

# Trabalho 3B / 4A - Amplificadores operacionais

Salomé Gomes, Grupo 3, PL2

13/3/2023

## Parte A

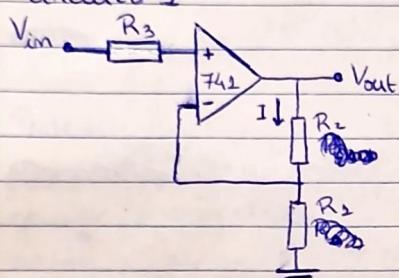
### Objetivos

- Estudar a variação do ganho de um amplificador operacional na configuração inversora e não inversora de acordo com a frequência do sinal de entrada.
- Estudar a distorção do sinal de saída de acordo com a amplitude do sinal de entrada.

### Teoria

#### Configuração não inversora

##### Circuito 1



$$V_{out} = A V_{in}$$

$$I = \frac{V_{out}}{R_2 + R_3} \rightarrow V_{in} = \frac{R_{2+}}{R_2 + R_3} V_{out}$$

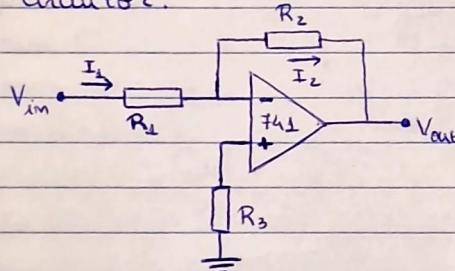
$$A = \frac{R_2 + R_3}{R_{2+}} = 1 + \frac{R_2}{R_{2+}}$$

$$R_3 = \frac{R_2 R_{2+}}{R_2 + R_{2+}}$$

•

#### Configuração inversora

##### Circuito 2:

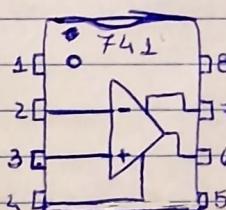


$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$I_2 = -\frac{V_{out}}{R_2}$$

$$I_1 = I_2 \rightarrow V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$



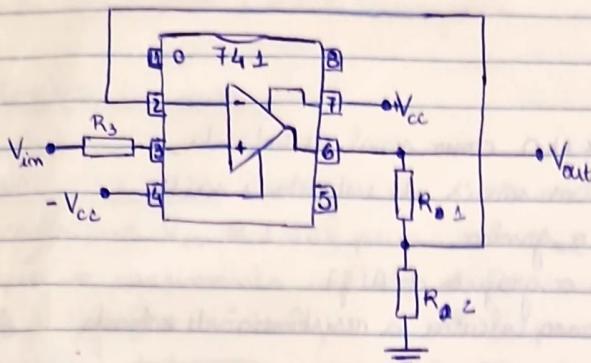
## Procedimento



### Parte A1 - Configuração não inversora



- 1) Montar o circuito ~~1~~, de modo a obter um ganho de 11, conforme mostrado abaixo



$$A = 11 \Leftrightarrow R_2 = 10 R_1$$

$$R_1, R_2 \geq 1k\Omega$$

$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 10k\Omega$$

$$R_3 = 909, (09)\Omega$$

- ✓ 2) Utilizar um sinal sinusoidal de frequência  $f = 1\text{ kHz}$  como sinal de entrada
- ✓ 3) Utilizar os dois canais do osciloscópio para observar os sinais de entrada e de saída
- ✓ 4) Medir  $V_{in}$  e  $V_{out}$  para calcular o ganho
- ✓ 5) Variar  $f$  e repetir 4) traçando o gráfico de  $A(f)$
- ✓ 6) Para valores elevados de  $f$ , variar a amplitude do sinal de entrada e verificar a distorção do sinal de saída

~~Repetir os passos anteriores para um ganho de 101~~

~~$A = 101 \Leftrightarrow R_2 = 100 R_1$~~

~~$R_1 = 1k\Omega \rightarrow R_2 = 100k\Omega$~~

~~$R_3 = 990, (09)\Omega$~~

- 7) Medir  $I_{med}$  para  $V_{in}$  contínua, para calcular a resistência de entrada

~~Repetir os passos anteriores para um ganho de 101~~

~~$A = 101 \Leftrightarrow R_2 = 100 R_1$~~

~~$R_1 = 1k\Omega \rightarrow R_2 = 100k\Omega$~~

~~$R_3 = 990, (09)\Omega$~~

- 8) Repetir os passos anteriores para um ganho de 101

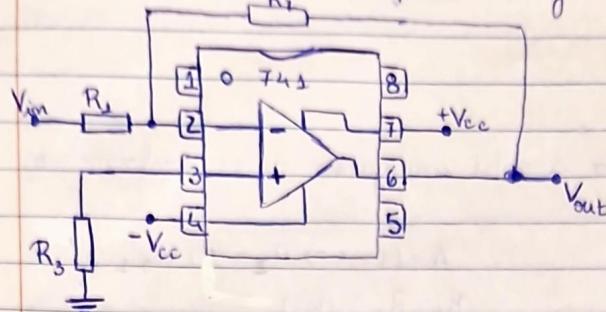
$$A = 101 \Leftrightarrow R_2 = 100 R_1$$

$$R_1 = 10k\Omega \rightarrow R_2 = 1M\Omega$$



## Parte A2 - Configuração inversora

- ✓ 9) Montar o circuito 2, para um ganho de -10



$$A = -10 \Leftrightarrow R_2 = 10R_1$$

$$R_1 = 1\text{k}\Omega, R_2 = 10\text{k}\Omega$$

- ✓ 10) Utilizar sinal sinusoidal com  $f \approx 1\text{kHz}$  como sinal de entrada
- ✓ 11) Utilizar o osciloscópio para ver os sinais de entrada e saída
- ✓ 12) Medir  $V_{in}$  e  $V_{out}$  para calcular o ganho
- ✓ 13) Variar  $f$  e repetir 12, traçando o gráfico de  $A(f)$
- ✓ 14) Média  $I_{med}$  para  $V_{in}$  contínua, para calcular a resistência de entrada

