

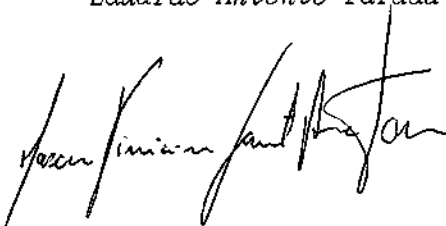
Imprimir

Fechar

Referência Completa

Tipo da Referência Conference Proceedings
Repositório sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.01.01.27
Metadados sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.01.01.37
Site mtc-m05.sid.inpe.br
Rótulo 5208
Chave Secundária INPE-3597
Chave de Citação TorresTude:1985:PaAcLi
Autor 1 Torres, M. V.
 2 Tude, Eduardo Antonio Parada
Grupo 1 DEA-INPE-BR
Título Pac de acopladores em linhas de fita 
Nome do Evento Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 37
Ano 1985
Data 10-17 JUL. 1985
Localização do Evento Belo Horizonte
Palavras-Chave ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAL.
Tipo Secundário PRE CN
Area ETES
Projeto 340006
Última Atualização dos Metadados 2014:09.29.15.19.33 sid.inpe.br/banon/2001/04.03.15.36 administrator {D 1985}
Estágio do Documento concluído
e-Mail (login) marciana
Grupo de Usuários administrator
Visibilidade shown
Transferível 1
Tipo do Conteúdo External Contribution
Unidade Imediatamente Superior 8JMKD3MGPCW/3F6GF6B
Conteúdo da Pasta source não têm arquivos
Conteúdo da Pasta agreement não têm arquivos
Histórico 2014-09-29 15:19:33 :: administrator -> marciana :: 1985
Campos Vazios abstract accessionnumber affiliation archivingpolicy archivist booktitle
 callnumber copyholder copyright creatorhistory descriptionlevel
 dissemination documentstage doi e-mailaddress edition editor
 electronicmailaddress format isbn issn language lineage mark
 mirrorrepository nextedition notes numberoffiles numberofvolumes
 organization pages parameterlist parentrepositories previousedition progress
 publisher publisheraddress readergroup readergroup readpermission resumeid
 rightsholder secondarydate secondarymark serieseditor session shorttitle
 size sponsor subject targetfile tertiarymark tertiarytype type url
 versiontype volume
Data de Acesso 24 jul. 2015
 atualizar

Fechar

1. Publicação nº <i>INPE-3597-PRE/790</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1985</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DTL/DAF</i>	Programa <i>ESPAC/TRANSP</i>		
6. Palavras chaves - seleccionadas pelo(s) autor(es) <i>ACOPLADORES</i> <i>PAC</i> <i>LINHAS DE FITA</i>			
7. C.D.U.: <i>621.3.029.6</i>			
8. Título <i>PAC DE ACOPLADORES EM LINHA DE FITA</i>		10. Páginas: <i>74</i>	
		11. Última página: <i>C.13</i>	
9. Autoria <i>Marcus Vinicius Santana Torres</i> <i>Eduardo Antônio Parada Tude</i> 		12. Revisada por  <i>Paulo Mello Marshall</i>	
Assinatura responsável		13. Autorizada por  <i>Marco Antônio Ramp</i> <i>Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Apresentam-se três programas de computador, desenvolvidos para o projeto de acopladores em "stripline", "microstrip" e "broadside coupled". Os programas utilizam expressões fechadas para cálculos de linhas acopladas, o que permite diminuir os tempos de computação sem perda significativa da precisão dos resultados. São apresentados exemplos de projeto e aplicações dos três tipos de acopladores.</i>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação na 37ª reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, a ser realizado de 10 a 17 de julho de 1985, em Belo Horizonte, MG.</i>			

ABSTRACT

Three computer programs, developed to design stripline, microstrip and broadside couplers, are presented. These programs use closed expressions to calculate coupled lines, with reduced computation time without precision loss. Design and applications examples are presented.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>LINHAS "MICROSTRIP" ACOPLADAS</u>	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - Impedâncias características e constantes dielétricas efeti vas	4
2.3 - Efeito da espessura finita T da fita condutora	8
2.4 - Efeito da dispersão	9
2.5 - Cálculo de acopladores	11
3. <u>LINHAS "STRIPLINE" ACOPLADAS</u>	13
3.1 - Impedâncias características	13
3.2 - Cálculo de acopladores	16
4. <u>LINHAS "BROADSIDE" ACOPLADAS</u>	18
4.1 - Introdução	18
4.2 - Cálculo de acopladores	22
5. <u>CONCLUSÕES</u>	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
APÊNDICE A - LINHAS "MICROSTRIP" ACOPLADAS	
APÊNDICE B - LINHAS "STRIPLINE" ACOPLADAS	
APÊNDICE C - LINHAS "BROADSIDE" ACOPLADAS	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Linhas acopladas - geometria	1
2 - Decomposição da capacitância total de uma linha "microstrip" acoplada em termos de várias capacitâncias: (a) capacitâncias do modo par; (b) capacitâncias do modo ímpar	3
3 - Linha de transmissão em "stripline" acoplada	14
4 - Impedâncias características Z_{0e} e Z_{0o} de uma linha de transmissão em "stripline" acoplada	16
5 - Linha "broadside" acoplada - geometria	18
6 - Variações de S/b e W/b com o coeficiente de acoplamento: (a) $\epsilon_r = 2,32$; (b) $\epsilon_r = 10,0$	22

1. INTRODUÇÃO

Linhas acopladas são amplamente utilizadas em circuitos de microondas tais como filtros e acopladores.

O acoplamento de potência entre as linhas é definido por um coeficiente C , relacionado com as impedâncias dos modos par (Z_{oe}) e ímpar (Z_{oo}) que se propagam nas linhas:

$$C = \frac{Z_{oe} - Z_{oo}}{Z_{oe} + Z_{oo}} \quad . \quad (1)$$

Este trabalho apresenta programas de computador para o cálculo de linhas acopladas em "microstrip", "stripline" e "broadside" (Figura 1) e sua utilização no projeto de acopladores direcionais.

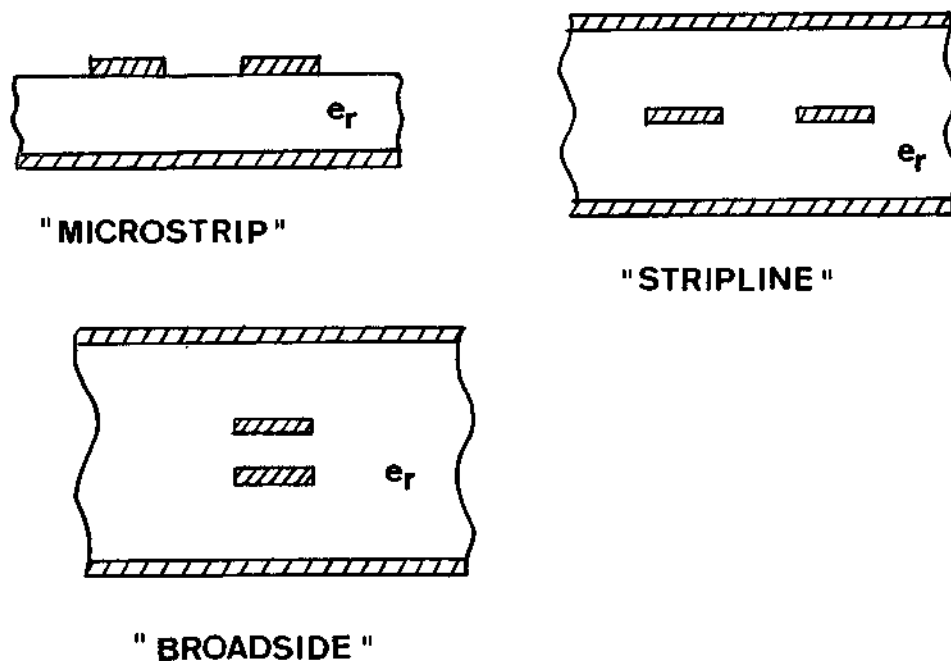


Fig. 1 - Linhas acopladas - geometria.

No dimensionamento de um acoplador direcional com entrada e saída casadas a uma linha de impedância característica Z_0 , deve-se ter:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{oe} Z_{oo}} \quad (2)$$

e o comprimento das linhas acopladas (L) igual a:

$$L = \frac{\lambda g}{4} , \quad (3)$$

onde:

λg é o comprimento de onda guiado na estrutura do acoplador.

A partir das Expressões 1 e 2, podem-se escrever Z_{oe} e Z_{oo} em função de Z_0 e $C' = -20 \log C$:

$$Z_{oe} = Z_0 \sqrt{\frac{1 + 10^{-C'/20}}{1 - 10^{-C'/20}}} , \quad (4)$$

$$Z_{oo} = Z_0 \sqrt{\frac{1 - 10^{-C'/20}}{1 + 10^{-C'/20}}} . \quad (5)$$

Pode-se, desta forma, determinar qual o par de impedâncias Z_{oe} e Z_{oo} que corresponde ao acoplamento desejado e utilizar estes valores no dimensionamento das linhas acopladas.

Nas Seções 2, 3 e 4 apresentam-se o cálculo das impedâncias características e o dimensionamento de acopladores para as linhas acopladas em "microstrip", "stripline" e "broadside", respectivamente.

Estes cálculos são realizados através de programas de computador apresentados nos Apêndices A, B e C.

Finalmente, na Seção 5 discutem-se os resultados e apresentam-se as conclusões.

2. LINHAS "MICROSTRIP" ACOPLADAS

2.1 - INTRODUÇÃO

A geometria de uma linha "microstrip" acoplada e sua caracterização em termos de capacitâncias entre placas paralelas e capacitâncias de franja são mostradas na Figura 2.

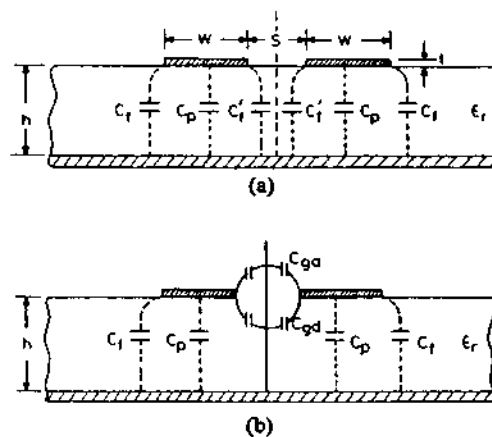


Fig. 2 - Decomposição da capacitância total de uma linha "microstrip" acoplada em termos de várias capacitâncias: (a) capacitâncias do modo par; (b) capacitâncias do modo ímpar.

A capacitância total entre uma linha e o plano de terra pode ser representada em termos de uma capacitância devida a duas placas condutoras paralelas e duas capacitâncias de franja, uma para cada lado da linha. Esta técnica tem sido usada satisfatoriamente para representação de linhas "stripline" acopladas (Howe, 1974), onde a configuração dielétrica é homogênea.

Expressões aproximadas que permitem a utilização desta técnica para linhas "microstrip" acopladas foram obtidas inicialmente por Schwarzmann (1967). Mais recentemente, diversos métodos numéricos têm sido utilizados na avaliação dos parâmetros de linhas "microstrip" acopladas, tais como o Método da Função de Green (Weiss, 1974), o Método Variacional (Haddad and Krage, 1970), (Pregla and Kowalski, 1973), e o Método da Expansão em Séries de Fourier (Pregla and Bergand, 1972).

Este trabalho utiliza um método proposto por Bahl e Garg (1979), no qual expressões para capacitâncias de linhas "microstrip" isoladas são utilizadas na determinação das capacitâncias de franja do modo par, enquanto as capacitâncias de franja do modo ímpar são determinadas com o auxílio de uma geometria equivalente entre linhas "stripline" acopladas e linhas coplanares.

As expressões das capacitâncias são então utilizadas na determinação das impedâncias características e das constantes dielétricas efetivas.

2.2 - IMPEDÂNCIAS CARACTERÍSTICAS E CONSTANTES DIELÉTRICAS EFETIVAS

As capacitâncias totais dos modos par e ímpar podem ser expressas em termos das capacitâncias mostradas na Figura 2 (Bahl, 1981):

$$C_e = C_p + C_f + C'_f, \quad (6)$$

$$C_o = C_p + C_f + C_{ga} + C_{gd}, \quad (7)$$

onde:

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_r W/h . \quad (8)$$

Os termos C_f , C'_f , C_{ga} e C_{gd} representam várias capacitâncias de franja. C_f é a capacitância de franja de uma linha "microstrip" de largura W/h , impedância Z_0 e constante dielétrica efetiva ϵ_{re} , e é dada por:

$$2C_f = \sqrt{\epsilon_{re}} / cZ_0 - C_p , \quad (9)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} .$$

A expressão para a capacitância C'_f é obtida empiricamente por:

$$C'_f = \frac{C_f}{1 + A(h/S) \tanh(8 S/h)} , \quad (10)$$

onde:

$$A = \exp(-0,1 \exp(2,33 - 2,53 W/h)) . \quad (11)$$

C_{ga} é o termo da capacitância do modo ímpar para o campo de franja através do "gap" na região de ar e é obtido da geometria equivalente de linhas coplanares, sendo dado por:

$$C_{ga} = \epsilon_0 \frac{K(k')}{K(k)} , \quad (12a)$$

com:

$$k = \frac{S/h}{S/h + 2 W/h} , \quad (12b)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} , \quad (12c)$$

onde a razão entre a função elíptica completa $K(k)$ e seu complemento $K(k')$ é dada por:

$$\frac{K(k')}{K(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left[2 \frac{1 - \sqrt{k^2}}{1 + \sqrt{k^2}} \right] \quad 0 \leq k^2 \leq 0,5 , \quad (12d)$$

ou

$$\frac{K(k')}{K(k)} = \frac{\pi}{\ln \left[2 \frac{1 + \sqrt{k^2}}{1 - \sqrt{k^2}} \right]} \quad 0,5 \leq k^2 \leq 1 .$$

O termo C_{gd} representa a capacitância do modo ímpar para o campo de franja através do "gap" na região do dielétrico, a qual é avaliada modificando a capacitância correspondente de linhas "stripline" acopladas, sendo dado por:

$$C_{gd} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \left\{ \coth \left(\frac{\pi}{4} \frac{S}{h} \right) + 0,65 C_f \left[\frac{0,02}{S/h} \sqrt{\epsilon_r} + 1 - \epsilon_r^{-2} \right] \right\} . \quad (13)$$

As impedâncias características e as constantes dielétricas efetivas podem ser obtidas dos valores das capacitâncias, usando as seguintes relações:

$$Z_{oe} = 1/c \sqrt{C_e C_{ea}} , \quad (14a)$$

$$\epsilon_{ree} = C_e / C_{ea} , \quad (14b)$$

para o modo par e

$$Z_{oo} = 1/c \sqrt{C_o C_{oa}} , \quad (14c)$$

$$\epsilon_{reo} = C_o / C_{oa} , \quad (14d)$$

para o modo ímpar.

