

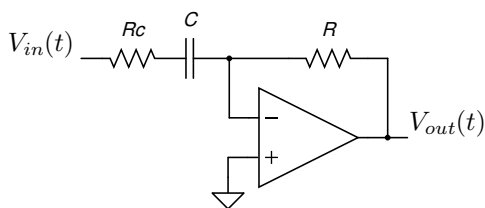
## 119148 – Prática de Circuitos Eletrônicos 1

### Experimento 10: Integrador e Diferenciador com Amplificador Operacional

#### 1) Objetivos

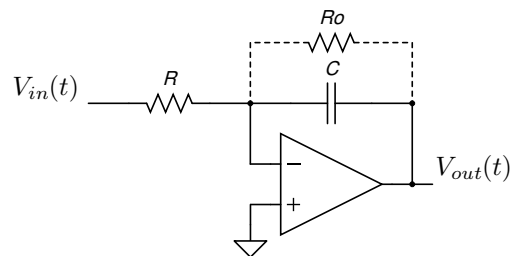
Neste experimento, serão construídos e caracterizados, com diferentes formas de onda na entrada, circuitos diferenciadores e integradores utilizando amplificadores operacionais. Além disso, serão verificadas as frequências máxima e mínima de operação para cada circuito.

#### 2) Estudo pré-laboratorial



$$V_{out}(t) = -RC \frac{dV_{in}(t)}{dt}$$

Figura 2.1 – Circuito amplificador-diferenciador



$$V_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(\tau) d\tau + k$$

Figura 2.2 – Circuito amplificador-integrador

#### 2.1) Cálculos teóricos

- Esboce as seguintes formas de onda: senoidal, quadrada e triangular. Esboce a derivada e a integral de cada uma delas.
- Considere o circuito da Fig. 2.1. Utilizando Laplace, obtenha a expressão de  $V_{out}(t)$  em função de  $V_{in}(t)$  e assumindo  $R_c = 0$ . Qual problema observamos se o sinal de entrada for de alta frequência?
- Obtenha a expressão para  $V_{out}(t)$  no circuito da Fig. 2.1, em função de  $V_{in}(t)$  e assumindo  $R_c \neq 0$ . Qual a função de  $R_c$ ?
- Obtenha a expressão para  $V_{out}(t)$  no circuito da Fig. 2.2, em função de  $V_{in}(t)$  e assumindo  $R_0 \rightarrow \infty$ . O que acontece com a realimentação na entrada inversora se o sinal de entrada for de baixa frequência? Qual a importância da realimentação no AmpOp ideal? (Pesquise sobre tensões DC de offset na saída de AmpOp reais).
- Obtenha a expressão para  $V_{out}(t)$  no circuito da Fig. 2.2, em função de  $V_{in}(t)$  e assumindo  $R_0$  finito. Qual a função de  $R_0$ ? Para as expressões de  $V_{out}(t)$  do circuito integrador (a apresentada na Fig. 2.2 e a obtida no item 2.1d), discuta o significado físico de  $k$ . Para o mesmo circuito, discuta o comportamento esperado antes e após a inserção do resistor  $R_0$ .

#### 2.2) Simulação

- Simule o circuito da Fig. 2.1 para  $R_c = 0$  e para  $R_c = 100 \Omega$ . Utilize  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $C = 1 \mu\text{F}$ . Verifique a saída  $V_{out}(t)$  para  $V_{in}(t)$  ajustado em  $2 V_{pp}$  e 100 Hz nos seguintes formatos: senoidal, quadrada e triangular.
- Simule o circuito da Fig. 2.1 para  $R_0 \rightarrow \infty$  e para  $R_0 = 100 \Omega$ . Utilize  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $C = 1 \mu\text{F}$ . Verifique a saída  $V_{out}(t)$  para  $V_{in}(t)$  ajustado em  $2 V_{pp}$  e 1 kHz nos seguintes formatos: senoidal, quadrada e triangular.
- Proponha um circuito com amplificadores operacionais ideais, utilizando integradores, diferenciadores e somadores que simule na forma de um computador analógico a seguinte equação diferencial:

$$y = 5x' + 2x + 1,$$

onde  $x(t)$  é a entrada e  $y(t)$  é a saída, medidas em volts. Relacione os valores dos componentes (resistores, capacitores) em função das características do sistema proposto. Teste o seu projeto no simulador, verificando a saída do circuito para uma entrada do tipo onda quadrada com  $2 V_{pp}$  e  $f = 1 \text{ kHz}$ .

