Conceito de filtro de baixa faixa em RF

(Microfita)

Fonte resistencia e condução falor dabela especifico Go=1, frequncia de corde $\Omega c=1$

Além do mapeamento de frequência, também é necessário o dimensionamento da impedância para realizar a transformação do elemento. O dimensionamento da impedância removerá a normalização g0 = 1 e ajustará o filtro para funcionar com qualquer valor da impedância da fonte indicada por Z0. Para nossa formulação, é conveniente definir um fator de escala de impedância γ0 como

$$\gamma 0 = \begin{cases} \dfrac{Zo}{Go} \rightarrow \dfrac{50}{1} = 50 & \text{se "Go" sendo resistencia} \\ \dfrac{Go}{Yo} \rightarrow \dfrac{1}{(1/50)} = 50 & \text{se "Go" sendo condudancia} \end{cases}$$

OBS:onde Y0 = (1 / Z0) é a entrada na fonte. Em princípio, a aplicação do escalonamento de impedância em uma rede de filtros de forma a não afetar o formato da resposta

Seja g o termo genérico (tabela) para os elementos do protótipo passa−baixo na transformação do elemento a ser discutido. Por ser independente da transformação de frequência, a seguinte transformação de elemento resistivo é válida para qualquer tipo de filtro:

$$\begin{bmatrix} R=\gamma o\cdot g & \text{se "G" sendo resistencia} \\ G=\dfrac{g}{\gamma o} & \text{se "G" sendo condudancia} \end{bmatrix}$$

g: é o numero de ordens utilizada no filtro, ex: se usar ordem 2 significa g1, g2, g3 (2 indutivo [g1 e g3] e um capacitivo [g2]) . Se usar 3 ordem g1, g2, g3 , g4 (2 indutivo [g1 e g3] e 2 capacitivo [g2 e g4])

Transformação passa baixa

A transformação de frequência de um protótipo passa−baixo em um filtro passa−baixo prático com uma frequência de corte ωc no eixo angular de frequência ω é simplesmente dada por

$$\Omega=\frac{\Omega c}{\omega c}\cdot\omega \quad \omega=2\cdot\pi\cdot f \quad \text{e} \quad \omega c=2\cdot\pi\cdot fc$$

$$\begin{bmatrix} L=\left(\dfrac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\gamma o\cdot g\rightarrow\left(\dfrac{1}{2\cdot\pi\cdot fc}\right)\cdot 50\cdot g & \text{se "g" sendo rindutivo} \\ C=\left(\dfrac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\left(\dfrac{g}{\gamma o}\right)\rightarrow\left(\dfrac{1}{2\cdot\pi\cdot fc}\right)\cdot\dfrac{g}{50} & \text{se "g" sendo capacitivo} \end{bmatrix}$$

Exemplo:

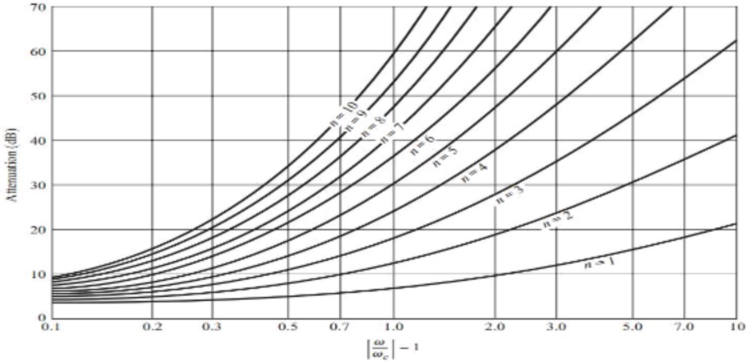
$$L1=\left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\gamma o\cdot g1\rightarrow C1=\left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\left(\frac{g2}{\gamma o}\right)\rightarrow L2=\left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\gamma o\cdot g3\rightarrow C2=\left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\left(\frac{g4}{\gamma o}\right)\rightarrow L2=\left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right)\cdot\gamma o\cdot g5\ldots\ldots$$

Uso da tabela e equações

TABLE 8.3 Element Values for Maximally Flat Low-Pass Filter Prototypes ($g_0 = 1$, $\omega_c = 1$, $N = 1$ to 10)

N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1	2.0000	1.0000									
2	1.4142	1.4142	1.0000								
3	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000							
4	0.7654	1.8478	1.8478	0.7654	1.0000						
5	0.6180	1.6180	2.0000	1.6180	0.6180	1.0000					
6	0.5176	1.4142	1.9318	1.9318	1.4142	0.5176	1.0000				
7	0.4450	1.2470	1.8019	2.0000	1.8019	1.2470	0.4450	1.0000			
8	0.3902	1.1111	1.6629	1.9615	1.9615	1.6629	1.1111	0.3902	1.0000		
9	0.3473	1.0000	1.5321	1.8794	2.0000	1.8794	1.5321	1.0000	0.3473	1.0000	
10	0.3129	0.9080	1.4142	1.7820	1.9754	1.9754	1.7820	1.4142	0.9080	0.3129	1.0000

Source: Reprinted from G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, Dedham, Mass., 1980, with permission.



