

MASTER

Karakterisering van de overspraak bij kruisende golfgeleiders in een Inp-InGaAsP golfgeleiderstructuur

Ramfulsing, Jagdies C.

Award date:
1995

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

FACULTEIT DER ELEKTROTECHNIEK
TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN
VAKGROEP TELECOMMUNICATIE EC

Titel: **Karakterisering van de overspraak
bij kruisende golfgeleiders in een
InP-InGaAsP golfgeleiderstructuur.**

Auteur: ***J. C. Ramfulsing***

Datum: Eindhoven, 26 april 1995

Verslag van het afstudeerwerk
uitgevoerd van september 1994 tot april 1995
Afstudeerhoogleraar: Prof. ir. G. D. Khoe
Begeleiders: dr. ir. M. K. Smit
ir. C. van Dam

De faculteit der elektrotechniek van de Technische Universiteit Eindhoven aanvaardt geen
verantwoordelijkheid voor de inhoud van stage- en afstudeerverslagen.

Voorwoord.

In de laatste fase van de studie elektrotechniek aan de Technische Universiteit Eindhoven (TUE) moeten we een afstudeerwerk verrichten over een vakgebied van de elektrotechniek.

Mijn afstudeerwerk werd verricht aan de Technische Universiteit Delft (TUD) in de vakgroep Telecommunicatie - en Tele- observatietechnology (T.T.T), op het gebied van de geïntegreerde optica. Onder dagelijkse begeleiding van ir. C. van Dam en dr. ir. M. K. Smit.

Dankzij onderhandeling van Prof . ir . G . D . Khoe, hoogleraar aan de TUE, werd dit mogelijk gemaakt.

25 April 1995

Delft, Nederland

Jagdies C. Ramfulsing

INHOUDSOPGAVE.

Voorwoord

Samenvatting

Hoofdstuk 1. Voorbeschouwing 1

1.1 Overspraak 2

1.2 Structuur definitie 3

Hoofdstuk 2. Analytische beschouwing van de overspraak 4

2.1 Multimode Scattering Interactie 5

2.2 Analyse van een hoekafhankelijke kruising 10

2.2.1 De velden theorie 10

2.2.2 De stralingstheorie 12

Hoofdstuk 3. Numerieke beschouwing van de overspraak 14

3.1 Omschrijving van de bundel propagatie methode 14

3.2 BPM van ETH Zürich 15

3.3 BPM van TU Twente 18

3.4 De totale analyse van de overspraak 19

Hoofdstuk 4. Ontwerp van de masker 20

4.1 Ontwerp bochtstraal en offset 20

4.2 Bespreking van de golfgeleiders die zijn ontworpen voor de masker 23

Hoofdstuk 5. De conclusies 25

Referentielijst 26

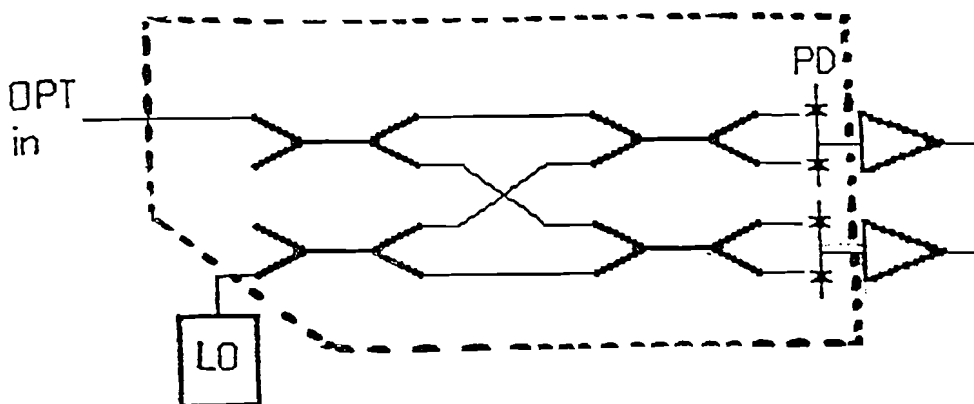
Bijlagen:

- A. Uitdraai input file BPM Zürich.
- B. Resultaten BPM Zürich analyse.
- C. Resultaten BPM Twente analyse.
- D. Layout masker.

Hoofdstuk 1.

Voorbeschouwing.

In het afgelopen decennium heeft de glasvezel de koperkabel verdrongen voor de lange-afstandscommunicatie. Rond de eeuwwisseling zal dat ook in het lokale net gaan gebeuren. Van glasvezel weten we dat het een vrijwel onbegrensde bandbreedte bezit. Om deze bandbreedte optimaal te benutten zijn verschillende transmissietechnieken beschikbaar. Een daarvan is het coherent detectieprincipe. Dit principe maakt gebruik van een lokale oscillator (LO). Hetingangssignaal (zie figuur 1.1) en het signaal van de LO worden gemengd en vervolgens door een fotodetector gedetecteerd. In dit schema zien we een kruising tussen twee golfgeleiders. Op dit moment wordt voor de hoek tussen de kruisende geleiders 90° gekozen omdat bekend is dat de koppeling tussen de geleiders dan minimaal is.



Figuur 1.1 Schema van een coherente ontvanger.

Uit bovenstaand schema blijkt dat een grote hoek tussen de kruisende geleiders resulteert in een groot oppervlakte verlies van de chip. Een kleinere hoek zou minder oppervlakte op het chip innemen wat uiteindelijk resulteert in een lagere kostprijs. Een nadeel hierbij is dat de overspraak toeneemt.

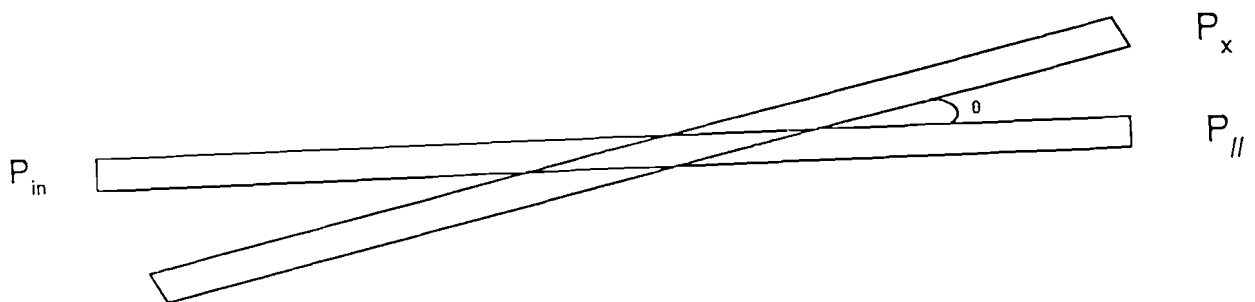
In dit verslag wordt beschreven hoe we de hoekafhankelijkheid van de overspraak hebben geanalyseerd.

In hoofdstuk 2 zullen de we een analytische beschouwing geven van de overspraak, bij deze analyse stond het multimode scattering interactie (MSI) idee centraal. In hoofdstuk 3 wordt een numerieke beschouwing van de overspraak gegeven, hierbij staat de Bundel Propagatie Methode (BPM) centraal. In hoofdstuk 4 gaan we in op de ontwerp procedure van de masker met daarop geleiders die elkaar kruisen onder een specifieke hoek. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en suggesties.

1.1 Overspraak.

De overspraak wordt gedefinieerd als :

Het vermogen dat koppelt in de ongewenste golfgeleider van twee kruisende golfgeleiders. In figuur 1.2 zie we een voorbeeld van twee golfgeleiders die onder een hoek kruisen.



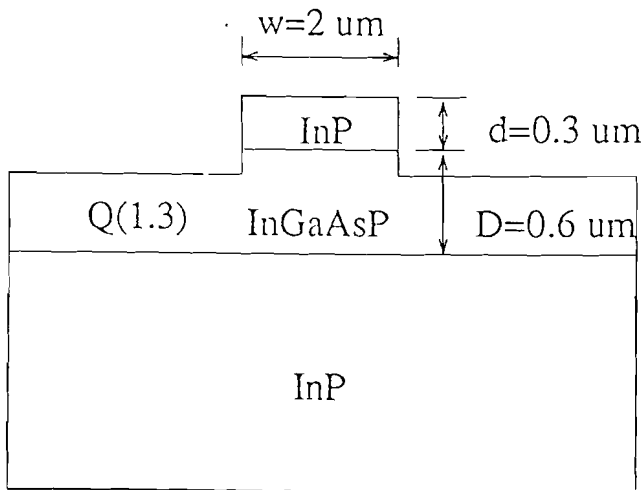
Figuur 1.2 Structuur van twee kruisende golfgeleiders.