C_{ea} e C_{oa} são as capacitâncias dos modos par e ímpar respectivamente, tendo o ar como dielétrico ($\epsilon_r = 1$), e c é a velocidade da luz no espaço livre.

A comparação entre os valores de impedância calculados e os resultados obtidos por Bryant e Weiss (1971) mostra uma precisão melhor do que 3% para $0,2 \leq W/h \leq 2$, $0,05 \leq S/h \leq 2$ e $\epsilon_r \geq 1$. Mostra-se ainda que as variações destes parâmetros representam valores para o coeficiente de acoplamento inferiores a 0,6 (Bahl and Garg, 1979).

As expressões das capacitâncias são válidas considerando nula a espessura T da fita condutora. Na prática, porém, a fita condutora possui espessura finita e uma correção se faz necessária. O efeito da dispersão com a frequência acarreta variações na impedância característica e na constante dielétrica efetiva de linhas "microstrip" acopladas, devendo também ser considerado (Bahl and Garg, 1979).

2.3 - EFEITO DA ESPESSURA FINITA T DA FITA CONDUTORA

Quando a fita condutora tem espessura finita ($T > 0$), suas capacitâncias podem ser avaliadas usando o conceito de largura efetiva (Bahí and Garg, 1979).

Expressões para a largura efetiva W_t foram obtidas por Jansen (1978), modificando as expressões correspondentes das linhas "microstrip" isoladas. Estas expressões são:

$$\frac{W_t^e}{h} = \frac{W}{h} + \frac{\Delta W}{h} \left[1 - 0,5 \exp(-0,69 \Delta W/\Delta T) \right], \quad (15)$$

$$\frac{W_t^o}{h} = \frac{W_t^e}{h} + \frac{\Delta T}{h}, \quad (16)$$

onde:

$$\frac{\Delta T}{h} = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{T/h}{S/h} \quad e \quad (17)$$

ΔW é o incremento na largura da fita, devido à espessura T , que pode ser escrito como (Chiarello, 1983):

$$\Delta W = \left(\frac{T}{\pi} \right) \left\{ 1 + \ln 4 - 0,5 \ln \left[\left(\frac{T}{h} \right)^2 + \left(\frac{T}{\pi W} \right)^2 \right] \right\}. \quad (18)$$

As Expressões 15 e 16 são válidas apenas para $S \geq 2T$.

Verifica-se que o aumento da espessura T da fita acarreta um aumento nas capacitâncias dos modos par e ímpar e um conseqüente decréscimo nas impedâncias respectivas.

2.4 - EFEITO DA DISPERSÃO

As expressões para a impedância Z_0 e a constante dielétrica efetiva ϵ_{re} , derivadas com a consideração TEM, são válidas apenas em baixas frequências. Em altas frequências, devido à propagação de modos híbridos, Z_0 e ϵ_{re} da linha "microstrip" mudam com o aumento da frequência, fazendo a linha de transmissão dispersiva, ou seja, as linhas de campo elétrico são mais e mais forçadas para o interior do substrato (Chiarello, 1983).

O comportamento dispersivo de linhas "microstrip" acopladas foi bem descrito usando métodos numéricos. Expressões semi-empíricas propostas por Getsinger (1983) descrevem o efeito da dispersão na constante dielétrica efetiva e fornecem valores bem próximos aos valores experimentais, fato que as torna largamente utilizadas. Estas expressões são:

a) para o modo par:

$$\epsilon_{reef} = \epsilon_r - \left(\frac{\epsilon_r - \epsilon_{ree}}{1 + G_e (F/F_{pe})^2} \right), \quad (19a)$$

com:

$$G = 0,6 + 0,0047 Z_{oe}, \quad (19b)$$

$$F_{pe} = 7,83 Z_{oe} / h ;$$

b) para o modo ímpar:

$$\epsilon_{\text{reof}} = \epsilon_r - \left(\frac{\epsilon_r - \epsilon_{\text{reo}}}{1 + G_o (F/F_{po})^2} \right), \quad (19c)$$

com:

$$G_o = 0,6 + 0,018 Z_{oo}, \quad (19d)$$

$$F_{po} = 31,32 Z_{oo} / h,$$

onde:

F é a frequência de operação em GHz.

Para as impedâncias, chegou-se a uma formulação similar às Equações 18, dada por:

a) para o modo par:

$$Z_{\text{oef}} = Z_{te} - \left(\frac{Z_{te} - Z_{oe}}{1 + G_e (F/F_{pe})^{1,6}} \right), \quad (20a)$$

b) para o modo ímpar:

$$Z_{\text{oof}} = Z_{to} - \left(\frac{Z_{to} - Z_{oo}}{1 + G_o (F/F_{po})^{1,6}} \right), \quad (20b)$$

onde:

G_e , F_{pe} , G_o , F_{po} são dados pelas Equações 19b e 19d, respectivamente.

Os termos Z_{te} e Z_{to} são as correspondentes impedâncias para as linhas "stripline" acopladas com os mesmos valores de S e W das linhas "microstrip" acopladas. Valores para Z_{te} e Z_{to} são obtidos das seguintes relações:

a) para o modo par:

$$Z_{te} = \frac{60 \pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{K(k_e)}{K(k'_e)} , \quad (21)$$

$$k_e = \tanh \left\{ \frac{\pi}{4} \left(\frac{W}{h} \right) \right\} \tanh \left\{ \frac{\pi}{4} \left(\frac{W+S}{h} \right) \right\} ,$$

b) para o modo ímpar:

$$Z_{to} = \frac{60 \pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{K(k_o)}{K(k'_o)} , \quad (22)$$

$$k_o = \tanh \left\{ \frac{\pi}{4} \frac{W}{h} \right\} / \tanh \left\{ \frac{\pi}{4} \left(\frac{W+S}{h} \right) \right\} .$$

As variações de $\frac{K(k_i)}{K(k'_i)}$ são definidas na Expressão 12d.

2.5 - CÁLCULO DE ACOPLADORES

As expressões propostas por Bahl e Garg (1979) permitem que sejam calculadas as características de linhas "microstrip" acopladas, desde que se conheçam os parâmetros desta linha, com uma precisão aceitável, e que:

$$0,2h \leq W \leq 2h,$$

$$0,05h \leq S \leq 2h,$$

$$\epsilon_r \geq 1.$$

Ainda, as Equações 1 e 5 permitem o cálculo das impedâncias características dos modos par e ímpar somente em função do acoplamento desejado e da impedância característica desejada para a linha.

Então, o cálculo de acopladores direcionais em linhas "microstrip" acopladas consiste em determinar os valores da largura W das linhas de fita e o espaçamento S entre estas linhas, de maneira que as impedâncias características dos modos par e ímpar, calculadas com o auxílio da formulação apresentada e levando em conta todas as correções, sejam o mais próximas possível daquelas já determinadas pelo acoplamento e pela impedância característica desejada.

Fazendo uma iteração nos intervalos de variação de W e S atingem-se os valores desejados.

Alcançadas as precisões prefixadas na rotina iterativa, os valores das constantes dielétricas efetivas dos modos par e ímpar ϵ_{reof} e ϵ_{reof} são calculados pelas Equações 18.

O comprimento L do acoplador deve ser igual a um quarto do comprimento da onda guiada, isto é:

$$L = \frac{\lambda_g}{4} . \quad (23)$$

Uma vez que $\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{ff}}$ e os valores das constantes dielétricas efetivas são diferentes, faz-se:

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_{ff}}} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{\epsilon_{reef}}} + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{reof}}} \right], \quad (24)$$

o que dá:

$$L = \frac{37,5}{F} \left[\frac{1}{\sqrt{\epsilon_{reef}}} + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{reof}}} \right], \quad (25)$$

com F dado em GHz e L em mm.

Ficam assim determinadas todas as dimensões do acoplador desejado.

Projetou-se e construiu-se um acoplador de 20 dB na frequência de 2,275 GHz para utilização no Transponder PCD do primeiro Satélite da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Os resultados obtidos, a máscara para confecção do circuito impresso e as características levantadas são apresentados no Apêndice B.

3. LINHAS "STRIPLINE" ACOPLADAS

3.1 - IMPEDÂNCIAS CARACTERÍSTICAS

A Figura 3 apresenta a geometria da linha "stripline" acoplada.

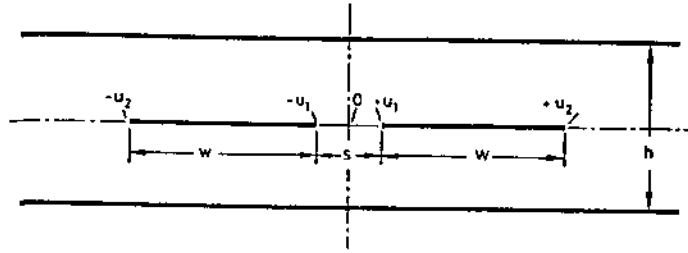


Fig. 3 - Linha de transmissão em "stripline" acoplada.

O cálculo das impedâncias características Z_{oe} e Z_{oo} pode ser feito através do mapeamento no plano complexo conforme Hilberg (1969), que apresenta as seguintes expressões para o modo par:

$$Z_{oe} \approx \frac{\eta}{2\pi} \ln \left[2 \frac{\sqrt{\cosh \frac{\pi U_2}{h} / \cosh \frac{\pi U_1}{h}} + 1}{\sqrt{\cosh \frac{\pi U_2}{h} / \cosh \frac{\pi U_1}{h}} - 1} \right] \quad (26a)$$

para $\frac{\eta}{4} \leq Z_{oe} \leq \infty$

ou:

$$Z_{oe} \approx \eta \frac{\pi}{8} / \ln \left[2 \sqrt{\cosh \frac{\pi U_2}{h} / \cosh \frac{\pi U_1}{h}} \right] \quad (26b)$$

para $0 \leq Z_{oe} \leq \frac{\eta}{4}$.

Enquanto para o modo ímpar:

$$Z_{00} \approx \frac{\eta}{2\pi} \ln \left[2 \frac{\sqrt{\sinh \frac{\pi U_2}{h} / \sinh \frac{\pi U_1}{h} + 1}}{\sqrt{\sinh \frac{\pi U_2}{h} / \sinh \frac{\pi U_2}{h} - 1}} \right] \quad (27a)$$

para $\frac{\eta}{4} \leq Z_{00} \leq \infty$

ou:

$$Z_{00} \approx \eta \frac{\pi}{8} / \ln \left[2 \sqrt{\sinh \frac{\pi U_2}{h} / \sinh \frac{\pi U_1}{h}} \right] \quad (27b)$$

para $0 \leq Z_{00} \leq \frac{\eta}{4}$.

Na Figura 4 apresentam-se as curvas calculadas a partir das Equações 26 e 27.

As dimensões U_1 e U_2 estão relacionadas com a largura e o espaçamento entre as linhas, W e S , por:

$$U_2 = W + S/2, \quad (28)$$

$$U_1 = S/2. \quad (29)$$

Segundo Hilberg (1969), os resultados obtidos com as Equações de 26 a 29, plotados na Figura 4, apresentam um erro menor que 10^{-3} quando comparados com os resultados obtidos por Cohn (1955).

