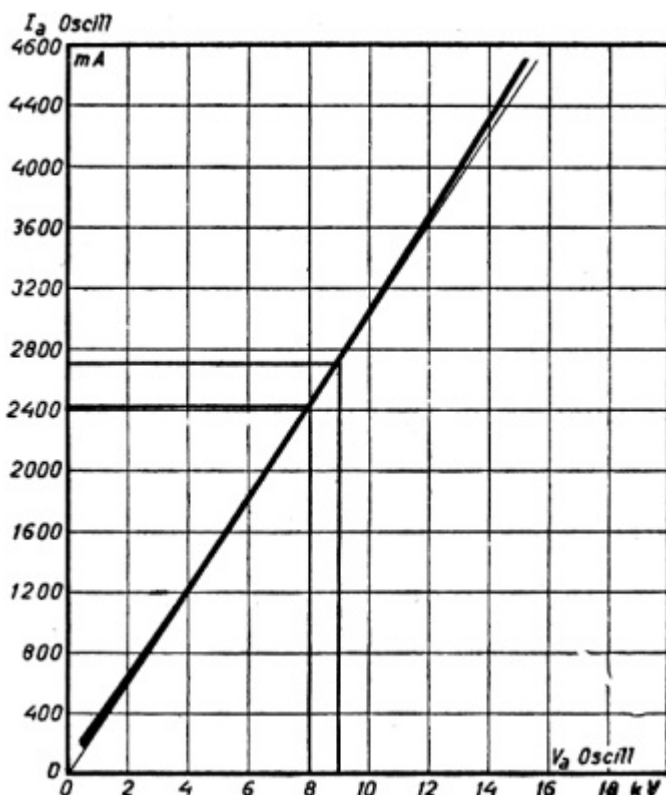
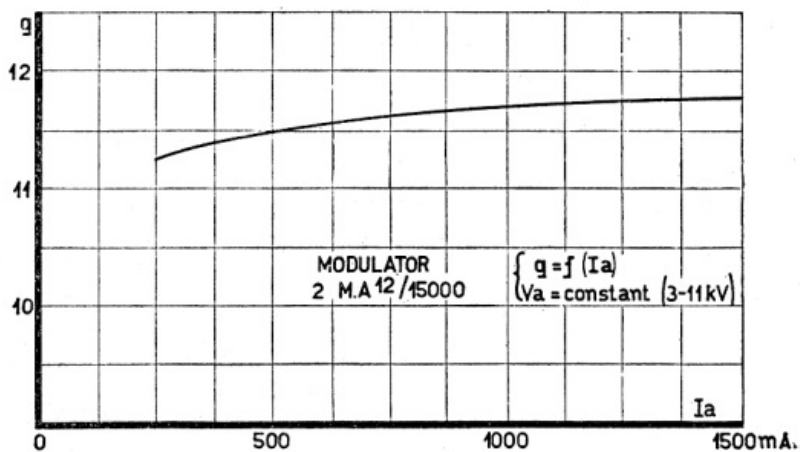
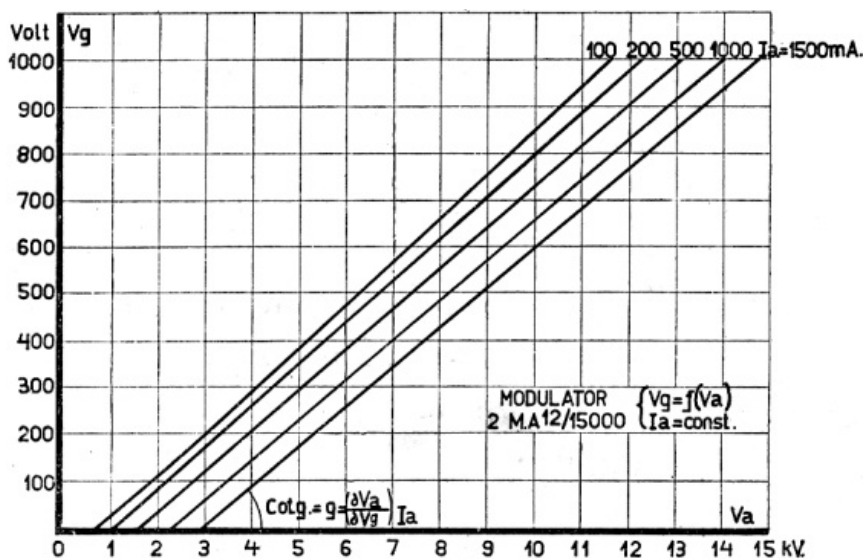


Fig. 52.

We zien dat het verband tussen deze drie grootheden vrijwel lineair is over het geheele gebied, zooals gewenscht is voor vervormingsvrije modulatie. De normale anodespanning bedraagt 8000 à 9000 V. voor continu bedrijf. Bij wijze van voorbeeld zullen we den toestand beschouwen bij 8000 V. anodespanning. De inwendige weerstand van den oscillator bedraagt daarbij (fig. 52)

$$R_o = 3550 \text{ ohm.}$$



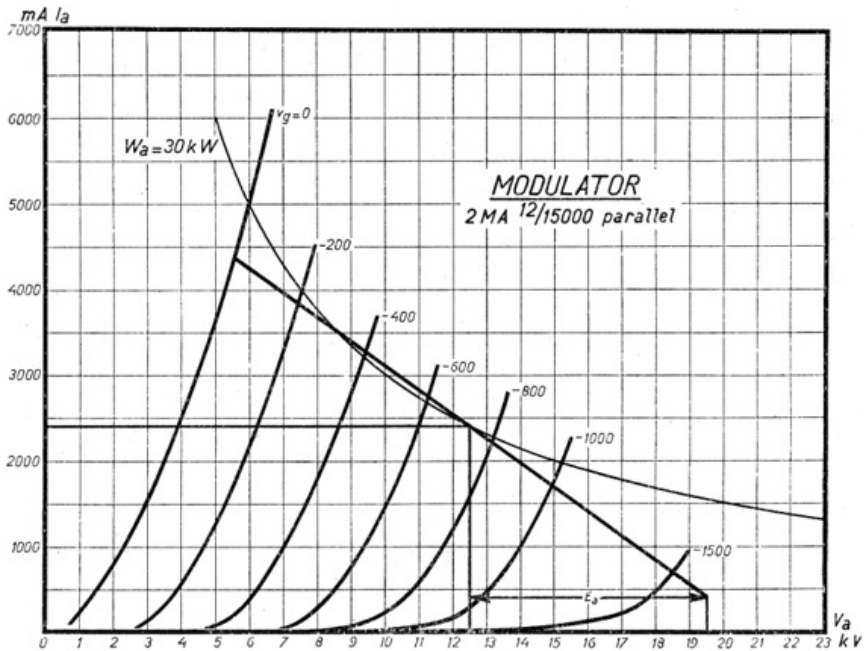


Fig. 53. Statistische karakteristiek van den modulator (zie ook fig. 17) met dynamische karakteristiek voor $R_o = 3550 \text{ ohm}$ en lijn van constante anodedissipatie $W_a = 30 \text{ k.W.}$. Voor het "rustpunt" zijn abscis en ordinaat dik geteekend.

In fig. 53 is afgebeeld de statische karakteristiek van de beide modulatorendrioden tezamen. De anodestroom is uitgezet als functie van de anodespanning met de roosterspanning als parameter. Tevens is geteekend de hyperbool voor 30 k.W. maximale anodedissipatie en de lijn voor een uitwendigen weerstand van 3550 Ohm, waarbij maximum output verkregen kan worden. (Vergelijk hiermee fig. 17). In verband met de vervorming, tengevolge van de onderste bocht van de karakteristiek, is aangenomen, dat de anodestroom nimmer kleiner mag worden dan ca. 0,4 Amp. De vervorming is dan nog zeer gering. We lezen uit fig. 53 af, dat de anodespanning van den modulator dan 12500 V. moet bedragen en dat de maximum amplitude van de laagfrequentwisselspanning 7000 V. mag bedragen. Nemen we aan, dat de impedantie van de modulatiesmoorspoel zeer groot is t.o.v. den oscillator-weerstand R_o en dat de impedantie van condensator C_v klein is t.o.v. R_o (hetgeen voor niet te lage frequenties het geval is) en dat de impedantie van condensator C_b in fig. 50 groot is t.o.v. R_o (hetgeen voor niet te hooge frequentie het geval is), dan mogen we aannemen, dat de door den modulator geleverde wisselspanning gesuperponeerd wordt op de anodegelijkspanning van den oscillator welke in ons voorbeeld 8000 V. bedraagt.

De maximum-modulatiediepte is dan:

$$K = (7000 / 8000) \times 100 \% = 87,5 \%$$

De antennestroomtoename tengevolge van maximum sinusvormig moduleeren is dan:

$$\delta = \sqrt{1 + \frac{k^2}{2}} - 1 = 17,5 \%$$

De hier gevonden waarden bleken inderdaad in goede overeenstemming te zijn met de metingen. Een modulatie diepte van 87,5 % is blijkens de karakteristiek van fig. 51 nog zonder bezwaar toelaatbaar. Dieper moduleeren is mogelijk bij meer vervorming (hetgeen inderdaad nog wel kan geschieden) of door vergroten van het modulatorvermogen.

