
Octrooiraad



⑩ A Terinzagelegging ⑪ 8020092

Nederland

⑲ NL

⑤4 Vezel voor een aantal modes met een z-afhankelijk indexprofiel.

⑤1 Int.Cl³: G02B5/14.

⑦1 Aanvrager: Western Electric Company, Incorporated te New York.

**⑦4 Gem.: Ir. H.M. Urbanus c.s.
Vereenigde Octrooibureaux
Nieuwe Parklaan 107
2587 BP 's-Gravenhage.**

②1 Aanvraag Nr. 8020092.

⑧6 Aanvraagnummer oorspronkelijke internationale aanvraag: PCT/US80/00209.

②2 Ingediend 3 maart 1980.

③2 Voorrang vanaf 16 maart 1979.

③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).

③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 20994 .

⑥2 - -

④3 Ter inzage gelegd 30 januari 1981.

⑧7 Publicatiedatum oorspronkelijke internationale aanvraag: 18 september 1980.

⑧7 Publicatienummer oorspronkelijke internationale aanvraag: WO80/01958.

Deze octrooiaanvraag werd ingediend als internationale octrooiaanvraag onder de bepalingen van het Verdrag tot samenwerking inzake octrooien (PCT). De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van een Nederlandse vertaling van de oorspronkelijk in een andere taal ingediende beschrijving met conclusie(s) en tekening(en). De Nederlandse octrooiaanvraag wordt geacht te zijn ingediend op de indieningsdatum van de internationale octrooiaanvraag.

VO 1124

Titel : Vezel voor een aantal modes met een z-afhankelijk indexprofiel.

De aanvraag heeft betrekking op optische vezels voor een aantal modes met gegradeerde index.

- 5 Het is bekend, dat de pulsresponsie van een vezel voor een aantal modes met gegradeerde index, welke vezel bepaalde afmetingen en een bepaalde samenstelling heeft, een functie is van het indexprofiel. Meer in het bijzonder is het aangetoond, dat voor elke golflengte een optimale machtsfunctieverdeling bestaat, welke wordt bepaald door een optimale
- 10 machtsfunctiecoëfficiënt α , die dicht bij de waarde 2 ligt, waarvoor de effectieve pulsbreedte een minimum is (zie bijvoorbeeld D. Gloge en E. A. J. Marcatili, "Multimode Theory of Graded-Core Fibers", Bell System Technical Journal, Vol. 52, nr. 9, november 1973, pag. 1563 - 1578; en het Amerikaanse octrooischrift 3.823.997.) Kleine afwijkingen ten op-
- 15 zichte van deze optimale α -waarde veroorzaken, dat de effectieve pulsbreedte op een dramatische wijze toeneemt. Derhalve heeft men het van groot belang geacht de vezels voor een aantal modes met gegradeerde index zodanig te ontwerpen, dat hun brekingsindexprofielen zeer dicht aan de optimale α -waarde zijn aangepast.
- 20 Meer recent evenwel is het uit proven gebleken, dat vezels met niet-optimale α -waarden in cascade kunnen worden verbonden om een smallere pulsresponsie te verkrijgen dan die, welke voor elk van de vezels afzonderlijk wordt verkregen aangezien de vezels de neiging hebben elkaar zodanig te complementeren, dat de tragere modes in één vezel de snellere
- 25 modes in de andere worden en omgekeerd. (Zie M. Eve, "Multipath Time Dispersion Theory of an Optical Network", Optical and Quantum Electronics, Vol 10, no. 1, januari 1978, pag. 41 - 51; M. Eve, A. Hartog, R. Kashyap en D. N. Payne, "Wavelength Dependence of Light Propagation in Long Fibre Links", Fourth European Conference on Optical Communication 1978, Symposium Digest, pag. 58 - 61; en M. Eve, P. C. Hensel, A. M. Hill, J. E. Midwinter, B. P. Nelson en J. R. Stern, "Transmission Performance of Three Graded Index Fibre Cables Installed in Operational Ducts", Third European Conference on Optical Communication 1977, Symposium Digest, pag. 53 - 55).
- 35 Tegenwoordig worden vooraf gevormde vezels voor de optimale α -

