



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI – EPUSP
PI 3031 – LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

Guia Experimental e Roteiro do Relatório
EXP. 07: Redes de 1ª Ordem: Circuitos RC e RL

Walter Jaimes Salcedo e Roberto Onmori
Revisão: Marcel S. Wagner, Ariana M.C.L.C. Serrano, MNPC
Edição 2023

No. USP	Nome	Nota	F	Nota Individual

Data:	Turma:		Profs:
-------	--------	--	--------

Objetivos da experiência

- Estudar e analisar os circuitos RC e RL (circuitos de 1ª ordem) e seus parâmetros característicos.

Materiais necessários para realização do experimento no laboratório:

- Osciloscópio digital Agilent DSO-X 2002A,
- Gerador de funções Agilent 33500B,
- Multímetro digital portátil Yokogawa TY720,
- Medidor RLC, Fonte DC Agilent E3631A;
- Um potenciômetro de 10 k Ω ,
- 1 capacitor de 10 nF e 1 capacitor de 100 nF
- 1 indutor de 170 mH
- 2 Resistores de 10 k Ω ,
- 1 Resistores de 56 k Ω ,
- Um amplificador operacional LM-741

PARTE EXPERIMENTAL

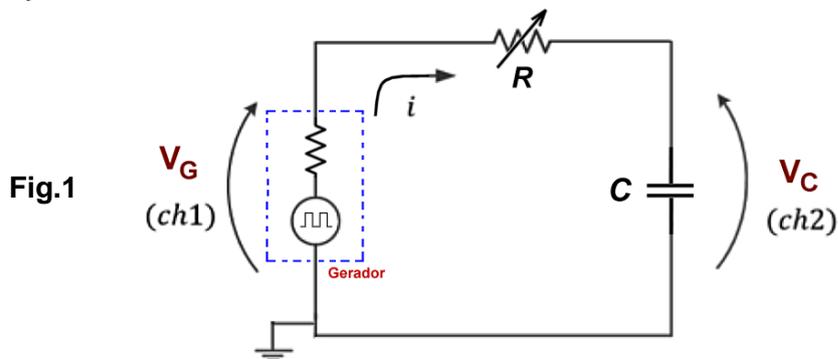
- 1) **Medida dos componentes:** Antes de montar os circuitos, meça com o multímetro o Capacitor “C” (valor nominal 10 nF) e o potenciômetro “R” na posição de **máxima** resistência (valor nominal 10kΩ). Preencha a Tabela 1 Anote os resultados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos Componentes

C (nF)	R _{Max} (Ω)

2) RESPOSTA TRANSITÓRIA DE CIRCUITOS RC:

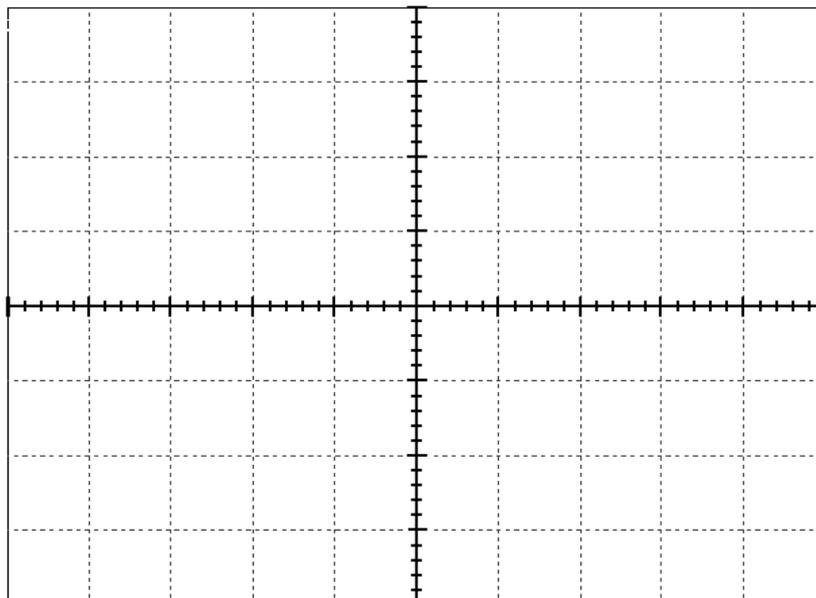
- a) Monte o circuito RC série da **Fig.1**. Alimente o circuito com uma onda quadrada de **1 kHz** com 10 Vpp e offset 5V (para que a tensão de entrada varie entre 0V e 10V). Com o osciloscópio, meça as tensões no gerador e capacitor nos Canal 1 e 2 respectivamente. Obtenha a tensão no resistor com a função Math, pela diferença entre as tensões nos canais 1 e 2..



