



## Experiência 5 Resposta em Frequência de Circuitos RC e RLC

### GUIA EXPERIMENTAL

*Elaboração: Profs. Walter Jaimes Salcedo e Marcio Lobo,  
Revisão: Elisabete Galeazzo e Leopoldo Yoshioka  
Edição 2017*

#### OBJETIVOS:

- Saber analisar a resposta em frequência de quadropolos constituídos por circuitos passivos RC e RLC, utilizando método computacional e experimental.
- Ser capaz de discutir a resposta em frequência de um multímetro digital.

#### Lista de materiais

- Osciloscópio digital (modelo DSO-X 2002A, Agilent)
- Gerador de funções
- Multímetro digital portátil Tektronix TX3
- Resistores  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $10 \text{ k}\Omega$
- Capacitor  $C_p = 100 \text{ nF}$
- Indutor ( $L_s \cong 3,0 \text{ mH}$  e  $R_s \cong 8,0 \Omega$ )
- Planilha Eletrônica
- Medidor RLC

#### 1. RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RC:

##### 1.1 Identificação e medição dos componentes passivos

Meça as resistências e a capacitância dos componentes da lista de materiais utilizando o multímetro TX3. Meça a indutância e a resistência série do indutor utilizando o medidor RLC (na frequência de 1 kHz). Preencha a Tabela 1 do seu relatório com os resultados obtidos.

### Montagem do Circuito:

Monte o circuito mostrado na Figura 1. Adote  $C = 100 \text{ nF}$  e  $R = 1 \text{ k}\Omega$  respectivamente. Programe o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal de amplitude de  $10 \text{ Vpp}$ .

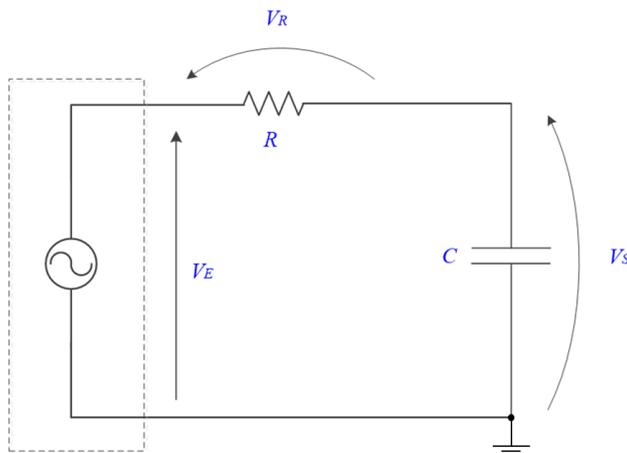


Figura 1- Circuito RC.

Obs: medir  $V_E$  e  $V_S$  diretamente com as pontas de prova do osciloscópio.

### 1.2 Determinação da resposta em frequência do circuito RC

- Apresente as fórmulas para calcular o módulo do ganho  $|G(j\omega)|$  e a fase  $\phi(j\omega)$  a partir dos parâmetros do circuito.
- Apresente a fórmula para obter  $|G(j\omega)|$  a partir das tensões experimentais.

Os resultados dos itens a seguir (c, d, e) devem ser indicados na Tabela 2 do relatório:

- Meça com o osciloscópio os valores eficazes de  $V_E$  (ch1) e de  $V_S$  (ch2), como também a defasagem entre estes sinais ( $\phi_{V_S, V_E} = \text{ch2} \rightarrow \text{ch1}$ ), para os valores de frequência  $f$  escolhidas.

**Nota:** para sinais com amplitude baixa recomenda-se utilizar o recurso “média” do osciloscópio (ACQUIRE), reduzindo a incerteza de medição.

- Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  a partir das tensões experimentais.
- Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  e a defasagem  $\phi$ , utilizando a fórmula teórica indicada no item “a”, para cada valor de frequência aplicada ao circuito (*utilize os valores calculados previamente na preparação*).

