

Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap

DEEL 22 No. 3

MEI 1957

Troposferische voortplanting van VHF- en UHF-radiogolven ver voorbij de horizon en enkele praktische toepassingen

door S. Gratama *)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap
op 15 november 1956

Summary

This paper deals with the well-known topic: Longdistance tropospheric forward scatter transmission. In the introduction the reader is made familiar with some of the conceptions of the forward scatter principle. By using large transmitter powers, high-gain antennas and extremely low noise receivers it has been possible to establish reliable communication systems bridging distances of 400 kms or more in one hop.

The Booker and Gordon theory relating to the mechanism of propagation is clearly represented.

Among the other theories of Carroll, Feinstein, the frequency dependent scatter model of Villars-Weisskopf seems to provide the best fit to the experimental measurements.

After a short historical review in chapter 2, in which particularly is referred to the early work of Marconi, chapter 3 contains a short indication of the recent extensive research executed in the United States.

Chapter 4 is mainly devoted to the research on tropospheric longdistance propagation carried out by the Laboratory of Physics, Netherlands National Defence Research Council, since 1950. The propagation measurements extending over a range of 20—600 kms in different directions over Western Europe were performed with the kind co-operation of the Dutch P.T.T. and the help of a number of Belgian, Dutch, English, French and German radio amateurs. The condensed result of these investigations is shown in fig. 5 which is a plot of the median path-loss (expressed in dB below the free-space loss) versus distance. In this chapter also the problems and phenomena concerning fading, diversity reception, antenna height and degradation of antenna-gain are being dealt with.

Chapter 5 is devoted to the practical application of forward scatter.

*) Onder-directeur Fysisch Laboratorium RVO-TNO.

The choice of the carrier frequency is discussed. For long distance the lowest frequencies are to be preferred.

The transmitters, receivers, antennas, diplexers etc. used in the systems are briefly indicated.

Special mention is made of the high power amplifier klystron developed in the U.S.

Finally in chapter 6 some possible future applications are discussed, in particular the possibility of a TV link Europe → U.S.A., as seen in the light of the latest developments. The realization of this utterly important circuit does not seem to be far off.

To end this summary we take the opportunity to pass a large vote of thanks to the many radio amateurs who, by their kind co-operation, supplied so much research information difficult to obtain in any other way.

1. Inleiding.

1.1. *Troposferische transmissie van meter- en decimetergolven.*

Het bovengenoemde onderwerp is zeer uitgebreid en in het kader van dit samenvattende artikel is het niet mogelijk op alle details in extenso in te gaan. De hierna volgende verhandeling is daardoor verre van volledig en is voornamelijk bestemd voor diegenen, die nog niet bijzonder goed met dit „nieuwe” onderdeel van de communicatie-techniek op de hoogte zijn; in hoofdzaak zullen we onze aandacht besteden aan de praktische transmissie van meter- en decimetergolven over grote afstanden, d.w.z. afstanden die groot zijn t.o.v. de horizonafstand.*)

Om de gedachte te bepalen zij hier alvast medegedeeld, dat de afstanden waar het hier om gaat in het algemeen liggen tussen 15 à 50 maal de horizonafstand. Deze soort transmissie, die praktisch gebruikt wordt om in één sprong afstanden van 300—400 km te overbruggen, is alleen mogelijk dank zij de aanwezigheid van een atmosfeer rond de aarde. De hoofdrol speelt hierbij de onderste atmosferische laag: de z.g. Troposfeer, d.i. het gedeelte van de aardatmosfeer dat zich uitstrekt tussen 0 en 15 km hoogte.

1.2. *Overbrenging van informatie met brede frequentieband.*

Zoals we zullen zien leent een troposferische transmissiecircuit

1) Horizonafstand = de geometrische afstand van zend- resp. ontvang-antenne tot aan de horizon „gezien” vanuit deze antenne.

zich, in tegenstelling tot een ionosferisch systeem, uitstekend voor het overbrengen van informatie met brede frequentieband zoals multiplex telefonie-systemen en niet te vergeten: televisie. Door toepassing van nauwe zendbundels kan men de „meerwegen“-effecten (multipath effects) gering houden.

Bij de behandeling van praktische toepassingen zal speciaal op het overbrengen van televisie, in één sprong over grote afstand, nog even worden teruggekomen.

1.3. *Theorie van de optisch-zicht reikwijdte.*

In onze beschouwingen zullen we de golven, die nog enige invloed van de ionosfeer ondervinden, uitsluiten, d.w.z. golven langer dan ca. 3,75 m (frequenties lager dan ca. 80 MHz). In het door ons beschouwde frequentiegebied van ca. 80 MHz tot boven 10.000 MHz speelt de troposfeer bij de voortplanting dus de hoofdrol.

In het verdere verloop van het betoog zullen we ter vereenvoudiging het genoemde frequentiegebied van 80 MHz — 10.000 MHz en hoger met de algemene naam van „micro“-golven aanduiden, hoewel dit feitelijk niet juist is.

Zeer lang heeft men in de veronderstelling geleefd dat deze z.g. microgolven zich, wat hun voortplanting betreft, zouden gedragen als lichtgolven, m.a.w. zij zouden zich rechtlijnig voortplanten en er zou een scherp horizon-effect optreden, waarbij de intensiteit zéér snel met toenemende afstand zou afnemen. (Theorie van het optische „zicht“).

1.4. *DiffRACTIE-theorie.*

Deze verwachting was min of meer gewekt door de diffractie-theorie, een theorie die zich bezig houdt met de voortplanting van radiogolven over een gladde aardbol.

Deze theorie, die H. M. Poincaré reeds in 1901 hanteerde om te bewijzen dat men met radiogolven nooit verder zou kunnen komen dan ca. 265 km afstand, werd door Watson in 1919 [1] door een bepaalde wiskundige transformatie in een beter convergerende mathematische vorm gebracht die echter toch ook nog zijn bezwaren had. Pas in 1937 werd Watson's methode door v. d. Pol en Bremmer in een voor numerieke berekening geschikter gedaante gegoten. [2]

In het algemeen verkrijgt men voor de veldsterkte een slecht

convergerende bolfunctie-reeks en hieruit, door middel van de Watson-transformatie, de z.g. Residu-reeks. Uit deze laatste volgt ten slotte een eenvoudige benaderingsformule (de 1e term der residu-reeks) waaruit dan een ongeveer exponentiële afname van het zenderveld resulteert. [3] We zullen ons hier echter niet in deze, mathematisch zeer ingewikkelde, theorie gaan verdiepen en er alleen enkele praktische gevolgtrekkingen uit overnemen.

In het algemeen is het zo dat er alleen bij millimetergolven, dus bij golven die de lichtgolven wat golflengte betreft het meest benaderen, een scherp horizon-effect optreedt. Hier openbaart zich voorbij de horizon ook een sterke demping.

Anders is dit bij meter-golven. De diffractievelden vertonen hier in het geheel geen horizon-effect, de veldsterkte-afname blijft zeer continu verlopen bij het passeren van de horizon en laat hier niets bijzonders zien. In het algemeen is dus bij meter-golven de afname van het diffractieveld als functie van de afstand veel geringer dan bij bijv. cm- of mm-golven.

1.5. Troposferische velden.

Tot op afstanden van 100 à 150 km speelt het diffractieveld bij meter-golven nog enige rol. Boven deze afstand is het voor alle frequenties in het microgolfg gebied te verwaarlozen tegenover het werkelijk optredende veld: het troposferische veld.

Op deze grotere afstanden is dus het troposferische veld veel sterker dan het diffractieveld.

Zonder aardatmosfeer (en dus zonder troposfeer) zou het ook bij microgolven, evenals bij decametergolven, onmogelijk zijn om grote afstanden te overbruggen.

Op grote afstand is het troposferische veld wel veel sterker dan het diffractieveld, maar toch is, absoluut gerekend, de verzwakking van het zenderveld in de troposfeer aanzienlijk. Als praktisch voorbeeld hiervan zij een troposferisch circuit beschouwd werkende met een zenderfrequentie van ca. 150 MHz, waarbij de hoogte der antennes ca. 10 m en de overbrugde afstand ca. 400 km bedraagt (d.i. 35 maal de horizonafstand). Op een dergelijk traject ligt de veldsterkte ter plaatse van de ontvangantenne ca. 80 dB (10.000 maal) onder die welke zou optreden in de vrije ruimte bij gebruik van hetzelfde zendervermogen, identieke antenne en gelijke afstand. We zien hieruit dat de optredende verzwakking tengevolge van de troposferische

voortplanting rond de aardbol zeer beduidend is. De benodigde zender-energieën om in beide gevallen dezelfde veldsterkte te maken verhouden zich als 100 miljoen : 1. Bedrijft men genoemd traject in plaats van met 150 MHz nu met een zenderfrequentie van omstreeks 2000 MHz ($\lambda = 15$ cm) en gebruikt men hier hetzelfde ERP*), dan ligt de veldsterkte nog ca. 14 dB (5 maal) lager en bedraagt de verhouding van de benodigde zendervermogens om dezelfde veldsterkte als in de vrije ruimte te maken zelfs 2,5 miljard : 1.

1.6. „Brute-kracht”-methode.

Men ziet uit beide voorbeelden dat de veldverzwakking over zo'n troposferisch transmissie-circuit zeer aanzienlijk is en het is dus zonder meer duidelijk dat, wil men een dergelijk traject betrouwbaar overbruggen, men hiervoor zeer grote zendervermogens, sterk bundelende antennes en hypergevoelige ontvangers nodig heeft.

Plastisch uitgedrukt maakt men a.h.w. gebruik van een „brute-kracht”-methode: de in de omgeving van de zendantenne opgewekte veldsterkte is ontzaglijk groot en komt overeen met die geproduceerd door een dipoolstraler waaraan men verscheidene 10.000 kW vermogen toevoert terwijl in dit geval de zich op 400 km afstand bevindende ontvangdipool slechts een vermogen afgeeft dat, afhankelijk van de gebruikte golflengte, varieert tussen ruwweg $\frac{1}{100}$ en $\frac{1}{100.000}$ micro-microwatt.

Men ziet hieruit dat het systeem van energie-overbrenging niet bepaald efficiënt genoemd kan worden en dat de energiedemping tussen beide antennes uitermate groot is.

Gewoonlijk rekent men niet, zoals in bovenstaand geval, met dipolen maar met isotropische stralers en de energiedemping tussen dit soort antennes wordt in de literatuur betiteld met

*) ERP = effective radiated power = het aan de antenne toegevoerde nuttige vermogen vermenigvuldigd met de antenneversterking (bundelingsfactor). In het verdere verloop van het betoog wordt met antenneversterking (antenna power-gain) bedoeld de antenne-energie versterking die optreedt in de vrije ruimte betrokken op een z.g. isotropische straler. In principe worden dus de aardreflecties buiten beschouwing gelaten tenzij het tegendeel vermeld wordt.

de naam: „Basic Transmission Loss” (BTL) en aangeduid met L_b , [4, 5, 6]

In het golflengtegebied van $\lambda = 1,5$ m tot $\lambda = 15$ cm (200—2000 MHz) varieert deze BTL voor een afstand van 400 km tussen resp. 210 en ruim 240 dB. Het is wellicht overbodig er hierbij te vermelden dat deze cijfers betrekking hebben op de mediaanwaarde van de optredende veldsterkte.*) Is L_b bekend en zijn ook de fading-eigenschappen van het signaal bepaald dan is het desbetreffende troposferische traject volledig voor berekening vatbaar.

L_b bestaat uit twee delen, het eerste gedeelte is de z.g. vrije ruimte-demping L_{fs} , berekend over een afstand gelijk aan de trajectlengte en dus zonder meer te bepalen uit: $L_{fs} = 20 \log \frac{4d}{\lambda}$ (d = trajectlengte in meter, λ = golflengte in m); het tweede gedeelte is de additionele demping L_p die over het traject optreedt ten gevolge van het feit dat de transmissie niet in de vrije ruimte maar via de troposfeer geschiedt. Deze L_p hebben we de troposferische traject-demping genoemd of wel afgekort: tropo-demping. **) Deze tropo-demping moet uit statistische veldsterktemetingen over het desbetreffende traject bepaald worden.

1.7. „Forward scatter”.

Bovengenoemde soort micro-golftransmissie opent uiteraard nieuwe mogelijkheden speciaal op het gebied der vaste, gerichte, verbindingen en is tegenwoordig in de literatuur bekend onder verschillende namen zoals: „beyond-the-horizon”-, „extended range”-, „overreach”-, „transhorizon”-, „over-the-horizon”-, „scatter”-, en „forward scatter transmission”. Het meest gebruikelijk is de uitdrukking „forward scatter transmission”, een term die eigenlijk niet geheel juist is daar in feite de lange-afstand voortplantingsverschijnselen *niet uitsluitend* aan verstrooiing te wijten zijn.

*) De mediaanveldsterkte is die waarde van de veldsterkte die gedurende 50% van de waarnemingstijd overschreden wordt.

**) $BTL = L_b = L_{fs} + L_p =$ „free spaceloss” + „pathloss” = vrije-ruimte-demping + tropo-demping = $20 \log \frac{4d}{\lambda} +$ tropodemping.

In het gebied van $\lambda = 2$ m tot $\lambda = 15$ cm bedraagt de tropodemping resp. ca. 80 dB en 92 à 94 dB voor een traject van 400 km.

Ook werkt het woord „scattering” of verstrooiing wel enigszins verwarrend daar de in werkelijkheid optredende verschijnselen min of meer lijken op wat de leek „reflectie” zou noemen in plaats van alzijdige verstrooiing. Men heeft deze moeilijkheid willen omzeilen door te spreken van „forward scatter”. Op deze verstrooiing in voorwaartse richting zullen we nu iets dieper ingaan.

1.8. Voortplantingsmechanisme.

Volgens de theorie van Booker en Gordon [7] die berust op het werk van Pekeris [8] wordt het voortplantingsmechanisme van deze microgolven gevormd door de in de atmosfeer vrijwel altijd aanwezige lucht-turbulenties (luchtbellen of „blobs”) die zelf, tengevolge van de er opvallende zenderstraling, als secundaire stralers gaan werken. [9]

Zo'n turbulentie moet men zich voorstellen als een drie-dimensionale „verstoring” t.o.v. de omringende lucht. In de verstoring of „blob” heeft de diëlectrische constante een andere waarde dan in de lucht buiten de „blob”. De „blobs” kunnen zeer verschillende afmetingen hebben. In een rustige atmosfeer kunnen ze bijv. een uitgestrektheid van wel $500 \times 500 \times 500$ m bereiken. Men spreekt in dit geval van een turbulentie-schaal van 500 meter.

Volgens Booker en Gordon moet men zich voorstellen dat in de „blob” de variaties in de diëlectrische constante, gemeten in de drie coördinaat-richtingen, over een bepaalde afstand (de turbulentie-schaal) gecorreleerd zijn. Deze correlatie is onafhankelijk van de keuze van het assenstelsel (isotrope turbulentie).

Uit de metingen van Rosenberg, Crain en Straiton [10, 11, 12, 13] boven Ohio en de westkust van de V.S. door middel van vliegtuig-microgolf refractometers is gebleken dat de gemiddelde turbulentie-schaal ca. 52 meter bedraagt met een minimale en maximale waarde van resp. 18 en 128 m. Hieruit volgt dat in ons microgolfgebied deze turbulenties als groot t.o.v. de golflengte zijn te beschouwen. Nemen we nu een turbulentie in het oog en bekijken hierin een volume-elementje dV waar de afwijking van de gemiddelde diëlectrische constante $d\epsilon$ is. Onder invloed van het erop vallende electromagnetische stralingsveld van de zender wordt dit volume-elementje een zwakke elementaire dipool.

Tengevolge van de bestraling van het hele volume ontstaan derhalve zeer vele dipooltjes. De getroffen verstoring werkt nu als een ruimtelijke verzameling van antennetjes en de fase van aanstoting van deze stralertjes is zodanig dat deze dipoolverzameling overeenkomt met een drie-dimensionale z.g. „end-fire“-richtantenne, waarbij voor de juiste fase van aanstoting gezorgd wordt door de zich door de „blob” voortplantende, lopende golf van de zender.

De door een drie-dimensionale richtantenne, werkende met lopende golf, uitgezonden straling ligt zoals bekend in de richting van de lopende golf en in dit geval dus in dezelfde richting als de voortplantingsrichting van de exciterende zenderstraling, d.w.z. in voorwaartse richting. Zie fig. 1 waar de verstoring of

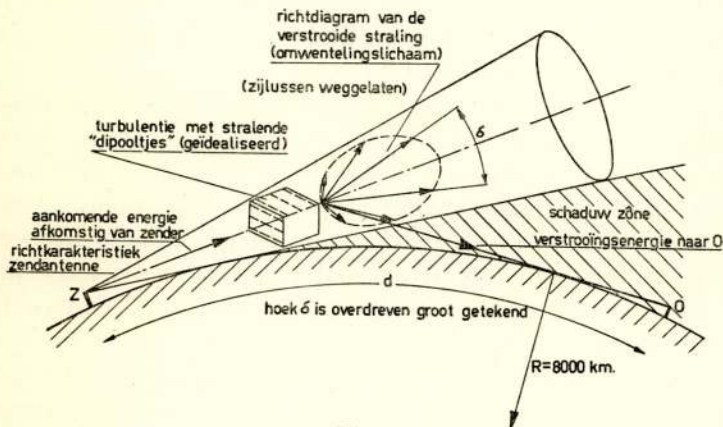


Fig. 1.
Voortplantingsmechanisme.

„blob” geïdealiseerd is weergegeven door een kubus. De straling in achterwaartse richting, de „back-scatter”, is zeer gering.

Opgemerkt wordt nog dat de secundaire totaal-straling van zo'n turbulentie zéér zwak is en het aankomende veld van de zender gaat er dan ook praktisch ongehinderd doorheen. In verband hiermee wordt ook aangenomen dat de straling van de „blob” geen nieuwe verstrooiingsverschijnselen bij andere naburige „blocs” veroorzaakt (geen multiple „scatter”).

Indien de afmetingen van de turbulenties groot zijn t.o.v. de gebruikte golflengte heeft de verstrooiing praktisch alleen onder kleine hoeken in de voorwaartse richting plaats. Vandaar dat men spreekt van „forward-scatter”.

Teneinde het in de richting van de ontvanger verstrooide

vermogen te kunnen berekenen hebben Booker en Gordon de „scatter“-coëfficiënt σ ingevoerd.

Het vermogen dP door een „scatter“-volume dV in een ruimtehoek $d\Omega$ verstrooid ten gevolge van de op dit volume vallende zender-stralingsintensiteit p_0 (in $\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$) bedraagt (zie fig. 2):

$$dP = \sigma(\theta) p_0 \cdot d\Omega \cdot dV.$$

Hierin is σ = het vermogen per eenheidsruimtehoek verstrooid, per eenheid van invallende stralingsintensiteit en per macroscopische eenheid van verstrooiend volume.

θ is de verstrooiingshoek.

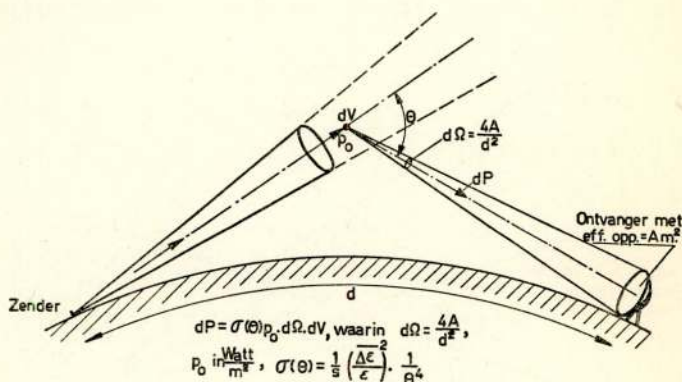


Fig. 2.

Vermogen verstrooid in een ruimtehoek.

In de situatie zoals fig. 2 aangeeft is σ alleen afhankelijk van θ (de assen van de zendbundel en van de ruimtehoek $d\Omega$ liggen beide in het loodvlak op aarde gaande door zender en ontvanger terwijl er horizontaal gepolariseerde golven worden gebruikt).

Voor het geval dat de turbulentie-schaal groot is t.o.v. de gebruikte zendergolflengte vindt men [7] voor σ :

$$\sigma(\theta) = \frac{1}{s} \left(\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2 \frac{1}{\theta^4} \quad (1)$$

Hierin is $s = 2\pi \times$ turbulentie-schaal = effectieve afmeting van de verstrooiende „blob“.

$\left(\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2$ = het gemiddelde kwadraat van de fluctuatie van de diëlectrische constante.

Een belangrijke gevolgtrekking uit deze formule voor σ is dat, volgens Booker en Gordon, de scatter-coëfficiënt *onafhankelijk* van de golflengte zou zijn.

In 1.11. zullen we zien dat in de theorie van Villars en Weisskopf [66] een *golflengte-afhankelijke* „scatter”-coëfficiënt naar voren komt.

1.9. „Natuurlijke” scatter-volume.

Iedere, in het door de beide antennekegels omvatte gemeenschappelijke volume, effectief werkzame „blob” verstrooit een weinig energie in de richting van de ontvanger O (zie fig. 1). Om het totaal effect hiervan in O te verkrijgen moeten we over het totaal aantal, *effectief werkzame* „blobs” integreren.

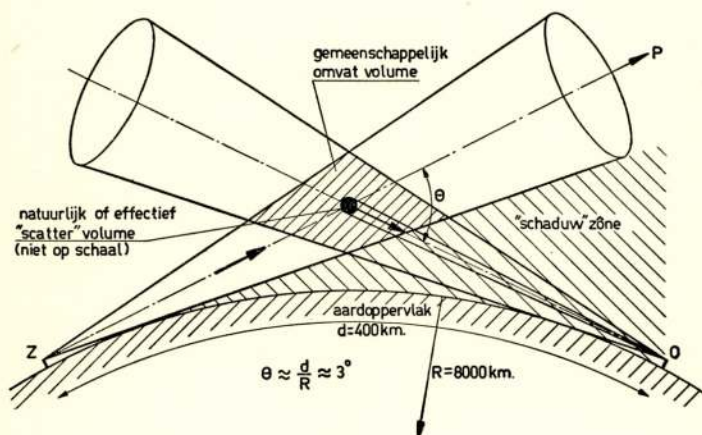


Fig. 3.

Natuurlijk of effectief „scatter”-volume.

Het blijkt nu, volgens Gordon [14, 15, 16] dat dit totaal aantal effectief werkzame „blobs” zich bevindt in een volumetje, het z.g. *natuurlijk* „scatter”-volume, dat normaliter een *fractie* van het totale, door de antennebundels omvatte gemeenschappelijke, volume inneemt. (Zie fig. 3). Om een idee van de grootte van dit natuurlijke „scatter”-volume te geven zij hier vermeld dat volgens Gordon de horizontale hoek (α_c), die dit volumetje bij de ontvanger O onderspant, in de orde van $\frac{2d}{3R}$ radiaal ligt.*)

*) Hierin is d = afstand zender—ontvanger in km

R = de voor refractie gecorrigeerde aardstraal = 8000 km.

Voor een traject van 300 km wordt dus deze hoek α_c waaronder men vanuit O het natuurlijk „scatter”-volume ziet: $\alpha_c = \frac{1}{40} \text{ rad.} \approx 1,44^\circ$. Voor deze afstand geldt derhalve dat, pas wanneer de antennes bundels hebben met tophoeken van ca. $1,4^\circ$, het totaal door deze bundels omvatte gemeenschappelijke volume gelijk is aan het natuurlijke „scatter”-volume.

Dit effect treedt derhalve eerst op bij zeer sterk gebundelde antennes.*) [15]

We zullen hier nu niet verder op theoretische kwesties ingaan. Deze materie is uitvoerig in de voordracht van Dr. Bremmer behandeld. Enkele markante verschijnselen die onder „scatter”-condities kunnen optreden zoals o.a. degradatie van de antenne-versterking zullen straks nog nader aan de orde komen (zie 4.8.9.).

1.10. Acoustisch „scatter”-analogon.

De theorie van Booker en Gordon lijkt, indien men er pas kennis mede maakt, ietwat gekunsteld.

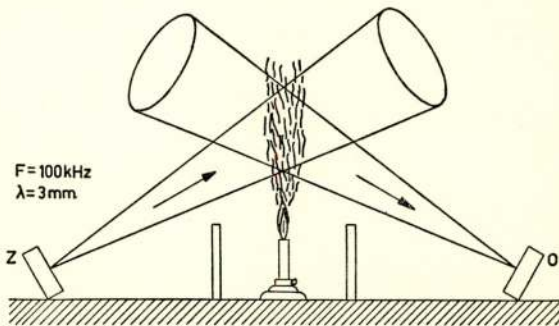


Fig. 4.
Acoustisch „scatter”-analogon.

Dat echter de verstrooiing ten gevolge van lucht-turbulenties een zeer reëel iets is kunnen we fraai aantonen met behulp van een acoustisch „scatter”-analogon. (Zie fig. 4.)

Hier zijn opgesteld: links een sterk gerichte acoustische stra-

*) Een antenne, die een stralingskegel met tophoek $= 1,4^\circ$ bezit, heeft een energie-versterking van ruim 43 dB (meer dan 20.000 maal) betrokken op een isotropische straler.

ler bestaande uit een aantal piëzo-electrische kristallen gelijkfazig aangestoten met een frequentie van ca. 100 kHz. Deze straler produceert een supersonische geluidsbundel van ca. 3° bij een golflengte van 3 mm.

Als ontvang-, „antenne” wordt (rechts) een identieke straler gebruikt aangesloten op een gevoelige ontvanger afgestemd op 100 kHz. De 2e zwevingsgenerator van deze ontvanger is ingeschakeld waardoor bij binnenkomend signaal een hoorbare toon van ca. 1000 Hz uit de luidspreker komt.

De acoustische bundels van beide stralers zijn schuin omhoog gericht en overlappen elkaar op enige hoogte midden boven het „traject” van ca. 1 meter lengte. In deze toestand komt geen energie in de ontvang-, „antenne” terecht. Brengen we nu een gasvlam onder het gedeelte waar de bundels elkaar omvatten dan treedt onmiddellijk een sterk signaal op met een, voor „scatter”-transmissie, karakteristiek geluid (scintillatie, zeer snelle fading).

Door de opstijgende turbulenties veroorzaakt door de hete vlam en het feit dat de brekingsindex voor acoustische trillingen in lucht sterk afhangt van de temperatuur wordt er acoustische energie, aanwezig in de zendbundel, verstrooid in de richting van de ontvangbundel. (Proef wordt vertoond.)