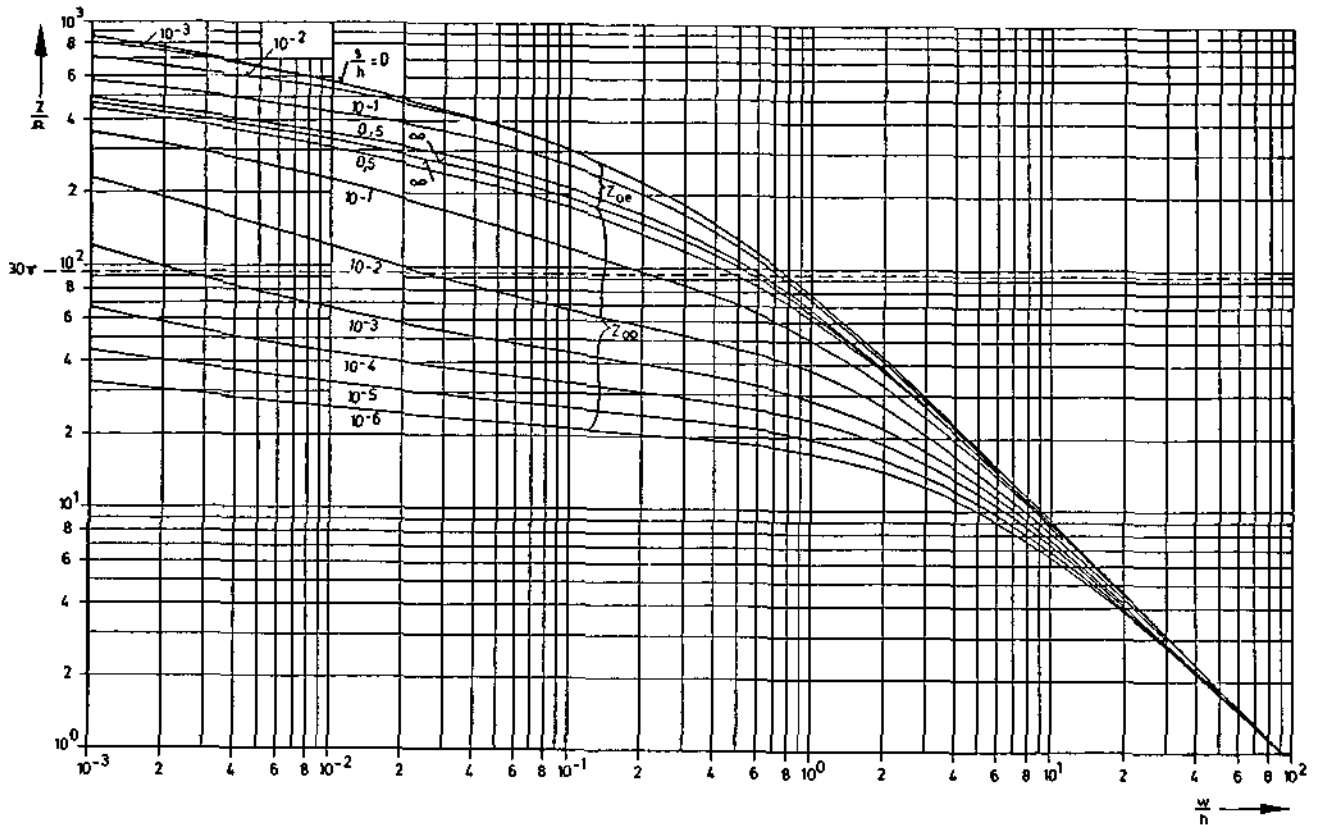


Fig. 4 - Impedâncias características Z_{oe} e Z_{oo} de uma linha de transmissão em "stripline" acoplada.

3.2 - CÁLCULO DE ACOPLADORES

A Figura 4 mostra as variações das impedâncias características do modo par (Z_{oe}) e ímpar (Z_{oo}) em função das relações S/h e W/h . Os resultados mostrados permitem que sejam fixados os seguintes intervalos de variação de W/h e S/h na rotina iterativa de síntese do acoplador (Bahl, 1981):

$$10^{-3} \leq W/h \leq 10^2 ,$$

$$10^{-6} \leq S/h \leq 0,5 .$$

O programa de computador desenvolvido sintetiza as impedâncias dos modos par e ímpar mais próximos daquelas obtidas em função do acoplamento (Equações de 1 a 5).

O valor inicial para o processo de síntese é calculado considerando nula a espessura T da fita condutora ($T = 0$) (Gupta, 1983):

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \tanh^{-1} \sqrt{k_e k_o}, \quad (30)$$

$$\frac{S}{h} = \frac{2}{\pi} \tanh^{-1} \left[\frac{1 - k_o}{1 - k_e} \sqrt{\frac{k_e}{k_o}} \right], \quad (31)$$

onde:

$$k_{e,o} = \sqrt{1 - \left(\frac{\epsilon^{\pi x} - 2}{\epsilon^{\pi x} + 2} \right)^4} \quad (32a)$$

para $1 \leq x \leq \infty$, ou

$$k_{e,o} = \left(\frac{\epsilon^{\pi x} - 2}{\epsilon^{\pi x} + 2} \right)^2, \quad (32b)$$

para $0 \leq x \leq 1$,

com:

$$x = \frac{Z_{oe} \sqrt{\epsilon_r}}{30 \pi} \quad (33a)$$

ou:

$$X = \frac{Z_{00} \sqrt{\epsilon_r}}{30 \pi} . \quad (33b)$$

As Equações de 26 a 29 são então utilizadas nos cálculos das impedâncias dos modos par e ímpar, da largura W da fita condutora e do espaçamento S entre estas fitas condutoras, necessários à realização do acoplador desejado.

No Apêndice B apresenta-se um exemplo de utilização.

4. LINHAS "BROADSIDE" ACOPLADAS

4.1 - INTRODUÇÃO

A geometria e os parâmetros de linhas "broadside" são mostrados na Figura 5.

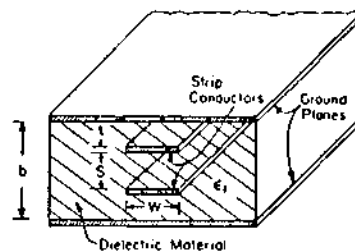


Fig. 5 - Linha "broadside" acoplada - geometria.

FONTE: Bahl (1981), p. 166.

Expressões para as impedâncias características dos modos de propagação par e ímpar, quando a espessura T da fita condutora não é levada em consideração, foram propostas por Cohn (1960) e são dadas por:

$$Z_{oe} = \frac{60 \pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{K'(k)}{K(k)}, \quad (34)$$

$$Z_{oo} = \frac{296,1}{\sqrt{\epsilon_r} \frac{b}{S} \tanh^{-1}(k)}, \quad (35)$$

onde:

K é uma função elíptica de primeira ordem e K' é sua função complementar dada por:

$$K'(k) = K(k') = K \sqrt{1 - k^2}, \quad (36)$$

e k é um parâmetro relacionado com a geometria da estrutura como a seguir:

$$\frac{W}{b} = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{1+R}{1-R} \right) - \frac{S}{b} \ln \left(\frac{1+R/k}{1-R/k} \right) \right], \quad (37)$$

com:

$$R = \left[\left(k \frac{b}{S} - 1 \right) / \left(\frac{1}{k} \frac{b}{S} - 1 \right) \right]^{1/2}, \quad (38)$$

onde:

b , W e S , definidos na Figura 5, são:

b = espessura total da estrutura,

W = largura da fita condutora,

S = espaçamento entre as fitas condutoras.

Se C é o coeficiente de acoplamento entre as linhas e Z_0 é a impedância de entrada e saída do acoplador, então as impedâncias dos modos par (Z_{oe}) e ímpar (Z_{oo}) podem ser expressas pelas Equações de 1 a 5.

Substituindo essas equações na Equação 34, escreve-se:

$$\frac{K}{K'} = \frac{60 \pi}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{1 - C}{1 + C} \right)^{1/2}. \quad (39)$$

Para os cálculos de S/b e W/b e conseqüentemente de S e W, o valor do parâmetro k é necessário. Expressões para K/K' foram propostas por Hilberg (1969) e podem ser usadas na avaliação do parâmetro k para um dado acoplamento e substrato. Estas expressões são:

$$\frac{K}{K'} = \frac{1}{\pi} \ln 2 \left(\frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right), \quad (40a)$$

para $0,707 \leq k \leq 1$,

$$\frac{K}{K'} = \frac{\pi}{\ln 2 \left(\frac{1 + \sqrt{k^n}}{1 - \sqrt{k^n}} \right)}, \quad (40b)$$

para $0,0 \leq k \leq 0,707$.

Sendo $P = (Z_0 / 60\pi)$, verifica-se que:

se

$$\frac{K}{K'} \geq 1 \text{ ou } C \leq (1,0 - P\epsilon_r) / (1,0 + P\epsilon_r) ,$$

tem-se:

$$k = \left[\frac{0,5 \exp (\pi K / K') - 1}{0,5 \exp (\pi K / K') + 1} \right]^2 ; \quad (41a)$$

se

$$\frac{K}{K'} \leq 1 \text{ ou } C \geq (1,0 - P\epsilon_r) / (1,0 + P\epsilon_r) ,$$

tem-se:

$$k = \left[1 - \left(\frac{0,5 \exp (\pi K' / K) - 1}{0,5 \exp (\pi K' / K) + 1} \right)^4 \right]^{1/2} . \quad (41b)$$

Das expressões de 1 a 5 e 35 chega-se a:

$$\frac{S}{b} = 0,0017 \sqrt{\epsilon_r} \left(\frac{1 - C}{1 + C} \right)^{1/2} \ln \left(\frac{1 + k}{1 - k} \right) . \quad (42)$$

Com isto, dados o coeficiente de acoplamento C , a constante dielétrica ϵ_r do substrato e a impedância de entrada e saída Z_0 desejada para o acoplador, os parâmetros W/b e S/b são calculados com o auxílio das Equações de 1 a 5 e das Equações de 39 a 42.

As relações W/b e S/b fixam os valores de W e S , desde que se saiba o valor da espessura total b do dispositivo, que pode ser uma combinação de dielétricos de mesma constante dielétrica ϵ_r e espessuras diferentes.

Como as linhas "broadside acopladas" são mais utilizadas na confecção de coeficientes de acoplamento elevados (3 dB por exemplo), procurou-se a combinação de dielétricos que permitisse a construção de um acoplador direcional de 3 dB na frequência de 2,275 GHz.

Foram utilizados os dielétricos RT/DUROID disponíveis no INPE e ainda os dielétricos DI-CLAD da Keene Corporation, sendo que com estes últimos conseguiram-se acoplamentos próximos de 3 dB. Os resultados obtidos estão no Apêndice C.

5. CONCLUSÕES

Foram implementados programas de computador que tornaram rápidos os projetos de acopladores direcionais em linhas "microstrip", "stripline" e "broadside".

As linhas "microstrip" devem ser usadas preferencialmente em acoplamentos mais fracos do que 10 dB, uma vez que com o aumento do acoplamento o espaçamento entre as linhas diminui, alcançando valores de difícil realização com técnicas fotolitográficas manuais e de baixo custo.

Para acoplamentos mais fortes do que 10 dB e mais fracos que 5 dB, podem ser utilizadas linhas "stripline", ficando as linhas "broadside" para a realização de acoplamentos mais fortes do que 5 dB.



- HOWE, Jr, H. *Stripline circuit design*. Burlington, MA, Artech House, 1974.
- JANSEN, R.H. High-speed computation of single and coupled microstrip parameters including dispersion, high order modes, loss and finite thickness. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-26(2):75-82, Feb. 1978.
- PREGLA, R.; BERGANDT, H.G. Calculation of even and odd-mode capacitance parameters for coupled microstrips. *Archiv der Elektrischen Übertragung*, 26:153-158, 1972.
- PREGLA, R.; KOWALSKI, G. Calculation of the distributed capacitances of coupled microstrips using a variational integral. *Archiv der Elektrischen Übertragung*, 25:51-52, 1973.
- SCHWARZMANN, A. Microstrip plus equations add up to fast designs. *Electronics*, 40(20):109-112, Oct. 1967.
- WEISS, J.A. Microwave propagation on coupled pairs of microstrip transmission lines IN: ADVANCES IN MICROWAVE. New York, Academic, 1974.

APÊNDICE A

LINHAS "MICROSTRIP" ACOPLADAS

A.1 - PROGRAMA FORTRAN PARA CÁLCULO DE ACOPLADORES

```

101 C*****
102 C*
103 C*          PROGRAMA MCFITA3
104 C*
105 C*          #####
106 C*          # CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS #
107 C*          # EM LINHAS MICROSTRIP ACOPLADAS #
108 C*          #####
109 C*
110 C*          INPE - SAO JOSE DO CAMPUS - 1985
111 C*****
112
113 FILE 5(KIND=REMOTE,MYUSE=10)
114 FILE 6(KIND=PPINTER)
115
116 C*****
117 C*
118 C*          #####
119 C*          # PROGRAMA PRINCIPAL #
120 C*          #####
121
122      1 WRITE(5,2)
123      2 FORMAT(1H1,19X,31(' '),//,20X,'* LINHAS MICROSTRIP ACOPLADAS *',//,
124      20X,31(' '),//)
125
126      WRITE(5,3)
127      3 FORMAT(16X,'NA CONFECCAO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS',//,15X,'PODEM
128      *SER USADOS OS SEGUINTE DIELETRICOS',//,12X,'1) RT/DUROID 5880 (
129      *H=0.031" ER=2.2 T=1.0 OZ)',//,12X,'2) RT/DUROID 5880 (H=0.062" E
130      *R=2.2 T=1.0 OZ)',//,12X,'3) RT/DUROID 6010 (H=0.025" FR=10.5 T=1
131      *0 OZ)',//,12X,'4) RT/DUROID 6010 (H=0.050" ER=10.5 T=1.0 OZ)',//,
132      *12X,'5) NENHUM DOS ACIMA',//,16X,'# ESCULHA UMA DAS ALTERNATIVAS A
133      *CIMA #',//,16X,'# DIGITANDO O NUMERO CORRESPONDENTE #',//)
134
135      READ(5,/)NU
136
137      IF(NU.LT.5) GO TO 4
138
139      GO TO 5
140
141 C*****
142
143      4 CALL DADO1(NU,ER,H,T)
144
145 C*****
146
147      GO TO 13
148
149 C*****
150 C*
151 C*          -> ENTRADA DE DADOS <-
152 C*
153      5 WRITE(5,6)
154      6 FORMAT(1H1,12X,"* ENTRE COM OS PARAMETRUS *",//,19X,
155      *"* CONFORME AS SOLICITACOES A SEGUIR *",//,10X," ER = CONSTANTE D
156      *IELETRICA RELATIVA DO SUBSTRATO",//)

