

## 3ELE002 - Circuitos de Comunicação

**Experiência 1 - Circuitos Ressonantes e Filtros Passivos**Taufik ABRÃO<sup>†</sup>, Lab. Telecom - Depto Eng. Elétrica da Univ. Estadual de Londrina

**RESUMO** Análise prática de circuitos ressonantes, determinação de índice de mérito carregado, filtros passivos

**palavras-chave:** ressoadores série e paralelo; filtros passivos; filtros só polos.

**1. OBJETIVOS**

Análise e avaliação experimental de circuitos ressoadores série e/ou paralelo, filtros passa-baixa (FPB), passa-alta (FPA) e/ou passa-faixa (FPF). Obter a resposta em frequência de tais filtros. Filtros de Butterworth.

**2. MATERIAL E EQUIPAMENTOS**

## 1 Gerador de funções

- 1 Osciloscópio
- 1 Resistores de 50; 470 10 K $\Omega$
- 2 Resistores de 22 K $\Omega$
- Capacitores cerâmicos
- Indutores de 1 $\mu$ H a 22 $\mu$ H
- 1 Protoboard

**3. ROTEIRO EXPERIMENTAL**

## 3.1 Circuitos Ressonantes

1. Dado um circuito ressonante paralelo como mostrado na figura 1 estabeleça um método experimental para a obtenção do índice de mérito do conjunto ( $Q^{Loaded}$ ), utilizando uma fonte de tensão AC variável e um osciloscópio.
2. Obtenha experimentalmente o índice de mérito do circuito a partir do método estabelecido anteriormente.
3. Estabeleça um método de medida para a obtenção do  $Q$  aproximado para o indutor. Obtenha experimentalmente.
4. Qual a rejeição, em dB, para uma freq igual a  $0,53 \times f_0$ ? Compare com o valor experimental.

## 3.2 Filtros Passivos

## 3.2.1 Filtros RC

1. Projetar um **FPB RC** com as seguintes características:  $f_c = 226\text{Hz}$  e  $C = 150\text{nF}$ .
  - a. Ajustar o sinal senoidal fornecido pelo gerador de áudio de tal forma a manter  $V_{in} = 3V_{pico}$ . Avaliar  $V_{out}$  com o osciloscópio para cada valor

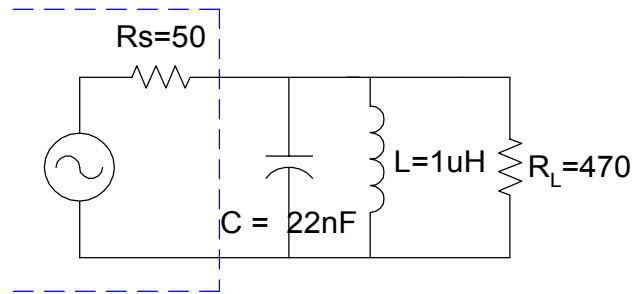


Fig. 1 Circuito Ressonante Paralelo

de frequência do sinal de entrada. Plotar a resposta em frequência (módulo, em dB, isto é  $20 \log (V_o/V_i)$ ) para este filtro no intervalo 15Hz a 10KHz (meça pelo menos 20 pts).

- b. idem para o comportamento da defasagem do sinal de saída em relação ao de entrada (utilize osciloscópio no modo  $X-T$  ou  $X-Y$ , conforme Apêndice 5).
- c. Faça o gráfico  $\log x \log$  de  $V_o/V_i$  versus frequência, módulo e fase
- d. Determinar a frequência de corte experimental da seguinte forma: partindo de uma frequência baixa, variar a frequência do sinal fornecido pelo gerador de áudio até obtermos  $V_o = V_i/\sqrt{2}$ . Observação: Manter  $V_i$  constante para qualquer valor de frequência.
2. Repita os passos anteriores para um **FPA RC** com as seguintes características:  $f_c = 4,8\text{KHz}$  e  $C = 150\text{nF}$ . Avaliar  $V_o$  com o osciloscópio para frequência do sinal de entrada na faixa 100Hz a 100KHz (meça pelo menos 20 pts).
  - a. Faça o gráfico  $\log x \text{ linear}$  de  $V_o/V_i$  versus frequência
  - b. Determinar experimentalmente a frequência de corte do FPA.

