



Instituto Politécnico do Cávado e do Ave  
Escola Superior de Tecnologia

**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

# Sistema de aquisição de um sinal mioelétrico para controlo de prótese

Telmo Fernandes 15868

# Resumo

Este projeto prático foca-se no desenvolvimento de um **sistema de aquisição de sinais mioelétricos** para controlar uma prótese robótica, utilizando amplificadores operacionais e análise de circuitos. Realizado no âmbito da disciplina de Eletrónica II do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, o projeto combina teoria e prática, com o objetivo de analisar o comportamento dos circuitos através de simulações e de experiências laboratoriais.

Temas gerais abordados:

## Amplificador de Instrumentação

- Estudo de um amplificador de instrumentação com o objetivo de amplificar sinais mioelétricos de baixa amplitude.
- Utilizou-se o **INA118**.
- Simulação no **Multisim** de forma a validar o comportamento do circuito, que foi posteriormente projetado em laboratório.

## Filtro Passa-Banda

- Projeção de um filtro passa-banda de forma a isolar frequências entre 20 Hz e 500 Hz.
- A função de transferência foi calculada e o **diagrama de Bode** foi gerado.
- A montagem prática confirmou o desempenho previsto, com ganho aproximado de 10.

## Amplificador Não Inversor

- Amplificar sinal de saída.
- Um potenciômetro foi incluído para ajustar o ganho.
- A simulação e os testes práticos mostraram o funcionamento correto do amplificador.

---

### **Retificador de Onda Completa de Precisão**

- O retificador de precisão foi utilizado para converter o sinal de corrente alternada em corrente contínua.
- O uso de amplificadores operacionais garantiu uma maior precisão do sinal retificado.
- A validação foi feita por simulação e montagem experimental.

### **Detetor de Pico**

- O detetor de pico foi implementado para identificar o valor máximo do sinal mioelétrico.
- O dimensionamento do condensador foi feito para garantir uma constante de tempo adequada.
- A montagem confirmou a capacidade de detetar corretamente o valor máximo do sinal.

### **Montagem Global e Integração com Ortopróteses Robótica**

- Os circuitos foram conectados em série para formar o sistema completo.
- O sistema foi integrado com uma prótese robótica controlada por um **Arduíno**, permitindo a resposta ao sinal mioelétrico.

# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
---------------------	------------

<b>Índice .....</b>	<b>v</b>
---------------------	----------

<b>1.1</b>	<b>Enquadramento .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Apresentação do projeto .....</b>	<b>1</b>
1.2.1	Planeamento de projeto .....	2
1.2.2	Reuniões de acompanhamento .....	2
<b>1.3</b>	<b>Tecnologias utilizadas .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Amplificador de Instrumentação .....</b>	<b>7</b>
3.1.1	Mostre que o ganho do amplificador de instrumentação é: .....	7
3.1.2	Determine o valor das resistências R1, R2, R3 e R4 no circuito da alínea anterior, para que o circuito apresente um ganho de tensão aproximado de 8. ....	12
3.1.3	Utilizando o componente eletrónico INA118 (ver circuito equivalente no datasheet respetivo), faça a montagem do circuito utilizando as resistências que lhe permitam alcançar o ganho referido na alínea anterior. Alimente o circuito com as tensões +12 V e -12 V. Aplique uma onda sinusoidal com 60 mV de amplitude e frequência de 150 Hz na entrada $V^+$ e aplique uma tensão contínua de 1 V na entrada $V^-$ . Registe a tensão de saída e confirme o ganho calculado. ...	16
<b>3.2</b>	<b>Filtro Passa-Banda e Ganho Intermédio .....</b>	<b>19</b>
3.2.1	Desenhe um filtro passa banda (filtro passa baixo seguido de um filtro passa alto). ....	19
3.2.2	Obtenha as respetivas funções de transferência e correspondentes frequências de corte. ....	19
3.2.3	Dimensione o valor das resistências e condensadores para que as frequências de corte sejam: frequência superior de corte $F_{SC}=500$ Hz; frequência inferior de corte $F_{IC}=20$ Hz e o ganho na banda passante seja 10. Apresente o diagrama de Bode teórico do circuito em escala logarítmica. ....	23
3.2.4	Faça a montagem do amplificador passa-banda e aplique na sua entrada a tensão $v_i = 0,06 \times \sin(2\pi \times F \times t)$ (Volt) para as gamas de frequências: • 1 - 20 Hz, com intervalos de 1 Hz; • 20 – 500 Hz, com intervalos de 10 Hz; • 100 – 1000 Hz, com intervalos de 100 Hz. • 1000 – 10000 Hz, com intervalos de 1000 Hz. Anote $V_O$ e o ganho do filtro para cada uma das frequências. Apresente o diagrama de Bode prático do circuito em escala logarítmica e comente os seus resultados relativamente aos valores teóricos esperados. ....	25

