

# Contrôle de Divisão de Potência em um Acoplador Direcional para RF de Alta Potência

M. V. Figueredo, M. N. Martins, J. Takahashi

Laboratório do Acelerador Linear  
 Instituto de Física, Universidade de São Paulo  
 CP 66318, 05315-970, São Paulo - SP, Brasil

Recebido em 4 de maio 1998

Construímos um acoplador direcional de 3 dB para microondas de alta potência e frequência de 2,45 GHz. Além da boa performance, quantificada pela taxa de onda estacionária e divisão de potência, o acoplador tem, como característica significativa, o ajuste da divisão de potência através de um único parâmetro, um domo capacitivo na região de acoplamento. Tal método de sintonia torna viável a fabricação de vários acopladores com boa reprodutibilidade no desempenho.

## I Introdução

Acopladores direcionais são componentes que, como o próprio nome sugere, acoplam um sinal, no caso eletromagnético, que se propaga por um canal (cabo coaxial, fibra ótica, guias de ondas retangulares ou circulares, etc.) a um outro canal do mesmo tipo. Esses componentes encontram grande aplicação na faixa de microondas (telecomunicações, radares, etc.) [1, 2]

Para microondas de alta potência, vários componentes são construídos a partir de acopladores direcionais de 3 dB em guia de onda [3]. Em tais projetos este dispositivo deve possuir 4 portas (com 4 flanges independentes para a adaptação das guias de onda) e ter comportamento simétrico em relação a suas portas. Seu funcionamento deve ser, simplificadamente, o seguinte, conforme a Fig. 1: quando um sinal entra pela porta 1 tem-se dois sinais que saem pelas portas 2 e 4, possuindo a mesma amplitude mas defasados de  $90^\circ$ . Na porta 3 nenhum sinal deve sair. Como o componente é passivo e sem perdas, a soma das potências incidentes é igual a soma das potências emergentes.

## II O projeto do acoplador

Em nosso trabalho optamos por fazer um estudo fenomenológico dos parâmetros relevantes na geometria do acoplador, de forma a conseguir um protótipo que apresentasse características próximas do acoplador

ideal [4]. O ponto de partida foi o acoplador direcional com acoplamento lateral, *sidewall coupler*. Este tipo de acoplador tem seu princípio de funcionamento baseado na interferência de dois modos de propagação de ondas eletromagnéticas ( $TE_{10}$  e  $TE_{20}$ ), em uma região de acoplamento entre um guia principal e outro secundário.

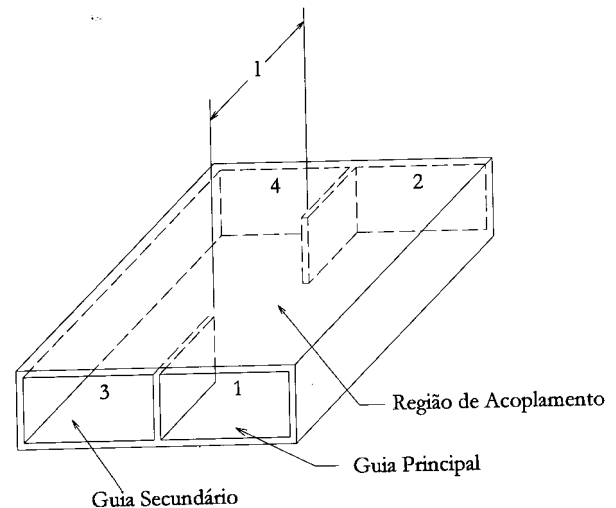


Figura 1. Guias de onda, principal (portas 1 e 2) e secundário (portas 3 e 4), com região de acoplamento.

Na Fig. 1 temos dois guias retangulares, guia principal e secundário, com uma região de acoplamento em comum; vamos considerar que as portas 2, 3 e 4 estão casadas, e que na porta 1 é injetada uma onda  $TE_{10}$ ; ao chegar à região de acoplamento, a onda  $TE_{10}$  (definida

para as dimensões do guia principal), irá encontrar uma largura diferente daquela da guia principal. Tal largura permitirá a propagação de dois modos, definidos para a largura da região de acoplamento: o modo  $TE_{10}$  e modo  $TE_{20}$ . Na região de acoplamento estes modos irão se sobrepor, conforme está representado na Fig. 2; podemos imaginar como um fenômeno de interferência entre os comprimentos de onda guiados correspondentes a cada um dos modos, vide Fig. 3.