```

```

157      READ(5,/)ER
158
159      WRITE(5,7)
160      7 FORMAT(10X," T = ESPESSURA DA FITA CONDUTORA EM MM",//15X,"PARA QU
161      *E O EFEITO DA ESPESSURA FINITA DA FITA",//15X,"NAO SEJA CONSIDERAD
162      *O * ESTE PARAMETRO DEVE SER NULO",//))
163
164      READ(5,/)T
165
166      WRITE(5,8)
167      8 FORMAT(15X," H = ESPESSURA DO SUBSTRATO EM MM",//))
168
169      READ(5,/)H
170
171      9 WRITE(5,10)
172      10 FORMAT(15X," F = FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHZ",//))
173
174      READ(5,/)F
175
176      WRITE(5,11)
177      11 FORMAT(15X," ACP = ACOPLAMENTO DESEJADO EM DB",//))
178
179      READ(5,/)ACP
180
181      WRITE(5,12)
182      12 FORMAT(13X," ZOC = IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA",//))
183
184      READ(5,/)ZOC
185
186      GO TO 15
187
188      13 WRITE(5,14)
189      14 FORMAT(1H,13X,"* ENTRE COM OS SEGUINTEZ PARAMETROS **",//))
190
191      GO TO 9
192
193      C*****
194      C*
195      C*
196      C*          -> SAIDA DOS DADOS VIA TERMINAL <-
197      C*
198      15 WRITE(5,16)ER,H,F,ACP,ZOC,T
199      16 FORMAT(1H,25X,'CONFIRA',//21X,'ER = ',F9.5,/,22X,'H = ',F9.5,1X
200      *,"MM",//22X,'F = ',F9.5,1X,"GHZ",//20X,'ACP = ',F9.5,1X,"DB",//20X
201      *,"ZOC = ',F9.5,1X,"OHMS",//22X,'T = ',F9.5,1X,"MM",//))
202      C*
203      C*****
204
205      PI=4.*ATAN(1.)
206
207      WMIN=0.2*H
208      WMAX=2.*H
209
210      SMIN=0.05*H
211      SMAX=2.*H
212
213      C*****
214
215      CALL POPI(ACP,ZOC,ZOEC,ZOOC)

```

```

216
217 C*****
218
219     WMED=(WMAX+WMIN)/2.
220     SMED=(SMAX+SMIN)/2.
221
222     I=1
223
224 C*****
225
226     17 CALL ESPESS(ER,T,SMED,H,WMED,WET,WOT)
227
228 C*****
229
230     CALL LIZZ(ER,H,WET,SMED,T,ZOC,ZOE3,ZOOCU,ERE3,EROCD)
231
232 C*****
233
234     CALL LIZZ(ER,H,WOT,SMED,T,ZOC,ZOOCU,ZOOF,EOOCU,FREO3)
235
236 C*****
237
238     CALL DISPER(ZOE3,ZOOF,F,WMED,SMED,H,ER,ERE3,ERE3,ERE3,ERE3,
239     *ZOE3,ZOOF)
240
241 C*****
242
243     W1=ABS(ZOOF-ZOOC)
244     S1=ABS(ZOEF-ZOEC)
245
246     IF(W1-U.000001)18,18,19
247     18 IF(S1-U.000001)20,20,19
248
249     19 WMED=(ZOE3/ZOEC)*WMED
250     SMED=(ZOOF/ZOOC)*SMED
251
252     I=I+1
253
254     IF(I.EQ.1001) GO TO 26
255
256     GO TO 17
257
258     20 WM=WMED/H
259     SM=SMED/H
260
261     EEF1=1./SQRT(ERE3)
262     EEF2=1./SQRT(ERE3)
263
264     EEF3=(EEF1+EEF2)
265
266     BDA=(3./F)*(10.**2.)
267
268     COFI=(BDA*EEF3)/8.
269
270 C*****
271 C*
272 C*          -> SAIDA DOS RESULTADOS <-
273 C*
274
275     WRITE(5,21)WMED,WET,WOT,SMED,COFI,I

```

```

276      21 FORMAT(26X,'RESULTADOS',/,22X,'W = ',F15.8,1X,'MM',/,20X,'WET = ',
277      *F15.8,1X,'MM',/,20X,'WOT = ',F15.8,1X,'MM',/,22X,'S = ',F15.8,
278      *1X,'MM',/,22X,'L = ',F15.8,1X,'MM',/,22X,'I = ',I4,1X,'ITERACOES',
279      *///)
280
281      WRITE(6,22)
282      22 FORMAT(1H1)
283
284      WRITE(6,23)ZOC,F,ACP,ER,H,T,ZOEC,ZOEF,ZLOC,ZODF
285      23 FORMAT(47X,38(' '),/,47X,' ',36X,' ',/,47X,' * CALCULO DE ACOPLADOR
286      *ES DIRECIONAIS ',/,47X,' * EM LINHAS MICROSTRIP ACOPLADAS ',/
287      *,47X,' ',36X,' ',/,47X,38(' '),/,42X,' IMPEDANCIA DE ENTRADA DESE
288      *JADA = ',2X,F9.5,1X,' OHMS',/,42X,' FREQUENCIA DE OPERACAO = ',2X,F9.5,
289      *1X,' GHZ',/,42X,' ACOPLAMENTO DESEJADO = ',2X,F9.5,1X,' DB',/,45X,' *
290      * CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO ',/,57X,' ER = ',F9.5,/,58X,
291      *'H = ',F9.5,1X,'MM',/,58X,'T = ',F9.5,1X,'MM',
292      *///,53X,' * RESULTADOS OBTIDOS ',/,53X,' ZOEC = ',F15.8,/,
293      *53X,' ZOEF = ',F15.8,/,53X,' ZLOC = ',F15.8,/,53X,' ZODF = ',F15.8,/,
294      *///)
295
296      WRITE(6,24)WMED,WM,WET,WOT,SMED,SH,EREET,EREOF,COFI
297      24 FORMAT(47X,' * CARACTERISTICAS DAS LINHAS DE FITA ',/,47X,' W = ',
298      *F15.8,1X,'MM',/,6X,' W/H = ',F15.8,/,45X,' WET = ',F15.8,1X,'MM',
299      *6X,' WOT = ',F15.8,1X,'MM',/,47X,' S = ',F15.8,1X,'MM',/,6X,' S/H = ',
300      *F15.8,/,44X,' EEFF = ',F15.8,8X,' EOFF = ',F15.8,/,55X,' L = ',F15.8
301      *1X,'MM',/,/)
302
303      WRITE(6,25)
304      25 FORMAT(77X,'MCFITA3 - MVST/1905',/)
305
306      C*****
307
308      GO TO 28
309
310      C*****
311
312      26 WRITE(5,27)
313      27 FORMAT(19X,' * NAO CONVERGIU COM 1000 ITERACOES *',/,)
314
315      28 WRITE(5,29)
316      29 FORMAT(10X,' PARA UMA NOVA EXECUCAO DO PROGRAMA DIGITE 1.',/,16
317      *X,' PARA TERMINAR, DIGITE 2.',/,)
318
319      READ(5,/)TERM
320
321      IF(TERM.EQ.1) GO TO 1
322
323      WRITE(5,30)
324      30 FORMAT(5X,' *****',12X,' FIM DA EXECUCAO',12X,' *****
325      *',/,)
326
327      C*****
328
329      STOP
330      END
331
332      C*
333      C* *****
334      C* * FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL *
335      C* *****
336      C*

```

```

336 C*#####
337 C*
338 C*          #####
339 C*          # SUBROTINAS #
340 C*          #####
341 C*
342
343          SUBROUTINE DADO1(NU,ER,H,T)
344
345 C*#####
346 C*
347 C*          SUBROTINA DADO1
348 C*
349 C*          ESTA SUBROTINA FORNECE AS CARACTERISTICAS DOS SUBSTRATOS
350 C*          DA RT/DUROID DISPONIVEIS NO INPE
351 C*
352 C*#####
353
354          IF(NU.EQ.1) GO TO 1
355          IF(NU.EQ.2) GO TO 2
356          IF(NU.EQ.3) GO TO 3
357          IF(NU.EQ.4) GO TO 4
358
359          IF(NU.EQ.4) GO TO 4
360
361          1 ER=2.2
362            H=0.7874
363            T=0.0356
364
365          GO TO 5
366
367          2 ER=2.2
368            H=1.575
369            T=0.0356
370
371          GO TO 5
372
373          3 ER=10.5
374            H=0.635
375            T=0.0356
376
377          GO TO 5
378
379          4 ER=10.5
380            H=1.27
381            T=0.0356
382
383          5 RETURN
384          END
385
386 C*#####
387
388          SUBROUTINE POPI(ACP,ZOC,ZOEC,ZOOC)
389
390 C*#####
391 C*
392 C*          SUBROTINA POPI
393 C*
394 C*          ESTA SUBROTINA CALCULA AS IMPEDANCIAS DOS MODOS PAR E IMPAR
395 C*

```

```

396 C*                                     EM FUNCAO DE UM DADO ACOPLAMENTO *
397 C*                                     *
398 C*****
399
400 CAP=ACP/(-20.)
401 ACO=10.**CAP
402
403 ZDEC=ZUC*SQRT((1.+ACO)/(1.-ACO))
404 ZDOC=ZUC*SQRT((1.-ACO)/(1.+ACO))
405
406 RETURN
407 END
408
409 C*****
410
411 SUBROUTINE LIZZ(ER,H,W,S,T,ZO,ZOE,ZOO,ENEE,EREG)
412
413 C*****
414 C*
415 C* SUBROUTINA LIZZ
416 C*
417 C* ESTA SUBROUTINA CALCULA AS CAPACITANCIAS TOTAIS DOS MODOS PAR E *
418 C* IMPAR, AS IMPEDANCIAS CARACTERISTICAS E AS CONSTANTES DIELETRICAS *
419 C* EFETIVAS DOS MODOS PAR E IMPAR EM FUNCAO DAS CAPACITANCIAS TOTAIS *
420 C*
421 C*****
422
423 C=3.E8
424
425 C*****
426
427 CALL CAP1(ER,H,W,ZO,S,CP,CF,CFL,CGA,CGD)
428
429 C*****
430
431 CE=CP+CF+CFL
432 CO=CP+CF+CGA+CGD
433
434 C*****
435
436 CALL CAP1(1.,H,W,ZO,S,CPR,CFR,CF2R,CGAR,CGDR)
437
438 C*****
439
440 CEA=CPR+CFR+CF2R
441 COA=CPR+CFR+CGAR+CGDR
442
443 ZOE=1./(C*SQRT(CE*CEA))
444 ZOO=1./(C*SQRT(CO*COA))
445
446 EREE=CE/CEA
447 EREU=CO/COA
448
449 RETURN
450 END
451
452 C*****
453
454 SUBROUTINE DISPER(ZOE,ZOO,F,W,S,H,ER,ERLO,EREE,EREEF,EPEOF,ZOLF

```

```

455      **Z0OF)
456
457      C*****
458      C*
459      C*          SUBROUTINA DISPER
460      C*
461      C*          ESTA SUBROTINA CONSIDERA O EFEITO DA DISPERSAO NO CALCULO
462      C* DAS CONSTANTES DIELETRICAS EFETIVAS E IMPEDANCIAS CARACTERISTICAS
463      C* DOS MODOS PAR E IMPAR, EREEF E FREQF,ZOEF E Z0OF RESPECTIVAMENTE.
464      C*
465      C*****
466
467      PI=4.*ATAN(1.)
468
469      GQ=0.6+0.018*Z00
470      GE=0.6+0.0045*Z0E
471
472      FPO=31.32*Z00/H
473      FPE=7.83*Z0E/H
474
475      FFO=F/FPO
476      FFE=F/FPE
477
478      EREQF=ER*((ER-EREO)/(1.+GQ*(FFQ**2)))
479      EREF=ER*((ER-EREE)/(1.+GE*(FFE**2)))
480
481      TAN1=TANH((PI*w)/(4.*H))
482      TAN2=TANH((PI*(w+S))/(4.*H))
483
484      AKO=TAN1/TAN2
485      AKOL=SQRT(1.-AKO**2)
486
487      C/*****
488
489      CALL KELL(AKO,AKOL,CKO)
490
491      C*****
492
493      ZTO=(60.*PI/SQRT(ER))*CKO
494
495      AKE=TAN1*TAN2
496      AKEL=SQRT(1.-AKE**2)
497
498      C/*****
499
500      CALL KELL(AKE,AKEL,CKE)
501
502      C/*****
503
504      ZTE=(60.*PI/SQRT(ER))*CKE
505
506      Z0OF=ZTO*((ZTO-Z00)/(1.+GQ*(FFQ**1.6)))
507      Z0EF=ZTE*((ZTE-Z0E)/(1.+GE*(FFE**1.6)))
508
509      RETURN
510      END
511
512      C*****
513
514      SUBROUTINE ESPRESS(ER,T,S,H,W,WET,WOT)

```

```

515 C*****
516 C*
517 C* SUBROTINA ESPESS *
518 C* *
519 C* *
520 C* ESTA SUBROTINA FAZ A CORRECAO NA LARGURA DA LINHA *
521 C* DE FITA E CALCULA SUA IMPEDANCIA CARACTERISTICA *
522 C* LEVANDO EM CONTA O EFEITO DA ESPESSURA FINITA T *
523 C* DA FITA CONDUTORA *
524 C* *
525 C*****
526
527 PI=4.*ATAN(1.)
528
529 IF(T.EQ.0) GO TO 1
530
531 DT=((1./ER)*(T/S))*H
532 DN=(T/PI)*(1.+ALOG(4.))-0.5*ALOG((T/H)**2+(T/(PI*W))**2))
533
534 WET=W+DN*(1.-0.5*EXP(-0.69*DN/DT))
535 NJT=WET+DT
536
537 GO TO 2
538
539 1 WET=W
540 NJT=W
541
542 2 RETURN
543 END
544
545 C*****
546
547 SUBROUTINE CAP1(ER,W,H,Z0,S,CP,CF,CFL,C0A,C0D)
548
549 C*****
550 C*
551 C* SUBROTINA CAP1 *
552 C* *
553 C* ESTA SUBROTINA CALCULA AS CAPACITANCIAS *
554 C* INERENTES AS LINHAS DE MICROFITA ACOPLADAS *
555 C* *
556 C*****
557
558 WH=W/H
559 PI=4.*ATAN(1.)
560 E0=8.854E-12
561 C=3.E8
562
563 CP=(E0*ER)*WH
564 CF=(SQRT(ERE)/(C*Z0)-CP)/2.
565
566 A=EXP(-0.1*EXP(2.33-2.53*WH))
567
568 CFL=(CF)/(1.+A*(H/S)*TANH(8.*S/H))
569
570 BK=S/(S+(2.*W))
571 BKL=SQRT(1.-BK**2)
572
573 C*****
574

```

```

575      CALL KELL(BK,BKL,BKS)
576
577      C*****
578
579      CGA=E0/BKS
580      CGD=((E0*ER)/PI)*ALOG(1./TANH((PI/4.)*(S/H)))+
581      *0.65*(CF)+((0.02*H/S)*SQRT(ER)+1.-(1./(LR)**2))
582
583      RETURN.
584      END
585
586      C*****
587
588      SUBROUTINE KELL(AK,AKL,AKS)
589
590      C*****
591      C*
592      C*          SUBROTINA KELL
593      C*
594      C*          ESTA SUBROTINA CALCULA A RELACAO ENTRE A FUNCAO ELIPTICA
595      C*          K(K) E SEU COMPLEMENTO K(K')
596      C*
597      C*****
598
599      PI=4.*ATAN(1.)
600      IF (AK**2.LE.0.5) GO TO 1
601
602      AKS=PI/(ALOG(2.*((1.+SQRT(AK))/(1.-SQRT(AKL))))))
603
604      GO TO 2
605
606      1 AKS=ALOG(2.*((1.+SQRT(AKL))/(1.-SQRT(AKL))))/PI
607
608      2 RETURN
609      END
610
611      C*****
612      C*
613      C*          MARCUS VINICIUS SANI'ANA TORRES - ESTAGIARIO
614      C*
615      C*****

```

A.2 - COMO USAR O PROGRAMA

Os dados de entrada são "solicitados pelo terminal" como exposto a seguir:

NU - Escolha de um dos dielétricos da RT/DUROID disponíveis no INPE. Permite-se também que seja escolhido um outro dielétrico qualquer.

