PUC

ALUIZIO PRATA JUNIOR

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DIFRATORES SIMPLES E DUPLOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RIO, 21 DE AGOSTO DE 1980

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Av. Marquês de São Vicente, 225 - CEP 22453

Rio de Janeiro — Brasil

9. Chamada: 821.3 / P912 / TESE UC
Título: Contribuição ao estudo de difratores sim

1. 020

EX-2-CENTRAL

1801

EC — PUC

DOAÇÃO

ALUIZIO PRATA JUNIOR

VC 233 60 15

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DIFRATORES SIMPLES E DUPLOS

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

Orientador: Marcio Machado Rabello

Departamento de Engenharia Elétrica

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Rio de Janeiro, 21 de agosto de 1980

621.3
P912
TESTIC

42

Este trabalho foi suportado pela Telecomunicações Brasileiras S.A., TELEBRÁS, através do contrato PUC-TELEBRÁS 017/79.

À Aluizio e Martha,
meus pais.

À José Barca,

avô e amigo

À Maria Teresa

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Marcio Machado Rabello pela orientação lúcida, amizade e atenção. Reconheço particularmente o quanto aprendi com esta convivência.

A Maria Teresa, pelo apoio e tempo que me deu.

Aos colegas da PUC, bons amigos.

A Graça Muniz pela excelente, e rápida, datilografia e composição.

A Olimpiew, P. Barreto, Prorok, Polzin e Marcelo, pela ajuda com os resumos.

Ao Prof. Panicalli, pelo tempo extra para acabar este trabalho.

A todos que, de alguma forma, deram a sua contribuição.

RESUMO

Inicialmente neste trabalho é abordado com detalhe o Difrator Simples, sendo estudado o seu diagrama de irradiação, ganho, comportamento com a variação da frequência e do raio efetivo da terra, técnica de dimensionamento, e por último, é apresentado um exemplo de projeto.

A seguir é introduzido o Difrator Duplo, que consiste no emprego de dois Difratores Simples em série, alternativa de solução para alguns casos particulares de enlaces radio obstruídos. A análise do Difrator Duplo constitui a contribuição principal deste trabalho, e nela são discutidos todos os aspectos relevantes para o seu dimensionamento.

ABSTRACT

Initially this work analyses in detail the Standard Diffraction Grating in microwave usage, regarding radiation patterns, gain, the general behavior within a specified frequency band, the effect of effective earth radius variations, and sizing techniques. Subsequently a design example is presented.

Next the "Double Diffractor Grating" is introduced, which consists in the deployment of two Diffraction Gratings in series, as an alternate solution for some specific cases of obstructed radio relay paths. The analysis of the "Double Diffraction Grating" is the main contribution of this thesis, and several theoretical and practical aspects are discussed.

Résumé

Dans ce travail on examine d'abord le Réseau de Diffraction Simple en étudiant son diagramme de rayonnement, son gain, son comportement en fonction de la fréquence et du rayon effectif de la terre et la méthode de projet. Cette première partie se termine par un exemple pratique.

On étudie ensuite le Réseau de Diffraction Double qui emploie deux réseaux simples en série comme solution possible pour quelques cas particuliers de liaisons-radio obstruées.

L'analyse de ce réseau double est la principale contribution de ce travail, tous les aspects importants de projet y étant discutés.

SUMÁRIO

pág

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DIFRATOR SIMPLES.....	5
2.1. Campo Produzido nas Vizinhanças do Receptor.....	5
2.2. Ganho.....	21
2.2.1. Otimização das Dimensões Horizontais.....	27
2.2.2. Otimização das Dimensões Verticais.....	29
2.3. Diagrama de Irradiação.....	36
2.3.1. Diagrama Horizontal.....	37
2.3.2. Diagrama Vertical.....	38
2.4. Comportamento com a Variação do Parâmetro K	49
2.5. Comportamento com a Variação da Frequência de Opera ção	56
2.6. Comportamento com a Variação Simultânea do Parâmetro K e da Frequência de Operação.....	64
2.7. Projeto.....	66
2.7.1. Exemplo.....	69
3. DIFRATOR DUPLO.....	77
3.1. Campo Produzido nas Vizinhanças do Receptor.....	77
3.2. Ganho.....	85
3.2.1. Determinação das Dimensões Horizontais.....	88
3.2.2. Determinação das Dimensões Verticais.....	93

