

206/42

7368

**nederlands  
elektronica-  
en  
radiogenootschap**

**den haag , juni 1967**

## Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Administratie: Postbus 6108, Den Haag; Gironummer 94746 t.n.v.  
Penningmeester NERG, 's-Gravenhage.

### Het Genootschap

stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

#### *Bestuur*

Prof. Ir. J. Piket, voorzitter  
Dr. F. W. de Vrijer, vice-voorzitter  
Ir. L. Krul, secretaris  
Ir. K. Vredenburg, penningmeester  
Prof. Dr. Ir. J. J. Geluk  
Ir. A. J. Leenhouts  
Prof. Ir. C. A. Muller  
Ir. G. Rosier  
Prof. Dr. Ir. A. A. Th. M. van Trier

#### *Lidmaatschap*

Voor opgave lidmaatschap wende men zich tot de secretaris met een door één of twee leden ondersteund verzoek. Het lidmaatschap staat — behoudens ballotage — open voor academisch gegradueerden en hen die daaraan door kennis of ervaring gelijkwaardig kunnen worden geacht. De contributie bedraagt f 30,— per jaar. Studenten kunnen bij gevorderde studie in aanmerking komen voor een juniorlidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie voor gewone leden.

### De Examens

door het Genootschap ingesteld en afgenomen zijn: Elektronicatechnicus en Elektronicamonteur.

#### *Examencommissie*

Ir. P. H. Boukema, voorzitter  
Prof. Dr. J. J. Zaalberg van Zelst, vice-voorzitter  
Ir. L. R. M. Vos de Wael, secretaris-penningmeester

#### *Deelname en inlichtingen*

Men wende zich hiervoor tot het secretariaat van de Examencommissie NERG, van Geusastraat 151, Voorburg, telef. 070-834249, giro 6322 te Voorburg.

206/42

# Elektronica en Telecommunicatie

Tevens orgaan van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap  
Redactiecommissie:

Redactieadres: Prinsessegracht 23, Den Haag

## Moderne geluidstransmissie <sup>1)</sup>

### I. Heden en toekomst der muziektransmissie

door ir. D. van den Berg, Centrale Directie PTT - 's-Gravenhage

**Summary:** *Present and future facilities for programme transmissions.*

Starting in the recent past of programme transmission practice the author describes the different types of facilities used for sound transmission via cables and radiosystems. Various fields of application, both national and international, are mentioned as well as the lengths and complexity of existing sound networks. The increasing significance of high fidelity and stereophonic reproduction have stimulated the development of new techniques and the application of new operational methods, such as:

- carrier type twin channels with identical sound transmission performances;
- pilot-controlled compandors to improve the signal-to-noise ratio of long lines;
- digital transport of radioprogrammes;
- wide band transmission systems to transport the multiplex stereosignal.

#### 1. Inleiding

Wie zich wil verdiepen in heden en toekomst der muziektransmissie, doet er goed aan een korte blik in het verleden te werpen, ten einde daardoor beter het heden te verstaan. En wie het heden doorgrondt, zal over de toekomst niet spreken als over onwezenlijke visioenen, doch spreekt met een zeker gezag omdat de toekomst reeds heden begonnen is. Daarom moge een kort historisch overzicht de lezer niet worden onthouden.

Met het ontstaan van de radio-omroep, begint ook de bemoeiing van de PTT met lijnverbindingen. Een citaat uit het muziekjaartallenboekje moge dit verduidelijken.

- 1921 Eerste omroepzender, het Engelse station 2 MT.
- 1922 Marconi station 2 LO en Nederl. station PCCG van Van Steringa-Idzerda.
- 1923 NSF start omroepuitzendingen.
- 1923 Eerste lijnuitzending vanuit hotel Hamdorff in Laren.

<sup>1)</sup> Voordrachten gehouden voor het Nederlands Akoestisch Genootschap tezamen met het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap en de Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. op 22 november 1966 te Hilversum.

- 1924 De eerste draadomroepcentrale komt in bedrijf te Koog a/d Zaan o.l.v. de heer Bauling.
- 1925 Eerste internationale lijnuitzending: 'Opening Volkenbondspaleis te Genève'.

Het bleek al van de aanvang der omroep af, dat de PTT een rol van betekenis zou kunnen spelen bij het verruimen van de studiohorizon, door met haar lijnverbindingen concertzalen en sportpaleizen aan de studio's te verbinden en buitenreportages mogelijk te maken. De bezigheden van PTT met het schakelen van lijnverbindingen namen hand over hand toe. Maakte men doorverbindingen met de studio in 1923 nog door middel van losse snoeren-met-krokodilklemmen, die in de hoofdverdeler van het telefoonkantoor te Hilversum werden opgehangen, in 1928 werd reeds een tot muziekschakelpost omgebouwde telefooncentraalpost in gebruik genomen. In 1929 wordt er een voor die dagen moderne muzieklijnenpost op de zolder van het Postkantoor te Hilversum in gebruik genomen en ontstaan ook de draadomroep-transportnetten 1 en 2 om de vele particuliere 'radiocentrales', die

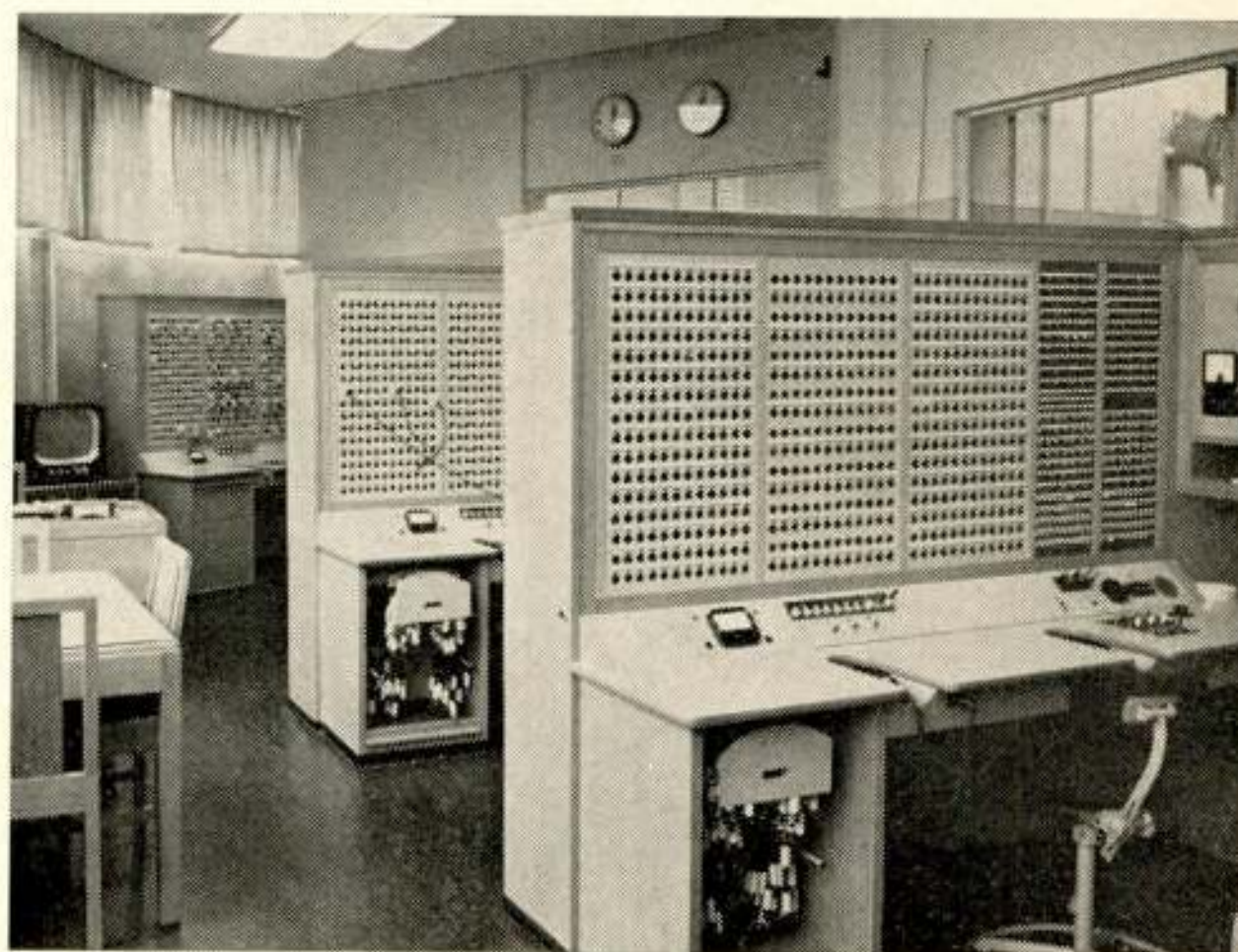


Fig. 1. Bedieningsruimte van het PTT-Audioschakelcentrum te Hilversum.

sedert het enorme succes in Koog a/d Zaan overal in het land waren ontstaan, aan een lijnverbinding met de studio's te helpen.

In 1936, daartoe genoopt door de steeds intensiever wordende lijnenbehoefte, wordt in de Koornstraat (telefooncentrale) te Hilversum een grote muziek- en spreeklijnen-schakelpost ingericht. Het aldaar gevestigde PTT-centrum is bij velen nog bekend als de Radiokamer van PTT. Na vele jaren van trouwe dienst wordt ook deze huisvesting te klein en in 1959 komt een volkomen nieuw ingerichte vleugel van hetzelfde telefoongebouw als PTT-Audioschakelcentrum gereed (fig. 1).

De doorgifte van een selectie der buitenlandse radio-programma's op de 3e en 4e lijn van de draadomroep, in 1947 ter hand genomen, maakte de inrichting van de draadomroep-transportnetten 3 en 4 noodzakelijk. De nog steeds groeiende bemoeienissen van de PTT met lijnverbindingen voor de omroep (NRU, NTS en Wereldomroep) noodzaakten de PTT om een tweede Audioschakelcentrum in te richten ten zuiden der grote rivieren. Dit centrum, provisorisch reeds ingeschakeld in het muzieklijnennet, zou van begin 1967 af als definitieve installatie meehelpen aan de opvang der groei. Enkele cijfers demonstreren deze toename overduidelijk:

Aantal muziekuitzendingen		1955	1965
omroep (NRU + WO)	binnenland	2800	4800
	buitenland	2500	3600
televisie (NTS, enz.)	binnenland	800	1400
	buitenland	400	1200
aantal hiervoor gewisselde telexberichten		17000	46000

Opgemerkt dient nog te worden, dat de aard der muziekuitzendingen steeds gecompliceerder wordt. Was vroeger één

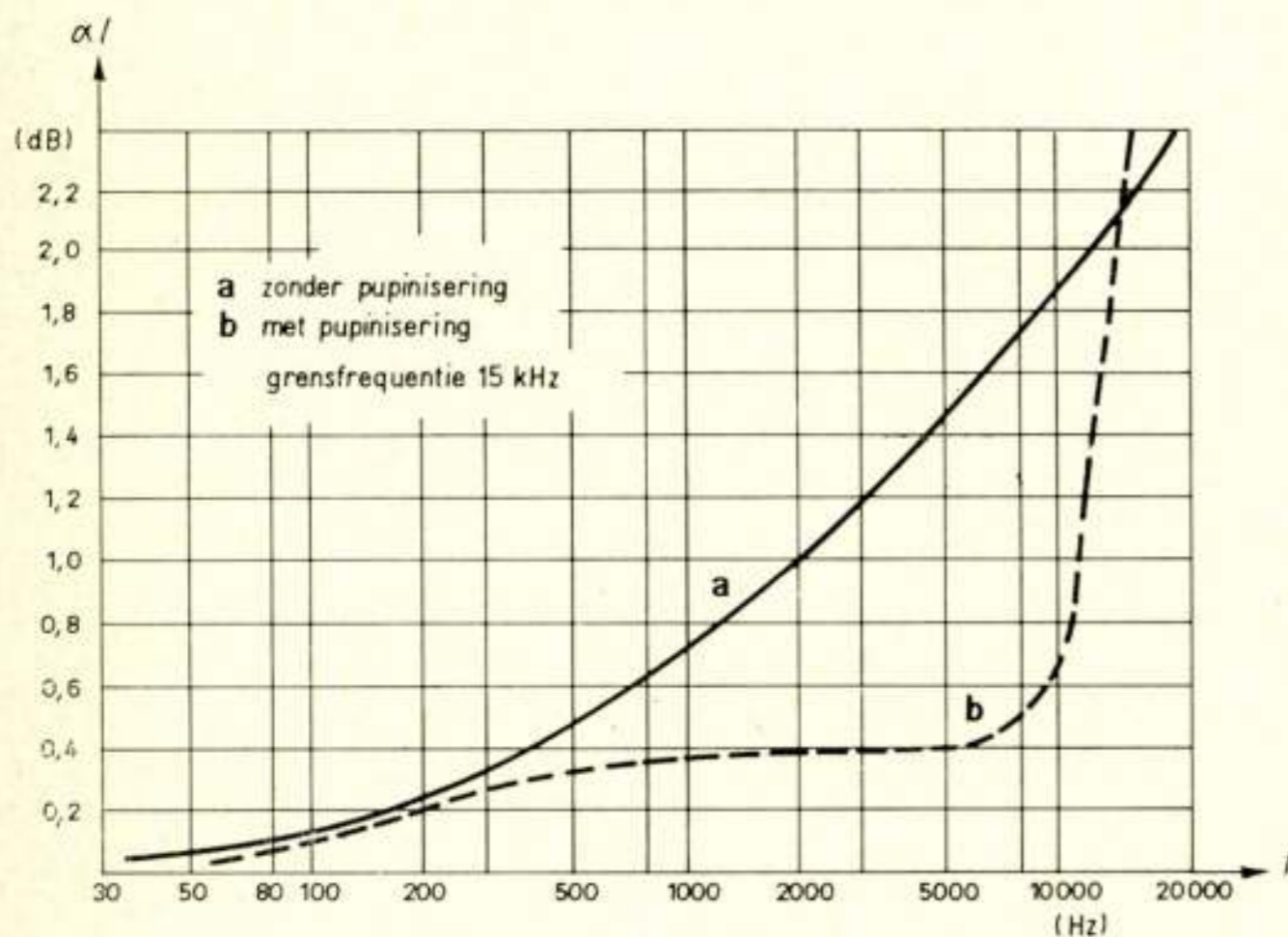


Fig. 2. Damping van 1 km kabel 0,8 mm.

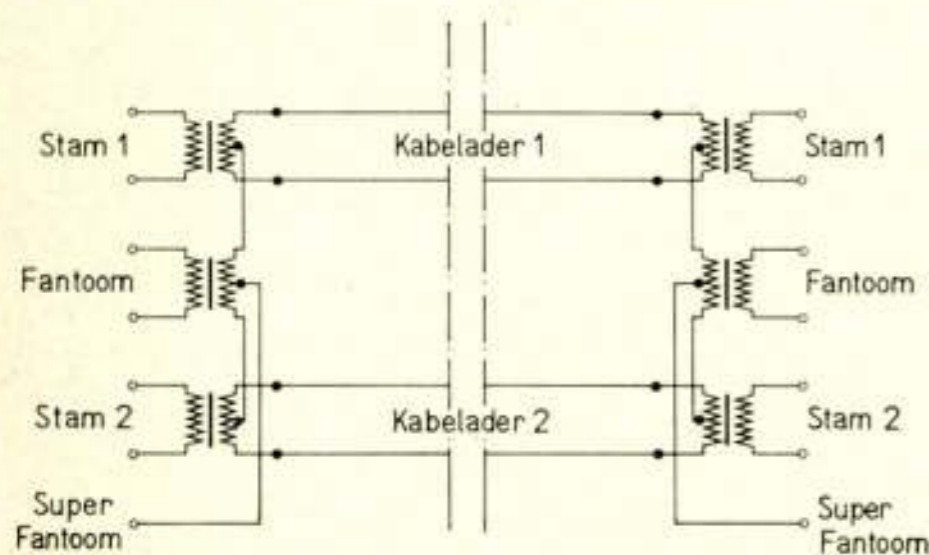


Fig. 3. Fantoomcircuit gevormd op twee stamaders.

muzieklijn met een daarbij behorende spreeklijn in bijna alle gevallen voldoende, heden ten dage komen uitzendingen voor, waarbij enkele tientallen en soms meer dan 100 lijnen tegelijk nodig zijn.

Een enkele greep uit de logboeken van het Audioschakelcentrum moge dit verduidelijken: Opening Staten-Generaal (20), Eurovisie Songfestival (45), Sportevenementen (20 à 80), huwelijk kroonprinses (160).

## 2. Huidige typen muziekcircuits

De internationale Telecommunicatie Unie heeft een aantal typen muziekcircuits op kabels en op radioverbindingen genormaliseerd en de eigenschappen in aanbevelingen vastgelegd. Van de meest bekende soorten circuits kunnen worden genoemd:

voor lijntransmissie:

- 2.1. audiocircuits op bovengrondse lijnen;
- 2.2. laagfrequent-aders met gemetalliseerde afscherming in grondkabels;
- 2.3. fantoomcircuits in draaggolfkabels;
- 2.4. draaggolfmuziekkanaal.

voor radiosystemen:

- 2.5. enkelzijband en dubbelzijband technieken op HF-radio-verbindingen;
- 2.6. straalverbindingen met 6 kanalen;
- 2.7. straalverbindingen met 1 muziekkanaal boven het TV-kanaal;
- 2.8. straalverbindingen met 4 muziekkanaal boven het TV-kanaal.

De circuits van de categorie 2.1. komen in de Europese landen niet zo veel meer voor. Voor zover men in bepaalde landen luchtlijnen toepast, worden muziekcircuits meestal gerouteerd in draaggolfstelsels voor bovengrondse lijnen en dan behoren zij tot de categorie 2.4.

De kabeladers, met speciale afscherming van stanniol of gemetalliseerd papier, hebben vele jaren dienst gedaan als muziekaders (categorie 2.2.). Ze werden veelal op regelmatige afstanden van pupinspoelen voorzien, waardoor weliswaar het dempingsverloop aanzienlijk vlakker verliep, dan bij niet gepupiniseerde aders, doch de fasekarakteristiek was in het gebied der hogere frequenties niet lineair, hetgeen meestal tot ontoelaatbare looptijdsverschillen leidde (fig. 2). Daarom worden ze thans niet veel meer toegepast, zeker niet voor transport over beduidende lengte.