#### 3) Experimento

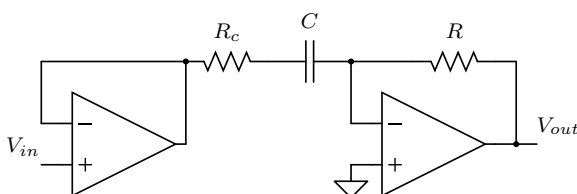


Figura 3.1 – Circuito diferenciador modificado para montagem

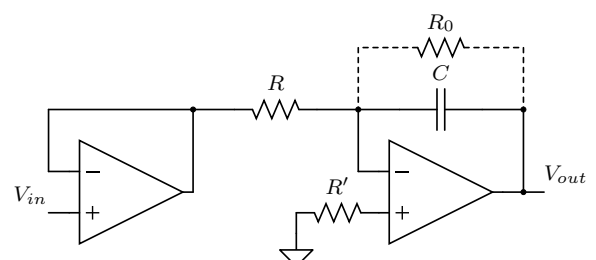


Figura 3.2 – Circuito integrador modificado para montagem

### 3.1) Diferenciador com Amplificador Operacional

Monte o circuito da Fig. 3.1 com  $V_{in}(t)$  representando o gerador de funções. Utilize  $R = 1\text{ k}\Omega$ ,  $C = 1\text{ }\mu\text{F}$  e  $R_c = 100\text{ }\Omega$ . O resistor de compensação evita oscilações e a amplificação de ruído em altas-frequências. Observe e documente as formas de onda na saída  $V_{out}(t)$  para as entradas de  $V_{in}(t)$  da Tabela 3.1. Verifique em que faixa de frequências e amplitudes o circuito se comporta como um bom diferenciador. Para isso, comece com um valor baixo e aumente **gradativamente** a frequência do sinal de entrada, observando atentamente o que acontece com o sinal de saída. Qual a frequência máxima e mínima de operação? E quais fatores limitam na prática a amplitude máxima do sinal de entrada?

### 3.2) Integrador com Amplificador Operacional

Monte o circuito da Fig. 3.2, com  $V_{in}(t)$  representando o gerador de funções. Utilize  $R = R' = 1\text{ k}\Omega$  e  $C = 1\text{ }\mu\text{F}$  e **não** coloque  $R_0$ . Observe as formas de onda na saída  $V_{out}(t)$  para as entradas de  $V_{in}(t)$  da Tabela 3.2. Há algum problema no comportamento do circuito integrador?

Modifique o circuito, adicionando um resistor  $R_0 = 100\text{ }\Omega$  em paralelo com o capacitor. Por que esta modificação é necessária? Verifique em que faixa de frequências e amplitudes o circuito se comporta como um bom integrador. Para isso, comece com um valor baixo e aumente **gradativamente** a frequência do sinal de entrada, observando atentamente o que acontece com o sinal de saída. Qual a frequência máxima e mínima de operação? E quais fatores limitam na prática a amplitude máxima do sinal de entrada?

## 4) Relatório

### 4.1 – Operação real dos circuitos

Em seu relatório, após realizar a análise dos dados experimentais, responda:

Quais fatores limitam na prática a **faixa de frequências de operação** dos circuitos das Figuras 3.1 e 3.2?

Quais fatores limitam na prática a **amplitude máxima do sinal de entrada** nos circuitos das Figuras 3.1 e 3.2?

