

## SISTEMA DE APOIO A PROJETOS DE FILTROS PASSIVOS UTILIZANDO MICROCOMPUTADOR

Adel M.S. de Oliveira

Humberto Abdalla Jr.

Luís Afonso Bermúdez

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Elétrica

Caixa Postal 153041

70910 - Brasília - DF

### RESUMO

No estudo de filtros elípticos utilizando ressoadores dielétricos teve-se necessidade de se criar uma ferramenta que pudesse auxiliar na simulação do comportamento do filtro para vários níveis de acoplamento. Deste modo, criou-se um sistema de simulação para este fim. Todavia, como o sistema permite construir o circuito com indutores, capacitores, transformadores e ressoadores dielétricos (circuito equivalente), pode-se utilizá-lo em outros tipos de circuitos que tenham a topologia "escada".

### INTRODUÇÃO

Sistema ABCD é o nome utilizado para este sistema exatamente pelo fato de se ter baseado na teoria dos parâmetros de transferência - parâmetros ABCD [3]. Para isto, é necessário que o sistema reconheça os componentes e ligações do circuito. Calcule a resposta em um intervalo de frequência especificado e plote um gráfico mono-log da atenuação (em dB) versus a frequência.

Ainda assim, é importante que se tenha os cálculos também em parâmetros S - parâmetros de espalhamento. É útil que se tenha o desenho do circuito para conferência, bem como facilidades em alterar os valores dos elementos de modo fácil. Nas figuras 1, 2 e 3 tem-se o fluxograma do sistema.

### CONSTRUÇÃO DO CIRCUITO

A construção do circuito, significa informar os elementos, a disposição destes - se em série ou paralelo - e os seus respectivos valores. Para que isto aconteça, tem-se na figura 4 uma tabela de dez tipos de configurações diferentes. O circuito é montado da esquerda para a direita através da indicação dos blocos. Por exemplo, um passa-baixa de grau 5 tipo Butterworth corresponde aos blocos 2, 3, 2, 3 e 2 respectivamente. O bloco 9 é o circuito equivalente do ressoador dielétrico [1].

É importante observar que no bloco 10 - transformador - utiliza-se a indutância mútua e não a relação de espiras. Deste modo, pode-se conseguir uma melhor aproximação. De qualquer modo, quando se faz a aproximação para a relação de espiras, utiliza-se um fator de acoplamento unitário. Portanto,  $M = \sqrt{L_1 L_2}$ .

Pode-se naturalmente utilizar o bloco 1 com o 3 ao invés de simplesmente utilizar o bloco 5, porém dependendo do tamanho do circuito e da quantidade de

frequências, a diferença no tempo de processamento pode ser um pouco significativa. Todavia, a principal razão foi facilitar a utilização.

Apesar de haver muito mais configurações possíveis do que as dez apresentadas, sabe-se perfeitamente que são as mais utilizadas. Mesmo assim, é possível modificar a topologia sem alterar as características do circuito [2]. Verificando, por exemplo, a figura 5, tem-se um claro exemplo desta transformação - necessária inclusive quando se passa do filtro elíptico passa-baixa para o passa-banda.

### CÁLCULO DOS PARÂMETROS

Nos parâmetros ABCD, para circuitos em série com a malha tem-se  $A = 1$ ,  $B = Z$ ,  $C = 0$  e  $D = 1$ . Se estiver em paralelo:  $A = 1$ ,  $B = 0$ ,  $C = 1/Z = Y$  e  $D = 1$  - exceto para o transformador [3,4]. Deste modo, na figura 4 tem-se os valores de  $Z$  e  $Y$  para os blocos. No bloco 9, verifica-se que para  $K = 1$  o circuito é equivalente ao bloco 7, enquanto que com  $K = 0$  é equivalente ao bloco 3 conforme intuitivamente pode-se deduzir.