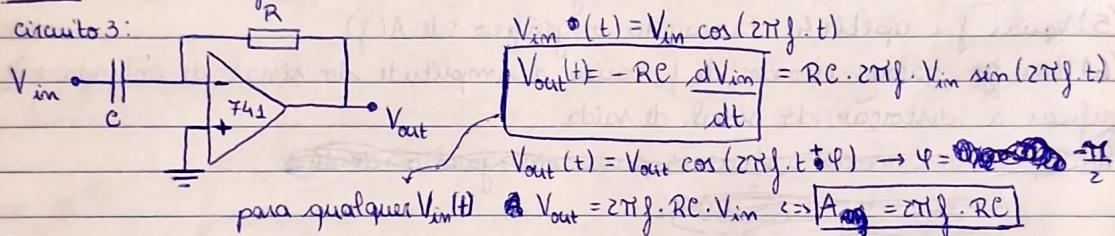
## Parte B - Circuito diferenciador

### Objetivos

• Observar os efeitos dos circuitos diferenciadores em sinais de diferentes formas

### Teoria - circuito diferenciador

Circuito 3:



$$V_{in}(t) = V_{in} \cos(2\pi f t)$$

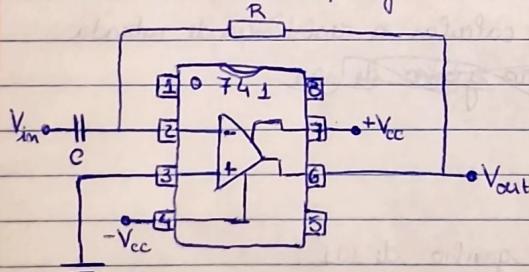
$$V_{out}(t) = RC \cdot 2\pi f \cdot V_{in} \sin(2\pi f t)$$

$$V_{out}(t) = V_{out} \cos(2\pi f t + \varphi) \rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

para qualquer  $V_{in}(t)$   $\Rightarrow V_{out} = 2\pi f \cdot RC \cdot V_{in} \Leftrightarrow [A_{out} = 2\pi f \cdot RC]$

### Procedimento

- ✓ 1) Montar o circuito 3, conforme vemos abaixo, com  $R = 1\text{k}\Omega$  e  $C = 100\text{nF}$



- ✓2) Usar um sinal de entrada senoidal com  $f = 10\text{ Hz}$   
 ✓3) Observar os sinais de entrada e saída no osciloscópio  
 ✓4) Variar  $f$  na gama  $[0, 100\text{ kHz}]$ , e medir  $V_{out}$  e  $V_{in}$   
 ✓5) Representar graficamente  $\frac{V_{out}}{V_{in}}$  em função de  $f$ .  
 ✓6) Observar no osciloscópio  $V_{in}$  e  $V_{out}$  e interpretá-los para uma onda quadrada e outra triangular

b7

14/3/2023

### Registo em aula

#### Parte A

NÃO ESQUECER: carregar em "Channel" no gerador de sinais

Escolhemos  $V_{in} \approx 1,00\text{ V}$  para que  $V_{out} < 15\text{ V}$

Após o varredimento inicial, ao variarmos a frequência, vemos que o ganho só começa a variar para  $f > 10\text{ kHz}$ , pelo que vamos recolher ~~dados~~ apenas 3 ~~dados~~ dados para ~~as~~ frequências menores. Para  $f \approx 15\text{ kHz}$ , com a amplitude  $V_{in} = 1\text{ V}$ , ocorre distorção do sinal, pelo que o sinal de saída passa a ser uma onda triangular. Aumentando o valor de  $V_{in}$ , conseguimos voltar a obter um sinal senoidal.

#### Parte B

$$C = (95,82 \pm 0,01) \text{ nF}$$

As imagens visualizadas no osciloscópio foram guardadas numa pen para serem analisados mais tarde. Após recolha de dados para intervalos aproximadamente iguais de  $f$ , recolhemos mais alguns entre ~~entre~~ 11 kHz e 16 kHz (distorção da onda)

#### Parte C

### Resultados experimentais e discussão

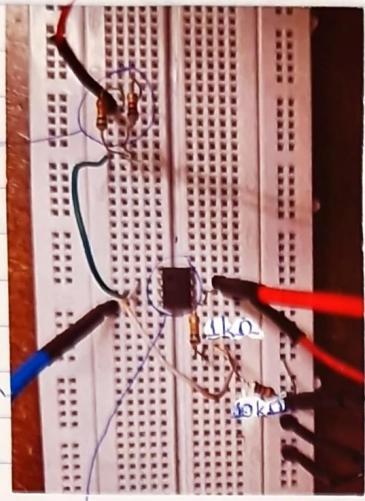
19/3/2023

#### Parte A1 - Configuração não inversora

Na figura 1 encontra-se o circuito montado para o ganho  $\approx 11$ , em que no lugar de  $R_3$  foram colocadas em paralelo duas resistências com os valores de  $R_1$  e  $R_2$ . Na figura 2 está a imagem obtida no osciloscópio.