---

---

<b>3.3</b>	<b>Amplificador Não Inversor .....</b>	<b>26</b>
3.3.1	Obtenha a respetiva função de Transferência .....	26
3.3.2	Dimensione o valor das resistências para que o ganho eleve a amplitude do sinal de saída para um valor próximo de 5 V. Uma das resistências deverá ser um potenciómetro para um ajuste mais fácil do ganho na fase final do trabalho. ....	26
3.3.3	Faça a montagem do amplificador e aplique na sua entrada a tensão $v_i = 0,60 \times \sin(2\pi \times 300 \times t)$ (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída .....	28
<b>3.4</b>	<b>Retificador de Onda Completa de Precisão .....</b>	<b>30</b>
3.4.1	Explique o funcionamento do circuito seguinte. Estabeleça as principais diferenças para o retificador de onda completa estudado na UC de Eletrónica I. ....	30
3.4.2	Dimensione as resistências do circuito e modo que o ganho do sinal negativo seja igual, mas com sinal contrário, ao gando do sinal positivo. ....	31
3.4.3	Faça a montagem do circuito e aplique na sua entrada a tensão $v_i = 5 \times \sin(2\pi \times 300 \times t)$ (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída. ....	31
<b>3.5</b>	<b>Detetor de pico .....</b>	<b>33</b>
3.5.1	Dimensione um circuito detetor de pico que permita detetar o valor máximo do sinal de entrada. ....	33
3.5.2	Faça a montagem do circuito e aplique na sua entrada a tensão $v_i = 5 \times \sin(2\pi \times 100 \times t)$ (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída. ....	35
<b>3.6</b>	<b>Montagem Global do Circuito .....</b>	<b>37</b>
3.6.1	Ligue em série todos os circuitos anteriores. ....	37
3.6.2	Recolha sinal de Saída .....	38
<b>3.7</b>	<b>LIGAÇÃO À ORTOSE ROBÓTICA .....</b>	<b>39</b>
<b>Bibliografia .....</b>		<b>41</b>



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

Este relatório descreve todas as atividades desenvolvidas ao longo do segundo projeto pratico relativo à cadeira de Eletrónica II recorrente no âmbito do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

O processo aqui descrito passa pela análise dos circuitos amplificadores operacionais, e montagens de forma que seja possível adquirir sinais e processar sinais com o objetivo de conseguir controlar uma ortose robótica através de sinais mioelétricos que serão gerados pela movimentação de cargas elétricas durante a atividade muscular. Estes sinais têm amplitudes que vão da ordem de alguns  $\mu\text{V}$  até alguns  $\text{mV}$ . As frequências a que estes sinais se manifestam são relativamente baixas, geralmente compreendidas entre alguns Hertz até cerca de 400 Hz, podendo por vezes chegar aos 500 Hz, sendo esta banda dependente do indivíduo

Ao longo do trabalho várias vezes analisados tipos de montagens usados os amplificadores operacionais convidando os alunos do grupo a fazerem análises críticas levando assim a uma melhor compreensão destes dispositivos quanto ao seu funcionamento.

## 1.2 Apresentação do projeto

A ideia da realização do trabalho pratico recai como já dito sobre uma melhor compreensão daquilo que são os circuitos amplificadores operacionais complementando assim o trabalho pratico 1.

