

Prática de Circuitos Eletrônicos 1

Tutorial 10

Análise em Frequência de Capacitores e Indutores

Professor: Marcus Vinícius Chaffim Costa

Tutora: Camilla Ferrer

• Impedância (Z)

Impedância é a oposição que um circuito elétrico faz à passagem de corrente quando é submetido a uma tensão.

Análogo à lei de Ohm para as resistências, exceto que em vez de R temos uma função $Z(s)$ que depende da frequência, num capacitor tem-se Z_C e num indutor tem-se Z_L :

$$Z_C(s) = \frac{1}{sC} \quad Z_L(s) = sL$$

$$s = j\omega$$

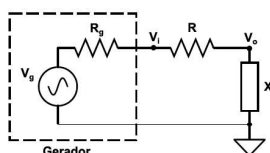
• Decibel (dB)

As vantagens do uso do decibel são:

- É mais conveniente somar os valores em decibels em estágios sucessivos de um sistema do que multiplicar os seus fatores de multiplicação.
- Faixas muito grandes de razões de valores podem ser expressas em decibels em uma faixa bastante moderada, possibilitando uma melhor visualização dos valores grandes.

dB	P1 / P2	V1 / V2
120	1 000 000 000 000	1 000 000
60	1 000 000	1 000
10	10	3,16
6	4	2
3	2	1,414
0	1	1
-3	0,5	0,707
-6	0,25	0,5
-10	0,1	0,316
-60	0,000 001	0,001
-120	0,000 000 000 001	0,000 001

- Encontre a função de transferência $H(s)$ no domínio da frequência para o circuito da Figura abaixo considerando $R_g=0$.
- A partir de $H(s)$, encontre os ganhos do circuito para frequências de 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz e 1 MHz.
- Em seguida, determine a frequência de corte (queda de 3 dB no ganho).



• Reatância (X)

Reatância é uma oposição natural de indutores ou capacitores à variação de corrente elétrica e tensão elétrica, respectivamente, de circuitos em corrente alternada. A Reatância é indicada pelo símbolo X:

- A reatância pode ser capacitiva (X_C) e o seu valor em ohms é dado por $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$.
- A reatância pode ser indutiva (X_L) e o seu valor em ohms é dado por $X_L = 2\pi fL$.
- Quando a impedância for igual à resistência ôhmica, o circuito é dito como puramente resistivo.

• Decibel (dB)

O decibel é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física em relação a um nível de referência especificado ou implícito.

A tensão V, a corrente I ou a potência P podem ser expressas em decibel:

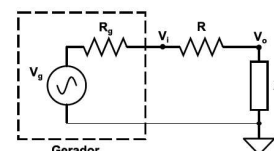
$$V_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{V}{V_0} \right) \quad I_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad P_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Cálculos Teóricos

• X é um resistor R_x

$$V_o(s) = \frac{X}{R + X} V_i(s) = \frac{R_x}{R + R_x} V_i(s)$$

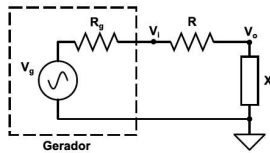
$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{R_x}{R + R_x}$$



• X é um capacitor C

$$V_o(s) = \frac{X}{R+X} V_i(s) = \frac{Z_C}{R+Z_C} V_i(s)$$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{1+sRC}$$



• X é um capacitor C

$$G_C = |H_C(s)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$$

$$G_{10Hz} = 0,99998$$

$$G_{100Hz} = 0,99803$$

$$G_{1kHz} = 0,84673$$

$$G_{10kHz} = 0,15718$$

$$G_{100kHz} = 0,01591$$

$$G_{1MHz} = 0,00159$$

• X é um capacitor C

Neste circuito, quando a resistência R se iguala a reatância X_C , a frequência observada é chamada de frequência de corte f_c . Para calcula-la fazemos:

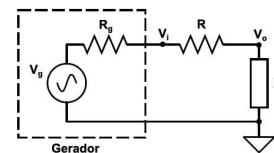
$$R = X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 1,591 \text{ kHz}$$

• X é um indutor L

$$V_o(s) = \frac{X}{R+X} V_i(s) = \frac{Z_L}{R+Z_L} V_i(s)$$

$$H_L(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{sL}{R+sL}$$



• X é um indutor L

$$G_L = |H_L(s)| = \frac{\omega L}{\sqrt{R+(\omega L)^2}}$$

$$G_{10Hz} = 0,00207$$

$$G_{100Hz} = 0,02073$$

$$G_{1kHz} = 0,20303$$

$$G_{10kHz} = 0,90072$$

$$G_{100kHz} = 0,99884$$

$$G_{1MHz} = 0,99999$$

• X é um indutor L

Neste circuito, quando a resistência R se iguala a reatância X_L , a frequência observada é chamada de frequência de corte f_c . Para calcula-la fazemos:

$$R = X_L = \omega L = 2\pi f_c L$$

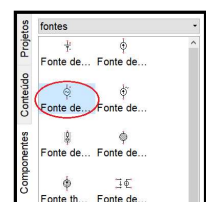
$$f_c = \frac{R}{2\pi L} = \frac{100}{2\pi \cdot 330 \cdot 10^{-6}} = 48,228 \text{ kHz}$$