Een thans zeer veel gebruikte methode voor het vormen van muziekleidingen is die der fantoomcircuits (fig. 3). In vele landen en met name in Nederland ligt een uitgebreid kabelnet, speciaal voor draaggolftelefonie met 60 à 120 spreekkanalen per ader. Daar deze draaggolftelefoonstelsels, op de stamaders geschakeld, een frequentieband in beslag nemen, die bij 12 kHz begint, is het op eenvoudige wijze mogelijk om de fantoomcircuits te gebruiken beneden 12 kHz en zodoende kan men er muziekverbindingen van goede kwaliteit op vormen.

Voor internationale muziekcircuits heeft het CCITT<sup>2)</sup> een aantal aanbevelingen opgesteld, die door de meeste PTT-Administraties niet alleen voor deze soort circuits doch evenzeer voor hun nationale circuits worden aangehouden.

<sup>2)</sup> Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique

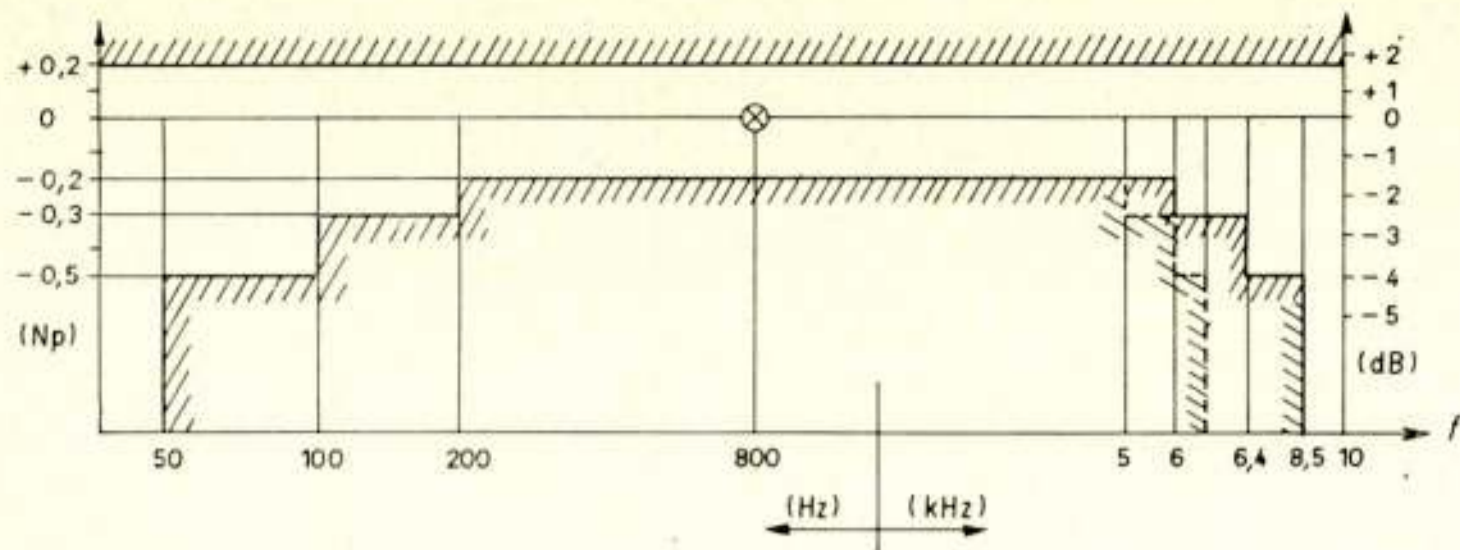


Fig. 4. Grenzen voor de amplitudevervorming van een internationaal muziekcircuit.

### 3. Enkele karakteristieke grootheden van internationale muziekcircuits

3.1 *circuits*: Men onderscheidt hierin

- type A: Met een effectief overgedragen frequentieband van 50-10.000 Hz
- type B: Met een effectief overgedragen frequentieband van 50-6400 Hz.

3.2 *niveaus*: Deze zodanig gekozen dat op een punt van relatief nulniveau de spanning, overeenkomende met 100% modulatie, +9 dB bedraagt. Dit houdt in, dat het relatieve nulniveau ongeveer overeenkomt met 35% modulatie diepte van de zender.

3.3 *amplitude-vervorming*: zie hiervoor fig. 4.

3.4 *fase-vervorming*: Het verschil in groeplooptijd tussen  $t_f$  en de minimaal optredende looptijd  $t_{min}$  de onderstaande waarden niet mag overschrijden:

- $t_{10000} - t_{min} < 8$  ms
- $t_{100} - t_{min} < 20$  ms
- $t_{50} - t_{min} < 80$  ms

3.5 *Ruis*: De met behulp van de muziekpsfometer gemeten ruis mag op een punt van relatief nulniveau niet meer bedragen dan

- 3,1 mV voor kabels en
- 7,8 mV voor luchtlijnen.

Dit komt overeen met een 'gewogen' signaal-ruisverhouding van 57 dB voor kabels en 49 dB voor luchtlijnen.

De ongewogen ruis mag, vlak gemeten in de gehele band, niet meer bedragen dan maximaal 31 mV op een punt van relatief nulniveau.

3.6 *verstaanbare overspraak*: Deze zal minstens 74 dB bedragen voor 2 muziekcircuits of tussen een storend telefoonkanaal en een gestoord muziekcircuit.

(De door muziekcircuits veroorzaakte verstaanbare overspraak in telefooncircuits moet beter zijn dan 58 dB.)

3.7 *stabiliteit*: Gedurende eenzelfde muziekuitzending mag de totale variatie van het niveau bij 800 Hz niet meer variëren dan  $\pm 2$  dB echter steeds met inachtneming van het frequentiemasker, vermeld onder 3.3.

3.8 *niet-lineaire vervorming*: Voor een sinusvormig signaal, overeenkomende met een sterkte van 100% modulatie, mag de coëfficiënt der harmonische vervorming  $k$ , gedefinieerd als

$$k = \sqrt{k_2^2 + k_3^2}$$

maximaal een zodanige waarde hebben, dat de harmonischen zwakker zijn dan 28 dB voor het 2500 km lange referentiecircuit.

Echter wordt voor nieuwe apparatuur een streefgetal gehanteerd van

- 30 dB voor frequenties beneden 100 Hz en
- 34 dB voor frequenties boven 100 Hz.

*Opmerking*:

Voor muziekkanaal, gerouteerd in draaggolfstelsels waarbij het muziekkanaal de frequentieband van 3 telefoonkanalen inneemt (84-96 kHz, in de primaire basisgroep van 60-108 kHz), kan men ter verbetering van ruis en onverstaanbaar overspreken (intermodulatie) een vóóregalisatie (pre-emphasis) toepassen van de volgende gedaante:

$$10 \log \frac{75 + \left(\frac{\omega}{3000}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega}{3000}\right)^2}$$

dat de volgende tussenschakeldemping oplevert voor het hoogop-netwerk

50 Hz	18,7 dB
200 Hz	18,0 dB
800 Hz	13,1 dB
2000 Hz	7,0 dB
4000 Hz	3,1 dB
6400 Hz	1,5 dB
8000 Hz	1,0 dB
10000 Hz	0,7 dB

(Gegevens ontleend aan de aanbevelingen J.21 en J.31 van het CCITT.)

Muziekcircuits op HF-radioverbindingen zijn heden ten dage niet meer van veel betekenis. Voor lange afstandsverbindingen worden ze nog wel eens gebruikt voor programma-doorgifte, waarbij de actualiteit zwaarder weegt dan de fideliteit van de weergave.

De meeste muziekcircuits op radioverbindingen treft men thans slechts aan op straalverbindingen. Voor categorieën 2.6 t/m 2.8 heeft het CCIR<sup>3)</sup> een aantal aanbevelingen opgesteld, waarvan de meest markante punten hieronder zijn weergegeven.

### 4. Enkele karakteristieke grootheden voor muziekcircuits op straalverbindingen

#### 4.1 Straalverbindingen met een capaciteit van 600 of 960 telefoonkanalen

- a. draaggolven van de muziekkanaal: 90, 370, 610, 810, 1030 en 1290 kHz
- b. frequentie-zwaai: voor de draaggolven 90 en 370 kHz is deze 50 kHz voor de resterende 4 draaggolven is zij 70 kHz

#### 4.2 Straalverbindingen met een capaciteit van 1800 telefoonkanalen

- a. draaggolven voor de muziekkanaal: 4260, 4940, 5600, 6290, 7010 en 7760 kHz (ter eliminering van 2e graadsvervormingsprodukten liggen de hulpdraaggolven binnen één octaaf).

<sup>3)</sup> Comité Consultatif International des Radiocommunications

b. frequentie-zwaai:

deze bedraagt 70 kHz voor elk der draaggolven

c. vooregalisatie:

een hoogop-netwerk met een RC-tijdconstante van 50 ms kan worden toegepast.

4.3 TV-straalverbindingen met 1 geluidskanaal voor straalverbindingen waarbij de breedte der basisband dit toelaat, wordt een geluidshulpdraaggolf aanbevolen van 7,5 MHz met maximale frequentiezwaai van 140 kHz (geldt voor straalverbindingen waarvan het videokanaal een 625 lijnen TV-sigitaal overdraagt).

4.4 TV-straalverbindingen met 4 geluidskanalen voor straalverbindingen waarbij de breedte der basisband dit toelaat, kunnen 4 hulpdraaggolven worden toegepast, te weten 7000, 7360, 7740 en 8140 kHz.

De maximale frequentiezwaai is bepaald op 100 kHz.

(Gegevens ontleend aan aanbeveling 402 en de rapporten 289 en 290 van het CCIR.)

Door de Nederlandse Radio Unie is een modulatieschema uitgewerkt voor de overdracht van 3 monofone radioprogramma's en 3 stereo-programma's. Prof. Geluk zal in zijn voordracht op dit stelsel nader ingaan en in samenwerking met PTT een demonstratie geven van het stelsel.

## 5. Enkele toepassingen

Met behulp van de in hoofdstuk 2 beschreven technieken

heeft de PTT een aantal muzieknetten gevormd, gedeeltelijk mede voor internationaal gebruik.

### 5.1 Contributienet

Onder contributienet wordt verstaan het totaal der muziekverbindingen, dat gebruikt wordt voor het transport van programmastof naar de studio's, maar ook voor incidenteel gebruik door particuliere huurders, die daartoe gemachtigd zijn.

Het net bestaat uit permanente circuits, die op bestelling zodanig met elkaar kunnen worden doorverbonden, dat praktisch elke plaats bereikbaar is. De totale lengte van dit net bedraagt ca. 3150 km.

Tot het contributienet worden ook gerekend de zgn. ontvangleidingen, muziekcircuits die de met behulp van professionele ontvangers opgevangen buitenlandse radioprogramma's doorgeven aan het Regiecentrum van de draadomroep te Rotterdam. (zie fig. 5).

### 5.2 Distributienet

Ook dit net (fig. 6) bestaat uit twee gedeelten; ten eerste de muzieklijnen die de studio's met de AM- en FM-zenders verbinden en voorts de interlokale transportleidingen voor de vier draadomroepnetten.

Het zendleidingennet is ca. 2600 km lang, de vier droetten hebben een gezamenlijke lengte van 8500 km fantoomcircuit en 18000 km laagfrequentcircuit in districtskabels. (De lokale distributienetten zijn hierin *niet* meegeteld.)

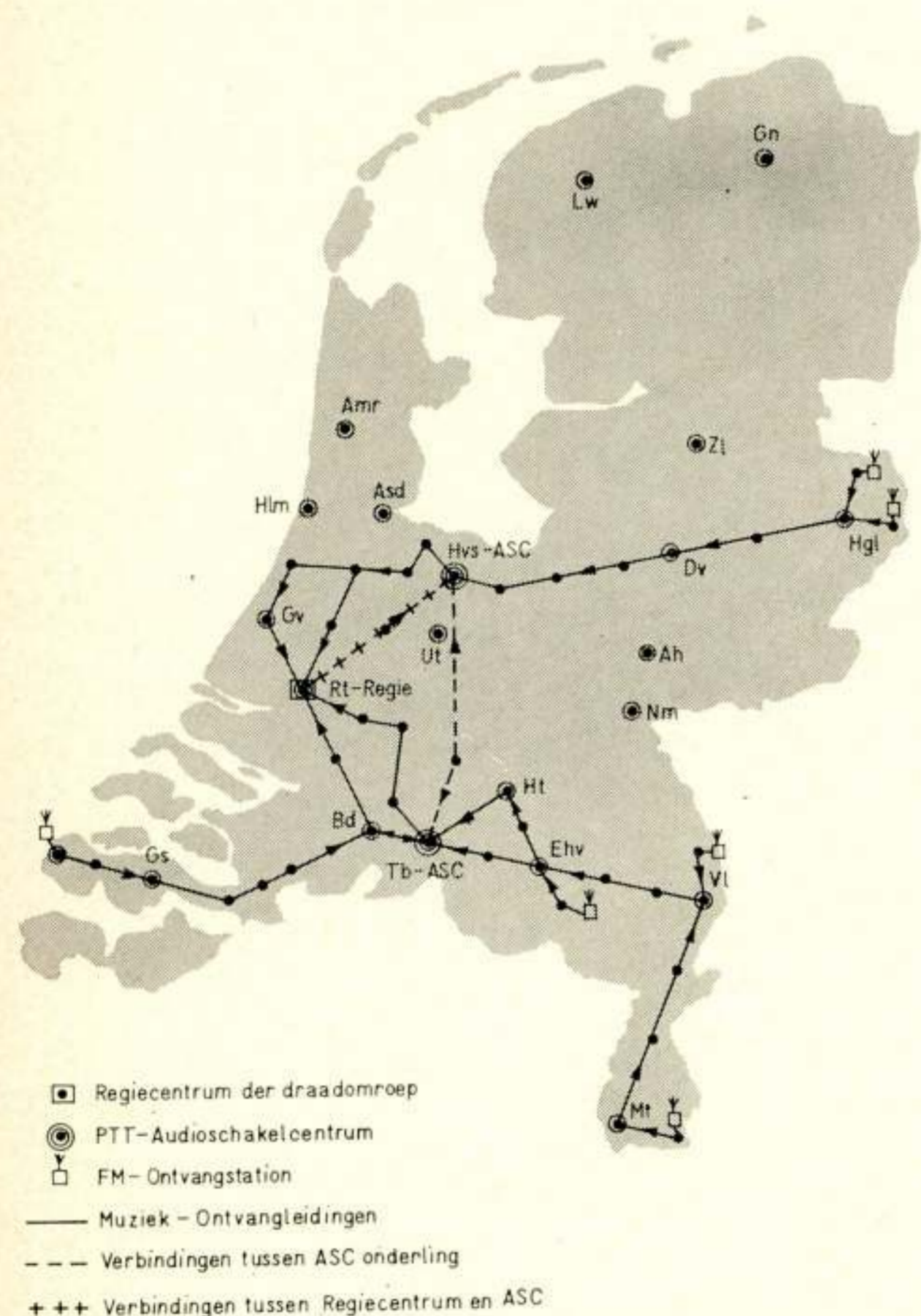


Fig. 5. Voorbeeld van een contributienet; ontvangstdoorgifte t.b.v. regiecentrum.

