

ANÁLISE DE FILTROS DE LINHAS PARALELAS ACOPLADAS

Paulo M. Marshall
 Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
 Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma análise realizada sobre filtros de microondas construídos com ressoadores de meia onda acoplados paralelamente. Apresentam-se os efeitos das aproximações envolvidas no projeto estudado, sob o ponto de vista da VSWR dos acessos. Os valores teóricos obtidos são comparados com dados experimentais de dois filtros construídos para operação nas bandas de recepção e de transmissão de uma estação terrena de comunicações via satélite.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de filtros passa-faixa de microondas construídos com ressoadores de meia onda acoplados paralelamente por trechos de linha de quarto de onda foi apresentado inicialmente por Cohn em 1958 [1]. A estrutura deste filtro é mostrada na Figura 1. O método de projeto baseia-se no modelamento de um acoplador direcional de quarto de onda pela associação em cascata de dois trechos de linha de transmissão e de um inversor de impedância, tal como é mostrado na Figura 2. Associando em cascata $n + 1$ células iguais à da Figura 2, obtém-se o circuito equivalente para o filtro de linhas acopladas mostrado na Figura 3, onde n trechos de linha de transmissão de meia onda estão separados entre si por inversores de impedância. Comparando este circuito com aquele de um filtro a ressoadores com elementos concentrados [2], obtém-se as equações de síntese, em função dos parâmetros da resposta desejada [1, 3]:

$$Z_{oe_{i,i+1}} = Z_0 [1 + (Z_0/K_{i,i+1}) + (Z_0/K_{i,i+1})^2],$$

$$Z_{oo_{i,i+1}} = Z_0 [1 - (Z_0/K_{i,i+1}) + (Z_0/K_{i,i+1})^2],$$

$$i = 0 \text{ a } n,$$

$$Z_0/K_{i,i+1} = \begin{cases} \pi B / (2 \sqrt{g_i g_{i+1}}) & ; i = 1, n-1, \\ (\pi B / 2 g_0 g_1)^{1/2} & ; i = 0, \\ (\pi B / 2 g_n g_{n+1})^{1/2} & ; i = n. \end{cases}$$

Nestas equações, $g_0, g_1 \dots g_{n+1}$ são valores normalizados dos elementos do filtro passa-baixa correspondente à resposta desejada; B é a faixa de passagem percentual; e Z_{oei} e Z_{ooi} são, respectivamente, as impedâncias dos modos par e ímpar que caracterizam o i -ésimo acoplador do filtro.

2. ANÁLISE

Para derivação das equações de síntese apresentadas, é necessário primeiramente reduzir o circuito equivalente da Figura 3 a uma forma comparável à de um filtro a ressoadores de elementos concentrados. Neste processo, aproximações do tipo faixa estreita ($2\phi \approx 180^\circ$) são introduzidas. Portanto, espera-se que a resposta esco-

lhida para o filtro se deteriore com o aumento da faixa de passagem, B .

Uma maneira de avaliar os efeitos dessas aproximações é analisar em frequência o comportamento do circuito equivalente do filtro, mostrado na Figura 3. Isto pode ser rapidamente realizado a partir da matriz ABCD da célula da Figura 2:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{K}{Z_0} + \frac{Z_0}{K}\right) \sin\phi \cos\phi & j\left(\frac{Z_0^2}{K} \sin^2\phi - K \cos^2\phi\right) \\ j\left(\frac{K}{Z_0^2} \sin^2\phi - \frac{\cos^2\phi}{K}\right) & \left(\frac{K}{Z_0} + \frac{Z_0}{K}\right) \sin\phi \cos\phi \end{bmatrix}$$

A Figura 4 apresenta a taxa de onda estacionária (VSWR) para o filtro de linhas acopladas com 6 ressoadores, calculado para apresentar resposta do tipo Tchebychev com 0,01 dB de flutuação na faixa de passagem. As várias curvas referem-se a diferentes valores de faixa de passagem percentual. Em vista das curvas apresentadas é possível concluir que:

- 1) Para faixas de passagem inferiores a 10%, a alteração no desempenho, com relação ao previsto teoricamente para a resposta Tchebychev, de 0,01 dB de flutuação na faixa, é pequena; mantêm-se os máximos e os mínimos de VSWR em posição e em amplitude. A redução percentual da faixa de passagem aumenta progressivamente com B .
- 2) Para faixas de passagem superiores a 10% ocorre uma degradação significativa no comportamento da VSWR, alterando-se os valores de máximos e mínimos tanto em posição quanto em amplitude. A redução percentual da faixa de passagem para $B = 20\%$ é de 7,5%, ou seja, de 20% para 18%.

