

## MASTER

### Interferentie-onderdrukking in Cassegrain grondstationantennes m.b.v. een tweede feed

van Spaendonk, R.A.C.M.

*Award date:*  
1982

[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

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK  
TECHNISCHE HOGESCHOOL  
EINDHOVEN  
VAKGROEP TELECOMMUNICATIE EC

INTERFERENTIE-ONDERDRUKKING IN  
CASSEGRAIN GRONDSTATIONANTENNES  
M.B.V. EEN TWEDE FEED

door R.A.C.M. van Spaendonk

Verslag van het afstudeerwerk  
uitgevoerd van november 1980 tot februari 1982  
Afstudeerhoogleraar: prof.dr. J. Arnbak  
Begeleiders : ir. M.H.A.J. Herben  
prof.dr. J. Arnbak

De Afdeling der Elektrotechniek van de  
Technische Hogeschool Eindhoven aanvaardt  
geen verantwoordelijkheid voor de inhoud  
van stage- en afstudeerverslagen

### Samenvatting:

In een eerder afstudeerwerk is aangetoond, dat interferentie tussen buursatellieten in de geostationaire baan onderdrukt kan worden door in grondstationantennes een tweede belichter op te nemen. Indien op een dergelijke wijze het vervroegd vervangen van het totale antennesysteem kan worden voorkomen, is dit economisch en operationeel aantrekkelijk.

In dit afstudeerwerk is het met een tweede feed uitgebreide antennesysteem nader bestudeerd. De kruispolarisatie-eigenschappen van het oorspronkelijke en het resulterende antennesysteem zijn nagenoeg gelijk. Bovendien blijkt de onderdrukking vrijwel onafhankelijk te zijn van de toegepaste polarisatie. Voorts is een algoritme beschreven en geïmplementeerd op de computer waarmee, bij een gegeven nominale positie van de storende satelliet, de positie en de excitatie van de tweede feed berekend kunnen worden, teneinde een optimale onderdrukking in een gegeven hoekgebied te verkrijgen. Uit berekeningen blijkt een zeer goede storingsonderdrukking mogelijk. Daar slechts optimalisatie van de onderdrukking in één dimensie, de Oost-West richting, is nagestreefd, is deze in de Noord-Zuid richting vooralsnog onvoldoende voor praktische toepassingen. Er zijn mogelijkheden aangegeven voor een twee-dimensionele optimalisatie van de storingsonderdrukking.

(ii) INHOUDSOPGAVE

	pag.
(i) SAMENVATTING	1
(ii) INHOUDSOPGAVE	2
(iii) LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN	3
0. INLEIDING	5
1. HET KRUISPOLARISATIEGEDRAG VAN EEN CASSEGRAIN ANTENNESYSTEEM	6
1.1 Beschrijving van het beschouwde antennesysteem	6
1.2 De hoofd- en kruispolarisatiecomponenten van het verreveld	7
1.3 Het feedsysteem	12
1.4 De kruispolarisatie in het verreveld van een gedefocusseerd Cassegrain antennesysteem	14
1.5 Het apertuurveld	36
1.6 Het faseverloop van de verreveldcomponenten	44
2. ZIJLSONDERDRUKKING	47
2.1 Inleiding	47
2.2 Een literatuurstudie	49
2.3 Het optimaliseringsprobleem	52
2.4 Een algoritme voor optimale zijlusonderdrukking	58
2.4.1 Het minimaliseren van $ E_r(\vec{a}, \theta_0) ^2$	59
2.4.2 Het minimaliseren van $ E_r(\text{abs}(a(\theta_0)), \arg(a(\theta_0)), \theta_0) ^2$	69
2.5 Resultaten van berekeningen aan zijlusonderdrukking	72
2.5.2. De gainonderdrukking	73
2.5.3. De scanhoek $\theta_0$ en de excitatiecoëfficiënt $a$	75
2.5.4. De afhankelijkheid van de gainonderdrukking van de scanhoek $\theta_0$ en de excitatiecoëfficiënt $a$	82
2.5.5 De gainonderdrukking buiten het gebied van optimaliseren	84
3. CONCLUSIES	94
3.1 Inleiding	94
3.2 Algemene observaties en conclusies	94
3.3 De utiliteitswaarde in operationele systemen	95
4. SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK	98
5. LITERATUURVERWIJZINGEN	100
APPENDICES	
1. De afleiding van de verreveldcomponenten $E_{fi}(\vec{r})$ en $E_{th}(\vec{r})$	103
2. De vervorming van het apertuurvlak bij defocussing	106
3. Berekeningen aan een Potterfeed	109
4. De bepaling van de scanhoek	123
5. De coördinatentransformatie	127
6. Het faseverloop in het verreveld uitgewerkt	130
7. Gevolgen van discretiseren	133
8. Het bewijs van éénduidige convergentie naar het minimum van de functie $S_q$	142
9. Programmabeschrijving van het algoritme voor optimale zijlusonderdrukking	144
10. veranderingen in het door v. Ommeren ontwikkelde programma	155

## (iii) LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

Omdat sommige gebruikte symbolen in de tekst zowel in de handgeschreven als in de machinegeschreven vorm voorkomen zijn beide in deze lijst naast elkaar opgenomen.

$a$	excitatiecoëfficiënt van de hulpfeed
$\text{abs}(a),  a $	de modulus van de excitatiecoëfficiënt
$\text{arg}(a)$	$a$ het argument van de excitatiecoëfficiënt $a$
$\hat{a}_x$	eenheidsvector in de $x$ -richting
$\hat{a}_y$	eenheidsvector in de $y$ -richting
$\hat{a}_z$	eenheidsvector in de $z$ -richting
$D_s$	$D$ = diameter van de hoofdreflector diameter van de subreflector
$\delta$	de inclinatiehoek van de hulpfeed
$\epsilon$	excentriciteit van de hyperbolische subreflector
$\bar{E}_z(\bar{r}_a)$	elektrisch veld in het apertuurpunt $r_a$
$E_{ax}(\bar{r}_a)$	$x$ -component van het elektrisch veld in de apertuur
$E_{ay}(\bar{r}_a)$	$y$ -component van het elektrisch veld in de apertuur
$\bar{E}(\bar{r})$	verrevelde veld in het punt $r$
$E_{cr}(\bar{r})$	kruispolarisatiecomponent van het verrevelde veld in het punt $r$
$E_{co}(\bar{r})$	hoofdpolarisatiecomponent van het verrevelde veld in het punt $r$
$E_{fi}(\bar{r})$	$f_i$ -component van het verrevelde veld in het punt $r$
$E_{th}(\bar{r})$	$\theta$ -component van het verrevelde veld in het punt $r$
$\bar{E}^{\pm}(\bar{r})$	verrevelde stralingspatroon van een array-element
$F$	brandpuntsafstand van de parabolische hoofdreflector
$f_i, \varphi$	verrevelde hoek in het $(x, y, z)$ - coördinatenstelsel
$f_i', \varphi'$	verrevelde hoek in het $(x', y', z')$ - coördinatenstelsel
$f_i z$	argument van de excitatiecoëfficiënt $a$
$G_f(\theta)$	gain van de feed als functie van de hoek $\theta$
$G(\theta, f_i)$	gain van het antennesysteem als functie van de polaire hoek $(\theta, f_i)$
$\bar{H}_a(\bar{r}_a)$	magnetisch veld in het apertuurpunt $r_a$
$k$	golfgetal
$\lambda$	golflengte
$N$	macht in de gainfunctie van de ideale cos-feed
$\hat{N}_x$	eenheidsvector in het verrevelde veld bij polarisatie in de $x$ - richting

$\hat{N}_y$	eenheidspolarisatievector in het verreveld bij polarisatie in de y-richting
$\hat{n}$	normaalvector in de apertuur
$\psi, \varphi$	hoek tussen vector in de apertuur en de x-as
$\Psi(r, \rho, a)$	fase-aberratie in het apertuurvlak
$\bar{r}$	verreveldpunt in het (x, y, z)-coördinatenstelsel
$\bar{r}'$	verreveldpunt in het (x', y', z')-coördinatenstelsel
$\bar{r}_a$	punt in de apertuur $\rho = \text{abs}(r_a)$
$\hat{s}_r$	eenheidsvector in de richting van de uit de apertuur tredende TEM-golf
$\theta, \theta'$	verreveldhoek in het (x, y, z)-coördinatenstelsel
$\theta^0, \theta^0'$	verreveldhoek in het (x', y', z')-coördinatenstelsel
$\theta_0$	de scanhoek
$\theta_i, \theta_i'$	verreveldsamplepunt
$W$	de complexe weegfactor
$w_i$	scalaire weegfactor bij het samplepunt
$t_{ni}$	
$Z_0$	de karakteristieke impedantie

0. INLEIDING  
-- -----

De navolgende studie heeft tot doel om na te gaan in hoeverre zijlsonderdrukking in het stralingsdiagram van een Cassegrain antennesysteem mogelijk is, indien van een tweede (hulp)feed gebruik gemaakt wordt.

Hiertoe is het ten eerste nodig om het verrevelde-stralingsdiagram t.g.v. de hulpfeed voor een willekeurige scanhoek te kunnen berekenen (analyse), ten tweede is het nodig om in een bepaald hoekgebied optimale zijlsonderdrukking te verwezenlijken (synthese).

V. Ommen [1,16] heeft een programma ontwikkeld voor het berekenen van het stralingsdiagram t.g.v. de hulpfeed. Tevens heeft hij een aantal stralingsdiagrammen getoond van de hoofdpolarisatiecomponent bij verschillende scanhoeken, echter steeds in het symmetrievlak van het antennesysteem.

Als vervolg op zijn analyse is onderzocht in hoeverre het kruispolarisatiegedrag van het antennesysteem tengevolge van scanning verslechtert. Tevens is een beeld gevormd van het verrevelde-stralingsdiagram buiten het symmetrievlak. Hierop wordt in hoofdstuk 1 ingegaan.

Hoofdstuk 2 heeft de synthese tot onderwerp. Hierin wordt een algoritme ontwikkeld voor het optimaal onderdrukken van de zijlsonderdrukking in een bepaald vooraf gedefinieerd hoekgebied. De bij deze optimale onderdrukking behorende waarden van de scanhoek en de excitatiecoëfficiënt van de hulpfeed worden door dit algoritme berekend.

In paragraaf 2.5 is het resulterende stralingsdiagram berekend buiten het gebied waar de onderdrukking is geoptimaliseerd. De hieruit volgende conclusie moeten wel als de belangrijkste van deze studie gezien worden, als het gaat om de praktische toepassingsmogelijkheden van de deze vorm van zijlsonderdrukking.

De uit deze studie voortvloeiende conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 3 en 4 gegeven.

# 1. HET KRUISPOLARISATIEGEDRAG VAN EEN CASSEGRAIN-ANTENNE ----- ANTENNESYSTEEM -----

## 1.1 Beschrijving van het beschouwde antennesysteem -----

De navolgende studie is uitgevoerd aan een rotatiesymmetrisch Cassegrain antennesysteem, zoals dat door v. Ommeren [1, bijlage 1] is beschreven. De parameters, die dit antennesysteem vastleggen zijn:

$D/\lambda \approx 200$	de genormeerde diameter van de hoofdreflector
$D_s/\lambda \approx 18$	de genormeerde diameter van de subreflector ( $D/D_s \approx 11.1$ )
$F/D \approx 0.12$	de genormeerde brandpuntsafstand van de parabolische hoofdreflector
$\epsilon \approx 1.35$	de excentriciteit van de hyperbolische subreflector

Er is een geïdealiseerde feed gebruikt, die als gainfunctie heeft:

$$G_p(\theta, \phi) = \begin{cases} 2(N+1)\cos^N(\theta) & 0 < \theta < \pi/2 \\ 0 & \pi > \theta > \pi/2 \end{cases} \quad (1)$$

De polarisatie van het verreeld van deze feed is die van een Huygenstron. In paragraaf 1.3 wordt uitgebreid op de motivatie van deze keuze ingegaan.

Wanneer de feed uit de focus verplaatst is, bevindt hij zich steeds op het z.g. "optimale feedoppervlak". Dit door v. Ommeren [1] berekende oppervlak is rotatiesymmetrisch. In paragraaf 1.3. wordt ook hierop dieper ingegaan.



1.2 De hoofd- en kruispolarisatiecomponenten  
 -----  
 van het verreveld  
 -----

Silver [2, pag. 161] heeft voor het algemene geval van een verreveld  $\vec{E}(\vec{r})$  ten gevolge van een elektromagnetische veldverdeling  $\vec{E}_a(\vec{r}_a)$ ,  $\vec{H}_a(\vec{r}_a)$  op een bepaald apertuuroppervlak  $A$ , de volgende formule afgeleid:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{-jke}{4\pi r} \iint_A \hat{r}_x \left( \hat{r}_x \vec{E}_a(\vec{r}_a) - \vec{r}_a \times (\hat{n} \times Z_0 \vec{H}_a(\vec{r}_a)) \right) e^{-jk\psi(\vec{r}, \vec{r}_a) + jk(\hat{r} \cdot \vec{r}_a)} dS \quad (2)$$

het

$\vec{r}_a$   
 $\vec{r}$

$\hat{r}$

$\hat{n}$

$\vec{E}_a(\vec{r}_a)$

$\vec{H}_a(\vec{r}_a)$

$Z_0$

$\psi(\vec{r}_a, \vec{r})$

$k$

(zie ook Fig. 1)

de plaatsvector van een punt op  $A$   
 de plaatsvector van een punt in het verre veld  
 de eenheidsvector in de richting van de plaatsvector  $r$   
 de eenheidsnormaalvector van  $A$   
 het elektrisch veld in het punt  $ra$  in de apertuur  
 het magnetisch veld in het punt  $ra$  in de apertuur  
 de karakteristieke impedantie in vacuum  
 de fase aberratie in het punt  $ra$  in de apertuur  
 de golfgetal ( $k=2\pi/\lambda$ )

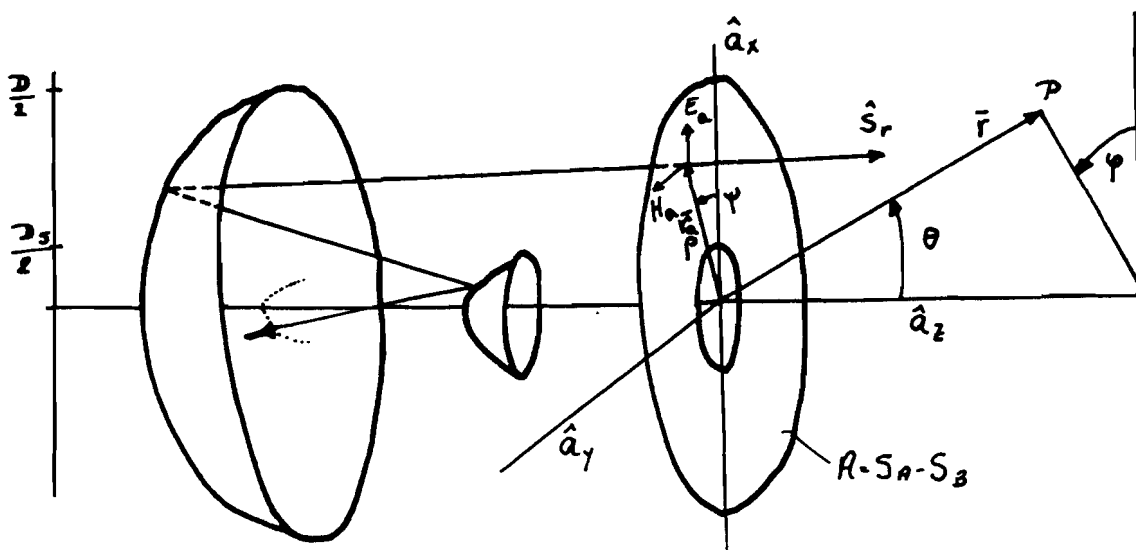


Fig. 1 De geometrie van het Cassegrain antennesysteem

De veronderstellingen dat :

1. het apertuurvlak A loodrecht op de z-as staat ( $\hat{n} = \hat{a}_z$ ),
2. de in het punt  $\bar{r}_a$  uittredende elektromagnetische golf een zuivere TEM-golf is, waarvoor geldt  $Z_0 \bar{H}_a(\bar{r}_a) = \hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a)$  met  $\hat{s}_r$  de eenheidsvector in de richting van de in het punt  $\bar{r}_a$  uit de apertuur tredende TEM-golf leidt tot de volgende formule voor het verzeveld: (deze verschillen slechts in notatie van de door v. Ommeren afgeleide formules [1, pag. 96], zie ook Appendix 1)

$$E_{th}(\bar{r}) = \frac{-jke}{4\pi r} \iint_{S_A - S_B} \left[ -E_{ax}(\bar{r}_a) \cos(\theta) - \cos(\theta) \cos(\phi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y \right. \\ \left. - \sin(\phi) E_{ay}(\bar{r}_a) + \cos(\theta) \sin(\phi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x \right] \\ e^{-jk\sqrt{r^2 - r_a^2}} + jk(\hat{r} \cdot \bar{r}_a) \, dS \quad (3a)$$

$$E_{fi}(\bar{r}) = \frac{-jke}{4\pi r} \iint_{S_A - S_B} \left[ \sin(\phi) \cos(\theta) E_{ax}(\bar{r}_a) + \sin(\phi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y \right. \\ \left. - \cos(\phi) \cos(\theta) E_{ay}(\bar{r}_a) + \cos(\phi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x \right] \\ e^{-jk\sqrt{r^2 - r_a^2}} + jk(\hat{r} \cdot \bar{r}_a) \, dS \quad (3b)$$

In het algemeen is  $\hat{s}_r$  niet evenwijdig aan  $\hat{a}_z$ . Hierdoor is het apertuurvlak  $S_A - S_B$  niet circelsymmetrisch rond de z-as. In de hier uitgevoerde studie is echter wel steeds een circelsymmetrische apertuur met binnenstraal  $D_s/2$  en buitenstraal  $D/2$  verondersteld. In appendix 2 is aangetoond, dat dit in alle door ons beschouwde situaties toegestaan is. De formules voor de kruis- en hoofdpolarisatiecomponent,  $E_{cr}(\bar{r})$  resp.  $E_{co}(\bar{r})$ , kunnen met de derde definitie van Ludwig [4] afgeleid worden uit de reeds gegeven formules voor de verzeveld componenten  $E_{fi}(\bar{r})$  en  $E_{th}(\bar{r})$ . Indien de hoofdpolarisatie component van het apertuurveld in de x-richting gepolariseerd is (r.b. de x-richting is in het verzeveld coördinatenstelsel gedefinieerd), is dit:

$$E_{co}(\bar{r}) = E_{th}(\bar{r}) \cos(\phi) - E_{fi}(\bar{r}) \sin(\phi) \\ E_{cr}(\bar{r}) = E_{th}(\bar{r}) \sin(\phi) + E_{fi}(\bar{r}) \cos(\phi) \quad (4)$$

Eij een in de y-richting gepolariseerd apertuurveld is dit:

$$E_{co}(\vec{r}) = E_{th}(\vec{r}) \sin(\theta_i) + E_{pi}(\vec{r}) \cos(\theta_i) \quad (5)$$

$$E_{cr}(\vec{r}) = E_{th}(\vec{r}) \cos(\theta_i) - E_{pi}(\vec{r}) \sin(\theta_i)$$

Indien de hoofdbundel van het stralingsdiagram ten gevolge van defocussing een (scan)hoek  $\theta_0$  maakt met de symmetrie-as van het antennesysteem, bestaan in principe de volgende twee coördinatenstelsels, op basis waarvan de hoofd- en kruispolarisatie gedefinieerd kan worden.

1. De assen van het verreveld coördinatenstelsel  $(x, y, z)$  zijn zodanig gekozen, dat de z-as samenvalt met de symmetrie-as van het antennesysteem. (Fig. 2a)

2. De assen van het verreveldcoördinatenstelsel  $(x', y', z')$  zijn zodanig gekozen, dat de z'-as een hoek  $\theta_0$  maakt met de symmetrie-as van het antennesysteem. (Fig. 2b)

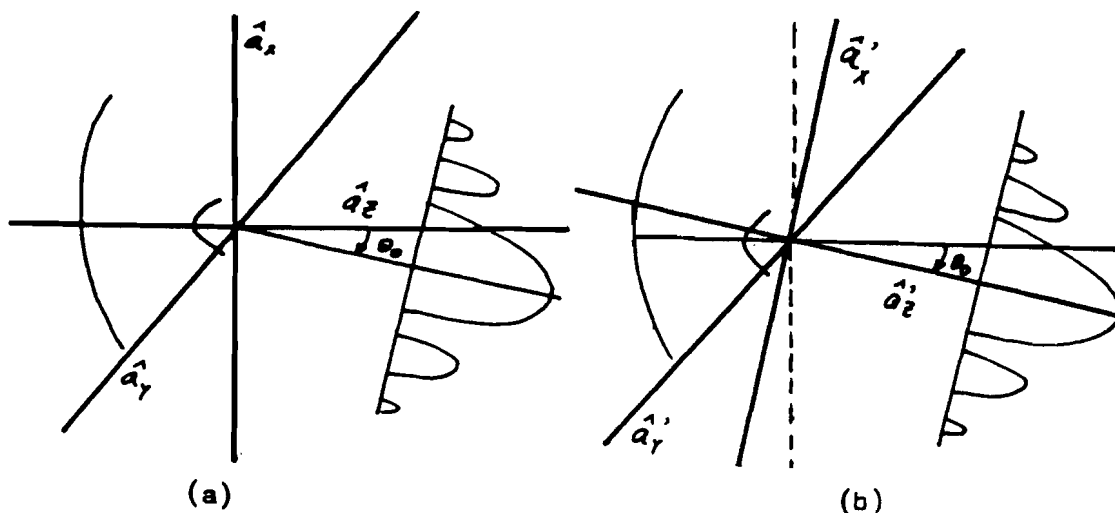


Fig. 2 De verreveldcoördinatenstelsels

In ons geval is het verreveldcoördinatenstelsel gedefinieerd als onder 1., omdat de polarisatie-eigenschappen van dit (gedefocusserde) antennesysteem berekend worden met het oog op het onderdrukken van zijlussen in het stralingsdiagram van een gefocusserde antenne met een maximale gain in richting van de symmetrie-as van het antennesysteem. Hiervoor is het coördinatenstelsel gedefinieerd als onder 1.

Door combinatie van (3) en (4) volgt dan bij een in de x-richting gepolariseerde apertuur, voor de hoofdpolarisatie-component:

$$\begin{aligned}
E_{co}^x(\bar{r}) = \frac{-jk_e}{4\pi r} \iint_{S_A-S_B} & -E_{ax}(\bar{r}_a)(\cos^2(\theta_i) + \sin^2(\theta_i)\cos(\theta_h)) \\
& - (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y (\cos^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \\
& + \cos(\theta_i)\sin(\theta_i)(\cos(\theta_h)-1)((\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x + E_{ay}(\bar{r}_a)) \\
& \cdot e^{-jk\sqrt{r^2 + r_a^2}} + jk(\bar{r} \cdot \hat{r}_a) \, dS
\end{aligned} \quad (6a)$$

en voor de kruispolarisatiecomponent:

$$\begin{aligned}
E_{cr}^x(\bar{r}) = \frac{-jk_e}{4\pi r} \iint_{S_A-S_B} & -E_{ay}(\bar{r}_a)(\cos^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \\
& + (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x (\sin^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \cos^2(\theta_i)) \\
& + \cos(\theta_i)\sin(\theta_i)(\cos(\theta_h)-1)((\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y + E_{ax}(\bar{r}_a)) \\
& \cdot e^{-jk\sqrt{r^2 + r_a^2}} + jk(\bar{r} \cdot \hat{r}_a) \, dS
\end{aligned} \quad (6b)$$

Eij eer in de y-richting gepolariseerde apertuur, volgt na combineren van (3) en (5), voor de hoofdpolarisatiecomponent:

$$\begin{aligned}
E_{co}^y(\bar{r}) = \frac{-jk_e}{4\pi r} \iint_{S_A-S_B} & -E_{ay}(\bar{r}_a)(\cos^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \\
& + (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x (\sin^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \cos^2(\theta_i)) \\
& - \cos(\theta_i)\sin(\theta_i)(\cos(\theta_h)-1)((\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y - E_{ax}(\bar{r}_a)) \\
& \cdot e^{-jk\sqrt{r^2 + r_a^2}} + jk(\bar{r} \cdot \hat{r}_a) \, dS
\end{aligned} \quad (6c)$$

en voor de kruispolarisatiecomponent:

$$\begin{aligned}
E_{cr}^y(\bar{r}_a) = \frac{-jk_e}{4\pi r} \iint_{S_A-S_B} & -E_{ax}(\bar{r}_a)(\cos^2(\theta_i) + \sin^2(\theta_i)\cos(\theta_h)) \\
& - (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y (\cos^2(\theta_i)\cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \\
& + \cos(\theta_i)\sin(\theta_i)(\cos(\theta_h)-1)((\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x + E_{ay}(\bar{r}_a)) \\
& \cdot e^{-jk\sqrt{r^2 + r_a^2}} + jk(\bar{r} \cdot \hat{r}_a) \, dS
\end{aligned} \quad (6d)$$

Zoals blijkt is de grootste bijdrage aan de kruispolarisatiecomponent van het verzeeld afkomstig van de kruispolarisatiecomponent in de apertuur. Deze bijdrage vertoont een kleine hoekafhankelijkheid van  $\theta_h$ .

Het is illustratief dit laatste nader toe te lichten aan de hand van het gefocusseerde geval. Indien het apertuurveld in de x-richting gepolariseerd is, vereenvoudigen bovenstaande formules tot (Appendix 1):

$$E_{co}(\vec{r}) = \frac{-jke}{4\pi r} e^{-jk r} (\cos(\theta) - 1) \iint_{S_A - S_B} E_{ax}(\vec{r}_a) e^{-jk(\vec{r}, \vec{r}_a) + jk(\vec{r}, \vec{r}_a)} dS \quad (7a)$$

$$E_{cr}(\vec{r}) = \frac{-jke}{4\pi r} e^{-jk r} (\cos(\theta) - 1) \iint_{S_A - S_B} E_{ay}(\vec{r}_a) e^{-jk(\vec{r}, \vec{r}_a) + jk(\vec{r}, \vec{r}_a)} dS \quad (7b)$$

De verreveld kruispolarisatiecomponent blijkt nu geheel afkomstig te zijn van de apertuurkruispolarisatiecomponent, zoals ook Rusch [3, pag. 154] aangetoond heeft. Indien in dit geval een feed met Huygensbron verreveldpolarisatie wordt gebruikt (volgens de derde definitie van Ludwig is het verreveld van deze feed dan kruispolarisatie vrij) dan is het apertuurveld zuiver lineair gepolariseerd ( $E_{ay} = 0$ ). Dientengevolge is het verreveld kruispolarisatievrij (zie (7)), hetgeer door Safak en Delogne [6] wordt bevestigd.

### 1.3 Het feedsysteem

#### 1.3.1 de feed

In voorgaande paragraaf hebben we gezien dat de verreveld kruispolarisatiecomponent nagenoeg geheel bepaald wordt door de apertuurkruispolarisatiecomponent. Deze laatste is het gevolg van enerzijds een feed met kruispolarisatie, zoals het geval van de gefocusseerde antenne in voorgaande paragraaf toonde, anderzijds defocussing van de feed, zoals in paragraaf 1.5 wordt aangetoond.

Door ons is een eenvoudig geïdealiseerd feedmodel gehanteerd, dat vergeleken met een praktische feed een verwaarloosbare onnauwkeurigheid in de door ons uitgevoerde verreveldberekeningen introduceert, zoals in het nu volgende uiteengezet wordt voor de Potterfeed [7]. Elders [27] is dit gedaan voor een dielectrische staafantenne, die mede door zijn gunstige geometrische eigenschappen goed bruikbaar blijkt als hulpfeed (Hoofdstuk 4).

De verreveld polarisatierichting van de geïdealiseerde feed wordt beschouwd als van een Huygensbron. Bij polarisatie in de x-richting geldt dan voor de eenheids polarisatievector in het verreveld [1, pag 87]:

$$\begin{aligned} \hat{N}_x = & \hat{a}_x (\sin^2(\theta_i) + \cos^2(\theta_i) \cos(\theta_h)) + \\ & \hat{a}_y \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) (\cos(\theta_h) - 1) - \\ & \hat{a}_z \sin(\theta_h) \cos(\theta_i) \end{aligned} \quad (8)$$

Bij polarisatie in de y-richting geldt dan (zie Fig. 3):

$$\begin{aligned} \hat{N}_y = & \hat{a}_x \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) (\cos(\theta_h) - 1) + \\ & \hat{a}_y (\sin^2(\theta_i) + \cos^2(\theta_i) \cos(\theta_h)) - \\ & \hat{a}_z \sin(\theta_h) \sin(\theta_i) \end{aligned} \quad (9)$$

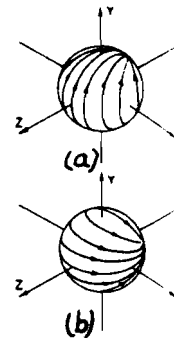


Fig. 3 De verreveldpolarisatie-richting van een Huygensbron bij (a) x-polarisatie (b) y-polarisatie

De gairfunctie van de geïdealiseerde feed is van het cos-type, waarvoor geldt (par. 1.1):

$$G_f = \begin{cases} 2(N+1) \cos^N(\theta_h) & 0 < \theta_h < \pi/2 \\ 0 & \pi/2 < \theta_h < \pi \end{cases} \quad (10)$$

v. Ommeren heeft de waarde van  $N$  zodanig bepaald dat het produkt van apertuur- en spillover rendement in het gefocusserde geval maximaal is (ongeveer 79%).

Een Potterfeed met de laagst mogelijke kruispolarisatie in de openingshoek waarbinnen de subreflector gezien wordt ( $\alpha < 14$  (grad.)) en een maximale gain, die gelijk is aan die van de geïdealiseerde feed ( $G_f(\theta, \phi) = 22.5$  dB), wordt vastgelegd door de volgende parameters:

$a = 2.494 \cdot \lambda$  de genormeerde straal van de apertuur  
 $\alpha = 0.395$  de modecoëfficiënt

(Voor een toelichting op deze parameters wordt naar appendix 3 verwezen)

Beide feeds zijn met elkaar vergeleken, waarvan de resultaten te zien zijn in Appendix 3. We zien daar tevens dat het kruispolarisatieniveau met een waarde  $< -50$  dB te verwaarlozen is. Het verschil in gain in de vereiste openingshoek tussen de beide feeds is kleiner dan 0.5 dB.

### 1.3.2 De feedverplaatsing

Indien de feed zich niet in de focus bevindt, is het geplaatst in een punt op het zogenaamde "optimale feedoppervlak". Dit oppervlak is bepaald door v. Ommeren, door de ongewenste faseafwijkingen in de apertuur volgens een bepaald algoritme te minimaliseren [1, par.3.6]. Tevens is de feed, indien uit de focus geplaatst, over een hoek  $\delta$  ten opzichte van de z-as geroteerd (zie Fig. 4). Voor elke positie van de feed op het "optimale feedoppervlak" is deze hoek door v. Ommeren zodanig bepaald, dat de spill-over aan de hoofd- en subreflector minimaal blijft.

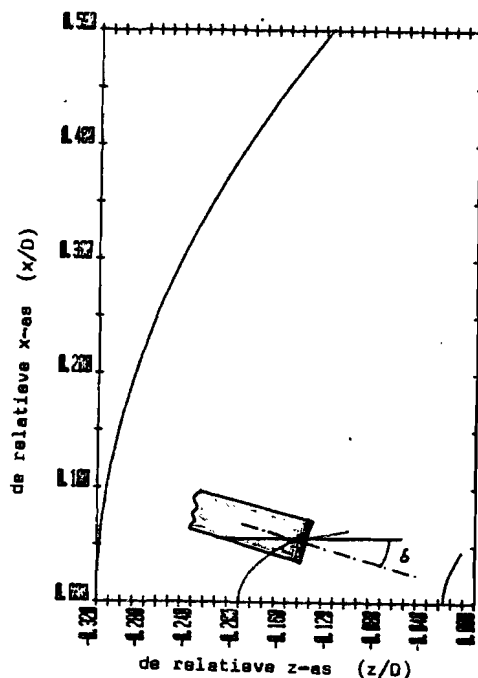


Fig. 4 De geometrie van het feedsysteem (ref.1, pag.56)

1.4 De kruispolarisatie in het verreveld van een  
 ---  
 -----  
 gedefocusseerd Cassegrain antennesysteem  
 -----  
 ---

Wanneer de feed over het "optimale oppervlak" verlaatst wordt, treedt een verschuiving op van het maximum in het stralingsdiagram. In de navolgende berekeningen hebben we slechts een feedverplaatsing in het  $\sin(\theta)=0$  vlak verondersteld, d.w.z. de verplaatsing in de  $y$ -richting is nul. Op grond van de rotatiesymmetrische eigenschappen van het antennesysteem introduceert deze veronderstelling geen wezenlijke beperking in de algemeenheid van de aanpak van dit probleem. Een voordeel van deze veronderstelling is dat het systeem nu, qua geometrie, volledig symmetrisch is geworden ten opzichte van het vlak  $\sin(\theta)=0$  (dit is het  $y$ - $z$ -vlak). Bij een feedverplaatsing in het  $\sin(\theta)=0$  vlak is nu te verwachten, dat het maximum van het stralingsdiagram zich tevens in dit vlak zal verplaatsen.

De scanhoek  $\theta_0$ , die de richting van dit maximum maakt met de symmetrieas van het systeem (Fig. 2b), noemen we de scanhoek. Deze kan met bovengenoemde veronderstelling berekend worden w.b.v. het programma 'RVS/THETAPAXBEPALING'. Dit is in Appendix 4 nader beschreven.

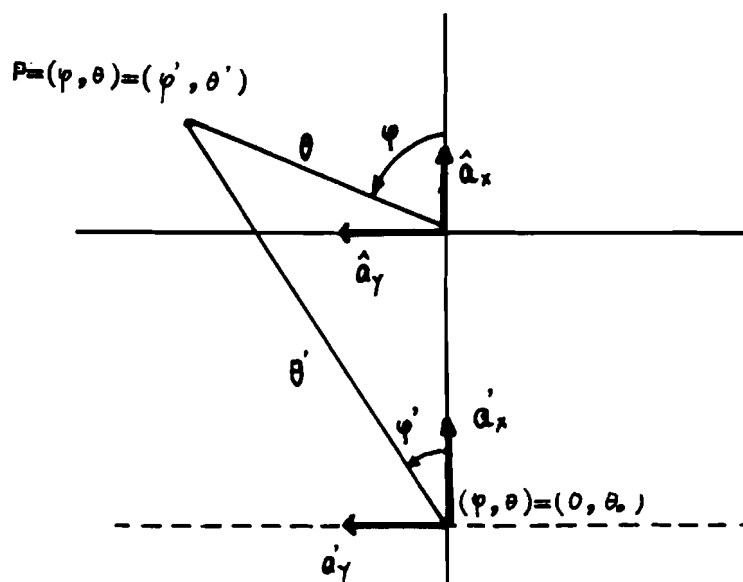


Fig. 5 De toegepaste coördinatentransformatie

Omdat de lineaire fase-term in het apertuurvlak aanleiding geeft tot een over de scanhoek  $\theta_0$  gescand verreveldpatroon, zijn de sneden, waarlangs het verreveld berekend is, steeds zodanig gekozen, dat deze door het maximum in het verreveld gaan en een, steeds vooraf opgegeven, hoek  $\theta_0$  maken met de  $x'$ -as. Deze keus leidt tot een nieuwe definitie van het verreveld coördinatenstelsel, zoals geïllustreerd is in



Fig.5. De formules voor de coördinatentransformatie van het oude  $(x,y,z)$ -stelsel naar het nieuwe  $(x',y',z')$ -stelsel zijn in Appendix 5 afgeleid.

Opgemerkt dient te worden dat de keuze van de sneden in deze studie afwijkt van die in eerder gemaakte studies naar het kruispolarisatiegedrag van antennesystemen. Meestal zijn de sneden gekozen door de oorsprong onder een hoek  $\phi$  met de  $x$ -as en loodrecht op het  $x$ - $y$ -vlak. Voorbeelden hiervan zijn te vinden in studies van v. Ommeren ( $\sin(\phi)=0$  vlak [1]), en van P. Krcezer [8] en S. Worm [5] (de vlakken  $\sin(\phi)=0$ ,  $\sin(\phi)=1/\sqrt{2}$  en  $\sin(\phi)=1$ ).

De in deze paragraaf getoonde verrevelde stralingsdiagrammen zijn alle in het  $(x',y',z')$ -coördinatenstelsel gegeven. De  $z'$ -as is nu een polaire hoek  $(\theta, \phi)=(\theta, 0)$  met de  $z$ -as.

De verrevelde berekeningen zijn uitgevoerd voor de scanhoeken  $\theta_0=-1.0501$  en  $\theta_0=-1.3671$  graden. De sneden maken steeds een hoek  $\phi' = 30, 45, 60, 90$  (grad.) met de  $x'$ -as. In zo'n snede varieert  $\theta'$  van  $-3$  tot  $+3$  (grad.). Een aantal verrevelde berekeningen zijn uitgevoerd voor zowel een  $x$ - als een  $y$ -richting gepolariseerde feed. Tabel 1 geeft van alle berekeningen en daarmee corresponderende figuren een overzicht. (Fig. 6 is identiek aan Fig. 4.29 in [1]) De verrevelde stralingsdiagrammen zijn niet genormeerd op de maximale gain in de voorwaartse richting, zodat deze voor de verschillende scanhoeken met elkaar vergeleken kunnen worden. Tevens zijn voor elk berekend geval de fase-diagrammen van het verrevelde weergegeven, omdat dit bij het synthese-probleem in hoofdstuk 2 een belangrijke rol speelt.

Tabel 1 Overzicht van de verrevelddiagrammen en hun parameters

Hoofdpolarisatie richting	scanhoek $\theta_0$ (grad.)	verrevelde-component	$\phi'$ (grad.)	nummer figuur
x	0	co	45	6
x	0	cross	45	7
x	-1.0501	co	45	8
x	-1.0501	cross	45	9
y	-1.0501	co	45	10
y	-1.0501	cross	45	11
x	-1.0501	co	90	12
x	-1.0501	cross	90	13
y	-1.0501	co	90	14
y	-1.0501	cross	90	15
x	-1.3671	cross	30	16
x	-1.3671	cross	60	17
x	-1.3671	cross	90	18
x	-1.0501	cross	45	19
x	-1.3671	cross	45	20

Het blijkt dat voor  $\theta' = 90$  graden een asymmetrisch verrevelde bestaat. Deze asymmetrie uit zich onder andere in het omhoogkomen van de eerste zijlus aan de rechterzijde ( $\theta' > 0$ ), hetgeen volgens v. Ommen toe te schrijven is aan een combinatie van de veldverdeling en het faseverloop in de apertuur.

Voor  $\theta' = 90$  graden zijn beide amplitudediagrammen steeds symmetrisch rond  $\theta' = 0$ , hetgeer op grond van symmetrie-overwegingen te verwachten is. Het fasegedrag echter toont voor de hoofdpolarisatie een even en voor de kruispolarisatiecomponent een oneven karakter. Op dit laatste wordt in Paragraaf 1.6 dieper ingegaan.

Naast de regelmatig optredende fasesprongen van  $\pm 180$  graden is in het faseverloop van de kruispolarisatiecomponent voor  $\theta' \neq 90$  graden een lineaire fase-term aanwezig. Deze term is afhankelijk van de grootte van de scanhoek  $\theta_0$  en de hoek  $\theta'$ , die de snede maakt met de  $x'$ -as. Dit fenomeen is toe te schrijven aan het feit dat de kruispolarisatie veldverdeling in de apertuur niet symmetrisch is t.o.v. de  $y$ -as, zoals in paragraaf 1.6 wordt aangetoond.

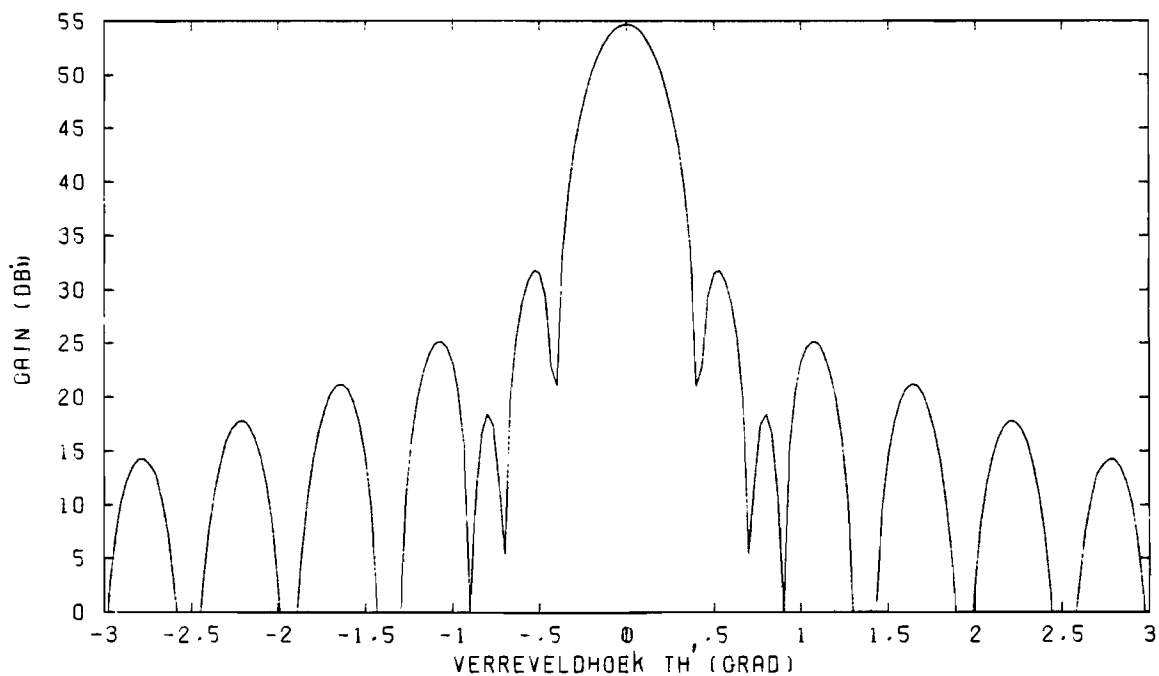
De polarisatierichting van de feed is voor de berekende verrevelde hoeken en de relatief kleine scanhoek  $\theta_0$  niet merkbaar van invloed op de verrevelde componenten van de antenne. De consequentie hiervan is dat de plaats op aarde, en daarmee samenhangend, de vereiste polarisatierichting in een grondstationantenne van weinig invloed is op de verrevelde eigenschappen bij scanning. Dit is vooral voor het synthese-probleem in hoofdstuk 2 van bijzonder belang. Dat er een weliswaar klein verschil in beide diagrammen aanwezig is, wordt in paragraaf 1.5 aangetoond.

De zeer kleine kruispolarisatie bij het 'gefocusseerde' geval in Fig. 7 is het gevolg van het numeriek berekenen van de feedpositie. Ten gevolge hiervan bevindt de feed zich niet exact in de focus.

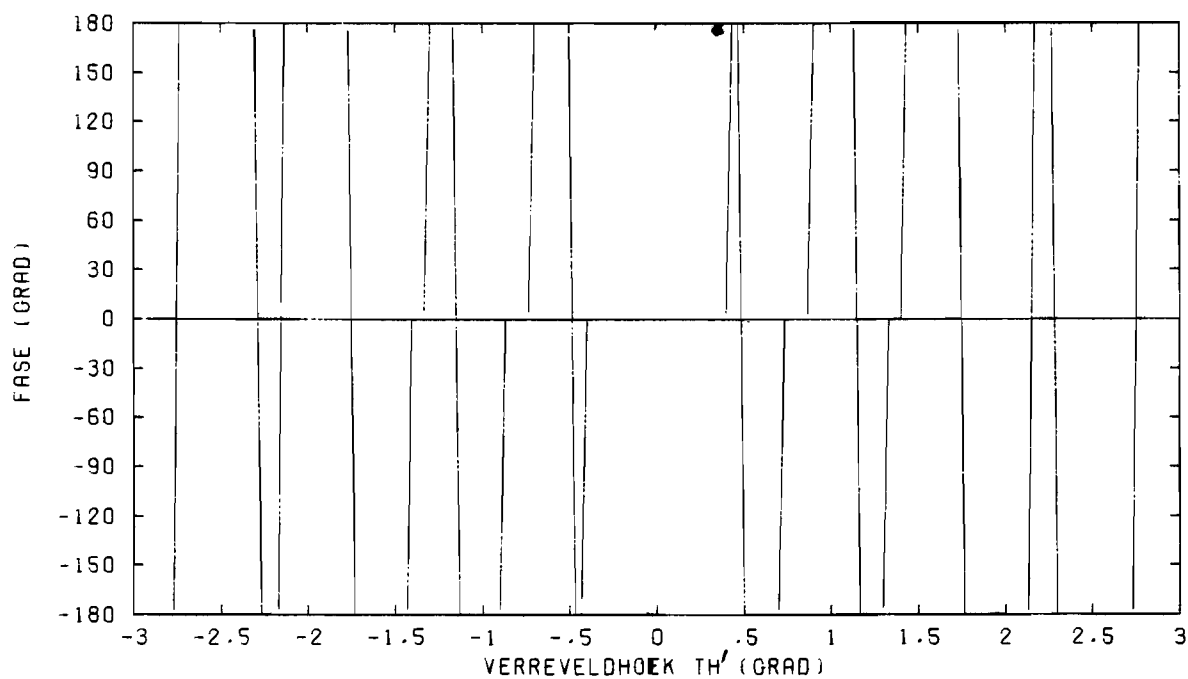
Bij een gegeven scanhoek  $\theta_0$  wordt het maximale niveau van de kruispolarisatiecomponent groter bij toenemende  $\cos(\theta')$ . Alle maxima in het kruispolarisatiediagram liggen bij dezelfde hoeken  $\theta'$ . De indruk dat de maxima van de kruispolarisatiecomponent zich in halve cirkelvormige posities rond de scanhoek  $\theta_0$  bevinden, wordt bevestigd door Fig. 21 en 22. Fig. 22 toont het niveau van de kruispolarisatiecomponent, berekend op concentrische cirkels met straal  $\theta'$  en centrum  $\theta' = 0$  in een der hoofdlussen ( $0.035 < \theta' < 0.431$  graden). Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die door P. Kroezen [9] gevonden in een studie naar front-gevoede parabolantennes. Immers veronderstellen we, dat de kruispolarisatiecomponent van het verrevelde in de door hem bestudeerde antenne in essentie gelijk is aan die van de door ons beschouwde Cassegrain-antenne en nemen we een snede, die door de oorsprong gaat en een hoek  $\theta' = 45$  (graden) maakt met de  $x$ -as, dan komt het aldus geconstrueerde kruispolarisatiediagram overeen met het door P. Kroezen

berekende patroon ([8, Fig. 3.11]). Eenzelfde conclusie kan worden getrokken na vergelijking met de resultaten van het werk van S. Worm [5]. Het door ons gevonden verreveldgedrag en een door P. Kroezen berekend verreveldpatroon voor  $\theta = 45$  graden, zijn in Fig. 23 geïllustreerd.

In alle diagrammen is bij de hoek  $\theta' = \pm 0.274$  een discontinuïteit waar te nemen. In Fig. 21 doen deze zich voor als 'deuken' in de berekende contouren. Bij deze hoek wordt in de berekening van het verreveld van de dubbelintegraal-methode ( $-0.274 < \theta' < 0.274$ ) overgegaan op de stationairefasemethode ( $\theta' < -0.274$  en  $\theta' > 0.274$ ) [1, 28]. Deze discontinuïteiten manifesteren zich vooral bij de kruispolarisatiecomponent. Ook zien we dat vooral in de kruispolarisatiecomponent discontinuïteiten optreden bij de fase, wanneer de amplitude erg klein wordt.

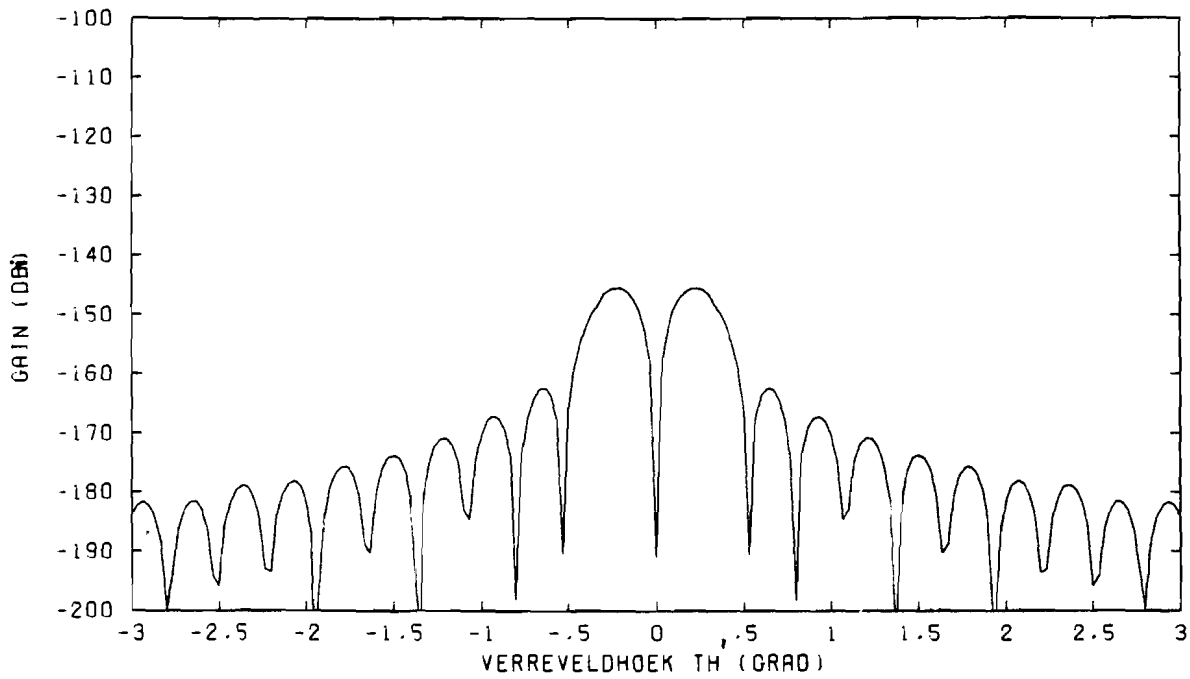


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

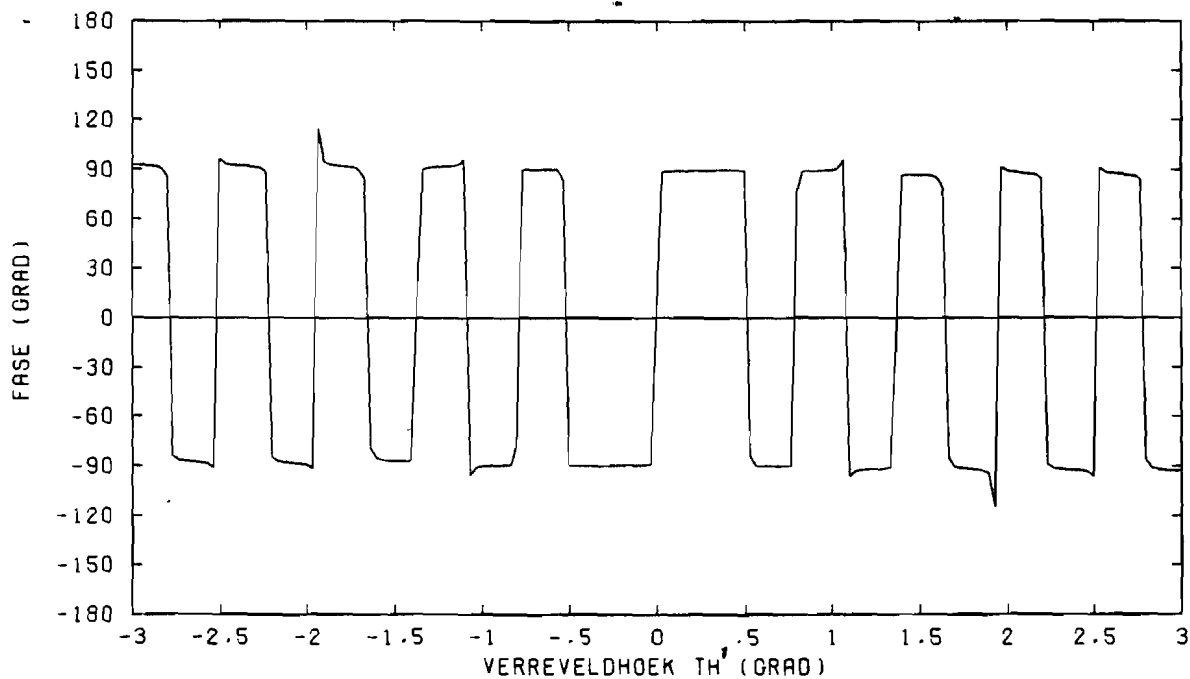


(B) FASEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 6 De hoofdpolarisatiecomponent van het verreveld voor het gefocuseerde geval, polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\theta' = 45$  (grad.)

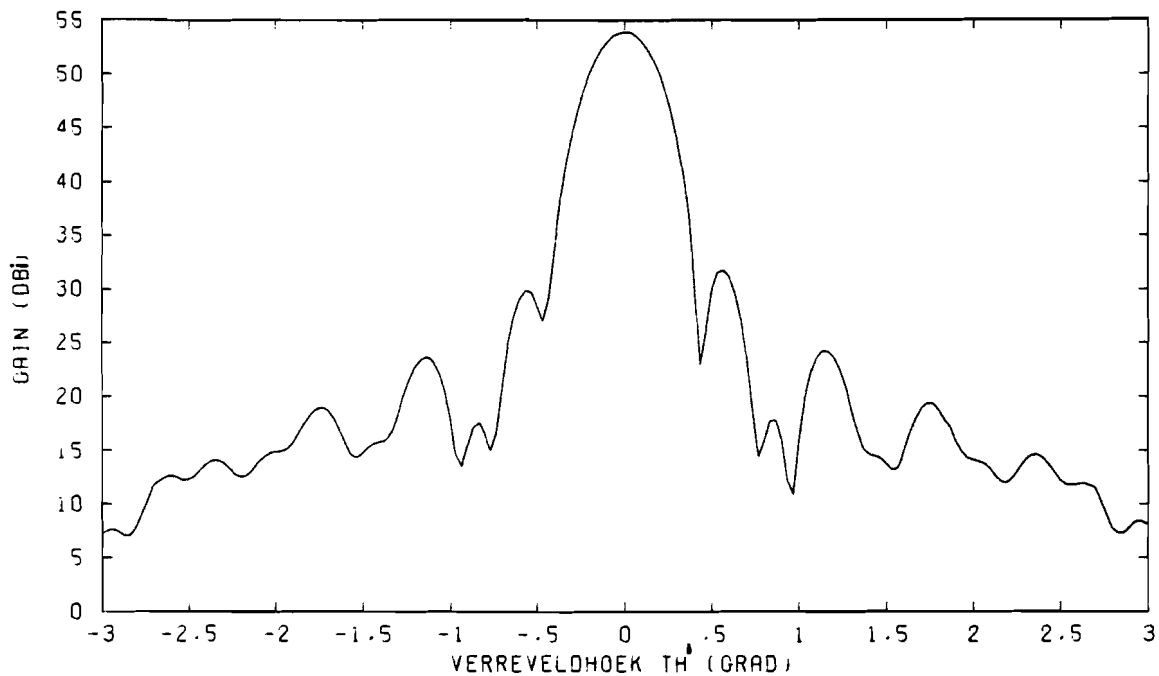


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

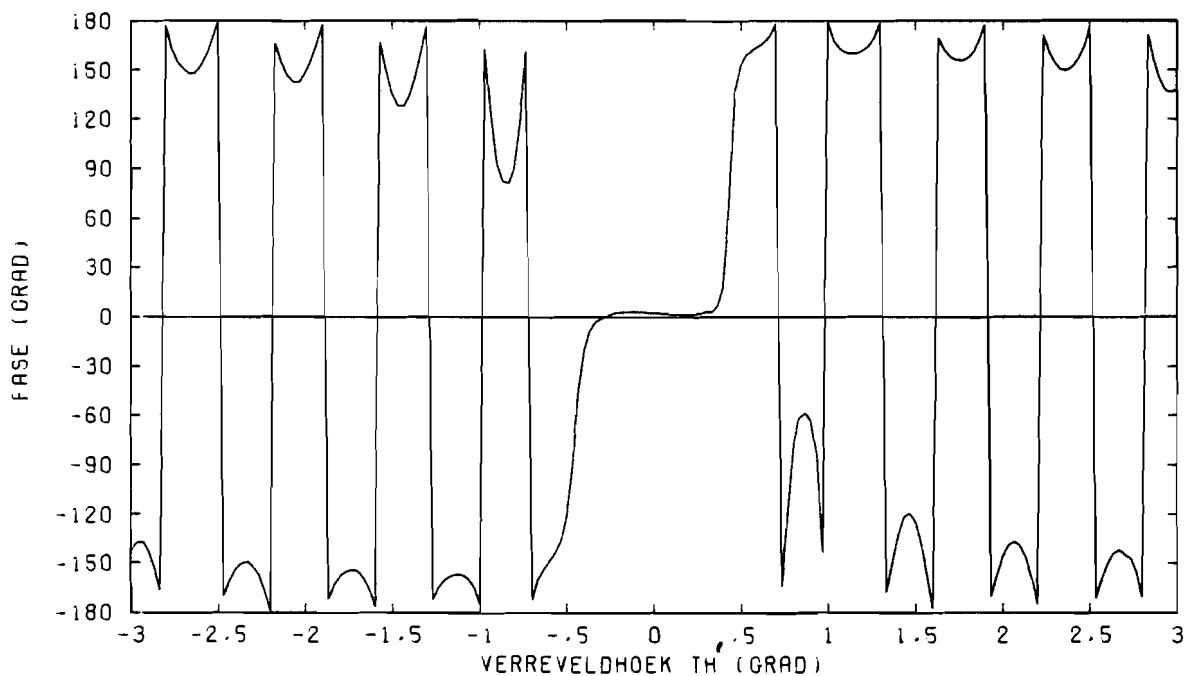


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 7 De kruispolarisatiecomponent van het verreveld voor het gefocuseerde geval, polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 45$  (grad.)

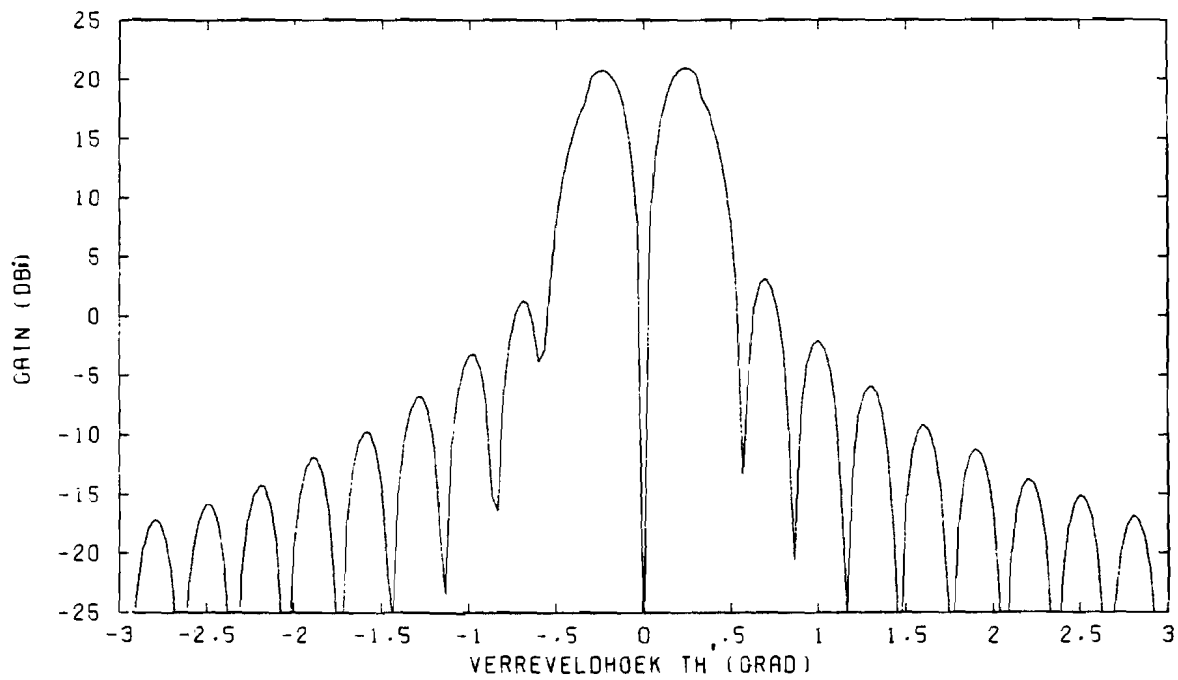


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

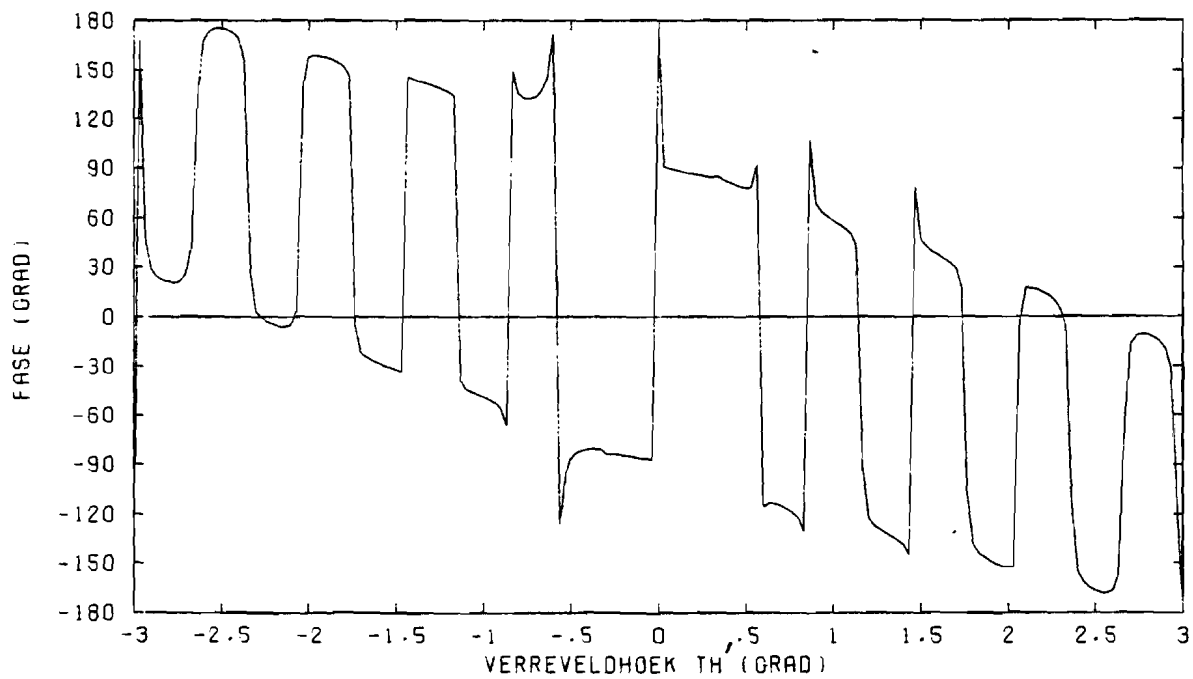


(B) FASEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 8 De hoofdpolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 45$  (grad.)

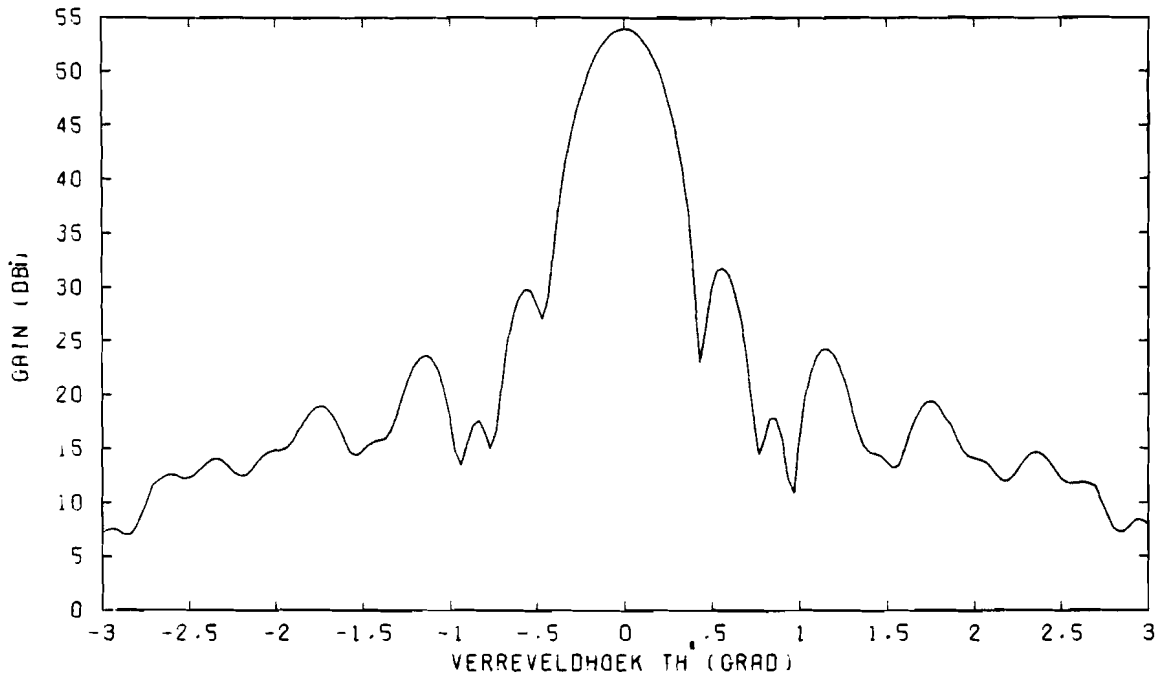


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

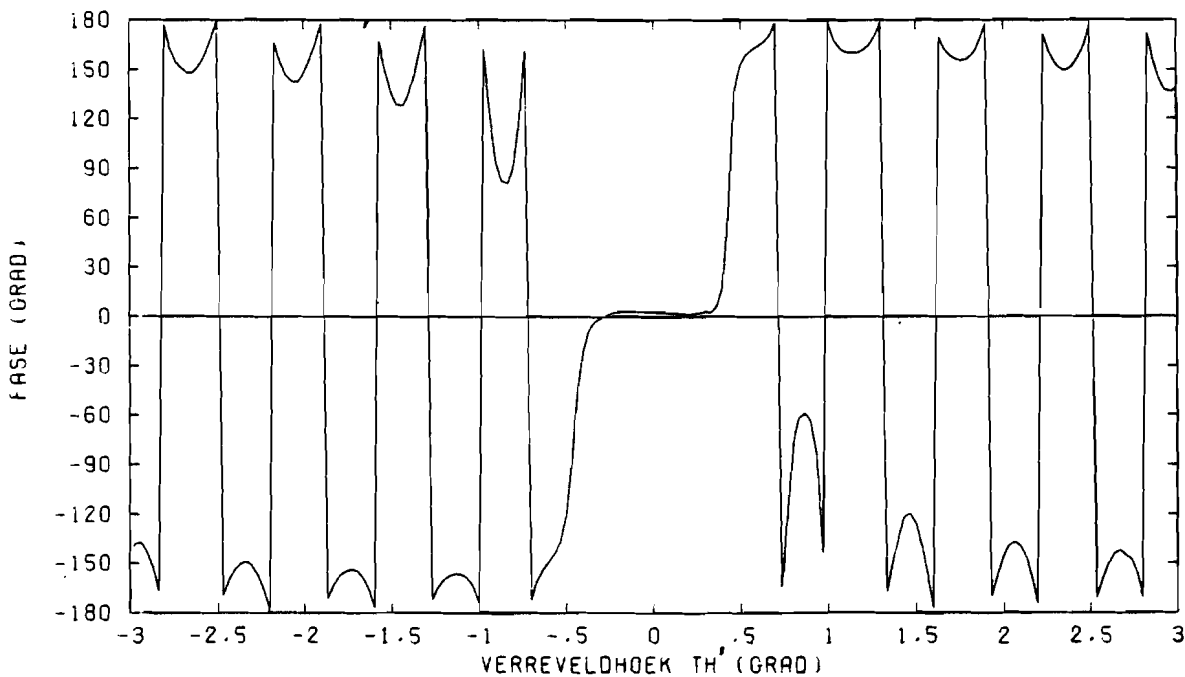


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 9 De kruispolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 45$  (grad.)