1.11. *Andere theorieën omtrent het voortplantingsmechanisme.*

Naast de theorie van Booker en Gordon, een theorie waarmee men vele verschijnselen op het gebied der troposferische voortplanting elegant kan verklaren en die daardoor ook vele aanhangers heeft, verdienen ook de theorieën van Carroll [17—21], Feinstein [22—26] en Villars-Weisskopf [66] ten volle de aandacht.

Volgens Carroll is het zo dat de continue dichtheidsafname van de atmosfeer met de hoogte niet alleen refractie van de radiogolven veroorzaakt maar ook een minuscuul gedeelte van de opvallende energie reflecteert (partiële interne reflecties). Hij betoogt dat deze partiële reflecties oorzaak zijn van de relatief grote veldsterkte voorbij de horizon.

Nu treden, zoals bekend, partiële reflecties op in een *gelaagde* atmosfeer, waar dus min of meer sterke *discontinuïteiten* in de verticale gradient van de brekingsindex aanwezig zijn.

Of deze partiële reflecties nu ook optreden bij een *continue* verandering van de brekingsindex met de hoogte is oorzaak van een fel mathematisch dispuut dat nog niet is beëindigd.

De theorie van Feinstein lijkt veel reëler. Deze gaat uit van de veronderstelling dat er partiële reflecties optreden, niet ten gevolge van een continue verandering van de brekingsindex maar ten gevolge van *fluctuerende scherpe discontinuïteiten in de verticale gradient van deze index*.

De theorie van Feinstein vertoont enige verwantschap met die van Booker en Gordon. Feinstein echter veronderstelt anisotrope turbulentie: de fluctuaties in de verticale gradient van de brekingsindex vertonen een min of meer horizontale stratificatie hetgeen in overeenstemming is met waarnemingen uit vliegtuigen. Booker en Gordon's theorie daarentegen berust op isotrope turbulentieverschijnselen. De theorie van Feinstein lijkt, gezien onze ervaringen met lange-afstand troposferische transmissie, zeer aanlokkelijk.

Tenslotte is er de recente „scatter”-theorie van Villars en Weisskopf [66]. Zij betogen dat de scatter-coëfficiënt (zie onder 1.8.) geschreven kan worden als:

$$\sigma = \frac{4 \pi^2 \lambda (\overline{dn/dh})^2}{\left(2 \sin \frac{\Theta}{2}\right)^5} \quad (2)$$

Hierin is $(\overline{dn/dh})^2$ het kwadraat van de verticale gradient van de brekingsindex in het verstrooiende volume en gemiddeld over dit volume.

Zoals men ziet is volgens Villars en Weisskopf de „scatter”-coëfficiënt *rechtevenredig met λ* . Norton [65] merkt op dat deze nieuwe „scatter”-coëfficiënt een veel betere aansluiting van de theorie aan de metingen oplevert dan de Gordon-Booker-coëfficiënt.

Bij constante dn/dh zou de tropo-demping (zie onder 1.6.) per frequentie-decade met 10 dB toenemen, hetgeen vrij goed overeenstemt met het door ons waargenomen bedrag dat in dit geval in de orde van 12–14 dB ligt.

Overigens is het zo dat de effecten die in bovenstaande theorieën genoemd worden in werkelijkheid gezamenlijk optreden naast de meer „orthodoxe”, de troposferische voortplanting sterk beïnvloedende, effecten zoals refractie tengevolge van temperatuur-inversies, discontinuïteiten in de verticale gradient van het vochtigheidsgehalte, reflecties aan uitgebreide stabiele horizontale lagen, grond- en hoogte-ducts [etc., effecten waar we in het kader van dit artikel over „scatter” niet nader op kunnen ingaan. [27, 28] Op niet te grote afstanden moeten we bovendien nog met de diffractie-velden rekening houden.

Het is dan ook in de meeste gevallen zeer moeilijk, zo niet onmogelijk, de verschillende verschijnselen scherp te scheiden.

We hebben ervaren dat op afstanden van 200 à 300 km en bij het gebruik van frequenties in de orde van 100 à 200 MHz *zuivere* verstrooiingseffecten relatief zelden optreden, de „scatter“-effecten worden hier meestal gemaskeerd door de andere bovengenoemde effecten. Eerst op afstanden aanzienlijk groter dan 250 km komt meer en meer de „scatter“-eigenschap naar voren al zijn hier toch ook nog vrij veel uitzonderingen op.

En hiermede willen wij deze inleiding beëindigen.

Hierna volgt een kort historisch overzicht omtrent troposferische transmissie over lange afstand. Vervolgens een hoofdstuk gewijd aan het experimentele onderzoek hetgeen gedurende de laatste jaren vooral in de Verenigde Staten en ook door het Fysisch Laboratorium RVO-TNO is verricht. In dit gedeelte zal dan iets nader worden ingegaan op de resultaten van laatstgenoemd onderzoek waarbij vanzelf enkele markante verschijnselen en eigenschappen kenmerkend voor lange afstand troposferische transmissie de revue zullen passeren.

Tenslotte zal nog iets worden vermeld omtrent de gebruikelijke transmissie-apparatuur, zoals zenders, antennes, ontvangers, etc., en zullen ook enkele mogelijke toekomstige civiele toepassingen van deze nieuwe techniek worden aangeduid.

2. Kort historisch overzicht.

2.1. *Onderzoekingen van Mesny c.s.*

Tot de eerste onderzoekers die zich hebben bezig gehouden met het voortplantingsgedrag van microgolven moeten ongetwijfeld Mesny en zijn medewerkers David en Beauvais gerekend worden. [29] Zij experimenteerden reeds in de jaren 1922—'23 met golven van 2 m lengte (150 MHz) over afstanden van enige kilometers. Spoedig werd de afstand van de top van de Eiffeltoren naar de klokketoren van Montjavoult overbrugd, een traject van 100 km.

Gezien de resultaten van deze proeven gaf het Franse Ministerie van Oorlog in 1926 opdracht tot een onderzoek naar de mogelijkheid van een metergolf-radiotelefoonverbinding tussen Frankrijk en Corsica (afstand 205 km).

Een experimentele installatie met een zendervermogen van 500 Watt en een golflengte van 3,5 m (86 MHz) werd ge-

plaatst op de Mont Agel bij Nice (1149 m). De zendantenne was uitgerust met een parabolische reflector. Het ontvangstation was gelegen op de Col de Teghine (530 m) tussen Bastia en Saint Florent, Corsica. Het was een verbinding onder praktisch optisch zichtcondities en de proeven bleken een groot succes.

In 1929 werd een meer definitieve installatie aangebracht op het fort de la Revère bij Nice (700 m) en de ontvangpost weer op de Col de Teghine. De golflengte werd vergroot tot 5 m (60 MHz) en het vermogen bedroeg aanvankelijk 36 Watt hetwelk later met het oog op de betrouwbaarheid van de verbinding werd opgevoerd tot 150 Watt. Het ontvangstation lag nu 30 km voorbij de horizon.

Het is jammer dat Jouaust [29] zo weinig technische gegevens omtrent ontvangers, zenders, e.d., geeft; schema's ontbreken geheel.

Bovengenoemde verbinding is heden ten dage nog steeds intact al is zij natuurlijk gemoderniseerd. Deze loopt nu van Grasse (bij Nice) naar Calenzana op Corsica. In 1947 is deze „link” voor het publiek opengesteld en bestaat uit een 12 kanalen-multiplex systeem werkende op 100 MHz ($\lambda = 3$ m) met een zendervermogen van 100 Watt. De antenne bestaat uit 5 doubletten met reflectoren en heeft een energieversterking van ca. 12 dB (16-voudig) betrokken op een isotropische straler. [30]

2.2. *Onderzoekingen van Esau en Hahnemann.*

Andere onderzoekers die zich omstreeks 1928 met de voortplanting van metergolven bezig hielden waren Esau en Hahnemann (C. Lorenz). Zij deden proeven vanaf hoge punten met golven van 3 m (100 MHz) en zendervermogens tot ca. 1,5 kW over (optische) afstanden tot ca. 180 km. [31]

Als ontvanger werd een soort superregeneratieve ontvanger (Armstrong) gebruikt. Hun algemene conclusie was dat op zeer korte afstand voorbij het optische zicht de signalen praktisch verdwenen.

Esau en Hahnemann spreken in hun conclusie nog de mening uit dat dit soort golven in de toekomst wellicht voor televisie doeleinden gebruikt zal kunnen worden.

Het feit dat zij buiten „zicht”-afstand niets meer ontvingen moet in de eerste plaats aan de geringe gevoeligheid van hun

nogal primitieve ontvanger geweten worden en in de tweede plaats aan het feit dat er bij hun proeven aan de ontvangerzijde geen gerichte antennes werden gebruikt. De energiegevoeligheid van een hedendaagse ruisarme ontvanger is naar schatting zeker 10^6 -maal groter dan die waar Esau en Hahne-mann mee experimenteerden.

2.3. *Marconi's derde grote ontdekking.*

De eerste onderzoeker die feitelijk echt lange-afstand tropo-sferisch onderzoek heeft verricht was de grote experimentator Marchese Guglielmo Marconi. [32] In 1932 deed hij, tezamen met zijn bekwame technische medewerker G. A. Mathieu, proeven met decimeter-golven in de Middellandse Zee over afstanden ver voorbij de horizon.

Voor de jongere generatie is het misschien wel interessant nog eens enkele bijzonderheden van dit eminente experimentele pionierswerk, dat zo langzamerhand alweer in het vergeetboek dreigt te raken, op te halen.

Marconi en Mathieu gebruikten een in onze moderne ogen uiterst primitieve apparatuur werkende op een golflengte van ca. 57 cm (530 MHz!). De zender bestond uit een viertal balans-generatoren door Mathieu op vernuftige wijze gesyn-chroniseerd en werkende volgens de, ook alweer haast ver-geten, z.g. Barkhausen-Kurz trillingswijze (Elektronen-Tanz Schwingung). [33] Het beschikbare nuttige uitgangsvermogen be-droeg een pover en labiel tiental Watt.

De genoemde frequentie van ruim 500 MHz was, zoals be-grijpelijk, exorbitant hoog voor die tijd, vooral gezien de pri-mitieve en ongeschikte buizen waarmede men toen moest ex-perimenteren. De aanvankelijk in deze B.K. generatoren ge-bruikte buistypen leefden dan ook maar enkele minuten. Later liet Marconi nieuwe typen ontwikkelen die zelfs bij een fre-quentie van 1000 MHz ($\lambda = 30$ cm) een levensduur van enkele honderden uren hadden.

Het gebruikte antenne-systeem bestond uit een viertal hori-zontale halvegolfstralers opgesteld in de brandlijn van een cy-linder-paraboloïde met een verticale opening van 3λ . De an-tenneversterking was (naar hedendaagse schatting) ca. 40-voudig (16 dB) gerekend t.o.v. een isotropische antenne en het effectief uitgestraalde vermogen (ERP) derhalve een luttele 400 Watt. [De moderne UHF-technicus die met de tegenwoordige „scat-

ter" systemen werkt, glimlacht wellicht bij het lezen van dit bescheiden vermogen: hij werkt met een ERP in de orde van 10 à 100 miljoen Watt!]

De ontvanger bestond uit een balans-B.K. generator met „supersonic variable plate bias”, een soort superregeneratieve ontvanger dus. Men kan rustig aannemen dat de gevoeligheid, naar hedendaagse maatstaven althans, niet al te best geweest moet zijn.

Met deze apparatuur overbrugde Marconi een afstand van 270 km, te weten van Rocca di Papa (omgeving Rome) naar Kaap Figari in de Golf van Aranci, Sardinië, waarbij het ontvangstation ruim 2 km onder de horizon lag. Ondanks dit feit werd gedurende de sterke signaalperioden een 100% verbinding met telefonie (A.M.) onderhouden, waarbij soms langzame en diepe sluiering tot onhoorbaarheid toe optrad.

In zijn voordracht voor de Royal Institution of Great Britain op 2 december 1932 sprak Marconi de volgende profetische woorden: „In regard to the limited range of propagation of these micro-waves the last word has not yet been said. It has already been shown that they can travel round a portion of the earth's curvature to distances greater than had been expected and I cannot help reminding you that at the very time when I first succeeded in proving that electric waves could be sent and received across the Atlantic Ocean in 1901, distinguished mathematicians were of the opinion that the distance of communications, by means of electric waves, would be limited to a distance of only about 165 miles . . . *) Other applications such as broadcasting and television are already under consideration and the study of the new fields of application for these so far unutilised electric waves will, I feel sure, soon bring about the design of greatly improved methods and apparatus.”

Het is achteraf verwonderlijk te moeten constateren dat we, ondanks onze moderne middelen, toch nog meer dan twintig jaar nodig hebben gehad om de waarheid van Marconi's voorspelling te ontdekken.

Marconi's aankondiging betreffende de buiging van microgolven rond de aarde werd door de wetenschappelijke wereld van zijn tijd uitermate sceptisch ontvangen. De „optisch-zicht”

*) Marconi doelde hier op de grote mathematicus H. M. Poincaré. Zie „Notice sur la télégraphie sans fil. Annuaire pour l'an 1902 du bureau des longitudes” — Paris.

theorie was te diep ingeworteld om door een enkel experiment omver geworpen te worden al was de experimentator dan ook Marconi zelf! Zijn resultaten werden als „freaks” bestempeld en men zag toen helemaal niet hoe deze vreemde wijze van transmissie ooit praktisch te gebruiken zou zijn. Achteraf is dit alles natuurlijk niet zo verwonderlijk: de tijd was er nog niet rijp voor; men kon immers nog geen grote vermogens op deze frequenties opwekken en bovendien waren de ontvangers nog veel te ongevoelig.

2.4. *Ervaringen in latere jaren.*

Het idee dat de praktische reikwijdte van dit soort golven beperkt blijft tot (ongeveer) de horizon is, na de experimenten van Marconi, zeer lang en hardnekkig blijven doorwerken en tot voor enkele jaren had men het gevoel dat het weinig zin had om aan deze „natuurwet” te gaan tornen.

Eerst gedurende de tweede wereldoorlog toen steeds grotere vermogens, sterker gerichte antennes en vooral gevoeliger ontvangers werden ontwikkeld, merkte men dat de reikwijdte van radar- en communicatie-apparatuur veel groter was dan de „optisch-zicht” theorie of de theorie van de voortplanting over een gladde aardbol aangaf.

De optredende verschijnselen werden (niet afdoende) verklaard met behulp van atmosferische refractie en „duct”-vorming. Uit steeds meer waarnemingen werd het tenslotte duidelijk dat de lange-afstand bereiken ook optraden als er, meteorologisch gesproken, niets bijzonders aan de hand was.

Dit leidde in 1948 tot het belangrijke postulaat dat de regelmatig aanwezige lange-afstand velden veroorzaakt werden door reflecties aan vele discontinuïteiten in de brekingsindex van de atmosfeer. [34]

Zelfs in deze tijd zag men klaarblijkelijk nog niet veel in het gebruik van dit soort lange-afstand transmissie als betrouwbaar communicatiemiddel. Veeleer beschouwde men het effect als een hinderlijke bron van onderlinge storing bij de FM- en TV-zenders werkzaam in deze frequentiegebieden.

Dit leidde bijv. in 1949 tot het verbod in de USA om nieuwe TV-zenders in gebruik te mogen nemen tengevolge van de reeds aanwezige onderlinge storing, die veel groter bleek te zijn dan men op grond van de theorie omtrent de voortplanting van microgolven over een gladde aardbol had verwacht. [35]

3. Recente research in de Verenigde Staten. [36]

Gezien de bovengenoemde min of meer verwarde situatie besloot men in 1950 in de V.S. een uitgebreid onderzoek in te stellen naar de praktische bruikbaarheid van microgolven (VHF/UHF/SHF) voor communicatie-doeleinden op afstanden ver voorbij de horizon.

Dit bijzonder omvangrijke onderzoek, waarbij duizenden medewerkers waren betrokken, vond plaats onder auspiciën van leger, luchtmacht en marine, die gezamenlijk de kosten, die vele miljoenen dollars beliepen, hebben gedragen.

Er werd een groot aantal militaire en civiele laboratoria bij ingeschakeld waarvan we er hier enkele willen vermelden: Lincoln Laboratory, Cambridge, Bell Telephone Laboratories N.Y., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, National Bureau of Standards (Boulder Laboratories), Central Radio Propagation Laboratory (CRPL), Air Force Cambridge Research Center, Signal Corps Laboratories N.J., Bell Telephone Co, Canada etc. Verder een groot aantal radio-industrieën waaronder: Collins Radio, National Company Inc., Radio Engineering Laboratories, Page Communication Engineers, Eitel McCullough en Varian Bros.

3.1. *Lincoln Laboratory, Cambridge, Mass.*

Speciaal het bovengenoemde Lincoln-laboratorium te Cambridge, een omvangrijke militaire research-instelling ressorterende onder het M.I.T heeft in dit onderzoek veel grondlegend spuurwerk verricht waarin vooral Prof. Dr. J. B. Wiesner en Prof. W. H. Radford een groot aandeel hebben gehad.

Het onderzoek en de resultaten hiervan waren tot voor kort als geheim geclassificeerd. In october 1955 is praktisch alles vrijgeven en veel gepubliceerd. [36]

In het verdere verloop van dit artikel zullen we, vooral bij de praktische toepassingen, nog nader op dit Amerikaanse spuurwerk terugkomen.

4. Onderzoek Fysisch Laboratorium RVO-TNO.

Omstreeks begin 1950 is ook de radiogroep van het Fysisch Laboratorium RVO-TNO, overigens geheel onafhankelijk van hetgeen er in het buitenland gebeurde, met het voortplantings-onderzoek van VHF-UHF-golven over afstanden voorbij de horizon aangevangen.

Hoewel de belangstelling van de officiële instanties feitelijk nihil was, — men zag er kennelijk het nut niet van in om nog eens aan de optisch-zicht-„natuurwet” te gaan tornen — besloot de directie, bij gebrek aan een officiële opdracht, het onderzoek dan maar op „eigen houtje” te doen. De research aan voortplantingseigenschappen van golven die steeds meer door de militaire verbindingdiensten zouden worden gebruikt werd van tè groot belang voor de toekomstige militaire (en civiele) radiocommunicatie geacht.

Gezien de bovenvermelde interesse moesten de proefnemingen helaas met uiterst bescheiden middelen geschieden. Dit had tot gevolg dat, ook toen na enige tijd meer van de mogelijkheden bekend was geworden, de meer operationele beproeving met grotere vermogens e.d. helaas niet verwezenlijkt kon worden.

Op het tijdstip van aanvang dezer proeven tastten we volkomen in het duister aangaande het algemene gedrag en de praktische bruikbaarheid van microgolven over trajecten op matige afstanden voorbij de horizon, laat staan over reikwijdten van 400 à 500 km. De volledige vooruitberekening van een troposferisch traject over deze afstanden zoals thans, na 5 jaar research, mogelijk is geworden, was in die tijd, zoals begrijpelijk, een volkomen gesloten boek.

4.1. *VHF-onderzoek en medewerking amateurs.*

Aanvankelijk dachten we ons te bepalen tot het meten van veldsterkten van zenders werkende op metergolven ($\lambda = 3$ m) en afstanden van 100 à 200 km. In die tijd waren er echter in ons land boven 100 MHz geen „officiële” zenders, waaraan we veldsterktemetingen zouden kunnen doen, te vinden.

De enige stations die sporadisch op deze frequenties uitzonden en voor de eerste metingen in aanmerking kwamen waren enkele amateur-zenders in de frequentieband 144-146 MHz ($\lambda = 2$ m). Hiermede werd contact opgenomen en om de belangstelling van dit kleine groepje voor de proeven wat meer te stimuleren en zelf ook ervaring met VHF-zenders etc. op te doen werd besloten tot de aanmaak van een experimentele zender op 144,00 MHz met een ERP van ca. 4 kW. De gebruikte antenne was een draaibare, eenzijdig uitstralende, horizontaal gepolariseerde, z.g. „Koomans beam” bestaande uit 5 stuks in phase gevoede hele-golf dipolen boven elkaar met $\frac{1}{2} \lambda$ tussenruimte, het geheel geplaatst voor een reflecterend

scherm van horizontale draden. De versterking in de voorwaartse richting (bundelingsfactor) bedroeg 15 dB (32-voudig) en de achterstralingsonderdrukking ca. 28 dB. [37]

4.2. *Medewerking P.T.T.*

Spoedig werd ook hooggewaardeerde medewerking onderhouden van het Staatsbedrijf der P.T.T. De afdeling Propagatie van Radiogolven onder leiding van de Heer J. Houtsmuller, die uiteraard geïnteresseerd was in het gedrag van VHF-UHF golven in verband met FM-omroep en televisie, richtte voor onze meetdoeleinden een drietal zenders in ons land op, werkende op 146 MHz, ieder met een ERP van ca. 400 Watt.

De zenders werden geplaatst resp. te Hoogezand (204 km tot Den Haag), Hengelo (172 km) en Hulsberg (Limburg, 172 km).

4.3. *Afstanden boven 200 km.*

Daar vanuit Den Haag de maximaal te bereiken afstanden over Nederland beperkt blijven tot ca. 200 km en we al spoedig geïnteresseerd waren in afstanden belangrijk groter dan 200 km, waarbij uit der aard ook nog verschillende richtingen in West-Europa in aanmerking kwamen, moest naar assistentie in het buitenland omgezien worden.

Er wachtten ons hier weer enige teleurstellingen: de bevriende instanties die werden aangezocht deden niets aan dit soort onderzoek of zagen het niet als belangrijk genoeg om er iets aan te gaan doen!

Als enige mogelijkheid bleef tenslotte over de hulp in te roepen van buitenlandse radio-amateurs. Onze aanvankelijk voor binnenlands gebruik gebouwde zender op 144.00 MHz werd toen ook gebruikt om op deze frequentie dagelijks op vaste tijden twee-weg communicatie met stations in West-Europa te onderhouden over afstanden van 250—500 km.

4.4. *UHF-onderzoek.*

Enige tijd hierna werd ook een experimentele UHF-zender ingericht om in de 70-cm (435 MHz) amateurband te kunnen werken. Als antenne werd hiervoor een oude Duitse radar-paraboloïde van 7,5 m diameter gebruikt die in combinatie met

de kristal-gestuurde zender een ERP van ca. 48 kW opleverde.

Ook op deze frequentie was de Dienst Propagatie Radiogolven der P.T.T. zo welwillend een zender te Groningen en later een te Emmeloord voor onze veldsterktemetingen ter beschikking te stellen.

De laatste was bovendien uitgerust met twee antennes resp. op 8 en 22 m hoogte die om beurten konden worden ingeschakeld, dit om de invloed van de antennehoogte op het signaal te kunnen nagaan. Hierover straks nog iets meer.

4.5. *Ruisarme ontvangers.*

Met het oog op de meestal geringe vermogens van de te meten zenders en de, vanuit microgolf-standpunt geziene, relatief grote afstanden is het duidelijk dat in het algemeen zwakke tot zeer zwakke signalen te verwachten waren. In verband hiermede werd veel werk besteed aan de research en ontwikkeling van stabiele en zeer ruisarme ontvangers.

Gezien het kader van deze voordracht is het helaas niet mogelijk hier nader op de problemen van dit soort ontvangers in te gaan. In de literatuuropgaven [38→46] is veel op dit gebied te vinden.

We zullen moeten volstaan met een droge opsomming van enkele technische gegevens.

4.5.1. 145 MHz-ontvanger.

De kristal-gestuurde telegrafie/telefonie-ontvangers voor frequenties rond 100—200 MHz zoals momenteel bij het propagatie-onderzoek in bedrijf zijn, zijn alle continue afstembaar over 2,5 MHz en uitgerust met: drievoudige frequentie-transformatie, een ingangshoogfrequent-versterker waarin een Philips schijftriode EC56 en een General Electric-U.S.-triode 6AJ4 gebruikt worden, een eerste M.F.-versterker afstembaar over ruim 2,5 MHz, een derde M.F.-versterker met variabele doorlaat van resp. 800 Hz, 4 kHz, 8 kHz en versterkte automatische sterkteregeling. Totaal aantal buizen 38, voor koeling zorgen twee ingebouwde ventilatoren.

De ontvangers zijn eigenlijk ietwat ingewikkelde buisvoltmeters: door middel van een ingebouwde geijkte verzwakker en een draaispoel-instrument op het frontpaneel is het mogelijk de in de antenne geïnduceerde EMK tussen de grenzen 0,03 μ V

en 3 mV onmiddellijk af te lezen. Het ruisgetal bedraagt 1,8 (ruisfactor 2,5 dB) en het minimaal waar te nemen C.W. signaal („on-off”telegrafie) ligt bij ca. 0,015 μV over 70 Ω ($\approx 3 \times 10^{-18}$ Watt) bij een M.F.-bandbreedte van 800 Hz. De hoogfrequent-eenheid, bestaande uit H.F.-voorversterker, eerste „mixer” en eerste kristal-oscillator, is uitneembaar en door inzetten van een andere, overeenkomstig uitgevoerde, eenheid is het op eenvoudige wijze mogelijk de ontvanger voor andere frequenties geschikt te maken. De enige niet-kristalgestuurde generator is die welke in de tweede „mixer” wordt gebruikt. Deze variabele generator is op bijzondere wijze geconstrueerd en bezit kristal-stabiliteit.

4.5.2. 435 MHz-ontvanger.

De 435-MHz-ontvanger bestaat uit een combinatie van een ontvanger zoals boven omschreven en een hiervoor geschakelde ruisarme kristalgestuurde „convector” van 435-140 MHz. Tijdens de proeven was deze convector uitgerust met een schijftriode DET23 van Marconi-Osram als ingangsbuis in roosterbasisschakeling. Het ruisgetal bedroeg ca. 4 (ruisfactor 6 dB).

Voor registratiedoeleinden wordt achter de ontvangers een recorder geschakeld van het fabrikaat Leeds and Northrup U.S.A., die bij een ingangsspanning van 5 mV gelijkspanning een max. uitslag van de recorderpen geeft van ca. 25 cm.

4.6. Propagatie-onderzoek 145 MHz.

In het algemeen vergde het VHF/UHF propagatie onderzoek veel tijd daar het noodzakelijk was verschillende trajecten minstens twee à drie jaar statistisch te observeren en er bovendien vrij veel hulpapparatuur zoals antennes, zenders, ontvangers en meetapparatuur voor ontwikkeld moest worden.

Dank zij een aantal serieuze Belgische, Engelse, Duitse en Franse amateurs zijn we er over de afgelopen 5 à 6 jaar in geslaagd een grondig inzicht te krijgen in de troposferische transmissie-condities en de mogelijkheden aangaande betrouwbare communicatie over West-Europa speciaal wat de frequenties rond 150 MHz betreft. Met deze gegevens is het ook mogelijk troposferische trajecten met hogere draaggolffrequenties vooruit te berekenen.

