PROJETO DE FILTROS DE MICROONDAS EM MICROLINHAS ACOPLADAS PARALELAMENTE VIA MICROCOMPUTADOR COM SAÍDA GRÁFICA

Humberto Abdalla Júnior

Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Elétrica
Campus Universitário - Asa norte
70910 - Brasília - DF - BRASIL

RESUMO

Este trabalho apresenta um método de projeto de filtros de microondas interdigitais em microfitas com resposta amplitude do tipo TCHEBYSCHEFF. Os algoritmos de projeto que o programa utiliza são baseados no método de perdas por inserção e em mapeamentos conformes.

A partir das características desejadas do filtro, tais como: frequência central, percentual de banda e atenuação da banda de rejeição ou o número de elementos, o programa determina de uma forma bem compacta e rápida as dimensões físicas da estrutura interdigital. O programa fornece ainda, como saída um lay-out do filtro desejado e a curva de resposta em amplitude teórica do mesmo.

INTRODUÇÃO

A faixa de frequência dos sinais de microondas está compreendida entre 10^9 à 10^{12} Hz, o que corresponde a um comprimento de onda λ_o no vácuo (λ_o = velocidade da luz/frequência) de 30cm à 0,3mm. Os comprimentos de onda são da mesma ordem de grandeza que as dimensões dos componentes empregados. A teoria convencional dos circuitos a parâmetros concentrados não é mais satisfatória para descrever os fenômenos em microondas. Uma análise em termos dos campos elétricos e magenéticos é necessária. Uma das estruturas mais simples à analisar é a linha de transmissão. As duas configurações utilizadas neste trabalho, STRIP-LINE e MICROSTRIP, fazem apelo às linhas acopladas paralelamente Fig. 1, onde (W) representa a largura da linha, (S) o espaçamento entre linhas adjacentes, (B) distância entre os dois planos de terra e (H) a altura do substrato dielétrico.

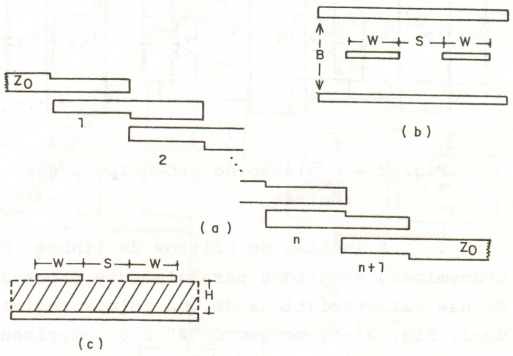

Fig. 1 - Filtro interdigital em microfitas.
a) Corte longitudinal
b) Estrutura "Stripline"
c) Estrutura "Microstrip"

A ocorrência alternadas de circuitos ressonantes série e paralelo do filtro passa-faixa, Fig. 2(b), obtido a partir do protótipo passa-baixa, Fig. 2(a), através de uma transformação de frequência adequada é uma característica indesejável em virtude das dificuldades em construir um filtro desse tipo com elementos de microondas. Por esse motivo é conveniente converter o protótipo passa-faixa em sómente circuitos ressonantes paralelos, o que se pode obter através de inversores de admitância[1]. Um inversor opera como um transformador de quarto de onda ideal, de admitâncai característica J em todas as frequências. Uma admitância de carga ligada a uma extremidade é vista na entrada como uma admitância que tenha sido invertida em relação à admitância característica elevada no quadrado. O circuito equivalente obtido pelo uso de inversores de admitância é ilustrado pela Fig. 2(c).

