



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



---

David Maykon Krepsky Silva  
Havena Louise Pavão

## Circuitos Ressonantes e Filtros Passivos RC

Data de realização do experimento:

28 de abril de 2016

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Jaime Laelson Jacob

12 de maio de 2016

---

## **Resumo**

Neste trabalho foi analisado o comportamento de circuitos ressoadores série e paralelo, compostos por capacitores e resistores, de modo a comparar os valores para o índice de mérito dos elementos indutivos, a resposta em frequência e a rejeição em uma determinada frequência com os valores teóricos calculados. Através de simulação com o software ORCAD, foram obtidos os dados experimentais, os quais foram comparados com a resposta teórica. Foi observado que as equações utilizadas propiciam resultados fidedignos, que indicam o real comportamento dos circuitos ressoadores e filtros RC.

# Sumário

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>Resumo</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>Sumário</b>                                    | <b>2</b>  |
| <b>1 Objetivos</b>                                | <b>3</b>  |
| <b>2 Revisão da Teoria</b>                        | <b>4</b>  |
| 2.1 Circuitos Ressonantes . . . . .               | 4         |
| 2.2 Filtros Passivos . . . . .                    | 4         |
| 2.2.1 Filtros Passa-Baixas Passivo . . . . .      | 4         |
| 2.2.2 Filtros Passa-Alta Passivo . . . . .        | 5         |
| 2.3 Fator de Qualidade . . . . .                  | 5         |
| 2.4 Curva de Lissajous . . . . .                  | 5         |
| <b>3 Metodologia Experimental</b>                 | <b>6</b>  |
| 3.1 Atividade 1 – Circuitos Ressonantes . . . . . | 6         |
| 3.2 4.2 Atividade 2 – Filtros Passivos . . . . .  | 6         |
| 3.2.1 Filtro Passa-Baixas (FPB) . . . . .         | 6         |
| 3.2.2 4.2.2 Filtro Passa-Altas (FPA) . . . . .    | 6         |
| <b>4 Resultados</b>                               | <b>7</b>  |
| 4.1 Atividade 1 – Circuitos Ressonantes . . . . . | 7         |
| 4.2 Atividade 2 . . . . .                         | 8         |
| 4.2.1 Filtro Passa-Baixas (FPB) . . . . .         | 8         |
| 4.2.2 Filtro Passa-Altas (FPA) . . . . .          | 10        |
| <b>5 Discussão e Conclusão</b>                    | <b>12</b> |
| <b>6 Referências Bibliográficas</b>               | <b>13</b> |

# 1 Objetivos

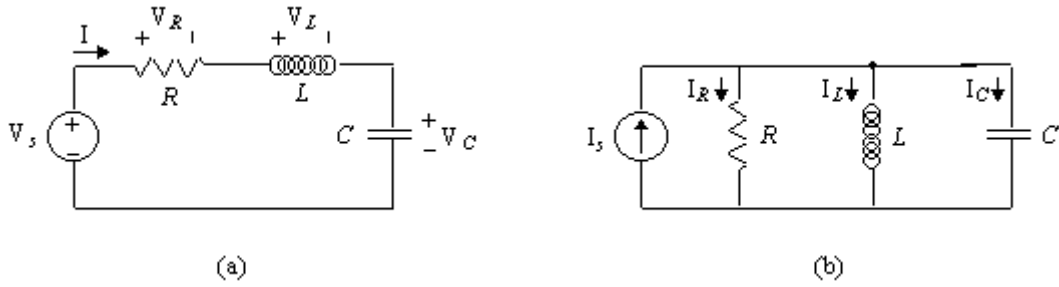
Neste laboratório será realizada a análise de circuitos ressonantes série e paralelo por meio de simulações utilizando o software OrCAD, dessa forma o índice de mérito pode ser comparado com os valores encontrados teoricamente. Será encontrado também o índice de rejeição para cada circuito. Serão simulados filtros ativos, passa-altas (FPA), passa-baixas (FPB) e seus respectivos diagramas de Bode figura de Lissajour serão obtidas.