Para cada frequência é necessário fazer a multiplicação sucessiva das matrizes dos blocos. Chamando  $Re$  de impedância de entrada e  $Rs$  a de saída tem-se [4]:

$$H(s) = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{Rs}{Re}} \cdot A + \frac{B}{\sqrt{ReRs}} + \sqrt{ReRs} \cdot C + \sqrt{\frac{Re}{Rs}} \cdot D \right)$$

Caso se deseje os parâmetros S é melhor utilizar as fórmulas de transferência entre os dois parâmetros. Sendo que também se considera para a transformação os valores da impedância de entrada e de saída do circuito.

**EXEMPLO**

Tomando um filtro elíptico normalizado passa-banda, pode-se saber como está seu comportamento na banda passante com a variação do fator de acoplamento (K). Na figura 6 tem-se o desenho do circuito feito pelo sistema ABCD. Uma vez que este filtro possui uma banda muito estreita (1% em relação a  $W_0$ ) pode-se utilizar outro software para imprimir o gráfico da atenuação versus frequência, pois o sistema prepara um arquivo padrão facilmente aceito pela maioria dos softwares. Conforme se verifica nas figuras 7 e 8, tem-se a banda passante para 6% e 1% em relação a  $W_0$  utilizando os dados calculados pelo sistema. Nas figuras 9, 10, 11 e 12 obteve-se o comportamento da banda com a variação de K.

Nas figuras 13 e 14 tem-se a banda passante e a banda de rejeição de um filtro elíptico passa-baixa com gráficos extraídos do sistema ABCD.

**CONCLUSÃO**

Diante de ferramentas que possibilitam a análise do comportamento de um circuito no espectro de frequência, consegue-se um melhor desempenho e rapidez em trabalhos de pesquisa e projetos. Apesar das limitações inerentes a qualquer cálculo numérico e as aproximações das simulações, os resultados obtidos demonstram que estes fatores não limitam a utilidade de tais ferramentas. E certamente podem até mesmo ser um estímulo.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] GUILLON, P. e KAJFEZ D. (1986). Dielectric Resonators - ARTECH HOUSE
- [2] ZVEREV, A. I. (1967). Handbook of Filter Synthesis. New York: Wiley.
- [3] VALKENBURG, Van (1974). Network Analysis. John Wiley & Sons.
- [4] SERRA, Celso P. (1983). Teoria e Projetos de Filtros. CARTGRAF.