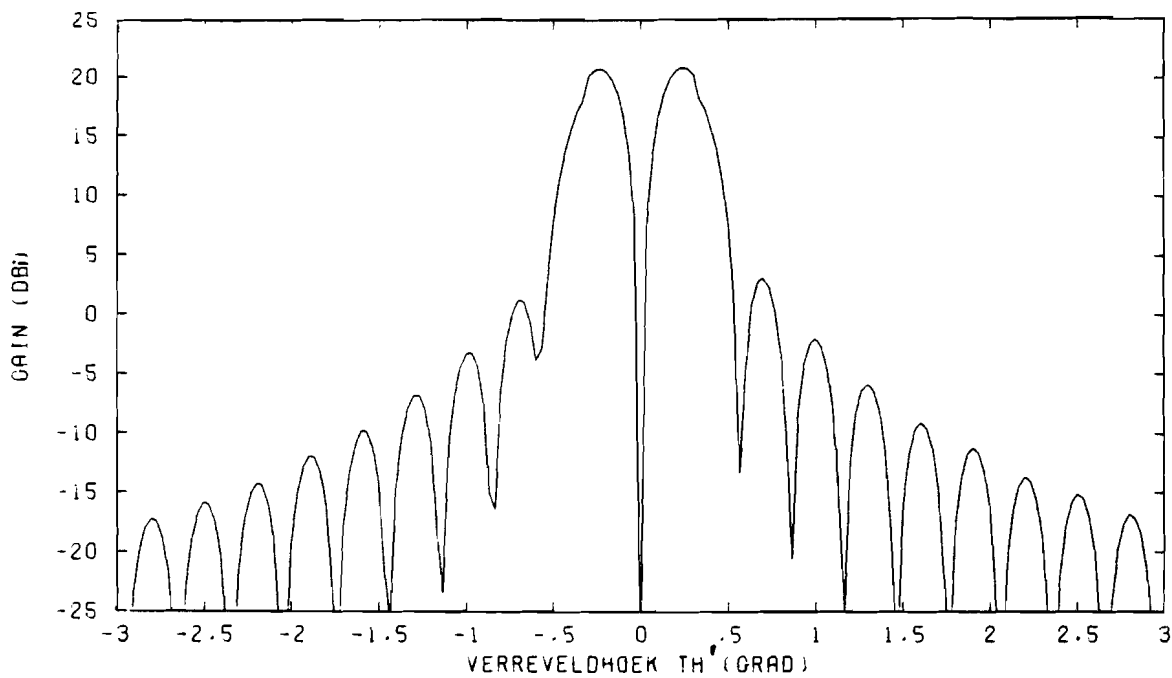
(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT



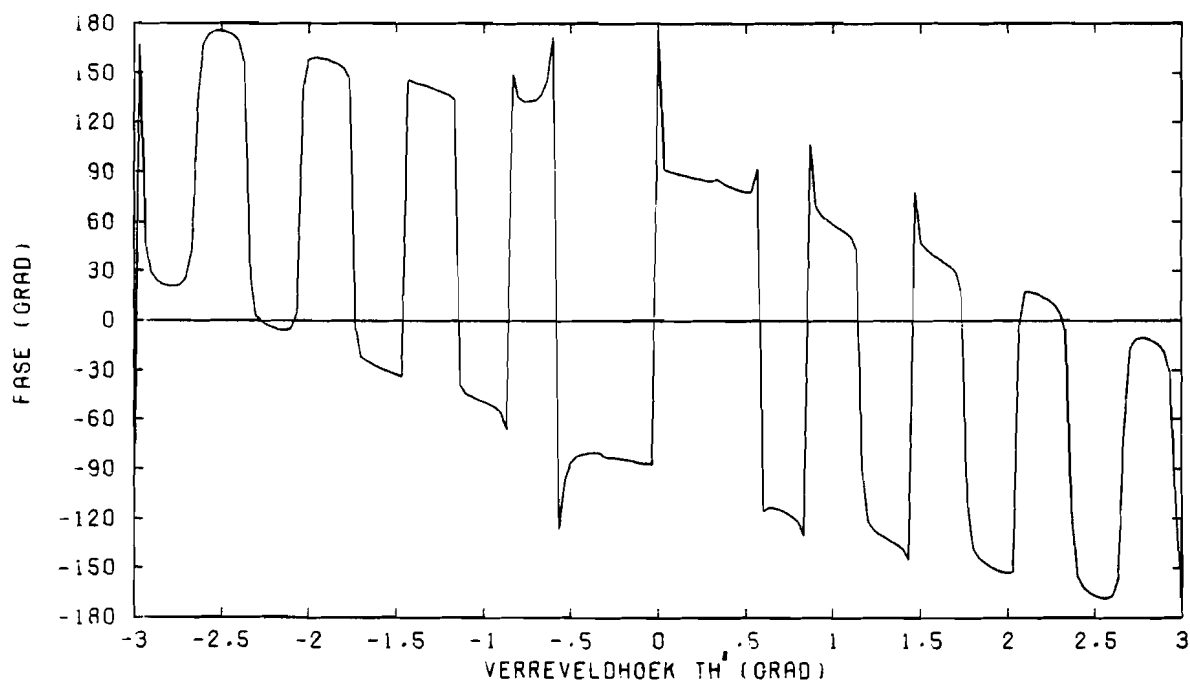
(B) FASEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 10 De hoofdpolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de y-richting, snedehoek  $\phi' = 45$  (grad.)



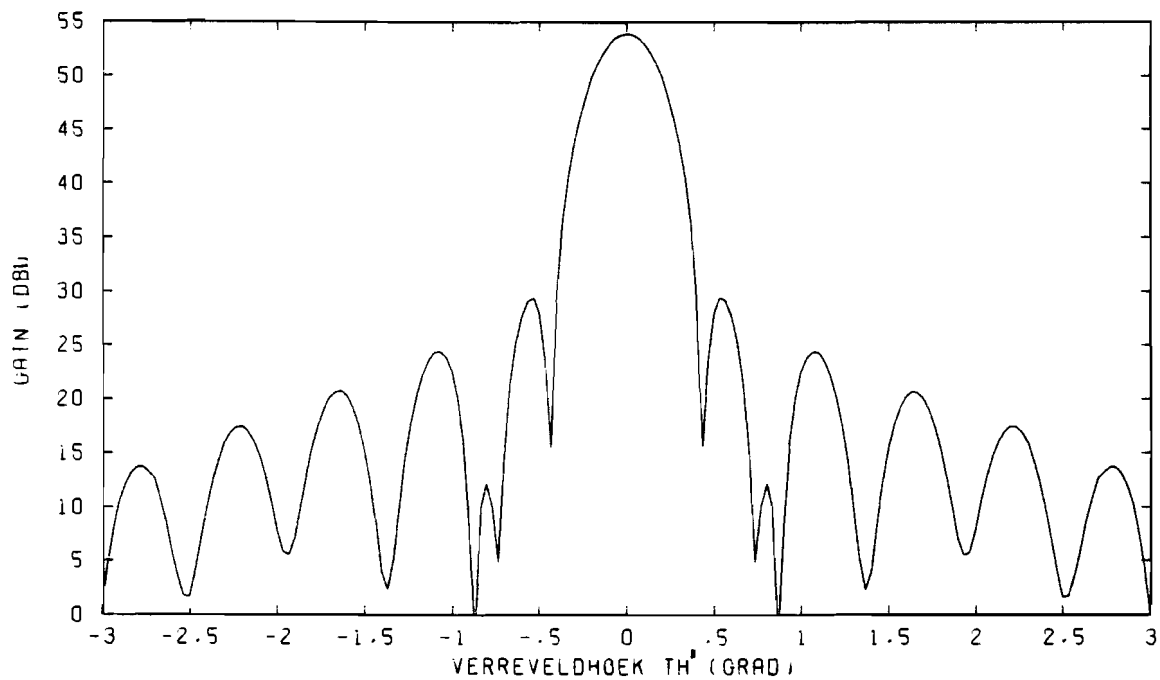


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

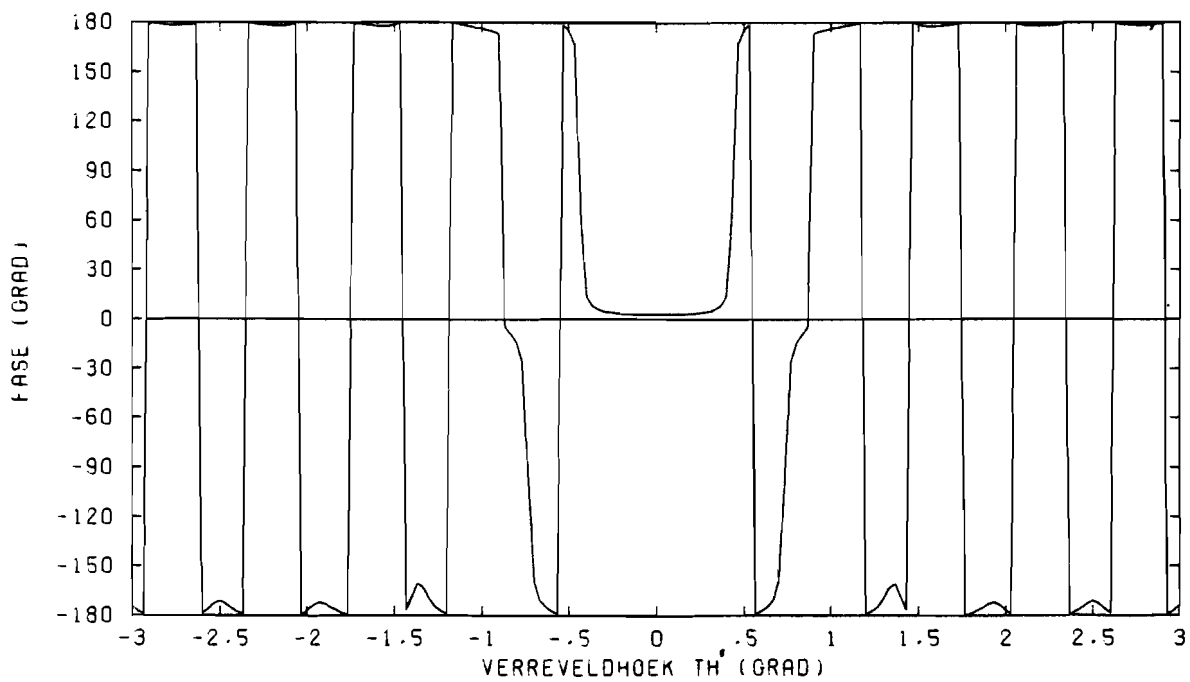


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 11 De kruispolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de y-richting, snedehoek  $\phi' = 45$  (grad.)

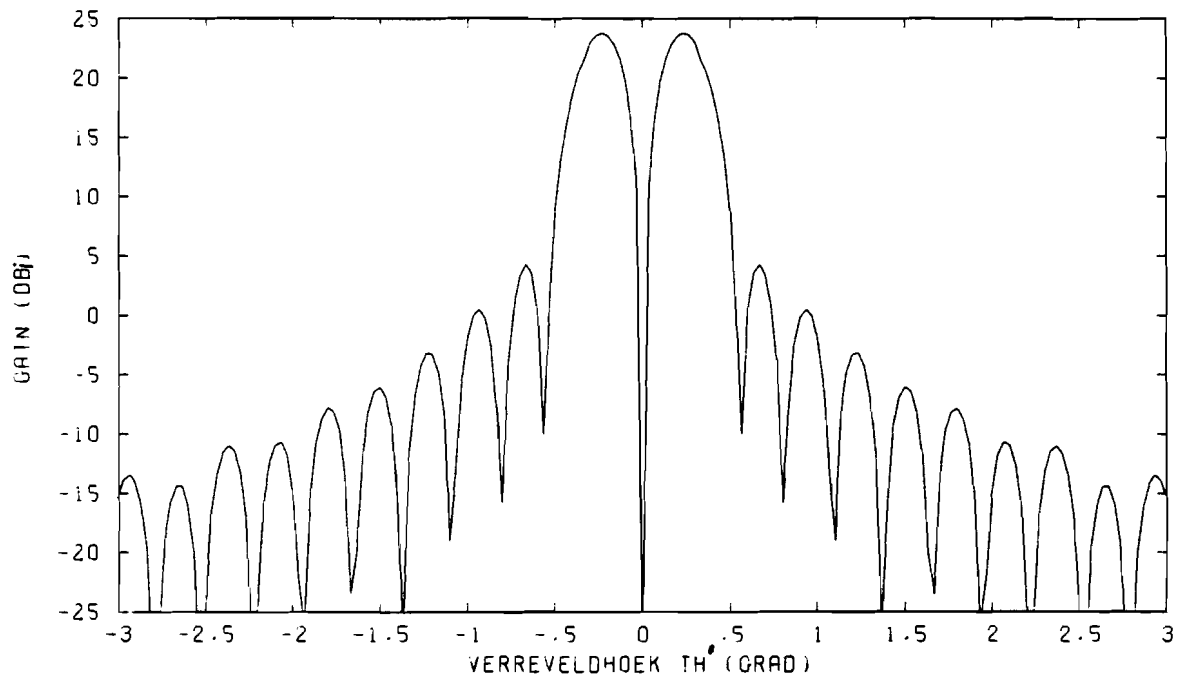


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

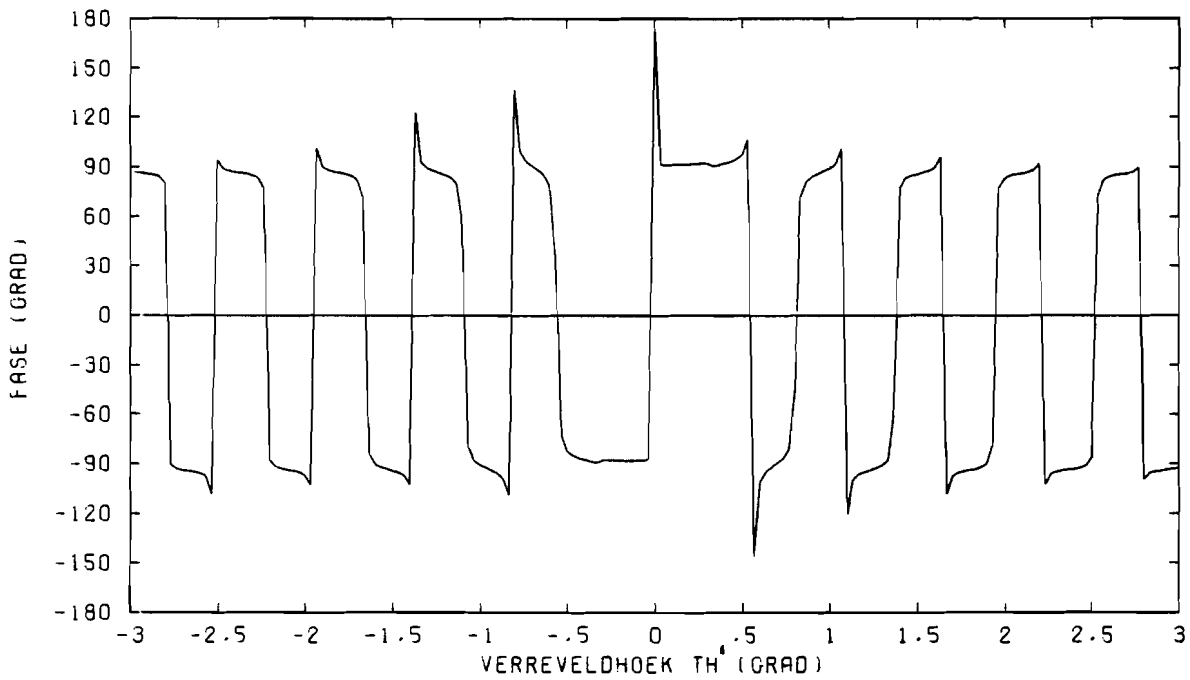


(B) FASEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 12 De hoofdpolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = 1.0501$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 90$  (grad.)

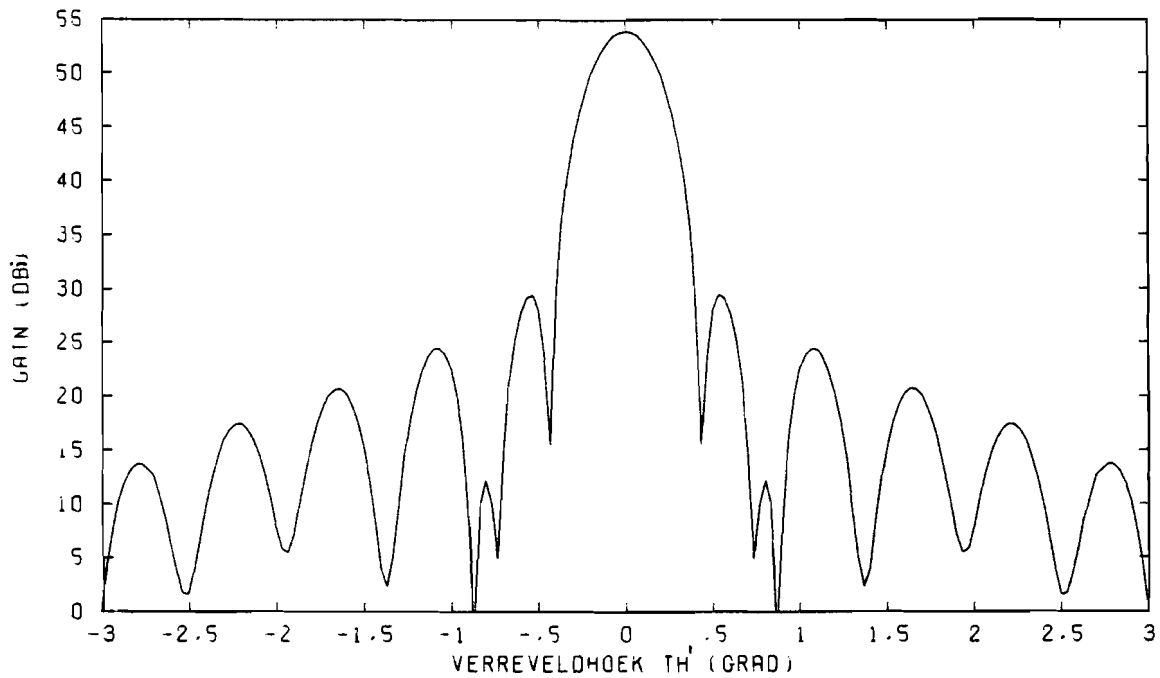


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

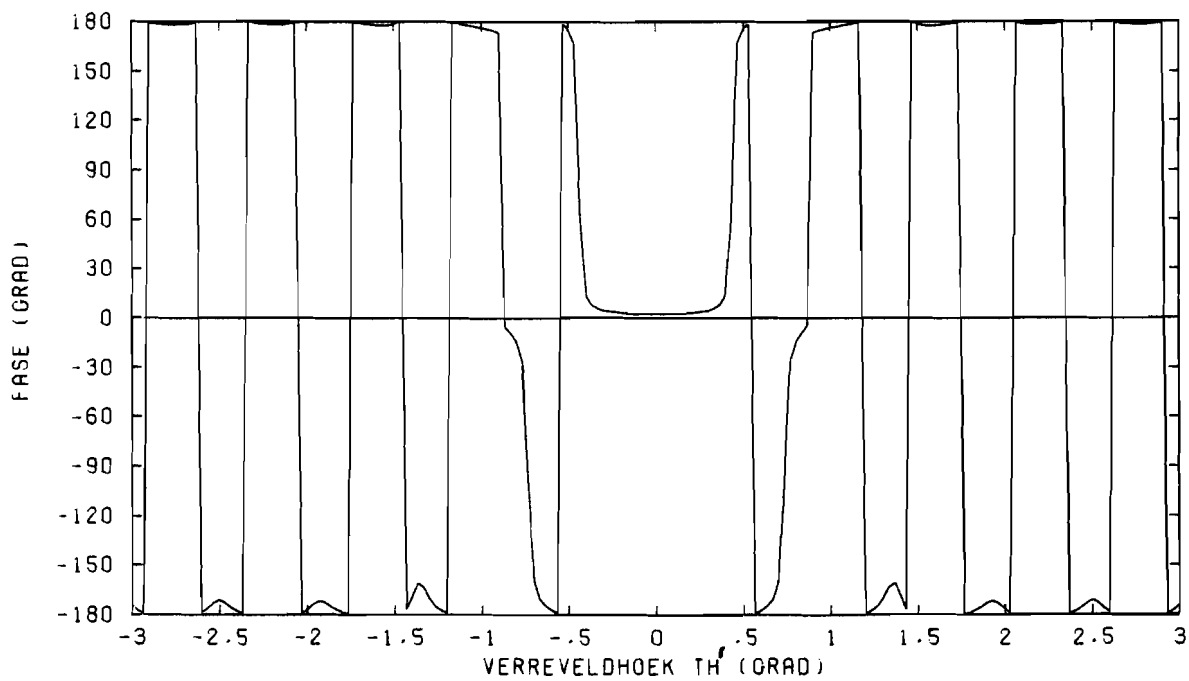


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 13 De kruispolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 90$  (grad.)

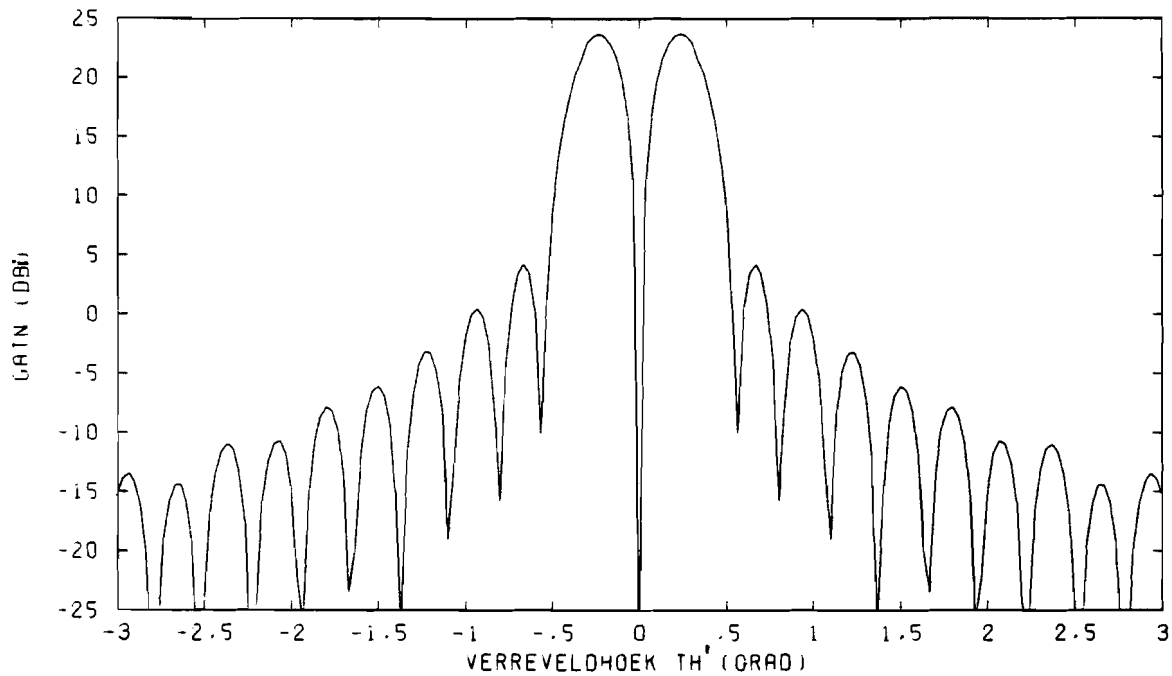


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

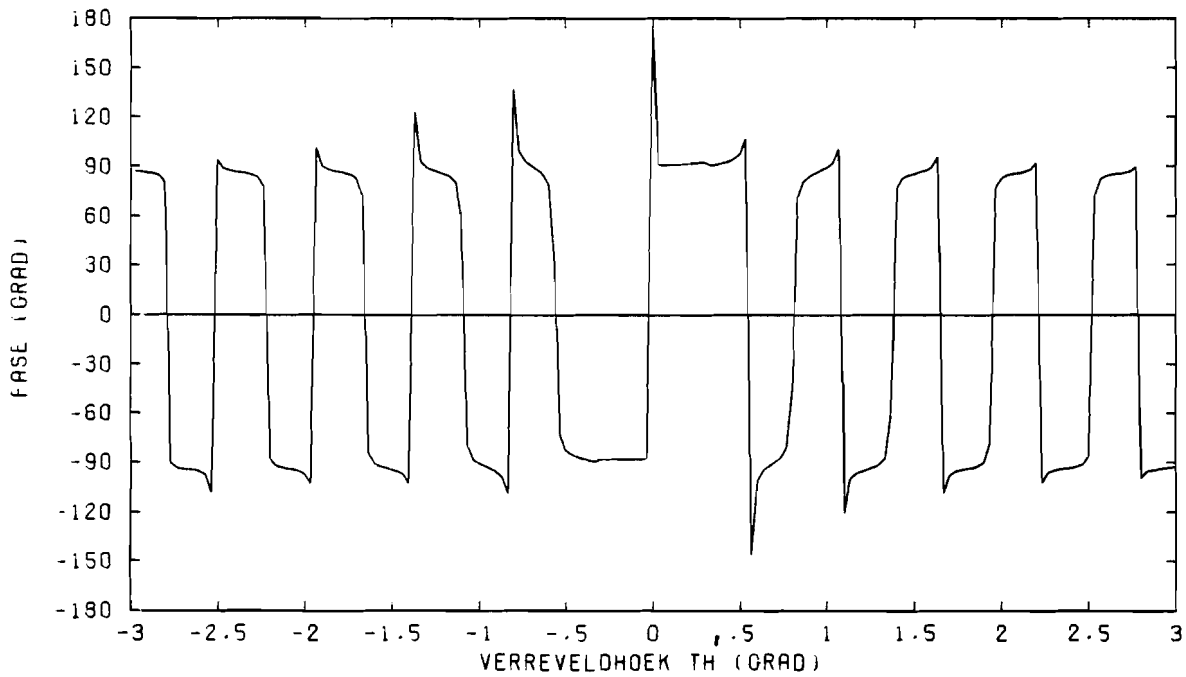


(B) FASEDIAGRAM VAN DE HOOFDPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 14 De hoofdpolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de y-richting, snedehoek  $\phi' = 90$  (grad.)

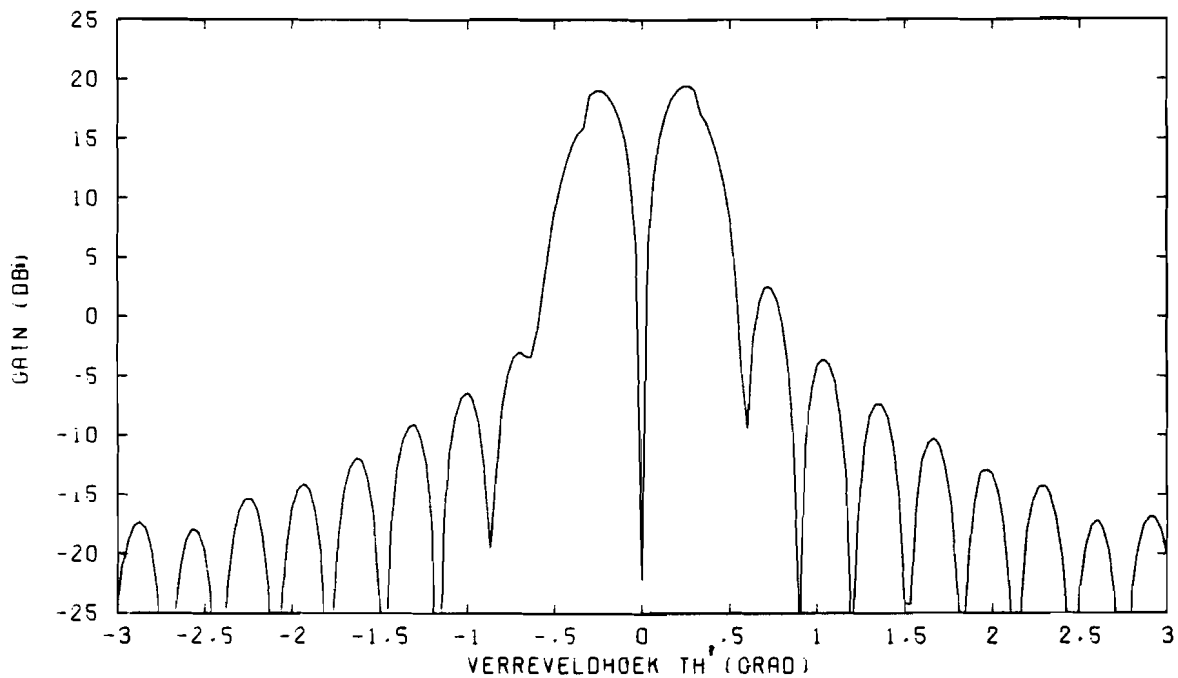


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISSPOLARISATIE COMPONENT

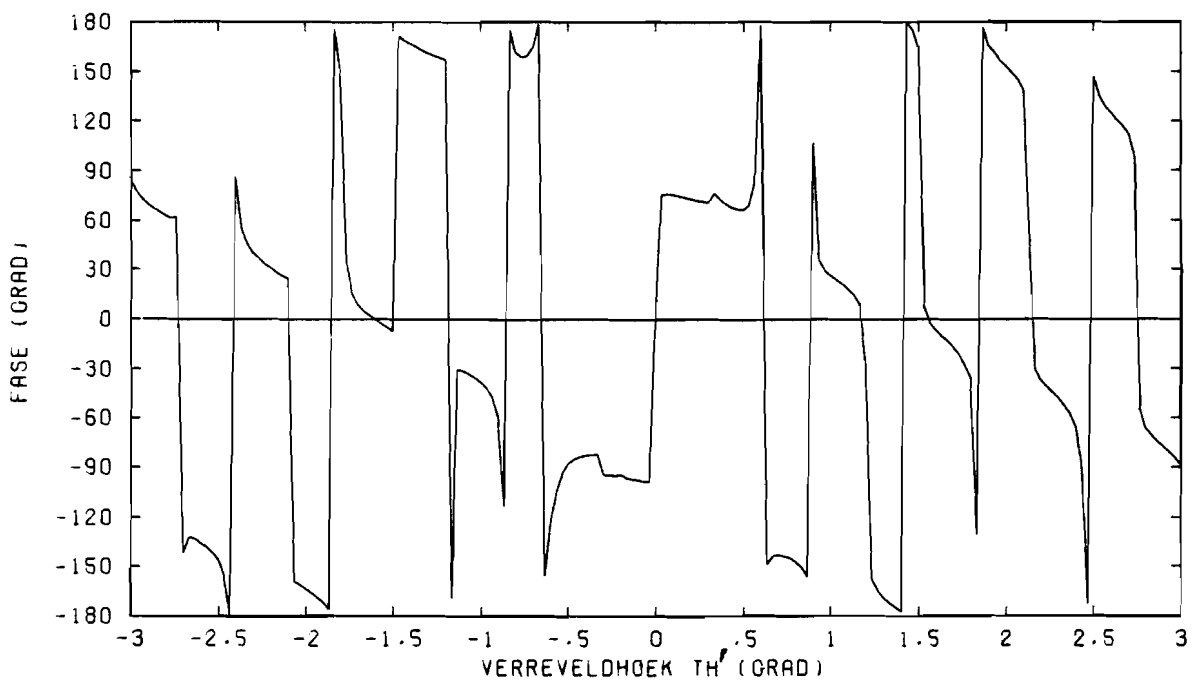


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISSPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 15 De kruispolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.0501$  (grad.), polarisatie in de y-richting, snedehoek  $\phi' = 90$  (grad.)

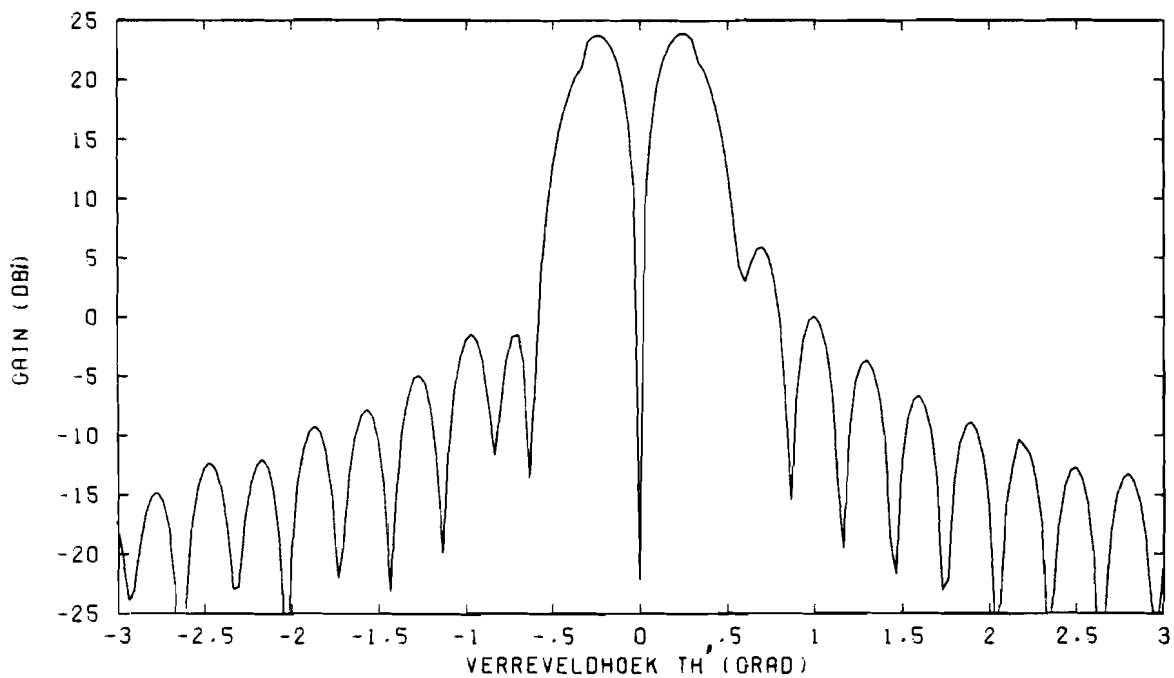


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

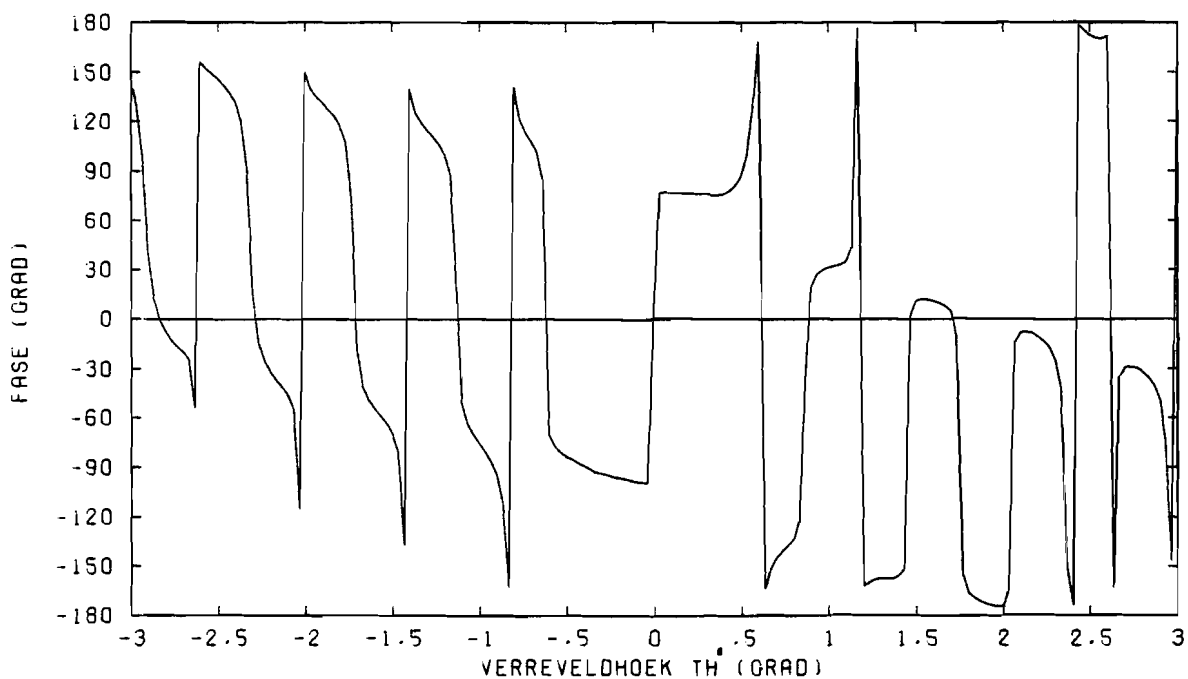


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 16 De kruispolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.3671$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snijhoek  $\phi_1' = 30$  (grad.)

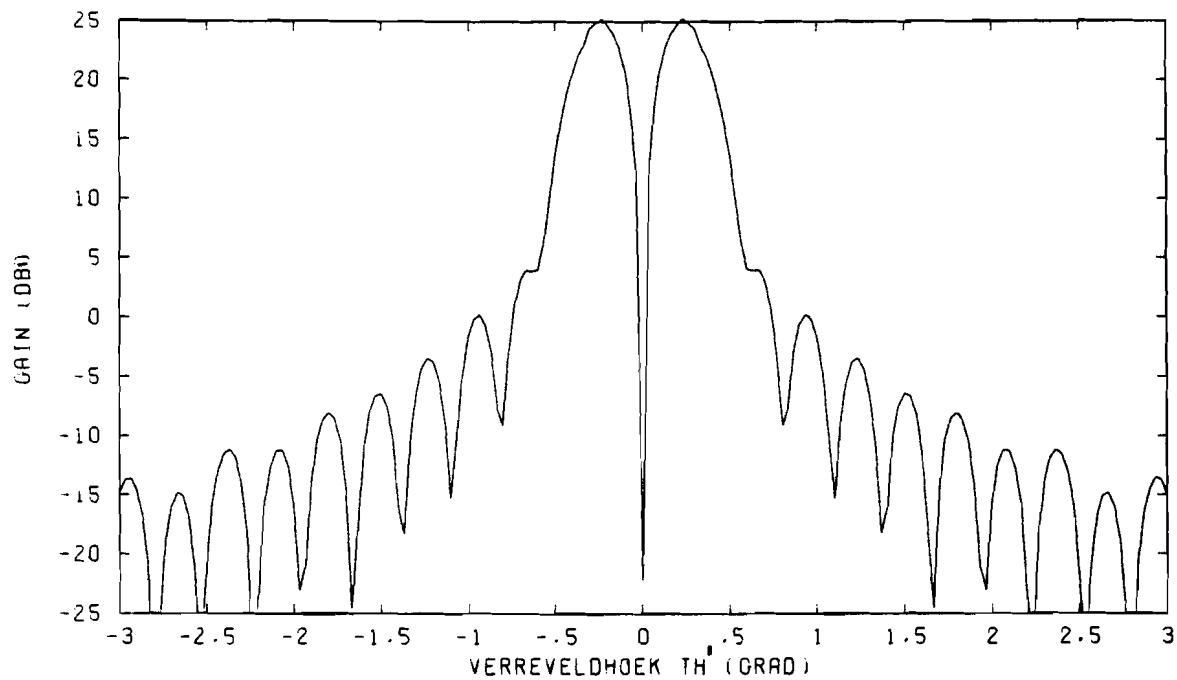


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

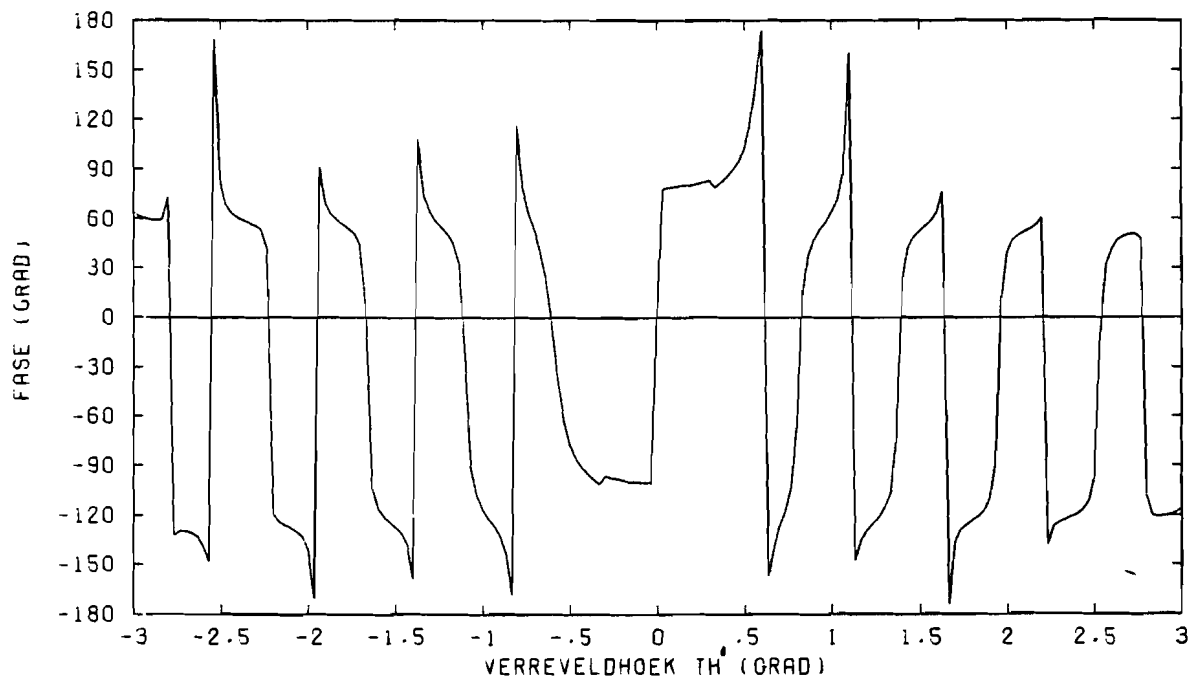


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 17 De kruispolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.3671$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 60$  (grad.)



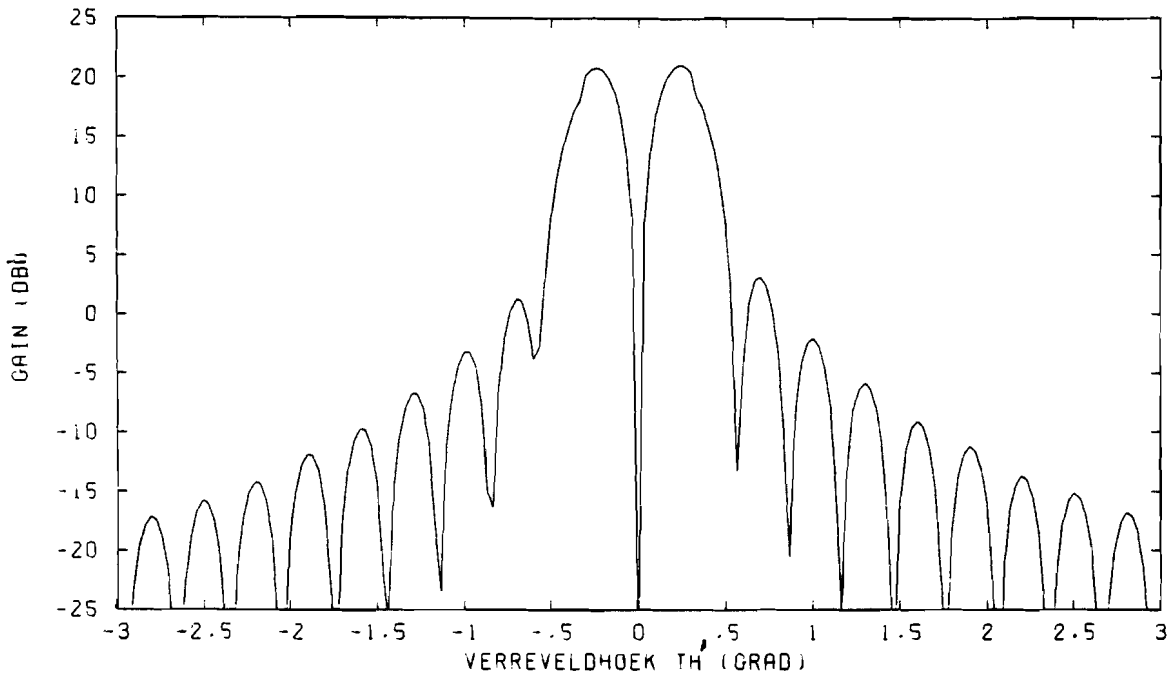
(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT



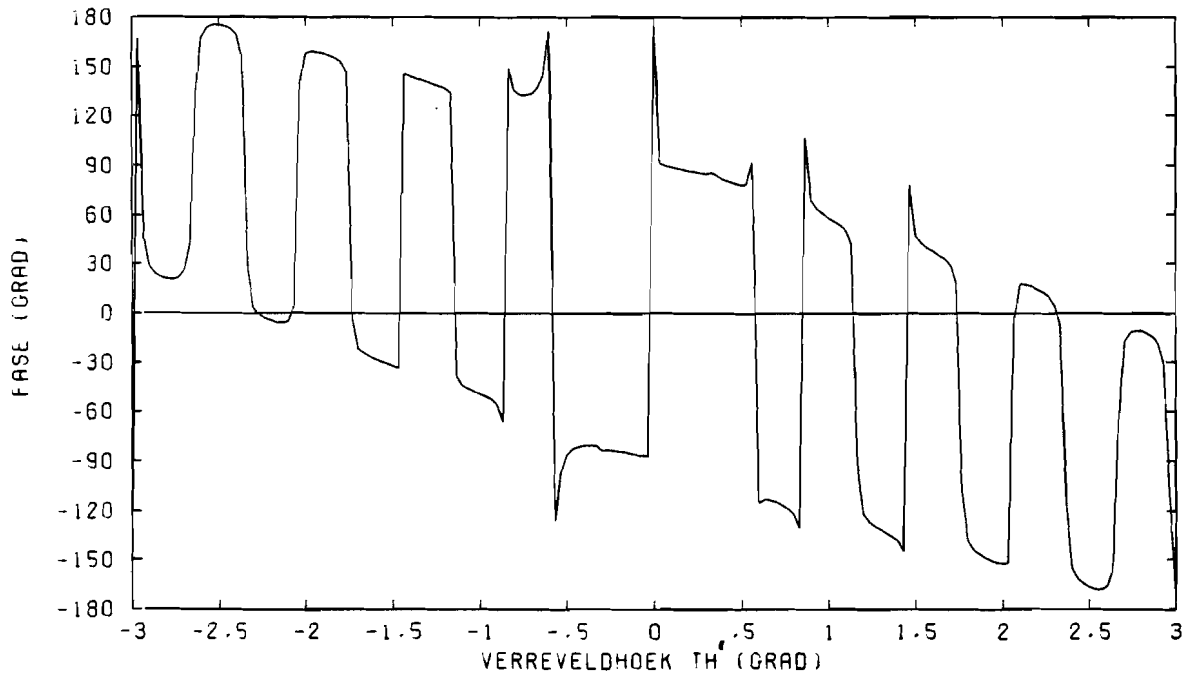
(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 18 De kruispolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.3671$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi' = 90$  (grad.)



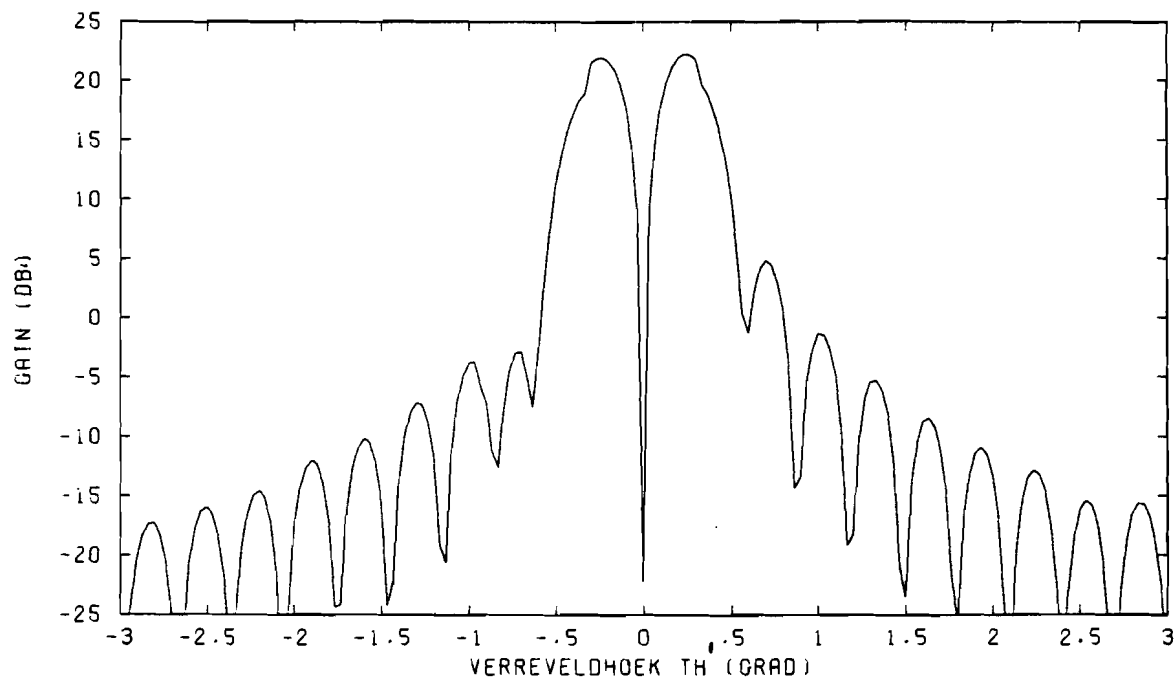


(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

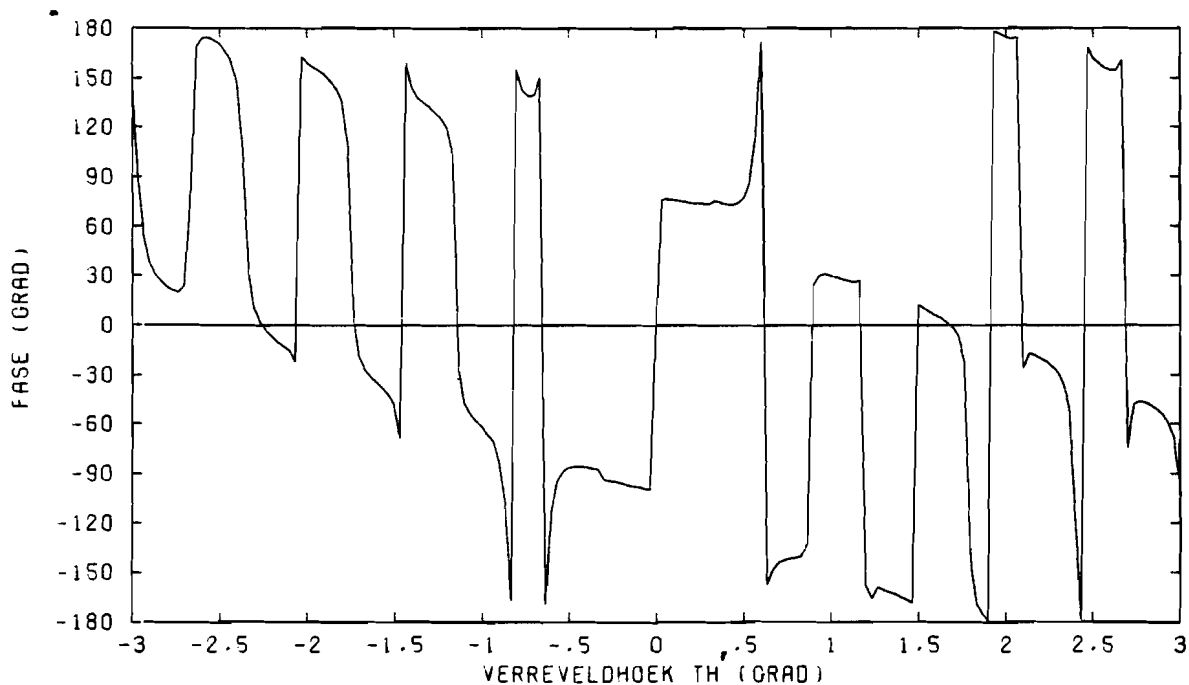


(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 19 De kruispolarisatiecomponent van het verzeveld voor de scanhoek  $\theta_0 = 1.0501$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi = 45$  (grad.)



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT



(B) FASEDIAGRAM VAN DE KRUISPOLARISATIE COMPONENT

Fig. 20 De kruispolarisatiecomponent van het verreveld voor de scanhoek  $\theta_0 = -1.3671$  (grad.), polarisatie in de x-richting, snedehoek  $\phi = 45$  (grad.)

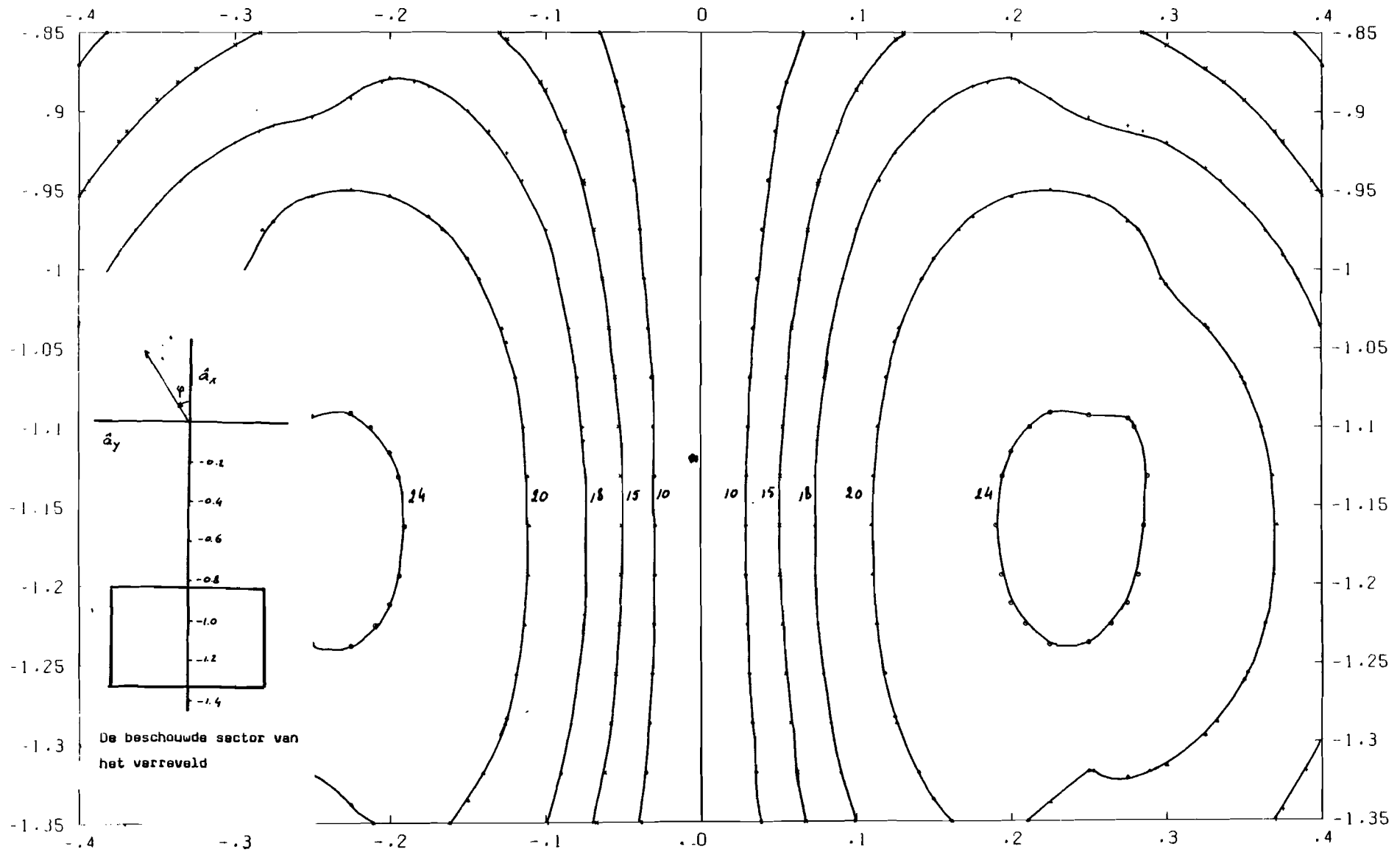


Fig. 21 Een gedeelte van het verzeveld kruispolarisatiediagram,  
 voor een scanhoek  $\theta_0 = 1.165$  (grad.).  
 Alle niveaus zijn gegeven in dBi.

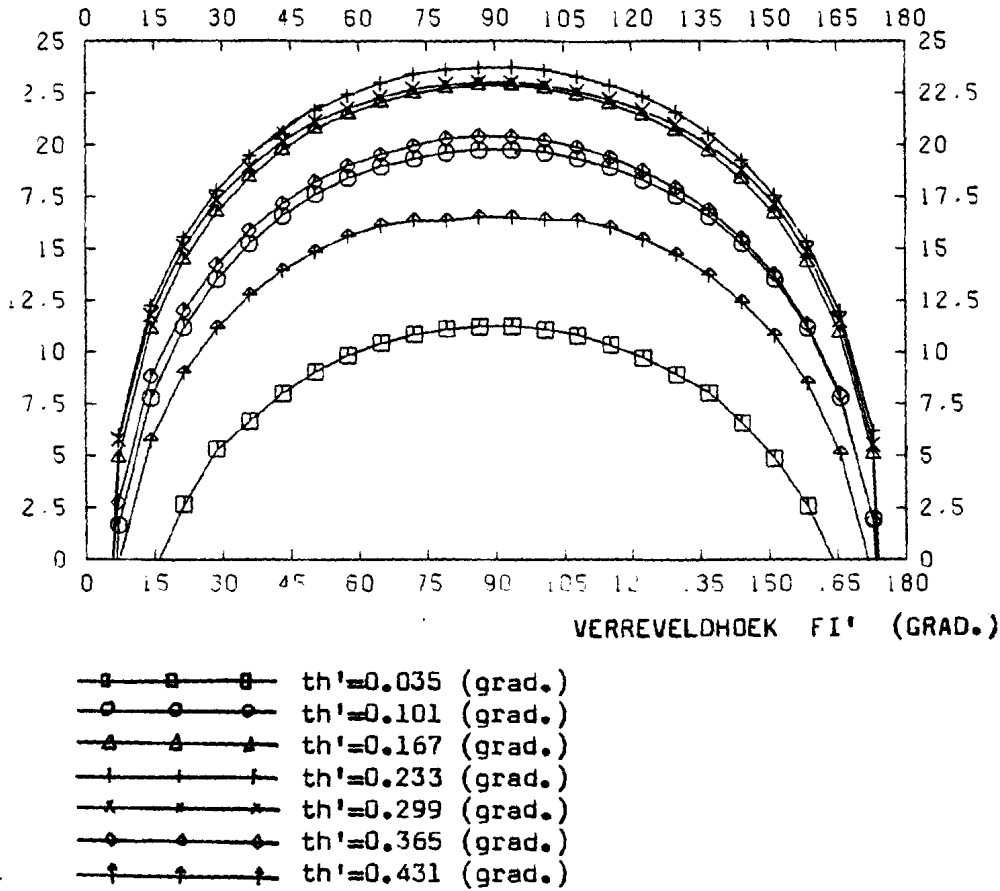


Fig. 22 De amplitude van de kruispolarisatiecomponent van het apertuurveld op concentrische cirkels ( $th'$ ) rond de scanhoek  $th_0$  in de eerste lus.

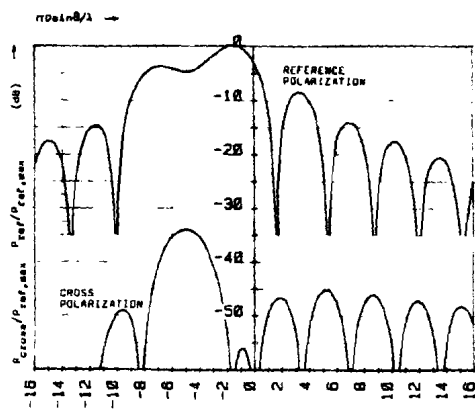
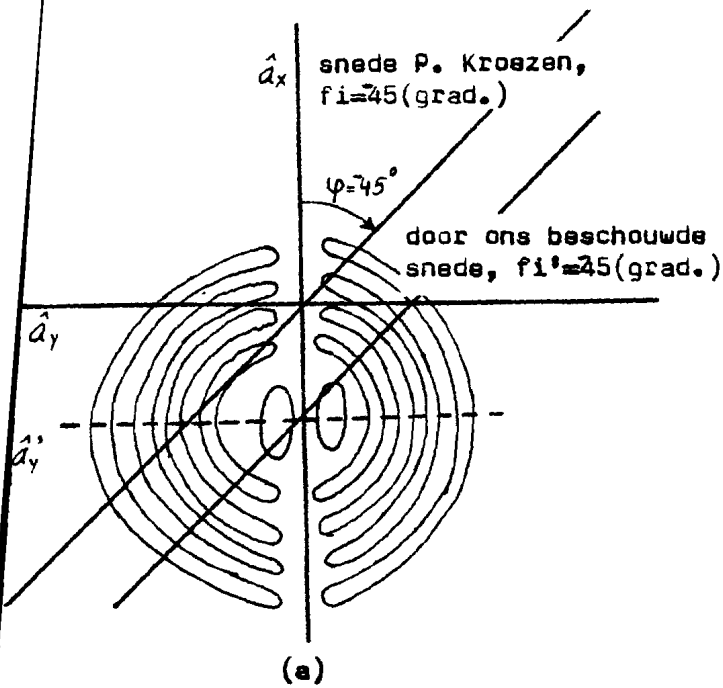


Figure 3.11. Cross and reference polarization patterns of a defocused paraboloid reflector antenna computed with the series representation method.

Fig. 23 Het door ons gevonden verreveldpatroon van de kruispolarisatiecomponent (a), vergeleken met een voorbeeld uit de literatuur (b) [P. Kroezen, 8].

## 1.5 Het apertuurveld

In de voorgaande paragraaf is duidelijk geworden, dat het verschil tussen de kruispolarisatiecomponent in het verreveld van eer in de x- en eer y-richting gepolariseerde apertuur niet waarneembaar is. Dit verschijnsel is nader bestudeerd aan de hand van het apertuurveld.

In paragraaf 1.2 is het verband tussen de apertuurveldverdeling en het verreveld patroon uitgedrukt in de formules (6a) en (6b):

$$E_{co}^x(\vec{r}) = \frac{-jk_0}{4\pi r} e^{-jk_0 r} \iint_{S_A \cdot S_b} \left[ -E_{ax}(\vec{r}_a) (\cos^2(\theta_i) + \sin^2(\theta_i) \cos(\theta_h)) \right. \\ \left. - (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_y (\cos^2(\theta_i) \cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \right. \\ \left. + \cos(\theta_i) \sin(\theta_i) (\cos(\theta_h) - 1) ((\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_x + E_{ay}(\vec{r}_a)) \right. \\ \left. \cdot e^{-jk_0 \vec{r} \cdot \vec{r}_a} + jk_0 (\vec{r} \cdot \hat{r}_a) \right] dS \quad (6a)$$

$$E_{cr}^x(\vec{r}) = \frac{-jk_0}{4\pi r} e^{-jk_0 r} \iint_{S_A \cdot S_b} \left[ -E_{ay}(\vec{r}_a) (\cos^2(\theta_i) \cos(\theta_h) + \sin^2(\theta_i)) \right. \\ \left. + (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_x (\sin^2(\theta_i) \cos(\theta_h) + \cos^2(\theta_i)) \right. \\ \left. + \cos(\theta_i) \sin(\theta_i) (\cos(\theta_h) - 1) ((\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_y + E_{ax}(\vec{r}_a)) \right. \\ \left. \cdot e^{-jk_0 \vec{r} \cdot \vec{r}_a} + jk_0 (\vec{r} \cdot \hat{r}_a) \right] dS \quad (6b)$$

Indien we bedenken dat voor kleine scanhoeken geldt:

$$\begin{aligned} (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_y &\sim E_{ax}(\vec{r}_a) \\ (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_x &\sim -E_{ay}(\vec{r}_a) \end{aligned} \quad (11)$$

dan volgt uit 6a en 6b dat in de apertuur de hoofdpolarisatiecomponent door  $E_{ax}(\vec{r}_a)$  en de kruispolarisatiecomponent door  $E_{ay}(\vec{r}_a)$  voorgesteld kan worden. In het programma (Appendix 10) is zo'n benadering niet toegepast. In de figuren 24 t/m 26 zijn de amplitudines van de hoofd- en kruispolarisatiecomponenten in de apertuur weergegeven voor de scanhoeken  $\theta_h = 0$  (het gefocusteerde geval),  $\theta_h = -1.0501$  en  $\theta_h = -1.3671$  graden. Omdat sprake is van symmetrie ten opzicht van het vlak  $\sin(\theta_i) = 0$  is steeds een helft van de apertuur weergegeven. Men dient bij het bestuderen van deze figuren te bedenken, dat deze kruispolarisatie alleen ontstaan is ten gevolge van defocussing van de feed, omdat de feed zelf

kruispolarisatievrij is verondersteld (paragraaf 1.3).

We zien dat het maximum van beide polarisatiecomponenten bij grotere scanhoek  $\theta_0$  meer omhoogschuift. Dit komt overeen met de resultaten in [1], waar v. Ommeren tevens concludeerde, dat de grootte van de tilt-hoek  $\delta$  van de feed een aanzienlijke invloed heeft op de ligging van het maximum van de hoofdpolarisatiecomponent in het apertuurvlak. Tevens zien we dat de maximale waarde van de kruispolarisatiecomponent groter wordt naarmate de scanhoek  $\theta_0$  groter wordt. Dit uit zich, zoals de voorgaande paragraaf toonde, in een grotere verreveld kruispolarisatiecomponent.

In tegenstelling tot de situatie in een front-gevoede paraboolantenne [S. Wong, 5], treedt in de apertuur van een gedefocusseerd Cassegrain antennesysteem een schaduwgebied op aan de bovenkant van het apertuurvlak. Dit gebied neemt in grootte toe naarmate de scanhoek  $\theta_0$  groter wordt. Hoewel hieraan geen berekeningen zijn uitgevoerd, kan verwacht worden dat het optreden van dergelijke schaduwgebieden het rendement van de gedefocusseerde antenne nogal verlaagt, in het bijzonder bij geringe tapering.

In de voorgaande paragraaf is geconcludeerd dat de kruispolarisatiecomponenten van het verreveld voor een x- resp. y-richting gepolariseerde feed niet merkbaar van elkaar verschillen. Dit geldt ook voor de kruispolarisatiecomponenten van het apertuurveld, zoals in Fig. 27 en 28 duidelijk wordt.

Zoals eenvoudig te verifiëren is, kunnen we inzien dat de kruispolarisatiecomponenten bepaald zijn door de volgende twee, onafhankelijke, effecten:

1. de gainfunctie van de feed  $G_f(\theta)$  (zie paragraaf 1.2)
2. de mate van depolarisatie, d.w.z. de verhouding tussen de hoofdpolarisatie- en kruispolarisatiecomponent in het apertuurvlak bij gebruik van een Huygensbron gepolariseerde feed. Deze depolarisatie is het gevolg van de reflecties aan hoofd- en subreflector.

Omdat beide effecten zich onafhankelijk van elkaar manifesteren worden ze apart beschouwd.

De toegepaste geïdealiseerde feed heeft een rotatiesymmetrisch stralingsdiagram (Par. 1.2), waardoor de gainfunctie van de feed onafhankelijk is van zijn polarisatierichting. Verschillen in de apertuurkruispolarisatiecomponent zullen dan ook niet aan de gainfunctie toegeschreven kunnen worden. Voor de navolgende berekeningen van depolarisatie wordt daarom een feed met een isotrop stralingsdiagram verondersteld.

Voor de depolarisatie gelden dergelijke symmetrieoverwegingen niet. In Fig. 27 en 28 zien we resp. de depolarisatie voor een x-richting gepolariseerde feed (a) en het verschil in depolarisatie tussen een x-richting en een y-richting gepolariseerde feed. (b). De depolarisatie is steeds gedefinieerd als:

$$\text{Depol}(\bar{r}_a) \cong 20 \log \frac{E_{ay}(\bar{r}_a)}{E_{axm}} \quad (\text{dB}) \quad (12)$$

met  $E_{axm}$  het maximum van de hoofdpolarisatiecomponent in de apertuur voor de betreffende gedefocusseerde situatie bij een in de x-richting gepolariseerde apertuur.

Geheel in overeenstemming met wat we in het verreveld gezien hebben is het verschil in depolarisatie tussen beide polarisatierichtingen verwaarloosbaar klein ( $\text{depol}(\bar{r}_a) < 0.01$  dB voor  $\theta_0 = -1.3671$  graden).