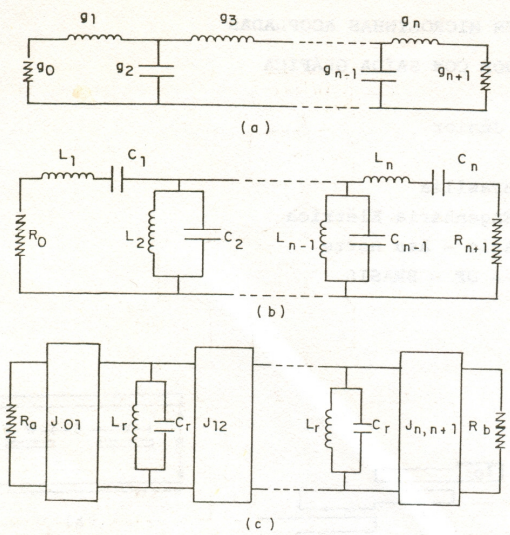

Fig. 2 - Evolução do protótipo passa-Faixa

A análise de filtros de linhas de transmissão acopladas paralelamente é baseada nas características de uma célula individual, Fig. 3(a), em que o "Ø" é o comprimento elétrico da linha de transmissão acoplado e Z_{oo}, Z_{oe}, são as impedâncias características de cada condutor em relação ao plano de terra quando as linhas são excitadas pelos modos ímpar e par respectivamente. Para Ø≈-90º mostra-se que os circuitos da Figura 3(a) e 3(b) são aproximadamente idênticos. O quadripolo representa um inversor de admitância ideal tendo uma admitância constante J e um deslocamento de fase de -90º para todas as frequências. Quando uma célula é reunida a várias outras, obtém-se o circuito da Fig. 3(c), no qual linhas de transmissão de comprimento λ/2 são separadas por inversores. O circuito equivalente em parâmetros concentrados de uma linha de transmissão de comprimento θ é mostrado na Fig. 3(d). Este circuito é particularmente conveniente para θ = 180º. Na Fig. 3(e) o circuito equivalente foi simplificado pela omissão do transformador de inversão de fase que não afeta a resposta amplitude, também, as reatâncias série são desprezíveis em torno de θ ≈ 180º.

O circuito da Fig. 3(f) que representa um filtro interdigital com linhas de transmissão acopladas paralelamente é idêntico ao circuito da Fig. 2. Isto permite calcular as impedâncias dos modos par (Z_{oe}) e ímpar (Z_{oo}), que caracterizam as linhas de transmissão acopladas, em função dos parâmetros concentrados do protótipo passa-baixa. Conhecendo-se Z_{oo} e Z_{oe}, através de mapeamentos conformes, as dimensões do filtro podem ser calculadas.

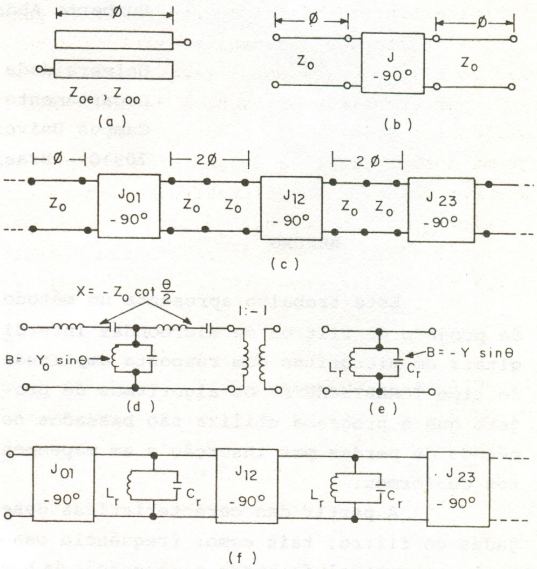

Fig. 3 - Circuito Equivalente do Filtro Interdigital em Microfitas

PROGRAMA

Um programa para microcomputadores foi desenvolvido para projetar filtros interdigitais em microfitas. O objetivo do programa é, a partir das especificações do filtro e da constante dielétrica relativa do substrato utilizado, calcular as dimensões físicas da estrutura. Tal procedimento é baseado em um método de análise desenvolvido para estabelecer uma equivalência entre o filtro passa-faixa com ressoadores LC em paralelo interconectados por inversores de admitância e a estrutura a ressoadores acoplados paralelamente. Este método fornece uma expressão analítica para impedâncias dos modos impar e par como funções dos valores dos elementos do protótipo passa-faixa (parâmetros concentrados).

O projeto de filtros em microfitas requer uma formulação matemática que permita relacionar as dimensões das fitas acopladas com as impedâncias dos modos par e ímpar. Métodos empregando mapeamento conforme são utilizados para o cálculo das larguras das fitas (W) e os espaçamentos entre as fitas adjacentes (S). O cálculo dos comprimentos dos ressoadores na configuração "MICROSTRIP" leva em consideração as diferenças entre as ve

locidades de propagação dos modos par e ímpar.

Os fluxogramas das Figs. 4 e 5 mostram a estrutura básica do programa. A partir da introdução das características desejadas do filtro, tais como: frequência central -F_o, percentual de banda-Bw e da constante dielétrica relativa do substrato ER, o programa deseja saber se o número de elementos-N é fornecido. Caso afirmativo, entra-se com o valor de N, bem como o da Taxa de Onda Estacionária T.O.E.-, ou da tolerância permitida na banda passante- RIPPLE. O programa executa o cálculo da T.O.E. ou RIPPLE.

