



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI - EPUSP

PSI 3031 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

1º quadrimestre de 2018

Experiência 7 (12 e 14 de março)
Redes de Primeira ordem – Circuitos RC e RL

GUIA e ROTEIRO EXPERIMENTAL

Walter Jaimes Salcedo / R. Onmori

Revisão: Elisabete G., Henrique E.M.P. e Leopoldo Y.

No. USP	Nome	Nota	Bancada

Data:	Turmas:	Profs:
--------------	----------------	---------------

I - MEDIDA DE CONSTANTE DE TEMPO (τ) E TEMPO DE SUBIDA (t_r) DE CIRCUITOS RC E RL

Objetivos: avaliar a resposta transitória de circuitos RC e RL, e determinar sua constante de tempo e tempo de subida.

1) Medida de componentes: meça o valor do resistor ($R = 1 \text{ k}\Omega$) e do capacitor ($C = 100 \text{ nF}$) com o multímetro portátil, e meça o indutor (L) com o medidor RLC. Anote os resultados na Tabela 1.

TABELA 1 - Valores dos Componentes (R, C e L)

COMPONENTE	VALOR NOMINAL	VALOR MEDIDO	
R	1 k Ω		
C	100 nF		
L	3 mH	$L_S =$	$R_S =$

2) Medida da constante de tempo (τ) num circuito RC

2.1 Monte o circuito da **Figura 1** com o capacitor **C** e resistor **R**. Programe o gerador de funções para fornecer uma **onda quadrada** com $V_g = 5 \text{ Vpp}$, offset nulo e frequência de **400 Hz**. Veja as formas de onda V_C e $-V_R$ através dos canais 1 e 2 do osciloscópio, e esboce-as no gráfico a seguir (lembre-se que $-V_R$ é proporcional à corrente na convenção de gerador).

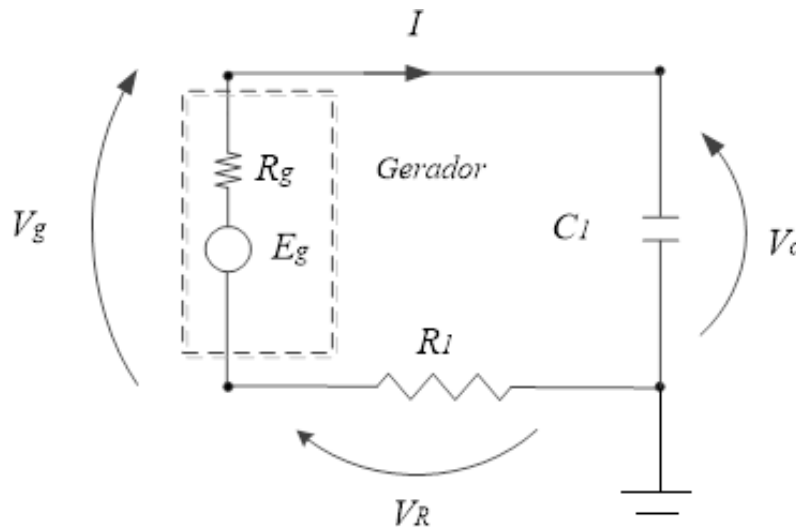
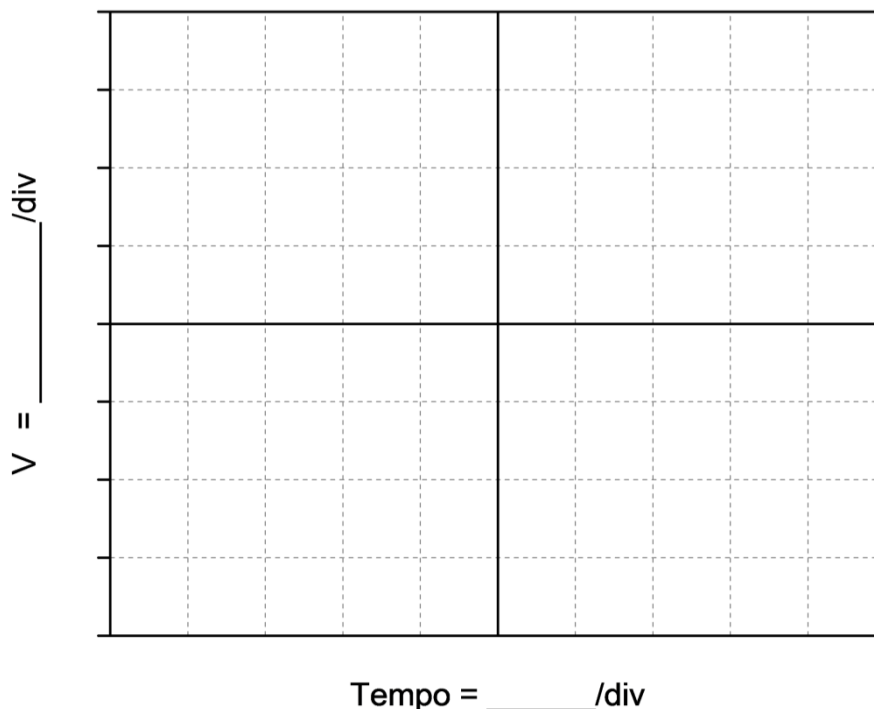