No tabela 1 encontram-se os valores de  $f$ ,  $V_{in}$  e  $V_{out}$  medidos no osciloscópio, a partir dos quais foi calculado o ganho (A) e respetiva incerteza, a partir das equações:

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad u(A) = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{in}} u(V_{out})\right)^2 + \left(-\frac{V_{out}}{V_{in}^2} u(V_{in})\right)^2}$$



Fonte de tensão  
±15V com +15V

Gerador de sinal

Osciloscópio  
CH1 e CH2

Figura 1: Configuração não inversora

f / kHz	u(f) / kHz	V <sub>in</sub> / V	u(V <sub>in</sub> ) / V	V <sub>out</sub> / V	u(V <sub>out</sub> ) / V	A	u(A)
1.000	0.002	1.04	0.01	11.1	0.1	10.7	0.1
5.00	0.01	1.05	0.01	11.4	0.1	10.9	0.1
10.00	0.02	1.05	0.01	11.3	0.1	10.8	0.1
12.00	0.05	1.04	0.01	10.4	0.2	10.0	0.2
14.00	0.01	1.02	0.01	9.3	0.1	9.1	0.1
15.00	0.01	1.02	0.01	8.8	0.2	8.6	0.2
16.00	0.01	1.02	0.01	8.3	0.1	8.1	0.1
18.00	0.01	1.02	0.01	7.4	0.1	7.3	0.1
20.00	0.01	1.02	0.01	6.7	0.2	6.6	0.2
23.00	0.01	1.02	0.01	5.8	0.2	5.7	0.2
26.00	0.01	1.02	0.01	5.2	0.1	5.1	0.1
29.00	0.01	1.01	0.01	4.60	0.04	4.55	0.06
32.00	0.01	1.02	0.01	4.16	0.04	4.08	0.06
35.00	0.01	1.02	0.01	3.80	0.04	3.73	0.05
38.00	0.01	1.02	0.01	3.52	0.04	3.45	0.05
40.00	0.01	1.02	0.01	3.32	0.04	3.25	0.05
45.00	0.05	1.02	0.01	2.96	0.04	2.90	0.05
50.0	0.1	1.01	0.01	2.64	0.04	2.61	0.05
55.00	0.05	1.01	0.01	2.42	0.02	2.40	0.03
70.0	0.1	1.02	0.01	1.88	0.02	1.84	0.03
60.00	0.05	1.01	0.01	2.20	0.04	2.18	0.05
80.0	0.2	1.02	0.01	1.64	0.02	1.61	0.03
90.0	0.1	1.02	0.01	1.48	0.02	1.45	0.02
100.0	0.1	1.02	0.01	1.32	0.02	1.29	0.02
110.0	0.1	1.02	0.01	1.20	0.02	1.18	0.02

Tabela 1: Dados obtidos com a configuração não inversora

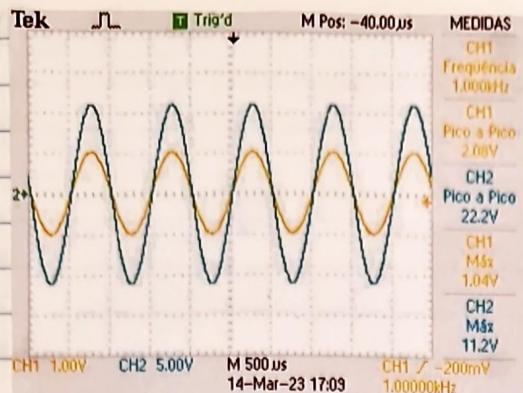


Figura 2: A amarelo o sinal de entrada no circuito da figura 1 e a azul de saída, para  $f = 1\text{ kHz}$

A partir dos valores da tabela 1, foi construído o gráfico 1, de  $A(f)$ , no qual as barrações de incerteza ~~até~~ não são visíveis.

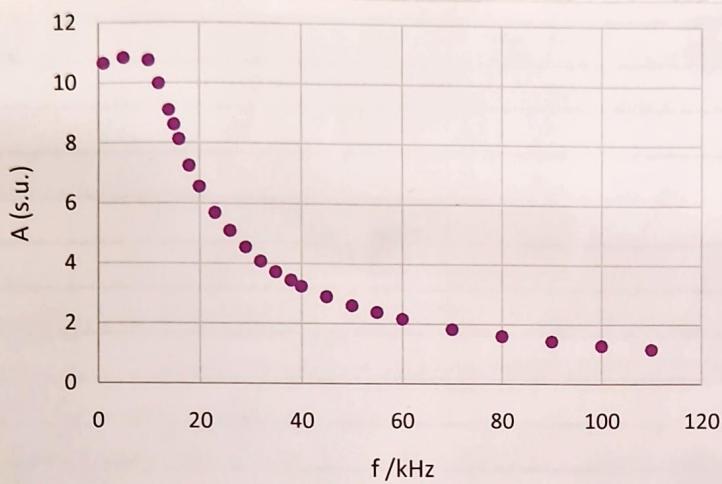


Gráfico 1: Valores de  $A(f)$  para a configuração não inversora

Podemos ver que para os primeiros valores registrados, o ganho é próximo do período (1), começando depois a descer, cada vez mais lentamente. Esta descida do ganho com o aumento da frequência deve-se à ~~resposta~~ resposta inadequada, para frequências altas, das componentes internas do amplificador.

A partir de frequências de  $\sim 15\text{ kHz}$ , o sinal de saída ~~começa~~ a sofrer maior distorção, passando de uma onda sinusoidal a uma triangular, para  $V_m \sim 1\text{ V}$  (figura 3-a). No entanto, se diminuirmos a amplitude do sinal de entrada  $\rightarrow$

para, por exemplo, metade, voltarmos a obter um sinal senoidal (figura 3b))