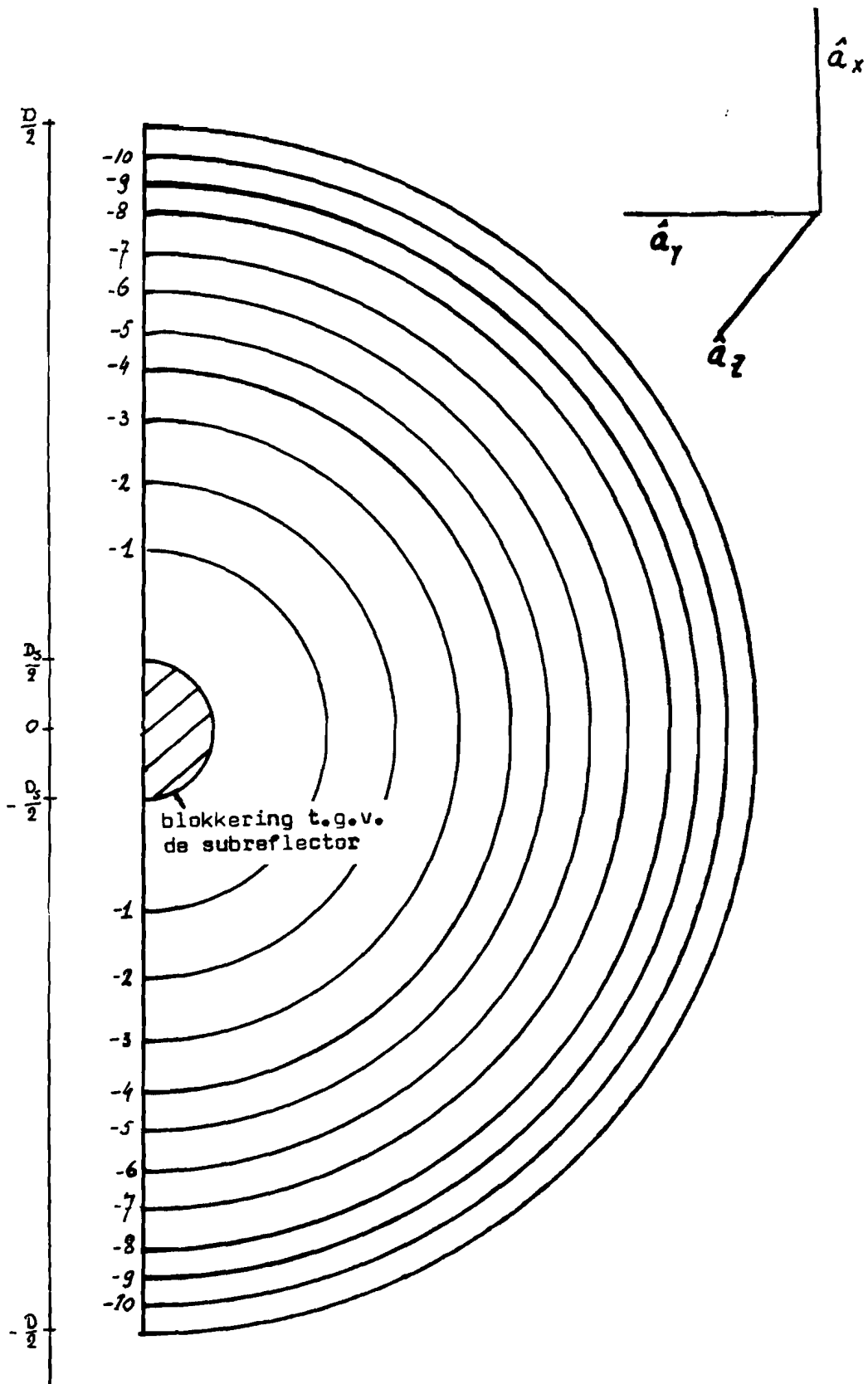


Fig. 24 De hoofdpolarisatiecomponent van het apertuurveld in de gefocuseerde situatie. De niveaus zijn in dB. (de kruispolarisatiecomponent is nul)



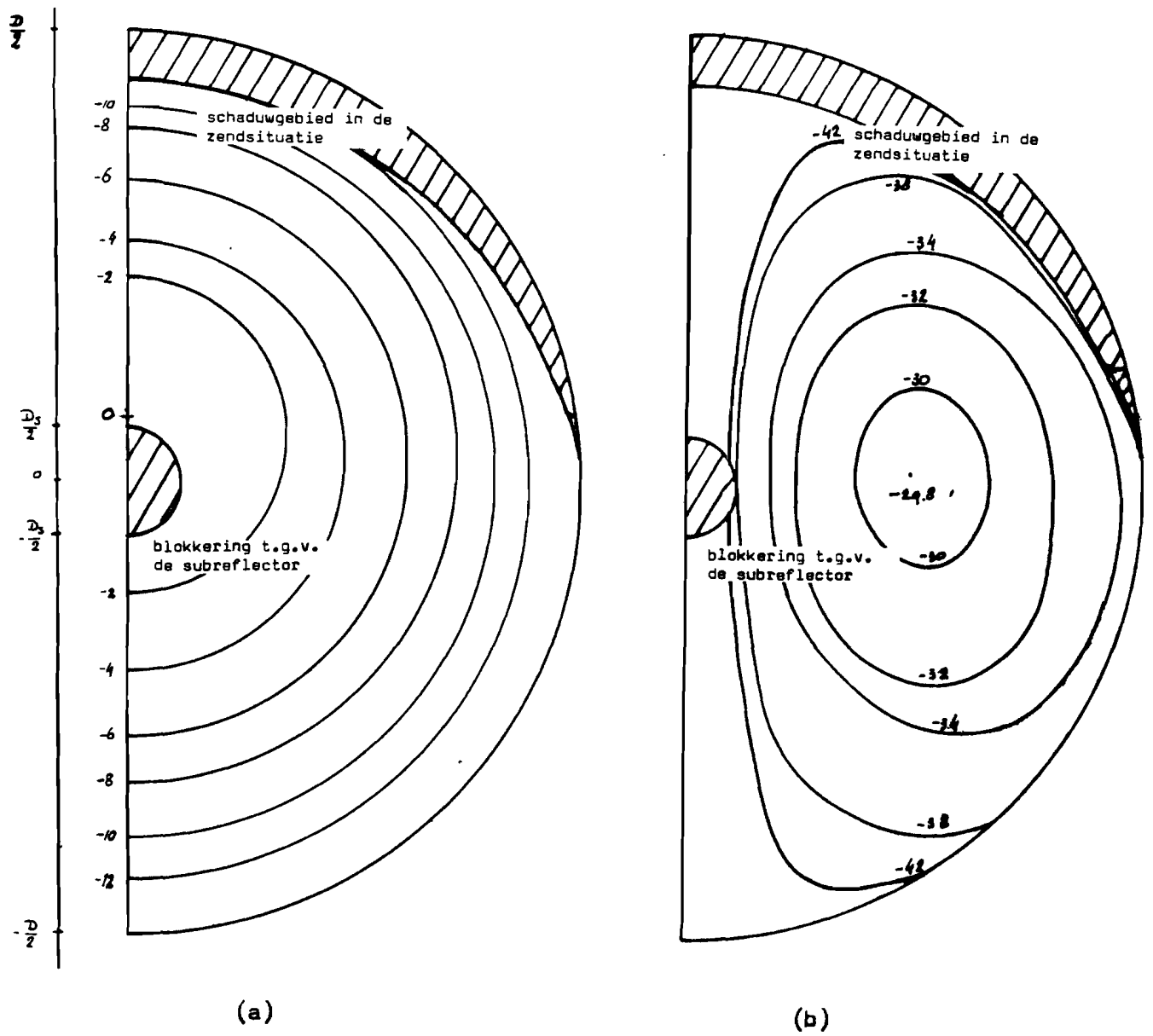
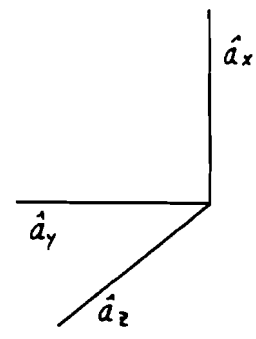


Fig. 25 Het apertuurveld bij een scanhoek van  $\theta_0 = 1.0501$  (grad.).  
 De niveaus zijn gegeven in dB en genormeerd op het maximum van de hoofdpolarisatiecomponent.  
 (a) de hoofdpolarisatiecomponent  
 (b) de kruispolarisatiecomponent

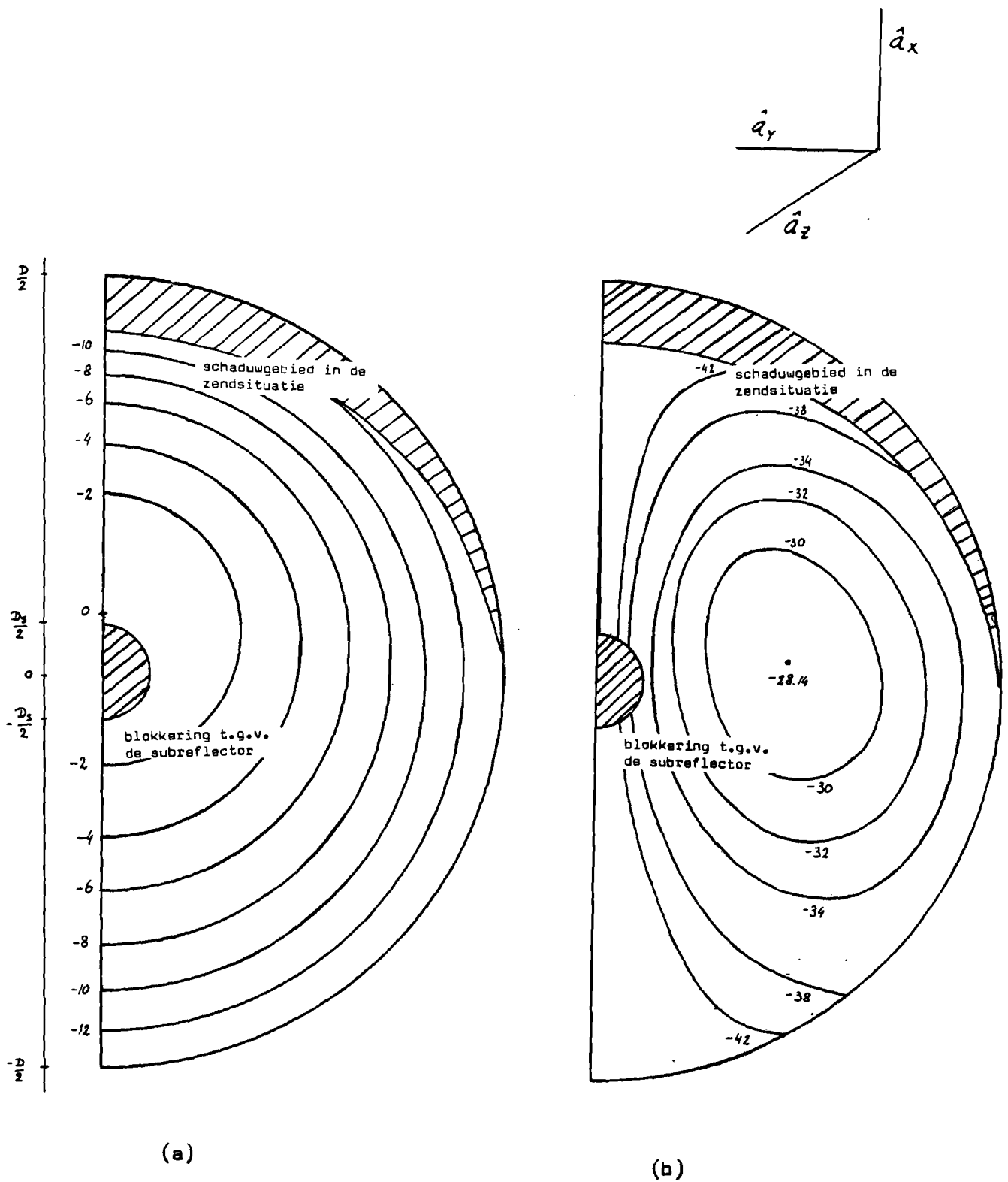
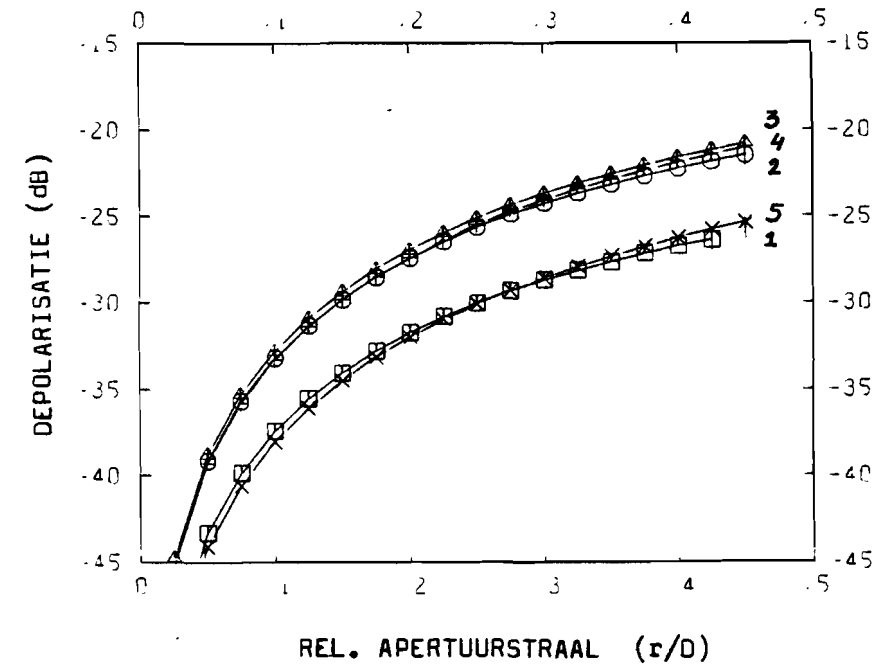
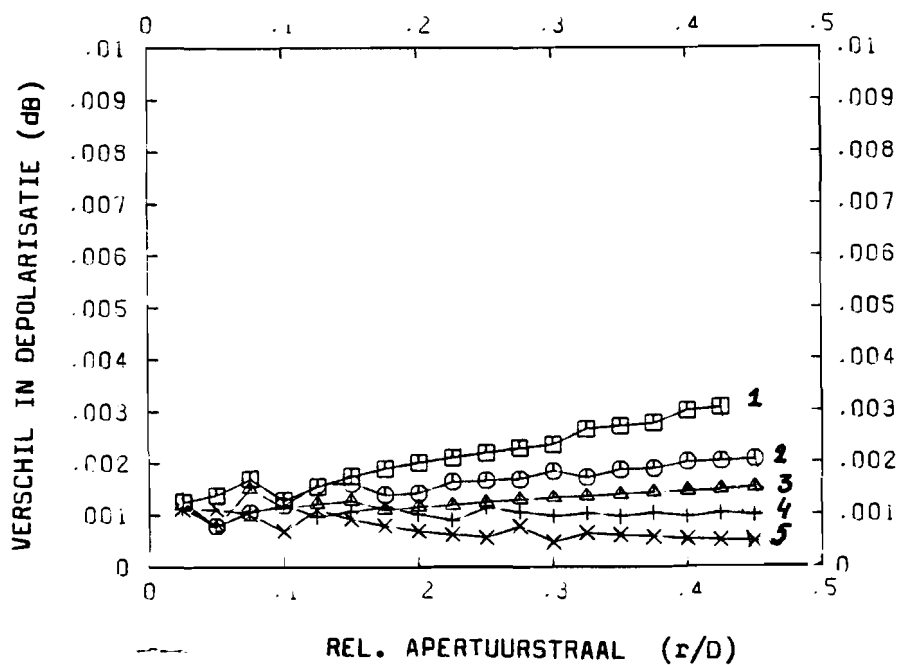
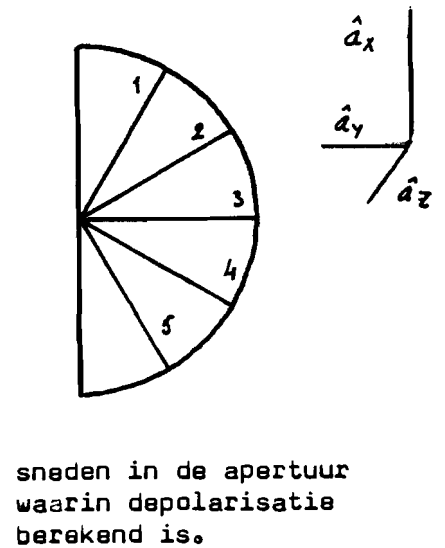


Fig. 26 Het apertuurveld bij een scanhoek van  $\theta_0 = 1.3671$  (grad.).  
 De niveaus zijn gegeven in dB en genormeerd op het maximum  
 van de hoofdpolarisatiecomponent.  
 (a) de hoofdpolarisatiecomponent  
 (b) de kruispolarisatiecomponent



(a)



(b)

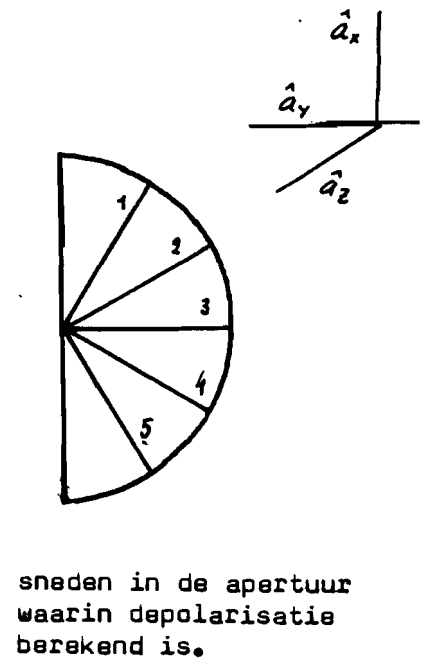
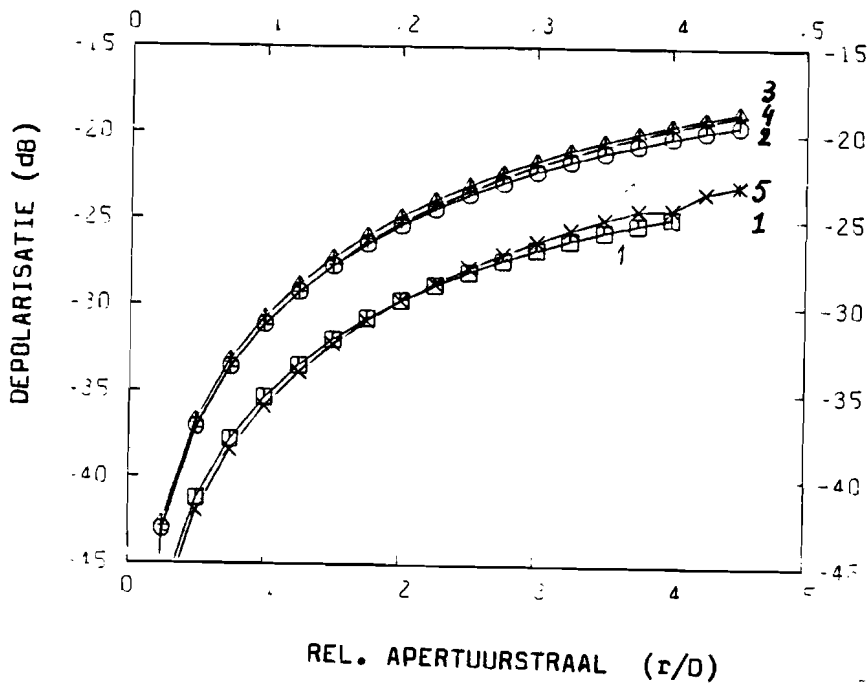
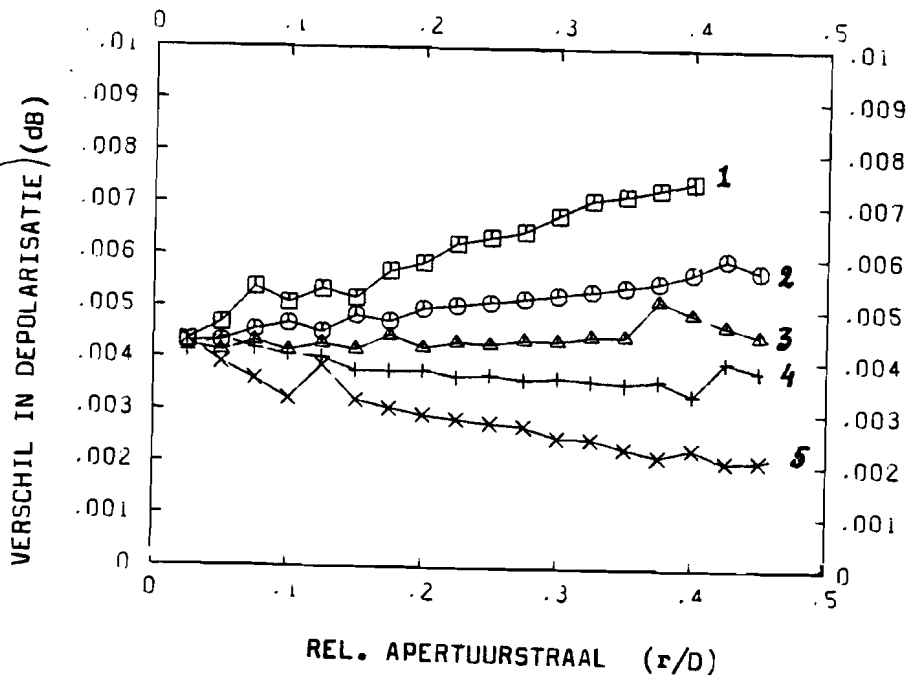
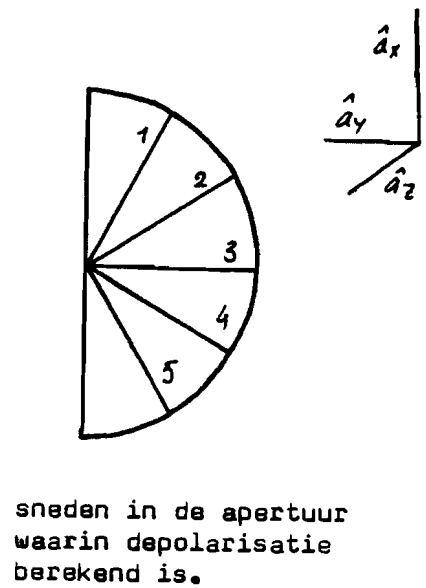


Fig. 27 Het depolarisatiegedrag in de apertuur voor de scanhoek  $\theta_0 = 1.0501$  (grad.)  
 (a) de depolarisatie voor een in de x-richting gepolariseerde apertuur  
 (b) het verschil in depolarisatie tussen een in de x- en een in de y-richting gepolariseerde apertuur.



(a)



(b)

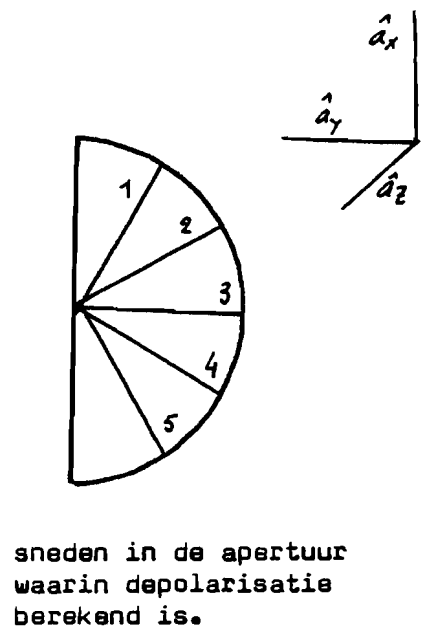


Fig. 28 Het depolarisatiegedrag in de apertuur voor de scanhoek  $\theta_0 = 1.3671$  (grad.)  
 (a) de depolarisatie voor een in de x-richting gepolariseerde apertuur.  
 (b) het verschil in depolarisatie tussen een in de x- en een in de y-richting gepolariseerde apertuur.

### 1.6 het Faseverloop van de Verreveldecomponenten

In verband met het synthese probleem in Hoofdstuk 2, waarin de zijlobonderdrukking berust op interferentie in het verreveld, is het zinvol hier iets dieper op het verreveld fasegedrag van een gedefocusseerd Cassegrain antennesysteem in te gaan. Zoals we in paragraaf 1.3 gezien hebben vertoont de kruispolarisatie component een even en de hoofdpolarisatie component een even fasegedrag t.o.v. de scanhoek  $\theta_0$  (ofwel  $\theta_1=0$ ) indien  $\phi_1=90$  graden. Dit is direct af te leiden uit de integraalformules, zoals afgeleid in de appendix 6. Omdat in het door ons beschouwde systeem op grond van symmetrie geldt dat

$$\begin{aligned} F_{co}(\rho, \psi) &= F_{co}(\rho, -\psi) \\ F_{cr}(\rho, \psi) &= -F_{cr}(\rho, -\psi) \end{aligned}$$

met

$F_{co}(\rho, \psi)$	de hoofdpolarisatiecomponent in de apertuur
$F_{cr}(\rho, \psi)$	de kruispolarisatiecomponent in de apertuur
$(\rho, \psi)$	apertuurpunt zoals gedefinieerd in Fig.1

kunnen de verrevelde componenten geschreven worden als:

$$E_{co}(\vec{r}) = 2 \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} F_{co}(\rho, \psi) \cos(k \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \sin(\phi) \sin(\psi)) \cdot e^{-jk\sqrt{r, r_a} + jk \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \cos(\phi) \cos(\psi)} \rho \cdot d\rho \cdot d\psi \quad (13a)$$

$$E_{cr}(\vec{r}) = 2 \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} F_{cr}(\rho, \psi) \sin(k \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \sin(\phi) \sin(\psi)) \cdot e^{-jk\sqrt{r, r_a} + jk \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \cos(\phi) \cos(\psi)} \rho \cdot d\rho \cdot d\psi \quad (13b)$$

we zien dat in z'n algemeenheid geldt, dat

$$E_{co}(\theta, \phi) = E_{co}(\theta, -\phi) \quad (14a)$$

en

$$E_{cr}(\theta, \phi) = -E_{cr}(\theta, -\phi) \quad (14b)$$

Hieraar is voldaan wanneer  $\cos(\theta) = 0$  (Fig. 4). Tevens zien we dat de oorzaak van het oneven en even verloop de  $\sin$  resp. de  $\cos$ -term is en de reden waarom de fase van de kruispolarisatiecomponent in het  $\cos(\theta) = 0$  vlak tussen  $+90$  en  $-90$  (grad.) heen en weer springt.

De verrevelde kruispolarisatiecomponent vertoont naast het oneven fasegedrag rond  $\theta = 0$  een lineaire faseterm, indien  $\cos(\theta) \neq 0$ . Dit hangt samen met het feit, dat de maxima van de kruispolarisatiecomponent in de apertuur niet op de  $y$ -as liggen, zoals we in voorgaande paragraaf al zagen.

Laten we ons een kruispolarisatieveldverdeling in de apertuur voorstellen als van een twee-elementen array, waarvan beide elementen in tegenfase geëxciteerd worden, en laten we aannemen dat de effectieve centra van beide array-elementen boven de  $y$ -as liggen (dus  $x > 0$ ) en symmetrisch t.o.v. het  $y-z$ -vlak. Indien de faseaberraties in het apertuurvlak identiek aan nul verondersteld zijn, kan het arraymodel, zoals geïllustreerd in Fig. 29 gebruikt worden. (Het achterwege blijven van de scanning houdt wel in dat de verrevelde eigenschappen niet in het  $(x', y', z')$  maar in het  $(x, y, z)$ -stelsel plaatsvinden)

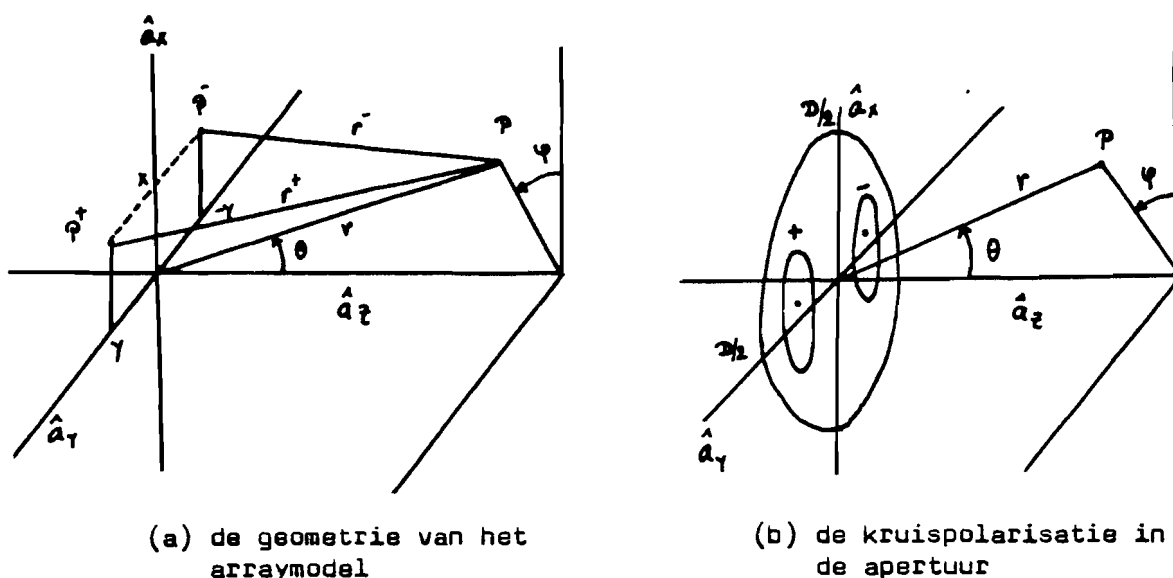


Fig. 29 Illustratie van het arraymodel

Zoals afgeleid is in de appendix 6 is het verrevelde van een dergelijk array te schrijven als:

$$\bar{E}(\bar{r}) = 2j\bar{E}^+(th, \theta) \frac{e^{-jk\bar{r}}}{r} e^{-jk \cdot x \cdot \sin(\theta) \cos(\theta)} \sin(k \cdot y \cdot \sin(\theta) \sin(\theta)) \quad (15)$$

met

$\bar{E}^+(th, \theta)$  het stralingspatroon van het arrayelement in  $(x, y, 0)$

Deze formule impliceert de volgende, reeds bekende, eigenschappen:

1. Het eerder beschreven oneven fasegedrag t.o.v.  $\theta' = 0$  wordt door de sin-term beschreven.
2. Indien het verrekeld berekend wordt bij een vaste  $|\bar{r}|$  (dus op een bol met straal  $r$ ) is een lineaire fase-term aanwezig, die evenredig is met de plaats van het effectieve maximum ( $x$ ), de verrekeldhoek  $\theta$  (alleen indien  $\sin(\theta) \approx \theta$ ) en  $\cos(\phi)$ .

Indien we teruggaan naar de realistische apertuurverdeling waarbij scanning in het verrekeld optreedt en indien we aannemen dat voor  $\theta_0 = -1.3671$  graden het effectieve maximum ligt op  $x = 5 \cdot \lambda$ , dan is de lineaire fase-term voor  $\phi = 60$  (grad.) bij een kleine hoek  $\theta'$  gelijk aan:

$$5 \cdot \lambda \cdot \theta' \quad (\text{grad.})$$

Dit komt qua grootte goed overeen met de resultaten in figuur 17.

## 2 ZIJLUSONDERDRUKKING

### 2.1 Inleiding

Met het oog op de naderende informatiemaatschappij [26] zal de wereldwijde behoefte aan transmissiecapaciteit enorm toenemen. De hiermee gepaard gaande groei in transmissiecapaciteit via geostationaire satellieten heeft tot gevolg dat grotere en geavanceerdere satellieten ingezet zullen worden, en tevens dat het aantal geostationaire satellieten vergroot zal worden, d.w.z. deze satellieten zullen dichter bij elkaar geplaatst worden.

Dit laatste echter wordt momenteel o.a. belemmerd door de aanwezigheid van een groot aantal grondstationantennes, die op grond van reeds verouderde eisen ontworpen en gebouwd zijn. Het vervangen van deze antennes, louter omdat ze bij kleinere satellietafstanden tot een ontcelbaar hoge interferentieruis in andere communicatiesystemen aanleiding geven is een dure zaak en zal daarom nogal lang op zich laten wachten.

Een doorbraak in deze ontwikkeling mag verwacht worden, indien het mogelijk blijkt om bestaande grondstationantennes op een relatief eenvoudige en goedkope wijze aan te passen aan de voor toekomstige communicatiesystemen geldende eisen. Aan zo'n eenvoudige aanpassing is dit hoofdstuk gewijd.

Er is onderzocht in hoeverre (nabije) zijlussen in het stralingsdiagram van een rotatiesymmetrisch Cassegrain antennesysteem onderdrukt kunnen worden door een extra (hulp)feed nabij de focus te plaatsen. Eehalve een eventuele vervanging van de primaire in de focus geplaatste feed (zie ook Hfdst.3), hoeft verder aan een bestaand antennesysteem niets meer veranderd te worden.

Dit is vooral mogelijk geworden omdat in de WARC-79 de tolerantie in de Oost-West positionering van de geostationaire satellieten aanzienlijk is verscherpt (van +/- 1 naar +/- 0.1 graden). Hierdoor is het hoekgebied, waarin interferentieonderdrukking vereist is zo klein geworden, dat de door ons toegepaste methode bruikbaar is. Voor een zelfrichtende antenne, waarvan de maximale gain voortdurend naar de gewenste satelliet is gericht, betekent dit dat een interfererende satelliet zich steeds binnen een gebied van +/- 0.2 graden van z'n nominale positie in de Oost-West richting bevindt. Voor een niet-zelfrichtende antenne bevindt deze zich steeds binnen een gebied van +/- 0.1 graden rond de nominale stand. [14,15]

De geometrie van het Cassegrain antennesysteem met de positionering van de hulpfeed is in Fig.30 geïllustreerd. De voor het antennesysteem geldende parameters, zijn dezelfde als geleverd in Par. 1.1. De primaire- en de hulpfeed zijn identiek verondersteld en in Par. 1.3 bestudeerd. De hulpfeed



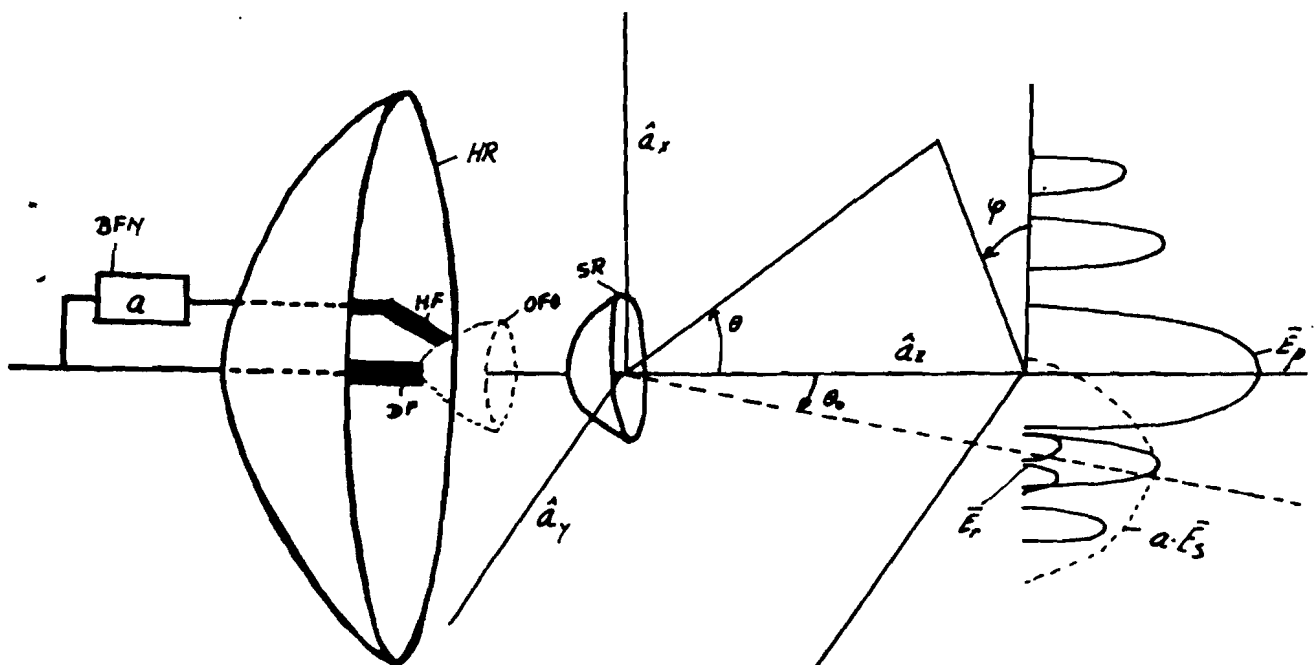
bevindt zich steeds in een punt op het optimale feedoppervlak en maakt een hoek  $\delta$  met de z-as (Par. 1.3). De eigenschappen van het (secundaire) verzeveld van de antenne t.g.v. de uit de focus geplaatste hulpfeed zijn uitgebreid bestudeerd in Hfdst. 1 van dit rapport en in [1]. De hulpfeed wordt geëxciteerd met het signaal voor de primaire feed, echter vermenigvuldigd met een complexe factor  $a$ , die de excitatiecoëfficiënt genoemd wordt. Voor de excitatiecoëfficiënt geldt:

$$a = |a| e^{j \cdot \text{fia}} \quad (16)$$

met:

$\text{abs}(a)$   
 $\text{fia}$

de absolute waarde van  $a$ .  
het argument van  $a$ .



DF de primaire feed  
HF de hulpfeed  
OFO het optimale feedoppervlak  
SR de hyperbolische subreflector  
HR de parabolische hoofdreflector  
BFN het beamforming network

$\vec{E}_p$  het primaire veld  
 $a$  de complexe excitatiecoëfficiënt  
 $a \cdot \vec{E}_s$  het secundaire veld  
 $\vec{E}_r$  het resulterende veld

Fig. 30 De geometrie van het antennesysteem bij zijlusonderdrukking.

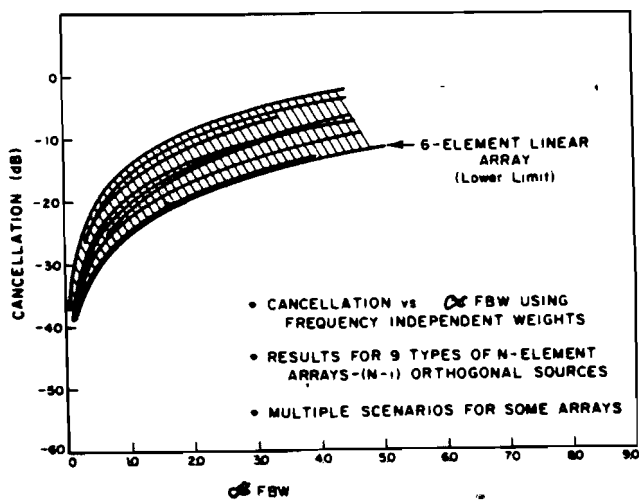
## 2.2 Een literatuurstudie

Het door ons bestudeerde antennesysteem is een speciaal geval van wat in de literatuur een "adaptive antenna system" genoemd wordt. [17-25,35] In een dergelijk systeem wordt het stralingsdiagram voortdurend aangepast aan een veranderende omgeving. Wanneer het gaat om het optimaliseren van de signaal-interferentieverhouding van een antennesysteem, bij de aanwezigheid van een of meerdere al of niet bewegende interferentiebronnen, resulteert dit meestal in gainonderdrukking in de richting van de interferentiebron(nen). In ons geval, waarbij de positie van de interferentiebron binnen bepaalde (in de Cost-West richting) beperkte grenzen bekend is, is een dergelijke adaptieve regeling niet altijd nodig en kan veelal volstaan worden met een vocraf geoptimaliseerde gainonderdrukking voor die posities. Hoewel het door ons beschouwde systeem daarom niet adaptief genoemd kan worden, is het toch verstandig kennis te nemen van de methoden voor gainoptimalisatie en de hiermee behaalde resultaten bij adaptieve antennesystemen, omdat de "adaptieve regeling" bij ons in feite bij het ontwerp van de antenne plaatsvindt.

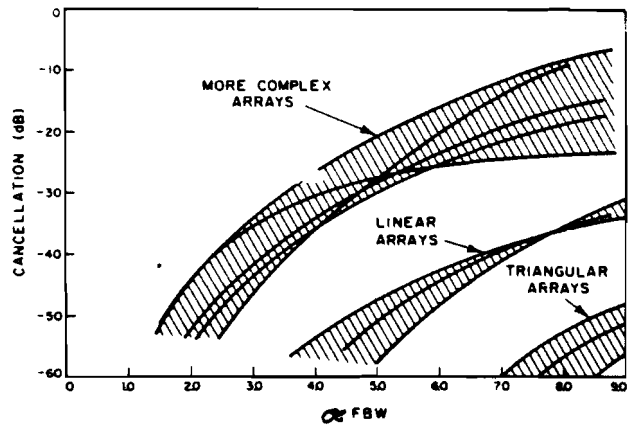
De in de literatuur beschreven adaptieve antennesystemen raken over het algemeen gebruik van een "Phased Array" of een "Multiple Beam Antenna" (MPA). Concentreren we ons op de laatste groep, omdat het door ons beschouwde antennesysteem hieronder gerekend kan worden, dan valt op dat vooral J.T. Mayhan veel resultaten gepubliceerd heeft. [18-22] Deze resultaten zijn echter veelal van toepassing op MBA's die op een satelliet geplaatst worden, en die steeds een groot aantal gefixeerde feeds bevatten, die dan op verschillende manieren gerangschikt kunnen zijn [21]. Deze feedconfiguratie blijkt van invloed te zijn op de behaalde resultaten. In zijn publicaties omtrent gainonderdrukking heeft J.T. Mayhan de navolgende conclusies getrokken:

- Het is mogelijk om met  $N$  feeds  $N-1$  'nullen' in willekeurige richtingen in het verreveld te vormen. (In een 'nul' is de verreveldgrootte nul)
- Het richten van een der hoofdbundels in de richting van de interferentiebron is de optimale manier om de 'nul' te vormen.

-De maximaal mogelijke gainonderdrukking wordt kleiner naarmate de frequentiebandbreedte van het uitgezonden (of ontvangen) signaal toeneemt. (Fig.31a) In zo'n geval kan de gainonderdrukking vergroot worden door de excitaties van de feeds frequentieafhankelijk te kiezen. Deze frequentieafhankelijkheid is door J.T. Mayhan verkregen door gebruik te maken van transversaalfilters. (tapped-delay-lines, (Fig.31b))



(a) zonder tapped delay lines



(b) met tapped delay lines (3 taps) voor verschillende feed array configuraties

Fig. 31 De gainonderdrukking (cancellation) als functie van de relatieve bandbreedte (Fractional Bandwidth). (J.T. Mayhan, 20)

Bij het beschrijven van optimaliseringsalgorithmen bij adaptieve antennesystemen, wordt in de literatuur [23-25] voornamelijk uitgegaan van een geometrie van ontvanger (of zender) als getoond in Fig. 32.

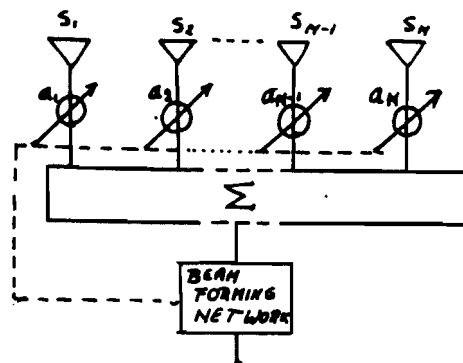


Fig. 32 Een model van een "adaptive antenna system"

Er worden N identieke feeds verondersteld, die alle hetzelfde

signaal  $S_i$  ontvangen. Deze worden na weging met de excitatiecoëfficiënt  $a_i$  gesommeerd. Na de somator vindt signaalbewerking plaats, tengevolge waarvan de excitatiecoëfficiënten  $a_i$  zodanig bepaald worden, dat de signaalinterferentieverhouding van het antennesysteem optimaal is. Deze signaalbewerking berust op grond van het lineaire karakter van het uitgangssignaal van de somator op matrixrekening. Een overzicht van de gangbare signaalbewerkingsalgorithmen wordt gegeven door Widrow en McCool[23]. Het door S. Applebaum ontwikkelde optimaliseringsalgoritme[25] is in praktische toepassing erg populair.

De veronderstelling, dat de door de feeds ontvanger signalen identiek zijn houdt voor de MBA in de zendsituatie tengevolge van het reciprociteitsprincipe in, dat het stralingsdiagram tengevolge van elke feed, op de scanhoek  $\theta_0$  na, identiek is. Zoals we in Hoofdstuk 1 hebben, is deze veronderstelling voor de door ons beschouwde scanhoeken niet geldig. Hierdoor is het uitgangssignaal niet enkel van de weegfactor  $a$  afhankelijk en impliciet. De functie  $\bar{E}_r$  is afhankelijk van  $\theta_0$ . Dit maakt een gebruik van de in de literatuur beschreven expliciete algorithmen niet mogelijk. Voor het ons bestudeerde antennesysteem met een primaire en een hulpfeed is dan ook een nieuw optimaliseringsalgoritme ontwikkeld, dat in Par. 2.4 besproken wordt.

In het kader van deze literatuurstudie is het zinvol extra aandacht te besteden aan het door v. Cmmen verrichte werk op het gebied van de zijlusonderdrukking[1,16], waarop deze studie in feite een vervolg is. In het door hem ontwikkelde algoritme wordt allereerst de scanhoek  $\theta_0$  van de gescande hoofdbundel gekozen in de richting van de nominale positie van de interferentiebron en wordt vervolgens de optimale waarde van de excitatiecoëfficiënt  $a$  berekend. De vooraf gemaakte keus voor  $\theta_0$ , gebaseerd op een der eerder genoemde conclusies van J.T. Mayhan, houdt in dat het aantal vrijheidsgraden voor de gainoptimalisering is teruggebracht tot twee ( $\arg(a)$  en  $\text{abs}(a)$ ). Indien geen sprake is van het vormen van een nul voor een hoek in het stralingsdiagram, maar in een bepaald hoekgebied, dan blijkt de parameter  $\theta_0$  een grote invloed te hebben op de maximaal te bereiken interferentieonderdrukking, zoals we in Par. 2.5 zullen zien. Optimaliseren van  $\theta_0$  is in zo'n geval dan ook essentieel. Indien daarentegen sprake is van het vormen van een nul op slechts een positie in het verreveld, dan is het aan te bevelen de gescande hoofdbundel naar die positie te richten, omdat dan het voor de vorming van de nul uitgestraalde vermogen door de hulpfeed minimaal is. Hierdoor blijven vervormingen in de rest van het stralingsdiagram tot een minimum beperkt.

### 2.3 Het optimaliseringsprobleem

Het doel van de in dit hoofdstuk beschreven studie is om de interferentieruis in een grondstationantenne ten gevolge van een buursatelliet tot een minimum te beperken. Hiertoe moet de antennegain in de richting van die satelliet zoveel mogelijk worden onderdrukt. Omdat doorgaans geen sprake is van een adaptief antennesysteem moet de antennegain wegens het bewegen van de interfererende satelliet onderdrukt worden in die sector van het verzeveld, waar deze satelliet zich kan bevinden. In de Oost-West richting is dit gebied gegeven door de nominale positie van de satelliet en de toegestane afwijking ( $\pm 0.1$  grad.) In de Noord-Zuid richting is de positionering dikwijls minder nauwkeurig, o.a. door het ontbreken van voorschriften er het nog niet veelvuldig toepassen van TDMA [29]. Dit heeft ertoe geleid dat de gainonderdrukking alleen is geoptimaliseerd in de Oost-West richting in het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$ , dat in poolcoördinaten beschreven wordt door: (Fig. 33)

$$\begin{aligned} \sin(\theta_i) &= 0 \\ \theta_c - \theta_h / 2 < \theta < \theta_c + \theta_h / 2 \end{aligned} \quad (17)$$

met

$\theta_c$   
 $\theta_h$

de nominale positie van de satelliet  
de breedte van het hoekgebied

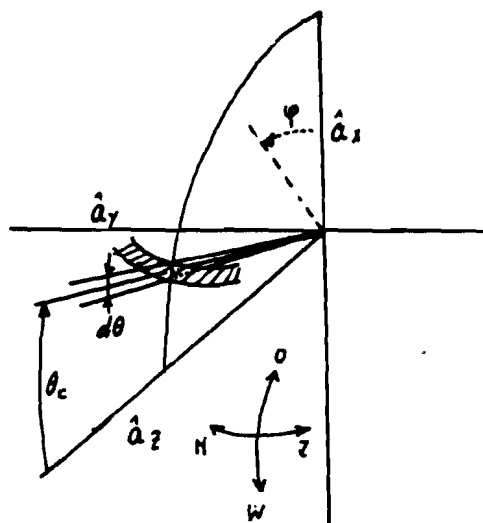


Fig. 33 De definitie van het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$

De signaal-interferentieverhouding wordt nu geoptimaliseerd door de maximaal voorkorende gain in het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$

te minimaliseren. Het is zinvol hier op te merken, dat dit uitgangspunt afwijkt van dat van v. Ommersen, die stelt dat de gemiddelde gain over het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$  minimaal moet zijn. [1, pag. 17]

Omdat voor de antennegain geldt dat

$$G(\theta, \varphi) \propto |\bar{E}(\theta, \varphi)|^2 \quad (18)$$

staat de eis tot minimaliseren van de maximaal voorkomende gain in het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$  gelijk met het minimaliseren van de volgende functie:

$$|\bar{E}_r(\bar{a}, \varphi_a, \theta_0)|^2 = \max_{\substack{\theta_c - \theta_h/2 \leq \theta \leq \theta_c + \theta_h/2, \\ \sin(\varphi) = 0}} |\bar{E}_p(\theta, \varphi) + \bar{a}| e^{j\varphi a} \bar{E}_s(\theta, \varphi; \theta_0)|^2 \quad (19)$$

met

$$\bar{E}_p(\theta, \varphi) = |\bar{E}_p(\theta, \varphi)| e^{j\varphi p} \quad \text{Het primaire verzeveld t.g.v. de feed in de focus.}$$

$$\bar{E}_s(\theta, \varphi) = |\bar{E}_s(\theta, \varphi)| e^{j\varphi s} \quad \text{Het secundaire verzeveld t.g.v. de hulpfeed}$$

$$\theta_0, \quad \text{De scanhoek}$$

In deze formule zien we dat bij een gegeven stralingspatroon en een bekend hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h)$  waarin de interferentiebron zich bevindt, de excitatiecoëfficiënt  $\bar{a}$  en de scanhoek  $\theta_0$  zodanig bepaald moeten worden, dat  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$  minimaal is. Hier is dus sprake van een minimax probleem. In praktijk blijken de verzeveldstralingsdiagrammen  $\bar{E}_p(\theta, \varphi)$  en  $\bar{E}_s(\theta, \varphi; \theta_0)$  vaak niet in elk willekeurig verzeveldpunt  $(\theta, \varphi)$  beschikbaar te zijn, omdat ze bijvoorbeeld verkregen zijn uit metingen of uit een numeriek rekenproces, zoals in ons geval. Hierdoor krijgt formule (17) een discreet karakter, waardoor deze er als volgt uitziet (met weglating van de  $\varphi$  parameter waarvoor geldt  $\sin(\varphi) = 0$ , zie (15)):

$$|\bar{E}_r(\bar{a}, \varphi_a, \theta_0)|^2 = \max_{-N/2 \leq i \leq N/2} |\bar{E}_p(\theta_i) + \bar{a}| e^{j\varphi a} \bar{E}_s(\theta_i; \theta_0)|^2 \quad (20)$$

$$-N/2 \leq i \leq N/2$$

met

$$\theta_i = \theta_c + i \cdot \delta\theta$$

$$\delta\theta = \theta_h / N$$

In dit geval is verondersteld, dat het verzeveld in equidistante punten bekend is, hetgeen geen vereiste is. (Dit

is echter wel in het door ons ontwikkelde computerprogramma aangecomen, Appendix 7) De gevolgen die het discrete karakter van het verreveldpatroon heeft voor de diverse berekeningen, worden in Appendix 7 aan de orde gesteld.

Een nadere beschouwing van de functie  $|Er(\bar{a}, th_0)|^2$  leert dat voor bepaalde hoekgebieden  $(th_c, dth)$  meerdere minima voorkomen. Ter illustratie zijn een aantal functiewaarden van  $|Er(a, th_0)|$  in het hoekgebied  $(th_c, dth) = (-1, 0.4)$  en getabelleerd in Tab. 2 t/m Tab. 4. We zien in Tab. 2 dat sprake is van tenminste twee minima bij  $(abs(a), arg(a), th_0) = (.26, 5, -1.34)$  en bij  $(abs(a), arg(a), th_0) = (-28, 20, -1.3)$ . Een nadere bestudering hiervan in Tab. 3 en Tab. 4 leidt tot de conclusie dat inderdaad sprake is van twee lokale minima. De consequentie, die het bestaan van lokale minima voor het optimaliseringsalgoritme heeft, wordt in de volgende paragraaf bestudeerd.

Tabel 2 Functiewaarden van  $E_r^2$  voor het hoekgebied  $(thc,dth)=(-1,0.4)$ 

THO: -1.360 (GRAD)							
FIA (GRAD)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
A (dB)							
-28.50	21.23	21.24	21.30	21.39	21.52	21.69	21.89
-28.00	21.00	21.01	21.07	21.18	21.32	21.51	21.72
-27.50	20.75	20.76	20.83	20.95	21.11	21.31	21.54
-27.00	20.47	20.49	20.57	20.70	20.88	21.10	21.36
-26.50	20.17	20.19	20.28	20.43	20.63	20.88	21.17
-26.00	19.84	19.86	19.96	20.13	20.36	20.64	20.96
-25.50	19.98	19.91	19.98	20.17	20.48	20.86	21.31

THO: -1.340 (GRAD)							
FIA (GRAD)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
A (dB)							
-28.50	20.27	20.29	20.37	20.51	20.70	20.94	21.21
-28.00	19.95	19.97	20.06	20.22	20.44	20.70	21.01
-27.50	19.60	19.62	19.72	19.90	20.15	20.45	20.79
-27.00	19.21	19.23	19.35	19.56	19.84	20.18	20.57
-26.50	19.08	19.02	19.12	19.36	19.72	20.18	20.69
-26.00	20.10	20.05	20.13	20.34	20.64	21.03	21.48
-25.50	21.06	21.02	21.09	21.26	21.53	21.87	22.26

THO: -1.320 (GRAD)							
FIA (GRAD)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
A (dB)							
-28.50	19.47	19.38	19.40	19.60	19.87	20.19	20.56
-28.00	19.42	19.32	19.24	19.22	19.53	19.90	20.32
-27.50	19.37	19.27	19.18	19.09	19.17	19.60	20.07
-27.00	19.32	19.21	19.12	19.38	19.76	20.23	20.74
-26.50	20.06	20.03	20.13	20.35	20.67	21.07	21.53
-26.00	21.02	21.00	21.08	21.27	21.55	21.90	22.30
-25.50	21.94	21.92	21.99	22.16	22.40	22.70	23.06

THO: -1.300 (GRAD)							
FIA (GRAD)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
A (dB)							
-28.50	19.64	19.56	19.49	19.42	19.36	19.44	19.94
-28.00	19.61	19.52	19.44	19.37	19.31	19.34	19.94
-27.50	19.57	19.48	19.39	19.32	19.22	20.20	20.73
-27.00	19.93	19.92	20.04	20.28	20.63	21.04	21.51
-26.50	20.90	20.90	21.00	21.21	21.50	21.86	22.28
-26.00	21.83	21.82	21.91	22.09	22.34	22.66	23.03
-25.50	22.71	22.71	22.78	22.94	23.16	23.44	23.77

THO: -1.280 (GRAD)							
FIA (GRAD)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
A (dB)							
-28.50	19.93	19.86	19.80	19.74	19.68	19.63	19.74
-28.00	19.91	19.84	19.77	19.71	19.65	19.95	20.52
-27.50	19.89	19.81	19.74	19.97	20.34	20.79	21.29
-27.00	20.53	20.53	20.66	20.90	21.22	21.61	22.05
-26.50	21.47	21.48	21.59	21.79	22.07	22.41	22.80
-26.00	22.37	22.38	22.47	22.64	22.89	23.19	23.54
-25.50	23.23	23.24	23.32	23.47	23.69	23.95	24.26



Tabel 3. Functiewaarden van  $E_r^2$  voor het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h) = (-1, 0.4)$ 

THO: -1.380 (GRAD)							
FIA (GRAD)	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
A (DB)							
-26.90	21.39	21.39	21.39	21.39	21.40	21.40	21.40
-26.80	21.34	21.35	21.35	21.35	21.35	21.36	21.36
-26.70	21.30	21.30	21.31	21.31	21.31	21.31	21.32
-26.60	21.26	21.26	21.26	21.27	21.27	21.27	21.27
-26.50	21.21	21.22	21.22	21.22	21.22	21.23	21.23
-26.40	21.17	21.17	21.17	21.18	21.18	21.18	21.19
-26.30	21.12	21.13	21.13	21.13	21.13	21.14	21.14

THO: -1.360 (GRAD)							
FIA (GRAD)	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
A (DB)							
-26.90	20.44	20.44	20.45	20.45	20.45	20.45	20.46
-26.80	20.38	20.39	20.39	20.39	20.39	20.40	20.40
-26.70	20.32	20.33	20.33	20.33	20.33	20.34	20.34
-26.60	20.26	20.27	20.27	20.27	20.27	20.28	20.28
-26.50	20.20	20.20	20.21	20.21	20.21	20.22	20.22
-26.40	20.14	20.14	20.14	20.15	20.15	20.15	20.16
-26.30	20.07	20.08	20.08	20.08	20.09	20.09	20.09

THO: -1.340 (GRAD)							
FIA (GRAD)	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
A (DB)							
-26.90	19.17	19.17	19.17	19.18	19.18	19.19	19.19
-26.80	19.08	19.09	19.09	19.09	19.10	19.10	19.11
-26.70	19.00	19.00	19.00	19.01	19.01	19.02	19.02
-26.60	18.94	18.93	18.93	18.92	18.93	18.93	18.94
-26.50	19.03	19.03	19.03	19.03	19.04	19.04	19.04
-26.40	19.24	19.24	19.24	19.24	19.25	19.25	19.25
-26.30	19.45	19.45	19.45	19.45	19.45	19.46	19.46

THO: -1.320 (GRAD)							
FIA (GRAD)	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
A (DB)							
-26.90	19.22	19.22	19.23	19.23	19.23	19.24	19.24
-26.80	19.43	19.43	19.43	19.44	19.44	19.45	19.45
-26.70	19.63	19.64	19.64	19.64	19.65	19.65	19.65
-26.60	19.84	19.84	19.84	19.85	19.85	19.85	19.86
-26.50	20.04	20.04	20.04	20.05	20.05	20.05	20.06
-26.40	20.24	20.24	20.24	20.24	20.25	20.25	20.25
-26.30	20.43	20.43	20.44	20.44	20.44	20.44	20.45

THO: -1.300 (GRAD)							
FIA (GRAD)	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
A (DB)							
-26.90	20.13	20.13	20.14	20.14	20.15	20.15	20.15
-26.80	20.33	20.33	20.33	20.34	20.34	20.35	20.35
-26.70	20.52	20.53	20.53	20.53	20.54	20.54	20.54
-26.60	20.72	20.72	20.72	20.72	20.73	20.73	20.74
-26.50	20.91	20.91	20.91	20.92	20.92	20.92	20.93
-26.40	21.09	21.10	21.10	21.10	21.11	21.11	21.11
-26.30	21.28	21.28	21.29	21.29	21.29	21.30	21.30

Tabel 4 Functiewaarden van  $E_x^2$  voor het hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h) = (-1, 0.4)$ 

THO: -1.340 (GRAD)							
FIA (GRAD)	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
A  (DB)							
-28.30	20.74	20.77	20.78	20.79	20.80	20.81	20.82
-28.20	20.71	20.72	20.73	20.74	20.76	20.77	20.78
-28.10	20.66	20.67	20.69	20.70	20.71	20.72	20.73
-28.00	20.61	20.62	20.64	20.65	20.66	20.67	20.68
-27.90	20.56	20.57	20.58	20.60	20.61	20.62	20.63
-27.80	20.51	20.52	20.53	20.55	20.56	20.57	20.58
-27.70	20.46	20.47	20.48	20.49	20.51	20.52	20.53
THO: -1.320 (GRAD)							
FIA (GRAD)	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
A  (DB)							
-28.30	19.96	19.98	19.99	20.01	20.02	20.04	20.05
-28.20	19.90	19.92	19.93	19.95	19.96	19.98	19.99
-28.10	19.84	19.86	19.87	19.89	19.90	19.92	19.93
-28.00	19.78	19.79	19.81	19.83	19.84	19.86	19.87
-27.90	19.72	19.73	19.75	19.76	19.78	19.80	19.81
-27.80	19.65	19.67	19.68	19.70	19.72	19.73	19.75
-27.70	19.59	19.60	19.62	19.64	19.65	19.67	19.69
THO: -1.300 (GRAD)							
FIA (GRAD)	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
A  (DB)							
-28.30	19.30	19.30	19.30	19.30	19.29	19.29	19.29
-28.20	19.29	19.29	19.29	19.28	19.28	19.28	19.28
-28.10	19.28	19.28	19.27	19.27	19.27	19.27	19.27
-28.00	19.27	19.26	19.26	19.26	19.26	19.27	19.29
-27.90	19.33	19.35	19.38	19.40	19.42	19.44	19.47
-27.80	19.51	19.53	19.55	19.57	19.60	19.62	19.64
-27.70	19.69	19.71	19.73	19.75	19.77	19.79	19.81
THO: -1.280 (GRAD)							
FIA (GRAD)	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
A  (DB)							
-28.30	19.63	19.63	19.63	19.62	19.62	19.62	19.62
-28.20	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62	19.61	19.61
-28.10	19.62	19.63	19.65	19.67	19.69	19.72	19.74
-28.00	19.78	19.80	19.82	19.84	19.87	19.89	19.91
-27.90	19.95	19.98	20.00	20.02	20.04	20.06	20.08
-27.80	20.13	20.15	20.17	20.19	20.21	20.23	20.25
-27.70	20.30	20.32	20.34	20.36	20.38	20.40	20.42
THO: -1.260 (GRAD)							
FIA (GRAD)	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
A  (DB)							
-28.30	19.99	19.99	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98
-28.20	19.98	20.00	20.02	20.04	20.06	20.08	20.11
-28.10	20.15	20.17	20.19	20.21	20.23	20.25	20.27
-28.00	20.32	20.34	20.36	20.38	20.40	20.42	20.44
-27.90	20.49	20.51	20.53	20.55	20.57	20.59	20.61
-27.80	20.66	20.68	20.70	20.72	20.73	20.75	20.77
-27.70	20.83	20.84	20.86	20.88	20.90	20.92	20.94

## 2.4 Een algoritme voor optimale zijtusonderdrukking

--- -----

Zoals we in de voorgaande paragraaf gezien hebben bezit de functie:

$$|\bar{E}_r(|\bar{a}|, f_{ia}, th_0)|^2 = \max_{-N/2 \leq i \leq N/2} |\bar{E}_p(th_i) + \bar{a} \cdot \bar{E}_s(th_i; th_0)|^2 \quad (20)$$

voor het door ons beschouwde hoekgebied meerdere minima. Om toch in alle gevallen het globale minimum te kunnen bepalen, is een algoritme ontwikkeld, dat in de volgende twee stappen te onderscheiden is:

1. Voor éér bepaalde waarde van  $th_0$  worden  $abs(a)$  en  $arg(a)$  zodanig bepaald, dat

$$|\bar{E}_r(|\bar{a}|, f_{ia} | th_0)|^2 = \max_{-N/2 \leq i \leq N/2} |\bar{E}_p(th_i) + \bar{a} \cdot \bar{E}_s(th_i | th_0)|^2 \quad (21)$$

minimaal is. De optimale  $abs(a)$  en  $arg(a)$  zijn nu dus  $th_0$ -afhankelijk geworden. Van deze functie moet worden aangetoond, dat het globale minimum éénéénduidig te bepalen is.

2. Van de ééndimensionale functie

$$|\bar{E}_r(|\bar{a}(th_0)|, f_{ia}(th_0), th_0)|^2 = \max_{-N/2 \leq i \leq N/2} |\bar{E}_p(th_i) + \bar{a} \cdot \bar{E}_s(th_i; th_0)|^2 \quad (22)$$

wordt de bij de globale minimum behorende waarden van  $th_0$  en dus ook  $abs(a)$  en  $arg(a)$  bepaald. Ook hiervan moet het globale minimum éénéénduidig te bepalen zijn.

Eovenstaande twee stappen worden in de navolgende paragrafen rader beschouwd.

2.4.1      Het minimaliseren van  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$   
 -----

In deze paragraaf wordt een algoritme geïntroduceerd en besproken waarmee het minimum van de functie

$$|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2 = \max_{-N/2 \leq i \leq N/2} |\bar{E}_p(\theta_i) + \bar{a} \cdot \bar{E}_s(\theta_i | \theta_0)|^2 \quad (21)$$

en de daarbij behorende optimale waarden van  $\text{abs}(\bar{a})$  en  $\text{arg}(\bar{a})$  éénéénduidig bepaald kunnen worden.

In een dergelijk algoritme kunnen we uitgaan van de directe methode, waarbij  $\text{abs}(\bar{a})$  en  $\text{arg}(\bar{a})$  volgens een bepaald numeriek proces (direct search, steepest descent, e.d.) zo gekozen worden, dat  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$  naar het globale minimum gedwongen wordt. Het bestaan van één en slechts één minimum kunnen we voor de functie  $|\bar{E}_r|^2$  niet bewijzen, hoewel Tab.2 t/m Tab.4 doen vermoeden dat dit inderdaad zo is. Het gebruik van standaard minimax-algorithmen is niet mogelijk vanwege het impliciete karakter van  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$  (20).

Een tweede mogelijkheid is uit te gaan van een indirecte methode, waarbij ter bepaling van het minimum van  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$  een nieuwe functie geïntroduceerd wordt, die slechts één minimum heeft. Hiervan moet worden aangetoond, dat slechts één minimum bestaat, en dat de bij deze functie behorende optimale waarden voor  $\text{abs}(\bar{a})$  en  $\text{arg}(\bar{a})$  willekeurig dicht bij die voor het minimum van  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \theta_0)|^2$  liggen. Indien voor deze nieuwe functie een "gewogen-least-square"functie (23) gekozen wordt, zijn de optimale waarden van  $\text{abs}(\bar{a})$  en  $\text{arg}(\bar{a})$  in het door ons bestudeerde geval analytisch uit te rekenen.

Vanwege het bewijsbaar éénéénduidige convergentiegedrag en vanwege het feit dat  $\text{abs}(\bar{a})$  en  $\text{arg}(\bar{a})$  analytisch te berekenen zijn, is gekozen voor de indirecte methode.

Voor de "gewogen-least-square"functie, waarvan in de indirecte methode gebruik gemaakt wordt, kan geschreven worden:

$$Sq(|\bar{a}|, \theta_0) = \sum_{i=-N/2}^{N/2} \left| w_i (\bar{E}_p(\theta_i) + \bar{a} e^{j\theta_i \bar{a}} \bar{E}_s(\theta_i | \theta_0)) \right|^2 \quad (23)$$

met

$w_i$       de weegfactor behorende bij hoek  $\theta_i$

Voor het vervolg is het zinvol om een vectoriële weegfactor  $\bar{w}$  in te voeren, die als volgt is samengesteld uit de verschillende scalaire weegfactoren:

$$\bar{w} = (w_{-N/2}, w_{-N/2-1}, \dots, w_{i-1}, w_i, w_{i+1}, \dots, w_{N/2+1}, w_{N/2}) \quad (24)$$

De functie  $Sq(\text{abs}(a), \arg(a) / \text{th}\theta)$  bezit, onafhankelijk van de weegvector  $\bar{w}$  en  $\text{th}\theta$ , slechts één (globaal) minimum, hetgeen in Appendix 8 bewezen is. Hierin is ook afgeleid, dat voor de waarden van  $\text{abs}(a)$  en  $\arg(a)$  bij het minimum van  $Sq$  geldt dat: (Voor het speciale geval  $w_i=1$  is dit door v. Ommere [1, pag.19] bewezen)

$$|\bar{a}| = \frac{\sum_{i=-N/2}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_p(\text{th}i) \bar{E}_s(\text{th}i; \text{th}\theta)| \cos(\text{f}i - \text{f}si - \text{f}pi)}{\sum_{i=-N/2}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_p(\text{th}i) \bar{E}_s(\text{th}i; \text{th}\theta)|^2} \quad (25a)$$

$$\text{f}i\bar{a} = \arctan \left[ \frac{\sum_{i=-N/2}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_p(\text{th}i) \bar{E}_s(\text{th}i; \text{th}\theta)| \sin(\text{f}si - \text{f}pi)}{\sum_{i=-N/2}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_p(\text{th}i) \bar{E}_s(\text{th}i; \text{th}\theta)| \cos(\text{f}si - \text{f}pi)} \right] \quad (25b)$$

Eij de juiste ketze van de weegvector  $\bar{w}$  zijn deze waarden van  $\text{abs}(a)$  en  $\arg(a)$  gelijk aan die voor het minimum van  $|\bar{E}r(a, \text{th}\theta)|^2$  (19), hetgeen we als volgt in kunnen zien:

Minimaliseren van  $Sq(a|\text{th}\theta)$  met als startwaarde  $\bar{w}=(1,1,1,\dots,1,1,1)$  leidt tot een bepaalde waarde van  $\text{abs}(a)$  en  $\arg(a)$ , zoals we gezien hebben. Het optimaliseren van de gain in het hoekgebied  $(\text{th}\theta, \text{d}\text{th})$  met behulp van de "gewogen-least-square" methode, kan echter tot gevolg hebben, dat de gain voor bepaalde hoeken toch relatief hoog is. In zo'n geval is geenszins sprake van een minimaxoplossing (Fig.34). (Dit staat als het Gibbs-fenomeen bekend, [12])

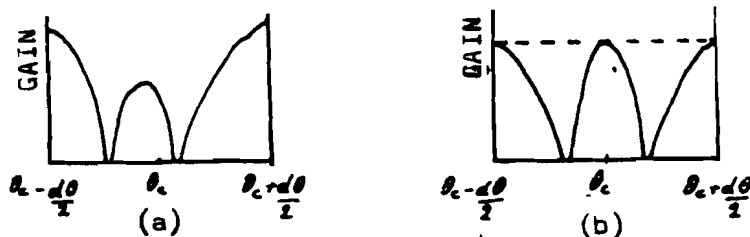


Fig. 34 Het resulterende stralingsdiagram voor  
(a) de least square oplossing  
(b) de minimaxoplossing

Door de hoek waar het maximum in het stralingsdiagram optreedt nu extra te wegen, hetgeen te vergelijken is met het verhogen van de punt dichtheid, er opnieuw de functie  $Sq(a|\text{th}\theta)$  te minimaliseren, wordt het maximum kleiner. Wanneer de

weegfactor  $w_i$ , behorende bij de hoek  $\theta_{hi}$  waar het maximum in het stralingsdiagram optreedt (en dus de weegvector  $\bar{w}$ ) continu veranderd wordt, zal de maximale gain in het hoekgebied continu dalen en uiteindelijk gelijk worden aan de gain bij een andere hoek  $\theta_{hj}$ , ( $i \neq j$ ). Indien een verdere verandering in  $\bar{w}$  tot gevolg heeft, dat de maximale gain groter wordt, is sprake van een minimaxoplossing voor de gain in het hoekgebied ( $\theta_{hc}, \theta_{dh}$ ).