Desta maneira era necessário estudar ao pormenor algumas especificações destes dispositivos como por exemplo o cálculo de funções de transferência de variadas montagens (Amplificador instrumentação, filtros de Butterworth 1ª e 2ª ordem, ponte retificadora de onda completa usando amplificadores, detetores de pico pondo assim conceitos abordados em aula, em prática, como por exemplo transformada de Laplace, leis de kirchoff dedução de filtros, Passa-Banda, entre outras que foram imprescindíveis para chegar a solução final. Este trabalho tinha também

como objetivo a consulta de dados técnicos com base nos dados fornecidos pelos fabricantes mediante cada modelo do amplificador, a simulação através de softwares de simulação como por exemplo Multisim, LTSpice, estudo em frequências dos Ampop de modo a comparar situações reais e experimentais com as simulações virtuais levando assim a críticas dos elementos do grupo em relação os resultados esperados nas simulações. Era também objetivo o desenvolvimento de diagramas de bode (Passa-Banda) mediante as análises concluídas, ou seja, sobre as funções de transferência.

### **1.3 Tecnologias utilizadas**

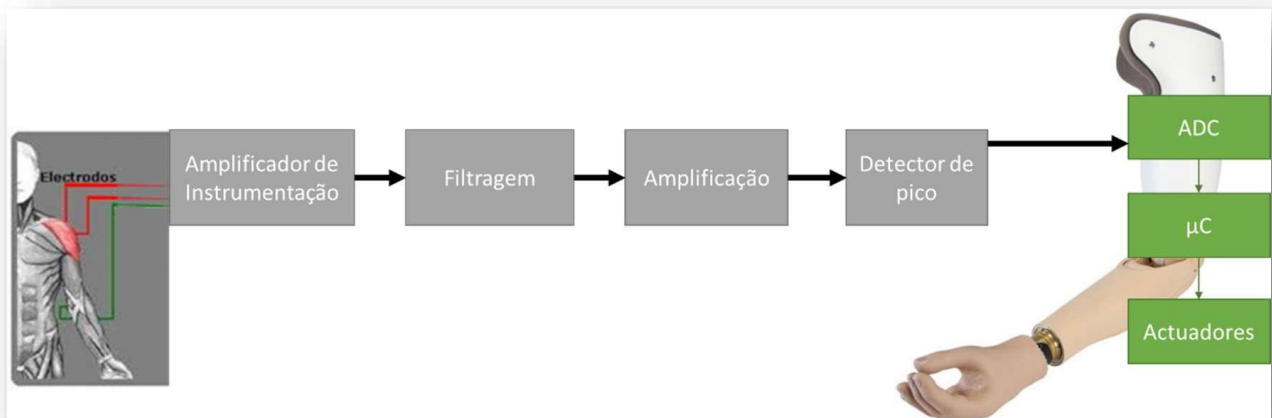
As tecnologias utilizadas passaram maioritariamente pela utilização de softwares de simulação no que toca as partes virtuais tal como no primeiro trabalho pratico, de forma a que depois na prática tivéssemos uma referência e um ponto de comparação, relativamente à pratica ou seja tudo que seja realizações experimentais em aula foram usadas varias tecnologias como por exemplo o manuseamento de placas de montagens as chamadas breadboards, digital lab, multímetros digitais, osciloscópio e um gerador de frequências Arduino, protose robótica.



## 2 Contexto

A eletrónica é uma área fundamental para o desenvolvimento de tecnologias que interagem com o mundo físico. Um dos ramos mais relevantes da eletrónica é a aquisição e processamento de sinais para controlar sistemas automatizados, como próteses robóticas. Neste projeto, aplicam-se princípios da eletrónica para captar sinais mioelétricos — pequenos impulsos gerados pela atividade muscular — e amplificá-los para permitir o controle preciso de uma prótese robótica.