3.3. Diagrama de Irradiação.....	114
3.3.1. Diagrama Horizontal.....	115
3.3.2. Diagrama Vertical.....	116
3.4. Comportamento com a Variação do Parâmetro K e da Fre quência de Operação	117
3.5. Projeto.....	121
3.5.1. Exemplo.....	123
4. CONCLUSÕES	133
APÊNDICES.....	134
A - Programa para o Cálculo de G_V	135
B - Programa para o Cálculo de G_{Hdd}	139
C - Programa para o Cálculo de H_{RP1} e H_{PR2}	144
D - Programa para o Cálculo de G_{Vdd}	153
E - Modificação das Subrotinas HORIZ (Apêndice B) e VERTI (Apêndice D), para o Traçado dos Diagramas de Irradia ção do Difrator Duplo.....	160
F - Utilização das Subrotinas HORIZ (Apêndice B) e VERTI (Apêndice D), para o Cálculo de G_{Vdd} em Frequência e K Diferentes dos de Projeto.....	163
G - Programa para Análise do Desempenho do Enlace com Difra tos Duplo.....	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	186

LISTA DE FIGURAS

	pág
Fig. 1.1 - Funcionamento da Rede de Difração.....	1
Fig. 2.1.1. Enlace Radio com Difrator Simples.....	5
Fig. 2.1.2. Áreas de Integração para a fórmula de Fresnel-Kirchooff.....	12
Fig. 2.1.3. Representação da equação (2.1.20) na Espiral do Cornu.....	19
Fig. 2.2.1. Parcela de Ganho do Difrator Simples Dependente das Dimensões Horizontais.....	28
Fig. 2.2.2. Representação da equação (2.2.3) na Espiral de Cornu.....	30
Fig. 2.2.3. Maximização do ganho do Difrator usando a Espiral de Cornu.....	31
Fig. 2.2.4. Parcela de Ganho do Difrator Simples Dependente das Dimensões Verticais.....	35
Fig. 2.3.1. Diagrama Horizontal de Irradiação do Difrator Simples de $a/\ell=1,0$	39
Fig. 2.3.2. Diagrama Horizontal de Irradiação do Difrator Simples de $a/\ell=1,2$	40
Fig. 2.3.3. Diagrama Horizontal de Irradiação do Difrator Simples de $a/\ell=1,71$	41
Fig. 2.3.4. Diagrama Vertical de Irradiação de um Difrator Simples com 5 lâminas e $H/\ell=10$	43
Fig. 2.4.1. Geometria de um enlace radio.....	50
Fig. 2.4.2. Demonstração Geométrica do Efeito da variação do K	55

Fig. 2.5.1. Demonstração Geométrica do Efeito da Variação da Frequência.....	62
Fig. 2.7.1. Enlace Radio Hipotético para Exemplo de Projeto do Difrator Simples.....	69
Fig. 2.7.2. Dimensões do Difrator Simples para o enlace da Fig. 2.7.1.....	73
Fig. 2.7.3. Desempenho do enlace da Fig. 2.7.1, com Difrator Simples.....	76
Fig. 3.1.1. Enlace Radio com Difrator Duplo.....	77
Fig. 3.2.1. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Horizontais.....	92
Fig. 3.2.2. Condição para a Qual Devem ser Dimensionados os Difratores.....	94
Fig. 3.2.3. Determinação da Altura de Projeto do Difrator 1 (H_{P1}).....	95
Fig. 3.2.4. Determinação da Altura de Projeto do Difrator 2 (H_{P2}).....	96
Fig. 3.2.5. Parcela de ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=4$).....	105
Fig. 3.2.6. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=4$).....	106
Fig. 3.2.7. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=8$).....	107
Fig. 3.2.8. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=8$).....	108
Fig. 3.2.9. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependete das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=8$).....	109