Têm-se cinco operações a saber:

de 1 a 4 - dielétricos RT/DUROID,

5 dielétrico qualquer.

Caso seja escolhida uma opção de 1 a 4, uma sub-rotina fornecerá os seguintes parâmetros:

ER - constante dielétrica relativa do substrato escolhido,

H - espessura do substrato em mm,

T - espessura da fita condutora em mm.

A solicitação de dados continua com:

F - Frequência de operação em GHz.

ACP - Acoplamento desejado em dB.

Restrição: para acoplamentos mais fortes que 5 dB, não é aconselhável o uso de linhas "microstrip" devido ao espaçamento S entre as linhas tornar-se muito pequeno.

ZØC - Impedância característica da entrada e saída desejada para o acoplador em (Ω).

TERM - Possibilita nova execução do programa (1) ou termina-a (2).

No caso de ser escolhido um dielétrico não fabricado pela RT/DUROID (NU, opção 5), os parâmetros ER, H e T, fornecidos pela sub-rotina, deverão ser fornecidos pelo usuário, obedecendo as seguintes restrições:

a) $1 \leq \epsilon_r \leq 130$,

b) $H > 0$,

c) $T \geq 0$.

Para $T = 0$, este parâmetro não vai ser considerado.

O formato de entrada dos dados é livre.

* LINHAS MICROSTRIP ACOPLADAS *

NA CONFECÇÃO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS
PODEM SER USADOS OS SEGUINTE DIELETRICOS

- 1) RT/DURDIO 5880 (H=0.031", ER=2.2, T=1.0 OZ)
- 2) RT/DURDIO 5880 (H=0.062", ER=2.2, T=1.0 OZ)
- 3) RT/DURDIO 6010 (H=0.025", ER=10.5, T=1.0 OZ)
- 4) RT/DURDIO 6010 (H=0.050", ER=10.5, T=1.0 OZ)
- 5) NENHUM DOS ACIMA

* ESCOLHA UMA DAS ALTERNATIVAS ACIMA *
* DIGITANDO O NUMERO CORRESPONDENTE *

4

* ENTRE COM OS SEGUINTE PARAMETROS *

F = FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHZ

2.275

ACP = ACOPLAMENTO DESEJADO EM DB

20

ZCC = IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA

50

CONFIRA
ER = 10.50000
H = 1.27000 MM
F = 2.27500 GHZ
ACP = 20.00000 DB
ZCC = 50.00000 OHMS
T = 0.03560 MM

PARA UMA NOVA EXECUCAO DO PROGRAMA DIGITE 1.
PARA TERMINAR, DIGITE 2.

2

FIM DA EXECUCAO

A.3 - EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO

```
*****
*
*  CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS *
*    EM LINHAS MICROSTRIP ACOPLADAS   *
*
*****
```

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500 GHZ
ACOPLAMENTO DESEJADO = 20.00000 DB

* CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO *

EK = 10.50000
H = 1.27000 MM
T = 0.03560 MM

* RESULTADOS OBTIDOS *

ZOEC = 55.27707984
ZOEF = 55.27707954

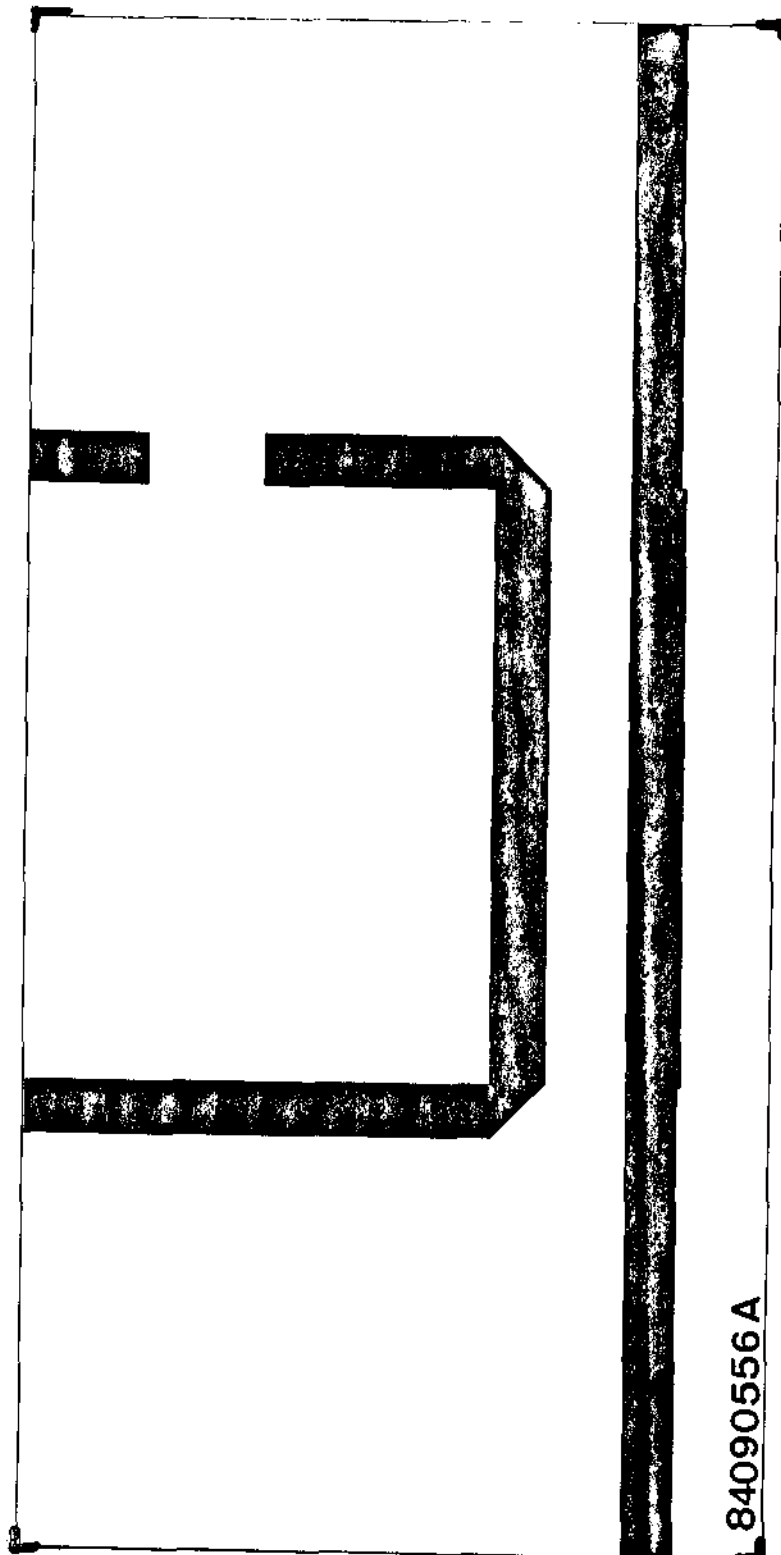
ZOOC = 45.22670169
ZOOF = 45.22670200

* CARACTERISTICAS DAS LINHAS DE FITA :

W =	10.50399831 MM	W/H =	8.11338450
WET =	10.37153541 MM	WDT =	10.37513456 MM
S =	1.49636513 MM	S/H =	0.94201979
FEFF =	10.50000000	FOFF =	3.36034387
L =	14.07895898 MM		

A.4 - ACOPLADOR DE 20 dB

Máscara para confecção do circuito impresso.



A.5 - ACOPLADOR 20 dB

Gráficos das características levantadas.

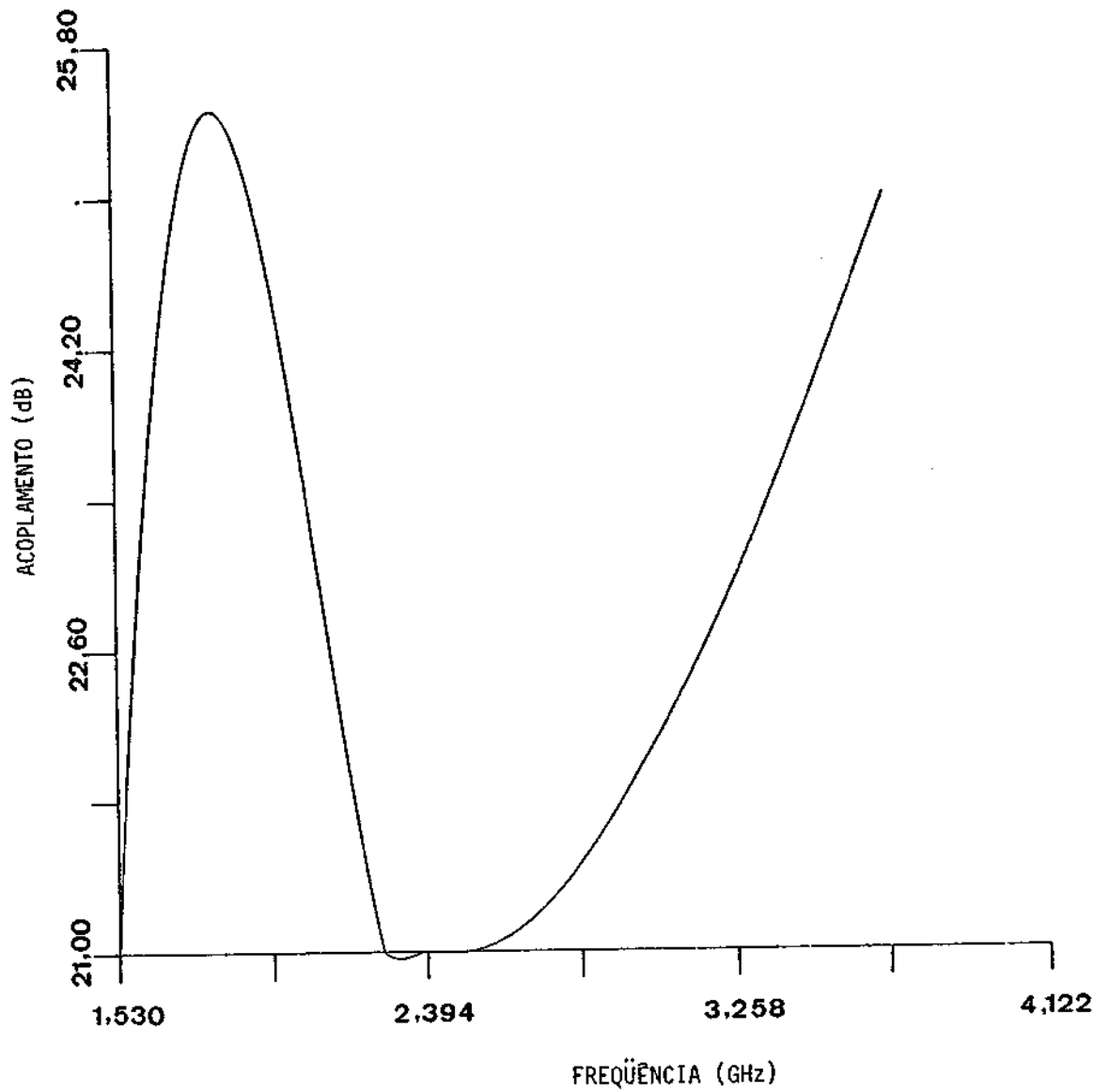


Fig. A.1 - Gráfico do acoplamento versus frequência.