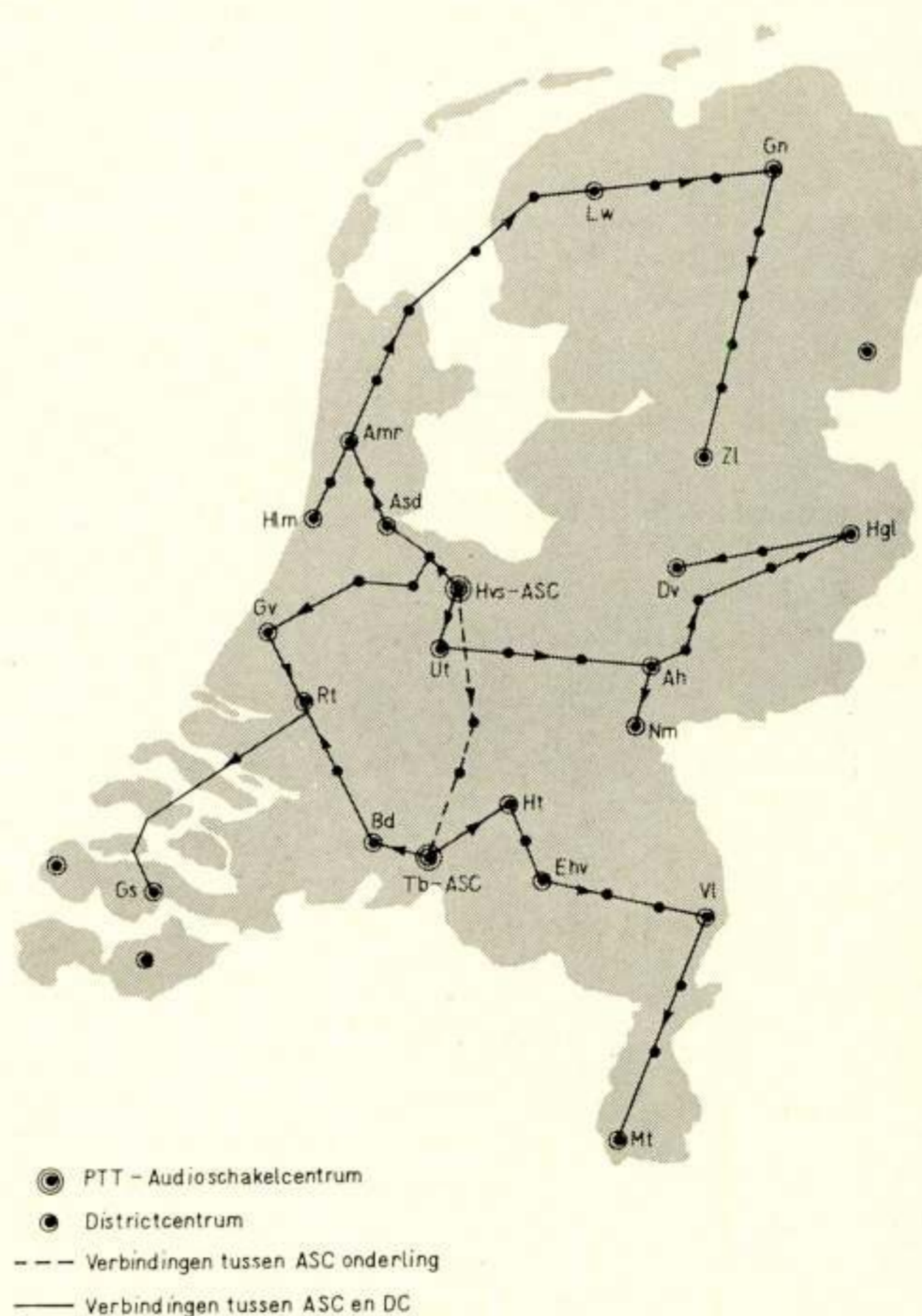
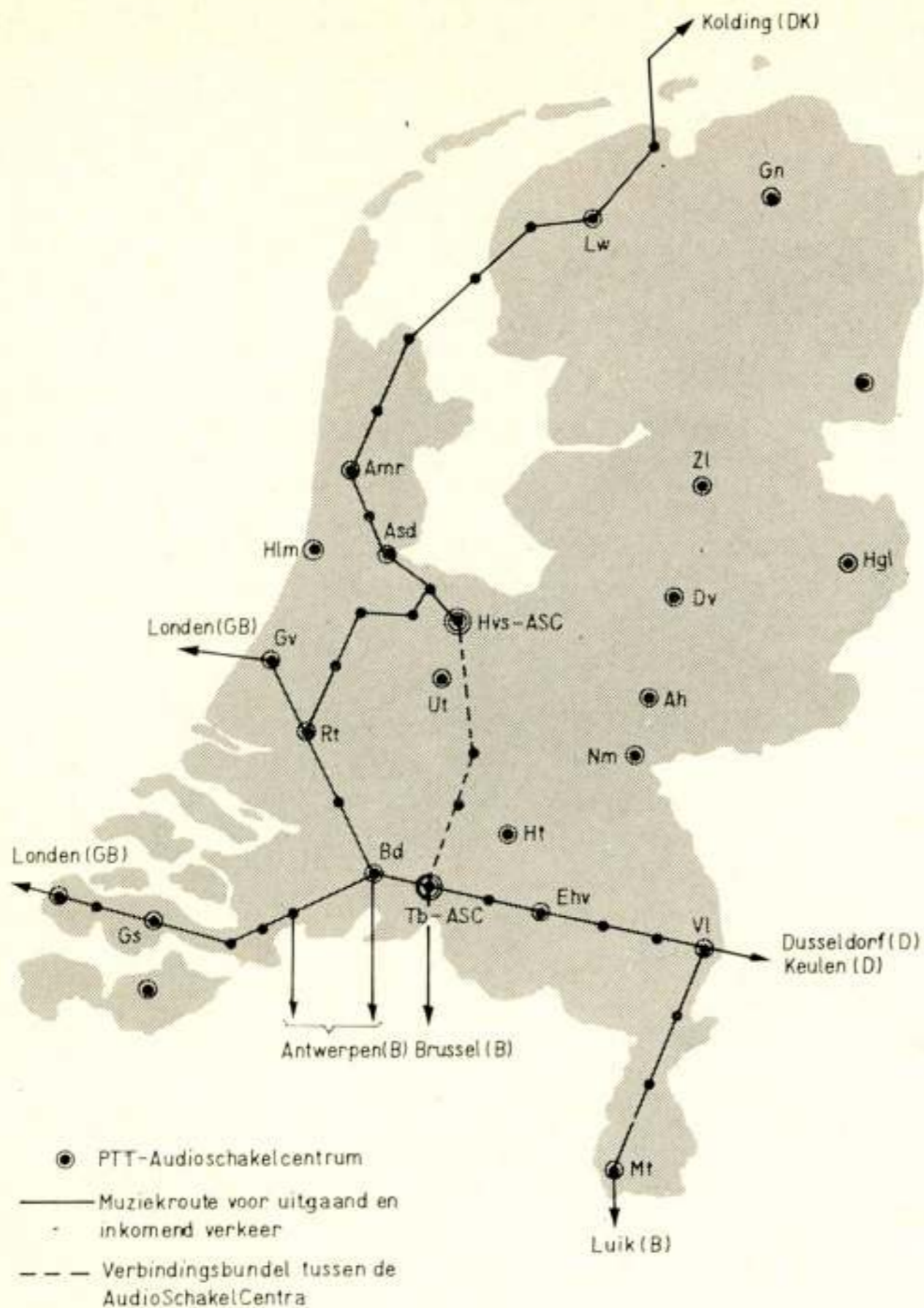


Fig. 6. Voorbeeld van een distributienet; voeding der districtcentra voor één der vier draadomroepnetten.



**Fig. 7.** Internationale muziekroutes (per route zijn soms verscheidene leidingen gevormd).

### 5.3 Internationale net

Tussen de Audioschakelcentra van de PTT en het buitenland is een aantal permanente muziekcircuits beschikbaar, dat zowel gebruikt wordt voor internationale verbindingen der Nederlandse studio's alsook voor internationaal transitverkeer (fig. 7).

De landencircuits met België en de Duitse Bondsrepubliek zijn van het type 2.3 (fantomcircuits), die met Denemarken en het Verenigd Koninkrijk zijn op draaggolfbasis in zee-kabels en behoren dus tot type 2.4.

### 5.4 Permanent geluidsnet van de Europese Omroep Unie (UER/EBU)

Voor uitwisseling van radio en TV-programma's tussen een aantal Europese landen beschikt het Eurovisie-coördinatiecentrum te Brussel over permanente muziekverbindingen met de volgende plaatsen:

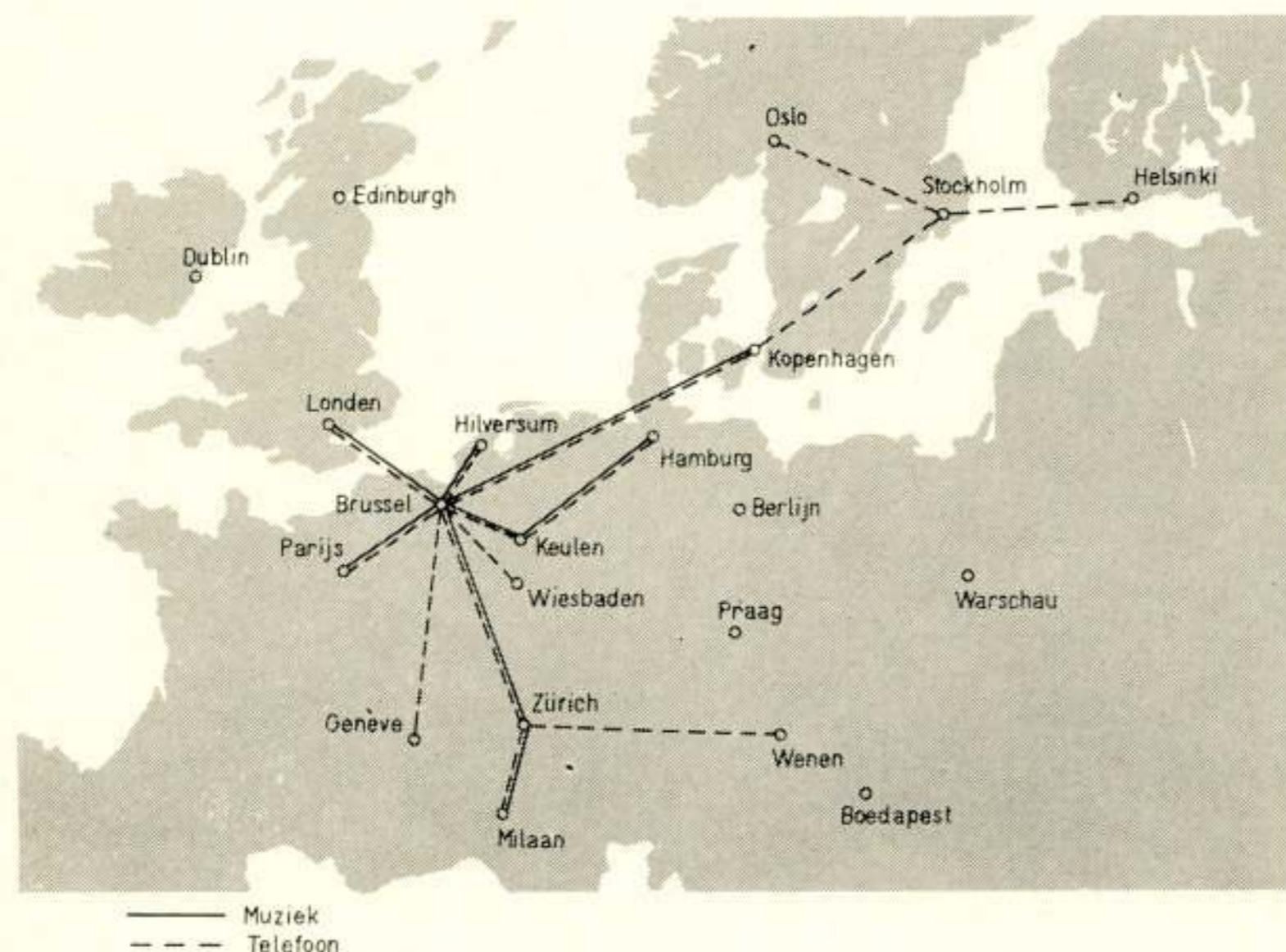
Londen – Hilversum – Kopenhagen – Keulen – Hamburg – Zürich – Parijs en Milaan. Het gehele net is dubbel-gericht uitgevoerd, d.w.z. tussen Brussel en elk der vermelde plaatsen is tegelijk een uitgaand (distributie) en een inkomend (contributie) kanaal beschikbaar (fig. 8).

## 6. Exploitatie en Onderhoud

Automatisering van de muziekschakelvelden is thans nog niet opportuun, mede gelet op de voortreffelijke kwaliteit der thans toegepaste stekers en contactblokken en de relatief grote gecompliceerdheid der beveiligingsschakelingen tegen dubbele belegging. In de toekomst zal echter de invoering van automatische muziekschakelvelden en rangeervelden niet kunnen worden vermeden.

De gestage groei der muzieknetten en het steeds intensievere gebruik ervan hebben wel geleid tot de ontwikkeling van automatische meet- en testapparatuur. De leidende gedachte van dit automatische meetsysteem is geïnspireerd door het testbeeld voor televisiecircuits.

Indien het mogelijk zou blijken een muziektestsignaal te maken, dat, zonder tussenkomst van mensenhanden, kortere of langere tijd een signaal levert aan de te meten muziekleidingen of zelfs aan complete distributienetten, dan was reeds veel gewonnen. Vandaar dat een audiotestsignaal is ontstaan, dat in een cyclus van 90 seconden een aantal signalen uitzendt, waarmee men de frequentie karakteristiek van de lijn kan meten, alsmede de ruis en de niet-lineaire vervorming (fig. 9 en 10). Een voorziening is nog aanwezig om bij het meten van muzieklijnenparen t.b.v. stereo-uitzendingen na te gaan of de beide circuits ruwweg gezegd dezelfde fase-



**Fig. 8.** Permanent net der Europese omroepunie.

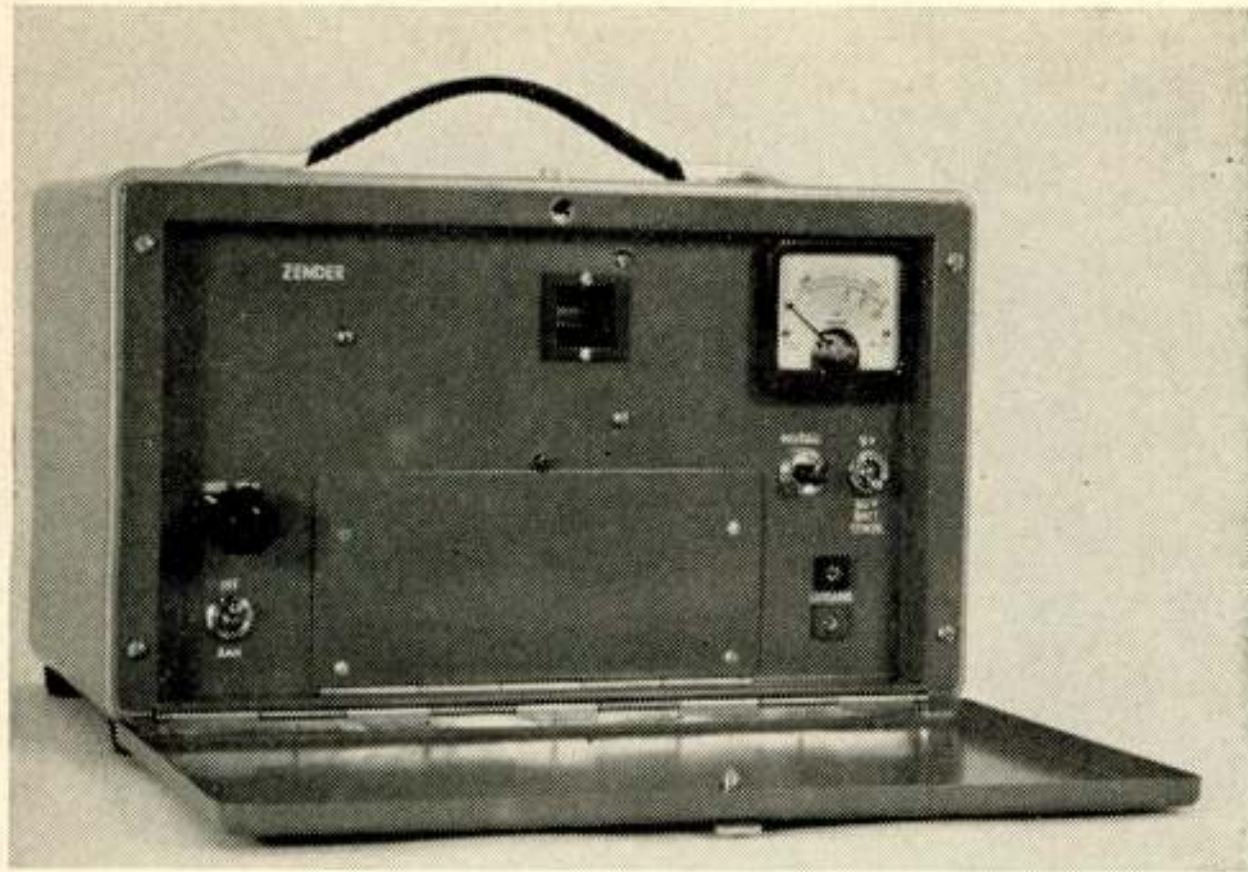


Fig. 9. Zender voor audiotestsignaal.



Fig. 10. Ontvanger voor audiotestsignaal.

verschuiving hebben, dan wel of ze gekruist zijn, d.w.z. ca.  $180^\circ$  fase verschil hebben.

## 7. Enkele kenmerkende grootheden van het audiotestsignaal

### 7.1 Samenstelling van het testsignaal

De testtonen (fig. 11) worden gezonden met normaal nul-niveau. De toon van 1000 Hz is echter verlengd met een gedeelte dat 9 dB luider is en dient voor het meten van de niet-lineaire vervorming bij maximaal niveau. Aan het eind van de cyclus wordt een signaal gezonden, bestaande uit een dubbelfasig gelijkgerichte sinusvormige toon van 500 Hz. Dit signaal maakt het op gemakkelijke wijze mogelijk de polariteit te bepalen in het geval twee lijnverbindingen (voor een stereo-uitzending) gelijktijdig worden gevoed door de-

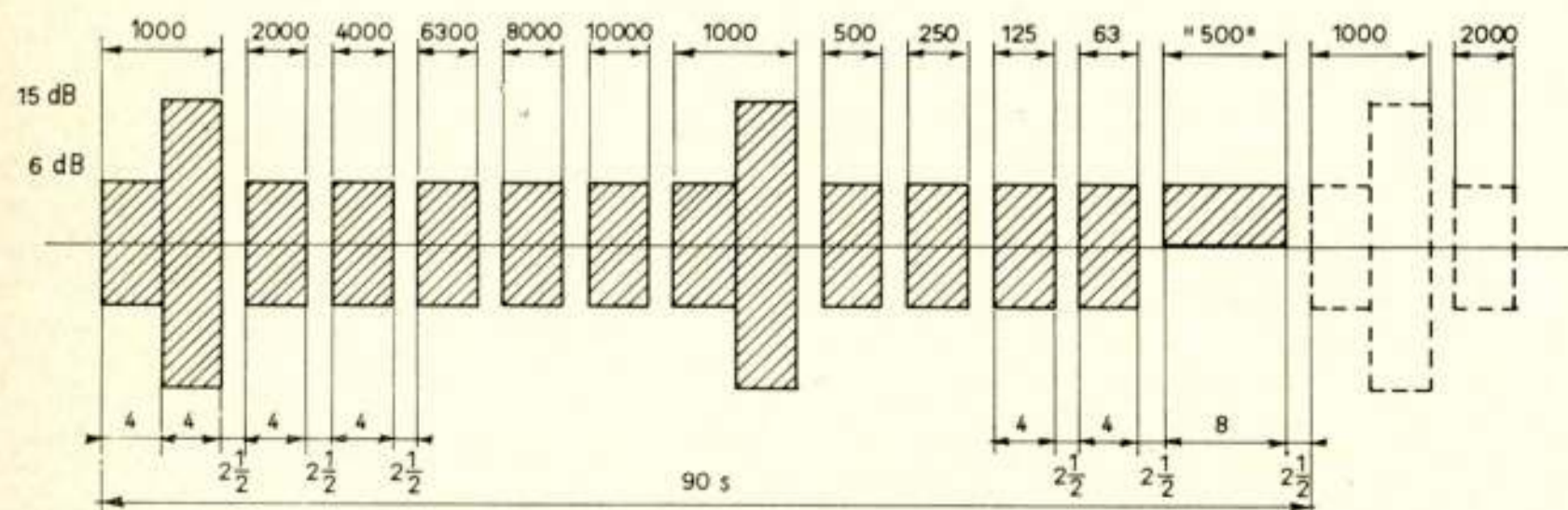
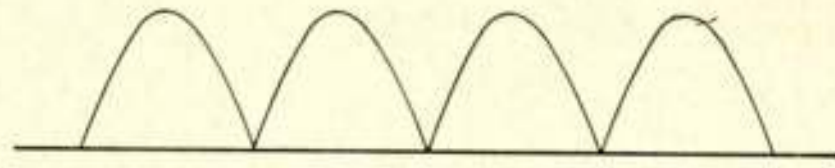
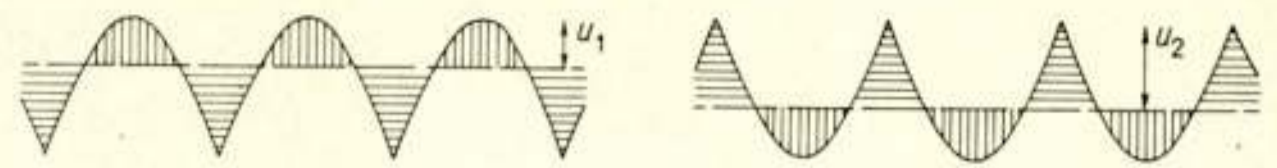


Fig. 11. Volgorde der meettonen in het audiotestsignaal.