#### Utilização de Planilha Eletrônica:

Alunos da sala C1-06: utilizem a planilha eletrônica do OpenOffice denominada “CALC”, instalada na pasta OFFICE no microcomputador.

Alunos da sala C1-01: utilizem a planilha eletrônica do Office disponível no seu computador.

f) Construa os seguintes gráficos no seu relatório:

- i. Módulo do ganho  $|G|$  em função da frequência  $f$  (valores experimentais e teóricos);
- ii. defasagem ( $\phi_{V_S, V_E}$ ) em função da frequência  $f$  (valores experimentais e teóricos).

g) Comente as semelhanças e as diferenças observadas entre as curvas experimentais e as teóricas.

h) Determine a faixa de passagem<sup>1</sup> e a frequência de corte ( $f_c$ ) a partir das curvas experimentais. Indique-as em seus gráficos.

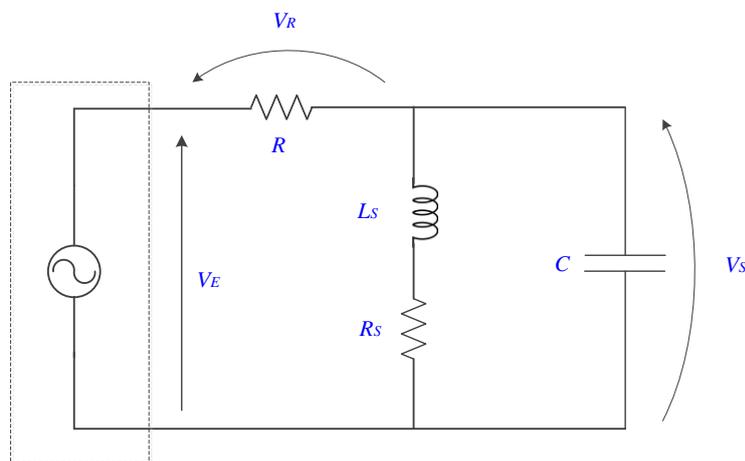
i) Calcule a frequência de corte teórica ( $f_c$ ) do circuito, através dos valores dos elementos do circuito (Tabela 1).

j) Compare o resultado obtido no item h (experimentais) com o do item i (teóricas). Justifique eventuais discrepâncias.

k) Quais seriam as possíveis aplicações para o circuito RC analisado neste experimento? Explique.

## 2. RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RLC PARALELO:

Monte o circuito da Figura 2, com os componentes fornecidos (obs: neste circuito altere R para 10 k $\Omega$ ).



**Figura 2-** Circuito RLC.

Meça  $V_S$  e  $V_E$  diretamente com as pontas do osciloscópio.

Programo o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal de amplitude de 10 Vpp.

<sup>1</sup> Faixa de passagem corresponde à faixa de frequência onde o ganho está dentro do intervalo de 3 dB em relação ao valor máximo (patamar).

## 2.1 Determinação de resposta em frequência

a) Apresente a expressão teórica para calcular  $|G(j\omega)|$  e  $\phi$  a partir dos parâmetros do circuito.

Preencha a Tabela 3 do seu relatório com as informações solicitadas nos itens *b*, *c* e *d*, a seguir:

b) Meça com o osciloscópio os valores eficazes de  $V_E$  e  $V_S$ , bem com as diferenças de fase  $\phi_{V_S, V_E}$  para as diferentes frequências.

c) Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  a partir das tensões medidas.

d) Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  e a defasagem  $\phi$ , utilizando as fórmulas teóricas indicadas no item a para cada valor de frequência aplicada ao circuito (*utilize os valores calculados previamente na preparação*).

e) Utilizando a planilha eletrônica, construa os seguintes gráficos a partir dos dados experimentais:

- i. O gráfico do  $|G|$  em função da frequência,  $f$ ;
- ii. O gráfico da fase ( $\phi_{V_S, V_E}$ ) em função da frequência,  $f$ .

f) Determine as frequências de corte inferior ( $f_{c1}$ ) e superior ( $f_{c2}$ ) a partir da curva experimental do módulo do Ganho.

g) Determine a frequência de ressonância ( $f_R$ ), a faixa de passagem e o índice de mérito ( $Q$ ) do circuito a partir da curva experimental do módulo do ganho.

h) Analise o comportamento da defasagem entre o sinal de saída e o da entrada na faixa de passagem e na frequência de ressonância.