Com base nos resultados obtidos, foram projetados dois filtros para operação nas bandas de recepção (3,7 GHz a 4,2 GHz) e de transmissão (5,9 GHz a 6,4 GHz) de uma estação terrena de comunicações via satélite. A Tabela 1 apresenta as características de projeto e os resultados obtidos para síntese em linha de fita em meio dielétrico com $\epsilon_r = 2,2$. A VSWR

prevista pela análise apresentada para cada um dos filtros é mostrada na Figura 5, enquanto os valores medidos estão mostrados na Figura 6. A fim de prever o desempenho, inferior ao previsto, analisou-se novamente o comportamento dos filtros, desta vez a partir das dimensões de cada circuito impresso, indicadas na Tabela 2. Verifica-se imediatamente a assimetria física do circuito, com desvios acentuados para os espaçamentos das seções de acoplamentos de entrada e saída, que têm as dimensões mais críticas do filtro. A Figura 7 mostra os resultados da análise

da VSWR prevista. Observa-se através da Figura 7 que os valores dos máximos da VSWR medida (Figura 6) estão dentro do previsto. O comportamento da VSWR próximo às frequências de corte de ambos os filtros tem também semelhança com o previsto através da análise do circuito do filtro. Acredita-se que o comportamento da VSWR como um todo poderia ser melhor estimado se fossem incluídos outros parâmetros na análise, tais como: perdas nos ressoadores, dessintonia entre ressoadores, anisotropia do meio dielétrico, etc.

TABELA 1
SÍNTESE DE FILTROS DE LINHAS ACOPLADAS

FREQUÊNCIA: 3.950 GHZ FAIXA DE : 0.600 GHZ						
RESPOSTA TIPO TCHEBYSHEV RIPPLE DE 0.01 DB						
SÍNTESE EM STRIPLINE : ER= 2.20						
SEÇÃO	PARÂMETRO G	INVERSOR J	Z00	Z0E	W/B	S/B
0	1.0000	0.5526	37.6383	92.8983	0.4510	0.0257
1	0.7814	0.2315	41.1057	64.2517	0.7196	0.1118
2	1.3600	0.1574	43.3688	59.1086	0.7717	0.1908
3	1.6897	0.1482	43.6898	58.5052	0.7778	0.2054
4	1.5350	0.1574	43.3688	59.1086	0.7717	0.1908
5	1.4970	0.2315	41.1057	64.2517	0.7196	0.1118
6	0.7098	0.5526	37.6383	92.8983	0.4510	0.0257
7	1.1008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

FREQUÊNCIA: 6.175 GHZ FAIXA DE : 0.640 GHZ						
RESPOSTA TIPO TCHEBYSHEV RIPPLE DE 0.01 DB						
SÍNTESE EM STRIPLINE : ER= 2.20						
SEÇÃO	PARÂMETRO G	INVERSOR J	Z00	Z0E	W/B	S/B
0	1.0000	0.4565	37.5948	83.2410	0.5267	0.0335
1	0.7814	0.1579	43.3506	59.1436	0.7713	0.1900
2	1.3600	0.1074	45.2069	55.9465	0.8013	0.2898
3	1.6897	0.1011	45.4565	55.5654	0.8044	0.3067
4	1.5350	0.1074	45.2069	55.9465	0.8013	0.2898
5	1.4970	0.1579	43.3506	59.1436	0.7713	0.1900
6	0.7098	0.4565	37.5948	83.2410	0.5267	0.0335
7	1.1008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

TABELA 2

DIMENSÕES DOS PROTÓTIPOS

4 GHz		
SEÇÃO	W/B	S/B
0	0,4564	0,0318
1	0,7224	0,1178
2	0,7702	0,1878
3	0,7734	0,2196
4	0,7702	0,1878
5	0,7113	0,1082
6	0,4520	0,0318

6 GHz		
SEÇÃO	W/B	S/B
0	0,5156	0,0318
1	0,7734	0,1910
2	0,7973	0,2864
3	0,8005	0,3024
4	0,7957	0,2864
5	0,7658	0,1920
6	0,5283	0,0286