Varie o valor da resistência potenciômetro no circuito RC e observe como a variação do valor da resistência altera o formato da tensão no capacitor e no resistor.

Ajuste o potenciômetro numa posição próxima de 50% do máximo (gire o botão entre o mínimo e o máximo e coloque aproximadamente no meio). Esboce na Fig. abaixo dois períodos das curvas das tensões “V_C” no capacitor e “V_R” no resistor, identificando claramente as curvas. Meça o Período e os valores máximos e mínimos das tensões e anote abaixo:

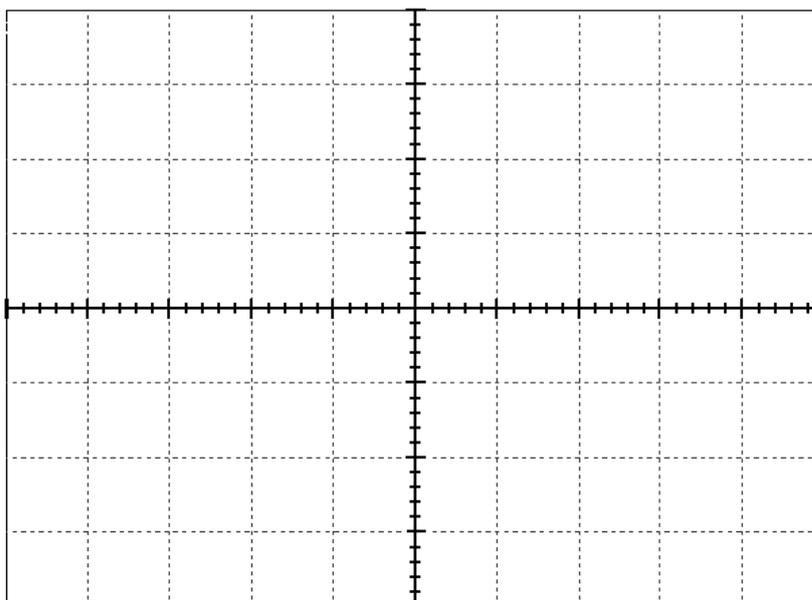
CH1: ____ /div **CH2:** ____ /div **Math:** ____ /div **Time:** ____ /div



b) Análise e discuta as formas de onda de tensões “ V_C ” e “ V_R ” obtidas, principalmente em relação ao seu comportamento nos transitórios. Explique também por que a tensão no resistor, no início de cada transitório, é praticamente duas vezes a tensão no gerador.

c) Com base no método descrito no item 2.3 da apostila “Introdução Teórica (Figura 6)”, determine a constante de tempo “ τ ” do circuito a partir da curva $V_C(t)$, utilizando os cursores do osciloscópio. Para isso, destaque (e amplie) apenas um trecho do ciclo de subida desta forma de onda. Esboce-a e identifique abaixo o intervalo de tensão e tempo escolhidos entre os cursores, e os valores envolvidos nesta medição. Coloque o valor do “ τ ” experimental e do período T da onda quadrada na Tabela 2 (próxima página).