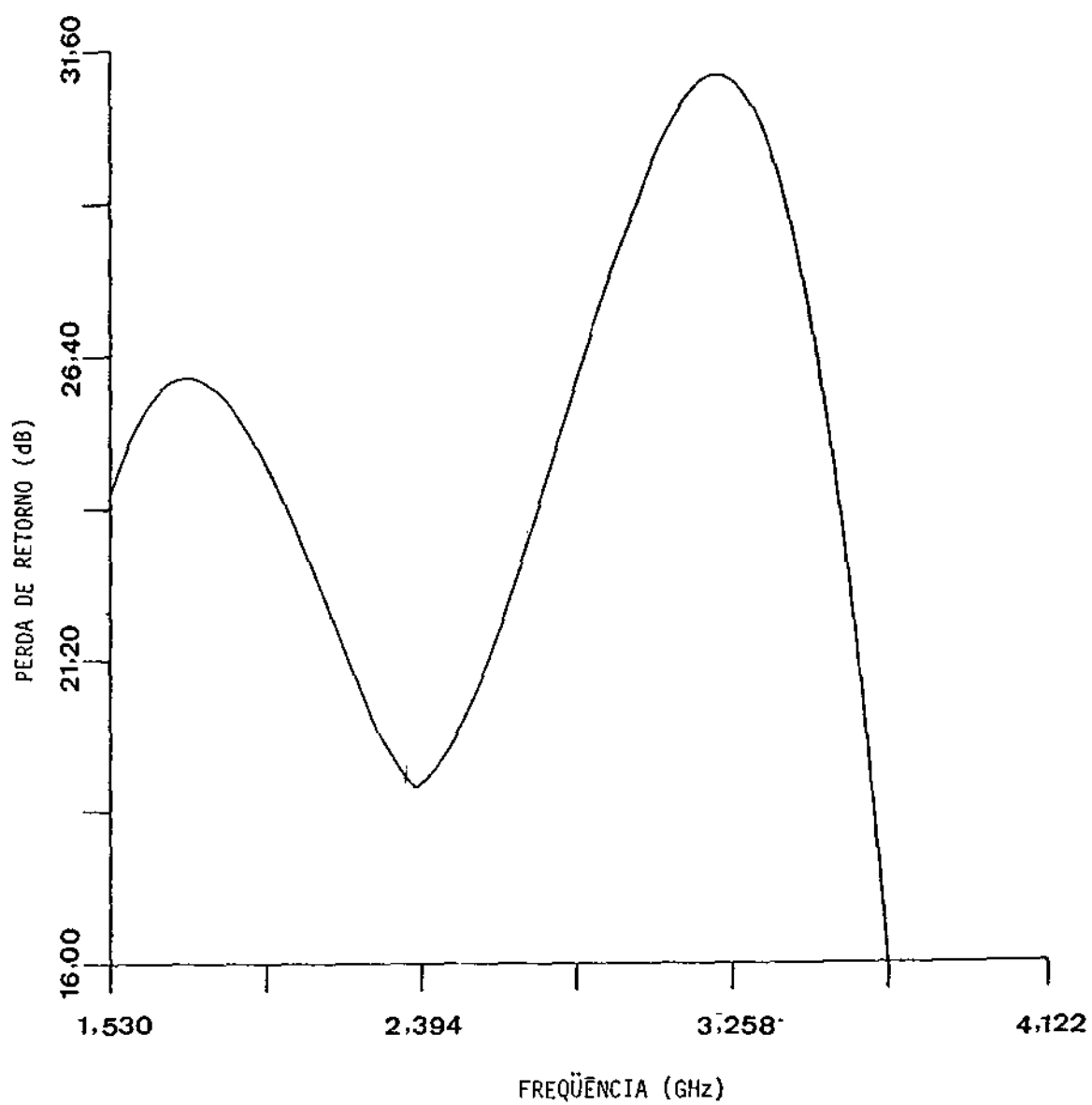


Fig. A.2 - Gráfico da perda de retorno versus frequência.

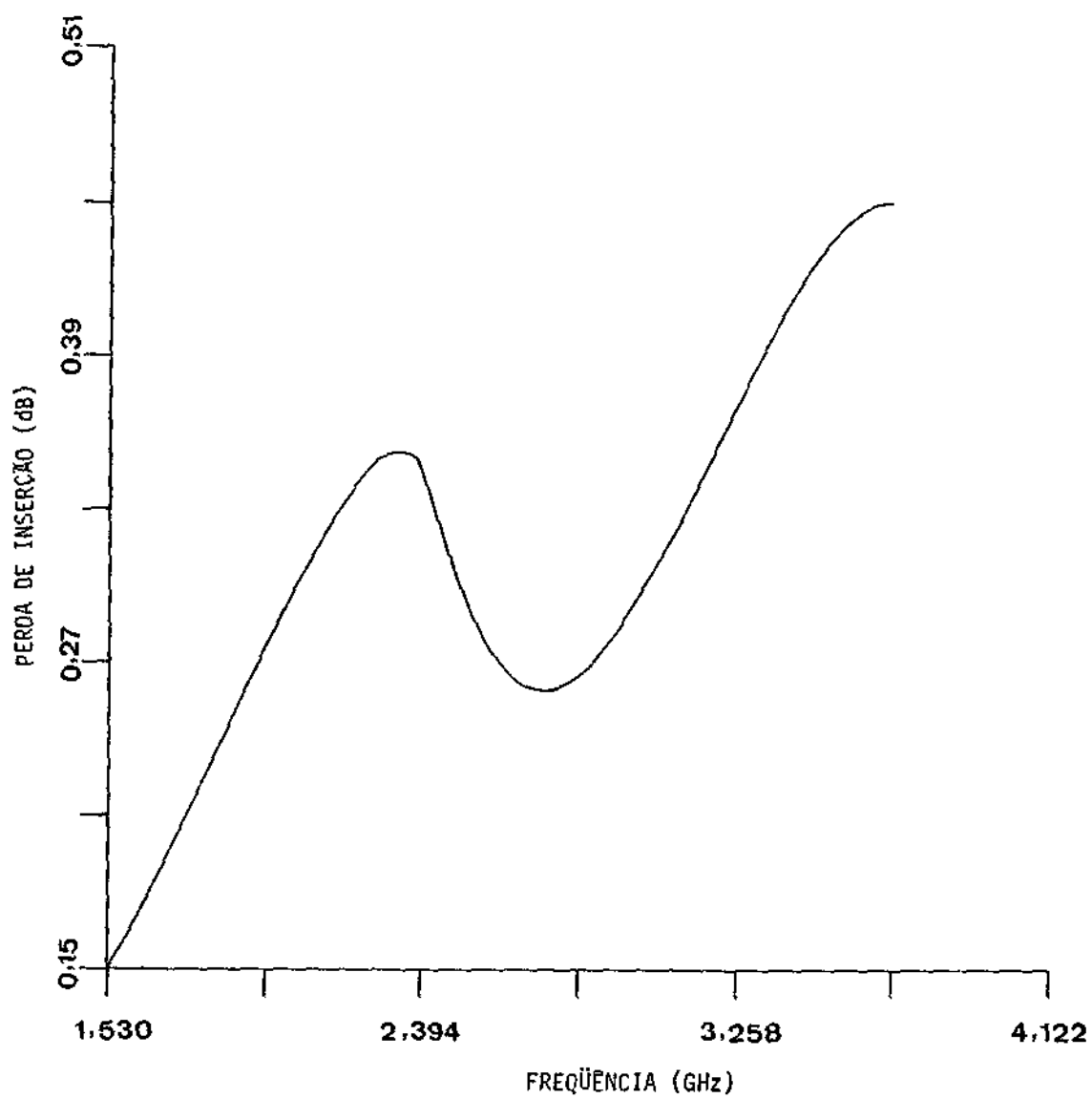


Fig. A.3 - Gráfico da perda de inserção versus frequência.

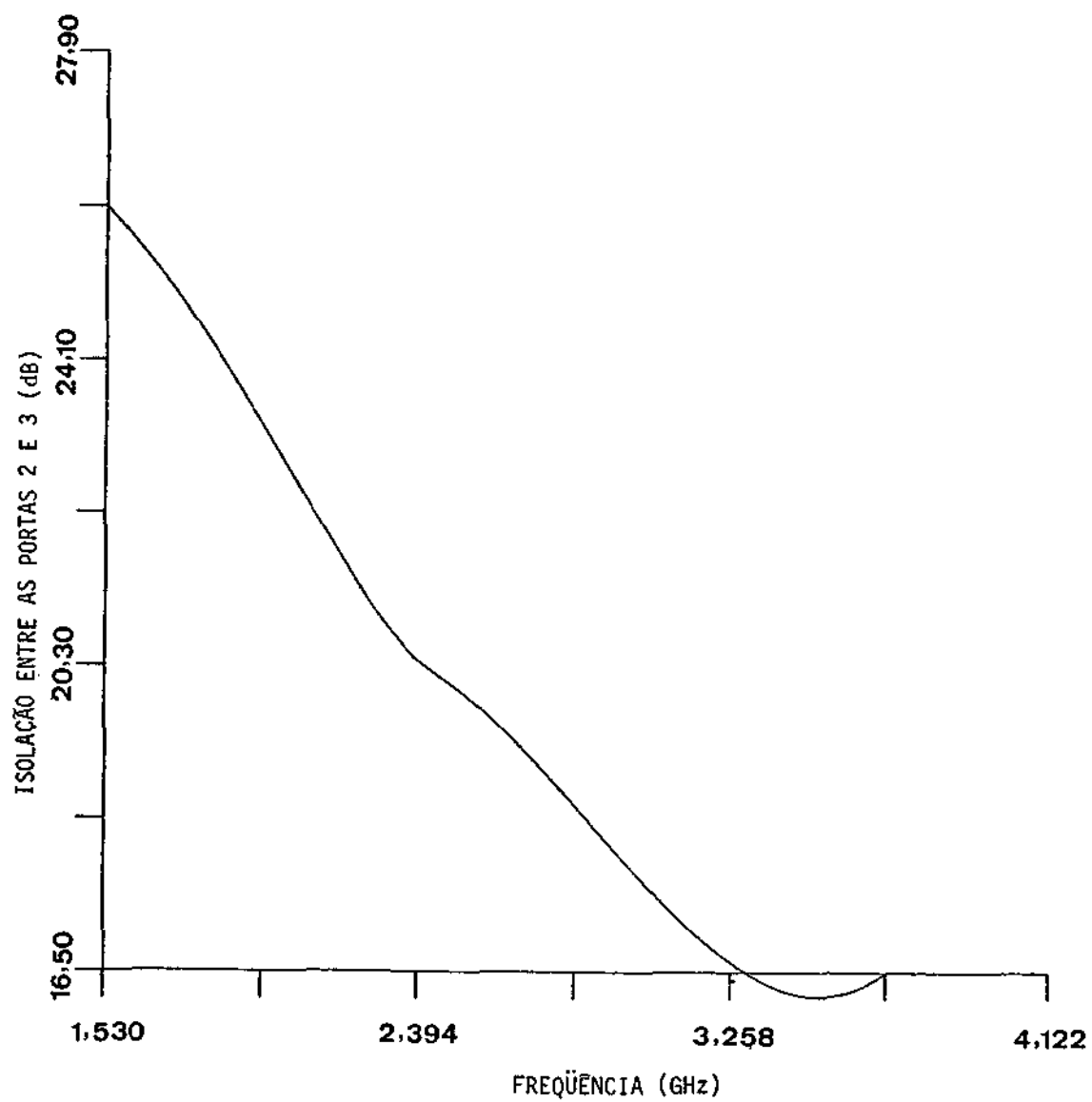


Fig. A.4 - Gráfico da isolamento entre as portas 2 e 3 (dB) versus frequência.

APÊNDICE B

LINHAS "STRIPLINE" ACOPLADAS

B.1 - PROGRAMA FORTRAN PARA CÁLCULO DE ACOPLADORES

```
100 C*****
101 C*
102 C*          PROGRAMA STRIP
103 C*
104 C*          *****
105 C*          * CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS *
106 C*          * EM LINHAS STRIPLINE ACOPLADAS *
107 C*          *****
108 C*
109 C*          INPE = SAO JOSE DOS CAMPOS = 1984/85
110 C*
111 C*****
112
113 FILE 5(KIND=REMOTE,MYUSE=10)
114 FILE 6(KIND=PRINTER)
115
116 C*****
117
118       1 WRITE(5,2)
119       2 FORMAT(1H1,15X,'S CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS S',15X,' S
120         * EM LINHAS STRIPLINE ACOPLADAS      S'////)
121
122       WRITE(5,3)
123       3 FORMAT(12X,'-> PODEM SER USADOS OS SEGUINTE DIELETRICOS :',17
124         *X,'1) RT/DUROID 5880 (H=0.7874, ER=2.2)',17X,'2) RT/DUROID 5880
125         *(H=1.575, ER=2.2)',17X,'3) RT/DUROID 6010 (H=0.635, ER=10.5)',17
126         *X,'4) RT/DUROID 6010 (H=1.27, ER=10.5)',17X,'5) NENHUM DOS ACI
127         *MA',17X,'-> ESCOLHA UMA DAS ALTERNATIVAS ACIMA <',16X,'> DIGI
128         *TANDO O NUMERO CORRESPONDENTE <',17X,'>
129
130       READ(5,/)ESC
131
132       IF(ESC.EQ.5) GO TO 4
133
134 C*****
135
136       CALL DADOS(ESC,ER,H2)
137
138 C*****
139
140       4 WRITE(5,5)
141       5 FORMAT(1H1,16X,'-> ENTRE COM OS SEGUINTE PARAMETROS <',17X,'>
142
143       IF(ESC.LT.5) GO TO 8
144
145       WRITE(5,6)
146       6 FORMAT(14X,' > ER = CONSTANTE DIELETRICA DO SUBSTRATO <',17X,'>
147
148       READ(5,/)ER
149
150       WRITE(5,7)
151       7 FORMAT(17X,' > H2 = ESPESURA DO SUBSTRATO EM MM <',17X,'>
152
153       READ(5,/)H2
154
155       8 WRITE(5,9)
156       9 FORMAT(17X,' > ACP = ACOPLAMENTO DESEJADO EM DB <',17X,'>

```

```

157
158      READ(5,/)ACP
159
160      10 WRITE(5,11)
161      11 FORMAT(15X,' > ZOC = IMPEOANCIA DE ENTRADA DESEJADA <',//)
162
163      READ(5,/)ZOC
164
165      WRITE(5,12)
166      12 FORMAT(17X,' > F = FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHZ <',//)
167
168      READ(5,/)F
169
170      C*****
171
172      H=H2*2.
173      PI=4.*ATAN(1.)
174      PI2=2.*PI
175      PI8=PI/8.
176      PIH=PI/H
177      C4=300./(4.*F)
178
179      C*****
180
181      CALL IMPAC(ACP,ZOC,ZOEC,ZOOC)
182
183      C*****
184
185      CALL SYNTES(ZOEC,ZOOC,ER,PIH,H,W,S)
186
187      C*****
188
189      U1MED=S/2.
190      U2MED=H+U1MED
191
192      ETA=((120.*PI)*SQRT(1./ER))
193
194      C*****
195
196      I=1
197
198      C*****
199
200      13 CALL IMPED(ETA,U1MED,U2MED,PIH,PI2,PI8,ZOEC,ZOOC,ZOE,ZOO)
201
202      C*****
203
204      U22=ABS(ZOE-ZOEC)
205      U11=ABS(ZOO-ZOOC)
206
207      IF(U11=0.00001)14,14,15
208      14 IF(U22=0.00001)16,16,15
209
210      15 U1=(ZOE/ZOEC)*U1MED
211      U2=(ZOO/ZOOC)*U2MED
212
213      U1MED=U1
214      U2MED=U2
215
216      C*****