Aangezien echter de detectiekarakteristiek van de meeste ontvangers niet geheel recht is, zou waarschijnlijk reeds uit dien hoofde groter modulatie diepte niet toelaatbaar zijn.

De uit de karakteristieken gevonden gegevens voor een instelling bij 8000 V. anodespanning voor den oscillator zijn dus:

Modulator:

anodespanning: 12500 V.
 anodestroom: 2,4 A.
 input: 30 kW.
 output: 7 kW.
 rendement: 23,5 %

Oscillator:

anodespanning: 8000 V.
 anodestroom: 2,4 A.
 input: 19,2 kW.
 zenderrendement ca.: 70 %
 antennestroom: 7,7 A.
 max. modulatie diepte: 87,5 %
 antennestroomtoename: 17,5 %

Voor 9000 V. oscillatorspanning blijven de modulatorgegevens dezelfde. De gegevens voor den oscillator zijn dan:

Oscillator:

anodespanning: 9000 V.
 anodestroom: 2,72 A.
 input: 24,5 KW.
 zenderrendement ca.: 70 %
 antennestroom: 8,6 A.
 max. modulatie diepte: 77,8 %
 antennestroomtoename: 14,3 %

Onder deze condities is continu bedrijf (gedurende 24 uur aan één stuk) mogelijk gebleken. Bovenstaande gegevens zijn afgeleid uit de modulator- en oscillatorkarakteristieken, onder bepaalde aannamen — houdt men rekening met de (geringe) daarbij gemaakte verwaarloozingen, dan komt men praktisch tot een weinig afwijkende waarden voor gunstigste aanpassing — deze correcties zijn echter zeer gering.

De bepaling van het rendement geschiedde door bepaling van anode- en spoeldissipatie met behulp van metingen van door het koelwater afgevoerde energiehoeveelheden, rekening houdende met rooster- en gloeidraaddissipatie. De geringe verliezen in de overige onderdelen van den oscillator werden getaxeerd.

De microfoon en versterkers.

Na de voorafgaande beschrijving van het hoogfrequente deel van den zender met bijbehorende voedingsbronnen, zullen we nu overgaan tot beschouwing van het laagfrequente deel, waartoe behooren de microfoon en bijbehorende versterkers.

Zoowel in de microfoon als in de versterkers kunnen vervormingen optreden welke in hoofdzaak van tweeërlei aard zijn. De eerste soort van vervorming ontstaat doordat niet alle frequenties gelijkelijk versterkt worden. Hierdoor wordt spraak onduidelijk. Worden de hoge frequenties boven ca. 3000 per. per sec. onvoldoende weergegeven, dan kunnen bijv. de letters S, F, D, T, G en H niet goed meer van elkaar onderscheiden worden. Een viool klinkt dan als een fluit. Het "timbre" van veel instrumenten gaat verloren. Bekkenslagen klinken onnatuurlijk zwak en dof. Worden de zeer lage frequenties bijv. beneden 500 per. per sec. onvoldoende weergegeven, dan is het timbre van muziek of spraak te hoog. Muziek klinkt "blikkig", spraak klinkt z.g. met "neusgeluid". De mate waarin deze soort vervorming zich voordoet, ligt meestal vast door de constructie van de versterkers en microfoon, en is in eerste instantie onafhankelijk van de amplitude van de toegevoerde trillingen (behalve wanneer de amplituden zéér groot of zéér klein worden!).

Van groot belang, in het bijzonder bij weergave van spraak, is deze te doen geschieden met dezelfde intensiteit als het origineel. Opvoeren van de sterkte boven het normale doet in het algemeen het timbre verlagen, doordat ons oor voor lage frequenties relatief ongevoeliger is dan voor middelmatig hoge, zoodat pas bij voldoende sterkte de lage frequenties hoorbaar worden.

De tweede soort van vervorming ontstaat, wanneer bijv. de amplitude zóó groot is, dat van niet-lineaire gedeelten van triode- of andere karakteristieken gebruik gemaakt wordt. Daardoor zullen harmonische frequenties — boventonen — optreden, welke oorspronkelijk niet aanwezig waren — en wel des te meer naarmate de amplitude groter is. Deze soort van vervorming uit zich als "schorheid" of "rammelen".

Onderlinge verschuiving van de componenten welke tezamen de geluidstrillingen samenstellen, veroorzaakt geen hoorbare vervorming, alhoewel de krommevorm van de resulterende wisselspanning er aanzienlijk door veranderen kan. Deze zeer gelukkige eigenschap van ons oor maakt, dat überhaupt van telefonie nog iets, terecht komt. Ook de vrij groote ongevoeligheid van het oor voor sterktevariaties draagt daartoe in niet geringe mate bij.

Voor het natuurgetrouw reproduceeren van spraak en muziek is het noodzakelijk en voldoende alle frequenties tusschen ca. 25 en 15000 per. per sec. gelijkelijk weer te geven. Zeer bevredigende resultaten worden reeds bereikt door weergave van frequenties tusschen ca. 100 en 10000. Voor het kunnen voeren van een gesprek is het noodzakelijk frequenties tusschen ca. 300 en 3000 weer te geven. Men kan zich hiermee verstaanbaar maken — stembuiging en klankkleur gaan evenwel grotendeels verloren.

De weergave met behulp van een gewone koolkorrelmicrofoon is voor radio-

doeleinden gewoonlijk onvoldoende, aangezien meestal niet alleen gemakkelijke verstaanbaarheid; doch ook natuurgetrouwheid verlangd worden. Bovendien wordt, bij spreken op een afstand van de microfoon het door deze voortgebrachte bijgeruisch zeer hinderlijk in verband met den daarbij benoodigden hooger versterkingsgraad.

Er zijn verschillende microfonen in gebruik gekomen, waaraan inderdaad zeer hoge eischen gesteld kunnen worden. Alle zijn veel minder gevoelig dan de gewone koolkorrelmicrofoon, zoodat met trioden aanzienlijk versterkt moet worden voordat in een gewone, telefoon eenig geluid waargenomen kan worden.

Men kan de microfonen in twee soorten verdeelen:

1e. die, welke zelf energie opwekken d.w.z. de toegevoerde geluids-energie rechtstreeks omzetten in elektrische energie. Het rendement is uiterst gering.

2e. die, welke toegevoerde elektrische energie, bijv. van een batterij, onder den invloed van de geluidstrillingen, ten deele omzetten in wisselenergie (relaiswerking).

Onder de eerste groep vallen de *inductiemicrofonen* welke werken volgens het beginsel van de electromagnetische inductie, en de condensatormicrofoon. Onder groep 2 vallen de koolkorrelmicrofoon, de kathodofoon en de waterstraalmicrofoon.

Typische voorbeelden van inductiemicrofonen zijn de origineele Bell-microfoon (een telefoon of luidspreker als microfoon gebruikt) de meer moderne Marconi-Sykes microfoon en de Siemens-bandmicrofoon.

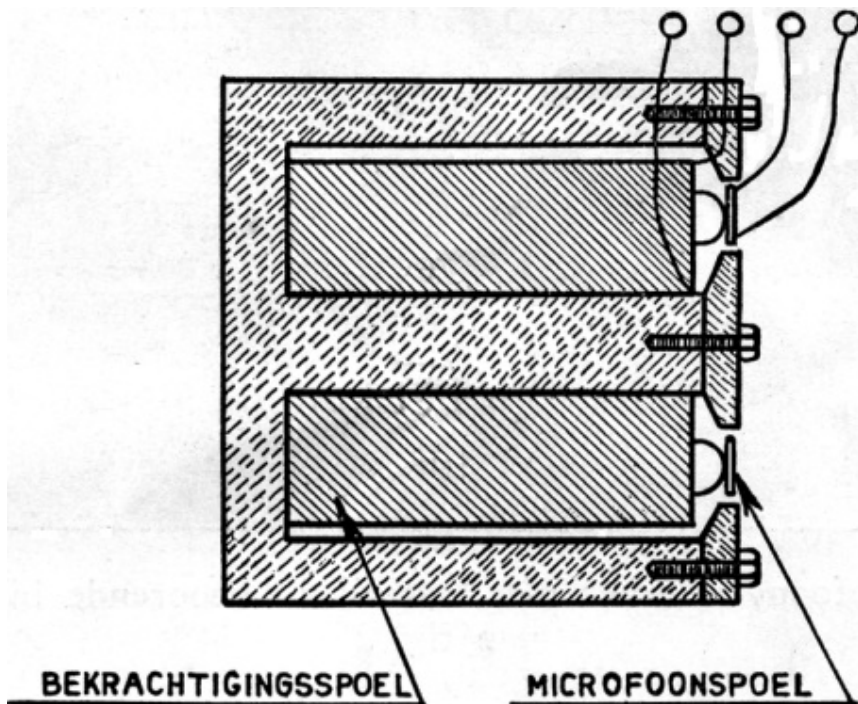


Fig. 54.