$\frac{w}{wc} - 1$ =frequência normalizada para protótipo de filtro maximamente plano

Exemplo do uso do gráfico

Impedância escalar de filtro passa baixo

A frequência de corte 1.9 GHZ e frequência de operação é 3.8 GHZ

$\frac{3.8}{1.9} - 1 \blacktriangleright 1.E0$

Se determinarmos o número de ordensutilizando no filtro , no caso N=3 (g=0 a g=4). Aproximandamente a atenuação será −22 dB

Exemplo 1: Para demonstrar o uso da transformação do elemento, consideremos o projeto de um filtro passa-baixo prático com uma frequência de corte $f_c = 2$ GHz e uma impedância da fonte $Z_0 = 50$ ohms. Um protótipo lowpass Butterworth (tabela) é escolhido para este exemplo, que fornece $g_0 = g_4 = 1{,}0$ mhos, $g_1 = g_3 = 1{,}0$ H e $g_2 = 2{,}0$ F para $\Omega_c = 1$ rad / s , da Tabela 3.1. O fator de escala da impedância é "$\gamma_0 = 50$ ". A frequência de corte angular $\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^9$ rad / s. Aplicando equação encontramos L1 = L3 = 3.979 nH e C2 = 3.183 pF. O filtro passa-baixo resultante é ilustrado abaixo

(o exe diz g4, então n valor 3 da tabela)

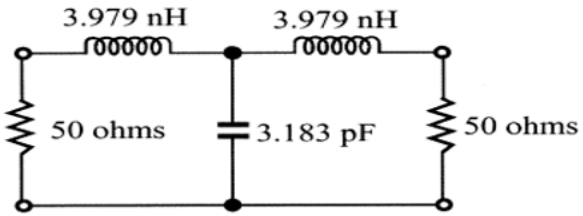
n	g_1	g_2	g_3	g_4
3	1.0000	2.0000	1.0000	1.0

$$l1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \_GHz} \cdot 50 \cdot \_\Omega \cdot 1 \;\blacktriangleright\; l1 = 3.97887\text{E}{-9} \cdot \_henry \quad (g1)$$

$$c1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \_GHz} \cdot \frac{2}{50 \cdot \_\Omega} \;\blacktriangleright\; c1 = 3.1831\text{E}{-12} \cdot \_F \quad (g2)$$

$$l2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \_GHz} \cdot 50 \cdot \_\Omega \cdot 1 \;\blacktriangleright\; l2 = 3.97887\text{E}{-9} \cdot \_henry \quad (g3)$$

$$c2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \_GHz} \cdot \frac{1}{50 \cdot \_\Omega} \;\blacktriangleright\; c2 = 1.59155\text{E}{-12} \cdot \_F \quad (g4)$$



©Exemplo 2: Para demonstrar o uso da transformação do elemento, consideremos o projeto de um filtro passa−baixo prático com uma frequência de corte fc = 1.9 GHz e uma impedância da fonte Z0=50 Ω. Um protótipo lowpass Butterworth tabela é escolhido n=3. O fator de escala da impedância é "'γ0 = 50 ". Aplicando equação do filtro passa−baixo resultante é ilustrado abaixo

$$l1=\frac{1}{2\cdot \pi\cdot 1.9\cdot \_GHz}\cdot 50\cdot \_\Omega\cdot 1 \qquad l1=4.18829\text{E}-9\cdot \_henry$$

$$c1=\frac{1}{2\cdot \pi\cdot 1.9\cdot \_GHz}\cdot \frac{2}{50\cdot \_\Omega} \qquad c1=3.35063\text{E}-12\cdot \_F$$

$$l2=\frac{1}{2\cdot \pi\cdot 1.9\cdot \_GHz}\cdot 50\cdot \_\Omega\cdot 1 \qquad l2=4.18829\text{E}-9\cdot \_henry$$

$$c2=\frac{1}{2\cdot \pi\cdot 1.9\cdot \_GHz}\cdot \frac{1}{50\cdot \_\Omega} \qquad c2=1.67532\text{E}-12\cdot \_F$$