P_{in} stelt het vermogenvoor dat gekoppeld wordt, $P_{//}$ is het gewenste vermogen en P_{\times} is het ongewenste vermogen in de geleider of te wel de overspraak. Meestal nemen we de relatieve vermogen waarvoor het volgende geldt:

$$P = 10\text{LOG}[P_{\times}/(P_{//}+P_{\times})] \text{ in dB.}$$

1.2 Structuur definitie.

Er werd gebruik gemaakt van het volgende structuur, zie figuur 1.3. Als substraat werd gebruikt InP met een $n_s=3.1705$, voor InGaAsP geldt $n_f=3.3921$.



Figuur 1.3 De gebruikte geleiderstructuur.

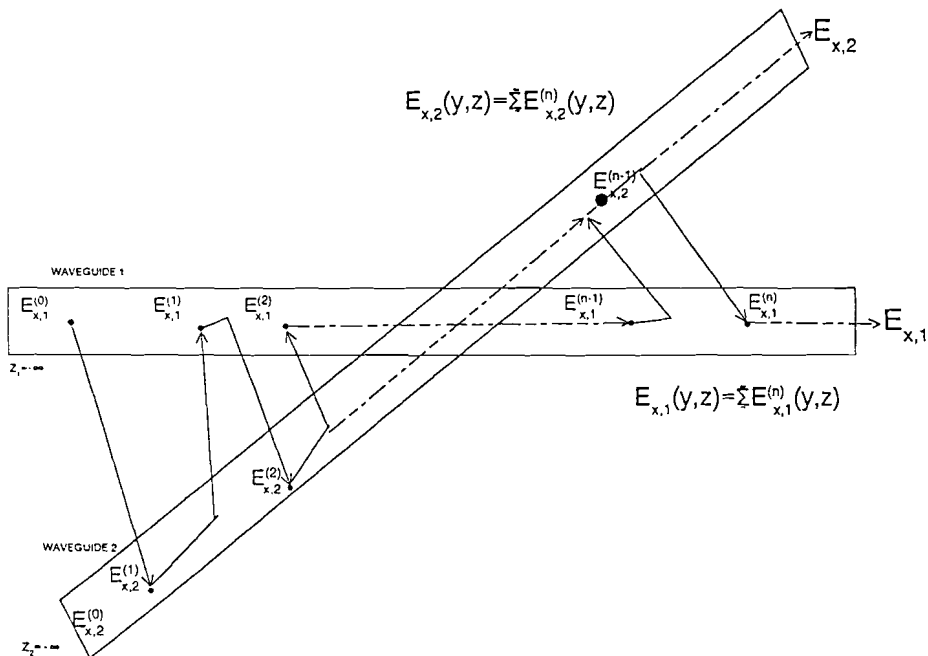
Er werd gebruikgemaakt van een symmetrisch drie lagen structuur , waarbij de eerste laag uit InP is samengesteld met daarop een InGaAsP laag met een dikte van $0.6 \mu\text{m}$. De toplaat werd gevormd door een $0.3 \mu\text{m}$ dikke laag InP. Het structuur werd tot een diepte van $0.35 \mu\text{m}$ geetst. Voor de breedte van de geleider werd $2 \mu\text{m}$ gekozen, zodat hierin alleen de grond mode kan propageren. Om de effectieve index van dit structuur te berekenen werd gebruik gemaakt van de software programma WGANAL. Voor het midden gedeelte werd een effectieve index van $n_{eff2}=3.3074$ en de buiten gebieden $n_{em1}=3.2707$ berekend m.b.v. WGANAL. De totale effectieve brekings index van het structuur werd berekend op een waarde van $N=3.2976$.

Hoofdstuk 2.

Analytische beschouwing van de overspraak.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op een numeriek model waarmee de overspraak berekend kan worden. Ten eerste zullen we ingaan op een meervoudige verstrooiings interactie beter bekend als de multimode scattering interaction (MSI) [1]. Vervolgens zal een analytische beschouwing worden gegeven van de MSI, waarbij we van uit gaat dat een nulde orde mode aan een van de geleiders gekoppeld wordt. Aansluitend de analyse wordt de vergelijking van de overspraak ten opzichten van de hoek gegeven. Daarna wordt ingegaan op de programma dat werd geschreven om de overspraak oftewel de crossover power te berekenen, wat vervolgens resulteerd in een grafiek waarbij de overspraak varieerd t.o.v. de hoek tussen de geleiders. Ten slotte gaat we in op de op fysische verklaring van de verkregen grafiek.

2.1 Multimode Scattering Interactie.



Figuur 2.1 Principe schema van de multimode scattering interactie.

In figuur 2.1 staat een schematische weergave van twee kruisend golfgeleiders. De ingang van geleider 1 bevindt zich op een afstand Z waar voor geldt $Z_1 = -\infty$, de ingang van geleider twee bevindt zich op een afstand $Z_2 = -\infty$. In geleider 1 wordt een nulde orde mode gekoppeld, aan de ingang van geleider twee vindt geen koppeling plaats. Het ingekoppelde signaal in geleider 1 is gelijk aan $E_{x,1}^{(0)}$; dit wordt het nulde orde verstrooiingsveld van geleider 1 genoemd. In geleider twee vindt geen koppeling plaats ($E_{x,2}^{(0)} = 0$). Het signaal $E_{x,1}^{(0)}$ ondervindt invloed van geleider 2 en er vindt koppeling plaats tussen $E_{x,1}^{(0)}$ en geleider twee; er ontstaat dan een nieuwe verstrooiings veld $E_{x,2}^{(1)}$. Dit veld ondervindt invloed van geleider 1 en koppelt het verstrooiingsveld $E_{x,1}^{(1)}$. Deze interactie herhaalt meerdere malen. Aan het uiteinde van de geleider is het totale veld in geleider 1 de sommatie van alle verstrooiings velden in deze geleider. Het zelfde geldt

voor geleider twee. Bovenstaand principe wordt de multimode scattering interactie (MSI) genoemd. De overspraak is de overlap van het ingangsveld in geleider 1 met het uitgangsveld van geleider twee, genormaliseerd op de ingangsveld.

De overspraak is het ongewenste vermogen wat in uitgang 2 terecht komt, en wordt uitgerekend als de overlapintegraal van het veld in uitgang 2 en het veld in ingang 1. Voor de overlapintegraal geldt het volgende [1] :

$$\begin{aligned}
 K(\theta) = & \frac{\omega^2 \mu \Delta}{\beta(a+1/\gamma)(1+\gamma^2/\alpha^2)^{1/2}[\gamma^2+\beta^2 \tan^2(\theta/2)] \sin \theta} \\
 & \times \{ \gamma \cos[\beta \tan(\theta/2)a] - \beta \tan(\theta/2) \sin[\beta \tan(\theta/2)a] \} \\
 & \times \left\{ \frac{\sin\{[\alpha - \beta \tan(\theta/2)]a\}}{[\alpha - \beta \tan(\theta/2)]} + \frac{\sin\{[\alpha + \beta \tan(\theta/2)]a\}}{[\alpha + \beta \tan(\theta/2)]} \right\} \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

hierin zijn:

$$\alpha^2 = \omega^2 \mu \epsilon - \beta^2, \quad (2.2a)$$

$$\gamma^2 = \beta^2 - \omega^2 \mu \epsilon, \quad (2.2b)$$

$$\gamma = \alpha \tan(\alpha a), \text{ (dispersie relatie)} \quad (2.2c)$$

De waarde van α , β en γ wordt gevonden door de dispersie relatie uit te rekenen in termen van de genormeerde golfgeleider parameter (V).

$$V = 4\pi a(n_1^2 - n_0^2)^{1/2} / \lambda \quad (2.3)$$

en de genormeerde propagatie constante (b)

$$b = (N^2 - n_1^2) / (n_1^2 - n_0^2) \quad (2.4)$$

hierin stelt N is de effectieve index van de golfgeleider.