(a)



(b)

Fig. 12. Dubbelfasig gelijkgerichte toon van 500 Hz.

zelfde testgenerator. Het gezonden signaal (fig. 12a) levert na gelijkrichting een spanning, die groot of klein is, afhankelijk van de fase, waarin het signaal werd toegevoerd.

In het ene geval is de gelijkgerichte spanning  $U_1$  (fig. 12b), in het andere geval  $U_2$ . De totale cyclus, als in de figuur aangegeven, bevat een aantal frequenties uit de zgn.  $n = 3$  reeks, duurt 90 seconden, waarna telkens het patroon wordt herhaald.

### 7.2 Enkele gegevens van de generator:

uitgangsniveau	: 0 dB (+9 dB)
niveautolerantie	: $\pm 0,2$ dB
inwendige weerstand	: $< 6 \Omega$
frequentiestabiliteit	: $5 \cdot 10^{-3}$
niet-lineaire vervorming: bij 63 Hz	$k < 0,003$
andere frequenties	$k < 0,002$

Een uitvoering in draagbare vorm vergemakkelijkt het meten van incidenteel geschakelde muziekverbindingen tussen de plaats van een reportage (waar soms onder zeer beperkende omstandigheden moet worden gewerkt) en het Audioschakelcentrum.

## 8. Een blik in de toekomst

### 8.1 Stereo-overdracht

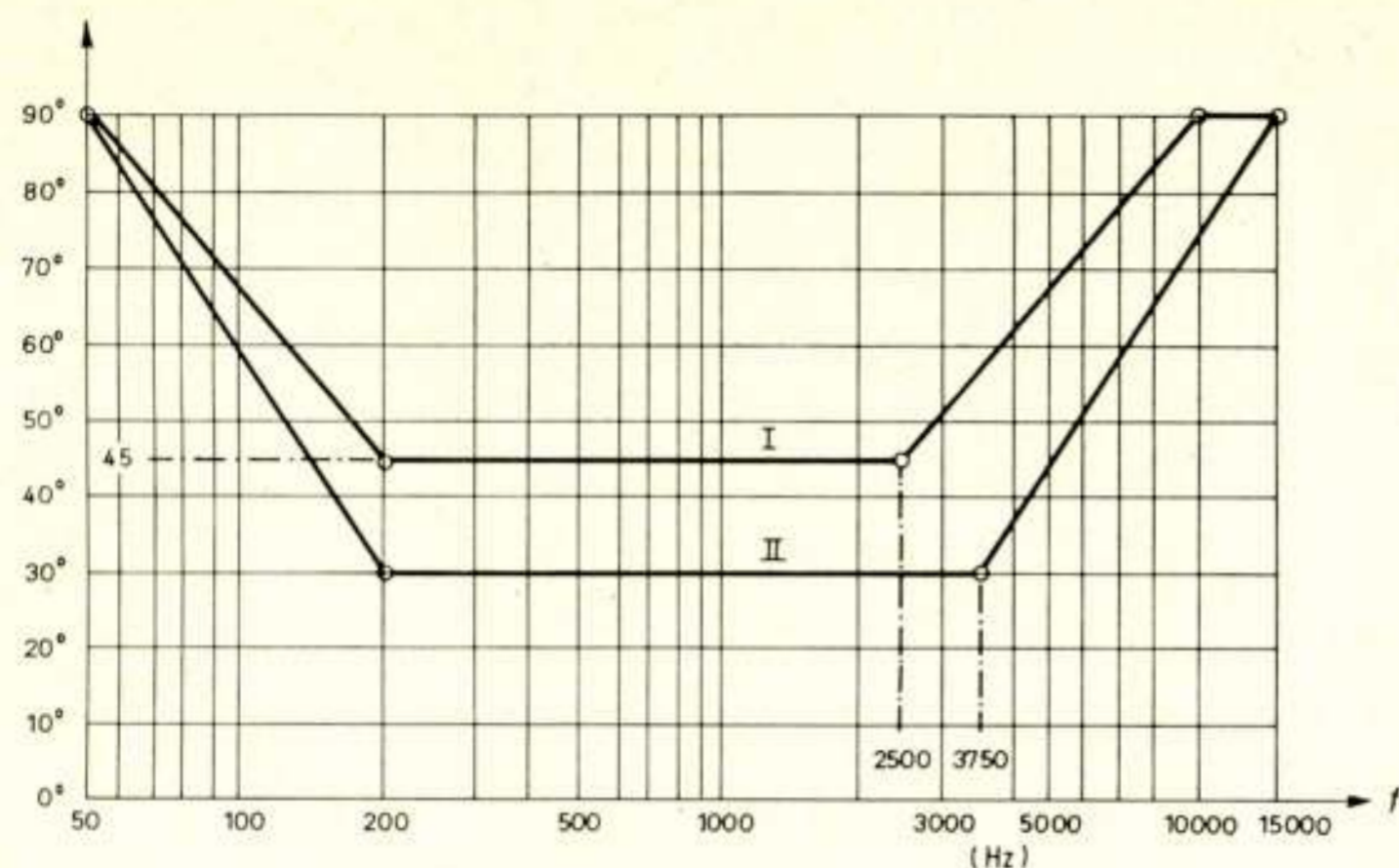
Het laat zich aanzien, dat het transport van stereoprogramma's sterk zal toenemen. Dit transport zal echter merendeels in de vorm van A en B kanalen plaats moeten vinden, zeker voor zover het incidenteel geschakelde verbindingen betreft, in het algemeen dus in het contributienet (fig. 13).

Daarnaast zullen ook muziekkkanalen nodig zijn, die het multiplex-stereo-signaal in zijn geheel kunnen overbrengen (fig. 14). Hoewel hier de kanalen gevormd op straalverbindingen in het voordeel lijken, zal de kabeltechniek echter deze mogelijkheid ook kunnen bieden.

### 8.2 Brede frequentieband

Hoewel enkele muzieklijnen in het distributienet reeds tot 15 kHz doorlopen, is het merendeel van het Europese muzieknnet ingericht overeenkomstig de CCITT-aanbevelingen voor





**Fig. 13.** Faseverschil als functie van de frequentie;  
I: toelaatbare grens;  
II: grens der waarneembaarheid.

circuits volgens type A, voor transport van de band 50-10000 Hz. Dit in tegenstelling tot het Noord-Amerikaanse net, dat vrijwel overal zgn. type B-circuits heeft (50-6400 Hz). In de transatlantische zeekabels kan op verzoek door samenvoeging van 2, resp. 3 telefoonkanalen van 4 kHz een muziekkanaal volgens type B, resp. type A worden geschakeld.

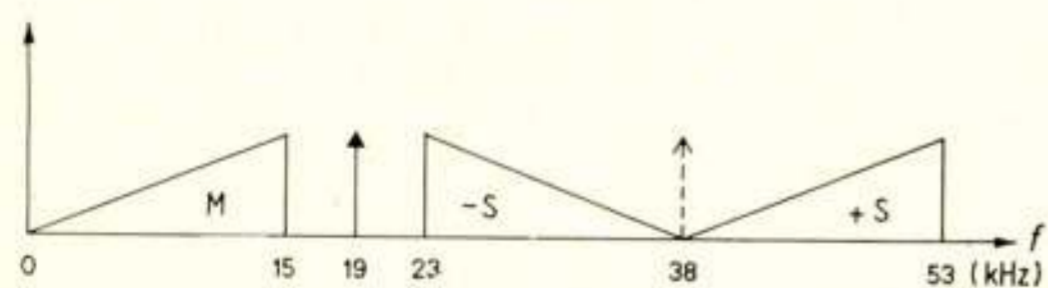
Onder invloed van de steeds grotere graad van volmaaktheid der geluidsregistratie- en weergave-apparatuur en de wijde toepassing van FM-zenders komt opnieuw de vraag op of het zinvol is een muziekkanaal van 30-15000 Hz te normaliseren. Deze vraag heeft het CCIF (voorganger van het huidige CCITT) reeds gesteld, om de levensvatbaarheid van zgn. 'circuits radiophoniques de haute qualité' na te gaan. Deze enquête werd gehouden in 1955 en leverde een interessant resultaat op.

a. Geen behoefte aan een type 'haute qualité' hadden de volgende landen: Duitsland, Finland, Griekenland, Groot-Brittannië, Marokko, Zwitserland, Monaco, Turkije, Zweden en Ierland.

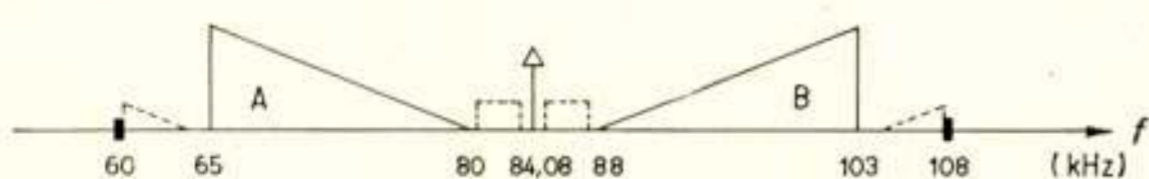
b. Mogelijke interesse, mits het tarief aantrekkelijk was, toonden België, Italië, Nederland en Noorwegen.

c. Behoeftte werd slechts in bepaalde gevallen gevoeld door Vaticaanstad, Oostenrijk, Frankrijk, Egypte, Portugal en Joegoslavië.

Het is interessant om op te merken, dat de grote meerderheid van de landen, waar de FM-omroep op metergolven reeds tot een zekere ontplooiing was gekomen, alle in de categorieën a. en b. vallen. Enkele ondervraagde landen merkten nog op, dat ze een kwaliteit volgens type A (10 kHz) voldoende achtten, mits de circuits dan ook als zodanig aan de gestelde eisen voldeden.



**Fig. 14.** Multiplex stereosignaal;  
M: monofone component; S: stereo component.



**Fig. 15.** Ligging van twee muziekkkanalen in een primaire basisgroep der draagtelefonie.

Een nieuwe enquête is niet gehouden, maar toch kan verwacht worden, dat men meer en meer zal vragen om circuits van 15 kHz, al is het dan niet zozeer omdat elke luisteraar meent boven 10 kHz nog perfect te horen, alswel vanwege het feit, dat dan in het nog wel door hem waargenomen deel van de frequentieband tenminste de fasekarakteristiek een lineair verloop zal hebben. Intussen hebben de betrokken studiecommissies van CCITT en CCIR dit punt weer in studie.

### 8.3 Kanalenparen met gelijke overdrachtseigenschappen

Zowel voor het vormen van paren muziekkkanalen voor de overdracht van A en B-stereosignalen, alsook om op eenvoudige wijze 15 kHz brede kanalen te kunnen realiseren, komen er thans stelsels tot ontwikkeling, waarbij men twee muziekkkanalen in het middengedeelte van een primaire basisgroep onderbrengt (fig. 15). Deze primaire groep, een bekend element in de draaggolftelefonie, beslaat een band van 48 kHz (in basisligging een frequentiegebied van 60-108 kHz met een loods op 84,08 kHz). Daar de beide kanalen symmetrisch t.o.v. de middelste frequentie liggen en in het binnenste deel der groep zijn ondergebracht, is men er zeker van dat de fasekarakteristiek aldaar voldoende recht is om de kanalen ook als A en B-kanalen voor stereo-overdracht te gebruiken.

In het overblijvende deel van het frequentiegebied kunnen nog 2 of 4 diensttelefoonkanalen worden gevormd en er is ook voldoende plaats voor stuursignalen, behorende bij compressie- en expansieschakelingen.

### 8.4 Gebruik van compandors

De huidige stand der elektronische techniek laat toe om compressie- en expansieschakelingen te verwezenlijken met geheel nieuwe eigenschappen. Het is niet langer nodig om de expansiekarakteristiek van de apparaten aan het ontvangende der muziekleiding zuiver reciprook te maken aan die der compressieschakeling van de zenzijde.

Men kan de mate van compressie noteren en op speciale hulpfrequenties meesturen, zodat aan het ontvangende uiteinde reeds ondubbelzinnig vastligt volgens welk patroon de expansie van moment tot moment moet geschieden. Deze stelsels zullen binnenkort een waardevol hulpmiddel blijken in de steeds moeilijke strijd tegen de ruis. Verbeteringen in de orde van 10 dB in de signaal-ruisverhouding zijn reeds goed en praktisch vervormingsvrij te realiseren.

### 8.5 Digitaal muziektransport

In de voortdurende strijd tegen de ruis is een geheel nieuw wapen in ontwikkeling. Het zo conform mogelijk overbrengen

van amplitude en fase van wisselspanningen heeft in de zgn. analoge techniek weliswaar een aanvaardbare graad van volmaaktheid bereikt, doch de digitale transmissiewijze biedt een aantal voordelen, met name voor het transportkanaal, dat in dit geval aan beduidend mindere eisen voor ruis- en overspraak hoeft te voldoen. Voor telefonie is het beginsel der puls-code-modulatie reeds ver gevorderd op de weg der praktische realisering, voor muziek houdt zij evenzovele beloften in, doch ontwikkelingen op dit gebied zijn nog weinig voortgeschreden. De toenemende mate waarin men monoliet-technologie kan toepassen opent ook voor dit terrein der muziektransmissie ongekende verten.

## II. Meervoudige geluidsoverdracht via straalverbindingen

door prof. dr. ir. J. J. Geluk, Hoofd Laboratorium N.R.U. - N.T.S. — Hilversum

**Summary:** *Multiple sound transmission via radio-relay links.* A description is given of a system which provides for the simultaneous distribution of three monophonic sound programmes and three 'biphonic' multiplex sound signals by means of modern television radio-relay links. All sound signals are transmitted in the video frequency band by using FM modulation on six sub-carriers. The choice of the system-parameters is discussed with a view to signal/noise ratio, cross-talk and separation between the different 'phonic' channels.

### 1. Inleiding

Men behoeft geen profeet te zijn om te voorspellen dat transmissie van geluid, een steeds grotere omvang zal aannemen. Deze omvang zal niet alleen betrekking hebben op de frequentie der transmissies doch evenzeer op de veelvoudigheid van de programma's en de afstanden waarover die overdracht plaatsvindt.

Zo oud als de radio-omroep is, zolang vinden programma-uitwisselingen plaats en steeds verder reiken de mogelijkheden. De toekomst van televisie heeft een en ander alleen maar versneld, hoewel de aandacht enige tijd voornamelijk aan de video-overdracht werd geschonken. Thans staan hiertoe straalverbindingen ter beschikking die niet alleen een frequentiegebied van 30 Hz-8,5 MHz voor beeldtransmissie moeiteloos kunnen vervoeren doch evenzeer 960 telefoongesprekken door onderverdeling van de modulatieband.

Hoe meer het béeld in internationaal verband verbreid wordt, des te duidelijker blijkt dat Esperanto zijn goede kans gemist heeft! Van heinde en ver komen op het laatste moment de kluwen sprekers voor het commentaar en evenzovele 'spreekbuizen' naar het land van afkomst worden aanwezig verondersteld. Nog onlangs moest de B.B.C. voor de 'wereldkampioenschappen voetbal' een geluidsknoop van 80 commentaren ontwarren en de ontwarde signalen over gemiddeld 2000 km overdragen in welhaast alle windstreken.

Wanneer we ons beperken tot de geluidsoverdracht van goede kwaliteit dan bedient de omroep zich in binnen- en buitenland steeds van PTT-verbindingen. Geen bijzondere

### 9. Slot

Een blik in de toekomst is altijd interessant. Men kan er wat in wegdromen en zijn fantasie de vrije loop laten. Men kan echter ook, zoals ik in de aanhef van dit artikel reeds opmerkte, uit het heden de toekomst trachten te extrapoleren. Welnu, ik hoop dat de wat uitvoeriger beschrijving van het heden, enige gegevens aan de lezer ter hand stelt om hem zijn eigen weg in de toekomst te laten bepalen.

aanleiding zou er bestaan hebben deze verbindingen aan een kritisch oog en vooral oor, onderworpen te hebben indien de internationale normen van deze verbindingen steeds zouden zijn aangehouden.

Zo zou een verbinding van 2500 km een bandbreedte van 40-10 000 Hz moeten garanderen (-3 dB punten: 100 Hz en 8 kHz); verder werd een normale vervorming van 1% bij volle uitsturing toelaatbaar geacht en groeplooptijdverschillen van maximaal 80 ms voor 50 Hz, 20 ms bij 100 Hz en 8 ms bij 10 kHz, vergeleken met de minimale groeplooptijd, mogen optreden. Signaal/ruis verhoudingen van 57 dB, subjectief beoordeeld, behoorden eveneens tot de verlanglijst van de omroep en hieraan zou de verbinding van 2500 km moeten voldoen.

Naast het Eurovisienet voor uitsluitend beeldoverdracht, heeft men dan ook de PTT-netten gekozen voor de bijbehorende geluidsoverdracht, in de overtuiging hiermede een grotere betrouwbaarheid te bereiken voor tenminste de auditieve informatie. Dit laatste bleek echter ijdele hoop en ondanks de aanmerkelijk gecompliceerder video- en straalverbindingstechniek bewees de ether zich zekerder! Vaak was het de menselijke fout op tussenstations die de 'kabel'verbinding parten speelde en een permanente opbouw van een Eurosoundnetwork werd ter hand genomen.

Werd het enthousiasme snel getemperd door de hoogfrequente geldverliezen, nog dubieuzer werd de permanentie toen gepoogd werd op papier aanwezige muziekkwaliteit te benutten voor concerten om althans op die wijze een groter effect te kunnen sorteren.

In E.B.U. verband werd onlangs een uitgebreide proef genomen met het permanent netwerk. Zo werd een Beethoven-symphonie vanuit Milaan naar diverse punten in het Eurovisiegebied doorgegeven en men behoeft slechts te luisteren naar het resultaat in Hilversum om van overtuigende metingen af te zien!. Ook een recente televisie-uitzending in het kader van de V.N. toont overeenkomstige feilen, waarbij de verbinding met New York naar verhouding niet het slechtst kan worden genoemd; Genève spant wat dit betreft de kroon.