Conceito de filtro de PASSS ALTA em RF

Para filtros passa−alto com uma frequência de corte ωc no eixo ω, a transformação de frequência é

$$\Omega = -\frac{\Omega c \cdot \omega c}{\omega} \qquad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{e} \quad \omega c = 2 \cdot \pi \cdot fc$$

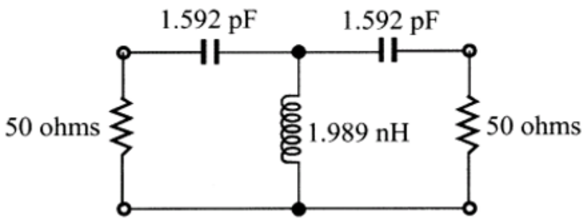
A aplicação dessa transformação de frequência a um elemento reativo g no protótipo passa−baixo leva a

$$j\Omega g = -\frac{\Omega c \cdot \omega c \cdot g}{j\omega}$$

É então óbvio que um elemento indutivo / capacitivo no protótipo passa−baixo será inversamente transformado em um elemento capacitivo / indutivo no filtro passa−alto.

Com a escala de impedância, a transformação do elemento é dada por

$$\begin{bmatrix} C = \left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right) \cdot \frac{1}{\gamma o \cdot g} \rightarrow \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot fc}\right) \cdot \frac{1}{50 \cdot g} & \text{se "g" sendo indutivo} \\ l = \left(\frac{\Omega c}{\omega c}\right) \cdot \left(\frac{\gamma o}{g}\right) \rightarrow \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot fc}\right) \cdot \frac{50}{g} & \text{se "g" sendo capacitivo} \end{bmatrix}$$



©Esse tipo de transformação de elemento de um filtro passa–alto prático com uma frequência de corte nos terminais de 2 GHz e 50 ohms, que é obtido a partir da transformação do protótipo de passa–baixo Butterworth de 3 polos, dado ANTERIOMENTE

$$c1=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot \_GHz}\cdot\frac{1}{50\cdot \_\Omega\cdot 1} \qquad c1=1.59155\text{E}{-12}\cdot \_F$$

$$l1=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot \_GHz}\cdot\frac{50\cdot \_\Omega}{2} \qquad l1=1.98944\text{E}{-9}\cdot \_henry$$

$$c2=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot \_GHz}\cdot\frac{1}{50\cdot \_\Omega\cdot 1} \qquad c2=1.59155\text{E}{-12}\cdot \_F$$

$$l1=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot \_GHz}\cdot\frac{50\cdot \_\Omega}{1} \qquad l1=3.97887\text{E}{-9}\cdot \_henry$$

PASSA BANDA ou PASSA FAIXA

Suponha que uma resposta do protótipo de passa−baixo seja transformada em uma resposta de passe de banda com uma banda passante $w2 - w1$, onde $w1$ e $w2$ indicam a frequência angular da borda da banda passante. A transformação de frequência necessária é

$$\Omega = -\frac{\Omega c}{FBW}\cdot\left(\frac{w}{wo} - \frac{wo}{w}\right)$$

$$FBW = \frac{w2 - w1}{wo} \qquad wo = \sqrt{w1 \cdot w2}$$

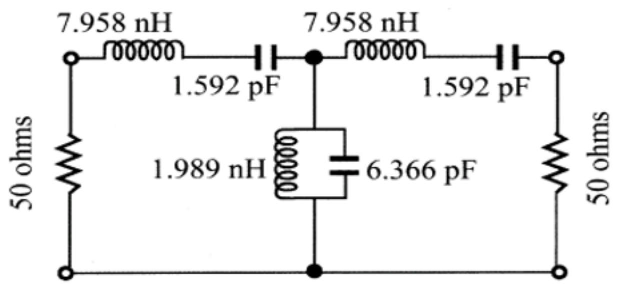
w onde w0 indica a frequência angular central e FBW é definida como a largura de banda fracionária. Se aplicarmos essa transformação de frequência a um elemento reativo " g " do protótipo passa−baixo, teremos

$$j\Omega g = jw\cdot\frac{\Omega c\cdot g}{FBW\cdot wo} + \frac{1}{jw}\cdot\frac{\Omega c\cdot wo\cdot g}{FBW}$$

$$\frac{zo\cdot g1}{\Omega\cdot wo}$$

$$\begin{bmatrix} Ls = \dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\gamma o\cdot g \rightarrow \dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot 50\cdot g \\ Cs = \dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{1}{\gamma o\cdot g} \rightarrow \dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{1}{50\cdot g} \end{bmatrix}$$ "g" sendo a indutância

$$\begin{bmatrix} Cp = \dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\dfrac{g}{\gamma o} \rightarrow \dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\dfrac{g}{50} \\ Lp = \dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{\gamma o}{g} \rightarrow \dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{50}{g} \end{bmatrix}$$ "g"sendo a capacitância



