



## Experiência 8

# Redes de Primeira ordem – Circuitos RC e RL

## GUIA EXPERIMENTAL

Profs Walter James Salcedo, Leopoldo Yoshioka e Elisabete Galeazzo

### Lista de materiais

- Osciloscópio DSOX-2002A
- Geradores de funções
- Multímetro Tektronix TX3
- Multímetro de bancada HP
- Resistores de 1k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 5,6 k $\Omega$
- Capacitor de 10nF, 100 nF, 220 nF
- Bobina de núcleo de ar ( $L_s \cong 170$  mH e  $R_s \cong 610\Omega$ )
- Indutor encapsulado ( $L_s = 3$  mH e  $R_s \cong 10 \Omega$ )
- Amplificador operacional LM741
- Fonte de tensão simétrica

### 1. VALORES EXPERIMENTAIS DAS RESISTÊNCIAS, CAPACITÂNCIAS E INDUTÂNCIAS

Meça os valores de  $R_1$  (1 k $\Omega$ ),  $R_2$  (10 k $\Omega$ ),  $R_3$  (5,6 k $\Omega$ ),  $C_1$  (220  $\eta$ F),  $C_2$  (100  $\eta$ F),  $C_3$  (10  $\eta$ F),  $L_{s1}/R_{s1}$ , (170 mH) e  $L_{s2}/R_{s2}$  (3 mH).

Utilize o *LRC meter* para medir os capacitores e os indutores em 1 kHz. O *LRC meter* deve se calibrado antes de utilizar. Considere o modelo série ( $L_s$  e  $R_s$ ) para medir os indutores neste equipamento, e para os capacitores considere o modelo paralelo ( $C_p$ ,  $R_p$ ).

## 2. RESPOSTA DE UM CIRCUITO RC

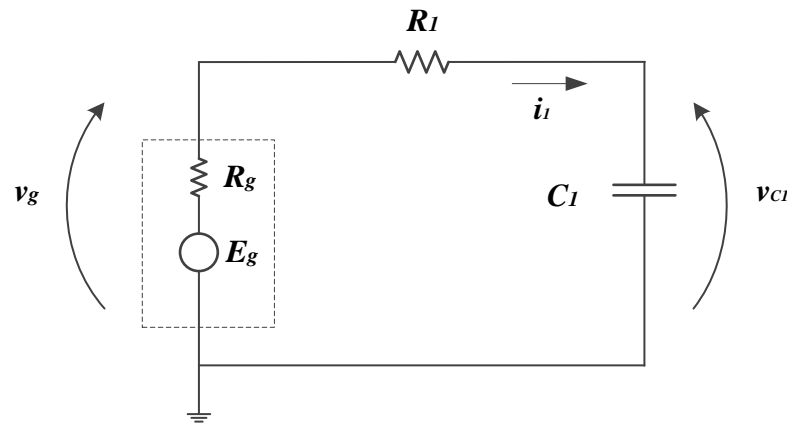


Figura 1 – Circuito RC série.

---

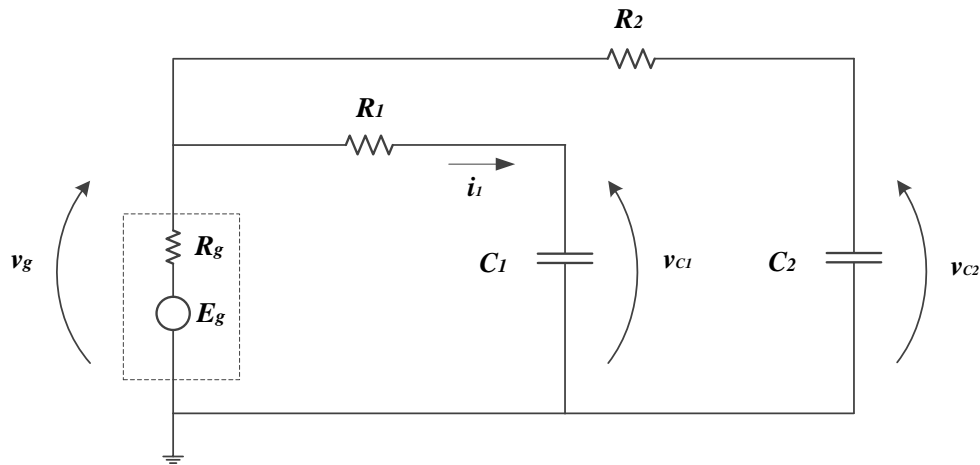
Neste item iremos avaliar a resposta transitória de circuitos RC e determinar sua constante de tempo.

