LUIZ MANOEL DIAS HENRIQUES

EFEITO DOS ESTAIS NO DIAGRAMA DE RADIAÇÃO DE
ANTENAS CASSEGRAIN

Tese apresentada ao Departamento
de Engenharia Elétrica da PUC/RJ
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Luis Costa da Silva

Departamento de Engenharia Elétrica
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, 11 de setembro de 1981.

Aqueles que tanto amo
e que tanto me ajudara
ram, meus pais Manuel
e Ana.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial:

- Ao Prof. Luis Costa da Silva pela orientação segura e incentivo.
- Ao meu irmão Antonio Manoel Dias Henriques e ao amigo Adriano Lobo de Souza pela inestimável colaboração e pelas sugestões oferecidas.
- Ao amigo Luiz Cláudio F. de Faria pelo serviço de impressão.
- À Srta. Alzira Ferreira Machado pelo excelente trabalho de datilografia.
- Ao Sr. Ernesto Mathias L. Filho pela confecção de gráficos e figuras.
- Aos professores pelos ensinamentos ministrados, aos colegas pela amizade oferecida e aos funcionários do CETUC e do Rio Data Centro pelo auxílio prestado.

RESUMO

Este trabalho analisa o efeito das estruturas de suporte do subrefletor das antenas Cassegrain através da teoria de espalhamento por cilindros. São desenvolvidas expressões das densidades de correntes superficiais sobre cilindros de seção transversal qualquer e obtidas as componentes de campo espalhado. Com esses resultados analisa-se então o efeito que os estais provocam na redução do ganho e no aumento dos lobos secundários. Os resultados finais obtidos são então comparados com outras teorias aproximadas.

ABSTRACT

This work presents a study on the effect of subreflector support members of Cassegrain antennas using the theory of scattering by cylinders structures. Expressions for the surface current densities on arbitrary cross section cylinders are developed, and the components for the scattered field are obtained. Using these results we analyse the effect of the struts on the gain reduction, and the rise of maximum side-lobe level. The final results obtained are then compared to other approximate theories.

ÍNDICE

	PAG.
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - DISTRIBUIÇÃO DE CORRENTES EM CILINDROS	
CIRCULARES	7
1.1 - Método de Separação de Variáveis	8
1.2 - Polarização Vertical	12
1.3 - Polarização Horizontal	20
1.4 - Aproximação da Ótica Física	28
CAPÍTULO 2 - DISTRIBUIÇÃO DE CORRENTES EM CILINDROS	
DE SEÇÃO RETA ARBITRÁRIA	31
2.1 - Introdução	31
2.2 - Representações Integrais dos Campos Ele	
tromagnéticos	33
2.3 - Polarização Vertical	39
2.4 - Solução Numérica da Distribuição de Cor	
rentes	41
2.5 - Polarização Horizontal	50
2.6 - Comparação das Soluções Analítica e Nu	
mérica para a Distribuição de Correntes	59
2.7 - Aproximação da Ótica Física	61

	PAG.
CAPÍTULO 3 - CAMPOS IRRADIADOS POR CILINDROS DE COMPRI- MENTO FINITO	63
3.1 - Campos Espalhados por Cilindros Circula- res	64
3.1.1 - Polarização Vertical	66
3.1.2 - Polarização Horizontal	70
3.2 - Campos Espalhados por Cilindros de Se- ção Transversal Arbitrária	77
3.2.1 - Polarização Vertical	77
3.2.2 - Polarização Horizontal	78
CAPÍTULO 4 - EFEITO DO ESTAIAMENTO EM ANTENAS CASSEGRAIN	81
4.1 - Lobos Secundários	82
4.2 - Resultados	85
4.3 - Análise Comparativa com outros Métodos A- proximados	88
4.3.1 - Método da Sombra Projetada	88
4.3.2 - Método da Ótica Física	91
i - Cilindros de Seção Reta Cir- cular	91
ii - Cilindros de Seção Reta Qua- drada	93
4.3.3 - Método da Corrente Equivalente .	96

	PAG.
CONCLUSÕES	98
APÊNDICE I	100
APÊNDICE II	119
PROGRAMA SCATTER	121
PROGRAMA SCATQUAD	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

PAG.

INTRODUÇÃO:

Fig. 1 - Sombras numa Antena Cassegrain com quatro es tais	2
Fig. 2 - Ondas Planas polarizadas Verticalmente e Hori zantalmente	4

CAPÍTULO 1:

Fig. 1.1 - Cilindro Infinito de Seção Reta Circular Imer so em uma Onda Plana com Incidência Oblíqua..	8
Fig. 1.2 - Sistema de Coordenadas Cilíndricas	9
Fig. 1.3 - Módulo da Densidade de Corrente para Onda In cidente com Polarização Vertical ($\phi_o = 0, \theta_o =$ $= 60^\circ$)	18
Fig. 1.4 - Fase da Densidade de Corrente para Onda Inci dente com Polarização Vertical ($\phi_o = 0^\circ, \theta_o = 60^\circ$)...	18
Fig. 1.5 - Módulo da Densidade de Corrente para Onda In cidente com Polarização Vertical ($\phi_o = 0^\circ, ka=1$)	19
Fig. 1.6 - Fase da Densidade de Corrente para Onda Inci dente com Polarização Vertical ($\phi_o = 0^\circ, ka=1$)..	19
Fig. 1.7 - Módulo da componente-tangencial da Densidade de Corrente para Onda Incidente com Polariza ção Horizontal ($\phi_o = 0^\circ, \theta_o = 60^\circ$)	25

