

Multiplex Telefoonstelsels met Impulsmodulatie.

door S. van Mierlo

Laboratoire Central de Télécommunications — Paris.

Voordracht gehouden voor het Nederlandsch Radiogenootschap op 11 Juni '48 *)

SUMMARY

A general review is given of the most important communication systems using pulse-amplitude, pulse-position and pulse-code modulation. The pulses may be used to modulate a carrier wave in amplitude or frequency.

The frequency band needed and the signal/noise ratio obtained is discussed. A comparison is made between the various systems and their domain of application is considered.

Various types of distributors, modulators and demodulators are mentioned and a few indications are given on two experimental pulse-position modulation systems and on two commercial equipments now available.

Inleiding.

Sinds een tiental jaren heeft men meerdere telecommunicatie stelsels met impulsmodulatie voorgesteld en onderzocht, en het is dus misschien nuttig een algemene blik te werpen op de voornaamste dier systemen.

In dit artikel zal in hoofdzaak sprake zijn van de studies van ons laboratorium en van de laboratoria waarmede we in verbinding staan en die overigens tot de eerste behoren, die deze stelsels hebben onderzocht en experimentele en commerciële inrichtingen hebben gemaakt.

De impulsmodulatie werd ongeveer twintig jaar geleden al gebruikt voor het overdragen van afbeeldingen, doch eerst sinds kort begon men ze toe te passen op de telefonie.

Deze kwestie werd in 1936, te Parijs, onderzocht door de Heren Deloraine en Reeves, en ze bestudeerden onmiddell-

*) Gedurende de voorbereiding van mijn lezing heb ik gebruik gemaakt, niet alleen van gepubliceerde artikelen, doch ook van meerdere nog niet uitgegeven studies van de Heren A. G. Clavier, C. W. Earp, K. G. Hodgson, E. Labin, A. H. Reeves en A. T. Starr. De gesprekken, die ik met deze ingenieurs had, waren voor mij van groot nut.

lijk meerdere impulssystemen, zelfs datgene, waarbij gebruik gemaakt wordt van een code.

In die tijd was de aandacht der ingenieurs vooral gevestigd op de draagstroom multiplex telefonie over kabels. Het was echter toch mogelijk enkele principiële proeven te doen in Parijs en Londen, die de verdiensten der impulsstelsels bevestigden, en meer in het bijzonder voor wat betreft de verbetering van de verhouding signaal/geruis.

Men heeft toen ook de toepassingen der impulssystemen onderzocht op de radio-omroepinrichtingen.

De algemene techniek der impulsen begon zich overigens te ontwikkelen in verband met televisie.

Met de oorlog kwam er een verandering in de toepassing der impulstechniek, alle aandacht werd toen gevestigd op Radar-inrichtingen en dergelijke. Doch sommige der ingenieurs van ons laboratorium, die naar Engeland en Noord Amerika waren uitgeweken, hadden ook de gelegenheid de telefoonstelsels met impulsen verder uit te werken. Behalve de toepassingen voor de legers, kwam men alzo in 1945 te New York tot een proefinstallatie met 24 telefoonkanalen, en de werkzaamheden in Londen lieten toe in 1946 een proefinrichting met 9 telefoonkanalen uit te voeren, die thans in normaal gebruik is bij de Nederlandse P.T.T.

Sinds het einde van de oorlog is er nog veel onderzocht en men heeft nu een betere algemene kijk op de impulstelefonie.

Methodes van overdraging met behulp van impulsen.

In alle telecommunicatie stelsels worden de signalen door het ontvangtoestel onderscheiden in functie van twee grootheden: de tijd en de amplitude. Ten einde de oorspronkelijke stroom getrouw weer te geven, is het niet nodig een oneindig aantal aanduidingen dezer twee grootheden over te zenden.

Laat ons eerst de tijd nagaan. Als we op bepaalde tijdsruimten T , die kort genoeg zijn, de grootte der amplitude van een stroom zenden, in de vorm van impulsen, waarvan de amplitude in bepaalde verhouding staat met de amplitude van die stroom, (fig. 1) dan kunnen we deze getrouw weergeven aan de ontvangstzijde.

Indien $F = 1/T$ de herhalingsfrequentie dezer impulsen is, dan is het frequentie-spectrum dezer overbrenging samengesteld uit frequenties $0, F, 2F, 3F, \text{ enz.}$, omringd met zijbanden f , indien

f de hoogste frequentie is van de over te brengen stroom (fig. 2). Nu is alle nuttige informatie reeds aanwezig in één dezer zijbanden. Het is dus voldoende, bij de ontvanger b.v. de band $0 - f$ van de andere af te scheiden door middel van een onder-doorlaat-filter. Opdat die afscheiding mogelijk zij, moet $F - f$

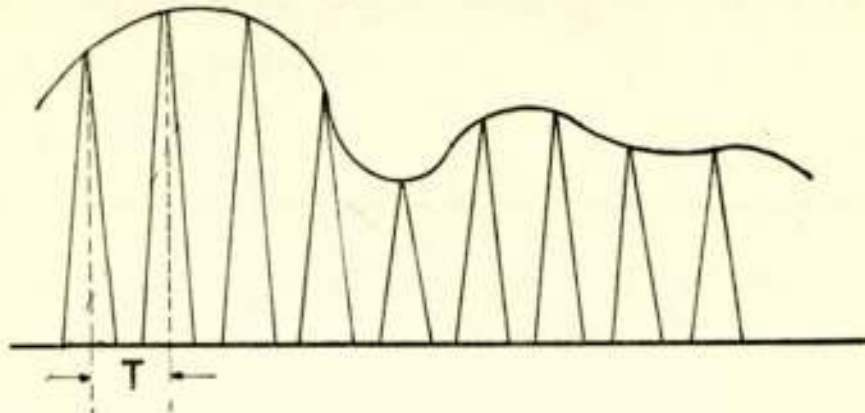


Fig. 1.

Impulsen, op tijdsruimten T , waarvan de amplitude gelijk is aan de ogenblikkelijke amplitude van de over te zenden stroom.

groter zijn dan f , dus F moet minstens gelijk zijn aan $2f$. Laat ons schrijven $F = 2kf$, waarin de coëfficiënt k groter is dan één.

Men wil in de praktijk voor de telefonie een maximumfrequentie van 3400 c/s overbrengen en men heeft daartoe soms

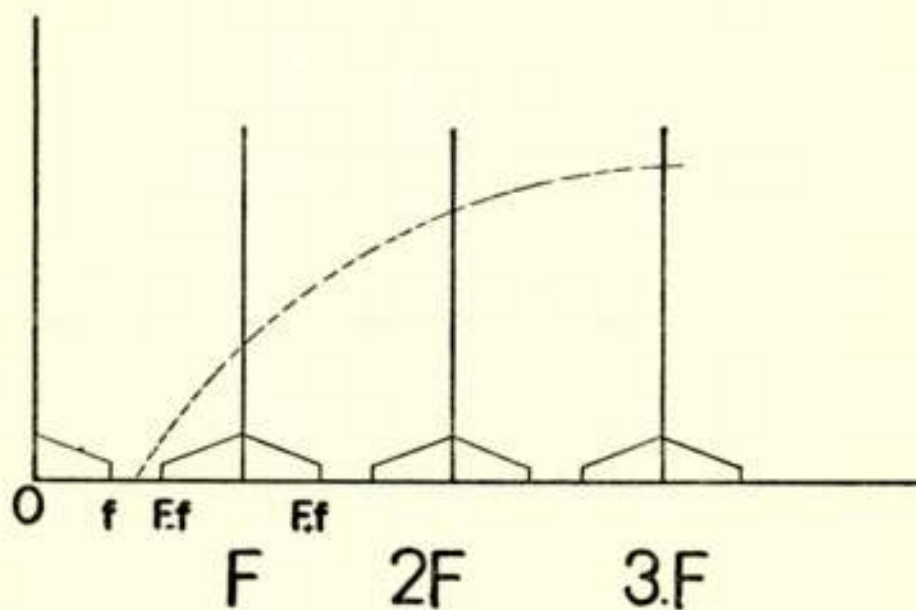


Fig. 2.

Frequentie-spectrum van een reeks impulsen met herhalingsfrequentie F en in amplitude gemoduleerd door een frequentieband $0 - f$. De stippellijn stelt de werking voor van een onder-doorlaat-filter, die de band $0 - f$ afscheidt bij de ontvanger.

een herhalingsfrequentie van 8000 c/s genomen. De coëfficiënt k is dan gelijk aan ongeveer 1,2.

Een dergelijk stelsel kunnen we noemen: „Overdraagstelsel met amplitude gemoduleerde impulsen” en ik zal het in het vervolg voorstellen door de letters PAM.

Daar de impulsen zeer kort kunnen zijn, kan de ruimte tussen twee impulsen, behorende tot hetzelfde kanaal, groot

genoeg zijn om er andere impulsen in te plaatsen, behorende tot andere kanalen.

Fig. 3 toont hoe de impulsen van een 24-kanaal systeem zouden geplaatst zijn. Een dubbele impuls wordt gebruikt voor het synchroniseren der twee eind-inrichtingen.

Men ziet, dat een dergelijk impuls systeem goed aangepast

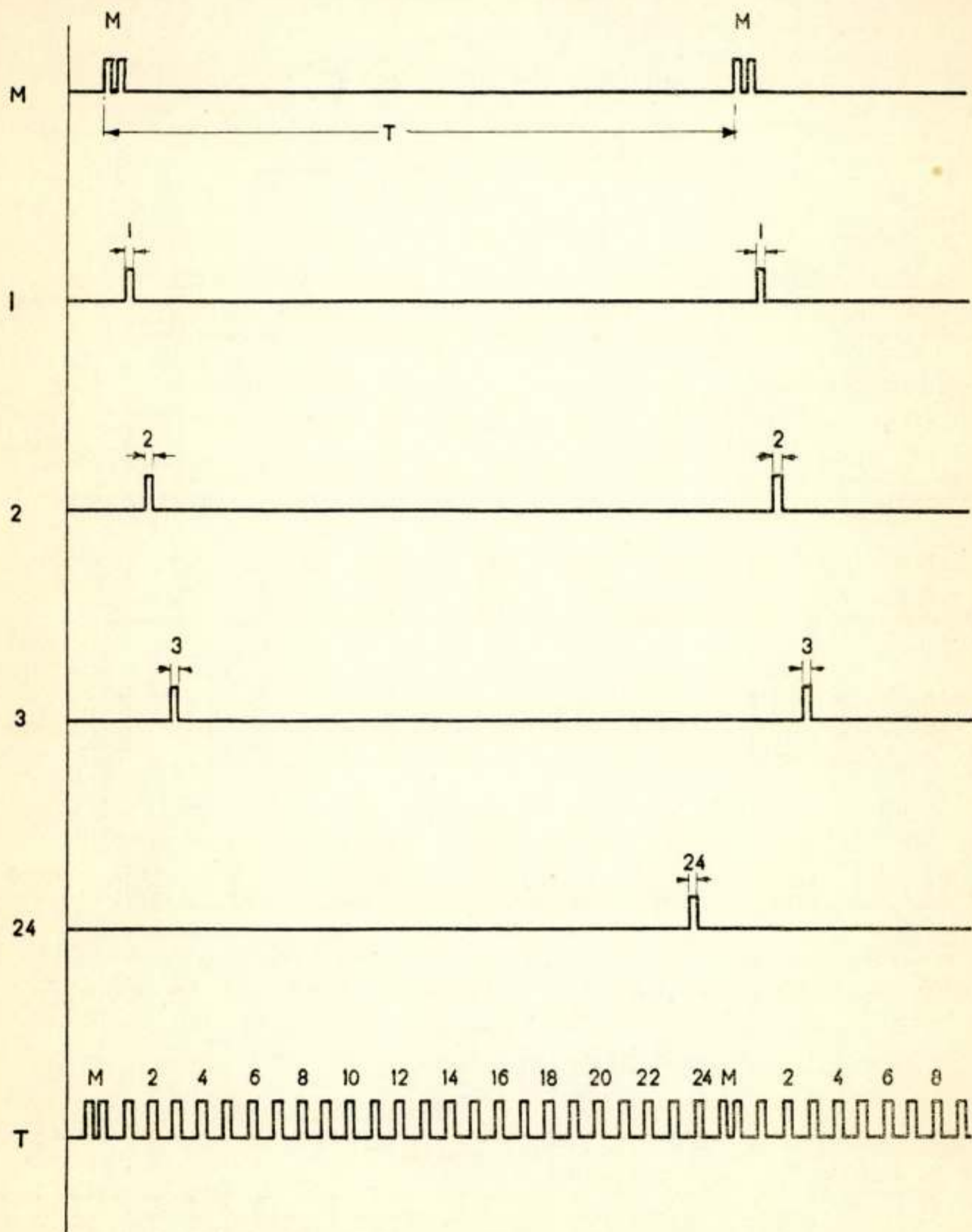


Fig. 3.

Impulsen van een multiplex-systeem met tijdverdeling der kanalen. M, 1, 2, 3, 24 stellen impulsen voor, gebruikt voor synchronisatie en voor de kanalen 1, 2, 3 en 24. T is de herhalingsperiode.

is voor het overdragen van meerdere berichten, want men kan de impulsen van de verschillende kanalen achtereenvolgens door dezelfde verbinding sturen met behulp van een verdeler of distributeur, volgens het principe van de Baudot multiplex telegraaf. Dit is in tegenstelling met draagstroom systemen, waar de kanalen in frequentie verdeeld zijn en tegelijkertijd overgebracht worden.

Met de distributeur der impulsstelsels, die een tijdsverdeling

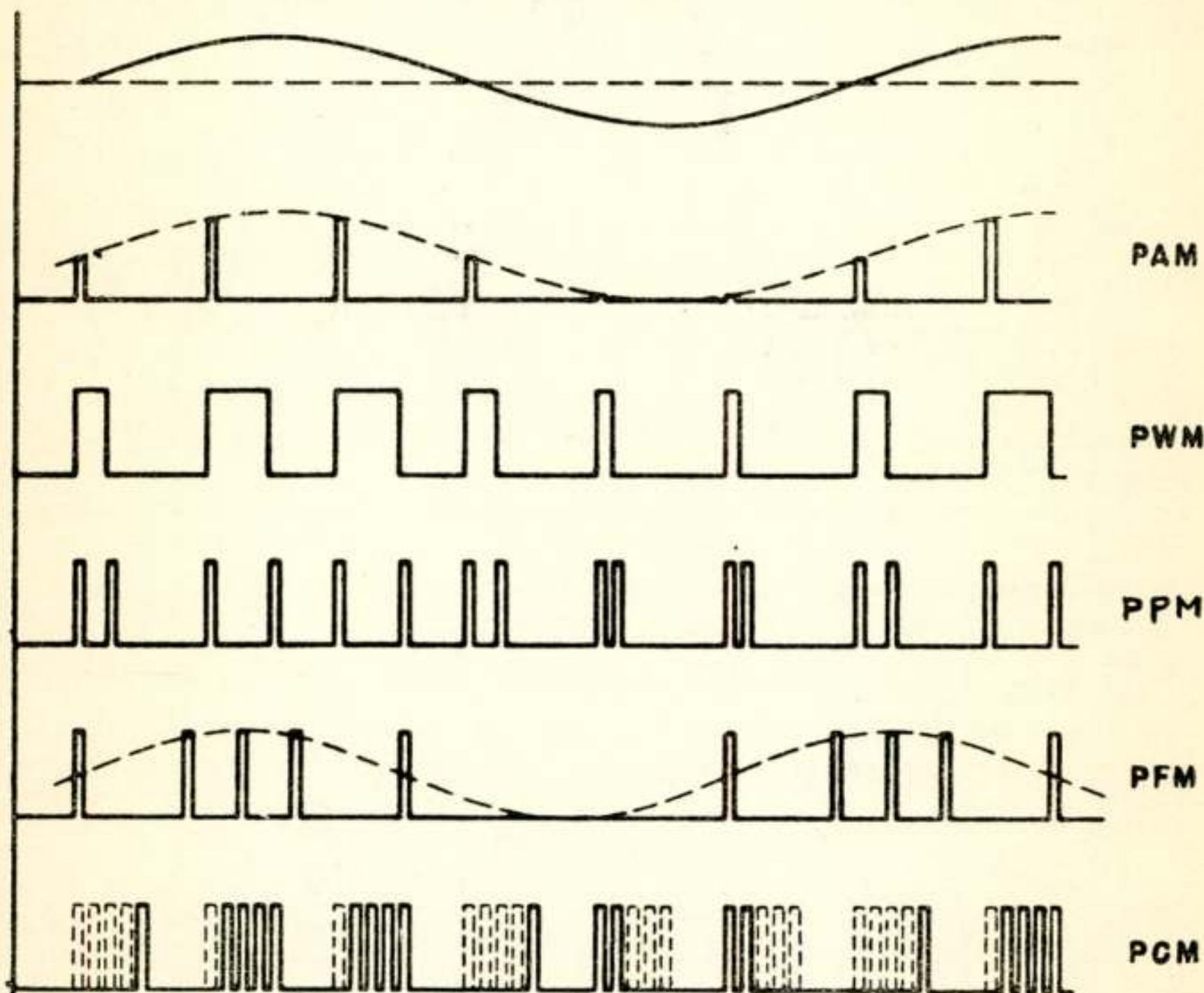


Fig. 4.

Impulsen gemoduleerd in amplitude (PAM), in lengte (PWM), in positie (PPM), in frequentie (PFM) en met gebruik van een code (PCM).

De bovenste lijn stelt de over te zenden stroom voor.

geeft, komen de modulatoren en filters der draagstroomssystemen overeen, die een frequentieverdeling geven.