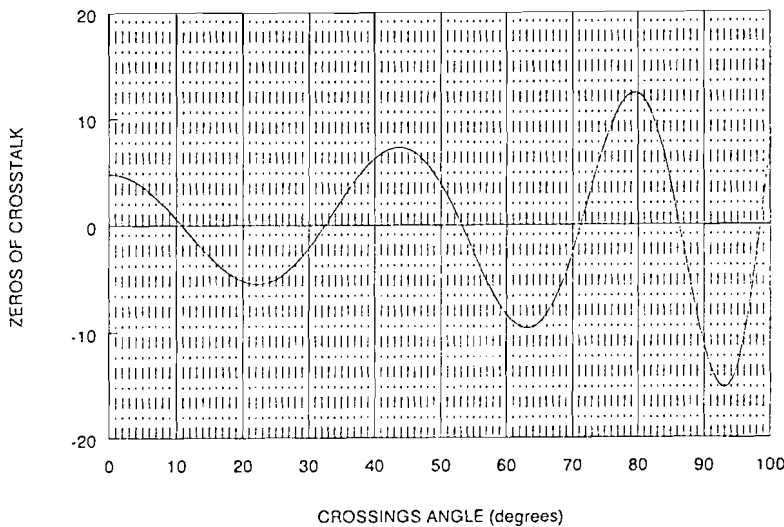
Voor het vermogen in de ongewenste geleider geldt:

$$P_x = 20 \log[\sin(K(\theta))] \text{ in dB} \quad (2.5)$$

voor het vermogen in het gewenste geleider geldt:

$$P_{//} = 20 \log[\cos(K(\theta))] \text{ in dB} \quad (2.6)$$

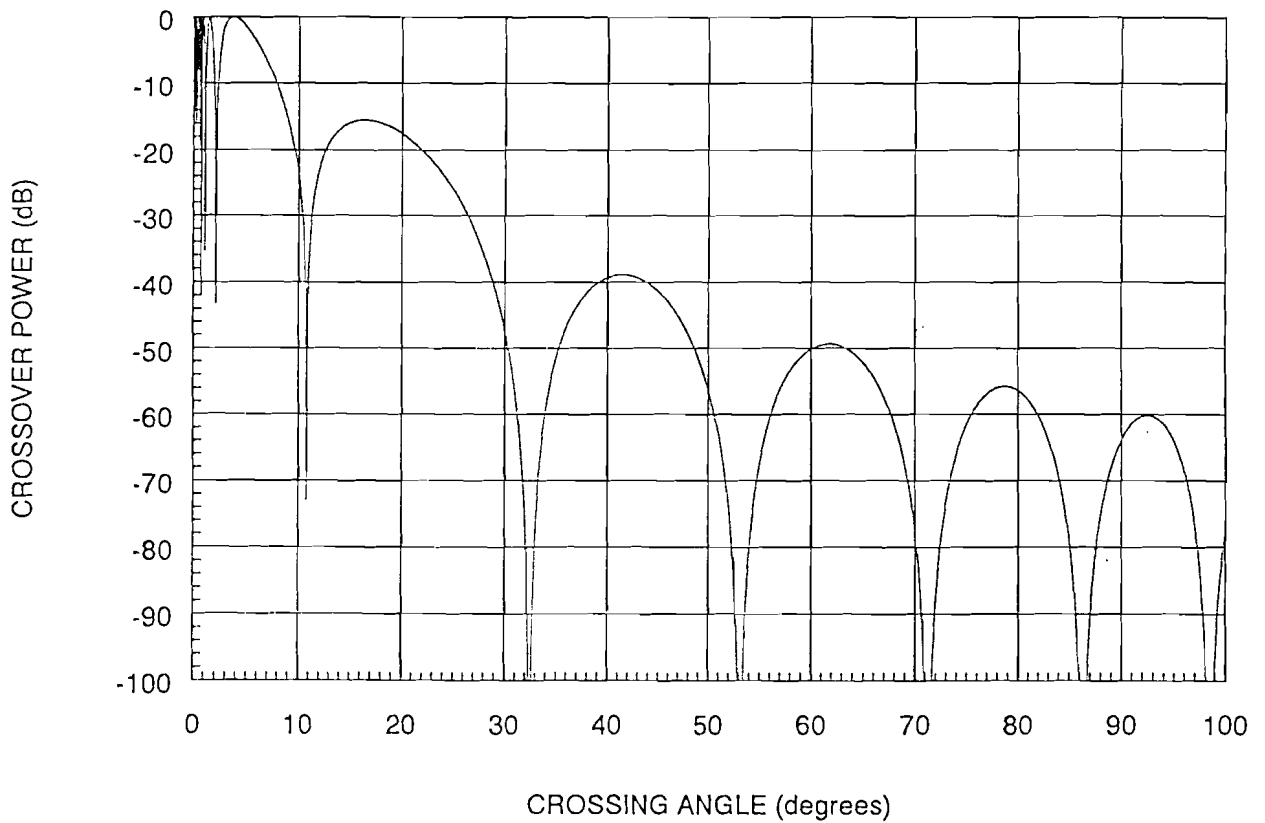
Indien we de teller in vergelijking (2.1) op nul stellen, verkrijgen we snel een kwalitatief inzicht in het gedrag van de overspraak als functie van de hoek. Dit is weergegeven in figuur 2.2 .



Figuur 2.2 Grafiek met de "magic angles".

In de grafiek zien we een aantal nuldoorgangen, de bijbehorende hoek wordt "magic angle" genoemd. Indien kruisende golfgeleiders onderling een hoek maken die gelijk is aan de "magic angle" dan is de fractie van het vermogen dat zich in de ongewenste golfgeleider terecht komt nul.

Door gebruik te maken van de software programma MathCad werd een programma geschreven om de overspraak uit te rekenen op basis van vergelijking (2.1). Het resultaat is weergegeven in figuur 2.3 .



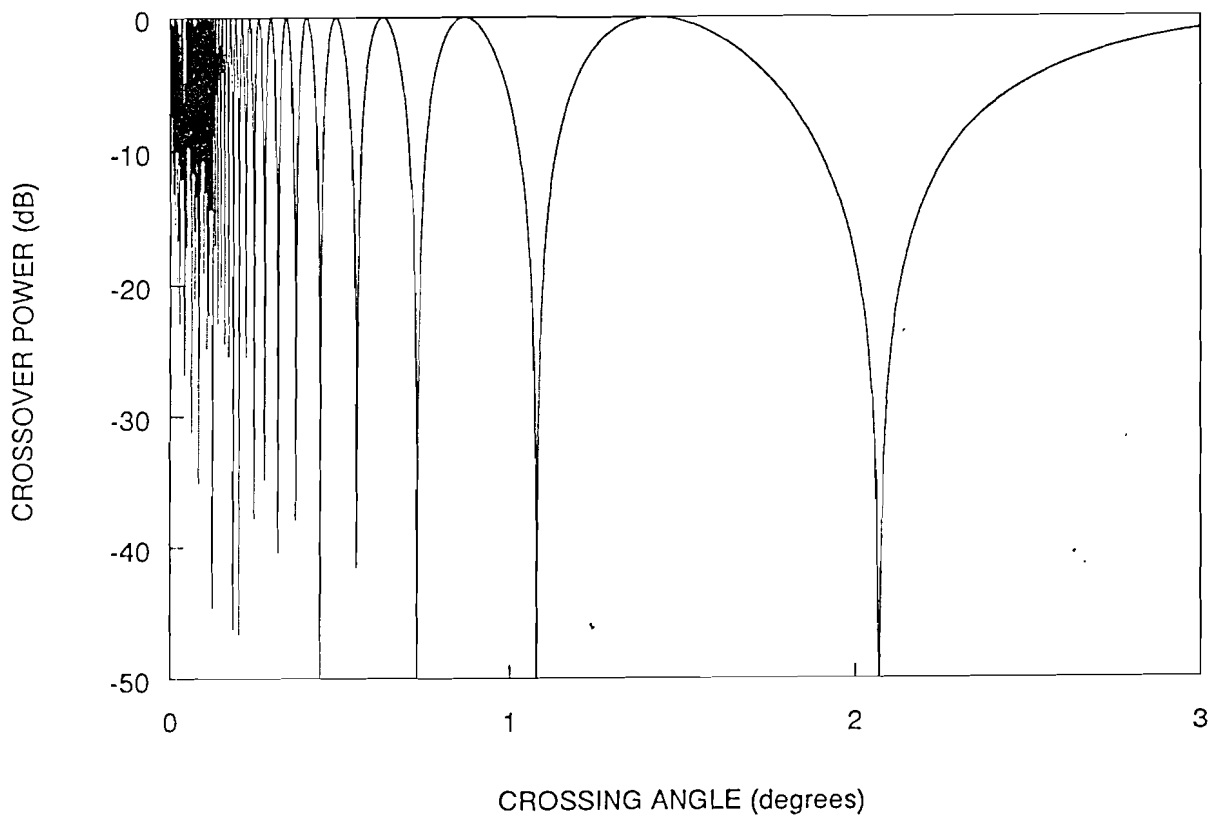
J.C.RAMFULSING

Figuur 2.3 Overspraak als functie van de hoek.