3. CONCLUSÕES

Apresentou-se um método de análise de filtros de microondas com ressoadores de meia onda acoplados paralelamente. A análise é realizada sobre o modelo de linhas de transmissão do filtro e permite prever o desempenho do filtro projetado. Outros efeitos podem ser facilmente incluídos no método de análise, tais como dessintonia entre ressoadores, assimetria das seções de acoplamento, anisotropia do dielétrico, etc, o que, acredita-se, possibilitaria uma previsão mais precisa do comportamento do filtro no centro de faixa de passagem. Este procedimento será objeto de relatórios futuros.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S.B. Cohn. Parallel-coupled transmission-line resonator filters. *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-6(4):223-231, Apr. 1958.
- [2] S.B. Cohn. Direct-coupled-resonator filters. *Proceedings of IRE*, 45(2):187-196, Feb. 1957.
- [3] G. Matthaei; L. Young; E.M.T. Jones. *Micro wave filters, impedance matching Network and coupling structures*. Dedham, MA, Artech House, 1964.

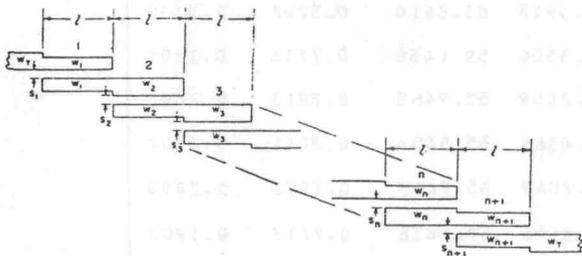


Fig. 1 - Filtro de linhas acopladas.

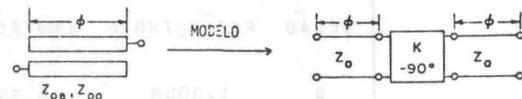


Fig. 2 - Modelo para acoplador de quarto de onda.

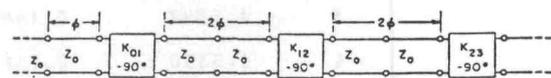


Fig. 3 - Circuito equivalente para o filtro de linhas acopladas.

FILTRO DE LINHAS ACOPLADAS

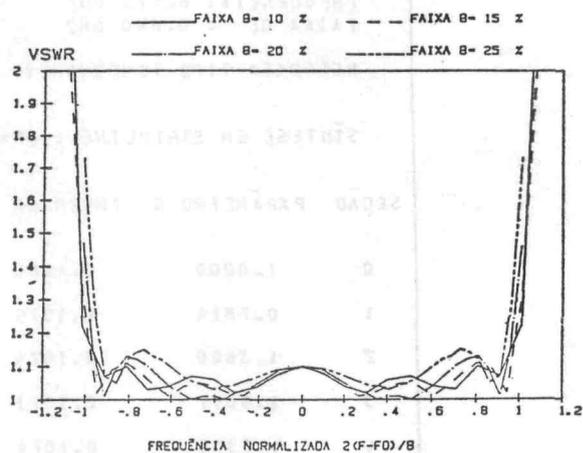


Fig. 4 - VSWR para filtros de linhas acopladas. Resposta do tipo Tchebychev; 6 ressoadores, flutuação de 0,01 dB.