Figura 1- Circuito RC.

Ajuste o osciloscópio para que seja observado dois a três períodos dos sinais. Indique no gráfico as formas onda correspondes a $v_C(t)$ e a $-v_R(t)$.



2.2 Analise e discuta as formas de onda dos dois sinais, principalmente seu comportamento nos transitórios:

2.3 Com base no método descrito no item 2.4 (Figura 6) da apostila “Introdução Teórica”, meça a constante de tempo do circuito, utilizando-se os cursores do osciloscópio. Descreva como fez a medição no osciloscópio, e indique o valor do τ medido e também o período T da onda quadrada na Tabela 2.

2.4 Calcule a constante de tempo teórica do circuito da Figura 1. Lembre-se que a resistência total do circuito analisado é $R_T = R_g + R$ (indique o resultado na Tabela 2).

Cálculo:

Tabela 2 – Dados experimental e teórico sobre o circuito RC

Período do sinal (T)	τ (medido)	τ (calculado)	Erro relativo (%)

2.5 Considerando que são necessárias 5 constantes de tempo para a tensão no capacitor atingir 99% do seu patamar, verifique se esta condição foi atingida com o período de $v_g(t)$ adotado no gerador.

3) Medida do tempo de subida e da frequência de corte do circuito RC

3.1 Com base na definição do tempo de subida (t_r) descrita no item 2.4 da “Introdução Teórica”, meça t_r experimental (t_{r_exp}) com o recurso de medidas automáticas (**MEAS**) do osciloscópio. Anote o resultado obtido na Tabela 3.

3.2 Altere a forma de onda do sinal $v_g(t)$ para senoidal, e encontre experimentalmente a frequência de corte (f_{c_exp}) do circuito RC. Anote o valor obtido na Tabela 3, assim como as tensões V_{PP0} ¹ e V_{PPC} ² do sinal.

3.3 Calcule a frequência de corte teórica ($f_{c_teórica}$) a partir dos parâmetros do circuito, e compare-a com o resultado obtido experimentalmente.

3.4 Calcule o produto $f_{c_exp} \cdot t_{r_exp}$ e o seu valor teórico apresentado na “Introdução Teórica”. Apresente os resultados na Tabela 3.

¹ V_{PP0} é a tensão pico a pico máxima do sinal (tensão se mantém constante num intervalo de frequências visto que o circuito é um passa-baixas)

² V_{PPC} é a tensão pico a pico na frequência de corte ($V_{PPC} = V_{PP0} / \sqrt{2}$)

Tabela 3 – Resultados experimentais e teóricos.

