INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Secção de Sistemas e Controlo

Análise de Circuitos

4º Trabalho de Laboratório

Setembro de 1999

Elaborado por:
António Serralheiro

Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___
Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___
Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___

Data:________________

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CIRCUITOS DE FILTRAGEM

1. FILTRO PASSA-BANDA

1.1 INTRODUÇÃO

Os circuitos cujas saídas dependem da frequência, são designados por **filtros**. A sua utilização em sistemas de telecomunicações, controlo, etc. é vastíssima. Normalmente, um filtro é usado para rejeitar ou seleccionar sinais cujas frequências se encontrem dentro de uma dada gama. Assim, um filtro pode ser classificado como: passa-baixo (atenuando as altas frequências), passa-alto (atenuando as baixas frequências), passa-banda (atenuando as frequências fora de uma dada banda), rejeita-banda e passa-tudo. Neste último caso, o filtro não atenua ou amplia nenhuma gama de frequências em particular, mas permite, por exemplo, equalizar a fase de um canal de transmissão.

O projecto de filtros passa, normalmente, pela elaboração de um conjunto de requisitos que especificam o comportamento (desempenho) do filtro na frequência. Os filtros podem ser realizados com recurso a amplificadores operacionais e neste caso, denominam-se de **activos**. Neste trabalho iremos abordar o estudo de filtros activos, utilizando como exemplo um filtro passa-banda activo.

1.2 ESTUDO DA TOPOLOGIA DE UM FILTRO ACTIVO

Comece por analisar o circuito da figura 1, obtendo a equação que relaciona $v_0(t)$ com a fonte de tensão independente, $v_S(t)$. Considere que o ampop é ideal, e que como entrada se tem $v_S(t) = V\ e^{s_p t}$, isto é, que a fonte de tensão independente é uma fonte exponencial complexa. Como sabe, nestas condições, a tensão de saída é dada pela equação $v_0(t) = V_0\ e^{s_p t}$, em que V_0 representa a amplitude complexa da tensão de saída. Repare ainda que $v_0(t)$ se pode relacionar com a tensão de entrada através de $v_0(t) = H(s_p)\ V\ e^{s_p t}$, sendo $H(s_p)$ a denominada **função de transferência**; neste caso, $H(s_p) = \frac{V_0}{V}$.

$\boxed{\mathbf{T}}$

- Mostre então que, para o circuito da figura 1, a função de transferência se pode escrever na forma:

$$H(s_p) = \frac{-Y_1 Y_3}{Y_5(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4}$$

sabendo que a **admitância** Y é dada por $Y = \frac{1}{Z}$, sendo Z a impedência de um dado elemento; logo $Y = \frac{I}{V}$.

<u>Sugestão</u>: Utilize o método dos nós.

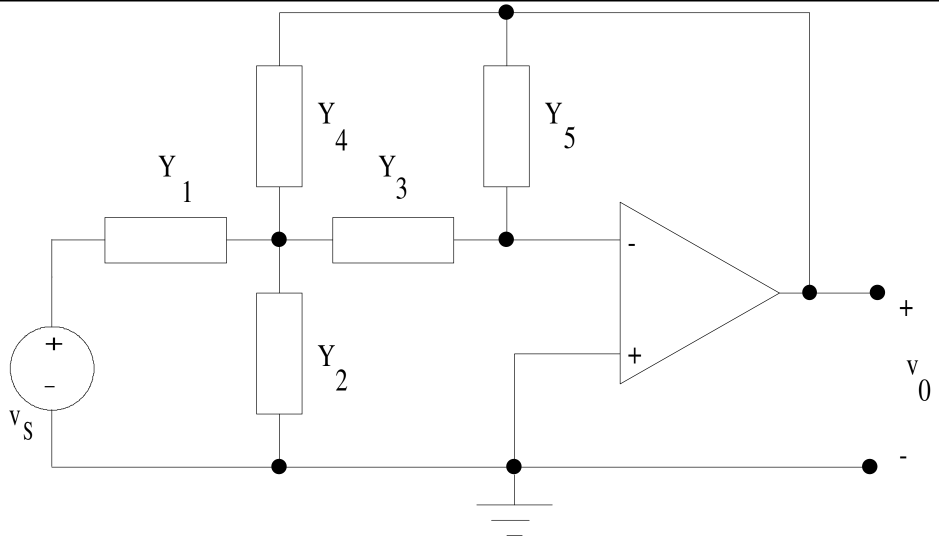

Figura 1. Filtro activo.

1.3 ESTUDO DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

$\boxed{\text{T}}$

- Sendo, em regime permanente sinusoidal, $v_s(t) = V\cos(\omega\, t) = \mathit{RE}\{Ve^{s_p t}\}$, com $s_p = j\omega$, obtenha agora a **função de resposta em frequência** $H(j\omega)$ para o circuito da figura 2. Recorde-se que deverá utilizar admitâncias; consulte a tabela 1 onde se indicam para os elementos usuais (resistência, condensador e bobina) as respectivas impedâncias e admitâncias:

Elemento	**Impedância**	**(em regime sinusoidal)**	**Admitância**	**(em regime sinusoidal)**
Resistência	R	R	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R}$
Condensador	$\frac{1}{s_p C}$	$\frac{1}{j\omega C}$	$s_p C$	$j\omega\, C$
Indutância	$s_p L$	$j\omega L$	$\frac{1}{s_p L}$	$\frac{1}{j\omega L}$

Tabela 1. Quadro de impedâncias e admitâncias para cada elemento.