```

```

217      I=I+1
218
219      IF(I.EQ.1001) GO TO 25
220
221      C*****
222
223      GO TO 13
224
225      16 S=2.*U1MED
226      SH=S/H
227
228      W=U2MED-U1MED
229      WH=W/H
230
231      CACO=((ZOE-ZOO)/(ZOE+ZOO))
232
233      C*****
234
235      WRITE(6,17)
236      17 FORMAT(1H1,/,33X,68('S'),/,33X,'S',66X,'S',/,33X,'S CALCULO DE AC
237      *OPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS STRIPLINE ACOPLADAS S',/,33X,'S',6
238      *6X,'S',/,33X,68('S'),/))
239
240      WRITE(6,18)ACP,ZOC,F
241      18 FORMAT(45X,'ACOPLAMENTO DESEJADO = ',F7.4,1X,'DB',/,45X,'IMPEDANCI
242      *A DE ENTRADA DESEJADA = ',F7.4,1X,'OHMS',/,45X,'FREQUENCIA DE OPER
243      *ACAO = ',F7.4,1X,'GHZ',/))
244
245      WRITE(6,19)ER,W2
246      19 FORMAT(44X,'-> CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO <-',/,57X,'LR
247      * = ',F9.5,/,58X,'H = ',F9.5,1X,'MM',/))
248
249      WRITE(6,20)I,ZOE,ZOO,ZOEC,ZOOC,CACO
250      20 FORMAT(42X,'-> RESULTADOS OBTIDOS APOS ',I4,1X,'ITERACOES <-',/,/,
251      *36X,'ZOE = ',F15.8,14X,'ZOO = ',F15.8,/,36X,'ZOEC = ',F15.8,13X,
252      *'ZOOC = ',F15.8,/,44X,'COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO' = ',F15.8,/)
253
254      WRITE(6,21)W,WH,S,SH,C4
255      21 FORMAT(46X,'-> CARACTERISTICAS DAS LINHAS DE FITA <-',/,47X,'W =
256      *',F15.8,1X,'MM',6X,'W/H = ',F15.8,/,47X,'S = ',F15.8,1X,'MM',6X,
257      *'S/H = ',F15.8,/,51X,'COMPRIMENTO LAMBDA/4 = ',F15.8,1X,'MM',/))
258
259      WRITE(6,22)
260      22 FORMAT(55X,'-> ASPECTO DO ACOPLADOR <-',/)
261
262      WRITE(6,23)
263      23 FORMAT(42X,45(' '),1X,'<',/,60X,'>= S <-',/,51X,9(' '),9X,9(' '),
264      *10X,'2H',/,51X,'>= W <-',9X,'>= W <-',/,42X,45(' '),1X,'<',/)
265
266      WRITE(6,24)
267      24 FORMAT(70X,'STRIP = MVST/1984/85',/)
268
269      GO TO 27
270
271      C*****
272
273      25 WRITE(5,26)
274      26 FORMAT(1H1,/,13X,'-> NAO CONVERGIU COM 1000 ITERACOES <-',/)
275
276

```

```

277      27 WRITE(5,28)
278      28 FORMAT(///,12X,'> PARA UMA NOVA EXECUCAO DO PROGRAMA DIGITE 1 <',/
279      *,19X,'> PARA TERMINAR DIGITE 2 <',//)
280
281      READ(5,/)TERM
282
283      IF(TERM.EQ.1) GO TO 1
284
285      WRITE(5,29)
286      29 FORMAT(1H1,14('#'),12X,'FIM DA EXECUCAO',12X,14('#'),//)
287
288      STOP
289      END
290
291      C*****
292
293      SUBROUTINE DADOS(ESC,ER,H)
294
295      C*****
296      C*
297      C*          SUBROTINA DADOS
298      C*
299      C*          ESTA SUBROTINA FORNECE OS PARAMETROS ER E H
300      C*          DOS DIELETRICOS DA RT/DUROID DISPONIVEIS NO INPE
301      C*
302      C*****
303
304      IF(ESC.EQ.1) GO TO 1
305
306      IF(ESC.EQ.2) GO TO 2
307
308      IF(ESC.EQ.3) GO TO 3
309
310      IF(ESC.EQ.4) GO TO 4
311
312      C*****
313
314      C* 1) RT/DUROID 5880 H=0.031"
315
316      1 ER=2.2
317      H=0.7874
318
319      GO TO 5
320
321      C*****
322
323      C* 2) RT/DUROID 5880 H=0.062"
324
325      2 ER=2.2
326      H=1.575
327
328      GO TO 5
329
330      C*****
331
332      C* 3) RT/DUROID 6010 H=0.025"
333
334      3 ER=10.5
335      H=0.635
336

```

```

337      GO TO 5
338
339      C*****
340
341      C* 4) RT/DUROID 6010 H=0.050"
342
343      4 ER=10.5
344      H=1.27
345
346      5 RETURN
347      END
348
349      C*****
350
351      SUBROUTINE IMPAC(ACP,ZOC,ZOEC,ZOOC)
352
353      C*****
354      C*
355      C*          SUBROTINA IMPAC
356      C*
357      C*          ESTA SUBROTINA CALCULA AS IMPEDANCIAS
358      C*          DOS MODOS PAR E IMPAR EM FUNCAO DO ACOMPLAMENTO DESEJADO
359      C*
360      C*****
361
362      ACO=10.**(ACP/(-20.))
363
364      ZOEC=ZOC*SQRT((1.+ACO)/(1.-ACO))
365      ZOOC=ZOC*SQRT((1.-ACO)/(1.+ACO))
366
367      RETURN
368      END
369
370      C*****
371
372      SUBROUTINE SYNTES(ZOEC,ZOOC,ER,PI,H,N,SJ)
373
374      C*****
375      C*
376      C*          SUBROTINA SYNTES
377      C*
378      C*          ESTA SUBROTINA CALCULA NUMA PRIMEIRA APROXIMACAO
379      C*          OS VALORES DOS PARAMETROS n E S
380      C*
381      C*****
382
383      X=(ZOEC*SQRT(ER))/(30.*PI)
384
385      IF(X.LE.1) GO TO 6
386
387      EKE=SQRT(1.-((EXP(PI*X)-2.)/(EXP(PI*X)+2.))**4.)
388
389      GO TO 7
390
391      6 EKE=((EXP(PI/X)-2.)/(EXP(PI/X)+2.))**2.
392
393      7 X1=(ZOOC*SQRT(ER))/(30.*PI)
394
395      IF(X1.LE.1) GO TO 8
396

```

```

397      EKO=SQRT(1.-((EXP(PI*X1)-2.)/(EXP(PI*X1)+2.))*4.)
398
399      GO TO 9
400
401      B EKO=((EXP(PI/X1)-2.)/(EXP(PI/X1)+2.))*2.
402
403      9 H=((2./PI)*ATAN(SQRT(EKE*FKO)))*H
404      S=((2./PI)*ATAN(((1.-EKO)/(1.+EKE))*SQRT(EKE/EKO)))*H
405
406      RETURN
407      END
408
409      C*****
410
411      SUBROUTINE IMPED(ETA,U1,U2,PH,P2,P8,ZOEL,ZOOC,ZOE,ZOO)
412
413      C*****
414      C*
415      C*              SUBROTINA IMPED
416      C*
417      C*              ESTA SUBROTINA CALCULA AS IMPELNCIAS
418      C*              DOS MODOS PAR E IMPAR
419      C*              DA LINHA STRIPLINE ACOPLADA
420      C*
421      C*****
422
423      ETA4=ETA/4.
424
425      PHU1=PH*U1
426      PHU2=PH*U2
427
428      COS1=SQRT((COSH(PHU2))/(COSH(PHU1)))
429
430      IF(ZOEL.LE.ETA4) GO TO 10
431
432      COS2=(COS1+1.)
433      COS3=(COS1-1.)
434
435      ZOE=(ETA/P2)*ALOG(2.*((COS2)/(COS3)))
436
437      GO TO 11
438
439      10 ZOE=(ETA*P8)/(ALOG(2.*COS1))
440
441      11 SIN1=SQRT((SINH(PHU2))/(SINH(PHU1)))
442
443      IF(ZOOC.LE.ETA4) GO TO 12
444
445      SIN2=(SIN1)+1.
446      SIN3=(SIN1)-1.
447
448      ZOO=(ETA/P2)*ALOG(2.*((SIN2)/(SIN3)))
449
450      GO TO 13
451
452      12 ZOO=(ETA*P8)/(ALOG(2.*SIN1))
453
454      13 RETURN
455      END
456
457      C*****
458      C*
459      C*              MARCUS VINICIUS SANI'ANA TORRES - ESTAGIARIO
460      C*
461      C*****

```

B.2 - COMO USAR O PROGRAMA

Os dados de entrada são solicitados pelo terminal como exposto a seguir:

ESC - Escolha de um dos dielétricos da RT/DUROID disponíveis no INPE. Permite também que seja escolhido um outro dielétrico qualquer.

Têm-se cinco opções a saber:

- de 1 a 4 - dielétricos RT/DUROID,
- 5 - qualquer dielétrico.

Caso seja escolhida uma opção de 1 a 4, uma sub-rotina fornecerá automaticamente, de acordo com a opção, os seguintes parâmetros:

ER - constante dielétrica relativa do substrato escolhido,

H2 - espessura do substrato escolhido em mm.

A solicitação de dados continua com:

ACP - Acoplamento desejado em dB.

Z_{0C} - Impedância de entrada e saída desejada para o acoplador (em Ω).

TERM - Possibilita nova execução do programa (1) ou termina-a (2).

O formato de entrada dos dados é livre.

* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS *
* EM LINHAS STRIPLINE ACOPLADAS *
*

=> PODER SER USADOS OS SEGUINTE S DIELETRICOS :

- 1) RT/DURDIO 5880 (H=0.7874, ER=2.2)
- 2) RT/DURDIO 5880 (H=1.575, ER=2.2)
- 3) RT/DURDIO 5015 (H=0.635, ER=10.5)
- 4) RT/DURDIO 5015 (H=1.27, ER=10.5)
- 5) VETLON DGS ACTM4

> ESCOLHA UMA DAS ALTERNATIVAS ACIMA <
> DIGITANDO O NUMERO CORRESPONDENTE <

E

=> ENTRE COM OS SEGUINTE S PARAMETROS <=

> ACP = ACOPLAMENTO DESEJADO EM DB <

SE

> ZIC = IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA <

ER

> F = FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHZ <

E.27E

> PARA UMA NOVA EXECUCAO DO PROGRAMA DIGITE 1 <
> PARA TERMINAR DIGITE 2 <

:

#####

FIM DA EXECUCAO

#####

B.3 - EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO

```

#####*#####
$
$ CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS STRIPLINE ACOPLADAS $
$
#####

```

ACOPLAMENTO DESEJADO = 20.0000 DB
 IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.0000 OHMS
 FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.2750 GHZ

=> CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO <=

E_r = 2.20000
 h = 0.78740 MM

=> RESULTADOS OBTIDOS APOS 51 ITERACOES <=

ZOE = 55.27707158 ZOD = 45.22669537
 ZOEC = 55.27707984 ZOOC = 45.22670169

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.10000000

=> CARACTERISTICAS DAS LINHAS DE FITA <=

W = 1.47671815 MM W/H = 0.81071765
 S = 0.46104366 MM S/H = 0.30546334
 COMPRIMENTO LAMBDA/4 = .32967033E+02 MM

=> ASPECTO DO ACOPLADOR <=

```

-----> S <-----
      -----
      >= W <=      >= W <=
-----<

```

2H

STRIP = MVST/1984/85



APÊNDICE C

LINHAS "BROADSIDE" ACOPLADAS

C.1 - PROGRAMA FORTRAN PARA CÁLCULO DE ACOPLADORES

```

100 C*****
101 C*
102 C*          - PROGRAMA ACBROAD -
103 C*
104 C*          #####
105 C*          # CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE #
106 C*          # PARA QUALQUER COMBINACAO DE DIELETRICOS DE MESMO ER. #
107 C*          # UTILIZA ARQUIVOS DE DADOS #
108 C*          #####
109 C*
110 C*          INPE - SAO JOSE DOS CAMPOS - 1984/85
111 C*
112 C*****
113
114 FILE 5(KIND=REMOTE,MYUSE=10)
115 FILE 6(KIND=PRINTER)
116 FILE 7(KIND=DISK, FILETYPE=7,TITLE="DABROAD5")
117
118 DIMENSION AG(1),EX(1)
119
120 C*****
121 C*
122 C*          # ENTRADA DE DADOS #
123
124 1 WRITE(5,2)
125 2 FORMAT(1H1,2X,59('*'),/,3X,*,* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS E
126 *N LINHAS BROADSIDE *,/,3X,59('*'),///)
127
128 WRITE(5,3)
129 3 FORMAT(15X,*ENTRE COM OS SEGUINTES PARAMETROS :*,///)
130
131 WRITE(5,4)
132 4 FORMAT(14X,*ZOC - IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA*,///)
133
134 READ(5,/)ZOC
135
136 WRITE(5,5)
137 5 FORMAT(15X,*F - FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHZ*,///)
138
139 READ(5,/)F
140
141 WRITE(5,6)
142 6 FORMAT(13X,*ER - CONSTANTE DIELETRICA DO SUBSTRATO*,///)
143
144 READ(5,/)ER
145
146 WRITE(5,7)
147 7 FORMAT(18X,*NDADOS - NUMERO DE DADOS*,//)
148
149 READ(5,/)NDADOS
150
151 J=1
152
153 DO 25 I=1,NDADOS
154
155 READ(7,/)S,B,SB
156