Bij de Sykes-microfoon (fig. 54) is in een radiaal magnetisch veld een zeer licht spoeltje van dun aluminium draad gehangen. Het spoeltje is gewikkeld in den vorm van een spiraal van Archimedes en doet tegelijk dienst als membraan. Het gewicht is minder dan één gram. Door de geluidsgolven wordt het spoeltje in trilling gebracht. De amplitude van de elektrische spanningen, welke in het spoeltje geïnduceerd worden, is van de orde 10^{-5} tot 10^{-4} Volt, wanneer b.v. gesproken wordt met normale sterkte op een afstand van enkele meters.

Aangezien de wisselspanningsamplitude, welke de modulator levert aan den oscillator van de orde van 7000 V is, moet de spanningversterkingsgraad van de orde van 10^9 -voudig zijn!

De Sykes microfoon is buitengewoon gevoelig voor elektrische en electromagnetische inductiestoringen. Ook tegen mechanische trillingen moet gewaakt worden. Fig. 2 is een afbeelding van een dergelijke microfoon in een kooi van Faraday opgesteld, met onderin de accubatterij, welke dient voor de bekrachtigingsspoel. Hiervoor is 10 à 20 watt nodig.

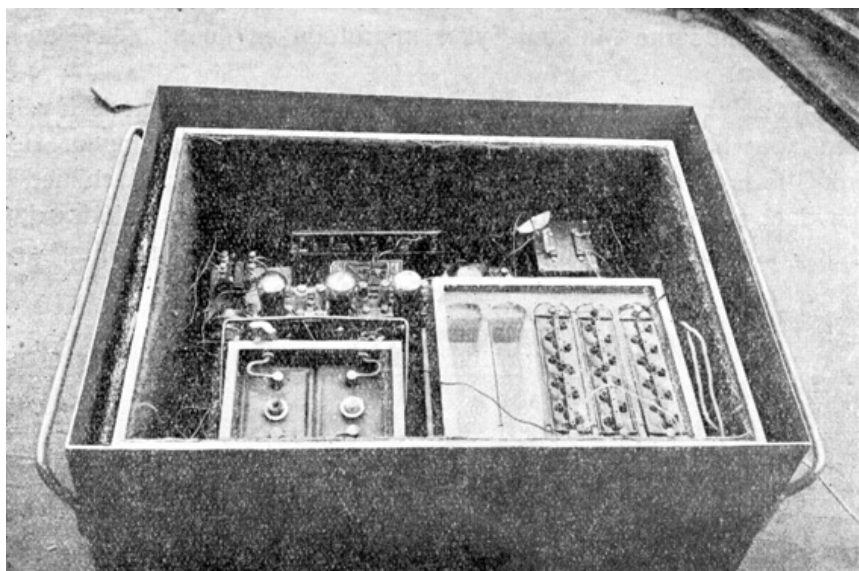


Fig. 55. Microfoonversterker met batterijen behorende bij de microfoon van fig. 2.

Fig. 55 is de bijbehorende viertrap-weerstandversterker. Met deze combinatie van apparaten is, bij spreken op ca. 10 meter afstand, in een telefoon voldoende duidelijke en natuurgetrouwe weergave te verkrijgen. Bij de eerste uitzendingen naar Indië. werd van deze microfoon met versterker gebruik gemaakt.

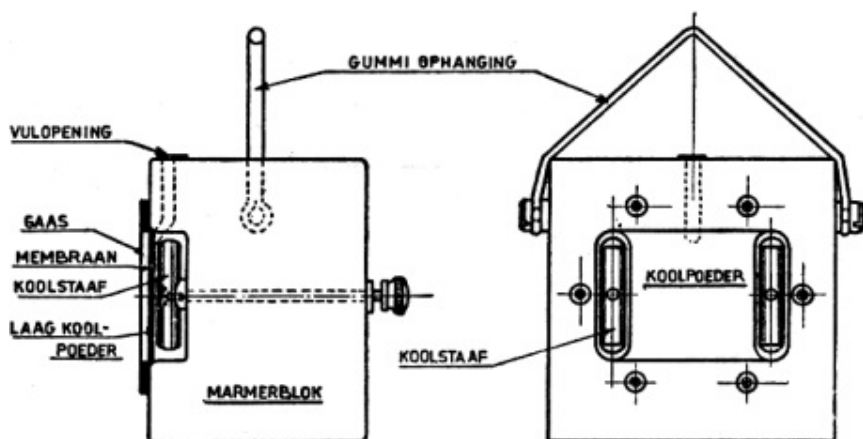


Fig. 56. Reisz-microfoon.

Bij de latere uitzendingen, en ook nu nog, wordt een Reisz-koolmicrofoon gebruikt (fig. 56), welke in principe bestaat uit een dunne laag koolpoeder van bijzondere samenstelling, opgesloten tusschen een blok marmer en een zeer dun gummi- of mica-membraan. Door juiste samenstelling van het koolpoeder is men er o.a. in geslaagd de zoo hinderlijke geruischen tot een minimum te reduceeren. Het energie-verbruik is gering: slechts ca. 0,2 watt is voldoende. Bij normaal spreken op eenige meters afstand bedraagt bij deze microfoon de laagfrequente wisselspanningamplitude reeds enkele millivolts. De gevoeligheid is dus zeer veel grooter dan van de Sykesmicrofoon en uit den aard der zaak wordt veel minder last van inductiestoringen ondervonden. De compactheid en daardoor de gemakkelijke verplaatsbaarheid zijn eveneens belangrijke voordeelen. De weergave, speciaal van de zeer hooge en zeer lage frequenties is zeer goed.

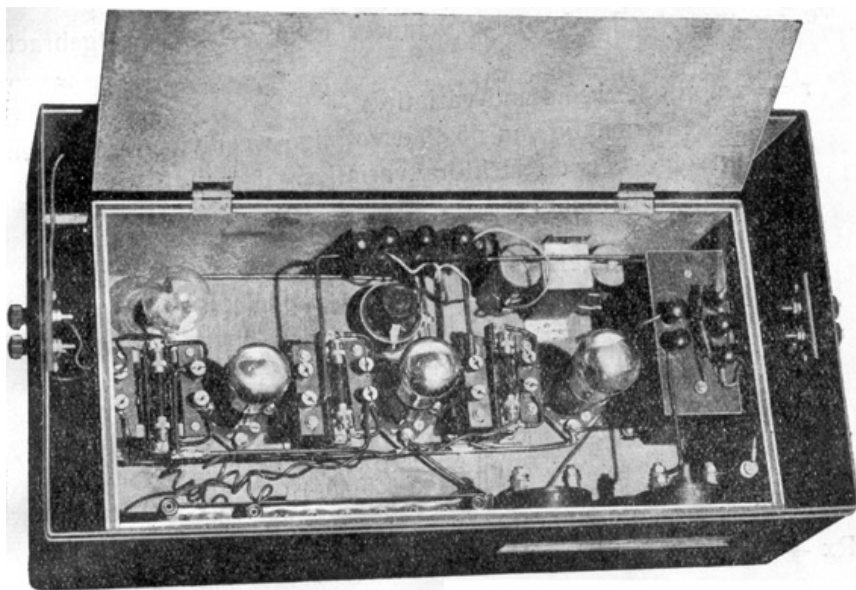


Fig. 57. Drietraps-transformatorversterker voor Reisz-microfoon. De versterker is gemonteerd in een metalen kist welke als scherm dient en voorzien is van een glazen ruitje (rechts beneden zichtbaar) voor het aflezen van de meetinstrumenten.

Bij deze microfoon wordt gebruik gemaakt van een drietraps-transformatorversterker, fig. 57 waarmee in een telefoon reeds zeer luide weergave verkregen kan worden. Fig. 58 is het bijbehorende schakelschema.

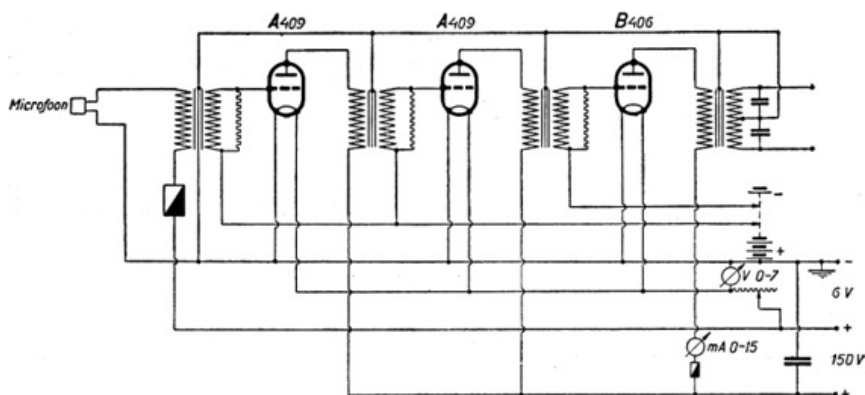


Fig. 58. Schakelschema van de versterker van fig. 57.