Fig. 1.8 - Fase da componente-tangencial da Densidade de Corrente para Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_o=0^\circ$, $\theta_o=60^\circ$)	25
Fig. 1.9 - Módulo da componente-z da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_o=0^\circ$, $\theta_o=60^\circ$)	26
Fig. 1.10 - Fase da componente-z da Densidade de Corrente para Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_o=0^\circ$, $\theta_o=60^\circ$)	26
Fig. 1.11 - Módulo da componente-tangencial da Densidade de Corrente para Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_o=0^\circ$, $ka=1$)	27
Fig. 1.12 - Módulo de componente-z da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_o=0^\circ$, $ka=1$)	27

CAPÍTULO 2:

Fig. 2.1 - Superfície Espalhadora.....	33
Fig. 2.1 - Cilindro Infinito Iluminado por uma Onda com Incidência Oblíqua	36
Fig. 2.4.1 - Módulo da Densidade de Corrente para diversos valores de N	45
Fig. 2.3 - Módulo da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Vertical ($\phi_o=0^\circ$, $\theta_o=60^\circ$)	48

Fig. 2.4	- Fase da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Vertical ($\phi_0=0^0$, $\theta_0=60^0$)	48
Fig. 2.5	- Módulo da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Vertical ($\phi_0=0^0$, $ka=1$)	49
Fig. 2.6	- Fase da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Vertical ($\phi_0=0$, $ka=1$)	49
Fig. 2.7	- Seção Transversal do Cilindro	51
Fig. 2.8	- Contorno do Cilindro para Avaliação do limite das equações integrais quando $\vec{\rho} \rightarrow \vec{\rho}'$	54
Fig. 2.9	- Módulo da componente-tangencial da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_0=0^0$, $\theta_0=60^0$)	57
Fig. 2.10	- Fase da componente-tangencial da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_0=0^0$, $\theta_0=60^0$)	57
Fig. 2.11	- Módulo da componente-tangencial da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_0=0^0$, $ka=1$)	58
Fig. 2.12	- Fase da componente-tangencial da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_0=0^0$, $ka=1$)	58

Fig. 2.13 - Módulo da componente-z da Densidade de Corrente para uma Onda Incidente com Polarização Horizontal ($\phi_0=0^\circ$, $\theta_0=60^\circ$)	59
Fig. 2.6.1-- Comparação das Soluções Analítica e Numérica da Densidade de Corrente	60
Fig. 2.7.1 - Seção Transversal do Cilindro	61
CAPÍTULO 3:	
Fig. 3.1 - Geometria para avaliação de campo distante..	65
Fig. 3.2 - Cilindro Circular de Comprimento Finito	68
CAPÍTULO 4:	
Fig. 4.1 - Geometria da Antena	82
Fig. 4.2 - Cones de Espalhamento das Estais	82
Fig. 4.3 - Diagrama de Ganho dos Estais em relação ao Campo na Abertura (Nº de estais=3, Seção Reta Circular)	86
Fig. 4.4 - Diagrama de Ganho dos Estais em relação ao Campo na Abertura	87
Fig. 4.5 - Sombra projetada pelos Estais	88
Fig. 4.6 - Diagrama de Ganho dos Estais determinado a partir do Método da Sombra Projetada	90
Fig. 4.7 - Diagrama de Ganho dos Estais determinado a partir da Ótica Física	95
Fig. 4.8 - Diagrama de Ganho dos Estais determinado a partir do Método da Corrente Equivalente ...	97

LISTA DE SÍMBOLOS

- θ_o, ϕ_o - ângulos que definem a direção do feixe incidente
- r, θ, ϕ - coordenadas esféricas do ponto de observação
- E^i - campo elétrico incidente
- H^i - campo magnético incidente
- E^s - campo elétrico espalhado
- H^s - campo magnético espalhado
- ∇ - operador diferencial
- k - número de onda
- ψ - função de onda elementar
- ρ, ϕ, z - coordenadas cilíndricas
- J_n - função de Bessel de 1^a espécie e ordem n
- $H_n^{(2)}$ - função de Hankel de 2^a espécie e ordem n
- ω - frequência angular
- μ_o - permeabilidade magnética
- ϵ_o - permissividade elétrica
- a_x, a_y, a_z - cossenos diretores
- a_n, b_n - constantes definidas nas equações (1.2.6) e (1.3.7)
- J_s - densidade de corrente superficial
- $\hat{a}_n$ - vetor unitário normal
- $\vec{A}(\vec{r})$ - representação geral das quantidades de campo
- $t_{\vec{A}}(\vec{r})$ - quantidades de campo que independem da coordenada z .

G_o	-	função de Green
t_{G_o}	-	função de Green bi-dimensional
L	-	operador integral
ϕ_n	-	função base
W	-	erro residual
P_m	-	funções peso ortogonais
$ Z $	-	matriz de integração numérica
$ E $	-	vetor coluna
δ	-	função delta de Dirac
c	-	contorno do cilindro
s	-	superfície do cilindro
z_1, z_2	-	coordenadas dos estais medidas a partir do foco
ϵ_n	-	número de Neumann