## 2 Revisão da Teoria

### 2.1 Circuitos Ressonantes

Os circuitos ressonantes podem se dispor de duas maneiras, em série ou em paralelo com elementos reativos como capacitor e indutor (figura 1). São comumente utilizados em circuitos de banda estreita com aplicações em osciladores de baixo ruído.

Figura 1: Circuito ressonante a) série b) paralelo.



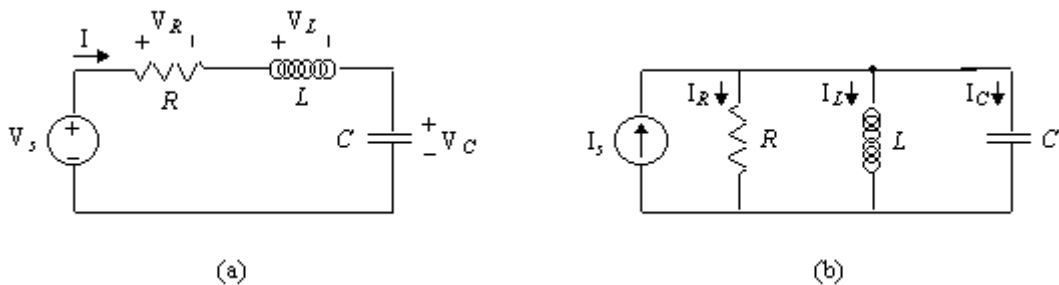
A frequência de ressonância do circuito pode ser encontrada a partir dos elementos que o compõe. Para o circuito LC paralelo simples a frequência de ressonância é definida pela equação 1

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

### 2.2 Filtros Passivos

Os filtros são circuitos que oferecem uma resposta em frequência com valores significativos em determinadas faixas. Essas faixas são limitadas de acordo com os elementos do circuito e seus respectivos valores. Os filtros passivos não amplificam o sinal de entrada, apenas selecionam frequências. A figura 2 apresenta algumas representações dos diversos tipos de filtros.

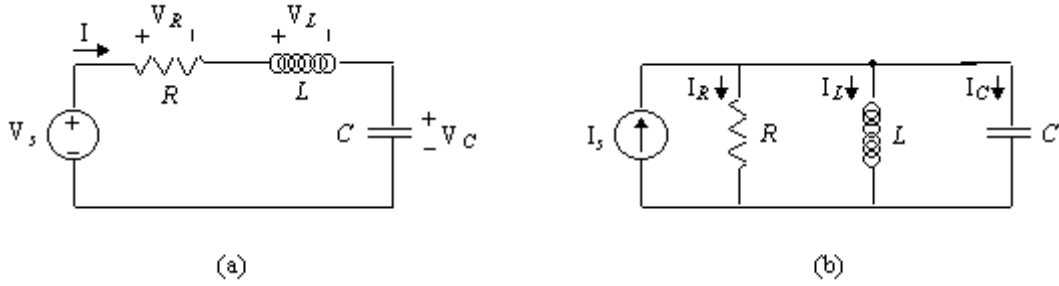
Figura 2: FPB, FPA, FPF e FRF.



#### 2.2.1 Filtros Passa-Baixas Passivo

O filtro passa-baixas limita a frequência do sinal de saída entre zero e uma certa frequência de corte, atenuando frequências acima desta. Esse filtro pode ser arranjado de diferentes maneiras e com quantidades diferentes de elementos. A figura 3 mostra alguns filtros passa-baixas passivos.

Figura 3: Filtro Passa-Baixas, 1ª ordem, 2ª ordem e 3ª ordem.



### 2.2.2 Filtros Passa-Alta Passivo

O filtro passa-altas ajusta a frequência do sinal de saída para estar acima da frequência de corte, atenuando frequências abaixo desta. [? ].