Fig. 3.2.10. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=12$).....	110
Fig. 3.2.11. Parcela de Ganho do Difrator Duplo Dependente das Dimensões Verticais ($N_1=N_2=12$).....	111
Fig. 3.4.1. Situação dos Diagramas de Irradiação dos Difratadores numa Frequência maior e (ou) num K menor que o de projeto.....	119
Fig. 3.5.1. Enlace radio hipotético para exemplo do projeto do Difrator Duplo.....	123
Fig. 3.5.2. Dimensões do Difrator 1 para o enlace da Fig. 3.5.1.....	126
Fig. 3.5.3. Dimensões do Difrator 2 para o enlace da Fig. 3.5.1.....	127
Fig. 3.5.4. Desempenho do Enlace da Fig. 3.5.1, com Difrator Duplo.....	128
Fig. 3.5.5. Diagrama Horizontal de Irradiação do Difrator Duplo para o Enlace da Fig. 3.5.1 ($L_{R1}=L_{R2}=2$)..	130
Fig. 3.5.6. Diagrama Vertical de Irradiação do Difrator Duplo para o Enlace da Fig. 3.5.1. ($N_1=N_2=8$)..	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

pág

a	.....	5
a_1	.....	77
a_2	.....	77
a_e	.....	50
a_T	.....	50
A_C	.....	82
A_N	.....	5
A_i	.....	6
A_{li}	.....	78
A_{21}	.....	78
A_{RP1}	.....	99
A_{RP2}	.....	99
B_i	.....	6
B_{li}	.....	78
B_{2i}	.....	78
B_{R1P}	.....	99
B_{R2q}	.....	99
$C(\omega)$	.....	15
d_1	.....	5
d_2	.....	5
d_3	.....	77
D	.....	7
dS	.....	5
E_i	.....	8
E_R	.....	21
E_T	.....	8
E_{DR}	.....	85

$E(P)$	8
$\overline{E(P)}$	36
$E_D(P)$	80
$E_i(P')$	78
$\overline{E_H(P)}$	38
$\overline{E_V(P)}$	42
$\overline{E_{Hdd}(P)}$	115
$\overline{E_{Vdd}(P)}$	116
f	59
f_D	59
$f_{\min}$	67
$f_{\max}$	67
G_D	23
G'_D	25
G_H	27
G_I	102
G_R	22
G_T	8
G_{DD}	87
G_{D1}	88
G_{D2}	88
G_{H1}	129
G_{H2}	129
G_{Hdd}	89
G_V	33
G_{V1}	113
G_{V2}	113
G_{Vdd}	101
h	62
h_1	50

	pāg
h_{1e}	50
h_2	50
h_{2e}	50
H	5
H_O	50
H_1	77
H_2	77
H_D	52
H_{01}	123
H_{02}	123
H_{1D}	124
H_{2D}	124
H_{P1}	94
H_{P2}	95
H_{R1}	97
H_{R2}	97
H_{R1D}	124
H_{R2D}	124
H_{RP1}	97
H_{RP2}	97
k	8
K	49
K_D	52
$K_{\max}$	66
$K_{\min}$	66
ℓ	11
ℓ_1	79
ℓ_2	81
ℓ_D	60

ℓ_{1D}	118
ℓ_{2D}	119
L_{R1}	89
L_{R2}	89
LF	7
LFH	38
LFV	49
$\vec{n}$	5, 77
N	5
N_1	77
N_2	77
P_R	22
P_T	8
$P(x', y', d_2)$	5, 77
$P'(x, y, d_3)$	77
q_1	90
q_2	90
r	6
$\vec{r}$	5
RX	5, 77
s	6
$\vec{s}$	5
S_D	12
S_2	12
S_3	12
$S(\omega)$	15
TX	5, 77
u	14, 83
v	14, 83

$\bar{V}$	100
V_{R1}	100
x	5,77
x'	5,77
x_O	90
$\bar{x}$	12,81
X	14,78
X_D	83
X_R	21
X_{DR}	86
y	5,77
y'	5,77
$\bar{Y}$	12,81
$\bar{Y}_{max}$	68
y'_D	59
$\bar{Y}_D$	53
Y	14,78
Y_D	84
Y_R	22
Y_{DR}	86
z	5,77
α	25
α_1	23
α_2	23
α_3	87
α_T	23,87
α'_T	24
α_{gF}	25
ΔG	68
ΔH	52

	păg
$\Delta H'$	34
Δ_i	62
Δ_{ir}	62
Δ_t	62
Δ_{tr}	62
Δx	50
Δ_y'	55
$\Delta \bar{y}$	53
$\Delta y_{\max}$	68
$\Delta \bar{y}_1$	118
$\Delta \bar{y}_2$	119
$\Delta \Phi$	62
η	70
θ_1	50
θ_2	50
λ	7
$\lambda_{\min}$	67
$\lambda_{\max}$	67
λ_D	60
ψ	45
ω	15