



## **Experiência 10**

# **REDES DE SEGUNDA ORDEM**

## **GUIA EXPERIMENTAL**

### **Lista de materiais**

- Fonte de tensão E3631A da Agilent
- Gerador de funções
- Osciloscópio
- Multímetro Tektronix TX3 portátil
- Medidor LCR
- Resistores (2)  $R = 470 \text{ k}\Omega$
- Capacitores (2)  $C = 3,3 \text{ nF}$ ; (2)  $10 \text{ nF}$ ; (1)  $4,7 \text{ nF}$ ; (2)  $1 \text{ nF}$
- Indutores (2)  $L = 3,3 \text{ mH}$
- Potenciômetro de  $10 \text{ k}\Omega$
- Protoboard, fios e cabos

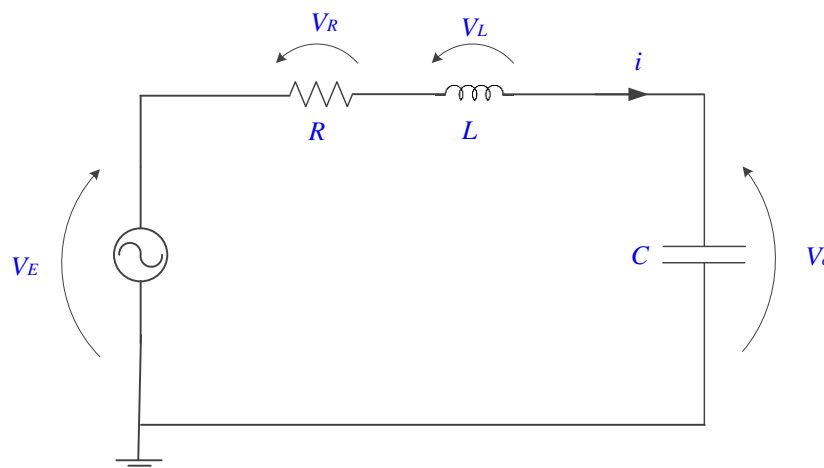
# INTRODUÇÃO

Neste experimento as redes elétricas de segunda ordem serão formadas por um resistor, um indutor e um capacitor associados em série ou em paralelo (circuitos RLC).

## 1. RESPOSTA TRANSITÓRIA DE UM CIRCUITO RLC SÉRIE

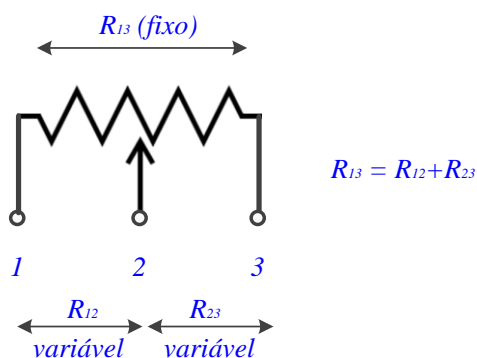
*O objetivo deste item é analisar as três possíveis respostas transitórias de circuitos RLC série, categorizadas como oscilação subamortecida, oscilação criticamente amortecida e oscilação superamortecida, por meio de valores apropriados dos componentes dos circuitos.*

Execute as tarefas a seguir, antes de montar o circuito abaixo (Figura 1):



**Figura 01** – Circuito RLC série, com valores nominais: Potenciômetro = 10 k $\Omega$ , L = 3,3 mH; C = 3,3 nF.

1.1 Avalie a faixa de excursão de resistência do potenciômetro (Figura 02). A seguir, ajuste-o para fornecer “zero” ohms ou a menor resistência possível (escolher pinos 1-2 ou 2-3).



**Figura 02** – Potenciômetro de 10 k $\Omega$  adaptado para o experimento.

- 1.2** Meça a resistência série ( $R_{LS}$ ) e a indutância série ( $L_s$ ) do indutor L, cujo valor comercial é 3,3 mH, com um LCR meter na frequência de 1 kHz;
- 1.3** Meça a capacitância paralela  $C_P$  e a resistência paralela ( $R_{CP}$ ) do capacitor C (valor comercial de 3,3 nF) na frequência de 1 kHz com o LCR meter;
- 1.4** A seguir, monte o circuito RLC série conforme indicado. Ajuste o sinal de entrada adequadamente para visualizar a resposta transitória do circuito até alcançar o regime permanente em corrente contínua. Adote 10 Vpp do sinal de entrada para melhor visualização dos sinais.