De veldsterkte („free-space”) van de diverse amateurzenders

werd berekend uit de door hen verstrekte technische gegevens, zoals gebruikt zendervermogen, soort antenne, lengte en soort voedingslijn, hoogte antenne, etc.

In het algemeen werd een zenderrendement van 50 % aangehouden en in de meeste gevallen konden de voedingslijnverliezen in rekening worden gebracht. Uit de zo gevonden waarde en de werkelijk gemeten veldsterkte werd de tropo-demping (= de extra demping die bij de „vrije-ruimte” demping moet worden opgeteld om de ware demping te krijgen) bepaald.

Een groot aantal waarnemingen werd gedaan over afstanden variërende tussen 20 en 500 km.

Ter illustratie vermelden we hieronder enkele stations waar mede gedurende lange tijd (sommige 3 jaar of meer) dagelijks op vaste tijden één of meermaal „two-way” communicatie werd onderhouden:

Nederland: Schagen (84), Nijmegen (110), Groningen (205).
 België: Antwerpen (102), Leuven (148).
 Engeland: Lowestoft (180), Brightlingsea (230), Londen (310), Grimsby (340), Northampton (360), Leeds (440), Preston (N. van Liverpool) (510), Oswestry (510).
 Duitsland: Mühlheim (195), Osnabrück (260), Mönkeberg (bij Hannover) (330), Weinheim (420), Würzburg (472).
 Frankrijk: Parijs (405).

De tussen haakjes geplaatste getallen geven de afstand tot Den Haag in km. Hierbij kan nog worden opgemerkt dat, gezien vanuit de zend-ontvangantenne te Waalsdorp, de horizon zich op een afstand van 12,8 km bevindt en dat bijv. het station te Preston ca. 20 km beneden de horizon ligt.

Tijdens speciale proeven zijn enkele „two-way” verbindingen over afstanden groter dan 500 km onderhouden met een aantal Zwitserse amateurstations op de Chasseral, de Pilatus en de Rigi. Door hun geringe aantal zijn deze waarnemingen verder buiten beschouwing gebleven.

4.7. *Onderzoek 435 MHz-band ($\lambda = 69$ cm).*

Een veel minder groot aantal waarnemingen staat ons ten dienste bij de beoordeling van de propagatie-eigenschappen op de 435 MHz-band. De grote moeilijkheid was en is nog steeds het verkrijgen van goede tegenstations met voldoende ERP, gelegen op afstanden aanzienlijk groter dan 200 km en in diverse richtingen over West-Europa.

Enkele voorlopige resultaten zullen straks nog vermeld worden.

4.8. *Algemeen overzicht meetresultaten.*

Thans volgt een overzicht van de meetresultaten en een beknopte uiteenzetting van de algemene eigenschappen van de geobserveerde signalen en hiermede samenhangende verschijnselen.

4.8.1. *Transmissie-dempingskromme (Tropo-demping).*

In fig. 5 zijn aangegeven de, over lange tijd gemiddelde (z.g. „longterm”), mediaan-veldsterkten van de verschillende geob-

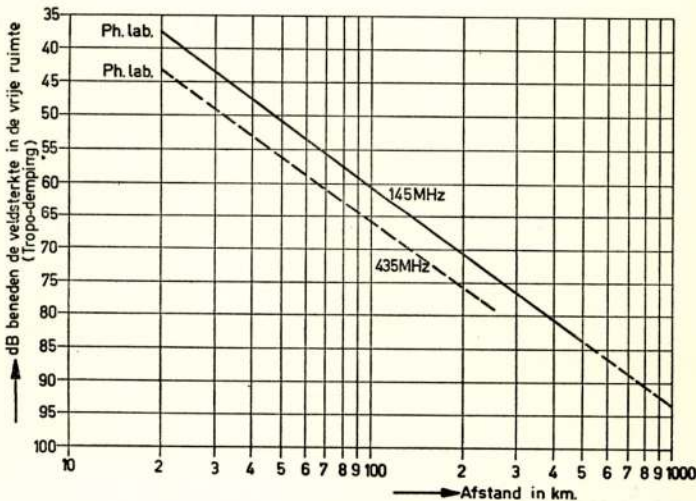


Fig. 5.

Transmissie-dempingskrommen.

serveerde zenders als functie van de afstand. Op de ordinaat is afgezet de optredende veldsterkte in dB beneden de veldsterkte die de beschouwde zenders zouden veroorzaken in de vrije ruimte met hetzelfde effectief uitgestraalde vermogen (Tropo-demping). Langs de absis is een logarithmische afstandschaal in km uitgezet. De verkregen „wolk” van waarnemingspunten lag zeer dicht rond de aangegeven rechte lijn.

Kromme I geldt voor een frequentie van ca. 150 MHz en is gemeten over afstanden van 20—500 km.

Kromme II is een provisorische kromme geldig voor de fre

quentie 435 MHz, gemeten over 20—200 km. Het aantal waarnemingen is hier eigenlijk nog niet groot genoeg.

We zullen nu eerst wat dieper ingaan op de eigenschappen van de waargenomen transmissie-verschijnselen op frequenties rond 150 MHz.

Zoals uit kromme I blijkt neemt de tropo-demping t.o.v. de „free-space” demping telkens met 10 dB toe voor verdubbeling van de afstand. Daar in dit geval de „free-space”-veldsterkte zelf met 6 dB afneemt, vermindert dus de werkelijke veldsterkte bij verdubbeling van de afstand met 16 dB (d.i. ca. 6,3-voudig).

Gezien de kromme kan men ook schrijven:

$$F_d = \frac{F_{20}}{\left(\frac{d}{20}\right)^{2,66}} = 2900 F_{20} \times \frac{1}{d^{2,66}} \quad (3)$$

Hierin is: F_{20} = veldsterkte op 20 km afstand

F_d = veldsterkte op een afstand d km

d = afstand zender — ontvanger in km.

De uitkomst van onze proeven is dus dat op afstanden voorbij het „optisch zicht” de veldsterkte afneemt omgekeerd evenredig met $d^{2,66}$.

Het is niet oninteressant er hier op te wijzen, dat Lauter en Klinker [17] het volgende opmerken: „Die Feldstärke Abnahme erfolgt in diesen grossen Senderabständen weit langsamer als den CCIR Annahmen entspricht und wird im Fernbereich offenbar durch ein $\frac{1}{d^x}$ Gesetz wiedergegeben. Der Exponent „ x ” nimmt nach unseren Messungen Werte von etwas grösser als 2 an.”

In fig. 6 zijn behalve de door ons gevonden krommen ook nog enkele curves van Amerikaanse onderzoekers aangegeven. Frappant is de kromme van het Central Radio Propagation Laboratory die vrijwel zuiver evenwijdig aan de Fysisch Laboratorium kromme loopt op een afstand van 10 dB. De CRPL-kromme is het resultaat van metingen bij 100 MHz, 192,5 MHz en 1046 MHz. [48]

De kromme van Rice en Daniel [49] is gemeten bij 100 MHz en berust op een zeer groot aantal waarnemingen.

De Fysisch Laboratorium kromme geldt bij gebruik van relatief lage zend- en ontvangantennes (hoogte 10—20 m boven omringende grond).

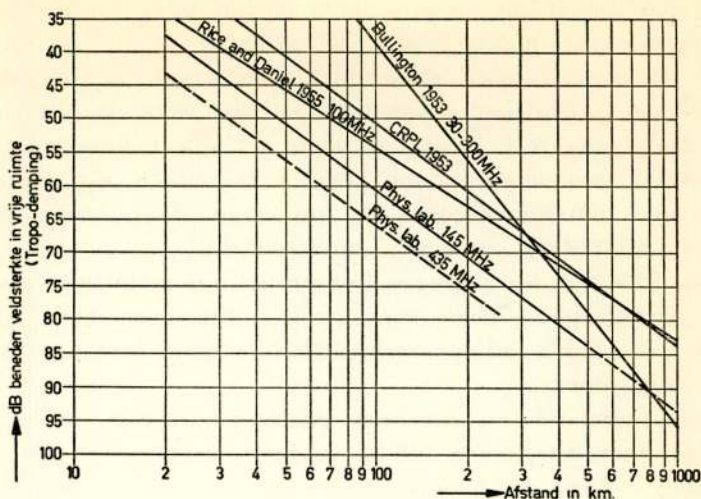


Fig. 6.
Transmissie-dempingskrommen.

De verschillen in transmissie zijn over land- en over zee-trajecten niet erg groot: de kromme geldt dus ook voor de richting Engeland. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat gebleken is dat in het algemeen de transmissie over land iets beter gaat dan over zee.

De in fig. 5 afgebeelde kromme gecombineerd met de straks te behandelen statistische fading-krommen maken de volledige vooruitberekening van een troposferisch communicatiesysteem over afstanden van 20—500 km mogelijk.

4.8.2. Diversity-afstand; invloed antennehoogte.

Om de invloed van de hoogte van de antenne boven het aardoppervlak na te gaan zullen we eerst even het natuurlijk of effectief „scatter”-volume in herinnering brengen en gaan we zien wat er aan de ontvangzijde gebeurt. Hierbij laten we aan de zenzijde alles ongewijzigd: we nemen aan dat de „richtingskegel” van de zendantenne het natuurlijk „scatter”-volume ruim omvat.

Zoals we in fig. 3 hebben gezien is het natuurlijk „scatter”-volume klein en bevindt het zich in het midden van het transmissie-traject. Om een idee van de grootte te geven zij hier vermeld dat de afmetingen in de orde van $\frac{d^2}{3R}$ zijn. [14]

Bij een zender-ontvanger afstand d van bijv. 400 km wordt pe horizontale afmeting dus ruim 6,5 km.

De horizontale hoek waaronder men vanuit de ontvangantenne in dit geval het volumetje „ziet” bedraagt ca. $1,8^\circ$.

Zoals algemeen bekend kan men het effect van fadingverschijnselen verminderen door gebruik te maken van twee afzonderlijke ontvangantennes die op enige afstand van elkaar zijn opgesteld (z.g. „diversity”-ontvangst).

Men kan zich nu afvragen hoe groot deze onderlinge afstand moet zijn opdat, — zoals voor goede fadingvermindering noodzakelijk is —, de fadingverschijnselen in beide antennes ongecorreleerd worden.

Deze correlatie- of „diversity”-afstand kan men, zoals Gordon dit doet, berekenen uit de afmetingen van het effectieve „scatter”-volume, de geometrie van het geval en een eenvoudige phase-voorwaarde. [Men zie hiertoe 9, 14.]

Gordon vindt voor de correlatie-afstand in horizontale richting:

$$D_h = \frac{3}{4} \frac{\lambda R}{d} \quad *) \quad (4)$$

Uit de afmetingen van het genoemde volumetje in verticale richting volgt voor de correlatie-afstand in verticale richting:

$$D_v = \frac{\lambda R}{d} \quad (5)$$

Voor een traject van 400 km en een gebruikte golflengte van 2 m bedraagt dus de horizontale „diversity”-afstand $D_h = 30$ m.

We zullen nu eens nagaan wat er met het ontvangen signaal gebeurt wanneer we onze ontvangantenne, — voor de eenvoud een horizontale $\frac{1}{2} \lambda$ dipool —, vanaf een hoogte nul steeds hoger boven het aardoppervlak brengen.

De totale energie aan de ontvanger toegevoerd wordt bepaald door het „samenspel” van de direct door de eigenlijke antenne opgevangen energie en de indirect ontvangen idem tengevolge van de door de bodem gereflecteerde straling. We kunnen hiervoor, zoals bekend, een vervangstelsel maken door de bodem weg te denken en een tweede antenne, het antennespiegelbeeld, loodrecht onder de eigenlijke antenne aan te bren-

*) R = voor refractie gecorrigeerde aardstraal = 8×10^6 m.

d = afstand zender-ontvanger in km.

gen waarbij de afstand tussen antenne en spiegelbeeld gelijk is aan $2h$ wanneer h de hoogte van onze dipool boven het aardoppervlak voorstelt.

We veronderstellen verder dat het hier normale radiotransmissie (geen „scatter“- of ionosfeer-invloeden) betreft met een golflengte van ca. 2 m (150 MHz), waarbij de te ontvangen zenderstraling aankomt in een evenwijdige bundel die een hoek van $0,5^\circ$ à 1° met het aardoppervlak maakt. Om de gedachte te bepalen kan de zender dus een vliegtuigzender zijn op vrij grote hoogte en een afstand van ca. 200 km. Het aardoppervlak wordt als ideaal reflecterend beschouwd.

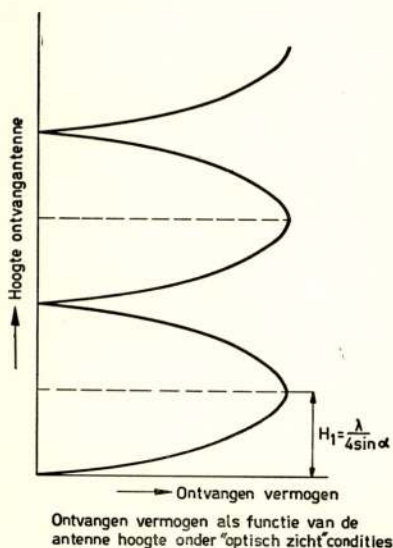


Fig. 7.

Invloed van de antenne-hoogte.

Bij een ontvang-antenne hoogte nul is vanzelfsprekend het ontvangervermogen ook nul. Bij toenemende hoogte stijgt dit vermogen langzaam, boven een hoogte van $0,25 \lambda$ krijgt het antennediagram een multi-lus structuur en bij voldoende grote hoogte (in casu 40 à 50 meter) zal de lus die de kleinste hoek met het aardoppervlak maakt zo ver naar beneden gedraaid zijn dat zijn maximum samenvalt met de boven gegeven stralingsrichting. Er treedt nu een eerste maximum in de ontvangst op; het ontvangen vermogen is thans *viermaal* zo groot als met één dipool in de vrije ruimte: *de stromen in antenne en spiegelbeeld adderen*

nu. De combinatie antenne + spiegelbeeld produceert derhalve onder de gegeven stralingshoek een effectief oppervlak dat viermaal zo groot is als het effectief oppervlak van een enkele dipool in de vrije ruimte.

Bij verdere vergroting van de hoogte daalt het ontvangen vermogen om bij ca. 100 m antennehoogte weer nul te worden, bij een hoogte van 150 m treedt weer een maximum op enz. Het verloop van het ontvangen vermogen als functie van hoogte is in fig. 7 aangegeven.

Tot zover dit geval waarbij dus de straling van een „puntbron“ afkomstig is en de stromen in antenne en het spiegelbeeld

derhalve voor elke hoogte boven het aardoppervlak gecorreleerd blijven.

Doen we nu een analoge proef in het geval we te maken hebben met binnenkomende straling afkomstig van een *verstrooiend volume*, dan treden andere verschijnselen op.*)

Bij een van nul af toenemende hoogte neemt aanvankelijk de ontvangen signaalenergie normaal toe, geheel als in het puntbron geval totdat bij een antennehoogte gelijk aan de „diversity” hoogte $= \frac{\lambda R}{2d} = 20 \text{ m}$ de ontvangen energie *constant* wordt en bij verder toenemende hoogte constant blijft (zie fig. 8). Dit

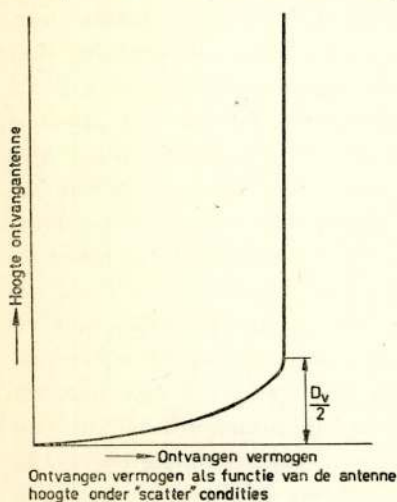


Fig. 8.

Invloed van de antenne-hoogte.

verschijnsel treedt dus op lang voordat de 1e optimale hoogte van ca. 50 m, zoals in het gecorreleerde geval gold, bereikt is.

Bij de diversity-hoogte be draagt de separatie tussen antenne en antenne-spiegelbeeld 40 meter hetgeen gelijk is aan de verticale diversity-afstand. Bij deze onderlinge afstand zijn de stromen in de antenne en spiegelbeeld dus volledig ongecorreleerd geworden en wordt de totaal ontvangen energie bepaald door de *som van energieën* opgevangen door de antenne zelf en het spiegelbeeld. Deze som blijft constant voor hoogten groter dan de diversity-hoogte.**)

Het maximaal optredende effectief oppervlak is nu slechts tweemaal zo groot als dat van een enkele dipool in de vrije ruimte.

Het is duidelijk dat nu ook de multi-lus structuur, die gold in het gecorreleerde geval, volledig verdwijnt (zie fig. 8). Een

*) We veronderstellen hierbij weer een afstand van 200 km tot het verstrooiende volume, dezelfde golflengte en een overeenkomstige hoek waaronder de straling binnenkomt. De eigenlijke zender bevindt zich nu op een afstand $d = 400 \text{ km}$ van de ontvanger.

***) Doordat bij toenemende hoogte de verstrooiingshoek θ (fig. 2) afneemt, zal in werkelijkheid ten gevolge van *dit* effect de signaalsterkte uiterst langzaam met toenemende hoogte stijgen.

ander specifiek effect hetwelk zich voordoet bij het ontvangen van energie uit het effectief „scatter“-volume, ook bij afwezigheid van een aardoppervlak, is het volgende: Wanneer men de „stralings-kegel“ van de ontvangantenne op het effectief „scatter“-volume richt en de kegel zo nauw maakt dat dit volume-tje juist door de kegel omvat wordt, ontvangt men een zekere hoeveelheid energie. Maken we nu de ontvangkegel nog nauwer dan blijft toch het ontvangen vermogen gelijk, want terwijl de antenne nu een kleiner „scatter“-volume ziet, hetgeen op zichzelf

een signaalvermindering ten gevolge zou hebben, wordt dit effect door de nu grotere, — vlakke golf —, antenneversterking juist gecompenseerd.

Stellen we nu ter vereenvoudiging dat het scatter-volume nagenoeg bolvormig is, dan is het voldoende om de effecten in het horizontale vlak te beschouwen.

Het blijkt bij narekening dat de horizontale afmeting van de ontvangantenne om een horizontaal richtdiagram te geven hetwelk juist het „scatter“-volume omvat, gelijk is aan $2D_h$, d.w.z. tweemaal de correlatie-afstand zoals deze door (4) wordt gegeven.

Bij deze afmeting wordt het ontvangen vermogen constant en blijft constant bij groter wordende afmetingen. Voordat de afmeting $2D_h$ echter wordt bereikt zijn de op de uiterste randen van onze antenne aankomende golven al lang niet meer gecorreleerd.

Hierdoor is het ontvangen vermogen in verhouding geringer dan in het geval van een kleinere antenne.

Het door de antenne onder „scatter“-condities ontvangen vermogen als functie van de afmeting verloopt dus ongeveer zoals in fig. 9 is aangegeven. Overigens komen we nog uitvoerig op deze antennekwestie terug in 4.8.9.

De gunstigste antennehoogte bij troposferische transmissie is nog steeds een veel omstreden punt van discussie.

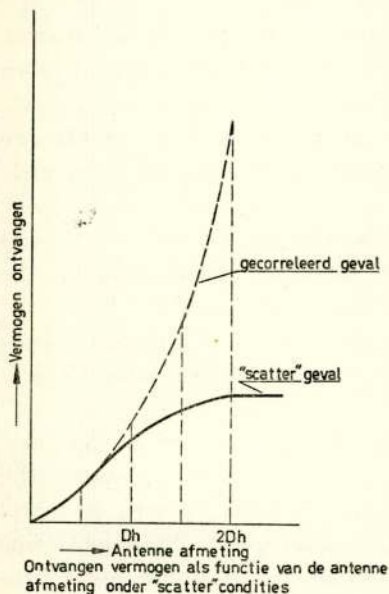


Fig. 9.

Effect van de antenne-afmeting. De vermogen-schalen zijn voor het „scatter“- en gecorrigeerde geval verschillend.

Onze eigen waarnemingen duiden er positief op dat in het algemeen de „long-term” mediaan veldsterkte wel degelijk van de hoogte afhangt ook al is deze hoogte belangrijk groter dan de diversity-hoogte volgens Gordon.

Als voorbeeld hiervan zij vermeld dat een van de door ons zeer lang geobserveerde Duitse stations op een afstand van 330 km en zich bevindende op een 400 m hoge heuvel een „long-term” mediaan veldsterkte geeft die 10 à 12 dB boven onze transmissiekromme (fig. 5) ligt. De diversity-hoogte bedraagt in dit geval volgens Gordon slechts 23 m.

Ten gevolge van de vrij grote hoogte van dit Duitse station zijn de condities voor het optreden van meer orthodoxe effecten zoals refractie en (partiële) reflecties waarschijnlijk vrij gunstig voor een groot deel van de tijd en geven aanleiding tot een signaal dat min of meer overeenkomt met het gecorrleerde geval zoals boven is uiteengezet.

Ook de, zij het weinig talrijke metingen die we aan hooggelegen Zwitserse stations hebben gedaan, geven signalen die belangrijk boven onze transmissiekromme liggen.

De proeven met de twee antennes op verschillende hoogte (8 en 22 m) van de PTT-zender 435 MHz te Emmeloord wijzen ook in deze richting.

Tijdens slechte transmissie-condities („scatter”) is het verschil in signaalsterkte bij gebruik van deze twee antennes nihil (non-coherentie van antenne en spiegelbeeld). Zodra evenwel de voortplantingscondities iets verbeteren geeft de hogere antenne direct een beter resultaat dan de lage. In dit geval krijgen we dus ook meer met gecorrleerde straling (puntbron-effecten) te doen en *niet meer met de straling uit een volume*. Deze situatie treedt een groot deel van de tijd op en onder deze omstandigheden handhaaft zich dus min of meer de multi-lusstructuur van het antenne-diagram.

In zo'n geval is het zaak de eerste lus van dit diagram (ontvang- en zendantenne) een zo klein mogelijke hoek met het aardoppervlak te laten maken, d.w.z. antennes zo hoog mogelijk. Uit allerlei overwegingen [27, 28, 78] kan men afleiden dat nu alleen straling uitgezonden en ontvangen onder een hoek tussen nul en twee graden met het aardoppervlak daadwerkelijk bijdraagt in de troposferische lange-afstand transmissie. In verband hiermede is het duidelijk dat de antennebundeling alleen niet voldoende is: de antennes moeten tevens zo hoog mogelijk worden opgesteld.

4.8.3. Hoek waaronder de signalen binnenkomen.

a) Verticaal.

Mede in verband met het voorgaande kan nog worden medegedeeld dat de verticale invalshoek van de binnenkomende signalen zéér klein is, d.w.z. de signalen komen bij de ontvang-antenne praktisch evenwijdig met het aardoppervlak binnen.

Een en ander werd reeds vrij spoedig bij de aanvang van de proeven geconstateerd met behulp van de 7,5 m parabolöide (Würzburg Radar), die geëleveerd kon worden tussen -5 en $+90$ graden.

De signalen komen dus a.h.w. uit de horizon).*

Een licht-technische analogie vindt men bij het des nachts observeren van een vuurtorenlicht dat zich beneden de kim bevindt. Men neemt in dit geval alleen het van de kimlijn komende verstrooide licht waar, terwijl de eigenlijke lichtbron onzichtbaar is. Zo ongeveer moet men zich ook de troposferische transmissie van microgolven voorstellen. Voor een maximaal effect is het derhalve noodzakelijk de antennebundel zoveel mogelijk op de horizon te richten.

b) Horizontaal.

Met de gebruikte antennes die een vrij brede bundel (47°) in het horizontale vlak bezitten was het niet mogelijk met enige zekerheid een afwijking van de grootcirkelrichting naar de zender te constateren. Precieser gezegd: het bleek dat, tijdens „scatter“-condities, de *gemiddelde* richting van de antenne overeenkomt met de grootcirkelrichting naar het zendende station. Tijdens dit soort condities wordt n.l. het diagram van de antenne schijnbaar breder. Overigens was het niet mogelijk te constateren hoeveel deze verbreding exact bedroeg, daar dit, onder genoemde omstandigheden, waarbij de signalen zwak tot zéér zwak zijn en heftig fluctueren, praktisch ondoenlijk was. Wel hebben wij sterk de indruk dat de hoek α_c (zie 1.9) waar Gordon over spreekt, onder deze omstandigheden aanzienlijk groter moet zijn dan uit zijn theorie volgt en wellicht in de orde van 10° of meer ligt inplaats van de berekende waarde van $1,9^\circ$ (afstand 400 km gerekend). Volgens Gordon zou men in dit geval eerst bij een antennebundel met een horizontale hoek gelijk of kleiner dan $1,9^\circ$ iets van laterale deviaties kunnen merken. [50] Een feit is het evenwel dat wij dit effect reeds merkten

*) Marconi constateerde dit effect tijdens zijn proeven in de Middellandse Zee ook reeds. [52]

met een antenne die een veel grotere bundelbreedte dan $1,9^\circ$ heeft. Trolese [51] rapporteert analoge verschijnselen op veel hogere frequenties.

4.8.4. Fading.

Tijdens „scatter”-condities vertoont de fading, gemeten over korte tijd (z.g. „short-term” fading) practisch een z.g. Rayleigh-distributie, [52, 53] zie fig. 10 en 11.

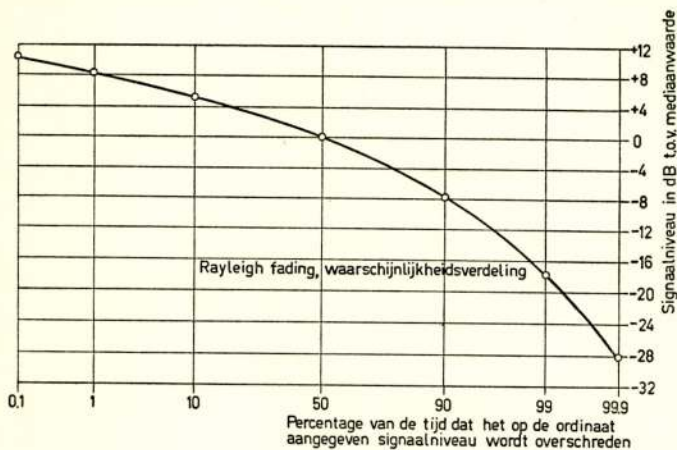


Fig. 10.

Rayleigh fading.