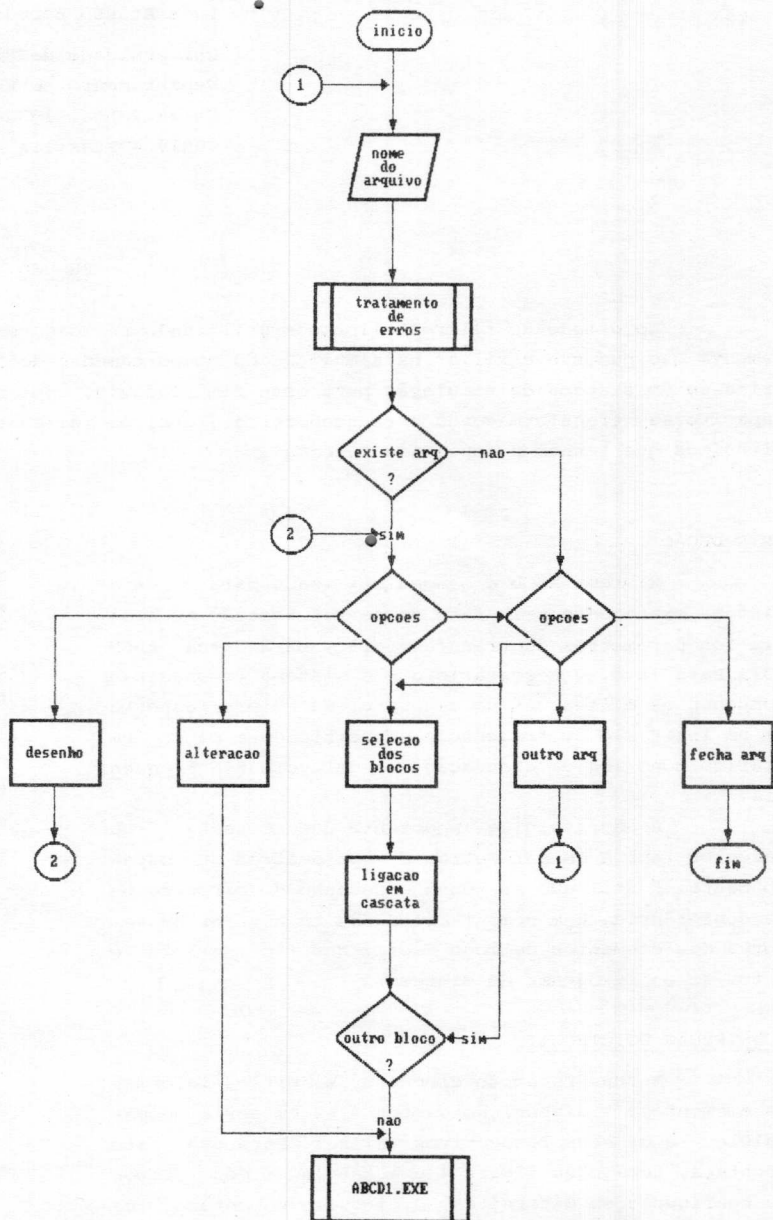


Fig.1 - Fluxograma do ABCD.EXE

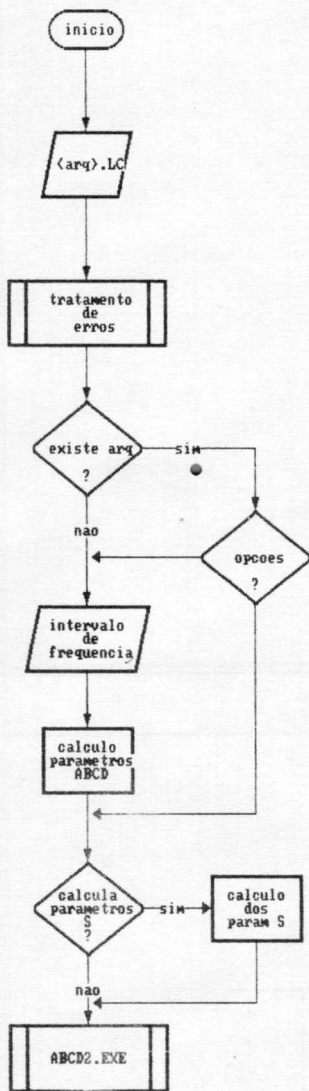


Fig.2 - Fluxograma do ABCD1.EXE.

