UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE
LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS II - LCE-II
Prof.:CELSO JOSÉ FARIA DE ARAÚJO

FILTRO DE FREQUÊNCIAS

COMPONENTES DA EQUIPE

Alunos(as):	NOTA
1 - ______	
2 - ______	
3 - ______	Data: ___/___/____ ___ :___ hs

1 OBJETIVOS

Fazer uma análise teórica e experimental do filtro proposto quanto a:

- Função de Transferência.
- Tipo de Filtro (quanto à faixa de passagem).
- Ordem do filtro.
- Diagrama de Bode com tratamento assintótico, exato e experimental.

2 PARTE TEÓRICA:

2.1 Definição

Um filtro eletrônico é um dispositivo capaz de atenuar determinadas frequências do espectro do sinal de entrada e permitir a passagem das demais, fazendo assim, uma espécie de seleção das mesmas. Chama-se de espectro de um sinal a sua decomposição numa escala de amplitude *versus* frequência.

2.2 Classificação

Os filtros podem ser classificados sob três aspectos:

- Quanto à **função executada**;
- Quanto à **tecnologia empregada**;
- Quanto à **função-resposta** (ou aproximação) utilizada.

Quanto a **função executada** serão considerados apenas quatro tipos básicos de filtros:

- Filtro **Passa-Baixas** (PB): só permite a passagem de frequências abaixo de uma determinada frequência f_c (denominada frequência de corte). As frequências superiores são atenuadas.
- Filtro **Passa-Altas** (PA): só permite a passagem de frequências acima de uma determinada frequência f_c (denominada frequência de corte). As frequências inferiores são atenuadas.

- Filtro **Passa-Faixa** (PF): só permite a passagem de frequências situadas numa faixa delimitada pela frequência de corte inferior f_{c1} e outra superior f_{c1}. As frequências situadas abaixo de f_{c1} ou acima de f_{c2} são atenuadas.
- Filtro **Rejeita-Faixa** (RF): só permite a passagem de frequências abaixo de uma frequência de corte inferior f_{c1} ou acima de uma frequência de corte superior f_{c2}. A faixa de frequência delimitada por f_{c1} e f_{c2} são atenuadas.

Na Figura 1 estão mostradas as curvas de respostas ideais de cada um dos filtros. Onde no eixo vertical está plotado o ganho (o módulo da relação da saída pela entrada).