ATENÇÃO: O LIVRO NÃO DIZ POR QUE USOU OUTRA TABELA QUE NÃO SE ENCONTRA NO PRÓPRIO ELE USA A TABELA DO LIVRO DO "POZAR" O CURIOSO QUE VALOR **Ωc=0.1**, SENDO QUE A MESMA DA TABELA Ωc=1, SE NÃO USAR **0.1** O CALCULO FICARÁ ERRADO. Pozar PAG 406 tabela

TABLE 8.4 Element Values for Equal-Ripple Low-Pass Filter Prototypes ($g_0 = 1, \omega_c = 1$, $N = 1$ to 10, 0.5 dB and 3.0 dB ripple)

	0.5 dB Ripple										
N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1	0.6986	1.0000									
2	1.4029	0.7071	1.9841								
3	1.5963	1.0967	1.5963	1.0000							
4	1.6703	1.1926	2.3661	0.8419	1.9841						
5	1.7058	1.2296	2.5408	1.2296	1.7058	1.0000					
6	1.7254	1.2479	2.6064	1.3137	2.4758	0.8696	1.9841				
7	1.7372	1.2583	2.6381	1.3444	2.6381	1.2583	1.7372	1.0000			
8	1.7451	1.2647	2.6564	1.3590	2.6964	1.3389	2.5093	0.8796	1.9841		
9	1.7504	1.2690	2.6678	1.3673	2.7239	1.3673	2.6678	1.2690	1.7504	1.0000	
10	1.7543	1.2721	2.6754	1.3725	2.7392	1.3806	2.7231	1.3485	2.5239	0.8842	1.9841

FONTE: Microwave Filter Design By Professor Syed Idris Syed HassanSch of Elect. & Electron Eng Engineering Campus USM Nibong Tebal 14300 SPS Penang

©Note-se que $w0Ls = \frac{1}{w0Cs}$ e $w0Lp = \frac{1}{w0Cp}$. A transformação do elemento Com o mesmo protótipo de passa baixo Butterworth de 3 polos $(n=3)$ usado anteriormente onde um passa de banda com uma banda passante de 1 GHz a 2 GHz obtida usando a transformação do elemento. $\Omega c=0.1$

g1=1.5963 – g2=1.0967 – g3= 1.5963 – g4= 1.000

$$wo=\sqrt{2\cdot\pi\cdot1\cdot\_GHz\cdot2\cdot\pi\cdot2\cdot\_GHz} \blacktriangleright 8.88577E9\cdot\_Hz$$

$$FBW=\frac{2\cdot\_GHz-1\cdot\_GHz}{8885770000.\cdot\_Hz} \blacktriangleright 112.539E-3$$

$$\Omega=\frac{-0.1}{0.112539}\cdot\left(\frac{2\cdot\pi}{8885770000.}-\frac{8885770000.}{2\cdot\pi}\right)$$

$$\begin{bmatrix} Ls=\frac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\gamma o\cdot g \rightarrow \frac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot 50\cdot g \\ Cs=\frac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\frac{1}{\gamma o\cdot g} \rightarrow \frac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\frac{1}{50\cdot g}\end{bmatrix} \quad \Omega=-\frac{\Omega c}{FBW}\cdot\left(\frac{w}{wo}-\frac{wo}{w}\right)$$

$$Ls1=\frac{0.1}{0.112539\cdot8.88577\cdot\_GHz}\cdot50\cdot\_\Omega\cdot1.5963 \blacktriangleright 7.98153E-9\cdot\_henry$$

Resposta livro: 7.958 nH e 1.596 3pF

$$Cs1=\frac{0.112539}{8.88577\cdot\_GHz\cdot0.1}\cdot\frac{1}{50\cdot\_\Omega\cdot1.5963} \blacktriangleright 1.5868E-12\cdot\_F$$

ou

$$solve\left(\left\{8.88577\cdot\_GHz\cdot ls=\frac{1}{8.88577\cdot\_GHz\cdot1.5868\cdot\_pF},\{ls\}\right.\right) \blacktriangleright ls=7.98156E-9\cdot\_henry$$

$$solve\left(\left\{8.88577\cdot\_GHz\cdot7.98153\cdot\_nH=\frac{1}{8.88577\cdot\_GHz\cdot cs},\{cs\}\right.\right) \blacktriangleright cs=1.58681E-12\cdot\_F$$