Se o número de elementos N não é fornecido, o programa requer como dados de entrada a atenuação na banda de rejeição -AT a TOE ou RIPPLE. De posse destes dados o programa calcula o número mínimo de elementos necessário (N), bem como a TOE ou RIPPLE.

A partir deste ponto os valores de N, TOE e RIPPLE são impressos e o processo de Síntese é iniciado. Baseado no método de TAKAHASI[1], que utiliza as propriedades dos polinômios de Tchebyscheff os valores dos elementos do protótipo passa-baixa (parâmetros G) são calculados e impressos.

Utilizando uma transformação de frequência adequada, o programa fornece como opção a resposta atenuação do protótipo passa-faixa. Em seguida, os valores das impedâncias dos modos pares e ímpares são calculados.

O próximo passo é escolher o tipo de configuração desejada: STRIPLINE ou MICROSTRIP. Se a configuração escolhida for "STRIPLINE" é necessário introduzir-se as distancias entre os dois planos de terra (B) e a espessura da microfita (T). Caso a configuração escolhida for "MICROSTRIP" fornece-se a altura do substrato(H) e a espessura da microfita(T). O cálculo das dimensões em stripline é baseado na formulação matemática proposta por Cohn[2] enquanto para microstrip utiliza-se o método desenvolvido por AKHARZAD[3]. O programa imprime as dimensões físicas da estrutura: largura das micro-fitas(W), espaçamento entre microfitas adjacentes, e comprimento dos ressoadores já corrigidos devido aos efeitos de fim de linha. O programa fornece, ainda, como saida um lay-out do filtro desejado com todas as dimensões físicas definidas.