---

2.1. Inicialmente monte o circuito da Figura 1, considerando  $C_1 = 220 \text{ nF}$  e  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ .

- Adote 10 Vpp no sinal de entrada para melhor visualização dos sinais sobre os componentes. Defina o tipo de sinal e período adequados para visualizar a resposta transitória do circuito até  $v_{c1}$  alcançar um valor constante.
  - Anote os valores dos parâmetros ajustados do gerador (tipo de sinal, tensão pico-a-pico e frequência).
  - Desenhe o diagrama da montagem experimental. Neste esboço, explique como todas as grandezas ( $v_g$ ,  $v_{c1}$  e  $i_1$ ) serão obtidas.
  - Meça  $v_g$ ,  $v_{c1}$  e  $i_1$  em função do tempo e apresente as três curvas num mesmo gráfico.
  - Determine as correntes máxima e mínima do circuito. Avalie se os valores medidos correspondem aos valores teóricos.
  - Determine a constante de tempo  $\tau_1$  do circuito teoricamente e experimentalmente. Descreva o procedimento experimental que efetuou para obtê-la e indique o valor encontrado no gráfico.
  - Meça o tempo de subida  $t_{r1}$  da tensão de saída e indique-o no mesmo gráfico.
- Nota:** o tempo de subida  $t_r$  pode ser obtido através do osciloscópio no nosso laboratório, escolhendo-se uma de suas funções automáticas.

2.2. Adicione uma nova malha ao circuito com R e C em série ( $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  e  $C_2 = 100 \text{ nF}$ ), conforme Figura 2.



**Figura 2** – Circuito com 2 resistores ( $R_1 \neq R_2$ ) e 2 capacitores ( $C_1 \neq C_2$ ).

- Altere a frequência do gerador para visualizar a resposta transitória de  $v_{C1}$  e  $v_{C2}$  ao mesmo tempo no osciloscópio.
- Determine a constante de tempo teórica e experimental da malha do circuito contendo  $R_2$  e  $C_2$ . Comente se os valores estão compatíveis entre si.
- Imprima as curvas  $v_{C1}(t)$  e  $v_{C2}(t)$  em um mesmo gráfico, indicando sobre as mesmas suas constantes de tempo. Faça comentários sobre as curvas obtidas.

**2.3.** O objetivo deste item é avaliar o circuito da Figura 1 (circuito  $R_1C_1$  série) em regime permanente senoidal e determinar sua frequência de corte.

- Descreva um procedimento experimental para determinar a frequência de corte do circuito. Determine a tensão de saída ( $v_{C1}$ ), a frequência ( $f_c$ ) e defasagem ( $\theta$ ) (entre sinal de entrada e saída) nesta condição.
- Calcule a constante do circuito ( $\tau$ ) a partir da  $f_c$  e compare com o resultado da mesma grandeza ( $\tau_1$ ) obtida no item 2.1.
- A partir de sua análise, justifique porque circuitos com constantes de tempo elevadas não operam em alta frequência.