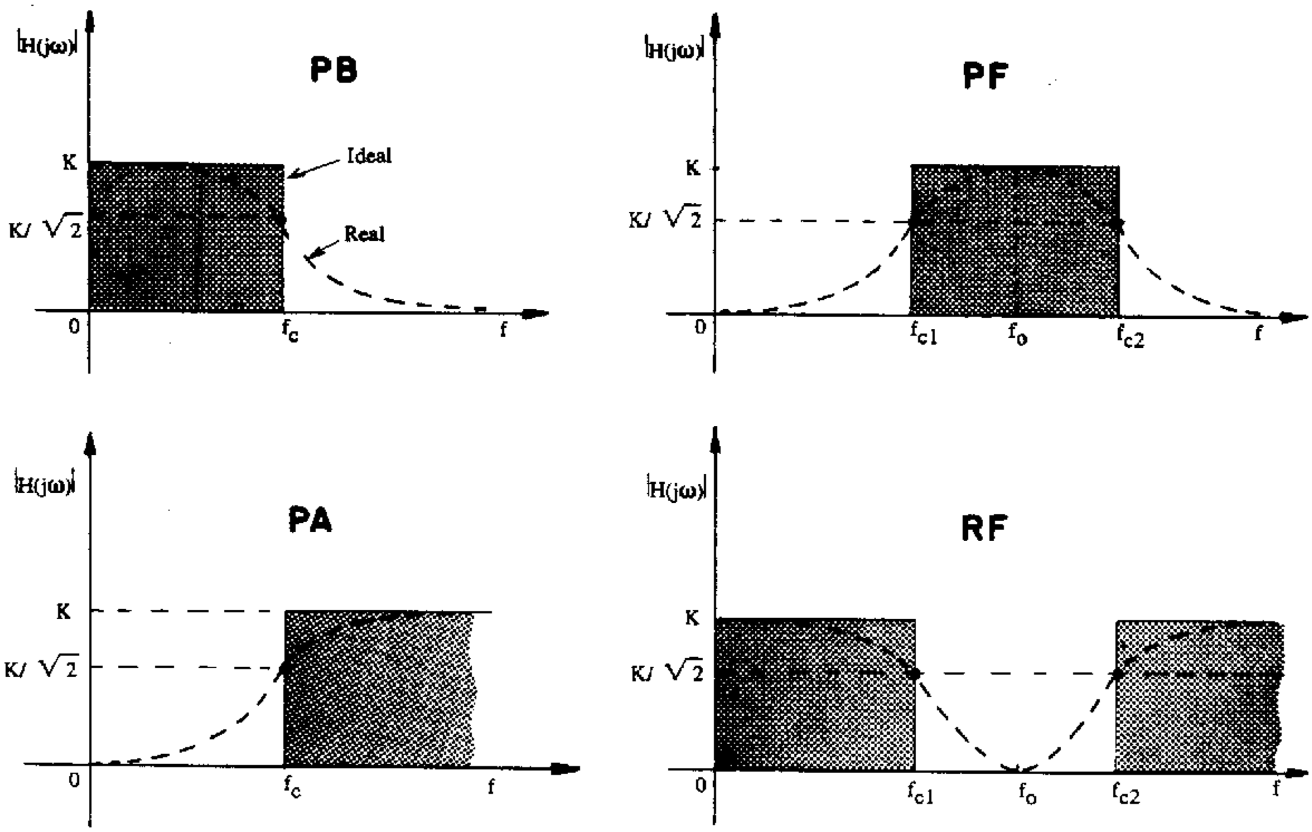

Figura 1: Filtros conforme a função executada

O segundo aspecto de classificação dos filtros é quanto à **tecnologia utilizada**:

- **FILTOS PASSIVOS**: São aqueles construídos apenas com elementos passivos, tais como: resistores, capacitores e indutores. São inviáveis em baixa frequência, pois exigem indutores muito grandes e pesados.
- **FILTROS ATIVOS**: são construídos com elementos passivos e ativos (válvulas, transistores ou amplificadores operacionais). A alta resistência de entrada e a baixa resistência de saída dos amplificadores operacionais, associado a outras características, permitem a implementação de filtros ativos de ótima qualidade.
- **FILTROS DIGITAIS**: tais filtros utilizam componentes digitais como elementos construtivos. Estes filtros processam sinais digitais, portanto, normalmente necessitam de conversores analógicos digitais A/D e conversores digitais analógicos D/A para conversão dos sinais filtrados.

Finalmente o terceiro aspecto de classificação; quanto a sua **função-resposta** ou aproximação. Os tipos mais comuns de aproximação são as seguintes:

- **Butterworth**
- **Chebyshev**
- **Cauer ou Elíptico**

Cada uma destas aproximações possui uma função matemática específica, através da qual se consegue obter uma curva de resposta aproximada para um determinado tipo de filtro. Normalmente estas funções aproximações são estudadas para os filtros PB e com uma simples **transformação na frequência**, consegue-se a aproximação para os demais filtros (PA, PF e RF).

2.3 Ordem do Filtro

Um filtro normalmente é reconhecido através da sua classificação e também pela **ordem**. A ordem de um filtro é dada pelo número de pólos de sua função de transferência. Considerando que toda função de transferência de um filtro pode ser escrita por:

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = K\frac{s^m + a_{m-1}s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \cdots + b_1 s + b_0}$$

Onde "m" é o número de raízes do polinômio no numerador $N(s)$, e estas raízes são chamadas de zeros da função de transferência $H(s)$, "n" é o número de raízes do denominador $D(s)$ - função característica, e estas raízes são chamadas de polos da função de transferência $H(s)$. Portanto "n" caracteriza a ordem do filtro.
Pode-se também assinalar os polos e zeros da função de transferência no plano "$s = \sigma + j\omega$" (polos com "$\times$" e zeros com "O"). Este gráfico assim composto é chamado de diagrama dos polos e zeros. Logo, para o diagrama da Figura 2, trata-se de um filtro de 2ª Ordem com dois zeros na origem e um par de polos complexos conjugados ($-3 \pm j4$).