Bij voortplantingscondities die bepaald worden door een mengsel van „scatter”- met refractie- en reflectie-verschijnselen hangt het alleen af van de verhouding „scatter”-effecten tot andere effecten welke soort fading men krijgt. Bij overheersing van refractie- en reflectie-verschijnselen is de fading sterk verschillend van Rayleigh-fading (zie fig. 12).

De fading gemeten over lange tijd („long-term” fading) vertoont meer een z.g. Gauss-waarschijnlijkheidsverdeling (zie fig. 13). De hier gegeven kromme geldt voor een afstand van ca. 200 km; bij grotere afstanden wordt de helling van de curve geringer. Tijdens „normale” propagatie-condities, d.w.z. wanneer geen uitgesproken „scatter”-effecten optreden, vertonen de signalen op grote afstand (300—500 km) minder fluctuaties dan die op een afstand van ca. 150 à 200 km (zie fig. 14).

Bij goede voortplantingscondities stijgen de signalen over grote afstand (bijv. traject Leeds—Den Haag 440 km) soms tot een sterkte die 30 tot 40 dB boven de kromme-waarde van

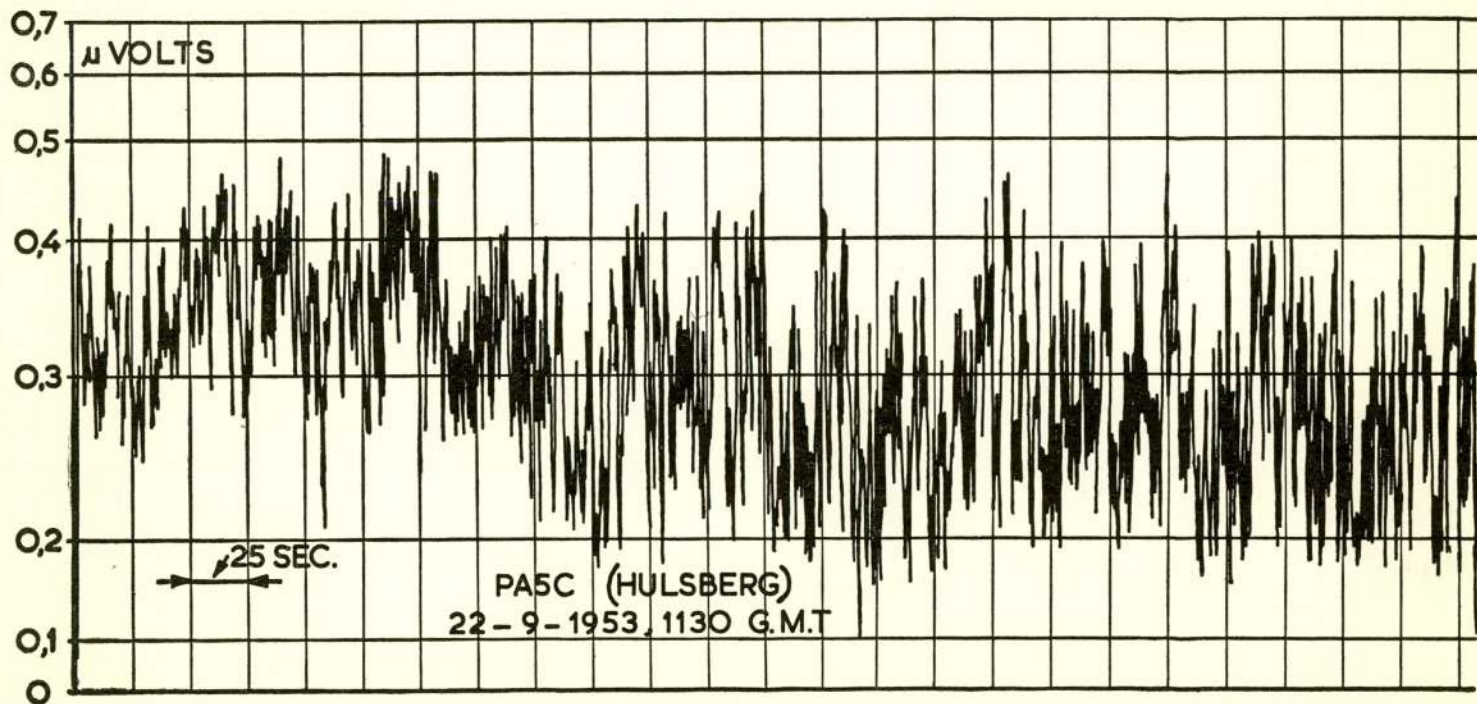


Fig. 11.
Scintillatie-fading tijdens aanvoer van koude polaire lucht („scatter“-verschijnselen). Traject-afstand 174 km.

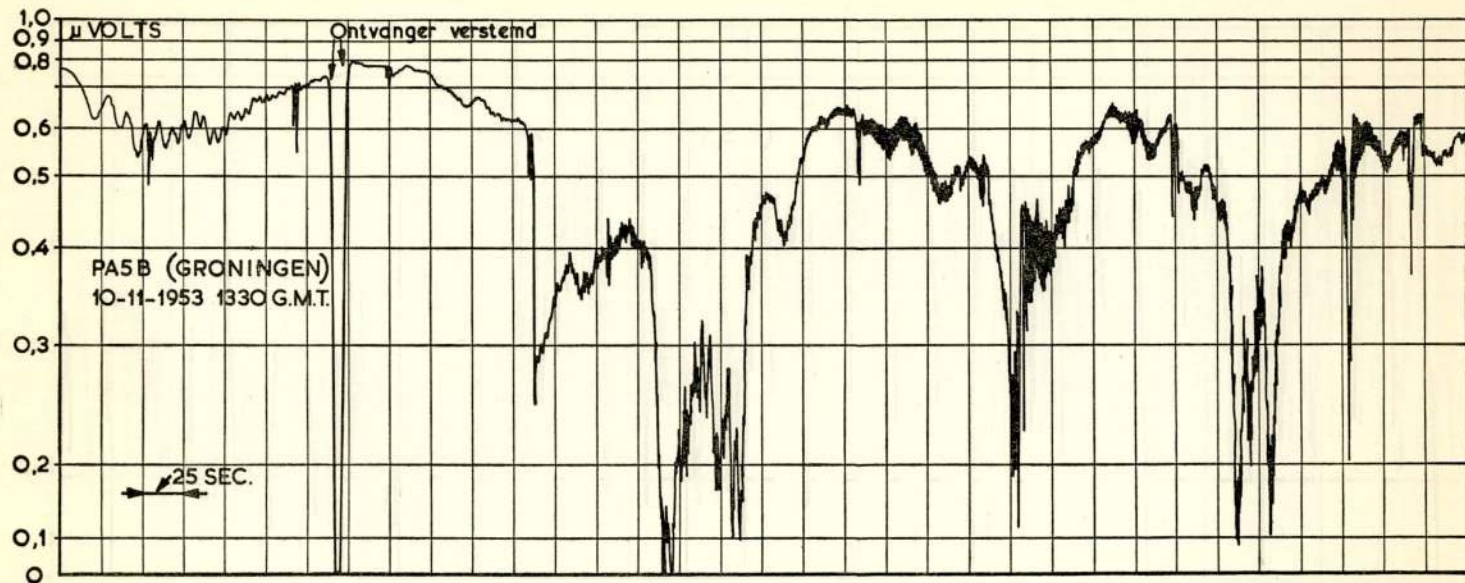


Fig. 12.

Fading tijdens overheersing van refractie- en reflectie-verschijnselen. Duidelijk is in het rechtergedeelte de invloed van vliegtuigreflecties te zien. Trajectafstand 205 km.

fig. 5 ligt. Bij dichterbij gelegen stations is de signaaltoename onder genoemde condities gewoonlijk geringer en bedraagt ca. 20 à 26 dB.

Tijdens de meest gunstige atmosferische toestand (super-refractie) blijft het signaal echter toch nog altijd belangrijk beneden de „free-space”-waarde.

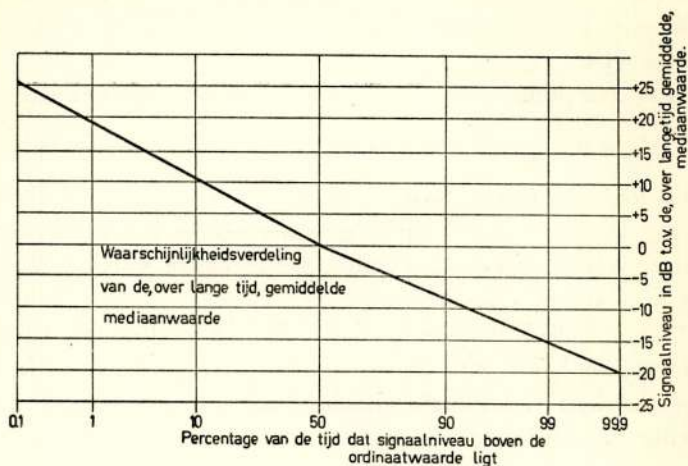


Fig. 13.

„Long-term”-fading.

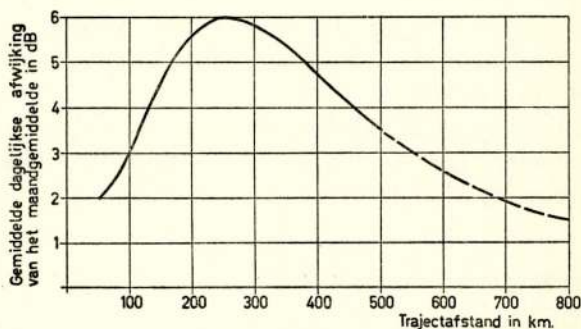


Fig. 14.

Globaal verloop van de gemiddelde veldsterkte-
variaties als functie van de afstand
zender-ontvanger.

4.8.5. Distorsie ten gevolge van fading.

Geen enkele maal werd fading-distorsie bemerkt op de door ons ontvangen telefonie-signalen (amplitude modulatie, band-

breedte ontvanger 4 en 8 kHz). Selectieve fading is bij deze geringe breedte niet waarneembaar.

Volgens Gordon wordt de toelaatbare bandbreedte, waarover gecorreleerde fading van de diverse frequenties is te verwachten, bepaald door het verschil in weglengte van de golven die verstrooid worden aan de bovenste en onderste grenzen van de twee kegels die het natuurlijke verstrooiingsvolume gezamenlijk omvatten. [14]

Gordon berekent voor deze toe te laten bandbreedte $B = \frac{123}{d^3}$ MHz waarin d = afstand zender—ontvanger in eenheden van 100 km. Bij een afstand van 400 km en een bundelbreedte $\alpha_c = 1.9^\circ$ die juist het natuurlijk „scatter”-volume omvat kan men dus *theoretisch* een maximale bandbreedte van ca. 2 MHz distorsievrij overbrengen.

Wil men bijv. televisie met een bandbreedte van 10 MHz relayeren dan heeft men hiervoor theoretisch zéér smalle bundels, — hoeken van enkele tiende delen van een graad —, en dus grote richtantennes nodig.

Overigens valt het met deze „meerwegen”-distorsie-effecten in de praktijk nogal erg mee zoals blijkt uit het lijstje van Amerikaanse televisie-relay proeven van enige jaren geleden (zie fig. 15). De gebruikte antenne-bundelhoeken waren zeker vele malen groter dan in de theorie van Gordon zijn aangegeven en hier had men dus ten volle „multi-path” distorsie kunnen verwachten. [77]

Zeer waarschijnlijk is bij deze proeven de invloed van echte „scatter”-effecten gering geweest. Norton [65] noemt dit: „modes of propagation other than pure scatter”!

4.8.6. Fadingfrequentie.

Tijdens de aanvoer van koude polaire lucht uit het noordwesten treden vaak echte „scatter”-condities op: de fading op 145 MHz is dan snel en vertoont een praktisch zuivere Rayleigh distributie (fig. 11). De fadingfrequentie ligt dan gewoonlijk in de orde van 0,5 à 1 Hz.

Tijdens normale voortplantingscondities is de fadingfrequentie veel lager en ligt tussen 1 per 10 sec. à 1 per minuut. Bij goede transmissie-omstandigheden daalt de frequentie tot 1 per 10 à 30 minuten.

Bij hogere draaggolffrequenties dan 150 MHz is in het alge-

Reports on long-range transmission of television signals over distances up to 330 miles.

Location of Television Transmitting and Receiving Points	Airline Distance (miles)	Elevation of Antennas Above (1) Average Terrain (2) Sea Level (ft.)	Frequency of Video Carrier (mc.)	Power (ERP, kw.)	Character of Path	Remarks
KEYL-TV, San Antonio, Texas to XELD-TV, Matamoros, Mexico	254	(1) 450 (2) 1187 (1) 335 (2) 400	77.25 (Ch. 5)	35.2	over land; flat terrain	Programs from KEYL-TV received directly by XELD-TV and retransmitted on schedule*.
KGUL-TV, Galveston, Texas to Brownsville, Texas	300	(1) 550 (2) 608 (1) (approx.) (2) 50-100	199.25 (Ch. 11)	235	over water	Consistent reception of KGUL-TV in Brownsville for 11 days in March, 1953. No multipath distortion noted*.
WBZ-TV, Boston, Mass. to Mt. Washington, N.H. (United field studies)	140	(1) 530 (2) 669 (1) 3187 (2) 6346	67.25 (Ch. 4)	100	over land; hilly to mountainous	Excellent TV reception at summit of Mt. Washington. No observable multipath effect or fading. Measured field in excess of 1 mv/m.
WNAC-TV, Boston, Mass. to Mt. Washington, N.H. (United field studies)	135	(1) 480 (2) 600 (1) 3817 (2) 6346	175.25 (Ch. 7)	200	over land; hilly to mountainous	Excellent TV reception. No multipath effect noted. Measured field in excess of 1 mv/m.
XEW-TV, Cortez Pass, Mexico City to Aircraft employed in field measurements of <i>Unitel, Inc.</i>	330	(1) 5800 (2) 12800 (1) 5900 (2) 6000	187.25 (Ch. 9)	25	over land; mountainous to flat	Television image received at 130 miles. No multipath effect observed. Estimated field strength of 10-20 μ v/m.
*Data from Albert Metcalf, Director of XELD-TV, Matamoros, Mexico						

Fig. 15

Lange afstand Televisie relais.

Overgenomen uit "Radio Electronic Engineering", Febr. 1954 [Radio and Television News]

meen de fading ook veel sneller. Praktisch kan men aannemen dat de fadingfrequentie lineair toeneemt met de gebruikte draaggolfrequentie.

4.8.7. „Flutter“-fading.

Een zeer hinderlijk soort snelle fading („flutter“) wordt veroorzaakt door reflecties afkomstig van vliegtuigen. Dit is een van de meest ernstige soorten fluctuaties die optreedt bij transmissie van microgolven over grote afstanden. Gelukkig zijn hier zeer effectieve maatregelen tegen mogelijk. Deze zullen in het verdere verloop van dit betoog nog uitvoerig ter sprake komen.

4.8.8. Signaaluitbarstingen („bursts“).

Soms en wel *hoofdzakelijk des zomers*, treden op onze langere transmissietrajecten naar Grimsby, Leeds, Würzburg en Preston plotselinge, vrij sterke, signaaluitbarstingen op. De duur van zo'n uitbarsting of, zoals dat in het vakjargon heet: „burst“, is gewoonlijk in de orde van enkele tiende delen van een seconde waarbij het signaal een niveau-toename van 10–30 dB (3–30 maal in amplitude) vertoont.

Deze zomer-„bursts“ worden hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door reflecties tegen geïoniseerde luchtkolommen gevormd door bliksemontladingen. Ook kunnen, zoals beschreven door Isted [54] dergelijke signaaluitbarstingen misschien veroorzaakt worden door plotselinge zéér sterke veranderingen in de ionisatiegraad van de *E*-laag mede ten gevolge van bliksemontladingen.

Isted bestudeerde genoemd effect op twee lange-afstand trajecten van resp. 270 en 530 km waarbij de geluidszenders van Wenvoe TV (63,25 MHz) en Kirk-o-Shotts TV (53,25 MHz) werden geobserveerd. De uitbarstingsactiviteit in dit frequentiegebied is zéér groot.

Op deze relatief lage frequenties speelt de *ionosfeer* nog een vrij grote rol en in het algemeen zijn de voortplantingsverschijnselen hier te wijten aan een gecombineerd effect van ionosfeer en troposfeer.

Ons inziens hebben meteorieten een grote rol bij de waarnemingen van Isted gespeeld!

De zomer-„burst“-activiteit is op de door ons onderzochte frequentie (ca. 150 MHz) zéér veel geringer dan op frequenties rond 50 MHz. Maximaal treden enkele „bursts“ per dag op in

tegenstelling tot het zeer grote aantal dat Isted waarnam. Om op deze hogere frequenties nog reflecties aan geïoniseerde luchtkolommen te verkrijgen moet de ionisatiegraad belangrijk groter zijn dan op 50 MHz. Ionosfeer-invloeden zijn op 150 MHz en hoger te verwaarlozen.

Op afstanden belangrijk groter dan 500 km treden, mede ten gevolge van het dan benodigde grotere vermogen en hoog liggende „scatter”-volume ook op frequenties rond 100 à 200 MHz veelvuldig signaal-uitbarstingen op. Deze worden veroorzaakt door de geïoniseerde „kop” van de baan van een meteoriet. Er zijn duidelijk Doppler-effecten waar te nemen. Het onderzoek over deze, „troposferisch” gezien, zeer grote afstanden is in volle gang en hierover kunnen momenteel nog geen nadere mededelingen gedaan worden.

4.8.9. Degradatie van de antenne-versterking.

Tijdens „scatter”-condities bepaalt het natuurlijk of effectief „scatter”-volume de hoeken, zowel horizontaal als verticaal, waarover energie in de richting van de ontvangantenne wordt verstrooid.

In 4.8.2. hebben we reeds kennis gemaakt met een specifiek effect hetwelk bij het vernauwen van de ontvangantenne-bundel optreedt: boven een bepaalde afmeting van deze antenne wordt de ontvangen energie constant. Dit gaat echter alleen op wanneer tijdens dit vergroten van de ontvangantenne de ruimtehoek Ω beschreven door de zendantenne-bundel ongewijzigd blijft en zo wijd is dat het effectief „scatter”-volume ruim omvat wordt.

We willen hier nu eens algemeen nagaan wat er aan de ontvangzijde gebeurt wanneer:

1. bij constant gehouden wijde zendbundel de ontvangbundel versmald wordt;
2. de zend- en ontvangbundels *tegelijk* verkleind worden, daarbij steeds onderling gelijk blijvend;
3. bij kleine en onderling gelijke hoeken van zend- en ontvangantennebundel de afstand zender — ontvanger veranderd wordt.

Geval 1.

Wanneer we vanuit de ontvangantenne O raaklijnen trekken

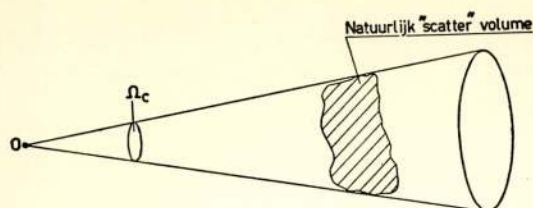


Fig. 16.

Ruimtehoek betrekking hebbend op het natuurlijk „scatter”-volume.

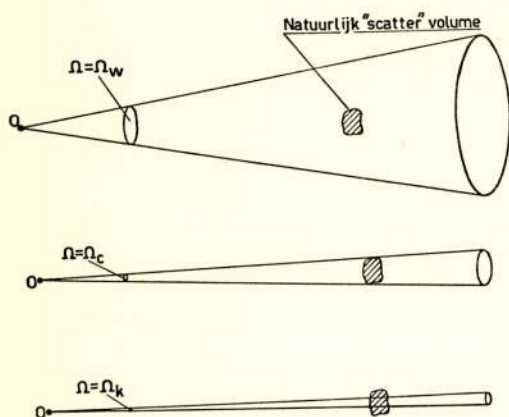


Fig. 17.

Situatie bij gebruik van verschillende antenne-„richtkegels”.

aan het natuurlijk „scatter”-volume dan zal deze verzameling raaklijnen een ruimtehoek Ω_c insluiten (fig. 16).

Ten aanzien van de richtkarakteristiek van de gebruikte ontvang-antenne kunnen zich nu drie mogelijkheden voordoen (fig. 17):

- De ruimtehoek Ω gevormd door deze karakteristiek is beduidend groter dan Ω_c , ($\Omega = \Omega_w \gg \Omega_c$).
- De genoemde ruimtehoek Ω is gelijk aan Ω_c , ($\Omega = \Omega_c$).
- De ruimtehoek Ω is kleiner dan Ω_c , ($\Omega = \Omega_k \ll \Omega_c$).

Mogelijkheid a.

Indien $\Omega = \Omega_w \gg \Omega_c$

kunnen we feitelijk het natuurlijk „scatter”-volumetje als een enkel deeltje, als een „puntbron”, opvatten en in dit geval neemt de ontvangen signaalenergie in O met het verkleinen van Ω normaal toe: de antenneversterking of bundelingsfactor is gelijk aan de versterking die we aan de antenne zouden meten met behulp van een puntbron op relatief korte afstand (bijv. 500 à 1000 λ). Deze versterking die ook wel vlakke-golfversterking of „plane-wave gain” wordt genoemd duiden we aan met de

letter g , waarbij $g_w = \frac{4\pi}{\Omega_w}$.

In dit geval is de in O ontvangen signaal-energie P_o :

$$P_o = C_1 \frac{I}{\Omega_w} = C_2 \cdot g_w.$$

In werkelijkheid is het natuurlijk „scatter”-volume een kleine

ruimtelijke verzameling van een aantal „scatter”-deeltjes. Stel dit aantal = N , dan vinden we in geval $\Omega = \Omega_w \gg \Omega_c$ voor de in O ontvangen signaalenergie P_o :

$$P_o = C \cdot N \frac{1}{\Omega_w} = C' \cdot N \cdot g_w.$$

De ontvangen hoeveelheid signaalenergie is dus evenredig met het product van de vlakke-golf antenne-versterking en het totaal aantal „scatter”-deeltjes dat binnen de antenne-richtkarakteristiek (antenne-„richtingskegel”) valt.

Mogelijkheid (b).

In dit geval is $\Omega = \Omega_c$ en nu geldt voor de in O ontvangen energie P_o :

$$P_o = P_{o_{max}} = C \cdot N \frac{1}{\Omega_c} = C' \cdot N \cdot g_c.$$

De ontvangen energie is nu maximaal zoals hieronder zal blijken.

Mogelijkheid (c).

Nu is $\Omega = \Omega_k \ll \Omega_c$.

In dit geval nu is het aantal binnen de antenne-„kegel” vallende „scatter”-deeltjes N' kleiner dan N en wel geldt voor N' :

$$N' = N \frac{\Omega_k}{\Omega_c}.$$

Voor de in O ontvangen energie P_o geldt derhalve nu:

$$P_o = cN' \frac{1}{\Omega_k} = C \cdot N \frac{1}{\Omega_c} = C' \cdot N \cdot g_c = P_{o_{max}}.$$

In dit geval neemt bij verkleining van Ω (grotere antenne) weliswaar de vlakke-golf- of „plane-wave” versterking van de antenne toe, maar tevens neemt het aantal, binnen de richtkegel vallende, „scatter”-deeltjes evenredig af. Het product van vlakke-golf versterking en het aantal omvatte „scatter”-deeltjes blijft dus constant en de ontvangen signaalenergie is in geval (c) dus even groot als in geval (b). Ondanks het feit

dat we nu een grotere ontvangantenne gebruiken blijft toch het ontvangen vermogen even groot.

Zodra dus de ruimtehoek Ω beschreven door de ontvang-antenne-richtkarakteristiek gelijk of kleiner wordt dan de ruimtehoek Ω_c , die het natuurlijk „scatter“-volume ter plaatse van de ontvang-antenne onderspant, blijft de ontvangen signaalenergie constant.

Onder deze omstandigheden is dus de effectieve antenne-versterking kleiner dan de vlakke-golfversterking.

Er treedt nu wat men noemt degradatie van de antenne-versterking op: een zeer grote, sterk bundelende antenne ontvangt onder omstandigheden evenveel signaalenergie als een kleinere, minder sterk gerichte antenne.

Meet men onder „scatter“-condities de antenne-versterking van een grote richtantenne door de ontvangen signaalenergie te vergelijken met die welke men van een $\frac{1}{2} \lambda$ -dipool, op dezelfde hoogte opgesteld als het midden van de richtantenne, verkrijgt dan blijkt dat deze versterking als functie van de tijd vrij sterk varieert en eigenlijk praktisch altijd kleiner dan de vlakke-golf versterking is. Men meet dit effect zelfs reeds aan antennes met een betrekkelijk geringe „plane-wave“ versterking. [55]

Geval (2).

In dit geval gaan we de bundels van zend- en ontvangantenne gelijktijdig vernauwen, *waarbij de ruimtehoeken steeds onderling gelijk blijven.*

We nemen nu ter vereenvoudiging aan dat de bundels rotatie-symmetrisch zijn en kunnen ons dan bepalen tot het nagaan van de verschijnselen wanneer we de horizontale hoek α van de richtkarakteristieken gaan verkleinen, immers bij rotatiesymmetrie is de verticale hoek van de richtkarakteristiek eveneens steeds gelijk aan α .

Zolang nu α groot blijft t.o.v. α_c (fig. 16) behoudt elke antenne zijn vlakke-golfversterking en is de totale (gecombineerde)

versterking dus evenredig met $\frac{1}{a^4}$ of zo men wil evenredig met $\frac{1}{\Omega^2}$.

Voor dit geval heeft Gordon [14] aangetoond dat:

$$\frac{P_o}{P_f} = 0,86 \frac{R^2}{d} S\phi \quad (6)$$

Hierin is: P_o = vermogen ontvangen onder „scatter”-condities.

P_f = vermogen ontvangen onder vrije-ruimte condities.

R = aardstraal (gecorrigeerd) = 8×10^6 m.

d = afstand zender—ontvanger in m.

$S\phi$ = „scatter”-parameter van de atmosfeer =

$$= \frac{1}{s} \left(\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2 \approx 10^{-15} m^{-1}.$$

Wordt nu bij verder verkleinen van de bundel a kleiner dan a_c dan is de inhoud van het omvatte „scatter”-volume evenredig met a^3 . De vlakke-golfversterking is, zoals we gezien hebben, evenredig met $\frac{1}{a^4}$ en ergo is de totaal resulterende

versterking evenredig met $\frac{1}{a}$ (of $\frac{1}{\sqrt{\Omega}}$)

Recapitulerend hebben we dus voor geval (2):

Indien $a \gg a_c$, is de gecombineerde antenneversterking evenredig met $\frac{1}{a^4}$.