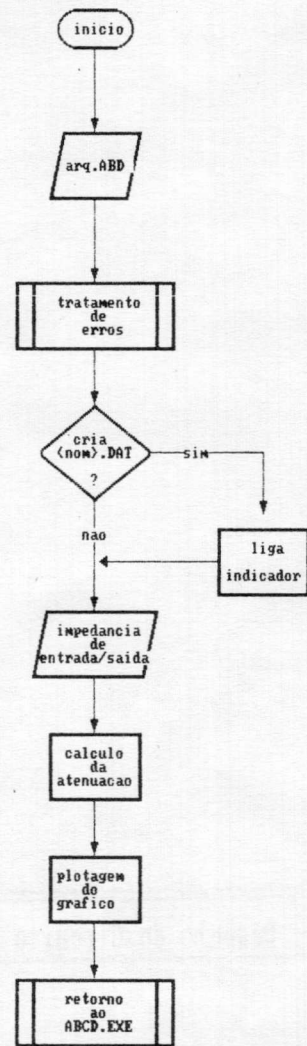


Fig.3 - Fluxograma do ABCD2

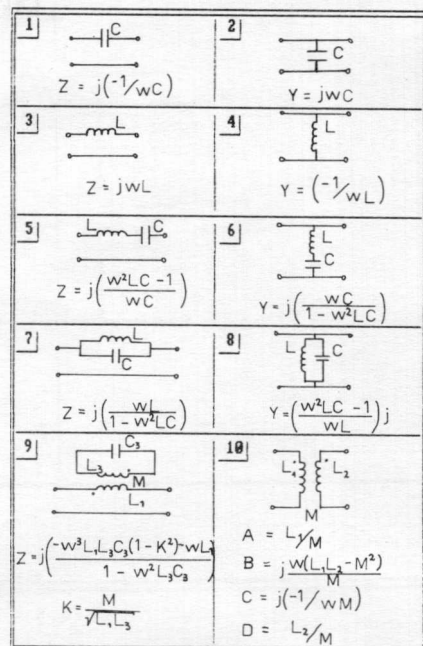
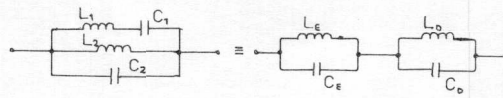


Fig.4 - Elementos de Circuito.



$$A = L_1 L_2 C_1 C_2 \quad B = C_2 L_2 + C_1 L_1 + C_1 L_2$$

$$E = L_1 L_2 C_1 \quad D = L_2$$

$$P = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AD}}{2}$$

$$C_e = \frac{A(A-P^2)}{P(AD-PE)} \quad L_e = \frac{(AD-PE)}{(A-P^2)}$$

$$C_d = \frac{(A-P^2)}{(E-PD)} \quad L_d = \frac{P(E-PD)}{(A-P^2)}$$

Fig.5 - Exemplo de modificação de topologia.

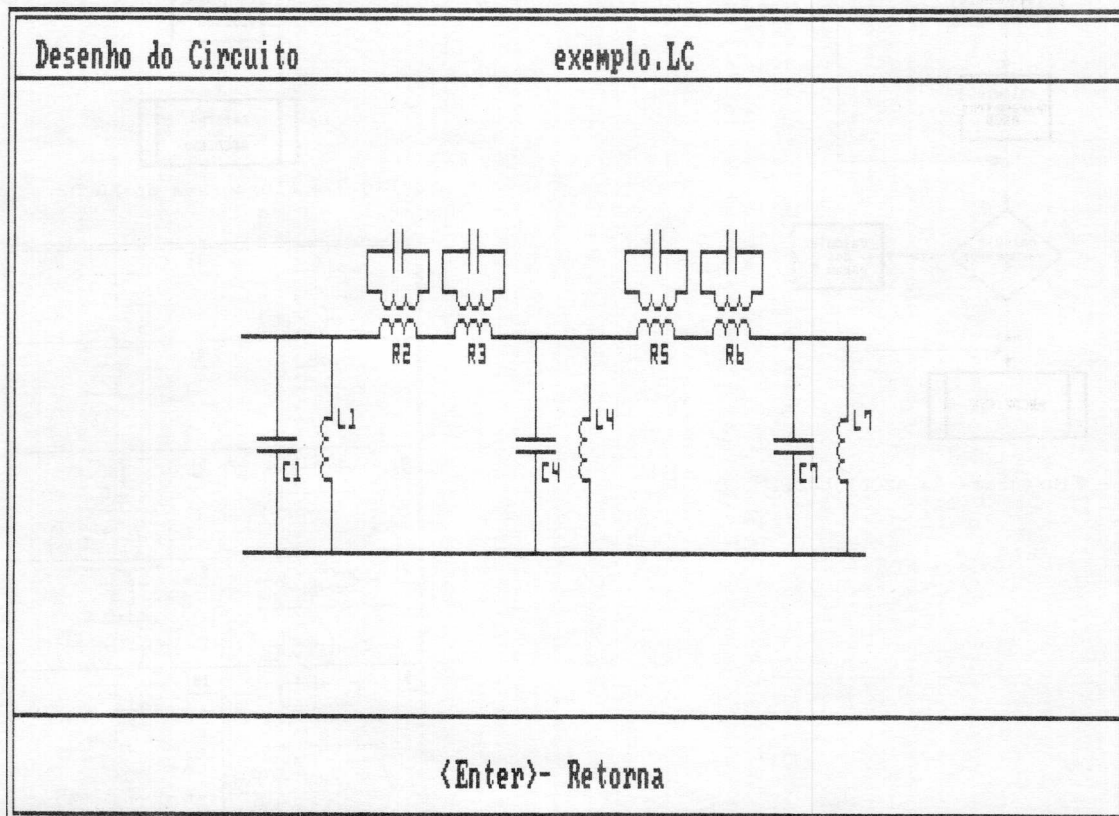


Fig.6 - Tela de exemplo de circuito.