Valores Experimentais					Valores teóricos	
(item 3.1)	(item 3.2)	(item 3.2)	(item 3.2)	(item 3.4)	(item 3.3)	(item 3.4)
t_{r_exp}	V_{PP0}	V_{PPC}	f_{c_exp}	$f_{c_exp} \cdot t_{r_exp}$	$f_{c_teorica}$	$f_c \cdot t_r$

3.5 Discuta qual é o significado do produto $f_c \cdot t_r$ ser um valor constante em circuitos RC.

4) Medida da constante de tempo no circuito RL

Monte o circuito conforme a Figura 2, com os componentes L e R = 1 kΩ. Programe o gerador de funções para fornecer uma **onda quadrada** com $V_{PP} = 5\text{ V}$, offset nulo e frequência de **10 kHz**. Obtenha as formas de onda sobre o indutor, $v_L(t)$, e $-v_R(t)$ (que é proporcional à corrente do circuito), como no caso do circuito anterior.

Atenção: você pode ajustar a frequência do gerador de modo que a forma de onda de $-v_R(t)$ fique próxima à Figura 6 da “Introdução Teórica”.

No gráfico a seguir esboce os sinais $v_L(t)$ e $-v_R(t)$ com mais de um período. Identifique-os no gráfico.

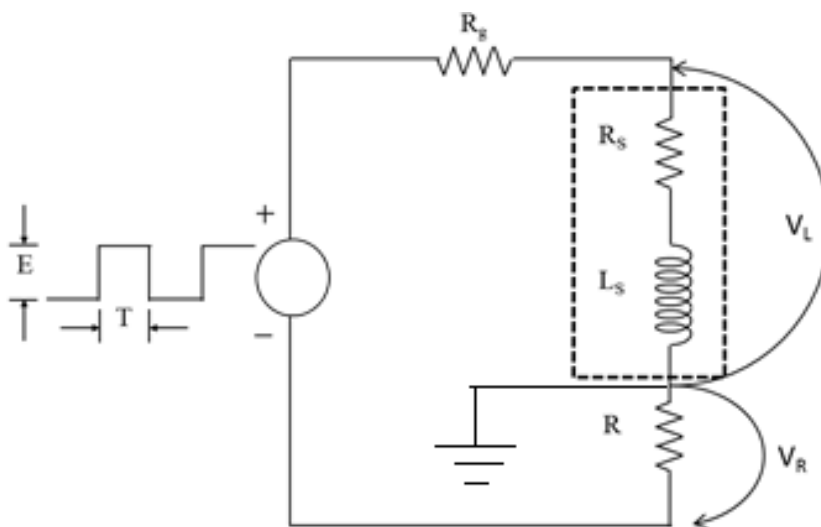
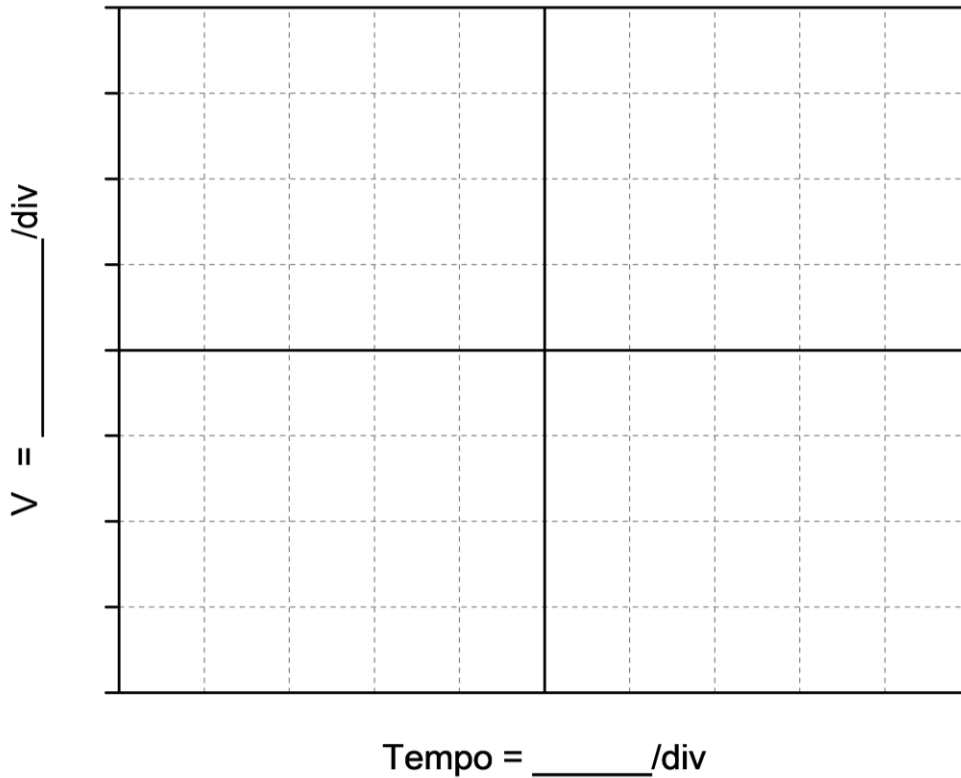