Nationaal liggen deze zaken gelukkig geheel anders en ik acht me verschoond dit hier met voorbeelden te adstrueren. Is de kwaliteit in Nederland derhalve geen reden

tot kritische heroriëntering, andere factoren spelen hier een belangrijke rol.

Het derde F.M.-net, kortelings toegevoegd aan de twee bestaande netten van F.M.-zenders, het tweede televisienet en straks het derde, vragen alle om uitbreiding van het distributienet voor audiofrequente signalen. De stereofonie, maar algemener gesteld de multiplexsignalen vragen om een distributienet van bijzondere aard opdat met voordeel van het multiplex-karakter van deze signalen zo vroeg mogelijk in de verbindingsketen, gebruik kan worden gemaakt.

Men vermijdt daardoor multiplex coders in alle, veelal onbemande, radiotorens terwijl ook de omschakeling van deze apparatuur en de terugmelding hiervan vervalst. Daar ook in vele landen de wens bestaat bij televisiebeelden twee geluidskanalen ter beschikking te hebben voor het uitzenden van de originele tekst en de vertaling ervan, is het niet denkbeeldig dat ook hiervoor gecodeerde audio-signalencombinaties gevraagd zullen worden. Men zal er verstandig aan doen voorshands de bandbreedte van deze signalen niet te smal te nemen (*bifone* kanalen en *monofone* kanalen).

Eveneens nationaal, doch ook in geringere mate internationaal, bestaat de wens het *contributie*-net geschikt te maken voor stereofone geluidssignalen; hier is de gecodeerde vorm *niet* aangewezen, aangezien het eindpunt van de verbinding een hoofdregelkamer is, waar allerlei regiehandelingen moeten worden uitgevoerd en de multiplexvorm derhalve ongeschikt is. De eisen welke dan met name aan de stereofonisch samenwerkende audioverbindingen gesteld worden kunnen *niet* met het huidig kabelnet over meer dan 20 km worden verwezenlijkt om maar geheel te zwijgen over internationale afstanden.

Om zowel voor contributie als distributie de meest gepaste signaalvorm te kunnen realiseren en over te dragen, zullen zowel normale 15 kHz brede kanalen alsook bifone (multiplex audio) kanalen van minstens 38 kHz, doch liefst 53 kHz aangehouden moeten worden. Wat betreft het aantal van ieder van deze soorten kan men van drie standpunten uitgaan; 1. men kan nationaal het aantal *programma's* waarbij geluid, betrokken is als basis nemen; 2. men kan het aantal *zenders* waaraan op enigerlei wijze geluidssignalen moeten worden toegevoerd beschouwen, of 3. men kan uitgaan van bestaande breedbandtransmissiesystemen als bouwelement.

Het spreekt vanzelf dat het 3e uitgangspunt het meest praktisch is, aangezien de twee andere uitgangspunten van land tot land verschillen. We zullen dan ook het breedbandsysteem zodanig proberen op te delen dat althans voor Nederland ook zo goed mogelijk aan de andere uitgangspunten wordt gedacht.

Het breedbandsysteem dat gekozen werd als basis van de ontwikkeling is de *video straalverbinding*, niet zozeer omdat hierin een optimale totale bandbreedte voorhanden is doch meer omdat deze verbindingen als gangbaar en betrouwbaar de professionele gebruiker reeds lange jaren ten dienste staan en de flexibiliteit door normalisatie bijzonder zullen verhogen.

Wellicht komt nu bij enigen uwer reeds de vraag op of hier geen te kostbaar 'renpaard' is gekozen om voor de geluids'kar' gespannen te worden. Op dit moment wil ik echter alleen ingaan op de techniek van het systeem en de discussie gaarne aanbevelen aan de financieel geïnteresseerden; zij zullen wel reeds een antwoord moeten hebben

op de vraag hoeveel maal de waarde van een beeld gemiddeld uitstijgt boven die van geluid!

## 2. De eigenschappen van een video-straalverbinding

Als referentie voor een dergelijke verbinding wordt een lengte van 2500 km genomen waarin driemaal (over 840 km) het video-signaal door modulatie wordt teruggevormd; op alle verdere tussenpunten (hops) wordt slechts transpositie toegepast via een middenfrequentie van 70 MHz. Een 'beeld'signaal van 1 V (p.p.), waarvan 0,7 V beeldinhoud en 0,3 V synchronisatie, bewerkt een deviatie van 8 MHz (p.p.); een pré-emphasis, variërend tussen -11 en +3 dB wordt aan het video-signaal extra toegevoegd.

De amplituderesponsie heeft toleranties van  $\pm 1$  dB tot 1 MHz, toenemend tot  $\pm 2$  dB bij 5 MHz; voor de groeplooptijd geldt een tolerantie van  $\pm 100$  ns tot  $\pm 300$  ns.

De gelijkstroomcomponent wordt in het algemeen niet rechtstreeks overgedragen zodat de draaggolffrequentie overeenkomt met het gemiddelde beeld- en synchronisatiesignaal; klemschakelingen e.d. kunnen dus alleen invloed hebben op de signaalsymmetrie indien voorafgaande of volgende videoversterkers hiermee zijn uitgerust.

Naast enkele, voor onze beschouwing minder belangrijke toleranties, zoals stijgtijden van pulsen, is de signaal/stoorverhouding interessant. Voor de signaal/ruis verhouding, gemeten volgens een bepaalde waarderingskromme van 10 kHz -5 MHz, is de grens  $\geq 56$  dB voor 80% van de tijd of  $\geq 44$  dB voor 99,9% van de tijd.

Netspanningsbrom en interferenties in de buurt van 5 MHz behoeven slechts tot -30 dB onderdrukt te worden terwijl in het gebied van 1 kHz en 1 MHz de eis veel zwaarder is (-50 dB).

## 3. Modulatiekeuze

In principe zou men in de basisband (van 30 Hz-8,5 MHz) reeds direct een monofoon- of bifoon signaal kunnen onderbrengen zonder vóór-modulatie. Het blijkt dat voor professioneel gebruik netbromstoringen te hoog zijn om dit te realiseren, zodat hier alleen dienstgesprekken hun plaats kunnen vinden.

Vóórmodulatie op hulpdraaggolven lijkt hier aangewezen, omdat reeds meerdere hulpdraaggolven voor een enkel geluidssignaal en een pilootsignaal als standaard-systeem in gebruik zijn (7,5 MHz en 8,5 MHz). De basisband, welke evenals de gemoduleerde hulpdraaggolven als F.M.-modulatie wordt toegevoerd aan de hoofd-draaggolf, bezit een vrij grote overdrachtstolerantie welke voor de beeldappreciatie niet storend is, doch wel de keuze van de vóórmodulatie bepaalt. A.M.-systemen zullen bijv. aanleiding geven tot sterk overspreken; 1 dB 'differentiële gain' kan een -20 dB overspraakniveau betekenen!

Pulsmodulatie-systemen hebben een soortgelijke gevaar, vooral indien men rekening houdt met incidentele oversturing. Bovendien is het oor uiterst gevoelig voor kleine onregelmatigheden in de continuïteit van het geluidssignaal zodat pulsmodulatie voor professionele transmissie grote gevaren met zich brengt.

Vóórmodulatie is daarom als F.M. gekozen, waarbij de deviatie zo gekozen werd dat een goede signaal/ruis ver-

Tabel 1.

	Monofone kanalen (kHz)			Bifone kanalen (kHz)			Monofoon kanaal buiten video-band (kHz)
Hulpdraaggolf-frequentie $F_h$	50	120	220	660	1700	3900	7500
Deviatie $\Delta F_h$	$\pm 2$	$\pm 4,8$	$\pm 8,8$	$\pm 50$	$\pm 130$	$\pm 300$	$\pm 200$
Audiofrequentiegebied $p_{max}$	15	15	15	53	53	53	15
Banddoorlaatgebied $B_h$	40	50	80	500	1000	1500	500
	zie fig. 1			zie fig. 2			

houding wordt verkregen, een geringe distorsie optreedt, een zeer hoge oversprekdemping wordt bereikt, ook bij oversturingen, en waarbij de 'differentiële fase' geen enkele rol van betekenis speelt.

Omdat de relatieve deviatie  $\Delta F_h/F_h$  in eerste instantie de signaal/ruis verhouding bepaalt, zal de grootte  $\Delta F_h$  evenredig met  $F_h$  gekozen moeten worden.

De modulatie-index  $\Delta F_h/p$  hangt dan verder af van de waarde welke  $p$  kan hebben; voor mono- derhalve 15 kHz, voor multiplexsignalen 53 kHz. Ten einde distorsie te vermijden ( $k_3 < 1$ ) komt men vervolgens tot een minimale bandbreedte waarin voldoende zijbanden worden doorgelaten. Worden extra eisen gesteld aan bijv. de fase-lineariteit dan zal het bandfilterontwerp bepalend zijn voor de bandbreedte.

#### 4. Video-bandverdeling

Kortheidshalve zullen we de ingevoerde verdeling eerst aangeven en daarop vervolgens de gestelde criteria toetsen. Uit Tabel 1 blijkt dat de drie onderste kanalen dus 4% relatieve deviatie hebben, de bovenste drie in het video-gebied ongeveer 8%. Omdat de 'laagfrequent'band

een factor  $\frac{53}{15} = 3,5$  verschilt en verder de deviatie door de gemoduleerde hulpdraaggolf van de hoofddraaggolf nog vrij te kiezen is, kan men hiermee nog een gelijkmatige signaal/ruis verhouding nastreven. De modulatie-indices variëren van 0,14 - 0,34 - 0,62 in de mono-kanalen en de, i.v.m. distorsie, noodzakelijke bandbreedten<sup>1)</sup> worden: 30 kHz - 60 kHz - 75 kHz hetgeen ongeveer in overeenstemming is met de tabel. Voor de multiplex-kanalen zijn de indices: 0,95 - 2,5 - 6, vereisende een minimum bandbreedte van resp. 300 - 450 - 750 kHz. Om bovendien de nauwe looptijddifferentie van 100 ns voor stereofonische toepassingen tussen het zgn. M-sigitaal en S-sigitaal aan te houden blijkt een tweevoudige bandbreedte noodzakelijk om nog met redelijke filters uit te komen.

Wanneer men verder de eis voor overspraakdemping op 70 dB stelt, blijkt bovendien dat hiermede de gehele video-band, althans boven 30 kHz, bezet is met 3 mono- en 3

<sup>1)</sup> zie Küpfmüller: Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung - Stuttgart.

bifone-kanalen. De eerste drie kanalen zijn welhaast 'klassiek' te noemen en niet bijzonder interessant voor een technische beschrijving en zullen hier verder op de achtergrond blijven. Het is overigens wel noodzakelijk onderling de looptijden te egaliseren ten einde te voldoen aan de compatibiliteit indien twee signalen A en B als stereocombinatie worden overgedragen; de tolerantie is hier echter veel groter ( $\pm 3 \mu s$ ).

#### 5. Berekening signaal/ruis verhoudingen

De 1e detectie van de straalverbindingsoontvanger levert een nuttig signaalvermogen, evenredig met  $(\Delta F)^2$ ;  $\Delta F =$  deviatie van hoofddraaggolf ( $F$ ), door hulpdraaggolf ( $F_h$ ).

Warmteruis, afkomstig van een frequentie  $F + f$  of  $F - f$  ten opzichte van een vermogen  $P_0 = 1 \text{ mW}$  is:

$$U_R = f \sqrt{\frac{kTdf}{P_0}} \text{ of } P_R = f^2 \frac{kTdf}{P_0}$$

Voor beide ruis-zijbanden derhalve

$$P_R(f) = 2 f^2 \frac{kTdf}{P_0}$$

en geïntegreerd over de band van het navolgende filter  $B_h$ :

$$P_R = \int_{F_h - \frac{1}{2} B_h}^{F_h + \frac{1}{2} B_h} 2 f^2 \frac{kTdf}{P_0} = 2 kTB_h \frac{F_h^2 + \frac{1}{4} B_h^2}{P_0}$$

Vóór de tweede F.M. detector heerst dus een signaal/ruis verhouding:

$$S/R = \frac{P_0}{2 kTB_h} \cdot \frac{\Delta F^2}{F_h^2 + \frac{1}{4} B_h^2}$$

of bij benadering:

$$S/R \approx \frac{P_0}{2 kTB_h} \cdot \left( \frac{\Delta F}{F_h} \right)^2$$

De 2e detectie levert een ruis spanning evenredig met  $p$  en

$$\sqrt{\frac{2 f^2 kTdf/P_0}{\Delta F^2}}$$

waarvoor  $f = F_h + p$ .

Een gelijke, ongecorrleerde ruisspanning ontstaat voor  $-p$ , zodat een ruisvermogen t.o.v.  $P_0$  ontstaat:

$$P_r(p) = [(F_h + p)^2 + (F_h - p)^2] p^2 \frac{2kTdp}{\Delta F^2 P_0}$$

Geïntegreerd over de 'laagfrequente' band  $b$  ontstaat:

$$P_R = \frac{4kT}{\Delta F^2 P_0} \left[ \frac{1}{3} F_h^2 b^3 + \frac{1}{5} b^5 \right]$$

zodat de  $S/R$  verhouding na de 2e detectie en bandbegrenzing wordt:

$$S/R = \frac{P_0}{4kTb} \left( \frac{\Delta F}{b} \right)^2 \frac{(\Delta F_h)^2}{\frac{1}{3} F_h^2 + \frac{1}{5} b^2} \approx \frac{3P_0}{4kTb} \left( \frac{\Delta F}{b} \right)^2 \cdot \left( \frac{\Delta F_h}{F_h} \right)^2$$

Om deze  $S/R$  verhouding constant te houden moet derhalve

$$\frac{\Delta F^2 \cdot \Delta F_h^2}{b^3 F_h^2}$$

constant zijn; voor de mono-kanalen onderling, zowel als voor de multiplex-kanalen moet dus

$$\Delta F \left( \frac{\Delta F_h}{F_h} \right)$$

constant zijn;  $(\Delta F)$  werd zodoende 0,33 MHz voor alle mono-kanalen en 1 MHz voor de drie multiplex kanalen genomen. Omdat de bandbreedte een factor  $\frac{53}{15} = 3,5$  verschilt kan de relatieve deviatie  $\Delta F_h/F_h$  ook nog een factor 2 worden gereduceerd voor de mono-kanalen (4% en 8%).

In totaal voor de zes kanalen resulteert dus een piekdeviatie van 4 MHz, overeenkomend met een piek tot piek-

deviatie van 8 MHz. De signaal/ruisverhoudingen in dB t.o.v. 1 mW worden zodoende:

voor de mono-kanalen: +123 dB  
voor de bifone-kanalen: +124 dB

Het blijkt verder dat over een traject van 40 km, afhankelijk van de straalverbindingapparatuur, 18 dB tot 25 dB hoger niveau ontvangen wordt en dus de systeemwaarde wordt verhoogd. Natuurlijk moet ook nog rekening gehouden worden met de verschillende vormen van fading en velddemping.

Er resulteert dan altijd nog een  $S/R$  verhouding van 80 tot 88 dB. (Vergelijkt men hiermede de  $S/R$  verhouding van het huidige geluidskanaal dan komt men onder gelijke omstandigheden op 86 tot 93 dB). Zonder meer is het dus mogelijk vele trajecten achter elkaar te schakelen; een wel uitzonderlijk lang traject is een satellietverbinding waarover men eveneens een multiplex-stereo signaal kan overdragen volgens het geschetste systeem. Ook hiermee zijn al proeven gedaan met zeer gunstige resultaten.

## 6. De elektronische schakelingen

De zes hulpdraaggolven uit de vóór-modulatoren dienen amplituden te worden gegeven waarbij rekening is gehouden met de pré-emphasis; aldus komt men tot de volgendeingangsspanningen indien per volt 8 MHz deviatie resulteert:

$F_h$	50 kHz	120 kHz	220 kHz	660 kHz	1700 kHz	3900 kHz
$U_{eff}$	100 mV	100 mV	85 mV	140 mV	90 mV	70 mV

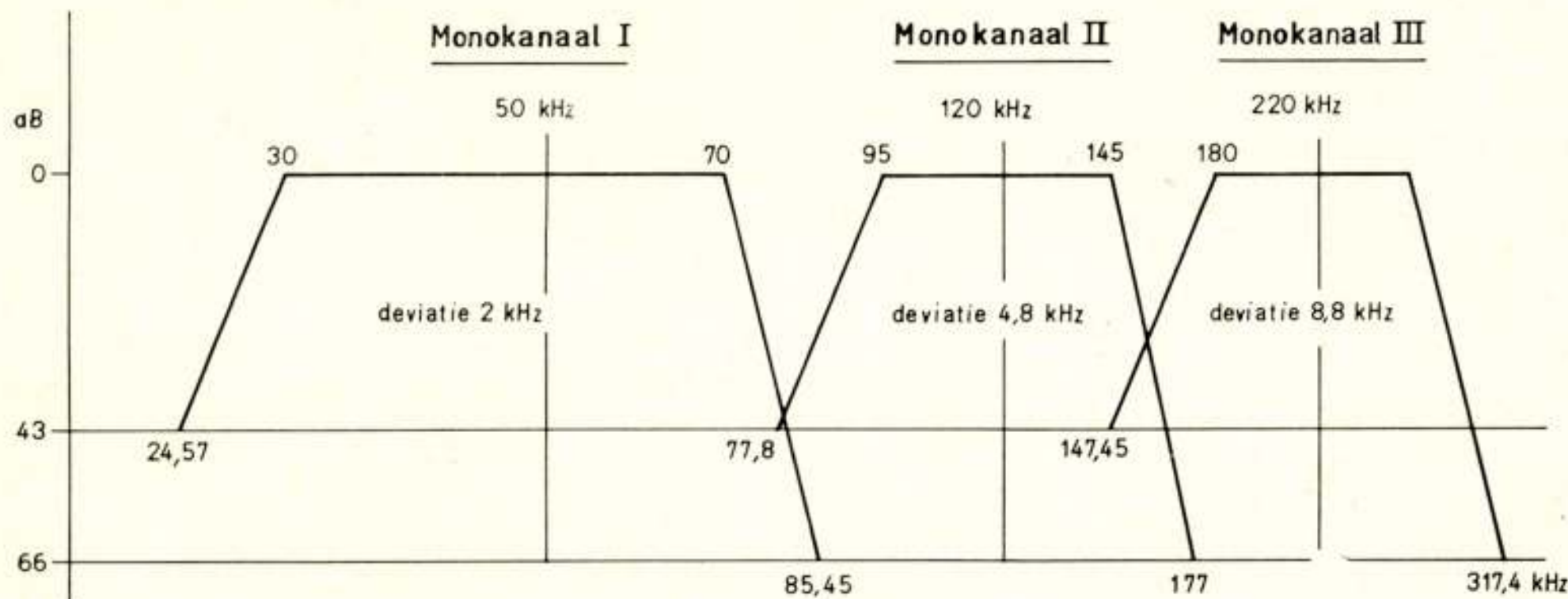


Fig. 1. Frequentieverdeling van drie monofone kanalen in het lagere video-frequente gebied.