SIMULAÇÃO: Circuito R_x

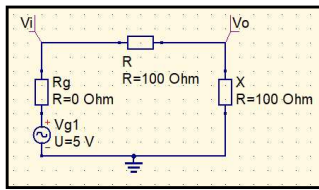
• Abra um novo esquemático.



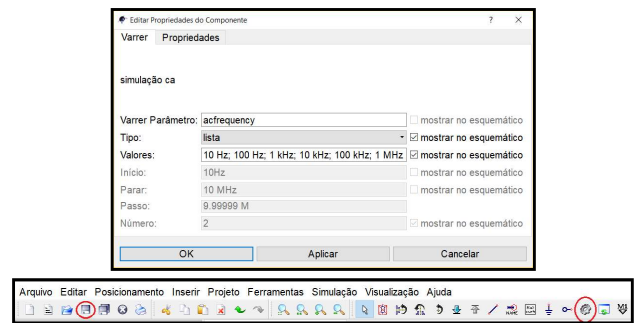
- Na aba *Componentes*, vá em *componentes agrupados* e coloque três resistores no esquemático. Vá em *Fontes* e coloque uma fonte de tensão AC no esquemático.



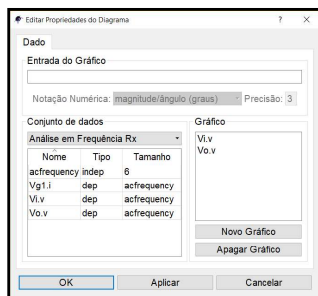
- Conecte os componentes sem esquecer da referência do terra, ajuste seus valores para os pedidos no exercício e Nomeie os nós para medir a tensão V_i e V_o como na figura abaixo.



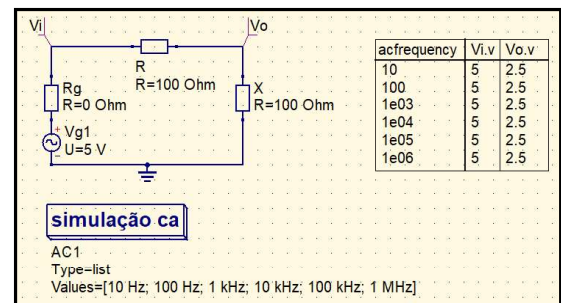
- Coloque a Simulação AC no esquemático. Em *Tipo* escolha lista e em *Valores* coloque todas as frequências que foram pedidas no exercício. Salve e simule.



- Vá em *Diagramas* e insira uma tabela. Coloque os valores das tensões dos nós V_i e V_o .



- Assim, verifica-se que para os valores pedidos no exercício.

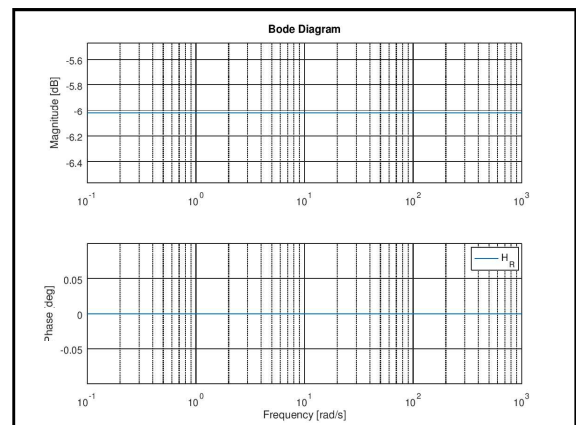


- Com os valores do roteiro, pode-se montar a Função de Transferência $H_R(s)$:

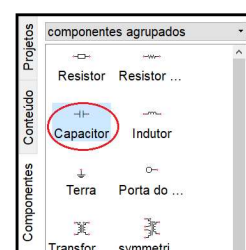
$$H_R(s) = \frac{R_x}{R + R_x} = \frac{100}{100 + 100} = \frac{1}{2}$$

- Agora, vá até o Octave e plot o gráfico:

```
Janela de Comandos
>> H_R = tf([1],[2])
Transfer function 'H_R' from input 'u1' to output ...
    1
   y1: -
    2
Continuous-time model.
>> bode(H_R)
```

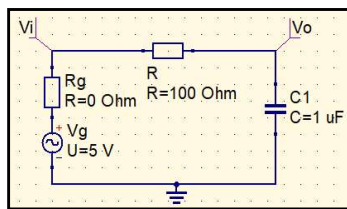


- Vá em *Arquivo > Salvar como...* e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Exclua o resistor X e na aba *Componentes*, vá em *componentes agrupados* e coloque um capacitor no esquemático.