## 2.2 Aplicação de funções automáticas do Gerador de Funções para análise da resposta em frequência de circuitos:

Nesta parte da experiência faremos uma observação experimental do comportamento ressonante do circuito por meio de recursos do gerador de funções **AGILENT 33500B**.

Para isso, efetue a seguinte programação para gerar o sinal  $V_E$ :

. Tecele o botão **SWEEP** no painel do gerador. Na sequência, tecele as seguintes funções, impondo os valores indicados:

STARTFREQ = 5 kHz,  
STOPFREQ = 15 kHz,  
SWEEPTIME = 100 ms,  
SWEEP TYPE = linear,  
SWEEP = ON.

Com esta programação, o gerador de funções fornecerá na sua saída um sinal senoidal com frequência variável, com taxa de repetição definida pelo usuário. De acordo com os valores impostos aqui, o sinal na saída do gerador apresentará uma variação linear de frequência de 5 kHz a 15 kHz a cada intervalo de 100 ms.

- . Alimente o circuito com este sinal e observe o comportamento de  $V_s$  no osciloscópio.
- . Certifique-se que o modo “acquire” ou “média” do seu osciloscópio esteja desabilitado.
- . Mude a escala de tempo do osciloscópio para visualizar os sinais, de modo a identificar um ponto de máximo dentro do intervalo indicado no SWEEPTIME (no seu caso é igual a 100 ms).
- . Sugere-se utilizar sincronismo externo para estabilizar o sinal para realizar as medições.

Para correlacionar as leituras das medições na escala do tempo do osciloscópio com medições na escala em frequência, utilize a seguinte correspondência:

Cada intervalo de 100 ms (adotado na função SWEEPTIME) corresponde a um intervalo de 10 kHz em frequência (que foi definido pela frequência final menos a frequência inicial adotadas).

Com isso, esboce a curva obtida no osciloscópio por meio deste recurso do gerador e determine as seguintes grandezas relacionadas à tensão  $V_s$  com auxílio dos cursores:

- i.  $V_{max}$  e  $V_{max}/\sqrt{2}$ , respectivamente;
  - ii. a faixa (ou banda) de passagem (em Hz);
  - iii. a frequência de ressonância.
  - iv. Determine o Q do circuito através deste esboço.
- a) O circuito RLC acima analisado pode ser aplicado em que tipo de filtro?
  - b) Discuta seus resultados e resuma suas conclusões.

### **3. (item adicional) RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE VOLTÍMETROS CA**

#### **3.1 Efetue:**

. Com o multímetro digital portátil (no caso, o modelo TX3 da Tektronix), meça as tensões senoidais de **5,0 V<sub>EFICAZ</sub>** fornecidas pelo gerador de sinais, variando-se a frequência do sinal senoidal de 100 Hz a 30 kHz. Anote as leituras obtidas em tabela apropriada do seu relatório.

. Indique um procedimento experimental para determinar a frequência de corte do multímetro digital portátil.

### **3.2 Análise dos Resultados e Discussão:**

- a. Determine a frequência de corte do multímetro digital portátil por meio do procedimento sugerido.
- b. Analisando-se a resposta do multímetro portátil no intervalo de frequências de operação especificado pelo fabricante, verifique se o equipamento forneceu leitura dentro da incerteza especificada.

Vide especificações de operação do multímetro no manual do instrumento, pg. 33, ou considere:

Para a faixa de 5 V de leitura e resolução de 5000 contagens, precisão de:

$\pm (0,4\% + 2 \text{ contagens})$  na faixa de 40 Hz a 20 kHz.

- c. Comente e justifique sua resposta.
- d. Discuta seus resultados e resuma suas conclusões.