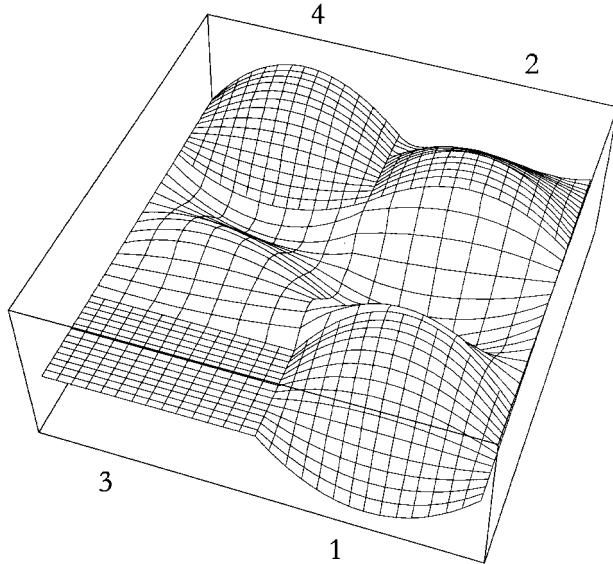


Figura 2. Sobreposição dos modos  $TE_{10}$  e  $TE_{20}$  nos guias principal (portas 1 e 2), secundário (portas 3 e 4) e região de acoplamento.

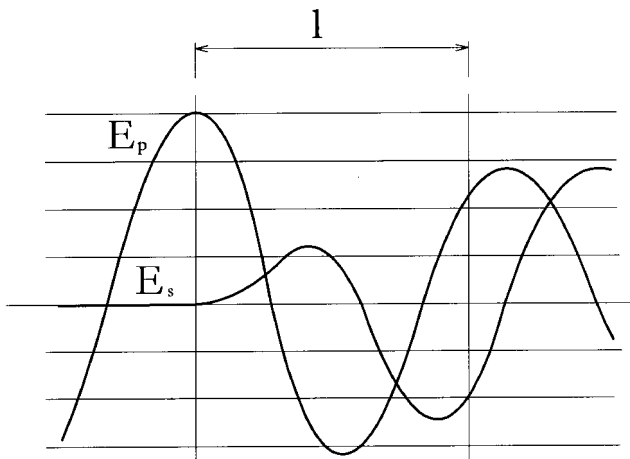


Figura 3. Gráfico representando os valores do vetor campo elétrico ao longo do centro dos guias principal e secundário,  $E_p$  e  $E_s$  respectivamente.

A partir deste princípio (simplificado), e de nossas exigências específicas para o acoplador (construção de atenuadores e defasadores), foi feito o es-

tudo fenomenológico (utilizando um acoplador com dimensões variáveis) da correlação entre os parâmetros geométricos e o desempenho do acoplador. Este último é avaliado através da medida da taxa de onda estacionária (TOE) e divisão de potência. No caso da configuração esquematizada na Fig. 1, a TOE é aquela medida na porta 1, estando as demais casadas; e a divisão de potência é a relação entre as potências dos sinais que saem pelas portas 2 e 4, que designaremos por  $P_A/P_B$ . Para compensar as reflexões do modo  $TE_{10}$  nas bordas da região de acoplamento coloca-se um domo capacitivo no centro da mesma. No princípio de funcionamento simplificado, a parede que separa o guia principal do secundário tem espessura desprezível, não gerando as reflexões do modo  $TE_{10}$ . O modo  $TE_{20}$  é pouco afetado por estas bordas, o que pode ser explicado pelo fato deste modo ter campo elétrico nulo ao longo do centro da região de acoplamento, o que não ocorre com o modo  $TE_{10}$ .

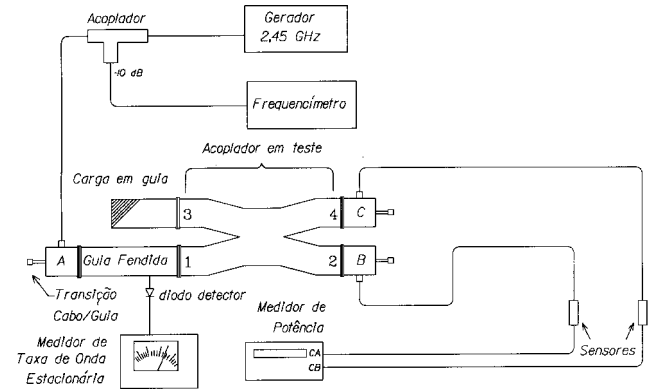


Figura 4. Arranjo experimental para medidas da divisão de potência (entre as portas 2 e 4) e TOE, na porta de entrada 1.