waarde ontworpen. Het regelen van het fabricageproces om dit te bereiken is evenwel lastig en derhalve duur proces. Zelfs met zorg zijn de indexprofielen in de resulterende voorvormen en de vezels, die daaruit worden verkregen, zelden, indien nooit, optimaal. Een poging om dit te compenseren door verschillende vezels in cascade te verbinden, vormt op zijn best een toevallige oplossing voor het probleem.

Een tweede probleem, dat de pulsresponsie van optische vezels op een schadelijke wijze beïnvloedt, ligt in de wijze waarop de vezelvoorvormen worden vervaardigd. Meer in het bijzonder worden de voorvormen vervaardigd door het achtereenvolgens aanbrengen van lagen van materialen met iets verschillende brekingsindices. Derhalve vormt het werkelijke indexprofiel niet een eenvoudige machtsfunctie, doch in plaats daarvan een machtsfunctie, waarop een kleine storing is gesuperponeerd. Het is evenwel ook bekend, dat onregelmatige afwijkingen van het brekingsindexprofiel ten opzichte van de ideale verdeling ook leiden tot een verbreding van de pulsresponsie. (Zie bijvoorbeeld R. Olshansky, "Pulse Broadening Caused by Deviations From The Optical Index Profile", Applied Optics, Vol 15, no. 3, maart 1976, pag. 782 - 788; en D. Marcuse, "Calculations of Bandwidth From Index Profiles Of Optical Fibres, Part I : Theory", dat in Applied Optics zal worden gepubliceerd). Derhalve zijn er twee factoren, die de signaalbandbreedte van een optische vezel beïnvloeden. De eerste is het onvermogen om het optimale indexprofiel voor een bepaalde bedrijfsfrequentie te realiseren. Het tweede, dat inherent is aan het voorvormvervaardigingsproces, heeft betrekking op de storingen van het indexprofiel. Derhalve beoogt de uitvinding in de meest ruime zin deze schadelijke invloeden op de vezelwerking tot een minimum terug te brengen.

Volgens een aspect van de uitvinding verkrijgt men een verbeterde pulsresponsie bij vezels met niet-optimale α waarden door α over de lengte van de vezels zodanig te variëren, dat α gemiddeld met gelijke bedragen ter weerszijden van de optimale waarde daarvan afwijkt. Bij een variatie op deze wijze kan elke vezel over eindige lengten tijdens het vervaardigingsproces worden geoptimaliseerd door het vezelprofiel te controleren en compenserende verandering in α aan te brengen wanneer het blijkt, dat een afwijking ten opzichte van de optimale waarde optreedt. De resulterende verlichting van de vervaardigingstoleranties en het geringere aantal slechte vezels leidt dan tot significante kostenbesparingen.

8020092

Volgens een tweede aspect van de uitvinding wordt een verbeterde pulsresponsie verkregen door over de lengte van de vezel een oneven aantal omkeringen in de faze van eventuele op het machtsfunctie-indexprofiel gesuperponeerde storingen te introduceren. Deze faze-omkeringen dienen op een soortgelijke wijze om de invloed van de storingen uit te middelen.

Bij beide aspecten van de uitvinding worden veranderingen in α en in faze langzaam uitgevoerd, vergeleken met bijvoorbeeld de ruimtelijke verdeling van veranderingen, welke zouden plaats vinden voor het induceren van moduskoppeling.

10

Fig. 1 toont een gedeelte van een optische vezel, waarop de uitvinding betrekking heeft;

fig. 2 het indexprofiel van de vezel volgens fig. 1;

fig. 3 en 4 effectieve pulsbreedtekrommen als functie van α_0 ;

15

fig. 5 een indexprofiel met discrete, incrementale stappen; en

fig. 6 grafisch de invloed van fluctuaties van het indexprofiel op de bandbreedte en verbeteringen, die volgens de uitvinding kunnen worden gerealiseerd.