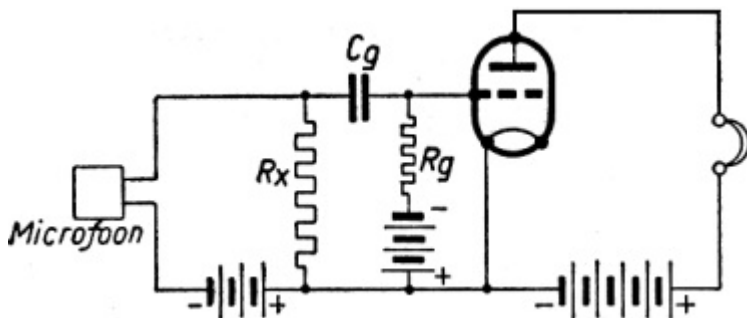


Fig. 59.

Fig. 59 stelt een eenvoudige schakeling voor van een koolmicrofoon en een triode. We nemen aan — en voor kleine amplituden mag dat — dat de weerstandvariaties van de microfoon evenredig zijn met de luchtdrukvariaties.

Zij:

R_o = weerstand microfoon wanneer geen geluid voortgebracht wordt.

r = amplitude weerstand-variatie.

ψ = cirkelfrequentie van de sinusvormige weerstandvariatie tengevolge van de luchtdrukvariaties.

E = batterijspanning

Dan is de stroomsterkte:

$$i = E / (R_x + R_o + r \cos \psi t)$$

De roosterwisselspanning van de triode is:

$$e_g = i \cdot R_x$$

Noem

$R_x + R_o = R$ constant deel van den totalen weerstand.

$r / R = K$ verhouding amplitude variabel deel tot constant deel van den weerstand. We zouden de grootheid K de "modulatiediepte" van de microfoonketen kunnen noemen.

Zooals L.S. Grandy aangetoond heeft in The journal of the American Institute of Electrical Engineers (Mei 1927) kunnen we schrijven:

$$i = \frac{E}{R(1 - K \cos \psi t + K^2 \cos^2 \psi t - K^3 \cos^3 \psi t + K^4 \cos^4 \psi t \dots)}$$

De reeks in den noemer convergeert. De stroom kan geschreven worden als de som van:

- 1e. een gelijkstroom.
- 2e. een wisselstroom met frequentie ψ .
- 3e. wisselstroom met frequenties welke veelvoudigen zijn van ψ . Dit zijn de ongewenste hogere harmonischen.

Fig. 60 geeft de sterkte van de hogere harmonischen (uitgedrukt in procenten van de grondfrequentie) als functie van de modulatie diepte.

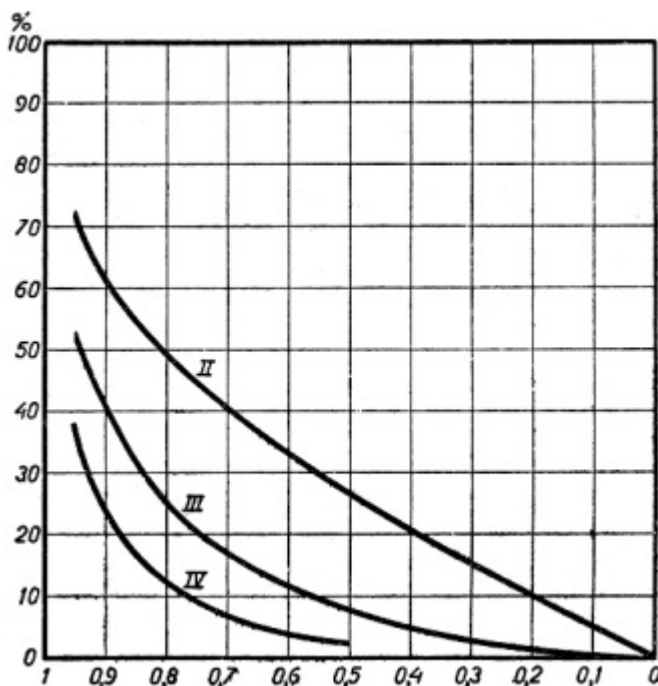


Fig. 60. Verhouding van 2^e, 3^e en 4^e harmonische tot de grondtrilling als functie van de modulatiepte in de microfoonketen.

Voor weinig vervorming is dus van belang een geringe modulatiepte van de microfoonketen, hetgeen men kan bereiken met een grooten uitwendigen weerstand. Op deze wijze is de output gering, zoodat veel versterking noodig is.

Meestal wordt inplaats van Rx een transformator geschakeld met groote primaire impedantie en passende transformatieverhouding. De zelfinductie van de primaire wikkeling moet dan zóó groot zijn, dat de impedantie zelfs voor de laagste frequenties nog groot is t.o.v. r . Onder de laagste frequenties verstaan we hier niet de frequenties welke we tenslotte wenschen uit te zenden, doch de laagste frequenties waarop de microfoon nog reageert, aangezien anders voor deze frequentie vervorming zou kunnen ontstaan welke zich merkbaar maakt door het optreden van hoogere, ongewenschte frequenties, welke uitgezonden zouden worden.

Meestal is aan deze voorwaarde wel te voldoen, aangezien, ter wille van een gelijkmatige versterking van alle frequenties, de reactantie van de primaire van den transformator reeds hoog moet zijn t.o.v. den *totalen* weerstand in de keten, dus zeker groot is t.o.v. r .

De studio.

De microfoon wordt opgesteld in de "*studio*", een vertrek met voor dit doel geschikte acoustische eigenschappen.

De weergave van spraak of muziek uit een vertrek, waarbij geen bijzondere voorzorgen genomen zijn, is meestal onbevredigend tengevolge van echo-effecten, welke bij weergave door middel van een microfoon veel hinderlijker zijn, dan bij direct luisteren in de "*studio*", vermoedelijk doordat de microfoon de eigenschap mist om de richtingen te onderscheiden van de direct treffende geluidsgolven van die, welke na reflectie door de wanden de microfoon treffen. Spraak klinkt daardoor al spoedig "galmend" en "hol" en wordt onverstaanbaar.

Walter Clement Sabine heeft aangetoond, dat de acoustische eigenschappen van een afgesloten ruimte naar believen gewijzigd kunnen worden door het aanbrengen van oppervlakken geluid-absorbeerende stof, zooals vilt, tapijten, gordijnen of door de aanwezigheid van publiek.

Wordt een toon voortgebracht bijv. door een fluit of orgelpijp, dan zal, na het doen ophouden van de geluidvoortbrenging, het geluid in een afgesloten ruimte niet onmiddellijk uitgestorven zijn, doch nog eenigen tijd voortduren — de bekende nagalm. Zij I de intensiteit, welke door de orgelpijp werd voortgebracht en i de intensiteit op een willekeurig oogenblik nadat geen geluid meer werd voortgebracht, dan is:

$$-\frac{di}{dt} = A \cdot i$$

aangezien de absorbtie, bijv. door de wanden van het vertrek, evenredig is met de intensiteit. A is een evenredigheidsfactor.

De oplossing van deze differentiaalvergelijking luidt:

$$-\lg i + C = A \cdot t$$

Metten we den tijd vanaf het oogenblik, dat de geluidvoortbrenging ophield, dan is voor

$$t = 0 \text{ en } I = i,$$

$$C = \lg I$$

dus:

$$\lg(I/i) = A \cdot t$$

Volgens Sabine is dit resultaat in overeenstemming met de experimenten. Fig. 61 geeft

een voorbeeld.

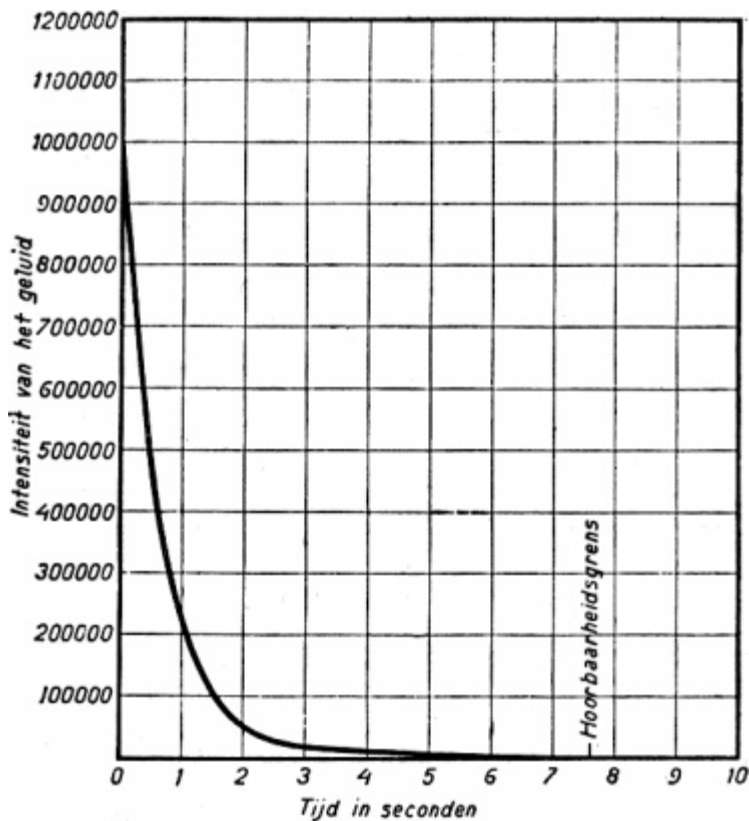


Fig. 61.