Figura 2. Esquema do circuito RL.



Analise e discuta as formas de onda dos dois sinais, principalmente seu comportamento nos transitórios:

Meça a constante de tempo τ (tempo necessário para $v_R(t)$ atingir 0,632 do seu nível máximo) e preencha a Tabela 4.

Calcule o valor teórico de τ e compare-o com o valor experimental.

Tabela 4 – Constante de tempo do circuito RL.

τ experimental	τ teórico	Erro relativo (%)

II. GERADOR DE ONDA QUADRADA COM CIRCUITO RC E AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Objetivos: vamos entender o funcionamento de um circuito comparador do tipo Schmitt Trigger, para depois construir um gerador de onda quadrada baseado no circuito comparador associado a num circuito de 1ª ordem.

1) Circuito Comparador

Monte o circuito comparador da Figura 3. Alimente o amplificador operacional com a fonte na configuração simétrica $\pm 15V$. Escolha $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$. Configure o gerador de funções para fornecer uma tensão DC como parâmetro (frequência nula e offset ativo) na entrada v_{in} , e obtenha a curva de histerese (ver Figura 10 da apostila – “Introdução Teórica”). Anote os valores de V_H , V_L , V_{TH} e V_{TL} .

Cuidados: Altere manualmente o nível DC do gerador (v_{in}) em passos de décimos de volts próximo aos valores esperados de V_{TH} e V_{TL} .

Certifique-se que os canais 1 e 2 do osciloscópio **não** estão invertidos.