20

Onder verwijzing naar de tekening toont fig. 1 een gedeelte van een optische vezel 10, waarop de uitvinding betrekking heeft, welke vezel is voorzien van een kerngebied 11 met een straal a , omgeven door een bekleding 12 met een buitenstraal b . Bij een voorkeursuitvoeringsvorm is het indexprofiel van de vezel zodanig, dat de groepsnelheden van de modes met de hoogste en laagste orde gelijk zijn. Dit wordt verkregen wanneer het brekingsindexprofiel $n(r)$ wordt gegeven door

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \left[1 - 2 \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \text{ opt } \Delta \right]^{1/2} & \text{voor } r < a \\ n_2 = n_1 \left[1 - 2 \Delta \right]^{1/2} & \text{voor } a < r < b \end{cases} \quad (1)$$

30

waarbij

α_{opt} de α -waarde voor optimale pulsresponsie is;

n_1 de brekingsindex in het midden van de kern 11 is;

n_2 de brekingsindex in de bekleding 12 is;

en $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \quad (2)$

Fig. 2 toont het indexprofiel, als gegeven door vergelijking (1), als een functie van de vezelstraal, afnemende van een maximale waarde

van n_1 in het midden van de kern tot een lagere waarde n_2 bij het scheidingsvlak tussen de kern en de bekleding bij de straal a. Tussen a en b blijft de index constant op n_2 . Voorbij b kan de index of groter zijn dan of kleiner zijn dan n_2 afhankelijk van het omgevende materiaal. Zoals
 5 aangegeven, is de index kleiner.

De pulsresponsie van vezels met een aantal modes is onderzocht door de bovengenoemde Gloge en Marcatili, en is de vakman bekend. Voor een vezel met bepaalde afmetingen en een bepaalde samenstelling, welke vezel een profiel bezit, gegeven door vergelijking (1) varieert de effectieve pulsbreedte aan het uitgangseind van de vezel op een dramatische
 10 wijze als een functie van α , als aangegeven door de kromme 30, die in fig. 3 door een getrokken lijn is weergegeven. Deze kromme illustreert het geval, waarin α over de lengte van de vezel constant is. Ter illustratie zijn berekeningen uitgevoerd bij een vezel met een kernstraal
 15 $a = 30 \text{ } \mu\text{m}$, $n_2 = 1,457$ en $n_1 - n_2 = 0,02$, overeenkomende met een $\Delta = 0,0138$. Zoals uit het boven geciteerde artikel van R. Olshansky in Applied Optics blijkt, bezit de kromme een zeer smal minimum bij

$$\alpha_{\text{opt}} = 2 - (12/5) \Delta \quad (3)$$

hetgeen, voor de gegeven waarde van Δ , optreedt bij 1,967. Voor α -waarden, welke verschillen van α_{opt} , neemt de pulsbreedte op een dramatische
 20 wijze toe. Zo neemt bijvoorbeeld bij een afwijking van α van 17% ten opzichte van de optimale waarde daarvan de effectieve pulsbreedte met één orde van grootte toe. Een tweevoudige toename treedt op voor een afwijking met de geringe waarde van 1,3%.

25 De uitvinding is gebaseerd op het inzicht, dat de optimale breedte van de pulsresponsie met niet-optimale α waarden kan worden verkregen, mits α langs de vezel varieert en gemiddeld met gelijke bedragen ter weerszijden van de optimale waarde afwijkt. Derhalve wordt, wanneer α als een functie van de afstand z langs de vezel wordt uitgedrukt door

$$\alpha(z) = f(z) \quad (4)$$

de minimale pulsbreedte desalniettemin verkregen indien en wanneer de gemiddelde α -waarde over de lengte van de vezel gelijk is aan α_{opt} . Dit is aangegeven door de verschillende, gestippelde krommen 31, 32 en 33 in fig. 3.