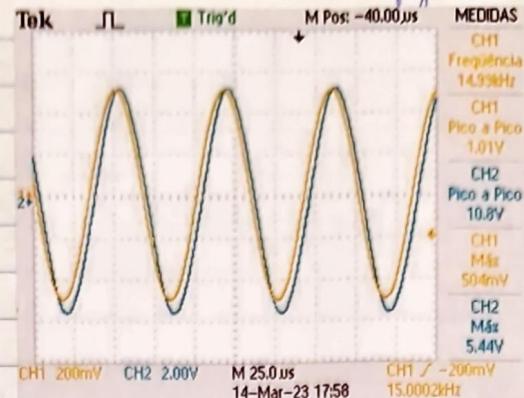
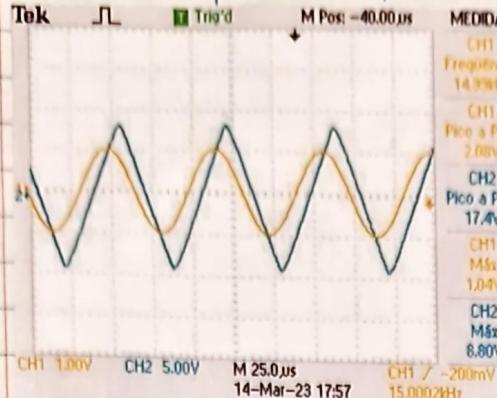


Figura 3a: Imagem obtida no osciloscópio para  $V_{in} \approx 1V$  e  $f \approx 15\text{kHz}$

Figura 3b: Imagem obtida no osciloscópio para  $V_{in} \approx 0,5V$  e  $f \approx 15\text{kHz}$

Figura 3: A amarelo temos o sinal de entrada e a azul o sinal de saída

### Pontos de vista

Com base nestas observações, percebemos que, para a mesma frequência, o sinal de saída apresenta menor distorção para amplitudes mais baixas do sinal de entrada. É por este motivo que, ao ouvirmos música, tem maior fidelidade para o volume de entrada mais baixo — sofre menor distorção no amplificador.

~~Usando para  $V_{in}$  uma fonte contínua com  $V_{in} = (0,4 \pm 0,1)V$ , obtivemos  $I_{med} = (1,2 \pm 0,1) \times 10^{-6}\text{A}$ . A partir destes valores, podemos determinar a resistência de entrada:~~

Podemos ver também que há uma diferença de fase entre os dois sinais, já que o sinal de saída sofre um atraso por passar pelo circuito

Usando para  $V_{in}$  uma fonte de tensão contínua, com  $V_{in} = (0,4 \pm 0,1)V$ , obtivemos  $I_{med} = (1,2 \pm 0,1) \times 10^{-6}\text{A}$ . A partir destes valores, podemos determinar a resistência de entrada:

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{med}} \quad u(R) = \sqrt{\left(\frac{1}{I_{med}} u(V_{in})\right)^2 + \left(-\frac{V_{in} u(I_{med})}{I_{med}^2}\right)^2}$$

Obtivemos, assim,  $R_{in} = (3,3 \pm 0,9) \times 10^5 \Omega$  que é um valor elevado, tal como esperado.

## Parte A2 - Configuração inversora

Na figura 4 vemos o circuito montado ~~para~~ com a configuração ~~na~~ inversora para um ganho  $-10$ , ~~para~~ com o qual foi obtido, no osciloscópio, a imagem da figura 5.

Na tabela 2 temos os valores de  $f$ ,  $V_{in}$  e  $V_{out}$  medidas no osciloscópio, bem como o ~~modulo do~~ ~~ganho~~, ~~com~~ e respectiva incerteza, calculados com as expressões já referidas.

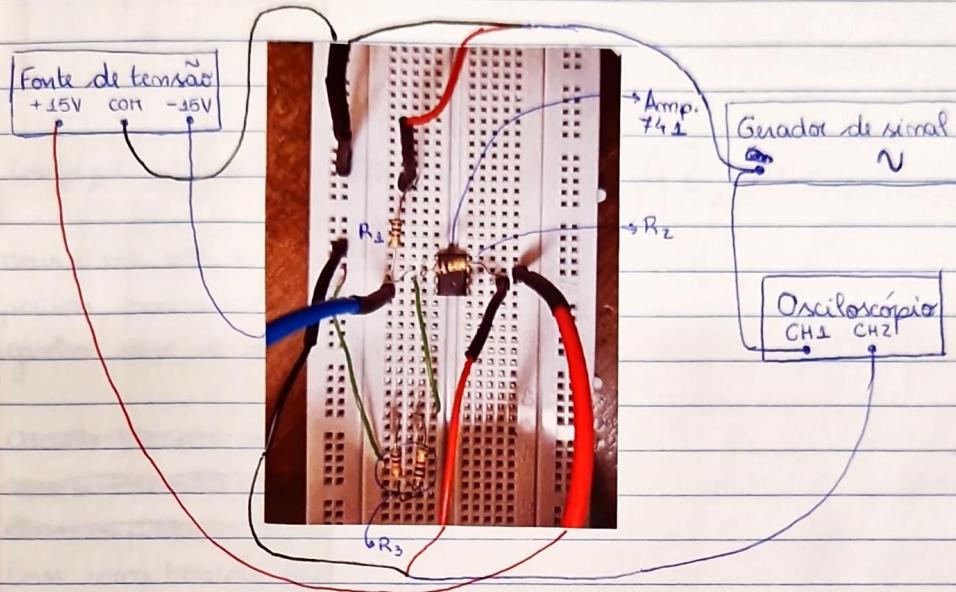


Figura 4: Configuração inversora

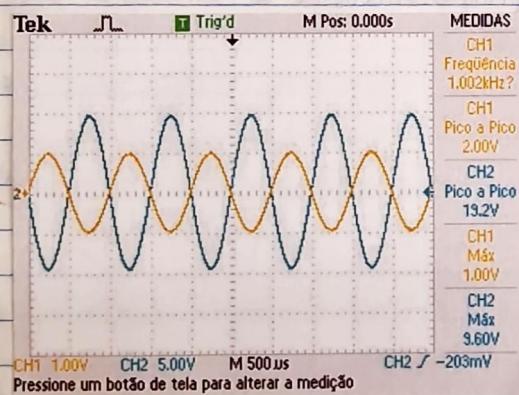


Figura 5: A amarelo o sinal de entrada e a azul o de saída no circuito da figura 4, com  $f \approx 1\text{kHz}$