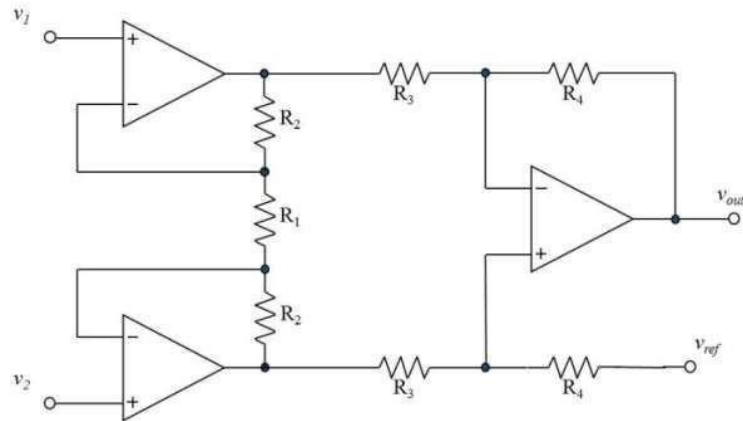
A utilização de amplificadores operacionais e filtros para processar esses sinais demonstra como os conceitos teóricos da eletrónica, como o ganho de sinal, retificação e detecção de picos, podem ser aplicados em soluções práticas que melhoram a qualidade de vida das pessoas. A combinação de simulação virtual e experimentação prática não só ajuda a compreender melhor o comportamento dos circuitos, mas também revela o impacto da eletrónica em áreas como a biomedicina e a robótica, destacando a importância desta disciplina no desenvolvimento de tecnologias assistivas de ponta



*Esquema Geral*

### 3 Descrição técnica

#### 3.1 Amplificador de Instrumentação



*Ilustração 1 Amplificador Instrumentação*

##### 3.1.1 Mostre que o ganho do amplificador de instrumentação é:

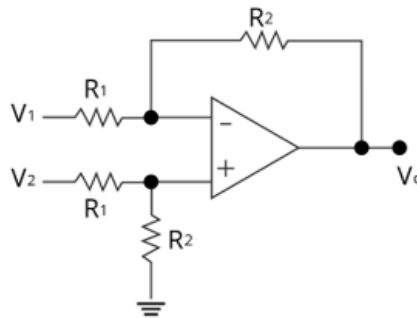
$$G = \frac{v_{out} - v_{ref}}{v_2 - v_1} = \frac{R_4}{R_3} \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right)$$

*Ilustração 2 Função de Transferência*

Na análise do Amplificador diferencial é necessário recorrer ao teorema da sobreposição. O princípio da sobreposição é útil para resolver circuitos que contenham várias fontes (de tensão e/ou de corrente).

Consiste em resolver o circuito para cada uma das fontes individualmente (estando todas as outras “desligadas”) e somar as soluções individuais assim obtidas, de forma a obter a solução do circuito resultante da ação de todas as fontes.

## 1. Análise do Amplificador Diferencial



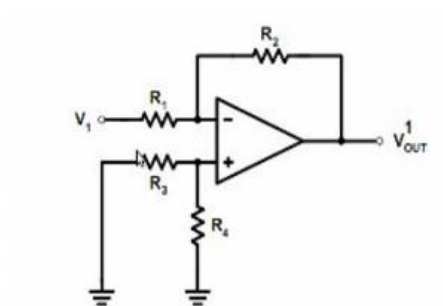
*Ilustração 3 Amplificador Diferencial*

Na análise do Amplificador diferencial é necessário recorrer ao teorema da sobreposição. O princípio da sobreposição é útil para resolver circuitos que contenham várias fontes (de tensão e/ou de corrente).

Consiste em resolver o circuito para cada uma das fontes individualmente (estando todas as outras “desligadas”) e somar as soluções individuais assim obtidas, de forma a obter a solução do circuito resultante da ação de todas as fontes.

Análise somente com fonte tensão VA:

Amplificador Diferencial (Análise VA=V1)



Leis de Kirchhoff:

$$I_- = I_+ \cong 0A$$

$$V_- = V_+ \approx 0V$$

$$\text{Ganho} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$I_1 = I_- + I_2$$

$$I_1 = I_2$$

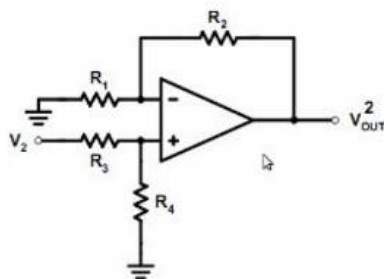
$$\left\{ \frac{UR1}{R1} = \frac{UR2}{R2} \right\} \left\{ \frac{Va - (V-)}{R3} = \frac{(V-) - Vout}{R4} \right\} \left\{ Va * R4 = Vout * R3 \right\} \left\{ Vout = \frac{-Va * R4}{R3} \right\}$$

Para determinar  $V_{OUT}$  em função de  $V_1$  e  $V_2$  é conveniente utilizar o Teorema da Sobreposição como referido.