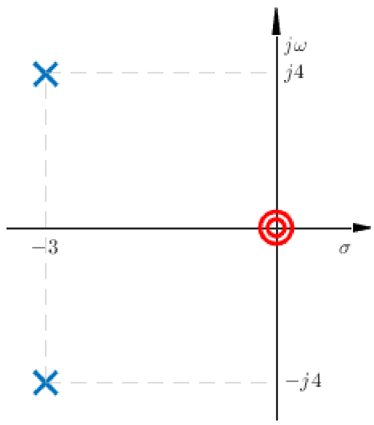

Figura 2: Diagrama de Polos e Zeros

2.4 Tratamento Assintótico - Forma Fatorada

Para realizar um tratamento assintótico adequado (Diagrama de Bode Aproximado) é necessário escrever a função de transferência do filtro da seguinte forma:

$$H(s) = K\frac{\prod_{i=1}^{m} N_i(s)}{\prod_{j=1}^{n} D_j(s)}$$

Onde a forma fatorada dos polinômios em "s" de $N_i(s)$ e $D_j(s)$ são constituídos por quatros tipos possíveis de termos:

- O termo constante, "K";
- O fator *"s"*, representando uma raiz na origem;
- O fator *"$s+\alpha$"*, representando uma raiz real;
- O fator *"$s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2$"*, representando um par de raízes complexas conjugadas.

Quando substitui-se s por $j\omega$, ou seja, $s = j\omega$, despreza-se o efeito transiente e considera-se apenas o efeito do regime permanente senoidal na resposta do sistema.
Desse jeito, na forma polar, pode-se escrever:

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\angle H(j\omega)}$$

$|H(j\omega)|$ é também chamado de **Ganho** da função de transferência, que pode ser expresso também em decibel (dB), sendo $|H(j\omega)|_{dB} = 20\,log\left(|H(j\omega)|\right)$. Desde que o $|H(j\omega)|$ em decibéis (dB) de um produto de termos é igual a soma dos módulos (dB) dos termos do produto, o problema para esboçar o Diagrama de Bode aproximado da função de transferência do filtro passa a ser somente a composição do esboço aproximado dos termos anteriormente citados.
Portanto procure escrever a função de transferência como produto de funções de primeira e de segunda ordem.

2.5 frequências de Corte

O ponto onde o módulo da função $H(j\omega)$ é 70,7% do módulo máximo é também chamado ponto de atenuação de $3dB$. Esta definição é válida para os quatro tipos de filtros PB, PA, PF e RF. Outro conceito importante é o conceito de seletividade (Q). É um conceito muito utilizado na área de telecomunicações e pode ser definido como a habilidade de um filtro de distinguir, em um dado espectro de frequências, uma determinada frequência em relação as demais. Tem muito significado para filtros PF e RF, mas nos demais o mesmo quase não se aplica.

3 MATERIAL UTILIZADO

1. Gerador de Sinal Senoidal.
2. Resistor: $2 \times\ 100\Omega$.
3. Capacitor:$2 \times\ 100\eta F$.

4. Indutor: $820\mu H$ ou (2 de $470\mu H$ - série).
5. Osciloscópio (2 canais).

4 PRÉ-RELATÓRIO[1]

1. Calcule a função de transferência do filtro $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ da Figura 3 para $R = 100\Omega$, $C = 100\eta F$ e o indutor pode ser dois indutores em série de $470\mu H$ ou um apenas de $820\mu H$. Anote o valor do indutor escolhido.