Hoewel in het voorgaande sprake was van een continue verandering van de weegvector  $\bar{w}$ , is deze in praktijk discontinu in een iteratieproces, waarbij de weegvector  $\bar{w}$  na elke slag stapsgewijs aangepast wordt aan de hand van de resultaten in de voorgaande iteratieslag, en wel als volgt: Na elke iteratieslag wordt het stralingsdiagram in het hoekgebied ( $\theta_{hc}, \theta_{dh}$ ) berekend en wordt hierin het maximum bepaald en de hoek  $\theta_{hi}$ , waarbij dit maximum optreedt. Vervolgens wordt de bij deze hoek behorende weegfactor  $w_i$  opgehoogd met een bepaalde waarde (dweegf.) en wordt de functie  $S_q$ , met de nieuwe weegvector  $\bar{w}$  opnieuw geminimaliseerd. Dit iteratieproces gaat zo door totdat aan een nog te bespreken stopcriterium voldaan is.

Wat de grootte van de stapsgewijze ophoging van invloed is op de convergentiesnelheid van het iteratieproces is geïllustreerd in Fig. 35 t/m 39. In Fig. 35 is schematisch aangegeven, hoe het convergentiegedrag van dit iteratieproces is bij een kleine resp. grote waarde van de ophoging dweegf.. In Fig. 36 t/m 39 is het convergentiegedrag voor de verschillende waarden van dweegf. en de breedte van het hoekgebied ( $\theta_{dh}$ ) getoond. Het centrum van het hoekgebied en de scanhoek zijn steeds  $-1.1$  (grad.). We zien dat de maximale waarde van de gain in het hoekgebied steeds convergeert naar die waarde, die geldt bij een minimaxoplossing van  $|E_r(\bar{a}, \theta_{hc})|^2$ . Bij de relatief kleine waarden van dweegf. zijn we in het begin van het iteratieproces een geleidelijke afname van de maximale waarde van de gain, hetgeen overeenkomt met de situatie in Fig. 35b. tevens zien we dat het convergentiegedrag in het begin geleidelijker verloopt bij een toenemende breedte van het hoekgebied ( $\theta_{dh}$ ), omdat een vaste ophoging van de weegfactoren met dweegf. bij een groter aantal samplepunten minder invloed heeft.

We zien dat het langzame convergeren naar de minimaxoplossing te wijten is aan hetzij een te hoge, hetzij een te lage waarde van dweegf.. Ter gevolge hiervan wordt in het door ons ontwikkelde algoritme de waarde van dweegf. gedurende het iteratieproces steeds veranderd.

De resultaten hiervan zijn ook in Fig. 36 t/m 39 opgenomen en tonen een sterk verbeterde convergentiesnelheid.

De verandering van dweegf. gedurende het iteratieproces gaat als volgt in z'n werk:

Er wordt gestart met dweegf.=1, waarmee het iteratieproces uitgevoerd wordt totdat de situatie, zoals geschetst in Fig. 35b bereikt wordt. (de positie van het maximum van de gain in het hoekgebied springt tengevolge van de grote waarde van dweegf. steeds tussen twee vaste verrekhoeken heen en weer) De waarde van dweegf. wordt nu met een factor 4

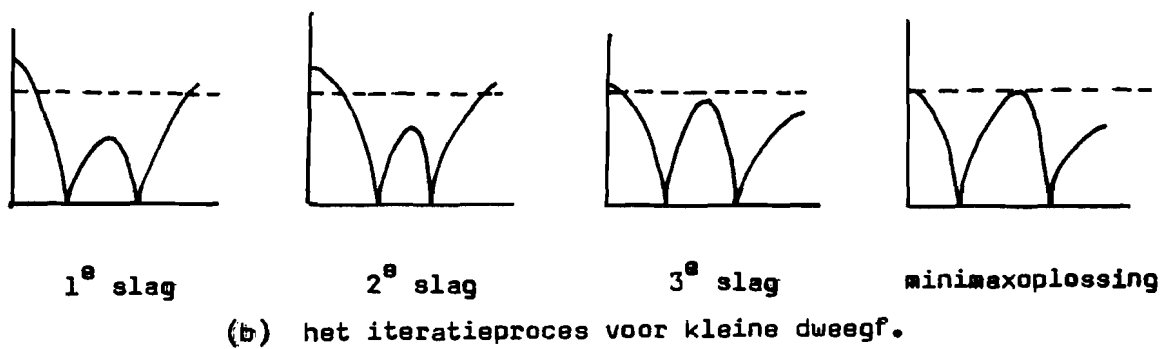
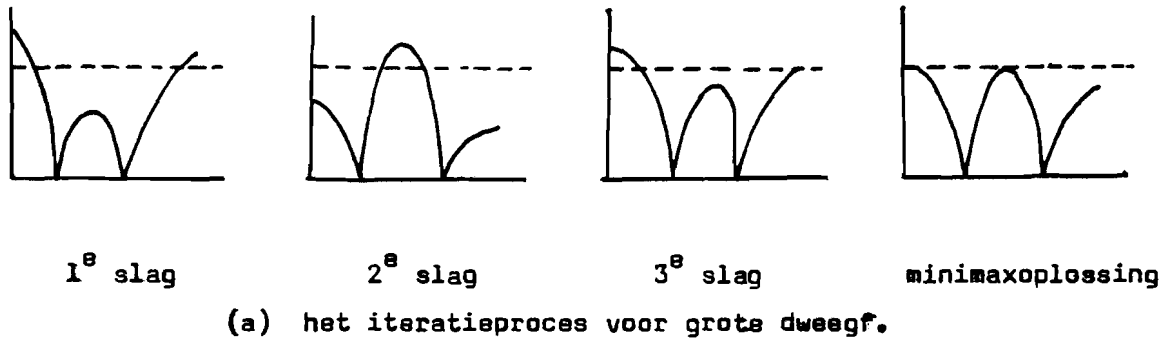


Fig. 35 twee verschillende scenario's voor het iteratieproces

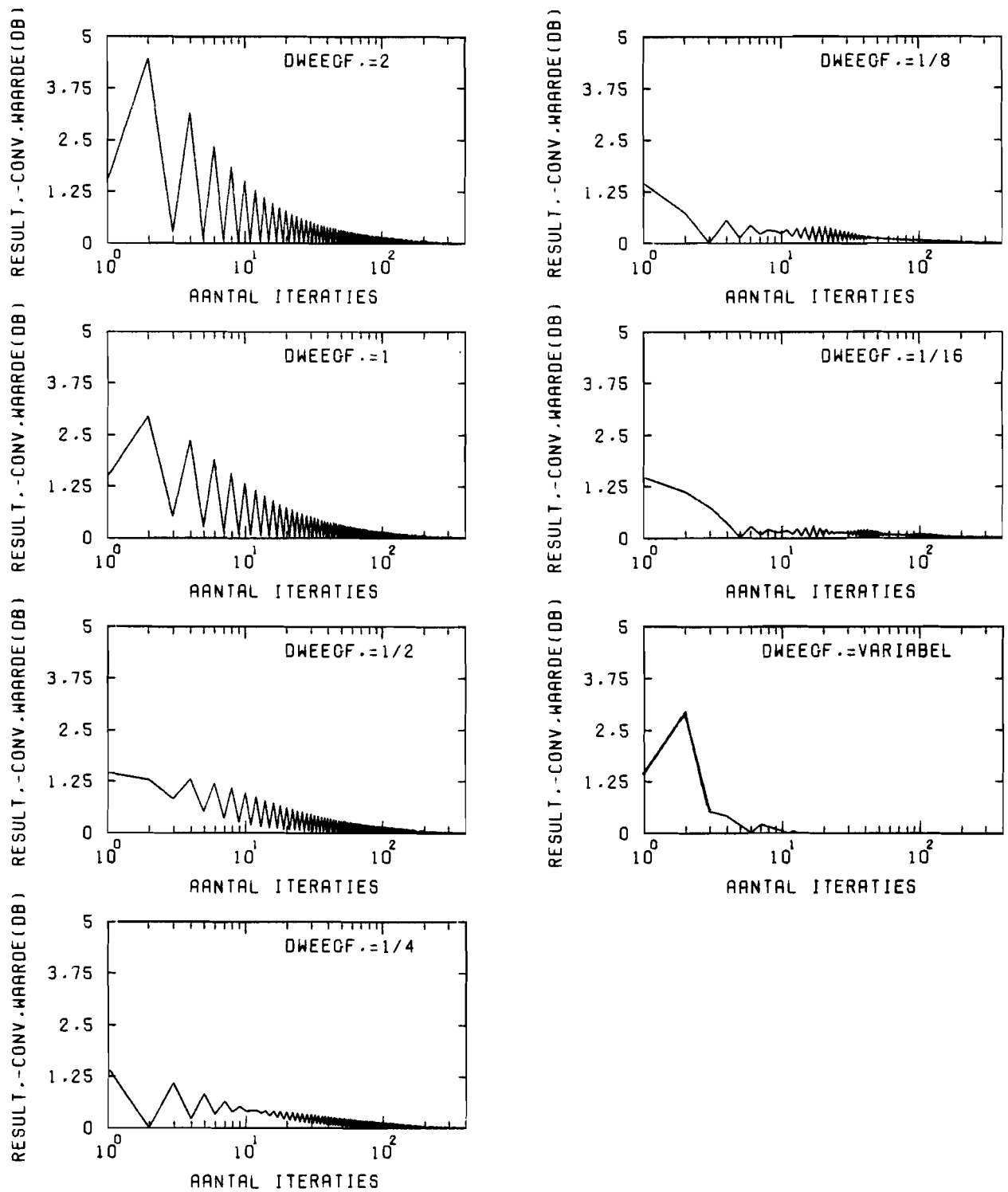


Fig. 36 Het convergentiegedrag van het iteratieproces bij een scanhoek  $\theta_0 = -1.1$  (grad.) en een hoekgebied  $(\theta_c, \theta_d) = (-1.1, 0.066)$ . De startwaarde van  $W$  is:  $(1, 1, 1, \dots, 1, 1, 1)$ .



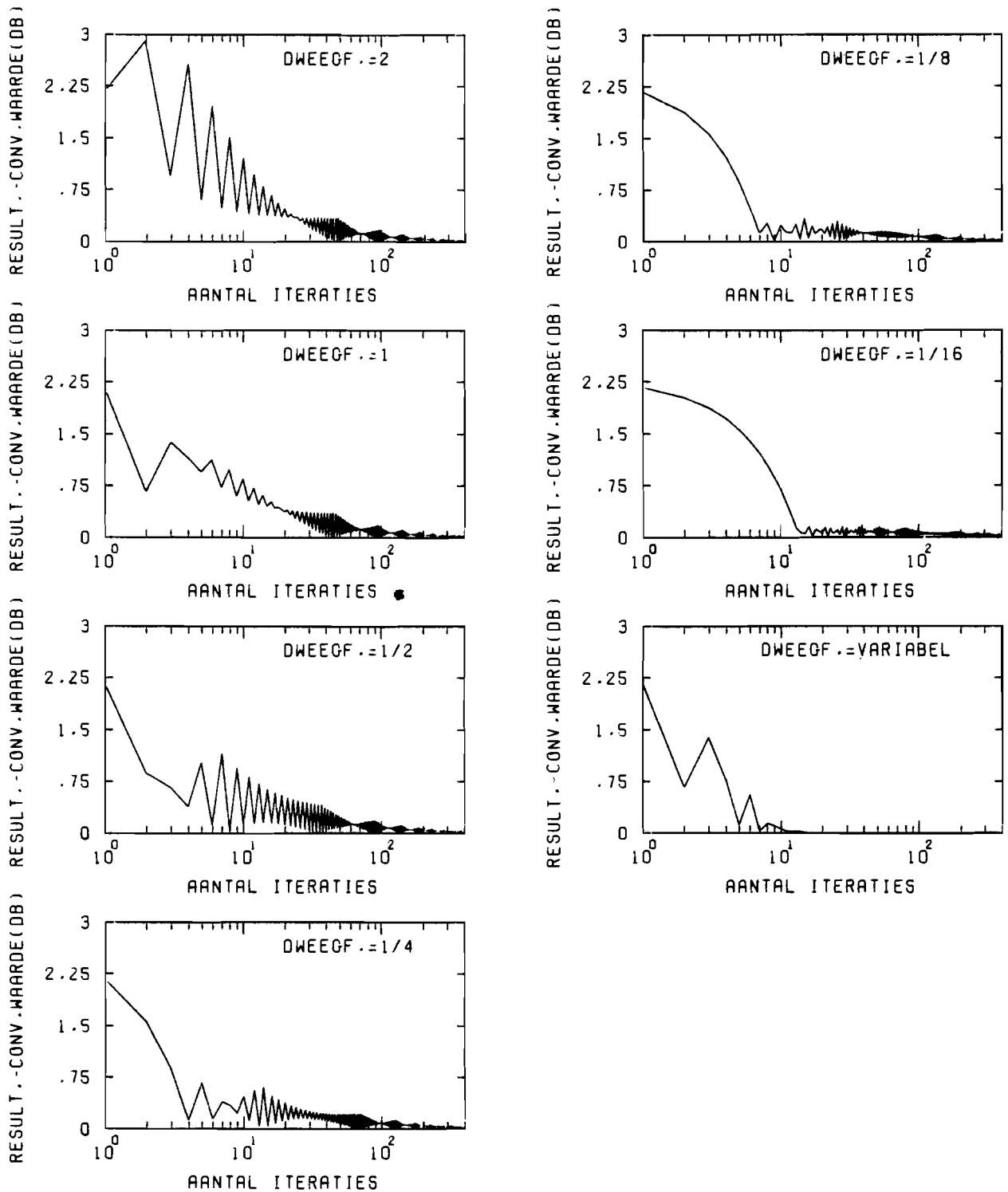


Fig. 37 Het convergentiegedrag van het iteratieproces bij een scanhoek  $\theta_0 = -1.1$  (grad.) en een hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h) = (-1.1, 0.2)$ . De startwaarde van  $w$  is:  $(1, 1, 1, \dots, 1, 1, 1)$ .

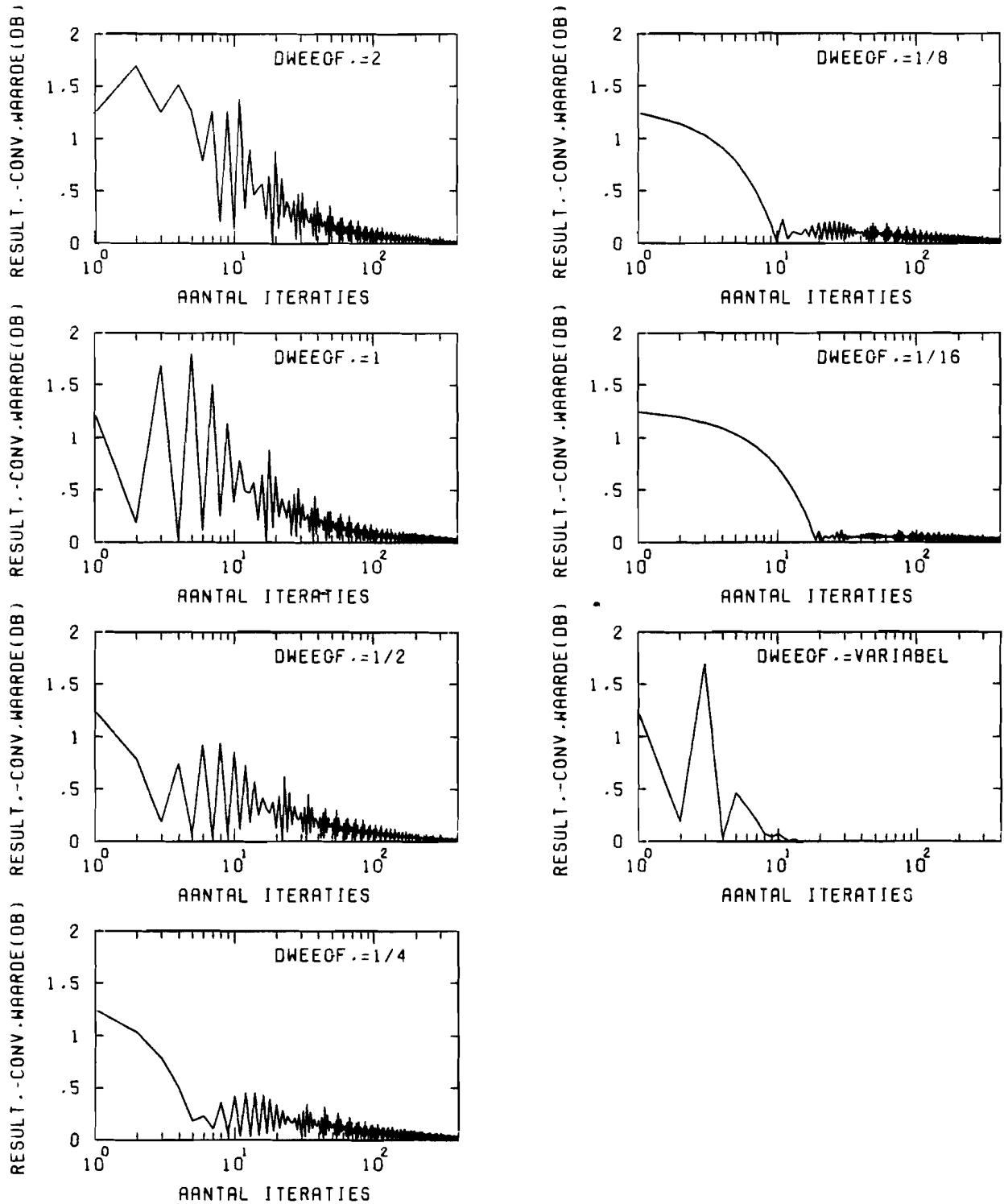


Fig. 38 Het convergentiegedrag van het iteratieproces bij een scanhoek  $\theta_0 = -1.1$  (grad.) en een hoekgebied  $(\theta_c, \theta_h) = (-1.1, 0.4)$ . De startwaarde van  $w$  is:  $(1, 1, 1, \dots, 1, 1, 1)$ .

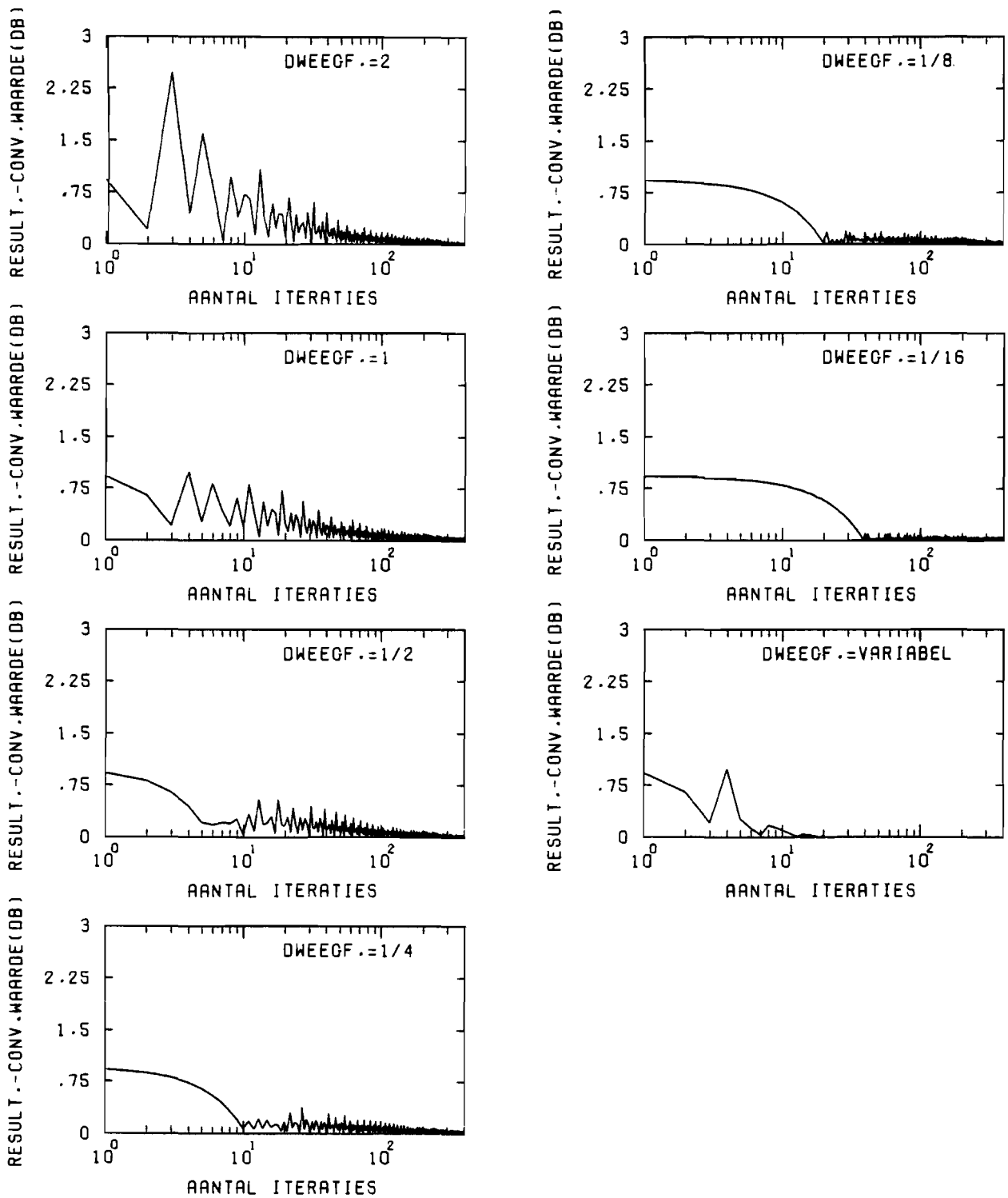


Fig. 39 Het convergentiegedrag van het iteratieproces bij een scanhoek  $\theta_0 = 1.1$  (grad.) en een hoekgebied  $(\theta_c, \theta_d) = (-1.1, 0.6)$ . De startwaarde van  $W$  is:  $(1, 1, 1, 1, \dots, 1, 1, 1)$ .

verlaagd, waarna het iteratieproces opnieuw uitgevoerd wordt totdat dweegf. weer te groot blijkt te zijn. Dit herhaalt zich steeds totdat het iteratieproces op grond van het stopcriterium beëindigd wordt. (zie ook het stroomdiagram in Fig. 41)

In het toegepaste stopcriterium wordt het iteratieproces beëindigd, wanneer de maximale in het hoekgebied ( $\theta_{c,dth}$ ) voorkomende gain minder dan, zeg,  $\epsilon > 0$  afwijkt van de maximale gain bij een minmaxoplossing van  $|\bar{E}r|^2$  waarbij  $\epsilon$  willekeurig groot is.

Dit stopcriterium is als volgt in het iteratieproces geïmplementeerd:

Indien de excitatiecoëfficiënt  $a$  gevarieerd wordt met  $da$ , dan zien we dat de gain in bepaalde delen van het hoekgebied groter en in andere delen kleiner wordt. (Fig. 4D) Indien het maximum in dat deel waar de gain groter wordt  $max1$  genoemd wordt en die in het deel waar de gain kleiner wordt  $max2$ , dan mogen we aannemen dat de maximale gain bij een minmaxoplossing van  $|\bar{E}r|^2$  tussen  $max1$  en  $max2$  inligt. Dit is in Fig. 4D geïllustreerd.

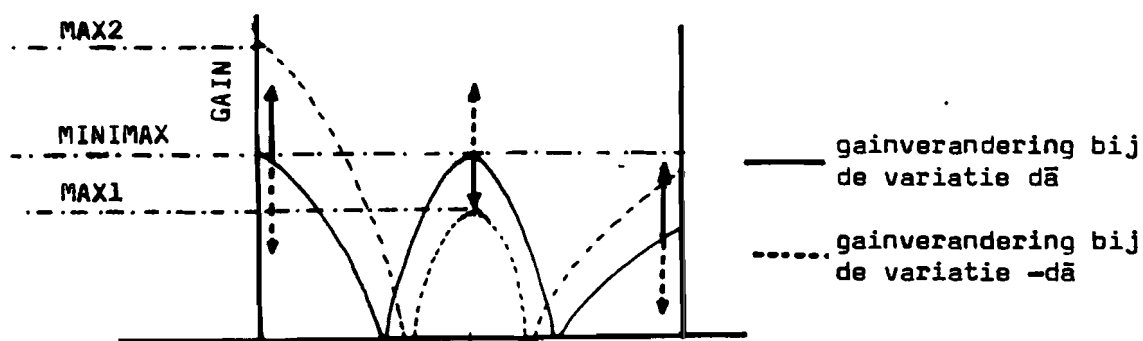


Fig. 4D Illustratie van het stopcriterium

Het beschreven algoritme voor de bepaling van  $\min |\bar{E}r|^2$  (20) en de bijbehorende waarden van  $\text{abs}(a)$  en  $\text{arg}(a)$  zijn in een stroomdiagram weergegeven in Fig. 42. Een gedetailleerdere beschrijving en een bespreking van het bijbehorende computerprogramma zijn in Appendix 9 opgenomen.

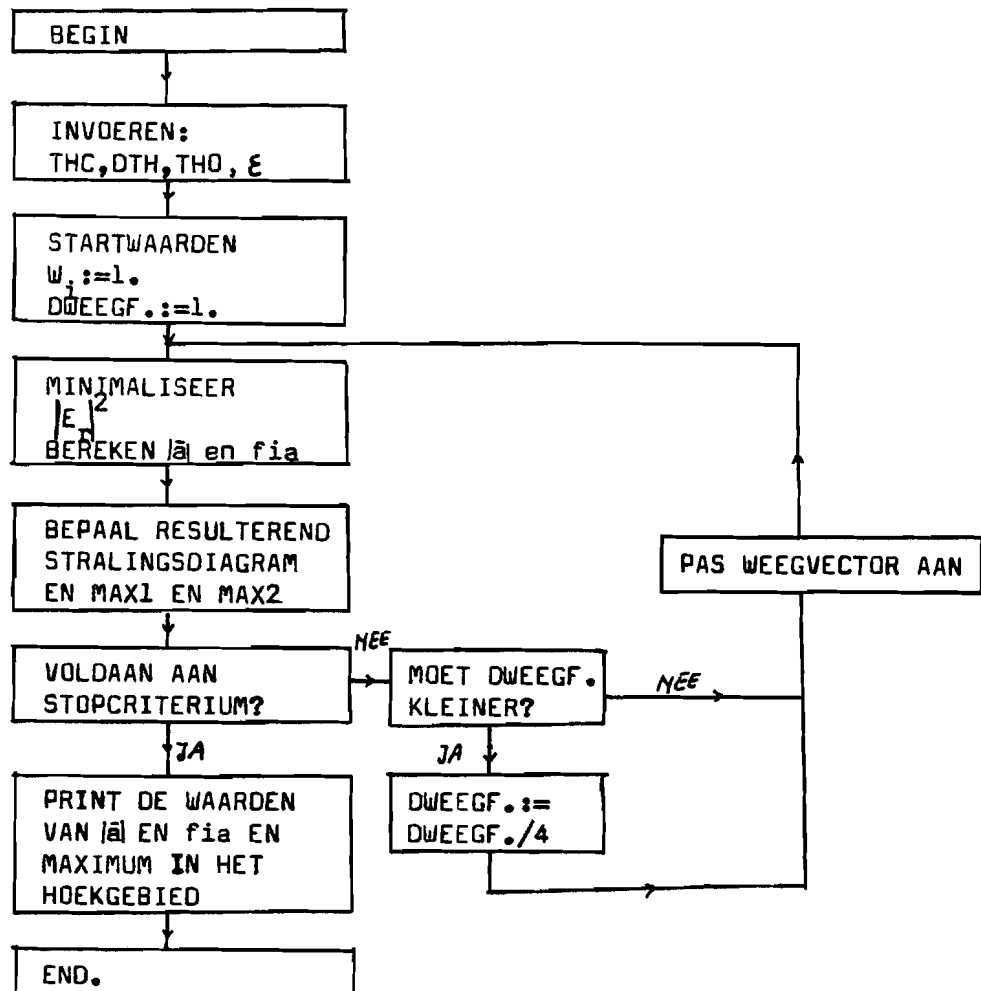


Fig. 41 Het stroomdiagram van het iteratief algoritme

2.4.2      Het minimaliseren van  
 -----  

$$|\bar{E}_r(\text{ABS}(A(\text{th0})), \text{ARG}(A(\text{th0})), \text{th0})|^2$$
 -----

Nu in paragraaf 2.4.1. aangetoond is, dat voor elke waarde van de scanhoek  $\text{th0}$  en voor elk hoekgebied  $(\text{thc}, \text{dth})$  het minimum van  $|\bar{E}_r|^2$  en de daarbij behorende waarden van  $\text{abs}(a)$  en  $\text{arg}(a)$  met willekeurige nauwkeurigheid te berekenen zijn, rest ons nog het minimum van de volgende ééndimensionale functie te bepalen (20):

$$|\bar{E}_r(|a(\text{th0})|, \text{fia}(\text{th0}), \text{th0})|^2 = \max_i |\bar{E}_p(\text{thi}) + \bar{a} \cdot \bar{E}_s(\text{thi}; \text{th0})|^2 \quad (22)$$

De functie  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \text{th0})|^2$  is voor een aantal hoekgebieden  $(\text{thc}, \text{dth})$  berekend en weergegeven in Fig. 42 t/m 44. We zien dat voor  $\text{thc} = -1.2$  en  $\text{thc} = -1.1$  (grad.) steeds sprake is van glad verlopende functies met een, en slechts een, minimum.

Voor  $\text{thc} = -1.0$  (grad.) daarentegen komen vooral bij  $\text{dth} > 0.33$  (grad.) lokale minima voor. hoewel hier sprake is van meerdere minima is het voordeel, vergeleken met Par. 2.3, dat deze functie slechts van een variabele ( $\text{th0}$ ) afhankelijk is. De bepaling van het minimum van  $|\bar{E}_r(\bar{a}, \text{th0})|^2$  vindt nu plaats door voor verschillende waarden van  $\text{th0}$  de functie uit te rekenen, en het minimum te selecteren.

Uit deze en voorgaande paragraaf is gebleken, dat het splitsen van de optimaliseringsprocedure in twee delen uiteindelijk leidt tot de gewenste minimaxwaarde van de gain in een vooraf gegeven hoekgebied  $(\text{thc}, \text{dth})$ .

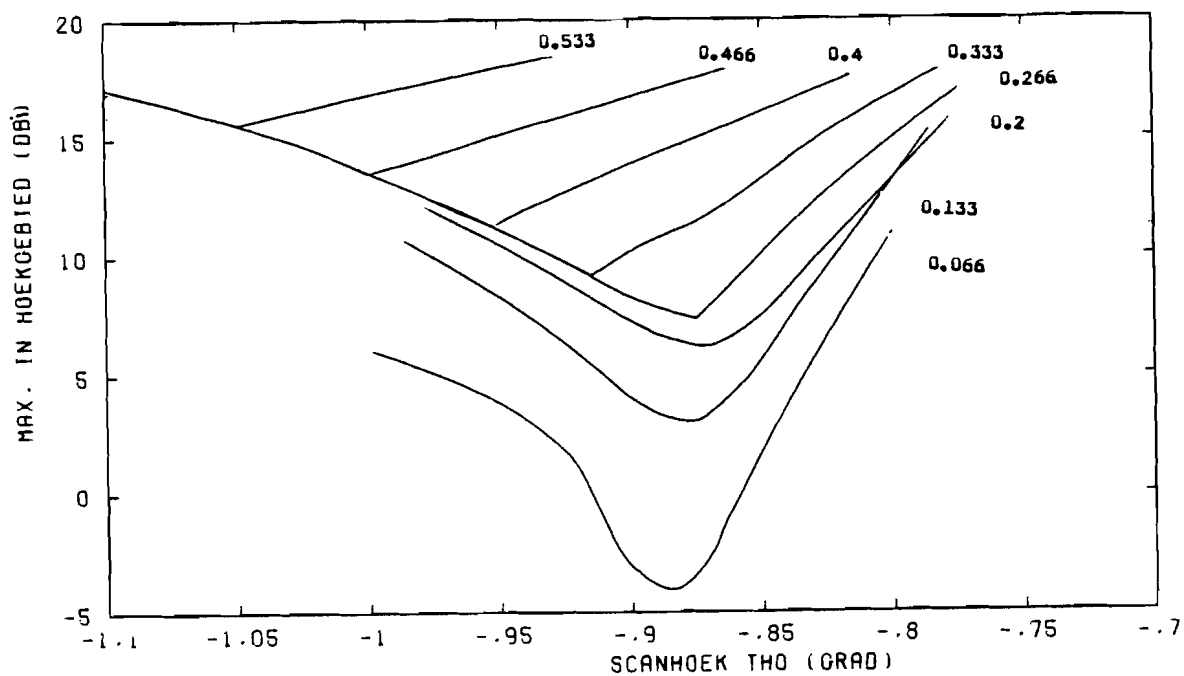


Fig. 42 De maximale gain als functie van de scanhoek  $\theta_0$ , met de breedte van het hoekgebied  $d\theta$  als parameter. Het centrum van het hoekgebied  $\theta_c$  is  $-1.2$  (grad.).

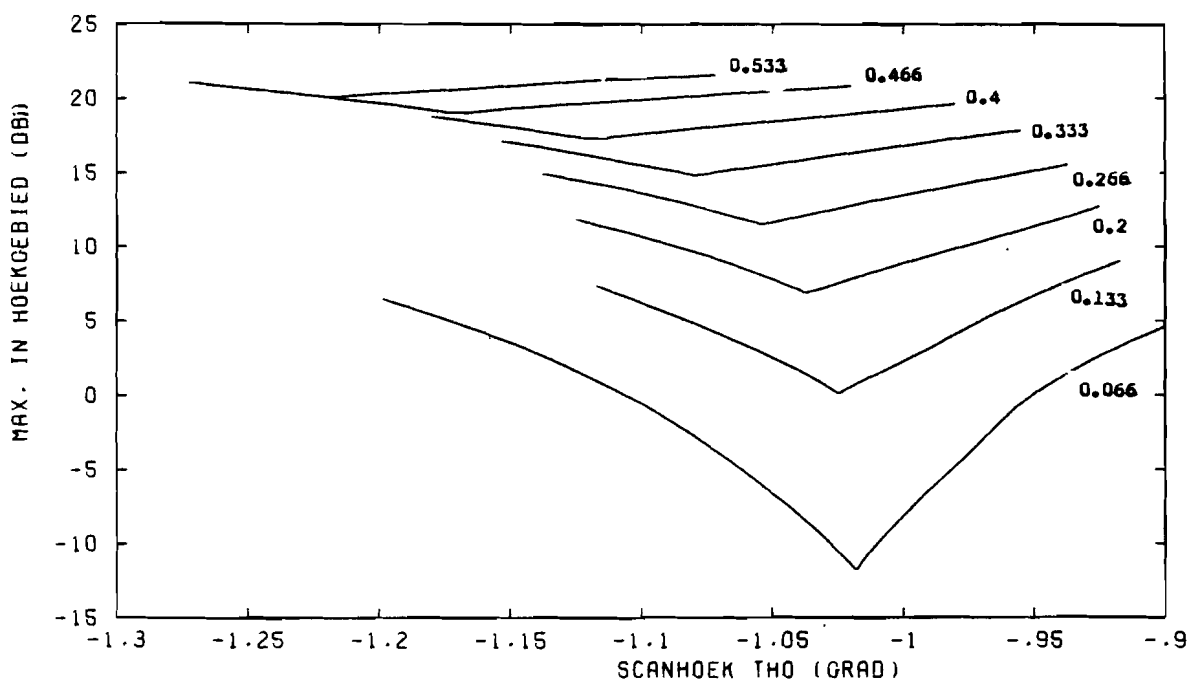


Fig. 43 De maximale gain als functie van de scanhoek  $\theta_0$ , met de breedte van het hoekgebied  $d\theta$  als parameter. Het centrum van het hoekgebied  $\theta_c$  is  $-1.1$  (grad.).

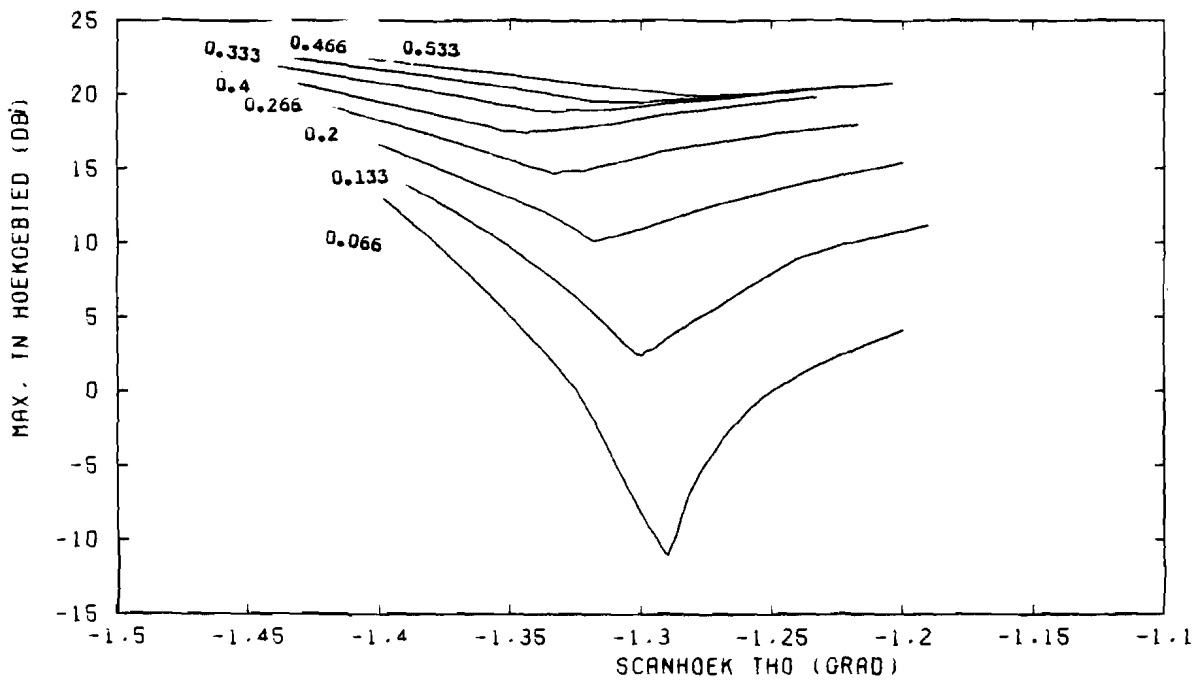


Fig. 44 De maximale gain als functie van de scanhoek  $\theta_0$ , met de breedte van het hoekgebied  $d\theta$  als parameter. Het centrum van het hoekgebied  $\theta_c$  is  $-1.0$  (grad.).



## 2.5      Resultaten van berekeningen aan zijlus onderdrukking ---      -----

### 2.5.1      inleiding -----

Met het in de voorgaande paragraaf besproken algoritme voor zijlusonderdrukking zijn een aantal berekeningen uitgevoerd, betreffende gainonderdrukking in de derde zijlus van het stralingsdiagram van een gefocuseerd Cassegrain antennesysteem, zoals dat in Paragraaf 1.1. beschreven is. Deze zijlus is gekozen als vervolg op het werk van v. Cameren [1,16].

In deze zijlus, die tussen  $\theta_h = -0.9$  en  $\theta_h = -1.3$  (grad.) ligt, is de breedte van het hoekgebied ten hoogste 0.6 (grad.), omdat voor een grotere breedte van het hoekgebied de maximaal haalbare gainonderdrukking oninteressant klein is (Fig.46). Voor  $d\theta = 0.2$  en  $0.4$  (grad.) zijn een aantal berekeningen extra uitgevoerd, omdat deze breedtes van het hoekgebied voor communicatiedoeleinden van extra belang zijn (par.2.1). Het centrum van het hoekgebied is steeds gekozen op de top van de zijlus,  $\theta_{hc} = -1.1$  (grad.) of aan weerszijden van de top op de flanken van de zijlus,  $\theta_{hc} = -1.0$  en  $-1.2$  (grad.).

Voordat de resultaten van de berekeningen worden besproken, is het nuttig even aandacht te schenken aan enkele kenmerken van zijlusonderdrukking door middel van een uit de focus geplaatste feed.

Wanneer in het hoekgebied ( $\theta_{hc}, d\theta$ ) tussen het primaire verreveld, t.g.v. de in de focus geplaatste feed, en het secundaire verreveld, t.g.v. de hulpfeed, een faseverschil van ongeveer 180 (grad.) bestaat, treedt in het verreveld als gevolg van interferentie uitdoving op. Zoals in Fig. 45 geïllustreerd is, is een maximale gainonderdrukking in het hoekgebied ( $\theta_{hc}, d\theta$ ) het geval bij een goede keus van de scanhoek  $\theta_0$  en de excitatiecoëfficiënt  $a$ .

In een hoekgebied op de flank van de zijlus wordt de gain onderdrukt door de bijbehorende flank van de gescande hoofdbundel. Hierbij is  $\text{abs}(a)$  relatief hoog. Ligt de top van de zijlus echter in het hoekgebied, dan treedt gainonderdrukking op door de top van de gescande hoofdbundel, waarbij  $\text{abs}(a)$  relatief laag is. Indien de zijlus en de gescande hoofdbundel in het betreffende hoekgebied ( $\theta_{hc}, d\theta$ ) niet eenzelfde vorm hebben, bijv. omdat de flank van de zijlus steiler is dan de bijbehorende flank van de gescande hoofdbundel, gaat dit ten koste van de maximaal mogelijke gainonderdrukking. (Fig.45a en d)

Hierbij kan het hoekgebied ( $\theta_{hc}, d\theta$ ) zich bij grotere waarden van  $d\theta$  ook uitstrekkend tot aangrenzende zijlussen, die 180 (grad.) in fase verschillen met de derde zijlus (Zie Fig.6). In deze aangrenzende zijlusser treedt in het verreveld tengevolge van interferentie met de gescande hoofdbundel versterking op, wat ter koste gaat van de maximaal haalbare gainonderdrukking in het hoekgebied ( $\theta_{hc}, d\theta$ ). De gevolgen van deze ongewenste vorm van interferentie kunnen beperkt worden,

door de scanhoek  $\theta_c$ , en daarmee ook  $\text{abs}(a)$  en  $\text{arg}(a)$ , zodanig te wijzigen, dat de gain van het secundaire verzeveld in die aangrenzende zijlussen kleiner wordt.

Een nadere beschouwing van de aan de derde zijlus grenzende zijlussen leert, dat de tweede zijlus hoger is dan de vierde (20.27 resp. 4.3 dB, Fig.6). Op grond hiervan zullen de resultaten van zijlusonderdrukking op de beide flanken van elkaar verschillen, wat we later inderdaad zullen zien.

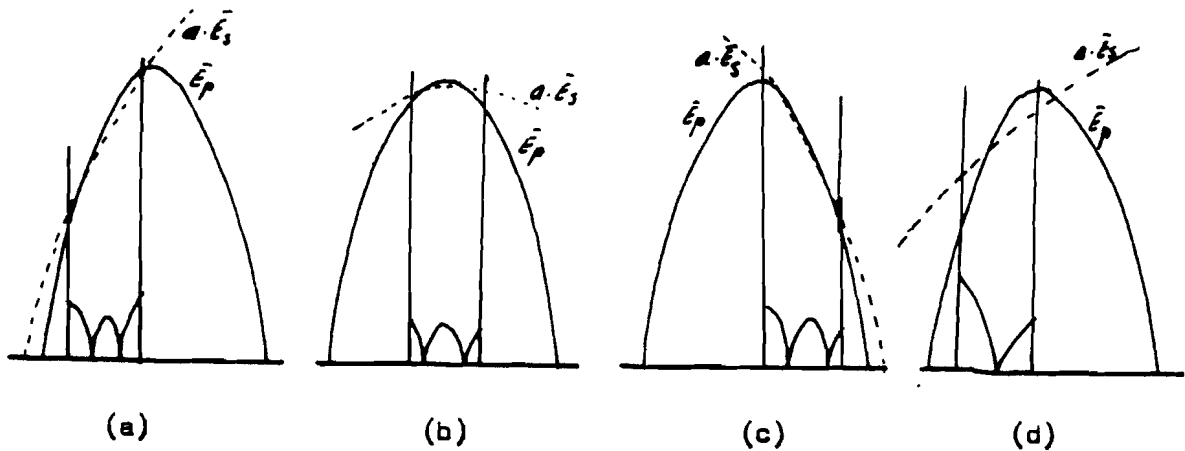


Fig. 45 enkele mogelijkheden bij zijlusonderdrukking

#### 2.5.2 De gainonderdrukking

De maximale gain in het onderdrukkinggebied neemt met groter wordende  $d\theta$  toe, hetgeen te verwachten is op grond van het verschil in vorm tussen de gescande hoofdbundel en de te onderdrukken zijlus (Fig.46).

Bij kleinere  $d\theta$  ( $d\theta < 0.2$  (grad.)) is de maximale gain bij  $\theta_c = -1.2$  en  $\theta_c = -1.3$  (grad.) groter, dan men op grond van het verloop voor  $\theta_c = -1.1$  en  $\theta_c = -1.0$  (grad.) zou verwachten, zoals hierboven is besproken. De reden hiervoor is, dat de flank van de zijlus bij  $\theta_c = -1.2$  (grad.) steiler (en bij  $\theta_c = -1.3$  (grad.) veel steiler) is, dan de bijbehorende flank van de gescande hoofdbundel.

Het gainverloop in het hcekgebied ( $\theta_c, d\theta$ ) bij  $\theta_c = -1.2$  (grad.) is vergeleken met die bij  $\theta_c = -1.1$  en  $\theta_c = -1.0$  (grad.). Hieruit blijkt (Fig.53) dat inderdaad sprake is van een niet bij elkaar passen van de flanken, wat overeenkomt

met de situatie in Fig.45d. (zie ook Fig. 47)  
 De gainonderdrukking op de linkerflank,  $\theta_{hc} < -1.1$  (grad.), geeft voor grotere dth betere resultaten dan die op de rechterflank,  $\theta_{hc} > 1.1$  (grad.). Dit hangt direct samen met het niveau van de aan de derde zijlus grenzende zijlussen. Bij gainonderdrukking op de linkerflank namelijk is de bijdrage van de vierde zijlus zo gering, dat extra aandacht aan het onderdrukken van de derde zijlus geschonken kan worden. De gescande hoofdbundel schuift naar de derde zijlus toe (Fig. 47 en 48).

Bij gainonderdrukking op de rechterflank daarentegen, is de bijdrage van de tweede zijlus zo hoog, dat gain van de gescande bundel in het hoekgebied flink verlaagd wordt, wat ten koste gaat van onderdrukking van de flank van de derde zijlus. Dit heeft bewerkstelligd door een kleinere scanhoek en een kleinere  $\text{abs}(a)$  tot gevolg, zoals we nog zullen zien. In het verrevelde stralingsdiagram treedt, ten gevolge van zijlusonderdrukking, slechts geringe vervorming op in de onmiddellijke omgeving van het hoekgebied, waarin zijlusonderdrukking gewenst is (Fig.47-52). Bij onderdrukking op de flanken van de derde zijlus is deze vervorming het grootst, omdat de top van de gescande hoofdbundel buiten het hoekgebied ligt. Deze vervorming zou er zelfs toe kunnen leiden, dat het resulterende stralingsdiagram niet meer voldoet aan de voor grondstations geldende CCIR-normen \*), zoals we in Fig. 51 kunnen zien.

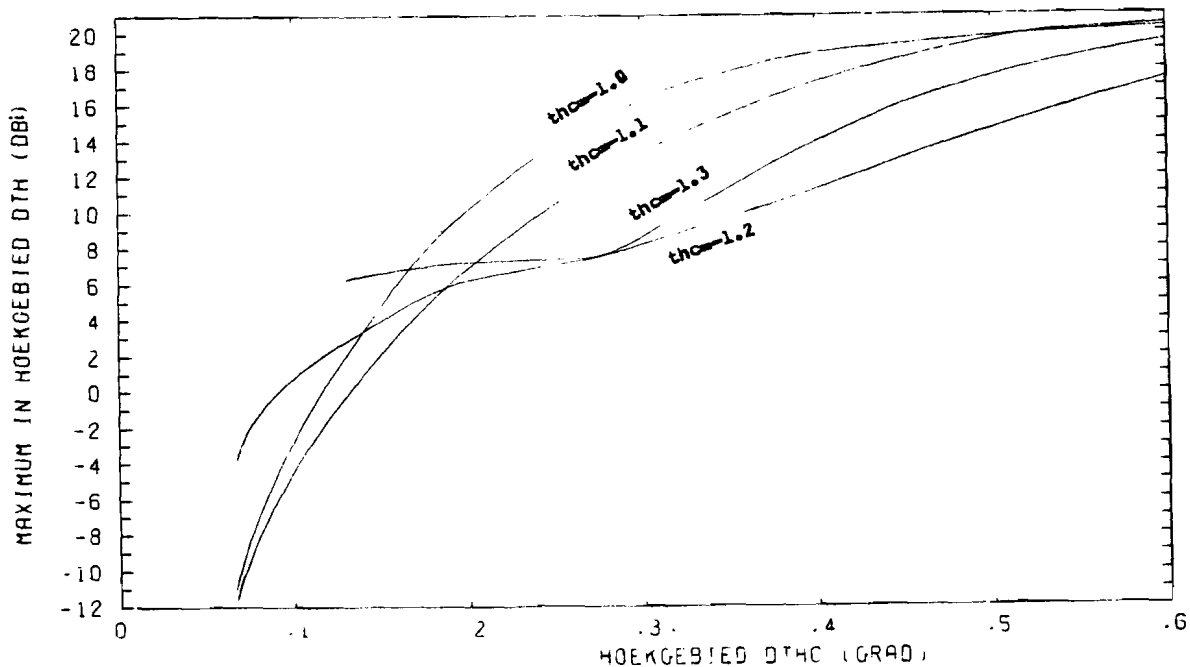
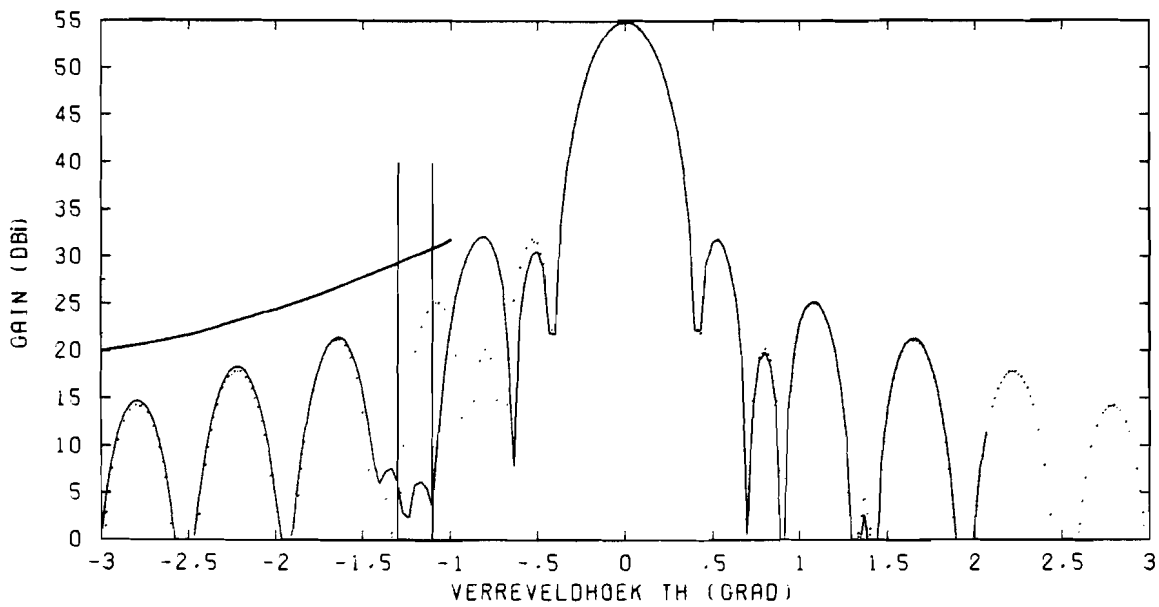
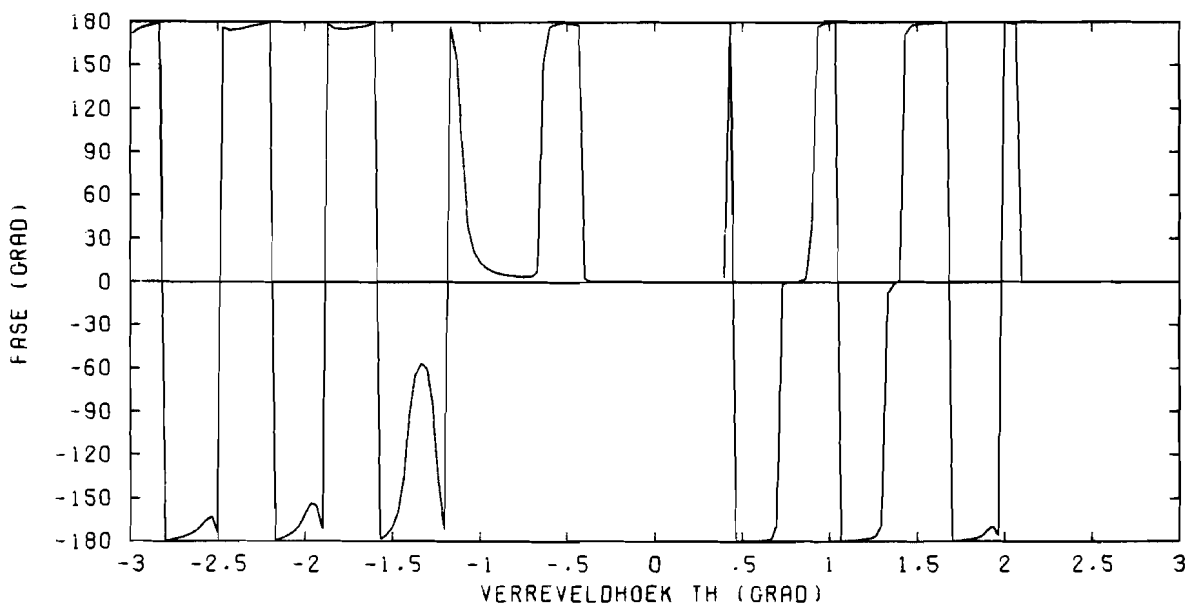


Fig. 46 De maximale gain als functie van de breedte van het hoekgebied, met het centrum  $\theta_{hc}$  als parameter

\* ) Deze zijn vooral in, dat tenminste 90% van de zijlussen voor de hoeken  $1 \leq \theta \leq 40$  (grad.) onder  $G(\theta) = 32 - 2 \log(\theta)$  (db) moet liggen. Mogelijk wordt deze eis binnenkort met 3 (db) versoepeld tot  $G(\theta) = 29 - 2 \log(\theta)$  (db).



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



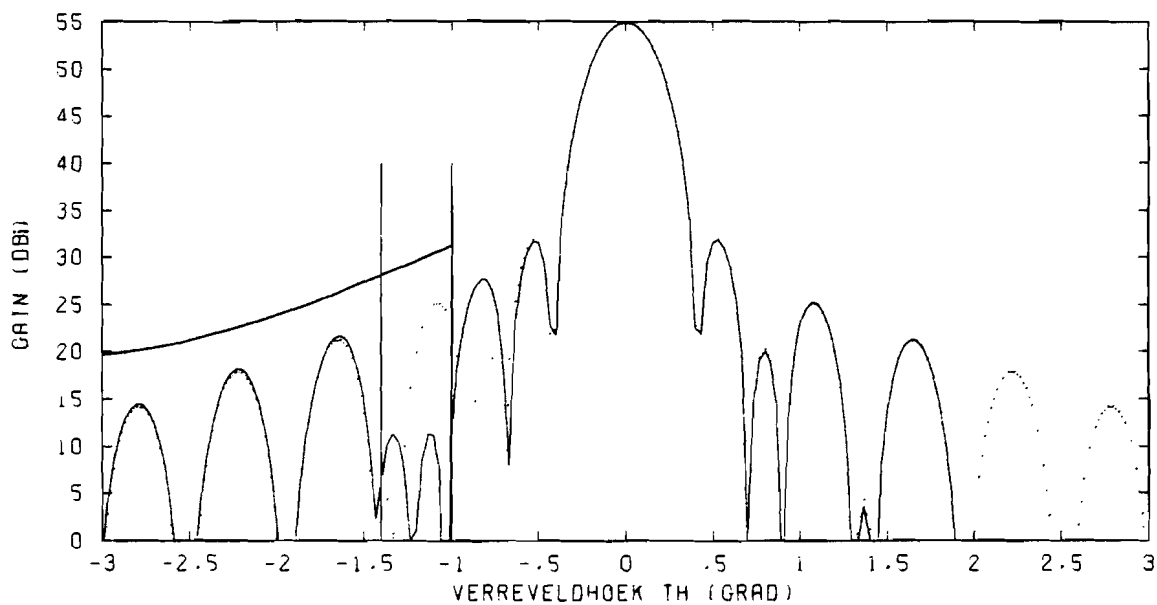
(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC : -1.200 (GRAD)  
 BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.200 (GRAD)  
 SCANHOEK THO : -0.872 (GRAD)  
 EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -24.195 (DB)  
 ARG(A) : 3.205 (GRAD)

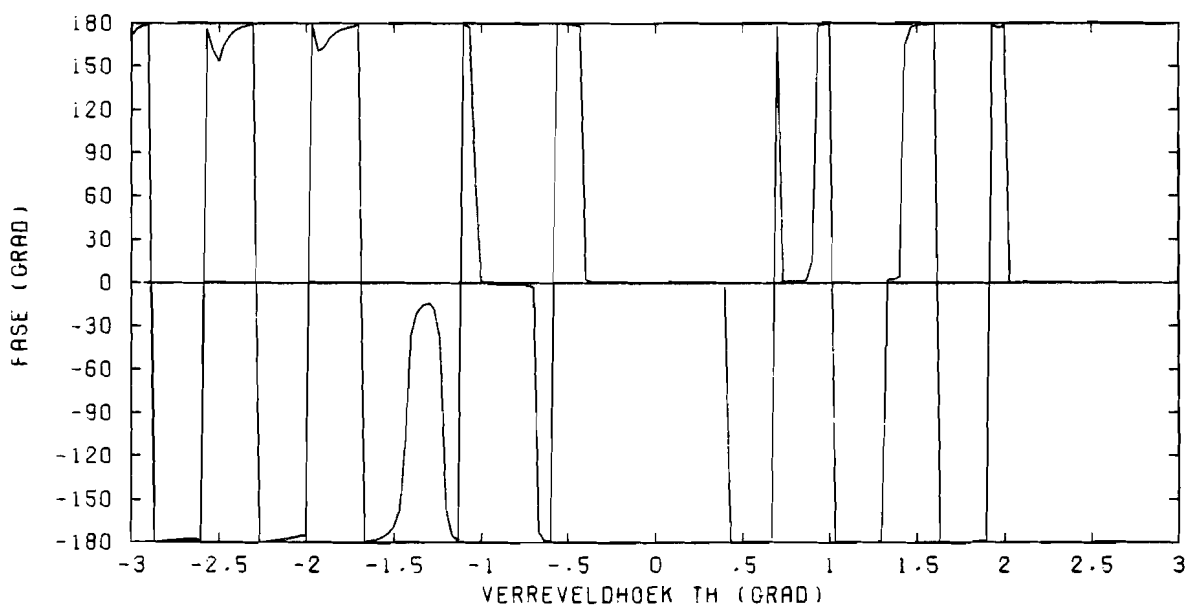
————— MET ONDERDRUKKING

————— ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 47 geoptimaliseerde zijlusonderdrukking voor het hoekgebied  
 $(thc, dth) = (-1.2, 0.2)$



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



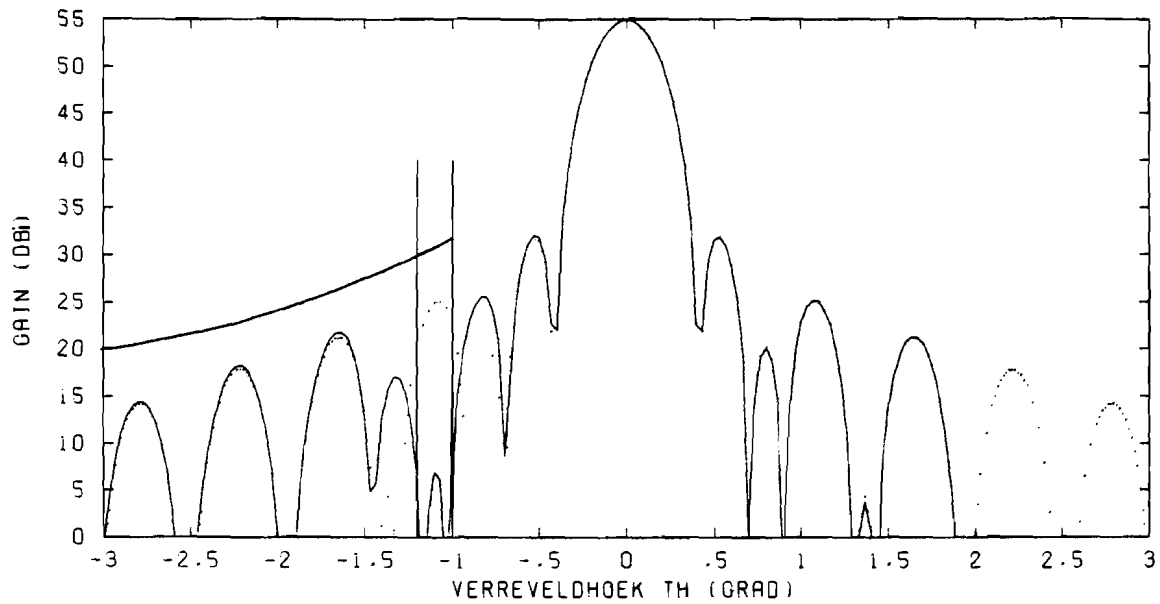
(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC . -1.200 (GRAD)  
 BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.400 (GRAD)  
 SCANHOEK THO : -0.953 (GRAD)  
 EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -29.182 (DB)  
 ARG(A) : -3.286 (GRAD)

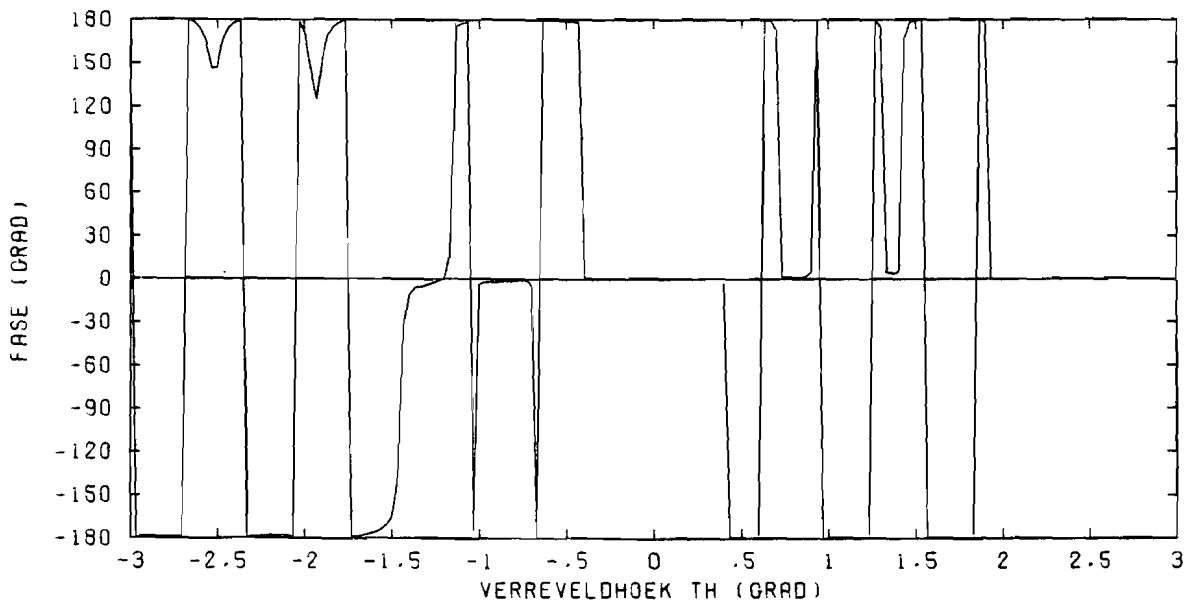
---

MET ONDERDRUKKING  
 ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 48 geoptimaliseerde zijlusonderdrukking voor het hoekgebied  $(thc, dth) = (-1.2, 0.4)$



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



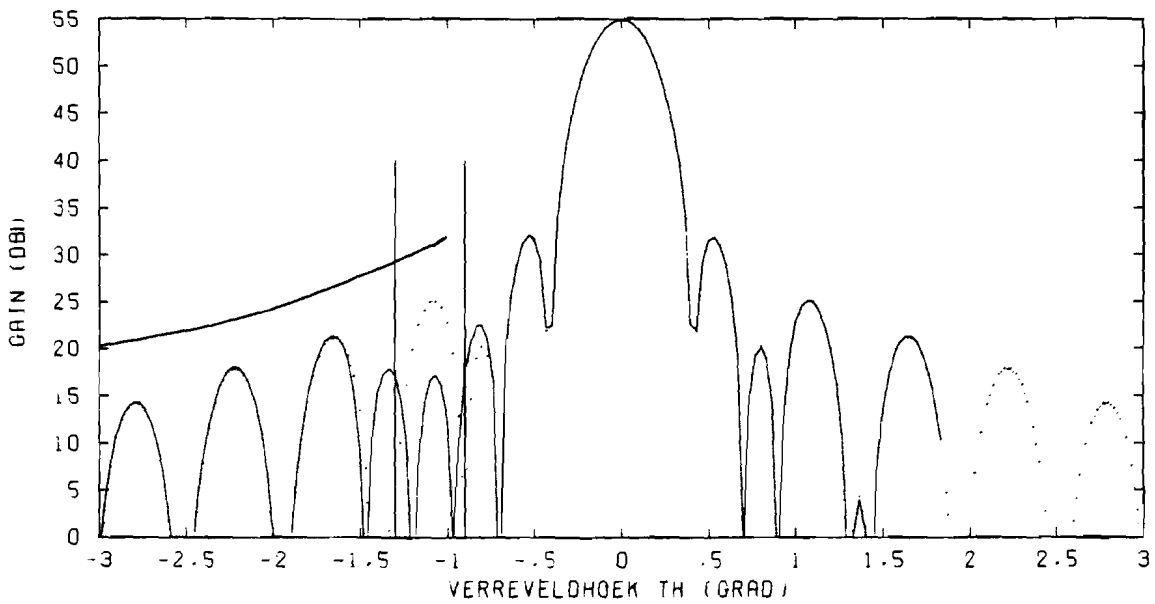
(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC : -1.100 (GRAD)  
 BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.200 (GRAD)  
 SCANHOEK THO : -1.037 (GRAD)  
 EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -29.944 (DB)  
 ARG(A) : -2.849 (GRAD)