Uit figuur 2.3 blijkt het gedrag van de overspraak als functie van de hoek op te splitsen in twee gebieden:

1. een gebied voor lage hoeken
2. een gebied voor grote hoeken.

Voor kleine hoek ($< 3^\circ$) zien we een sterk oscillerend gedrag van de overspraak. Dit gebied is weergegeven in figuur 2.4 .



J.C.RAMFULSING

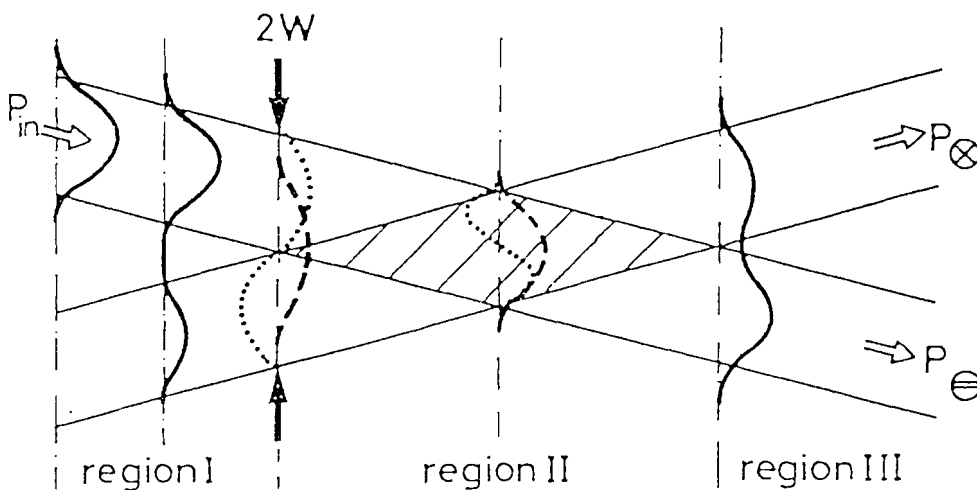
Figuur 2.4 Overspraak voor hoeken kleiner dan 3° .

2.2 Analyse van een hoekafhankelijke kruising.

We kunnen op twee manieren een verklaring geven voor het gedrag van de overspraak. De eerste verklaring berust op de veldentheorie en de tweede op de stralingstheorie.

2.2.1 De veldentheorie.

Voor het gedrag van de overspraak met betrekking tot de velden theorie wordt gebruik gemaakt van figuur 2.5 .

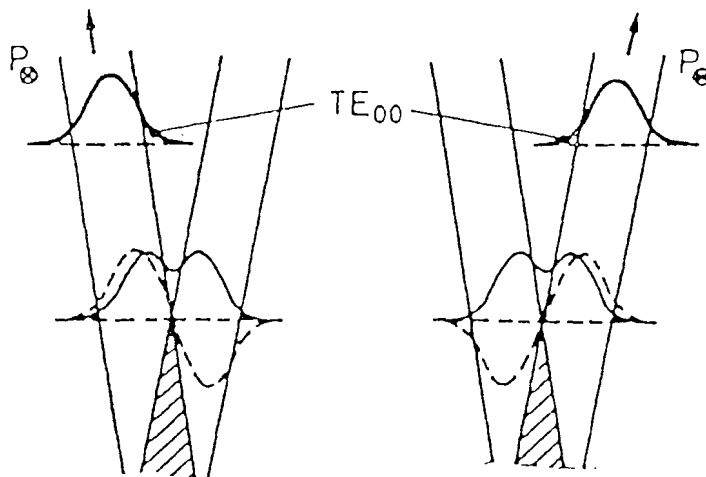


Figuur 2.5 Schema van een kruising met betrekking tot de velden theorie.

De structuur bestaat uit twee singlemode golfgeleiders met een breedte van $2 \mu\text{m}$ die elkaar kruisen. Zowel de ingang als de uitgang van de kruising (gebieden 1 en 3) kan door een Y-junctie worden voorgesteld. Het midden(gebied 2) stuk kan als een taper worden voorgesteld. Wanneer we aan de ingang van de kruising , in één van de geleiders een nulde orde mode koppelen, dan worden de symmetrische en de asymmetrische modi van de twee gekoppelde golfgeleiders aangeslagen. Het totale veld in beide geleiders is opgebouwd uit een superpositie van de TE_{00} en de TE_{01} modi. Aan het begin van het intersectie gebied vinden we de beide modi terug. Het intersectiegebied is het gebied waarin de golfgeleider-breedte lineair afneemt tot $2 \mu\text{m}$ waarna het weer lineair toeneemt

tot een breedte van $4 \mu\text{m}$. De lengte van dit gebied is gelijk aan $l = w/\sin(\alpha/2)$. In dit gebied vind een sterke oscillatie van de twee modi. Dit komt door dat de TE_{00} en de TE_{01} modi verschillende propagatie constanten bezitten. Deze verschillende propagatie constanten zorgen voor een oscillatie van hun relatieve fase langs de voortplantingsrichting. Het faseverschil aan het einde van het intersectie gebied bepaald de amplitudes van de fundamentele modes die in de twee uitgangsgolfgeleiders koppelen.

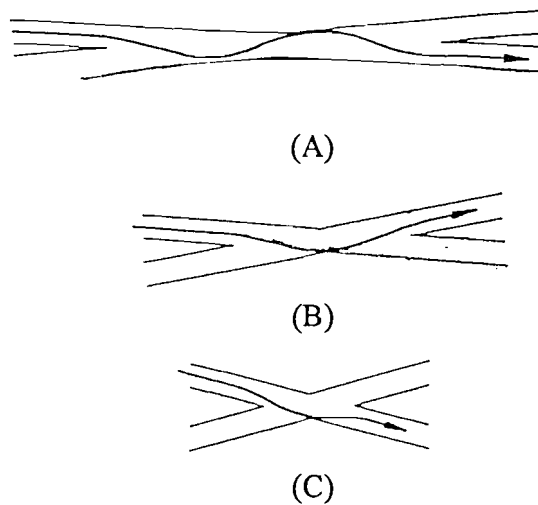
Indien de TE_{01} en TE_{00} mode in fase zijn aan het einde van het intersectiegebied (zie figuur 2.6a) vindt er alleen een vermogensoverdracht plaatst in de P_x golfgeleider, dit resulteert in een hoge waarde van de overspraak. Zijn de modes in tegenfase dan vindt er voornamenlijk vermogensoverdracht plaatst in de $P_{||}$ golfgeleider (zie figuur 2.6b), hetgeen resulteert in lage overspraak. Voor kleine hoeken vindt er een sterke koppeling plaatst tussen de geleiders onderling wat een sterk oscillerend gedrag van de overspraak oplevert.



Figuur 2.6a en b voor de uitgang in- of tegenfase van de TE_{01} mode.

2.2.2 De stralingstheorie.

Het gedrag van de overspraak kan ook verklaard worden met behulp van de stralingstheorie. Hiertoe beschouwen we figuur 2.7. We kunnen de kruising globaal opsplitsen in twee gebieden : de ingangsgolfgeleiderstructuur en het intersectiegebied. Dit intersectiegebied kan worden gezien als een brede golfgeleider waarin reflectie plaatsvindt. Bij kleine hoek (zie figuur 2.7a) is dit gebied langer dan bij grotere hoeken (b en c) en vinden er meer reflecties plaats. Bij bepaalde hoeken zal het licht rechtdoor gaan (a en c) in de gewenste golfgeleider dan wel reflecteren in de ongewenste golfgeleider (b).



Figuur 2.7 Golfgeleider structuren met de stralengang bij verschillende hoeken.

Concluderend kunnen we over het gedrag van de overspraak als functie van de hoek het volgende samenvatten :

Het sterk oscillerende gedrag van de overspraak bij kleine hoeken wordt veroorzaakt door de sterke koppeling tussen de golfgeleiders.

Het gedrag van de overspraak bij grotere hoeken kan als volgt verklaart worden:

In dit gebied is de koppeling tussen de twee golfgeleiders meer dan een richtingskoppelaar met variërende tussen ruimte. De fysica van de koppeling tussen twee kruisende golfgeleiders in dat gebied is gelijk aan de afbuigingsverschijnsel. Daardoor neemt de koppelingscoëfficiënt niet monotoon af maar oscilleert, met verschillende nulpunten.