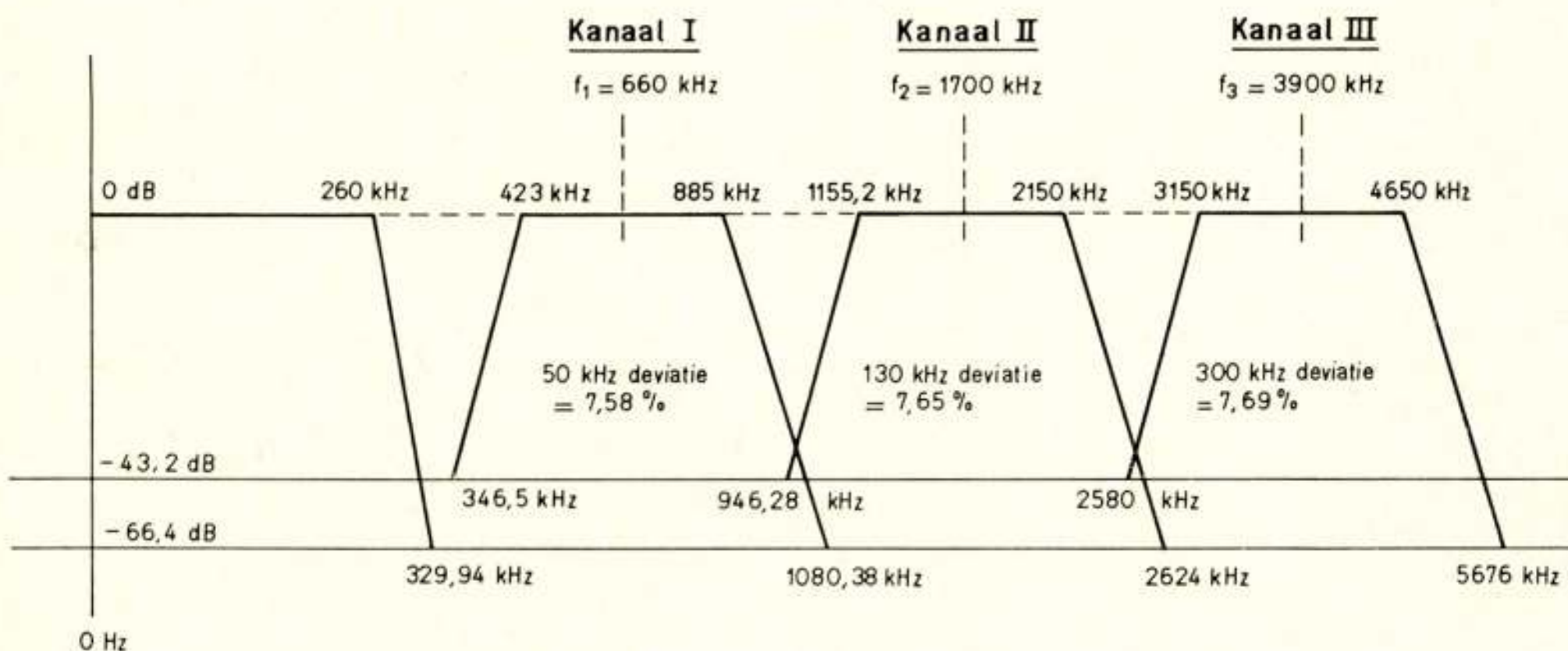


Fig. 2. Frequentieverdeling van het video-frequente gebied; het hogere gebied bevat drie 'bifone' kanalen.

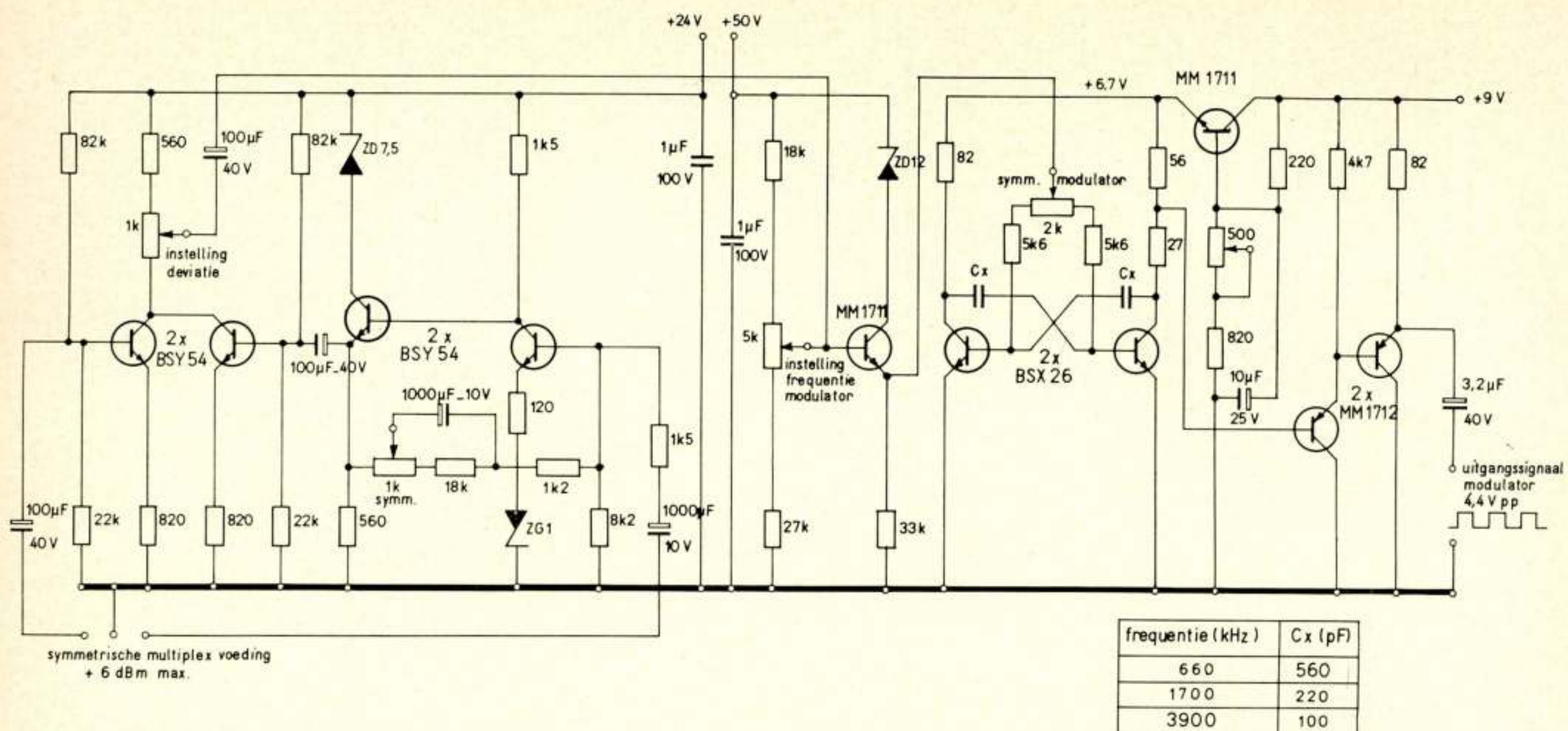


Fig. 3. Modulator schakeling voor een bifoon signaal op een hulpdraaggolf in het hogere video frequente gebied.

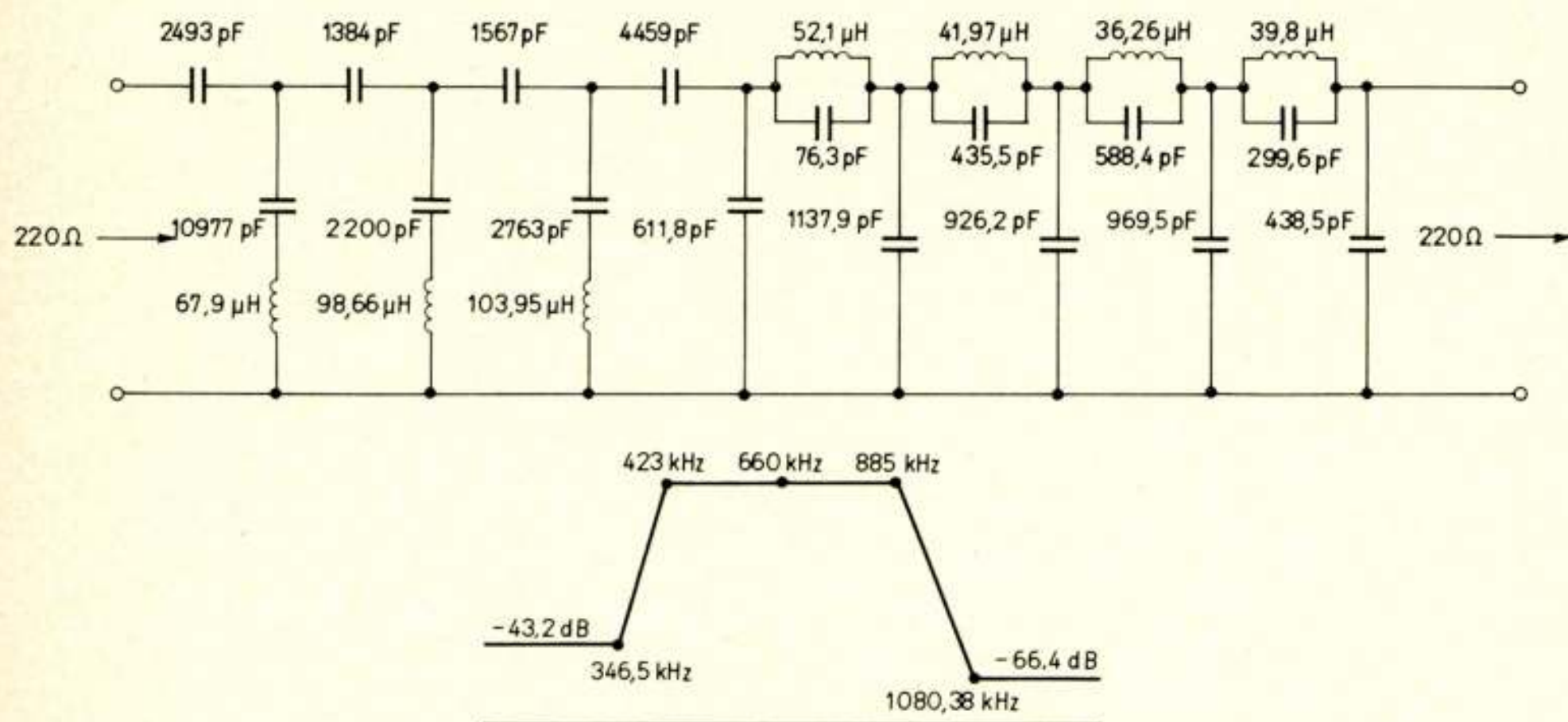


Fig. 4. Banddoorlaat filter voor een gemoduleerd bifoon kanaal; de groeplooptijd is bijzonder constant in het doorlaatgebied met het oog op gecodeerde stereofonische signalen.

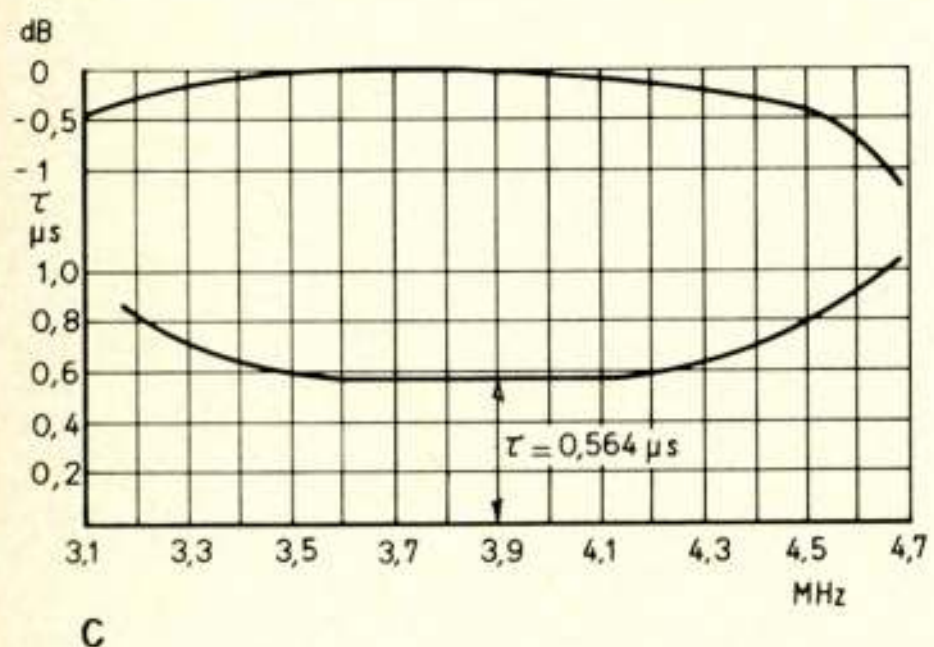
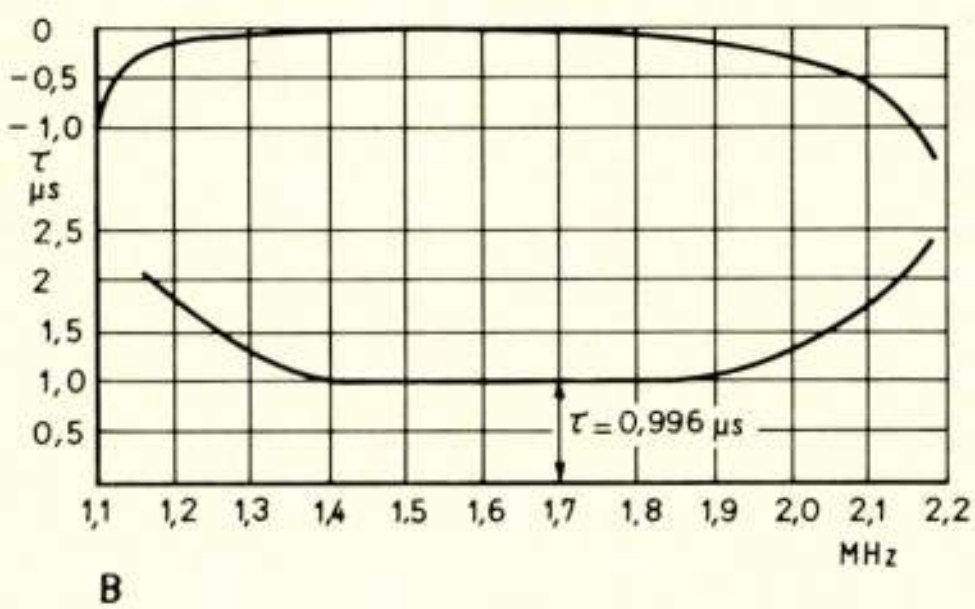
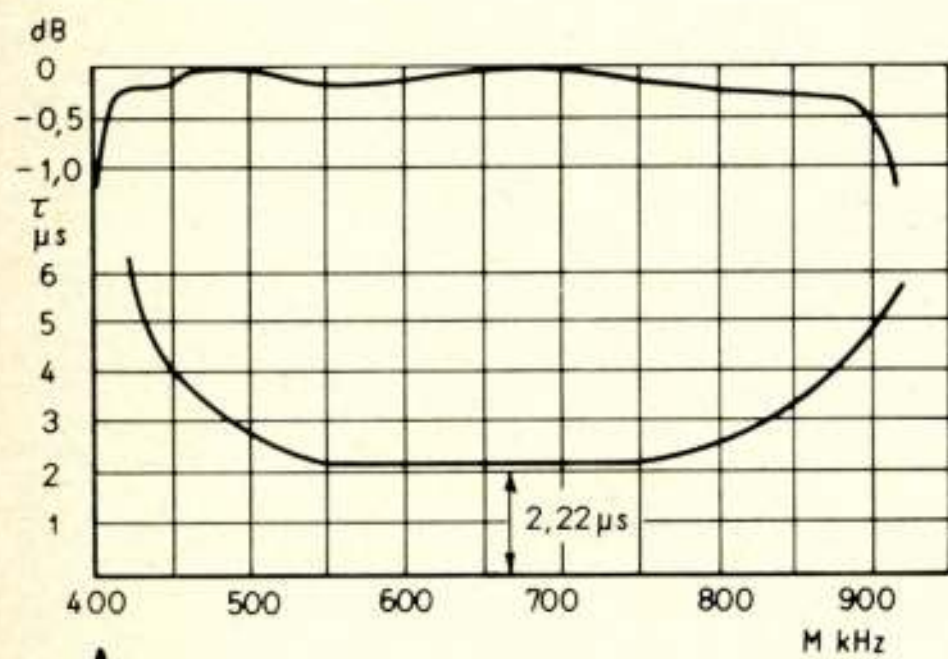


Fig. 5. Groeplooptijd van drie banddoorlaat filters.