Como resultado do estudo dos parâmetros estabelecemos a correlação entre o comprimento da região de acoplamento (dimensão  $l$  das Figs. 1, 2 e 3) e a altura do domo capacitivo (que designaremos por  $h$ ) com as medidas de TOE e  $P_A/P_B$ . A Fig. 4 esquematiza uma montagem em que um sinal que entra pela porta 1, onde tem sua TOE medida, é detectado nas portas 2 e 4 através de sensores ligados a um medidor de potência, nos canais CA e CB, e é absorvido na porta 3 por uma carga casada. Na Fig. 5 está representada a divisão de potência,  $P_A/P_B$ , em função dos parâmetros  $l$  e  $h$ . Na Fig. 6 está representada a TOE também em função de  $l$  e  $h$ . A Fig. 7 é uma representação de dois gráficos: a partir do gráfico 5 projeta-se uma curva de nível onde  $P_A/P_B=1$ ; do gráfico 6

projetam-se várias curvas de nível para diferentes valores de TOE. Estes resultados, mostrados na Fig. 7, nos indicam que existe uma configuração onde  $P_A/P_B=1$  e a TOE é mínima. Como o acoplador deve permitir uma sintonia fina depois de montado, optamos por escolher uma dimensão para  $l$  que possibilite, pela variação de  $h$ , encontrar a melhor configuração, ou seja,  $l$  é fixo e a sintonia fina é feita através de um valor adequado de  $h$ . Observando a Fig. 7 nota-se que, para  $l=11,37\text{cm}$ , a função  $\text{TOE}(l, h)$  apresenta um vale. Dessa forma, a variação de  $h$  permite que se obtenha uma configuração em que  $P_A/P_B=1$  e a TOE esteja na região de mínimo. A adoção deste valor de  $l$  fixo foi feita sem levar em conta ajustes sofisticados, isto porque, tendo em vista a complexidade de construção do acoplador final, não teríamos condições de garantir a precisão mecânica dentro de limites muito estreitos.

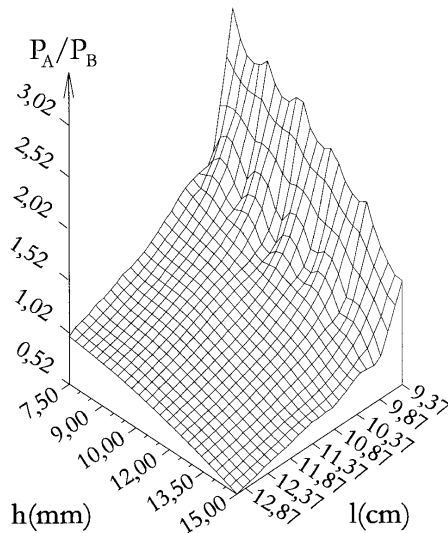


Figura 5. Divisão.

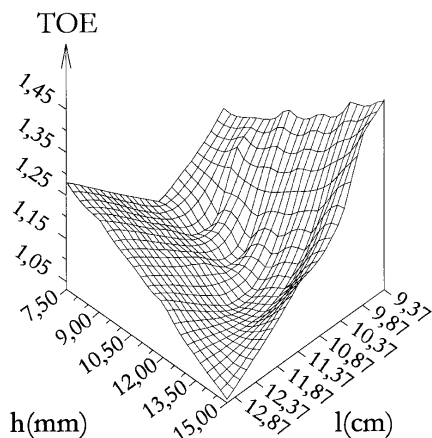


Figura 6. Taxa de onda estacionária.

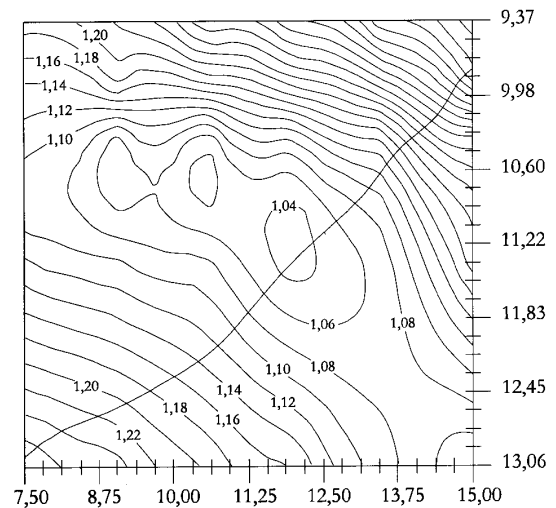


Figura 7. Curvas de divisão e TOE em função dos parâmetros  $l$  e  $h$ .