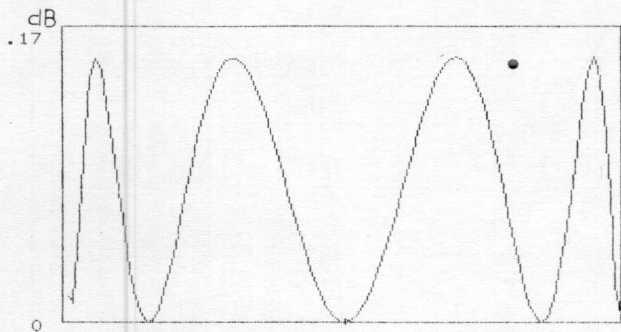


Fig. 7 - Exemplo de gráfico de banda passante (1%) :  $K=1$ .

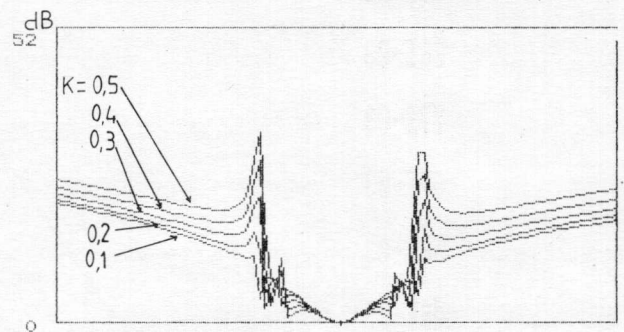


Fig. 10 - Exemplo de gráfico de banda passante (6%) com variação de  $K = 0,1$  a  $0,5$ .

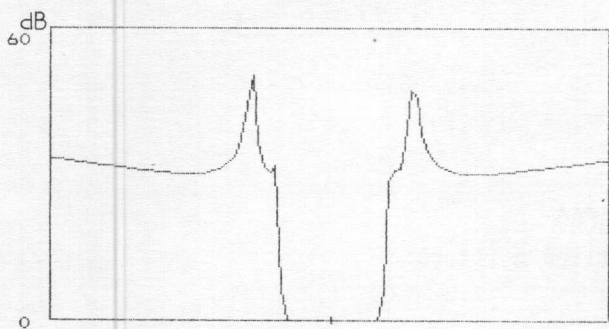


Fig. 8 - Exemplo de gráfico de banda passante (6%) :  $K=1$ .

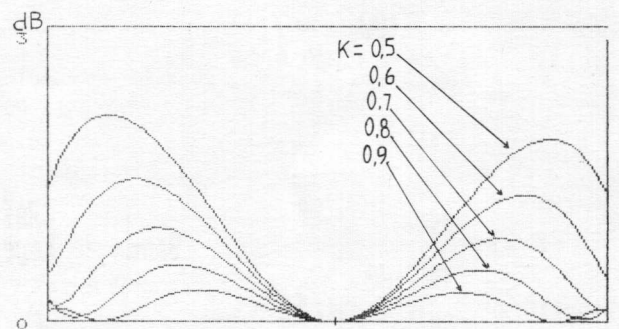


Fig. 11 - Exemplo de gráfico de banda passante (1%) com variação de  $K = 0,5$  a  $0,9$ .

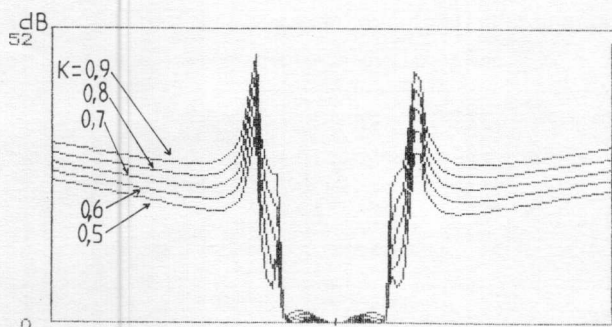


Fig. 9 - Exemplo de gráfico de banda passante (6%) com variação de  $K = 0,5$  a  $0,9$ .