35 De krommen 31 en 32 gelden voor de gevallen, waarin sinusvormig om een constante waarde α_0 varieert. D.w.z., dat

8020092

$$\alpha(z) = \alpha_0 + A \sin(2\pi \frac{z}{L}). \quad (5)$$

waarbij A een amplitudevariatiecoëfficiënt is;

L de lengte van de vezel is; en

N het aantal perioden in de lengte L van de vezel is.

- 5 De kromme 30 geldt, zoals boven is vermeld, voor het geval, dat $A = 0$. De kromme 31 is berekend voor het geval, dat $A = 0,4$ en $N = 1/2$. Er wordt op gewezen, dat de kromme 31 in hoofdzaak dezelfde vorm en hetzelfde minimum heeft als de kromme 30, en dat het minimum optreedt bij een waarde van $\alpha_0 = 1,72$. Voor deze waarde van α_0 is de gemiddelde
10 waarde van $\alpha(z)$ over de lengte van de vezel in hoofdzaak gelijk aan de optimale α -waarde als berekend voor het geval van de constante α_0 .

De kromme 32 vertoont voor het geval van $A = 0,4$ en $N = 1/2$ op een soortgelijke wijze dezelfde totale vorm en bezit een minimum bij $\alpha_0 = 2,23$, een en ander zodanig, dat de gemiddelde α -waarde over de lengte van de
15 vezel ook bij benadering gelijk is aan α_{opt} .

De kromme 33 geldt voor het geval van $A = 0,4$ en $N = 1, 2$ en 3 . De verschuiving van de kromme 33 ten opzichte van de kromme 30 is een gevolg van de asymmetrie van de effectieve pulsbreedtekromme 30 ten opzichte van de optimale α -waarde. Desalniettemin is het opmerkelijk, dat
20 door dergelijke grote afwijkingen van α over de lengte van de vezel de effectieve pulsbreedte met slechts een factor 2 wordt vergroot ten opzichte van die, welke wordt verkregen bij een constante $\alpha_0 = \alpha_{opt}$. Nog meer opmerkelijk zijn de gevallen, weergegeven door de krommen 31 en 32. Zelfs ofschoon de pulsbreedte bij $\alpha_0 = 1,967$ voor deze beide krommen bijna
25 veertigmaal zo groot is als die, gegeven door de getrokken kromme, leidt een herinstelling van α_0 zodanig, dat het gemiddelde van $\alpha(z)$ gelijk is aan α_{opt} tot een effectieve pulsbreedte, die in hoofdzaak dezelfde is als de minimale bij optimale α_0 . Dit illustreert, dat een bijna volledige compensatie van de dispersie bij een aantal modes mogelijk is, zelfs
30 ofschoon de $\alpha(z)$ -functie niet symmetrisch om de gemiddelde waarde daarvan is, en de α -waarde langs de vezel in werkelijkheid in slechts één of meer punten optimaal is.

Tenslotte toont de kromme 41 van fig. 4 de pulsbreedtekromme voor een lineaire $\alpha(z)$ -kromme, gegeven door

$$35 \quad \alpha(z) = \alpha_0 + 0,4 \left(1 - \frac{2z}{L}\right), \quad (6)$$

en de overeenkomstige kromme 40 voor een constante α_0 . Afgezien van een

8020092

kleine verschuiving, die een gevolg is van de bovengenoemde asymmetrie worden de krommen met een zeer doeltreffende compensatie in hoofdzaak aan elkaar gelijk.