Alhoewel het stelsel PAM enige interessante kenmerken heeft, is het niet beter dan het rechtstreeks of het door draaggolf overdragen van de spreekstroom voor wat betreft de verhouding signaal/geruis. Doch men heeft spoedig gemerkt, dat het principe der impulsoverdraging wel toelaat die verhouding te verbeteren. Inderdaad men kan impulsen gebruiken, die allen de-

zelfde amplitude hebben, doch wier lengte, tijdpositie of frequentie kan veranderen.

Fig. 4 toont de impulsen van deze systemen.

Het is vooral het systeem met verandering (of modulatie) der tijdpositie (PPM), dat de aandacht heeft getrokken. De ontvangen impulsen gaan door een begrenzer, die alle amplitude

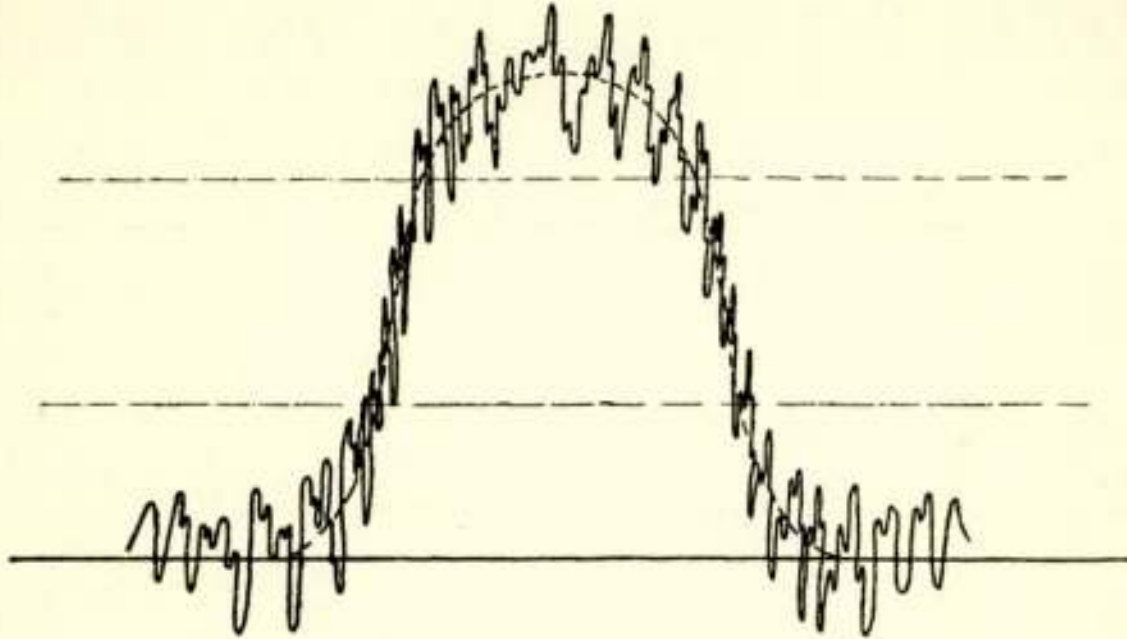


Fig. 5.

Impuls die door geruis vervormd is. Bij de ontvanger kan het geruis verwijderd worden, behalve op de kanten.

veranderingen wegneemt, voortkomende uit het geruis, uitgezonderd aan de twee zijkanten van de impuls (fig. 5). Daar die kanten heel steil kunnen zijn, zal de invloed van het geruis op hun tijdpositie gering zijn ten opzichte van de maximum tijdsverschuiving $\pm D$ voor de signalen (fig. 6).

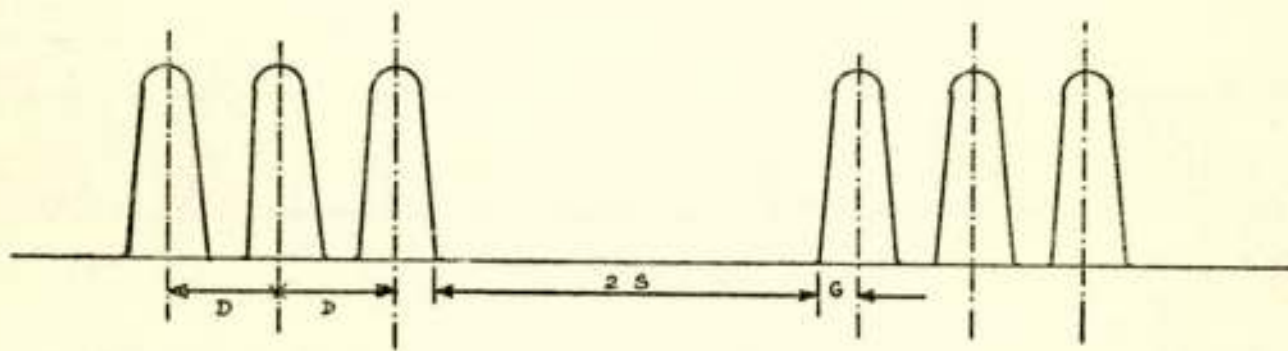


Fig. 6.

Gemiddelde positie en uiterste posities van twee naburige impulsen, die naar hun tijdpositie gemoduleerd zijn.

Maximum verplaatsing: $\pm D$. Beveiligingstijd: $2 S$.

Als de impuls een tijd G nodig heeft om van 0 tot haar maximum te stijgen, dan geeft de verhouding D/G een goede indruk van de verbetering in de verhouding signaal/geruis ten opzichte van een overdraging met spraakstroom.

Doch door het gebruik van impulsen met steile kanten en ten gevolge van de noodzakelijkheid een grote tijdsverschuiving, en

tussen opvolgende impulsen een beveiligingstijd $2S$ te voorzien (om overspreken te vermijden), wordt de benodigde frequentieband zeer breed. De vergroting van deze band, vergeleken met het rechtstreeks overdragen van de spraak is van de grootte orde $2(D + G + S)/G$.

De eindinrichtingen van een PPM stelsel zijn echter tamelijk eenvoudig en de versterking der impulsen is gemakkelijker dan bij de spraakstromen. Zo heeft men dan ook zeer interessante praktische inrichtingen kunnen ontwikkelen, zoals we later zullen zien.

In bovenvermelde gevallen was het aantal inlichtingen beperkt in de *tijd*. Laten wij nu het geval nemen, waar men ook een beperkt aantal *amplituden* overdraagt. Toen de Heer Reeves deze weg insloeg, kwam hij vóór de laatste oorlog tot een reeks systemen, die nu blijken van groot belang te zijn.

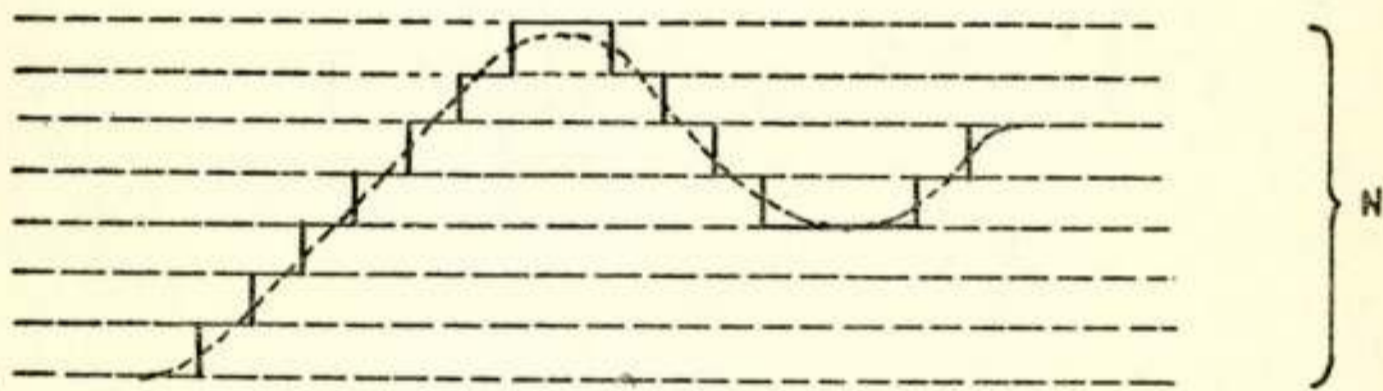


Fig. 7.

Gequantiseerd signaal. Men heeft N niveau's.

Berekeningen, bevestigd door proeven, hebben getoond, dat met een begrensd aantal verschillende niveau's (fig. 7) de vervorming der spraak nog een aannemelijke waarde kan hebben. Men heeft de volgende formule voorgesteld, die in procenten de vervorming D geeft in functie van het aantal niveau's N :

$$D = 1 / 1,22 N$$

Zo komt men tot 3,5% voor 32 niveau's 1,7% voor 64 en 0,8% voor 128. Teneinde nog een voldoende aantal niveau's te hebben voor zwakke stromen comprimeert men de spraakstroom (fig. 8). Indien A de maximum amplitude is van de gecomprimeerde stroom, zal het verschil tussen opeenvolgende niveau's $A/N - 1$ bedragen. Men geeft soms de naam „quantum” aan dit verschil. De overdraging kan dan geschieden met behulp van impulsen met een herhalingsfrequentie, die enigszins groter is dan tweemaal de

maximum spraakfrequentie en die N mogelijke amplituden kunnen hebben. Dit zou een „gequantiseerd” PAM systeem zijn.

Het belang van een begrensd aantal niveau's blijkt uit de mogelijkheid de invloed van het geruis te verminderen. Inderdaad als de topwaarde van het geruis kleiner is dan de helft van van het verschil tussen twee opvolgende niveau's dus kleiner dan $A/2(N - 1)$, is het bij de ontvanger mogelijk de verschillende niveau's te onderscheiden, d.w.z. het geruis volkomen uit te schakelen.

In werkelijkheid kunnen de toppen van het geruis iedere willekeurige waarde hebben, doch als we bijv. een topwaarde nemen gelijk aan 4,4 maal de effectieve waarde van de geruisspanning, dan is er slechts één kans op 100.000 dat de ogenblikkelijke waarde van de geruisspanning die topwaarde over-

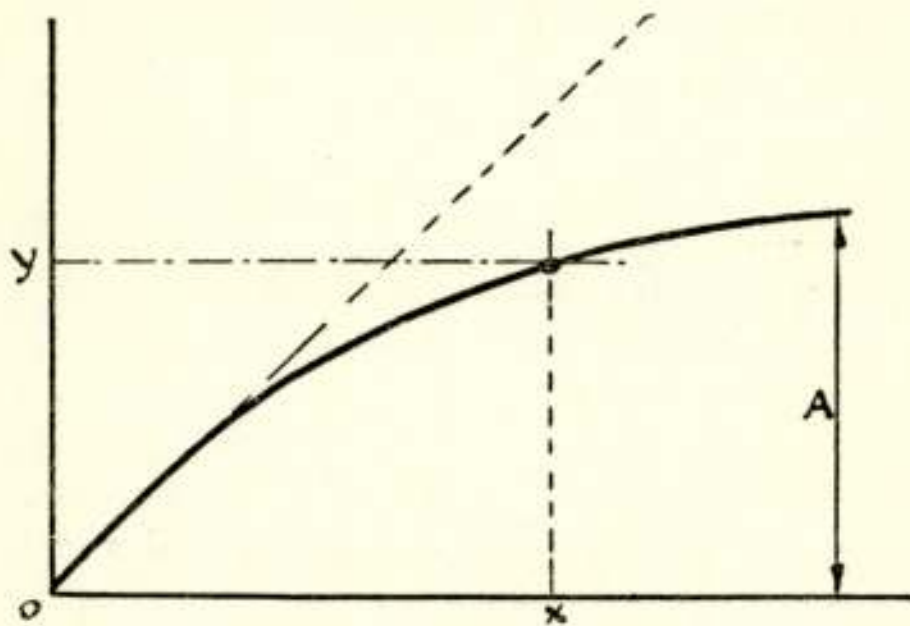


Fig. 8.

De kromme geeft de verhouding aan tussen de amplitude X bij de ingang en de amplitude Y bij de uitgang van een amplitude comprimeerder.

De maximum amplitude bij de uitgang is A .

schrijdt. Men kan dan aannemen, dat het nu en dan voorkomen van een kleine storing verwaarloosd kan worden. Voor geruis, dat meer de vorm van afzonderlijke impulsen heeft, zou de toestand iets ongunstiger zijn, doch dit soort geruis is in dit geval in mindere mate aanwezig.

Nu staan we echter voor een dilemma: indien we deze signalen tegen een tamelijk grote waarde van geruis willen beschutten, moeten we een klein aantal niveau's gebruiken, doch dan is de systematische vervorming groot.

Voor 64 niveau's kunnen we slechts dat geruis verwijderen, waarvan de topwaarde $A/2(N - 1) = A/126$, en dus de effectieve waarde $A/126 \times 4,4 = A/554,5$. De verhouding signaal/geruis moet dus gelijk zijn aan ongeveer 55 db, willen we alle geruis verwijderen bij de ontvangst.

Teneinde aan dit dilemma te ontkomen, kunnen we echter twee verbindingen gebruiken, elk met 8 niveau's. De gequantiseerde impulsen van de eerste verbinding geven dan informatie voor verschil in niveau van $A/8$ en die van de tweede voor verschil van $A/64$. De combinatie van de twee inlichtingen laat toe 64 niveau's te onderscheiden. In beide verbindingen gebruikt men natuurlijk hetzelfde vermogen.

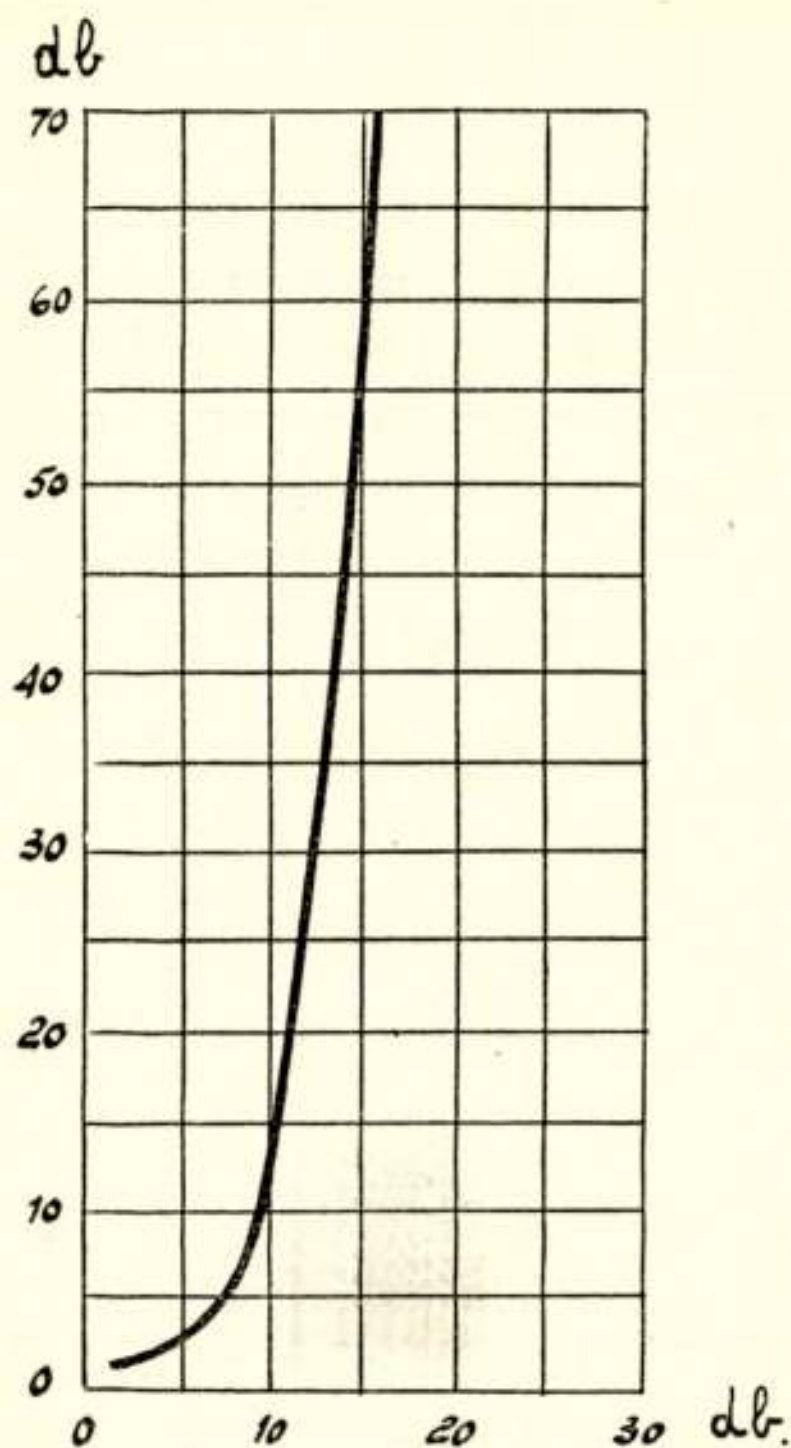


Fig. 9.

De kromme geeft, voor een PCM systeem, de verhouding aan tussen de verhouding signaal/geruis bij de uitgang van een ontvanger (abscis) en de verhouding signaal/geruis bij de ingang (ordinaat).

In elk dezer verbindingen mag het geruis nu $A/2(8-1) = A/14$, dus de effectieve waarde $A/14 \times 4,4 = A/61,6$ bedragen. De verhouding signaal/geruis is dan 61,6 of ongeveer 36 db. Er is dus een verbetering van ongeveer 19 db., doch het totaal vermogen is verdubbeld.