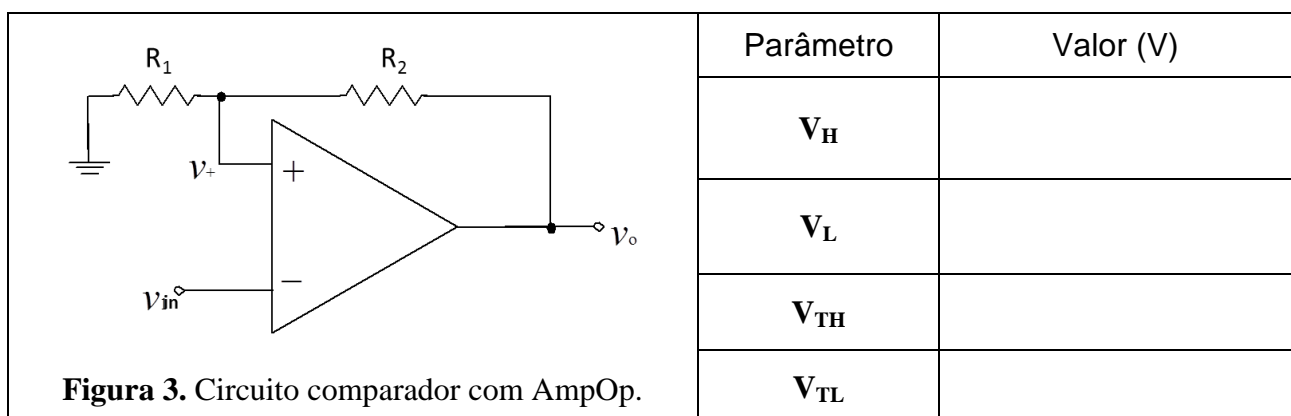
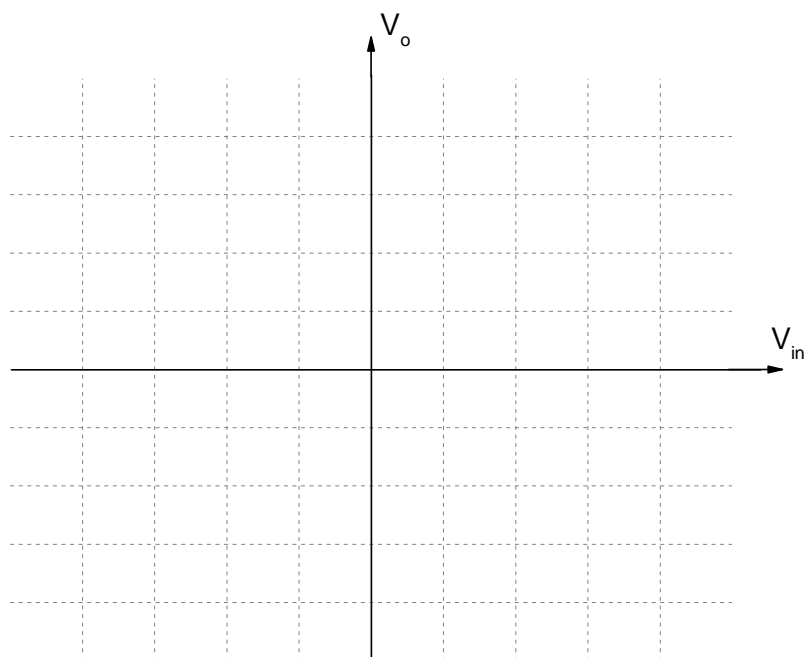


Gráfico de Resposta do circuito comparador com AmpOp (curva de histerese):



2) Oscilador de onda quadrada

Acrescente ao circuito anterior os elementos R_F e C como mostrado no esquema da Figura 4. Nesta parte da experiência será utilizado o capacitor de $C = 100 \text{ nF}$ e resistência $R_F = 56 \text{ k}\Omega$. Após a montagem, meça com o osciloscópio os valores da tensão pico a pico da saída (V_{PPo}) e do capacitor (V_{PPC}), assim como os valores médios (V_{o_avg} e V_{C_avg}) destas tensões e a frequência do sinal de saída, respectivamente.