Sabine voert den "nagalm-tijd" in als maat voor de acoustische eigenschappen van een vertrek. Daaronder verstaat hij den tijd, welke noodig is om het geluid tot op 1 / 1.000.000 te doen uitsterven. Zoowel langs theoretischen als experimenteelen weg, leidt hij voor den galmtijd de volgende formule af:

$$T = \frac{F \cdot V}{a}$$

waarin:

T = nagalm in seconden.

V = volume van het vertrek in kubieke meters.

F = 0,164.

a = effectief absorbeerend oppervlak in vierkante meters = $\sum a_n \cdot s_n$.

waarin $a_1, a_2 \dots a_n$ de absorbeerende oppervlakken in vierkante meters zijn,
en $s_1, s_2 \dots s_n$ de respectievelijke absorbeerende coëfficiënten.

Als eenheid van "effectief absorbeërend oppervlak" neemt hij een "vierkanten meter open raam", aangezien dit niets reflecteert en dus alle geluid absorbeert (door laat).

Het absorbeërend vermogen van verschillende stoffen kan vergeleken worden met dat van "open raam". In deze eenheden uitgedrukt vindt hij voor het absorbeërend vermogen:

Absorbeërend vermogen s van verschillende stoffen:

publiek per m^2 . . .	0,96
glas	0,03
linoleum	0,10
vilt	0,80

Publiek absorbeert dus zeer sterk, een overigens aan artisten welbekende eigenschap.

man . .	$0,48 m^2$ open raam
vrouw .	$0,54 m^2$ open raam

Dit laatste getal zal tegenwoordig wel kleiner zijn, in verband met de wijziging in de mode sinds 1900, toen Sabine deze metingen verrichtte. (Inderdaad is hieraan toe te schrijven een merkbare achteruitgang van "de acoustiek" van een groote Engelsche concertzaal !)

Sabine vond o.a. experimenteel, dat de lucht praktisch geen demping veroorzaakt. De geluidsenergie wordt uitsluitend door de wanden van het vertrek en daarin aanwezige oppervlakken geabsorbeerd.

Door uitgebreide proeven bleek, dat aan een muziekzaal bepaalde, tamelijk strenge eischen gesteld kunnen worden wat betreft den galmtijd. Pianomuziek klonk het meest bevredigend in een ruimte met een galmtijd van 1,1 sec. De waarnemingen, met medewerking van verschillende musici uitgevoerd, bleken onderling zeer weinig uiteen te loopen.

Met een klankzaal voor radio-uitzendingen bereikt men beter resultaat met een korteren galmtijd, bijv. 0,5 à 0,8 sec. Voor spraak kan de galmtijd met voordeel korter zijn dan voor muziek. Voor muziek is eenige echo wel gewenscht terwille van de "atmosfeer" en om den indruk van "ruimte" te wekken. Vooral voor dramatische stukken is vrij veel echo gewenscht.

Het verblijf in een sterk gedempte ruimte veroorzaakt een eigenaardig drukkend gevoel en een neiging om voor de microfoon steeds luider te gaan spreken, waarschijnlijk doordat men "zijn eigen stem niet hoort".

Vermoedelijk is de meer of mindere "gezelligheid" van een woonkamer, behalve in een verschil in belichting en meubilerings ook voor een deel te zoeken in een verschil in acoustische eigenschappen.



Fig. 62. De studio in het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven met gramfoon met electromagnetische weergever, Reiszmicrofoon en bijbehorende versterkers (tijdelijk in de studio opgesteld voor enkele proeven).

De "studio" in het laboratorium te Eindhoven (fig. 62) is een vertrekje met een inhoud van slechts 75 m^3 . In onbekteleeden toestand was de volgens Sabine berekende galmtijd 3,6 sec. en was de weergave met een microfoon zeer gebrekkig. Het behangen van de wanden en het plafond met flanellen stof verminderde den berekenden galmtijd tot ca. 0,7 sec. De verbetering in weergave hierdoor was inderdaad zeer aanzienlijk. Van hinderlijke echo is niets meer te bemerken. Voor muziekweergave kan de stof, welke in den vorm van gordijnen aangebracht is, opzij geschoven worden. Reeds bij het binnentreden van de ruimte is het verschil duidelijk te constateeren aan het veranderde "gevoel" dat men daarbij ondervindt, wanneer een geluid voortgebracht wordt.

In de versterkerkamer.

In een vertrek naast de studio zijn opgesteld de verschillende versterkers en bijbehorende apparaten.

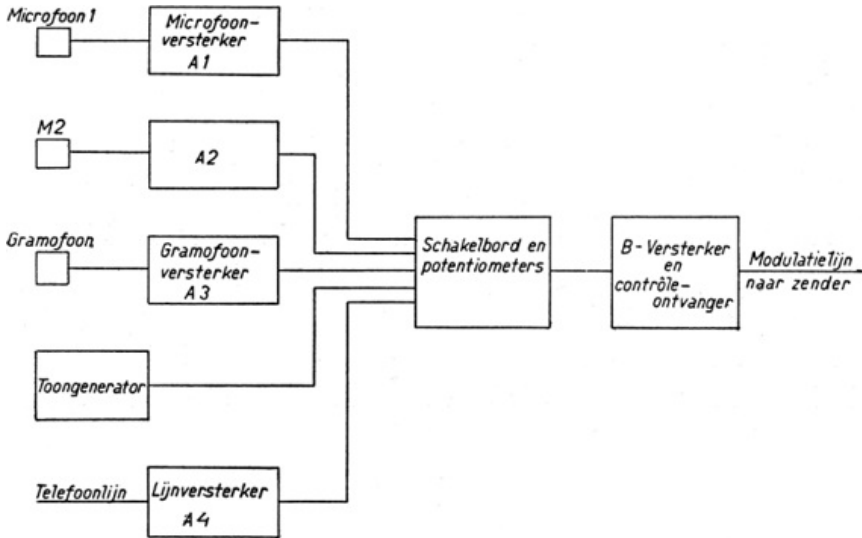


Fig. 63.

Soms wordt meer dan één microfoon gelijktijdig gebruikt, bijv. teneinde elk instrument van een muziekensemble beter te kunnen weergeven. Elke microfoon is voorzien van een eigen microfoon-versterker (z.g. A-versterker), welke slechts zóóveel versterkt, dat behoorlijke weergave in een telefoon verkregen kan worden. Enkele volts amplitude zijn hiervoor reeds voldoende.

Alle A-versterkers worden gevolgd door één gemeenschappelijken B-versterker, welke de energie tot zoodanige hoogte opvoert, dat de sub-modulator van den zender ermee gevoed kan worden. De trioden in de A-versterkers zijn normale ontvangtrioden, de laatste triode in den B-versterker is een 50 watt triode TB 1/50.

Voor het weergeven van gramfoonmuziek wordt gebruik gemaakt van een z.g. electromagnetischen weergever. De gramfoonnaald is daarbij verbonden aan een ijzeren ankertje, opgesteld tusschen de poolschoenen van een permanenten magneet. Om die poolschoenen zijn draadspoeltjes aangebracht, evenals bij een telefoon. Trillingen van het ankertje hebben tengevolge, dat in de spoeltjes, door electromagnetische inductie, wisselspanningen geïnduceerd worden, bijv. van de orde van één volt, welke eveneens door een passenden A-versterker versterkt worden. Met behulp van een luidspreker kan men op deze wijze gramfoonplaten weergeven met een natuurgetrouwheid, welke —

met goede platen — inderdaad verrassend goed is. Van belang is, hierbij platen te gebruiken welke langs electrischen weg, met behulp van een microfoon, opgenomen zijn.

Met behulp van een in den versterker aangebracht, regelbaar electrisch filter, kunnen de bijgeruischen aan gramfoonplaten eigen, vrijwel geheel uitgezeefd worden.

Bij de A-versterkers is voorts opgesteld een triode-oscillator, waarmede laagfrequente wisselstroom van constante amplitude en regelbare frequentie voortgebracht kan worden — voor het geven van Morse-signalen of het verrichten van metingen.

Voorts is aanwezig een extra A-versterker, aangesloten op een telefoonlijn naar de Philips-telefooncentrale, zoodat de zender vanuit iedere plaats in Nederland, waar telefoonaansluiting aanwezig is, gemoduleerd kan worden.

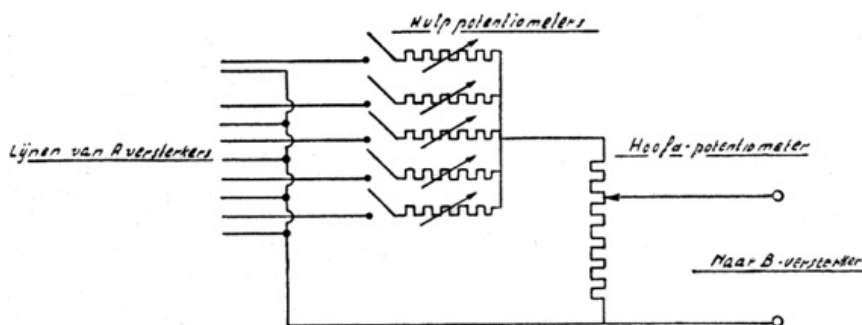


Fig. 64. Schakeling der potentiometers.