Zo zouden we drie verbindingen met elk 4 niveau's kunnen beschouwen, doch de grootste verbetering verkrijgen we met 6 verbindingen van 2 niveau's. De eerste voor 0 en $A/2$, de tweede

voor 0 en $A/4$, enz. De gemeenschappelijke ontvanger telt die opgaven op, zodat wij 64 niveau's kunnen onderscheiden.

De effectieve waarde van het geruis mag dan $A/2 \times 4,4 = A/8,8$ bedragen en de verhouding signaal/geruis 8,8 of ongeveer 19 *db*. Doch het totaal vermogen is 6 maal groter dan voor één verbinding.

Nu kunnen we een stap verder gaan en de impulsen der 6 verbindingen achtereenvolgens sturen over één enkele verbinding. Eigenlijk wordt elk der gequantiseerde stalen nu voorgesteld door een bijzondere combinatie van 6 elementaire signalen, die elk twee waarden kunnen hebben, 0 of maximum ¹⁾.

Dit is een stelsel met impuls-code-modulatie (PCM). In ons geval geeft het een verbetering van de verhouding signaal/geruis van $55 - 19 = 36$ *db* op een gequantiseerde PAM systeem, doch heeft een gemiddeld vermogen nodig, dat 6 maal groter is. Voor hetzelfde vermogen zouden we dus een verbetering van ongeveer 28 *db* hebben als we een topwaarde nemen van 4,4 maal de effectieve waarde van het geruis.

Berekeningen en proeven hebben getoond, dat het verband tussen de uit- en ingangs-verhouding signaal/geruis van een PCM ontvanger kan worden voorgesteld door de curve van fig. 9. Voor 15 *db*. „in” hebben we 60 *db*. „uit”.

Telkens als we 3 *db*. méér nemen aan de ingang, verdubbelen we bijna het aantal *db*'s aan de uitgang.

We hebben dus gezien hoe men op logische wijze van PAM overgaat tot gequantiseerde en code systemen.

Men zou hetzelfde kunnen doen voor de andere systemen, waar de impulsen gemoduleerd zijn in lengte, positie of frequentie.

We hebben gezien, dat impulssystemen toelaten, de invloed van het geruis te verminderen, doch dit gaat ten koste van de bandbreedte. We willen deze zaak nu onderzoeken.

Bandbreedte.

Het spreekt vanzelf, dat men in de impulsstelsels moet vermijden, dat naburige impulsen elkander zouden storen. In het geval van multiplex telefonie zou dit tot overspreken aanleiding geven en zou de mogelijke verbetering in de verhouding signaal/geruis verminderen. Om die storing te vermijden, kan men twee methoden onderscheiden:

¹⁾ Men weet, dat het aantal combinaties van n code elementen, die elk N waarden kunnen hebben, gelijk is aan N^n .

1. Opvolgende impulsen zijn voldoende gescheiden d.w.z. men voorziet een minimum beveiligingstijd tussen naburige impulsen (fig. 10).
2. De impulsen zijn dicht op elkander gepakt, doch men neemt de nodige voorzorgen, opdat de naburige impulsen door nul gaan op het ogenblik, dat men de gewenste amplitude meet. Dit wordt in de telegrafie toegepast.

De eerste methode moet gebruikt worden in geval de impulsen niet op regelmatige tijdstippen verzonden worden. Dit is het geval als men de lengte, de positie of de frequentie der impulsen moduleert.

Om een gedachte te hebben van de grootte-orde van de noodzakelijke frequentieband, kan men de empirische formule $F = 1/2 G$ gebruiken, waarin G de tijd van de impuls is om van 0 tot ongeveer de maximum waarde te stijgen. Men kan dus nagaan, dat in een systeem PPM het aantal kanalen, dat men

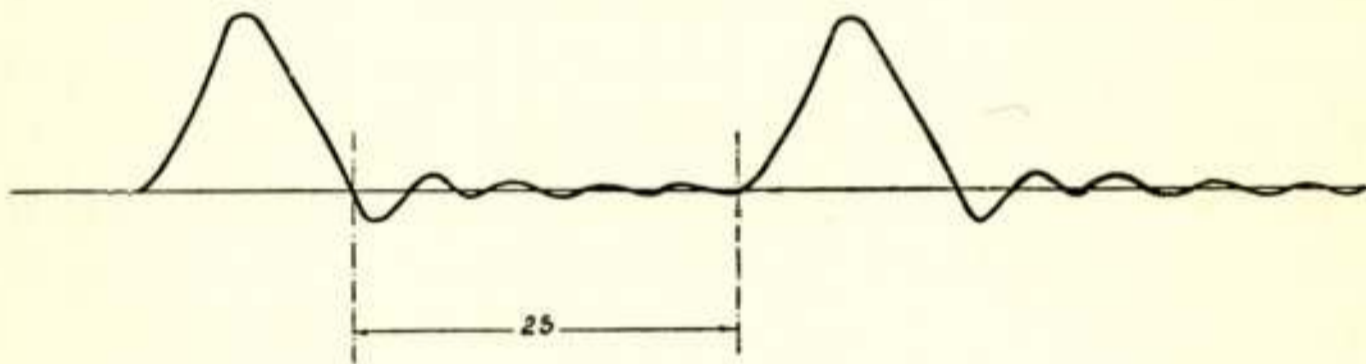


Fig. 10.

Twee naburige impulsen, gescheiden door een beveiligingstijd.

kan gebruiken voor een gegeven bandbreedte, zeer begrensd is.

Inderdaad, de herhalingsstijd is $1/2 kf$ en de tijd gebruikt voor één kanaal is $2(D + G + S)$, waar $\pm D$ de maximum verschuiving der impuls en $2S$ de beveiligingstijd is (fig. 6). Het aantal kanalen is dus $1/4 kf(D + G + S)$. Voor een totale bandbreedte van $F = 1/2G$, is de frequentieband per kanaal: $2kf(D + G + S)/G$.

Bij de systemen, waar de impulsen een vaste positie hebben en gemoduleerd zijn in amplitude (gequantiseerd, met of zonder code) kan men deze impulsen ook ver van elkander plaatsen, doch het is ook mogelijk de tweede bovenvermelde methode toe te passen.

De theorie der telegraaf-overdraging toont, dat men rechthoekige signalen van tijdsduur T met tussenpozen T kan sturen en slechts een frequentieband nodig heeft van $S = 1/2 T$ (zie Aanhangsel).

Deze signalen kunnen natuurlijk sterk vervormd zijn bij de ontvanger, doch men kan ze zonder vervorming terug krijgen door bijv. alleen rekening te houden met de amplitude in het midden der elementaire signalen, want men kan de verbinding zó berekenen, dat alle andere impulsen op dat ogenblik door nul gaan.

In de praktijk is het, tengevolge van de verzwakkings- en phasevervorming, nodig een bredere frequentieband te gebruiken. We kunnen dan schrijven $S = p/2T$, waarbij p ligt tussen 1 en 2. In geval men geen rechthoekige signalen stuurt, doch min of meer afgeronde impulsen, kan men in overeenstemming daarmee de karakteristieken van de verbinding berekenen, opdat zij nog zal voldoen aan de voorwaarden van het getrouw weergeven der signalen door de ontvanger. De daartoe vereiste toestellen en voorzorgen zullen des te ingewikkelder zijn naarmate men het theoretische minimum ($1/2T$) wil benaderen. Indien men een zekere vervorming toelaat, vermindert de beveiliging tegen het geruis.

We hebben gezien, dat voor de overdraging der spraak $2kf$ impulsen per seconde nodig zijn. De bandbreedte van een dergelijk stelsel met ineenlopende impulsen is dus $p/2T = 2pkf/2 = pkf$.

Theoretisch zou een band f voldoende zijn, praktisch moet men wat meer rekenen en zal de waarde niet ver van $2f$ verwijderd zijn.

Voor een code van n elementaire signalen heeft men n maal meer impulsen nodig, de bandbreedte is dan $pknf$.

Natuurlijk moet steeds met n_c , het aantal kanalen, vermenigvuldigd worden.

Laten wij nu het aantal kanalen van een code systeem berekenen. Het maximum der frequentie hangt af van de kortste duur, die men kan aannemen voor de tijd, waarop de impuls van 0 tot haar maximum waarde stijgt. Met de hedendaagse middelen kan men op een tijd van 0,1 microseconde rekenen. Hiermee stemt overeen een frequentieband van ongeveer 5 Mc/s, die dus gelijk is aan $2 \cdot n \cdot n_c \cdot 3400$ als we de waarde van 2 aannemen voor het product pk . We krijgen dan:

Aantal code signalen n	Aantal kanalen n_c
5	147
6	122
7	105

Het is waarschijnlijk mogelijk in de toekomst nog kortere impulsen op te wekken en dan meerdere honderden kanalen te verkrijgen.

Het is van groot belang niet te vergeten, dat bovenvermelde resultaten alleen verkregen kunnen worden als men aan de volgende voorwaarden voldoet:

1. Uitgezonden impulsen van exact bepaalde vorm
2. Verzwakkings- en fasekarakteristieken exact bepaald voor de gehele verbinding
3. Geen amplitude vervorming der signalen, zelfs niet voor 1,6 maal de maximum amplitude der afzonderlijke impulsen
4. Detectie der signalen onder exact bepaalde voorwaarden, b.v. op vaste ogenblikken (nauw synchronisme in frequentie en phase).

Alles wat wij hierboven gezegd hebben over de bandbreedte is slechts dan juist, indien de impulsen rechtstreeks overgedragen worden over een draad. In vele gevallen moet men gebruik maken van een draaggolf en dan is de bandbreedte natuurlijk verdubbeld, uitgezonderd indien men bijzondere inrichtingen aanwendt, zoals bijv. met phase onderscheid (wat toelaat twee gesprekken met dezelfde frequentieband over te dragen) of met gebruik van een enkele zijband. In dit laatste geval moet men een phase correctie toepassen op de zijkanten van de overgedragen frequentieband.

Indeling der voornaamste telecommunicatie stelsels.

Wij zullen meer in het bijzonder spreken over telefonie. In geval van meerdere kanalen zijn er twee hoofdmethoden:

1. Verdeling der kanalen in frequentie (draagstroomstelsels)
2. Verdeling der kanalen in de tijd (impuls stelsels)

In dit laatste geval kunnen de impulsen gemoduleerd zijn in amplitude, lengte, positie of frequentie. In elk dezer gevallen kan men slechts rekening houden met een begrensd aantal amplitude waarden (quantisatie) en men kan dan gebruik maken van een code met één of meer elementaire signalen.

In alle vermelde gevallen kunnen de signalen rechtstreeks per draad overgedragen worden ofwel een draaggolf moduleren.

Deze modulatie kan gebeuren in amplitude of frequentie. Een bijzonder geval dezer laatste methode is de phase-modulatie.

Het bovenstaande kan in de vorm ener tabel voorgesteld worden. We hebben de impuls modulatie in lengte en frequen-

tie weggelaten, daar ze geen bijzondere verdiensten schijnen te hebben.

Er zijn natuurlijk nog andere stelsels, waarover we hier niet zullen spreken. Eén dezer heeft iets gemeen met het PCM systeem, doch gebruikt een eenvoudiger inrichting voor het coderen en het dé-coderen.

Voornaamste telecommunicatie stelsels.

(met bijzondere verwijzing naar de multiplex telefonie)

Aard van het modulerend signaal		Zonder draaggolf	Met draaggolf		
			Aard der modulatie		
			Amplitude (AM)	Frequentie (FM)	
1. Kanalen verdeeld in frequentie*) (draagstroomtelefonie)		V	V-AM	V-FM	
2. Kanalen verdeeld in de tijd (impulstelefonie)					
Modulatie der impulsen	Aantal code-signalen				
Amplitude	niet gequant.	0	PAM	PAM-AM	PAM-FM
	gequantis	$\begin{cases} 1 \\ n \end{cases}$	$\begin{matrix} x \\ \text{PCM} \end{matrix}$	$\begin{matrix} x \\ \text{PCM-AM} \end{matrix}$	$\begin{matrix} x \\ \text{PCM-FM} \end{matrix}$
Positie	niet gequant.	0	PPM	PPM-AM	x
	gequantis.	$\begin{cases} 1 \\ n \end{cases}$	$\begin{matrix} x \\ x \end{matrix}$	$\begin{matrix} x \\ x \end{matrix}$	$\begin{matrix} x \\ x \end{matrix}$

*) In het geval van overdraging met draaggolf hebben we de stelsels voorgesteld door een symbool, bestaande uit :

1. het symbool van de signalen, die de draaggolf moduleren
2. het symbool van de aard der modulatie v. d. draaggolf.

We hebben alleen de multiplex stelsels aangeduid, die nu gebruikt worden. Door *V* hebben we een reeks spraakfrequentiebanden voorgesteld, verdeeld in frequentie.

Het is nodig een nieuwe serie symbolen te normaliseren voor internationaal gebruik.

Elk stelsel kan onderzocht worden op: bandbreedte, verbetering van de verhouding signaal/geruis, overspreken, vervorming, enz.

De verbetering van de verhouding signaal/geruis kan door de volgende middelen verkregen worden:

1. Quantisatie van de spraakstroom (1 of n code signalen).
2. Impulsen van constante amplitude, doch veranderlijke lengte, frequentie of positie.
3. Frequentie modulatie van een draaggolf.

De combinaties dezer 3 middelen geven natuurlijk nog een grotere verbetering.

Het gebruik van impulsen van constante amplitude, doch met veranderlijke lengte, frequentie of positie heeft het nadeel, dat deze impulsen zich niet op exact bepaalde ogenblikken voordoen. Om het overspreken tussen kanalen te vermijden, moet men dan een beveiligingstijd voorzien, wat een vergroting der bandbreedte tot gevolg heeft. De stelsels met gelijkmatige tijdsruimte gebruiken dan ook gewoonlijk een kleinere bandbreedte.

Laten wij nu nog nader die stelsels met elkander vergelijken.

Vergroting der bandbreedte

Modulerende signalen:	Aard van modulatie van de draaggolf:	Theoretische coëfficiënt:	Praktische coëfficiënt:	Opmerkingen:
Spraakfreq. V	AM	1	1,2	De coëf. 1,2 (4000/3400) voor filtreren
Spraakfreq. V PAM	FM AM	$m + 1$ 1	1,2 ($m + 1$) $p \cdot k$	m = modulatie index p = voor overspreken te vermijden k = herh. freq. /2 maal max. spraakfreq.
PPM	AM	$2 \left(\frac{D}{G} + 1 \right)$	$2 \left(\frac{D + S}{G} + 1 \right) k$	G = tijd van 0 tot max. $\pm D$ verschuiving $2S$ = beveiliging
PCM	AM	n	$n \cdot p \cdot k$	n = aantal code signalen.

Vergelijking tussen de voornaamste telefoonstelsels.

1. *Bandbreedte.*

We zullen als eenheid van bandbreedte die nemen van het stelsel, waar een spraakband een draaggolf in amplitude moduleert en waar de twee zijbanden worden overgedragen. We veronderstellen, dat alle systemen gebruik maken van een draaggolf en twee zijbanden.

Ook spreekt het vanzelf, dat we altijd hetzelfde aantal kanalen veronderstellen.

Men kan dan aantonen, dat de coëfficiënten der voorgaande tabel een indruk geven van de vergroting der bandbreedte in verschillende stelsels.

Zoals we reeds zagen, is p begrepen tussen 1 en 2 als de verbinding de vereiste karakteristieken heeft. Indien men een beveiligingstijd voorziet tussen de impulsen van het PAM-systeem zou p veel groter zijn.

De coëfficiënt k houdt rekening met het feit, dat de herhalingsfrequentie groter is dan 2 maal de maximum spraakfrequentie. Zijn waarde is ongeveer 1,2 als men 8000 c/s aanneemt voor de herhalingsfrequentie.

In het stelsel met positie-gemoduleerde impulsen (PPM) is een beveiligingstijd volstrekt nodig tussen naburige impulsen, ten einde overspreken te vermijden. In een der praktisch uitgevoerde inrichtingen is de vergroting ongeveer 30 (t.o.v. 2×3400 c/s.).

In de code stelsels is de vergrotingscoëfficiënt praktisch ongeveer 2 maal het aantal code signalen (t.o.v. 2×3400 c/s.) als de verbinding aan de gestelde eisen voldoet.

Daar de tabel slechts de orde van grootte aangeeft, heeft men voor de impulsstelsels geen rekening gehouden met de synchronisatie signalen.

2. *Geruis.*

We veronderstellen, dat het gemiddelde vermogen van de zender overal dezelfde waarde heeft en dat de draagfrequentie nagenoeg dezelfde is. De uitslagen zouden enigszins verschillen, indien we hetzelfde topvermogen namen. We beschouwen alleen het min of meer gelijkmatig geruis en veronderstellen, dat de verhouding signaal/geruis steeds een tamelijk grote waarde heeft, zodat de „amplitudefilters” signalen en geruis goed kunnen scheiden. Men kan aantonen, dat onder deze omstandigheden

de verbetering der verhouding signaal/geruis aan de uitgang van de ontvanger ten opzichte van de verhouding signaal/geruis van een stelsel met amplitude modulerende spraakstroom (twee zijbanden) van de volgende grootte-orde is:

Verbetering van de verhouding signaal/geruis

Modulerende signalen:	Aard van modulatie van de draaggolf:	Theoretische coëfficiënt:	Opmerkingen:
Spraakfreq. V	AM	1	
Spraakfreq. V	FM	$m\sqrt{3}$	$m =$ modulatie index (freq.)
Spraakfreq. V	Phase	m	$m =$ modulatie index (phase)
PAM	AM	1	
PPM	AM	$\frac{D}{G}$	$G =$ tijd van 0 tot max.; $\pm D =$ verschuiving

Als men de twee bovenstaande tabellen vergelijkt, dan ziet men, dat de verbetering van de verhouding signaal/geruis ongeveer evenredig is aan de vergroting van de bandbreedte, uitgezonderd voor het PCM stelsel.