Wanneer $a < a_c$, is de gecombineerde antenneversterking evenredig met $\frac{1}{a}$.

Hierbij kan nog worden opgemerkt dat er natuurlijk een geleidelijke overgang plaats heeft van de versterking bij $a \gg a_c$ naar die bij $a < a_c$.

Booker en De Bettencourt [15] leiden op simpele wijze af dat onder de condities $a \ll a_c$ geldt:

$$\frac{P_o}{P_f} = \frac{2 R^5 a^3 S\phi}{d^4} \quad (7)$$

Geval (3).

Het feit dat het ontvangen vermogen bij $a < a_c$ niet meer evenredig is met $\frac{1}{a^4}$ maar met $\frac{1}{a}$ is een verschijnsel dat men in de literatuur betitelt met de naam „loss in antenna gain” of ook wel „aperture-to-medium coupling loss”. Wij hebben het de degradatie van de antenneversterking genoemd.

Indien er geen degradatie zou optreden zou de verhouding van P_o en P_f in (6) en in (7) onderling gelijk moeten zijn. Dit

geeft ons een middel om deze degradatie te berekenen: delen we n.l. (6) door (7) dan vinden we voor deze versterkingsdegradatie Dg :

$$Dg = 0,43 \left(\frac{d/R}{a} \right)^3$$

We zien uit deze formule dat de versterkingsdegradatie (bij constant gehouden bundelhoek a) evenredig is met de derde macht van de afstand zender—ontvanger.

De degradatie neemt derhalve snel toe met toenemende trajectafstand.

Het verloop van de gecombineerde effectieve versterking van zend-plus ontvang-antenne als functie van de ruimtehoek Ω , gevormd door de antenne-stralingskarakteristieken met verschillende afstanden als parameter, is in fig. 18 aangegeven. Deze figuur is gedeeltelijk overgenomen uit een artikel van K. A. Norton [65] en geldt voor het gebruik van parabolische antennes met een diameter van 18 meter aan zend- en ontvangzijde. Tot zover geval (3).

Het toepassen van zeer grote richtantennes is soms noodzakelijk ondanks het feit dat de effectieve versterking aanzienlijk onder de, op korte afstand gemeten, vlakke-golf versterking zal liggen. Dit geval doet zich voor wanneer

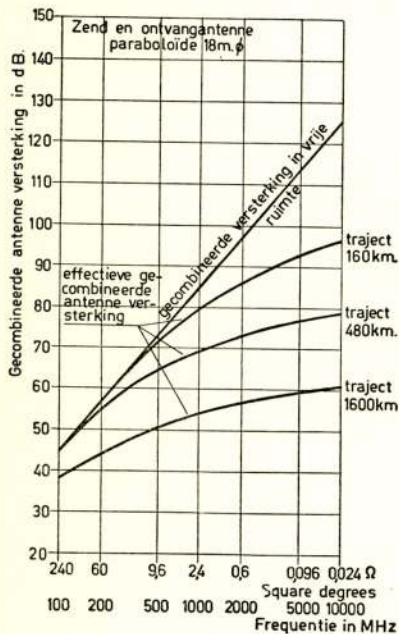


Fig. 18.

Verloop van de effectieve gecombineerde antenne-versterking als functie van de frequentie resp. van de ruimtehoek Ω gevormd door de antennebundel. Antennes met constante afmetingen.

men informatie met een brede frequentieband, zoals bijv. televisie, wil overbrengen. Door de grote antenne verkrijgt men een zeer nauwe bundel waardoor de „meer-wegen“-distorsie minimaal blijft; men neemt hierbij de versterkingsdegradatie noodgedwongen op de koop toe. Een zeer grote antenne heeft bovendien nog het voordeel dat door de geringere „meer-wegen“

effecten de fading aanzienlijk minder snel en diep is als bij gebruik van een kleine antenne.

Tenslotte zij hier nog opgemerkt dat de hierboven in principe aangeduide typische verschijnselen ook voorkomen bij transmissie-systemen die gebruik maken van „scatter”-wolken in de *ionosfeer*. Ook hier kent men dus het symptoom van de antenne-versterkingsdegradatie.

4.8.10. Diversity-ontvangst.

1. *Afstand-diversity*.

Gezien de aan de troposferische transmissie inhaerent zijnde snelle signaal-fluctuaties lag het al spoedig voor de hand twee aparte ontvangantennes op enige afstand van elkaar opgesteld, te gaan gebruiken om vooral de invloed van de snelle fading („short term”) proberen te verminderen. Iedere antenne kreeg een aparte ontvanger, de L.F.-uitgangen hiervan werden gecombineerd in een mengversterker.

Bij een onderlinge afstand van ca. 200 à 400 λ , loodrecht op de richting van voortplanting was de snelle fading in beide antennes praktisch volkomen non-cohaerent. De langzame fading verbeterde niet of nauwelijks.

Uit latere metingen waarbij de antennes 100 tot 150 km uit elkaar stonden bleek dat in dit geval ook de „long-term” fading-verschijnselen non-cohaerent werden.

De normale diversity-ontvangst is een uitstekend middel tegen de kortstondige en snelle fluctuaties, ook speciaal die ten gevolge van vliegtuigreflecties.

De verbeteringen die men met diversity-systemen kan verkrijgen is zeer aanzienlijk [57, 58]. We zullen bij de behandeling van de praktische toepassingen van „scatter”-systemen nog uitvoerig op de „diversity”-ontvangst terugkomen.

2. *Frequentie-diversity*.

Een frequentieverschil van 20 à 50 MHz is op deze frequenties voldoende om vrijwel volledig non-gecorrleerde signalen te verkrijgen.

Uit gelijktijdig genomen proeven op 145 en 435 MHz is ons gebleken dat de fadingsverschijnselen op deze onderling sterk verschillende frequenties volkomen non-cohaerent zijn zowel wat de „short-term”- als de „long-term”-fading betreft.

3. *Polarisatie-diversity.*

Een andere methode van diversity is het toepassen van verschillende polarisatie-richtingen. Deze methode is door ons niet onderzocht daar er weinig verschil in voortplantingsgedrag te verwachten is voor horizontaal of verticaal gepolariseerde golven. De jongste Amerikaanse onderzoekingen hebben dit bevestigd. [76]

4.8.11. Enkele algemene opmerkingen.

1. *Meteorologische invloeden.*

Gezien het mechanisme van de voortplanting van microgolven is het duidelijk dat de meteorologische toestand van de aard-atmosfeer een grote invloed heeft op het gedrag van een „troposferisch” signaal. Het is in het kader van deze beschouwing over „scatter”-verschijnselen helaas niet mogelijk deze invloeden hier in extenso te behandelen. Bovendien worden zij gerekend tot de meer orthodoxe en dus bekende invloeden. Men zij verwezen naar [27, 28, 78].

2. *Voorspelling van transmissiecondities.*

De pogingen door vele onderzoekers en ook door ons aangewend om uit de normaal verkrijgbare meteorologische gegevens propagatie-voorspellingen te doen, *zijn tot op heden alle flagrant mislukt.*

Overigens is het wel duidelijk dat het volmaakt onmogelijk moet worden geacht om te beschikken over *alle* meteo gegevens langs trajecten van bijv. 400 km lengte, die bovendien soms nog over zee lopen.

Wel is gebleken dat goede condities bijna altijd te maken hebben met hogedruk-gebieden maar *deze regel is volstrekt niet omkeerbaar!*

In het algemeen is het gemakkelijker de slechte transmissiecondities te voorspellen dan de goede. Zo kan men er bijv. zeker van zijn dat er slechte zullen optreden bij het passeren van depressies en speciaal bij de aanvoer van koude polaire lucht met N.W.wind. Onder deze omstandigheden (geen stratificatie en een z.g. sub-standaard atmosfeer) ligt het mediaan signaal-niveau soms 6—10 dB beneden het niveau aangegeven door onze transmissiekromme (fig. 5).

De wintermaanden vormen in het algemeen de minst gunstige tijd. Door de meestal sterke wind, de geringe kans op temperatuur-inversies en het meestal geringe vochtgehalte zijn de transmissie-condities gewoonlijk maximaal slecht. Speciaal hebben we regelmatig kunnen constateren dat er tijdens en na sneeuwbuien extreem slechte voortplantingsomstandigheden optreden. Soms ligt het mediaan signaal-niveau dan 10—15 dB beneden het niveau aangegeven door de kromme in fig. 5. Tot dusverre is nog geen bevredigende verklaring voor dit verschijnsel gevonden. Bullington [57] is voor zover ons bekend de enige Amerikaanse onderzoeker die dit feit ook constateerde tijdens UHF/SHF-proeven op New Foundland over afstanden van 270 en 470 km met frequenties van 505 en 4090 MHz.

3. *Dagelijkse gang van de signaalsterkte.*

In het algemeen bestaat er een dagelijkse gang in de waargenomen signaalsterkte. Gewoonlijk vertonen de transmissie-condities een flauw minimum rond 14.00 uur, daarentegen 's nachts en 'smorgens een maximum.

Er zijn evenwel vrij veel uitzonderingen op deze algemene regel. Verreweg de meeste van onze waarnemingen zijn gedaan tussen 09.00 en 15.00 uur, d.w.z. gedurende de slechtste tijd van de dag.

4. *Invloed van mist.*

Soms geeft mist aanleiding tot zeer goede transmissie-condities, vooral wanneer deze een dikke koude en zeer vochtige laag onmiddellijk boven de aarde vormt, waarbij de temperatuur boven de mistlaag *hoger* en het vochtgehalte *lager* is dan in de mist. Men krijgt in zo'n geval een goede stratificatie met sterke temperatuur-inversies en scherpe „vochtsprongen”, die aanleiding geven tot goede refractie en reflectie waardoor vaak zeer sterke signalen optreden. Overigens is het zo dat mist lang niet altijd een gunstige invloed heeft.

5. *Invloed van vocht.*

De invloed van het vochtigheidsgehalte van de lucht op de brekingsindex is veel belangrijker dan de invloed van de temperatuur.

In de winter is het vochtigheidsgehalte meestal gering en dit is een van de redenen waarom 's winters de transmissie-omstandigheden meestal zo slecht zijn.

Maar ook op een stralende zomerdag met een heldere en zeer blauwe hemel kan het vochtigheidsgehalte van de lucht zeer gering zijn en aanleiding geven tot slechte propagatie-condities niettegenstaande de aanwezigheid van een hogedrukgebied en zomerse weersomstandigheden.

6. *Noorderlichtreflecties („Aurora reflections“).*

Gedurende de afgelopen 6 jaar hebben wij dit bijzonder interessante verschijnsel helaas geen enkele maal kunnen waarnemen.

[Het is een bekend feit dat reeds gedurende vele jaren door Amerikaanse radio-amateurs vrij vaak radiocommunicatie via reflecties aan Noorderlicht-ionisatiekolommen of -lagen wordt onderhouden [58—61]. De gebruikte frequenties waren hierbij: 28, 50, 144 en onlangs ook 220 MHz. Deze contacten werden gemaakt bij gebruik van „on-off” telegrafie, waarbij de fading zo intens snel is dat de signalen een sissend en grommend karakter krijgen. Telefonie kan onder deze omstandigheden niet gebruikt worden.]

5. **Praktische toepassing van troposferische „forward-scatter”.**

In de hierna volgende beschouwingen zijn tevens de resultaten van Amerikaanse onderzoeken verwerkt.

Zoals we hebben gezien is het mogelijk door middel van krachtige zenders, sterk gerichte antennes en gevoelige ontvangers betrouwbare radiocommunicatie te onderhouden met behulp van microgolven over afstanden ver voorbij de horizon. Met deze systemen is het gebruikelijk multi-kanaal telefonieverbindingen, al of niet gecombineerd met teletype, te bedrijven waarbij in één sprong afstanden van 100—400 km overbrugd worden.

Speciaal in de USA is de toepassing van „forward-scatter” reeds ver gevorderd: zo wordt bijv. een keten van dit soort stations gebruikt in de z.g. „Distant Early Warning Line” („DEW Line”), een lange-afstand radar waarschuwingsnet in het Noorden van de V.S. [64] Ook verscheidene spoorweg- en oliemaatschappijen maken reeds een vrij uitgebreid gebruik van dergelijke multi-kanaal „forward”-scatter systemen.

Uit een recente mededeling van de Marconi Company in Engeland blijkt dat men daar ver gevorderde plannen heeft om een lange-afstand tropo-scatter verbinding, werkende met 36 gesprekskanalen, in bedrijf te stellen tussen Londen en New Castle. Hier wordt dus een afstand van 435 km in één sprong overbrugd.

Ook schijnen proeven in voorbereiding om vanuit het Zuiden van Engeland naar Schotland een troposferische scatter-verbinding te maken (650 km in twee sprongen).

Het overbrengen van televisieprogramma's via een troposferisch scatter-systeem staat uiteraard tegenwoordig mede in het brandpunt der belangstelling: de Federal Telephone and Radio Corp. heeft een dergelijke „link” in bedrijf tussen Florida en Cuba. Hiervan zijn, voor zover bekend, nog geen gegevens vrijgegeven. In de toekomst zullen deze communicatiesystemen hoogst waarschijnlijk een belangrijke rol gaan spelen.

We zullen nu iets nader ingaan op het probleem van de keuze van de draaggolffrequentie en daarna nog iets mededelen omtrent de gebruikelijke zenders, ontvangers en antennes.

5.1. Keuze van de draaggolffrequentie.

De voor de bovengenoemde communicatiesystemen in aanmerking komende frequentie-band loopt van ca. 100 MHz tot ca. 2500 MHz ($\lambda = 3 \text{ m} - 12 \text{ cm}$).

Men kan bij de keuze van de draaggolffrequentie uitgaan van twee gevallen en wel:

- a. gebruik van antennes met *constante bundelbreedte*,
- b. gebruik van antennes met een *constant oppervlak (constante afmetingen)*.

In het eerste geval is het direct duidelijk dat hier het gebruik van de laagste draaggolffrequenties aangewezen is.

Stellen we n.l. een ogenblik dat we de frequenties 200 en 2000 MHz ($\lambda = 1,5 \text{ m}$ en $\lambda = 15 \text{ cm}$) willen vergelijken (gelijke zendvermogens).

In dit geval heeft het op 200 MHz ontvangen signaal een signaal/ruis-verhouding die meer dan 40 dB (10.000 maal) beter is dan de signaal/ruis-verhouding bij 2000 MHz. Dit is een gevolg van het feit dat:

- 1e. de trajectdemping bij 2000 MHz *minstens* 12 dB groter is dan bij 200 MHz,
- 2e. er een verschil in ruisfactoren der ontvangers bestaat van ca. 8 dB,

- 3e. het bij 200 MHz werkzame effectieve oppervlak van de ontvangantenne 100 maal groter is dan dat bij 2000 MHz (20 dB).

In het tweede geval (constant antenne-oppervlak) blijkt, bij inachtneming van de bovengenoemde punten 1e en 2e en rekening houdende met de degradatie van de antenneversterking, dat ook in dit geval in het algemeen de *lagere frequenties de voorkeur verdienen*. Dit hangt verder o.a. nog af van de soort communicatie — FM, TV of veldsterktemetingen — die men wil gaan bedrijven en de afstand.

Voor veldsterktemetingen op maximale afstand bijv. is in beide gevallen de allerlaagste frequentie het voordeligst. Vandaar bij onze metingen de voorliefde voor frequenties tussen 100 en 200 MHz.

Ook voor verbindingen met geringe bandbreedte zoals „Frequency Shift Keying” en FM „Voice” geldt, indien men grote afstanden wil overbruggen, dat de laagste draaggolffrequentie de meest gunstige is.

Voor geringere afstanden verandert dit beeld enigszins: door de nu minder sterk optredende degradatie van de antenneversterking schuift de optimale frequentie iets meer naar de hogere frequenties. Men zie hiertoe de figuren 19, 20 en 21, die zijn overgenomen uit een recent artikel van K. A. Norton [65] waarin mede de beschouwingen over „scatter” van Villars-Weisskopf [66] als de meest overeenkomende met de radio-waarnemingen worden genoemd en in de berekeningen verwerkt zijn. Deze beschouwingen van Norton gelden alleen voor zuivere „scatter”, een antenne met constant oppervlak (paraboloïde met diameter = 18 m) en ontvangst zonder toepassing van „diversity”.

Afgaande op fig. 20 ziet het er, althans volgens Norton, voor toekomstige TV-relays over afstanden van 300 mijl (= 480 km) en groter, niet bijster rooskleurig uit.

Ondanks deze sombere getallen lijkt zo'n relay momenteel toch tot de mogelijkheden te behoren: past men n.l. „diversity”-ontvangst toe en gebruikt men antenneversterkingen van ruim 30 dB bij frequenties van 100 à 200 MHz dan zou men met een afgegeven zendervermogen van een paar honderd kW kunnen volstaan. Dit zendervermogen is heden ten dage met enig „kunst- en vliegwerk” wel realiseerbaar.

Overigens doet de moderne zendbuisontwikkeling, waarover straks nog meer, ons verwachten dat binnenkort op deze lagere

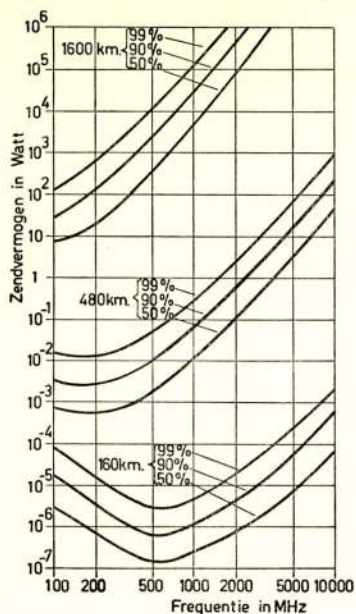


Fig. 19.

Zendervermogen benodigd om over de aangegeven afstanden en percentages van de tijd een juist meetbaar signaal te geven. Antennes zijn paraboloiden van 18 m diameter.

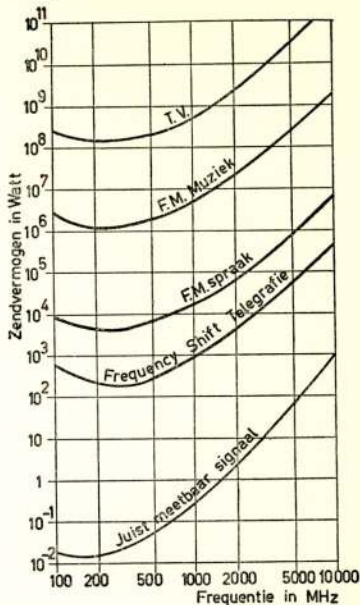


Fig. 20.

Zendervermogen benodigd voor de aangegeven communicatiesystemen geldig voor een te overbruggen afstand van 480 km en gedurende 99% van de tijd. Antennes zijn paraboloiden met een diameter van 18 m.

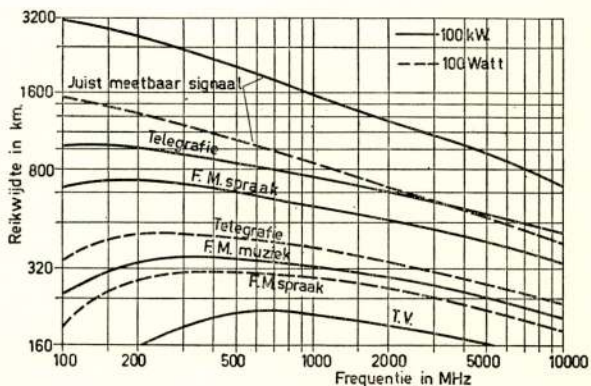


Fig. 21.

Afstand waarover een bevredigend bedrijf van de aangegeven systemen mogelijk is gedurende 99% van de tijd en bij gebruik van een zendervermogen van 100 Watt resp. 100 kWatt. Antennes zijn paraboloiden van 18 m diameter.

„microgolf“-frequenties nog aanzienlijk grotere vermogens ontwikkeld zullen kunnen worden.*)

5.2. Toegepaste zenders.

5.2.1. Metergolven.

De in „forward scatter“-communicatie-systemen toegepaste zenders zijn eigenlijk in wezen tamelijk „orthodox“ (voor zover men tenminste co-axiale en golfpijp-uitvoering orthodox wil noemen!) en bestaan in het algemeen uit een aantal, kristal-gestuurde, voortrappen gevolgd door een energie-eindversterker.

Bij de lagere microgolffrequenties — metergolven — gebruikt men in de eindversterkers liefst tetrode-buizen omdat deze in het algemeen gemakkelijk te sturen en te neutrodyniseren zijn. Watergekoelde tetrodes te gebruiken tot 220 MHz met een synchronisatie-output-niveau van 25 kW zijn in de USA al enige jaren verkrijgbaar. Een nadeel van deze tetrodes is dat er nogal eens ongewenste parasitaire trillingen op veel hogere frequenties kunnen optreden.

De bij frequenties tussen 50 en 220 MHz te bereiken vermogens liggen bij toepassing van balans- en z.g. „hybrid“-schakelingen [67] in de orde van 100 kW of meer. (Sync. niveau).

5.2.2. Decimetergolven.

Voor frequenties boven 200 MHz heeft men in de laatste jaren in de USA de grootvermogen, multi-trilholte, versterkerklystrons ontwikkeld. Het is helaas niet doenlijk in dit artikel in extenso op deze soort buizen in te gaan. Er zijn hierover verscheidene zeer goede artikelen verschenen. [56, 68, 69, 70]

Met deze soort buizen, die zonder twijfel in de toekomst een uiterst belangrijke rol gaan spelen, is het mogelijk in het microgolf gebied van 200—2400 MHz tot meer dan 10 kW continue draaggolfvermogen op te wekken waarbij de benodigde stuurenergie slechts enkele Watt bedraagt. Het rendement ligt rond de 40 à 50 %.

Als voorbeeld zij hier het type X 602 van Eimac vermeld: deze buis geeft in het frequentiegebied van 400—600 MHz een output van 75 kW (top-synchronisatie niveau), telegrafie C.W. vermogen ca. 50 à 60 kW, terwijl de stuurenergie ca. 1 à 5 Watt bedraagt.

Een ander voorbeeld is het type VA-800 C van Varian; dit

*) W. Kleen [79] meldt dat de R.C.A. een triode type A 2346 in ontwikkeling heeft die bij 600 MHz ($\lambda = 50$ cm) een continue output geeft van 600 kW. Bij 150 MHz bedraagt deze zelfs ca. 950 kW.

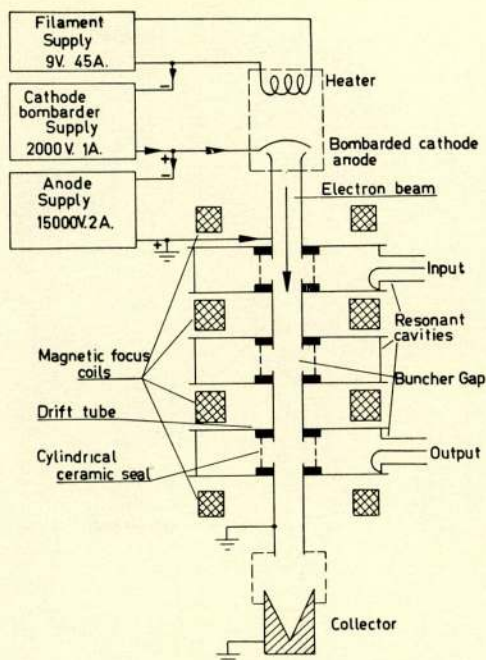


Fig. 22.

Schematische voorstelling van een versterkerklystron met uitwendige trilholttes, focussermagneten en hoogspanningsvoedingen.

Fig. 23 geeft een indruk van een klystron en de wijze waarop de uitwendige trilholttes worden aangebracht en afgestemd.

5.2.3. Modulatie-systemen.

De voor de versterkerklystron benodigde stuurenergie wordt zoals gezegd geleverd door een conventionele, kristal-gestuurde, voorversterker van gering vermogen. Aangezien meestal frequentie-modulatie wordt gebruikt past men in de trap direct achter de kristalgenerator phase-modulatie toe, waarbij door middel van een R-C-netwerk in het toegevoerde L.F.-kanaal het uiteindelijke resultaat frequentie-modulatie is.

Een in de U.S. veel toegepaste phase-modulator die goed lineair werkt is de z.g. „Serrasöide“-modulator zoals beschreven door Day [71, 75]. Elk ander type phase-modulator, mits goed lineair werkend, is hier natuurlijk bruikbaar.

Hoewel FM geen erg efficiënt gebruik maakt van de voor dit systeem benodigde bandbreedte en er bovendien zoals be-

klystron geeft in de frequentieband van 2160—2400 MHz ($\lambda = 14-12,5$ cm) een continue output van 10 kW waarbij de benodigde sturing minder dan 1 Watt bedraagt! (Energieversterking ca. 50 à 60 dB.) Deze buis is geconstrueerd in golfpijpuitvoering.

Bovengenoemde vermogens vertegenwoordigen nog lang niet het maximaal mogelijke: *indien nodig kan dit nog verscheidene malen groter gemaakt worden.*

Fig. 22 geeft een schematische voorstelling van een dergelijk klystron met de uitwendige trilholttes, focuseringsmagneten en voedingen.

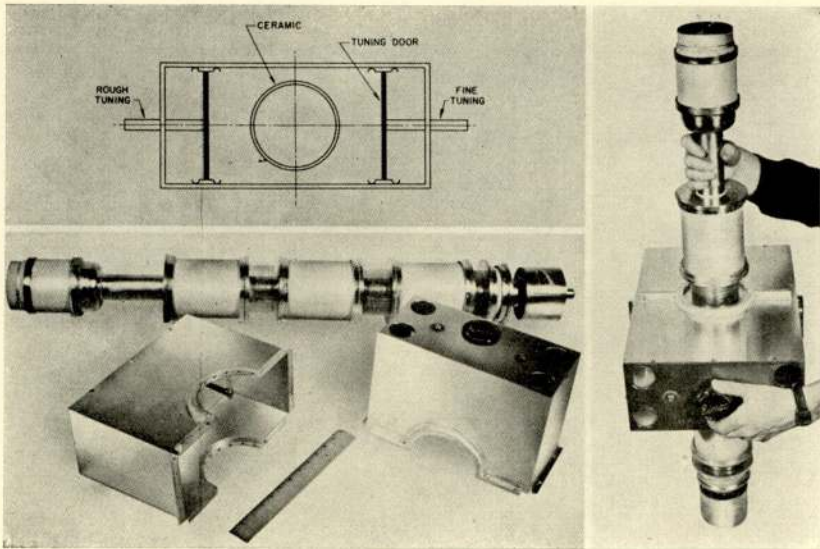


Fig. 23.