Simulando ( $V_1=V_a$ ) e consequentemente aterrar  $R_3$  e  $R_4$  temos uma **montagem inversora**.

Análise somente com fonte tensão  $V_B$ :

Amplificador Diferencial (Análise  $V_B=V_2$ )



Leis de Kirchhoff:

$$I_- = I_+ \cong 0A$$

$$V_- = V_+ \approx 0V$$

$$* (v_+) = v(-) = Vb \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$\text{Ganho} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$I_1 = I_- + I_2$$

$$i_1 = i_2$$

$$\left\{ \frac{UR_1}{R_1} = \frac{UR_2}{R_2} \right\} \left\{ \frac{0 - (V_-)}{R_3} = \frac{(V_-) - V_{out}}{R_4} \right\} \left\{ (V_-) * R_4 = ((v_-) - V_{out})R_3 \right\} \left\{ V_{out} = (v_-) \left( \frac{R_4}{R_3} + 1 \right) \right\}$$

De considerar que pelas características ideais dos amplificadores não existe corrente na entrada temos que:

$$* (v_+) = v(-) = Vb \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Substituindo na equação e simplificando obtém-se:

$$\left\{ V_{out} = Vb \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left( \frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \right\} \left\{ V_{out} = Vb * \frac{R_4}{R_3} \right\}$$

Simulando ( $V_b=V_2$ ) obtém-se uma **montagem não inversora**.

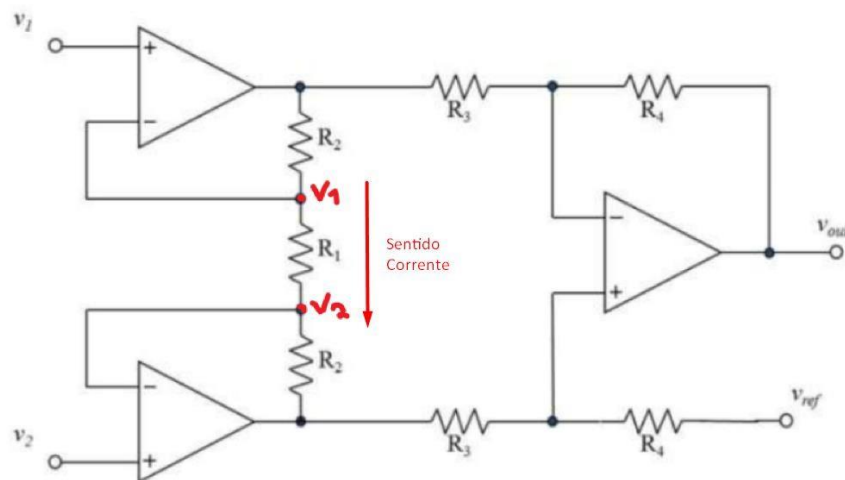
Tendo analisado do ponto de vista do Teorema da sobreposição, em que agora sabemos  $V_{out}$  com  $V_b = 0$  e  $V_a = 0$  para chegar a função de transferência final é necessário somar as duas tensões de saída quer do ponto de vista de  $v_a$  e  $v_b$ .

Então têm-se que:

$$V_{out\ Total} = \left\{ \frac{-V_a * R_4}{R_3} + \frac{V_b * R_4}{R_3} \right\} = \frac{R_4}{R_3} (V_b - V_a)$$

Uma vez analisado a parte que é referente ao circuito diferencial do amplificador instrumental partimos para a segunda situação, ou seja, a análise do primeiro estágio do amplificador operacional.

No primeiro estágio temos duas tensões de entrada ( $V_1$  e  $V_2$ ) nas entradas não inversoras dos amplificadores, considerando uma das características ideais dos amplificadores novamente sabemos que a tensão das entradas é igual, daí termos as mesmas tensões na entrada não inversora e inversora.