Om het stelsel met frequentie modulatie door spraakstroom ($V-FM$) te vergelijken met het stelsel, waarbij in positie gemoduleerde impulsen een draaggolf in amplitude moduleren (PPM-AM) is het voldoende te veronderstellen, dat beide dezelfde totale band gebruiken. Men heeft dus theoretisch ongeveer $m = 2D/G$. Men ziet dan onmiddellijk, dat het eerste stelsel de verhouding signaal/geruis iets meer verbetert. Met de praktische vergroting der bandbreedte is dit voordeel nog groter. In geval van multiplex systemen is bij frequentie modulatie de verbetering der verhouding signaal/geruis groter voor de lage frequenties. Het is dan te verkiezen de draaggolf naar phase te moduleren in plaats van naar frequentie. Doch dit vermindert de verbetering iets. Men moet er ook rekening mee houden, dat de modulatie index niet zeer groot genomen mag worden, terwijl er een dergelijke grens niet is voor een impulssysteem, mits het aantal kanalen niet te groot is.

We hebben reeds gezien, dat in een code stelsel het geruis praktisch vermeden kan worden. Wat er van overblijft is alleen nu en dan een klik. Men moet dus voorzichtig zijn als men de verhoudingen signaal/geruis van verschillende stelsels met elkander vergelijkt, want dezelfde waarden hebben niet steeds dezelfde fysieke betekenis.

Om duidelijk het voordeel der code systemen te doen uitkomen, voor wat betreft de verbetering der verhouding signaal/geruis kan men zowel de curve van fig. 9 als de gelijkmatige verbetering (van bijv. 20 db) van een der andere stelsels, zoals in fig. 11, weergeven. Wil men een grote verhouding aan de uitgang, dan kan men een veel kleinere aannemen bij de ingang van een stelsel met code. Hieruit volgt, dat men gebruik kan maken van een zender met kleiner vermogen.

Het feit, dat het geruis nagenoeg geheel vermeden wordt, is

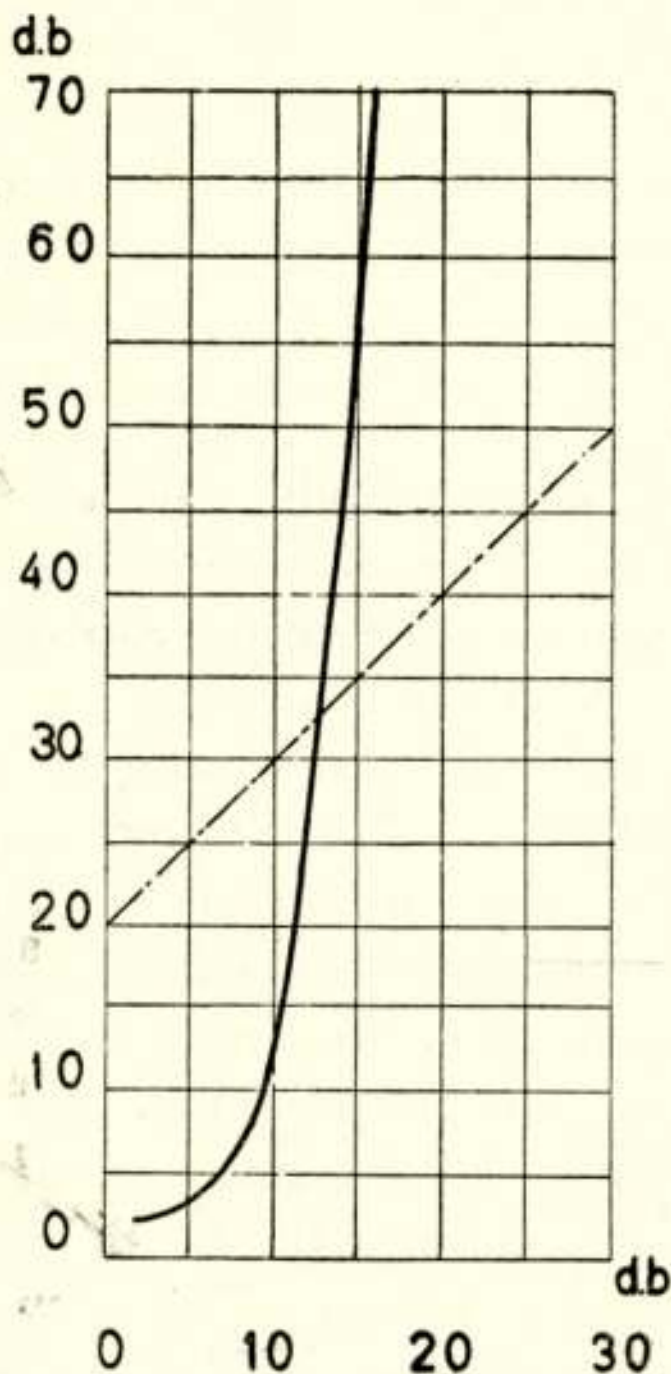


Fig. 11.

Zelfde kromme als in fig. 9, die de verbetering aangeeft van de verhouding signaal/geruis bij de uitgang van een PCM ontvanger, en voor vergelijking, in stippellijn, de constante verbetering (van b.v. 20 db) van een ander systeem (b.v. PPM).

van groot belang voor de zeer lange verbindigen, die een groot aantal versterkers in serie gebruiken. Het is dan niet meer nodig het totale geruis aan de ontvanger te verdelen over de verschillende versterker secties. Elk dezer mag nu ongeveer het maximale geruisniveau hebben.

Tussen de mogelijke combinaties, aangegeven in onze tabel der bijzondere stelsels, kan men de aandacht vestigen op het

geval, waar amplitude gemoduleerde impulsen een draaggolf in frequentie moduleren (PAM-FM). Het onderzoek van dit systeem is nog al ingewikkeld, doch men kan bepalen, dat voor dezelfde frequentieband en dezelfde verbetering der verhouding signaal/geruis, het mogelijk is meer kanalen te hebben dan in het geval, waar in positie gemoduleerde impulsen de draaggolf in amplitude moduleren (PPM-AM).

3. *Overspreken.*

Bij de impulsstelsels komt het overspreken gewoonlijk niet van niet-lineaire delen der verbinding, doch van de interferenties tussen naburige impulsen. Men vermijdt ze, zoals reeds gezegd, door het gebruik van een beveiligingstijd; ofwel, in het geval van impulsen met vaste tijdspositie, door een juiste keuze der overdragingskarakteristieken der volledige verbinding, wat dan toelaat de modulerende frequentieband te begrenzen tot minder dan tweemaal de spraakband, vermenigvuldigd met het aantal code signalen.

Als men een kabel gebruikt, moet men ook rekening houden met de onregelmatigheden in de impedantie. Dit probleem is uitvoerig onderzocht. Men kan in het kort zeggen, dat het totaal effect dezer onregelmatigheden hierin bestaat, dat elke impuls gevolgd is door twee slepen, de eerste van geringe amplitude doch lange duur, de andere veel sterker doch van korte duur. Hieruit volgt, dat als men de ruimte tussen twee opvolgende impulsen vermindert, het overspreken, veroorzaakt door de impedantie-onregelmatigheden eerst langzamerhand stijgt en dan zeer snel. Het effect dier onregelmatigheden vermindert natuurlijk de hoeveelheid geruis, die men anders zou mogen toelaten, ofwel vergroot de frequentieband.

4. *Algemene vergelijking.*

Wij willen eerst de voordelen van de impulsstelsels ten opzichte van de draaggolf stelsels (zonder frequentie modulatie) nog even in herinnering brengen:

1. Verbetering van de verhouding signaal/geruis
2. Beter rendement van de zender ten gevolge van de meer constante belasting (ten minste bij sommige stelsels)
3. Constant ontvangst-niveau zonder ingewikkelde regeling
4. Gemak van aftakken der kanalen in tussenstations
5. Eenvoudige signaleerinrichtingen
6. Eenvoudige versterkers (ten minste in sommige stelsels)

7. Mogelijk gebruik van niet-lineaire delen in een multiplex systeem
8. Het voortbrengen van impulsen is goed aangepast aan de decimeter en centimeter golven.

Andere voordelen, vooral van belang voor de legeruitrustingen, zijn: het geheim der overdraging en de mogelijkheid ener snelle productie van inrichtingen die meestal gewone radio onderdelen gebruiken.

De prijs, die men voor dergelijke voordelen moet betalen, is de grotere bandbreedte. Men moet er echter op letten, dat voor verbindingen met decimeter en centimeter golven, die meestal in aanmerking komen, hetzij met gerichte straalbundel, hetzij met golven, die door een diëlectrisch midden worden geleid, het van geen nut is zeer nauwe frequentiebanden te gebruiken. Het gebrek aan stabiliteit in de frequentie van de draaggolf, die van de grootte-orde van 0,01 % is, heeft tot gevolg, dat men in elk geval een grote bandbreedte nodig heeft. Het is dus redelijk modulatie methoden te gebruiken, die ook een bredere band gebruiken dan strikt noodzakelijk en daarbij zekere voordelen bieden.

Daar de verbindingen met gerichte golven nagenoeg van elkander gescheiden zijn, kan men voor elke verbinding over de gehele bandbreedte beschikken en in het algemeen genomen kan men dus zeer brede banden gebruiken voor de telefonie.

Niets duidt er op, dat de impulsstelsels alle andere zullen vervangen, doch er bestaat geen twijfel, dat ze van het grootste belang zijn, vooral in de wellicht naaste toekomst, waar verbindingen door radio of golfleiders meer algemeen gebruikt zullen worden voor multiplex telefonie. Het eigenlijke probleem is: trachten na te gaan in welk domein de verschillende stelsels het meest voordelig zijn. We willen nu de systemen in dit opzicht onderzoeken, alleen rekening houdende met telefonie.

We zullen afzonderlijk de overdraging door radio en draad nagaan.

A. Radio.

Twee gevallen kunnen worden onderscheiden:

1. Aan beide uiteinden heeft men spraakstromen.
2. Het gaat over een radioschakel in een draagstroomsysteem, waar de kanalen dus reeds in frequentie verdeeld zijn.

In het algemeen zullen lange verbindingen vele kanalen hebben (bijv. meer dan 48). Voor het gemiddelde verkeer kunnen wij 8 tot 48 kanalen nemen, gewoonlijk van gemiddelde lengte.

Voor een gering aantal kanalen (1 tot 8 bijv.) zal de afstand in de meeste gevallen kort zijn.

Voor de grote afstanden is de prijs der einduitrustingen van geen groot belang en men moet de accumulatie van geruis en van vervorming door de versterkers vermijden. De combinatie PCM-AM of PCM-FM is dan aangewezen.

Voor gemiddelde en korte afstanden speelt de prijs der eindstations een grote rol en is het geruis- en vervormingsprobleem niet zo moeilijk op te lossen. Men kan dan de combinaties PAM-FM en PPM-AM aanvaarden als men aan beide uiteinden spraakstromen heeft en het stelsel V-FM als het een schakel betreft in een draagstroominrichting.

Elk geval moet natuurlijk in het bijzonder worden onderzocht.

Indien de verbinding ook voor televisie gebruikt wordt, zal men aan de frequentie modulatie de voorkeur geven. In de toekomst zal veel afhangen van de prijs en de werking der apparaten. Indien het coderen en décoderen op eenvoudige wijze kan geschieden, is het mogelijk, dat de *PCM* stelsels ook voor gemiddelde afstanden gebruikt zullen worden. Zelfs voor korte verbindingen kunnen ze in aanmerking komen als het geheim der gesprekken van overwegend belang is.

Indien men over lineaire versterkers beschikt voor stelsels met in frequentie verdeelde kanalen kan de combinatie V-FM dikwijls worden toegepast.

De volgende tabel omvat de voornaamste conclusies:

Radio

	Aard der eindcircuits	
	Spraakfrequentie	Draagstroom
Méer dan 48 kanalen, grote afstand	PCM - AM	PCM - AM
8 tot 48 kanalen, gemiddelde afstand	PAM - FM	V - FM
	PPM - AM	
1 tot 8 kanalen, korte afstand	PPM - AM	V - FM

B. Draad overdraging

Het PAM stelsel is soms aangewezen voor zeer korte afstanden als men geen geruis heeft, omdat men met een eenvoudige inrichting een multiplex verbinding kan verkrijgen.

Een gequantiseerd PAM stelsel, of een PCM stelsel met

klein aantal code signalen, kan van belang zijn, omdat men geen grote bandbreedte nodig heeft en men het voordeel heeft op eenvoudige wijze kanalen af te kunnen takken en in te lassen en dat de niveaustabilisering en signalisatie eenvoudig is. Het niet accumuleren van geruis en vervorming kan ook belangrijk zijn. Niettegenstaande de bandbreedte groter is dan bij draagstroomstelsels (met frequentieverdeling) is de afstand tussen versterkers niet veel groter, want men kan veel grotere verzwakkingen toelaten.

De mogelijkheid op eenvoudige wijze kanalen af te takken, veroorlooft een coaxiale kabel met PCM stelsel te beschouwen als overeen te komen met een kabel, samengesteld uit een coaxiale lijn en meerdere paren draden, zoals gebruikt voor draagstroomtelefonie.

Indien men reeds gebruik maakt van radio verbindingen met tijdsverdeling der kanalen zou er een reden te meer zijn om op sommige kabels, die er mee in verbinding staan ook een dergelijk stelsel te gebruiken, ter wille van een gelijksoortige uitrusting.

Keuze tussen radio en draadverbinding.

Deze vraag maakt eigenlijk geen deel van ons onderwerp uit en we merken dan ook slechts het volgende op:

1. Als men weinig kanalen gebruikt, kunnen radio inrichtingen met impulsstelsels zeer voordelig zijn als het moeilijk of onmogelijk is een kabel of luchtleiding te installeren.
2. Voor een groot aantal kanalen zal de verbinding gewoonlijk moeten voldoen aan de voorstellen van de C. C. I. F. voor wat betreft geruis, vervorming, overspreken, stabiliteit, enz. Dit schijnt nu mogelijk te zijn met het PCM stelsel.

Een radioverbinding kan goedkoper zijn en minder staal, koper, lood en andere grondstoffen vragen, indien de radio versterkers geen kabels nodig hebben voor kracht en signalisatie, die langs nog aan te leggen dure wegen moeten worden gelegd. Elk geval moet daarom afzonderlijk worden onderzocht.

Onderdelen der impulsstelsels.

1. Distributeurs.

De impulsen der verschillende kanalen moeten verdeeld worden in de tijd vóór ze naar de gemeenschappelijke verbinding gestuurd worden. Daar de herhalingsfrequentie van elk telefoon-

kanaal van de grootte-orde van 8000 c/s is, gebruikt men electronische distributeurs. We willen enkele voorbeelden van dergelijke verdelers geven.

1.1 *Gebruik van een vertragingleiding.*

Een generator levert impulsen aan een der uiteinden van een kunstleiding, waarvan de voortplantingssnelheid klein is en die een totale vertraging geeft gelijk aan de herhalingsperiode.

Een reeks aftakkingen levert impulsen, die gebruikt worden

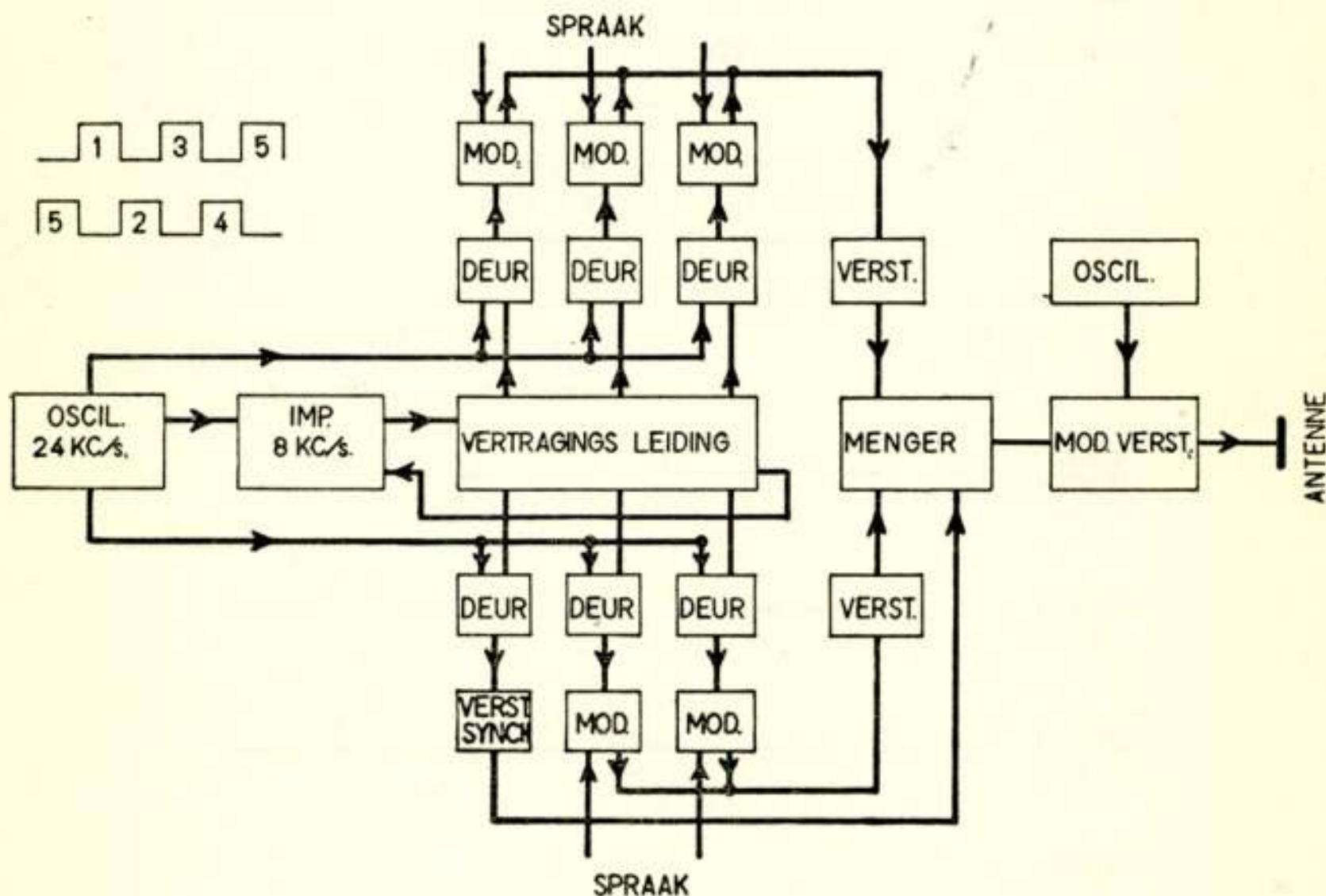


Fig. 12.