Qual a necessidade de inserção do resistor  $R_0$  no circuito integrador e qual o resultado após ter sido inserido?

### 4.2 – Questões abordadas no procedimento experimental

Discuta em seu relatório todas questões abordadas nos itens 3.1 e 3.2 do procedimento experimental. Inclua comparações com a previsão do que seria esperado em circuitos ideais.



## 119148 – Prática de Circuitos Eletrônicos 1 – Folha de Dados

Turma: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Aluno: \_\_\_\_\_

Matrícula: \_\_\_\_\_

### Experimento 10: Integrador e Diferenciador com Amplificador Operacional

#### 3.1 - Circuito diferenciador com amplificador operacional

*Anote:*

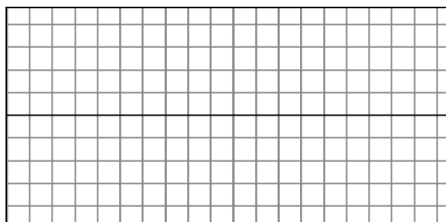
$R =$  \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_  $[\Omega]$      $RC =$  \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_  $[\Omega]$

**Tabela 3.1** – Resumo das formas de onda do diferenciador

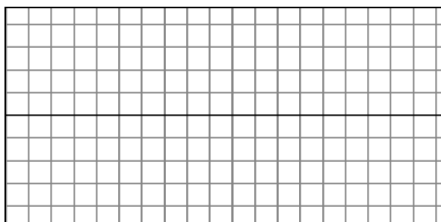
| $V_{in}(t)$ | $V_{out}(t)$ | $f_{mín}$ | $f_{máx}$ |
|-------------|--------------|-----------|-----------|
| Senoidal    |              |           |           |
| Triangular  |              |           |           |
| Quadrada    |              |           |           |