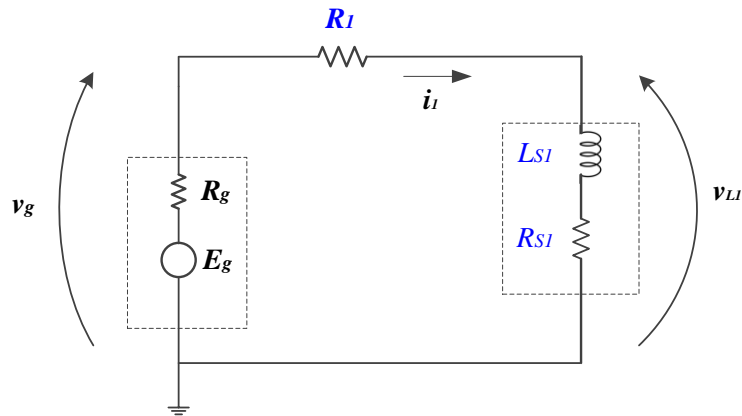
### 3. RESPOSTA TRANSITÓRIA DE UM CIRCUITO RL

---

*Neste item vamos analisar a resposta transitória de circuitos RL e determinar sua constante de tempo.*

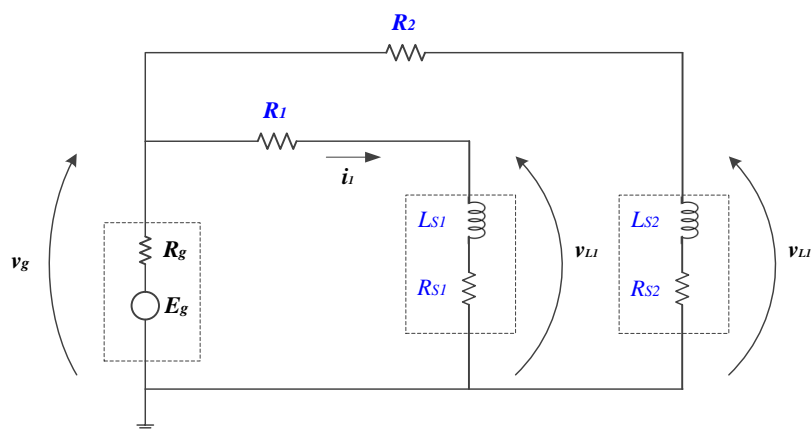
---

- Monte o circuito da Figura 3, utilizando  $R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$  e  $L_1 = 170 \text{ mH}$ .



**Figura 3** – Circuito RL série.

- Ajuste a frequência do sinal na entrada do circuito para visualizar sua resposta transitória. Adote 10 Vpp para uma boa visualização dos sinais.
  - A partir da curva  $v_{L1}(t)$ , determine as tensões  $v_{L1}$  **máxima** e  $v_{L1}$  **mínima** no transitório. Explique porque a tensão máxima no indutor é maior que a tensão de pico no gerador, e a tensão  $v_{L1}$  **mínima** é maior que zero.
  - Descreva um procedimento experimental para obter a constante de tempo do circuito RL graficamente. A seguir, obtenha experimentalmente este valor e compare com a sua previsão teórica, ao levar em consideração todas as resistências do circuito.
  - A partir da função  $i(t)$ , meça as correntes máxima e mínima do circuito.
  - Imprima as curvas  $v_g(t)$ ,  $v_L(t)$  e  $i(t)$ . Faça discussões sobre os resultados obtidos.
- 3.2.** Adicione uma segunda malha ao circuito anterior adicionando  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$  e  $L_2 = 3\text{ mH}$ , seguindo o esquema da Figura 4, a fim de que a tensão de entrada possa ser aplicada nas duas associações RL série ao mesmo tempo.



**Figura 4** – Circuito com 2 resistores ( $R_1 \neq R_2$ ) e dois indutores ( $L_1 \neq L_2$ ).

- Altere a frequência do gerador para visualizar a resposta transitória de  $v_{L1}(t)$  e  $v_{L2}(t)$  ao mesmo tempo no osciloscópio.

- b) Imprima as curvas  $v_{L1}(t)$  e  $v_{L2}(t)$  no mesmo gráfico, indicando suas constantes de tempo. Faça comentários sobre as curvas obtidas.