### III O acoplador

Na Fig. 8 tem-se a disposição das partes laterais do acoplador, que foram dobradas em moldes, e a vista em perspectiva do acoplador já montado. Na tampa superior, o furo serve para a colocação do domo capacitivo. O acoplador foi montado soldando-se as partes. Soldas convencionais, utilizando maçaricos, provocam a deformação local do material, alterando suas dimensões. O processo de soldagem escolhido foi a brasagem a vácuo, onde todo o conjunto é levado ao forno.

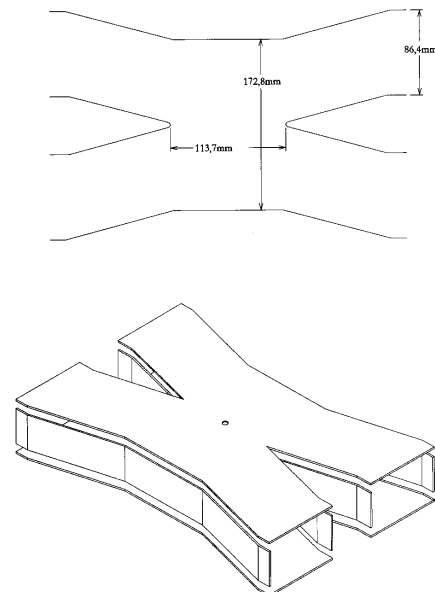


Figura 8. Peças do acoplador que foram brasadas juntas.

Na Fig. 8 temos o resultado obtido com o protótipo final. Nesta montagem o único parâmetro possível de ser alterado é a altura  $h$  do domo capacitivo. São apresentados a divisão  $P_A/P_B$  e a respectiva TOE para domos de diversas alturas.

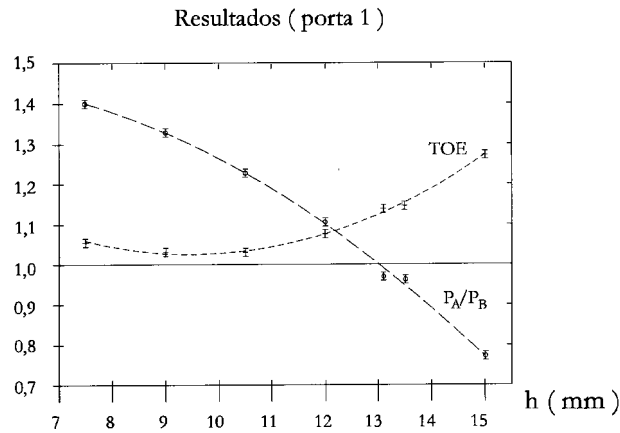


Figura 9. Resultados para a porta 1 como entrada. TOE e divisão em função da altura,  $h$ , do domo capacitivo.

## IV Discussão e conclusões

Os resultados do protótipo final, mostrados na Fig. 9, evidenciam a possibilidade de se construir um acoplador direcional de 3 dB com o ajuste de um único parâmetro, a altura de um domo capacitivo. O método consiste

em ajustar uma altura onde a relação de potência entre as portas de saídas (2 e 4, com referência à Fig. 4) seja unitária. A TOE na entrada estará em um valor bastante aceitável. Para uma TOE = 1,13 a potência refletida corresponde a 0,31% da potência incidente. Para outros valores de  $P_A/P_B$ , por exemplo entre 1,4 e 1, a TOE continua em valores ótimos. Isto possibilita a construção de acopladores direcionais com relação de divisão, nesse intervalo, com ótimas características de entrada, ou seja, baixíssima onda refletida. Cabe aqui enfatizar que este padrão de comportamento é simétrico no acoplador, isto é, quaisquer que sejam as configurações de entrada e saída, decorrência da simetria mecânica obtida na construção.

## References

- [1] Richard P. Feynman, "The Feynman Lectures on Physics", vol 2, Addison Wesley Publishing Company Inc.
- [2] R. Levy, "Directional Couplers", in "Advances in Microwaves", vol 1, Leo Young Ed.
- [3] Altman, "Microwave Circuits", The Van Nostrand series in electronics and Communication.
- [4] M. V. Figueredo, "Projeto, construção e teste de um acoplador direcional de 3 dB em guia de onda", Dissertação de Mestrado, IFUSP - 1996.