

RESSONÂNCIA SÉRIE E PARALELA

COMPONENTES DA EQUIPE

| Alunos(as): | NOTA |
|-------------|------------------------------|
| 1 - _____ | |
| 2 - _____ | |
| 3 - _____ | Data: ___/___/____ __ :__ hs |

1 Objetivos

Nesta experiência será montado dois circuitos RLC série e outro paralelo ressonantes, a fim de obter parâmetros necessários para caracterizar a frequência de ressonância, seletividade e largura de banda dos mesmos.

2 Parte Teórica

Ressonância é um fenômeno muito importante que pode ocorrer em circuitos que contêm, ao mesmo tempo indutores e capacitores. Pode ser descrito, sem rigor, como a condição que existe em qualquer sistema físico quando uma função excitação senoidal de amplitude fixa produz uma resposta de máxima amplitude.

Em uma rede elétrica com dois terminais contendo pelo menos um indutor e um capacitor, ressonância é a condição que existe quando a impedância de entrada da rede é puramente resistiva. Assim, uma rede é dita em ressonância (ou ressonante) quando a tensão e corrente nos terminais de entrada da rede estão em fase. Quando tal fato ocorre, dizemos que o circuito se encontra em ressonância. A frequência que isto ocorre é chamada de frequência de ressonância $f_o(Hz)$ ou $\omega_o(rad/s)$. Em uma análise teórica da função de transferência do circuito $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$, considerando $s \rightarrow j\omega$, ou seja, avaliando o circuito apenas em regime permanente senoidal, pode-se escrever na forma polar $H(j\omega) = |H(j\omega)| e^{\angle H(j\omega)}$, e desta forma plotar o módulo e a fase separadamente em função da frequência aplicada no circuito.

Com o módulo (ganho) da função de transferência do circuito (relação entre a amplitude de saída e a amplitude de entrada) versus a frequência aplicada no circuito obtém-se o gráfico da Figura 1. O eixo de frequência está plotado em escala logarítmica. A largura de banda ($BW = \omega_s - \omega_i$) é limitada pelas frequências inferior e superior (ω_i e ω_s). Estas frequências são chamadas de frequências de corte e ocorrem onde o ganho cai por um fator de $\sqrt{2}$. Se o módulo for plotado em decibel ($|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log(|H(j\omega)|)$), as mesmas ocorrerão em -3dB abaixo do ganho máximo em dB.

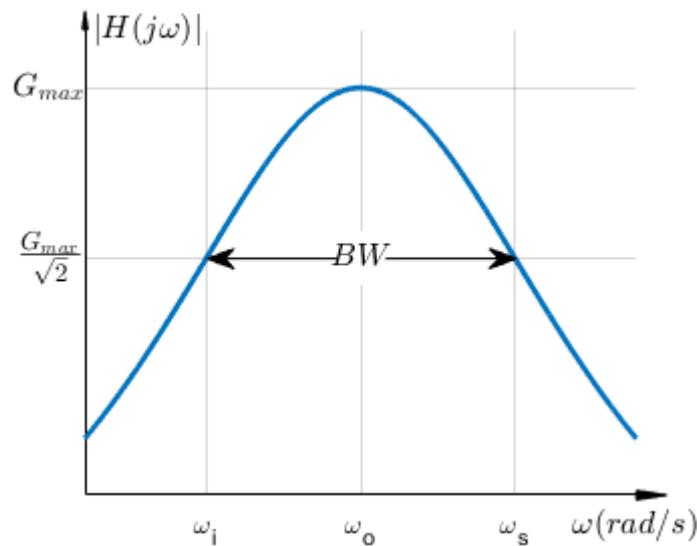
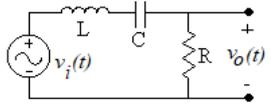
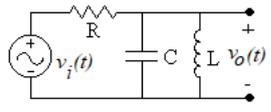


Figura 1: Ressonância em ω_o .

Para caracterizar os circuitos ressonantes define-se o **Fator de Qualidade** ou **Seletividade** Q como sendo $Q = \frac{\omega_o}{BW}$. Percebe-se que quanto menor a largura de banda maior a seletividade para uma mesma frequência de ressonância.

Para os circuitos ressonantes série e paralelo mostrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente, encontra-se suas respectivas funções de transferência:

| | |
|---|--|
|  <p>Figura 2: Circuito Série RLC. $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s(R/L)}{s^2 + s(R/L) + (1/LC)}$</p> |  <p>Figura 3: Circuito Paralelo RLC. $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s(1/RC)}{s^2 + s(1/RC) + (1/LC)}$</p> |
|---|--|

Na forma canônica tem-se:

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s \frac{\omega_o}{Q}}{s^2 + s \frac{\omega_o}{Q} + \omega_o^2},$$

onde: $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ e, para o circuito série, $Q = \omega_o \frac{L}{R}$; e, para o circuito paralelo, $Q = \omega_o RC$.

Desta equação, substituindo $s \rightarrow j\omega$, obtêm-se as equações de módulo e fase, respectivamente,

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega \frac{\omega_o}{Q}}{\sqrt{(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + \left(\omega \frac{\omega_o}{Q}\right)^2}},$$

$$\angle H(j\omega) = 90^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{\omega \frac{\omega_o}{Q}}{\omega_o^2 - \omega^2} \right).$$

De posse destas duas equações é possível calcular:

$$\omega_i = \omega_o \left[\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2Q}\right)^2} - \frac{1}{2Q} \right],$$

$$\omega_s = \omega_o \left[\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2Q}\right)^2} + \frac{1}{2Q} \right].$$

Quando $\omega = \omega_o \rightarrow |H(j\omega_o)| = G_{max} = 1$ e $\angle H(j\omega_o) = 0^\circ$.