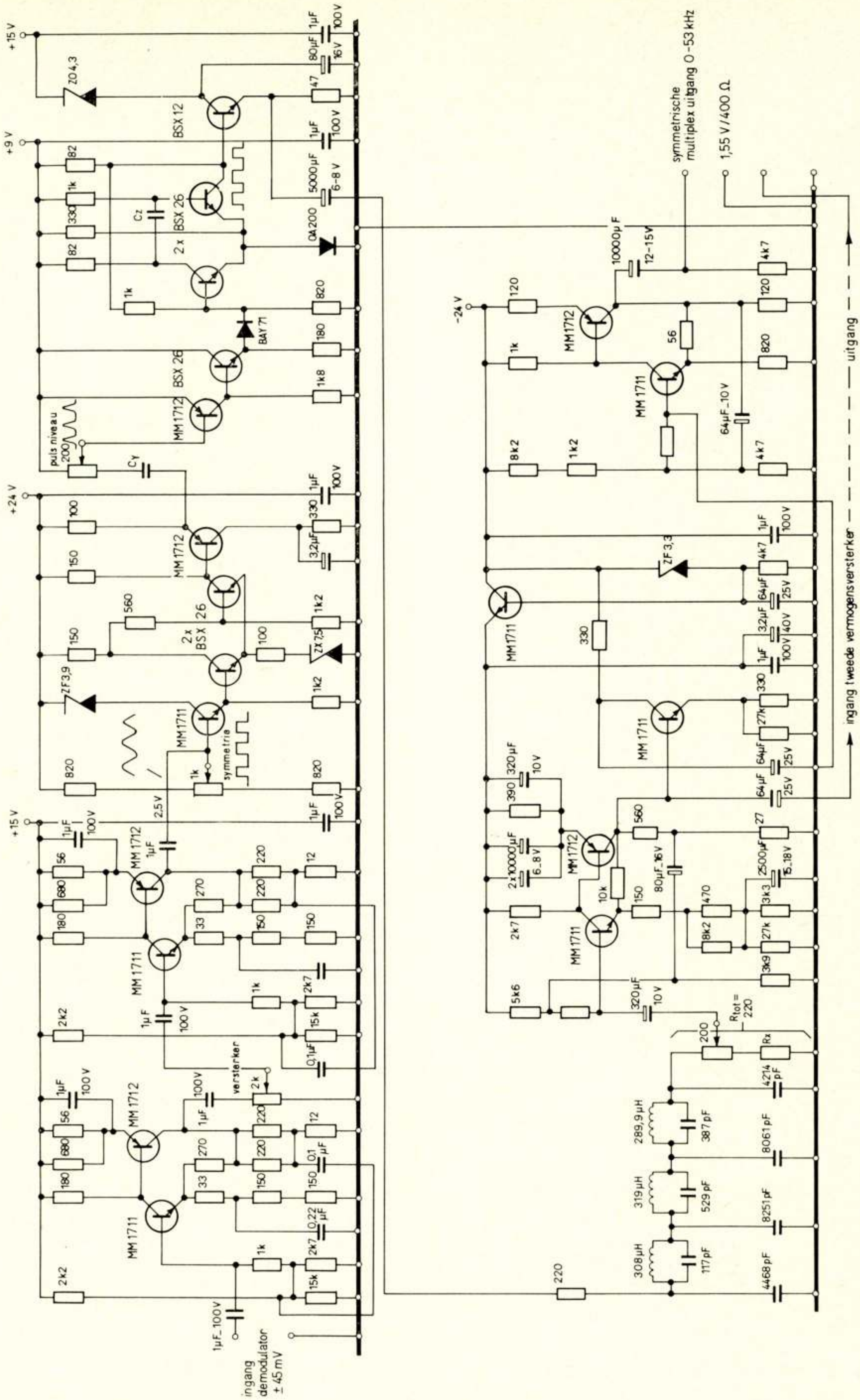
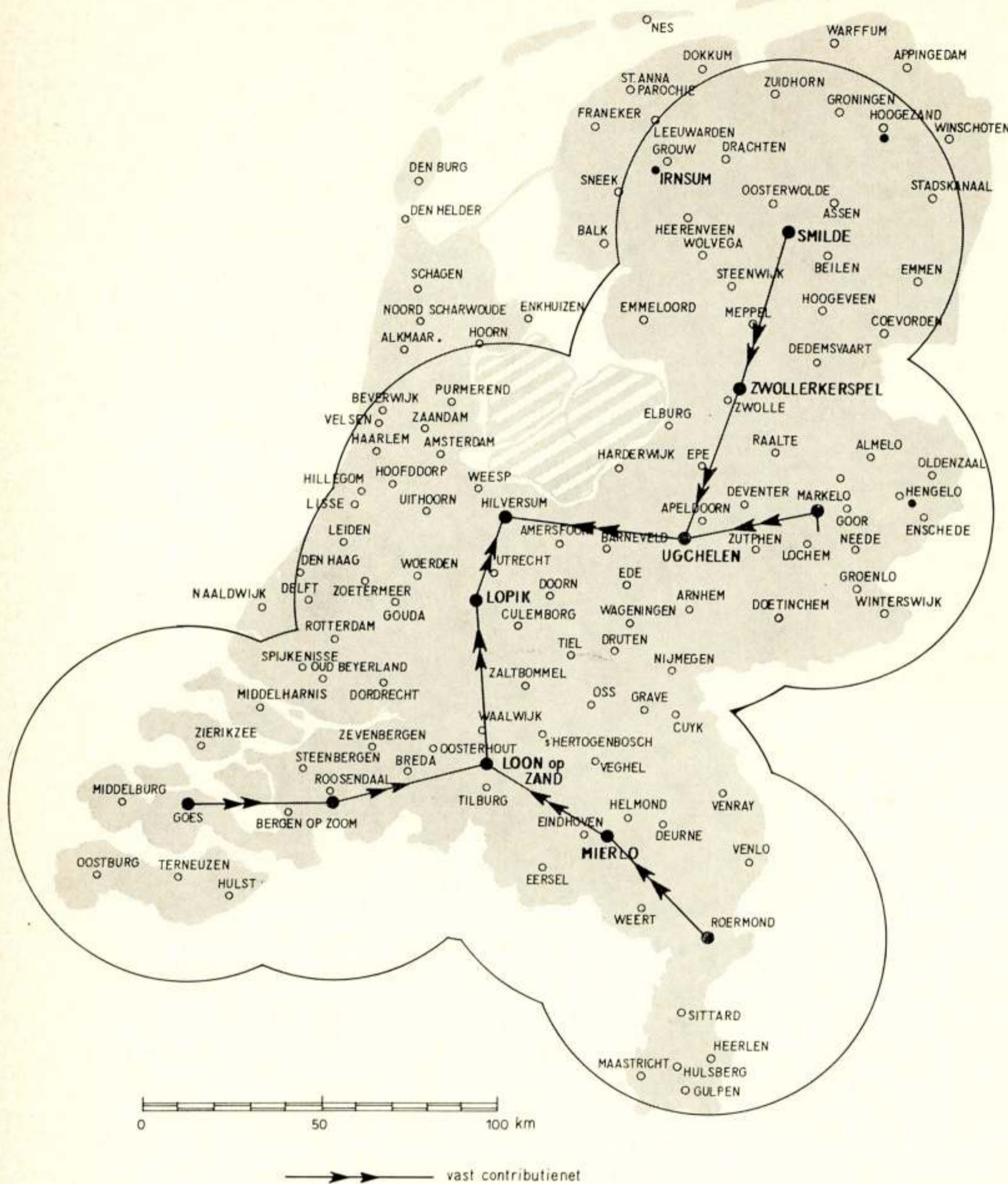


Fig. 6. Démodulator schakeling van een bifofoon kanaal in het hoge video frequente gebied.

Fig. 7. Het Nederlandse straalverbindingsnet voor T.V. programma-contributie.



De frequentie-onderverdeling is in de figuren 1 en 2 nog eens opgetekend, waaruit blijkt dat een redelijke aansluiting is verkregen.

#### 6.1. De modulator (fig. 3)

De modulator bestaat uit een multivibratorschakeling welke positief gestuurd wordt door hetingangssignaal; slechts  $R-C$  elementen bepalen de frequentie, welke nog nauwkeurig kan worden afgesteld met een voorspanning. Het schema van fig. 3 spreekt verder voor zichzelf hoewel het hieruit duidelijk zal zijn dat de voedingsspanning uitermate goed afgevlakt en stabiel zal moeten zijn.

#### 6.2. Het filter (zie fig. 4)

Ten koste van de eenvoud van de modulator komt de noodzaak van een kritisch filter; 4 secties hoogdoorlaat en 4 secties laagdoorlaat resulteren in de vereiste bandbreedte

en fasekarakteristiek. De looptijdvariatie is niet direct een maat voor het faseverschil dat getolereerd kan worden tussen het M en S signaal, omdat meerdere zijbanden en hun symmetrie, hierop hun invloed uitoefenen; niettemin kan men de grote lineariteit hier wel uit aflezen (zie fig. 5).

#### 6.3. De demodulator (fig. 6)

De demodulator wordt uiteraard voorafgegaan door een selectief filter, dat gelukkigerwijze gelijk kan zijn aan het onder 6.2. vermelde. De schakeling is verder voorzien van een welhaast ideale begrenzer (bistabiele vibrator) en een differentieerschakeling. De pulsen sturen een monostabiele vibrator met zeer constante terugslagtijd; het volgende onderdoorlaatfilter is eigenlijk te breed maar noodzakelijk om een lineaire fasekarakteristiek te behouden tot 53 kHz en later, ná de decoding kan de band zonder gevaar wel beperkt worden.



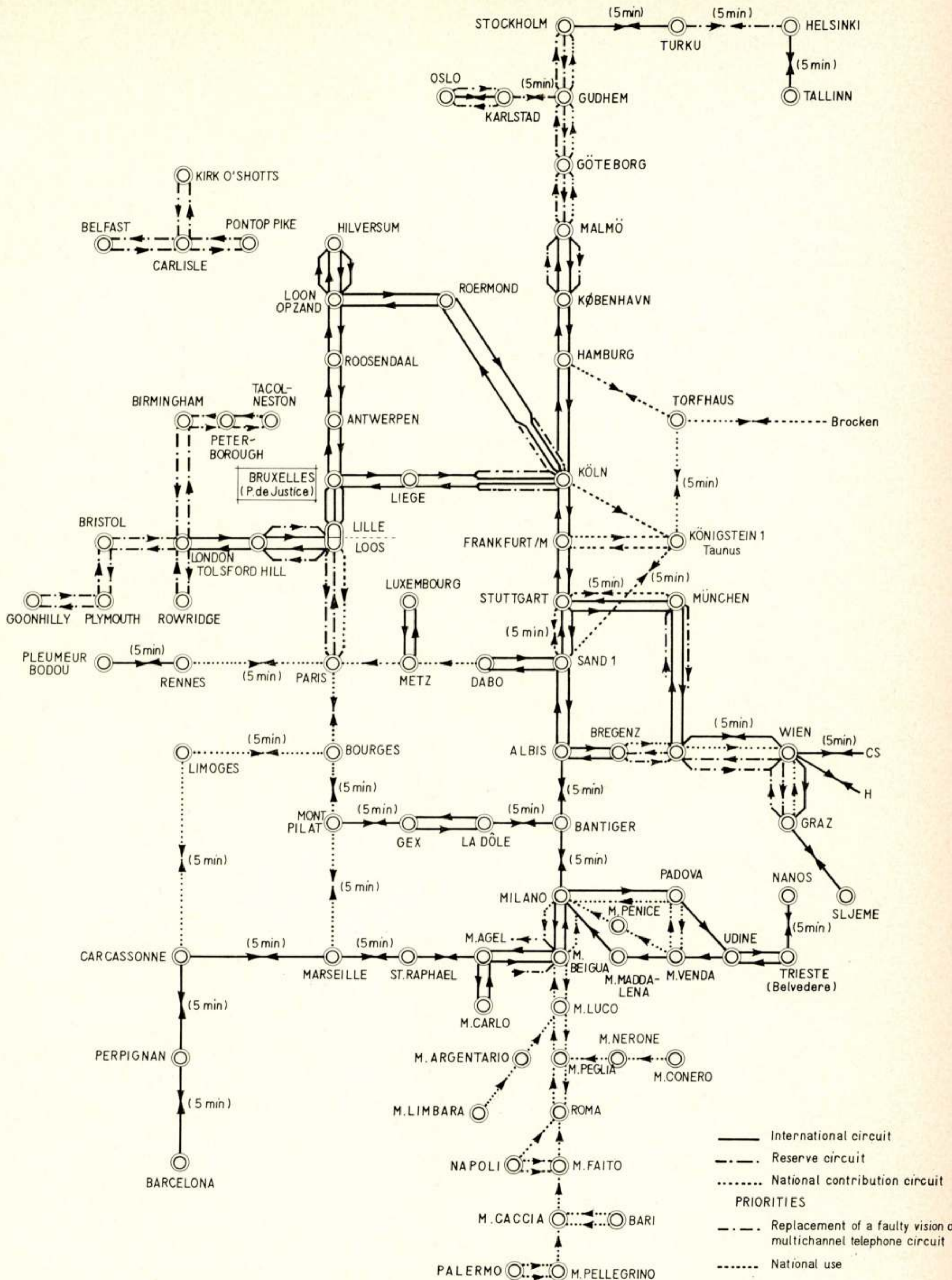


Fig. 8. Het Eurovisienet van straalverbindingen voor televisie-video-signalen.

## 7. Experimentele resultaten

In het Nederlandse PTT straalverbindingnet (fig. 7) zijn metingen verricht over afstanden tot 1500 km terwijl ook internationale proeven zijn genomen en wel naar Luxemburg, Oslo en Keulen (fig. 8). De resultaten waren, gezien de complexiteit van deze verbindingen (zie het Eurovisie-net) zeer tevreden stellend. Het blijkt dat eigenlijk nimmer de thermische ruis hoger is dan de ruis afkomstig van goede bandopnamen en dat andere apparatuuereigenschappen zoals interferentietonen maatgevend zijn voor de signaal/stoor verhouding (zie ook tabel 2).

## Over het Technisch Wetenschappelijk Onderwijs

### Technische Hogeschool Eindhoven

Bij Koninklijk Besluit van 21 april 1967 zijn benoemd tot respectievelijk president-curator en curator van de Technische Hogeschool te Eindhoven: *ir. H. B. J. Witte* en *dr. J. E. de Quay*. Vóór het interimkabinet-Zijlstra bekleedden zij reeds deze zelfde functies.

Op 2 mei 1967 promoveerde aan de T.H.E. tot doctor in de technische wetenschappen *ir. J. B. H. Peek*. De titel van zijn proefschrift luidt: 'The measurement of correlation functions in correlators using shift invariant independent functions'. Promotor was prof. dr. *ir. A. Fettweis*.

### Analogue and digital methods for investigating electrooptical systems

Proefschrift *dr. ir. C. Weber*

In zijn proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor in de technische wetenschappen – verdedigd op 14 februari 1967 aan de T.H. Eindhoven – behandelde promovendus enige methoden voor het berekenen van elektronenoptische systemen.

Voorbeelden van dergelijke systemen zijn de beeldbuis in een T.V.-ontvanger, oscillograafbuizen e.d. Bij het ontwerpen van deze buizen moet men het elektrische potentiaalveld en de elektronenbanen binnen de buis kennen.

De elektrische potentiaalvelden kunnen volgens een analoge methode worden bepaald door gebruik te maken van een zogenaamd weerstandsnetwerk. In het proefschrift wordt een manier behandeld om weerstandsnetwerken te construeren die beter zijn en nauwkeuriger resultaten geven dan de tot nu toe gebruikelijke netwerken.

Het grootste gedeelte van het proefschrift handelt over digitale rekenmethoden. Dank zij de grote rekensnelheid van de tegenwoordige rekenmachines kunnen in korte tijd elektrische potentiaalvelden berekend worden en ver-

**Tabel 2.** De voornaamste technische gegevens van het N.R.U.-systeem voor stereodistributie langs video-verbindingen.

A. Overspraak reductie tussen linker- en rechtersignalen:		
1. bij directe koppeling van en- en decoder:	55	dB
2. via een 1500 km video-verbinding:	50	dB
B. Signaal/ruis verhouding van de stereofonische signalen na transmissie over 1500 km:		
Subdraaggolf kanaal I (660 kHz):	63	dB
Subdraaggolf kanaal II (1,7 MHz):	66	dB
Subdraaggolf kanaal III (3,9 MHz):	66,5	dB
	(ongewogen)	
C. Overspraak tussen subdraaggolfkanalen:	> 80	dB
D. Harmonische vervorming:	< 0,1%	
E. Intermodulatie:	< 0,3%	
F. Eis voor subdraaggolfkanaal: tot 160 kHz vlak binnen	0,1	dB

volgens de banen die de elektronen hierin beschrijven. Hierbij kan bovendien rekening gehouden worden met de onderling afstoting van de elektronen en met het feit dat de snelheden waarmee de elektronen de kathode verlaten niet alle gelijk zijn, maar een zekere spreiding vertonen.

Als voorbeeld worden de uitkomsten vermeld van deze rekenmethode toegepast op het elektronenkanon van een reflexklystron en op dat van een televisiebeeldbuis. Speciale aandacht wordt besteed aan het geval dat een elektronenbundel zich beweegt in een ruimte met constante potentiaal. Er zijn een aantal grafieken berekend waaruit men, zonder gebruik te maken van een rekenmachine, de vorm van de elektronenbundel kan bepalen.

Door de in het proefschrift behandelde rekenmethoden toe te passen verkrijgt men vele gegevens die vroeger niet bekend waren, aangezien deze niet te halen waren uit metingen of uit berekeningen met de destijds langzame rekenmachines. Met de nu ter beschikking staande gegevens zal de ontwerper van elektronenbuizen in staat worden gesteld het benodigde aantal experimentele buizen te verminderen, om zodoende in korte tijd tot een goed ontwerp te komen.

## Varia

### Christiaan Huygenslaboratorium N.V.

Met ingang van 1 maart 1967 zet het Christiaan Huygenslaboratorium zijn werkzaamheden voort als zelfstandige naamloze vennootschap. Het laboratorium is voortgekomen uit het Nederlandsch Radar Proefstation te Noordwijk aan Zee en zal zich als voorheen voornamelijk bezighouden met research en ontwikkeling op microgolfgebied, de vervaardiging van prototypen alsmede kleine series van antennes en van apparaturen in opdracht van derden.

De directie van het Christiaan Huygenslaboratorium N.V. wordt gevoerd door *ir. E. Goldbohm*, daarin bijgestaan door *ir. R. Blommendaal*, die de titel van adjunct-directeur voert.

## Interkama 1968

Van 9 tot 15 oktober 1968 wordt in Düsseldorf voor de vierde maal het Interkama-congres, internationaal congres voor meettechniek en automatisering gehouden. Hieraan is een tentoonstelling verbonden. De 'Geschäftsführung' berust bij Herrn Werner Fricke, 6000 Frankfurt, Stresemannallee 19 (ZVEI-Haus).

### 'Het Instrument'

Van 10 tot en met 19 oktober 1967 wordt te Utrecht voor de zevende maal de tentoonstelling 'Het Instrument' gehouden. Men zal er vinden: instrumenten voor wetenschappelijk onderzoek en instrumentatie voor technische toepassingen. Op elektrotechnisch en elektronisch gebied worden o.a. professionele onderdelen getoond en in de medische sector instrumenten en apparaten voor medisch-specialistisch gebruik.