Schema van een distributeur met vertragingleiding.

om electronische „deuren” te openen, waardoor impulsen van exact bepaalde vorm en tijdspositie kunnen gaan, geleverd door een generator. Fig. 12 toont een dergelijke inrichting.

1.2 *Cathode straal buis (Cyclofoon).*

Een bundel electronen tast een reeks electroden af, die verbonden zijn aan de verschillende leidingen der kanalen. Als men „dynodes” gebruikt, dat zijn electroden met secundaire emissie, kan men sterkere stromen verkrijgen en stroomkringen, die onafhankelijk van de electronen-

bundel zijn. Fig. 13 is een afbeelding van een cyclofoon.

1.3 *Multivibrators.*

Men gebruikt een multivibrator per kanaal. Ze werken in synchronisme en brengen signalen voort, die alle op

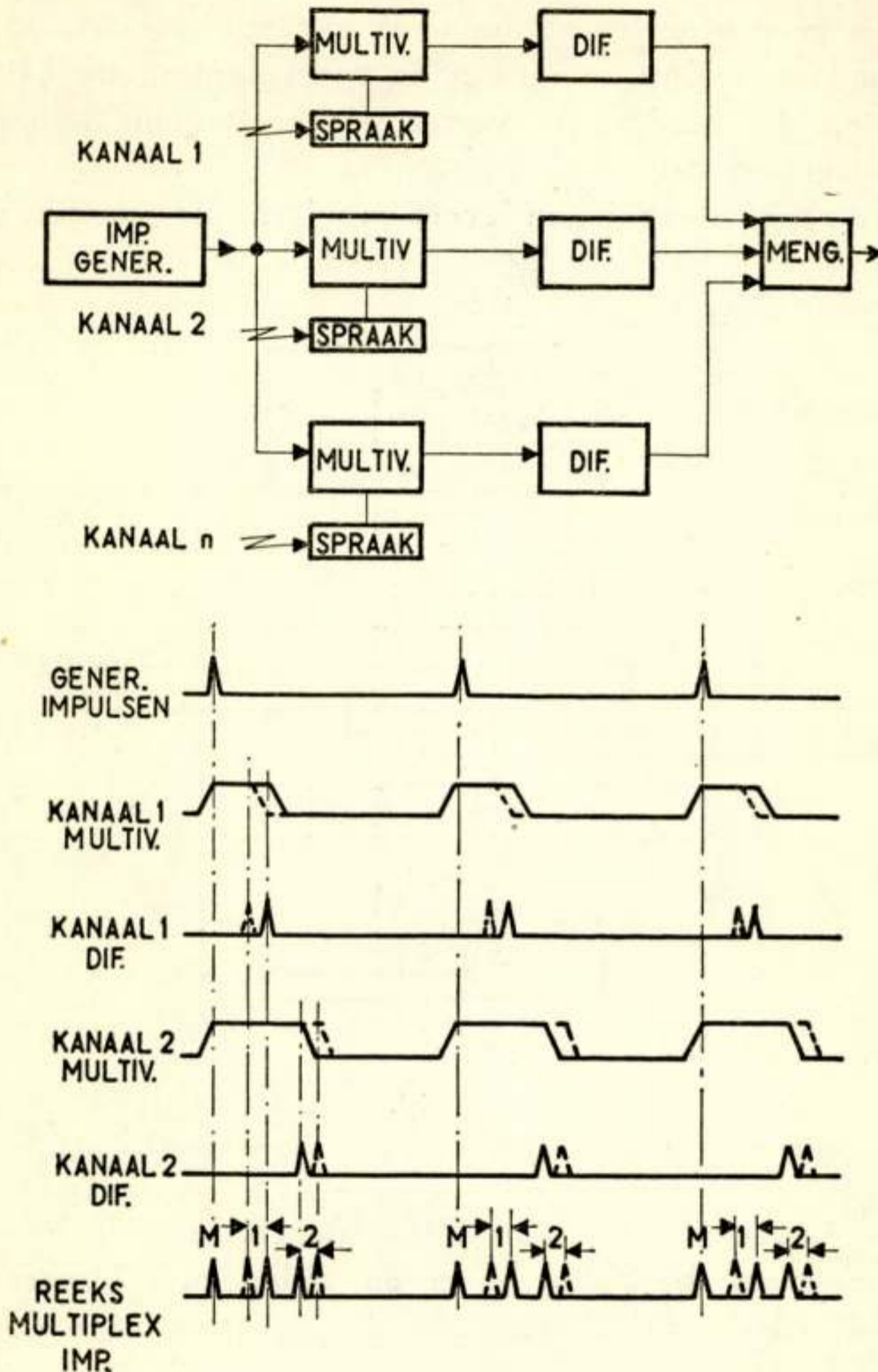


Fig. 14.

Distributeur en modulatie met multivibrators. De multivibrators der verschillende kanalen brengen signalen voort, die alle op hetzelfde ogenblik beginnen, doch eindigen op de tijdsposities der verschillende kanalen. Het einde dier signalen geeft, door differentiëring, een korte impuls. Haar tijdspositie wordt gemoduleerd door de spreekstroom, door de lengte dier signalen te veranderen. De gestippelde lijnen geven de posities aan voor verschillende modulaties.

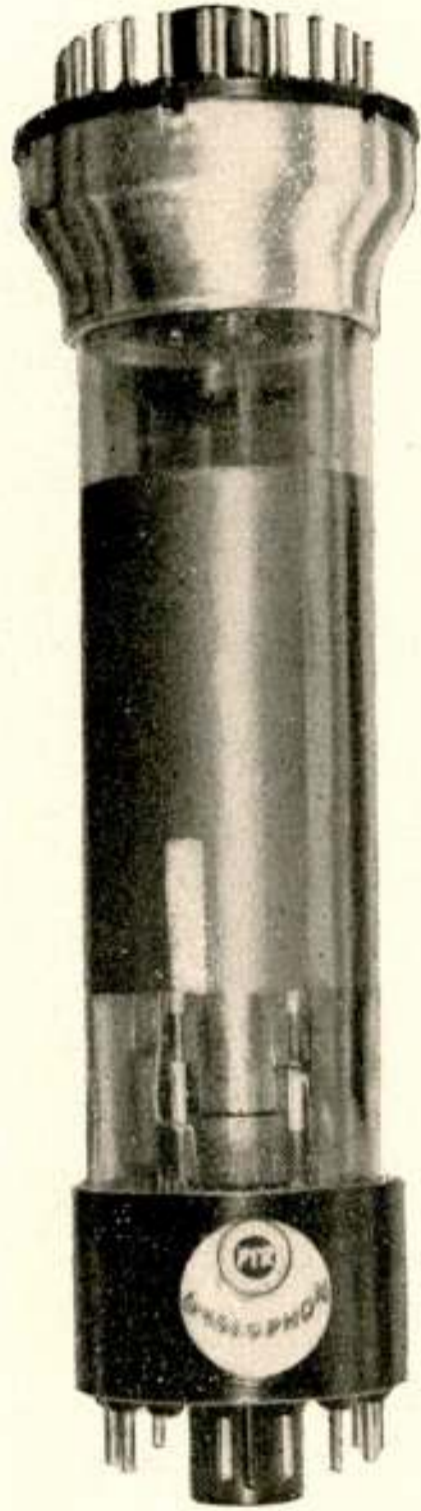


Fig. 13.
Cathode-straal-distributeur (Cyclofoon). De uitgaande signalen worden verkregen aan de klemmen ter rechterzijde.

hetzelfde ogenblik beginnen, doch eindigen op de tijdsposities der verschillende kanalen. Het einde dier signalen kan dus gebruikt worden om impulsen voort te brengen op de vereiste tijdstippen. Zie fig. 14.

1.4 *Phase-verschuivers.*

Een sinusoidale stroom (herhalingsfrequentie) wordt voor elk kanaal over een bepaalde hoek verschoven. Een impuls kan voortgebracht worden bijv. op het ogenblik, dat die stroom door nul gaat. De phaseverschuiver kan een polyphase transformator zijn of bestaan uit een reeks circuits. Deze laatste oplossing wordt door fig. 15 getoond.

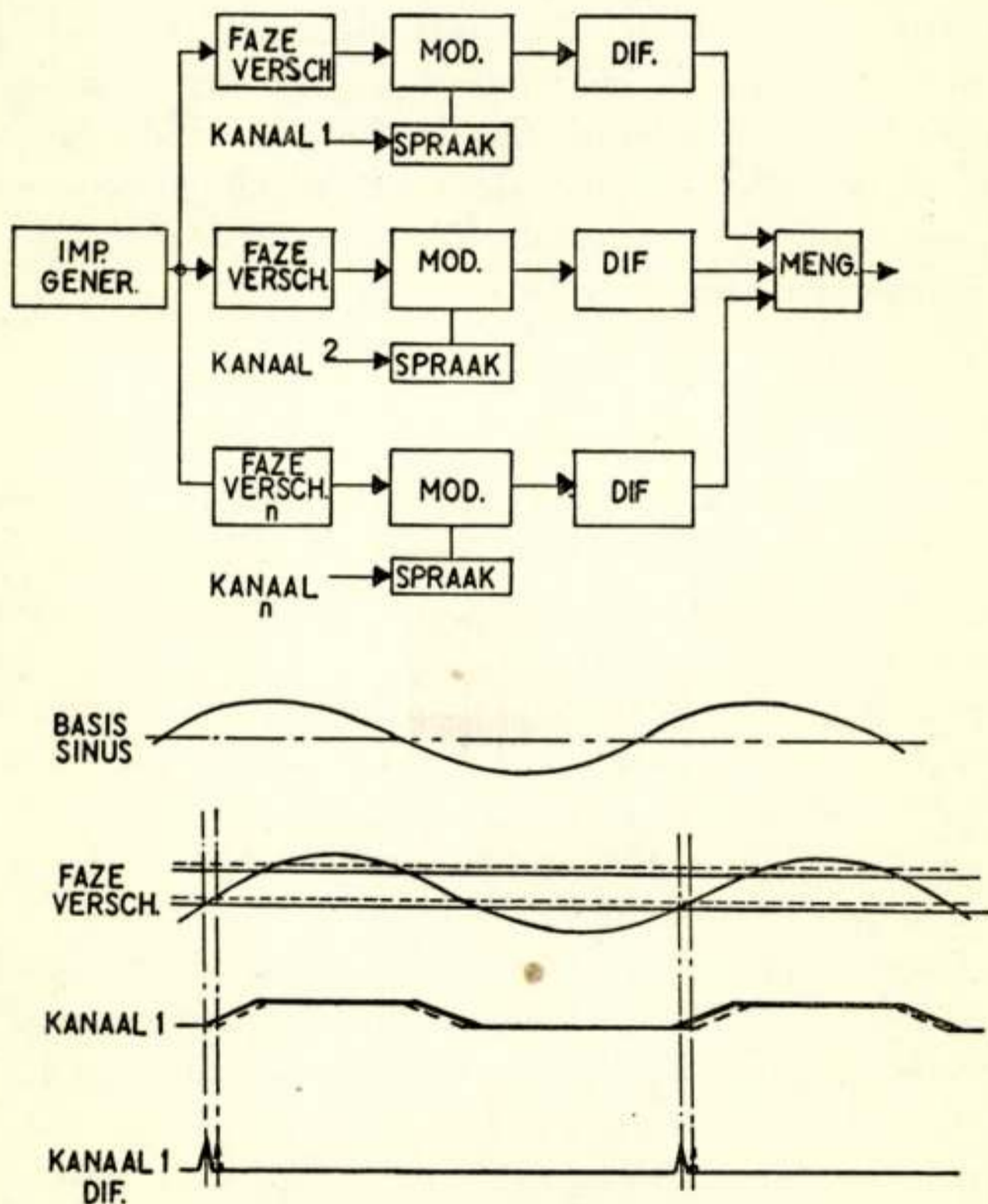


Fig. 15.

Distributeur en modulatie met phase-verschuiving. De sinusoidale wordt voor elk kanaal over een bepaalde hoek verschoven. Men snijdt een horizontale moot uit van veranderlijk niveau, volgens de amplitude van de spreekstroom (horizontale lijnen). Door differentiëring van het begin dezer moot, verkrijgt men een impuls die naar de tijdspositie gemoduleerd is.

Synchronisme.

Om de twee eindrichtingen in synchronisme te houden, zendt men, elke herhalingsperiode, een bijzonder signaal, zoals in fig. 3 getoond. Dit signaal wordt van de andere gescheiden bij de ontvangst en bestuurt bijv. de oscillator, die impulsen stuurt aan de locale distributeur.

2. *Modulatoren.*

Door middel van een dezer distributeurs kan men dus, elke herhalingsperiode, impulsen voortbrengen, die de vereiste tijdspositie hebben voor de verschillende kanalen.

Deze impulsen worden bijv. voortgebracht door een differentiëring van het begin of het einde van een trapezevormig signaal en ze worden gemoduleerd (in de tijd) door de lengte dier signalen te veranderen ofwel door het afsnijden van een horizontale moot uit een onveranderlijk trapezevormig signaal. Dit wordt voorgesteld door fig. 14 en 15.

3. *Démodulatoren.*

De kanaalimpulsen worden door de ontvangst distributeur gericht naar de respectievelijke démodulatoren door het „openen” van een electronische „deur” op het gewenste ogenblik, zodat de inkomende impuls kan doorgaan.

Als men bij deze, in de tijd verschoven, impulsen vaste impulsen met schuine zijkant voegt, kan men impulsen van veranderlijke amplitude voortbrengen. Deze impulsen gaan dan door een laag-doorlaat-filter en brengen de oorspronkelijke stroom weer voort. Zie fig. 16.

In het geval van de cyclofoon kunnen de distributie en démodulatie tegelijkertijd geschieden. De electronen-straal is uitgedoofd als er geen impulsen ontvangen worden en de plaats, welke door de electronen worden getroffen, hangt dus af van de tijdspositie der impulsen. Als de positie modulatie der impulsen nul is, treft de straal de dynode slechts gedurende de helft van haar bestaan, zoals in fig. 17 getoond. Voor een positieve of negatieve modulatie treft de straal die electrode gedurende een langere of kortere tijd. Zo vormen zich amplitude-gemoduleerde impulsen in de kanaal-circuits en men kan door filtering de oorspronkelijke stroom terugkrijgen.

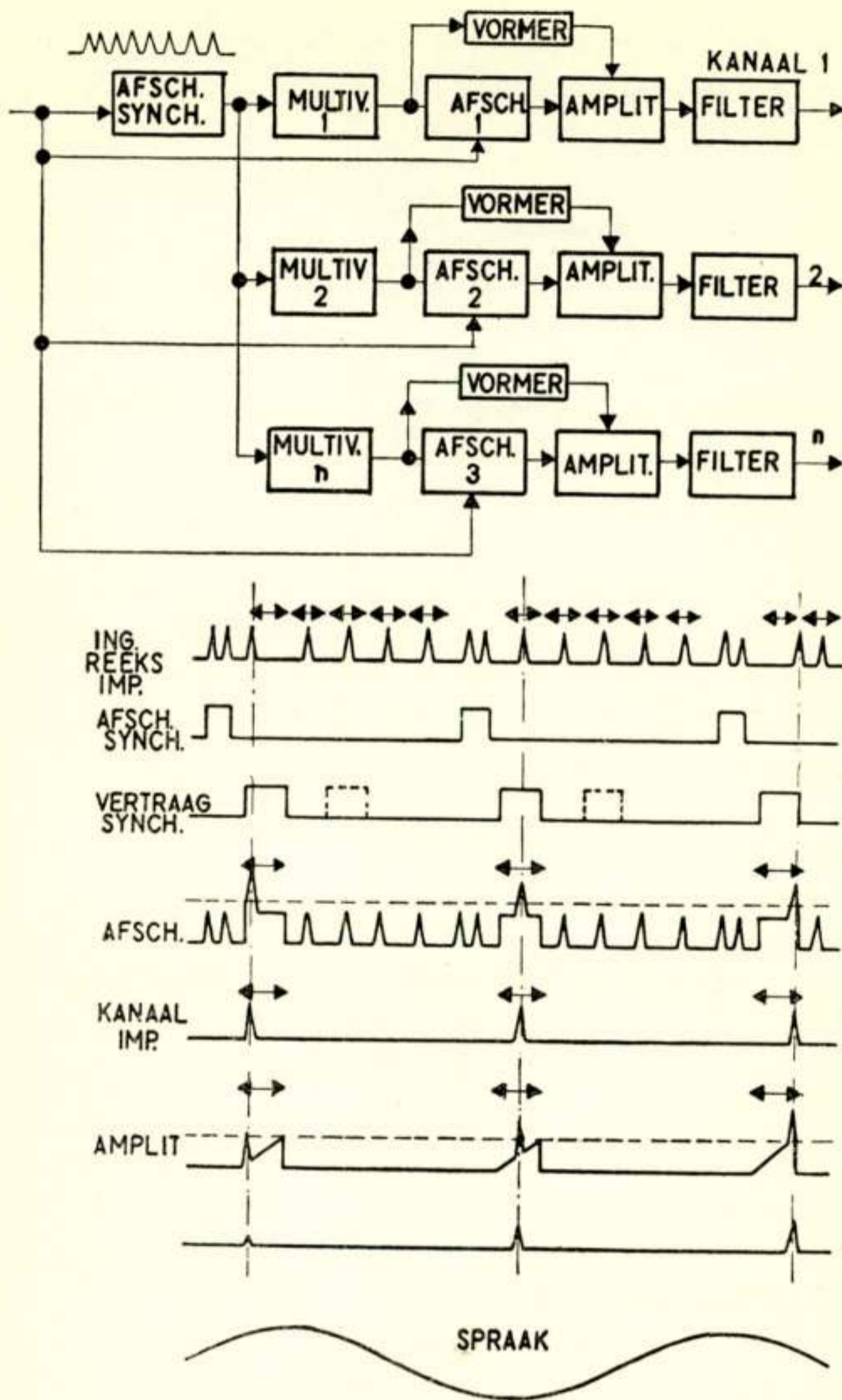


Fig. 16.