De lijnen van alle A-versterkers, toongenerator enz. komen samen op een verdeelbord met schakelaars en potentiometers, zoodat naar believen één of meer versterkers ingeschakeld kunnen worden, en de onderlinge sterkteverhouding geregeld kan worden (fig. 64). De microfoonversterker kan met behulp van een relais van uit de studio in- en uitgeschakeld worden.

Van het schakelbord met potentiometers en schakelaars voert de laagfrequente energie naar den hoofdpotentiometer, waarmee de modulatie diepte geregeld wordt — en vandaar naar den B-versterker, een twee-trap versterker met TB 1 /50 triode als eindtriode. De anodevoeding voor deze triode wordt verkregen van de centrale 500 V. batterij van het laboratorium. De anodevoeding voor de andere versterkertriodes geschiedt vanuit batterijen en plaatsspanningapparaten.

Foto fig. 65 toont de tafel met A-versterkers, toongenerator, electrische gramfoon en lijnversterkers.

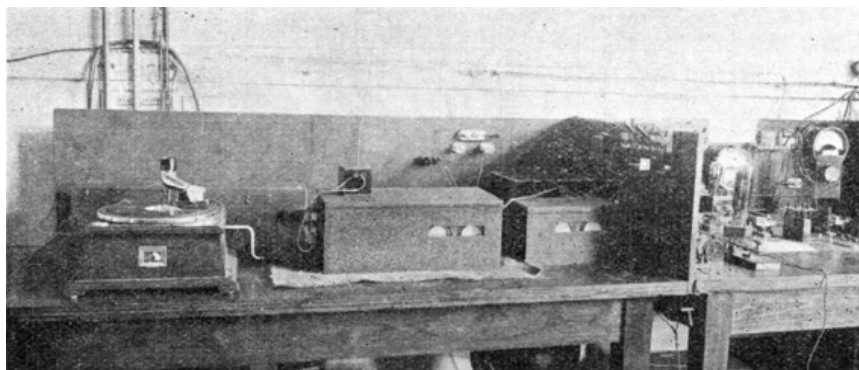


Fig. 65. A-versterkers, toongenerator en electromagnetische gramofoon.

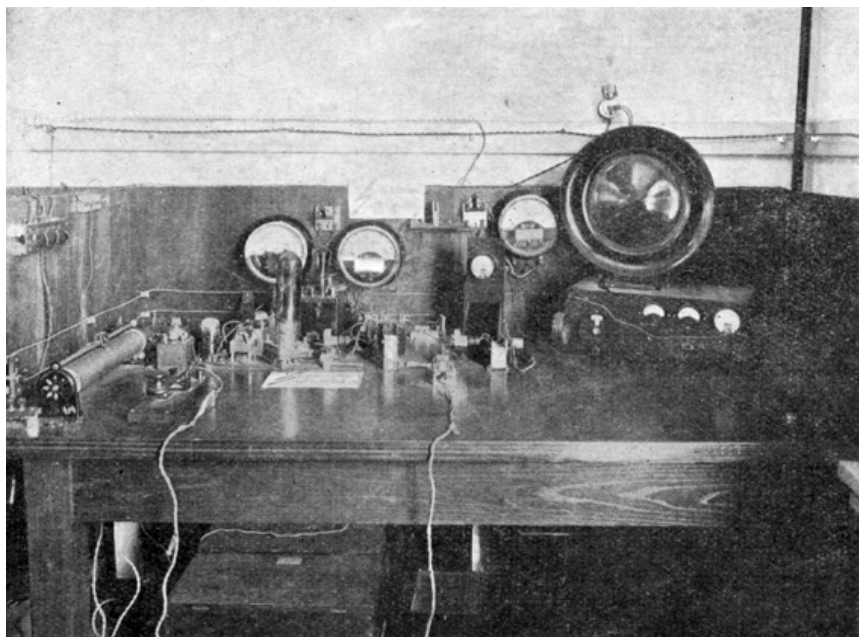


Fig. 66. B-versterker met potentiometers en contrôle-ontvanger met modulatie dieptemeter.

Fig. 66 toont de tafel met B-versterker. Parallel op de modulatielijn naar den submodulator van den zender is een wisselspanningvoltmeter geschakeld, waardoor een indruk verkregen kan worden van de grootte van de laagfrequent-energie welke naar den modulator van den zender gestuurd wordt.

Fig. 67 is het schakelschema van den B-versterker.

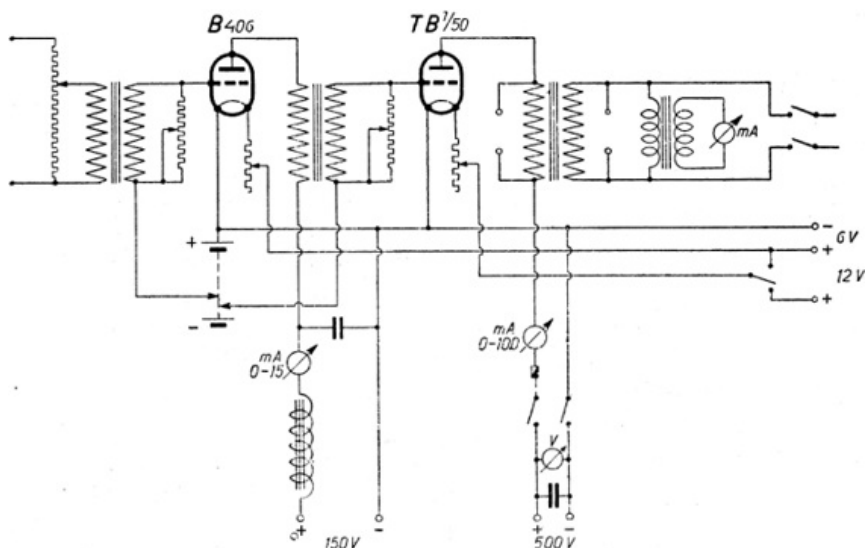


Fig. 67. Schakelschema van den B-versterker.

Geheel rechts op de tafel van den B-versterker is zichtbaar een controle-ontvanger met meetinstrumenten, welke de sterkte van de draaggolf en modulatie diepte aanwijzen. Fig. 68 is het schakelschema van dezen controle-ontvanger.

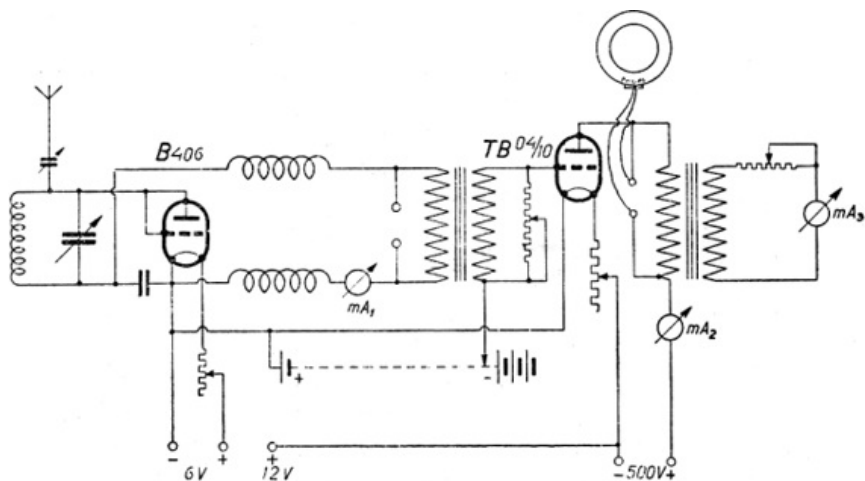


Fig. 68. Schakelschema van den contrôle-ontvanger.

Fig. 57 is een afbeelding van het inwendige van een microfoonversterker en fig. 58 is het bijbehorende schakelschema. De transformatoren zijn Philips-fabrikaat.

Aangezien de microfoonleiding en ook andere lange leidingen betrekkelijk veel hoogfrequent-energie absorberen, door de onmiddellijke nabijheid van de zend-antenne, zouden hierdoor ernstige storingen kunnen ontstaan, welke bijv. aanleiding kunnen geven tot fluitende bijgeluiden. Door tusschenschakeling van elektrische filters, welke de hoogfrequentenergie tegenhouden en de laagfrequentenergie ongehinderd laten passeeren, is hierin volkomen voorzien kunnen worden. Boven den microfoonversterker op foto fig 65 is zoo'n filter zichtbaar.

Ook bij laagfrequentversterkers doet zich de rooster-anodecapaciteit van de versterkertrioden in hinderlijke mate gelden. De hierdoor ontstane terugwerking kan in hooge mate de frequentie-karakteristiek beïnvloeden en vaak zelfs tot laagfrequent oscilleeren (fluiten) aanleiding geven.