Como esperado, quando um dos sinais está positivo, o ~~outro~~ outro está negativo, já que  $V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$

$f / \text{kHz}$	$u(f) / \text{kHz}$	$V_{in} / \text{V}$	$u(V_{in}) / \text{V}$	$V_{out} / \text{V}$	$u(V_{out}) / \text{V}$	$ A $	$u( A )$
1.000	0.004	1.00	0.02	9.7	0.1	9.7	0.2
5.00	0.02	1.02	0.02	10.0	0.1	9.8	0.2
10.00	0.05	1.04	0.02	10.0	0.1	9.6	0.2
12.00	0.02	1.04	0.02	9.8	0.1	9.4	0.2
14.00	0.03	1.04	0.02	9.1	0.1	8.8	0.2
16.0	0.1	1.04	0.02	8.3	0.1	8.0	0.2
18.0	0.1	1.01	0.01	7.32	0.04	7.25	0.08
20.0	0.1	1.01	0.01	6.64	0.04	6.57	0.08
23.0	0.1	1.03	0.01	5.84	0.04	5.67	0.07
26.0	0.1	1.02	0.01	5.20	0.04	5.10	0.06
29.0	0.1	1.02	0.01	4.68	0.04	4.59	0.06
32.0	0.1	1.03	0.01	4.28	0.04	4.16	0.06
35.0	0.2	1.04	0.01	3.96	0.04	3.81	0.05
40.0	0.1	1.03	0.01	3.44	0.04	3.34	0.05
45.0	0.1	1.03	0.01	3.08	0.04	2.99	0.05
50.0	0.2	1.03	0.01	2.80	0.04	2.72	0.05
55.0	0.2	1.03	0.01	2.57	0.04	2.50	0.05
70.0	0.3	1.04	0.01	2.08	0.04	2.00	0.04
60.0	0.2	1.03	0.01	2.36	0.04	2.29	0.04
80.0	0.3	1.04	0.01	1.84	0.04	1.77	0.04
90.0	0.4	1.03	0.01	1.58	0.02	1.53	0.02
100.0	0.5	1.04	0.01	1.42	0.02	1.37	0.02
110.0	0.6	1.04	0.01	1.32	0.02	1.27	0.02

Tabela 2: Dados obtidos com a configuração inversora

No gráfico ~~z~~ está ~~o~~ representado ~~módulo de~~  $|A(j)|$ , mas, qual, mais uma vez, as barras de incerteza não são visíveis.

Notemos que os valores de ~~A~~ medidos experimentalmente, são negativos, já que os dois sinais se encontram em oposição de fase.

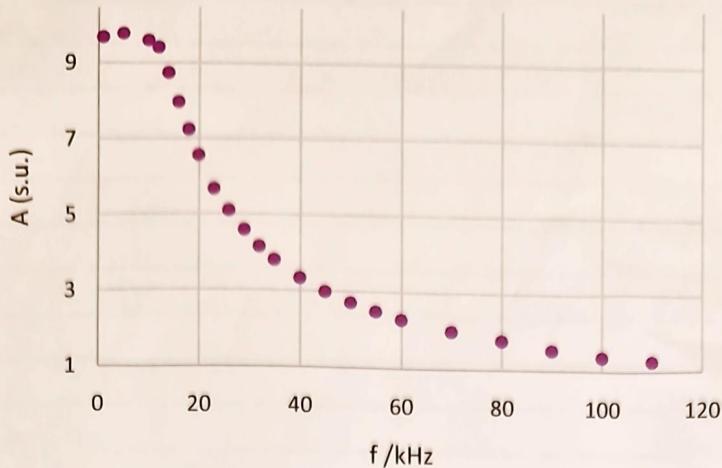


Gráfico 2: Valores experimentais de  $|A(f)|$  para a configuração inversora

Mais uma vez, os ~~primeiros~~ primeiros valores apresentados estão próximos do ~~início~~ período, começando depois a cair, cada vez mais lentamente. Esta queda do ganho deve-se ~~a~~ ao motivo já referido anteriormente.

~~Ocorre quando temos uma tensão contínua  $V_{in}$  de 1,6 V, medimos  $I_{med} = (1,44 \pm 0,01) \times 10^{-3} A$  usando um amperímetro em série com ~~R~~  $R_1$ . Obtemos uma resistência de entrada  $R_{in} = (1,11 \pm 0,07) \times 10^3 \Omega$ . Este valor deveria ser igual a  $R_1$ , já que  $I_{med}$  é a corrente que atravessa esta resistência e  $V_{in}$  a diferença de potencial entre os seus terminais, pelo que podemos calcular o erro percentual desta medição:~~

Com uma tensão contínua  $V_{in} = (1,6 \pm 0,1) V$ , medimos  $I_{med} = (1,44 \pm 0,01) \times 10^{-3} A$  usando um amperímetro em série com ~~R~~  $R_1$ . Obtemos uma resistência de entrada  $R_{in} = (1,11 \pm 0,07) \times 10^3 \Omega$ . Este valor deveria ser igual a  $R_1$ , já que  $I_{med}$  é a corrente que atravessa esta resistência e  $V_{in}$  a diferença de potencial entre os seus terminais, pelo que podemos calcular o erro percentual desta medição:

$$\text{Er.} \% = \frac{|R_{in} - R_1|}{R_1} \times 100 = 11\%$$

$R_1$

"Buffer" Circuito de realimentação negativa com configuração não-inversora com ganho unitário. Tem uma impedância de entrada muito alta e de saída muito baixa, sendo usado para juntar circuitos que necessitam de elevadas impedâncias a outros de pequena impedância, aos quais consegue fornecer corrente (dentro das suas limitações).

## Parte B

Na figura 5, encontra-se o circuito diferenciador montado, com uma resistência  $R = 1k\Omega$  com tolerância de 5% e um condensador de capacidade  $C = (95,82 \pm 0,01) \text{ nF}$ . Na figura 6 está a imagem obtida no osciloscópio.