De tweede bron van pulsverbreding, welke boven is vermeld, is een
 5 gevolg van storingen van het indexprofiel. Vezelvoorvormen worden meer in het bijzonder vervaardigd door het aanbrengen van meervoudige lagen van materialen met iets verschillende brekingsindices. Dientengevolge heeft het indexprofiel de neiging een aantal discrete stappen te omvatten, als aangegeven in fig. 5. Ofschoon de neiging bestaat, dat deze stappen
 10 tijdens het trekken van de vezel worden vervlakt, worden zij niet volledig geëlimineerd. Ter discussie en ter toelichting wordt aangenomen, dat het werkelijke profiel een iets sinusvormige fluctuatie omvat, die op het ideale machtsfunctieprofiel is gesuperponeerd, gegeven door

$$15 \quad n(r) = \begin{cases} n_1 \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \Delta \right] + A' \sin \left(2\pi N' \frac{r}{a} \right) & \text{voor } r < a \\ n_2 = n_1 (1 - \Delta) & \text{voor } a < r < b \end{cases} \quad (7)$$

waarbij A' de grootte van de fluctuaties is;

N' het aantal perioden van de storing over de vezelstraal in het gebied $0 < r < a$ is;

20 en de resterende parameters dezelfde zijn als in vergelijking (1)

De thans te beschouwen fig. 6 toont de resultaten van bandbreedte-berekeningen, welke zijn uitgevoerd als een functie van de golflengte voor een met germanium gedoteerde vezel, die een ideaal machtsfunctieprofiel bezit, waarbij $N_1 - N_2 = 0,02$ en $\alpha = 1,9071$. In dit geval, aangegeven door de kromme 60, zijn er geen storingen, d.w.z., dat $A' = 0$. Een tweede kromme 61 geldt voor dezelfde vezel, waarvan het indexprofiel is vervormd door een sinusvormige storing met tien perioden ($N' = 10$) met een amplitude $A' = 5 \cdot 10^{-5}$. Uit deze krommen blijkt duidelijk, hoe drama-
 30 tisch een dergelijke kleine, constante, sinusvormige vervorming van het profiel de bandbreedte reduceert, d.w.z. de pulsresponsie vergroot.

Om deze vervorming te reduceren wordt volgens de uitvinding een faze-omkering in de storing geïntroduceerd. Voor de berekening wordt een enkele faze-omkering van 180° in het midden van de lengte-afmeting van
 35 de vezel geïntroduceerd. D.w.z., dat langs de tweede helft van de vezel A' gelijk is aan $-5 \cdot 10^{-5}$. In alle andere opzichten zijn de twee vezel-

8020092

lengten dezelfde. De resulterende bandbreedtekromme 62 voor dit gecompenseerde geval vertoont een uitgesproken verbetering. Ofschoon een vergelijking tussen de krommen 60 en 62 aantoont, dat ofschoon de compensatie niet volledig is, is de verbetering ten opzichte van de niet-gecompenseerde vezel, als gegeven door de kromme 61, aanmerkelijk.

De mate van een eventuele compensatie is afhankelijk van de grootte van de storing. Des te groter deze, A' , is, des te groter is de bandbreedtereductie. In elk geval treedt evenwel een belangrijke verbetering ten opzichte van het niet-gecompenseerde geval op.

10 Zoals boven is vermeld, is een belangrijk voordeel van de uitvinding, dat het volgens de uitvinding mogelijk is deviaties in de vezel-indexprofielen te compenseren, die, indien deze niet werden gecompenseerd, het nuttig gebruik van de vezel als het transmissiemedium in een optisch communicatiestelsel op een schadelijke wijze zouden beïnvloeden. Dit kan
15 bijvoorbeeld geschieden terwijl de vezel wordt gevormd. Men kan een controle van het vezelprofiel, wanneer de vezel wordt getrokken, bijvoorbeeld verkrijgen door de vezel over een gedeelte van de lengte-afmeting daarvan te verlichten en de dichtheidsverdeling van het door de vezel gefocusseerde licht te meten. Uit deze metingen kan de indexverdeling
20 worden berekend, met het gewenste indexprofiel worden vergeleken en kunnen geschikte compensaties worden uitgevoerd wanneer de vezel wordt getrokken. Indien de gemeten α bijvoorbeeld groter is dan α_{opt} , kan de verdeling van index-wijzigende dooiermiddelen in de vezel worden veranderd om α zodanig te reduceren, dat de α -waarde gemiddeld wordt ge-
25 optimaliseerd. Op een soortgelijke wijze kunnen faze-omkeringen van 180° in een eventuele op het indexprofiel gesuperponeerde storing tijdens het fabricageproces worden geïntroduceerd.