## 2.3 Fator de Qualidade

O fator de qualidade é a razão entre a energia armazenada e a energia dissipada em R. Esse dado indica o desempenho do circuito e pode ser encontrado pela seguinte equação:

$$Q_{Load} = \frac{f_0}{BW_{3DB}} \quad (2)$$

## 2.4 Curva de Lissajous

A curva de Lissajous é um gráfico obtido a partir de um sistema de equações paramétricas que descreve um comportamento harmônico. É muito utilizada para analisar a defasagem dada por dois sinais. Para que a defasagem entre dois sinais possa ser obtida, os valores máximo e mínimo da curva devem ser observados, a distancia entre esses dois pontos representará o parâmetro A, bem como os valores de cruzamento com o eixo y, positivo e negativo, devem ser encontrados, e sua distância representará o parâmetro B. Com esses parâmetros, a defasagem poderá ser obtida através da seguinte equação:

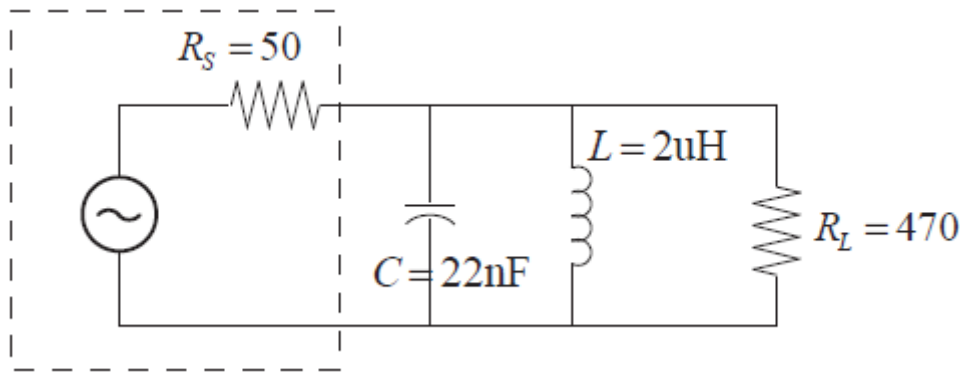
$$\Delta\Theta = \text{sen}^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) \quad (3)$$

## 3 Metodologia Experimental

### 3.1 Atividade 1 – Circuitos Ressonantes

O primeiro experimento consistiu na análise do circuito ressonante paralelo mostrado na figura 4. Primeiramente calculamos a frequência de ressonância do circuito a partir da equação 1 mostrada anteriormente. Com a simulação realizada utilizando o software OrCAD, encontrou-se o valor de pico da tensão do circuito e com ela a tensão de largura de banda do sinal. Com isso, encontrou-se a largura de banda do circuito utilizando-se o gráfico da função de transferência e, com esses valores, utilizando a equação 2 o fator de qualidade do circuito. Em seguida, o fator de qualidade foi calculado teoricamente, e comparado ao valor obtido através da simulação. Também foi encontrada a faixa de rejeição do circuito para uma frequência de  $0,53 \times f_0$ .

Figura 4: Circuito Ressonante Paralelo.



### 3.2 4.2 Atividade 2 – Filtros Passivos

#### 3.2.1 Filtro Passa-Baixas (FPB)

Esse experimento consistiu no projeto de um filtro passa-baixas RC com as seguintes características:  $f_c = 276\text{Hz}$  e  $C = 150\text{nF}$ . Foi então plotada a resposta em frequência para esse circuito no intervalo de 15 Hz a 10 kHz. Plotou-se também o gráfico de fase do sinal onde é possível observar a defasagem de fase e compará-la com a calculada através do gráfico de Lissajous.

#### 3.2.2 4.2.2 Filtro Passa-Altas (FPA)

O último experimento consistiu no projeto de um filtro passa-altas RC com as seguintes características:  $f_c = 5,2\text{kHz}$  e  $C = 150\text{nF}$ . O sinal de saída foi analisado para uma faixa de frequência do sinal de entrada entre 100 Hz e 100 kHz. Plotou-se então o gráfico de Lissajous para analisar a defasagem do sinal.