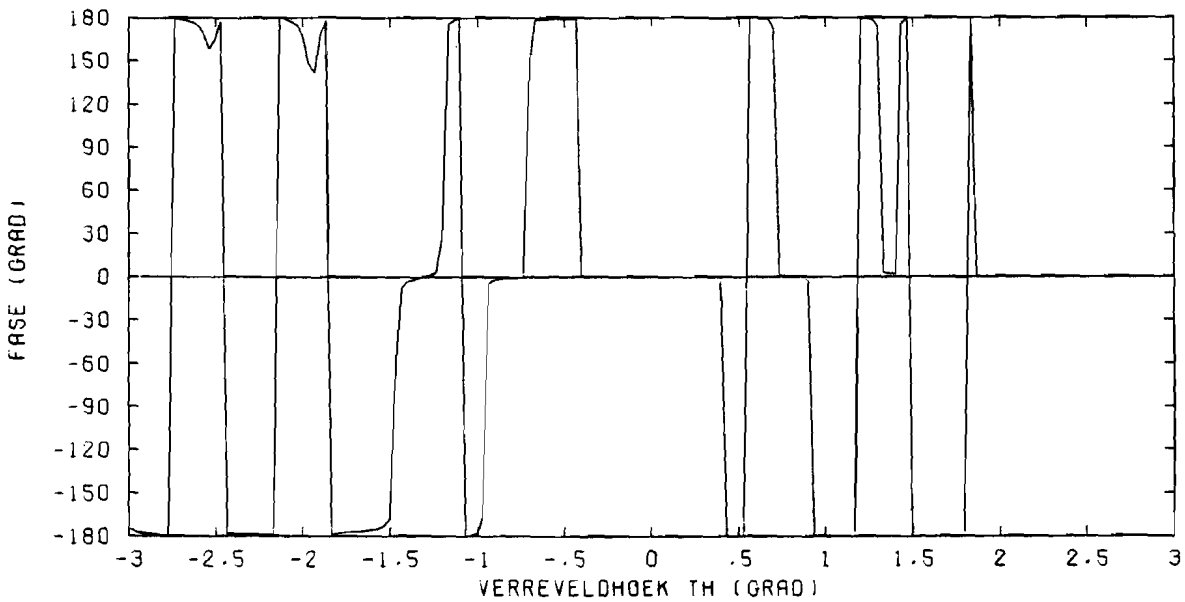
————— MET ONDERDRUKKING

ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 49 geoptimaliseerde zijlusonderdrukking voor het hoekgebied  $(thc, dth) = (-1.1, 0.2)$



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



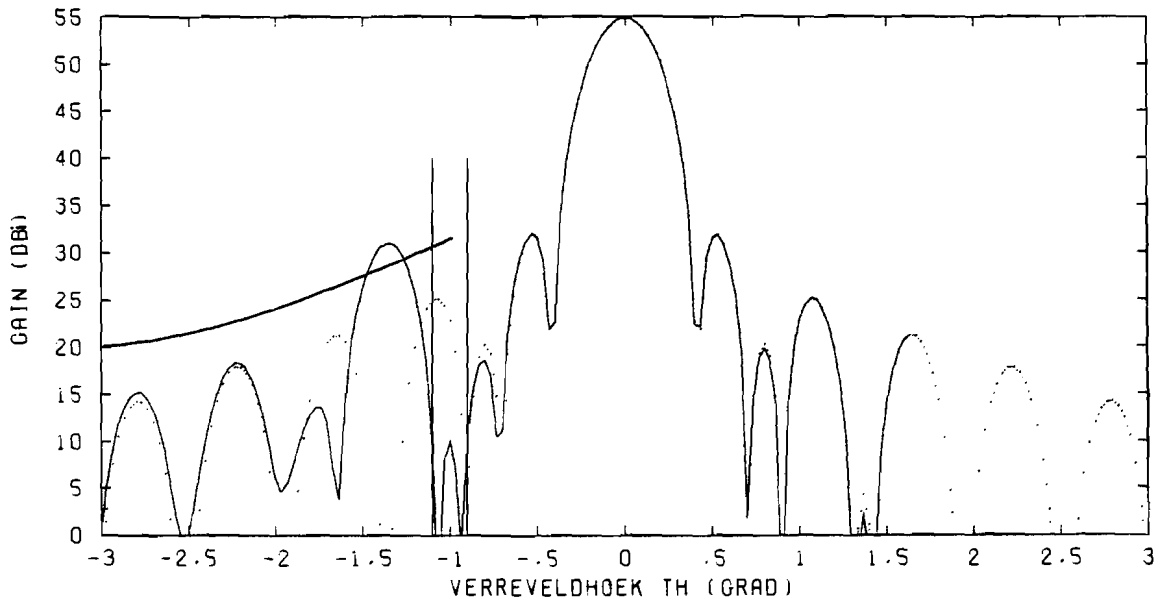
(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC : -1.100 (GRAD)  
 BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.400 (GRAD)  
 SCANHOEK THO : -1.119 (GRAD)  
 EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -33.186 (DB)  
 ARG(A) : -1.388 (GRAD)

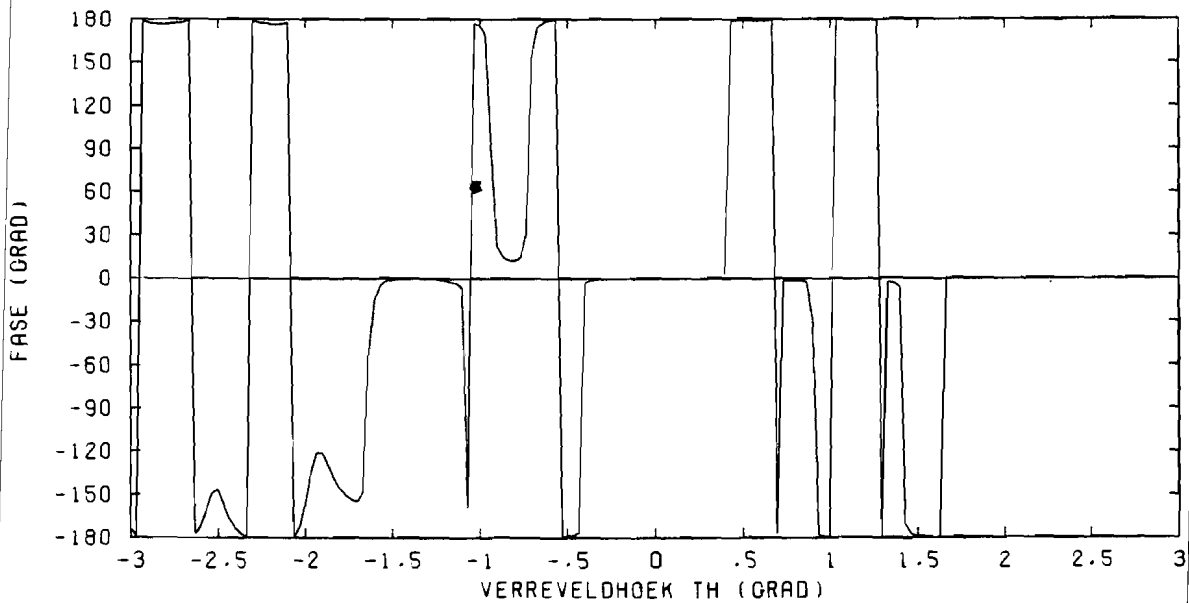
---

MET ONDERDRUKKING  
 ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 50 geoptimaliseerde zijlsonderdrukking voor het hoekgebied  $(thc, dth) = (-1.1, 0.4)$



(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC : -1.000 (GRAD)

BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.200 (GRAD)

SCANHOEK THO : -1.318 (GRAD)

EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -23.034 (DB)

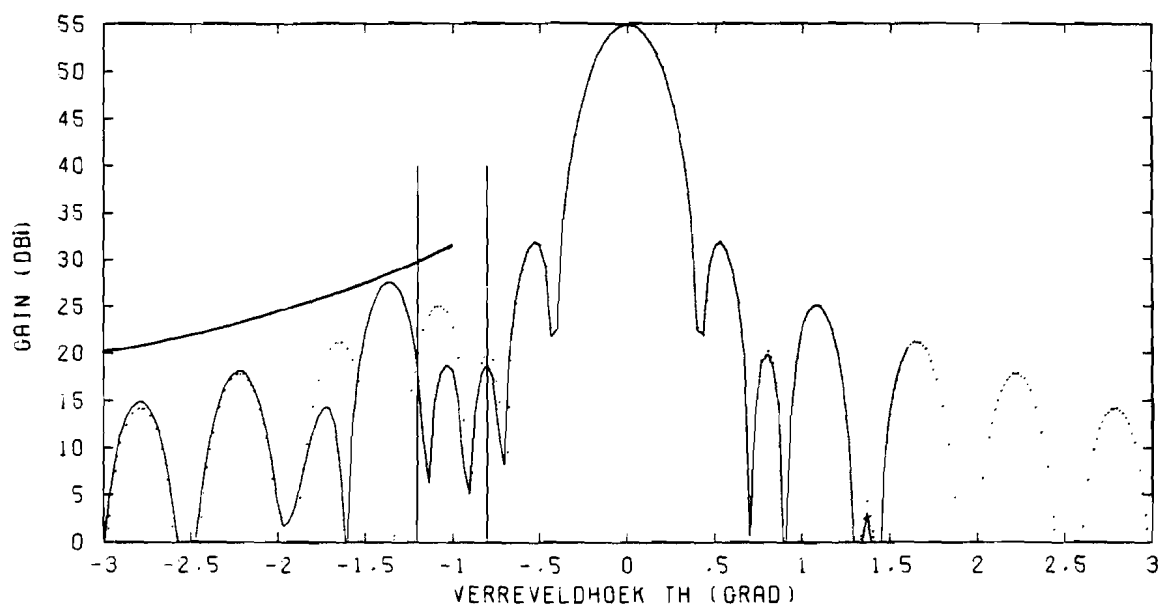
ARG(A) : 2.522 (GRAD)

————— MET ONDERDRUKKING

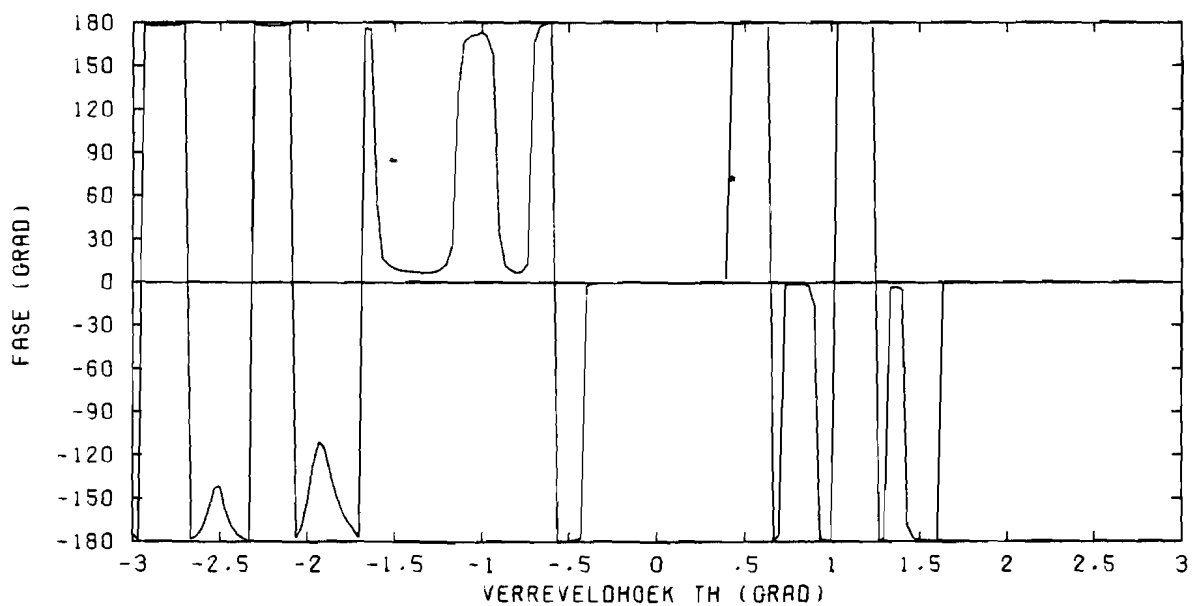
..... ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 51 geoptimaliseerde zijlsonderdrukking voor het hoekgebied  
(thc,dth)=(-1.0,0.2)





(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM



(B) HET FASEDIAGRAM

CENTRUMHOEK THC : -1.000 (GRAD)  
 BREEDTE VAN HOEKGEBIED DTH : 0.400 (GRAD)  
 SCANHOEK THO : -1.335 (GRAD)  
 EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : -26.749 (DB)  
 ARG(A) : 9.999 (GRAD)

\_\_\_\_\_ MET ONDERDRUKKING

\_\_\_\_\_ ZONDER ONDERDRUKKING

Fig. 52 geoptimaliseerde zijlusonderdrukking voor het hoekgebied  $(thc, dth) = (-1.0, 0.4)$

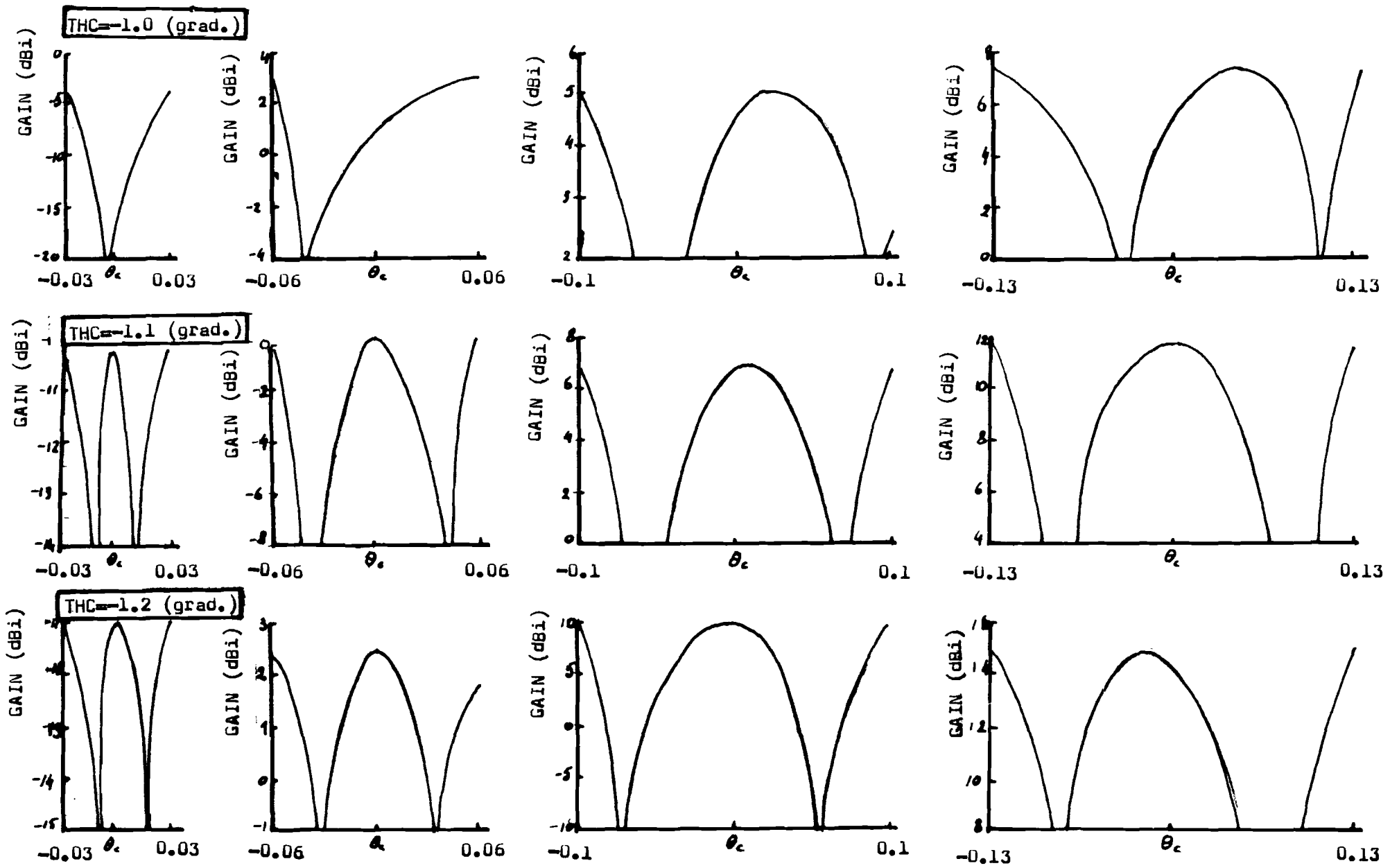


Fig. 53 Resultierende stralingsdiagrammen voor toenemende breedtes van het hoekgebied (thc,dth), voor verschillende waarden van het centrum van het hoekgebied the

### 2.5.3 De scanhoek $th_0$ en de excitatiecoëfficiënt $\bar{a}$

Bij gainonderdrukking op de flank van de zijlus zien we, zoals verwacht bij een kleine  $dth$ , dat  $abs(a)$  relatief groot is (Fig. 54), en dat de scanhoek  $th_0$  groot is ( $th_0 = -0.87$  (grad.) voor  $thc = -1.2$  (grad.) of kleiner ( $th_0 = -1.3$  (grad.) bij  $thc = -1.0$  (grad.)) (Fig. 55), hetgeer betekent, dat de gainonderdrukking in beide gevallen inderdaad met de flank van de gescande hoofdbundel plaatsvindt. (zie ook Fig. 42-44 waarvan Fig. 55 afgeleid is)

Wanneer het hoekgebied zich uitstrekt tot de aangrenzende zijlus, bij  $dth > 0.2$  (grad.), zien we een verschillend gainonderdrukkings gedrag voor beide flanken: Voor de rechterflank scant de hoofdbundel meer en meer weg van het hoekgebied ( $thc, dth$ ), zodat de gain bij de aangrenzende zijlus lager wordt. Voor de linkerflank daarentegen scant de hoofdbundel meer en meer naar het hoekgebied toe, wat vanwege de lage gain in de vierde zijlus niet leidt tot een hoge resulterende gain.

Het argument vertoont bij de gainonderdrukking op de flanken fasesprongen die steeds optreden, wanneer het hoekgebied ( $thc, dth$ ) zich tot een nieuwe zijlus uitstrekt.

Voor gainonderdrukking in het centrum van de derde zijlus zien we een lage waarde van  $abs(a)$ , die met toenemende  $dth$  verder afneemt. De scanhoek  $th_0$  valt ongeveer samen met de  $tcp$  van de zijlus en neemt met grotere  $dth$  af vanwege het asymmetrische karakter van deze zijlus. Voor  $dth > 0.4$  (grad.) neemt  $th_0$  sneller af, omdat het hoekgebied zich dan uitgebreid heeft tot in de kleine vierde en grote tweede zijlus.

### 2.5.4 De afhankelijkheid van de gainonderdrukking van de scanhoek $th_0$ en de excitatiecoëfficiënt $a$

De afhankelijkheid van de gainonderdrukking is beschouwd voor de scanhoek  $th_0$  en de excitatiecoëfficiënt  $a$ ,  $abs(a)$  resp.  $arg(a)$ .

De  $th_0$ -afhankelijkheid is bepaald door voor een gegeven waarde van  $th_0$  de excitatiecoëfficiënt  $a$  zodanig te berekenen dat de gainonderdrukking in het betreffende hoekgebied maximaal is (Voor elke  $th_0$  is het optimaliserings-algoritme gebruikt). Dit is in feite in overeenstemming met de praktijksituatie, waarin de waarde van  $th_0$  een hardwaregegeven is, d.w.z. de scanhoek  $th_0$  is door de positie en de inclinatie van de hulofeed vastgelegd, terwijl de waarden van  $abs(a)$  en  $arg(a)$  voortdurend tot een optimale

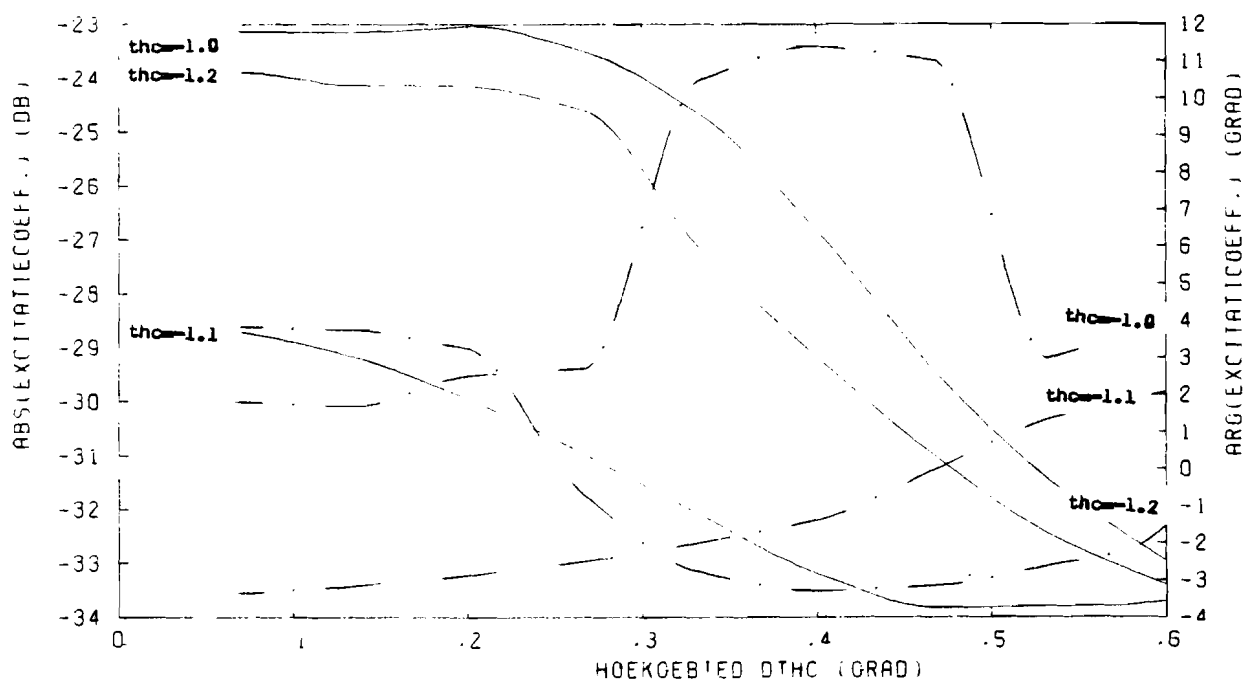


Fig. 54 Het argument (---) en de absolute waarde (—) van de excitatiecoëfficiënt  $a$  als functie van de breedte  $d_{th}$  van het hoekgebied, met het centrum  $thc$  als parameter.

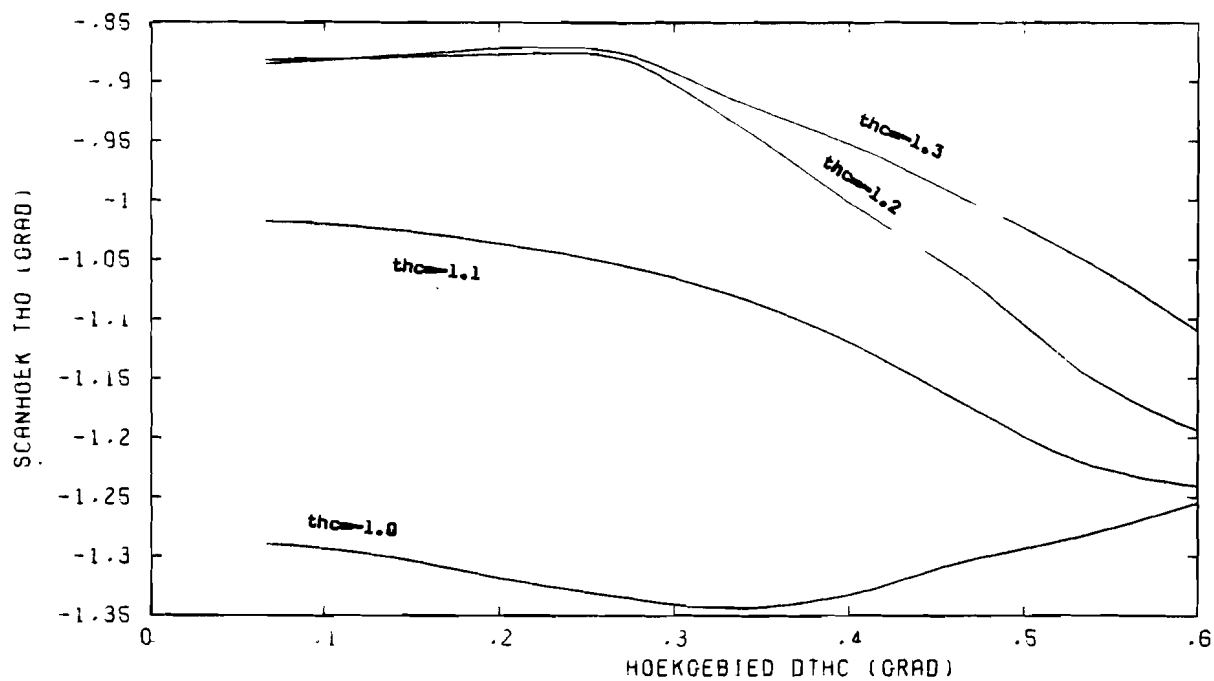


Fig. 55 De scanhoek  $th_0$  als functie van de breedte  $d_{th}$  van het hoekgebied, met het centrum  $thc$  als parameter.

gainonderdrukking instelbaar zijn, en daarom een adaptieve regeling niet in de weg staan

We zien (Fig. 42 t/m 44) dat de gainonderdrukking minder afhankelijk wordt van de scanhoek  $\theta_0$  naarmate het hoekgebied breder wordt. Dit is een gegeven dat voor de praktijk aantrekkelijk is.

Bij  $\theta_c = -1.2$  (grad.) zien we, in tegenstelling tot bij  $\theta_c = -1.0$  resp.  $-1.1$  (grad.), dat het verloop voor  $d\theta < 0.33$  geen scherpe punt heeft in het minimum. Dit hangt samen met het eerder geconstateerde feit (par. 2.5.2), dat de flanken van de descande hoofdbundel en de zijlus niet bij elkaar passen. (fig. 47 en fig. 53)

De  $\text{abs}(a)$  en  $\text{arg}(a)$  afhankelijkheid zijn op de volgende, iets afwijkende wijze bepaald:

Uitgaande van de waarden van  $\text{abs}(a)$ ,  $\text{arg}(a)$ ,  $\theta_0$ , die gelden bij een optimale gainonderdrukking in een bepaald hoekgebied ( $\theta_c, d\theta$ ), is de waarde van  $\text{abs}(a)$  gevarieerd (met  $-2 < \Delta \text{abs}(a) < 2$  (dB)) en de waarde van  $\text{arg}(a)$  (met  $-20 < \Delta \text{arg}(a) < 20$  (grad.)). De toename in de maximale gain in het betreffende hoekgebied is als functie van deze variaties uitgezet in Fig. 56 t/m 58.

We zien, dat de onderdrukking minder afhankelijk wordt van de excitatiecoëfficiënt, naarmate het hoekgebied breder wordt. De reden hiervoor is, dat een bepaalde variatie in het secundaire verveeld  $a_2$  een kleinere relatieve verandering in het resulterende veld  $E_r$  tot gevolg heeft naarmate  $E_r$  groter is. Dit is het geval bij een grotere hoekbreedte.

Op grond van deze berekeningen, mogen we concluderen, dat gainonderdrukking, vooral voor in de bredere voor communicatiedoelende interessante hoekgebieden, zodanig afhankelijk is van de parameters  $a$  en  $\theta_0$ , dat praktische realiseerbaarheid mogelijk zou kunnen zijn.

#### 2.5.5 DE GAIN BUITEN HET HOEKGEBIED VAN ----- OPTIMALISEREN -----

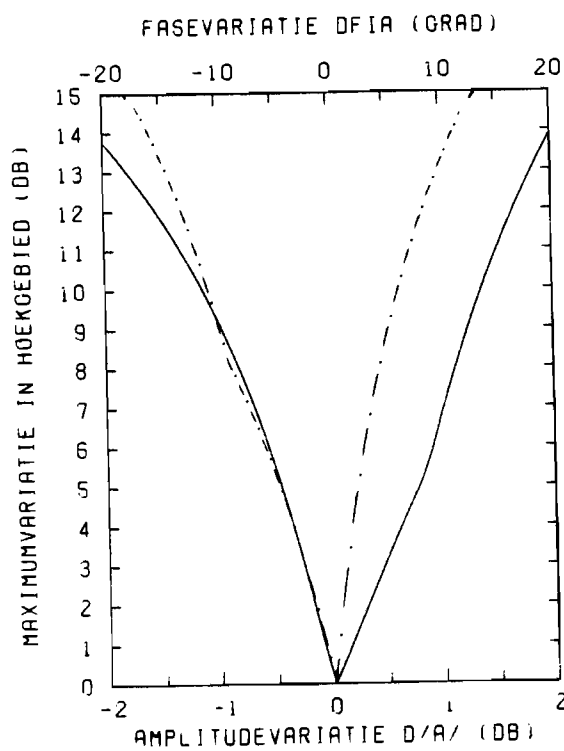
Wanneer de gainonderdrukking in een hoekgebied met

$$\theta_c - \frac{d\theta}{2} < \theta < \theta_c + \frac{d\theta}{2}$$

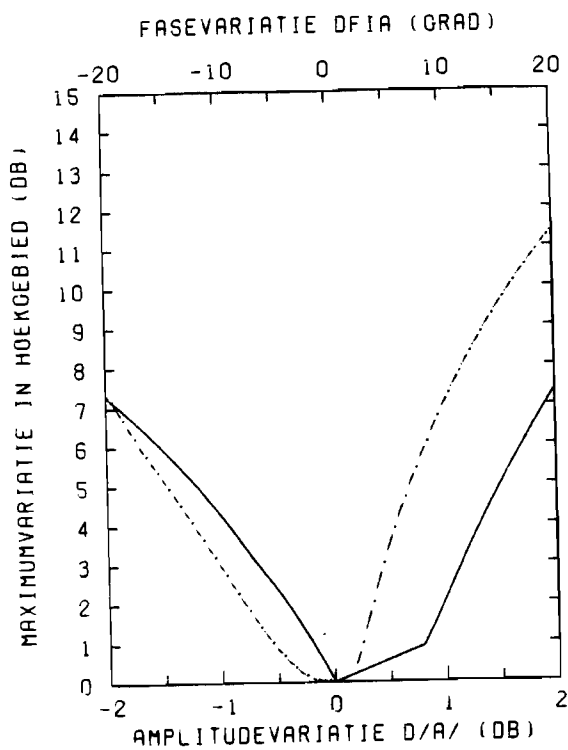
$$\sin \varphi = 0$$

geoptimaliseerd is, blijkt deze voor  $\sin(\varphi) = 0$ , in de Noord-Zuid richting, snel af te nemen, wanneer de top van de derde zijlus in het hoekgebied ( $\theta_c, d\theta$ ) ligt. Zie hiervoor (Fig. 59 en 60). De breedte van het hoekgebied  $d\theta$ , 0.2 resp. 0.4 (grad.), blijkt minder invloed te hebben op de ligging van de contouren naarmate de grootte hiervan toeneemt.

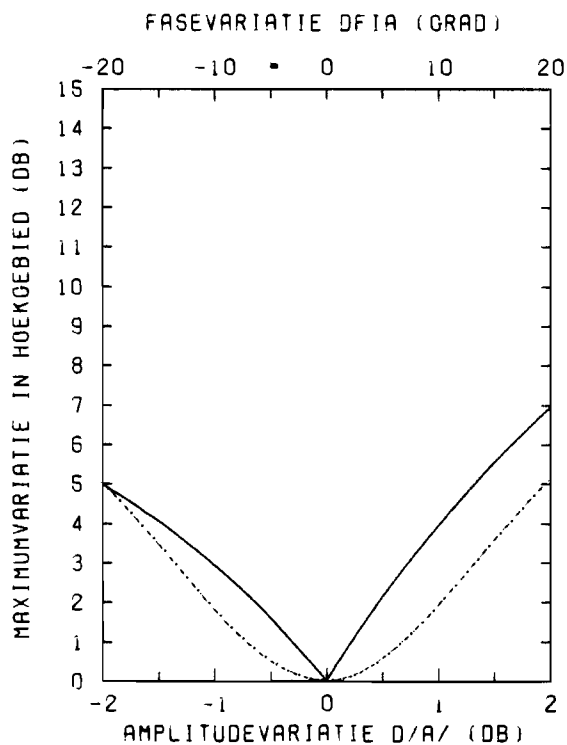
Om te illustreren wat er aan de hand is, is het verveeld stralingsdiagram van het gefocusseerde Cassegrain antennesysteem en de descande hoofdbundel bij defocussing



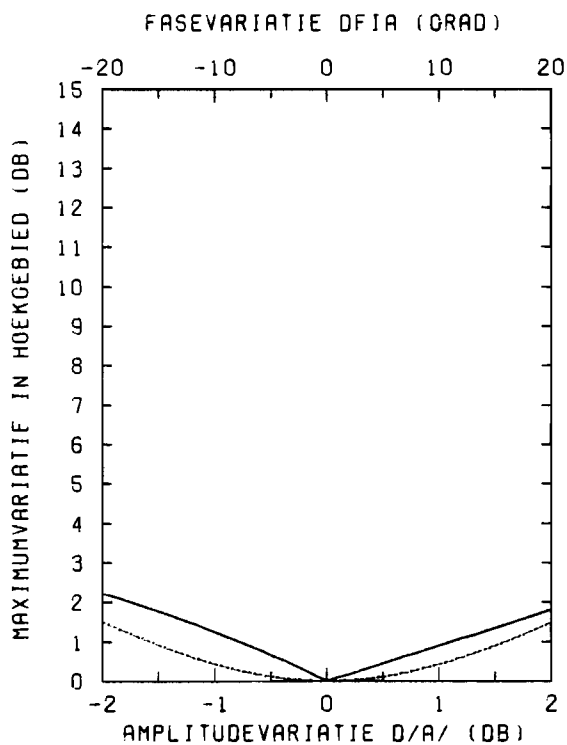
(A) DTH:=0.066 (GRAD)



(B) DTH:=0.2 (GRAD)



(C) DTH:=0.4 (GRAD)

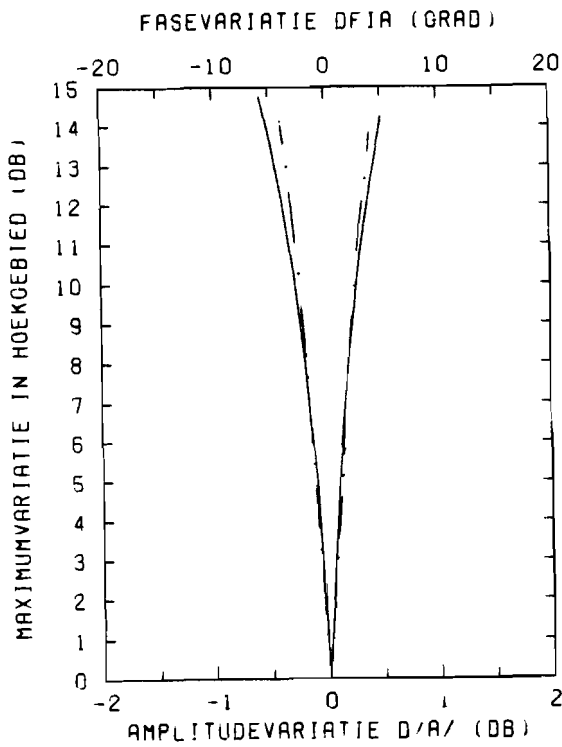
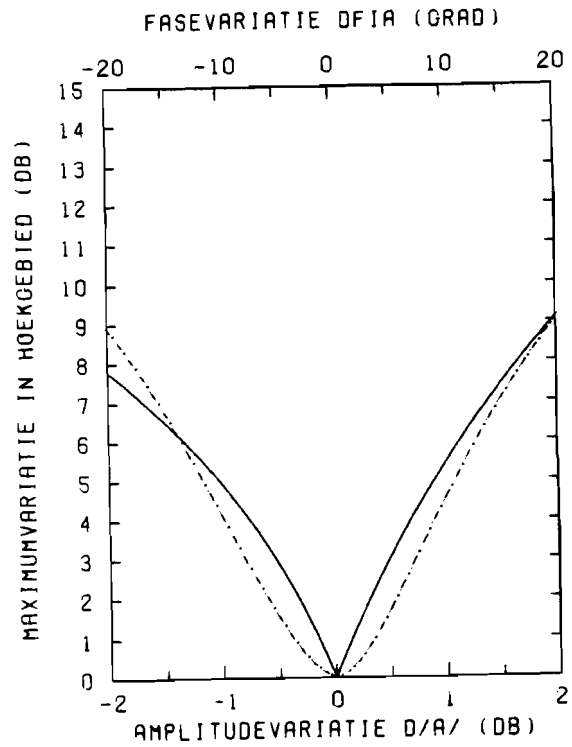
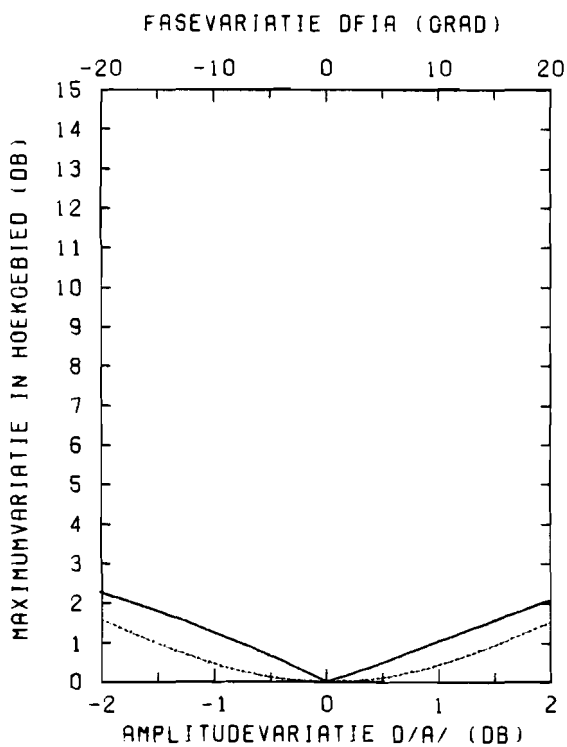
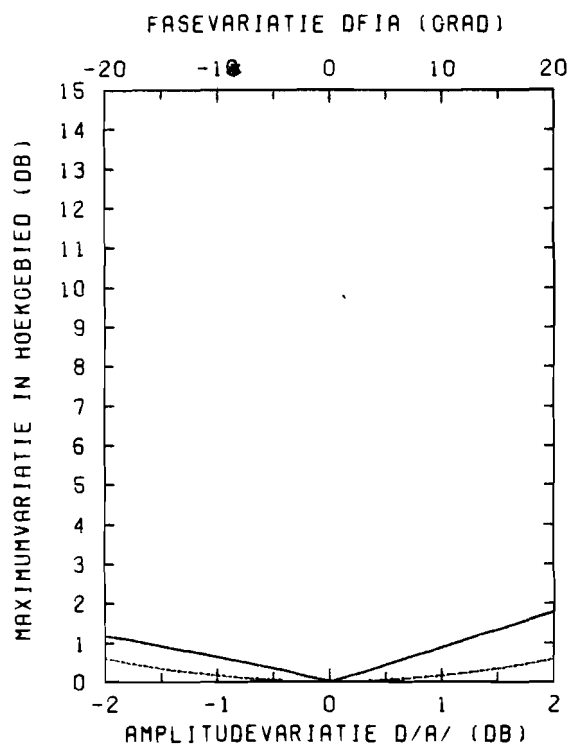


(D) DTH:=0.6 (GRAD)

— — — — — BIJ VARIATIE DFIA

————— BIJ VARIATIE D/A/

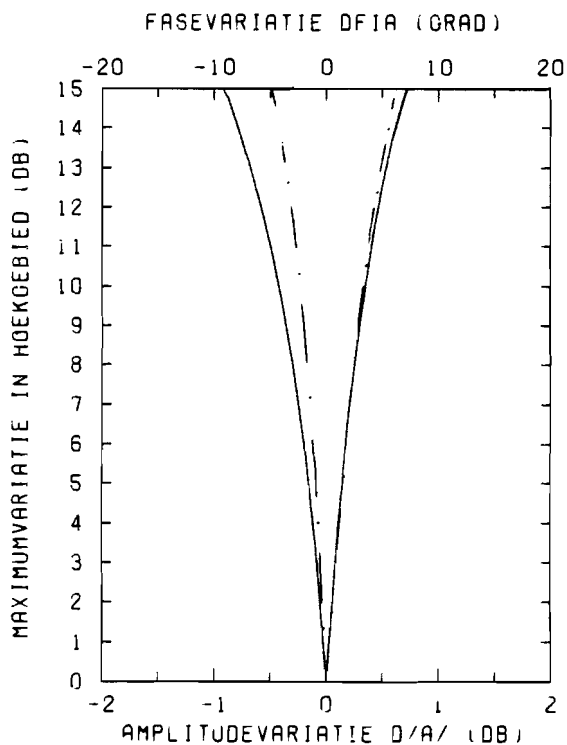
Fig. 56 De invloed van de excitatiecoëfficiënt  $a$  op de maximale gain in het hoekgebied bij een verschillende breedte  $dth$  en het centrum  $thc = -1.2$  (grad.).

(A)  $DTH := 0.066$  (GRAD)(B)  $DTH := 0.2$  (GRAD)(C)  $DTH := 0.4$  (GRAD)(D)  $DTH := 0.6$  (GRAD)

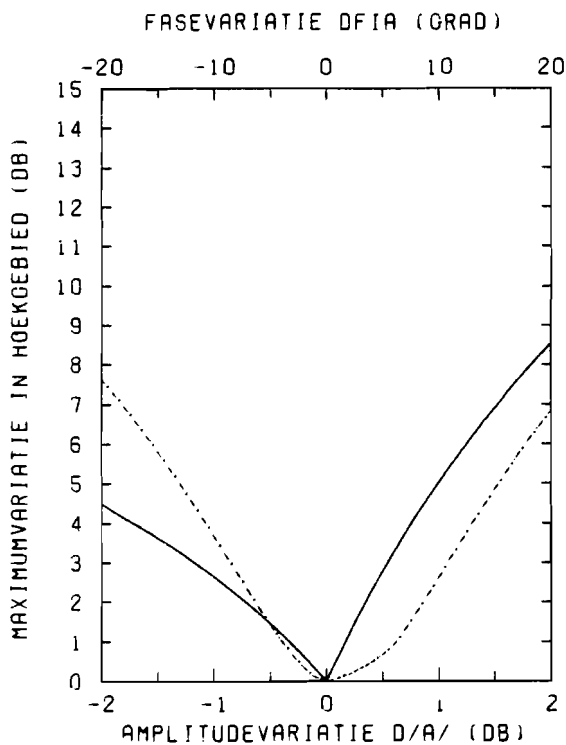
— — — — — BIJ VARIATIE DFIA

————— BIJ VARIATIE D/A/

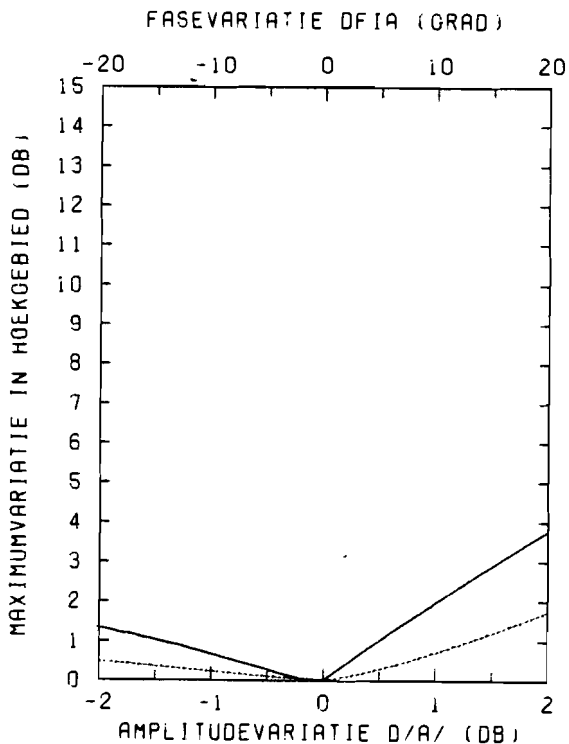
Fig. 57 De invloed van de excitatiecoëfficiënt  $a$  op de maximale gain in het hoekgebied bij een verschillende breedte  $dth$ , en het centrum  $thc = 1.1$  (grad.).



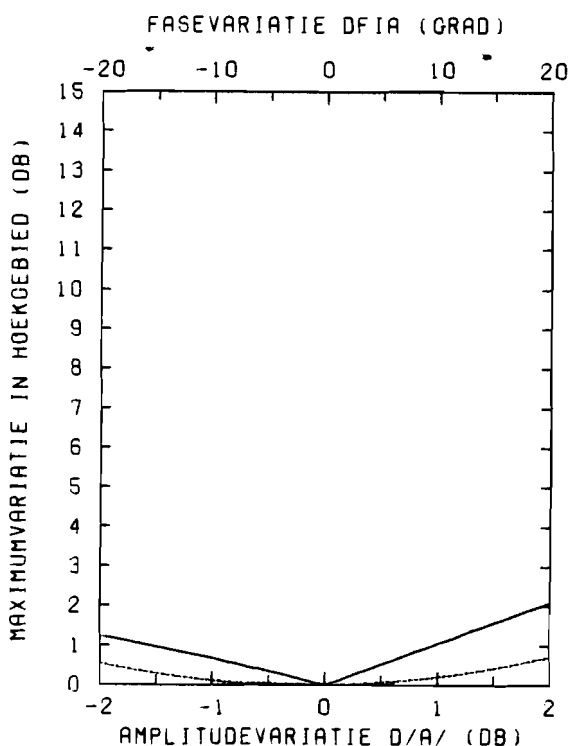
(A)  $DTH = 0.066$  (GRAD)



(B)  $DTH = 0.2$  (GRAD)



(C)  $DTH = 0.4$  (GRAD)



(D)  $DTH = 0.6$  (GRAD)

--- BIJ VARIATIE DFIA

— BIJ VARIATIE D/A/

Fig. 58 De invloed van de excitatiecoëfficiënt  $\alpha$  op de maximale gain in het hoekgebied bij een verschillende breedte  $dth$  en het centrum  $thc = 1.0$  (grad.).



weergegeven in Fig. 61. We zien dat de bovengenoemde snelle afname van de gain in de Noord-Zuid richting het gevolg is van een snelle afname van de gain van de gescande bundel, terwijl de gain in de derde zijlus constant blijft.

In Fig. 62 is het resulterende stralingsdiagram gegeven, indien de flank van de derde zijlus wordt onderdrukt ( $\theta_c = -1.2$  (grad.)). De eendimensionale variant hiervan is in Fig. 49 getoond.

Vergeleker met de voorgaande situatie is de gainonderdrukking buiten het hoekgebied van optimalisering aanzienlijk verbeterd. De reden hiervan is, dat de vierde, kleine, zijlus in dit hoekgebied ligt (Fig. 63a), en dat de contouren van de gescande hoofdbundel (Fig. 63b) en het gefocusseerde stralingsdiagram beter bij elkaar passen. Dit laatste is het gevolg van een kleine scanhoek  $\theta_0$  en een asymmetrisch karakter van de gescande hoofdbundel.

Hoewel het verleidelijk is over te gaan op optimalisering van de gainonderdrukking in een 2-dimensionale sector van het verreveld diagram, mag hiervan geen flinke verbetering verwacht worden.

Wanneer we bijvoorbeeld Fig. 61 bestuderen, kunnen we inzien, dat de gain in het resulterende stralingsdiagram voor  $\sin(\theta) = 0$  verder onderdrukt kan worden, door het secundaire verreveld  $a \cdot E_s(a; \theta_c)$  te vergroten. Dit heeft tot gevolg, dat het resterende deel van de derde zijlus nabij het hoekgebied van optimalisering smaller wordt, de gain neemt hierbij af. Tevens worden de flanken aan de boven en onderzijde in Fig. 61 groter. \*6 Omdat bij een bepaalde variatie van de excitatiecoëfficiënt  $a$  de kleinere contouren, bijv. 10 dBi, meer verschuiven dan de grotere, bijv. 15 dBi (zie ook par. 2.5.4), is te verwachten, dat de prijs voor een geringe verbreding in de Noord-Zuid richting betaald wordt met een aanzienlijke versmalling in de Oost-West richting.

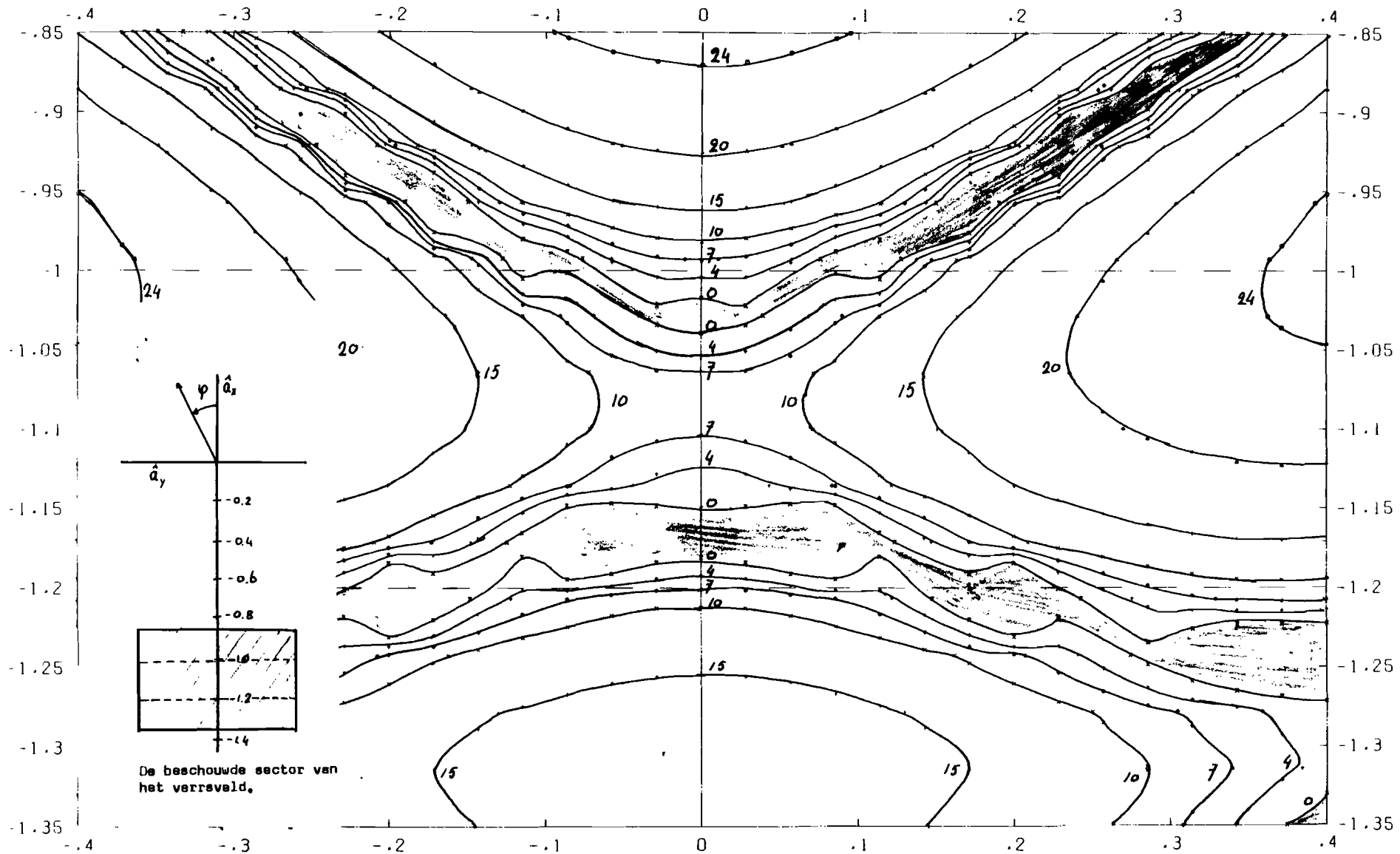


Fig. 59 Het resulterend stralingsdiagram bij optimalisatie voor  $f_i = 0$  en  $-1.24 < \theta < -1$  (grad.). De contouren zijn in dbi gegeven.       $< 0$  (dbi)

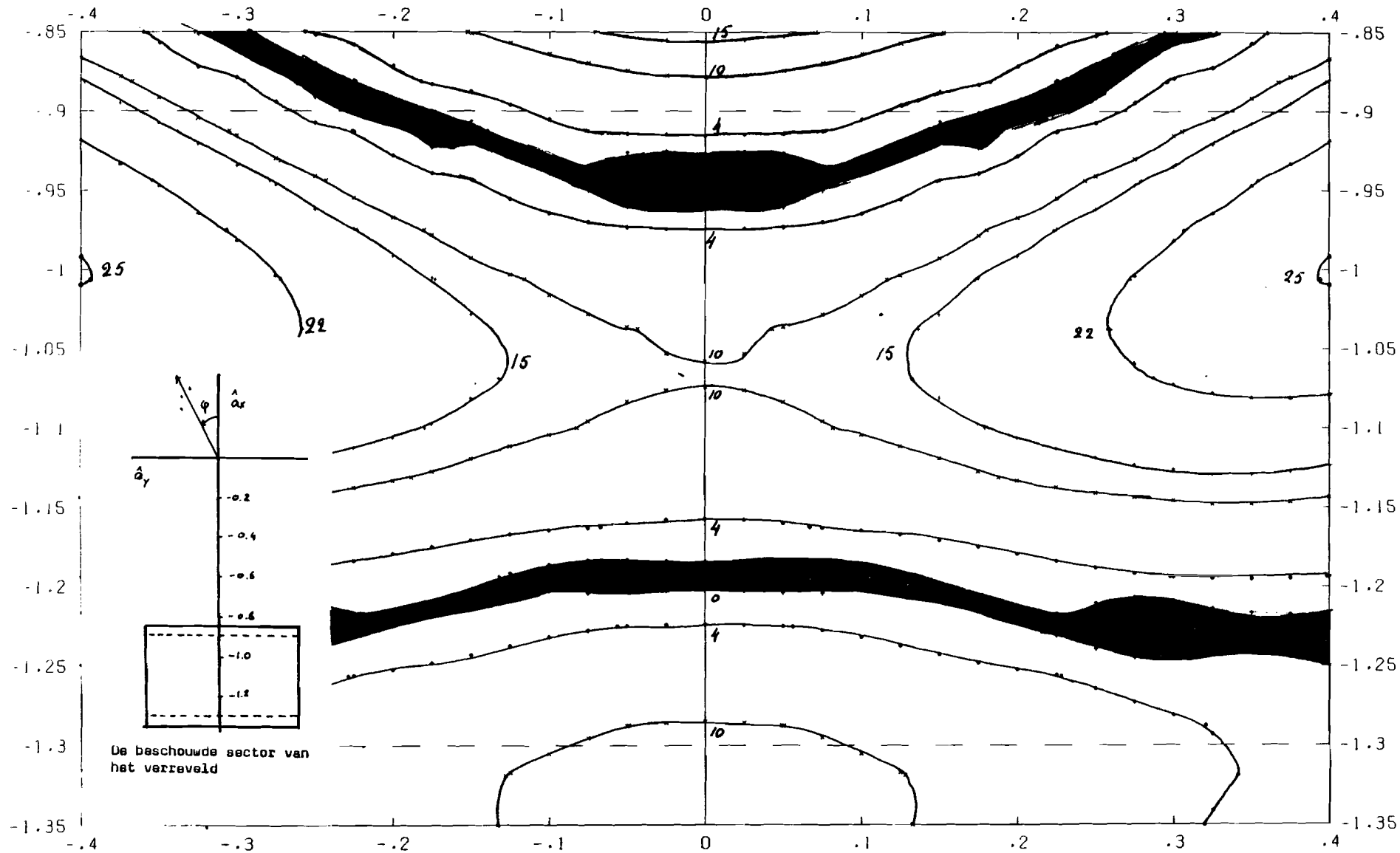
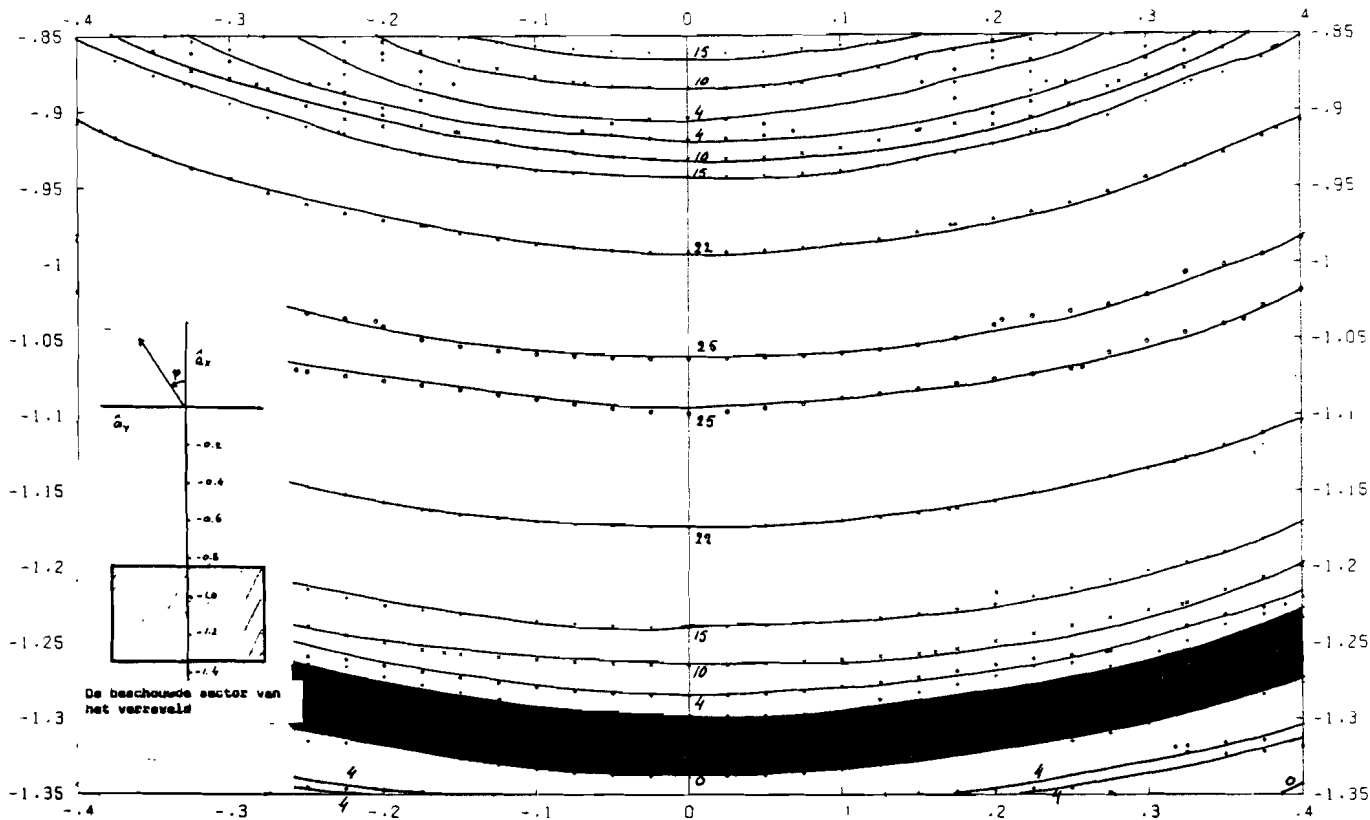
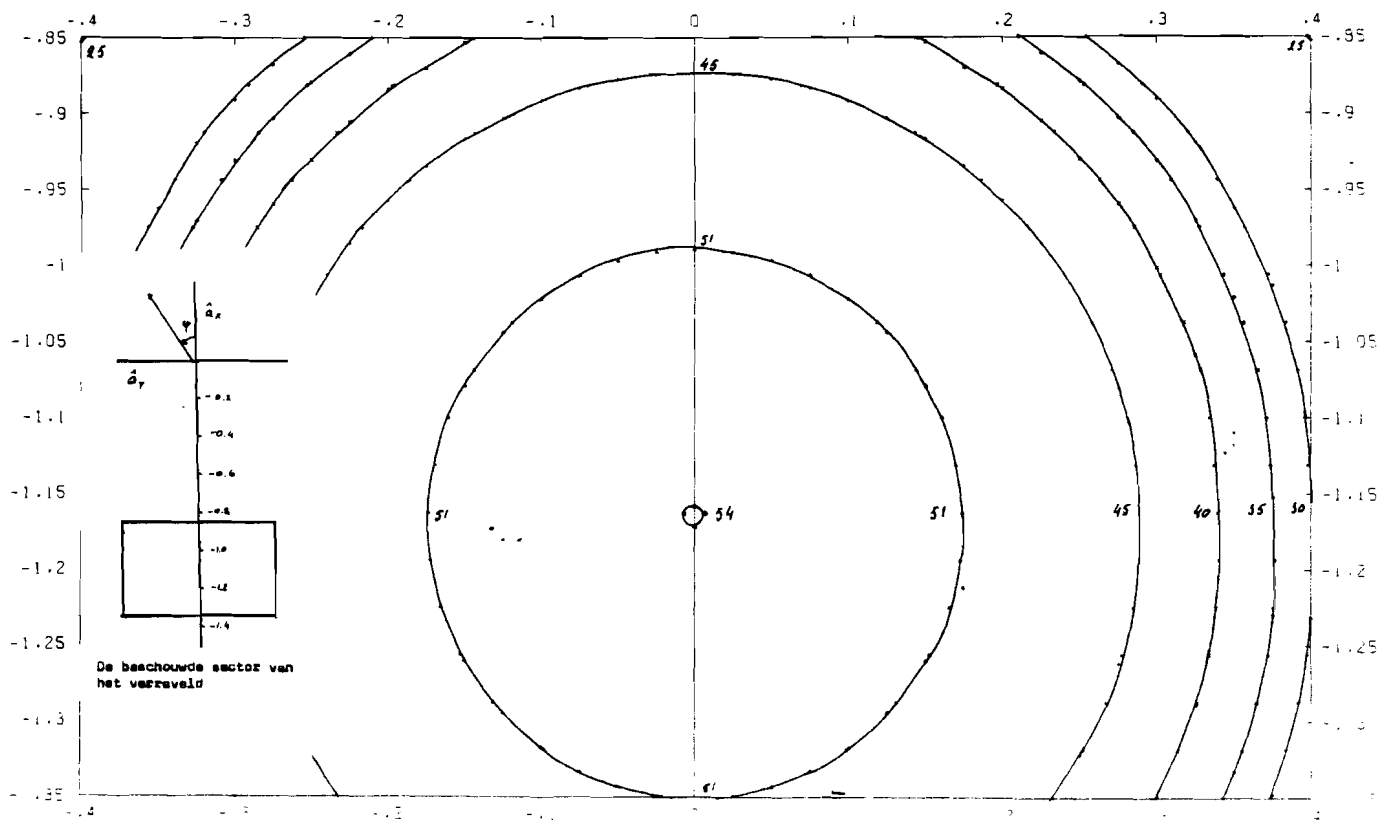


Fig. 60 Het resulterende stralingsdiagram bij optimalisatie voor  $\theta = 0$  en  $-1.3 < \phi < 0.9$  (grad.). De contouren zijn in dBi gegeven.             $< 0$  (dBi)



(a)



(b)

Fig. 63 De stralingsdiagrammen van (a) het gefocuseerde antennesysteem en (b) het gedefocuseerde antennesysteem (scanhoek  $\theta_0 = -0.94$  (grad.)). Alle contouren zijn in dBi gegeven.            < 0 (dBi)

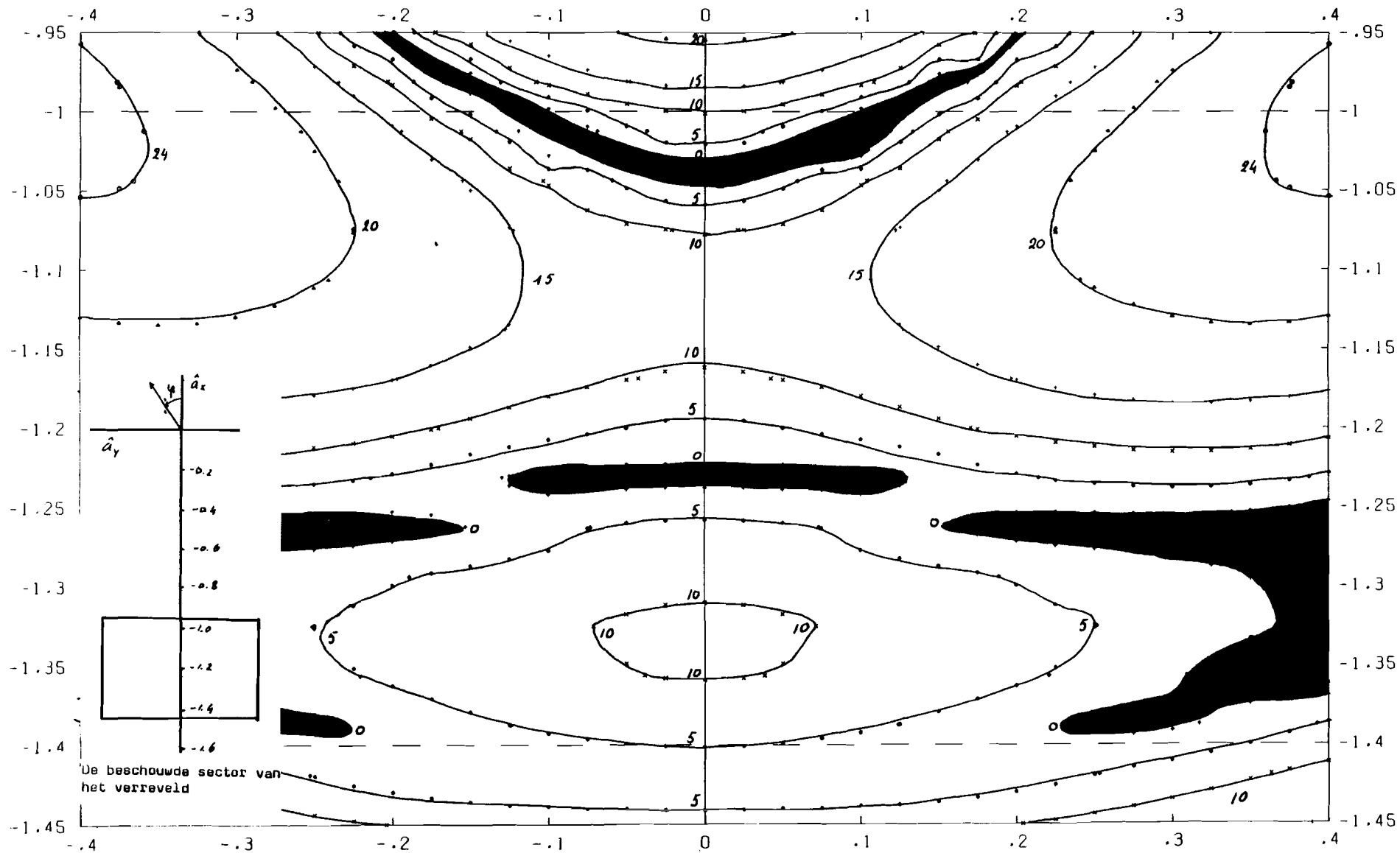
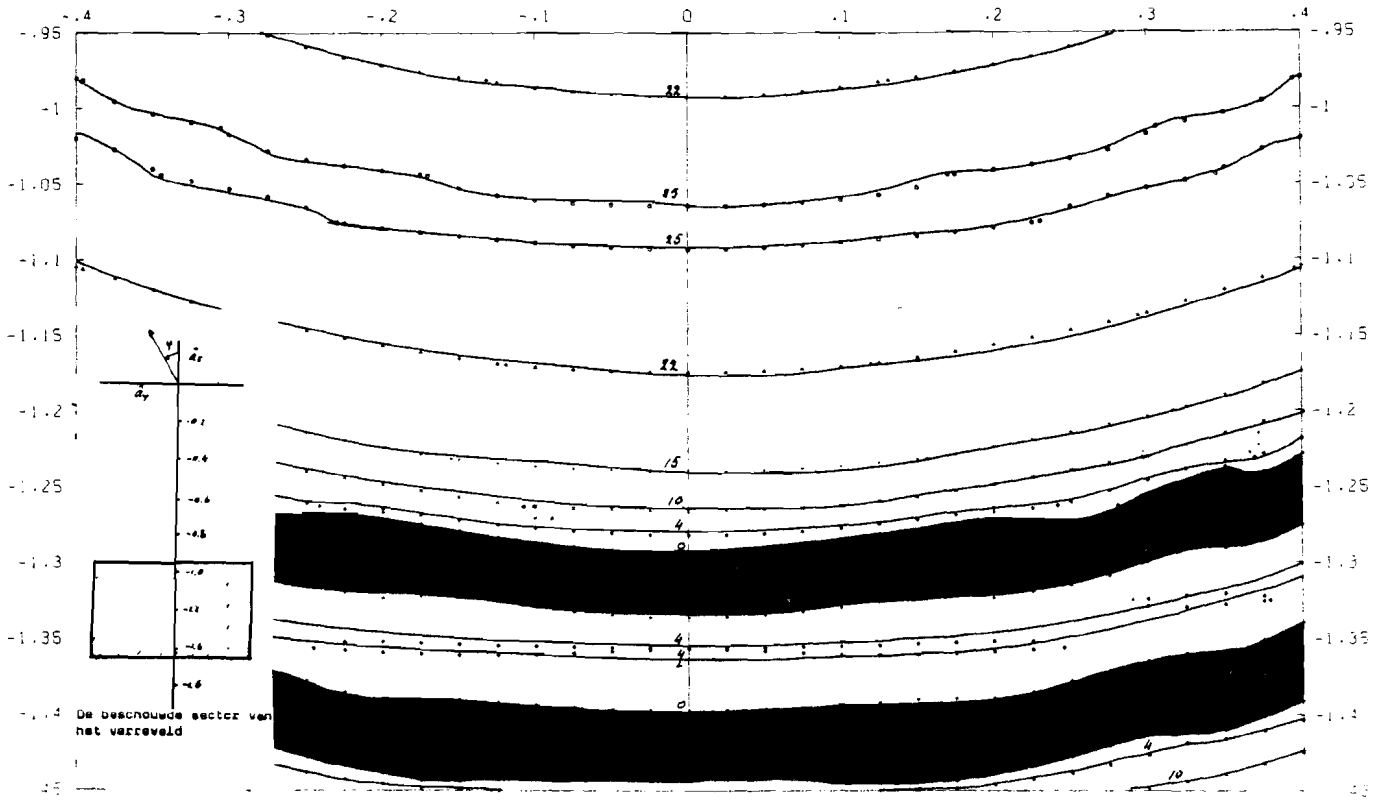
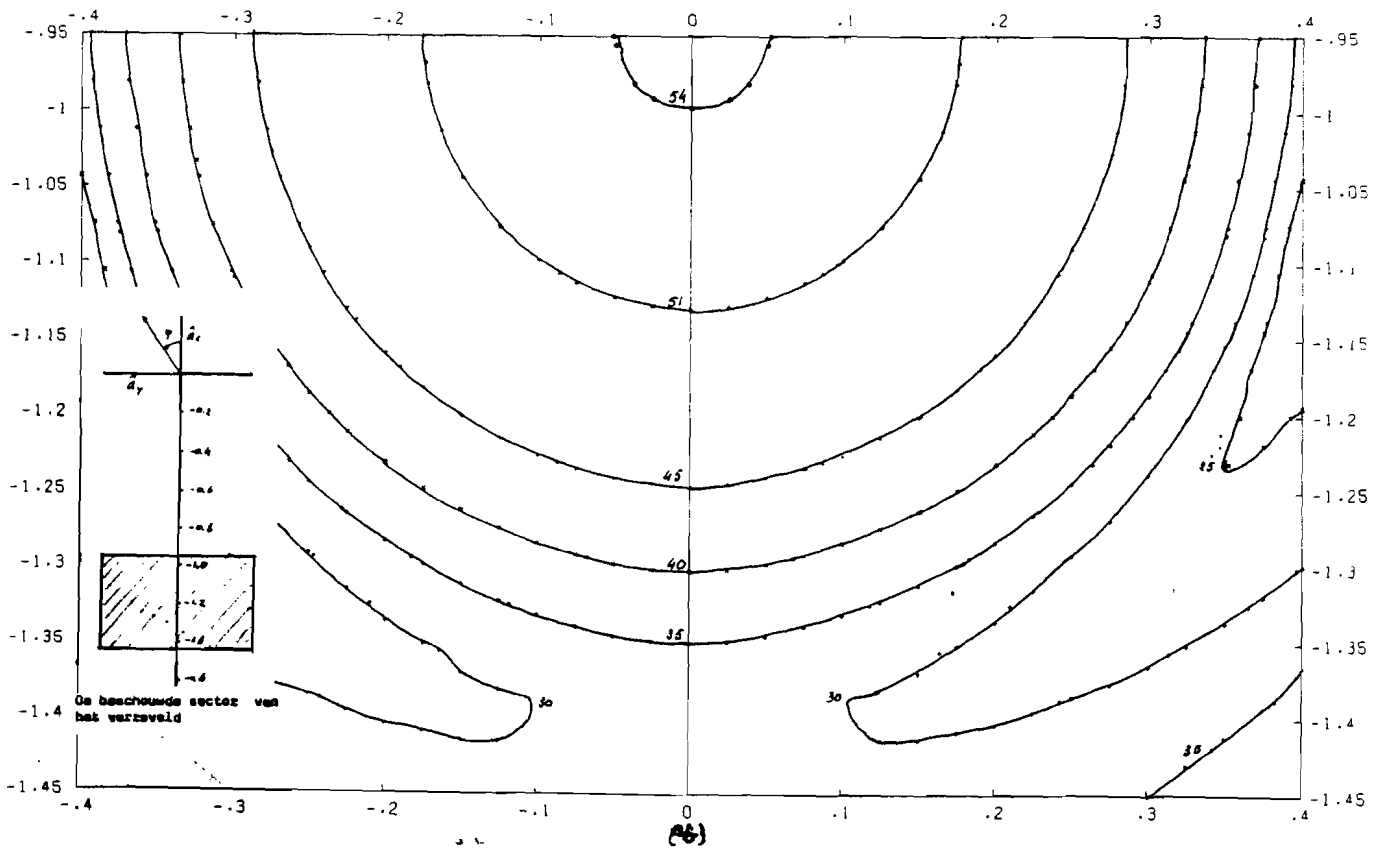


Fig. 62 Het resulterende stralingsdiagram bij optimalisatie voor  $f_i=0$  en  $-1.4 < \theta < -1$  (grad.). De contouren zijn gegeven in dBi.