Klystron met uitwendige trilhotes.

kend een scherp „drempel“-effect*) optreedt, is het toch een van de aangewezen modulatie-systemen bij „forward scatter“-communicatie mede door de ongevoeligheid voor snelle signaal-amplitude-variaties, zolang het signaal boven het meergenoemde „drempel“-niveau blijft.

Gewoonlijk gebruikt men een modulatie-index (= verhouding max. frequentie zwaai/hogste modulatiefrequentie) van 2 à 3 en past men 6 db z.g. „pre-emphasis“ per octaaf frequentietoename van de, aan de modulator toegevoerde, L.F.-band („base-band“) toe, zulks om te zorgen dat de signaal/ruis-verhouding in alle kanalen van het multiplex-systeem gelijk blijft.

Een ander modulatie-systeem hetwelk vele voordelen boven frequentie-modulatie heeft is het enkelzijband-systeem (SSB). De benodigde bandbreedte is hier 6 tot 8 maal minder dan bij FM, er treedt geen drempel-effect op en er is veel minder energie voor nodig. Aan de andere kant vereist het een bijzonder grote frequentie-stabiliteit (1 per 10^9) en de zenderversterker-trappen moeten een zeer goede lineaire werking bezitten.

*) Zoals bekend komen boven een bepaald signaal-niveau, de drempel- of „threshold“-waarde, de gunstige eigenschappen van FM naar voren. Zakt het signaal onder deze drempel dan wordt de signaal/ruis verhouding zeer snel erg slecht.

De Amerikanen denken er serieus over „forward-scatter“-systemen met S.S.B. te gaan bedrijven.

5.2.4. Diplexers.

Omdat grote richtantennes kostbaar zijn gebruikt men in vele gevallen één antenne die voor zenden alsmede voor ontvangen wordt gebruikt. Door middel van z.g. „diplexers“ (filters) zorgt men dat de zenderenergie niet in de ontvanger kan doordringen en omgekeerd dat de ontvangen energie uitsluitend naar de ontvanger wordt geleid. [56]

Daar de verhouding zender- en ontvanger-energie niveau in de orde van 160 dB ligt moet zo'n diplexer aan hoge eisen voldoen. Gewoonlijk gebruikt men $1/4 \lambda$ -„stubs“ in de co-axiale- of waveguide transmissie-leiding van de antenne. In de praktijk verschilt de ontvangfrequentie enkele procenten van de zenderfrequentie.

5.3. Antennes.

Voor „scatter“-systemen werkende in het decimeter-golfgebied (300—2500 MHz) past men gewoonlijk als antenne een omwentelingsparaboloïde toe.

De Amerikanen gebruiken in het algemeen twee standaardtypes van resp. 8,5 m (28 ft) en 18 m (60 ft). Deze paraboloïden zijn geconstrueerd uit gelaste aluminium buis en bekleed met dito gaas; zij zijn mechanisch bestand tegen windsnelheden van meer dan 160 km/h en een ijsbelasting van 3 cm dikte. Het 60 ft type weegt ca. 6000 lbs. (2700 kg) en het kleinere type ca. 1600 lbs. (720 kg).

In het DEW Line-systeem zijn zij reeds onderworpen geweest aan windsnelheden van 240 km/h gecombineerd met een extra belasting door een ijslaag van 12 cm dikte.

Bij het opstellen van dergelijke antennes moeten obstakels zoals bomen, gebouwen en andere hoge objecten in de richting van de bundel vermeden worden. Gezien vanuit elk punt van de antenne zal een obstakel of hindernis, die geen grotere hoek met het horizontale vlak maakt dan 0,1 graad, de trajectdemping niet noemenswaard vergroten.

De Amerikanen beweren dat voor gunstigste resultaten de onderkant van de paraboloïde zich minstens 20 golflengten boven de grond moet bevinden. Tot op deze hoogte treedt nog „height-gain“ op.

De bij deze paraboloïden gebruikte primaire stralingsbronnen zijn alle als orthodox te beschouwen en bestaan bij de lagere frequenties uit een $\lambda/2$ -dipool met reflector, gevoed door een co-axiale transmissieleiding; voor frequenties boven 1000 MHz ($\lambda = 30$ cm) past men gewoonlijk hoornstralers en golfpijp transmissieleidingen toe.

Voor lagere frequenties (< 300 MHz) gebruikt men behalve de genoemde grote paraboloïden ook wel hoekreflector-, ruit-, V-, Yagi- en dipoolcombinatie-antennes. [Koomans-, Chireix-, Mesny, „Billboard”-, „Pinetree”-antennes etc.] Uiteraard betekent het verkrijgen van een grote antenneversterking (nauwe bundel) in dit geval een omvangrijke mechanische constructie ten gevolge van het benodigde grote antenne-oppervlak.

5.4. *Ontvangers.*

De gebruikte FM-ontvangers zijn in wezen orthodox [56]. Er wordt in het algemeen een H.F.-filter tussen antenne en ontvanger geschakeld teneinde de spiegelfrequenties en andere ongewenste frequenties zoveel mogelijk te onderdrukken. Voor frequenties lager dan ca. 1000 MHz ($\lambda = 30$ cm) wordt H.F.-vóórversterking toegepast waarbij speciaal-buizen worden gebruikt (o.a. Western Electric 416B, General Electric 6299 e.d.). Hiermede is het mogelijk de ruisfactor op 900 MHz beneden 8 dB te krijgen.

De kwaliteit van een breedband-F.M.-ontvanger wordt voor een groot deel bepaald door de toegepaste limiters of begrenzers en discriminator.

Zonder hier verder op dit ingewikkelde onderwerp in te gaan willen we hier toch even op de fysische kern van de moeilijkheden, vooral bij breedband-gebruik, wijzen.

Ten gevolge van het feit dat het binnenkomende, in amplitude variërende signaal, de *momentele weerstand* van het begrenzende element varieert, treedt een ongewenst inhaerente phase-modulatie op. Naast het gewenste F.M.-signaal kan, vooral ten gevolge van ontstekingsstoringen („ignition interference”) een sterk amplitude-gemoduleerd signaal optreden*) dat bovendien door het impulsachtige karakter over een zeer brede frequentie-band een constante, grote, amplitude bezit.

*) Ook ten gevolge van „flutter-fading” kan een zeer diepe amplitude-modulatie op het signaal optreden.

Ten gevolge van de optredende amplitude-modulatie varieert de momentele waarde $\left(= \frac{dv}{di} \right)$ van de begrenzer vrij sterk en de hierdoor optredende phase-modulatie wordt in de discriminator gedetecteerd. Vooral wanneer men met een MF-versterker met brede-band doorlaat te doen heeft wordt dit effect goed merkbaar. Teneinde dit zoveel mogelijk te verminderen maakt men gebruik van MF-filters die aan de in- en uitgang „afgesloten” zijn met twee, symmetrisch begrenzende siliciumdiodes [72]. Hierbij is de amplitudemodulatie-phasemodulatie „conversie” veel geringer dan bij de conventionele limiters met buizen het geval is.

In principe moet men een MF-filter maken dat bij „afsluiting” met de, als variabele weerstand werkende, siliciumdiodes zo weinig mogelijk phasedraaiing van het signaal geeft.

Een ander voornaam punt in de ontvanger is de discriminator. Bij toepassing in multi-kanaal-FM telefonie-systemen moet de discriminator karakteristiek over een groot frequentiegebied zeer lineair verlopen wil men ongewenste intermodulatieproducten vermijden.

Voor de linearisering en contrôle van genoemde karakteristiek bestaan verschillende methoden die echter buiten het kader van dit artikel vallen.

5.4.1. „Diversity”-ontvangst. *)

Zoals reeds opgemerkt past men „diversity”-ontvangst toe om de effecten van snelle fading aanzienlijk te verminderen. Men maakt gebruik van het feit dat, wanneer het signaal in de ene antenne een kortstondige diepe fading vertoont, het zeer waarschijnlijk is dat op hetzelfde moment op de andere antenne een sterker signaal wordt ontvangen. Voor een goede werking in deze zin is het nodig dat de beide signalen niet-cohaerent zijn. Deze non-cohaerentie is te bereiken door de onderlinge afstand van de antennes voldoende groot te kiezen. Gebleken is dat een afstand van 100 à 200 λ in een richting loodrecht op de transmissierichting praktisch volledige non-correlatie oplevert.

Een goed werkend communicatie circuit is een circuit waarbij

*) Hierbij wordt meer dan één ontvangantenne gebruikt. Iedere antenne heeft zijn eigen ontvanger. De uitgangssignalen van deze ontvangers worden door een speciale „menginrichting” gecombineerd.

de ontvangen signaalsterkte voor meer dan 99% van de tijd boven een, door de ontvanger bepaald, minimaal acceptabel niveau ligt.

In de nu volgende beschouwing zal dit niveau, dat we voor het gemak het 99% signaal zullen noemen, verder ter sprake komen.

Het blijkt dat er met „diversity“-ontvangst een aanzienlijke signaalverbetering bij snelle fading bereikt kan worden [57, 58] (zie fig. 24). In deze figuur is de signaal-niveau distributie aangegeven met verschillende soorten „diversity“ als parameter. We zien dat in een non-„diversity“ systeem het signaalniveau dat 99% van de tijd overschreden wordt, bijna 20 dB beneden het mediaan-niveau ligt, d.w.z. dat men in dit geval moet reke-

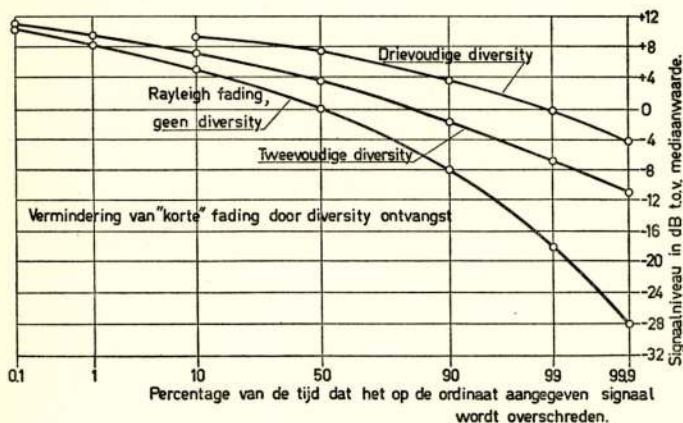


Fig. 24.

Verbetering door meervoudige diversity.

nen op een maximale trajectdemping die 20 dB hoger is dan de mediaan-demping.

Passen we tweevoudige diversity toe („dual diversity“) dan zien we dat nu het 99% signaal-niveau slechts 6 dB onder het mediaan-niveau, dat gold voor het non-diversity-geval, ligt.

Bij drievoudige diversity blijkt zelfs dat de energie nodig om het 99% signaal-niveau te bereiken gelijk is aan de energie die men in het non-diversity geval nodig heeft om het mediaan-niveau te maken.

Betrokken op het 99% signaal niveau heeft triple-diversity ontvangst dus het zelfde effect als 18 dB (63 voudige) vergoting van het zendervermogen in het non-diversity geval.

Voor het 99,9% geval bedraagt de verbetering ca. 24 dB

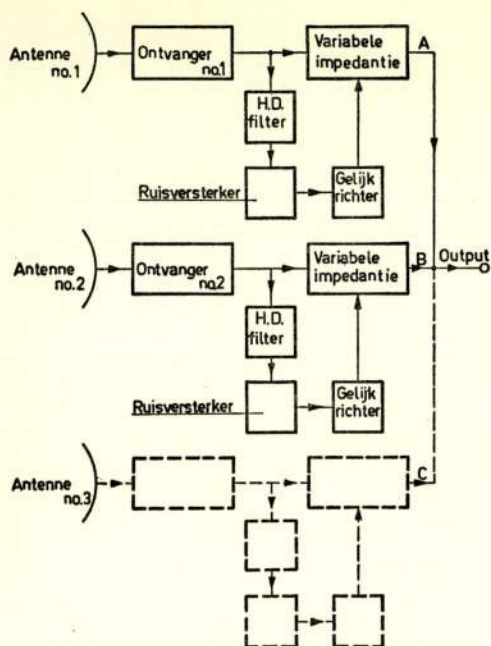


Fig. 25.

Blokschema van een combineersysteem.

en voor het 99,99% signaal zelfs meer dan 30dB. Het is gebleken dat de z.g. combinatie-„diversity”, d.w.z. het systeem waarbij de L.F.-output van de diverse ontvangers gecombineerd wordt, het beste voldoet. In principe werkt zo'n combineer-eenheid als volgt (zie fig. 25): De ontvanger is via een variabele impedantie („Kathode follower”) verbonden met de gemeenschappelijke uitgangsklem. De uitgang van iedere ontvanger voedt tevens via een hoog doorlaatfilter een versterker die alle ruiscomponenten

op frequenties boven de, door de ontvanger afgegeven, „baseband” frequenties versterkt. Deze versterkte ruis wordt gelijkgericht en de zo verkregen gelijkspanning wordt als regelspanning aan de variabele impedantie toegevoerd.

Ruist bijv. ontvanger 1 sterk (zwak signaal in antenne 1) dan neemt de impedantie A zéér sterk toe en feitelijk wordt nu ontvanger 1 van het systeem afgeschakeld. Voor de andere kanalen geldt een analoge redenering. [56]

5.5. Berekening van een „forward-scatter” systeem.

Voor de berekening van een „scatter”-circuit is het in de eerste plaats noodzakelijk de optredende demping over het betreffende traject te kennen.

De meest zekere methode is van te voren over langere tijd (minstens een jaar) statistische veldsterktemetingen te doen. Deze leveren dan tevens de voor de berekening noodzakelijke fading-karakteristieken op.

De keuze van de frequentie wordt, zover we reeds hebben gezien, bepaald door de afstand waarover men het systeem wil

bedrijven en welk soort informatie men wenst over te brengen. Zijn bovengenoemde zaken bekend dan is de verdere berekening van het circuit vrij simpel. Hoewel dus de berekening van een „scatter”-circuit in principe eenvoudig is zou het in het kader van dit algemeen beschrijvende artikel ietwat te ver voeren een dergelijke berekening hier volledig weer te geven. Goede en vrij uitvoerige berekeningen vindt men in [73, 74, 56].

6. Toekomstige toepassingen van de „scatter”-techniek.

Het is zonneklaar dat de militaire research die op dit gebied verricht is niet onopgemerkt aan de civiele sector voorbij zal gaan. Zonder de minste twijfel staan ons een aantal hoogst belangrijke toepassingen te wachten.

Eén daarvan, met verstrekkende toekomstige betekenis, is het overbrengen van televisie en andere informatie met brede frequentieband over tot nu ongekend grote afstanden.

We denken hierbij direct aan de reeds lang gekoesterde hartewens van de moderne communicatie-ingenieur: de televisieverbinding Europa—Amerika, een wens die tot voor kort nog een „vrome wens” moest blijven.

Dank zij de zich nog steeds stormachtig ontwikkelende techniek betreffende de buizen voor opwekking van zeer grote continue-vermogens op meter- en decimeter-golven ziet het er naar uit dat de verwezenlijking van deze wensdroom thans zéér dichtbij is.

Met behulp van de vernuftige z.g. „hybrid”-schakelingen is het nu reeds in principe mogelijk in het frequentiegebied van 400—600 MHz zenderuitgangvermogens van 300 kW of meer (sync. niveau) op te wekken. Deze vermogens vormen nog lang niet de grens van het mogelijke. Een en ander doet de verwachting ontstaan dat zeer binnenkort de, voor een relay zoals bovengenoemd, benodigde „super”-vermogens beschikbaar zullen zijn. [79]

Een voor de hand liggende oplossing voor een TV-relay Europa—Amerika is het bouwen van een keten van relaisstations langs de z.g. Noordelijke route, d.w.z. gaande van Schotland via de Far-Oer-eilanden, IJsland, Groenland, Baffinsland, Labrador, Canada naar New York waar een aansluiting op het Amerikaanse TV-net kan worden verkregen. De grootste sprong in deze keten is die van de Far-Oer-eilanden naar IJsland, een afstand van ca. 465 km, waarbij gelukkig het grote voor-

deel komt dat hier aan beide zijden vrij hoge punten een gunstige antenne-opstelling mogelijk maken. [77]

Een dergelijke TV-verbinding waarover men tegelijkertijd al het gewone verkeer, dat nu per kabel- en „gewone” radioverbindingen gaat, kan leiden is, zowel vanuit civiel als militair oogpunt bezien, ontzaglijk belangrijk.

De voordelen van zo'n circuit springen in het oog: grote betrouwbaarheid, geen hinderlijk omschakelen op andere frequenties, geen storingen ten gevolge van ionosferische invloeden (Dellingers etc.) en magnetische stormen. Praktisch geen hinder van luchtstoringen, er zijn grote seinsnelheden mogelijk etc. Totaal heeft men 14 à 15 relaisstations nodig. De aanlegkosten van een dergelijk circuit zijn uiteraard hoog en zullen in de orde van 300 à 500 miljoen gulden lopen. [77]

Zonder twijfel zal deze verbinding er komen; over 25 of 50 jaar zal men dit alles heel gewoon vinden.

Een voorloper van een TV-relais over grote afstand vindt men in de TV-„link” tussen Florida en Cuba waarbij in één sprong ruim 200 km wordt overbrugd (Federal Telephone and Radio Corp.).

Ook in Canada is een multiplex telefonie-„forward-scatter”-systeem met sprongen van 240 km in aanbouw.

Zoals reeds onder 5 vermeld is men in Engeland eveneens bezig enkele van deze soort multikanaal-telefoonverbindingen, met sprongen van 300 km, aan te leggen.

De Marconi Company bedrijft een experimentele verbinding tussen Gt. Bromley, Essex en Sutton Bank bij Thirsk, Yorkshire, een afstand van ca. 320 km. De opzet is deze „link” eventueel ook voor het overbrengen van TV te gebruiken (858 MHz). Voorlopige proeven hebben ook plaats gehad over een 650 km lang traject naar Aberdeen. In vele gevallen zal een „forward-scatter”-verbinding kostbare zeekabels vervangen. (Denk hierbij aan de verbinding Europa—Amerika!) In de Middellandse Zee bijv. is het aantal civiele toepassingen reeds vrij groot.

In het algemeen zal dit soort verbindingen bij voorkeur worden toegepast in streken waar de normale communicatiemiddelen slecht zijn of geheel ontbreken zoals in bergachtig terrein waar het leggen van kabels etc. grote moeilijkheden oplevert en bij zeetrajecten.

Tenslotte zal het „forward-scatter” systeem een grote rol gaan spelen bij de luchtverdediging van West-Europa.

7. Résumé.

Hieronder volgt tenslotte nog een samenvatting van enkele belangrijke punten betreffende het „forward-scatter” systeem:

- a. Door gebruik te maken van grote zendvermogens, sterk gerichte antennes en zeer gevoelige ontvangers is het mogelijk gebleken in het frequentiegebied van 100—5000 MHz betrouwbare communicatieverbindingen te onderhouden over afstanden (in één sprong) tot 1000 km.
- b. De golfvoortplanting geschiedt dank zij de onderste laag van de atmosfeer: de troposfeer. De invloed van de ionosfeer is bij bovengenoemde frequenties te verwaarlozen. Ook treedt er geen „skip”-afstand op.
- c. Er is nog steeds geen afdoende, alomvattende theorie, die de waargenomen verschijnselen geheel kan verklaren. Naast de theorie van Booker en Gordon (1950) heeft men die van Villars en Weisskopf (1955) die een betere aansluiting aan de experimentele metingen geeft.

De voortplanting geschiedt voor een deel door verstrooiing in voorwaartse richting alsmede voor een groot deel door (partiële) reflecties en refractie.

- d. Een troposferisch circuit leent zich uitstekend voor het overbrengen van informatie met brede frequentieband zoals multiplex telefonie en televisie. Hierbij zijn de afstanden (voorlopig) nog beperkt tot ca. 300 à 400 km. Door toepassen van nauwe zend- en ontvangbundels kan men de „multi-path” effecten gering houden.
- e. Met „smalle-band” systemen (telegrafie, teletype) kan men, afhankelijk van antenne en vermogen, in één sprong tot omstreeks 1000 km komen.

Fouten-correctie systemen (TOR) zijn hier bijzonder aan te bevelen!

In het algemeen zijn de laagste draaggolffrequenties het gunstigst voor het bereiken van de grootste afstanden.

- f. Het aangewezen modulatie-systeem is frequentie-modulatie; beter nog: enkelzijband.
- g. Door toepassing van „diversity”-ontvangst kan men de gevolgen van de inhaerent snelle fading zeer sterk verminderen.
- h. Als antennes gebruikt men gewoonlijk grote paraboloïden; momenteel met een max. diameter van ca. 20 m.
- i. Als eindbuis in de zenders maakt men bij voorkeur gebruik

van gemakkelijk te sturen versterker-klystrons van zeer groot vermogen (10—50 kW continue output in het frequentiegebied 2400—400 MHz). Deze vermogens zullen in de toekomst nog belangrijk opgevoerd kunnen worden (zie ook [79]).

- j. Dank zij vijf jaar research is het nu mogelijk geworden elke gewenste „point-to-point” troposferische „scatter”-verbinding tot op afstanden van ca. 1000 km redelijk nauwkeurig vooruit te berekenen.

8. Slotwoord.

Tot besluit zou ik hier mijn bijzondere dank willen uitspreken aan Prof. Dr. G. J. Sizoo, voorzitter van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO, voor de verleende toestemming tot het houden van deze voordracht, aan Prof. Ir. J. L. van Soest voor de jarenlange betoonde bijzondere belangstelling, aan de afdeling Propagatie van Radiogolven PTT onder leiding van de heer J. Houtsmuller voor de verleende medewerking en belangstelling, aan alle betrokken medewerkers van het Fysisch Laboratorium RVO-TNO, in het bijzonder aan de heren C. D. de Leeuw, J. L. ten Pas, P. van der Vis, F. van der Vossen en B. Wagenaar, en tenslotte aan een grote groep van serieuze radioamateurs die door hun enthousiaste medewerking zoveel waardevolle research-informatie hebben verschaft, die op een andere wijze uiterst moeilijk te verkrijgen zou zijn geweest.

Literatuur.

1. G. N. Watson, „The diffraction of electric waves by the earth”, Proc. Roy. Soc. London A vol. 95 p. 83-89, October 1918, en p. 546-563 July 1919.
2. B. van der Pol and H. Bremmer, „The diffraction of electromagnetic waves from an electrical point source round a finitely conducting sphere, with applications to radio telegraphy and the theory of the rainbow”, Phil. Mag. ser. 7., vol. 24, 1937, p. 141-175, p. 825-864; ser. 7, vol. 25, 1938, p. 817-834, ser. 7, vol. 27, 1939, p. 261-275.
3. H. Bremmer, „Terrestrial Radio Waves” Boek, Elsevier 1949.
4. K. A. Norton, „Transmission-loss in radio propagation”, Proc. I.R.E. vol. 41 January 1953, p. 146-152.
5. K. A. Norton, „Transmission-loss of space waves propagated over irregular terrain”, Transactions I.R.E. vol. AP-3, August 1952, p. 152-166.
6. K. A. Norton, P. L. Rice and L. E. Vogler, „The use of angular distance in estimating transmission-loss and fading range for propagation through a turbulent atmosphere over irregular terrain”, Proc. I.R.E., October 1955, p. 1488-1527.

7. H. G. Booker and W. E. Gordon, „A theory of radio scattering in the troposphere”, Proc. I.R.E., April 1950, p. 401-413.
8. C. L. Pekeris, „Note on scattering in an inhomogeneous medium”, Phys. Review, vol 71, February 1947, p. 268.
9. W. E. Gordon, „A simple picture of tropospheric radio scattering”, I.R.E. Transactions, CS-4 No. 1, March 1956, p. 97-102.
10. C. E. von Rosenberg, C. M. Crain and A. W. Straiton, „Atmospheric refractive index fluctuations are recorded by an airborne microwave refractometer”, Paper at URSI Spring meeting, Washington D.C. 1953.
11. C. E. von Rosenberg, C. M. Crain and A. W. Straiton, „Atmospheric refractive-index fluctuations as recorded by an airborne microwave refractometer”, Electrical Engineering Research Laboratory, University of Texas, Report 6-01, 1953.
12. C. M. Crain, „Apparatus for recording fluctuation in the refractive index of the atmosphere at 3,2 cm wavelength.” Rev. Sci. Instr. 21 p. 456-457.
13. G. Birnbaum, „A recording microwave refractometer”, Rev. Sci. Instr. 21 p. 169-176.
14. W. E. Gordon, „Radioscattering in the troposphere.” Proc. I.R.E. January 1955 p. 23-29.
15. H. G. Booker and J. T. de Bettencourt, „Theory of radio transmission by tropospheric scattering using very narrow beams”, Proc. I.R.E. March 1955, p. 281-291.
16. W. E. Gordon, „Interpretation of diversity and fading measurements in tropospheric radio scattering”, URSI meeting Washington D.C., April 1953.
17. T. J. Carroll, „Normal tropospheric propagation deep into the earth's shadow: The present status of suggested explanations”, Transactions I.R.E. PGAP-3, August 1952.
18. T. J. Carroll, „Tropospheric propagation well beyond the horizon”, Transactions I.R.E. PGAP-3, August 1952.
19. T. J. Carroll, „Internal reflections in the troposphere and propagation beyond the horizon”, Transactions I.R.E., PGAP-2 March 1952 p. 9-27,
20. T. J. Carroll, „Overcoming the line of sight shibboleth with the air and high power”, Conv. Record of the I.R.E. Part 1, 1954, p. 121-125.
21. T. J. Carroll and R. M. Ring, „Propagation of short radio waves in a normally stratified troposphere”, Proc. I.R.E., October 1955, p. 1384-1391.
22. J. Feinstein, „Tropospheric propagation beyond the horizon”, J. Appl. Physics vol. 22, October 1951, p. 1292-1293.
23. J. Feinstein, „The rôle of partial reflections in tropospheric propagation beyond the horizon”, Transactions I.R.E., PGAP, p. 2-8 March 1952.
24. J. Feinstein, „Partial reflections in tropospheric propagation”, Transactions I.R.E., PGAP, 3 August 1952, p. 101-111.
25. J. Feinstein, „Gradient reflections from the atmosphere”, Transactions I.R.E., vol. AP, 4 December 1952, p. 2-13.
26. J. Voge, „Troposphère et propagation des ondes”, Onde Electrique vol. 33 mars 1953 p. 149.
27. „Tropospheric propagation and radio meteorology” CRPL T3 October 1946. Central Radio Propagation Laboratory, National Bur. of Standards Washington D.C. (Boek).