## 4 Resultados

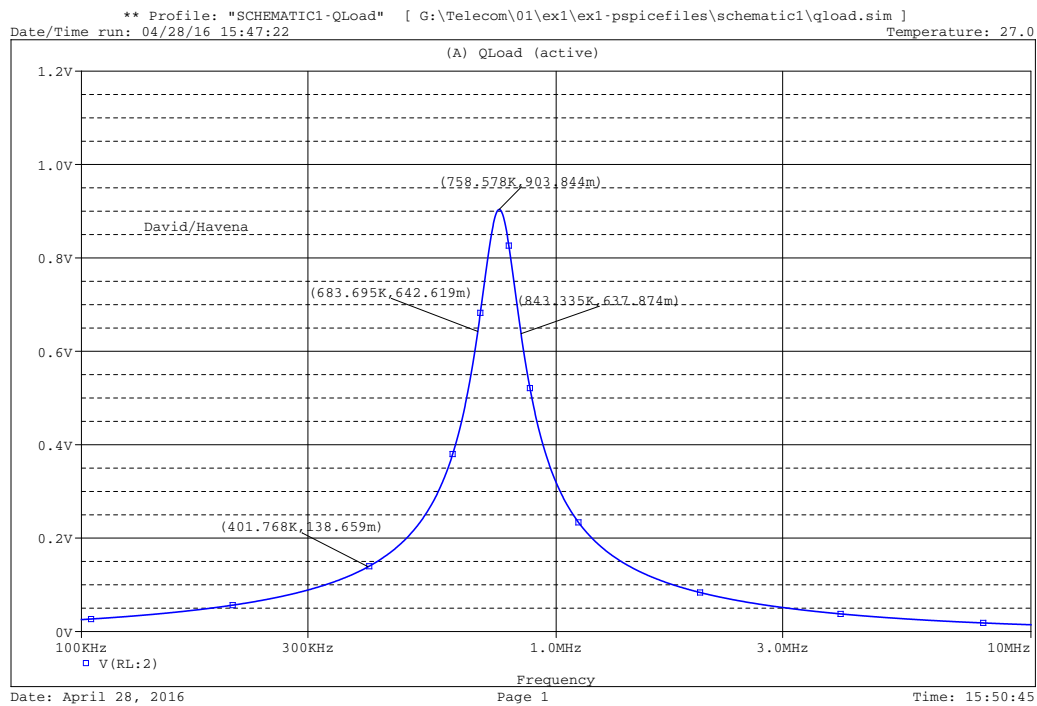
### 4.1 Atividade 1 – Circuitos Ressonantes

Para o circuito ressonante da figura 5, primeiramente calculamos a frequência de ressonância, como mostrado abaixo:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2.10^{-6} \times 22.10^{-9}}} = 758,54 [kHz].$$

A frequência de ressonância medida foi muito próxima da frequência de ressonância calculada, tendo um valor de 758,57 kHz. Para a frequência de ressonância analisada no gráfico, observamos uma tensão de pico correspondente a 903,84 mV.

Figura 5: Sinal da função de transferência para um circuito ressonante paralelo.



A tensão de largura de banda foi calculada, utilizando-se a tensão de pico correspondente a frequência de ressonância, como mostrado abaixo:

$$V_c = \frac{V_p}{2} = \frac{903,84.10^{-3}}{2} = 639,1.10^{-3} [V]$$

Com isso, encontraram-se no gráfico frequências de 0,995 MHz e 1,157 MHz. A partir dessas frequências obtivemos também a largura de banda (BW) que é equivalente a 0,162 MHz. Utilizou-se então a equação 2 para calcular o índice de mérito do circuito que resultou em 4,75.

$$Q_{Load} = \frac{f_c}{BW} = \frac{758,57.10^3}{162.10^3} = 4,68$$

Para calcular o índice de mérito do circuito teoricamente, deve-se calcular a resistência equivalente. O calculo da resistência equivalente segue abaixo:



$$R_e = \frac{R_S R_L}{R_S + R_L} = \frac{470 \times 50}{470 + 50} = 45,19 [\Omega]$$

Dividindo a resistência equivalente pela frequência angular de ressonância foi possível encontrar um índice de mérito muito próximo do valor obtido na prática.

$$Q_{Load} = \frac{R_e}{2\pi f_0 L} = \frac{45,19}{2\pi 758,57 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}$$

Em seguida, o fator de qualidade do indutor foi calculado, assumindo-se um valor para a resistência interna igual a  $1,5 \Omega$ .