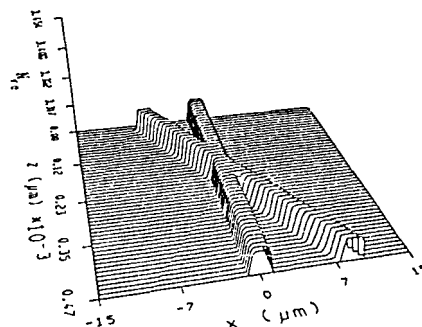
Hoofdstuk 3.

Numerieke beschouwing van de overspraak.

Voor structuren die moeilijk te berekenen zijn met modale analyse wordt bundel propagatie methode [2] (BPM) gebruikt. In dit hoofdstuk zullen we ingaan op de BPM analyse die zijn gemaakt met de BPM van ETH Zürich en de BPM van TU Twente, om het gedrag van de overspraak te analyseren van golfgeleiders die met elkaar kruisen. De conclusie is dat de BPM van ETH Zürich beter overeenkomstige vertoont met de analytische bechouwing.

3.1 Omschrijving van de bundel propagatie methode.

Voor het berekenen van de propagatie voor niet-cylindrische structuren is er een benaderende methode ontwikkeld, de BPM. De methode is gebasseerd op de Fourier-Optica en bestaat uit het herhaaldelijk toepassen van een tweetal stappen. In de eerste stap wordt het veld over een kleine afstand Δz uitgerekend alsof het gebied homogeen is. In de tweede stap wordt de fase van het veld gecorrigeerd met een term die de afwijking van homogeniteit in rekening brengt. Het zo gevonden veld nemen we als uitgangspunt in een volgende berekeningsslag en zo kunnen we het veld in stapjes Δz door de structuur heen volgen.

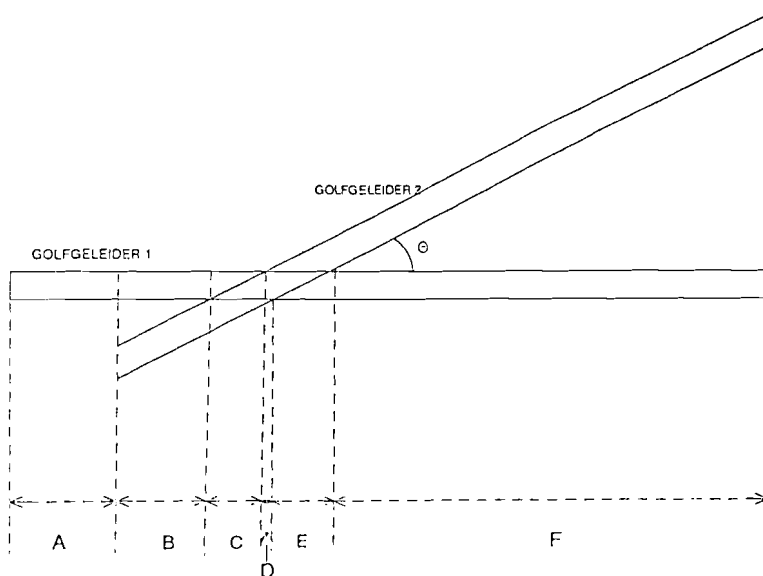


Figuur 3.1 Het brekingsindexprofiel van twee kruisende golfgeleiders.

Voor de nauwkeurigheid van deze methode is het belangrijk dat zowel de bundelvorm als het brekingsindexprofiel $n(x)$ binnen de propagatiestap Δz slechts weinig veranderen. Deze stap kan daarom slechts een fractie van de golflengten groot worden gekozen, hetgeen de methode rekenintensief maakt. De BPM's van Zürich en Twente gebruiken een tweetal algoritmes die de bovenstaande methode realiseert nl. de FFT, de Fast Fourier algoritme en de FD, eindige elementen methode. Uit ervaring weten we dat de FD algoritme betere resultaten geven dan de FFT algoritme.

3.2 BPM van ETH Zürich.

Voor het definiëren van het golfgeleider structuur werd gebruik gemaakt van de in figuur 3.2 getekende structuur.



Figuur 3.2 Structuur van de kruisende golfgeleiders voor BPM Zürich.

De gebieden zijn als volgt gedefinieerd:

$$A = 10 \mu\text{m},$$

$$B = 5 \tan(90-\theta) \mu\text{m},$$

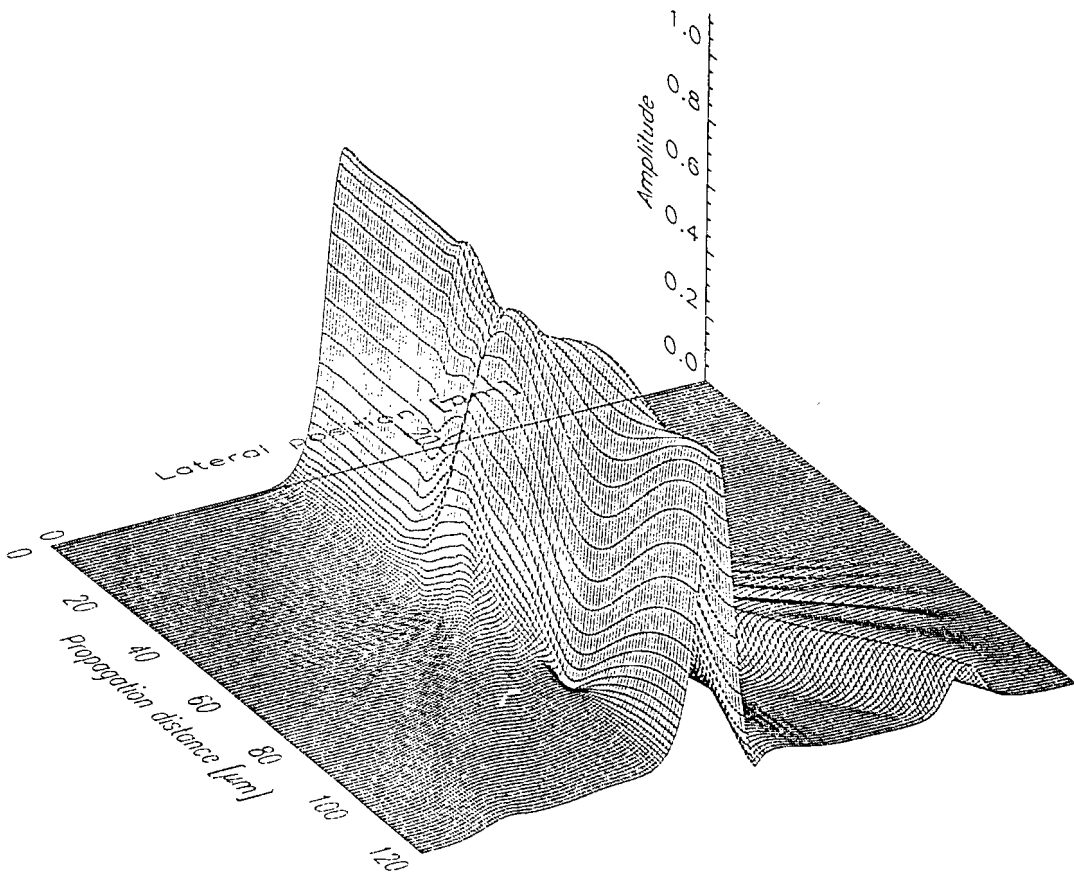
$$C = 2/\tan(\theta) \mu\text{m},$$

$$D = 2[1/\sin\theta - 1/\tan\theta] \mu\text{m}$$

$$E = 2/\tan\theta \mu\text{m},$$

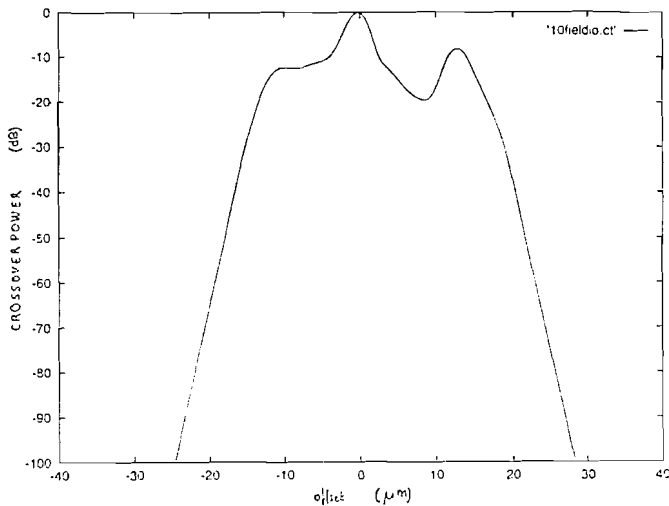
$$F = 60 \mu\text{m}.$$

Aan de ingang van het structuur werd de fundamentele mode aangeboden, en nadat de veld uitgerekend was werden de ingangs- en uitgangsvelden in een aparte file bewaard. Tenslotte werd de overlapintegraal uitgerekend van het ingangsveld met het uitgangsveld.