#### 4. PROJETO DE UM GERADOR DE ONDA QUADRADA

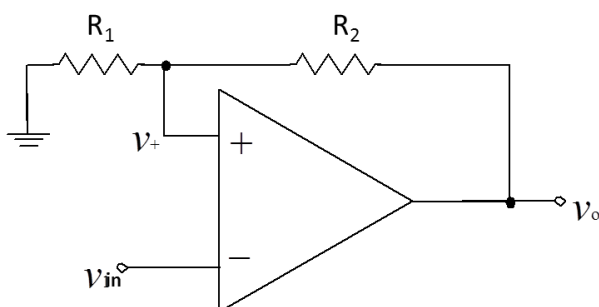
---

*Objetivos: entender o funcionamento de um comparador do tipo Schmitt Trigger e construir um gerador de onda quadrada.*

---

##### 4.1. Comparador Schmitt Trigger – curva de histerese

- a) Monte o circuito comparador da Figura 5. Alimente o amplificador operacional com a fonte na configuração simétrica  $\pm 15V$  (com limite de corrente em 100 mA). Utilize  $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$ .



**Figura 5** - Circuito comparador com Amp Op.

- b) A seguir, conecte a saída do gerador na entrada do circuito ( $V_{in}$ ). Vamos utilizar o gerador no modo DC, sendo que:
- No caso do gerador **HP33120A**, coloque-o no **modo DCV** (pressionar a tecla *Offset* por 2 segundos).
  - No caso do gerador **Agilent 33500B**, ajuste a amplitude do sinal para o menor valor possível (2 mVpp) e o *Offset* para o valor desejado.

Meça as tensões  $V_{in}$  e  $V_o$  com multímetros independentes.

Mude lentamente o nível de tensão DC no gerador até observar em  $V_o$  uma mudança de estado do comparador (nível alto - próximo de + 15V ou nível baixo – próximo de - 15V). Repita esta operação, alterando lentamente o nível de tensão em sentido oposto.

Obtenha a curva de histerese (ver Figura 10 na apostila *Introdução Teórica*). Anote os valores de  $V_H$ ,  $V_L$ ,  $V_{TU}$  e  $V_{TL}$  obtidos neste processo.

**Nota:** Definições:  $V_{TU}$  = voltage transition to up e  $V_{TL}$  = voltage transition to low.

c) Faça uma análise da curva de histerese. Compare as razões experimentais  $V_H/V_{TU}$  e  $V_L/V_{TL}$  com os valores teóricos esperados e discuta sobre os resultados alcançados.

#### 4.2. Oscilador de onda quadrada: medida da frequência de oscilação

a) Acrescente ao circuito anterior (Figura 5) os elementos  $R_F$  e  $C$ , conforme mostrado no esquema da Figura 6. Utilize  $C = 100 \text{ nF}$  e  $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ .

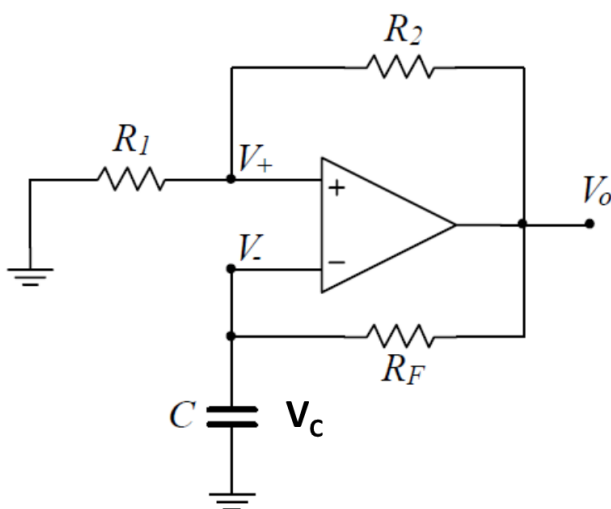


Figura 6 – Esquema elétrico do gerador de onda quadrada.

b) Observe as formas de onda sobre o capacitor ( $V_c(t)$ ) e na saída do amplificador operacional ( $V_o(t)$ ) com o osciloscópio. Faça um esboço das formas de onda obtidas, anotando as amplitudes e a frequência dos sinais.

c) Troque o capacitor por um valor menor ( $C = 10 \text{ nF}$ ) e observe o que aconteceu.

d) Deduza uma expressão aproximada para calcular a frequência em função de  $C$  e  $R_F$ .

e) Comente os resultados.