Démodulator met multivibrators. De synchronisatie-impuls wordt afgescheiden en voor elk kanaal van een zekere tijd vertraagd. Ze wordt dan gebruikt om de inkomende impuls van dit kanaal af te scheiden. Die impuls wordt dan gevoegd bij een signaal met schuine kant, zodat een verandering in amplitude verkregen wordt, afhankelijk van de tijdpositie. Deze amplitude-gemoduleerde impulsen geven, na filtering, de oorspronkelijke spreekstroom weer.

4. Coderen en decoderen.

Bij het PCM stelsel kan het coderen en decoderen der amplitude-stalen op verschillende wijze geschieden.

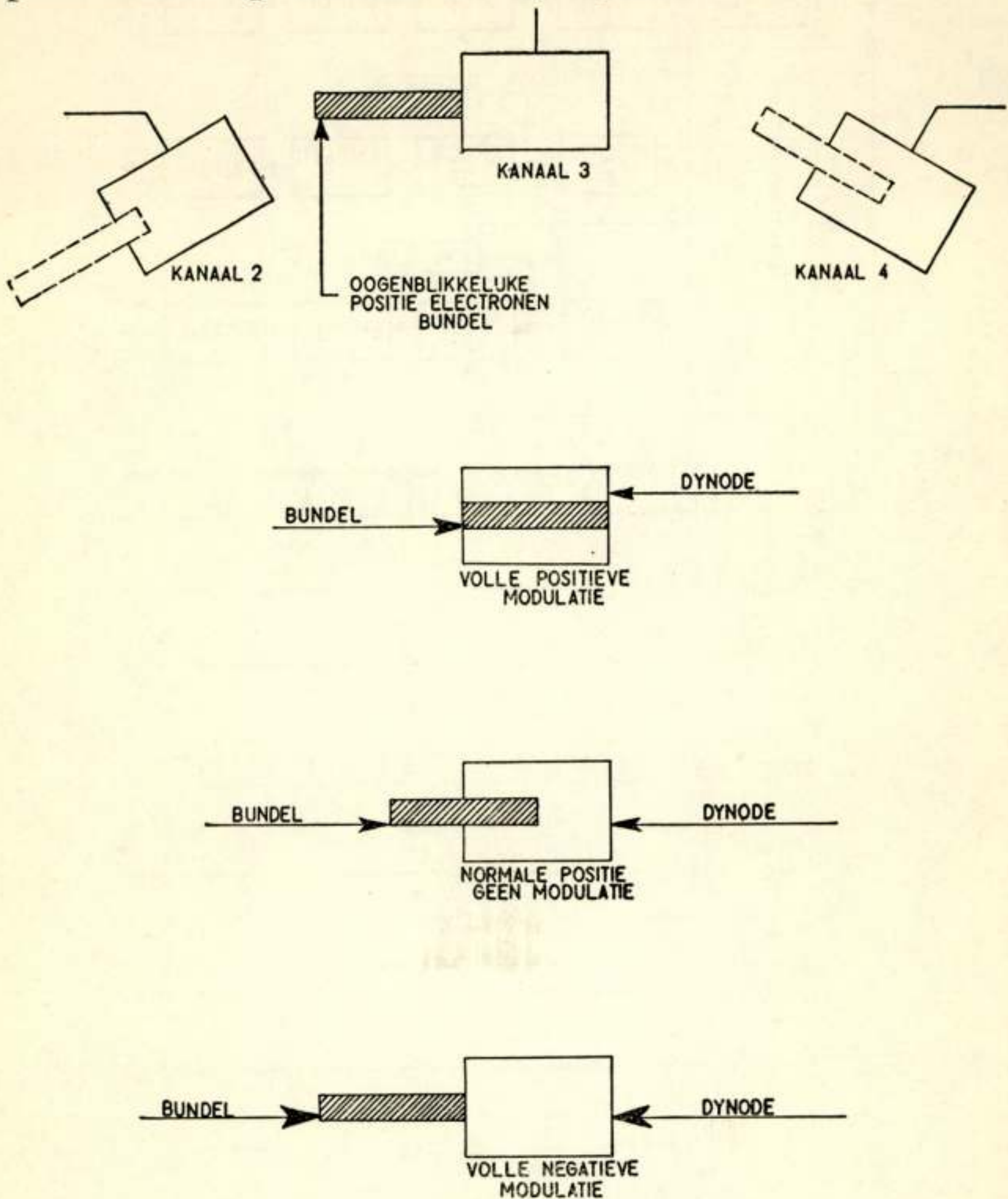


Fig. 17.

Démodulatie door een Cyclofoon. In de afwezigheid van modulatie, treft de electronen-straal de dynode slechts gedurende de helft van haar bestaan. Voor een positieve of negatieve tijdmodulatie, treft de straal die electrode gedurende een langere of kortere tijd. Zo vormen zich amplitude-gemoduleerde impulsen in de kanaal-circuits en, door filtering, de oorspronkelijke stroom.

In zekere experimentele inrichtingen heeft men gebruik gemaakt van een cathode-straal-buis, waarvan de electronen-bundel



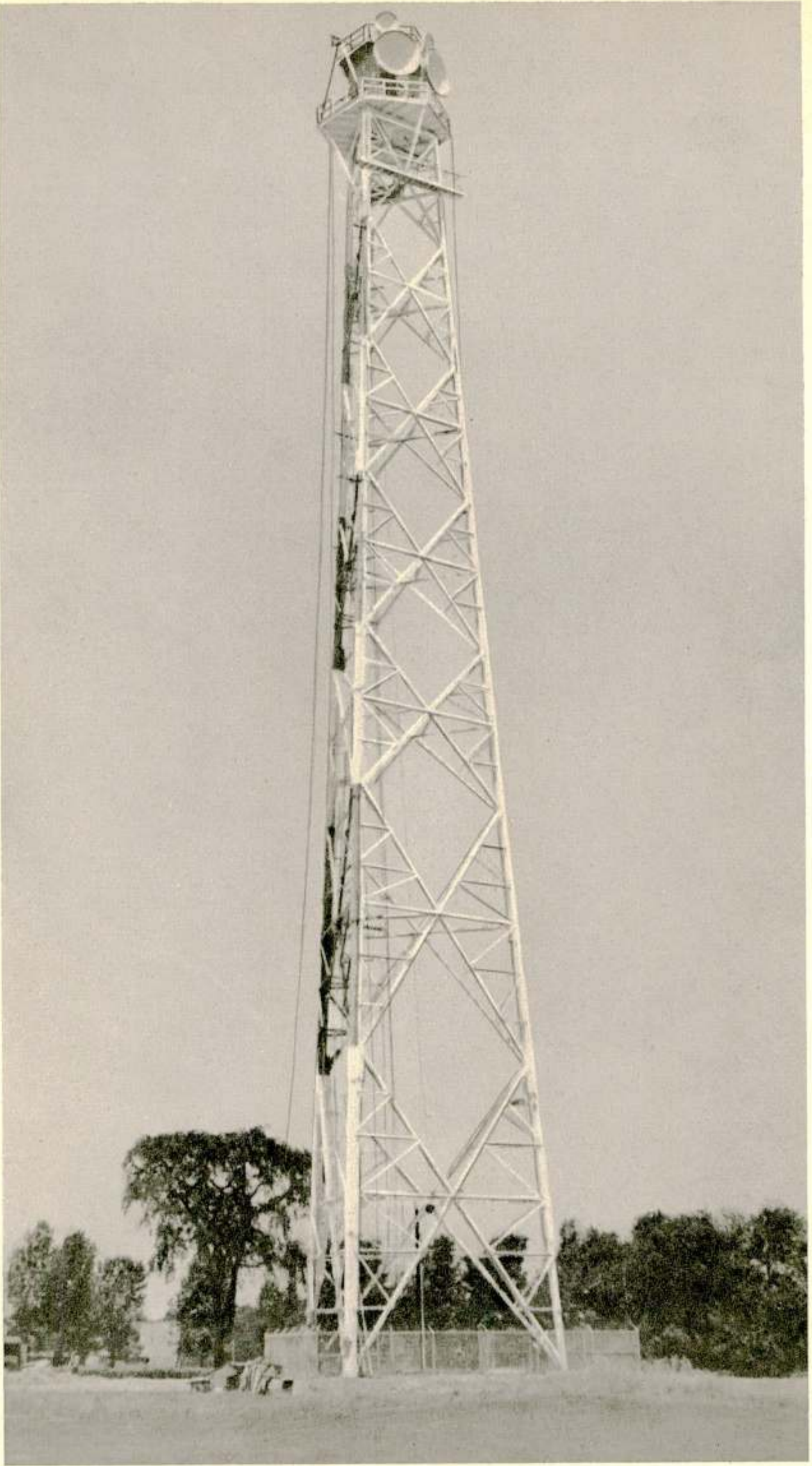


Fig. 18.

Houten toren 60 m. hoog met versterkerinrichting. (Nutley, New Jersey).

een metalen plaat aftast, waarin openingen aangebracht zijn, overeenkomende met de verschillende code-combinaties.

In andere gevallen heeft men electronische tellers gebruikt, die samengesteld waren uit gewone radio-onderdelen.

Deze toestellen dienen gewoonlijk voor meerdere kanalen.

Experimentele- en commerciële inrichtingen van het PPM stelsel.

1. *Installaties in New York.*

Een driehoekig circuit werd gevormd tussen het gebouw van de International Telephone & Telegraph Corporation te New York en twee versterkers te Telegraph Hill en Nutley. De toren van dit laatste station ziet men in fig. 18. De uitrusting omvat 24 kanalen, 12 in elke richting, wat dus een wederzijdse verbinding gaf tussen de telefoontoestellen, die te New York geplaatst waren. De zenders van N. Y. en van Nutley gebruikten een draaggolf van 1225 Mc/s en die van Telegraph Hill van 1280 Mc/s. De distributeurs waren van het cyclofoon type.

Daar de impulsmodulatie toelaat alle frequenties van 0 tot de maximale spraakfrequentie over te dragen, kan het verzenden van de kiesimpulsen, van de oproepsignalen en alle andere gewone operaties zonder meer geschieden en kunnen de lijnen rechtstreeks verbonden worden aan een normale automatische centrale.

Met behulp van begrenzer inrichtingen werd een goede verhouding signaal/geruis en een constant ontvangstniveau verkregen aan de ontvangkant, onafhankelijk van fading en andere oorzaken van verandering der ontvangen veldsterkte.

Met een gemiddeld vermogen van 2 Watt had men ongeveer de verwachte 53 db voor de verhouding signaal/geruis in gemiddelde voortplantingscondities, inbegrepen een verbetering van 16 db door het PPM stelsel.

Niettegenstaande de weerkaatsingen en de ongunstige plaatsomstandigheden was het overspreken te verwaarlozen. Dit was onder meer mogelijk door het gebruik van parabolische reflectoren (die een winst gaven van 29 db over een tweepool) en van begrenzers en dergelijke.

Al had de inrichting een experimenteel karakter, toch was het mogelijk de versterkerstations onbewaakt te laten. Onderbrekingen, veroorzaakt door voortplantingsstoringen waren betrekkelijk zeldzaam.

Later heeft men de installatie veranderd voor werking tussen New York en Trenton, met versterkers te Telegraph Hill en Laurel Hill.

Door de opgedane ondervinding beschikt men nu over commerciële inrichtingen, uitgerust voor 23 kanalen. Fig. 19 toont de achterzijde van een volledige modulator. De radiozender, die afzonderlijk gemonteerd is, heeft een topvermogen van 10 Watt.

De volgende lijst geeft enige karakteristieken:

Spraakstroomband: 300 tot 3400 c/s met grenzen van + 1 tot - 2 db.

Overspreken: minstens 60 db als het naburig kanaal 100% gemoduleerd is.

Verhouding signaal/geruis: minstens 60 db.

Vervorming: minder dan 5%.

Lengte der impulsen: ongeveer 0,5 microsec.

Verschuiving der impulsen: ± 1 microsec.

Beveiligingstijd: ongeveer 2,5 microsec.

Totale frequentieband: 5,6 Mc/s.

Men beschikt ook over een inrichting, die toelaat kanalen onderweg af te takken en in te lassen.

De versterkerstations gebruiken dezelfde radioinrichting als de eindstations.

Men kan een band van 40 tot 6800 c/s verkrijgen voor radio-omroep door twee telefoonkanalen te gebruiken (vervorming minder dan 1,5%).

Met reflectoren van 3 m. diameter heeft men een winst van 31 db.

De zenders werken gewoonlijk met 1825 en 2100 Mc/s. Meerdere installaties worden nu uitgevoerd.

2. Installatie Vlissingen — Oostburg.

Een PPM installatie voor 9 kanalen werd in 1946 opgesteld tussen Vlissingen en Oostburg, op 15 km. afstand aan de andere zijde van de Schelde. De gerichte antennes bevinden zich 26 m. boven de zeespiegel. Frequenties van 468 en 430 Mc/s worden gebruikt. De topwaarde van het vermogen is ongeveer 5 W en de gemiddelde waarde 0,5 W.

Als distributeurs gebruikt men een vertragingsketen, zoals in fig. 12, en de inrichting omvat dus alleen gewone buizen.

Deze verbinding maakt deel uit van het telefoonnet der P.P.T. en vervangt een beschadigde zeekabel. Ze werd in Januari 1947 in normale dienst gezet en is normaal in gebruik.

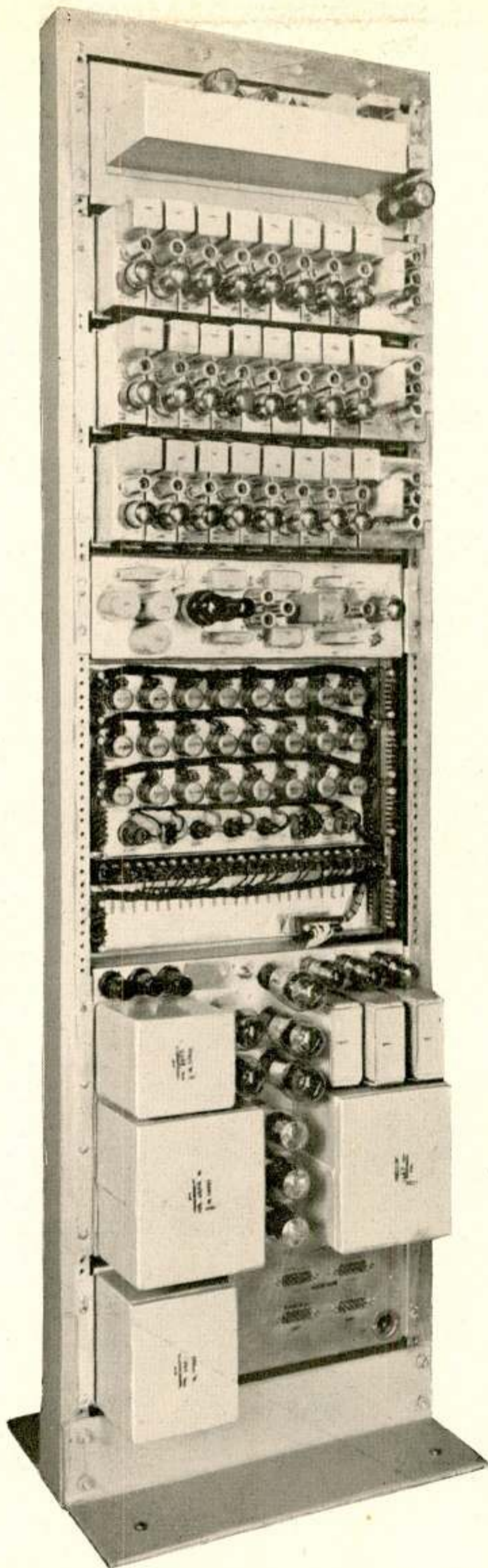


Fig. 19.