Figuur 3.3 Veldverdeling bij een hoek van 10 graden.

Voor de grootte van de overspraak werd eerst de afstand berekend tussen de hartlijn van de geleider waarin het ingangsveld gekoppeld is naar de hartlijn van de geleider waarin het ongewenste vermogen zich bevindt; deze afstand wordt de offset genoemd. Tenslotte wordt de overspraak bepaald door het uitlezen van de overlapbestand. Als voorbeeld wordt het overlapbestand grafisch weergegeven op figuur 3.4 , bij een hoek van 10 graden .



Figuur 3.4 Overlapintegraal als functie van offset.

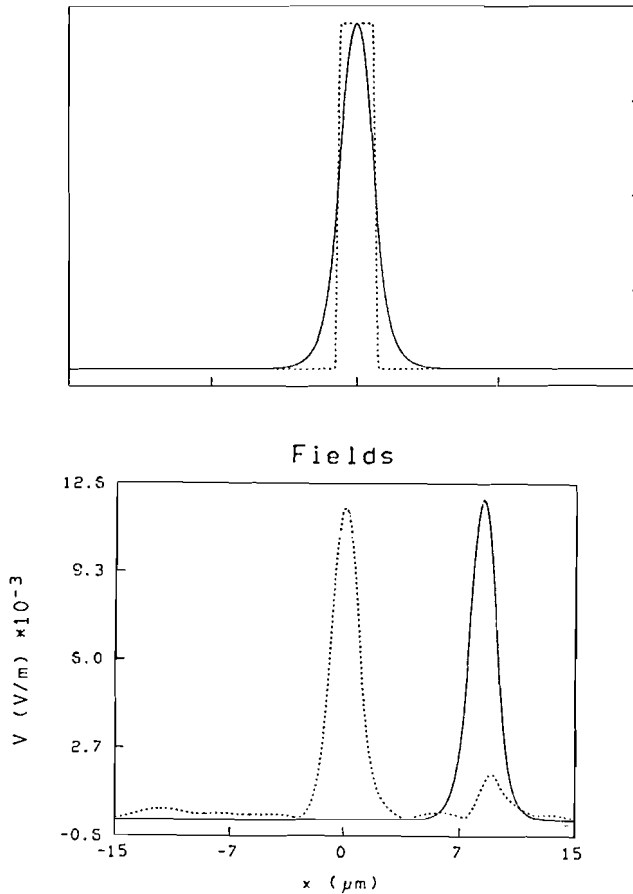
De overspraak werd op bovenstaande manier uitgerekend voor zowel het FD als het FFT algoritme voor de volgende hoeken:

$2^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 21^\circ, 26^\circ, 30^\circ, 32^\circ$ en 36° .

In bijlage B vinden we een tabel met de uitgerekende offsets en bijbehorende overspraakwaarden voor de beide algoritmes.

3.3 BPM van TU Twente.

Bij de BPM van Twente wordt het structuur gedefinieerd door het opgeven van coördinaten die onderling met elkaar worden doorverbonden. In figuur 3.5 zien we de brekingsindexprofiel en de overlap van twee kruisende golfgeleiders verkregen met de BPM software van Twente.



Figuur 3.5 Brekingsindexprofiel en overlap van twee kruisende golfgeleiders.

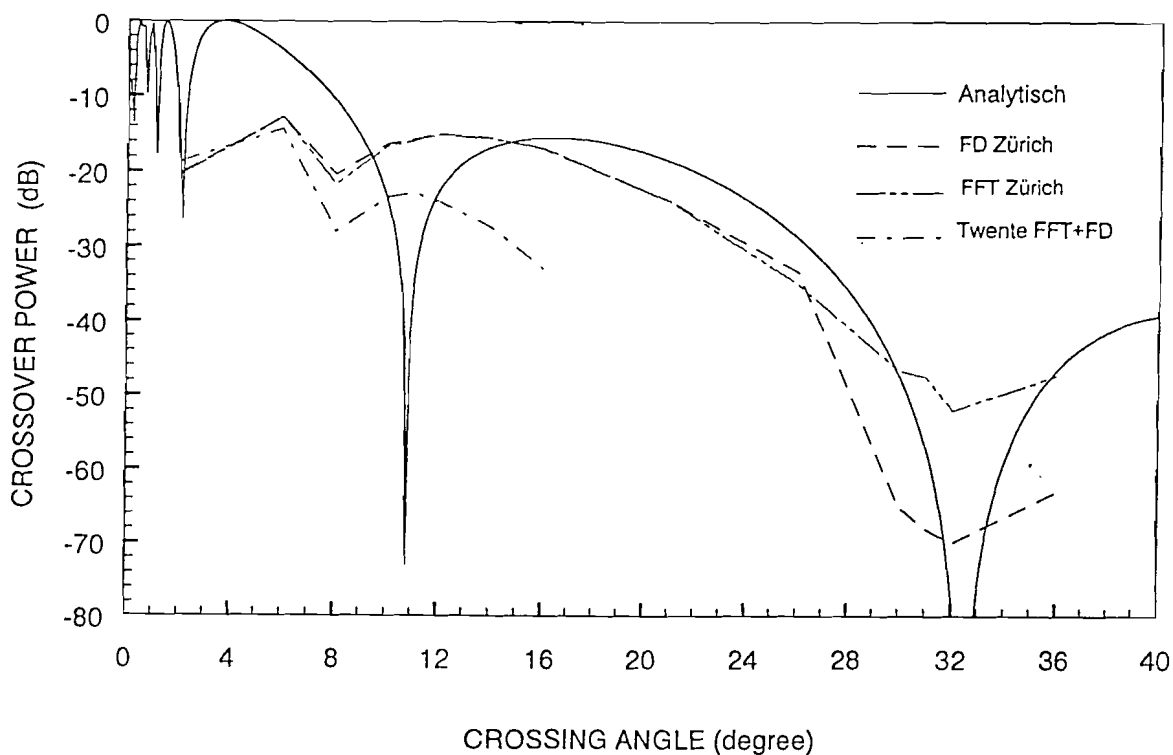
Voor dezelfde hoeken als bij de BPM Zürich werden de overspraak berekend voor zowel de FD als de FFT algoritme.

De resultaten van bovenstaande berekeningen kunnen we terug vinden in bijlage C. Zowel de FD als de FFT algoritme leveren de zelfde resultaten.

Het probleem dat we met de BPM van Twente ondervonden was dat de overlap in dB naar oneindig gaat voor hoeken groter dan 21 graden. Dit is iets wat niet klopt, want zowel de analytische als de BPM analyse van Zürich leveren in dit gebied eindige waarden.

3.4 De totale analyse van de overspraak.

Als we alle punten waarvan we de overspraak berekend, hebben in een grafiek zetten resulteert dat in figuur 3.6 . Zoals we zien zijn er verschillen in het verloop van de grafieken onderling. Een reden voor dit verschil is dat de BPM analyse de bijdrage van de stralings modi wel in rekening brengt bij het uitrekenen van veld ,terwijl de numerieke analyse de stralings modi buiten beschouwing laat en alleen de geleide modi in rekening brengt.



J.C.RAMFULSING

Figuur 3.6 De overspraak berekend met de verschillende BPM's.

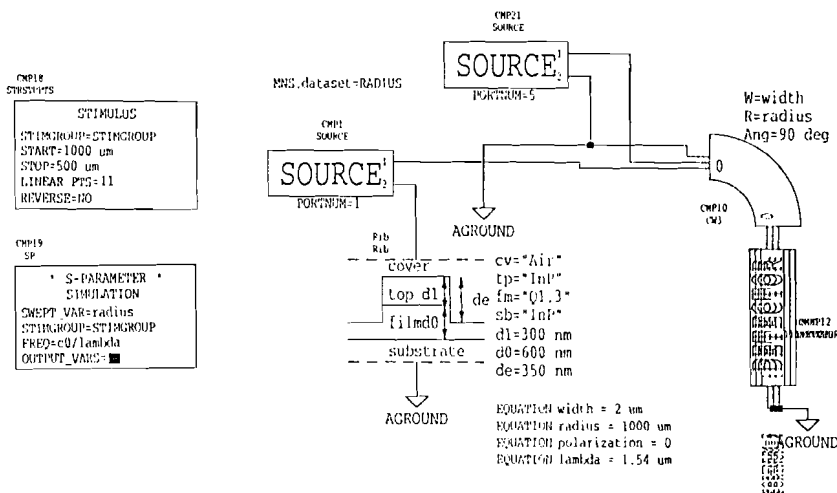
Hoofdstuk 4.

