**Trabalho V EEL-304**

**Prof. Marcelo Perotoni**

**Introdução**

Filtros são estruturas que apresentam algum tipo de seletividade em frequência. Geralmente seguem algum modelo matemático de resposta em frequência (denominado protótipo). Entre os diferentes protótipos mais comuns podemos citar:

- Butterworth (resposta plana, sem oscilações na faixa de passagem);

- Chebyshev (resposta com oscilações na faixa de passagem);

-Elíptico (fltro que gera uma resposta rápida para uma mesma ordem N)

- Linear Phase (filtro que possui um group delay plano mas sua atenuação em frequencia é lenta).

A ordem N de um filtro está relacionada ao número de seções do mesmo. Quanto maior o fator N, maior (fisicamente) é o filtro. Outro ponto interessante é que a resposta em frequência paga um preço no domínio tempo: o fator group delay é tanto pior quanto mais rápido for a queda do filtro. Assim filtros que possuem uma excelente rejeição para um mesmo N (i.e. “caem rápido”) vão apresentar um atraso de grupo irregular na faixa de passagem, o que acaba com introduzir dispersão no pulso do domínio tempo (pulso acaba sendo distorcido). Assim, sinais com modulação digital onde haja informação codificada na amplitude e fase (QAM por exemplo) irão apresentar problemas com filtros com group delay não constante na faixa de passagem.

A figura proveniente do Pozar 8.30 ilustra a diferença.



Maiores detalhes:

- D.M. Pozar, Microwave Engineering

-G.L. Matthaei, L.Young, E.M.T. Jones, Microwave Filters, impedance-matching networks, and coupling structures.

**Objetivo**

Projetar um filtro Butterworth, a partir das especificações. Calcular o circuito e a implementação em microlinha, simulada no CST MWS, 3D.

**Metodologia**

1. Leia o capítulo do Pozar sobre filtros, bem como outras referências (Internet), para se familiarizar com o assunto.

2. A implementação chamada Ladder é apresentada na figura 1. *Deve ficar claro que o circuito abaixo é um passa baixo!*

|  |
| --- |
|  |
| Fig. 1 Implementação ladder de um passa baixa. Capacitores shunt e indutores série. Os resistores simbolizam as terminações (geralmente 50 Ohms). |

Os elementos de um protótipo Butterworth são descritos (como condutâncias) de maneira genérica como:

|  |  |
| --- | --- |
| $$g\_{r}=2sin\left[(2r-1)\frac{π}{2n}\right]$$ | Eq. 1 |

Onde *r* é a identificação do elemento (perceba na figura que ímpares são capacitores e pares são indutores) e *n* é a ordem do filtro.

A ordem n do filtro é escolhida de acordo com a especificação, i.e.:

|  |  |
| --- | --- |
| $$A\_{dB}=10log\left[1+(\frac{ω}{ω\_{c}})^{2n}\right]$$ | Eq. 2 |

Onde *AdB* é a atenuação em dB em *ω* e *ωC* é a frequencia angular de corte do filtro. Claramente percebe-se que a especificação informando a atenuação *AdB* na frequencia *ω* e conhecendo-se da especificação *ωC*  encontra-se a ordem necessária para o filtro. A Fig.2 ilustra ambos conceitos. Lembre que a frequencia de corte está relacionada com o conceito de polos, provenientes da teoria básica de Circuitos Elétricos.



Fig. 2 Conceitos relacionadas a resposta passa baixa da Eq. 2

3. De posse das condutâncias *gr* da Eq. 1 define-se qual será a tecnologia a ser usada. Indutores e capacitores são comuns em RF, mas em micro-ondas se tornam caros, complexos e podem ser substituídos por trechos de linhas de transmissão. A seção 8.6 do Pozar descreve a topologia a ser analisada aqui, denominada *stepped impedance*. Basicamente, trechos de alta e baixa impedância sintetizarão os indutores/capacitores. *Por que essa tecnologia é não aconselhável em frequencias mais baixas, por exemplo em VHF?*

Os capacitores/indutores podem ser calculados conforme as Eqs.8.6a e 8.6b do Pozar.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

Onde *R0* é a impedância característica do sistema (50 Ohms), *L* e *C* os correspondentes *gr* da Eq. 1 e *Zh* e *Zl* os valores máximos e mínimos admitidos no processo. Por exemplo, microlinhas não podem ser realizáveis em valores de impedância característica muito baixa (ficam muito largas e geram efeitos como radiação, modos de ordem superior, etc) nem com impedâncias muito altas (ficam muito finas e são complicadas de ser implementadas mecanicamente). Valores típicos são em torno 120 e 20.

4. Agora o sistema pode ser implementado. Cada indutor da Fig. 1 será implementado por uma linha de alta impedância (fina), com certo comprimento *βl*. Cada capacitor, por sua vez, será implementado por uma linha com baixa impedância característica (larga), também com certo *βl*. A fig. 8.40 extraída do Pozar ilustra o *workflow*.

No CST será implementada uma sequência de linhas finas e largas (naturalmente as pontas terão linhas de 50 Ohms onde serão adicionados as portas do tipo waveguide). A resposta terá de ser assemelhada ao projetado.

|  |
| --- |
|  |
|  |

**Relatório**

1. Implemente os programas para gerar um resultado exatamente ao apresentado no Pozar (8.6). Tenha pleno entendimento dos passos, confirme seus codigos, verifique que o cst gera os mesmos resultados. Anexe os programas (matlab/scilab).

2. Usando o substrato semelhante ao do exemplo (constante dielétrica relativa de 4.2, espessura de 0.158 cm) projete um filtro de ordem N=6 com as frequencias de corte de:

|  |  |
| --- | --- |
| **Aluno** | **Freq. Corte** |
| Filipe | 2.5 |
| Marcelo | 3 |
| Renan | 3.5 |
| Fernando | 2 |
| Washington | 4 |

3. Mostre, usando a equação 3 qual a atenuação em dB na frequencia de corte e 10% acima da mesma.

4. Obtenha os valores de *βl* para os elementos, de acordo com as Eqs. 8.6a e 8.6b.

5. Implemente um modelo no CST; duas linhas de 50 Ohms e no meio o filtro projetado. Mostre as curvas obtidas (parâmetros S), confirmando as previsões analíticas do item (3) anterior.

Para achar os comprimentos é sugerido usar a macro macros/calculate/calculate analytical line impedance.

6. Explique o que acontece com sinais cuja frequencia está acima da frequencia de corte, com base no observado nos parâmetros S. Para onde vai a energia desses sinais?

Anexe o modelo cst final (file/archive as).

**Envie o relatório em pdf, bem como o arquivo cst final (file/archive as) para m\_perotoni@yahoo.com**