```

```

157 C*****
158 C*
159 C*          # INICIALIZACAO DA ITERACAO #
160
161      PI=4.*ATAN(1.)
162      CI=0.0
163      CF=0.9
164      8 CM=(CI+CF)/2.
165
166 C*****
167 C*
168 C*          # CALCULOS #
169
170      AAK=((60.*PI)/(ZOC*SQRT(ER)))*SQRT((1.-CM)/(1.+CM))
171
172      IF(AAK.LE.1.) GO TO 9
173
174      EK=((0.5*EXP(PI*AAK)-1.)/(0.5*EXP(PI*AAK)+1.))*2.
175
176      GO TO 10
177
178      9 EK=SQRT(1.-((0.5*EXP(PI*(1./AAK))-1.)/(0.5*EXP(PI*(1./AAK))+
179      *1.))*4.))
180
181      10 A=0.0017*ZOC*SQRT(ER)*ALOG((1.+EK)/(1.-EK))
182
183      SBI=A*SQRT((1.-CM)/(1.+CM))
184
185      IF(ABS(SBI-SB).LT.0.000001) GO TO 12
186
187      IF(SBI.LT.SB) GO TO 11
188
189      CI=CM
190      GO TO 8
191
192      11 CF=CM
193      GO TO 8
194
195      12 R=SQRT((EK*(1./SBI)-1.)/((1./EK)*(1./SBI))-1.))
196
197      WB=(1./PI)*(ALOG((1.+R)/(1.-R))-SBI*ALOG((1.+(R/EK))/
198      *(1.-(R/EK))))
199
200      ZOO=ZOC*SQRT((1.-CM)/(1.+CM))
201
202      ZOE=ZOC*SQRT((1.+CM)/(1.-CM))
203
204      W=WB*B
205      CDB=-(ZO.*ALOG10(CM))
206      C4=300./(4.*F)
207
208 C*****
209 C*
210 C*          # SAIDA DOS RESULTADOS VIA TERMINAL #
211
212      WRITE(5,13)ER,S,B,SB,WB,CDB,F,C4,J
213      13 FORMAT(1H1,25X,' : DADOS E RESULTADOS :',//,29X,'ER = ',F9.5,/,30X
214      *,',S = ',F9.5,1X,'*MM',/,30X,'B = ',F9.5,1X,'*MM',/,29X,'S/B = ',F9.5,
215      *,/,29X,'W/B = ',F9.5,/,29X,'CDB = ',F9.5,1X,'DB',/,30X,'F = ',F9.5
216      *,1X,'GHZ',/,30X,'L = ',E15.8,1X,'*MM',/,29X,'COMBINACAO',13,/)

```

```

217
218 C*****
219
220 WRITE(5,14)
221 14 FORMAT(27X,'QUER A LISTAGEM ? - (S/N)',///)
222
223 READ(5,15) AG(1)
224 15 FORMAT(A1)
225
226 IF(AG(1).EQ.1HS)GO TO 16
227
228 GO TO 25
229
230 C*****
231 C*
232 C* # SAIDA DOS RESULTADOS VIA IMPRESSORA #
233 C*
234 16 WRITE(6,17)
235 17 FORMAT(1H1,//////,36X,59(' '),//,36X,'*',57X,'*',//,36X,'* CALCULO
236 *DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE *',//,36X,'*',57X,
237 *',//,36X,59(' '),///)
238
239 WRITE(6,18)ER,S
240 18 FORMAT(41X,'CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S',//,46X,
241 *'ER = ',F9.5,6X,'H = ',F9.5,///)
242
243 WRITE(6,19)Z0C,F
244 19 FORMAT(42X,'IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = ',F9.5,1X,'OHMS',//,
245 *42X,'FREQUENCIA DE OPERACAO = ',F15.8,1X,'GHZ',///)
246
247
248 WRITE(6,20)Z0E,Z0D
249 20 FORMAT(53X,'RESULTADOS OBTIDOS :',//,50X,'*Z0E = ',F15.8,1X,'OHMS',
250 *',50X,'*Z0D = ',F15.8,1X,'OHMS',///)
251
252 WRITE(6,21)CM
253 21 FORMAT(41X,'COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = ',F15.9,///)
254
255 WRITE(6,22)J,W,WB,S,SB,C4,J
256 22 FORMAT(52X,'CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :',//,47X,'ESPESURA TOTA
257 *L = ',F15.9,1X,'MM',//,40X,'W = ',F15.9,1X,'MM',10X,'W/B = ',F15.9,
258 *',40X,'S = ',F15.9,1X,'MM',10X,'S/B = ',F15.9,//,46X,'COMPRIMENTO
259 * (LAMBDA/4) = ',E15.8,1X,'MM',//,50X,'COMBINACAO NUMERO',13,///)
260
261 WRITE(6,23)CDB
262 23 FORMAT(56X,'ACOPLAMENTO POSSIVEL',//,54X,'CDB = ',F15.9,1X,'DB',//
263 *//)
264
265 WRITE(6,24)
266 24 FORMAT(70X,'ACERDAD - MVST/1984/85',///)
267
268 C*****
269
270 25 J=J+1
271
272 CONTINUE
273
274 STOP
275 END
276
277 C*****
278 C*
279 C* MARCUS VINICIUS SANT'ANA TORRES - ESTAGIARIO
280 C*
281 C*****

```

C.2 - COMO USAR O PROGRAMA

Este programa utiliza arquivos de dados onde devem estar os parâmetros S e B nesta ordem (ver arquivos de dados disponíveis).

Os demais dados de entrada são solicitados como se segue:

ZOC - Impedância de entrada e saída desejada para o acoplador (em Ω).

F - Frequência de operação (em GHz).

ER - Constante dielétrica relativa do substrato.

NDADOS - Número de dados existentes no arquivo utilizado.

AG(1) - Permite que se tenha a listagem de uma execução (S) ou não (N).

O formato de entrada dos dados via terminal é livre.

* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LFIJAS BROADSIDE *

ENTRE CUJOS SEGUINTE PARÂMETROS :

Z₀ = IMPEDÂNCIA DE ENTRADA DESEJADA

50

F = FREQUENCIA DE OPERACAO EM GHz

2.27

ER = CONSTANTE DIELETRICA DO SUBSTRATO

2.28

N_{DADOS} = NUMERO DE DADOS

1

! DADOS E RESULTADOS :

ER = 2.20000
S = 0.5030⁻³ MM
J = 1.0150⁻³ MM
S/2 = 0.3330⁻³
W/R = 0.63644
COR = 1.3511⁻² DB
F = 2.2750⁻¹ GHz
L = 0.32057⁻³33E+10 MM
COMBINACAO 1

QUER A LISTAGEM ? = (S/N)

1.

C.3 - ARQUIVOS DE DADOS DISPONÍVEIS

Têm-se três arquivos de dados que podem ser usados no cálculo de acopladores direcionais em linhas "BROADSIDE":

- 1) DABROAD3,
- 2) DABROAD4,
- 3) DABROAD5.

Estes arquivos de dados contêm as diversas combinações de dielétricos DI-CLAD de mesmo ϵ_r e espessuras diferentes fabricados pela Keene Corporation, sendo a ordem dos dados a seguinte:

S, B .

C.3.1 - DIELÉTRICOS DI-CLAD USADOS NOS ARQUIVOS DE DADOS DO PROGRAMA ACBROAD

1) *Arquivo DABROAD3* $\epsilon_r = 2,20$

1.1 - 880 B 010 44 20

H = 0,010" = 0,254 mm.

1.2 - 880 B 020 44 20

H = 0,020" = 0,508 mm.

1.3 - 880 B 030 44 20

H = 0,030" = 0,762 mm.

1.4 - 880 B 060 44 20

H = 0,060" = 1,520 mm.

WORKFILE: DABROAD3 (06/12/85)

100	0.51801.01160
200	0.76201.02700
300	1.52002.03300
400	0.25401.02700
500	0.76201.02700
600	1.52002.05300
700	0.25401.02700
800	0.51802.03300
900	1.52003.04400
1000	0.25403.02940
1100	0.51803.03200
1200	0.76203.04400

2) Arquivo DABROAD4 $\epsilon_r = 2,33$

2.1 - 870 B 010 44 33

H = 0,010" = 0,254 mm.

2.2 - 870 B 020 44 33

H = 0,020" = 0,508 mm.

2.3 - 870 B 030 44 33

H = 0,030" = 0,762 mm.

2.4 - 870 B 060 44 33

H = 0,060" = 1,520 mm.

WORKFILE: DABROAD4 (06/12/85)

100	1.52001.01160
200	1.76201.02700
300	1.52002.03300
400	1.25401.02700
500	1.76201.02700
600	1.52002.05300
700	1.25401.02700
800	1.52002.03300
900	1.52003.04400
1000	1.25403.02940
1100	1.52003.03300
1200	1.76203.03300

3) *Arquivo DABROAD5* $\varepsilon_r = 2,55$

3.1 - 522 T 031 11 55

$H = 0,031" = 0,787 \text{ mm.}$

3.2 - 522 T 062 11 55

$H = 0,062" = 1,575 \text{ mm.}$

3.3 - 522 T 125 11 55

$H = 0,125" = 3,175 \text{ mm.}$

3.4 - 527 B 030 11 55

$H = 0,030" = 0,762 \text{ mm.}$

3.5 - 527 B 060 55 55

$H = 0,060" = 1,520 \text{ mm.}$

WLPKFILE8 DABROAD5 (06/12/85)

100	1.575,3.149,
200	3.175,4.749,
300	1.742,2.336,
400	1.520,3.044,
500	1.747,3.037,
600	3.175,6.325,
700	1.742,3.912,
800	1.520,4.620,
900	1.747,7.137,
1000	1.575,7.925,
1100	1.742,7.112,
1200	1.520,7.370,
1300	1.747,2.311,
1400	1.575,3.044,
1500	3.175,4.639,
1600	1.520,3.044,
1700	1.747,3.027,
1800	1.575,4.615,
1900	3.175,6.215,
2000	1.520,3.532,
2100	1.747,2.361,
2200	1.575,4.725,
2300	3.175,9.525,
2400	1.742,2.236,
2500	1.520,4.550,

C.4 - EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

```
*****
*
*  CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE  *
*
*****
```

CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S

ER = 2.20000 H = 0.25400

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500000 GHZ

RESULTADOS OBTIDOS :

ZDE = 133.02418471 OHMS
Z00 = 18.79357506 OHMS

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.752419281

CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :

ESPESSURA TOTAL = 3.294000000 MM

W = 1.291426463 MM W/B = 0.392054170

S = 0.254000000 MM S/B = 0.077000000

COMPRIMENTO (LAMBDA/4) = .32967033E+02 MM

COMBINACAO NUMERO 10

ACOPLAMENTO POSSIVEL

CDB = 2.470801680 DB

ACORDAD - MVST/1984/85

*
* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE *
*

CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S

ER = 2.33000 H = 0.25400

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500000 GHZ

RESULTADOS OBTIDOS :

ZOE = 131.91378573 OHMS
ZOB = 18.95177207 OHMS

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.748759460

CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :

ESPESSURA TOTAL = 3.294000000 MM

W = 1.234648131 MM W/B = 0.374817283

S = 0.254000000 MM S/B = 0.077000000

COMPRIMENTO (LAMBDA/4) = .32967033E+02 MM

COMBINACAO NUMERO 10

ACOPLAMENTO POSSIVEL

CDB = 2.513153547 DB

ACBROAD - MVST/1984/85

```
*****
*
*  CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE  *
*
*****
```

CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S

ER = 2.20000 H = 0.50800

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500000 GHz

RESULTADOS OBTIDOS :

ZOE = 106.49060417 OHMS
ZOO = 23.47624957 OHMS

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.638734818

CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :

ESPESSURA TOTAL = 3.620000000 MM

W =	1.878692377 MM	W/B =	0.518975795
S =	0.508000000 MM	S/B =	0.140000000

COMPRIMENTO (LAMBDA/4) = .32967033E+02 MM

COMBINACAO NUMERO 11

ACOPLAMENTO POSSIVEL

CDB = 3.893588195 DB

ACBROAD - MVST/1984/85

*
* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE *
*

CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S

ER = 2.20000 H = 0.25400

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500000 GHZ

RESULTADOS OBTIDOS :

ZOE = 105.61695240 OHMS
ZOO = 23.67044251 OHMS

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.633832169

CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :

ESPESSURA TOTAL = 1.778000000 MM
W = 0.930606972 MM W/B = 0.523400997
S = 0.254000000 MM S/B = 0.143000000
COMPRIMENTO (LAMBDA/4) = .32967033E+02 MM
COMBINACAO NUMERO 7

ACOPLAMENTO POSSIVEL

CDB = 3.960514461 DB

ACBROAD - MVST/1984/85

*
* CALCULO DE ACOPLADORES DIRECIONAIS EM LINHAS BROADSIDE *
*

CARACTERISTICAS DO DIELETRICO USADO PARA S

ER = 2.33000 H = 0.50800

IMPEDANCIA DE ENTRADA DESEJADA = 50.00000 OHMS
FREQUENCIA DE OPERACAO = 2.27500000 GHZ

RESULTADOS OBTIDOS :

ZOE = 104.93704460 OHMS
ZOO = 23.82380798 OHMS

COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO = 0.629952621

CARACTERISTICAS DO ACOPLADOR :

ESPESSURA TOTAL = 3.548000000 MM

W = 1.777181718 MM W/B = 0.500896764

S = 0.508000000 MM S/B = 0.143000000

COMPRIMENTO (LAMBDA/4) = .32967033E+02 MM

COMBINACAO NUMERO 11

ACOPLAMENTO POSSIVEL

CDB = 4.013842249 DB

ACBROAD - MVST/1984/85