*O potenciômetro, que apresenta resistência variável, será o componente do circuito que deverá ter seu valor ajustado para atender as diferentes solicitações do experimento. Analisaremos a tensão de saída do circuito sobre o capacitor  $v_c(t)$ .*

- 1.5** Encontre a condição de oscilação subamortecida do circuito, alterando-se o valor do potenciômetro. Procure obter 5 a 10 ciclos de oscilação num mesmo intervalo de tempo que descreve a resposta transitória do circuito.
- 1.6** Meça a resistência do potenciômetro ajustada para a condição acima e calcule a resistência equivalente do circuito.
- 1.7** Visualize no osciloscópio apenas um dos transitórios da tensão de saída, com a melhor resolução possível, contendo os ciclos de oscilação mais significativos. Faça um esboço das curvas obtidas no osciloscópio em gráfico apropriado no seu relatório ( $v_e(t)$  e  $v_c(t)$ ).
- 1.8** Meça a frequência de oscilação subamortecida ( $f_d$ ) a partir das curvas experimentais. Calcule  $\omega_d$ .
- 1.9** Para que valor tende a tensão no capacitor após cada transitório? Por quê?
- 1.10** O objetivo deste item é determinar experimentalmente a função exponencial decrescente que descreve o comportamento da queda das amplitudes máximas da oscilação amortecida num transitório. Para isso, é necessário determinar o fator de

amortecimento ( $\alpha$ ) do circuito, analisando-se a tensão de pico nos diversos ciclos de um mesmo transitório.

**Dica:** Para obtenção de  $\alpha$ , meça a tensão em dois picos da curva de oscilação num transitório, conforme indicação da Tabela 1 do seu relatório (por exemplo, meça a tensão máxima no primeiro e no sexto pico da oscilação, para minimizar erros).

Na sequência, obtenha a relação matemática entre  $\alpha$  e os parâmetros experimentais ( $v_1$ ,  $v_n$  e  $\Delta t_n$ , (sendo  $\Delta t_n = t_n - t_1$ )). A partir da relação encontrada e dos dados experimentais, determine  $\alpha$  experimental.

**1.11** Faça uma análise do resultado obtido, respondendo os tópicos abaixo:

- a) Qual é a relação entre o fator de amortecimento e a constante de tempo associada à oscilação amortecida?
- b) A frequência de oscilação amortecida do circuito depende do sinal de alimentação do circuito? Justifique sua resposta.
- c) A partir do fator de amortecimento, calcule a resistência equivalente do circuito. Compare o valor calculado com o valor da resistência equivalente do circuito calculado através dos valores dos componentes. Justifique eventuais diferenças.

**1.12** Altere a resistência do circuito para visualizar a condição de oscilação criticamente amortecida. Meça a resistência do potenciômetro nesta condição e calcule a resistência equivalente do circuito. Faça um esboço do sinal nesta condição em gráfico apropriado, utilizando-se a mesma escala adotada no experimento anterior.

**1.13** Altere a resistência do circuito para visualizar a condição de oscilação superamortecida. Meça a resistência do potenciômetro e calcule a resistência equivalente do circuito nesta condição. Faça um esboço da curva obtida no osciloscópio em gráfico apropriado, adotando-se a mesma escala dos dois gráficos anteriores.

## 2. RESPOSTA DO CIRCUITO RLC EM FREQUÊNCIA

---

*O objetivo deste item é obter a frequência de ressonância do circuito RLC série experimentalmente.*

---

**2.1** Altere o circuito RLC analisado para a mesma condição de oscilação subamortecida indicada no item 1.5. A seguir, altere gradativamente a frequência do sinal de alimentação da onda quadrada até chegar em 45 kHz, e visualizando o comportamento da tensão no capacitor no osciloscópio até chegar neste valor.

. Esboce o sinal observado no capacitor ao chegar a 45 kHz.

. Por que não foram observados os fenômenos transitórios analisados no item 1?