Ontwerp van de masker.

In dit hoofdstuk gaan we in op de ontwerp procedure van de masker met daarop geleiders die elkaar kruisen onder een specifieke hoek. Voor het definitieve structuur van de masker werden eerst berekeningen uitgevoerd om de koppelings vrije afstand tussen de geleiders te berekenen, dit werd gedaan m.b.v. de software pakket WGANALE. Vervolgens werd de ideale bochtstraal en offset tussen een rechte geleider en een gebogengeleider berekend m.b.v. CAD programma MDS. Daarop volgend werden de lengte van de golfgeleider stukken uitgerekend waaruit de golfgeleiders zijn opgebouwd, tenslotte werd de masker samengesteld in MDS.

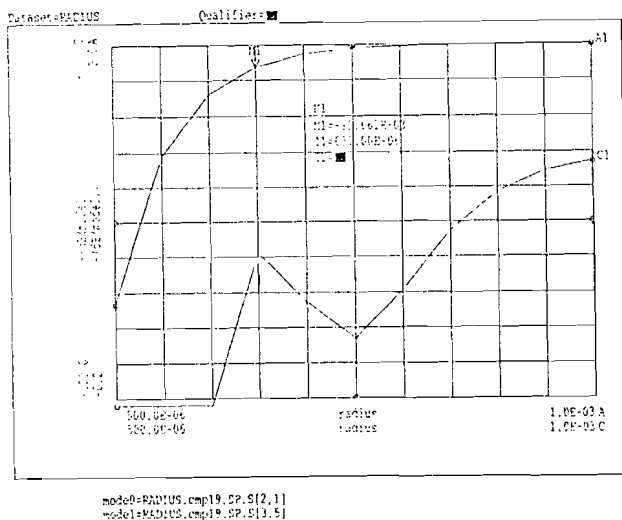
4.1 Ontwerp bochtstraal en offset.

Voor het berekenen van de minimale bochtstraal (R) en de offset wordt gebruik gemaakt van de CAD programma MDS waarin modellen van optische componenten geïntegreerd zijn. Eerst werd een structuur gedefinieerd waarmee de afstralingsverliezen uitrekend worden bij verschillende bochtstralen. In figuur 4.1 vinden we de schema dat gedefinieerd werd in MDS. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.2 .



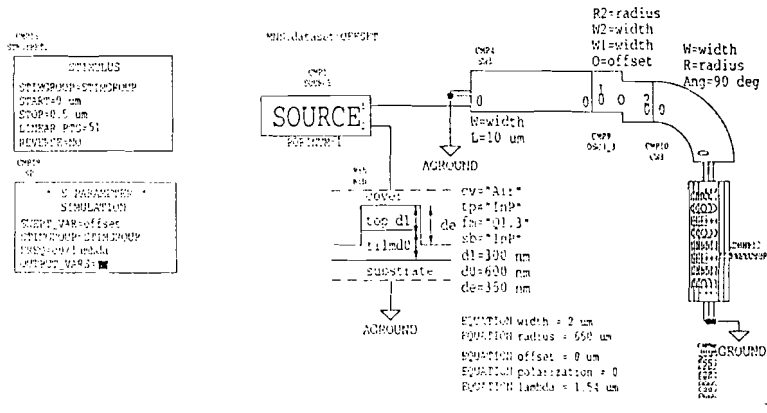
Figuur 4.1 Schema in MDS voor het uitrekenen van de afstralingsverliezen bij verschillende bochtstralen.

Hierin zien we dat de afstralingsverliezen van de nulde orde mode vrij laag zijn, en dat de eerste orde mode cut-off is. Gekozen werd voor een bochtstraal van 650 μm .

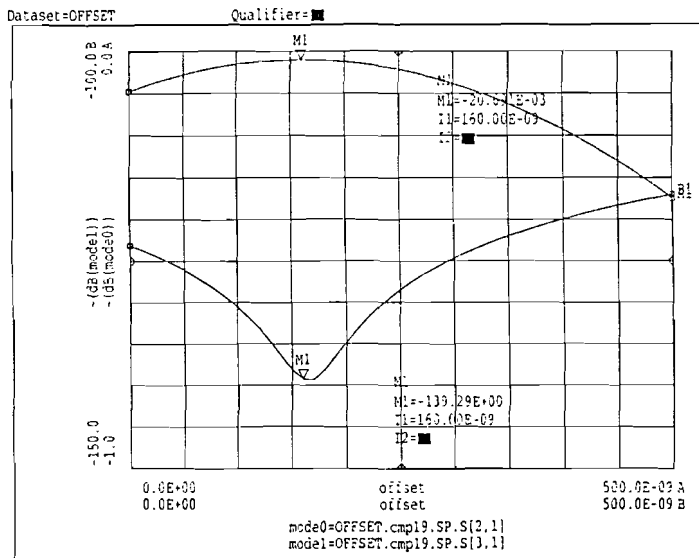


Figuur 4.2 Afstralingsverliezen als functie van de bochtstraal

Voor het berekenen van de offset, met de minimale verliezen tussen een rechte geleider en de gebogen geleider, werd eveneens MDS gebruikt. In figuur 4.3 vinden we de schema van de gebruikte structuur. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.4 .



Figuur 4.3 Schema om de offset te berekenen in MDS.



Figuur 4.4 Damping als functie van de offset van rechte geleider aan gebogen.

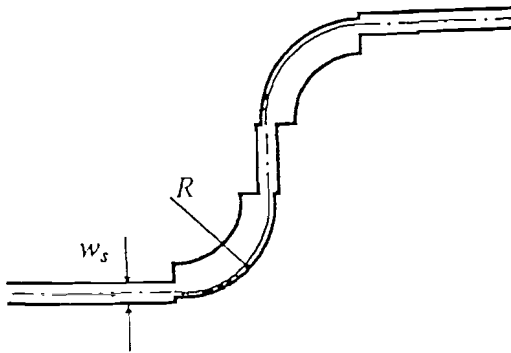
Uit figuur 4.4 blijkt de invloed van de eerste orde verwaarloosbaar is. Het enige waar naar we moeten kijken is het verlies van de nulde orde mode. Het punt waar het verlies minimaal is vinden we bij een offset van 0.16 μm .

4.2 Bespreking van de golfgeleiders die zijn ontworpen voor de masker.

Voor het ontwerpen van een kruising werd eerst een gebogen stuk ontworpen zo als dat in figuur 4.5 getekend staat. Om het schuine gedeelte in het midden te krijgen, op de chip, werden eerst de afstanden berekend wat de twee bochtstralen met het schuine stuk innamen in de horizontale richting. Een en ander wordt aangegeven in figuur 4.5 .

Voor de lengte in horizontale richting t.g.v. de twee bochtstralen en schuinestuk geldt:

$$l = 2000 \times \cos(\theta) + 2 \times 650 \times \sin(\theta) \quad (4.1)$$



Figuur 4.5 Ontwerp van een gebogen golfgeleider.