28. D. E. Kerr, „The propagation of short radio waves”, MIT Radiation Laboratory. Serie no. 13 McGraw - Hill N.Y. (Boek).
29. R. Jonaust, „Les ondes très courtes” O.E. 9 1930 p. 5-18.
30. Place et Blauwart, „Liaisons Continent-Corse, Premiers résultats d'étude de propagation 40 et 100 MCs”, Rapport Franse PTT, Août 1950.
31. A. Esau and W. H. Hahne mann, „Report on experiments with electric waves of about 3 meters, their propagation and use”, Proc. I.R.E. 18 March 1930, p. 471-489.
32. G. Marconi, „Radio communication by means of very short electric waves”, Proc. of the Roy Inst. of Great Britain, 1932 27, p. 509-545.
33. H. Barkhausen, Elektronen-Röhren, 3 Band, Rückkopplung, 4e Auflage 1935, p. 98-109.
34. K. A. Norton, „Propagation in the FM broadcast band”. Advances in Electronics, Academic Press vol. 1, 1948, p. 381-421.
35. S. L. Bailey, „Television — Why the deep freeze?” Proc. IRE vol. 38, April 1950.
36. Scatter Propagation Issue, Proc. I.R.E. vol. 43 no. 10, October 1955, p. 1175-1527.
37. „De antenne van PE 1 PL”, Electron, Maandblad voor Exp. Radio-onderzoek, 7e Jaargang No. 11, November 1952, p. 357-359.
38. G. Die mer, „Ruis van electronenbuizen bij zeer hoge frequenties”, Tijdschr. Ned. Rad. Gen. Deel 17 No. 5/6 Sept./Nov. 1952, p. 281-301.
39. S. Grata ma, „Ruis in ontvangers en versterkers”, Tijdschr. Ned. Rad. Gen. Deel 17, Sept./Nov. 1952, p. 207-247.
40. S. Grata ma, „Ontvanger-ingangsschakelingen voor VHF en hun aanpassing aan de antenne”, Electron, Maandblad voor Exp. Radio-onderzoek, 7e Jaargang 1952, p. 172, 204, 236, 260, 284, 318, 356 en 382; 8e Jaargang 1953, p. 4, 39, 68, 99, 132, 165, 232, 260, 331 en 363. 9e Jaargang 1954, p. 4, 35, 68, 100, 131, 163, 204, 231, 270, 298, 324 en 356. 10e Jaargang 1955, p. 10-12 (slot).
41. W. Kleen, „Die Grenzempfindlichkeit fundamentaler Röhrensaltungen”, Frequenz 3 No. 7, 1949, p. 209-216.
42. L. A. Moxon, „Recent advances in radio receivers” (Boek), Cambridge Univ. Press, 1949.
43. H. Rothe, „Die Grenzempfindlichkeit von Verstärkerröhren” Teil III. Aequivalent Rauschleitwert und Geräuschzahl” Arch. f. El. Uebertr. 8 Mai 1954, p. 201-212.
44. A. T. Starr, „Radio and radar technique” (Boek), Pitman and Sons, London 1953.
45. S. N. van Voorhis, „Microwave receivers” (Boek), MIT serie no. 23, 1948.
46. A. van der Ziel, „Noise suppression in triode amplifiers”, Part. I, Canad. Journ. of Res., 28, 1950, p. 189-199. Part. II, Can. J. of Techn., 29, 1951, p. 540-553.
47. E. A. Lauter und L. Klinker, „Erscheinungsformen des UKW Empfanges auf grossen Entfernungen”, Nachr. Technik 4 Juni 1954, p. 242-247 en 271.
48. I. H. Gerks, „Factors affecting spacing of radio terminals in a UHF link”, Proc. I.R.E. October 1955, p. 1290-1297.
49. P. L. Rice and F. T. Daniel, „Radio transmission-loss versus distance

- and antenna height at 100 Mc", IRE Transactions Vol. AP 3 no. 2, April 1955, p. 59-63.
50. Zie [15] blz. 282.
 51. L. G. Trolese, „Characteristics of tropospheric scattered fields", Proc. I.R.E., October 1955, p. 1300-1306.
 52. B. van der Pol, „Some observations on Rayleigh fading", Tijdschr. Ned. Rad. Gen., September 1954, deel 19, No. 5, p. 223-230.
 53. K. A. Norton, L. E. Vogler and P. J. Short, „The probability distribution of the amplitude of a constant vector plus a Rayleigh distributed vector", Proc. I.R.E. October 1955, p. 1354-1362.
 54. G. A. Isted, „Atmospheric electricity and long distance VHF scatter transmissions", The Marconi Review No. 113, Vol. XVII 1954, p. 37-60.
 55. M. A. Moynahan, „VHF scatter propagation and amateur radio", QST Vol. XL No. 3, March 1956, p. 43-48, 120, 122.
 56. G. L. Mellen et al. „UHF long-range communications systems", Proc. IRE Vol. 43, October 1955, p. 1269-1281.
 57. B. van der Pol, „Some observations on diversity reception", Tijdschr. Ned. Rad. Gen. Maart 1955, Deel 20, No. 2, p. 87-93.
 58. C. L. Mack, „Diversity reception in UHF long-range communications", Proc. IRE Vol. 43, October 1955, p. 1281-1290.
 59. K. Bullington et al, „Results of propagation tests at 505 Mc and 4090 Mc on beyond horizon paths", Proc. I.R.E. Vol. 43, October 1955, p. 1306-1317.
 60. R. K. Moore, „A VHF propagation phenomenon associated with aurora", Journ. Geophys. Res. Vol 56, March 1951, p. 97-106, zie ook QST 35 June 1951, p. 14.
 61. E. P. Tilton, „The world above 50 MC", QST Vol. 38, June 1954, p. 61-62.
 62. R. Dyce, „More about auroral propagation", QST Vol. 39 January 1955, p. 11-16, 116 en 118.
 63. R. Dyce, „VHF auroral and sporadic E propagation from Cedar Rapids, Iowa to Ithaca, New York", IRE Transactions Vol AP 3 No. 2, April 1955, p. 67-81.
 64. J. R. Nitt, „Practical considerations for forward scatter applications", IRE Transactions Vol. CS-4, No. 1, March 1956, p. 28-32.
 65. K. A. Norton, „Point-to-point radio relaying via the scatter mode of tropospheric propagation", IRE Transactions Vol. CS-4, No. 1 March 1956, p. 39-50.
 66. F. Villars and V. F. Weisskopf, „On the scattering of radio waves by the turbulent fluctuations of the atmosphere", Proc. IRE Vol. 43, October 1955, p. 1232-1238.
 67. R. M. Ringoen, „VHF Transhorizon communications system design", IRE Transactions Vol. CS-4, No. 1, March 1956, p. 77-87.
 68. D. H. Preist, C. E. Murdock and J. J. Woerner, „High power klystrons at UHF", Proc. IRE Vol. 41, January 1953, p. 20-25.
 69. T. Moreno, „Transmitting tubes for scatter communications", IRE Transactions Vol. CS-4, March 1956, p. 64-68.
 70. F. A. Speaks, „Power amplifier klystrons for UHF transmission", IRE Transactions Vol. CS-4, March 1956, p. 69-77.

71. J. R. Day, „Serrasoid FM modulator”, Electronics vol. 21, October 1948, p. 72.
 72. J. Fagot, „Montages limiteurs à grande largeur de bande pour la modulation de fréquence”, Ann. de Radioelectr. Tome IX, juillet 1954, p. 274-281.
 73. D. Davidson and A. J. Poté, „Designing over-horizon communication links”, Electronics, December 1955, p. 126-131.
 74. H. H. Beverage, E. A. Laport and L. C. Simpson, „System parameters using tropospheric scatter transmission”, RCA Review, Sept. 1955, Vol. XVI no. 3, p. 432-458.
 75. J. R. Day, „Beyond-horizon signals extend communications”, Electronics, October 1955, p. 122-128.
 76. J. H. Chisholm et al, „Investigations of angular scattering and multipath properties of tropospheric propagation of short radio waves beyond the horizon. Proc. I.R.E. Vol. 43, October 1955, p. 1317-1336.
 77. V. J. Nexon and W. S. Halstead, „International telecommunications via VHF relays”, Radio-Electronic Engineering, February 1954, p. 16-18 en 37-38, March 1954, p. 8-10.
 78. H. R. Reed and C. M. Russell, „UHF Propagation”, Boek, John Wiley Sons, New York, 1953.
 79. W. Kleen, Ueber die heutigen Grenzen der Elektronenröhren bezüglich Leistung, Frequenz und Rauschen. E.T.Z.-A vol 77, 1956, 1 Nov. Heft 21, p. 769-774.
-

Note on the resolution of radar systems

by J. Ph. Poley *)

In various papers on the resolution of radar systems the influence of several parameters is discussed which play an important role in the design and performance of modern radars. During the radar development after the war a trend can be distinguished towards a larger resolving power for medium and short range radars, thus favouring accurate position-finding and piloting by means of radar. Generally most attention is paid to the decrease of beamwidth Θ and pulselength P , which are commonly taken to be the determining factors for azimuth and radial resolution respectively. An accompanying decrease in wavelength makes in addition a more compact design possible.

For instance, as far as high discrimination is concerned, the Decca harbour radarset 31 ($\lambda \sim 3.20$ cm, $\Theta \sim 30'$, $P = 0.06 \mu\text{s}$, 4.2 m scanner), the Decca river radar 214 ($\lambda \sim 3.20$ cm, $\Theta = 1.2^\circ$, $P = 0.05 \mu\text{s}$, 2.1 m scanner), the 3 cm Cossor surveillance radar⁴⁾ ($\lambda \sim 3.20$ cm, $\Theta = 30'$, $P = 0.05 \mu\text{s}$, 3.6 m scanner) and the New York Airport radar⁵⁾ ($\lambda \sim 1.25$ cm, $\Theta = 15'$, $P = 0.02 \mu\text{s}$, 3.6 m scanner) have been followed by the new Decca Q-band radar⁶⁾ ($\lambda \sim 0.86$ cm, $\Theta = 24'$, $P = 0.05 \mu\text{s}$, 1.8 m scanner). The performance of this last 8 mm radar, as installed at London Airport for airtraffic control is shown in fig. 1.

Too little attention, however, is given in literature to the fact that in striving towards a higher resolution, the improvement of the presentation qualities should keep pace with the improvement in radar apparatus design^{**}). Otherwise the scope performance will put a firm and inevitable limit to the radar resolution by its spot diameter, especially at short distances.

The individual influences of the above-mentioned parameters are easily compared by considering their equivalent surface distances.

*) Now at Kon./Shell Lab., Delft

***) An exception is found in ref. 5) and 7).

The azimuth width B of a point reflector is dependent upon the range R of the target according to

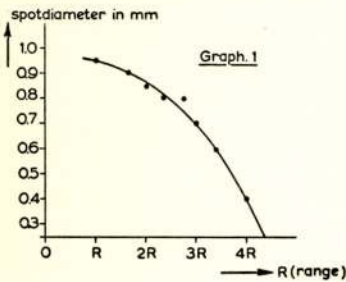
$$B \sim \frac{\Theta}{57.5} \times R \quad (B \text{ in m, } \Theta \text{ in degrees, } R \text{ in m}),$$

while the actual azimuth resolution is about $1.25 \times B^1$.

In radial direction the "depth" D , related to the pulselength, is obtained from

$$D = 150 \times P \quad (D \text{ in m, } P \text{ in } \mu\text{s})$$

The presentation quantity, which must compete with the radar parameters, i.e. the spot dimension, now requires some more discussion. For a certain presentation unit with maximum focussing a wide range of spot diameters is observed, dependent on the echo strength of the target. A curve showing the relation between spot diameter and distance of a groundbased target, as obtained empirically from the runway-edges of Fig.1, is given in Graph 1. However, for a full echo a minimum spot diameter between 0.7 and 1 mm will be found.



Graph 1.

Relation between spot diameter and relative target distance.

when the ratio d/r is as small as possible. This can be achieved for instance by increasing the screen dimensions as well as by offcentering⁷).

In Graph 2 the influence of B , D , and w are compared for a number of beamwidths and pulselengths using a short range radar ($S_1 = 500$ m, $S_2 = 1500$ m, $S_3 = 3000$ m). The scope parameters have been chosen as $d \sim 0.1$ cm, $r = 15$ cm.

It is easily seen that from a given presentation unit an optimum design for the attached radar can be deduced, whereas, on the contrary, certain radar parameters impose minimum requirements on the presentation unit to be used. Analyzing from

The equivalent width w corresponding with the spot diameter d for such an echo depends upon the rangescale S in use, and the sweep-range r of the radar, according to

$$w = \frac{d}{r} \times S$$

(w in m, S in m, d and r in cm f.i.).

The ratio d/r is the predominant factor of the presentation. Maximum discrimination will be obtained

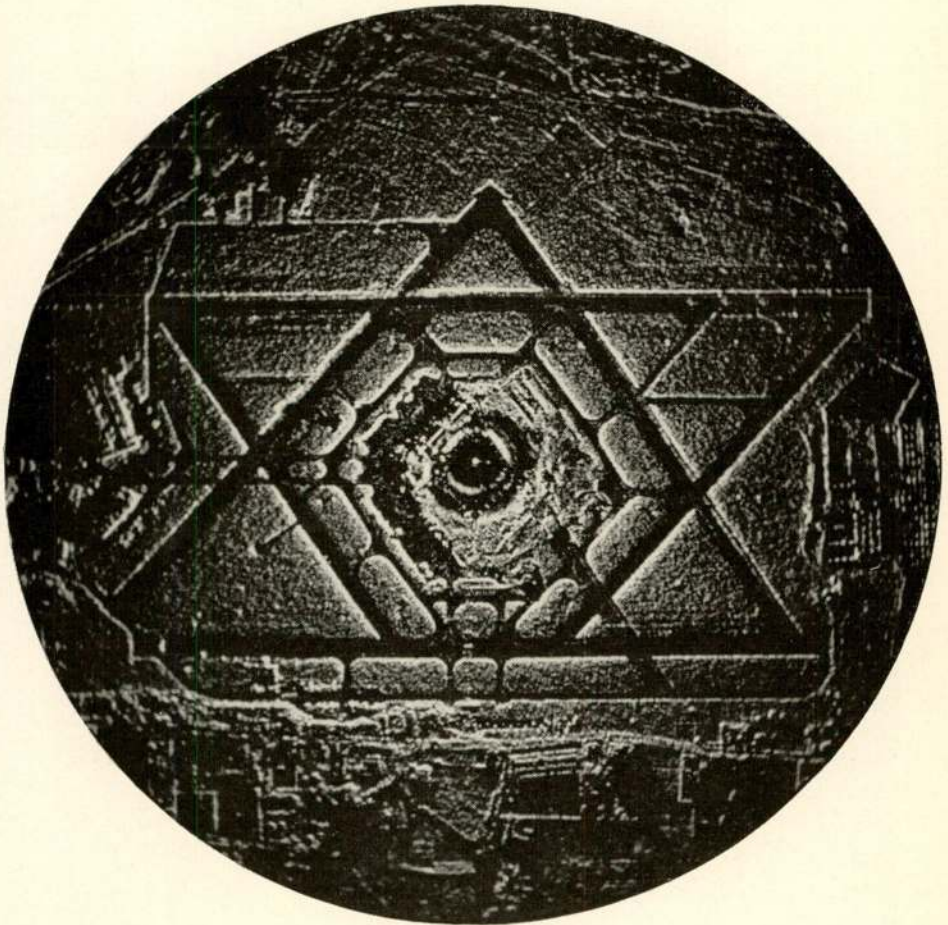


Fig. 1.

London Airport radar pattern 8.6 mm Decca radar (courtesy of Decca Ltd)



Fig. 2.
(Optical) picture of Bergen (Norway) from



Fig. 3.
Radar picture of Bergen (Norway) 3.20 cm radar, $d/r \sim 1/50$, $S \sim 3000$ m.



ar site (courtesy of Philips Telec. Ind. Ltd.)

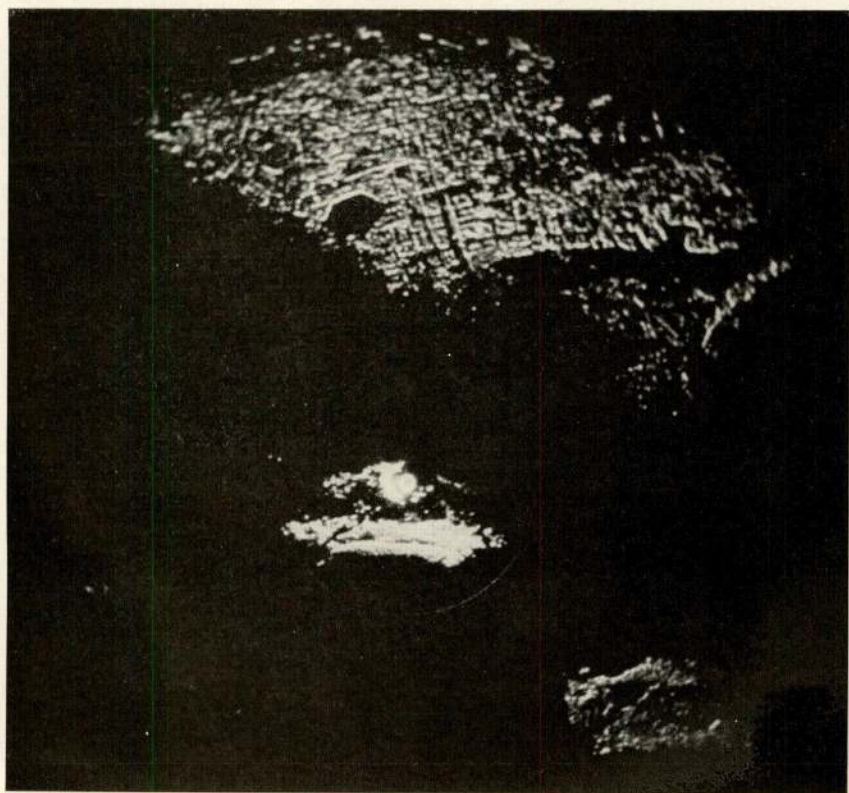


Fig. 4.

Radar picture of Bergen (Norway) 0.86 mm radar, $d/r \sim 1/150$, $S \sim 1800$ m.

References

- 1) J. Freedman, Proc. I.R.E., **39**, 813, 1951.
 - 2) W. A. S. Butement a.o. J.I.E.E., **93 III A**, 114, 1946.
 - 3) E. J. Isbister, Trans. I.R.E. CS-3, March 1955, p. 31.
 - 4) J. W. Jenkins o.a., J. Brit. Inst. Rad. Eng., **14**, 5, 1954.
 - 5) J. E. Woodward, Conv. Rec. I.R.E., **3**, 46, 1955, pt 5.
 - 6) Wireless Engineer, **61**, 44, 1955, and commercial specifications.
 - 7) E. Goldbohm, Tijdschr. N.R.G., **17**, 155, 1952.
-

VHF "FORWARD SCATTER" TELEFONIE- EN VERRESCHRIJF- VERBINDINGEN TEN DIENSTE VAN HET NOORD-ATLANTISCHE LUCHTVERKEER

Voor een doelmatige regeling van het steeds toenemende luchtverkeer boven de Noordelijke Atlantische Oceaan — op bepaalde tijden bevinden zich op één ogenblik binnen dat gebied meer dan 100 vliegtuigen (burgerlijke en militaire tezamen) — is een betrouwbare telefonie- en verreschrijfverbinding tussen de verschillende verkeersleidings- en communicatiecentra in dat gebied (Prestwick in Engeland, Shannon in Ierland, Reykjavik in IJsland, Narssarssuaq in Groenland en Gander in New-Foundland) onontbeerlijk.

Wat de intensiteit van het luchtverkeer in dat gebied betreft wordt rekening gehouden met de voortzetting van de huidige groei van dat verkeer die neerkomt op een toename van 100% elke 5 jaar.

Tussen vorengenoemde centra bestaan thans weliswaar modern uitgeruste H.F. radioverreschrijfverbindingen, doch doordat deze radioverbindingen op betrekkelijk geringe afstand langs de magnetische noordpool lopen, is ondanks alle aangewende technisch vernuft, de betrouwbaarheid dezer verbindingen als gevolg van ionosferische storingen, karakteristiek voor sub-arctische breedten, niet zeer groot en in elk geval onvoldoende voor een luchtverkeersregeling, die geheel afhankelijk is van een snelle en betrouwbare overbrenging van berichten. Het gevolg van e.e.a. is dat o.a. bij de onderlinge separatie der vliegtuigen (men denke aan vluchten des nachts of in de wolken) zeer grote veiligheidsmarges moeten worden genomen.

De opeenvolgende vertrektijden van vliegtuigen, welke op dezelfde route en dezelfde hoogte willen vliegen — en zulks komt met het oog op de weersomstandigheden zeer veel voor — moeten dan ook op een half uur worden gesteld. Ter vergelijking diene dat boven het Europese vasteland, waar de verkeersleiding wel over betrouwbare en snelle verbindingen beschikt, de overeenkomstige separatie slechts 10 minuten bedraagt. En deze laatste separatie wordt zelfs bij de toepassing van grondradar nog aanzienlijk teruggebracht.

Men zoekt dan ook intensief naar een verbetering der bedoelde communicatiemiddelen in het Noord-Atlantisch gebied en men meent dat de beoogde verbetering kan worden gevonden in de toepassing van het VHF "Forward Scatter" communicatie systeem, waarbij zoals bekend, zowel aan de zend- als de ontvangzijde een sterk gebundelde antennestraling is gericht in een gebied van de E-laag van de ionosfeer gelegen halfweg tussen zender en ontvanger.

Het plan beoogt omstreeks 1960 de volgende punten te verbinden:

Gander met Narssarssuaq	± 1500 km
Narssarssuaq met Reykjavik	± 1300 km
Reykjavik met Prestwick of Shannon	± 1400 km

Mogelijkerwijs zal voor de verbinding van Reykjavik met Prestwick/Shannon van een coaxiale kabel via de Faroër eilanden gebruik worden gemaakt.

De verbinding zal 5 kanalen hebben t.w. 1 telefoniekabel en 4 verreschrijfkanalen.

Gezien de afstanden, welke moeten worden overbrugd dient hier van de twee gebruikte wijzen van "Forward Scatter" n.l. troposferische (bruikbaar tot afstanden van 500 à 600 km) en ionosferische (bruikbaar van ongeveer 800—2000 km), de laatstgenoemde te worden gekozen.

Voor deze wijze van telecommunicatie worden VHF frequenties gebruikt, welke liggen tussen de MUF voor een bepaalde verbinding en een frequentie van ± 100 Mc/s; de beste resultaten zijn bereikt in het gebied tussen 30 en 60 Mc/s.

Het meest economisch zou voor de bedoelde verbindingen het gebruik zijn van een betrekkelijk lage frequentie tussen 30 en 40 Mc/s en zulks was dan ook oorspronkelijk de bedoeling.

Teneinde evenwel storing van andere diensten, welke van dezelfde frequenties gebruik maken, te vermijden, vooral in tijden van hoge zonnevlekkenactiviteit, moest echter de oorspronkelijke opzet, wat de frequenties betreft, zodanig worden gewijzigd, dat uitwijken op een hogere frequentie (tussen 50 en 60 Mc/s) mogelijk werd.

De ervaring heeft aangetoond dat het gebruik van VHF "Forward Scatter" systemen met frequenties welke liggen beneden de MUF voor voortplanting via

de F2-laag, zeer ernstige storing tot gevolg heeft over lange afstanden van andere diensten welke de bedoelde frequenties gebruiken.

De kosten van het project zijn door het toevoegen van een tweede frequentie aanzienlijk boven de oorspronkelijke raming gestegen, omdat het zendvermogen nagenoeg moest worden verdubbeld.

Het werd daardoor gebracht op 100 kW.

De bedoeling is dat normaal (op de lagere frequentie) een 50 kW. zender in gebruik is, terwijl eenzelfde zender in reserve wordt gehouden. Door beide zenders op tijdstippen, dat het gebruik van de hogere frequentie noodzakelijk is, parallel te schakelen, wordt het alsdan nodige hogere vermogen bereikt.

Ondanks de vele onregelmatigheden, welke het signaal op de transmissieweg ondervindt (fading, Doppler verschuiving, veelvoudige wegen van overbrenging e.d.) rekent men op een betrouwbaarheidspercentage van de verbinding in de buurt van 99%. Daarbij is het interessant op te merken dat, aangezien het ontvangen signaal voor een VHF scatter circuit mede afkomstig is van reflecties tegen geioniseerde banen van meteoren in het gebied van de E-laag, deze signalen belangrijke Doppler verschuivingen kunnen ondervinden door de bewegingen der meteoren. Volgens de berekeningen kunnen deze meteoren verschuivingen veroorzaken tot 6 kc/s op 50 Mc/s. Metingen hebben echter aangetoond, dat in het merendeel der gevallen de shift niet meer dan 3 kc/s bedraagt, terwijl bovendien het percentage van de tijd, dat dergelijke reflecties zo sterk zijn om dusdanige verschuivingen te veroorzaken, zeer klein is.

Wat de modulatie betreft zijn uitvoerige proeven gedaan met „één zijband” contra FM.

SSB bleek het verre te winnen in betrouwbaarheid van FM.

Gedurende „sporadic E” voortplantingsomstandigheden, wordt een zeer sterke toeneming van de signalen waargenomen. Teneinde storingen als gevolg daarvan te voorkomen, zal het vermogen van de zenders tenminste regelbaar dienen te zijn over een gebied van 20 decibel. Men heeft waargenomen dat in het 30–60 Mc/s gebied de waarschijnlijkheid van optreden van „sporadic E” vermindert met 50% voor elke toeneming van de frequentie met 15 Mc/s; verder kan storing door dit verschijnsel het meest worden verwacht op afstanden in de buurt van 1600 km, zodat de in het project opgenomen verbindingen er zeer zeker door zullen worden beïnvloed.

De kosten van het project zijn om de hiervoor genoemde redenen met meer dan 30% gestegen en dit percentage dient derhalve te worden gevoegd bij de hieronder vermelde oorspronkelijke kostenraming:

Installaties in	Kapitaal-kosten	Jaarlijkse bedrijfskosten
New Foundland	\$ 428.300	\$ 38.000
Groenland	901.880	63.500
IJsland	789.880	57.500
Engeland of Ierland	320.300	39.500

Aangezien de waarde, welke door IJsland en Denemarken (Groenland) aan de installaties voor hun luchtverkeer kan worden ontleend, niet evenredig is aan de kosten der installaties op hun grondgebied, zal het grootste gedeelte van die kosten door andere regeringen, waarvan de luchtlijnen over de Atlantische Oceaan lopen, dienen te worden betaald.