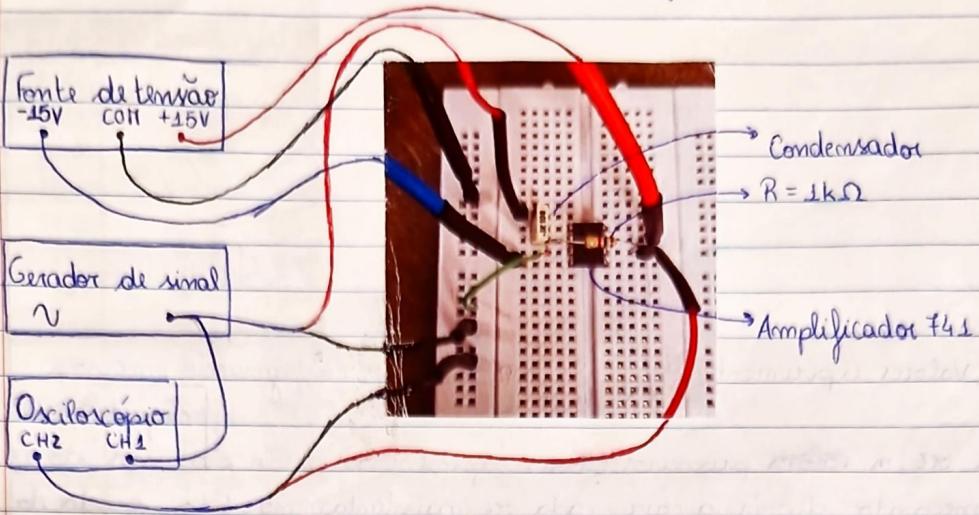


Figura 5: Circuito diferenciador

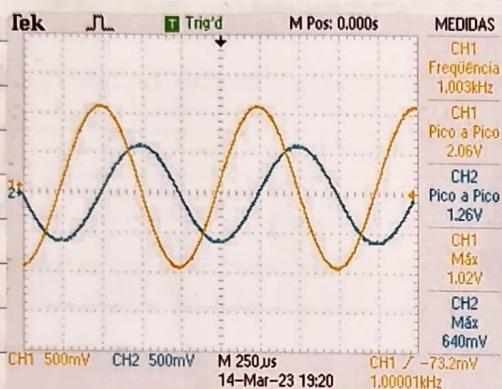


Figura 6: Imagem obtida para um sinal de entrada com  $f = 1\text{kHz}$ . A figura encontra-se o sinal de entrada e a saída de saída. Tal como esperado, os dois sinais têm uma diferença de fase de  $\pi/2$ .

Variando a frequência do sinal de entrada, foram registados os valores de  $V_{in}$  e  $V_{out}$ , calculando-se o ganho obtido e respetiva incerteza, com as fórmulas anteriores referidas (Parte A1). Calculou-se ainda um valor de referência para a amplitude do sinal de saída ( $V_{out,ref}$ ) e para o ganho ( $A_{ref}$ ) com as fórmulas indicadas em "Teoria".

$$V_{out,ref} = 2\pi f \cdot R \cdot C$$

$$A_{ref} = 2\pi f \cdot R \cdot C$$

Todos estes valores estão apresentados na tabela 3.

$f / \text{kHz}$	$u(f) / \text{kHz}$	$V_{in} / V$	$u(V_{in}) / V$	$V_{out} / V$	$u(V_{out}) / V$	$A$	$u(A)$	$V_{out ref} / V$	$A_{ref}$
1.000	0.001	1.03	0.01	0.65	0.01	0.63	0.01	0.62	0.60
5.00	0.02	1.06	0.02	3.16	0.04	2.98	0.07	3.19	3.01
3.00	0.01	1.04	0.01	1.92	0.04	1.85	0.04	1.88	1.81
8.00	0.02	1.01	0.01	5.00	0.04	4.95	0.06	4.86	4.82
10.00	0.02	0.99	0.01	6.60	0.04	6.67	0.08	5.96	6.02
12.00	0.02	0.93	0.01	9.40	0.04	10.1	0.1	6.72	7.22
15.0	0.1	0.83	0.01	9.1	0.1	11.0	0.2	7.5	9.03
18.0	0.1	0.88	0.01	7.6	0.1	8.6	0.2	9.5	10.84
20.00	0.02	0.91	0.01	6.9	0.1	7.6	0.1	11.0	12.04
23.0	0.1	0.93	0.01	6.0	0.1	6.5	0.1	12.9	13.85
26.00	0.05	0.95	0.01	5.4	0.1	5.7	0.1	14.9	15.65
30.0	0.1	0.96	0.01	4.7	0.1	4.9	0.1	17.3	18.06
33.0	0.2	0.97	0.01	4.04	0.04	4.16	0.06	19.27	19.87
35.0	0.2	0.96	0.01	3.86	0.04	4.02	0.06	20.23	21.07
40.0	0.2	0.98	0.01	3.32	0.04	3.39	0.05	23.60	24.08
45.0	0.2	0.98	0.01	3.00	0.04	3.06	0.05	26.55	27.09
50.0	0.1	0.98	0.01	2.72	0.04	2.78	0.05	29.50	30.10
55.0	0.1	0.98	0.01	2.44	0.04	2.49	0.05	32.45	33.11
60.0	0.2	0.99	0.01	2.28	0.04	2.30	0.05	35.76	36.12
70.0	0.1	0.99	0.01	1.96	0.04	1.98	0.05	41.72	42.14
80.0	0.3	0.99	0.01	1.76	0.04	1.78	0.04	47.68	48.16
90.0	0.3	1.00	0.01	1.56	0.04	1.56	0.04	54.18	54.18
100.0	0.4	1.00	0.01	1.44	0.04	1.44	0.04	60.21	60.21
11.50	0.05	0.96	0.01	8.30	0.04	8.65	0.10	6.65	6.92
11.00	0.04	0.96	0.01	7.60	0.04	7.92	0.09	6.36	6.62
13.00	0.04	0.75	0.01	10.5	0.1	14.0	0.2	5.87	7.83
14.00	0.04	0.78	0.01	9.8	0.1	12.6	0.2	6.6	8.43
16.00	0.04	0.85	0.01	8.60	0.04	10.1	0.1	8.19	9.63

Tabela 3 : Valores obtidos e valores de referência para o circuito diferenciador.