$$Q_{Load} = \frac{X_L}{r_s} = 6,49$$

Por fim, o índice de rejeição para a frequência de  $0,53 \cdot f_0$  foi calculada:

$$\frac{E_0}{E} = \sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}$$

$$E = 145,69 [mV] = -16,73 [dB]$$

## 4.2 Atividade 2

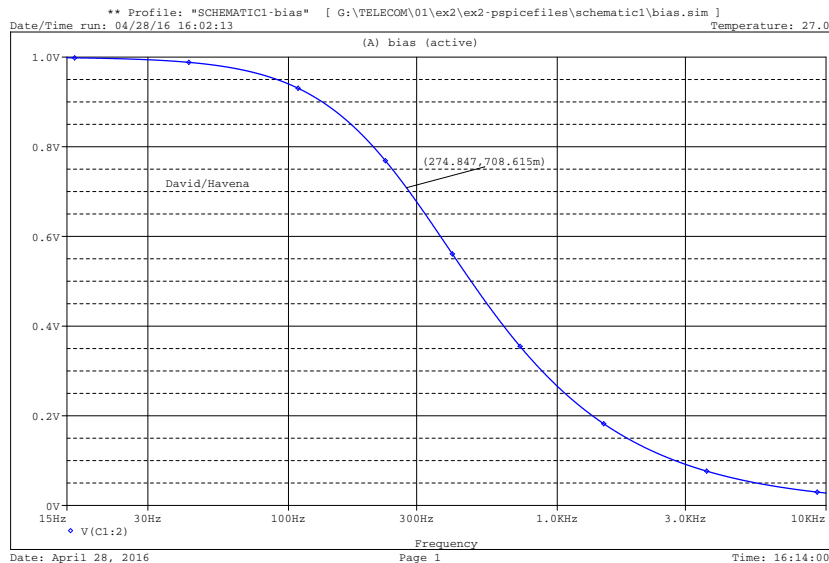
### 4.2.1 Filtro Passa-Baixas (FPB)

Para a segunda atividade, projetou-se um filtro passa-baixas RC passivo com os seguintes parâmetros:  $f_c = 276 \text{ Hz}$  e  $C = 150 \text{ nF}$ .

$$R = \frac{1}{2\pi FC} = 3,844 [k\Omega]$$

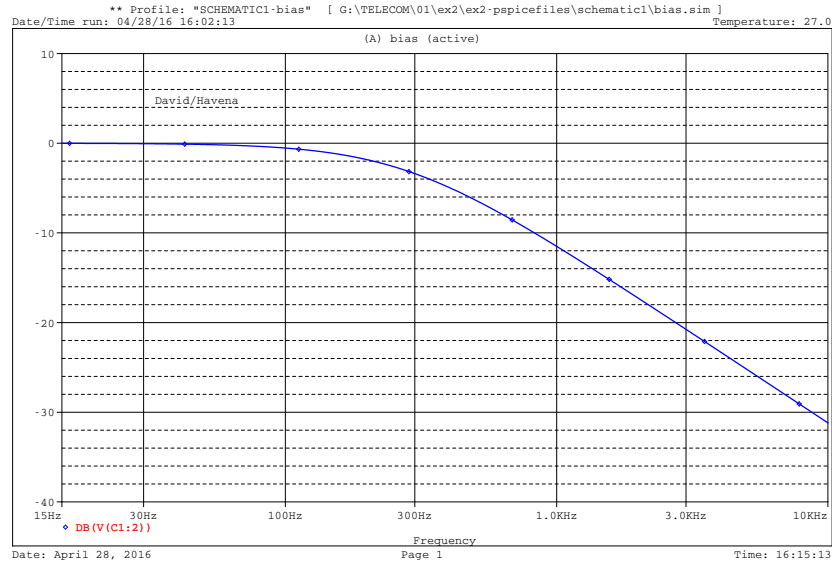
Com o filtro projetado, obtivemos a resposta em frequência como mostra a figura 6.

Figura 6: Módulo da resposta em frequência.



A figura 7 mostra a fase da resposta em frequência.