## 3.2.2 Filtros LC

1. Projete um **FPB** com resposta **Butterworth** de **3a. ordem** utilizando apenas um indutor, terminações como no caso anterior, isto é,  $R_s = 50$  e  $R_L = 470$ , e  $f_c = 4,8\text{KHz}$ 
  - a. Implemente e caracterize a resposta em freq do filtro passivo, determinando experimentalmente os parâmetros que caracterizam o filtro FPB:
    - i. freq de corte;

- ii. atenuação fora da faixa de passagem (dB/década);
  - iii. atenuação na faixa de passagem.
  - iv. defasagem ao longo de toda a faixa de freqs (de passagem e rejeição).
2. Idem, para um **FPA** com resposta **Butterworth** de **3a. ordem** utilizando apenas um indutor, terminações como no caso anterior, isto é,  $R_s = 470$  e  $R_L = 50$ , e  $f_c = 4,2\text{KHz}$ .
  - a. Implemente e caracterize a resposta em freq do filtro passivo, anotando os parâmetros que caracterizam o filtro FPA
3. Conecte os dois filtros em série (cascata) observando as impedâncias e meça a resposta em freq do conjunto.
  - a. Qual a função de transferência correspondente ? Quais a(s) nova(s) freq(s) de corte.
4. Projete um filtro de Butterworth com a função de transferência resultante da associação dos filtros do item anterior a partir dos valores tabelados para os elementos LC de protótipo.
  - a. implemente novamente o filtro, agora utilizando os elementos de projeto do item 4.
  - b. compare a resposta em freq (módulo) com a obtida no item 3a.

#### 4. ANÁLISE

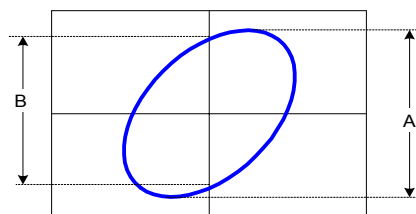
1. Na seção 3.1 caso o circuito LC paralelo fosse trocado por um LC serial com os mesmos valores, haveria mudança para o  $Q^{Loaded}$ ,  $Q$  aproximado do indutor e nível de rejeição da freq igual a  $0,53 \times f_0$ ? Caso necessário, faça medidas nesta nova configuração LC.
2. Na seção 3.2.1, qual a atenuação alcançada por uma célula RC (atenuação por década, em dB).
3. No caso de elementos LC, seção 3.2.2, qual a atenuação alcançada com uma célula LC.
  - a. Qual a atenuação, em dB, para uma freq  $f_1 = 1,53 \times f_0$  (distanciada de 53% de  $f_0$ ).
  - b. Compare a rejeição obtida no item 4 e no item 2a. Qual dos filtros resulta em maior rejeição e por que ?
4. Na prática, as funções de transferências obtidas nos itens 3a e 4 são equivalentes? Por que? Se sim, qual a vantagem de se utilizar a implementação do item 4? Se não, deveria ser ?
5. Comprove os resultados de projeto das três etapas experimentais 3.1 e 3.2.2 obtendo as respostas em freq (módulo e fase) a partir de um simulador elétrico do tipo Spice ou similar. Os resultados são coerentes com os medidos ? Compare com os resultados obtidos experimentalmente.
6. Refaça os cálculos do item 3.1 utilizando o valor da reatância capacitiva,  $X_C$ , no lugar de  $X_L$ . Os resultados serão exatamente os mesmos ? Por que?

#### 5. APÊNDICES

##### 5.1 Medida de Defasagem com Osciloscópio, modo X-Y

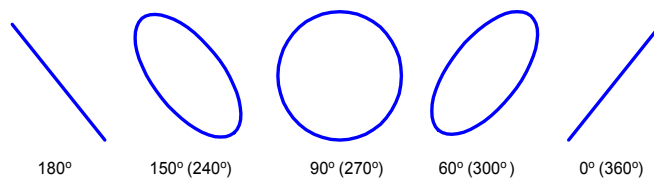
1. selecione o modo da varredura horizontal para X-Y;
2. aplique os dois sinais de mesma frequência que se queira medir a defasagem relativa, um na entrada vertical X e ou outro na entrada Y;
3. Obtenha a figura de Lissajous na tela do osciloscópio, ajustando a atenuação de tal forma a resultar na mesma para ambos os canais;
4. A diferença de fase relativa aos dois sinais será dada pela relação de amplitudes indicada na figura 2 e dada por

$$\Delta\varphi = \arcsin\left(\frac{B}{A}\right) \quad (1)$$



**Fig. 2** Figura de Lissajous para determinação defasagem relativa.

Na figura 3 estão ilustrados alguns casos notáveis para as defasagens.



**Fig. 3** Defasagens not áveis obtidas por figuras de Lissajous