In het kader van deze tentoonstelling zal, naast andere technische en wetenschappelijke organisaties, ook het N.E.R.G. een werkvergadering houden. De leden ontvangen hierover nog nadere mededeling.

## Korte technische berichten

### Transistor voor snelle impulsen

De 'punch-through avalanche transistor' (PAT), ontwikkeld door Nippon Telegraph and Telephone Public Corp., Japan, is in staat zeer snelle impulsen te leveren. Het ruimteladingsgebied dat zich van de collector door de basislaag heen uitstrekt tot de emitter, vormt een niet-destructieve kortsluiting tussen collector en emitter. Doordat de effectieve basisdoorgang zeer dun is geworden, wordt de responsietijd niet beperkt door de doorlooptijd van dragers in de basislaag.

In de basislaag moet echter toch enige vermenigvuldiging van minderheidsdragers optreden ten einde regeneratief schakelen mogelijk te maken. Hoewel de PAT dicht bij zijn 'punch-through' conditie werkt, wordt deze versterking mogelijk gemaakt door de 'avalanche' doorslagspanning slechts een weinig hoger te maken dan de 'punch-through' spanning.

De eerste productie-PAT's zullen de volgende eigenschappen hebben: impuls lengte 1 ns; interval tussen twee impulsen 5 ns; trekkervertraging 0,5 ns; impulsamplitude 1 V in een 50  $\Omega$  lijn. NTT ziet de PAT als goede mogelijkheid voor een zeer snel impulsmodulatiesysteem. Andere mogelijke toepassingen zijn in aftastosciloscopen, impulsgeneratoren, spanningscomparatoren en analoog-digitaal omzetter. Sj.

*Electronics*, 9 januari 1967, blz. 251.

### Kleine TV-camera en zender

Door Teledyne Inc. in Californië is een kleine TV-camera-zender combinatie ontwikkeld. (Zie fig. 1). De zender is samengesteld uit moduuls van microcircuits, waardoor het gewicht van de gehele combinatie slechts 700 gram bedraagt. De camera zendt standaard 625-lijns beelden uit



Fig. 1. Handelsuitvoering van Teledyne's TV-camera-zender.

met 60 beelden per seconde. Standaard 16 millimeter optiek vormt het beeld op een 0,5 inch vidicon. Als extra, kan een 1 inch kathodestraalbuis worden ingebouwd als monitor.

De combinatie is voorzien van een telescopische antenne. De uitgezonden signalen kunnen nog op een afstand van 70 meter worden opgevangen. De spanningsvoorziening bestaat uit een oplaadbare batterij met een gewicht van 3,5 kilogram, goed voor 10 tot 12 uur zenden. Behalve voor het waarnemen van raketproeven en van de oogbewegingen van ruimtevaarders, kan de combinatie mogelijk worden gebruikt voor reportage, bewaking, onderwateronderzoek, industriële procesbeheersing, e.d.

Sj.

*Electronics*, 31 oktober 1966, blz. 38.

### Frequentiekeuze bij hoogfrequentverbindingen

Bij het tot stand brengen van h.f.verbindingen is de keuze van de frequentie van het grootste belang omdat de ionosfeer op een onregelmatige wijze verandert. De keuze van de beste frequentie wordt voornamelijk bepaald met behulp van maandelijkse voorspellingen.

Granger Ass., Palo Alto, California, heeft aan de U.S. Navy een 10-kanalig systeem geleverd waarmee de ionosfeer elke 10 minuten wordt gesondeerd op zijn transmissie-eigenschappen. De resultaten worden in de vorm van vier gegevens op een bladschrijver weergegeven:

- een digitale evaluatie van de kwaliteit van elke bruikbare frequentie,
- de laagst - en hoogst mogelijke bruikbare frequenties, plus de gebruikte frequentie en de beste alternatieve frequentie,
- een aanduiding van de periode gedurende welke de aangegeven frequenties bruikbaar zijn,
- de datum en een voorspelling van de toestand over 20 minuten.

De PDP-8 rekenmachine wordt elke 10 min gevoed met ionogrammen van het sonderingsapparaat en met storingsgegevens. Het aftasten en in de computer opnemen van de gegevens duurt 66 ms per frequentie. De rest van de tijd wordt gebruikt voor het berekenen van de voorspellingen. Sj.

*Electronics*, 26 december 1966, blz. 37.

## Boekennieuws

A. PETITCLERC. **Théorie et pratiques des circuits à transistors.** Applications à la radioélectricité, à la télévision et à la modulation de fréquence 470 blz., Uitg. Dunod, 1966. Prijs 86 F.

Titel, ondertitel en omvang van dit boek wekken hoge verwachtingen, dit het boek slechts ten dele honoreert. De nadruk valt sterk op de theorie, in de zin van mathematische formuleren. Verspreid over het werk treft men niet minder dan 1935 genummerde formules in de tekst aan. De doorzichtigheid van de beschouwingen komt hierdoor niet zelden in het gedrang, het onnodig grote aantal formules maakt de lectuur bepaald vermoeiend.

De behandeling blijkt zich te beperken tot versterker-, oscillator- en mengschakelingen. De eerste twee hoofdstukken geven, in hoofdzaak in de vorm van formules, een gecomprimeerde behandeling van de werking van de transistor. Hoofdstuk 3 houdt zich bezig met berekeningen met matrixparameters. Hoofdstuk 4 behandelt de stabilisatie van het instelpunt. De analyse beperkt zich tot de beschouwing van de invloed van de temperatuur op de collectorlekstroom ( $I_{co}$ ). Dat bij de siliciumtransistor de invloed van de temperatuur op de spanning tussen emitter en basis vaak minstens even belangrijk is, wordt niet aangeroerd. De berekening van de stabilisatiefactor voor de gebruikelijke instelmethode verloopt zeer omslachtig. De compensatietechnieken, die men pleegt toe te passen in de vele gevallen waarin stabilisatie door middel van gelijkstroomtegenkoppeling op bezwaren stuit, worden in het geheel niet genoemd.

Hoofdstuk 5 behandelt laagfrequentversterkers. Alleen zeer eenvoudige situaties worden bestudeerd, waarin noch de interne capaciteiten van de transistor, noch de koppel- en ontkoppelcapaciteiten een rol spelen. Over de belangrijke invloed van de laatste op het l.f. gedrag wordt niets gezegd. Hoofdstuk 6 behandelt vermogensversterkers. Dit hoofdstuk is zeer onvolledig. Bij de berekeningen over het rendement der gebruikelijke schakelingen, verzuimt de auteur te vermelden dat hij zich beperkt tot sturing met sinusvormige signalen. Bij de beschouwing over vervorming in eindtrappen wordt niets vermeld over de invloed van de stroom op de stroomversterkingsfactor en over de invloed van collectormultiplicatie. Over instelproblemen en thermische stabiliteit wordt niets gezegd; stuurtrappen en hun aanpassing aan balansschakelingen worden evenmin behandeld. Schakelingen met complementaire symmetrie worden niet genoemd.

Hoofdstuk 7 behandelt brede-bandversterkers. De hoofdschotel wordt gevormd door berekeningen over afsnijfrequenties van eenvoudige, met weerstanden belaste versterkerschakelingen, bestaande uit één of twee transistoren. Met name de behandeling van de cascadeschakeling van een trap met gemeenschappelijke collector en een trap met gemeenschappelijke emitter is onpraktisch en voert tot onhanteerbare formules. Over de bekende technieken om de bandbreedte van versterkers te vergroten vindt men niets, evenmin over de bij dit type versterkers dikwijls belangrijke sprongkarakteristieken. Het ontwerpvoorbeeld op blz. 205-206 gaat uit van een onrealistisch ongunstige

transistor. De uitkomsten op blz. 206 blijken niet in overeenstemming te zijn met de formules, ook blijken de begrippen frequentie en hoekfrequentie niet goed onderscheiden te zijn.

De hoofdstukken 8, 9 en 10 hebben betrekking op banddoorlatende versterkers. Dit zijn de meest geslaagde hoofdstukken van het boek. Men treft hier heldere beschouwingen aan. De behandeling is gericht op m.f. versterkers in radio-ontvangers. Televisie-ontvangers worden wel genoemd, doch de specifieke problemen die men hier heeft (Nyquist-flank, onderdrukkingskringen, betenis van de groeplooptijd-karakteristiek) komen niet aan de orde. De ontwerpvoorbeelden op blz. 268 en blz. 307 gaan kennelijk uit van een zeer ouderwetse transistor, die niemand voor het beoogde doel zal gebruiken.

Hoofdstuk 11 houdt zich bezig met vervorming en kruismodulatie. Hoofdstuk 12 behandelt oscillatoren. De behandeling is weer uiterst formeel en sterk gematiseerd. Dat het vele gereken niet altijd met het juiste inzicht gepaard gaat blijkt bij de behandeling van de Wienbrug-oscillator. Hier treft men de enormiteit aan dat een emittervolger een fasedraaiing van  $180^\circ$  geeft. Dit wordt vervolgens 'toegepast' in een ontwerp dat volledig doorgerekend wordt! (blz. 382) Hoofdstuk 13 is gewijd aan frequentieconversie, hoofdstuk 14 aan de ruis van transistoren.

Vele onderwerpen, die in het boek op hun plaats zouden zijn mist men geheel, o.m. een algemene behandeling van tegenkoppeling, gelijkspanningsversterkers, pulscircuits en modulatieschakelingen. Veldeffecttransistoren worden nergens genoemd. Men mist, juist omdat de auteur zoveel voorliefde toont voor mathematische analyses, sterk de toepassing van moderne analysemethoden, zoals beschouwingen aan de hand van polen en nulpunten van overdrachtsfuncties.

Het boek bevat, met name in de tweede helft, een aantal bruikbare beschouwingen, ook kan het van waarde zijn als uitgebreide verzameling van formules. Het vraagt zonder twijfel ervaren en zeer kritische lezers. Voor een eerste oriëntatie is het ongeschikt, aan studenten moet het gebruik ontraden worden.

Uitgave en typografie zijn goed verzorgd. Jammer is dat er nogal wat drukfouten in voorkomen. Sommige hiervan zijn storend, bijv. in formule 83 op blz. 35 in formule 94 op blz. 37 en op blz. 215, in de 9e regel van onderen.

Prof. dr. ir. J. Davidse

## Uit het NERG

### Verslag over het examen Elektronica-monteur en Elektronicatechnicus, gehouden in het najaar 1966

#### Elektronicamonteur

Het schriftelijk examen werd gehouden op 3 oktober 1966. De mondelinge examens vonden plaats op 21 en 22 november en 6 december 1966.

	schriftelijk	mondeling	herexamen
deelgenomen	170	93	4
afgewezen	77	36	2
herexamen	—	—	—
geslaagd	93	57	2

### Elektronicatechnicus

Het examen eerste deel werd gehouden op 10 oktober 1966. De examens voor het tweede deel vonden plaats op 28 en 29 november en 7 december 1966.

	1e deel	2e deel	herexamen
deelgenomen	190	60	4
afgewezen	162	17	—
herexamen	—	3	—
geslaagd	28	40	4

Aan twee kandidaten Elektronicatechnicus (N. van Dijk, Den Haag en B. J. M. v. d. Velden, Den Haag) werd de *Wera-fonds-examenprijs* toegekend.

### Ledenmutaties

Deel 32- nr. 3.

### Nieuwe leden:

A. Kegel, Poptahof Zuid 469, Delft.

J. J. M. Maas, Vr. Baertestraat 9, IJsselstein (Ut.).

Ir. K. Posthuma, M. ter Braaklaan 59, Delft.  
M. Verduin, Sonseweg 25, Eindhoven.

### Voorgestelde leden:

Ir. L. W. R. Biekart, Spotvogellaan 36, Den Haag.  
H. A. A. Grimbergen, Vondellaan 13, Leiden.

### Nieuwe adressen van leden:

Ir. K. K. Agarwal, 3 Myles Standish Drive, Apartement 7, Bradford, Mass. 01830, U.S.A.

J. H. M. den Bremer, Fl. Nightingalelaan 16, Delft.

Dr. H. Bruinig, Papenvoortse Heide 8, Nuenen (N.B.).

E. van Eldik, J. A. Abraham Boulevard, Bonaire, Ned. Antillen.

Prof. ir. E. W. Gröneveld, Mozartlaan 1, Enschede.

Ir. Ph. Hanhart, Simon Stevinweg 116, Hilversum.

Ir. C. J. Heuvelman, Zagerstraat 13, Breugel (N.B.).

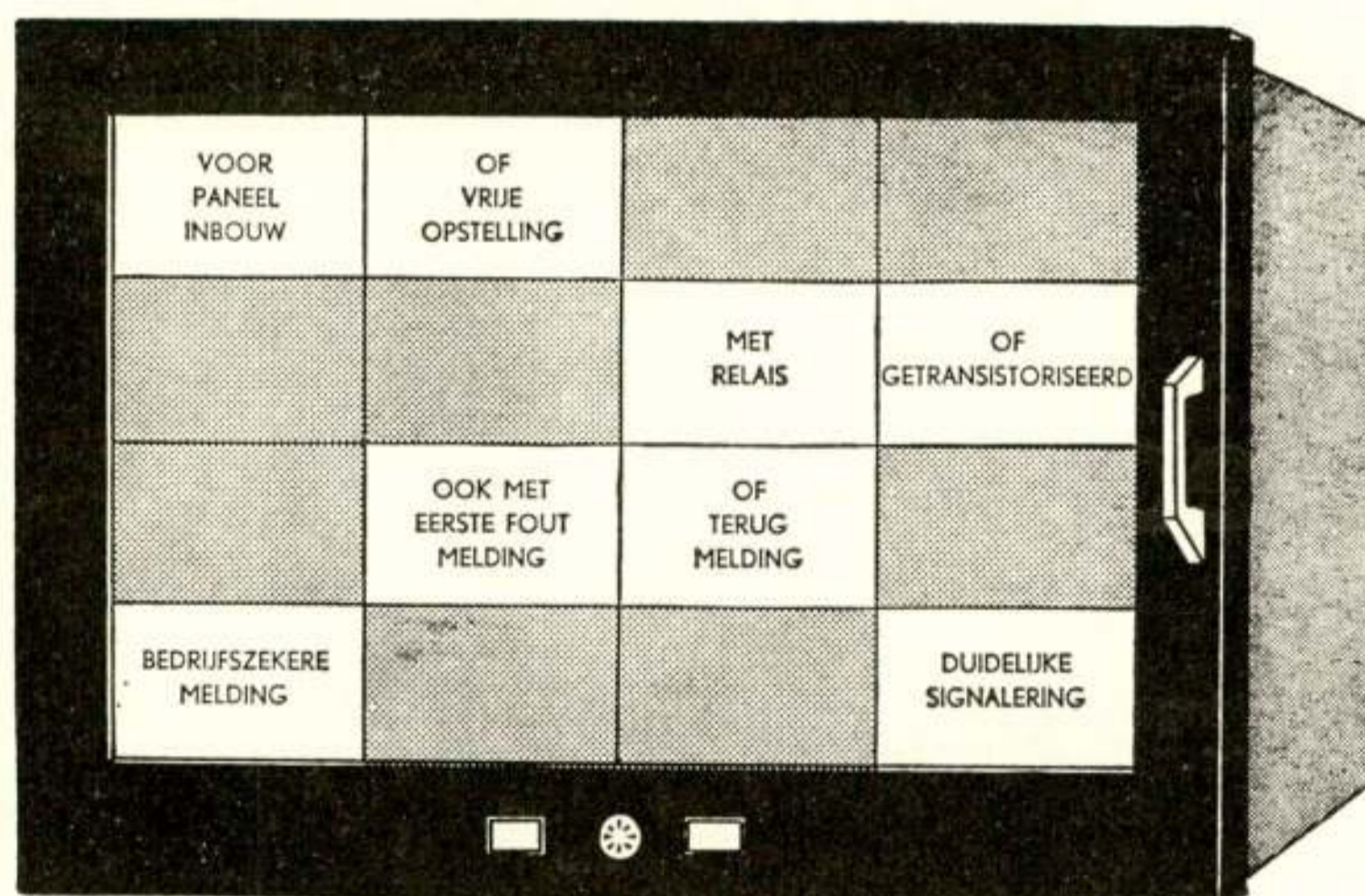
Ir. C. A. Vissers, Herculesstraat 108, Enschede.

### Bedankt als lid:

Ir. F. A. de Groot, 1e Wilakkerstraat 2, Eindhoven

## storingsmelders

fabrikaat Electron-Breda



Bedrijfsklare units voor aansluiting op externe alarm contacten.

Voedingsspanning 220 V of 24 V - 50 HZ.

Standaard uitvoering voor 4-8-12-16 of 20 meldingen

Ook leverbaar voor elk gewenst aantal meldingen.

# ELEDUX

**TECHNISCH VERKOOPKANTOOR - ELECTRON**

SPEELHUISLAAN 173 - BREDA - POSTBUS 260 - TELEFOON (01600) 2 43 77

# Continue kwaliteitsbeheersing bij snelle productie kunt u van geen mens verwachten...

Jams .... of frisdranken, bier, augurken, geneesmiddelen en vele andere in potten, flessen of anders verpakte artikelen snellen op de lopende band voort met een snelheid van tienduizenden per uur.

Er zijn te veel handen en ogen nodig om te controleren of er geen etiket ontbreekt, of de verpakking onbeschadigd en de inhoud voldoende is.

Feilloosheid kunt u hierbij van geen mens verwachten.



## maar wel van Electro-Watt

Voor de controle op verpakking slaagde Electro-Watt er in apparatuur te construeren die zonder meer uniek genoemd kan worden.

Door middel van veelzijdig gerichte fotocellen en een vernuftig daarop reagerende mechaniek, wordt iedere verpakking die niet aan de eisen voldoet, gesignaleerd en automatisch uit de serie genomen.

Electro-Watt maakt voor ieder produkt deze apparatuur op maat; aangepast aan iedere bedrijfssituatie, electronisch en mechanisch compleet, dus bedrijfsklaar en beslist bedrijfszeker.



Wilt u nu al meer inlichtingen hebben over de mogelijkheden die Electro-Watt uw bedrijf biedt?

Bel of schrijf dan om nadere inlichtingen naar:

Electro-Watt n.v., Hoge Larenseweg 88a,  
Hilversum - Telefoon (02950) - 49895 - 43926