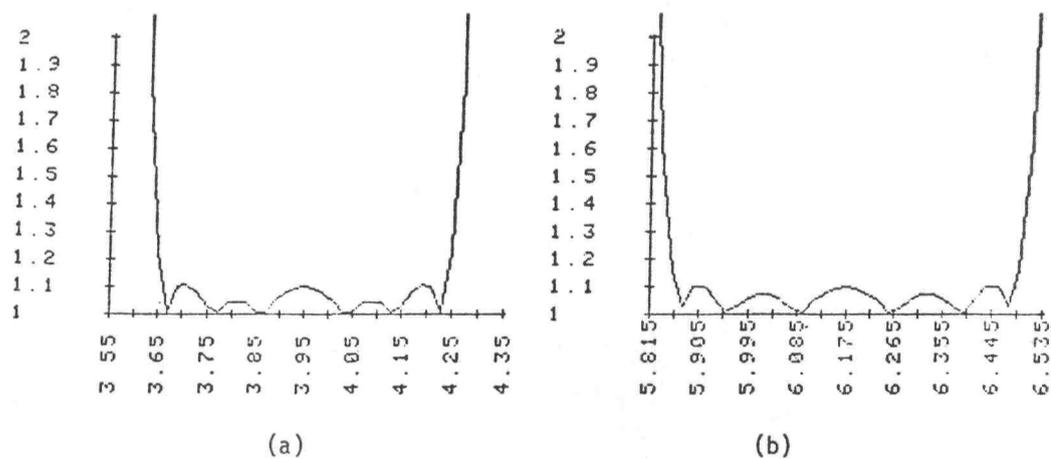


Fig. 5 - VSWR teórica para os filtros projetados: (a) 4 GHz; (b) 6 GHz.

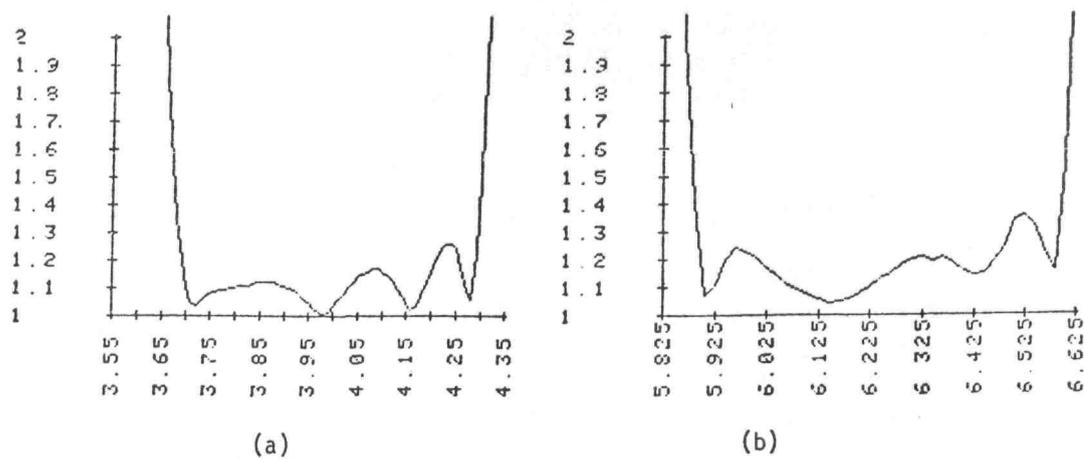


Fig. 6 - VSWR medida nos protótipos: (a) 4 GHz; (b) 6 GHz.

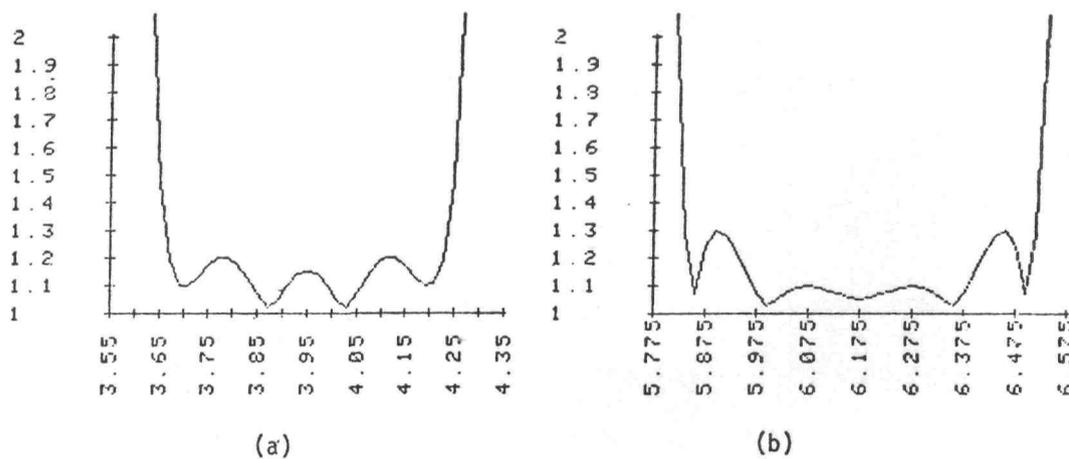


Fig. 7 - VSWR prevista pela análise dos circuitos: (a) 4 GHz; (b) 6 GHz.