Achterzijde van een volledige modulator voor een PPM installatie met 23 kanalen (Federal Telecommunication Lab.).

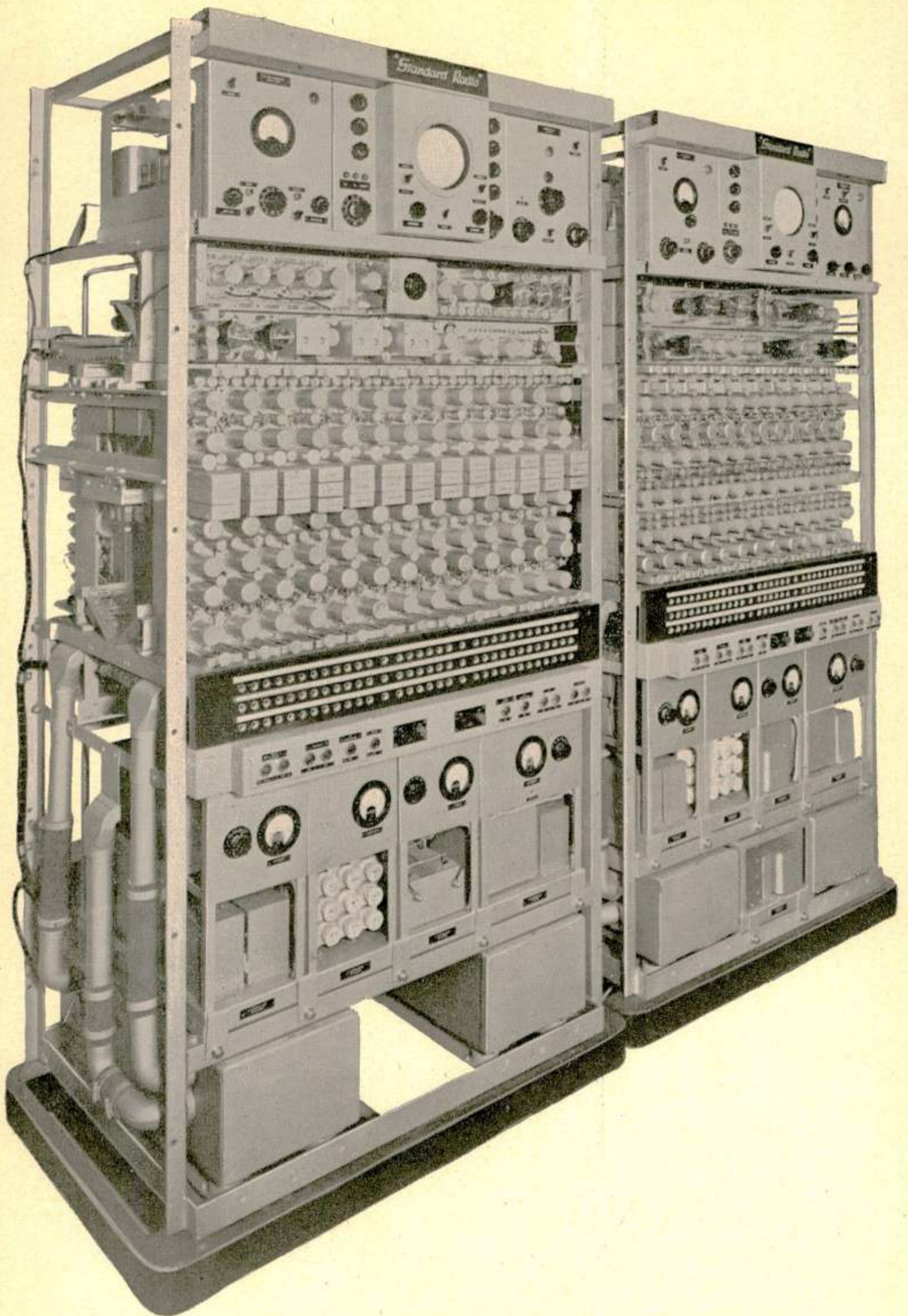


Fig. 20.

Volledige zender en ontvanger (inbegrepen het radiogedeelte) van een PPM installatie met 24 kanalen. (Standard Telephones & Cables, Ltd.).

Voor een modulatie van 100% is de verhouding signaal/geruis ongeveer 50 db en het overspreken minstens 60 db.

Commerciële inrichtingen van dit type zijn nu beschikbaar voor 24 kanalen en één dienstkanaal.

Fig. 20 toont de volledige zenders en ontvangers, inbegrepen het radio gedeelte. De radiozender heeft een topvermogen van 80 W.

De volgende lijst geeft enige karakteristieken:

Spraakstroomband: 300 tot 3000 c/s met 2 db verschil en van 3000 tot 3400 c/s met 6 db verschil ten opzichte van het niveau bij 800 c/s.

Overspreken minstens 60 db, met 90% modulatie van het naburig kanaal met 800 c/s.

Verhouding signaal/geruis: 60 db voor een afstand van 56 km.

Stabiliteit: Bij normale bedrijfstoestand zonder regeling is de grootste verandering in het niveau minder dan ± 1 db gedurende 24 uren.

Amplitudevervorming: met 90% modulatie is de nominale waarde der harmonische kleiner dan 10% van de nominale waarde van de grondfrequentie, gemeten met 800 c/s.

Lengte der impulsen: ongeveer 0,5 microsec.

Het PPM systeem toegepast voor radio-omroep.

Door het zich gradueel ontwikkelen van de radio-omroep is er in vele grote centra een ongunstige toestand geschapen. Daar er meerdere zenders bestaan, elk met zijn studio, en meerdere onafhankelijke transmissienetten, zijn de kosten hoog en de gemiddelde ontvangst niet zo goed als mogelijk zou zijn. Indien alles nu volgens een enkel plan zou kunnen worden uitgevoerd, zou men nu waarschijnlijk in elk groot centrum een multiplex inrichting aanbrengen, waarbij slechts een enkele zender en netwerk gebruikt zou worden. Men zou dan de volgende voordelen hebben:

1. Een enkele zender, waaraan alle studio's verbonden zouden zijn, wat een economische en doeltreffende inrichting mogelijk zou maken.
2. De antenne zou op de meest gunstige plaats geïnstalleerd zijn.
3. De ontvangstations zouden gebruik kunnen maken van een gerichte antenne en alzo de invloeden van weerkaatsingen grotendeels vermijden en het geruis verminderen.

4. Een afdoend en goedkoop netwerk zou gebruikt kunnen worden.

Een dergelijke multiplex installatie zou ofwel meerdere, in frequentie verdeelde banden, ofwel het PPM systeem kunnen gebruiken. In beide gevallen kan de draaggolf in amplitude of frequentie gemoduleerd worden.

De PPM ontvanger bevat een radio versterker en vaste afstemming, een kiezer van impulsposities, een detector en versterker.

Een benaderende berekening toont, dat voor 10 programma's, die elk een bandbreedte van 15 Kc/s zouden hebben, men met dezelfde totale bandbreedte van 5 Mc/s, ongeveer dezelfde verbetering van 20 *db* in de verhouding signaal/geruis zou verkrijgen met de combinatie PPM-AM als met combinatie V-FM en modulatie index 5.

Doch de PPM inrichting schijnt de volgende voordelen te hebben:

1. Omdat men op een gegeven ogenblik slechts een signaal heeft, behorende tot één der kanalen, zouden amplitude- en phase-ervormingen geen overspreken veroorzaken.
2. De ontvanger gebruikt geen filters en de afstemming op radio frequentie is eenvoudig.
3. Daar die afstemming eens voor altijd gedaan is, is de stabiliteit beter.
4. De gemiddelde waarde van het uitgezonden vermogen is constant, niettegenstaande verschil in modulatie en de inrichting zijn dus eenvoudiger en hebben het maximum rendement.
5. Versterkers zijn eenvoudig.

Verder zou de ontvangst waarschijnlijk meer gelijkmatig zijn en minder beïnvloed worden door storingen, die het karakter van impulsen hebben.

Aanhangsel

Opmerkingen aangaande de frequentie-band, nodig voor impuls-code stelsels.

Zoals reeds opgemerkt, toont de telegraaf transmissie theorie, dat in een verbinding, die alle frequenties tussen 0 en S doorlaat zonder verzwakkings- en phase-vernorming, de tekens overgedragen kunnen worden door middel van rechthoekige signalen, die met tussenpozen van $T = \frac{1}{2S}$ verzonden worden.

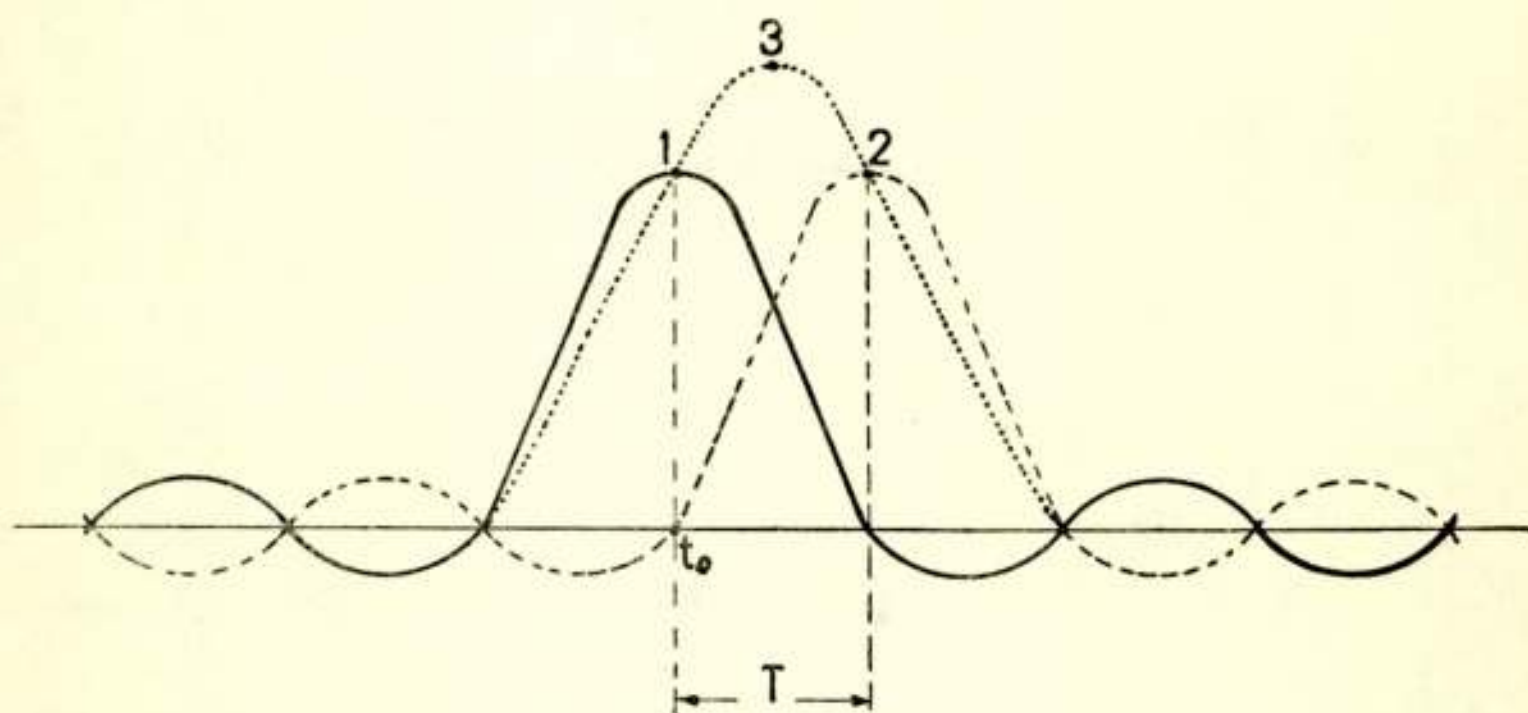


Fig. 1.

Om dit beter in t_0 zien, moeten wij nagaan welk signaal we ontvangen als we aan het einde van onze verbinding een oneindig korte impuls met de eenheid van oppervlakte zenden.

Het is wel bekend, dat de integraal van Fourier aangeeft, dat dit signaal de vorm heeft van curve 1 (fig. 1) of uitgedrukt in formule:

$$I_t = \frac{1}{T} \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t - t_0)}{\frac{\pi}{T}(t - t_0)} \quad \text{waar } T = \frac{1}{2S}$$

Op het ogenblik t_0 hebben alle frequenties (van gelijke am-

plitude) hun maximum waarde en zijn in phase. Ze geven dus een totale amplitude $1/T$ bij de ontvanger. Op andere ogenblikken is tengevolge van phase verschuiving de amplitude kleiner. Nu is het van belang op te merken, dat de amplitude nul is op de ogenblikken $t_0 \pm nT$. Dit wil zeggen, dat indien we een tweede impuls sturen na een tijd T , het maximum van het ontvangen signaal (curve 2, fig. 1) valt op het ogenblik, dat het eerste signaal door nul gaat, en omgekeerd. Men ziet dus, dat er geen interferentie is tussen de ontvangen signalen, als de detectie juist plaats heeft op de ogenblikken $t_0 \pm nT$. De curve 3, die de som is van curven 1 en 2, toont dat de stroom de frequentie $1/T$ niet behoeft te bevatten en dat de maximum waarde van de stroom in de verbinding groter kan zijn dan die der individuele impulsen. Al wat de ontvanger moet „weten”, is, dat de

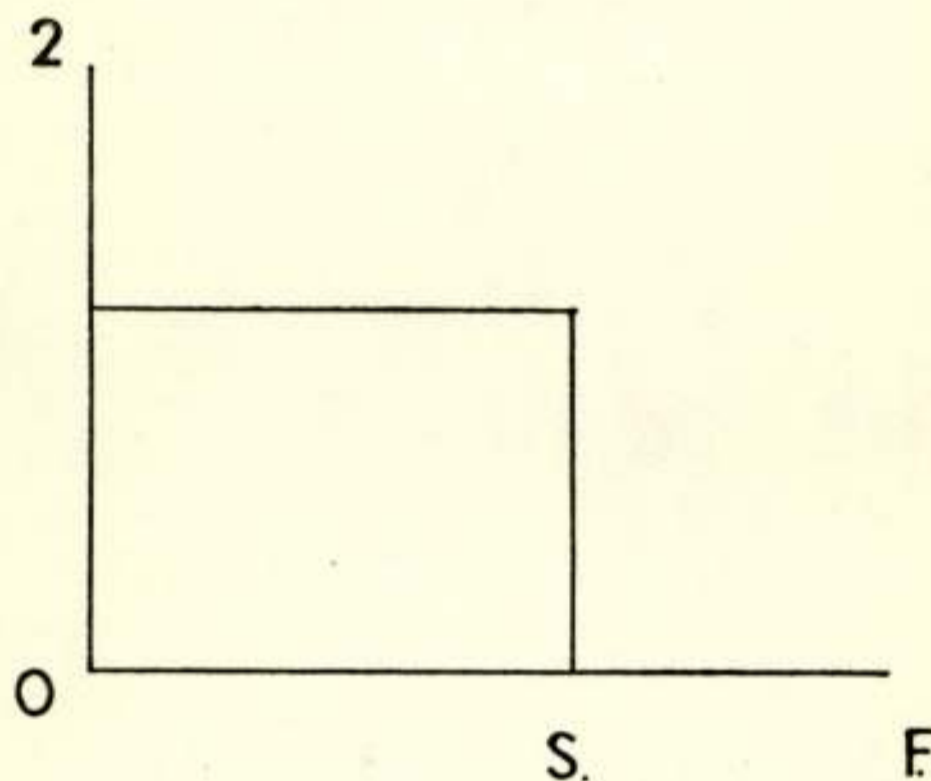


Fig. 2.

stroom op gegeven ogenblikken een zekere waarde heeft, wat ook de amplitude moge zijn tussen die ogenblikken.

In de praktijk zendt men geen impulsen van oneindig korte duur, doch bijv. rechthoekige signalen, elk van een lengte T .

Hun „vormfactor”¹⁾ is:

$$F_s = 2 \frac{\sin . a}{a} \quad \text{waar } a = \frac{2\pi f}{4S} = \pi f T$$

$$\left(S = \frac{1}{2T} \text{ zoals hierboven} \right)$$

¹⁾ Zie „Certain Topics in Telegraph Transmission Theory”, door H. Nyquist. Transact. of the Am. Inst. of Electr. Engineers April 1928.

Ten einde een signaal te ontvangen, dat de vorm van fig. 1 heeft en dat een vormfactor 2 heeft voor alle waarden van f tussen $a = 0$ en $a = \pi/2$, zoals fig. 2 aangeeft, is het nodig, dat de gehele verbinding een verzwakkingsvervorming zal hebben

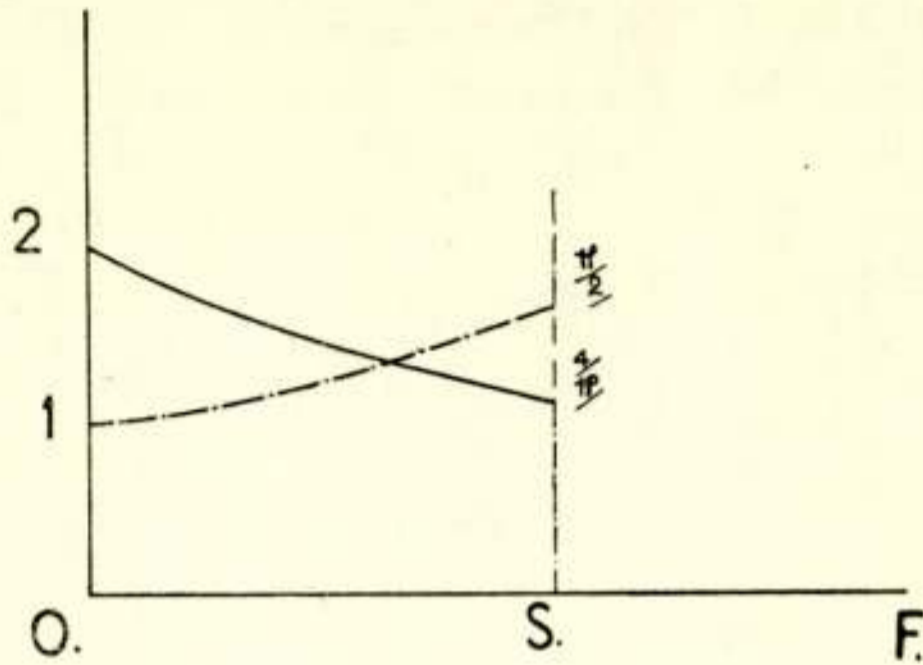


Fig. 3.

gelijk aan de verhouding der vormfactoren der afgezonden en ontvangen signalen, dus gelijk aan: $a/\sin . a$.