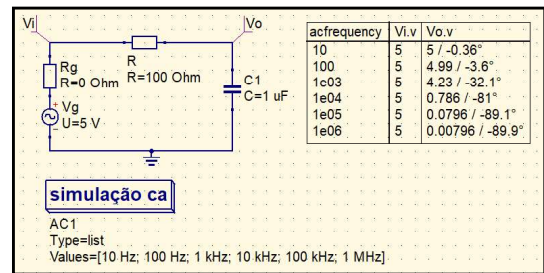


SIMULAÇÃO: Circuito C

- Conecte os componentes, ajuste seus valores e nomeie os nós para medir a tensão V_i e V_o . Salve e simule.



- Assim, verifica-se que para os valores pedidos no exercício.

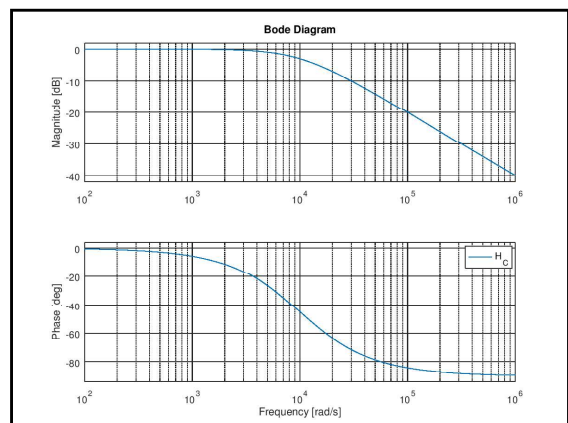


- Com os valores do roteiro, pode-se montar a Função de Transferência $H_C(s)$:

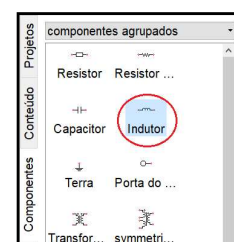
$$H_C(s) = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{1 + 10^{-4}s}$$

- Agora, vá até o Octave e plot o gráfico:

```
Janela de Comandos
>> H_C = tf([1],[0.0001 1])
Transfer function 'H_C' from input 'u1' to output ...
      1
  -----
 0.0001 s + 1
Continuous-time model.
>> bode(H_C)
```

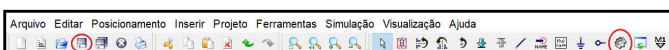
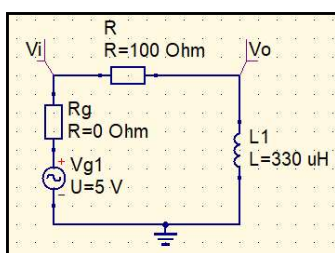


- Vá em Arquivo > Salvar como... e mude o nome do arquivo para utilizar o esquemático já montado para a o próximo circuito. Exclua o resistor X e na aba Componentes, vá em componentes agrupados e coloque um indutor no esquemático.

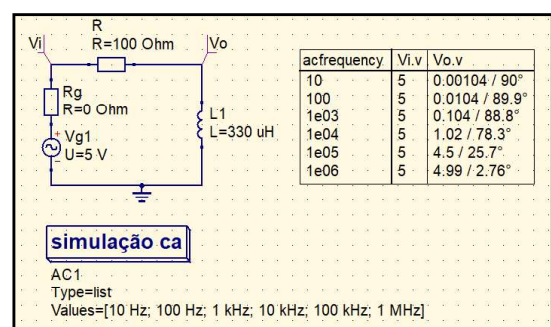


SIMULAÇÃO: Circuito L

- Conecte os componentes, ajuste seus valores e nomeie os nós para medir a tensão V_i e V_o . Salve e simule.



- Assim, verifica-se que para os valores pedidos no exercício.



- Com os valores do roteiro, podemos montar nossa Função de Transferência $H_L(s)$:

$$H_L(s) = \frac{sL}{R + sL} = \frac{330 \cdot 10^{-6}s}{100 + 330 \cdot 10^{-6}s} = \frac{0,00033s}{100 + 0,00033s}$$

- Agora, vá até o Octave e plot o gráfico:

```
Janela de Comandos
>> H_L = tf([0.00033 0],[0.00033 100])
Transfer function 'H_L' from input 'u1' to output ...
          0.00033 s
yl:  -----
      0.00033 s + 100
Continuous-time model.
>> bode(H_L)
```