____________CP e LP______________

$$\left[\begin{array}{l} Cp=\dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\dfrac{g}{\gamma o}\rightarrow\dfrac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\dfrac{g}{50} \\ Lp=\dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{\gamma o}{g}\rightarrow\dfrac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\dfrac{50}{g} \end{array}\right]$$

$$Cp1=\frac{0.1}{0.112539\cdot 8.88577\cdot\_GHz}\cdot\frac{1.5963}{\frac{50\cdot\_\Omega}{2}} \blacktriangleright 6.38523E-12\cdot\_F$$

res: 1.989 nH e 6.366nF [g1=1.5963 or g2=1.0967]?????

50/2 fiz como teste

$$Lp1=\frac{0.112539}{8.88577\cdot\_GHz\cdot 0.1}\cdot\frac{\frac{50\cdot\_\Omega}{2}}{1.5963} \blacktriangleright 1.98351E-9\cdot\_henry$$

ou

$$w0Lp=\frac{1}{w0Cp}$$

$$solve\left(\left\{8.88577\cdot\_GHz\cdot lp=\frac{1}{8.88577\cdot\_GHz\cdot 6.38523E-12\cdot\_F},\{lp\}\right)\right. \blacktriangleright lp=1.98351E-9\cdot\_henry$$

$$solve\left(\left\{8.88577\cdot\_GHz\cdot 1.98351E-9\cdot\_henry=\frac{1}{8.88577\cdot\_GHz\cdot cp},\{cp\}\right)\right. \blacktriangleright cp=6.38521E-12\cdot\_F$$

---

g2=1.0967 ??????????????

$$Ls2=Ls1=\frac{0.1}{0.112539\cdot 8.88577\cdot\_GHz}\cdot 50\cdot\_\Omega\cdot 1.0967 \blacktriangleright 5.48352E-9\cdot\_henry$$

$$Cs2=\frac{0.112539}{8.88577\cdot\_GHz\cdot 0.1}\cdot\frac{1}{50\cdot\_\Omega\cdot 1.0967} \blacktriangleright 2.30967E-12\cdot\_F$$

Res:7.958 nH 1.989 pF g1=1.5963 − g2=1.0967

situação 1

g1=1.5963 − g2=1.0967 − g3= 1.5963 − g4= 1.000

$$wo=\sqrt{2\cdot\pi\cdot1\cdot\_GHz\cdot2\cdot\pi\cdot2\cdot\_GHz} \rightarrow 8.88577E9\cdot\_Hz$$

$$FBW=\frac{2\cdot\_GHz-1\cdot\_GHz}{8885770000.\cdot\_Hz} \rightarrow 112.539E-3$$

$$\Omega=\frac{-0.1}{0.112539}\cdot\left(\frac{2\cdot\pi}{8885770000.}-\frac{8885770000.}{2\cdot\pi}\right)$$

$$\begin{bmatrix} Ls=\frac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot\gamma o\cdot g \rightarrow \frac{\Omega c}{FBW\cdot wo}\cdot 50\cdot g \\ Cs=\frac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\frac{1}{\gamma o\cdot g} \rightarrow \frac{FBW}{wo\cdot\Omega c}\cdot\frac{1}{50\cdot g} \end{bmatrix} \Omega=-\frac{\Omega c}{FBW}\cdot\left(\frac{w}{wo}-\frac{wo}{w}\right)$$

$$Ls1=\frac{0.1}{0.112539\cdot8.88577\cdot\_GHz}\cdot50\cdot\_\Omega\cdot1.5963 \rightarrow 7.98153E-9\cdot\_henry$$

Res:7.958 nH 1.5963

$$Cs1=\frac{0.112539}{8.88577\cdot\_GHz\cdot0.1}\cdot\frac{1}{50\cdot\_\Omega\cdot1.5963} \rightarrow 1.5868E-12\cdot\_F$$

-----Clp------supondo que seja g2=1.0967----------

$$Cp1=\frac{0.1}{0.112539\cdot8.88577\cdot\_GHz}\cdot\frac{1.6967}{25\cdot\_\Omega} \rightarrow 6.78683E-12\cdot\_F$$

Res:7.958 nH 1.989 nH

$$solve\left(\left\{\frac{0.1}{0.112539\cdot8.88577\cdot10^{9}}\cdot\frac{x}{50\cdot\_\Omega}=7.958\cdot10^{-9},\{x\}\right)\right) \rightarrow x=3.97898E3\cdot\_\Omega$$

ERRO FAIL ERR POR QUE WHY