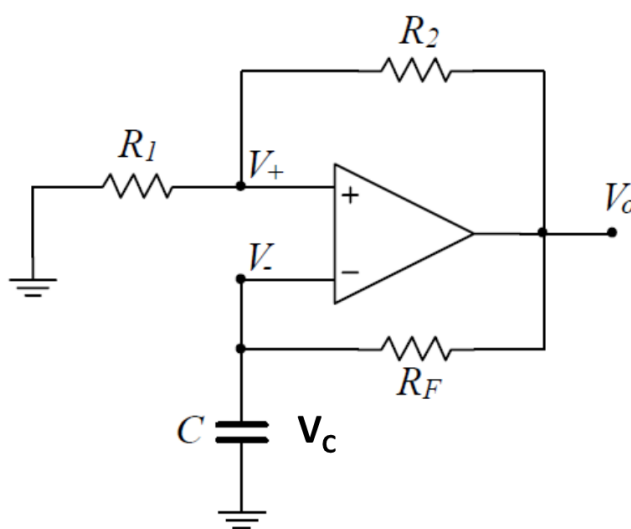


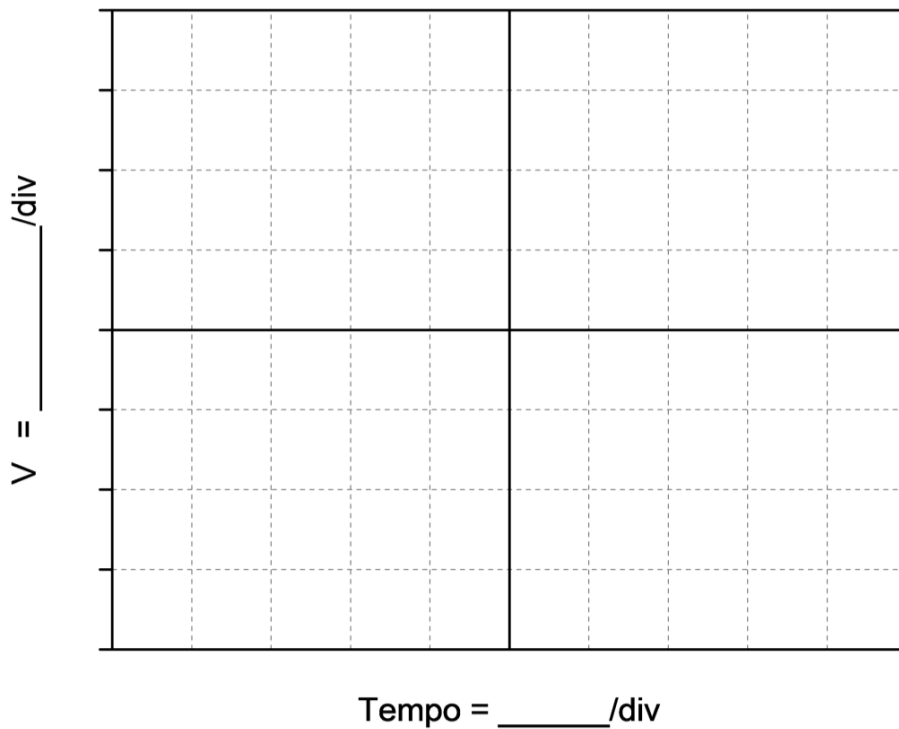
Figura 4. Gerador de onda quadrada ($R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$).

Tabela 5 –Dados experimentais do circuito Oscilador.

R_F	C	V_{PPC}	V_{C_avg}	V_{PPo}	V_{o_avg}	f
56 k Ω	100 nF					

2.1 A partir dos valores de V_{PPo} e V_{o_avg} (Tabela 5), identifique o tipo de sinal gerado (AC ou não AC(?)) e discuta que componente do sistema origina este comportamento.

2.2 Faça os gráficos de tensão do oscilador e do capacitor ($v_o(t)$ e $v_C(t)$) para R_F e C utilizados. Siga o modelo da apostila “Introdução Teórica”, Fig. 12 (V_o e V_C superpostos).



2.3 Meça o tempo de subida da onda quadrada para o par RC – 56 k Ω -100nF (t_r),

$t_r = \dots\dots\dots$

2.4 Compare os valores V_{TH} e V_{TL} do comparador (circuito da fig.4) com os valores V_{PPC} no oscilador (circuito da fig.5) e discuta o resultado explicando o mecanismo de funcionamento do oscilador.

2.5 Compare os valores teóricos da frequência com os valores medidos e discuta seus resultados.

f (teórico)	f (medido)

2.6 Analise os gráficos de $v_o(t)$ e $v_c(t)$ em função do tempo e discuta a qualidade da forma de onda em relação ao valor da constante de tempo do circuito R_fC .

2.7 A partir da medida do tempo de subida, t_r , discuta a sua dependência em relação aos outros parâmetros de resposta do oscilador. Por exemplo, o que ocorre se a resistência for trocada por outra de valor muito menor?

2.8 Que alterações poderiam ser feitas no circuito da Figura 4 para obter onda quadrada com frequência de 10 kHz? Explique sua solução.

LISTA DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

- Osciloscópio
- Gerador de funções
- Multímetro Tektronix TX3 (C1-06)/ ou DMM830 (C1-01)
- 1 resistor de $1\text{k}\Omega$, 2 resistores de $10\text{k}\Omega$ e um resistor de $56\text{k}\Omega$
- 1 capacitor de 100 nF
- 1 indutor encapsulado de $L = 3\text{ mH}$ e $R_s \approx 10\ \Omega$
- 1 amplificador operacional LM741
- Fonte simétrica CC $\pm 15\text{V}$
- RLC-meter