$$L = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \mu H$$

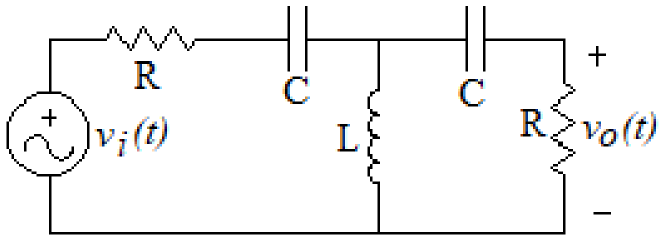

Figura 3: Circuito de Filtro

$$H(s) =$$

2. Calcule os polos e zeros da função *H(s)* e preencha somente o necessário na Tabela 1.

ORDEM	POLOS	ZEROS
$n =$ ___	$p_1 =$ ___	$z_1 =$ ___
	$p_2 =$ ___	$z_2 =$ ___
	$p_3 =$ ___	$z_3 =$ ___
	$p_4 =$ ___	$z_4 =$ ___
	$p_5 =$ ___	$z_5 =$ ___

Tabela 1: Polos e Zeros

[1]Todas as plotagens de módulo de $H(j\omega)$ deste relatório devem estar em um gráfico, bem como as plotagens de fase de $H(j\omega)$. Ou seja, um diagrama de Bode completo.

3. Classifique o tipo de filtro quanto a função executada e tecnologia empregada.

Função executada: ______________________________

Tecnologia empregada: ______________________________

4. Escreva $H(s)$ utilizando o conceito introduzido no item 2.4 (forma fatorada)

$H(s) =$

5. Faça um tratamento assintótico na função $H(j\omega)$ e esboce o Diagrama de Bode Assintótico (gráfico monolog para módulo e fase – frequência em Hz).

6. Calcule o valor máximo em dB do módulo de $H(j\omega)$.

$G_{max} = Max\left(|H(j\omega)|_{dB}\right) =$ ______________________________

7. Utilizando a equação do módulo de $H(j\omega)$ plote um gráfico desta função e, rastreando os valores numericamente, encontre a frequência de corte do filtro.

$\omega_c =$ ______________________________ rad/s $f_c =$ ______________________________ Hz

8. Trace o Diagrama de Bode (teórico) utilizando a função $H(j\omega)$ obtida. (Use o mesmo papel monolog utilizado para o tratamento assintótico – frequência em Hz).

9. Preencha a Tabela 2.

	$f_c/4$	$f_c/2$	f_c	$2f_c$	$3f_c$	$4f_c$	$5f_c$	$10f_c$
$f(KHz)$								
$\|H(j\omega)\|$								
$\|H(j\omega)\|_{dB}$								
$\angle H(j\omega)(^o)$								

Tabela 2: Valores Teóricos para o Diagrama de Bode.

5 PARTE EXPERIMENTAL:

1. Montar o circuito mostrado na Figura 3.
2. Ajustar o gerador de sinal para senoidal e amplitude para qualquer valor diferente de zero (quase no final da escala).
3. Variar a frequência (entre $1KHz$ e $350KHz$) até que se obtenha um ganho máximo G_{max}.
4. Variar a frequência de tal maneira que o ganho máximo em dB seja reduzido de um fator de $-3dB$ (ou seja, $|H(j\omega_c)| = \frac{G_{max}}{\sqrt{2}}$), pois neste caso obtêm-se a frequência de corte (f_c).

   $\omega_c =$ ______________________ rad/s $f_c =$ ______________________ Hz

5. Medir o módulo e fase nas frequências requeridas de modo a preencher a Tabela 3:

	$f_c/4$	$f_c/2$	f_c	$2f_c$	$3f_c$	$4f_c$	$5f_c$	$10f_c$
$f(KHz)$								
$\lvert H(j\omega)\rvert$								
$\lvert H(j\omega)\rvert_{dB}$								
$\angle H(j\omega)(^o)$								

Tabela 3: Valores Experimentais para o Diagrama de Bode.

6. Esboçar o diagrama de bode experimental obtido através da Tabela 3. (Sobrepor os gráficos obtidos no mesmo papel monolog utilizado na parte teórica - frequência em Hertz).

6 QUESTIONÁRIO

6.1 O experimento se mostrou válido? Explique por quê?

6.2 Comente os resultados, erros encontrados e a principal fonte de erro.