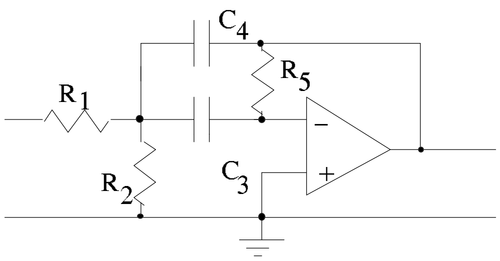

Figura 2. Filtro Passa-banda activo.

T

- Dimensione agora o filtro passa-banda representado na figura 2, baseando-se nas seguintes equações,

$$R_1 = \frac{Q}{H_0\omega_0 C},\ R2 = \frac{Q}{(2Q^2 - H_0)\omega_0 C},\ R_5 = \frac{2Q}{\omega_0 C} \qquad (1)$$

e sabendo que:

1. o ganho na frequência central é unitário[1], $H_0 = 1$,
2. tem um factor de qualidade[2] $Q = 10$,
3. a frequência central é $f_0 = 1000$Hz,
4. O valor da capacidade $C = C_3 = C_4$ deverá ser escolhida de acordo com os valores disponíveis no laboratório[3], e de modo a que as resistências R_1 e R_5 resultantes das equações anteriores se situem no intervalo [1kΩ, 1MΩ].

A resistência R_2 poderá ser substituída por um potenciómetro de modo a garantir que a frequência central se situe no valor pretendido. Se não for possível o uso de um potenciómetro em R_2, tente[4], mediante associações série e/ou paralelo de resistências, obter o valor indicado. Tenha ainda em conta que os valores para os componentes electrónicos (resistências, condensadores e indutâncias) se encontram disponíveis em séries de valores. Assim, considere no seu dimensionamento apenas a **série E12** que permite, dentro de cada década, os seguintes valores: 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8 e 8,2. Deste modo, teremos, por exemplo, resistências de 1,8Ω, 18Ω, 180Ω, 1,8kΩ, 18kΩ, 180kΩ, 1,8MΩ, cobrindo 7 décadas.

---

1 Um filtro passa-banda tem a particularidade de atenuar os sinais de frequências situadas acima e abaixo de uma dada frequência central.

2 O factor de qualidade de um filtro passa-banda dá-nos uma indicação da gama de frequências para as quais o ganho do filtro ainda é significativo (largura de banda). Como exemplo, se fosse possível obter um filtro passa-banda ideal, significaria que para f $\notin$ [largura de banda], a saída do filtro seria nula; ao passo que, para f $\in$ [largura de banda], a saída do filtro seria finita e diferente de zero. Note-se ainda que a definição de largura de banda deve ser mais rigorosa: define-se, então, largura de banda como sendo a diferença entre os valores de frequência para os quais o ganho do filtro é de -3dB (ou 0,707 vezes menor) em relação ao ganho da frequência central.

3 Seleccione o valor dos condensadores, através da série E12, por forma situarem-se em C $\in$ [1 1000[nF.

4 Não use mais do que 3 ou 4 resistências para obter o valor desejado. Tenha, ainda, presente que todas as resistências (e os condensadores também) apresentam uma dada tolerância de fabrico.

R_1 = Ω
R_2 = Ω
$C = C_3 = C_4$ = F
R_5 = Ω

$\boxed{\textbf{T}}$ $\boxed{\textbf{S}}$

- Verifique, numericamente e através de simulação no PSPICE, o seu dimensionamento, preenchendo as segunda, terceira e quarta colunas da Tabela 2 e representando o módulo da função de resposta em frequência em dB[5] em papel semi-logarítmico (diagrama de Bode de amplitude).

$\boxed{\textbf{E}}$

- Verifique experimentalmente o seu dimensionamento, montando o circuito da figura 2. Coloque na entrada uma tensão sinusoidal de 1V de amplitude. Nestas condições, $|H(j\omega)|$ é, directamente, a amplitude da tensão de saída. Complete a Tabela 2, preenchendo a coluna da direita da Tabela 2.

Frequência (Hz)	**$\|H(j\omega)\|$**	**$20 \log_{10} \|H(j\omega)\|$**	**$20 \log_{10} \|H(j\omega)\|$ (Simulado)**	**$20 \log_{10} \|H(j\omega)\|$ (Experimental)**
100				
200				
400				
600				
700				
800				
900				
1.000				
1.100				
1.200				
1.300				
1.500				
2.000				
4.000				
8.000				
10.000				
20.000				

Tabela 2. Variação teórica do ganho do filtro com a frequência.

5 Como sabe, dB representa $20\log_{10}|H(j\omega)|$.

C

- Comente o desempenho do filtro em função da frequência.

1.4 RESPOSTA NO TEMPO

E

- Coloque uma onda quadrada de 2 V de amplitude na entrada do circuito e de 10ms de período fundamental.

Esboce o sinal de saída:

S

Usando o PSPICE, verifique a resposta do circuito à onda quadrada de 10ms de período:

E

- Coloque uma onda quadrada de 2 V de amplitude na entrada do circuito e de 50µs de período fundamental.

Esboce o sinal de saída:

S

Usando o PSPICE, verifique a resposta do circuito à onda quadrada de 50µs de período:

C

- Que conclusões tira após estes ensaios, relativamente à resposta temporal do filtro?