Het is aangetoond, dat een vergrote modusdispersie in vezels voor een aantal modes met gegradeerde index, welke dispersie een gevolg is
30 van defecten in het indexprofiel, op een belangrijke wijze kunnen worden gereduceerd indien wordt veroorzaakt, dat het gemiddelde defect over de lengte van de vezel verdwijnt. Voor vezels met niet-optimale α -waarden kan een minimale pulsresponsie worden benaderd wanneer α langs de vezel zodanig varieert, dat de gemiddelde waarde van α gelijk is aan α_{opt} .
35 Het effect van fluctuaties, die op het indexprofiel zijn gesuperponeerd, kan tot een minimum worden teruggebracht door een oneven aantal faze-omkeringen in de fluctuaties, die op gelijke afstanden van elkaar langs de

8020092

vezel zijn gelegen, te introduceren. In alle gevallen treden veranderingen op met een zo geringe snelheid, dat moduskoppeling tot een minimum wordt teruggebracht. Aangezien deze laatste wordt vergroot voor ruimtelijke variaties, die kleiner zijn dan ongeveer 1 cm, worden veranderingen in
5 het indexprofiel volgens de uitvinding bij voorkeur uitgevoerd over intervallen, welke groter zijn dan 1 cm.

In het ideale geval zou door de invloed van het middelen de gemiddelde deviatie ten opzichte van de ideale waarde over de lengte van de vezel tot precies nul worden gereduceerd. Dit kan evenwel onpraktisch
10 zijn en is in het algemeen onnodig. Indien bijvoorbeeld de vezel over intervallen van 10 meter wordt gemiddeld, is de grootste lengte van de totaal niet-gecompenseerde vezel slechts 5 meter. Derhalve is de maximale lengte van de niet-gecompenseerde vezel meer in het bijzonder klein, vergeleken met de totale vezellengte.

15

8020092

CONCLUSIES :

1. Optische vezel (10) voor een aantal modus, voorzien van een binnenste kerngebied (11), dat omgeven wordt door een bekleding (12), waarbij het kerngebied een brekingsindexprofiel volgens een in hoofdzaak machtsfunctie met een exponent α bezit, welk indexprofiel van
5 een maximale waarde bij het meten van de kern tot een minimale waarde bij het scheidingsvlak tussen de kern en de bekleding afneemt, waarbij de machtsfunctie een optimale exponent, α_{opt} , voor minimale pulsresponsie bezit, met het kenmerk, dat het gemiddelde van eventuele variaties van de exponent α om de optimale α -waarde over eindige intervallen van
10 de vezel tot een minimum wordt teruggebracht.
 2. Optische vezel volgens conclusie 1 waarin de α -waarde over de lengte van de vezel zodanig varieert, dat α gemiddeld gelijkelijk ter weerszijden van α_{opt} over elk van de eindige intervallen devieert.
 3. Optische vezel volgens conclusie 1, waarbij het indexprofiel
15 storingen bevat, die op het machtsfunctie-indexprofiel zijn gesuperponeerd en waarin de faze van deze storingen tenminste één omkering over 180° bij het midden langs elk van de eindige intervallen ondergaat.
 4. Optische vezel volgens conclusie 2 of 3, waarbij de deviaties in α en/of α -omkeringen in de storingen zo langzaam langs de vezel op-
20 treden, dat moduskoppeleffecten tot een minimum worden teruggebracht.
 5. Optische vezel volgens conclusie 4 met het kenmerk, dat de ruimtelijke golflengten van de deviaties en/of faze-omkeringen groter zijn dan 1 cm.
-