■ < 0 (dBi)



(a)



(b)

Fig. 61 De stralingsdiagrammen van (a) het gefocusserte antennesysteem en (b) het gedefocusserte antennesysteem. (scanhoek  $\theta_{0} = 1.16$  (grad.)). Alle contouren zijn in dBi gegeven.

■ < 0 (dBi)

### 3 CONCLUSIES

#### 3.1 Inleiding

Het is aan het begin van dit hoofdstuk noodzakelijk te vermelden, dat navolgende conclusies getrokken zijn aan de hand van een theoretische studie, waarin nogal wat idealisaties in het antennesysteem wcdel zijn aangenomen, zoals bijv. ideale reflectoroppervlakken, een ideale feed met de polarisatieeigenschappen van een Huygensbron, verwaarlozing van effecten tergevolge van de struts, die de subreflector ondersteunen, enz.. Tevens zijn slechts enkele voorbeelden bestudeerd.

Op grond van de in deze studie opgedane ervaring met zijlusonderdrukking zijn de bevindingen in de voorgaande hoofdstukken soms verder doorgetrokken naar situaties, die door ons niet expliciet zijn onderzocht. Wij hebben gemeend dit te moeten doen om een iets algemener beeld te schetsen van de toepassingsmogelijkheden van zijlusonderdrukking in antennes en om richting te geven aan mogelijk toekomstig onderzoek op dit gebied.

#### 3.2 algemene observaties en conclusies

Het is te verwachten dat de gainonderdrukking (=de maximale gain in het geeiste hoekgebied min de voordien geldende gain in het centrum, thc, hiervan) op de flank van een zijlus voor een front-feed parabolantenne slechter is dan voor een Cassegrain antennesysteem. Wanneer aangenomen wordt dat de reflectorblokkering t.g.v. de primaire en de hulpfeed kleiner is dan die van de subreflector in het beschouwde Cassegrain antennesysteem, dan is dit een gevolg van het feit dat de aangrenzende zijlussen hoger zijn er de te onderdrukken zijlus smaller is met steilere flanken (de situatie van Fig.47d doet zich nu veel eerder voor.

Ook de gainonderdrukking in het centrum van de zijlus, zal t.g.v. het smaller worden van deze zijlus verminderen

Wat dat de te onderdrukken zijlus smaller is dan de gescande hoofdbundel, is te verwachten dat een scherpere gescande hoofdbundel betere resultaten bij zijlusonderdrukking zal geven. Dit is te verwezenlijker door een minder getaperde apertuurveldverdeling te maken, ofwel door de hulpfeed een grotere bundelbreedte te geven.

De grotere spill-over aan de subreflector, die het gevolg is van de grotere bundelbreedte van de hulpfeed, zal wegens het geringe vermogen ( $\text{abs}(a)$  is ongeveer  $-30$  (dB)) weinig invloed hebben op het verrevelldstralingsdiagram van het antennesysteem.

Wat in een realistisch antennesysteem de zijlussen door de aanwezigheid van struts beïnvloed worden, moet voor een studie naar zijlusonderdrukking in zo'n systeem gebruik gemaakt worden van een gemeten stralingsdiagram van het gefocusseerde antennesysteem. Voor de gescande hoofdbundel kan waarschijnlijk gebruik gemaakt worden van een berekend stralingsdiagram (bijv. met het programma van v. Cammeren [1]). In het ontwikkelde optimaliseringsprogramma is dit mogelijk gemaakt.

In par. 2.5.5 is geconcludeerd, dat het optimaliseren van de gainonderdrukking in de Oost-West richting een geringe gainonderdrukking in de Noord-Zuid richting tot gevolg heeft. Voor praktische toepassingen lijkt dit de grootste teleurstelling van het door ons bestudeerde antennesysteem met een hulpfeed. Mogelijkheden om hieraan tegemoet te komen zijn:

1. Optimalisering van de gainonderdrukking in zowel de Oost-West als de Noord-Zuid richting, hoewel de hiermee te verwachten verbetering gering is (par. 2.5.5)
2. Het plaatsen van enkele feeds op een ring rond de primaire feed, waarbij elke feed voor de onderdrukking in een bepaalde steeds aangrenzende sector zorgt.
3. Het op enigerlei wijze adaptief maken van de gainonderdrukking, zodat de Noord-Zuid satellietbewegingen gevolgd kunnen worden.

### 3.3 de utiliteitswaarde in operationele systemen

De belangrijkste conclusie van deze studie is wel, dat de behaalde resultaten van zijlusonderdrukking een aanzienlijk efficiënter gebruik van de geostationaire baan mogelijk maken.

Anero en Jung [30] hebben bestudeerd welke isolatie tussen een gewenste en een interferentiebron vereist is, indien de interferentieruis van het ene in het andere communicatienetwerk ten hoogste 6% van de totaal ontvanger ruis mag bedragen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor INTELSAT-IV en -V satellietstelselparameters en met gebruikmaking van INTELSAT STANDARD-A grondstations ( $G_{air}$  bij 4/6 GHz = 58.5 dB, hetgeen vergelijkbaar is met de door ons bestudeerde antenne, en  $G/T=40.7$  dBK). Zie Tab. 5.

In Tab. 6 zijn de door ons bereikte isolaties weergegeven voor verschillende hoekgebieden ( $\theta_{c,dth}$ ), waarbij de isolatie is gedefinieerd als:

$$\text{isolatie} = dir - G_{max} \quad (dB), \quad dir = 55 \quad (dB)$$

met

$dir$  de maximale gain van het gefocusseerde antennesysteem  
 $G_{max}$  de maximale gain in het hoekgebied

Wanneer aangenomen wordt, dat het door de satelliet



uitgezonden vermogen in de richting van beide antennes gelijk is, dan zien we bij vergelijking van beide tabellen, dat bij  $dth=0.2$  (grad) voor alle gevallen aan de gestelde eisen zijn voldaan. Bij  $dth=0.4$  (grad.) voldoet alleen het hoekgebied met  $thc=-1.2$  (grad.) in alle gevallen op twee na (van TV naar SPADE en van een draaggolf met 792 karalen naar SPADE, zie voor de betekenissen [31,32])

In dezelfde publicatie is een tabel opgenomen, die de voor de eerder genoemde isolaties vereiste satellietafstand in graden weergeeft. We zien (Tab.7), dat zonder zijlus onderdrukking een satellietafstand nodig is ter grootte van:

2.56 (grad.)	voor 36.5 (dB) isolatie
2.9 (grad.)	voor 38 (dB) isolatie
5 (grad)	voor 44 (dB) isolatie.

Wadat tengevolge van de zijlusorderdrukking de interfererende satelliet in het hoekgebied rond  $-1$  (grad.) gepositioneerd kan worden, mogen we concluderen, dat bij een positievariatie van deze satelliet van  $\pm 0.2$  (grad.) in het stralingsdiagram van de grondstationantenne, de satellietafstand het slechtste geval ( $thc=-1.$  (grad.)) met een factor 2.5 en in het beste geval ( $thc=-1.2$  (grad.)) met een factor 5 teruggebracht zou kunnen worden (Ervan uitgegaan, dat de satelliet zich steeds in het door ons beschouwde hoekgebied( $thc,dth$ ) bevindt). Bij een positievariatie in het stralingsdiagram van  $\pm 0.1$  (grad.) zou de verbetering voor alle gevallen meer dan een factor 5 kunnen bedragen.

De met deze methode van zijlusorderdrukking behaalde verbetering t.o.v. de nu geldende CCIR-normen (par.2.5.2) voor grondstationantennes, is in Tab.8 weergegeven.

De positionering van de hulpfeed, waarmee de scanhoek  $\theta_0$  samenhangt, vertoort in de voor communicatiedoeleinden interessant hoekgebied een relatief kleine invloed op de gainonderdrukking. Hetzelfde geldt voor de excitatiecoëfficiënt  $a$ .

We hebben geconstateerd, dat de zijlusonderdrukking niet op alle plaatsen in de te onderdrukken zijlus even goede resultaten geeft. Op de flank aan de zijde van de vierde zijlus zijn deze bijvoorbeeld beter dan op de flank aan de zijde van de tweede zijlus.

Wadat in de praktijk de positie van de interfererende satelliet gegeven is moet men om de beste resultaten voor zijlusonderdrukking te verkrijgen, de te onderdrukken zijlus zodanig verschuiven dat de flank hiervan aan de zijde van de kleinste zijlus in het vereiste hoekgebied komt te liggen. Dit is mogelijk door gebruik te maken van een andere primaire feed, waarvoor de apertuurtoepassing en dus het verrevelpatroon verandert. Hoewel de antenne-efficiency dan mogelijk kleiner zal worden dan de ideale, is te verwachten dat de verbeteringen in het realistische satellietcommunicatiesysteem tengevolge van een betere isolatie dit in ruime mate zullen compenseren.

Evenstaarce zal duidelijk gemaakt hebben dat een optimale zijlusonderdrukking een voor elke antenne apart uitgevoerde numerieke studie noodzakelijk maakt.

Tabel 5 De met zijlusonderdrukking behaalde isolatie (dB)

centrum thc hoekgebied (grad.)	breedte dth hoekgebied (grad.)	
	0.2	0.4
-1.0	45	36
-1.1	48.5	38
-1.2	49	44

Tabel 6 De vereiste isolatie in (dB) om de interferentieruis tot 6% van de totale ruis te beperken. (ref. 30)

CHANNEL CAPACITY	INTERFERING CARRIER												
	24	60	72	132	192	252	432	612	792	972	SPADE	TDMA	TV
24	1.23	2.92	1.52	3.22	3.08	2.96	2.65	2.97	2.88	2.18	1.94		3.78
60	1.0	2.0	1.04	2.22	2.12	2.02	1.81	2.04	2.2	1.48	1.94		3.48
72	1.0	2.19	1.24	2.63	2.65	2.64	2.42	2.80	3.08	2.20	1.94		4.0
132	1.0	2.16	1.24	2.60	2.62	2.62	2.35	2.76	3.04	2.21	1.94		3.1
192	1.0	1.88	1.15	2.30	2.40	2.46	2.28	2.68	2.96	2.17	1.94		2.86
252	1.0	1.70	1.04	2.10	2.21	2.30	2.21	2.90	2.90	2.15	1.94		2.63
432	1.0	1.86	1.15	2.37	2.56	2.72	2.69	3.27	3.66	2.84	2.69		2.87
612	1.0	1.53	1.0	1.92	2.06	2.21	2.28	2.84	3.27	2.56	2.56		2.3
792	1.0	1.30	1.0	1.67	1.80	1.91	1.96	2.51	2.92	2.38	2.43		2.2
972	1.0	1.09	1.0	1.39	1.48	1.60	1.61	2.04	2.43	2.01	2.18		1.57
SPADE	1.74	3.95	2.06	4.3	4.24	4.24	3.98	4.7	5.36	4.1		1.25	6.0
TDMA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.43	1.27			1.0
TV							2.06	2.42	3.13	2.8		3.13	2.49

Tabel 7 De hoekafstand (grad.) tussen satellieten om de interferentieruis tot 6% van de totale ruis te beperken. (ref. 30)

CHANNEL CAPACITY	INTERFERING CARRIER												
	24	60	72	132	192	252	432	612	792	972	SPADE	TDMA	T
24	29.10	38.10	31.0	39.20	38.70	38.20	37.0	38.30	37.90	34.90	33.75		41.0
60	25.01	34.01	26.91	35.11	34.61	34.11	32.91	34.21	35.01	30.81	33.75		40.11
72	26.0	35.0	28.90	36.90	37.0	37.0	36.10	37.60	38.70	35.0	33.75		41.70
132	25.86	34.86	28.86	36.76	36.86	36.86	35.66	37.46	38.56	35.06	33.75		38.76
192	24.28	33.28	27.98	35.48	35.88	36.18	35.38	37.08	38.18	34.88	33.75		37.78
252	23.18	32.18	26.88	34.58	35.08	35.48	35.08	37.98	37.98	34.78	33.75		36.88
432	24.16	33.16	28.06	35.76	36.56	37.26	37.16	39.36	40.66	33.76	37.15		37.86
612	21.98	30.98	25.88	33.58	34.38	35.08	35.38	37.78	39.36	36.58	36.55		35.48
792	20.39	29.39	24.29	31.99	32.79	33.49	33.79	36.39	38.09	35.78	36.05		34.07
972	19.44	27.44	22.34	30.04	30.84	31.54	31.64	34.24	36.04	34.04	34.95		31.14
SPADE*	32.5	41.5	34.4	42.4	42.3	42.3	41.6	43.4	44.7	41.9	28.95		46.1
TDMA	12.5	21.5	16.4	24.1	24.9	25.6	25.9	28.5	30.4	29.1		30.4	26.2
TV							34.35	35.95	38.85	37.55		38.85	36.36

Tabel 8 Het verschil in gain (dB) tussen de CCIR-norm en de maximale gain in het hoekgebied van optimalisatie.

breedte dth van hoekgebied. (grad.)	centrum thc hoekgebied (grad.)		
	-1.0	-1.1	-1.2
0.2	21.84	24.07	23.81
0.4	13.09	13.70	18.75
G(th) bij de CCIR-norm (dB)	32	30.97	30.02

#### 4      SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK

-----

##### Theoretisch:

- 1. De voorgaande studie is uitgevoerd bij één frequentie. Het nut van deze gainonderdrukkingmethode voor communicatiedoelinden aan te tonen, moet het onderdrukkingsgedrag als functie van de bandbreedte onderzocht worden.
- 2. Volgens J.T. Mayhan [20], is het frequentiegedrag van het gainonderdrukken aanzienlijk te verbeteren indien gebruik gemaakt wordt van frequentieafhankelijke excitatiecoëfficiënten. (bijv. d.m.v. transversaalfilters) Onderzocht zou kunnen worden welke verbeteringen in de gainonderdrukking mogelijk zijn bij een frequentieafhankelijke excitatiecoëfficiënt  $a$ .
- 3. Het is noodzakelijk het programma van v. Ommeren zodanig te wijzigen, dat uit een gewenste scanhoek  $\theta_0$  de feedpositie berekend wordt. Momenteel is dit precies andersom.
- 4. Het vermoeden bestaat dat zijlusterdrukking volgens de hier beschreven methode vooral bij kleinere antennes ( $D/\lambda < 100$ ) vruchtbare resultaten zullen afwerpen: Het hoekgebied ( $\theta_{hc}, \theta_{th}$ ), waarin de interferentiebron voorkomt is namelijk een absoluut gegeven, hetgeen inhoudt voor antennes met kleinere  $D/\lambda$ :
  - ++ De relatieve breedte van het hoekgebied ( $d\theta/d\theta_{3dB}$ ) wordt kleiner, wat aanleiding geeft tot een grotere onderdrukking. (Fig. 47)
  - ++ Het hoekgebied ligt relatief dicht bij de symmetrieas ( $\theta_{hc}/\theta_{3dB}$ ), hetgeen inhoudt, dat de gescande bundel scherper is, tengevolge van kleiner geworden orgewenste faseaberraties [1].
  - ++ De gain van het primaire verzeveld in het hoekgebied is groter.
 Het deze gegevens elkaar bij gainonderdrukking beïnvloeden is een interessant onderwerp van studie.
- 5. Het adaptief onderdrukken van de zijlus. Indien de feedpositie gefixeerd verondersteld is, kan met het adaptief regelen van de excitatiecoëfficiënt van de hulpfeed een smalle doch diepe nul gegenereerd worden, die de interfererende satelliet nauwkeurig volgt.
- 6. Het uitbreiden van het optimaliseren van de gainonderdrukking naar een 2-dimensionale sector van het verzeveld. Hierbij geniet het toepassen van meerdere feeds de voorkeur (par. 2.5.5).

**Praktisch:**

Wanneer de studie naar de zijlusonderdrukking voor een frequentie afgerond is, is het zinvol voor een specifieke antenne een zijlus optimaal te onderdrukken en de gegeven theorie met de metingen te vergelijken.

## 5. LITERATUURVERWIJZINGEN

- [1] M.J.S. van Ommeren,  
"Interferentie-ruisonderdrukking d.m.v. onderdrukking van zij-  
lussen in reflectorantennes",  
verslag van het afstudeerwerk verricht in de vakgroep EC, van de  
Afdeling der Elektrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven,  
in de periode van sept. 1979 tot aug. 1980.
- [2] S. Silver,  
"Microwave antenna theory and design",  
Dover Publications Inc., New York, pag. 161.
- [3] W.V.T. Rusch,  
"Antenna Notes, Volume 1",  
Electromagnetics Institutes, Technical University Denmark,  
Lyngby, August 1974, pp. 152-155.
- [4] A.C. Ludwig,  
"The definition of Crosspolarization",  
IEEE Trans. on Antennas Propagat., Vol.AP-17, pp. 116-119,  
Jan. 1975.
- [5] S.C.J. Worm,  
"Polarisatie-eigenschappen van parabolische reflectors",  
Verslag van het afstudeerwerk verricht in de vakgroep EC, van de  
Afdeling der Elektrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven,  
in de periode van juni 1977 tot juni 1978.
- [6] M. Safak, P.P. Delogne,  
"Cross Polarization in Cassegrainian and Front-fed paraboloidal  
Antennas",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-24, July 1976.
- [7] P.D. Potter,  
"A new Horn Antenna with suppressed Sidelobes and equal Beamwidths",  
Microwave J., Vol.VI, pp. 71-78, June 1963.
- [8] A.C. Ludwig,  
"Radiation Pattern Synthesis for Circular Aperture Horn Antennas",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-14, pp. 434-440, July 1966.
- [9] P. Kroezen,  
"A Series Representation Method for the Farfield of an offset  
Reflector Antenna",  
TH-report 79-E-98, Eindhoven University of Technology, 1979.
- [10] M.A.A. van de Pol,  
"Een dual mode Horn (theorie)",  
verslag van een stage verricht in de vakgroep ET, van de  
Afdeling der Elektrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven, April 1981.
- [11] Collin and Zucker,  
"Antenna Theory, Part.1",  
McGraw-Hill, 1969.
- [12] M. Abramowitz and I. Stegun,  
"Handbook of Mathematical Functions",  
Dover Publications, 1970.
- [13] E. Wolff,  
"Antenna Analysis",  
John Wiley and Sons, 1966.

- [14] E.E. Reinhart,  
"The Impact of the WARC-79 on the fixed satellite, intersatellite and mobile-satellite services",  
IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-29, No.8, August 1980,  
pp. 1182-1192.
- [15] D.J. Withers,  
"The effect of WARC-79 on efficient use of the geostationary satellite orbit",  
IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-29, No.8, August 1980,  
pp. 1216-1221.
- [16] M.J.S. van Ommeren, M.H.A.J. Herben, J. Arnbak,  
"Improved orbit utilisation by interferometric sidelobe suppression",  
Electr. Letters, 4th December 1980, Vol.16, No.25.
- [17] D.J. Chapman,  
"Adaptive arrays and sidelobe cancellors, A perspective",  
Microwave J., August 1977.
- [18] J.T. Mayhan,  
"Nulling limitations for a multiple beam antenna",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-24, No.6, November 1976.
- [19] J.T. Mayhan,  
"Adaptive Nulling with satellite antennas",  
IEEE Intern. Conf. on Comm., 1980, June 9-12, Seattle, USA,  
pp.59.1.1-8
- [20] J.T. Mayhan, A.J. Simmons, W.C. Cummings,  
"Wideband nulling with adaptive arrays using tapped delay lines",  
IEEE Conf. on Ant. and Propagat., 1980, AP.4-1.
- [21] J.T. Mayhan,  
"Thinned array configurations for use with satellite based adaptive antennas",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-28, No6, November 1980.
- [22] B.M. Potts, J.T. Mayhan, A.J. Simmons,  
"Some factors affecting angular resolution in an adaptive antenna",  
IEEE Intern. Conf. on Comm., 1981, Denver, USA, pp. 10.4.1-9.
- [23] B. Widrow, J. McCool,  
"A comparison of adaptive algorithms based on the methods of steepest descent and random search",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-24, No.5, September 1976.
- [24] V. Chan,  
"A fast algorithm for spatial interference rejection",  
IEEE Intern. Conf. on Comm., 1980, Seattle, USA, June 9-12,  
pp.59.4.1-7.
- [25] S. Applebaum,  
"Adaptive arrays",  
IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-24, No.5, September 1976.
- [26] Y. Kitahara,  
"Telecommunications in the new decade",  
National Telecommunications Conf., December 1980.

- [27] Soren Lynggard,  
"A dielectric rod",  
verslag van een stage verricht in de vakgroep EC, van de  
Afdeling der Elektrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven,  
in de periode van nov. 1981 tot jan. 1982.
- [28] M.H.A.J. Herben, R. Middelkoop, F.J.J. Gielkens,  
"Stationary phase method for farfield computation of defocussed  
reflector antennas",  
Electr. Letters, 1980, No.16, pp.519-521; Errata, ibid, 1980,16,p.644.
- [29] J. Arnbak,  
"Digitale transmissiesystemen", Appendix B (collegedictaat),
- [30] Amero, Jung,  
"Towards the improved use of geostationary satellite orbit through  
better system performance",  
IEEE 1980, National Telecommunications Conf., Houston, TX, USA,  
Nov.30-Dec.4, 1980, pp. 33.2.1-5.
- [31] J.G. Puente, N.G. Schmidt, A.M. Werth,  
"Multiple access techniques for commercial satellites",  
Proc. IEEE, Vol.59, NO.2, Febr.1971, pp.218-229.
- [32] M. Schwartz,  
"Information, transmission, modulation, and noise",  
McGraw-Hill, 1980, pp. 292-298.
- [33] A. Erdelyi,  
"Asymptotic Expansions",  
Dover 1956.
- [34] E.T. Copson,  
"Asymptotic Expansions",  
Cambridge University Press, 1965.
- [35] G.G. Chadwick, e.a.,  
"Adaptive Antenna/Receiver-processor system",  
IEEE Antennas and Propagat. Conf., Los Angeles, CAL, USA, 1981,  
Vol.1, pp. 272-275.
- [36] E.J. Maanders,  
"Some aspects of ground station antennas for satellite communications",  
TH-report 75-E-60, August 1975, University of Technology Eindhoven.

## APPENDIX 1

DE AFLEIDING VAN DE VERREVELDCOMPONENTEN  $E_{fi}(\vec{r})$  en  $E_{th}(\vec{r})$ 

Indien op het apertuurvlak A een veld  $\vec{E}_a(\vec{r}_a)$ ,  $\vec{H}_a(\vec{r}_a)$  aanwezig is, kan het verrevelde  $\vec{E}(\vec{r})$  weergegeven worden door de volgende, door S. Silver [2, pag. 161] afgeleide, formule:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{-jk_0}{4\pi r} e^{-jk_0 r} \iint_A \left( \hat{n} \times \vec{E}_a(\vec{r}_a) - \hat{n} \times Z_0 \vec{H}_a(\vec{r}_a) \right) e^{-jk_0 \psi(\vec{r}_a, \vec{r}) + jk_0 (\vec{r}_a \cdot \hat{n})} dS \quad (A1)$$

Stellen we dat:

$$C = \frac{-jk_0}{4\pi r} e^{-jk_0 r}$$

$$\phi(\vec{r}_a, \vec{r}) = k_0 \psi(\vec{r}_a, \vec{r}) - k_0 (\vec{r}_a \cdot \hat{n}) \quad (A2)$$

$$\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a) = Z_0 \vec{H}_a(\vec{r}_a)$$

dan geldt met:

$$\vec{E}_a(\vec{r}_a) = E_{ax}(\vec{r}_a) \hat{a}_x + E_{ay}(\vec{r}_a) \hat{a}_y + E_{az}(\vec{r}_a) \hat{a}_z \quad (A3)$$

dat

$$Z_0 \vec{H}_a(\vec{r}_a) = (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_x \hat{a}_x + (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_y \hat{a}_y + (\hat{s}_r \times \vec{E}_a(\vec{r}_a))_z \hat{a}_z \quad (A4)$$

Als het apertuurvlak loodrecht op de z-as gekozen is, dan:

$$\hat{n} = \hat{a}_z \quad (A5)$$



er kan formule (1) geschreven worden als:

$$\begin{aligned} \bar{E}(\bar{r}) = C \cdot \iint_A & \left( \hat{a}_x (-E_{ax}(\bar{r}_a) \cos(th) - (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y) + \right. \\ & \hat{a}_y (-E_{ay}(\bar{r}_a) \cos(th) + (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x) + \\ & \hat{a}_z (\sin(th) \cdot (\cos(fi) E_{ax}(\bar{r}_a) + \sin(fi) E_{ay}(\bar{r}_a))) - \\ & \left. \hat{r} \cdot \nabla \times (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a)) \right) \cdot e^{-j\phi(\bar{r}_a, \bar{r})} dS \end{aligned} \quad (A6)$$

In het verreveld staan de verreveldcomponenten, vanwege het TEM-karakter van de uittrederde golf, loodrecht op de voortplantingsrichting, zodat deze in het poolcoördinaatstelsel beschreven kan worden met:

$$\bar{E}(\bar{r}) = E_{fi}(\bar{r}) \hat{a}_{fi} + E_{th}(\bar{r}) \hat{a}_{th} \quad (A7)$$

met:

$$\begin{aligned} E_{fi}(\bar{r}) &= (\hat{a}_{fi} \cdot \bar{E}(\bar{r})) \\ E_{th}(\bar{r}) &= (\hat{a}_{th} \cdot \bar{E}(\bar{r})) \end{aligned} \quad (A8)$$

De componenten van het verreveld  $\bar{E}(\bar{r})$  volgen uit substitutie van (A7) in (A8) en kunnen als volgt weergegeven worden:

$$E_{th}(\bar{r}) = C \cdot \iint_A \left( -E_{ax}(\bar{r}_a) \cos(fi) - \cos(th) \cos(fi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y - \right. \\ \left. \sin(fi) E_{ay}(\bar{r}_a) + \cos(th) \sin(fi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x \right) \cdot e^{-j\phi(\bar{r}_a, \bar{r})} dS \quad (A9a)$$

$$E_{fi}(\bar{r}) = C \cdot \iint_A \left( \sin(fi) \cos(th) E_{ax}(\bar{r}_a) + \sin(fi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_y - \right. \\ \left. \cos(fi) \cos(th) E_{ay}(\bar{r}_a) + \cos(fi) (\hat{s}_r \times \bar{E}_a(\bar{r}_a))_x \right) \cdot e^{-j\phi(\bar{r}_a, \bar{r})} dS \quad (A9b)$$

In het gefocuseerde geval, waarbij het apertuurveld lineair gepolariseerd is, geldt:

$$\begin{aligned} \hat{s}_r &= \hat{a}_z \\ \bar{E}_a(\bar{r}_a) &= E_{ax}(\bar{r}_a) \hat{a}_x \\ \hat{s}_r &= \hat{a}_z \end{aligned}$$

zodat de formule (9) te herschrijven is tot:

$$E_{th}(\bar{r}) = C \cdot \cos(\theta_i) \iint_A (E_{ax}(\bar{r}_a) - \cos(\theta_h) \frac{H_{ay}(\bar{r}_a)}{Z_0}) \cdot e^{-j\phi(\bar{r}_a, \bar{r})} dS \quad (A11a)$$

$$E_{fi}(\bar{r}) = C \cdot \sin(\theta_i) \iint_A (E_{ax}(\bar{r}_a) \cos(\theta_h) + \frac{H_{ay}(\bar{r}_a)}{Z_0}) \cdot e^{-j\phi(\bar{r}_a, \bar{r})} dS \quad (A11b)$$

Dit is in overeenstemming met de resultaten van W. Rusch [3].

## APPENDIX 2

## DE VERVORMING VAN HET APERTUURVLAK BIJ DEFOCUSSEERIG

In alle verreveldberekening in deze studie, is het apertuurvlak gekozen in een vlak door het brandpunt van de paraboloide en loodrecht op de z-as. In de gefocussede situatie is het apertuurvlak begrensd door de circels met straal  $D/2$  (dit is de straal van de hoofdreflector) en straal  $D_s/2$  (dit is de straal van de subreflector). Wanneer de feed uit de focus van de Cassegrain antenne over het optimale feedoppervlak is verplaatst, verschuift de hoofdbundel over de scanhoek  $\theta_0$ . In dit geval mag het apertuurvlak niet meer beschouwd worden als begrensd door twee concentrische circels. Stellen we ons de reflectorantenne voor in de ontvangstsituatie, waarbij een vlakke colf invalt onder de scanhoek  $\theta_0$ . Indien we  $v$  definiëren als de verschuiving in de x-richting, kunnen we schrijven:

$$\tan(\theta_0) = \frac{v}{F - F_d} \quad (A12)$$

met

$F$  de brandpuntsafstand van de paraboloide  
 $F_d$  De diepte van de paraboloide

[mdat voor de paraboloide geldt, [36, pp13-19]:

$$F_d = \frac{D^2}{16F} \quad (A13)$$

kan (1) herschreven worden tot:

$$\tan(\theta_0) = \frac{v/D}{\left(\frac{F}{D} - \frac{1}{16F/D}\right)} \quad (A14)$$

De relatieve apertuurverschuiving  $v/D$  als functie van de  $F/D$ -verhouding is nu:

$$v/D = \left( \frac{F}{D} - \frac{1}{16F/D} \right) \cdot \tan(\theta_0) \quad (A15)$$

De beschreven geometrie is in Fig. A1 geïllustreerd, de grootte van de relatieve verschuiving  $v/D$  is voor verschillende waarden van de parameter  $F/D$  in Fig. A2 gegeven.

We zien dat Cassegrain antennesystemen, door hun relatief lagere  $F/D$ -verhouding, ongevoeliger zijn voor de verwaarlozing van de verschuiving dan frontgevoede parabolantennes. In het door ons bestudeerde antennesysteem geldt  $F/D=0.32$ . In de in paragraaf 1.5 berekende apertuurveldverdelingen bij defocussing, is geconcludeerd, dat er aan de rand van het apertuurvlak een schaduwgebied optreedt. Hierdoor zullen onnauwkeurigheden in de berekeningen van het verzeveld, die geïntroduceerd zijn door de verwaarlozing van de apertuurverschuiving aanzienlijk afnemen. Tot slot moet opgemerkt worden, dat in deze appendix uitgegaan is van een antenne in de ontvangstsituatie, terwijl bij de verzevelberekeningen uitgegaan is van een antenne in de zendsituatie. De hier gevolgde wijze van benaderen is dan ook niet bedoeld om de apertuurvervorming exact te berekenen, maar meer om een indruk te krijgen van de grootte van de benaderingsfout bij onze berekeningen.

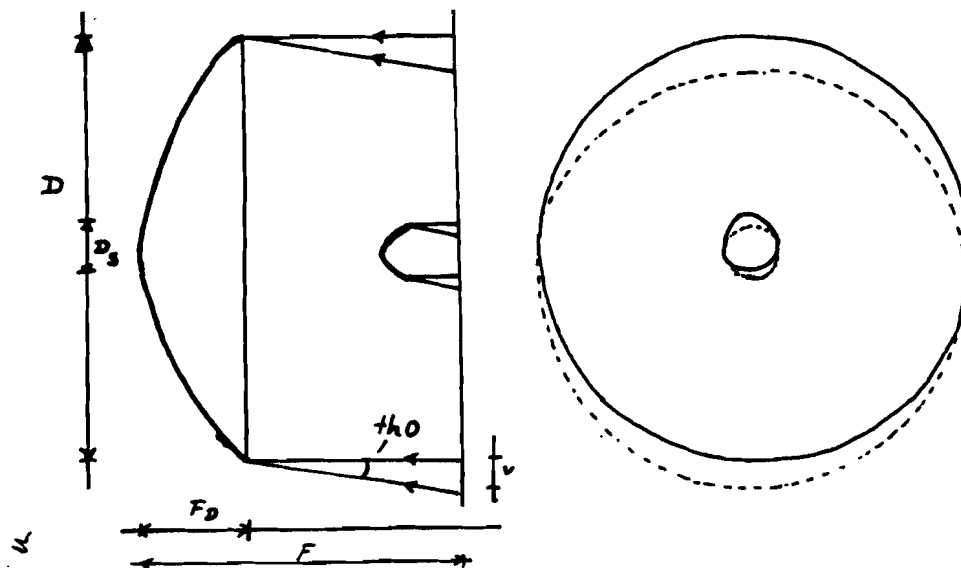


Fig. A1. De verschuiving van de apertuur t.g.v. scanning

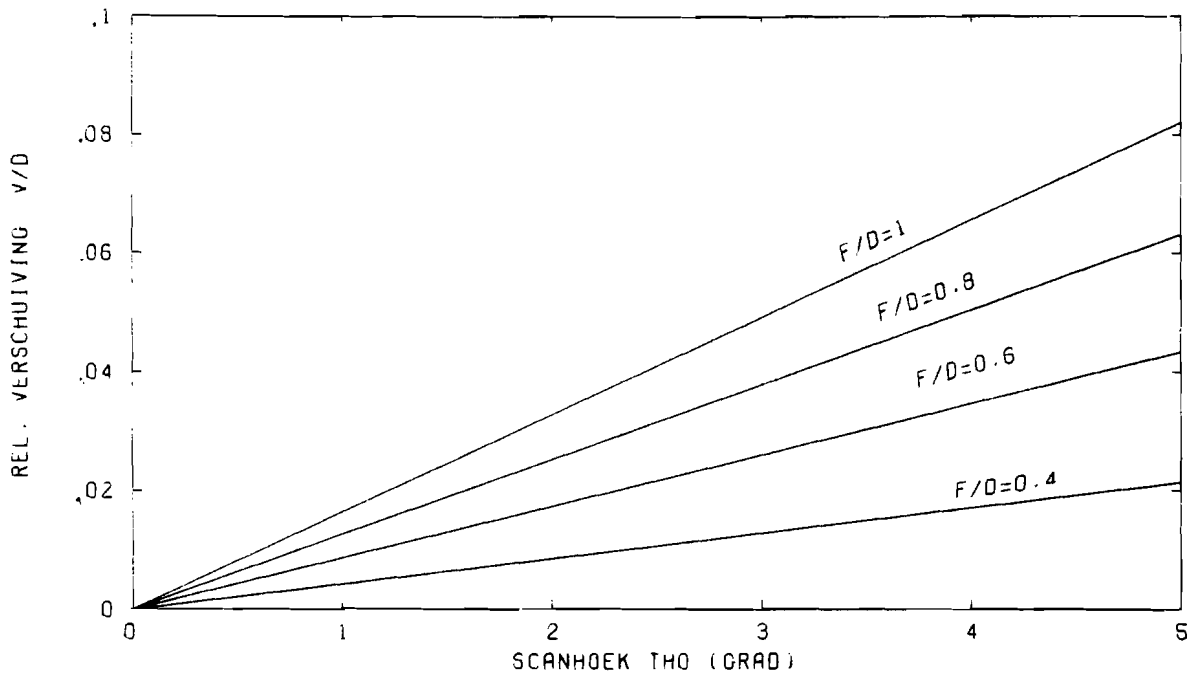


Fig. A2 De relatieve apertuurverschuiving  $v/D$  als functie van de scanhoek  $\theta_0$ , met de  $F/D$ -verhouding als parameter.

## APPENDIX 3

## BEREKENINGEN AAN EEN POTTERFEED

De z.g. Potterfeed is in 1963 door P.D. Potter geïntroduceerd [7] en bestaat uit een open ronde golfpijp. Aan het einde van deze open golfpijp zijn de modes  $TE_{11}$  en  $TM_{11}$  zodanig met elkaar te combineren, dat een verreveld ontstaat met ongeveer gelijke bundelbreedtes in het E- en H-vlak. Hierdoor wordt tegelijkertijd de kruispolarisatiecomponent in de  $\pm 45$  graden-vlakken erg klein. Met deze techniek van mode-mixing is stralingsdiagramsynthese mogelijk, zoals uitgebreid beschreven is door Ludwig [8].

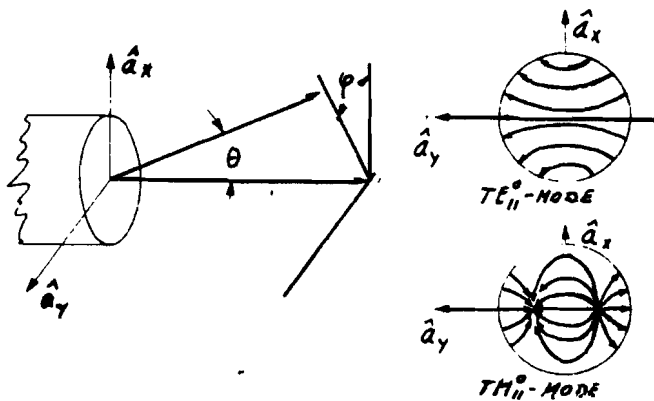


Fig. A3 De Potterfeed

De verreveldcomponenten van de stralende golfpijp zijn achtereenvolgens, voor te  $TE_{11}$ -mode:

$$E_{\theta H} = \frac{-\omega\mu}{2R} \left(1 + \frac{\beta_{11H} \cos(th)}{k}\right) J_1(K_{11H}a) \frac{J_1(k \cdot a \cdot \sin(th))}{\sin(th)} \sin(\phi) e^{-jkR} \quad (A16a)$$

$$E_{\phi H} = \frac{-ka\omega\mu}{2R} \left(\frac{\beta_{11H}}{k} + \cos(th)\right) J_1(K_{11H}a) \frac{J_1'(k \cdot a \cdot \sin(th))}{\left(1 - \left(\frac{k \sin(th)}{K_{11H}}\right)^2\right)} \cos(\phi) e^{-jkR} \quad (A16b)$$

er voor de TM11-mode:

$$E_{\theta E} = \left( \frac{kaK_{11E}}{2R} \right) \left( \frac{A_{11E}}{k} + \cos(th) \right) \left( \frac{J_1'(K_{11E}a)}{1 - \left( \frac{K_{11E}}{k \cdot \sin(th)} \right)^2} \right) \frac{J_1(k \cdot a \cdot \sin(th))}{\sin(th)} \sin(\phi_i) e^{-jkR}$$

(A17)

$$E_{\phi E} = 0$$

ret

$\omega$	hoekfrequentie
$\mu$	permeabiliteit
$k$	de vrije ruimte propagatieconstante
$a$	de apertuurstraal
$J_1$	de eerste orde Besselfunctie
$J_1'$	de eerste afgeleide naar het argument van $J_1$
$K_{11H} \cdot a$	de eerste wortel van $J_1'$ (=1.841)
$K_{11E} \cdot a$	de eerste wortel van $J_1$ (=3.832)

Opvengaande formules (A16) en (A17) voor het verrekeld horen bij een  $\Sigma$ -polarisatie in de  $y$ -richting, zoals getoond in Fig. A3.

Op grond van de formules (A16) en (A17) zien we dat het verrekeld in het  $E$ -vlak door  $E_{th}$ , en die in het  $H$ -vlak door  $E_{\phi i}$  beschreven wordt. Combineren van de TE11 en de TM11 modes zal daarom alleen het verrekeld in het  $E$ -vlak veranderen. Het combineren van beide modes vindt plaats door het variëren van de moeecoëfficient  $\alpha$ :

$$E_{th} = E_{\theta E} + \alpha \cdot E_{\theta H}$$

$$E_{\phi i} = E_{\phi E}$$

(A18)

Wanneer de derde definitie van de kruispolarisatie, volgens Ludwig [4], gebruikt wordt:

$$E_{co} = E_{th} \sin(\phi_i) + E_{\phi i} \cos(\phi_i)$$

$$E_{cr} = E_{th} \cos(\phi_i) - E_{\phi i} \sin(\phi_i)$$

(A19)

en indien de  $\cos(\phi_i)$ - en  $\sin(\phi_i)$ -factoren uit de formules (A16) en (A17) geïsoleerd worden volgens:

$$\begin{aligned} E_{\phi E} &= E'_{\phi E} \cdot \cos(\phi_i) = 0 \\ E_{\theta E} &= E'_{\theta E} \cdot \sin(\phi_i) \\ E_{\phi H} &= E'_{\phi H} \cdot \cos(\phi_i) \\ E_{\theta H} &= E'_{\theta H} \cdot \sin(\phi_i) \end{aligned} \quad (A20)$$

dan zijn de hoofd- en kruispolarisatiecomponenten in het verreveld te berekenen uit:

$$\begin{aligned} E_{th} &= E'_{\theta E} + \alpha \cdot E'_{\theta H} \\ E_{\phi i} &= E'_{\phi E} + \alpha \cdot E'_{\phi H} \\ E_{co} &= \sin^2(\phi_i) E_{th} + \cos^2(\phi_i) E_{\phi i} \\ E_{cr} &= \sin(\phi_i) \cos(\phi_i) (E_{th} - E_{\phi i}) \end{aligned} \quad (A21)$$

We zien dat de kruispolarisatiecomponent in de  $\pm 45$  gradenvlakken maximaal is en dat deze evenredig is met de som van de verreveldcomponenten in het E- en H-vlak.

#### De Resultaten van de berekeningen.

-- -----

Met het programma 'RVS/REALFEED', dat in de volgende paragraaf van deze appendix beschreven is, zijn voor een aantal gevallen stralingsdiagrammen berekend met de in het voorgaande afgeleide formules. Het uiteindelijke doel is om een relatieve apertuurstraal ( $a/\lambda$ ) en een modecoëfficiënt  $\alpha$  te vinden, zodanig dat de zo gevormde Potterfeed de eigenschappen van een ideale cos-feed met Huygensbron-polarisatie ( $\eta=89$ ), het best tenaact.

Dit houdt in, dat de maximale gain in de voorwaartse richting 22.5 dB bedraagt en de kruispolarisatie in een apertuurhoek  $\theta < 14$  graden (dit is de openingshoek van de subreflector in het door ons bestudeerde Cassegrain antennesysteem) minimaal is.

Dit is het geval bij  $a/\lambda = 2.494$  en  $\alpha = 0.395$ . Het hierbij behorende stralingsdiagram is getoond in Fig. A4. (Deze waarden zijn bepaald door in het computerprogramma ( $a/\lambda$ ) en  $\alpha$  steeds zodanig stapsgewijs te variëren dat aan de gewenste maximale gain en minimale kruispolarisatie voldaan is)

De gevonden resultaten zijn in overeenstemming met het werk van M. v.c. Pol [10], hoewel de modecoëfficiënt door hem anders gedefinieerd is. We zien dat de gewenste apertuurhoek de kruispolarisatie kleiner is dan -50 dB t.o.v. de maximale gain. Het verschil in gain tussen de beide feeds bedraagt



minder dan 0.5 dB.

In de figuren A5 t/m A7 zijn de stralingsdiagrammen getoond voor  $\alpha = 0, 0.3, 0.6$  bij een steeds vast gekozen apertuurstraal ( $a/\lambda = 2.494$ ). We zien dat bij een toenemende modecoëfficiënt  $\alpha$  de hoofdbundel in het E-vlak breder wordt en tegelijk de maximale gain lager wordt. Dit is niet elkaar in overeenstemming, als moet gelden dat (Collin and Zucker [11, pag. 33-34]):

$$4\pi = \oint G(\theta, \phi) d\Omega \quad (A22)$$

Tevens zien we dat de kruispolarisatie kleiner wordt naarmate de bundelbreedtes in het E- resp. H-vlak meer aan elkaar gelijk worden.

In de diagrammen b en c zijn steeds bij  $\theta = \pm 6.87$  en  $\theta = \pm 14.48$  graden discontinuïteiten waar te nemen. Dit is te wijten aan het nul worden van de noemers in de formules A16b en A17a.

De beschrijving van het programma 'RVS/REALFEED'

Het programma 'RVS/REALFEED' berekent de stralingsdiagrammen van een Patterfeed voor  $-30 < \theta < 30$  (grad.) in de sreden  $\phi = 0, 30, 45$  (grad.) op grond van de formules A16 t/m A21. De invoergegevens zijn de relatieve apertuurstraal ( $a/\lambda$ ) en de modecoëfficiënt ( $\alpha$ ). Het programma maakt gebruik van een aantal procedures onder de naam 'REALFEEDPROC'.

De opbouw van het programma is als volgt:

1. Op een constante factor na worden de formules A16 en A172 voor een bepaalde verzevelhoek  $(\theta, \phi)$  berekend in de procedures EFM, EFM, ETE, ETE waarbij geldt:

$$\begin{aligned} E_{TM} &= E_{OM} * E_{\theta H} \\ E_{FM} &= E_{OM} * E_{\phi E} \\ E_{TE} &= E_{OE} * E_{\theta H} \\ E_{FE} &= E_{OE} * E_{\phi H} \end{aligned}$$

2. De berekening van  $E_{OE}$  en  $E_{OM}$  vindt plaats in de procedure EC op grond van formule (A22), die er omgewerkt uitziet als volgt:

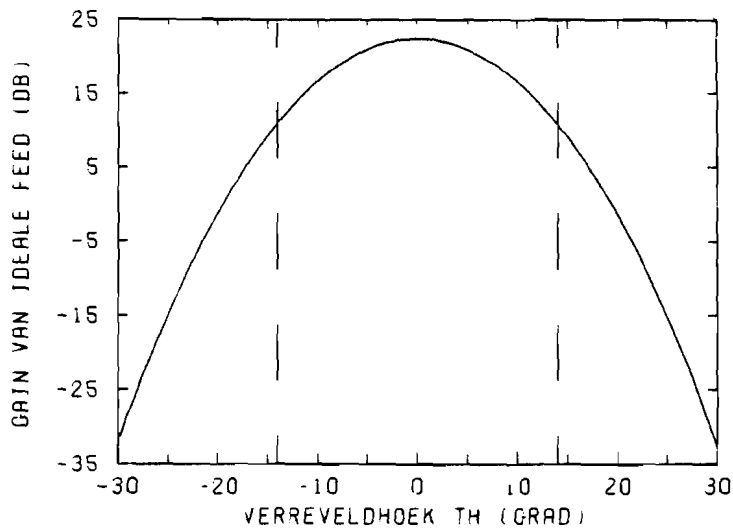
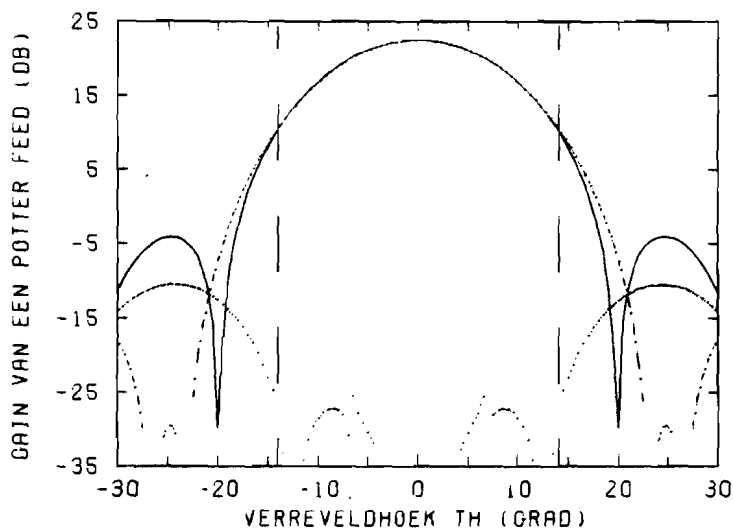
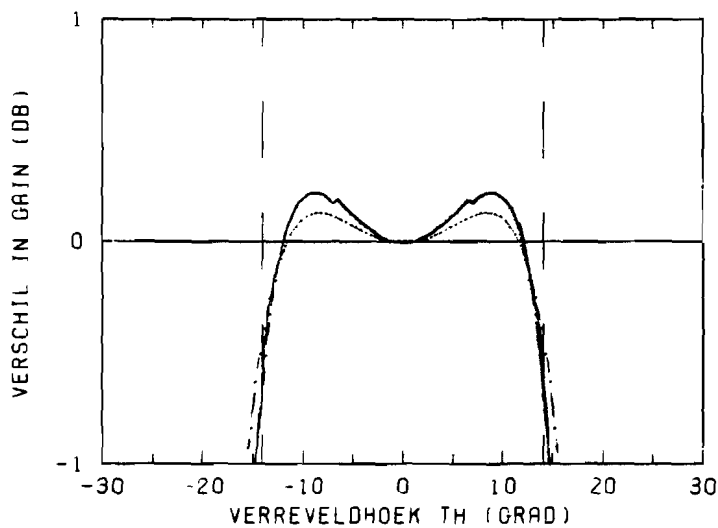
$$E_{OE, M} = \sqrt{\frac{4\pi}{\oint (E_{TE, M}^2 + E_{FE, M}^2) d\Omega}} \quad (A23)$$

3. De combinatie van de modes TE<sub>11</sub> en TM<sub>11</sub> volgens A18 leidt tot een verdeling van het beschikbare vermogen over de beide modes. Hiertoe is een derde factor EOA ingevoerd. De verrevelcomponenten worden nu:

$$\begin{aligned} ET &= EOA(EOE \cdot ETE + \alpha \cdot EOM \cdot ETM) \\ EF &= EOA(EOE \cdot EFE + \alpha \cdot EOM \cdot EFM) \end{aligned} \quad (A24)$$

ECA wordt weer met, de iets aangepaste, formule A23 uitgerekend in de procedure E0.

4. Het verrevel wordt uitgerekend en uitgeprint.

(A) DE GAIN VAN EEN FEED MET  $G=2(N+1)\cos(\theta)^{2N}$ ,  $N=88$ (B) DE GAIN VAN EEN POTTER FEED MET  $\alpha=0.375$ 

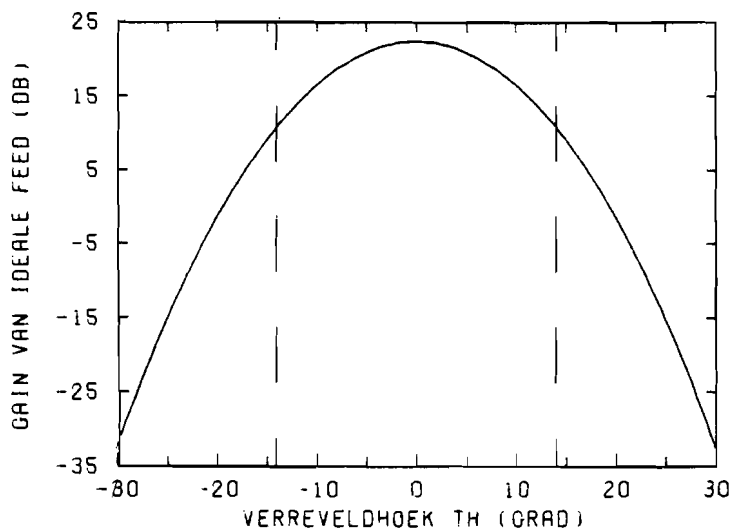
(C) VERSCHIL IN GAIN TUSSEN POTTER FEED EN IDEALE FEED

— — — — — HOOFDPOL COMPONENT IN E-VLAK

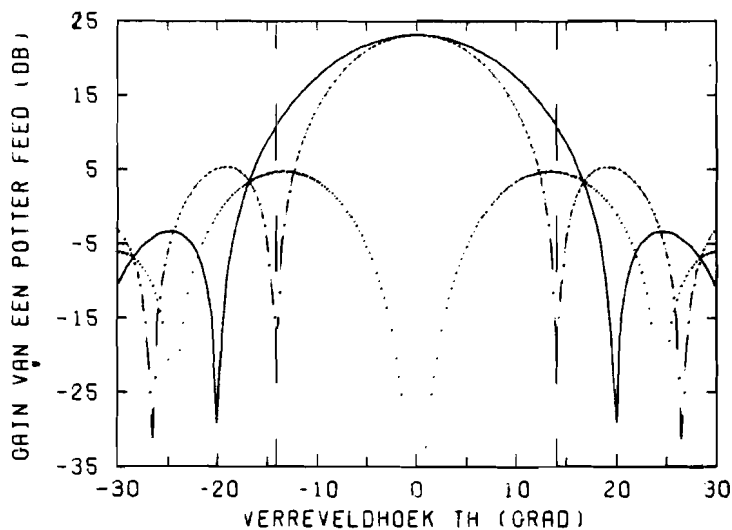
————— HOOFDPOL COMPONENT IN H-VLAK

————— KRUISPOL COMPONENT IN 45-GRADEN VLAKKEN

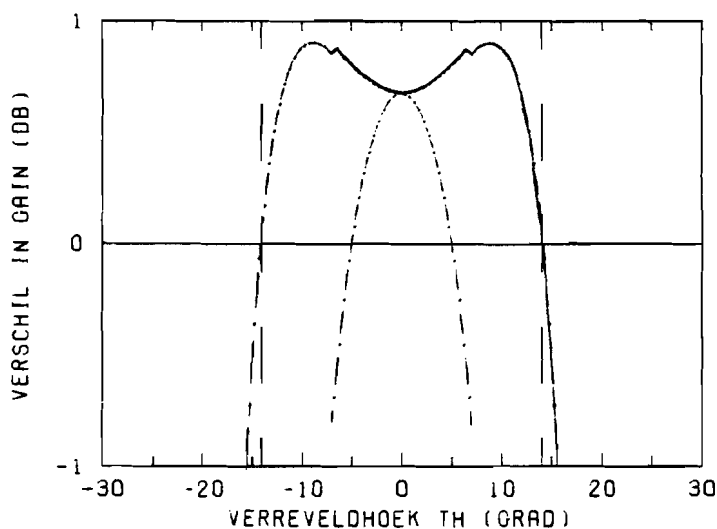
Fig. A4 Vergelijking van een geïdealiseerde feed en een Potterfeed met  $a/\lambda=2.494$  en  $\alpha=0.395$ .



(A) DE GAIN VAN EEN FEED MET  $G=2(N+1)\cos(\theta)^{2N}$ ,  $N=88$

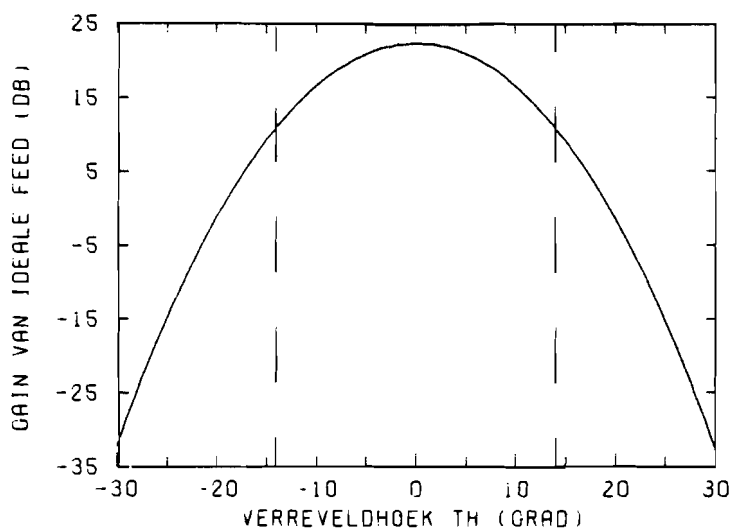
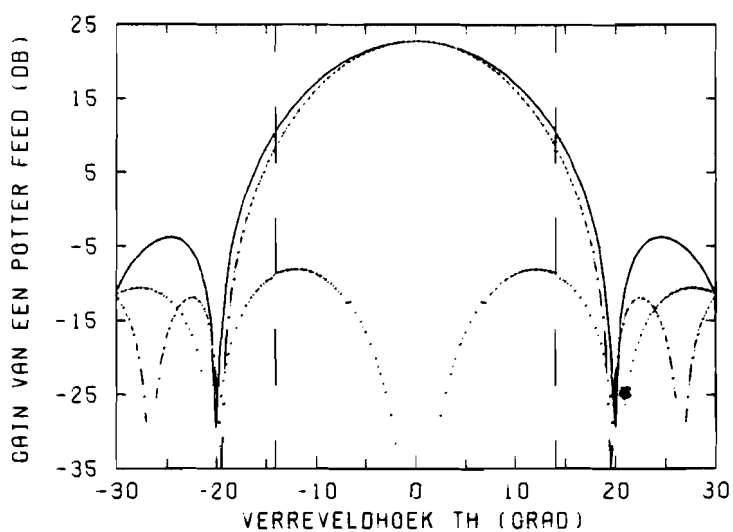
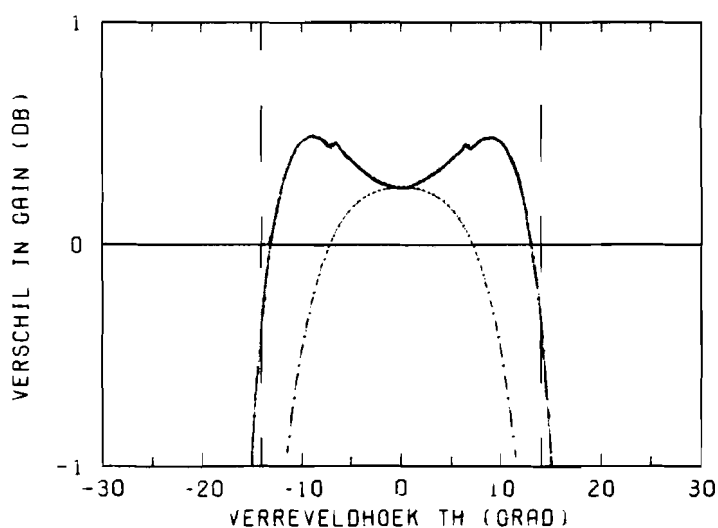


(B) DE GAIN VAN EEN POTTER FEED MET  $\alpha=0$



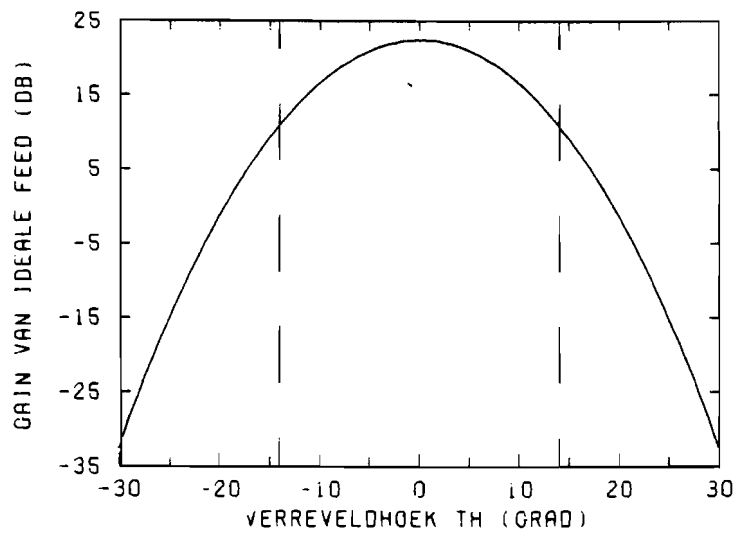
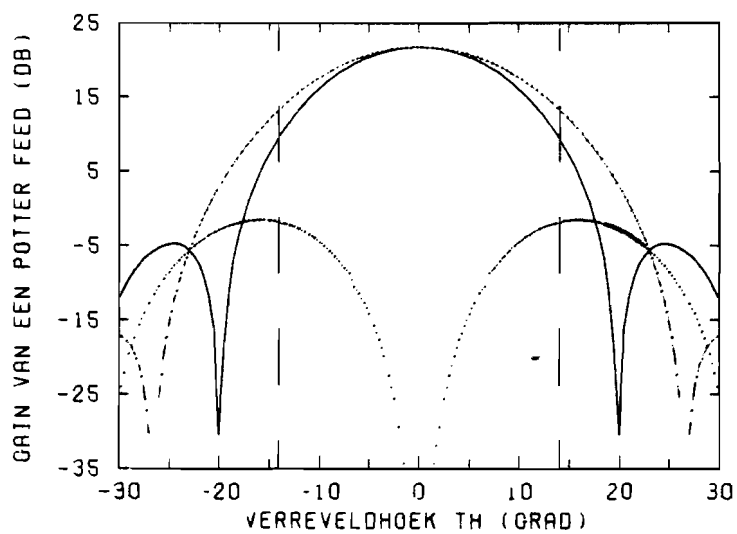
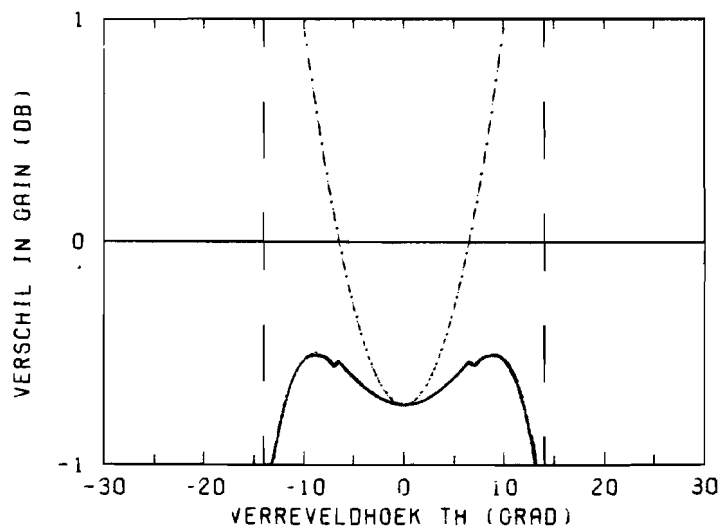
(C) VERSCHIL IN GAIN TUSSEN POTTER FEED EN IDEALE FEED  
 - - - - - HOOFDPOL COMPONENT IN E-VLAK  
 ————— HOOFDPOL COMPONENT IN H-VLAK  
 - · - · - KRUISPOL COMPONENT IN 45-GRADEN VLAKKEN

Fig. A5 Vergelijking van een geïdealiseerde feed en een Potterfeed met  $\alpha/\lambda=2.494$  en  $\alpha=0$ .

(A) DE GAIN VAN EEN FEED MET  $G=2(N+1)\cos(\theta) \cdot N$ .  $N=88$ (B) DE GAIN VAN EEN POTTER FEED MET  $\alpha=0.30$ 

(C) VERSCHIL IN GAIN TUSSEN POTTER FEED EN IDEALE FEED  
 - - - - - HOOFDPOL-COMPONENT IN E-VLAK  
 ————— HOOFDPOL-COMPONENT IN H-VLAK  
 ..... KRUISPOL-COMPONENT IN 45-GRADEN VLAKKEN

Fig. A6 Vergelijking van een geïdealiseerde feed en een Potterfeed met  $a/\lambda=2.494$  en  $\alpha=0.3$ .