~~Para frequências~~ a partir de ~~11 kHz~~ entre ~~11 kHz~~ e ~~16 kHz~~, observou-se uma distorção da onda correspondente ao sinal de entrada, como podemos ver na figura 7. Também o sinal de saída sofre distorção, a partir de  $f = 11 \text{ kHz}$ , passando a ser uma onda aproximadamente triangular.

Observando o gráfico 3, em que estão representados os valores do ganho (tanto os experimentais como os de referência) em função de  $f$ , vemos que ~~até 10 Hz, os pontos se encontram praticamente~~ para frequências entre

$10 - 16$  kHz o ganho experimental é superior ao de referência. Para valores de  $f < 10$  kHz os pontos encontram-se praticamente sobrepostos, enquanto para  $f > 16$  kHz, temos ~~comportamento~~  $A < A_{ref}$ . Observando apenas os valores experimentais de  $A(f)$ , vemos que inicialmente há um aumento de  $A$ , até um pico em  $f_r = 13$  Hz, a partir do qual  $A$  diminui com o aumento de  $f$ . Isto deve-se, mais uma vez, às limitações dos componentes do amplificador, ~~causadas~~ que podemos deduzir termos uma frequência de ressonância próxima de 13 Hz, que origina então valores mais elevados de Vout. É também por isso que ocorre distorção no sinal de entrada - parte da descarga do condensador dá-se na direção do gerador de sinais, sobrepondo-se com o sinal gerado por este.

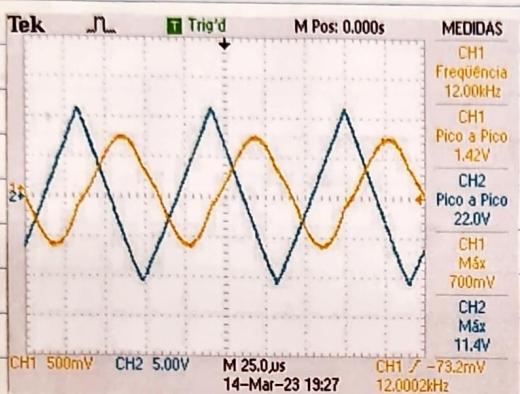


Figura 7: Sinal no osciloscópio para  $f_r = 13$  kHz. A amostra encontra-se o sinal de entrada e a saída.

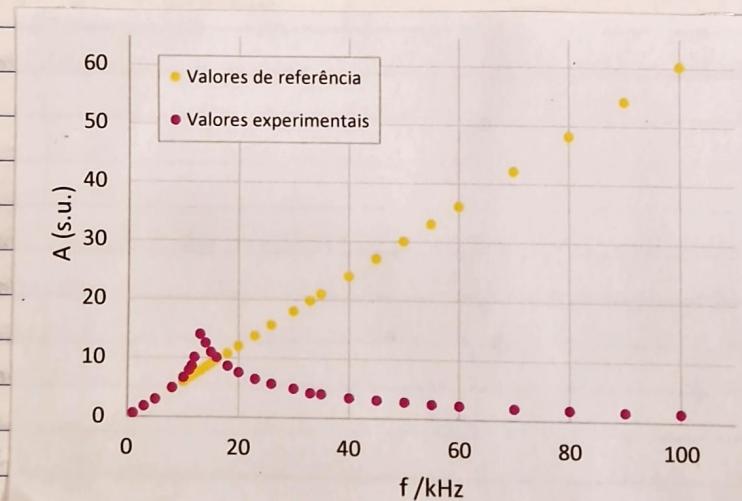


Gráfico 3: Dados experimentais e valores de referência de  $A(f)$  para o circuito diferenciador

~~Com base nestes dados e naqueles recolhidos na ponte A, em que o sinal~~

Com base nestes dados e naqueles recolhidos na ponte A, em que o sinal comeca a cair a partir de uma frequencia de 10-12 kHz, concluimos que o amplificador apresenta ~~o~~ o funcionamento esperado ate 10kHz.

~~Assim~~

A figura 8 ~~mostra~~ corresponde à imagem obtida no osciloscópio ao ser aplicada ao circuito uma onda quadrada. Em 8a. temos uma representação dos sinais sobrepostos, e em 8b não estão sobrepostos para uma melhor observação da sua forma.

A figura 9 corresponde ao caso em que é aplicada uma onda triangular. Mais uma vez temos uma imagem com os 2 sinais sobrepostos (9a) e outra com os sinais não sobrepostos (9b).