FIG. 1

8020092

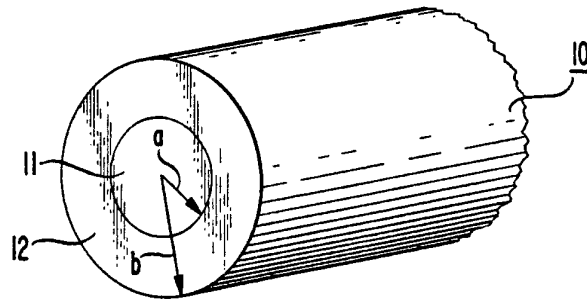


FIG. 2

BREKINGSINDEXPROFIEL

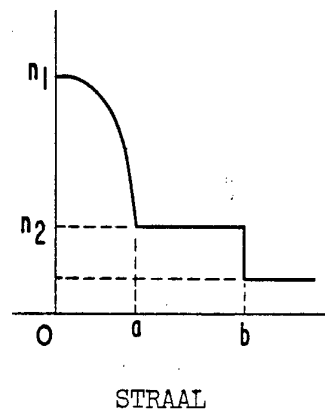
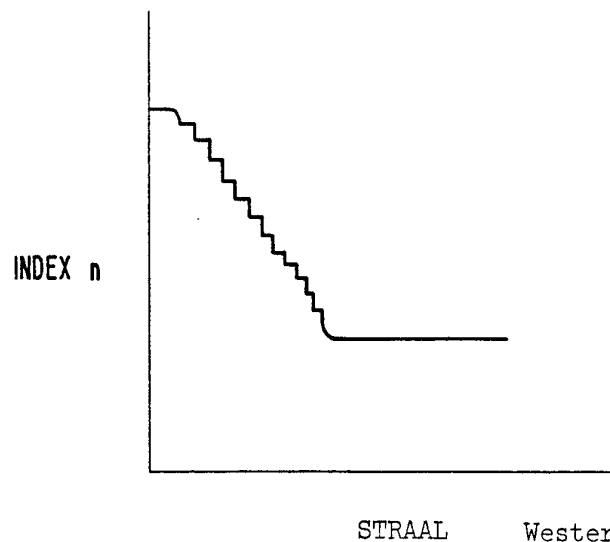


FIG. 5



STRAAL

Western Electric Company,
Incorporated.