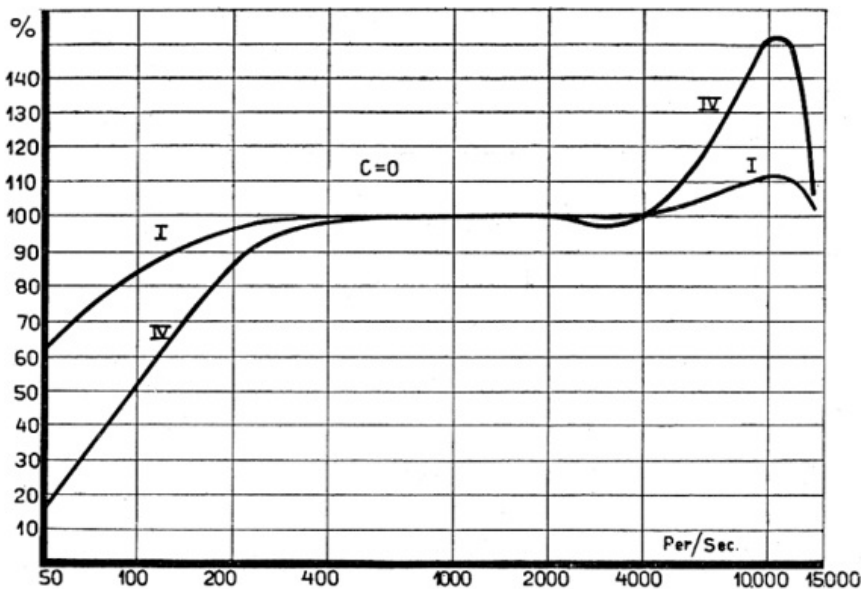


Fig. 69.

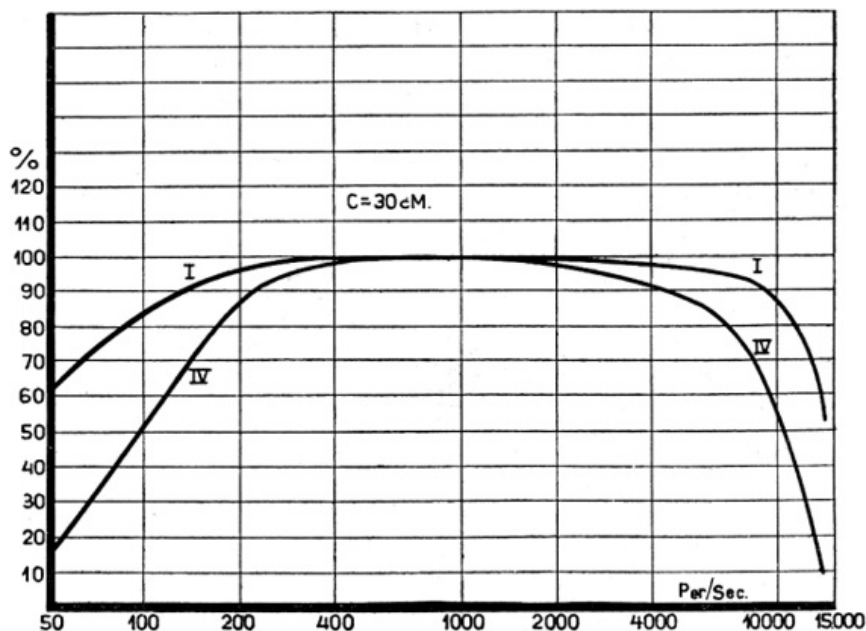


Fig. 70.

Vergelijking van fig. 69 I met fig. 70 I toont bijv. het effect van een geringe capaciteit (30 c.M.) parallel op de secundaire wikkeling van een laagfrequent-transformator. (Deze karakteristieken zijn opgenomen door ir. Y.B.J.F. Groeneveld. De schaal van de abcissen is logaritmisch.)

Fig. 69 IV en 70 IV toont het effect van een dergelijke vervorming, wanneer eenige trappen in cascade geschakeld zijn: de karakteristieken IV zijn verkregen door verheffing tot de vierde macht van de karakteristieken I. Een oogenlijklijk betrekkelijk geringe vervorming in één trap kan bij toepassing van verscheidene trappen in cascade tot een vrij ernstige vervorming aanleiding geven. Bij den Philipszender zijn bijv. vanaf de microfoon tot den oscillator 7 laagfrequent-trappen toegepast. Eventuele afwijkingen welke in elken trap zouden voorkomen, komen dus in de 7e macht tot uiting in de frequentie-karakteristiek van den geheelen zender. Het is dus van belang dat elke versterkertrap aan zeer hooge eischen voldoet, teneinde een bevredigend resultaat te verkrijgen.

Advertenties 1928.

— NAAMLOOZE VENNOOTSCHAP —

„IDZERDA-RADIO”

BEUKSTRAAT 8/10 -- DEN HAAG -- Tel. ^{Radio P.C.G.G.}
Lijn 32584

RADIO-ONTVANGERS

met meervoudige
H.F.-versterking voor golven
vanaf 160 M.

De **CORONAPHON** 2. 1. 2
in diverse modellen.

RADIO-ONTVANGERS

voor ultra-korte-golven
10-200 M. met 1 H.F. en 2 L.F.
tevens geschikt voor lange
golven 200-20000 M.

De **CORONITA** 1. 1. 2

TELEFONIE-ZENDERS

met kleine en groote capaciteit
voor omroepdoeleinden;

Modulatie-systeem volgens
eigen octrooien:

P.C.G.G. en Radio K.N.M.I.

CORONA-SPOELN

Serie 1 t/m 5 :	27000	t/m	6300	M.
	9000		1850	
Serie 6 t/m 12 :	2700	t/m	260	M.
	850		9	
Serie 13 t/m 18 :	138	t/m	25	M.
	54		10	

CORONERO: variabele weer-
standselementen voor automati-
sche negatieve roosterspanning.

GEBRUIKT DEZE
SCHRACK TRIOTRON 4 V. LAMPEN:

Hoog- Frequent TS 4 f 4.50	Detector AS 4 f 4.50	Eerste laag- Frequent RS 4 f 5.—	Eindlamp ZE 4 f 5.50
--	-----------------------------------	--	-----------------------------------

IN UW VIERLAMPS TOESTEL

Ons **SCHRACKBOEKJE**, dat wij op aanvraag gaarne
toezenden, bevat alle karakteristieken en verdere gegevens.

HANDELSMIJ. VAN SETERS & Co.
NASSAU OUWERKERKSTRAAT 3 -- DEN HAAG

Uitgave: N. VEENSTRA te 's-Gravenhage.

DEEL I VAN DEN GEHEEL OMGEWERKTEN EN AAN-
ZIENLIJK UITGEBREIDEN **ZEVENDE DRUK**
VAN

HET DRAADLOOS AMATEURSTATION

Door J. CORVER.

PRIJS: in geïll. omslag **f 2.50**; in prachtband **f 3.50**.

Dit eerste deel behandelt de meest voor zelfbouw in aanmerking komende toestellen voor kristal- en lampontvangst, versterkers en ontvangst geheel op wisselstroom.

Het tweede deel, dat neutrodyne, superheterodyne, reflex en bijzondere schema's zal behandelen, verschijnt in den loop van 1928.

Wij mogen zeggen, dat **HET DRAADLOOS AMATEUR-STATION** in dezen geheel nieuwen vorm is geworden

Het Nederlandsch Standaardwerk
over de ontvangst van radio-telefonie en radio-telegrafie.

**Alom bij den Boekhandel verkrijgbaar en tegen
inzending van het bedrag plus f 0.20 porto-kosten
bij den Uitgever N. VEENSTRA,
Laan van Meerdervoort 30 te 's-Gravenhage.**

Het NEDERLANDSCH OCTROOI-BUREAU

A. Elberts Doyer, H. W. Daendels, W. v. d. Vliet & Rolf van Hasselt
INGENIEURS EN OCTROOIBEZORGERS

OPGERICHT IN 1888

HOOFDKANTOOR:

BIJKANTOOR:

DEN HAAG, Laan Copes v. Cattenburch 24 AMSTERDAM, Heerengracht 516

BELAST ZICH MET HET AANVRAGEN VAN

OCTROOIEN (PATENTEN)

voor **Uitvindingen** op **Radio-** en elk ander gebied in alle landen
der wereld, en het deponeeren van **Handels-** en **Fabrieksmerken**.



Door gebruik van de

TELEFUNKEN Superversterkerlamp R E 134

bereikt U met één trap L.F.-versterking,
dezelfde geluidsvermeerdering als met twee trappen met
normale lampen.

TELEFUNKEN

vert. door SIEMENS & HALSKE A. G., 's-Gravenhage
Huygenspark 38-39.