CH1: _____ /div CH2: _____ /div Math: _____ /div Time: _____ /div



d) Desligue a alimentação, retire cuidadosamente o potenciômetro do circuito, sem alterar a resistência e meça com o multímetro o valor da resistência usado para obter as Figs.2 e 3. Preencha a primeira coluna da **Tabela 2**. Agora, calcule a **constante de tempo teórica** do circuito da Figura 1 (τ calculado). Lembre-se que a resistência total do circuito analisado é $R_T = R_g + R$ (indique o resultado obtido na Tabela 2). Lembre que a resistência interna do gerador é 50Ω (independentemente se este equipamento está operando em High Z ou 50 ohms).

Tabela 2. Comparação entre resultados experimentais e teóricos do circuito RC.

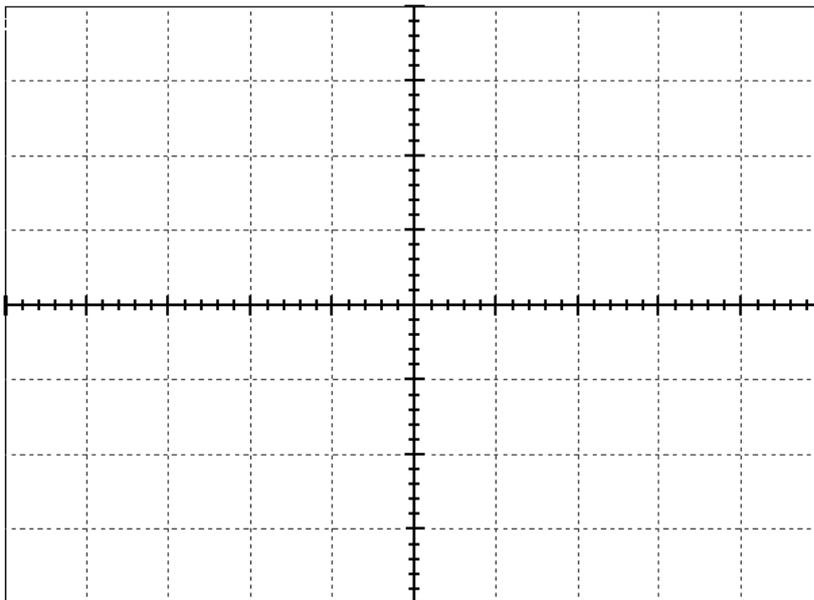
Período do sinal (T)	τ (medido)	τ (calculado)	Erro relativa (%)

Cálculos

- e) Remonte o circuito, sem mudar o valor da resistência no potenciômetro, e determine graficamente na tela do osciloscópio o tempo de subida t_r do sinal $V_C(t)$ lembrando que " t_r " é o tempo necessário para o sinal passar de 10% a 90% do valor máximo. Anote abaixo o valor obtido e desenhe o sinal $V_C(t)$ no osciloscópio, mostrando os cursores e os valores de tensão e tempo utilizados na medida.

CH1: _____ /div CH2: _____ /div Math: _____ /div Time: _____ /div

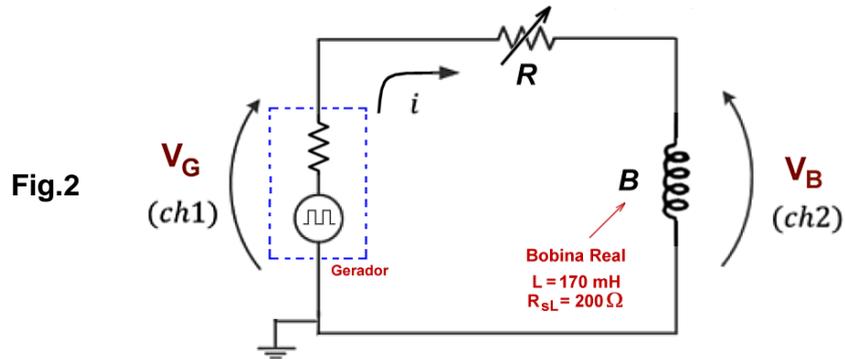
$t_r =$



- g) Aumente gradativamente o valor da resistência do potenciômetro e observe o que acontece. Descreva qual é o efeito nas formas de onda de $V_G(t)$ e $V_C(t)$. Anexe abaixo o "Print" da tela do osciloscópio mostrando os sinais $V_G(t)$ e $V_C(t)$ obtidos para dois valores diferentes da R do potenciômetro.