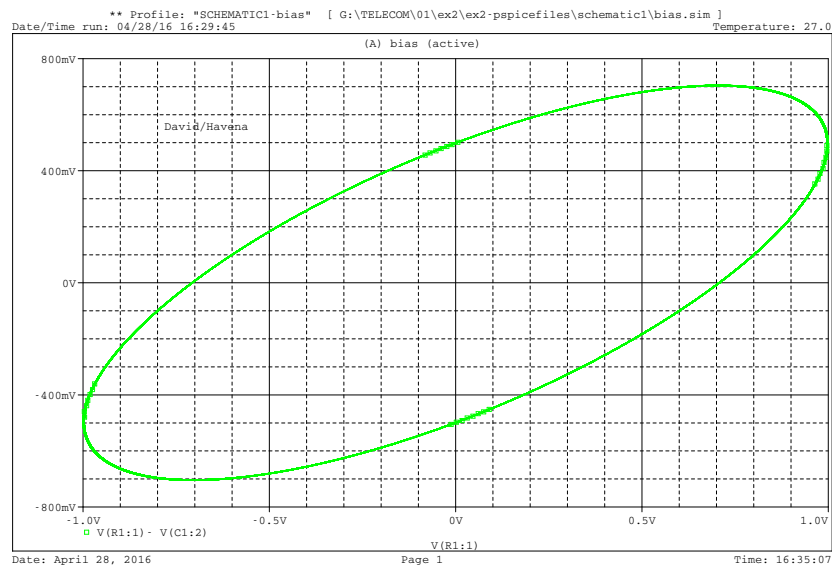
Figura 7: Fase da resposta em frequência.



Por fim, foi obtido o gráfico de Lissajous como mostra a figura 8. A partir do gráfico obtivemos os pontos de cruzamento com o eixo positivo e negativo. Com esses pontos calculamos A e B e conseqüentemente a defasagem.

$$\Delta\theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{1}{1,4}\right) = 45 \text{ [graus]}$$

Figura 8: Gráfico de Lissajous do Filtro Passa-Baixas Passivo.



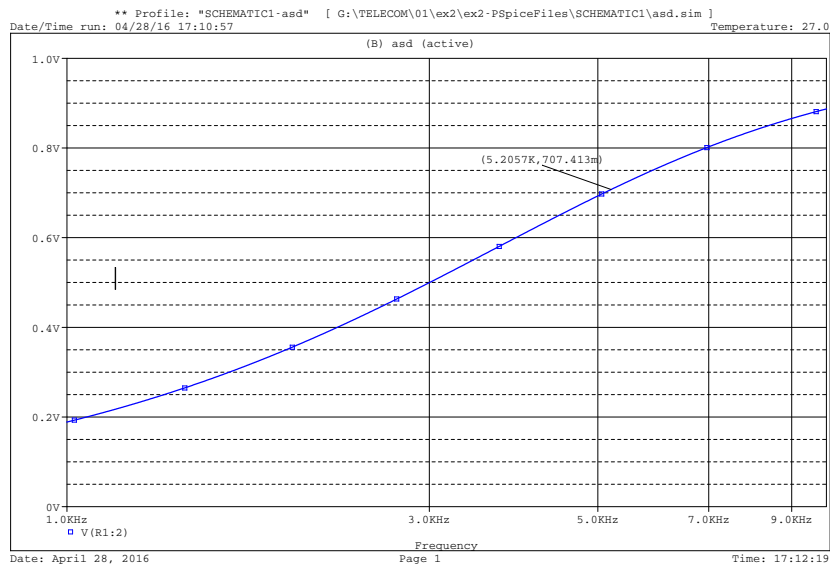
#### 4.2.2 Filtro Passa-Altas (FPA)

Nesta ultima prática projetou-se um filtro passa-altas RC passivo com os seguintes parâmetros:  $f_c = 5,2 \text{ kHz}$  e  $C = 150 \text{ nF}$ .