(A) DE GAIN VAN EEN FEED MET  $G=2(N+1)\cos(\theta)^{2N}$ ,  $N=88$ (B) DE GAIN VAN EEN POTTER FEED MET  $\alpha=0.60$ 

(C) VERSCHIL IN GAIN TUSSEN POTTER FEED EN IDEALE FEED

- - - - - HOOFDPOL-COMPONENT IN E-VLAK

————— HOOFDPOL-COMPONENT IN H-VLAK

..... KRUISPOL-COMPONENT IN 45-GRADEN VLAKKEN

Fig. A7 Vergelijking van een geïdealiseerde feed en een Potterfeed met  $\lambda=2.494$  en  $\alpha=0.6$ .

```

100      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00000100
200      X   HET PROGRAMMA "RVS/REALFEED BEPAALT DE GROOTTE VAN DE      X      00000200
300      X   HOOFD- EN KRUISPOLARISATIECOMPONENTEN IN HET VERRE VELD      X      00000300
400      X   AAN DE HAND VAN EEN MODEL VOOR DE POTTERFEED.              X      00000400
500      X   INGANGSVARIABLEN:                                           X      00000500
600      X   1. REL. STRAAL VAN DE FEEDAPERTUUR.....A/LAMBDA.          X      00000600
700      X   2. DE MODE COEFFICIENT.....ALFA.                          X      00000700
800      X   DE IN HET PROGRAMMA AANGEROEPEN PROCEDURES STAAN IN DE FILE X      00000800
900      X   "REALFEEDPROC".                                             X      00000900
1000     X   IN HET PROGRAMMA ZIJN DE VOLGENDE STAPPEN TE ONDERSCHIEDEN: X      00001000
1100     X   1. "DECLARATIES", DECLARATIES VAN FILES EN VARIABLEN.      X      00001100
1200     X   2. "DATAINVOER", HET INLEZEN VAN WAARDEN EN HET TOEKENNEN X      00001200
1300     X   VAN WAARDEN AAN EEN AANTAL VARIABLEN.                       X      00001300
1400     X   3. "EO" , BEREKENING VAN DE NORMERINGSGROOTHEDEN          X      00001400
1500     X   EOE,EOM,EOA.                                                X      00001500
1600     X   4. "STRALINGSDIAGRAM", BEREKENING VAN DE HOOFD- EN KRUISPOL- X      00001600
1700     X   COMPONENTEN "CROSS" EN "CO" EN DE ANTENNE-                X      00001700
1800     X   WINST "GAIN1" VOOR EEN HOEK (THETA,FI).                      X      00001800
1900     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00001900
2000     $SET INSTALLATION LINEINFO AUTOBIND                              00002000
2100     $BIND=FROM MATHLIB/= ON APPL                                     00002100
2200     BEGIN                                                            00002200
2300     XDECLARATIES                                                    00002300
2400     REAL PROCEDURE DOUBLEINTEGRAL(DI1,DI2,DI3,DI4,DI5,DI6);          00002400
2500     VALUE DI2,DI3,DI4,DI5,DI6; REAL DI2,DI3,DI4,DI5,DI6;            00002500
2600     REAL PROCEDURE DI1; EXTERNAL;                                     00002600
2700     FILE UIT(KIND=REMOTE,MAXRECSIZE=132,UNITS=CHARACTERS);           00002700
2800     FILE WEG(KIND=REMOTE,MAXRECSIZE=132,UNITS=CHARACTERS);           00002800
2900     REAL ARRAY EPLANE,HPLANE,ECROSS,HOEK(-45:45);                     00002900
3000     FILE READIN(KIND=REMOTE);                                         00003000
3100     REAL PI,ADVERLABDA,COEFF,K2EA,K2HA,EOE,EOM,EOA,KN,MAX;           00003100
3200     $INCLUDE REALFEEDPROC                                              00003200
3300     INTEGER N,I,J;                                                    00003300
3400     XDATAINVOER                                                       00003400
3500     $WRITE(UIT,<"VOER IN A/LABDA MET A/L ONGEVEER 2.45">);            00003500
3600     READ(READIN,/,ADVERLABDA);WRITE(WEG,<"ADVERLABDA=",F7.2>,ADVERLABDA); 00003600
3700     K2HA:=1.841;                                                       00003700
3800     K2FA:=3.832;                                                       00003800
3900     PI:=4*ARCTAN(1);                                                    00003900
4000     KN:=2*PI*ADVERLABDA;                                               00004000
4100     $EINDE DATAINVOER.                                               00004100
4200     $WRITE(UIT,<"VOER IN COEFF.      ">);                               00004200
4300     XEO                                                                 00004300
4400     READ(READIN,/,COEFF);WRITE(WEG,<"COEFF=",F7.2>,COEFF);           00004400
4500     EO(EOE,EOM,EOA);                                                    00004500
4600     WRITE(WEG,<"EOA,EOE,EOM=",3E14.6>,EOA,EOE,EOM);                 00004600
4700     XSTRALINGSDIAGRAM                                                 00004700
4800     BEGIN                                                              00004800
4900     REAL TH,FI,AMPL1,AMPL2,GAIN1,GAIN2,A1,A2,A3,CROSS,CD;             00004900
5000     WRITE(WEG,<"STRALINGSDIAGRAMMEN TE11 EN TM11 MODES">);           00005000
5100     WRITE(WEG,<"/>);                                                    00005100
5200     FOR J:=0 STEP 1 UNTIL 2 DO                                         00005200
5300     BEGIN                                                              00005300
5400     FI:=J*PI/4;                                                        00005400
5500     WRITE(WEG,<"/>"HOEK FI =">,E14.6>,FI*180/PI);                     00005500
5600     WRITE(WEG,<"/>"THETA GAIN CROSS CD A1 A2 A3">);                   00005600
5700     FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 60 DO                                        00005700

```

5800	BEGIN	00005800
5900	TH:=I*PI/360;	00005900
6000	FEED(TH,FI,COEFF,A1,A2,A3,CROSS,CD);	00006000
6100	GAIN1:=GAIN(TH,FI);	00006100
6200	IF J=1 THEN BEGIN	00006200
6300	IF CROSS>MAX THEN MAX:=CROSS;END;	00006300
6400	WRITE(NEG,<14,6E12.3>,TH*180/PI,GAIN1,CROSS,CD,A1,A2,A3);	00006400
6500	IF J=0 THEN EPLANE(I):=EPLANE(-I):=CD;	00006500
6600	IF J=1 THEN ECROSS(I):=ECROSS(-I):=CROSS;	00006600
6700	IF J=2 THEN HPLANE(I):=HPLANE(-I):=CD;	00006700
6800	END	00006800
6900	END;	00006900
7000	WRITE(NEG,<///>,"MAX. VAN CROSSPOL. IS",E14.4," DB">,MAX);	00007000
7100	END;	00007100
7200	END.	00007200



```

100      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00000100
200      X  DEZE SET PROCEDURES HOORT BIJ HET PROGRAMMA RVS/REALFEED      X      00000200
300      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00000300
400      X                                                                    00000400
500      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00000500
600      X  PROCEDURE VOOR DE BEPALING VAN J1(K)/X.                        X      00000600
700      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00000700
800      REAL PROCEDURE J1OVERX(X);                                         00000800
900      REAL X;                                                             00000900
1000     BEGIN PEAL A;                                                       00001000
1100     IF X < 2-2 THEN                                                      00001100
1200     A:=-.5-.56249905*(X/3)**2+-.21093573*(X/3)**4 ELSE                 00001200
1300     A:=J1(X)/X;  J1OVERX:=A;                                             00001300
1400     END J1OVERX;                                                         00001400
1500     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00001500
1600     X  PROCEDURE VOOR DE BEPALING VAN DE EERST AFGELEIDE NAAR HET      X      00001600
1700     X  ARGUMENT VAN J1(X)/X.                                            X      00001700
1800     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00001800
1900     REAL PROCEDURE J1ACC(X);                                             00001900
2000     REAL X;                                                             00002000
2100     BEGIN                                                                00002100
2200     J1ACC:=-J1OVERX(X)+J0(X);                                           00002200
2300     END J1ACC;                                                           00002300
2400     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00002400
2500     X  PROCEDURE VOOR DE BEREKENING VAN DE THETA-COMPONENT VAN      X      00002500
2600     X  HET VERRE VELO T.G.V. DE TM11-GOLF                              X      00002600
2700     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00002700
2800     REAL PROCEDURE ETM(TH,FI,EOM,EOA);                                    00002800
2900     VALUE FI,TH,EOM,EOA; REAL FI,TH,EOM,EOA;                             00002900
3000     BEGIN                                                                00003000
3100     REAL B2E,ET;                                                         00003100
3200     B2E:=SQRT(1-(K2EA/KN)**2);                                           00003200
3300     IF (SIN(TH)**2-(K2EA/KN)**2) NEQ 0 THEN                               00003300
3400     ET:=KN*(B2E+COS(TH))*J1OVERX(KN*SIN(TH))+COS(FI)*SIN(TH)**2/      00003400
3500     (SIN(TH)**2-(K2EA/KN)**2)                                           00003500
3600     ELSE ET:=0;                                                         00003600
3700     ETM:=-ET*EOM*EOA;                                                  00003700
3800     END ETM;                                                             00003800
3900     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00003900
4000     X  PROCEDURE VOOR DE BEREKENING VAN DE FI-COMPONENT VAN HET      X      00004000
4100     X  VERRE VELO T.G.V. DE TM11-GOLF                                  X      00004100
4200     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00004200
4300     REAL PROCEDURE EFM(TH,FI,EOM,EOA);                                    00004300
4400     VALUE FI,TH,EOM,EOA; REAL FI,TH,EOM,EOA;                             00004400
4500     BEGIN EFM:=0;                                                       00004500
4600     END EFM;                                                             00004600
4700     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00004700
4800     X  PROCEDURE VOOR DE BEREKENING VAN DE FI-COMPONENT VAN HET      X      00004800
4900     X  VERRE VELO T.G.V. DE TE11-GOLF                                  X      00004900
5000     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00005000
5100     REAL PROCEDURE EFE(TH,FI,EOE,EOA);                                    00005100
5200     VALUE TH,FI,EOE,EOA; REAL TH,FI,EOE,EOA;                             00005200
5300     BEGIN                                                                00005300
5400     REAL B2H,EF;                                                         00005400
5500     B2H:=SQRT(1-(K2HA/KN)**2);                                           00005500
5600     IF ABS(KN*SIN(TH)/K2HA) NEQ 1 THEN                                    00005600
5700     EF:=-KN*(B2H+COS(TH))*J1ACC(KN*SIN(TH))*SIN(FI)/                  00005700

```

```

5800          (1-(KN*SIN(TH)/K2HA)**2)
5900      ELSE EF:=2-10;
6000      EFE:=EF+EOE*EOA;
6100  END EFF;
6200  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
6300  X  PROCEDURE VOOR DE BEREKENING VAN DE THETA-COMPONENT VAN  X
6400  X  HET VERRE VELD T.G.V. DE TE11-GOLF  X
6500  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
6600  REAL PROCEDURE ETE(TH,FI,EOE,EOA);
6700  VALUE TH,FI,EOE,EOA; REAL TH,FI,EOA,EOE;
6800  BEGIN REAL B2H,ET;
6900      B2H:=SQRT(1-(K2HA/KN)**2);
7000      ET:=KN*(1+B2H*COS(TH))+JIXOVERX(KN*SIN(TH))*COS(FI);
7100      ETE:=ET+EOE*EOA;
7200  END ETE;
7300  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
7400  X  DRIE PROCEDURES VOOR DE BEPALING VAN DE INTEGRANTEN VOOR  X
7500  X  DE GEVALLEN TE11-GOLF, TM11-GOLF, GECONBINEERDE GOLF. DEZE  X
7600  X  WORDEN IN DE PROCEDURE EO GEBRUIKT  X
7700  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
7800  REAL PROCEDURE INTEGRANDE(TH,FI);
7900  VALUE TH,FI; REAL TH,FI;
8000  BEGIN
8100      INTEGRANDE:=(EFE(TH,FI,EOE,EOA)**2+ETE(TH,FI,EOE,EOA)**2)*SIN(TH);
8200  END INTEGRANDE;
8300  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
8400  REAL PROCEDURE INTEGRANDM(TH,FI);
8500  VALUE TH,FI; REAL TH,FI;
8600  BEGIN
8700      INTEGRANDM:=(EFM(TH,FI,EOM,EOA)**2+ETH(TH,FI,EOM,EOA)**2)*SIN(TH);
8800  END INTEGRANDM;
8900  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
9000  REAL PROCEDURE INTEGRANDA(TH,FI);
9100  VALUE TH,FI; REAL TH,FI;
9200  BEGIN
9300      INTEGRANDA:=(EFE(TH,FI,EOE,EOA)+COEFF*EFM(TH,FI,EOM,EOA))**2+
9400      (ETE(TH,FI,EOE,EOA)+COEFF*ETH(TH,FI,EOM,EOA))**2)*SIN(TH);
9500  END INTEGRANDA;
9600  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
9700  X  PROCEDURE VOOR DE PEREKENING VAN DE NORMERINGSFACTOREN VOOR X
9800  X  DE TE11, TM11, GECONBINEERDE TE11/TM11-GOLVEN OP BASIS VAN X
9900  X  HET GEGEVEN DAT INTEGRAAL OVER DE GAIN IS 4*PI  X
10000 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
10100 PROCEDURE EO(EOE,EOM,EOA);
10200 REAL EOE,EOM,EOA;
10300 BEGIN REAL PI; INTEGER A,B; REAL TH,FI;
10400      EOE:=EOM:=EOA:=1; PI:=4*ARCTAN(1);
10500      EOE:=QADRAT(QADRAT(INTEGRANDE(TH,FI),TH,0,PI,0,2-4,A),
10600      FI,0,2*PI,0,2-4,B);
10700      EOE:=SQRT(4*PI/EOE);
10800      EOM:=QADRAT(QADRAT(INTEGRANDM(TH,FI),TH,0,PI,0,2-4,A),
10900      FI,0,2*PI,0,2-4,B);
11000      EOM:=SQRT(4*PI/EOM);
11100      EOA:=QADRAT(QADRAT(INTEGRANDA(TH,FI),TH,0,PI,0,2-4,A),
11200      FI,0,2*PI,0,2-4,B);
11300      EOA:=SQRT(4*PI/EOA);
11400  END EO;
11500 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
11600 X  PROCEDURE VOOR HET BEREKENEN VAN DE VERRE VELD GROOTHEEDEN X
11700 X  'CROSS' EN 'CO' EN DE COMPONENTEN VAN DE POLARISATIE-  X

```

```

00005800
00005900
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400
00008500
00008600
00008700
00008800
00008900
00009000
00009100
00009200
00009300
00009400
00009500
00009600
00009700
00009800
00009900
00010000
00010100
00010200
00010300
00010400
00010500
00010600
00010700
00010800
00010900
00011000
00011100
00011200
00011300
00011400
00011500
00011600
00011700

```

```

11900      * RICHTING X1,X2,X3 IN HET PUNT (FI,THETA) BIJ NUDE COEFF~ X
11900      X EFFICIENT ALFA. X
12000      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12100      PROCEDURE FEED(TH,FI,COEFF,A1,A2,A3,CROSS,CO);
12200      VALUE TH,FI,COEFF;
12300      REAL TH,FI,COEFF,A1,A2,A3,CROSS,CO;
12400      BEGIN
12500          REAL ET,EF,AMPL,EP,EQ;
12600          ET:=ETE(TH,FI,EDE,EOA)+COEFF*ETM(TH,FI,EOM,EOA);
12700          EF:=EFE(TH,FI,EDE,EOA)+COEFF*EFM(TH,FI,EOM,EOA);
12800          AMPL:=SQRT(ET**2+EF**2);
12900      X
13000      X
13100          EP:=ET*COS(FI)-EF*SIN(FI); XBEIDE BIJ POLARISATIE IN X-RICHTING
13200          EQ:=ET*SIN(FI)+EF*COS(FI);
13300      X
13400      X
13500          IF EP NEQ 0 THEN CO:=20*LOG(ABS(EP)) ELSE CO:=-150;
13600          IF EQ NEQ 0 THEN CROSS:=20*LOG(ABS(EQ)) ELSE CROSS:=-150;
13700      X
13800          ET:=ET/AMPL;
13900          EF:=EF/AMPL;
14000          A1:=ET*COS(TH)*COS(FI)-EF*SIN(FI);
14100          A2:=ET*COS(TH)*SIN(FI)+EF*COS(FI);
14200          A3:=-ET*SIN(TH);
14300      END FEED;
14400      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14500      X BEREKENING VAN DE GAIN IN PUNT (FI,THETA) X
14600      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14700      REAL PROCEDURE GAIN(TH,FI);
14800      VALUE TH,FI;REAL TH,FI;
14900      BEGIN
15000          REAL ET,EF,AMPL;
15100          ET:=ETE(TH,FI,EDE,EOA)+COEFF*ETM(TH,FI,EOM,EOA);
15200          EF:=EFE(TH,FI,EDE,EOA)+COEFF*EFM(TH,FI,EOM,EOA);
15300          AMPL:=ET**2+EF**2;
15400          IF AMPL NEQ 0 THEN GAIN:=10*LOG(AMPL) ELSE GAIN :=-150;
15500      END GAIN;

```

```

00011800
00011900
00012000
00012100
00012200
00012300
00012400
00012500
00012600
00012700
00012800
00012900
00013000
00013100
00013200
00013300
00013400
00013500
00013600
00013700
00013800
00013900
00014000
00014100
00014200
00014300
00014400
00014500
00014600
00014700
00014800
00014900
00015000
00015100
00015200
00015300
00015400
00015500

```

## APPENDIX4

## DE BEPALING VAN DE SCANHOEK

Ter bepaling van de scanhoek  $\theta_0$  van een gedefocusseerd Cassegrain antennesysteem, d.w.z. de hoek waar het maximum van het stralingsdiagram optreedt, is een programma ontwikkeld onder de naam 'RVS/THETAMAXBEPALING'. Het programma bestaat uit een numeriek zoekproces. De startwaarde voor de hoek  $\theta_0$  is de verwachte scanhoek  $\theta_{verw}$ , die gegeven is door

$$\theta_{verw} = \arctan(ata[1])$$

met  $ata[1]$  de lineaire faseaberratieterm in het apertuurvlak [1]. Met een empirisch bepaalde stapgrootte  $d\theta = 0.1$  (graden) wordt naar grotere hoek  $\theta$  gegaan, totdat het maximum is gepasseerd. Uit drie punten gegroepeerd rond het maximum wordt het stralingsdiagram rond dit maximum benaderd met een tweede graads polynoom. Het maximum van dit polynoom en de bijbehorende hoek  $\theta$  vormen de gevraagde waarden.

Er is gekozen voor een benadering van de top met een polynoom in plaats van het verkleinen van de stapgrootte omdat het uitrekenen van de verrevelde punten een tijdrovende zaak is. Omdat de top een  $J_1(u)/u$ -achtige vorm heeft is een benadering met een tweede graads polynoom voor kleine waarden van  $u$  voldoende nauwkeurig [M. Abramowitz, [12, pag. 370]].

Opgemerkt moet worden dat dit programma alleen dan leidt tot het gewenste waarde van  $\theta_0$ , indien voor de snede waarin de verrevelde punten berekend worden geldt dat  $f_i = 0$ .

De in het programma opgenomen procedure 'THETAMAXBEPALING' is in de file 'PROCEDURES7' opgenomen (R.326100-330600).

```

326100  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00326100
326110  X  DEZE PROCEDURE ZOEKT STAPSGEWIJS HET MAXIMUM IN  X 00326110
326120  X  HET STRALINGSDIAGRAM EN BEWAART VERVOLGENS EEN  X 00326120
326130  X  KLEIN GEWEDJE OP DE TOP MET EEN TWEEDE GRAADS  X 00326130
326140  X  POLYNOM. HIERVAN WORDT HET (GEVRAAGDE) MAXIMUM  X 00326140
326150  X  BEREKEND EN DE DAARBIJ BEHORENDE HOEK THU, DIE  X 00326150
326160  X  DE SCANHOEK BENOEMD WORDT.  X 00326160
326170  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00326170
326200  PROCEDURE THETAMAXHEPALING(VVTMAX,ATA,MAXWAARDE); 00326200
326300  REAL ARRAY ATA(*); 00326300
326400  REAL VVTMAX,MAXWAARDE; 00326400
326500  BEGIN 00326500
326600  REAL PI,THSTART,DELTATH,CF1,CF2,CF3,ECUPOLAR,U; 00326600
326700  INTEGER I,IMAX; 00326700
326800  REAL ARRAY COORD,FWE(1:3); 00326800
326900  WRITE(WFG,<X3,"THETA",X7,"I",X7,"FWAARDE1",X7,"FWAARDE2",X7, 00326900
327000  "FWAARDE3">); 00327000
327100  THSTART:=-ARCTAN(ATA(1)); PI:=4*ARCTAN(1); 00327100
327200  DELTATH:=1/(PI*COVEPLAJD*10); 00327200
327300  VVF:=0;I:=0;VVT:=THSTART; 00327300
327400  FANFIELD(ECUPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECROSS,FASEC0,VVT,VVF); 00327400
327500  FWE(1):=ECUPOLAR; 00327500
327600  I:=1; VVT:=(THSTART+DELTATH); 00327600
327700  FANFIELD(ECUPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECROSS,FASEC0,VVT,VVF); 00327700
327800  FWE(2):=ECUPOLAR; 00327800
327900  WRITE(WFG,<F14.4,I5,3F14.4>,VVT,I,FWE(1),FWE(2),FWE(3)); 00327900
328000  FOR I:=2 STEP 1 UNTIL ENTIER(ABS(THSTART)/DELTATH) DO 00328000
328100  BEGIN IF FWE(3)>FWE(2) THEN 00328100
328200  BEGIN FWE(1):=FWE(2); FWE(2):=FWE(3); 00328200
328300  VVT:=(THSTART+I*DELTATH); 00328300
328400  FANFIELD(ECUPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECROSS,FASEC0,VVT,VVF); 00328400
328500  FWE(3):=ECUPOLAR; 00328500
328600  WRITE(WFG,<F14.4,I5,3F14.4>,VVT,I,FWE(1),FWE(2),FWE(3)); 00328600
328700  END 00328700
328800  ELSE 00328800
328900  BEGIN 00328900
329000  IMAX:=I-2;VVTMAX:=IMAX*DELTATH+THSTART; 00329000
329100  I:=ENTIER(ABS(THSTART)/DELTATH); 00329100
329200  END; 00329200
329300  END; 00329300
329400  IF IMAX=0 THEN 00329400
329500  BEGIN VVT:=(THSTART-DELTATH); 00329500
329600  FANFIELD(ECUPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECROSS,FASEC0,VVT,VVF); 00329600
329700  WRITE(WFG,<"FC=",F14.4>,ECUPOLAR); 00329700
329800  FWE(1):=ECUPOLAR; 00329800
329900  END; 00329900
330000  COORD(1):=(THSTART+(IMAX-1)*DELTATH)*180/PI; 00330000
330100  COORD(2):=(THSTART+(IMAX)*DELTATH)*180/PI; 00330100
330200  COORD(3):=(THSTART+(IMAX+1)*DELTATH)*180/PI; 00330200
330300  TWEEDEGRPOL(CF1,CF2,CF3,FW,COORD); 00330300
330400  VVTMAX:=-CF2/(2*CF1); 00330400
330500  MAXWAARDE :=FWE(2); 00330500
330600  END THETAMAXHEPALING; 00330600

```

```

10      ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00000010
11      Z HET PROGRAMMA 'RVS/THETAMAXREPALING' WIJKT ALLEEN OP DE Z 00000020
12      Z REGELS 8900-9200 AF VAN HET PROGRAMMA 'RVS/VERLEGDVERREVELD'Z 00000030
13      Z DAT OORF VAN OMHEREN IS ONTWIKKELD EN DOOR VAN SPAENDONK Z 00000040
14      Z IS AANGEPAST. DE PROCEDURE 'THETAMAXREPALING' STAAT IN DE Z 00000050
15      Z FILE 'PROCEDURES' REGEL 326100-330600. Z 00000060
16      ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00000070
17      $ SET INSTALLATION LINEINFO AUTOBIND 00000100
18      $ BIND=FROM MAINTLIB/= ON APPL 00000200
19      BEGIN 00000300
20      REAL PROCEDURE DOUBLEINTEGRAL(DI1,D12,D13,D14,D15,D16); 00000500
21      VALUE D12,D13,D14,D15,D16; REAL D12,D13,D14,D15,D16; 00000600
22      REAL PROCEDURE D11; EXTERNAL; 00000700
23      PROCEDURE POLYVAL(NDEG,COCF,ARG,RES); 00000900
24      VALUE NDEG,ARG; INTEGER NDEG; REAL ARG,RES; 00001000
25      ARRAY COEFF(0); EXTERNAL; 00001100
26      REAL FD,ALFA,DSO,DELTAZ,E,TANPS1,TANPS2,PI,RHU; 00001300
27      REAL WAVENUMBER,DOVERLABDA,VVT,VVF,FIN,OMEGA; 00001400
28      REAL VVFACC,VVTACC,VVTMAX; 00001450
29      INTEGER FS,TS,K,I,J,N,OSTART; 00001500
30      REAL ARRAY FPX,FPY,VVMAINDIR(1:7); 00001600
31      REAL ARRAY VVM0,VVM0P,VVFP,VVFP(0:5); 00001700
32      FILE WFG(KIND=REPORT,MAXREESIZE=132,UNITS=CHARACTERS); 00001800
33      FILE DATAUT(KIND=PUNCH); 00001900
34      00002000
35      FD:=0.32;ALFA:=0.623;DSO:=0.05985; 00002100
36      FPX(1):=-1*ALFA*FL; FPY(1):=0; VVMAINDIR(1):=0; 00002200
37      FPX(2):=-.19766; FPY(2):=DSO/10; VVMAINDIR(2):=0.24560; 00002300
38      FPX(3):=-.19349; FPY(3):=2*DSO/10; VVMAINDIR(3):=0.50370; 00002400
39      FPX(4):=-.18757; FPY(4):=3*DSO/10; VVMAINDIR(4):=0.77567; 00002500
40      FPX(5):=-.17643; FPY(5):=4*DSO/10; VVMAINDIR(5):=1.11354; 00002600
41      FPX(6):=-.16073; FPY(6):=5*DSO/10; VVMAINDIR(6):=1.52151; 00002700
42      FPX(7):=-.12995; FPY(7):=6*DSO/10; VVMAINDIR(7):=2.18140; 00002800
43      LEASTSQUARESPOLYNOMIAL(VVMAINDIR,FPX,7,5,VVM0); 00002900
44      LEASTSQUARESPOLYNOMIAL(FPX,FPY,7,5,VVFP);ZY:=DJ+J1*X+D2*X**2+D6*X**2 00003000
45      FOR I:= 0 STEP 1 UNTIL 5 DO BEGIN VVM0(1):=VVM0(5-1); 00003100
46      VVFP(1):=VVFP(5-1); 00003200
47      END; 00003300
48      BEGIN 00003600
49      REAL DOVERLABDA,K2H,K2EA,CUEFF,KN,EOE,EOA,E0Y; 00003610
50      PI:=4*ARCTAN(1); 00003690
51      DOVERLABDA:=200; WAVENUMBER:=2*PI*DOVERLABDA; 00003900
52      FS:=30; TS:=30; 00004000
53      OSTART:=-90; 00004100
54      VVFACC:= 0*PI/180; VVTMAX:=-0.50155*PI/180; 00004200
55      FIN:=0.50; Z EIN IS DE ABSOLUTE WAARDE VAN DE "SCANHOEK" 00004300
56      BEGIN 00004500
57      REAL ARRAY XA,YA,EAX,EAY,SRUITEA1,SRUITEA2,SRUITEA3(0:FS,0:TS); 00004700
58      REAL ARRAY FASEC(0:FS,0:TS); 00004800
59      REAL ARRAY ATA,ATAREF(0:5); 00004900
60      PGOLFAN ARRAY SPSR,SPHR,BLQK(0:FS,0:TS); 00005000
61      REAL ECUPOLAF,ECROSSPOLAR,FASEC0,FASECROSS,MAG,HVG,ODG,X,ERROR; 00005100
62      REAL FASEC0REF,FASECROSSREF, ECUPOLARREF, ECROSSREF,RENDEMENT,N1; 00005200
63      $ INCLUDE PROCEDURES 00005300
64      E:=EPSILON(FD,DSO),E,TANPS1,TANPS2,ALFA; 00005500
65      N1:=NF(E,FD,DSO); 00005600
66      MAG:=(F+1)/(F-1); BVG:=2*ARCTAN(1/(MAG+FD+4)); 00005700

```

```

00005000
5900 RENDMFNT:=(((1/TAN(RVG/2))*INTGRAAL(((2*(N1+1)*(COS(X)**N1))
6000 ***(0.5))*TAN(X/2)),X,ODG,RVG,3-6,FRJR)**2); 00005900
6100 ECPOLAKREF:=10*LOG((PI*DOVERLADA)**2)*(RENDMENT)); 00006100
6200 ECRUSSREF:=ECPULARRFF; 00006200
6300 FASECRUSSREF:=FASECOREF:=0; 00006300
6400 POLYVAL(5,VVMD,ETN,DELTAZ); 00006400
6500 POLYVAL(5,VVFP,DELTAZ,DELTAZ); 00006500
6600 X DELTAZ:=-1*ALFA*FD; DELTAZ:=0; 00006600
6700 WRITE(WEG,<"/,"FLEDPPOSITIE ( X RESP Z )="2E10.3,/>; 00006700
6800 DELTAZ,DELTAZ); 00006800
6900 APERTUURGROUDEFUNC(FD,ALFA,USD,DELTAZ,DELTAZ,FS,TS,XA,YA,EAX,EAY, 00006900
7000 SRUITEA1,SRUITEA2,SRUITEA3,SPSR,SPHR,BLOK,FASE); 00007000
7100 WRITE(WEG,<"TIJD NODIG VOOR DE BEREKENING VAN DE APERTUUR" 00007100
7200 "GROUDEFUN IN SEC.;"20.10," SEC.">,2.4*2-6*TIME(12)); 00007200
7300 WRITE(WEG,<"/,"ABERRATIEFENOMEN (ATAE0) T.M. ATAE1):">; 00007300
7400 FOR OMEGA:=0 STOP 1 UNTIL 5 DO WRITE(WEG,<E10.3>,ATAJMEGA)); 00007400
7500 WRITE(WEG,<"/"/>); 00007500
7600 CORRECTMATRIX(EAX,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007600
7700 CORRECTMATRIX(EAY,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007700
7800 CORRECTMATRIX(SRUITEA1,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007800
7900 CORRECTMATRIX(SRUITEA2,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007900
8000 CORRECTMATRIX(SRUITEA3,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00008000
8200 WRITE(WEG,<"TIJD NODIG VOOR DE BEREKENING VAN DE MATRICES" 00008200
8300 " IN SEC.;"20.10," SEC.">,2.4*2-6*TIME(12)); 00008300
8900 THETAMAXREPALING(VVTMAX,ATA,MAXWAARDE); 00008900
9000 WRITE(WEG,<"STARTHOEK="E14.4,"GRADEN">,ARCTAN(ATA11*190/PI); 00009000
9100 WRITE(WEG,<"THETAMAX="X2,F14.4,"GRADEN">,VVTMAX); 00009100
9200 END; 00009200
9300 END; 00009300
9400 END. 00009400

```

## APPENDIX 5

## DE COORDINATENTRANSFORMATIE

Indien de volgende twee coördinatenstelsels gedefinieerd zijn:

1. het  $(x, y, z)$ -Cartesisch coördinatenstelsel
  2. het  $(x', y', z')$ -Cartesisch coördinatenstelsel, waarin de  $z'$ -as samenvalt met de scanrichting van de hoofdbundel van het gedefocusseerde antennesysteem (Par.1.3).
- dan geldt een configuratie zoals in Fig. A8a geïllustreerd is.

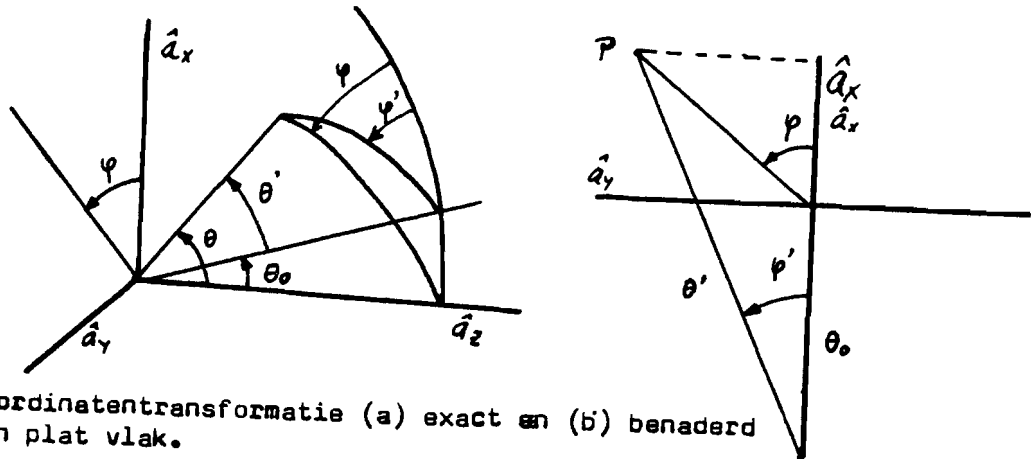


Fig. A8 De coördinatentransformatie (a) exact en (b) benaderd in een plat vlak.

Omdat de verreveldsreden (Par.1.3) in het  $(x', y', z')$ -stelsel gedefinieerd zijn, en voor het programma van v. Ommeren [1] de verreveldpunten in het  $x, y, z$ -stelsel beschreven moeten zijn, is een coördinatentransformatie noodzakelijk.

Indien voor beide coördinatenstelsels een corresponderend poolcoördinatenstelsel wordt ingevoerd, volgens:

$$\begin{aligned} (x, y, z) &= (r \cdot \cos(\phi_i) \cdot \sin(\theta), r \cdot \sin(\phi_i) \cdot \sin(\theta), r \cdot \cos(\theta)) \\ (x', y', z') &= (r' \cdot \cos(\phi'_i) \cdot \sin(\theta'), r' \cdot \sin(\phi'_i) \cdot \sin(\theta'), r' \cdot \cos(\theta')) \end{aligned} \quad (A24)$$

dan moeten de volgende verbanden afgeleid worden:

$$\begin{aligned} \phi_i &= \phi_i(\theta', \phi'_i) \\ \theta &= \theta(\theta', \phi'_i) \end{aligned} \quad (A25)$$



Indien de verreveldehoeken  $th'$  en  $th_0$  klein zijn kan het voor de coördinatenstelsel relevante bolsegment vlak verondersteld worden, met een configuratie als in Fig. A3b.

Met de cos-regel is eenvoudig af te leiden, dat moet gelden:

$$fi = \arctan\left(\frac{th' \sin(fi')}{th_0 + th' \cos(fi')}\right) \quad (A26)$$

Verder geldt met de stelling van Pythagoras:

$$th = \sqrt{th'^2 + th_0^2 + 2th'th_0 \cos(fi')} \quad (A27)$$

Beide formules zijn in de file 'PROCEDURES' onder de naam 'COORDTRAFO' ondergebracht (R, 323200-324255).

```

323200 ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
323210 Z DEZE PROCEDURE VOERT EEN COORDINATENTRANSFORMATIE Z 00323210
323220 Z UIT VAN EEN HULDCOORDINATENSTELSEL MET CENTRUM Z 00323220
323230 Z (FI,TH)=(0,TH0) MET VARIABELEN FI EN TH NAAR Z 00323230
323240 Z EEN HULDCOORDINATENSTELSEL MET OORSPRONG Z 00323240
323250 Z (FI,TH)=(0,0). Z 00323250
323260 ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00323260
323300 REAL PROCEDURE COORDTRAFD(VVFACC,VVTACC,THETAMAX,VVF,VVT); 00323300
323400 VALUE VVFACC,VVTACC,THETAMAX; 00323400
323500 REAL VVFACC,VVTACC,THETAMAX,VVF,VVT; 00323500
323600 BEGIN 00323600
323610 REAL A,R,PI; 00323610
323700 PI:=4*ARCTAN(1); 00323700
323750 A:=VVTACC*SIN(VVFACC); 00323750
323800 b:=THETAMAX+VVTACC*COS(VVFACC); 00323800
323850 VVT:=SQRT(A**2+B**2); 00323850
323900 IF B NEQ 0 THEN VVF:=ARCTAN(ABS(A/B)) ELSE VVF:=PI/2; 00323900
323950 IF A>0 AND B<0 THEN VVF:=PI-VVF; 00323950
324000 IF A<0 AND B<=0 THEN VVT:=-VVT; 00324000
324050 IF A<0 AND B>0 THEN 00324050
324100 BEGIN 00324100
324150 VVT:=-VVT; 00324150
324200 VVF:=PI-VVF 00324200
324250 END; 00324250
324255 END COORDTRAFD; 00324255

```

## APPENDIX 6

## HET FASEVERLOOP IN HET VERREVELD UITGEWERKT

Aan de hand van de apertuurveldverdeling, zoals in paragraaf 1.5 gevonden is, worden formules afgeleid voor het verreveld waarin het oneven en het even fasegedrag van de kruis- resp. de hoofd- polarisatiecomponent wat betreft de verreveldhoek  $\theta$  zichtbaar is.

Voor de scalaire componenten van het verreveld gelot (zie appendix 1):

$$\frac{E_{co}}{cr}(\theta, \theta) = \iint_{\text{apertuur } A} \frac{F_{co}}{cr}(\rho, \psi) e^{jk\sqrt{\rho^2 + z^2} - jk \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta - \psi)} \rho \cdot d\rho \cdot d\psi \quad (A2)$$

met

$\theta, \theta$  verreveldhoeken  
 $\frac{F_{co}}{cr}(\rho, \psi)$  apertuurveldverdeling van de scalaire componenten  
 $\rho, \psi$  coördinaten van een punt in de apertuur (zie Fig. 1)

Wanneer we het argument van de exponent schrijven als:

$$-jk(\rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\psi) + \rho \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\psi) - \sqrt{\rho^2 + z^2}) \quad (A29)$$

zien we, dat met betrekking tot de variabele  $\theta$  de component

$$\rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\psi) - \sqrt{\rho^2 + z^2} \quad (A30)$$

even is en de component

$$\rho \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\psi) \quad (A31)$$

oneven.

Voor de hoofdpolarisatie- en de kruispolarisatiecomponent in de apertuur geldt resp. (paragraaf 1.5):

$$\begin{aligned} F_{co}(\rho, \psi) &= F_{co}(\rho, -\psi) \\ F_{cr}(\rho, \psi) &= -F_{cr}(\rho, -\psi) \end{aligned} \quad (A32)$$

Indien de apertuurpunten  $(\rho, \psi)$  en  $(\rho, -\psi)$  met elkaar gecombineerd worden, is de formule (A28) te schrijven als:

$$E_{CO}(th, fi) = 2 \int_0^{D/2} \int_0^{D/2} F_{CO}(\rho, \psi) e^{-jk(\psi(\rho, \psi) - \rho \sin(\theta) \cos(\psi) \cos(\phi))} \\ \cdot \cos(k \rho \sin(\theta) \sin(\phi) \sin(\psi)) \rho d\rho d\psi$$

$$E_{CR}(th, fi) = 2 \int_0^{D/2} \int_0^{D/2} F_{CR}(\rho, \psi) e^{-jk(\psi(\rho, \psi) - \rho \sin(\theta) \cos(\psi) \cos(\phi))} \\ \cdot \sin(k \rho \sin(\theta) \sin(\phi) \sin(\psi)) \rho d\rho d\psi \quad (A33)$$

We zien dat voor deze functie de volgende eigenschappen gelden:

$$E_{CO}(th, fi) = E_{CO}(th, -fi)$$

en

(A34)

$$E_{CR}(th, fi) = -E_{CR}(th, -fi)$$

Evenstaande formules geven het oneven en even gedrag van de verreveldcomponenten aan.

In de volgende sectie wordt de verreveld fase van een twee-elementen array afgeleid, zoals getoond in Fig. A9. Dit is van nut bij de analyse van het verreveldkruispolarisatie fasegedrag van het gedefocusseerde antennesysteem (Par. 1.6).

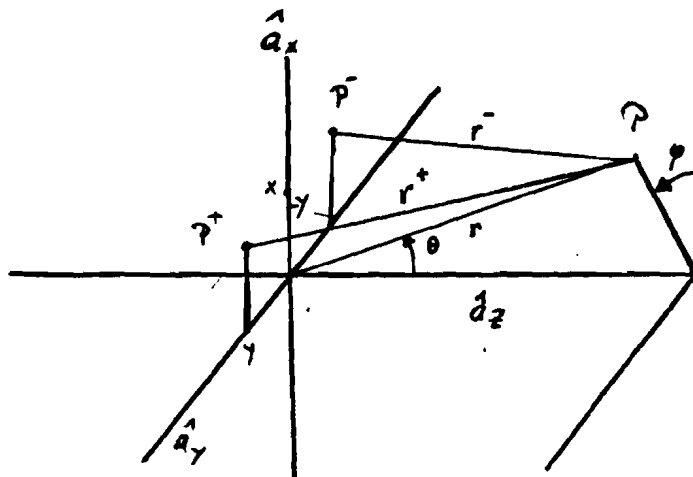


Fig. A9 Het arraymodel

Het array bestaat uit twee elementen, die zich bevinden in de punten  $P^+ = (x, u, 0)$  en  $P^- = (x, -y, 0)$ . Stel dat het verreveld van een der elementen geschreven kan worden als [14]:

$$E_V^\pm(r^\pm) = E_\theta^\pm(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr^\pm}}{r} \quad (\text{A35})$$

met  $r$  de afstand van het arrayelement tot het verreveldpunt  $P$ ,  $E_\theta(\theta, \phi)$  het stralingspatroon van een arrayelement,  $E_V(\theta, \phi, r)$  het verreveld in het punt  $P$ .

Indien beide elementen eenzelfde stralingspatroon bezitten, en in tegenfase gevoed worden, dan geldt voor het resulterende verreveld van dit array, met  $x/r, y/r \ll 1$ :

$$E = E_\theta^+(\theta, \phi) \left( \frac{e^{-jkr^+}}{r^+} - \frac{e^{-jkr^-}}{r^-} \right) \quad (\text{A36})$$

$$\begin{aligned} r^+ &= |P - P^+| = \\ &= \sqrt{(r \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) - x)^2 + (r \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\theta) - y)^2 + (r \cdot \cos(\theta))^2} \\ &\approx r \sqrt{1 - 2 \cdot x/r \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) + 2 \cdot y/r \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\theta)} \\ &\approx r \cdot (1 - x/r \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) + y/r \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\theta)) \end{aligned} \quad (\text{A37})$$

Analoog geldt:

$$r^- = |P - P^-| = r \cdot (1 - x/r \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) - y/r \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\theta)) \quad (\text{A38})$$

Omdat  $|r| = r = r +$  geldt voor formule A36 :

$$E(r) = -2jE^+(th, \phi) \frac{e^{-jkr}}{r} e^{jkx \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(th)} \sin(ky \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(th)) \quad (A39)$$

In deze uitdrukking voor het verrekeld zien we ten eerste fasesprongen van  $\pm 180$  graden tussen  $\arg(E(r)) = \pm 90$  (grad.). Ten tweede zien we een lineaire fase term m.b.t.  $\sin(th)$ , die evenredig is met  $x$  en  $\cos(\phi)$ .

## APPENDIX 7

-----

## GEVOLGEN VAN DISCRETISEREN

-----

In het algoritme dat ontwikkeld is voor het onderdrukken van zijlussen, komen de volgende twee vormen van discretisatie voor:

1. Omdat het uitrekenen van een gescand stralingsdiagram veel rekentijd in beslag neemt, is dit slechts voor een beperkt aantal scanhoeken  $\theta_0$  uitgevoerd. In het optimaliseringsalgoritme is het stralingsdiagram voor willekeurige scanhoeken vereist, hetgeen door middel van polynoominterpolatie mogelijk gemaakt is. (Par. A7.1)

2. Een stralingsdiagram is steeds in een beperkt aantal equidistante samplepunten  $\theta_i$  berekend. Bij willekeurige waarden van  $\theta_0$  vallen over het algemeen de samplepunten in het primaire- en secundaire stralingsdiagram niet samen. Voor het uitrekenen van het resulterende verzeveld wordt daarom in het secundaire stralingsdiagram lineaire interpolatie toegepast. (Par. A7.2)

A7.1 Het stralingsdiagram als functie van  $\theta_0$ 

-----

In hoofdstuk 1 is geconstateerd, dat de hoofdbundel in het verzeveld van het bestudeerde Cassegrain antennesysteem van vcm verarcert bij toenemende scanhoek  $\theta_0$ : De maximale gain neemt af, de hoofdbundel wordt breder en asymmetrisch. (zie ook Fig. A10)

Omdat bij gainonderdrukking in een hoekgebied ( $\theta_c, \theta_n$ ) het verschil tussen twee verzeveldwaarden bepaald moet worden, zodat op een bepaalde hoek  $\theta_i$  een kleine waarde van het resulterende verzeveld kan optreden, is een nauwkeurige bepaling van het gescande stralingsdiagram noodzakelijk. Dit gebeurt als volgt:

Indien verzevelddiagrammen voor  $N$  scanhoeken  $\theta_0$  bekend zijn, wordt voor elk samplepunt  $\theta_i$  in deze diagrammen een polynoom bepaald voor het reële en het imaginaire deel van het verzeveld in dit punt  $\theta_i$ . De graad van dit polynoom is  $(N-1)$ . Indien een stralingsdiagram gewenst is voor een willekeurige scanhoek  $\theta_0$ , dan wordt het genoemde polynomen voor elk samplepunt  $\theta_i$  in het te berekenen diagram, het reële en imaginaire deel berekend van het bijbehorende verzeveld. Hieruit wordt de gain en de fase berekend.

In ons geval zijn verzeveldstralingsdiagrammen bepaald bij de scanhoeken  $\theta_0 = 0, -0.501, -1.0501, -1.3671$  (grad.). Voor elke verzeveldhoek is het verloop van de gain en de fase gegeven in Fig. A10 en A11.

De beschreven polynoomberekening en interpolatie is als volgt

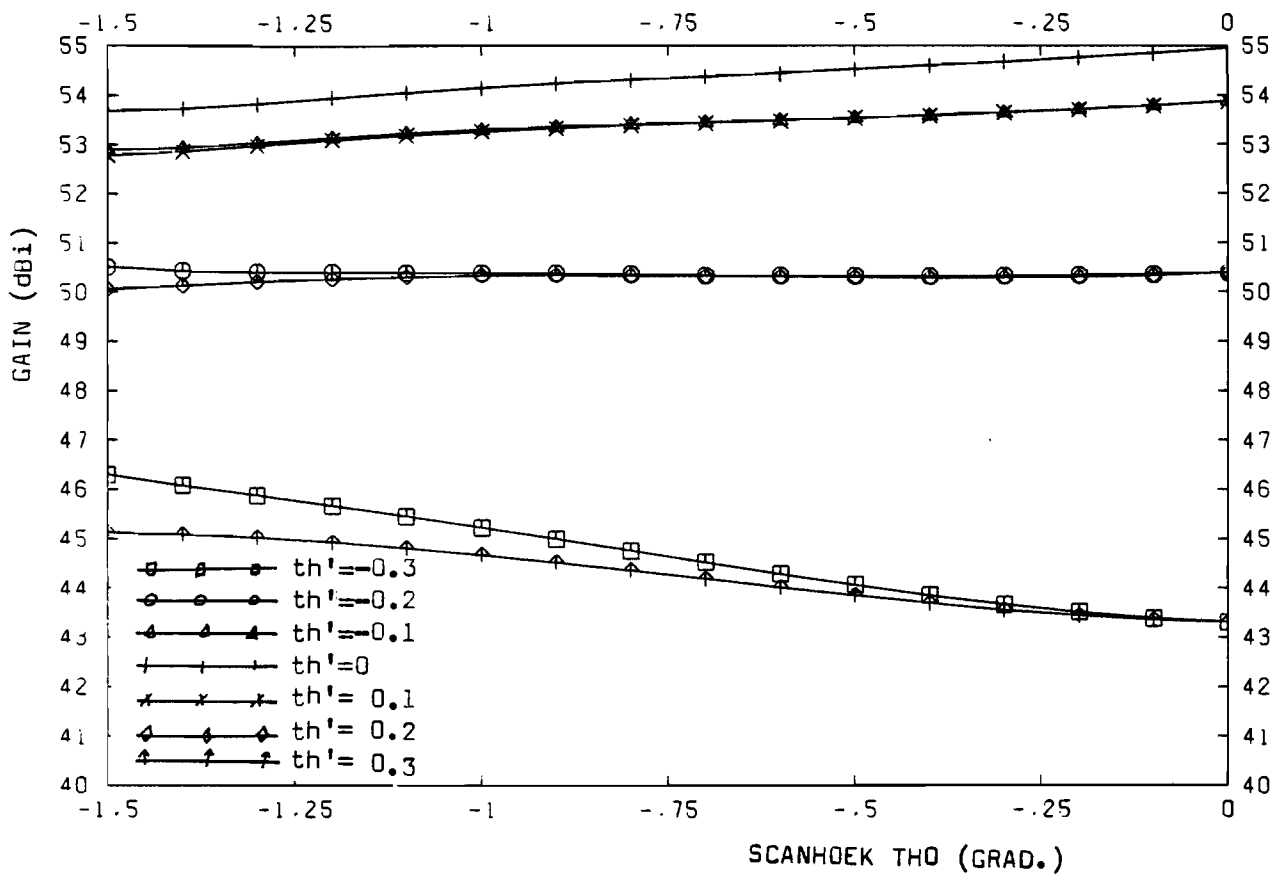


Fig. A10 De amplitude in de hoofdbundel als functie van de scanhoek  $th_0$ , voor enkele waarden van de verreveldhoek  $th'$ .

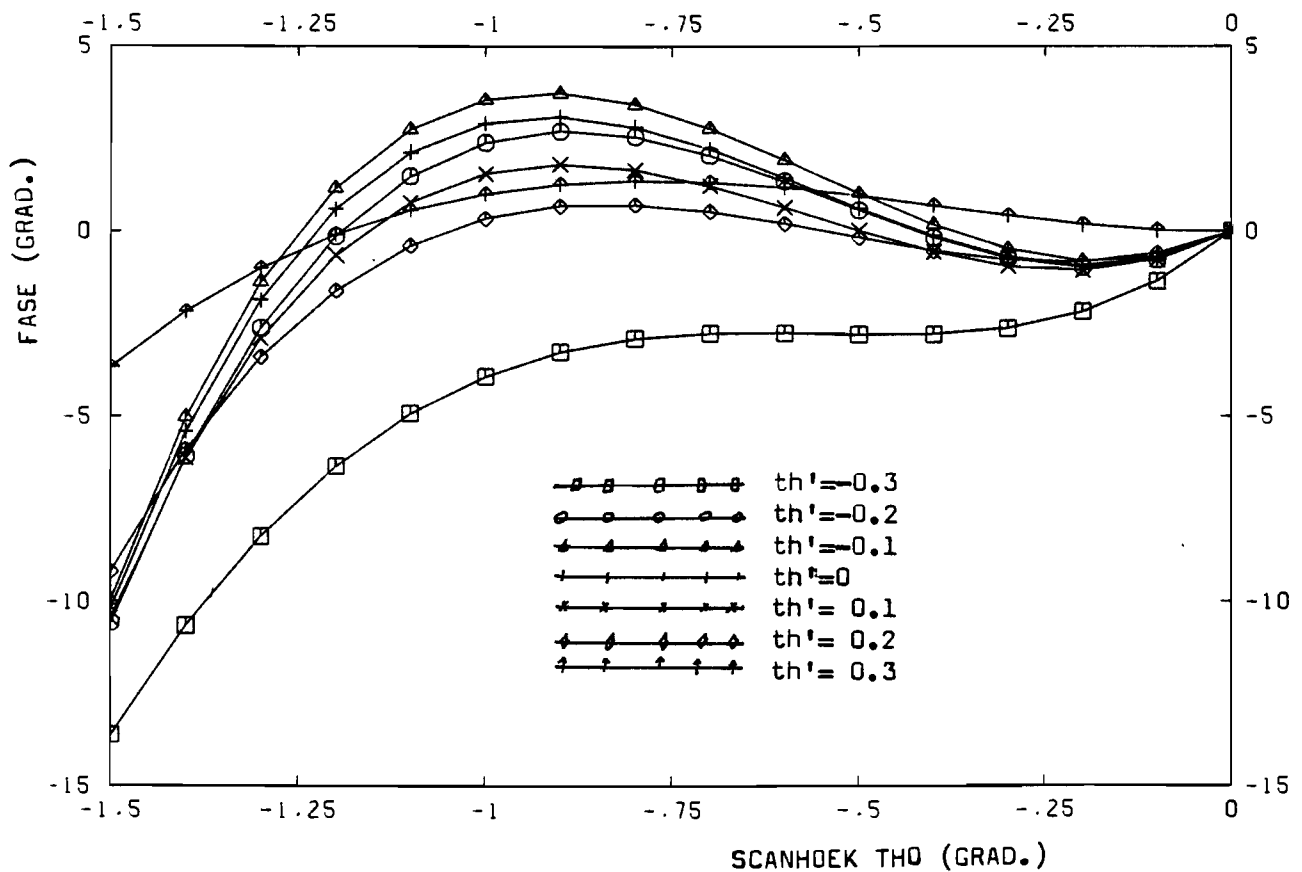


Fig. A11 De fase in de hoofdbundel als functie van de scanhoek  $th_0$ , voor enkele waarden van de verreveldhoek  $th'$ .



in het programma geïmplementeerd. De genoemde procedures zijn in de file "RVS/DISCREET" ondergebracht.

PROCEDURE INLEZEN(NDIAGR,ECO,FASECO,THETAO,REEEL,IMAG)

Deze procedure leest de gain en de fase van de beschikbare stralingsdiagrammen (het aantal is NDIAGR) en plaatst deze in de arrays ECO resp. FASECO. Het reële en het imaginaire deel van het verreveld worden hieruit berekend en opgeslagen in de arrays REEEL en IMAG. Het array THETAO bevat de waarden van de scanhoeken.

PROCEDURE CURVE(NDIAGR,THETAO,NONDER,NEOVEN,BB,AA);

Deze procedure bepaalt voor de samplepunten in het hoekgebied (met NONDER < i < NEOVEN) de coëfficiënten van het polynoom, dat door de punten (THETAO[J],BB[I,J]), J=1,2,...,NDIAGR, gaat en plaatst de waarden van de coëfficiënten in het array AA.

PROCEDURE VULARRAY(THO,AR,AI,NONDER,NEOVEN,N,AMPL,FASE);

Deze procedure bepaalt bij een gegeven scanhoek th0 de gain en de fase voor alle samplepunten met NONDER < i < NEOVEN. Hiertoe worden het reële en het imaginaire deel van het verreveld uit de polynoom met coëfficiënten AR resp. AI berekend. Vervolgens worden de gain en de fase bepaald en opgeslagen in AMPL en FASE.

#### Par. A7.2 Interpolatie binnen een stralingsdiagram

In ons geval zijn de stralingsdiagrammen van het primaire en secundaire verreveld in een eindig aantal equidistante samplepunten thi gegeven. Het secundaire stralingsdiagram is hierbij berekend d.m.v. interpolatie volgens de voorgaande paragraaf. Indien scanning optreedt over een hoek th0, doet zich over het algemeen de situatie voor dat de samplepunten van het secundaire en het primaire niet samenvallen. (Fig. A11).

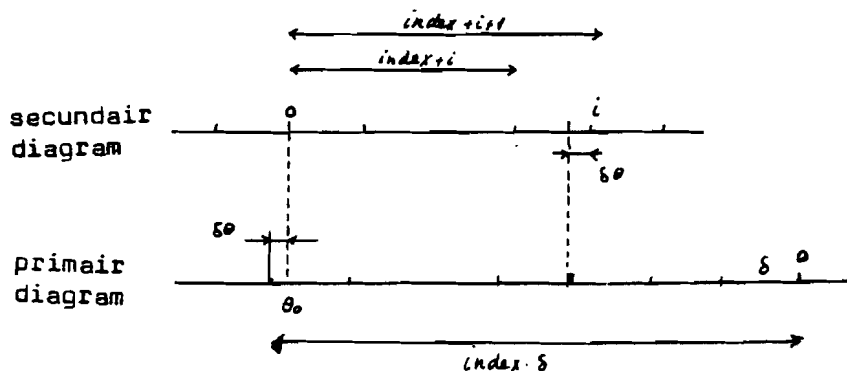


Fig. A12 interpolatie binnen het secundaire stralingsdiagram

Indien we definiëren:

DELTA	de afstand tussen twee samplepunten
INDEX	ENTIER(TH0/DELTA)
.	TH0-INDEX*DELTA

dan is het secundaire verreveld op het punt (th<sub>i</sub>-th0) d.m.v. lineaire interpolatie als volgt te berekenen:

$$E_s(th_i; th0) = E_s(index-i) + \frac{th_i - th0}{\delta} (E_s(index-i-1) - E_s(index-i)) \quad (A40)$$

met

$$i = \frac{th_i - th0}{\delta}$$

Het uitrekenen van het secundaire verreveld vindt op bovenomschreven wijze plaats in de procedure ESEC, opgenomen in de file 'RVS/DISCREET'.

```

100  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00000100
200  Z DEZE PROCEDURE LEEST DE GAIN EN DE FASE VAN DE BESCHIKBARE X 00000200
300  Z STRALINGSDIAGRAMMEN (AANTAL=NDIAGR) IN HET ARRAY ECO RESP. Z 00000300
400  Z FASECO. IN DE LAATSTE SECTIE WORDEN DE REELE EN IMAGINAIRE Z 00000400
500  Z DELEN VAN HET VERREVELD BEREKEND EN OPGESLAGEN IN DE ARRAYS Z 00000500
600  Z REEEL EN IMAG. HET ARRAY THO BEVAT DE WAARDE VAN DE SCANHOEKENZ 00000600
700  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00000700
800  PROCEDURE INLEZEN(N,ECO,FASECO,THETAO,REEEL,IMAG); 00000800
900  VALUE N; 00000900
1000  INTEGER N; 00001000
1100  REAL ARRAY REEEL,IMAG,ECO,FASECO(*,*) 00001100
1200  REAL ARRAY THETAO(*); 00001200
1300  BEGIN 00001300
1400  REAL ARRAY O1,O2(-90:90); 00001400
1500  REAL E,F1,P1; 00001500
1600  INTEGER I,J,K; 00001600
1700  P1:=4*ARCTAN(1); 00001700
1800  K:=1; 00001800
1900  IF N>=5 THEN N:=5; 00001900
2000  IF K<=N THEN 00002000
2100  BEGIN 00002100
2200  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00002200
2300  READ(ECO,J,FCO1J,1),FASECO1J,1),O1(J),O2(J)); 00002300
2400  CLOSE(FCO1); 00002400
2500  K:=K+1; 00002500
2600  END; 00002600
2700  IF K<=N THEN 00002700
2800  BEGIN 00002800
2900  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00002900
3000  READ(SC1,J,FCO1J,2),FASECO1J,2),O1(J),O2(J)); 00003000
3100  CLOSE(FCO1); 00003100
3200  K:=K+1; 00003200
3300  END; 00003300
3400  IF K<=N THEN 00003400
3500  BEGIN 00003500
3600  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00003600
3700  READ(SC2,J,FCO1J,3),FASECO1J,3),O1(J),O2(J)); 00003700
3800  CLOSE(FCO2); 00003800
3900  K:=K+1; 00003900
4000  END; 00004000
4100  IF K<=N THEN 00004100
4200  BEGIN 00004200
4300  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00004300
4400  READ(SC3,J,FCO1J,4),FASECO1J,4),O1(J),O2(J)); 00004400
4500  CLOSE(FCO3); 00004500
4600  K:=K+1; 00004600
4700  END; 00004700
4800  IF K<=N THEN 00004800
4900  BEGIN 00004900
5000  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00005000
5100  READ(SC4,J,FCO1J,5),FASECO1J,5),O1(J),O2(J)); 00005100
5200  CLOSE(FCO4); 00005200
5300  K:=K+1; 00005300
5400  END; 00005400
5500  READ(SCANHOEK,THETAO); 00005500
5600  FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00005600
5700  FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO 00005700

```

```

5800      BEGIN                                00005800
5900      EI=10*(EC0(I,J)/Z0);                 00005900
6000      FI:=FASFC0(I,J)*PI/180;             00006000
6100      RF=REI(I,J):=E*COS(FI);             00006100
6200      IMAG(I,J):=F*SIN(FI);               00006200
6300      END;                                  00006300
6400      END INLEZFN;                          00006400
6500      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  00006500
6600      Z DEZE PROCEDURE BEPAALT VOOR ALLE SAMPLEPUNTEN THI HET Z 00006600
6700      Z MONDER<I<NBOVEN DE COEFFICIENTEN VAN HET POLYNOOM DAT GAAT Z 00006700
6800      Z VOOR DE PUNTEN (THETA0(J),EC(I,J)), J=0,1,.....,NDIAGR. Z 00006800
6900      Z DE WAARDEN VAN DE COEFFICIENTEN WORDEN IN HET ARRAY AA Z 00006900
7000      Z OPGESLAGEN. Z 00007000
7100      Z VOOR HET REELE GEVAL GELOT: Z 00007100
7200      Z      FCO      =      REEL Z 00007200
7300      Z      AA      =      AI Z 00007300
7400      Z VOOR HET IMAGINAIRE GEVAL GELOT: Z 00007400
7500      Z      FCO      =      IMAG Z 00007500
7600      Z      AA      =      AI Z 00007600
7700      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  00007700
7800      PROCEDURE CURVE(N,THETA0,MONDER,NBOVEN,ECO,AA); 00007800
7900      VALUE N,MONDER,NBOVEN; 00007900
8000      INTEGER N,MONDER,NBOVEN; 00008000
8100      REAL ARRAY THETA0(1); 00008100
8200      REAL ARRAY ECO,AA(1); 00008200
8300      BEGIN 00008300
8400      INTEGER I,J; 00008400
8500      REAL ARRAY FA(1:N),ACO(N-1); 00008500
8600      FOR I:=MONDER STEP 1 UNTIL NBOVEN DO 00008600
8700      BEGIN 00008700
8800      FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO FA(J):=ECO(I,J); 00008800
8900      LEAST SQUARES POLYNOMIAL(THETA0,FA,N,N-1,A); 00008900
9000      FOR J:=0 STEP 1 UNTIL N-1 DO AA(I,J):=ACO(J); 00009000
9100      END; 00009100
9200      END CURVE; 00009200
9300      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  00009300
9400      Z DEZE PROCEDURE BEREKEND RIJ EEN BEPAALDE SCANHOEK HET Z 00009400
9500      Z VERREVELD EN SLAAT DE ZS OP IN AMPL EN FASE. DEZE Z 00009500
9600      Z BEREKENING WORDT ALLEEN UITGEVOERD VOOR DE SAMPLEPUNTEN Z 00009600
9700      Z MET MONDER<I<NBOVEN, EN MAAKT GEBRUIK VAN DE POLYNOOM Z 00009700
9800      Z COEFFICIENTEN, ZOALS BEPAALD IN DE PROCEDURE CURVE Z 00009800
9900      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  00009900
10000     PROCEDURE VOLARRAY(THO,AR,AI,MONDER,NBOVEN,N,AMPL,FASE); 00010000
10100     VALUE THO,N,MONDER,NBOVEN; 00010100
10200     REAL ARRAY AR,AI(1); 00010200
10300     REAL ARRAY AMPL,FASE(1); 00010300
10400     REAL THO; 00010400
10500     INTEGER N,MONDER,NBOVEN; 00010500
10600     BEGIN 00010600
10700     REAL ARRAY R,IPCO(N-1); 00010700
10800     INTEGER I,J; 00010800
10900     REAL RE,IM,PI; 00010900
11000     COMPLEX COMPL; 00011000
11100     PI:=4*ARCTAN(1); 00011100
11200     FOR I:=MONDER STEP 1 UNTIL NBOVEN DO 00011200
11300     BEGIN 00011300
11400     FOR J:=0 STEP 1 UNTIL N-1 DO 00011400
11500     BEGIN 00011500
11600     RI(J):=AR(I,J); 00011600
11700     ICI(J):=AI(I,J); 00011700

```

```

11800      END;                                00011800
11900      RE:=POLEVAL(N=1,R=THO);            00011900
12000      IM:=POLEVAL(N=1,IR,THO);          00012000
12100      COMPL:=COMPLEX(RE,IM);            00012100
12200      CPOLAF(COMPL,AMPLI1,FASE11);       00012200
12300      FASE11:=FASE11+180/PI;            00012300
12400      IF AMPLI1 NEQ 0 THEN               00012400
12500      AMPLI1:=20*LOG(AMPLI1);            00012500
12600      END;                                00012600
12700      END VILAKRAYS;                       00012700
12800      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00012800
12900      7 DE PROCEDURES WISSEL VERWISSELEN DE INHOUD VAN ARPAYS X 00012900
13000      7 OVPREENKOMSTIG DE BEHOEFTE MADAT BESLOTEN IS HOE MET HOEKINTERVALX 00013000
13100      7 GEKOZEN WORDT. X 00013100
13200      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00013200
13300      PROCEDURE WISSEL1(VECT,IMIN,A1,A2,STT); 00013300
13400      VALUE IMIN; 00013400
13500      REAL ARRAY VECT(*); 00013500
13600      INTEGER IMIN,A1,A2; 00013600
13700      BOOLEAN STT; 00013700
13800      BEGIN 00013800
13900      REAL D1,D2,D3; 00013900
14000      D1:=VECT(IMIN-1); 00014000
14100      D2:=VECT(IMIN); 00014100
14200      D3:=VECT(IMIN+1); 00014200
14300      VECT(-2):=D1; 00014300
14400      VECT(0):=D2; 00014400
14500      VECT(2):=D3; 00014500
14600      A1:=-1; A2:=1; STT:=FALSE; 00014600
14700      END WISSEL1; 00014700
14800      PROCEDURE WISSEL2(VECT,IMIN,A1,A2,STT); 00014800
14900      VALUE IMIN; 00014900
15000      REAL ARRAY VECT(*); 00015000
15100      INTEGER IMIN,A1,A2; 00015100
15200      BOOLEAN STT; 00015200
15300      BEGIN 00015300
15400      REAL D1,D2,D3; 00015400
15500      D1:=VECT(IMIN-2); 00015500
15600      D2:=VECT(IMIN-1); 00015600
15700      D3:=VECT(IMIN); 00015700
15800      VECT(-2):=D1; 00015800
15900      VECT(-1):=D2; 00015900
16000      VECT(0):=D3; 00016000
16100      A1:=1; A2:=2; STT:=FALSE; 00016100
16200      END WISSEL2; 00016200
16300      PROCEDURE WISSEL3(VECT,IMIN,A1,A2,STT); 00016300
16400      VALUE IMIN; 00016400
16500      REAL ARRAY VECT(*); 00016500
16600      INTEGER IMIN,A1,A2; 00016600
16700      BOOLEAN STT; 00016700
16800      BEGIN 00016800
16900      REAL D1,D2,D3; 00016900
17000      D1:=VECT(IMIN); 00017000
17100      D2:=VECT(IMIN+1); 00017100
17200      D3:=VECT(IMIN+2); 00017200
17300      VECT(0):=D1; 00017300
17400      VECT(1):=D2; 00017400
17500      VECT(2):=D3; 00017500
17600      A1:=-2; A2:=-1; STT:=FALSE; 00017600

```

```

17800  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00017800
17900  Z ESEC BEPAALT HET SECUNDAIRE STRALINGSDIAGRAM OP HET PUNT Z 00017900
18000  Z THC + DELTA*I, DE SCANHOEK VAN HET SEC. STRALINGSDIAGRAM (-THO)Z 00018000
18100  Z HEEFT EEN WILLEKFORIGE WAARDE, DE WAARDE VAN HET SEC. Z 00018100
18200  Z VERKEVLD WORDT D.N.V. LINEAIRE INTERPOLATIE BEPAALD (ZIE Z 00018200
18300  Z APPENDIX 7, HET SECUNDAIRE STRALINGSDIAGRAM WAARIN Z 00018300
18400  Z GEINTERPOLEERD IS, IS GEPLAATST IN DE ARRAYS AMPL EN FASE, EN Z 00018400
18500  Z BEPAALD OMV DE PROCEDURE VULARRAY. Z 00018500
18600  Z NUNDER EN NOUVEN BEPERKEN DE INTERPOLATIA ALLEEN TOT DIE Z 00018600
18700  Z PUNTEN WAARIN BELANG GESTELD WORDT (RIJVV. HET HOEKEGEBIED. Z 00018700
18800  Z WAARIN DE GAIN ONDEDRUKT WORDT) Z 00018800
18900  Z DOOR GEBRUIK VAN DE BOOLEAN "ANDERS" HOEFT NIET Z 00018900
19000  Z BIJ IEDFRE AANROEP DE WAARDE INDEX BEPAALD TE WORDEN. Z 00019000
19100  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00019100
19200  PROCEDURE ESEC(X,THC,I,DELTA,ANDERS,INDEX,ECQ21,FASECQ21)Z 00019200
19300  VALUE THC,I,DELTA; 00019300
19400  REAL ARRAY XI(*); 00019400
19500  REAL THC,DELTA,ECQ21,FASECQ21; 00019500
19600  INTEGER I,INDEX; 00019600
19700  BOOLEAN ANDERS; 00019700
19800  BEGIN 00019800
19900  REAL TH,THI,PI,FASCOI1,FASCOI2,ECOI1,ECOI2; 00019900
20000  INTEGER IND,I1,I2,M; 00020000
20100  COMPLEX E,EI1,EI2; 00020100
20200  M:=ABS(THC/DELTA); PI:=4*ARCTAN(1); 00020200
20300  THO:=X(1); 00020300
20400  IF ANDERS THEN 00020400
20500  BEGIN 00020500
20600  VULARRAY(XTHC,AR,AJ,NUNDER,NOUVEN,M,I,AGR,AMPL,FASE); 00020600
20700  IND:=ENIILP(THO/DELTA); 00020700
20800  IF IND NEQ INDEX THEN 00020800
20900  BEGIN 00020900
21000  INDEX:=IND; 00021000
21100  ANDERS:=FALSE; 00021100
21200  END 00021200
21300  ELSE ANDERS:=FALSE; 00021300
21400  END; 00021400
21500  THI:=THO-INDEX*DELTA; 00021500
21600  I1:=THC/DELTA+I-JINDEX-1; 00021600
21700  I2:=I1+1; 00021700
21800  IF ABS(I1)<=M AND ABS(I2)<=M THEN 00021800
21900  BEGIN 00021900
22000  FASCOI2:=FASEC(I2)*PI/180; 00022000
22100  FASCOI1:=FASEC(I1)*PI/180; 00022100
22200  ECOI2:=10**(AMPL(I2)/20); 00022200
22300  ECOI1:=10**(AMPL(I1)/20); 00022300
22400  EI2:=ECOI2*COMPLEX(COS(FASCOI2),SIN(FASCOI2)); 00022400
22500  EI1:=ECOI1*COMPLEX(COS(FASCOI1),SIN(FASCOI1)); 00022500
22600  E:=EI2+THI/DELTA*(EI1-EI2); 00022600
22700  CPOLAR(E,ECO21,FASECQ21); 00022700
22800  FASECQ21:=FASECQ21*180/PI; 00022800
22900  IF ECO21 NEG 0 THEN ECO21:=20*LOG(ECO21) ELSE ECO21:=-150; 00022900
23000  END 00023000
23100  ELSE FASECQ21:=ECO21:=0; 00023100
23200  END ESEC; 00023200
23300  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00023300
23400  Z COMBINER COMBINERT DE STRALINGSDIAGRAMMEN VAN DE GEFDCUSSEERD 00023400
23500  Z FN GEFDFOCUSSEERDE BONDEL. INVOERGEGEVENS ZIJN DE SCANHOEK 00023500
23600  Z THO EN DE EXCITATIEFREQ A EN FIA. HOEKEN IN GRADEN, AMPLITUDES 00023600
23700  Z IN DS. 00023700

```

```

23800      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX      00023800
23900      PROCEDURE COMBINEER(ECO,FASECO,NONDER,NBOVEN,DELTA,THO,      00023900
24000      A,FIA,AMPL2,FASE2);      00024000
24100      VALUE NONDER,NBOVEN,DELTA,THO,A,FIA;      00024100
24200      REAL THO,A,FIA,DELTA;      00024200
24300      INTEGER NONDER,NBOVEN;      00024300
24400      REAL ARRAY AMPL2,FASE2(1),ECO,FASECO(*,1);      00024400
24500      BEGIN      00024500
24600      INTEGER INDEX,I1,I2,1;      00024600
24700      REAL TH1,AMP,FAS,PI,F2I1,F2I2,FA,AA,F11,EP,AMP11,AMP12;      00024700
24800      COMPLEX ESEC,EPR1M,E,AMI1,AMI2,COEFF;      00024800
24900      FOR I:=NONDER STEP 1 UNTIL NBOVEN DO      00024900
25000      BEGIN      00025000
25100      PI:=4*ARCTAN(1);      00025100
25200      INDEX:=ENLIER(THO/DELTA);      00025200
25300      TH1:=THO-DELTA*INDEX;      00025300
25400      I1:=I-INDEX;      00025400
25500      I2:=I1-1;      00025500
25600      IF I2>=90 AND I1<90 THEN      00025600
25700      BEGIN      00025700
25800      F2I1:=FASEI11)*PI/130; F11:=FASECO(I,1)*PI/180;      00025800
25900      F2I2:=FASEI12)*PI/130; SP:=10*(FCO(I,11)/20);      00025900
26000      AMP11:=10*(AMPL(I1)/20);      00026000
26100      AMP12:=10*(AMPL(I2)/20);      00026100
26200      FA:=FIA*PI/130;      00026200
26300      AA:=10*(A/20);      00026300
26400      AMI1:=AMP11*COMPLEX(COS(F2I1),SIN(F2I1));      00026400
26500      AMI2:=AMP12*COMPLEX(COS(F2I2),SIN(F2I2));      00026500
26600      ESEC:=AMI1*(TH1/DELTA)*(AMI2-AMI1);      00026600
26700      COEFF:=AA*COMPLEX(COS(FA),SIN(FA));      00026700
26800      ESEC:=ESEC*COEFF;      00026800
26900      EPR1M:=EP*COMPLEX(COS(F11),SIN(F11));      00026900
27000      E:=EPR1M+ESEC;      00027000
27100      CPULARC(F,AMPL2(I1),FASE2(I1));      00027100
27200      FASE2(I1):=FASE2(I1)+160/PI;      00027200
27300      IF AMPL2(I1) NEQ 0 THEN AAMPL2(I1):=20*LOG(AMPL2(I1))      00027300
27400      ELSE AAMPL2(I1):=-150;      00027400
27500      END      00027500
27600      ELSE      00027600
27700      AAMPL2(I1):=FASE2(I1):=0;      00027700
27800      END;      00027800
27900      END COMBINEER;      00027900

```

APPENDIX 8 HET BEWIJS VAN EENDUIDIGE CONVERGENTIE NAAR  
 -----  
 HET MINIMUM VAN DE FUNCTIE Sq.  
 -----

Bewezen moet worden dat de functie:

$$Sq(|a|, fia|th0) = \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 \left| \bar{E}_p(th_i) + a \cdot \bar{E}_s(th_i; th0) \right|^2 \quad (A41)$$

een éénduidig te bepalen minimum heeft. Indien we invoeren:

$$\begin{aligned} \bar{E}_p(th_i) &= \bar{E}_{pi} \\ \bar{E}_s(th_i; th0) &= \bar{E}_{si} \end{aligned} \quad (A42)$$

en indien we bedenken dat:

$$|z|^2 = z \cdot z^* \quad (A43)$$

dan is Sq te schrijven als:

$$Sq(|a|, fia|th0) = \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 \left( |\bar{E}_{pi}|^2 + |a \cdot \bar{E}_{si}|^2 + 2 \cdot |a \cdot \bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \cos(fia + fi_{si} - fi_{pi}) \right)$$

met

$$\begin{aligned} \bar{E}_{pi} &= |\bar{E}_{pi}| e^{j \cdot fi_{pi}} \\ \bar{E}_{si} &= |\bar{E}_{si}| e^{j \cdot fi_{si}} \end{aligned} \quad (A44)$$

Eventuele minima van Sq kunnen bepaald worden door op te lossen:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Sq}{\partial |a|} &= \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 \left( |a| \cdot |\bar{E}_{si}|^2 + |\bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \cos(fia + fi_{si} - fi_{pi}) \right) = 0 \\ \frac{\partial Sq}{\partial fia} &= \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 \left( |a \cdot \bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \sin(fia + fi_{si} - fi_{pi}) \right) = 0 \end{aligned} \quad (A45)$$

Herschrijven van (A45b) leidt tot een uitdrukking voor fia, die op de weegfactoren  $w_i$  na, gelijk is aan de door v. Cammeren afgeleide formule [1, pag.19]:

$$fia = \arctan \left( \frac{\sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 |\bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \sin(fi_{si} - fi_{pi})}{\sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} w_i^2 |\bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \cos(fi_{si} - fi_{pi})} \right) \quad (A46)$$



Invullen van de waarde van  $\varphi_{ia}$  in (A45a) en herschrijven hiervan leidt tot de volgende uitdrukking voor  $\text{abs}(a)$  (zie ook [1, pag.19]):

$$|a| = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \cos(\varphi_{ia} + \varphi_{si} - \varphi_{pi})}{\sum_{i=1}^{N/2} w_i^2 |\bar{E}_{si}|^2} \quad (\text{A47})$$

Opgemerkt moet worden, dat uit (A46) twee mogelijke waarden voor  $\varphi_{ia}$  mogelijk zijn en wel  $\varphi_{ia}$  en  $(\varphi_{ia} + \pi)$ . Invullen van deze waarden in (A47) leidt tot twee verschillende waarden van  $\text{abs}(a)$ , die even groot maar tegengesteld van teken zijn. Het faseverschil van  $\pi$  (rad) en het tekenverschil heffen elkaar na vermenigvuldiging op, zodat gesteld mag worden dat de optimale excitatiecoëfficiënt gegeven wordt door:

$$a = |a| \cdot e^{j \cdot \varphi_{ia}} \quad (\text{A48})$$

Er is zoals we gezien hebben sprake van een optimum voor de functie  $S_q$ . Of dit een minimum of een maximum is volgt uit de tweede afgeleide van  $S_q$  bij de optimale waarde van  $a$  (A49):

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 S_q}{\partial |a|^2} &= \sum_{i=1}^{N/2} 2 \cdot w_i^2 \cdot |\bar{E}_{si}|^2 > 0 \\ |a|^2 \frac{\partial^2 S_q}{\partial \varphi_{ia}^2} &= \sum_{i=1}^{N/2} -2 \cdot \frac{w_i^2}{|a|} |\bar{E}_{pi} \cdot \bar{E}_{si}| \cdot \cos(\varphi_{ia} + \varphi_{si} - \varphi_{pi}) \end{aligned} \quad (\text{A49})$$

Omdat voor  $\varphi_{ia}$  en  $\text{abs}(a)$  aan de uitdrukking (A48a) voldaan is geldt, dat

$$\frac{\partial^2 S_q}{|a|^2 \partial \varphi_{ia}^2} \gg 0 \quad (\text{A50})$$

Uit (A50) volgt dat het optimum voor willekeurige waarden van  $w_i$  een globaal minimum is, waarmee het gewenste bewijs geleverd is.