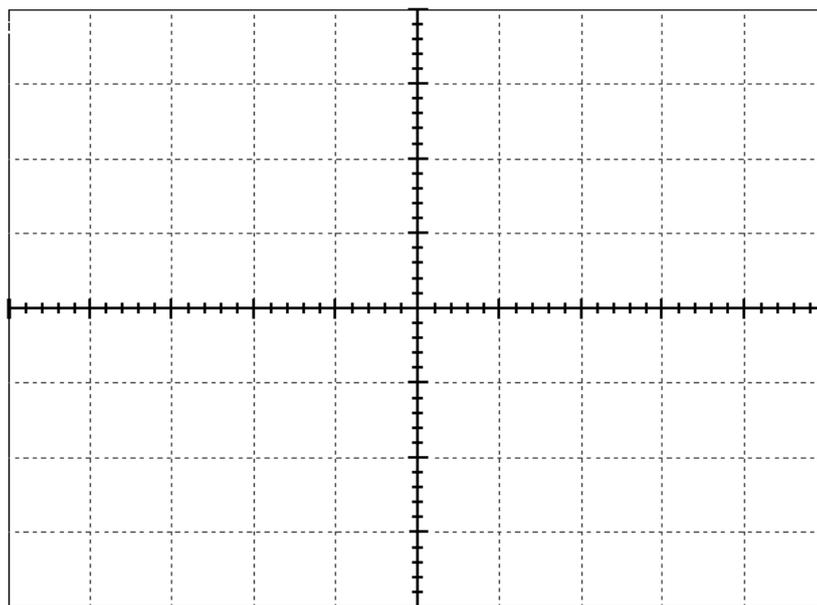
2) RESPOSTA TRANSITÓRIA DE CIRCUITOS RL:

Meça no medidor RLC a Indutância “L” e resistência série “ R_{sL} ” da Bobina disponível na bancada para uma frequência de 1 kHz. Monte o circuito RL série da Fig.2, com a bobina que acabou de medir e um **potenciômetro de 10 k Ω** de fundo de escala ajustado num valor de 5 k Ω . Utilize o gerador de funções para alimentar o circuito com uma **onda quadrada de 1 kHz**, com amplitude 5 V_p e offset de 5 V. Observe nos canais 1 e 2 do osciloscópio as tensões do gerador, $V_G(t)$, e na bobina, $V_B(t)$, respectivamente, e esboce as curvas na Fig, abaixo, identificando claramente as curvas. Meça o e anote o período e os valores máximos e mínimos das tensões



- a) Ajuste o potenciômetro numa posição próxima de 50% do máximo (gire o botão entre o mínimo e o máximo e coloque aproximadamente no meio). Esboce na Fig. abaixo dois períodos das curvas das tensões “ V_C ” no capacitor e “ V_R ” no resistor, identificando claramente as curvas. Meça o Período e os valores máximos e mínimos das tensões e anote abaixo:

CH1: ____ /div CH2: ____ /div Math: ____ /div Time: ____ /div

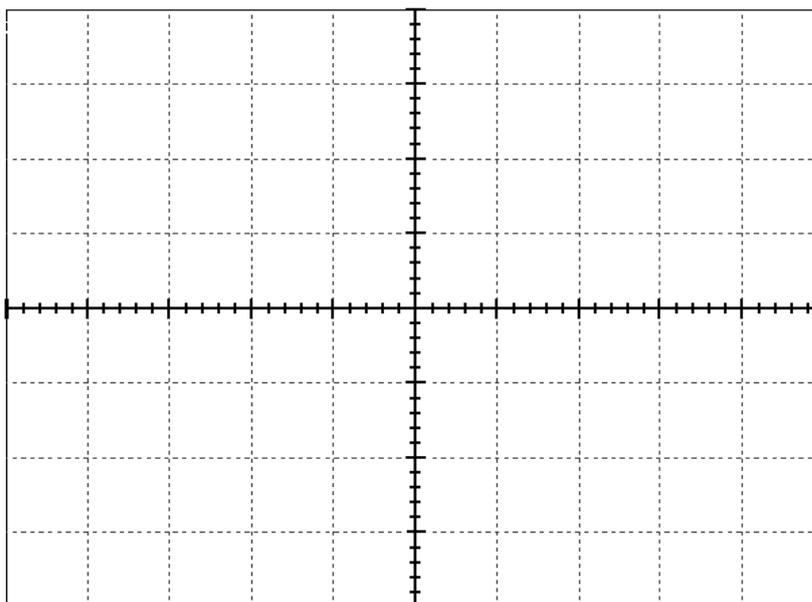


- c) Análise e discuta o resultado obtido. Explique as formas de onda de $V_G(t)$ e $V_B(t)$ obtidas.

d) Compare os resultados obtidos nos circuitos RC e RL

e) Utilize os cursores para determinar a constante de tempo “ τ ” do circuito RL a partir da tensão $V_B(t)$ obtida no osciloscópio. Mostre claramente na Fig abaixo, como fez para determinar o “ τ ” neste caso, mostrando as tensões relevantes e os tempos escolhidos nessa medição..

CH1: ____ /div CH2: ____ /div Math: ____ /div Time: ____ /div



f) Aumente gradativamente o valor da resistência do potenciômetro. Observe e descreva o efeito nas formas de onda de $V_B(t)$ e $V_R(t)$. Que parâmetro é influenciado pela variação de R ?.

g) Aumente agora a frequência da onda quadrada, observe e descreva o efeito nas formas de onda. Anexe no espaço abaixo os gráficos obtidos para duas frequências diferentes. Explique o resultado obtido.

3. APLICAÇÃO DO RC: Gerador de onda quadrada com circuito RC e AmpOp

Objetivo: 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 um circuito de 1ª ordem.

3.1. Circuito Comparador

Monte o circuito comparador da Fig.3 abaixo com o AmpOp operacional **LM-741** (repare que ele é muito parecido com o circuito comparador que foi analisado na experiência “Circuitos com Amplificadores Operacionais”). Alimente o amplificador operacional com a fonte na configuração simétrica ± 15 V. Escolha $R_1 = R_2 = 10$ k Ω .

- a) Configure o gerador de funções para fornecer uma tensão DC (comandos: waveform \rightarrow DC \rightarrow offset) na entrada V_{in} , e obtenha a curva de histerese (ver como exemplo a Fig.10 da apostila – “Introdução Teórica”). Varie o valor de V_{in} de -10 a 10 V. Meça V_o com o multímetro de bancada e anote abaixo os valores de V_H , V_L , V_{TH} e V_{TL} . Desenhe a curva de histerese obtida no gráfico a seguir. Não esqueça de indicar as escalas e unidades !!

Cuidados: Próximo aos valores esperados de V_{TH} e V_{TL} altere o nível DC do gerador (V_{in}) em passos de décimos de volts para obter melhor resolução.