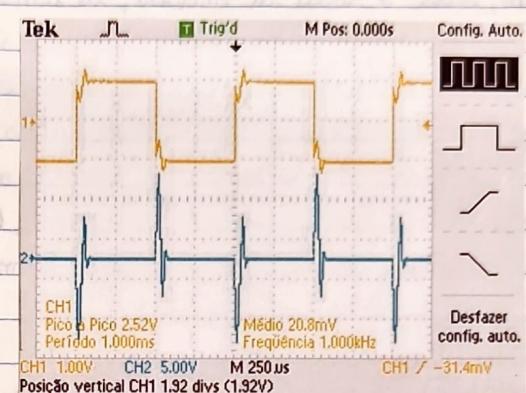
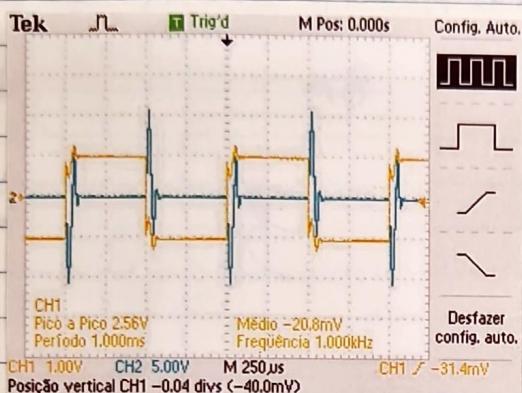


Figura 8a

Figura 8b

Aplicação de onda quadrada a um circuito diferenciador

~~Figura 8: Aplicação de onda quadrada a um circuito diferenciador~~

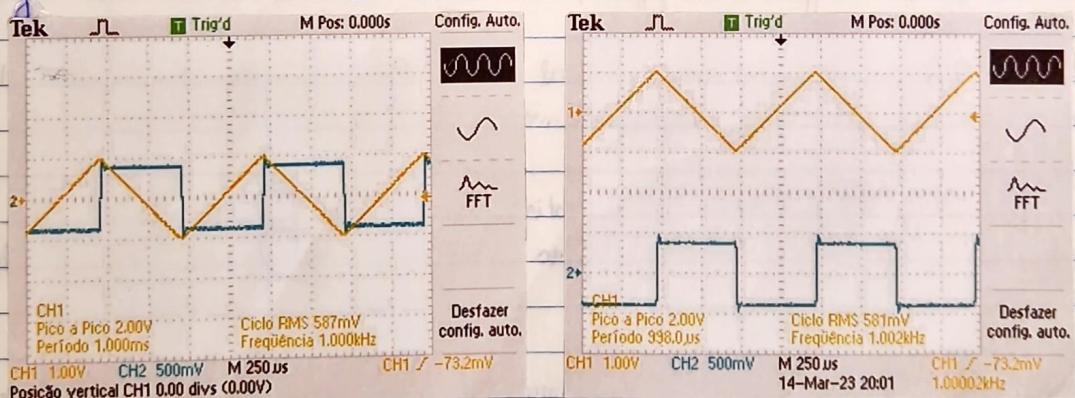


Figura 9a

Figura 9b

Aplicação de onda triangular a um circuito diferenciador

Uma onda quadrada tem zonas ~~de~~ constantes que, portanto têm declive nulo, pelo que o sinal de saída nestas zonas é 0V. ~~nestas zonas~~ ~~o sinal de saída~~  
Onde ocorre transição de um valor constante para outro, ~~esta altera~~ esta altera-  
ção do valor de tensão da onda quadrada é muito brusca (o declive tende  
para infinito), pelo que o sinal oscila antes de voltar a estabilizar no no-  
vo valor. Nestas oscilações temos também um declive elevado. Assim, o sinal de  
saída ~~apresenta~~ apresenta picos de valor elevado para estes pontos. ~~pontos de topo~~  
Note-se ainda que esses picos são negativos quando o declive do sinal de  
entrada é positivo e vice-versa, ~~já que a constante de proporcionali-~~  
~~dade entre o sinal de saída e a derivada (declive) do sinal de entrada~~  
e  $-RC$ , negativa.

Para a onda triangular, temos uma situação semelhante. Neste caso, a transi-  
ção, para o sinal de entrada, de um declive positivo para um negativo (~~e vice-versa~~) ~~origina~~, no sinal de saída, uma linha quase vertical,  
correspondente a uma subida ~~rapida~~ (ou descida) rápida da tensão ~~posta de~~ ~~uma pequena subida~~ de saída, seguida de uma pequena descida  
(ou subida), ~~após~~ a qual o sinal de saída estabiliza com um va-  
lor ~~aproximadamente~~ constantemente ( $\approx 400\text{ mV}$ ). Este valor é positivo quando o  
sinal de entrada tem declive negativo e vice-versa.

### Conclusões

- Devido às limitações dos componentes do ~~amplificador~~, a partir de uma frequência  $\approx 10\text{ kHz}$ , o módulo do ganho começa a diminuir, nos 2 circuitos de realimentação negativa (configuração inversora e não-inversora)
- Para uma menor amplitude do sinal de entrada, temos ~~uma~~ uma menor dis-  
tortion do sinal de saída (para uma mesma frequência)
- Para a configuração não-inversora, obtivemos uma resistência de entrada  
 $R_{in} = (3,3 \pm 0,9) \times 10^5 \Omega$ , que é se encontra dentro dos intervalos ~~esperados~~ de valo-  
res esperados para este amplificador
- Para a configuração inversora, obtivemos  $R_{in} = (1,11 \pm 0,07) \text{ k}\Omega$ . Este valor de  
vai ser igual a  $R_1$ , tendo assim um valor de 11:1.

Devido às limitações dos componentes do amplificador, temos, no circuito diferenciador com sinal de entrada sinusoidal, um ganho máximo para a frequência de ressonância ( $\approx 33\text{ kHz}$ ). Mais uma vez, o sinal de saída é oscilante até  $f \approx 50\text{ kHz}$ .

O sinal de saída de um circuito diferenciador é <sup>proporcional à</sup> ~~derivada~~ do sinal de entrada, obtendo - se assim:

- para um sinal de entrada sinusoidal, um sinal de saída sinusoidal com uma diferença de fase  $-\pi/2$
- para um sinal de entrada quadrado, um sinal de saída de 0V, exceto nos pontos de descontinuidade, em que tem valores elevados
- para um sinal de entrada triangular, um sinal de saída aproximadamente quadrado, com ~~apenas~~ uma ligeira variação nas discontinuidades

~~constante de proporcionalidade entre  $V_{in}(t)$  e  $V_{out}(t)$~~