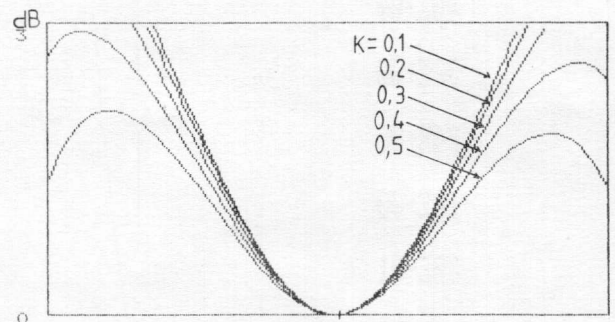


Fig. 12 - Exemplo de gráfico de banda passante (1%) com variação de  $K = 0,1$  a  $0,5$ .

**GRAFICO DA ATENUACAO**  
**Banda Passante de um Filtro Eliptico**

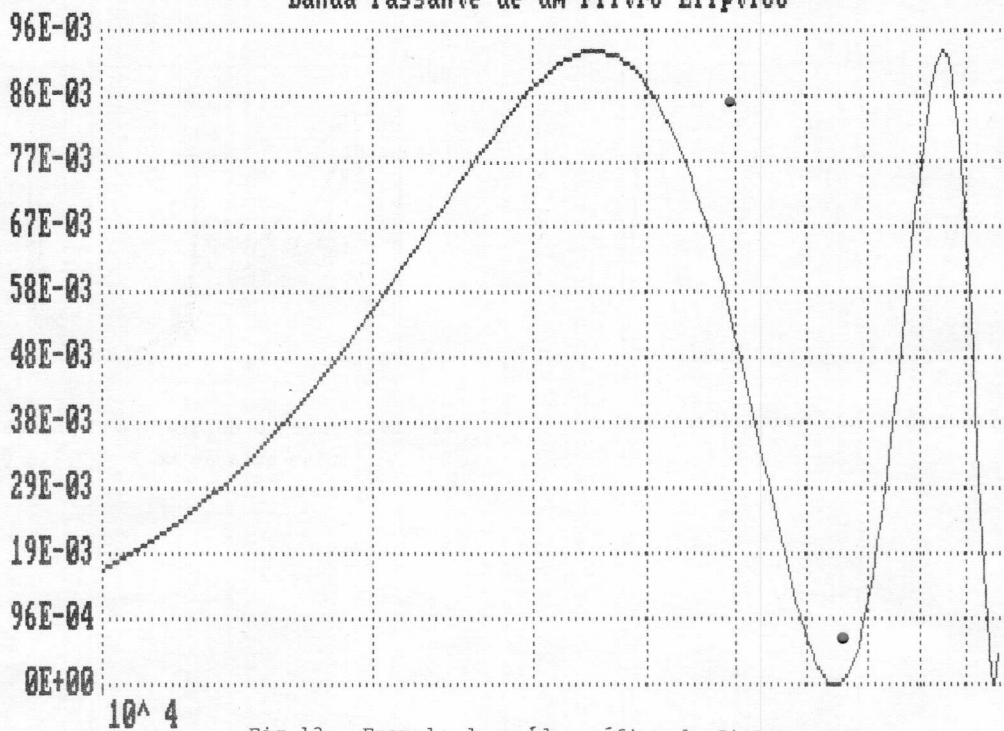


Fig.13 - Exemplo de saída gráfica do Sistema ABCD para curva de atenuação na banda passante de um filtro elíptico.

**GRAFICO DA ATENUACAO**  
**Banda de Rejeicao de um Filtro Eliptico**



Fig.14 - Exemplo de saída gráfica do Sistema ABCD para curva de atenuação na banda de rejeição de um filtro elíptico.