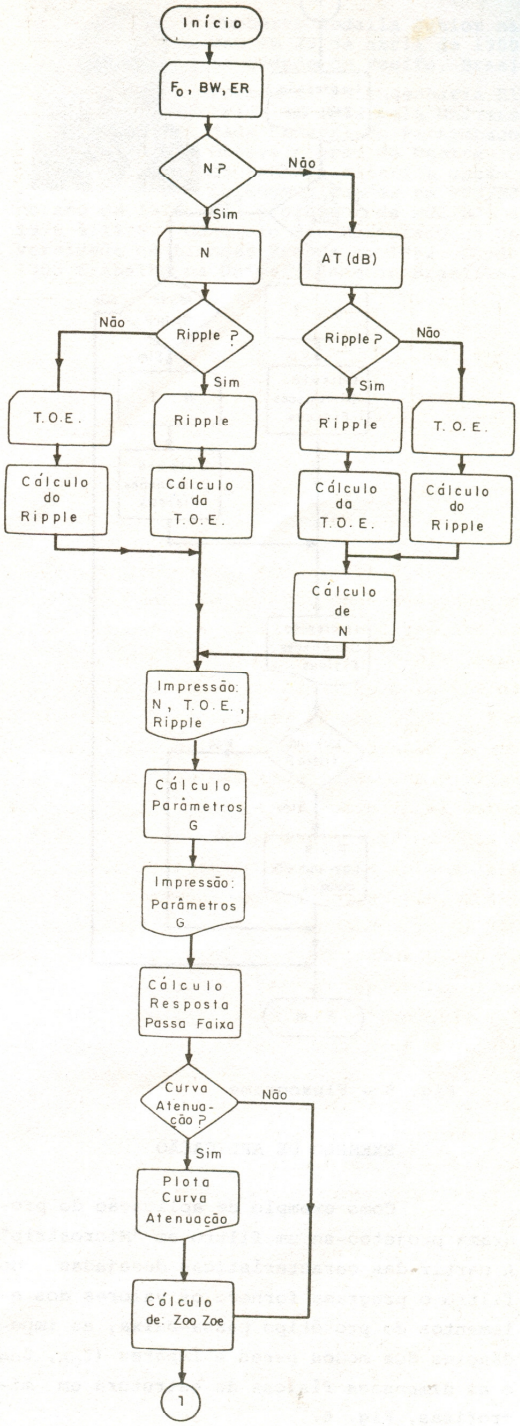

Fig. 4 - Fluxograma

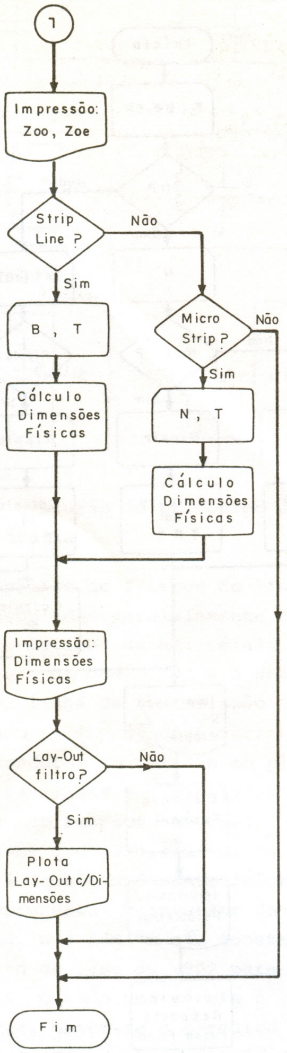

Fig. 5 - Fluxograma

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como exemplo de aplicação do programa projetou-se um filtro em "Microstrip". A partir das características desejadas do filtro o programa fornece os valores dos elementos do protótipo passa-baixa, as impedâncias dos modos pares e ímpares (Z_{oo}, Z_{oe}) e as dimensões físicas da estrutura em microfitas, Fig. 6.

FILTROS INTERDIGITAIS	VALORES DE ZOE 68.0202 53.6643
FREQ. CENTRAL-GHZ 7.2750	VALORES DE ZOO 39.8919 46.8061
BW (GHZ) = .3000	----------
ER = 9.8000	DIMENSÕES MICRO STRIP
----------	ESPESSURA ZERO
APROXIMAÇÃO TCHEBYSCHEFF	VALORES DE S .2307 1.1058
N = 3.0000	VALORES DE W .5162 .6371
TOE = 1.2000	VALOR DE N .6350
RIPPLE EM DB .0360	VALOR DE WT .6207
PARAMETROS G 1.0000 .8187 1.0896 .8187 1.0000	COMPRIMENTO DOS RESSOADORES COM CORREÇÃO 3.8201 3.7737

	DESENHO FILTRO EM ANEXO

Fig. 6 - Dados de entrada e da saída do Programa

O programa fornece, ainda, como saída gráfica a curva de atenuação e o desenho do filtro com todas as dimensões definidas. Figs. 7 e 8.

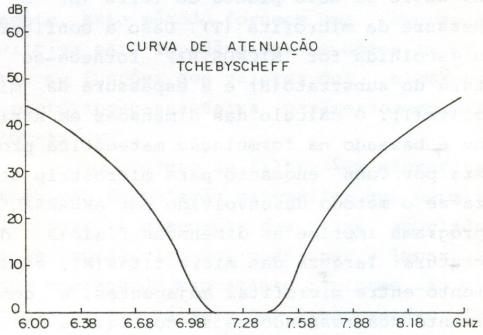

Fig. 7 - Curva atenuação do Protótipo

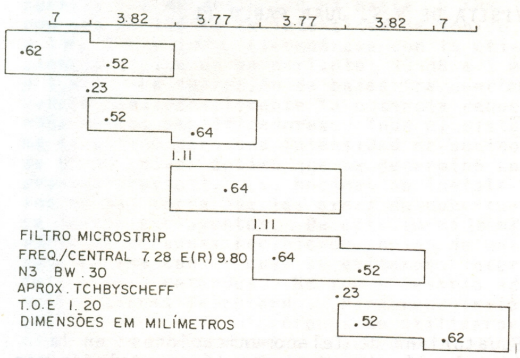

Fig. 8 - Lay-out do filtro interdigital

CONCLUSÃO

A estrutura do programa foi testada na calculadora de mesa HP-9821A (Hewlett-Packard) e no computador IBM-1130. Em ambos os casos tal estrutura se mostrou de grande utilidade e de fácil adaptação em relação às linguagens utilizadas (HPL, FORTRAN).

REFERÊNCIAS

[1] H. Takahasi: "On the ladder-type Filter Network with Techebysheff Response"
J. Inst. Elec. Commun. Engrs. Japan vol. 34 nº 2, February,1951

[2] S.B. Cohn: "Parrallel coupled transmission line resonator filter"
IRE Transaction on MTT: pp 223-31 April 1958

[3] S. Akhatarzad: "The design of coupled microstrip lines" IEEE, MTT vol 23 pp 486-492, June 1975.

BIOGRAFIA

Humberto Abdalla Junior nasceu em 29 de abril de 1950, na cidade de Recife, Brasil.

Formou-se em Engenharia Elétrica em 1972 pela Universidade Federal de Pernambuco. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica opção - Telecomunicações na PUC/RJ no ano de 1976. Foi professor da PUC/RJ de 1976 à 1978. Concluiu seu Doutorado na Universidade de Limoges-França em 1982. Desde 1983 trabalha na Universidade de Brasília.