Fig. 3 toont in getrokken lijn de waarde van de vormfactor $2 \sin . a/a$ van het rechthoekig signaal en in stippe lijn de factor

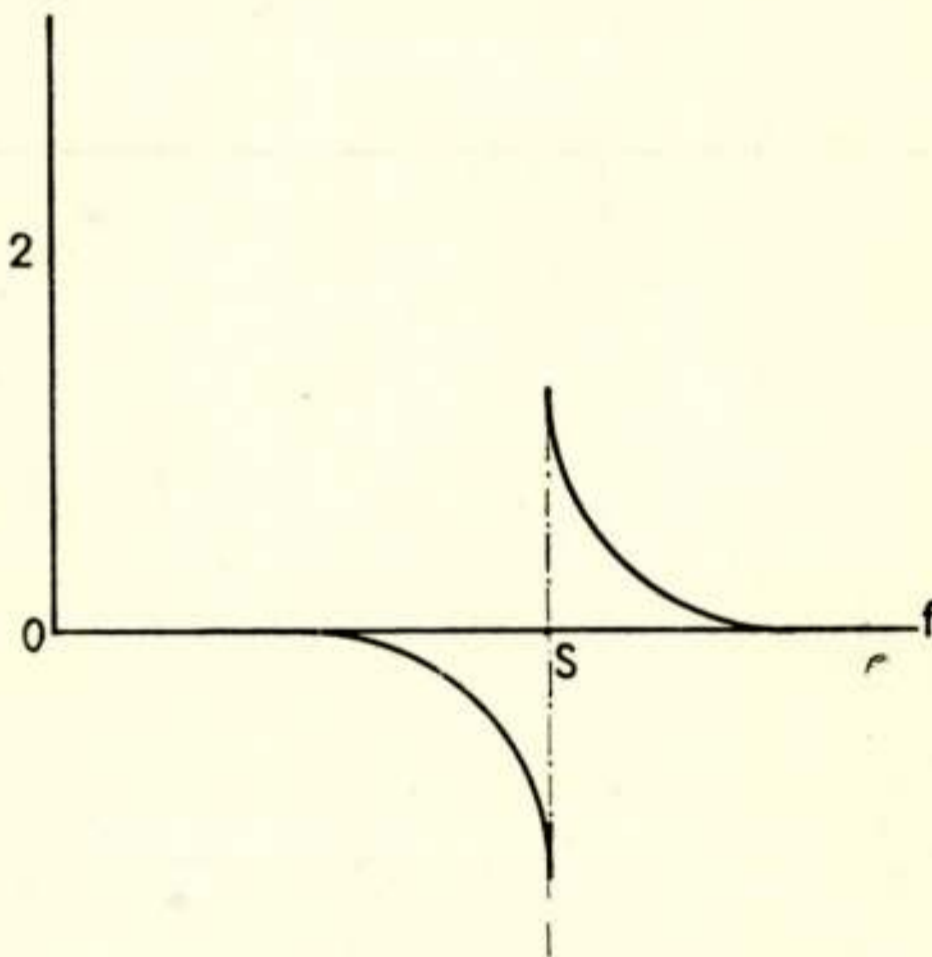


Fig. 4.

$a/\sin . a$ van de vervorming der verbinding. Het product is natuurlijk steeds gelijk aan 2.

Om de tekens zonder vervorming te ontvangen als men de amplituden meet op het midden van elk signaal, is het niet absoluut nodig een signaal te ontvangen, dat een vormfactor-

waarde heeft van 2 voor alle frequenties tussen $a = 0$ en $a = \pi/2$. Men kan er een reële vormfactor bijvoegen, mits hij symmetrisch is ten opzichte van het punt S , zoals in fig. 4 aangegeven. Dit laat toe aan de verbinding een verzwakkingskarakteristiek te geven, die praktisch te verwezenlijken is. De totale vormfactor van dit ontvangen signaal wordt getoond door fig. 5.

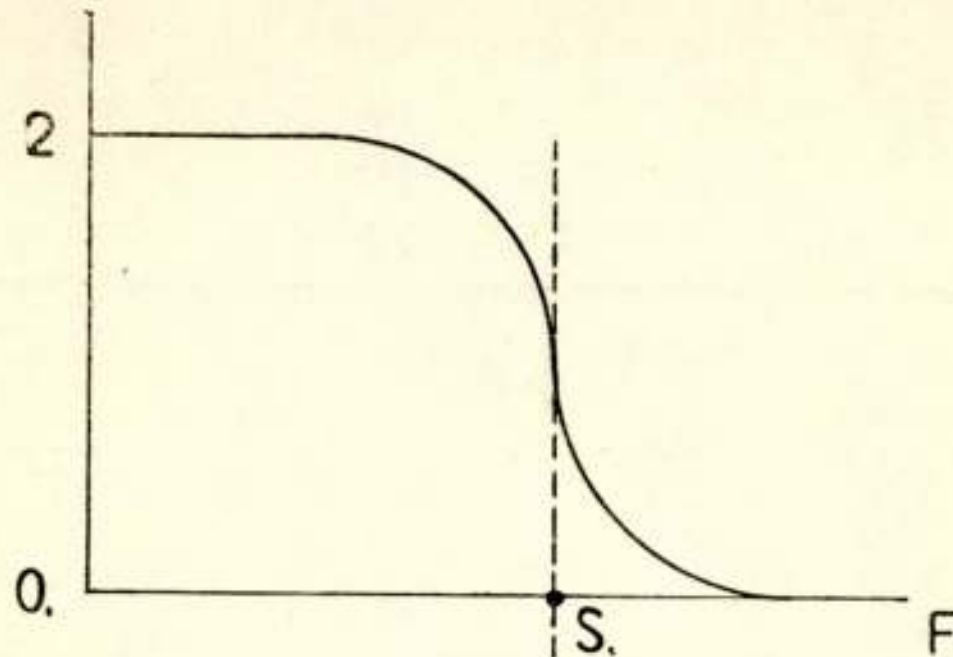


Fig. 5.

Men ziet, dat de frequentieband nu verder gaat dan S .

Zoals gezegd, heeft men deze resultaten slechts als er geen phase-ervorming is, dat wil zeggen, als de voortplantingssnelheid dezelfde is voor alle frequenties. Doch in de praktijk is dit niet het geval. Men kan dan twee gevallen onderscheiden:

1. de phase-ervorming wordt gecompenseerd door middel van

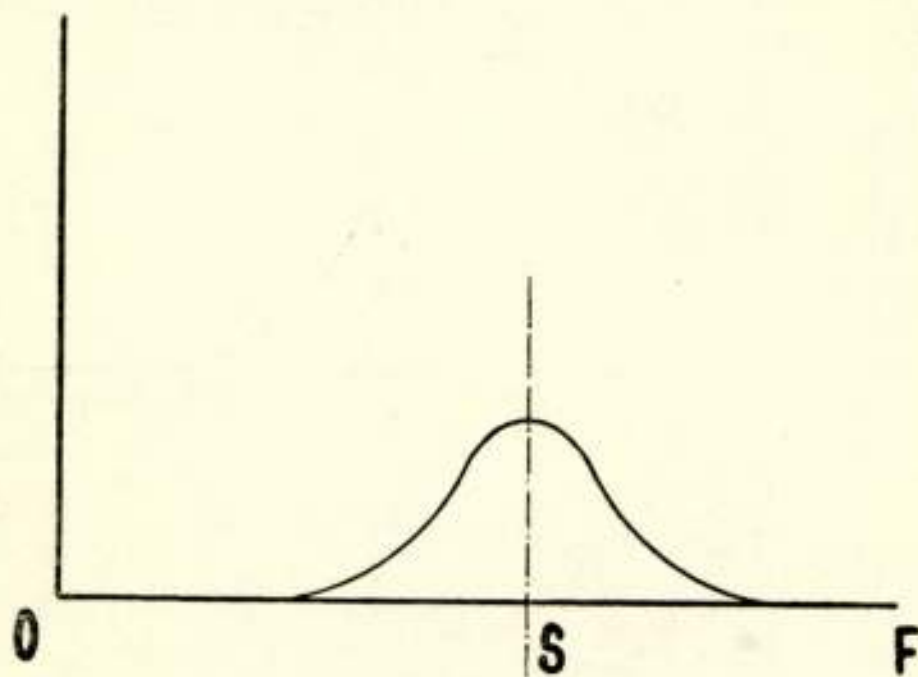


Fig. 6.

2. Als men de phase-ervorming niet compenseert, moet men gebruik maken van een imaginaire vormfactor, die symmetrisch is ten opzichte van de frequentie S , zoals in fig. 6, opdat nog een getrouwe ontvangst der signalen mogelijk zij. Dit kan ook de frequentieband vergroten tot ongeveer $2 S$.

Discussie

Ir L. A. W. v a n d e r L e k: Is de heer v a n M i e r l o op de hoogte van de in radio-telegraafstelsels toegepaste integrerende aftasting en hoe is de aftasting in pulse telephony stelsels?

Ir v a n M i e r l o: Ik heb over puntsgewijze aftasting in het midden van de impuls gesproken. De tijd heeft mij echter ontbroken om meer in het algemeen andere methodes van aftasten te bespreken: b.v. integratie over de gehele impulstijd of aftasten van het einde der impuls. Praktisch zal de aftasting steeds een eindige tijd vragen.

Verslag van het examen Radio-technicus en monteur gehouden in April, Mei, Juni en Juli 1948

Het schriftelijk examen Radio-technicus en Radio-monteur werd gehouden op 12 en 13 April 1948. Aangemeld hadden zich 156 kandidaten voor technicus (waarvan teruggetrokken 1) en 299 voor monteur (waarvan teruggetrokken 2). Wegens onvoldoend schriftelijk examen werden afgewezen 58 kandidaten technicus en 46 kandidaten monteur, zodat voor het mondeling gedeelte werden opgeroepen 97 kandidaten technicus en 251 kandidaten monteur, welk mondeling examen werd gehouden op 7, 8, 14, 15, 28, 29 Juni en 5, 6, 12, 13, 19, 20, 21, 26, 27 Juli 1948.

Afgewezen werden 45 kandidaten technicus en 113 kandidaten monteur, terwijl 15 kandidaten monteur voor een herexamen in aanmerking werden gebracht (1 kandidaat technicus en 1 kandidaat monteur niet opgekomen).

Geslaagd zijn in totaal 51 kandidaten technicus en 122 kandidaten monteur. Van de 4 kandidaten herexamen monteur slaagde er slechts 1.

De onbevredigende uitslag van de examens, blijkende uit het geringe aantal geslaagden, is voor de examencommissie aanleiding tot het maken van dezelfde opmerkingen, die reeds in een vorig verslag werden gegeven.

Personalialia

Onze leden Ir G. H. Bast en Dr Ir J. P. Schouten zijn benoemd tot buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hoogeschool te Delft.

Octrooien

Openbaar gemaakt 15 Juli 1948.

- O.A. 95461. kl. 21a⁵⁸a. Radio Corp. Inrichting voor het scheiden van een brede frequentieband van een daaraan grenzende smalle frequentieband, in het bijzonder geluid- en beeldkanaal bij televisie-overdracht.
- O.A. 88038. kl. 21a⁴⁹c. Bell Telephone. Inrichting met een zich in een magnetisch veld bevindende buis, waarvan de werking ongeveer het omgekeerde is van die van een cyclotron.
- O.A. 98861. kl. 95d^{2g}1. Egyesült Izzólámpa és villamossági részvénytársaság. Versterkerschakeling voor een schermroosterbuis met minstens twee kathodetoevoerleidingen, waarbij de demping op de ingangsketen wordt verminderd.
- O.A. 101792. kl. 21a⁴⁷³b. Radio Corp. Inrichting voor het koppelen van een

dubbelleiding of van twee in balans geschakelde transmissieleidingen met een enkelvoudige transmissieleiding.

- O.A. 113048. kl. 21a⁴⁵⁰. Philips. Zend-ontvanginrichting, waarmee over een enkele antenne tegelijkertijd berichten kunnen worden ontvangen en uitgezonden en waarbij in de ontvangcascade gelegen versterkertrappen tevens dienen voor het versterken van de uit te zenden modulerende trillingen.
- O.A. 125450. kl. 95n1a^{4c}. Philips. Antennesysteem met twee naast elkaar opgestelde, zich op kleine onderlinge afstand bevindende stralers, waarbij de overeenkomstige uiteinden der stralers met elkaar verbonden zijn. Het antennesysteem bestaat uit een buis of staaf waarin een langsgleuf is aangebracht.
- O.A. 102294. kl. 95i. Soc. française Radio-électrique. Inrichting voor frequentie-transformatie met tenminste twee vaste oscillator-frequenties en een variabele middenfrequentie.
- O.A. 81085. kl. 95a3a¹. Electrical and Musical Industries. Elektrische relaxatie-generator van het blokkeringstype met korte teruglooptijd.

Openbaar gemaakt 16 Augustus 1948.

- O.A. 79788. kl. 21a⁴⁷³. Bell Telephone. Afsluiting voor het ontvangeinde van een diëlectrische geleider, voor het uitkiezen van één uit een aantal typen golven.
- O.A. 93723. kl. 95a⁵. Bell Telephone. Trillingsgenerator met terugkoppelnetwerk in π -schakeling, dat een zeer snelle faseverschuiving geeft bij frequentieveranderingen.
- O.A. 108667. kl. 95b². Philips. Inrichting voor het verkrijgen van een in frequentie gemoduleerde trilling onder constanthouding van de gemiddelde frequentie dezer trilling. He.

Boekbespreking

R. Swierstra. *Radio-ontvangst in theorie en praktijk*. Amsterdam, Jac. van Campen, 1947-'48, 3 dln. Dl 1. 9e dr., 1947, 268 pag., 184 fig. Dl 2, 8e dr., 1947, 403 pag. 246 fig. Dl 3, 8e dr., 1948, 436 pag. 295 fig.

Het boek van Swierstra was mij tot voor kort slechts oppervlakkig bekend; het werd een aangename verrassing het beter te hebben leren kennen.

In de loop der jaren is het boek uitgegroeid tot een lijvig werk. De stof, die vrijwel het gehele gebied, dat direct of indirect met de radio-ontvangst samenhangt, bestrijkt, wordt behandeld op een niveau dat het boek niet alleen aantrekkelijk is voor de beginnening en voor de radiotechnicus, doch ook waarde heeft voor de ingenieur of physicus die zich over een onderwerp globaal wil oriënteren.

In deel 1 worden de grondbeginselen van de radio en de eerste ontwikkeling van de radio-ontvangers behandeld, in deel 2 de algemene theorie van cascade en super heterodyne ontvangen, benevens de buizen voor u.k.g. ontvangst, secundaire emissiebuizen en fotocellen. In deel 3 zijn een aantal bijzondere onder-

werpen verzameld: Electromagnetische golven, antennes, acoustiek, een beschouwing over het Nederlandse omroepwezen, electronenstraalbuis, televisie.

De paedagogische talenten van de heer Swierstra hebben het boek tot een uitstekend werk gemaakt voor hen die zich voor een radioexamen voorbereiden. Persoonlijk vind ik het jammer dat het „leid-motief” dat de gehele radiotechniek volgt, de aanpassing, niet meer op de voorgrond is gebracht; het terugbrengen van de versterkerbuis en van meer ingewikkelde schakelingen tot het beeld van de belaste generator, verheldert het inzicht. Een behandeling van het steeds weer verwaarloosde theorema van Thévenin zou hierbij op zijn plaats zijn geweest.

v. D.

Ontvangen Tijdschriften enz.

Journal of the Franklin Institute, Augustus, September 1948

Wireless Engineer, Augustus, September 1948.

Bulletin U.R.S.I. Juni, Juli 1948.

U.R.S.I. Sixième Rapport de la Commission pour l'étude des Relations entre les Phénomènes solaires et terrestres. 1948.

Ericsson Review, Nr. 2, 1948.

Nat. Bureau of Standards. Basic Radio Propagation Predictions, April, Mei, Juni, Juli, Augustus, September 1948.

id. *Technical News Bulletin*, Januari-Juli 1948.

Operational Trials of the Australian Distance measuring Equipment and Multiple Track Radar Range. Overdruk uit: P.J.R.E. (Australia) 9, 10-12 April 1948.

Variable Source of Radiofrequency radiation of the constellation of Cygnus. (Australische mededeling). Overdruk uit Nature 161, 312, 28 Febr. 1948.

Radio Revue Sept. 1948.

De Ingenieur, Jrg. 60, Nrs 32-38.

Radio Expres, Jrg. 25, Nrs 14-16.