8020092

8020092

FIG. 6

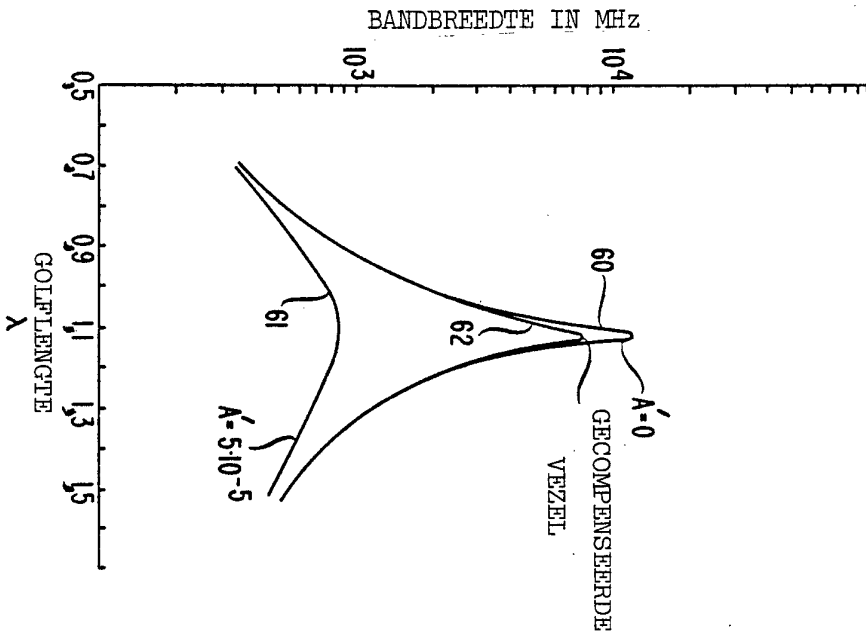


FIG. 3

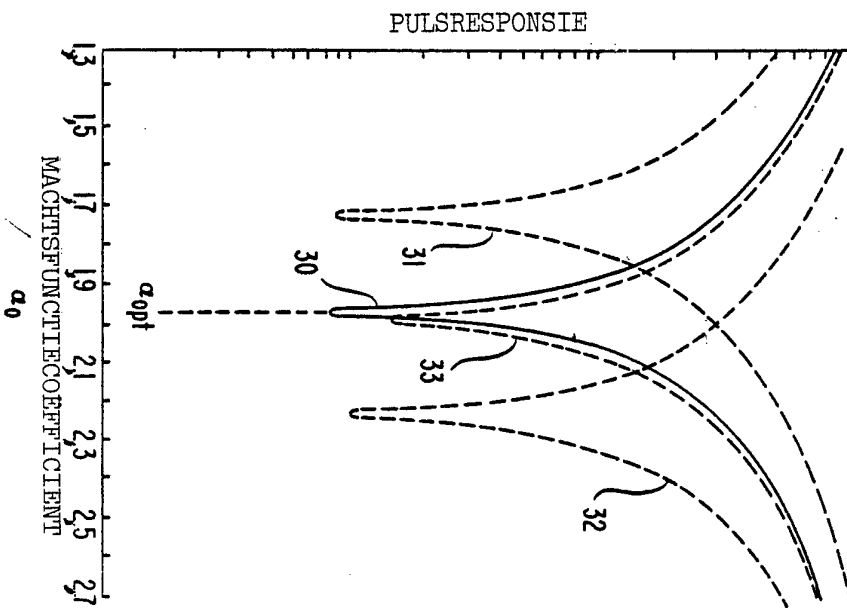
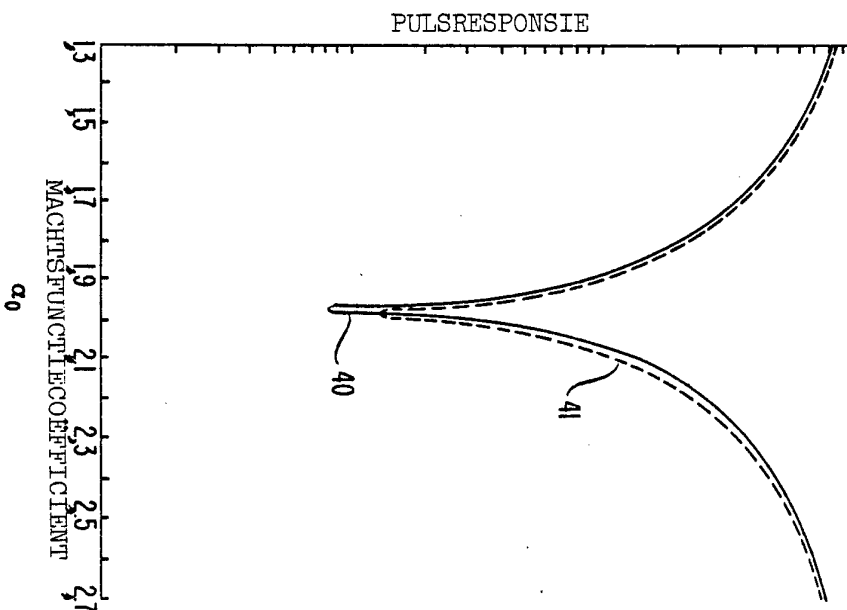


FIG. 4



8020092