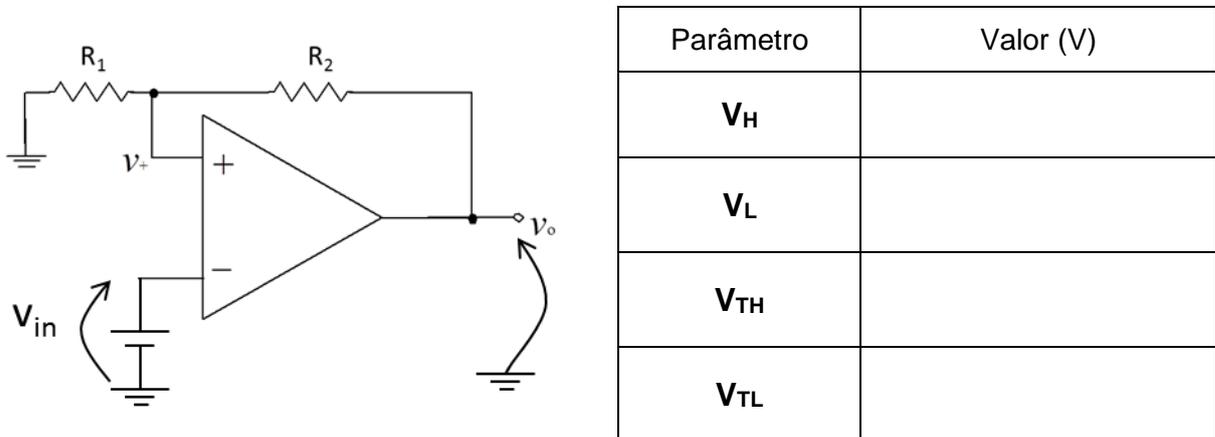
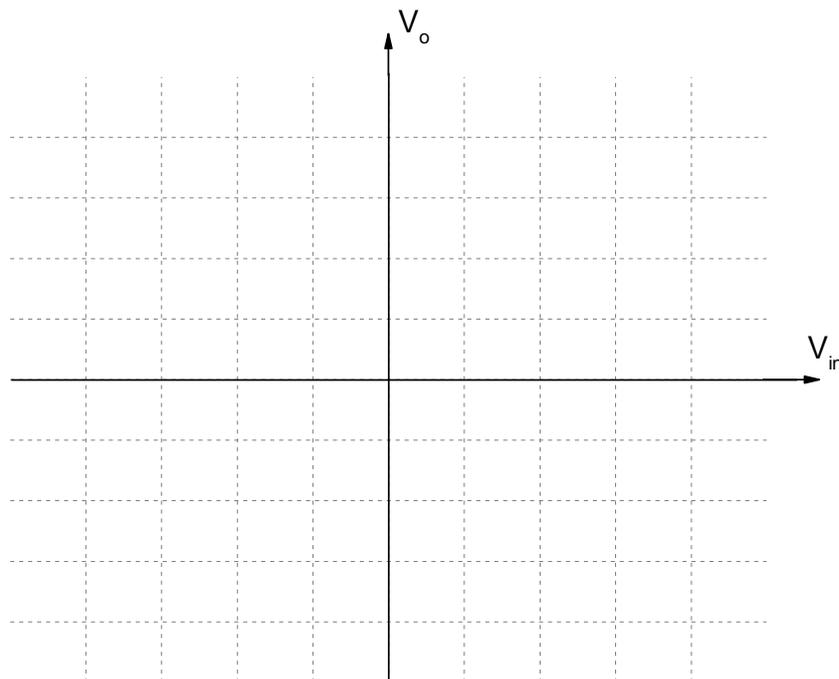


Figura 3. Circuito comparador com AmpOp.



- b) Mantendo a mesma montagem experimental, altere apenas o sinal de entrada, v_{in} , para sinal senoidal de 200 Hz e 20 Vpp. Visualize 4 períodos dos sinais de entrada (v_{in}) e de saída (v_o) com o osciloscópio. **Imprima** os gráficos e identifique as tensões V_H e V_L nas curvas traçadas. Compare com os valores encontrados no item 1.a) e faça seus comentários na própria folha de impressão.
- c) Observe a curva de histerese no osciloscópio. Para isso, acione a tecla [Horiz] no painel do osciloscópio, e selecione a tecla softkey “Modo \rightarrow XY”. **Cuidado: não utilize o trigger externo nesta condição.** **Imprima** a curva obtida no osciloscópio, e identifique nela as grandezas V_{TH} , V_{TL} , V_H , V_L . Compare com a curva traçada no item 1.a). Faça seus comentários na própria folha de impressão.