**2.2** Encontre a frequência de ressonância do circuito ( $f_0$ ), alterando-se a frequência do sinal de alimentação até obter a máxima amplitude da tensão sobre o capacitor.

2.2.1 Dada a relação entre  $\omega_0$ ,  $\omega_d$  e  $\alpha$  apresentada na introdução teórica, calcule  $f_0$  a partir de  $\omega_d$  e  $\alpha$  obtidos experimentalmente no item 1. Compare o valor calculado com o valor de frequência de ressonância obtida experimentalmente. O que se pode concluir?

2.3 Aumente a frequência do sinal de alimentação em torno de 150 kHz. Descreva o sinal observado (forma de onda, frequência, amplitude). Justifique a razão do sinal visualizado.

## 3. BATIMENTO AMORTECIDO COM CIRCUITOS RLC

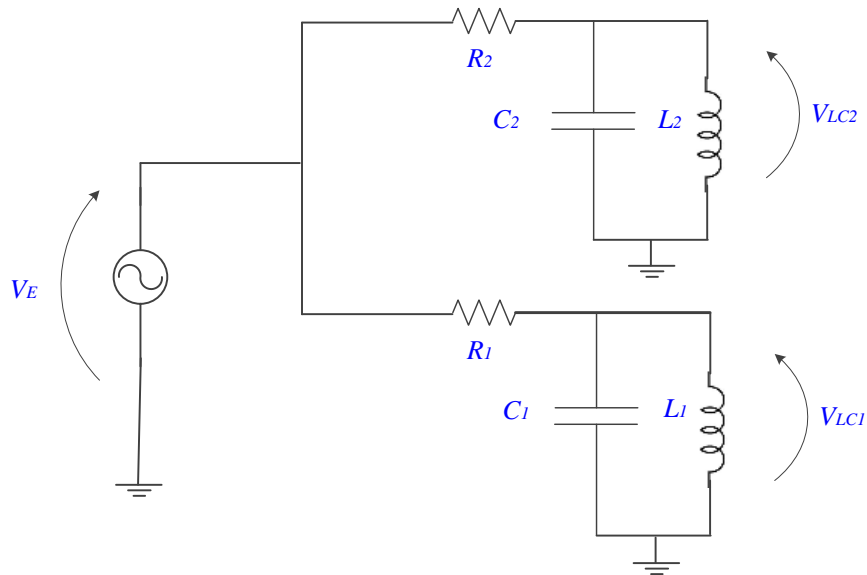
---

*O objetivo aqui é visualizar o efeito denominado batimento amortecido ao se somar os sinais de transitórios de dois circuitos RLC com frequências de oscilação amortecidas muito próximas entre si.*

---

**3.1** Monte os dois circuitos RLC paralelos, conforme esboço da Figura 03. Utilize os seguintes valores para os componentes:

$$R_1 = R_2 = 470 \text{ k}\Omega; L_1 = L_2 = 3,3 \text{ mH}; C_1 = 10 \text{ nF} \text{ e } C_2 = 15 \text{ nF}.$$



**Figura 03** – Circuitos RLC paralelo com mesma fonte de alimentação

Os circuitos devem ser alimentados com o mesmo gerador e ao mesmo tempo, para que seja possível visualizar suas respostas transitórias em conjunto no osciloscópio. Utilize um sinal com 20 Vpp e baixa frequência para melhor visualização dos sinais num transitório. Note que ambos os circuitos apresentam oscilação amortecida como resposta transitória.

- 3.2** Determine a frequência de oscilação amortecida de cada circuito.
- 3.3** A seguir some ponto a ponto os sinais de saída de cada circuito. Ajuste a taxa de varredura do osciloscópio para visualizar apenas as amplitudes de oscilação de um transitório, a fim de melhorar a resolução das medições.
- 3.4** Imprima o gráfico do sinal de batimento observado no intervalo.
- 3.5** Determine experimentalmente:
  - a)** o período e a frequência da soma gerada. Compare o resultado com o valor esperado teoricamente. Apresente o erro relativo.
  - b)** O período e a frequência do sinal da onda moduladora. Compare com o valor esperado teoricamente. Apresente o erro relativo.
  - c)** O período e a frequência do batimento. Compare com o valor esperado teoricamente. Apresente o erro relativo.

Indique os períodos medidos na curva esboçada do batimento.