Hetzelfde geschiedt reeds met andere luchtvaart communicatie-, navigatie- en meteofaciliteiten op Groenland en IJsland en de betrokken regeringen dragen bij in de kosten naar evenredigheid van het aantal vluchten hunner luchtvaart-maatschappijen.

Voor het "Forward Scatter" systeem zou Nederland jaarlijks moeten bijdragen rond f 400.000; de K.L.M. verzorgt \pm 10% van het luchtverkeer over de Noord Atlantische Oceaan.

Canada heeft reeds toegezegd om een "\$ 650.000 forward scatter station" in de nabijheid van de luchthaven Gander voor zijn rekening te zullen nemen

en Nederland heeft zojuist op zekere voorwaarden toegestemd zijn bijdrage voor het project te zullen leveren.

Het beoogde jaar van gereedkomen van het plan n.l. 1960 zal samenvallen met het in belangrijke mate deelnemen aan het intercontinentale luchtverkeer door verkeersstraalvliegtuigen, zoals de Douglas DC 8, waarvan de K.L.M. een aantal heeft besteld.

Mogelijkerwijs zal het tijdstip van gereedkomen iets kunnen worden vervroegd, doch een belangrijke factor in het tijdschema is de omstandigheid, dat op Groenland slechts gedurende de zomermaanden constructiewerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd.

Het is zeer te hopen dat alle landen die aan het Noord-Atlantisch luchtverkeer deelnemen bereid zijn hun financiële bijdragen te leveren, aangezien niet doorgaan van het project de regelmaat van het transatlantisch luchtverkeer en vooral dat met straalverkeersvliegtuigen, ernstig in de waagschaal zou stellen.

O. S.

„CONFERENZA INTERNAZIONALE DEL RADAR”

Bovengenoemde conferentie werd van 16—19 mei te Genua gehouden. Er namen ca. 110 buitenlanders (België, Chili, Canada, Denemarken, Frankrijk, Griekenland, West-Duitsland, Japan, Engeland, Israël, Noorwegen, Nederland, Rusland, Spanje, U.S.A., Zweden, Zwitserland, Turkije, Yugo-Slavië, Venezuela) en 240 Italianen aan deel.

De vertegenwoordigers der overheden, welke aanwezig waren, vertegenwoordigen allen hun landen niet officieel; zij hadden de status van „observer”.

De Italiaanse leiding der conferentie heeft enkele keren tijdens de zittingen gepoogd een resolutie door te drukken, welke internationaal consequenties zou kunnen hebben.

Tevens deelde genoemde conferentieleiding mede, dat het verslag van de conferentie zou worden aangeboden aan de Italiaanse regering en dat deze vervolgens dit verslag langs de diplomatieke kanalen ter kennis zou brengen van de verschillende mogendheden, waarvan zich afgevaardigden ter conferentie bevonden.

De „observers” van enkele landen, waaronder zich ook de Nederlandse waarnemer de Heer Pinke (Voorzitter Staatsradarcommissie) bevond, hebben hierop gezamenlijk een verklaring ondertekend, waarin zij de conferentieleiding uitdrukkelijk deden weten, dat zij onofficieel waarnemer van hun land waren en dat zij hun eigen rapport over de conferentie bij hun overheid zouden indienen.

De conferentie begon met een welkomstwoord, gesproken door de Burgemeester van Genua, gevolgd door begroetingswoorden door verschillende andere Italiaanse autoriteiten, waarna een Italiaanse admiraal een historisch overzicht gaf over „Radio Electricity in Maritime Navigation”.

Hierna volgden inleidingen door Capt. F. J. Wylie van de Radio Advisory Service te London, Col. J. D. Parker, Secretary-General van het Comité International Radio-Maritime te Londen, de heer E. Kulvik, President van het C.I.R.M. te Oslo, alsmede van twee Italianen.

Deze inleidingen brachten in het geheel geen nieuwe gezichtspunten.

Vervolgens splitste de conferentie zich in twee secties, nl. een technische sectie en een operationele sectie.

Het merendeel der sprekers in beide secties waren Italianen, welke somwijlen zeer verwarde redevoeringen hielden, die moeilijk te begrijpen waren voor lieden, die de Italiaanse taal niet machtig zijn, doordat de tolken, welke hadden zorg te dragen voor de simultane vertaling, niet geheel op hun taak berekend waren.

De technische sectie bracht enkele verfijningen in de radartechniek van Italiaanse oorsprong naar voren, welke niet van bijzonder belang zijn, terwijl een Amerikaanse spreker, vertegenwoordiger van het „Raytheon” concern, een revolutionaire nieuwe ontwikkeling ontvouwde, welke verwant is aan het z.g. True Motion principe. Indien het door hem beschreven systeem inderdaad op niet te ingewikkelde wijze te verwezenlijken is, betekent dit een zeer belangrijke stap vooruit.

De operationele sectie produceerde een recommendatie, de enige welke de conferentie tot stand bracht. Deze recommendatie volgt hieronder in extenso:

THE CONFERENCE

- considering the progress made in the design and construction of the radar equipment.
 - considering the growing use of this device:
 - 1) recommends that all means be taken to realize the advantages which radar can offer and to ensure the greatest operational efficiency and the proper use by those in charge of it.
 - 2) is of the opinion that every maritime Nation, recognizing its duty to protect lives and property at sea, should enact legislation which would require each deck officer serving the merchant marine to demonstrate a thorough knowledge of the use of radar before any license be granted, authorizing such deck officer to stand a watch on a merchant vessel carrying the flag of such nation and equipped with radar.
 - 3) is of the opinion that, in connection with the use of radar to prevent collision at sea, the conduct of ships equipped with radar should be governed by the following principles:
 - a) The Steering Rules (Collision Regulations Part C), except Rule 25, can only be applied between ships in sight of one another. When not in sight, neither ship has right of way.
 - b) When a vessel has on her radar screen the echo of another vessel which is out of sight and sound, and there is danger of the development of a close quarter situation, she should take early and bold action to avoid such situation, if other navigational circumstances permit.
 - c) In carrying out such action the ship must take account of the possible action or inaction on the part of the other ship, of the presence of more than one other vessel and of such circumstances as the situation may present.
- NOTE: A decision is needed whether or not the movement of ships taking into consideration such action should be subject to limitation in any way.

Bedoelde tekst werd opgemaakt door een comité, onder voorzitterschap van Capt. Wylie, waaraan tevens een Frans en een Noors nautisch deskundige, alsmede 4 Italianen, deel namen.

Betreffende „Radar training of Deck Officers” werd geen positief standpunt ingenomen. In beide secties kwam wel tot uiting, dat alle aanwezige nationaliteiten het hoogst dringend achten, dat er „Radar training” zal komen.

Een inleiding over dit onderwerp van Colonel Parker gaf slechts een overzicht over hetgeen tot nu toe in verschillende landen werd gedaan op het gebied van radartraining.

Een spreker van Trinity House gaf een beschrijving van een „Fog Detector” voor schepen, welk instrument — direct afleesbaar — de zichtafstand in mist of nevel kan aangeven.

Vermeldenswaard is nog de inleiding, welke bijna tegen het eind der conferentie werd gehouden door een persoon van Griekse nationaliteit, welke een lans brak voor het verplicht stellen van radar op passagiersschepen boven de 1000 ton, het gebruik van radar te koppelen aan dat van V.H.F.-apparatuur en bovendien om een gedetailleerde minimum specificatie te vervaardigen voor radarapparatuur in het algemeen.

Zijn standpunt werd echter niet gedeeld door anderen.

De algemene indruk van deze conferentie was, dat de Italianen er geforceerd een „internationaal geheel” van hebben willen maken, wellicht geïnspireerd door hun verlangen de wereld te tonen, dat zij op radargebied ook kunnen meespelen.

C. B. Br.

CONGRES INTERNATIONAL „CIRCUITS ET ANTENNES HYPER-FREQUENCES”

De Société des Radioélectriciens organiseert van 21 tot 26 oktober te Parijs een internationaal congres met als onderwerp: U.H.F.-schakelingen en -antennes. Inlichtingen over deelname te verkrijgen bij de redactie of: Société des Radioélectriciens, 10 Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine).

INTERKAMA TE DUSSELDORF

Van 2 tot 10 november a.s. wordt te Dusseldorf een internationaal congres gehouden over meet- en regeltechniek en automatisatie. Uit de prospectus nemen wij over:

„De „Interkama” stelt zich tot doel *contactcentrum* te zijn tussen theoretici, fabrikanten, ingenieurs, bedrijfsleiders, adviseurs en deskundigen van centrales, fabrieken, laboratoria, enz., deskundigen voor het ontwikkelen en het projecteren van meet- en regelinstallaties bij de industrie en adviserende ingenieurs.

Dit contact wordt gelegd op internationaal niveau, waardoor de ontwikkeling en de toepassing der meettechniek en automatisering wordt bevorderd. Het doel is *uitwisselen van ervaring en overdracht van kennis*.

Fabrikanten hebben gelegenheid, gedurende het congres lezingen en demonstraties te organiseren over hun *nieuwste apparatuur*.

Lezingen, onderhouds- en bedrijfscursussen over de modernste apparatuur worden door fabrieken georganiseerd voor *bedrijfstechnici*, die werken in centrales, laboratoria, fabrieken, enz.

Het meten zal niet alleen dienen voor de controle van een proces, maar is eveneens de basis van de *bedrijfseconomie*.

Het congres zal voorts bespreken het interpreteren der metingen t.b.v. de bedrijfseconomie en daarmee van bijzondere betekenis zijn voor de *bedrijfs-econoom*.”

Nadere inlichtingen bij de redactie of: Nordwestdeutsche Ausstellungs-Gesellschaft m.b.H., Düsseldorf, Ehrenhof 4.

NIEUWE UITGAVEN:

De redactie ontving:

Transistors- circuits and servicing, door B. R. Bettridge.

Dit boekje zal in een der volgende nummers besproken worden.

Boekbesprekingen

Tubes for computers, 52 pag. 15½ x 23½ cm, 59 illustraties, uitgegeven door de Philips Technische Bibliotheek, te verkrijgen bij Meulenhoff & Co., Amsterdam. Prijs f 4.90.

Voor de bibliophiel is ieder boek uit deze reeks steeds weer een teleurstelling. Geen twee opeenvolgende delen uit deze reeks hebben dezelfde afmeting, tweemaal is de kleur van de kaft reeds gewijzigd en nu is de tekst op de rug weer eens onder handen genomen en is van „Electronic Valves” in „Electronic Tubes” gewijzigd. Des te merkwaardiger daar de markt, waar men „valves” koopt voor tweederde in handen van dit concern is en de markt voor „tubes” maar voor enkele procenten.

Is wat het uiterlijk aangaat allang geen sprake meer van een serie, wat de inhoud betreft, is dat langzamerhand evenmin het geval. Het is zeker niet meer zo, dat de opeenvolgende delen een lezerskring met gelijke technische ontwikkeling aanspreken. Het onderhavige boek bevat weinig meer dan een uitgebreide reclamefolder. De gegevens van de electronenbuizen E 90 CC, E 92 CC, E 88 CC en E 91 H en van de koude-kathodebuizen Z 50 T en Z 70 U zijn in de gewone buizenboekjes te vinden. Daar zijn tenminste de termen zoals „design centre” en „absolute maximum” nog toegelicht. De buisgegevens worden vooraf gegaan door een inleiding over telschakelingen. Hier wordt uiteengezet hoe de *C_{ag}* en de *R_i* van de buizen, de eigenschappen van de buis in telschakelingen

bepalen. De inwendige weerstand is de gelijkstroomweerstand (pag. 13). Als later de E 90 CC, de E 92 CC en de E 88 CC wat de R_i betreft met elkaar vergeleken worden is steeds de wisselstroomweerstand bedoeld. Overigens terecht, maar voor de lezer is de logica niet erg begrijpelijk. Van de telbuis E 1 T, die in de inhoudsopgave van dit boek prijkt, is niet meer te vinden dan een foto en een half kolommetje tekst. Welk een prachtige gelegenheid heeft men hier voorbij laten gaan om de interessante schakelingen, waarmee men deze buis, die oorspronkelijk slechts tot 30.000 Hz te gebruiken was, thans tot enkele megahertzen kan laten tellen, bij elkaar te zetten. Zij zijn wel is waar grotendeels buiten het Philipsconcern ontwikkeld, maar het boek was er toch echt niet te dik en beslist veel waardevoller door geworden.

P. L. M. v. B.

U.H.F. Tubes for communication and measuring equipment, 70 pag. $15\frac{1}{2} \times 23\frac{1}{2}$ cm, 76 illustraties, uitgegeven door de Philips Technische Bibliotheek, te verkrijgen bij Meulenhoff & Co. N.V., Amsterdam. Prijs f 4,90.

In dit boek zijn de technische gegevens ondergebracht van de buizen werkzaam in het frequentiegebied van 300–10.000 MHz en wel van de DC 70, EC 80, EC 81, EC 55, EC 56, EC 57, 2 K 25 en 723 A/B. Van enkele buizen zijn enige toepassingen gegeven. Voor het meten van ruisgetallen worden de technische gegevens verstrekt van de K 81 A, welke geschikt is tot ongeveer 300 MHz. Voor de 3 cm en 10 cm golfleugteband worden de gegevens van de met neon gevulde gasontladingsbuizen K 50 A en K 51 A verstrekt.

Het boekje ziet er keurig verzorgd uit, terwijl de foto's en de afbeeldingen duidelijk worden weergegeven.

M. v. S.

The Cathode Ray Oscilloscope door J. Czech, uitgegeven door de Philips Technische Bibliotheek, Eindhoven 1957, XII + 340 pag. $15,5 \times 23,5$ cm, 407 illustraties, prijs f 29,75. Verkrijgbaar bij Meulenhoff & Co. te Amsterdam.

Een samenvattend boek over het ontwerp en gebruik van oscillografen is een zeldzaamheid op de technische boekenmarkt. Zij die ex professo veel met deze materie in aanraking komen, konden tot nu toe voor hun problemen vrijwel steeds in een der 28 delen van de Radiation Laboratory Series van de M.I.T. terecht. Vele delen van deze reeks zijn thans echter al aan hun tweede lustrum toe en ieder boek, dat van een omvangrijk deel van het vakgebied een up to date overzicht geeft en bovendien de weg wijst naar verder gespecialiseerde literatuur zal daarom met enthousiasme ontvangen worden. Het is daarom wel enigszins te betreuren dat de auteur zich heeft beperkt tot de bespreking van de producten van één enkel concern en tot de behandeling van schakelingen, die bijna alle door de octrooischriften van zijn concern gedekt worden.

Een grote verdienste van dit boek is de uitgebreide beschrijving van de toepassingsgebieden van oscillografen. Zelfs wie vele jaren verschillende zeer uiteenlopende typen van oscillografen dagelijks heeft gehanteerd zal in dit boek nog onvermoede toepassingen tegen kunnen komen. De schrijver geeft vooral vele meetschakelingen voor het meten van fase en frequentie: meer dan een vierde der illustraties is aan deze beide hoofdstukken gewijd. Voorts worden o.a. meetmethoden beschreven voor televisie-ontvangers, fluorescentiebuizen en flitslampen.

Het laatste deel van het boek bevat zeer gedetailleerde beschrijvingen en bouwtekeningen van een tweetal typen oscillografen voor zelfbouw. Het assortiment oscillografen, thans aan de markt, is zo groot dat zelfbouw weinig zin meer zal hebben. Des te belangrijker zijn de voorbeelden om te laten zien langs welke lijnen het ontwerpen van een complete oscillograaf in zijn werk gaat.

Het zetwerk en bindwerk van dit boek zijn uitstekend verzorgd, waarbij vooral de kwaliteit der zeer talrijke gereproduceerde oscillogrammen opvalt.

P. L. M. v. B.

Uit het Nederlands Radiogenootschap

PERSONALIA



Dr. Ir. H. DE LANGE

Op 5 juni 1957 promoveerde tot doctor in de technische wetenschap aan de Technische Hogeschool te Delft ons lid H. de Lange Dzn. op een proefschrift, getiteld: Attenuation characteristics and phase-shift characteristics of the human fovea-cortex systems in relation to flicker-fusion phenomena, goedgekeurd door de promotor Prof. ir. J. L. van Soest.

Hendrik de Lange werd geboren op 20 november 1901 te Vlaardingen, en na zijn opleiding aan de H.B.S. behaalde hij het diploma van electrotechnisch ingenieur te Delft in 1926. Hierna kwam hij als ingenieur bij de Verbindingsdienst bij het wapen der Genie, welk verband in 1940 door de oorlogsomstandigheden werd verbroken. Hij werd toen verbonden aan het Laboratorium van de Nederlandse Seintoestellen Fabriek te Hilversum,

later genoemd Philips' Telecommunicatie Industrie. Bij zijn vele werkzaamheden hebben de mathematische achtergronden en diepere inzichten zijn speciale belangstelling. Van deze problemen moge b.v. genoemd worden superregeneratieve ontvangers, regelsystemen o.a. van gestuurde oscillatoren, ruisproblemen. Het verband tussen frequentie karakteristieken en tijdsfuncties, toegepast op licht, bracht hem tot de koppeling van elektronische begrippen en physiologische verschijnselen bij de waarneming van flikkerend licht.

Ondanks langdurige ziekte en zijn hogere leeftijd heeft hij deze studie zo diepgaand voortgezet dat het bovengenoemd proefschrift ontstaan is.

Van zijn hand verschenen verschillende artikelen in het tijdschrift van het N.R.G., Communication News, Physica, Journal of the Optical Society of America. Ook is hij reeds vele jaren lid van de examencommissie van het N.R.G. voor het radiomonteurs- en radiotechnicus diploma.

J. W. A.



Ir. A. H. DE VOOGT, ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw.

Ir. De Voogt kwam 16 februari 1919 als tijdelijk ingenieur der telegrafie in dienst van PTT en was met een onderbreking van een half jaar, toen hij in het particuliere bedrijf aan Turkse regeringsorders werkte, in hoofdzaak werkzaam bij de telefoon-dienst, laatstelijk (1939—1945) als districtshoofd te Breda. In deze periode verwierf hij verschillende kabeltrooien.

In mei 1945 vinden wij de heer De Voogt als hoofd van de Dienst Radio, omvattende de dienst voor het radiotelegraaf- en telefoonverkeer, de draadomroep, de omroepzenders en het radiolaboratorium.

Ir. De Voogt, een van de eerste Nederlandse radio-amateurs, die in zijn studententijd het radiotelegrafist-diploma verwierf, in 1914 als radiotelegrafist dienst deed op de Nieuw Amsterdam en op het Marine Radiostation en in 1925 zitting had in het Ere Comité voor de Eerste Nederlandse Radio Salon te Scheveningen, kwam aldus bij de Radiodienst van PTT.

Deze werkring verschafte hem de mogelijkheid een andere hobby, de astronomie, op nieuwe wijze professioneel te gaan beoefenen. Strijdvaardig en eigen wegen gaande, zoals zijn aard is, bevorderde hij de totstandkoming van de eerste radio-astronomische inrichtingen in ons land, waar, met name te Kootwijk, resultaten van wereldformaat werden geboekt.

Inmiddels bevorderd tot plaatsvervangend hoofddirecteur, werd hij daarnaast belast met de leiding van zijn nieuwe afdeling Ionosfeer en Radio-astronomie, die in internationaal verband belangrijke en zeer verscheiden onderzoekingen verricht.

Thans staan deze voornamelijk in het kader van het Internationaal Geofysisch Jaar. Dit is de reden, dat de nu voor zijn verdiensten hoog onderscheiden Ir. De Vooigt, die intussen de pensioengerechtigde leeftijd bereikte, het I G J ten einde uit in dienst blijft.

A. J. E.



Ir. J. A. J. BOUMAN, officier in de orde van Oranje Nassau.

Ir. J. A. J. Bouman, technisch directeur van de Hoofdindustrialgroep Apparaten werd op 22 augustus 1901 in Utrecht geboren. Hij studeerde aan de T.H. te Delft voor elektrotechnisch ingenieur.

Op 1 mei 1929 trad hij in dienst bij de N.S.F., thans de N.V. Philips' Telecommunicatie Industrie te Hilversum. In 1930 werd hij overgeplaatst naar Eindhoven teneinde bij de radio-apparaten fabricage te werk gesteld te worden. In 1940 werd hij belast met de leiding van het Apparaten Laboratorium. In 1945 werd hem verzocht de oprichting te verwezenlijken van een centraal ontwikkelingsbureau, dat tot taak had de werkzaamheden in de diverse ontwikkelingslaboratoria in Nederland en in het buitenland te coördineren.

In 1950 werd hij benoemd tot Hoofd van de ontwikkelingslaboratoria van de Hoofdindustrialgroep Apparaten, welke groep zowel radio-, T.V.- en grammofooninstallaties als kleine apparaten omvat.

Ir. Bouman is voorts:

Lid van het Hoofd-en Dagelijks Bestuur van de „Vereniging tot bevordering van het Elektrotechnisch vakonderwijs in Nederland.” (V.E.V.),

Voorzitter van de examencommissie voor de radioexamens der V.E.V.,

Lid van de commissie van toezicht op de examens van het Nederlands Radio Genootschap (N.R.G.),

Oud lid van de inmiddels ontbonden televisiecommissie,

Oud lid van de inmiddels ontbonden Televisieraad,

Voorzitter van de FOEGIN-commissie van veiligheidsvoorschriften op radio-versterker- en TV-gebied,

Lid van de NEC-commissie 12,

Member of the Institute of Electrical Engineers in Engeland.

d. V.

Ir. H. A. RODRIGO

werd benoemd tot ridder in de Orde van Oranje Nassau met de zwaarden.

NIEUWE LEDEN

Ltz. E. I. E. V. Glaser, Driehuizerkerkweg 28, Driehuis-Velsen.
Drs. H. P. Th. van Lohuizen, Erasmusweg 41, Den Haag.

Ir. A. F. Schwarz, Voorstraat 27, Delft.
 F. J. Soede, Ieplaan 41, Den Haag.
 W. A. J. M. Zwijsen, Maria Stuartlaan 8, Eindhoven.

VOORGESTELDE LEDEN

Ir. J. A. Brakel, Oude Loosdrechtseweg 42, Hilversum. (P.T.I.).
 W. P. Gerharz, Burg. van Holthelaan 3, Zeist. (Politieverbindingsdienst).
 Ir. J. N. A. M. van Gils, Willem Klooslaan 23, Voorburg. (Standard Electric).
 Ir. J. T. de Jager, Dwingelo 109 C. (Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg).
 G. A. Klein, Jacob van Campenlaan 93, Hilversum. (P.T.I.).
 Dr. G. Klein, Ziggenstraat 4, Geldrop, N.B. (Philips).
 Ir. C. A. Muller, Radiosterrenwacht, Dwingelo. (Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg).
 Ir. E. J. Nijenhuis, Acaciastraat 111, Den Haag. (P.T.T.).
 P. van Prooyen, Cornelis v. d. Lijnstraat 58, Den Haag. (P.T.T.).
 Ir. G. L. Reijns, Lunterenstraat 192, Den Haag.
 Ir. J. Schelling, Kroonlaan 56, Hilversum.
 W. P. Stiekema, Randweg 75a, Rotterdam. (Technisch Inspecteur Radio Holland N.V.).
 Ir. W. G. van der Touw, a/c RCA Victor S/A, C.P. 8460, Sao Paulo, S.P., Brazilië.
 Ir. J. A. H. van Voorthuizen, Gen. van Daalenstraat 5, Rijswijk (Z.H.).
 Ir. J. D. Zijp, Deijlerweg 30, Wassenaar.

NIEUWE ADRESSEN VAN LEDEN

Ir. D. C. Broks, Oranje Nassaustraat 19, Noordwijk aan Zee.
 Ir. A. Bijl, Gerard Doulaan 10, Amstelveen.
 Ir. J. A. Bijvoet, Johan Evertsenlaan 15, Oegstgeest.
 Ir. J. C. Diels, Office Scientific Attaché Netherlands Embassy, 1470 Euclid street, Washington 9, D.C. U.S.A.
 Dipl. ing. W. van Essen, Ottoburgstraat 64, Rijswijk (Z.H.).
 Ir. A. T. de Hoop, Insulindeweg 18, Delft.
 Ir. J. A. Koster, 24 Lingarde Ave, Scarborough (Toronto), Ontario, Canada.
 Dipl. ing. J. H. Lengton, Chopinlaan 6, Rotterdam.
 Ir. H. Miedema, c/o Bell Telephone Labs. Inc. *Murray Hill* New Jersey U.S.A.
 Ir. E. J. Post, 55 Woodland Avenue, Summit, New Jersey, U.S.A.
 Ir. J. J. van Rijsinge, Schapendrift 70, Blaricum.
 H. J. A. Smit, Velperweg 103, Arnhem.
 Ir. H. Vissinga, Joh. van Oldenbarneveltlaan 67, Den Haag.

NEDERLANDS-NIEUW-GUINEA

De P.T.T. in Nederlands-Nieuw-Guinea vraagt

RADIO-MONTEURS

die in het bezit dienen te zijn van het diploma Radio-monteur van het Nederlands Radiogenootschap en niet ouder zijn dan 35 jaar.

Salariëring naar gelang van ervaring volgens schalen welke lopen van f 250.— tot en met f 550.— per maand, vermeerderd met duurtetoeslag en kindertoelage. Tegemoetkoming in de uitrustingskosten.

Uitzending in vaste pensioengerechtigde dienst met aanspraak op periodiek buitenlands verlof.

Uitvoerige schriftelijke sollicitaties, vergezeld van recente pasfoto en opgave referentie-adressen, worden gaarne ingewacht bij het Ministerie van Zaken Overzee, Directie Nederlands-Nieuw-Guinea, Plein no. 1, 's-Gravenhage.



Bij de afdeling der elektrotechniek van de Technische Hogeschool te Eindhoven bestaat de mogelijkheid tot plaatsing van een

1. ELEKTROTECHN. of NATUURK. INGENIEUR of een FYSICUS

die zal worden belast met instructie en onderzoek op het gebied van de theoretische elektriciteitsleer;

2. ELEKTROTECHN. of NATUURK. INGENIEUR of een FYSICUS

die zal worden belast met de inrichting van resp. het geven van leiding bij de practica in de sector elektronica, alsmede met het verrichten van onderzoekingswerk op dit gebied. Aanstelling zal geschieden in het wetensch. ambt. rangenstelsel. Ook zij, die binnenkort voor het ingenieurs-c.q. doctoraalexamen denken te slagen, kunnen zich melden. Schr. soll. aan de directeur van de Centrale Personeelsdienst, Spui 49, 's-Gravenhage, onder vermelding van Ba 7/924/7832 (in linker bovenhoek env. en brief).