Voor de volgende hoeken werden een gebogen golfgeleider ontworpen :

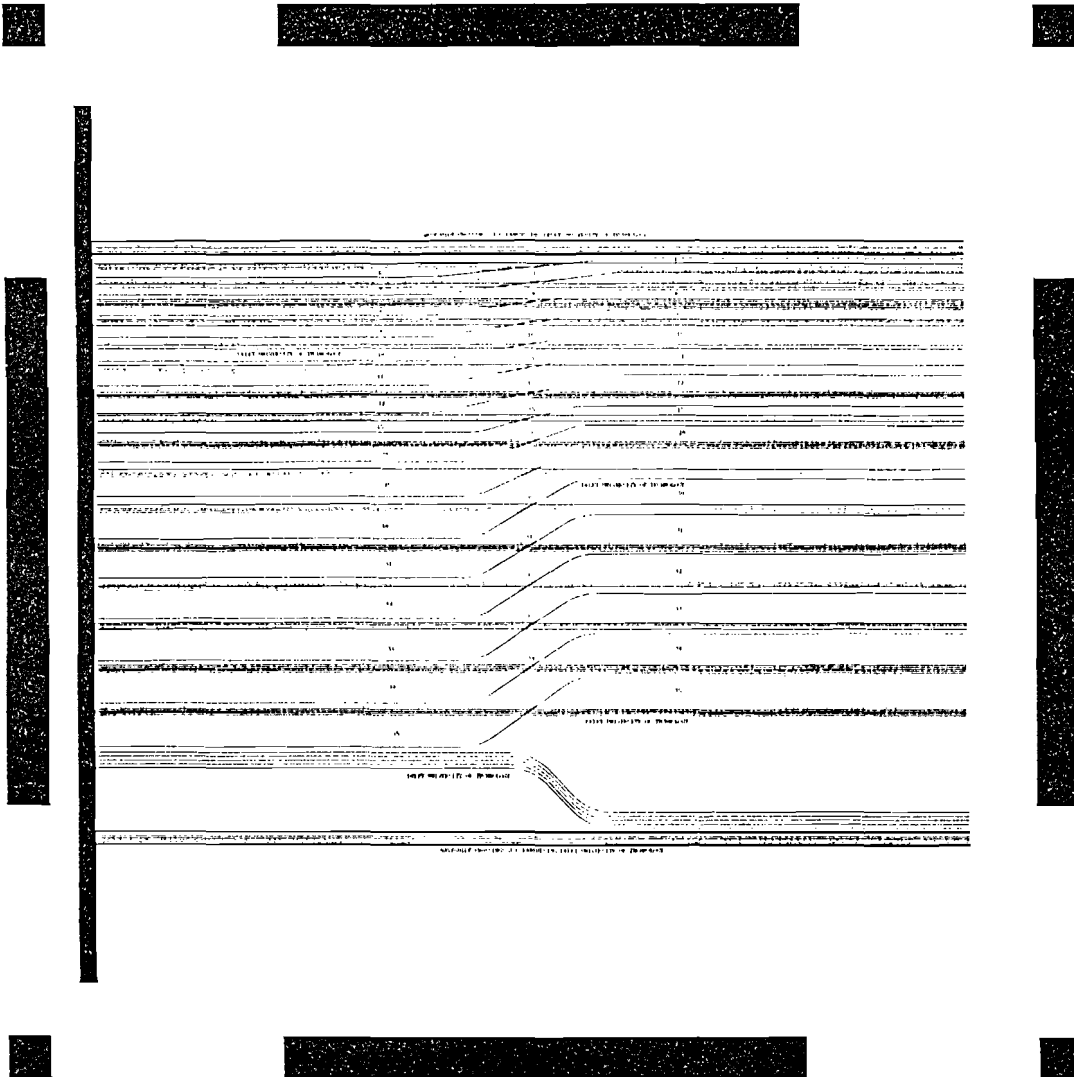
$$\theta = 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 31^\circ, 32^\circ, 33^\circ, 34^\circ, 35^\circ.$$

Vervolgens werd een blok ontworpen van 5 rechte golfgeleiders met een breedte van 2 μm dat een totale lengte van 1 cm bezit. Dit hele blok werd geplaatst in het midden van de gebogen geleider. Met een dergelijk structuur zijn we in staat zowel de overspraak als de intersectie verliezen te bepalen.

Om de verliezen in de rechte golfgeleiders te bepalen zijn afzonderlijk 10 rechte geleiders ontworpen met een lengte van 1 cm en een breedte van 2 μm .

Voor de verliezen in het gebogen gedeelte te bepalen zijn 5 gebogen geleiders ontworpen die een totale verdraaiing van 90° maken zodat we de verliezen in dB/ 90° kunnen bepalen.

Het layout van de totale masker vinden we in figuur 4.6 .



Figuur 4.6 Totale layout van de masker.

Samenvatting.

In een optisch geïntegreerd circuit (OIC) wordt het signaal getransporteerd in de vorm van een lichtbundel. Verschillende componenten worden onderling met elkaar verbonden door golfgeleiders. Een belangrijk voordeel van optische golfgeleiders boven elektrische verbindingen is dat ze elkaar kunnen kruisen in het zelfde vlak.

Golfgeleiders die onderling een hoek van 90 graden maken vertonen extreem lage overspraak. Zij nemen echter wel een groot oppervlak in op de chip. Bij kleine hoeken reduceert dit gebied maar daarentegen neemt de grootte van de overspraak toe.

Er werd onderzoek gedaan naar de hoekafhankelijkheid van de overspraak. Aan de hand van een analytische formule werd de overspraak berekend. Tevens werden BPM (Bundel Propagatie Methode) programma's gebruikt om de overspraak uit te rekenen. Om de overspraak te bepalen werd een masker ontworpen dat golfgeleiderkruisingen met verschillende hoeken bevat.

Voor het gedrag van de overspraak als functie van de hoek kunnen we zeggen dat zowel BPM als analytische beschouwing een minimale overspraak, bij een hoek van 32 graden, aangeven.

Kleine hoeken leveren een grote koppeling maar bezitten wel een grote gevoeligheid voor lithografie. Grote hoeken bezitten nulpunten maar zijn minder gevoelig voor lithografie.

Bij kleine hoeken vindt er discrepansie met de BPM analyse. Grote hoeken stemmen beter overeen met de BPM analyse.

REFERENTIELIJST:

- [1] Agrawal, N., McCaughan, L., and Seshadri, S.R.: "A multiple scattering interaction of intersecting waveguides" , J.Appl.Phys.62 (6), pp. 2187-2193, 1987.
- [2] Verbeek, B.H.: "Integrated Optics" , college L107B, Delft University of Technology, 1990.

BIJLAGE A.

Uitdraai input file BPM Zürich.

Algorithm = FE/FD

Wavelength (um) = 1.540

Polarisation = TM

Width of the structure (um) = 60.85

Number of meshes = 300

Length of the structure (um) = 85

Propagation step (um) = 0.5

Imaginary refractive index of absorber = 0.1

Widths of absorber (left right) (um) = 5 5

Input field = eigen 0

Output:

Field plot per dz = 1

Number of mesh per lateral plot = 1

X-position of longitudinal profile = 10

Values of refractive indices:

n(0) = 3.2707

n(1) = 3.3074

Waveguide cross section to z = 10:

Number of columns = 3

Coordinates of column interfaces:

I 14 16

Refractive index distribution:

0 1 0

Waveguide cross section to z =16.722:

Number of columns = 5

Coordinates of column interfaces:

L 6.642 9 14 16, 10.842 13.2 14 16

Refractive index distribution:

0 1 0 1 0

Waveguide cross section to z = 21.203 :

Number of columns = 3

Coordinates of column interfaces:

L 10.842 16, 13.642 16

Refractive index distribution:

0 1 0

Waveguide cross section to z = 21.776:

Number of columns = 3

Coordinates of column interfaces:

L 13.642 16, 14 16.358

Refractive index distribution:

0 1 0

Waveguide cross section to z = 26.257:

Number of columns = 3

Coordinates of column interfaces:

L 14 16.358, 14 19.153

Jan 11 16:03 1995 dutettf.et.tudelft.nl:/mnt/dutettf/localusers/optuser/sing/bp

Refractive index distribution:

0 1 0

Waveguide cross section to z = 85:

Number of columns = 5

Coordinates of column interfaces:

L 14 16 16.8 19.158, 14 16 53.492 55.85

Refractive index distribution:

0 1 0 1 0

BIJLAGE B.

Resultaten BPM Zürich analyse:

θ IN [GRADEN]	OFFSET IN [μm]	BPM-FD IN [dB]	BPM-FFT IN [dB]
2	9	-20	-20.5
6	8.3	-12.8	-12.8
8	10.5	-11	-11.1
10	12.6	-8.3	-8.3
12	14.8	-7.6	-7.6
14	17	-7.8	-7.8
16	19.3	-8.5	-8.6
21	25.2	-11.8	-12
26	31.5	-15.9	-17.5
30	37	-31	-233
32	39.9	-35.5	-26.5
36	45.8	-31.7	-23.6

BIJLAGE C.

Resultaten BPM Twente analyse:

θ IN [GRADEN]	OFFSET IN [μm]	BPM-FD/FFT IN [dB]
2	9	-18
6	8.3	-14.4
8	10.4	-23.5
10	12.6	-23.5
12	14.8	-24.1
14	17	-27.4
16	19.2	-33
21	25.1	∞
26	31.4	∞
30	36.8	∞
32	39.9	∞
36	45.8	∞

BIJLAGE D.

Layout masker.

TUD-ET-TTT- Φ

WAVEGUIDE CROSSINGS
JC RAMFULSING - FEBRUARY 95