Procedimento 3.1 a): Diferenciador com onda Senoidal

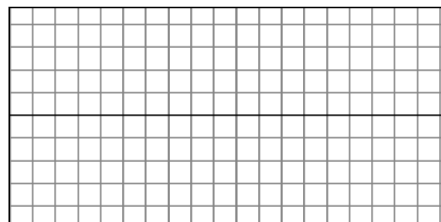
100 Hz



1,5 kHz

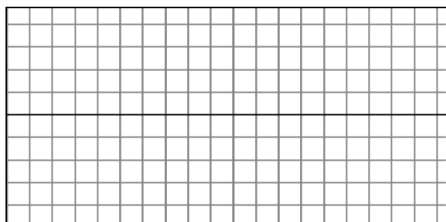


10 kHz

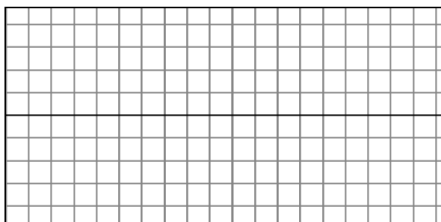


Procedimento 3.1 b): Diferenciador com onda Quadrada

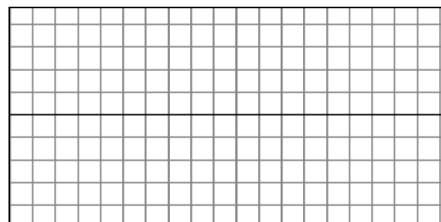
100 Hz



1,5 kHz

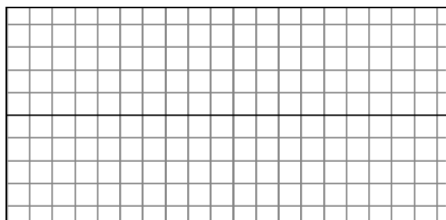


10 kHz

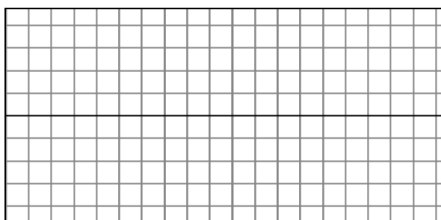


Procedimento 3.1 c): Diferenciador com onda Triangular

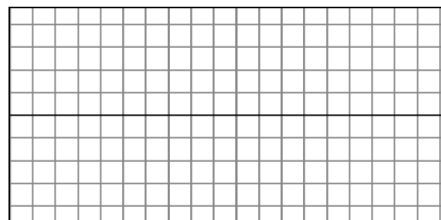
100 Hz



1,5 kHz



10 kHz



### 3.2 – Circuito integrador com amplificador operacional

**Anotar:**

$$R = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$$

$$R' = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$$

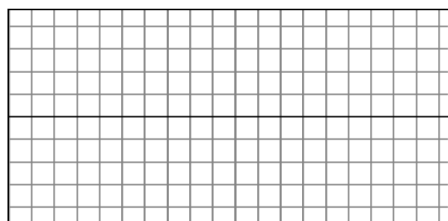
$$R_o = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$$

**Tabela 3.2** – Resumo das formas de onda do integrador

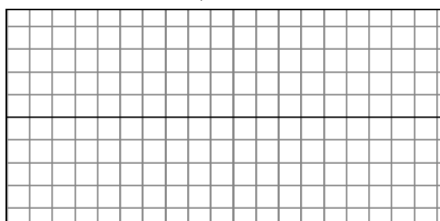
| $V_{in}(t)$ | $V_{out}(t)$ | $f_{mín}$ | $f_{máx}$ |
|-------------|--------------|-----------|-----------|
| Senoidal    |              |           |           |
| Triangular  |              |           |           |
| Quadrada    |              |           |           |

Procedimento 3.2 a): Integrador com onda Senoidal

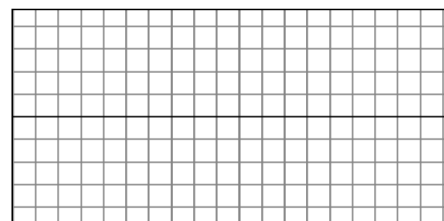
100 Hz



1,5 kHz

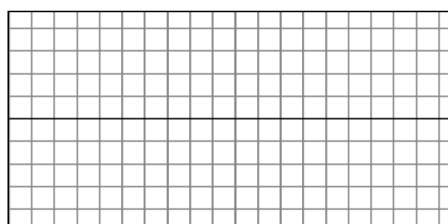


10 kHz

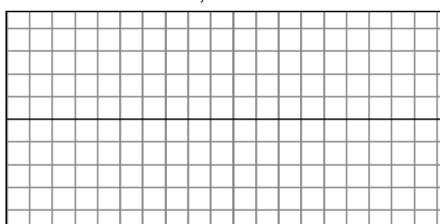


Procedimento 3.2 a): Integrador com onda Quadrada

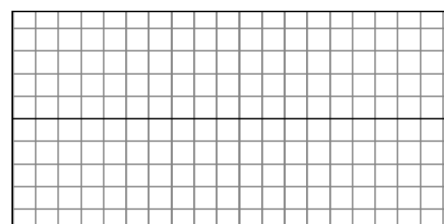
100 Hz



1,5 kHz

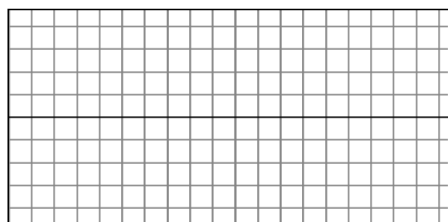


10 kHz

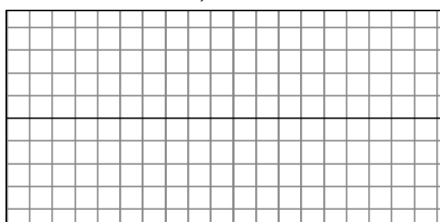


Procedimento 3.2 a): Integrador com onda Triangular

100 Hz



1,5 kHz



10 kHz