$$R = \frac{1}{2\pi f_c C} = 204,04 [\Omega]$$

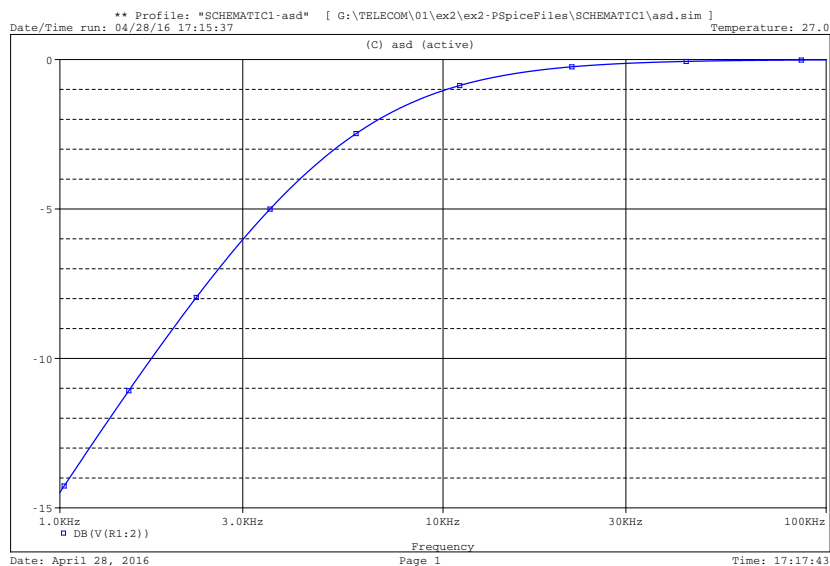
Com o filtro projetado, obtivemos a resposta em frequência como mostra a figura 9.

Figura 9: Módulo da resposta em frequência.



A figura 10 mostra a fase da resposta em frequência.

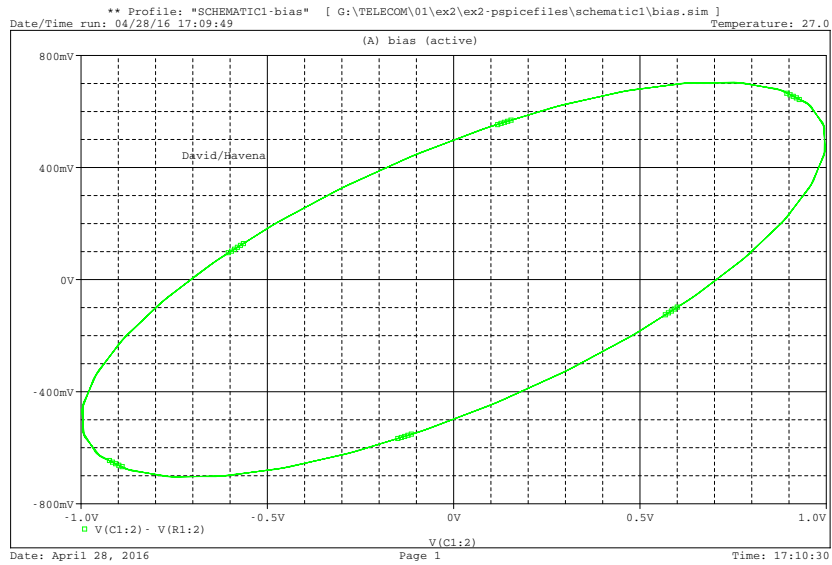
Figura 10: Fase da resposta em frequência.



Por fim, foi obtido o gráfico de Lissajous como mostra a figura 11. A partir do gráfico obtivemos os pontos de cruzamento com o eixo positivo e negativo. Com esses pontos calculamos A e B e consequentemente a defasagem.

$$\Delta\theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{1}{1,4}\right) = 45 \text{ [graus]}$$

Figura 11: Gráfico de Lissajous do Filtro Passa-Baixas Passivo.



## 5 Discussão e Conclusão

O experimento proporcionou aprofundar os conhecimentos sobre circuitos ressonantes e filtros passivos, com a utilização de métodos extremamente eficazes para a avaliação do comportamento do circuito. Os valores encontrados teoricamente estão bem próximos dos valores encontrados com a simulação pelo OrCAD, o que demonstra a confiabilidade dos resultados.

## 6 Referências Bibliográficas

- [1] Y. Burian, *Circuitos Elétricos*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [2] C. Bowick, *RF Circuit Desing*. Indianapolis - EUA: H. W. Sams, 1982.