3.2. Oscilador de onda quadrada

Acrescente ao circuito da Fig.3 os elementos R_F e C , como mostrado na Fig. 4. Nesta parte da experiência será utilizado o capacitor de $C = 100 \text{ nF}$ e a resistência $R_F = 56 \text{ k}\Omega$. Após a montagem, meça com o osciloscópio os valores da tensão pico a pico da saída ($V_{O_{PP}}$) e do capacitor ($V_{C_{PP}}$), assim como os valores médios ($V_{O_{avg}}$ e $V_{C_{avg}}$) das tensões de saída e do capacitor e a frequência do sinal de saída, f , respectivamente. **Atenção:** Coloque as pontas de prova em acoplamento CC. Complete a Tabela 5 com os resultados obtidos.

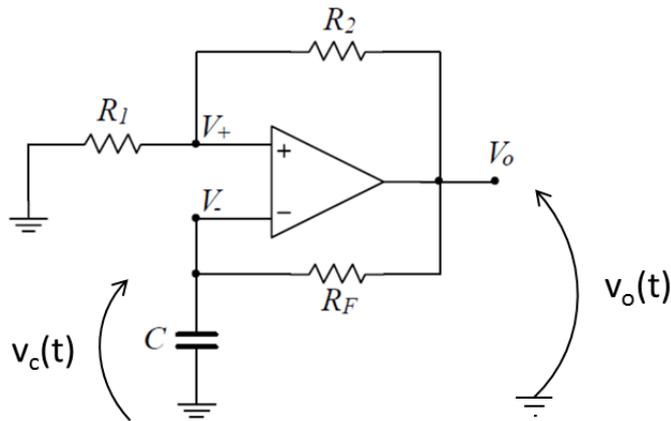


Fig.4. Gerador de onda quadrada ($R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$).

Tabela 5 –Dados experimentais do circuito oscilador.

R_F (valor exp.)	C (valor exp.)	$V_{C_{PP}}$	$V_{C_{avg}}$	$V_{O_{PP}}$	$V_{O_{avg}}$	f

- a) A partir dos valores obtidos de $V_{O_{PP}}$ e $V_{O_{avg}}$ (Tabela 5), identifique o tipo de sinal gerado (forma de onda, período, etc.) e discuta que componentes do circuito são responsáveis pelo comportamento observado em $v_o(t)$.

b) Mantendo-se os dois canais do osciloscópio na mesma escala, imprima os gráficos de tensão do oscilador ($v_o(t)$) e do capacitor ($v_c(t)$) para R_F e C utilizados. Siga o modelo sugerido da apostila “Introdução Teórica”, Fig. 12, para manter as duas formas de onda superpostas. Use o programa “**Captura_Osciloscópio.exe**” instalado na pasta *Vis_laboratório* (atalho na área de trabalho do seu computador). Indique no gráfico impresso a posição das grandezas: V_H , V_L , V_{TH} e V_{TL} do comparador (circuito da Figura 3), assim como $V_{C_{pp}}$ e o período da onda quadrada.

c) Meça o tempo de subida da onda quadrada (t_r), usando o mesmo método aplicado na Parte I do experimento, item 3.1.

$$t_r = \underline{\hspace{2cm}}$$

d) Compare os valores V_{TH} e V_{TL} do comparador (circuito da Fig.3) com os valores $V_{C_{pp}}$ no oscilador (circuito da Fig.4). Analisando a forma de onda obtida ($v_o(t)$) do circuito (Figura 4), explique o mecanismo de funcionamento do oscilador.

e) Calcule o valor esperado teoricamente da frequência da onda quadrada do oscilador e compare com o valor experimental. Apresente o erro relativo.

f (teórico)	f (experimental)

f) Compare e discuta os valores experimentais de frequência, tempo de subida e valores V_{opp} e $V_{C_{pp}}$ em relação aos valores obtidos na simulação que efetuaram como tarefa de casa.