## APPENDIX 9

-----  
 PROGRAMMABESCHRIJVING VAN HET ALGORITHMME VOOR  
 -----  
 OPTIMALE ZIJLUSONDERDRUKKING  
 -----

Deze appendix bevat een volledige listing van het programma 'RVS/ZIJLUSONDERDRUKKING', waarmee de waarden van de excitatiecoëfficiënt  $a$  en de scanhoek  $th_0$  zodanig bepaald worden, dat de maximale gain in een vooraf gegeven hoekgebied ( $th_c, dth$ ) minimaal is. Tevens kan met dit programma het na optimaliseren resulterende verreveldstralingsdiagram zowel in de vorm van een tabel als in de vorm van een plaatje verkregen worden.

In aanvulling op het in de listing gegeven commentaar wordt hier nog extra aandacht besteed aan:

- De procedure COMBINEER (Par. A9.1)
- Het stopcriterium van het iteratieproces dat in Par. 2.4.1 besproken is (Par. A9.2)
- De minimumbepaling van  $|Er(a, th_0)|$  volgens Par. 2.4.2 (Par. A9.3).

A9.1 DE PROCEDURE COMBINEER  
 ----

De procedure COMBINEER(ECD, FASECO, NONDER, NBOVEN, DELTA, THO, A, FIA, AMPL2, FASE2) bepaalt voor het samplepunt  $th_i$  ( $NONDER < i < NBOVEN$ ) het resulterende verreveld (Het array AMPL2 en FASE2) uit het gefocusseerde verrevelddiagram (Opgenomen in ECD en FASECO) en het gescande verreveldpatroon (Het array AMPL en FASE). Dit laatste is met de excitatiefactor  $a$  (A en FIA) vermenigvuldigd. Deze procedure is in de file 'RVS/DISCREET' ondergebracht.

A9.2 HET STOPCITERIUM VAN HET ITERATIEPROCES  
 ----

Het stopcriterium, zoals besproken in Par. 2.4.1 is in het programma geïmplementeerd van r.22500-24400 en werkt als volgt:

Van het resulterende stralingsdiagram worden in het hoekgebied ( $th_c, dth$ ) de locale maxima bepaald. Voor zo'n maximum geldt, als het ligt:

- Op het linkerhoekpunt ( $I=-N$ ):  $AMPL2[-N+1] < AMPL2[-N] = MAXIMA$ ,
- Op het rechterhoekpunt ( $I=N$ ):  $AMPL2[N-1] < AMPL2[N] = MAXIMA$ ,
- In het hoekgebied :  $AMPL2[I-1] < AMPL2[I] = MAXIMA$  EN  
 $AMPL2[I+1] < AMPL2[I] = MAXIMA$

Van alle volgens bovenstaande methode bepaalde (locale) maxima worden de fase en de gain in de arrays 'HOEK' en 'MAXIMA' opgeslagen. De fase geeft in dit verband informatie over het gedrag van het (locale) maximum indien de excitatiecoëfficiënt verandert. (zie Par.2.4.1)

Bij het nagaan of aan het stopcriterium voldaan is (r.23800-23900) worden de globale maxima vergeleken met met het globale maximum in het hoekgebied(thc,dth) (MAX). Indien het gainverschil kleiner is dan een vooraf opgegeven nauwkeurigheidsgrens (EPS) en indien de cosinus van de met elkaar vergeleken fasen verschillend van teken zijn, is aan het stopcriterium voldaan en stopt het iteratieproces.

### A9.3 DE MINIMUMBEPALING VAN $|E_r(a,th_0)|^2$

Voor de bepaling van het minimum van  $|E_r(a(th_0),f(a(th_0)),th_0)|^2$ , die in Par. 2.4.2 gedefinieerd is, is de volgende methode toegepast, met het oog op het mogelijk voorkomen van globale minima in deze functie:

Voor 5 waarden van th0 op er rond een vooraf ingevoerde startwaarde (TH0C) wordt het iteratieproces, zoals beschreven in Par. 2.4.1. uitgevoerd. Deze waarden van th0 zijn equidistant gekozen op onderling afstand DTH0/2. Hiervan wordt de waarde van th0 bepaald, waarbij de maximale gain in het hoekgebied(thc,dth) het kleinst is. Op en rond deze th0 wordt dit proces opnieuw uitgevoerd voor 5 waarden van th0 op orderlinge afstand DTH0/4.

Indien de th0 waarbij de geoptimaliseerde gain in het hoekgebied de rand de serie th0 waarden ligt wordt de orderling afstand niet gehalveerd.

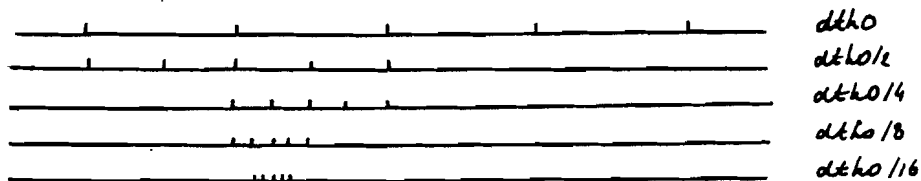


Fig. A13 de stapsgewijze variatie van th0

Zoals in Fig. A11 geïllustreerd is, moeten bij een nieuwe serie th0 waarden slechts 2 nieuwe berekeningen uitgevoerd te worden. De overdracht van de oude resultaten naar naar de nieuwe serie th0 waarden vindt plaats met de procedures WISSEL.

WISSEL1 indien th0 niet op een rand ligt,

WISSEL2 indien th0 op de rechterrond ligt,  
WISSEL3 indien th0 op de linkerrond ligt,

Dit proces van herhaald verkleinen van de stapgrootte van th0 en het daarbij uitoptimaliseren van de gainonderdrukking herhaalt zich, totdat de stapgrootte kleiner is dan een vooraf gegeven stopgrens (ODTHOSTP).

100	XX	00000100
200	X HET PROGRAMMA 'RVS/ZIJLUS/ONDERDRUKING' OPTIMALISEERT X	00000200
300	X DE GAINONDERDRUKING IN EEN BEPAALD HOEKGEBIED(THC,DTH) X	00000300
400	X ZODANIG, DAT DE MAXIMAAL IN DIT GEBIED VOORKOMENDE GAIN X	00000400
500	X MINIMAAL IS, DE THEORETISCHE ACHTERGRONDEN VAN DIT X	00000500
600	X PROGRAMMA ZIJN IN PAR. 2.4 EN APP. 2 TOEGELICHT, DE IN X	00000600
700	X HET PROGRAMMA AANGEROEPEN PROCEDURES STAAN ALLE IV JE X	00000700
800	X FILE RVS/DISCREET. X	00000800
900	X DE VOLGENDE GEGEVENS, IN VOLGORDE VAN INVOEREN ZIJN X	00000900
1000	X VEREIST: X	00001000
1100	X THC.....CENTRUM VAN HET HOEKGEBIED IN GRAD. X	00001100
1200	X DTH.....BREEDTE VAN HET HOEKGEBIED IN GRAD. X	00001200
1300	X THCC.....DE STARTWAARDE VAN DE SCANHOEK, VAN X	00001300
1400	X WAARUIT THO BEREKEND WORDT. X	00001400
1500	X DTHOSTT.....DE GRENZEN WAARBINNEN THO BIJ DE EERSTE X	00001500
1600	X SLAG BEREKEND WORDT X	00001600
1700	X DTHOSTP.....DE NAUWKEURIGHEID WAARBINNEN THO BEPAALD X	00001700
1800	X MOET WORDEN X	00001800
1900	X LPS.....DE NAUWKEURIGHEID WAARBINNEN DE FUNCTIE ER X	00001900
2000	X (PAR. 2.4.1) GEMINIMALISEERD MOET WORDEN. X	00002000
2100	X (TYPISCH 0.0108) X	00002100
2200	X SF.....TRUE BIJ VOLLEDIG UITPRINTEN VAN HET X	00002200
2300	X ITERATIEPROCES (ALLEEN BIJ DIAGNOSF-RUNS) X	00002300
2400	X STR.....TRUE INDIEN HET RESULTEREND STRALINGS- X	00002400
2500	X DIAGRAM IN TABEL- EN PLAATJESVORM X	00002500
2600	X GEWENST IS. X	00002600
2700	XX	00002700
2800	\$SET INSTALLATION LINEINFO AUTOHND	00002800
2900	\$INCLUDE "PLOTLIBRARY ON APPL"	00002900
3000	BEGIN	00003000
3100	FILE FC (KIND=DISK,TITLE="FDC.",FILETYPE=7);	00003100
3200	FILE SC1 (KIND=DISK,TITLE="HOEK10501.",FILETYPE=7);	00003200
3300	FILE SC2 (KIND=DISK,TITLE="HOEK13671.",FILETYPE=7);	00003300
3400	FILE SC3 (KIND=DISK,TITLE="HOEK05015.",FILETYPE=7);	00003400
3500	FILE SC4 (KIND=DISK,TITLE="HOEK3.",FILETYPE=7);	00003500
3600	FILE SCANHOEK (KIND=DISK,TITLE="THETANUL.",FILETYPE=7);	00003600
3700	FILE INCKIND=REMOTE);	00003700
3800	FILE OUT(KIND=REMOTE);	00003800
3900	FILE WEG(KIND=REMOTE);	00003900
4000	FILE OBJ(KIND=PREVIEWER);	00004000
4100	REAL MINTH,MAXTH,DELTA,THC,DTH,THO,A,PIA,PI;	00004100
4200	REAL ALFA,X1,Y1;	00004200
4300	REAL THCC,DTHOSTT,DTHOSTP,DTHO,MINIM,INDEX,EPS;	00004300
4400	INTEGER II,JJ,IMIN,A1,A2,PLT;	00004400
4500	REAL APMAY,THQVECT,MAXIM,PHIA,4A[-2:2];	00004500
4600	INTEGER NDIAGR,NSAMPLES,M,CO1,CO2,K,N,I,THN,J,NONDER,NBOVEN;	00004600
4700	BOOLEAN ANDERS,STT,SF,STR;	00004700
4800	INTEGER IDTH;	00004800
4900	XX	00004900
5000	ZINLEZEN EN TOEKENMEN VAN WAARUEN AAN PARAMETERS, DIE HET X	00005000
5100	XHOEKGEBIED EN DE VERSCHILLENDE ARRAYS BESCHRIJVEN X	00005100
5200	XX	00005200
5300	NDIAGR:=4;	00005300
5400	NSAMPLES:=181;	00005400
5500	MINTH:=-3;	00005500
5600	MAXIM:=3;	00005600
5700	XX	00005700

```

5800 DELTA:=(MAXTH-MINTH)/(2*N); 00005800
5900 CO1:=MAXTH/DELTA; 00005900
6000 CO2:=MINTH/DELTA; 00006000
6100 WRITE(WFG, <"THC">); 00006100
6200 READ(CIN, /, THC); 00006200
6300 WRITE(CUI, <"VOER IN DTHC">); 00006300
6400 READ(CIN, /, DTH); 00006400
6500 IF MAXTH-CO1*DELTA=0 AND 00006500
6600 MINTH-CO2*DELTA=0 AND 00006600
6700 (2*N+1)-NSAMPLES=0. THEN 00006700
6800 BEGIN 00006800
6900 REAL ARRAY FCC, FASECO, REEFL, IMAG(-N:M, 1:NOIAGR); 00006900
7000 REAL ARRAY THOVECTOR(1:NOIAGR), 00007000
7100 AR, AT(-N:M, 0:NOIAGR-1), 00007100
7200 R, AMPL2, FASE2, AMPL, FASE, XL-M:M); 00007200
7300 REAL FCO2I, FASECO2I; 00007300
7400 $INCLUDE D:\SECRET 00007400
7500 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00007500
7600 XINLEZEN VAN DE STARTWAARDEN, STOPCRITERIA EN VORM VAN UITVOERX 00007600
7700 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00007700
7800 INLEZEN(NOIAGR, FCO, FASECO, THOVECTOR, REEFL, IMAG); 00007800
7900 WRITE(WFG, <"VOER IN THOCENTRUM">); 00007900
8000 LEAD(CIN, /, THOC); 00008000
8100 WRITE(WFG, <"VOER IN STAPWAARDE THO">); 00008100
8200 READ(CIN, /, DTHOSTI); 00008200
8300 WRITE(WFG, <"VOER IN GEFENSTE NAUWKEURIGHEID VOOR THOC">); 00008300
8400 READ(CIN, /, DTHOSTI); 00008400
8500 WRITE(WFG, <"ICEGESTANE RIMPELVARIATIE IN DB:">); 00008500
8600 READ(CIN, /, EPS); 00008600
8700 WRITE(WFG, <"EIJ VOLLEDIG UITPRINTEN 'TRUE' ANDERS 'FALSE'">); 00008700
8800 READ(CIN, /, SE); 00008800
8900 WRITE(WFG, <"INDIEN STRALINGSDIAGRAM GEFENST " 00008900
9000 "TRUE ANDERS FALSE " >); 00009000
9100 READ(CIN, /, STN); 00009100
9200 BEGIN 00009200
9300 PI:=4*ARCTAN(1); 00009300
9400 K:=THC/DELTA; THC:=K*DELTA; 00009400
9500 N:=DTH/(2*DELTA); DTH:=2*N*DELTA; 00009500
9600 DTHO:=DTHOSTI/2; 00009600
9700 STI:=TRUE; 00009700
9800 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00009800
9900 ZSTART VAN DE LUSSEN, WAARIN DE WAARDE VAN THO STEEDS IN X 00009900
10000 ZGRDPEN VAN 5 BEPAALD WJRD. (IIMAX IS EEN VEILIGHEIDSGRENS) X 00010000
10100 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00010100
10200 FOR JJ:=1 STEP 1 UNTIL 15 DO 00010200
10300 BEGIN 00010300
10400 FOR J:=-2 STEP 1 UNTIL 2 DO THOVECT(J):=THOC+J*DTHO; 00010400
10500 FOR JJ:=-2 STEP 1 UNTIL 2 DO 00010500
10600 IF STT OR JJ=A1 OR JJ=A2 THEN 00010600
10700 BEGIN 00010700
10800 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00010800
10900 ZBEPALING VAN HET SEC. STRALINGSDIAGRAM VOOR DE GEGEVEN THO X 00010900
11000 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00011000
11100 THO:=THOVECT(JJ); 00011100
11200 INDFX:=ENTIER(THO/DELTA); 00011200
11300 NONDER:=K-INDEX-1-N; 00011300
11400 NBOVEN:=K-INDEX+N; 00011400
11500 CURVE(NOIAGR, THOVECTOR, NONDER, NBOVEN, REFL, AR); 00011500
11600 CURVE(NOIAGR, THOVECTOR, NONDER, NBOVEN, IMAG, AT); 00011600
11700 VULARRAY(THO, AR, AT, NONDER, NBOVEN, NOIAGR, AMPL, FASE); 00011700

```

```

11800 BEGIN
11900 REAL ARRAY ES,EP,FS,FP,W(N,N);
12000 X(1)=THO; X(2)=X(3)=1;
12100 IF SF THEN WRITE(UNIT,5,X5,"ESEC(DB)",X5,"ESEC(GRAD)",
12200 X5,"EPRIM(DB)",X5,"EPRIM(GRAD)");
12300 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12400 XREPALING VAN HET SEC. STRALINGSDIAGRAM IN HET GEWENSTE X
12500 XMOEKGERIED D.M.V. LTN. INTERPOLATIE X
12600 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12700 FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO
12800 BEGIN
12900 ESEC(X,THC,J,DELTA,FALSE,INDEX,ECQ21,FASECQ21);
13000 FS(J)=10*(ECQ21/20);
13100 FP(J)=FASECQ21*PI/180;
13200 EPI(J)=10*(ECQCK+J,11/20); XK=THC/DELTA;
13300 FPI(J)=FASECQCK+J,11*PI/180;
13400 IF SF THEN
13500 WRITE(UNIT,<4,14,4>,20*LOG(ESC(J)),FS(J)*190/PI,
13600 20*LOG(EPI(J)),FPI(J)*180/PI);
13700 END;
13800 BEGIN
13900 IFAL NOEM,FEL,RES1,RES2,FMAX,MAX,FCQ21,FASECQ21,COEF;
14000 INTEGER IZO,IO,NM;
14100 IZO:=IO:=NM:=100; COEF:=1;
14200 FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO W(J)=1;
14300 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14400 XSTART VAN HET ITERATIEPROCES (PAR. 2.4.1). DE ROVENGRENS X
14500 XVOOR HET AANTAL SLAGEN IS 300. X
14600 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14700 FOR I:=1 STEP 1 UNTIL IO DO
14800 BEGIN
14900 INTEGER IMAX;
15000 NOEM:=FEL:=0;
15100 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
15200 XREPALING OPTIMALE ARS(CA) EN FIA X
15300 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
15400 FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO
15500 BEGIN
15600 FEL:=TEL+W(J)**2*EPI(J)*ESC(J)*SIN(FS(J)-FPI(J));
15700 NOEM:=NOEM+W(J)**2*EPI(J)*ESC(J)*COS(FS(J)-FPI(J));
15800 END;
15900 IF NOEM NEQ 0 THEN FIA:=ARCTAN(-FEL/NOEM)
16000 ELSE FIA:=PI/2;
16100 NOEM:=TEL:=0;
16200 FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO
16300 BEGIN
16400 TEL:=TEL+W(J)**2*EPI(J)*ESC(J)*COS(FIA+FS(J)-FPI(J));
16500 NOEM:=NOEM+(W(J)*ESC(J))**2;
16600 END;
16700 IF NOEM NEQ 0 THEN A:=ARS(TEL/NOEM);
16800 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
16900 XKEUZE VAN DE JUISTE FIA UIT 2 MOGELIJKHEDEN (FIA EN FIA+PI) X
17000 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
17100 RES1:=RES2:=0;
17200 FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO
17300 BEGIN
17400 RES1:=RES1+W(J)**2*(EPI(J)**2*(A+FS(J))**2
17500 +2*A*EPI(J)*ESC(J)*COS(FS(J)-FPI(J)+FIA));
17600 RES2:=RES2+W(J)**2*(EPI(J)**2*(A+ESC(J))**2
17700 +2*A*EPI(J)*ESC(J)*COS(FS(J)-FPI(J)+FIA+PI));

```

```

17600      END;                                00017600
17700      IF RES1>RES2 THEN FIA:=FIA+PI;      00017700
17800      FIA:=FIA+180/PI; IF A NEQ 0 THEN A:=20+LOG(A); 00017800
17900      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00017900
18000      FACULTATIEF UITPRINTEN NA IEDERE ITERATIESLAG VAN HET I 00018000
18100      XRES. SIRALINGSDIAGRAM EN DE WEEGFACTOREN IN HET HOEKGEBIED X 00018100
18200      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00018200
18300      COMBINEFR(ECO,FASECO,K-N,K+N,DELTA,THO,A,FIA, 00018300
18400      AMPL2,FASE2); 00018400
18500      IF SF THEN 00018500
18600      WRITE(UIT,<"THQ=">F10.4,>" GRADEN">,>THQ); 00018600
18700      IF SF THEN 00018700
18800      WRITE(UIT,<"/>X3,>"I">X6,>"HOEK">X2,>"WEEGF.">X3, 00018800
18900      "ECO">X11,>"FASECO">); 00018900
19000      FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO 00019000
19100      IF SF THEN 00019100
19200      WRJTF(UIT,<3F7.3,>2E14.4>J,(K+J)*DELTA,WLJ), 00019200
19300      AMPL2(K+J),FASE2(K+J)); 00019300
19400      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00019400
19500      XDEPALING VAN HET MAXIMUM FN AANPASSING WEEGVECTOR W X 00019500
19600      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00019600
19700      MAX:=AMPL2(K-N); IMAX:=-N; 00019700
19800      FMAX:=FASE2(K-N); 00019800
19900      FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO 00019900
20000      IF AMPL2(K+J)>MAX THEN 00020000
20100      BEGIN 00020100
20200      MAX:=AMPL2(K+J); 00020200
20300      FMAX:=FASE2(K+J); 00020300
20400      IMAX:=J; 00020400
20500      END; 00020500
20599      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00020599
20600      XVERGELIJNING VAN HET MAXIMUM MET DIE IN DE VOORGAANDE SLAGEN X 00020600
20700      XEN EVENTUELL EEN AANPASSING VAN DE WEEGFACTORVERHOEIJING. X 00020700
20800      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00020800
20900      MAX(IMAJ):=MAX; PHIA(IJJ):=FIA; AAC(IJJ):=A; 00020900
21000      IZU:=I0; 00021000
21100      IC:=NW; 00021100
21200      NW:=IMAX; 00021200
21300      IF IMAX=IZU AND I0 NEQ NW THEN CUEF:=CUEF/4; 00021300
21400      WI(MAX):=PI(IMAX)+CUEF; 00021400
21500      IF SF THEN 00021500
21600      WRITE(UIT,<"/>"IMAX,>MAX">I3,>E14.4>,>IMAX,>MAX); 00021600
21700      BEGIN 00021700
21800      REAL ARRAY HOEK,MAXIMAC(1:10); 00021800
21900      REAL I0,WPI,WM1; INTEGER NUM; 00021900
22000      NUM:=1; 00022000
22100      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00022100
22200      XDEPALING VAN DE LOCALE MINIMA EN TOEJESING VAN HET X 00022200
22300      XSTOPCRITERIUM: AFSCHAK1-MAX2)<EPS. X 00022300
22400      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00022400
22500      FOR J:=-N STEP 1 UNTIL N DO 00022500
22600      BEGIN 00022600
22700      IF J>-N THEN WM1:=AMPL2(K+J-1) ELSE WM1:=-24; 00022700
22800      WD:=AMPL2(K+J); 00022800
22900      IF J<N THEN WP1:=AMPL2(K+J+1) ELSE WP1:=-24; 00022900
23000      IF W0>WM1 AND W0>WP1 THEN 00023000
23100      BEGIN 00023100
23200      MAXIMAC(NUM):=W0; 00023200
23300      HOEK(NUM):=FASE2(K+J); 00023300
23400      NUM:=NUM+1; 00023400

```



```

23500      END;                                00023500
23600      END;                                00023600
23700      FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NUM-1 DO      00023700
23800          IF MAXIM(J) NEQ MAX AND MAXIM(J) > MAX-EPS 00023800
23900      AND SIG(COS(CHDK(J)*PI/180)) NEQ SIG(COS(E*MAX*PI/180)) 00023900
24000      THEN                                     00024000
24100          BEGIN                                00024100
24200              WRITEUIT, <///, "AANTAL ITERATIES IS", I, >; 00024200
24300              I:=I+1;                            00024300
24400          END;                                00024400
24500      END;                                    00024500
24600      FND;                                    00024600
24700      FND;                                    00024700
24800      FND;                                    00024800
24900      END;                                    00024900
25000      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00025000
25100      ZIJT PUNTEN VAN DE RESULTATEN V.H. ITERATIEPROCES VOOR X 00025100
25200      Z> WAARDEN VAN THO. X 00025200
25300      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00025300
25400          IMIN:=-2;                               00025400
25500          MIMIN:=MAXIM-2;                          00025500
25600          FOR J:=-2 STEP 1 UNTIL 2 DO              00025600
25700              IF MAXIM(J) < MIMIN THEN             00025700
25800          BEGIN                                    00025800
25900              MIMIN:=MAXIM(J);                      00025900
26000              IMIN:=J;                              00026000
26100          END;                                    00026100
26200          WRITECNEG, <///, "RESULTATEN ZIJN", //, X5, "J", X9, "THO", X7, 00026200
26300              "MAX", X7, "A", X9, "FIA">;          00026300
26400          FOR J:=-2 STEP 1 UNTIL 2 DO              00026400
26500              WRITECNEG, <SF 10.4>; J, THO, VECT(J), MAXIM(J), AAC(J), PHIA(J); 00026500
26600              WRITECNEG, <///, "HET OPTIMUM HIERVAN IS">; 00026600
26700              WRITECNEG, <"THO, MAX, A, FIA", 4F 10.4>; 00026700
26800              THO, VECT(IMIN), MAXIM(IMIN), AAC(IMIN), PHIA(IMIN); 00026800
26900      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00026900
27000      ZIJT DE BESLISSENING VAN STOPCRITERIUM VOOR BEPALING THO EN BESLISSENING X 00027000
27100      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00027100
27200          IF DTHO < DTHOSTP THEN                   00027200
27300      BEGIN                                        00027300
27400          WRITECNEG, <///, "HET EINDRESULTAAT IS:" //, 00027400
27500              "THC.....CENTRUMHOEK ", F10.5, " GRAD", //, 00027500
27600              "DTH.....HOEKGERIED ", F10.5, " GRAD", //, 00027600
27700              "THO.....SCANHOEK ", F10.5, " GRAD", //, 00027700
27800              "A.....ABS. WAARDE VAN COEFF. ", F10.5, " DB", //, 00027800
27900              "FIA.....FASE VAN COEFF. ", F10.5, " GRAD", //, 00027900
28000              "MAX.....MAX. WAARDE IN HOEKGERIED. ", F10.5, " DB", //, 00028000
28100              "DTHC.....NAUWK. IN BEPALING THO. ", F10.5, " GRAD", //, 00028100
28200              "DTHX.....NAUWK. IN BEPALING MAX. ", F10.5, " DB", //, 00028200
28300              THC, DTH, THO, VECT(IMIN), AAC(IMIN), PHIA(IMIN), MAXIM(IMIN), 00028300
28400              DTHO, EPS;                             00028400
28500              I:=I+1;                                00028500
28600      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00028600
28700      ZIJT HILN. GEMIDST VGLGT STRALINGSDIAGRAM (PLAATJE EN TABEL) X 00028700
28800      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00028800
28900          IF STR THEN                               00028900
29000      BEGIN                                        00029000
29100          CURVE(NDIAGR, THO, VECTOR, -90, 90, REFEL, AR); 00029100
29200          CURVE(NDIAGR, THO, VECTOR, -90, 90, IMAG, AI); 00029200
29300          VULARRAY(THO, VECT(IMIN), AP, AI, -90, 90, NDIAGR, AHPL, FASE); 00029300
29400          COMBINFEER(CD, FASECD, -90, 90, DELTA, THO, VECT(IMIN), 00029400

```

```

29500 AAC(IMIN),PHIAC(IMIN),AMPL2,FASE2); 00029500
29600 WRITE(UNIT," I HOEK ANPL(D0) FASE(GRAD)">); 00029600
29700 FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00029700
29800 WRITE(UNIT,"J,F7.3,6F9.2>,J,J*DELTA,AMPL2(J),FASE2(J) 00029800
29900 EOC(J,1),FASEC(J,1),AMPL(J),FASE(J)); 00029900
30000 FOR I:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO REI:=1+0.1/3; 00030000
30100 NEW OBJECT(PLT); 00030100
30200 MAKE ASSEN 00030200
30300 COMMENTAXISCOMPLETE(PLT,2,16,5,2,23,5,11,1,0,55,FALSE,TRUE,0.2, 00030300
30400 "GAIN (DB)"); 00030400
30500 COMMENTAXISCOMPLETE(PLT,2,16,5,16,16,5,12,0,-3,3,TRUE,FALSE,0.2, 00030500
30600 "VERREVELDHOEK TH (GRAD)"); 00030600
30700 COMMENTRASICAXIS(PLT,16,16,5,16,23,5,11,0,0.2); 00030700
30800 COMMENTRASICAXIS(PLT,16,23,5,2,23,5,12,0,0.2); 00030800
30900 COMMENTTEXT(PLT,1,15,25,0,0,25,10, 00030900
31000 "(A) HET AMPLITUDEDIAGRAM"); 00031000
31100 COMMENTAXISCOMPLETE(PLT,2,7,2,14,12,1,-190,190,FALSE,TRUE,0.2, 00031100
31200 "FASE (GRAD)"); 00031200
31300 COMMENTAXISCOMPLETE(PLT,2,7,16,7,12,0,-3,3,TRUE,FALSE,0.2, 00031300
31400 "VERREVELDHOEK TH (GRAD)"); 00031400
31500 COMMENTRASICAXIS(PLT,16,7,16,14,12,0,0.2); 00031500
31600 COMMENTRASICAXIS(PLT,16,14,2,14,12,0,0.2); 00031600
31700 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,2,10,5,16,10,5,1); 00031700
31800 COMMENTTEXT(PLT,1,5,75,0,0,25,10, 00031800
31900 "(B) HET FASEDIAGRAM"); 00031900
32000 OPENMAP(PLT,-3,55,-3,0,3,0, 00032000
32100 2,23,5,2,16,5,16,16,5); 00032100
32200 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,THC+DTH/2,0, 00032200
32300 THC+DTH/2,40,1); 00032300
32400 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,THC-DTH/2,0, 00032400
32500 THC-DTH/2,40,1); 00032500
32600 FOR I:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00032600
32700 IF AMPL2(I)>0 AND AMPL2(I+1)>0 THEN 00032700
32800 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,B(I),AMPL2(I),B(I+1),AMPL2(I+1),1) 00032800
32900 ELSE 00032900
33000 BEGIN 00033000
33100 IF (AMPL2(I+1)-AMPL2(I)) NEQ 0 THEN 00033100
33200 ALFA:=(0-AMPL2(I))/(AMPL2(I+1)-AMPL2(I)); 00033200
33300 X11:=B(I)+ALFA*(B(I+1)-B(I)); 00033300
33400 Y11:=0; 00033400
33500 IF AMPL2(I)>0 AND AMPL2(I+1)<0 THEN 00033500
33600 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,B(I),AMPL2(I),X11,Y11,1); 00033600
33700 IF AMPL2(I)<0 AND AMPL2(I+1)>0 THEN 00033700
33800 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,X11,Y11,B(I+1),AMPL2(I+1),1); 00033800
33900 END; 00033900
34000 FOR J:=-90 STEP 1 UNTIL 90 DO 00034000
34100 IF EOC(J,1)>0 AND EOC(J+1,1)>0 THEN 00034100
34200 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,B(J),EOC(J,1),B(J+1),EOC(J+1,1),2) 00034200
34300 ELSE 00034300
34400 BEGIN 00034400
34500 IF (EOC(J+1,1)-EOC(J,1)) NEQ 0 THEN 00034500
34600 ALFA:=(0-EOC(J,1))/(EOC(J+1,1)-EOC(J,1)); 00034600
34700 X11:=B(J)+ALFA*(B(J+1)-B(J)); 00034700
34800 Y11:=0; 00034800
34900 IF EOC(J,1)>0 AND EOC(J+1,1)<0 THEN 00034900
35000 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,B(J),EOC(J,1),X11,Y11,2); 00035000
35100 IF EOC(J,1)<0 AND EOC(J+1,1)>0 THEN 00035100
35200 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,X11,Y11,B(J+1),EOC(J+1,1),2); 00035200
35300 END; 00035300
35400 CLOSEMAP(PLT); 00035400

```

```

35500 OPENMAP(PLT,-3,180,-3,-180,3,-180,
35600 2,14,2, 7,16, 7);
35700 FOR I:=90 STEP 1 UNTIL 89 DO
35800 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,B(I),FASE2(I),B(I+1),FASE2(I+1),I);
35900 CLUSEMAP(PLT);
36000 COMMENTTEXT(PLT,3,4,5,0,0,2,10,
36100 "CENTRUMHOEK THC : (GRAD)");
36200 COMMENTTEXT(PLT,3,4,0,0,2,10,
36300 "HREEDE VAN HOEKGEHIED DTH : (GRAD)");
36400 COMMENTTEXT(PLT,3,3,5,0,0,2,10,
36500 "SCANHOEK THC : (GRAD)");
36600 COMMENTTEXT(PLT,3,3,0,0,2,10,
36700 "EXCITATIECOEFFICIENT ABS(A) : (DB)");
36800 COMMENTTEXT(PLT,3,2,5,0,0,2,10,
36900 " ARG(A) : (GRAD)");
37000 COMMENTNUMBER(PLT, 9,4,5,0,0,2,10,"F8.3",THC);
37100 COMMENTNUMBER(PLT, 9,4,0,0,2,10,"F8.3",DTH);
37200 COMMENTNUMBER(PLT, 9,3,5,0,0,2,10,"F8.3",THOVECT(IMIN));
37300 COMMENTNUMBER(PLT, 9,3,0,0,2,10,"F8.3",AA(IMIN));
37400 COMMENTNUMBER(PLT, 9,2,5,0,0,2,10,"F8.3",PHIA(IMIN));
37500 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,3,2,8,5,2,1);
37600 STRAIGHTLINEPIECE(PLT,3,1,5,8,5,1,5,2);
37700 COMMENTTEXT(PLT,9,2,0,0,2,10,"MET ONDERDRUKING");
37800 COMMENTTEXT(PLT,9,1,5,0,0,2,10,"ZONDER ONDERDRUKING");
37900 DRAWOBJCTOBJ(PLT,0,0,20,25);
38000 END;
38100 END;
38200 ELSE
38299 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
38300 ZINDIEN THO NIET VOLDOENDE NAUWKEURIG BEPAALD, DAN VERKLEINEN X
38400 XOTHO MET FACTOR 2 EN MAARDEN TOEWIJZEN MET PROCEEDURES WISSEL X
38500 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
38600 BEGIN
38700 WRITE(NEG,<"/>,"OLZE OPT. SLAG RESULTEERT IN:");
38800 WRITE(NEG,<"THO ",F10.4," GRAD"/>
38900 "DTHO",F10.4," GRAD"/>
39000 "A ",F10.4," DB"/>
39100 "FA ",F10.4," GRAD"/>
39200 "MAX ",F10.4," DB"/>
39300 THOVECT(IMIN),DTHO,AA(IMIN),PHIA(IMIN),MAXIM(IMIN));
39400 THCC:=THOVECT(IMIN);
39500 IF ABS(IMIN).NEQ 2 THEN
39600 HFGIN
39700 DTHO:=DTHO/2;
39800 WISSEL1(AA,IMIN,A1,A2,STT);
39900 WISSEL1(PHIA,IMIN,A1,A2,STT);
40000 WISSEL1(MAXIM,IMIN,A1,A2,STT);
40100 END;
40200 ELSE
40300 HFGIN
40400 IF IMIN=2 THEN
40500 BEGIN
40600 WISSEL2(AA,IMIN,A1,A2,STT);
40700 WISSEL2(PHIA,IMIN,A1,A2,STT);
40800 WISSEL2(MAXIM,IMIN,A1,A2,STT);
40900 END;
41000 IF IMIN=-2 THEN
41100 BEGIN
41200 WISSEL3(AA,IMIN,A1,A2,STT);
41300 WISSEL3(PHIA,IMIN,A1,A2,STT);

```

41400  
41500  
41600  
41700  
41800  
41900  
42000  
42100

                  MISSEL3(MAXIM,IMIN,A1,A2,STT)3  
                  END3  
                  END3  
                  END3  
                  END3  
                  END3  
                  END3  
                  END3

00041400  
00041500  
00041600  
00041700  
00041800  
00041900  
00042000  
00042100

## APPENDIX 10

-----

## VERANDERINGEN IN HET DOOR V. OMMEREN ONTWIKKELDE

-----

## PROGRAMMA

-----

In deze studie naar de verreveld eigenschappen van een gedefocusseerd Cassegraiantenresysteem zijn een aantal uitbreidingen op het door v. Ommereu ontwikkelde programma, dat het verreveld berekent [28], nodig gebleken. achtereenvolgens zijn dit:

- Herschrijving van de procedure STATFASEISVALID tot STATFASEISVALIDACC. (Par. A10.1)
- Herschrijving van uitdrukkingen voor de integrand van de verreveld-integraal. (Par. A10.2)
- Herschrijving van de procedure FARFIELD tot FARFIELDACC (Par. A10.3)

Een nadere beschouwing van de stationaire fasemethode wordt in Par. A10.4 gegeven.

## A10.1 DE PROCEDURE STATFASEISVALID

-----

De in de file 'PROCEDURES' [32] opgenomen procedure 'STATFASEISVALID' (r. 230200-231400) heeft tot doel na te gaan of het verreveld in een bepaalde verreveldhoek met de stationaire-fasemethode of met de dubbelintegraalmethode berekend moet worden.

De grens tussen beide berekeningsmethoden is door v. Ommereu gegeven door [1, pag. 105]:

$$\sin(\theta_1 - \theta_0) = 3.5$$

alleen voor de snede  $\sin(\theta_1) = 0$  geïmplementeerd. In de geschreven procedure 'STATFASEISVALIDACC' is de gegeven grens voor willekeurige sneden geïmplementeerd. De hiervoor noodzakelijke coördinatentransformatie vindt plaats in de procedure 'COORDTRAFO' (Appendix 5).

## A10.2 DE INTEGRAND VAN DE VERREVELDINTEGRAAL

-----

Ordat de verreveldberekeningen in Hoofdstuk 1 voornamelijk uitgevoerd zijn om het verreveldkruispolarisatiegedrag van een Cassegrain antennesysteem te bestuderen, zijn voor de integranten van de verreveldintegralen de uitdrukkingen gebruikt, die afgeleid zijn in Appendix 1 en Paragraaf 1.1.

Een voordeel van deze aanpak is, dat de kruispolarisatiecomponent  $E_{cr}$  berekend wordt door een relatief kleine functie  $F_{co}$  te integreren over het apertuurvlak en niet door het van elkaar aftrekken van twee relatief grote functies ( $\sin(\theta_i) \cdot F_{th}$  en  $\cos(\theta_i) \cdot E_{fi}$ ), hetgeen de bepaling van  $E_{cr}$  nauwkeuriger maakt. In bijgaande listing is de apertuur in de  $x$ -richting gepolariseerd en komen de integranten over een met (5,6) in Paragraaf 1.1

#### A10.3 DE PROCEDURE FARFIELD

-----

De procedure 'FARFIELD' (r. 320000-322700) is vanwege de volgende twee redenen veranderd:

1. De procedure 'STATFASEISVALID' is zoals eerder besproken vervangen door de procedure 'STATFASEISVALIDACC' en de integranten van de verreveldintegraler zijn veranderd, zodat de berekening van hoofd- en kruispolarisatiecomponent uit de  $F_{th}$ - en  $E_{fi}$ -componenten achterwege kan blijven.

2. De verreveldhoeken zijn gegeven in het  $(x', y', z')$ -coördinatenstelsel, wat betekent dat in de procedure 'FARFIELD' een coördinatentransformatie moet plaatsvinden.

De veranderingen onder 1. en 2. zijn in de procedure 'FARFIELDACC' aangebracht.

(A.B. Een aantal procedures betreffende complex rekenen zijn sinds het verschijnen van [32] door het Rekencentrum van de TFE van een andere leiding voorzien. Zo is POLARC vervangen door CPOLAR. )

#### A10.4 EEN NADERE BESCHOUWING VAN

-----

#### DE STATICNAIRE FASEMETHODE

-----

Bij de verreveldberekeningen van het door ons beschouwde rotatiesymmetrische Cassegrainantennesysteem wordt voor:

$$\frac{\pi D}{\lambda} \sin(\theta' - \theta_0) \geq 3.5$$

gebruik gemaakt van de stationaire fasemethode [33,34], die voor bovengenoemde verreveldhoek tot een aanzienlijke rekentijdbesparing bij de berekening van de verreveldintegraler kan leiden, zonder dat de resultaten van de berekeningen onacceptabel onnauwkeurig geworden zijn.

Wanneer het verreveld geschreven wordt als:

$$\frac{\partial}{\partial r} \int_0^{2\pi} \int_0^D F_{\frac{\partial \psi}{\partial r}}(\rho, \psi) e^{-jk\psi(\rho, \psi) + jk\rho \sin(\theta) \cos(\phi - \psi)} \rho \, d\rho \, d\psi \quad (A51)$$

dan volgen de stationairefasepunten uit de vergelijking [1, pag.100]:

$$-\psi(\rho, \psi) + \rho \sin(\theta) \cos(\phi - \psi) = 0 \quad (A52)$$

Volgens v. Dmmeren [1, pag.101] heeft deze vergelijking vier oplossingen, twee reële en twee complex toegevoegde. Zonder motivatie worden de complex toegevoegde oplossingen niet meer voor verdere berekeningen gebruikt. Aangetoond wordt dat dit toegestaan is.

A. Erdelyi [33] heeft bewezen, dat de stationaire fasemethode toe te passen is op integralen van de volgende vorm:

$$f(x) = \int_{\alpha}^{\beta} g(t) e^{i \cdot x \cdot h(t)} dt \quad (A53)$$

met

- (i)  $x$  een grote positieve variabele
- (ii)  $h(t)$  een reële functie van de reële variabele  $t$
- (iii)  $g(t)$  een niet te snel oscillerende functie

en dat de bijdragen aan de integraal alleen geleverd worden door de reële oplossingen van  $h'(t)=0$ , of indien die niet bestaan door de eindpunten  $t=\alpha$  en  $t=\beta$ .

F.T. Copsen [34] heeft bewezen dat de stationaire fasemethode toe te passen is op de volgende, uitgebreidere groep, integralen:

$$f(x) = \int_{\alpha}^{\beta} g(t) e^{i \cdot x \cdot h(t)} \quad (A54)$$

met

- (i)  $x$  een grote positieve variabele
- (ii)  $h(t)$  en  $g(t)$  analytische (=holomorfe) functies van de complexe variabele  $t$ , en regulier in een open gebied  $D$ , waarin het segment  $\alpha \leq t \leq \beta$  van de reële as zich bevindt.
- (iii)  $h(t)$  reëel op de reële as
- (iv)  $g(t)$  niet te snel oscillierend

$h(t)$  is regulier in  $D$  en dus ook  $h'(t)$ .  $h'(t)$  heeft een eindig aantal nuloplossingen in  $D$ . In het bijzonder heeft  $h'(t)$  een eindig aantal nuloplossingen op  $\alpha < t < \beta$ . E.T. Copson heeft bewezen, dat alleen de nuloplossingen op het segment  $\alpha < t < \beta$  een bijdrage tot de integraal levert.

De door ons beschouwde integraal (5,6) valt onder beide groepen integralen, immers de integrant is een reële functie van de reële waarde  $\psi$ . Daarom kan geconcludeerd worden, dat alleen de reële oplossingen van (52) een bijdrage tot de integraal leveren. Vooral interessant is de conclusie van E.T. Copson, die duidelijk stelt, dat nuloplossingen buiten de reële  $\alpha$  geen bijdrage tot de integraal leveren.



```

130      $ SET INSTALLATION LINEINFO AUTOMIND.....                00000100
140      $ BIND=FRCH MATHLIB/= ON APPL.....                        00000200
150      BEGIN.....                                                00000300
160      .....                                                    00000400
170      REAL PROCEDURE DOUBLEINTEGRAL(DI1,DI2,DI3,DI4,DI5,DI6);  00000500
180      VALUE DI2,DI3,DI4,DI5,DI6; REAL DI2,DI3,DI4,DI5,DI6;    00000600
190      REAL PROCEDURE C11; EXTERNAL;                              00000700
200      .....                                                    00000800
210      PROCEDURE POLYVAL(NDEG,COEF,ARG,RES);                      00000900
220      VALUE NDEG,ARG; INTEGER NDEG; REAL ARG,RES;              00001000
230      ARRAY COEFCO; EXTERNAL;                                   00001100
240      .....                                                    00001200
250      REAL FD,ALFA,DSD,DELTAZ,DELTAZ2,E,TANPSI1,TANPSI2,PI,RHO; 00001300
260      REAL WAVENUMBER,DOVERLAPDA,VVT,VVF,FI,EIN,OMEGA;        00001400
270      REAL VVFACC,VVTACC,VVTMAX;                                00001450
280      INTEGER FS,TS,K,1,J,0,OSTART;                             00001500
290      REAL ARRAY FPX,FPY,VVMAINDIR(1:7);                         00001600
300      REAL ARRAY VVND,VVMDR,VVFPR,VVFPC(0:5);                   00001700
310      FILE WEGKIND=RLMTE,MAXRECSIZE=13,UNITS=CHARACTERS);     00001800
320      FILE DATAUT(KIND=PUNCH);                                 00001900
330      .....                                                    00002000
340      FD:=0.32;ALFA:=0.623;DSD:=0.08505;                        00002100
350      FPX(1):=-1*ALFA*FD; FPY(1):=0; VVMAINDIR(1):=0;           00002200
360      FPX(2):=-.19766; FPY(2):=DSD/10; VVMAINDIR(2):=0.24560; 00002300
370      FPX(3):=-.19349; FPY(3):=2*DSD/10; VVMAINDIR(3):=0.50370; 00002400
380      FPX(4):=-.18757; FPY(4):=3*DSD/10; VVMAINDIR(4):=0.77567; 00002500
390      FPX(5):=-.17643; FPY(5):=4*DSD/10; VVMAINDIR(5):=1.11354; 00002600
400      FPX(6):=-.16073; FPY(6):=5*DSD/10; VVMAINDIR(6):=1.52151; 00002700
410      FPX(7):=-.12995; FPY(7):=6*DSD/10; VVMAINDIR(7):=2.16140; 00002800
420      LEASTSOLARESPULYNOMIAL(VVMAINDIR,FPX,7,5,VVMDR); X X:=CO+C1*T+C2*T**2+. 00002900
430      LEASTSOLARESPULYNOMIAL(FPX,FPY,7,5,VVFPR); XY:=D0+D1*X+D2*X**2+D6*X**2 00003000
440      FOR I:= 0 STEP 1 UNTIL 5 DO BEGIN VVMD(1):=VVMDR(5-I);  00003100
450      .....                                                    00003200
460      .....                                                    00003300
470      .....                                                    00003400
480      .....                                                    00003500
490      .....                                                    00003600
500      BEGIN.....                                                00003610
510      REAL DOVERLAPDA,K2HA,K2EA,COEFF,KN,EOE,EOA,EOM;          00003610
520      PI:=4*ARCTAN(1);                                          00003690
530      DOVERLAPDA:=200; WAVENUMBER:=2*PI*DOVERLAPDA;           00003900
540      FS:=30; TS:=30;                                          00004000
550      OSTART:=-90;                                             00004100
560      VVFACC:= 0*PI/180; VVTMAX:=-0.50155*PI/180;           00004200
570      EIN:=0.50; X EIN IS DE ABSOLUTE WAARDE VAN DE "SCANHOEK" 00004300
580      .....                                                    00004400
590      .....                                                    00004500
600      BEGIN.....                                                00004600
610      .....                                                    00004700
620      REAL ARRAY XA,YA,EX,AY,SRUITEA1,SRUITEA2,SRUITEA3(0:FS,0:TS); 00004800
630      REAL ARRAY FASECO(FS,0:TS);                               00004900
640      REAL ARRAY AT,ATAREFC(0:5);                               00005000
650      BOOLEAN ARRAY SPSR,SPHR,BLUK(0:FS,0:TS);                00005100
660      REAL ECOPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECO,FASECROSS,MAG,BVG,COG,X,ERROR; 00005200
670      REAL FASECUREF,FASECROSSREF,ECOPOLARREF,ECROSSREF,RENDEMENT,N1; 00005300
680      $ INCLUDE PROCEDRES.....                                  00005400
690      .....                                                    00005500
700      L:=EPSILON(FD,DSD,E,TANPSI1,TANPSI2,ALFA);              00005500
710      N1:=NF(E,FD,DSD);                                         00005600

```

```

5700 MAG:=(E+1)/(E-1); BVG:=2*ARCTANC 1/(MAG*FD*4)); 00005700
5800 DDG:=2*ARCTANC DSD/(MAG*FD*4)); 00005800
5900 RENDEMENT:=( ((1/TAN(BVQ/2))*INTEGRAL(((2*(N1+1)*(COS(X)+N1))
6000 **((0.5)*TAN(X/2))*X, DDG, BVG, 7-6*ERROR))**2)); 00005900
6100 ECOPCLARREF:=10*LCG((PI*DOVERLABDA)**2)*(RENDEMENT)); 00006100
6200 ECROSSREF:=ECOPCLARREF; 00006200
6300 FASECROSSREF:=FASECOREF:=0; 00006300
6400 POLYVAL(S,VVHC,FIN,DELTAZ); 00006400
6500 POLYVAL(S,VVFF,DELTAZ,DELTA); 00006500
6600 * DLLTAZ:=-1*ALFA*FD; DELTA:=0; 00006600
6700 WRITE(NEG,<"/,"FEEDPOSITIE ( X RESP Z ):">,2E10.3,/,>,DELTA,DELTAZ); 00006700
6800 00006800
6900 APERTUURGRDCTHEDEN(FD,ALFA,DSD,DELTA,DELTAZ,FS,TS,XA,YA,EAX,EAY, 00006900
7000 SRUITEA1,SRUITEA2,SRUITEA3,SPSR,SPHR,BLOK,FASE); 00007000
7100 WRITE(NEG,<"TIJD NODIG VOOR DE BEREKENING VAN DE APERTUUR", 00007100
7200 "GROOTHEDEN IN SEC.;">,E20.10," SEC.">,2.4*2-6*TIME(12)); 00007200
7300 WRITE(NEG,<"/,"ABERRATILTERNEN (ATA(0) T.M. ATA(5)):">); 00007300
7400 FOR OMEGA:=0 STEP 1 UNTIL 5 DO WRITE(NEG,<E10.3>,ATA(OMEGA)); 00007400
7500 *WRITE(NEG,<"/,">); 00007500
7600 CORRECTMATRIX(EAX,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007600
7700 CORRECTMATRIX(EAY,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007700
7800 CORRECTMATRIX(SRUITEA1,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007800
7900 CORRECTMATRIX(SRUITEA2,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00007900
8000 CORRECTMATRIX(SRUITEA3,FS,TS,SPHR,SPSR,BLOK); 00008000
8100 00008100
8200 WRITE(NEG,<"TIJD NODIG VOOR DE BEREKENING VAN DE MATRICES", 00008200
8300 " IN SEC.;">,E20.10," SEC.">,2.4*2-6*TIME(12)); 00008300
8400 00008400
8500 WRITE(DATAUIT,<E10.3,">,">,E10.3,">,">,E10.3,">,">,E10.3,">,">, 00008500
8600 E10.3,">,">,E10.3,">,">,E10.3,">,">,101,-3,3,DELTAZ, 00008600
8700 DELTA,1*EIN,ENTIERT(ECROSSREF+1)); 00008700
8710 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,EAX,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008710
8720 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,EAY,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008720
8730 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,SRUITEA1,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008730
8740 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,SRUITEA2,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008740
8750 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,SRUITEA3,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008750
8760 PRINTMATRIX2(0,FS,0,TS,FASE,4,NEG);WRITE(NEG,<"/,">); 00008760
8800 00008800
8900 FOR Q:=QSTART STLP 1 UNTIL -QSTART DO. 00008900
9000 00009000
9100 OEGIA 00009100
9200 VVTACC:=Q*PI/5400; 00009200
9300 COORDTRACC(VVFA, VVTACC, VVTMAX, VVF, VVT); 00009300
9400 FARFIELDACC(ECOPOLAR, ECROSSPOLAR, FASECROSS, FASECO, VVT, VVF, 00009400
9450 VVTACC, VVFA); 00009450
9500 WRITE(NEG,<"TIJD NODIG VOOR DE BEREKENING VAN FARFIELD", 00009500
9600 " IN SEC.;">,E20.10," SEC.">,2.4*2-6*TIME(12)); 00009600
9700 ECOPOLAR:=10*LCG((DOVERLABDA**2)*PI*(ECOPOLAR**2)/2); 00009700
9800 ECROSSPOLAR:=10*LCG((DOVERLABDA**2)*PI*(ECROSSPOLAR**2)/2); 00009800
9900 FASECROSS:=FASECROSS*180/PI; 00009900
10000 FASECO:=FASECO*180/PI; 00010000
10100 WRITE(NEG,<"ECOPOLAR FASECO ECROSSPOLAR 00010100
10200 "FASECROSS VVTACC VVFA" />); 00010200
10300 WRITE(DATAUIT,<E19.6,">,">,E19.6,">,">,E19.6,">,">,E19.6,">,">, 00010300
10350 ECOPOLAR,FASECROSS,ECROSSPOLAR,FASECROSS); 00010350
10500 WRITE(NEG,<E14.5>,ECOPOLAR,FASECROSS,ECROSSPOLAR,FASECROSS, 00010500
10600 180*VVTACC/PI,VVFA,ACC*180/PI); 00010600
10700 WRITE(NEG,<"/,">); 00010700
10900 END 00010900
11000 END 00011000

```

11100 END  
11200 END.

00011100  
00011200

```

270000 $ SET LINESIZE
270100 REAL PROCEDURE MCOMOD(R,FI);
270200 VALUE R,FI; REAL R,FI;
270250 BEGIN REAL MFM;
270300 MFM:=(SIN(UVF)**2*COS(VVT)+COS(UVF)**2)*G(EAY,R,FI)
270310 -(COS(UVF)**2*COS(VVT)+SIN(UVF)**2)*G(SRUITLA2,R,FI)
270320 +COS(UVF)*SIN(UVF)*(COS(VVT)-1)*(G(EAY,R,FI)+G(SRUITLA1,R,FI));
270450 MCOMOD:=-MFM/R;
270500 END MCOMOD;
270600
270700 REAL PROCEDURE MROSCMOD(R,FI);
270800 VALUE R,FI; REAL R,FI;
270850 BEGIN REAL MFM;
270900 MFM:=(SIN(UVF)**2+COS(UVF)**2*COS(VVT))*H(LAY,R,FI)
270910 +(COS(UVF)**2+SIN(UVF)**2*COS(VVT))*H(SRUITLA1,R,FI)
270920 +COS(UVF)*SIN(UVF)*(COS(VVT)-1)*(G(EAY,R,FI)-G(SRUITLA2,R,FI));
271050 MROSCMOD:=MFM/R;
271100 END MROSCMOD;
271200
271300 REAL PROCEDURE COINTRLEEL(R,FI);
271400 VALUE R,FI; REAL R,FI;
271500 BEGIN COINTRLEEL:=MCOMOD(R,FI)*COS(WAVENUMBER*INTFACE(R,FI,ATA,UVT,
271501 UVF));
271600 END COINTRLEEL;
271700
271800 REAL PROCEDURE COINTIMAG(R,FI);
271900 VALUE R,FI; REAL R,FI;
272000 BEGIN COINTIMAG:=MCOMOD(R,FI)*SIN(WAVENUMBER*INTFACE(R,FI,ATA,UVT,UVF));
272100 END COINTIMAG;
272200
272300 REAL PROCEDURE CROSSINTRELEL(R,FI);
272400 VALUE R,FI; REAL R,FI;
272500 BEGIN CROSSINTRELEL:=MROSCMOD(R,FI)*COS(WAVENUMBER*INTFACE(R,FI,ATA,
272501 UVT,UVF));
272700 END CROSSINTRELEL;
272800
272900 REAL PROCEDURE CROSSINTIMAG(R,FI);
273000 VALUE R,FI; REAL R,FI;
273100 BEGIN CROSSINTIMAG:=MROSCMOD(R,FI)*SIN(WAVENUMBER*INTFACE(R,FI,ATA,
273200 UVT,UVF));
273300 END CROSSINTIMAG;
273400 $ POP LINESIZE
273410
273420
273430
279000
279001
279002
279003
279004
279005
279015
279025
279035
279045
279055

```

```

00270000
00270100
00270200
00270250
00270300
00270310
00270320
00270450
00270500
00270600
00270700
00270800
00270850
00270900
00270910
00270920
00271050
00271100
00271200
00271300
00271400
00271500
00271501
00271600
00271700
00271800
00271900
00272000
00272100
00272200
00272300
00272400
00272500
00272600
00272700
00272800
00272900
00273000
00273100
00273200
00273300
00273400
00273410
00273420
00273430
00279000
00279001
00279002
00279003
00279004
00279005
00279015
00279025
00279035
00279045
00279055

```

```

330700      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00330700
330702      Z DEZE PROCEDURE GAAT NIK BUITEN HET VLAK SIN(VVF) = 0 Z 00330702
330704      Z NA OF VAN DE STATIONAIRE FASE METHODE OF VAN DE DUHREL Z 00330704
330706      Z INTEGRALMETHODE GEBRUIK GEMAAKT MOET WORDEN. DIT IN Z 00330706
330708      Z TEGENSTELLINGE MET DE PROCEDURE STATFASEISVALID, DIE Z 00330708
330710      Z DIT ALLEEN IN HET SYMMETRIEVLAKE BEKIJKT. Z 00330710
330712      ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00330712
330800      DOUBLE PROCEDURE STATFASEISVALID(ACC(VVTACC,VVFACC,DVERPLA3DA); 00330800
330900      VALUE VVTACC,VVFACC,DVERPLA3DA; 00330900
331000      REAL VVTACC,VVFACC,DVERPLA3DA; 00331000
331100      BEGIN REAL PI; 00331100
331200      PI:=4*ARCTAN(1); 00331200
331300      STATFASEISVALID(ACC:=-ABS(PI*DVERPLA3DA*SIN(VVTACC)) > 3.5; 00331300
331400      END STATFASEISVALID(ACC); 00331400
331402      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00331402
331404      Z DEZE PROCEDURE BEKENT DE VERREVELDCOMPONENTEN IN HET Z 00331404
331406      Z VERREVELDPUNT (VVTACC,VVFACC), OFWEL (TH*,FI*). ER Z 00331406
331408      Z WORDT VAN DE PUVENOMSCHREVEN PROCEDURE 'COOROOTRAF'. Z 00331408
331410      Z GEBRUIKGEMAAKT. Z 00331410
331412      ZXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 00331412
331500      PROCEDURE FARFIELD(ACC(ECPOLAR,ECROSSPOLAR,FASECROSS,FASECROSS,VVT,VVF, 00331500
331600      VVTACC,VVFACC); 00331600
331700      VALUE VVT,VVF,VVFACC,VVTACC; REAL VVT,VVF,VVFACC,VVTACC; 00331700
331800      REAL ECPOLAR,ECROSSPOLAR; 00331800
331900      REAL FASECROSS,FASECROSS; 00331900
332000      BEGIN COMPLEX ECROSS,COORREAL ERROR1,ERROR2; INTEGER N,CONV; 00332000
332100      COMPLEX CONVLD,KRUISVELD,PEO; 00332100
332200      REAL R; 00332200
332300      ERROR1:=2-4; ERROR2:=2-2; 00332300
332400      IF STATFASEISVALID(ACC(VVTACC,VVFACC,DVERPLA3DA) THEN 00332400
332500      BEGIN 00332500
332600      ECROSS:=COMPLEX(QADRAT(SFCOR(1)),R,2-4,.5,0,2-3,CONV); 00332600
332700      WADPAT(SFCOR(2)),R,2-4,.5,0,2-3,CONV); 00332700
332800      ECO:=COMPLEX(QADRAT(SFCOR(3)),R,2-4,.5,0,2-3,CONV); 00332800
332900      QADRAT(SFCOR(4)),R,2-4,.5,0,2-3,CONV)); 00332900
333000      END 00333000
333100      ELSE 00333100
333200      BEGIN 00333200
333300      ECROSS:=COMPLEX(DOUBLEINTEGRAL(CROSSINTMAG,0,0.5,0,2*PI,2-2), 00333300
333400      DOUBLEINTEGRAL(CROSSINTMAG,0,0.5,0,2*PI,2-2)); 00333400
333500      ECO:=COMPLEX(DOUBLEINTEGRAL(COINTREEL,0,0.5,0,2*PI,2-2), 00333500
333600      DOUBLEINTEGRAL(COINTIMAG,0,0.5,0,2*PI,2-2)); 00333600
333700      END; 00333700
333800      POLLARC(ECO,ECPOLAR,FASECROSS); 00333800
333900      POLLARC(ECROSS,ECROSSPOLAR,FASECROSS); 00333900
333962      WRITEWLG, <<"VVF, VVT, VVFACC, VVTACC", 4F 14.4>>, VVF, VVT, VVFACC, VVTACC); 00333962

```

334000 end farfield acc 00334000