KORTEGOLF-ONTVANGST

door J. J. NUMANS

Tweede, geheel herziene, **druk.**

Prijs ingenaaid **f 4.-**, gebonden **f 5.50.**

Alom bij den Boekhandel verkrijgbaar, en
tegen inzending van het bedrag, plus f 0.25
voor porto, bij den Uitgever

N. VEENSTRA,
Laan van Meerdervoort 30, Den Haag



PHILIPS LUIDSPREKER

Prijs slechts f 52,50 compleet



Philips
Radio-Gelijkrichter
No. 450
Fl. 29,50



Philips
Plaatspanningapparaat
Fl. 55,-

De eenparig sublieme beoordeelingen van alle vooraanstaande deskundigen in binnen- en buitenland stempelen den Philips Luidspreker tot een product van zeer bijzondere kwaliteit.

Hun oordeel bewijst, dat Uw Radio-ontvangst onvolmaakt is zonder een

Philips Luidspreker.

PHILIPS

N.V. TRANSFORMATOREN EN APPARATENFABRIEK
„TRANSFORMER WORKS”
Nieuwe Uilenburgerstraat 40 — AMSTERDAM
TELEFOON 46440.

KWALITEIT.



PRIJS
Compleet met Philipslamp 373

f 45.-

Het „**TRANSFORMA**”
plaatstroomapparaat is nog niet
overtroffen in Kwaliteit, is ge-
garandeerd **bromvrij** en slaat
niet door.

De detectorspanning is regel-
baar door een hoogohmigen,
draadgewikkelde weerstand,
welke ongevoelig is voor iedere
weersgesteldheid.



TRANSFORMA draad-
gewikkelde Detector-
weerstand. PRIJS

f 3.75

OVERAL VERKRIJGBAAR.

ACCUMULATOREN-FABRIK AKTIENGESellschaft

BERLIJN

HAGEN i. W.

INGENIEUR BUREAU AMSTERDAM, SPIJSTRAAT 46

TELEFOON:
45787 (3 lijnen)

TELEGR.ADR.:
ACCUMULATOR

AFDEELING: 1

Stationnaire batterijen.

AFDEELING: 2

Transportabele accumulatoren voor tractie, scheeps-
en treinverlichting.

AFDEELING: EDISON

Alkalische accumulatoren der Deutsche Edison Akku-
mulatoren Company.

AFDEELING: VARTA

Accumulatoren voor radio-doeleinden, telefooninstalla-
ties, starter- en verlichtingsbatterijen voor automobielen.

Accumulatoren voor het seinwezen.

Laadapparaten voor radio- en starter-batterijen, zuur-
wegers, enz. enz.

AFDEELING: AUTO

Accumulatoren voor electromobielen.

GESELLSCHAFT FÜR ELECTRISCHE
ZUGBELEUCHTUNG
INGENIEUR BUREAU AMSTERDAM

ACCUMULATOR FABRIKSAKTIEBOLAGET TUDOR
STOCKHOLM
INGENIEUR BUREAU AMSTERDAM

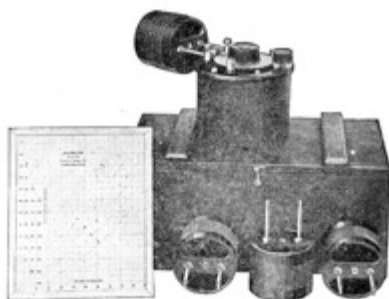
Accumulatoren voor onderzeebooten.

General Radio Company

CAMBRIDGE, Mass. (U.S.A)

In welk land gij ook een radio-laboratorium
binnentreedt, **OVERAL** zult gij aantreffen
de precisie-instrumenten der

GENERAL RADIO Co.



„General Radio” vervaardigt ook tal van een-
voudige instrumenten en onderdeelen voor
amateur gebruik. Gaarne verstrekken wij U
inlichtingen, catalogi, enz.

ALLEEN-IMPORTEURS VOOR NEDERLAND:

**Radio-Import A. A. POSTHUMUS
BAARN.**

Het Grootste Amerikaanse RADIO-TIJDSCHRIFT

kosteloos



RADIO-NEWS, het meest verspreide radio-tijdschrift van de wereld, kondigt nu aan een HANDELAARS-EDITIE, die opgenomen wordt in de gewone uitgave.
Vraag kosteloos een proefnummer van deze groote, nieuwe Amerikaanse handelsuitgave! Meer dan 150 pagina's, meer dan 300 illustraties, — de laatste Amerikaanse radio-onderzoeken en ontvangerstellingen, — Nieuw kennis van de gelukmakende ideeën, die toegepast worden door de radio-zakenmensen in de Vereenigde Staten.

350,000 radio-amateurs
vertrouwen op RADIO-
NEWS. — 30,000 Ame-
rikaansche handelaars
vertrouwen op RADIO-
NEWS, HANDELAARS-
EDITIE. — Bouwt Uw
eigen zaak volgens
RADIO-NEWS ideeën.



RADIO
NEWS
215 Fifth Avenue,
15th Floor
New York City,
U.S.A.
Worst zoo goed als gratis
een gratis proefnummer.

Uw adres is:

Send _____
Adres _____
Land _____

Indien U wilt teekenen op beide tijdschriften, zendt dan 3 Dollars
(Amerikaansch geld) per buitenlandse postwissel aan

RADIO NEWS

18TH FLOOR

230 Fifth Avenue, New York City, U.S.A.



PILOT

RADIO ONDERDEELLEN

brengen U veilig door de woelige aethergolven; alleen door PILOT blijft het Radiotoestel zelfs op de kortste golf en bij het kleinste vermogen goed bestuurbaar.



PILOT

Logarithmische condensator, messing platen.

De heer Corver schrijft van dezen condensator in Radio-Expres N° 51 o. a.:

„De Pilot-condensator behoort tot de onderdeelen van lagen prijs, die desondanks kwaliteits-onderdeelen genoemd mogen worden.”

VRAAGT UITVOERIGE PROSPECTUS.

N.V. NIJKERK's RADIO

Leidschegr. 96, AMSTERDAM C. - Tel. 36883

In DEN HAAG bij Fa. CH. VELTHUISEN (Opgericht in 1891)

Oude Molstraat 18, Tel. 12412, Giro 28376

(NUTTIGE GESCHENKEN).

$v_f = 4.0 \text{ V.}$
 $i_f = 0.15 \text{ A.}$
 $v_a = 50 \text{--} 150 \text{ V.}$
 $i_a = 50 \text{ m.A.}$
 $g = 5$
 $s = 2.0 \text{ m.A./V.}$
 $R_i = 2500 \text{ Ohm}$
 $i_a = 10 \text{ m.A.}$

Prijs f 7.50.

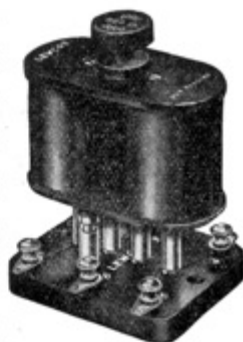


B 405

LEWCOS

Aftakbare prim. ant.sp.
 (250—550 M.) No. BAC 5 f 6.00
 Aftakbare prim. ant.sp.
 (1000—2000 M.) No. BAC 20 f 7.20
 Aftakbare prim. transf.
 (250—550 M.) No. BSP 5 f 9.00
 Aftakbare prim. transf.
 (1000—2000 M.) No. BSP 20 f 12.00
 Aftakbare sec. transf.
 (250—550 M.) No. BSS 4 f 6.00
 Aftakbare sec. transf.
 (1000—2000 M.) No. BSS 15 f 7.20
 Voetstuk SPB f 1.65

3 interessante étalages.



RADIO-TECHNISCH BUREAU HERM. VERSEVELDT
PIET HEINSTRAT 87, TEL. 34969, DEN HAAG

Het meest gesorteerde adres voor onderdeelen!

Afgeschermdde spoelen!

„Philips” weerstandkoppelingen.
ONS NIEUWSTE H V 4 ONTVANGTOESTEL IS HET BESTE!

Lees de schitterende beoordeeling in „Radio-Expres” d.d. 18 Maart!

VRAAGT PRIJSCOURANT!

HET DRAADLOOS ZENDSTATION VOOR DEN AMATEUR

door J. CORVER.

DERDE BELANGRIJK UITGEBREIDE DRUK.

PRIJS: ingen. f 3.75, geb. f 5. - .

Levering door den Boekhandel of na inzending van het bedrag,
plus f 0.25 voor porto, door den Uitgever:

N. VEENSTRA te 's-Gravenhage.

BROWN

Sans Pareil Luidsprekers

PRIJZEN: Leerbekleed f 48.00

Eiken - 52.50

Mahonie - 52.50

De luidspreker, die de
juiste toon aangeeft

Alleenvertegenwoordiger voor Holland en Koloniën:

T. B. HOOGHOUDT

Spuistraat 71 - Tel. 41166 - AMSTERDAM

Inhoudsopgave

Radiotelefonie Holland — Indië.	2
Inleiding.	2
Over de Technische Inrichting van kortegolf-telefoniezenders.	12
De Triode als Modulator en Eindversterker.	25
De Triode als Oscillator.	38
Frequentie-vermenigvuldiging.	45
De Gemoduleerde Oscillator.	55
De Piëzo-oscillator en Versterkerschakelingen.	64
DE PHILIPSZENDER PCJJ.	68
De oscillator en modulator.	73
De microfoon en versterkers.	87
De studio.	94
In de versterkerkamer.	98
Advertenties 1928.	104