Nas frequências de corte $\rightarrow |H(j\omega_i)| = |H(j\omega_s)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ e $\angle H(j\omega_i) = -45^\circ$; $\angle H(j\omega_s) = 45^\circ$.

3 Material Utilizado para o Experimento

1. Gerador de Sinal Senoidal.
2. Resistor: 10Ω , 47Ω e 100Ω .
3. Capacitor: $100\eta F$.
4. Indutor: $470mH$ ou $820mH$ ou $330mH$ ou $270mH$.
5. Osciloscópio
6. Multímetro

4 Pré-Relatório

Ler o itens 5.1 e 5.2 e resolver teoricamente o circuito proposto com os valores nominais para os resistores preenchendo as lacunas que se referem aos valores teóricos (calculados).

5 Parte Experimental

5.1 Ressonância Série

Monte o circuito ressonante série da Figura 2 com os componentes indicados na Tabela 1¹ (escolha um indutor e anote na Tabela 1).

1. Inicialmente utilize o resistor de 10Ω e, depois de feitas as medidas necessárias, troque pelos outros resistores efetuando as medidas respectivas.
2. Ajuste o gerador de sinais (senoidal sem componente DC) para qualquer valor de amplitude um pouco menor do que o fundo de escala para a entrada $v_i(t)$.
3. Com o osciloscópio no Canal 1 na entrada e Canal 2 na saída, varie a frequência do sinal de entrada desde 1 KHz até 1 MHz de modo a encontrar a ressonância (sinal de entrada em fase com a saída - fase ch1- ch2 igual a zero).
4. Com o osciloscópio verifique a frequência aplicada e anote na respectiva Tabela no lugar apropriado ω_o . Esta frequência é chamada de frequência de ressonância do circuito (ω_o). Anote na coluna apropriada da tabela $|H(j\omega)|$ a divisão entre a amplitude (pico-a-pico) de saída pela amplitude (pico-a-pico) da entrada. Este valor é o ganho máximo G_{max} . Calcule $\frac{G_{max}}{\sqrt{2}}$. É com este valor que deve-se variar a frequência para baixo de ω_o até encontrar uma relação de amplitudes da saída pela entrada igual a este valor. Nesta condição, anote esta frequência em ω_i e o defasamento em $\angle H(j\omega)$. O mesmo deve ser feito para frequências acima de ω_o encontrando ω_s .
5. Calcule e anote também a largura de banda $BW = \omega_s - \omega_i$ e o fator de qualidade Q (seletividade) do circuito $Q = \frac{\omega_o}{BW}$. Todos estes valores devem ser anotados na respectiva Tabela.

¹Os valores em frequências devem ser transformados em rad/s

| $C = 100\eta F$ $L = \frac{\mu H}{\dots}$ | | VALORES MEDIDOS | | | | | VALORES CALCULADOS | | | | |
|--|------------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|--|---------------------|----------------|--------------------------------|---------|--|
| | | ω (rad/s) | $ H(j\omega) $ | $\angle H(j\omega)$ (Graus) | (rad/s) | | ω (rad/s) | $ H(j\omega) $ | $\angle H(j\omega)$ (Graus) | (rad/s) | |
| $R = 10\Omega$ | ω_o | | | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | 1 | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |
| $R = 47\Omega$ | ω_o | | | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | 1 | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |
| $R = 100\Omega$ | ω_o | | | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | 1 | 0° | $BW = \dots$ $Q = \dots$ | | |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |

Tabela 1: Parâmetros do Circuito da Figura 2.

5.2 Ressonância Paralelo

Monte o circuito ressonante série da Figura 3 com os componentes indicados na Tabela 2² (escolha um indutor e anote na Tabela 2).

Para o circuito paralelo RLC da Figura 3, os procedimentos serão os mesmos adotados no item 5.1.

| $C = 100\eta F$ $L = \text{_____} \mu H$ | | VALORES MEDIDOS | | | | | VALORES CALCULADOS | | | | |
|---|------------|---------------------|----------------|--------------------------------|------------|-----------|---------------------|----------------|--------------------------------|------------|-----------|
| | | ω (rad/s) | $ H(j\omega) $ | $\angle H(j\omega)$ (Graus) | (rad/s) | | ω (rad/s) | $ H(j\omega) $ | $\angle H(j\omega)$ (Graus) | (rad/s) | |
| R = 10Ω | ω_o | | | 0° | BW = _____ | Q = _____ | | 1 | 0° | BW = _____ | Q = _____ |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |
| R = 47Ω | ω_o | | | 0° | BW = _____ | Q = _____ | | 1 | 0° | BW = _____ | Q = _____ |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |
| R = 100Ω | ω_o | | | 0° | BW = _____ | Q = _____ | | 1 | 0° | BW = _____ | Q = _____ |
| | ω_i | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | 45° | | | |
| | ω_s | | | | | | $1/\sqrt{2}$ | -45° | | | |

Tabela 2: Parâmetros do Circuito da Figura 3.

²Os valores em frequências devem ser transformados em rad/s