*Ilustração 4 Arbitragem correntes*

Para uma arbitragem de correntes fluida consideramos que  $V_1 > V_2$  temos que a corrente flui no sentido de  $V_1$  para  $V_2$  (representado na imagem abaixo) .

Uma vez considerado  $V_1 > V_2$  temos que a corrente aos terminais das 3 resistências  $R_2$ ,  $R_1$  e  $R_2$  é dado por:

$$I = \frac{V_a - V_b}{2R_2 + R_1}$$

Uma vez que temos uma corrente a passar em  $R_1$  temos que em função de  $V_1$  e  $V_2$ :

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_1}$$

E conseqüentemente:

$$I = \frac{V_a - V_b}{2R_2 + R_1} = \frac{V_1 - V_2}{R_1}$$

Uma vez que temos  $V_a - V_b$  é conveniente segundo a solução chegada na análise amplificador diferencial termos  $V_b - V_a$ , neste sentido multiplicamos  $(x-1)$  toda a equação.

$$\frac{V_b - V_a}{2R_2 + R_1} = \frac{V_2 - V_1}{R_1}$$

Simplificando temos a dedução da em função de  $V_{out}$ :

$$\left\{ V_b - V_a = (V_2 - V_1) * \frac{2R_2 + R_1}{R_1} \right\} \left\{ V_b - V_a = (V_2 - V_1) * \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \right\} \left\{ V_b - V_a = \frac{R_4}{R_3} * \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) * (V_2 - V_1) \right\}$$

Função de transferência final:

$$\left\{ \frac{V_{out}}{(V_2 - V_1)} = \frac{R_4}{R_3} * \left( 1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) \right.$$

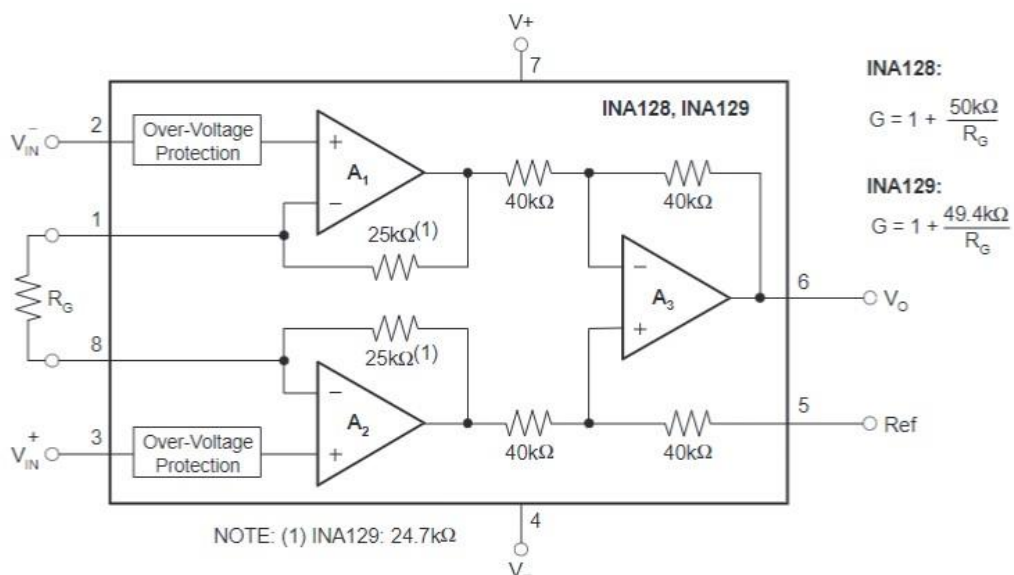
Em que  $(V_2 - V_1) = V_{in}$ .

### 3.1.2 Determine o valor das resistências R1, R2, R3 e R4 no circuito da alínea anterior, para que o circuito apresente um ganho de tensão aproximado de 8.

Para determinar um ganho de 8 sabemos que segundo a consulta do datasheet do amplificador INA128 este dispõe de resistências como:

R2 (25KΩ)

R3 e R4 (40KΩ)



*Ilustração 5 Datasheet INA128*

Com isto aplicando a fórmula do ganho conseguimos deduzir ( $R_G = R_1$ ) que define o nosso ganho:

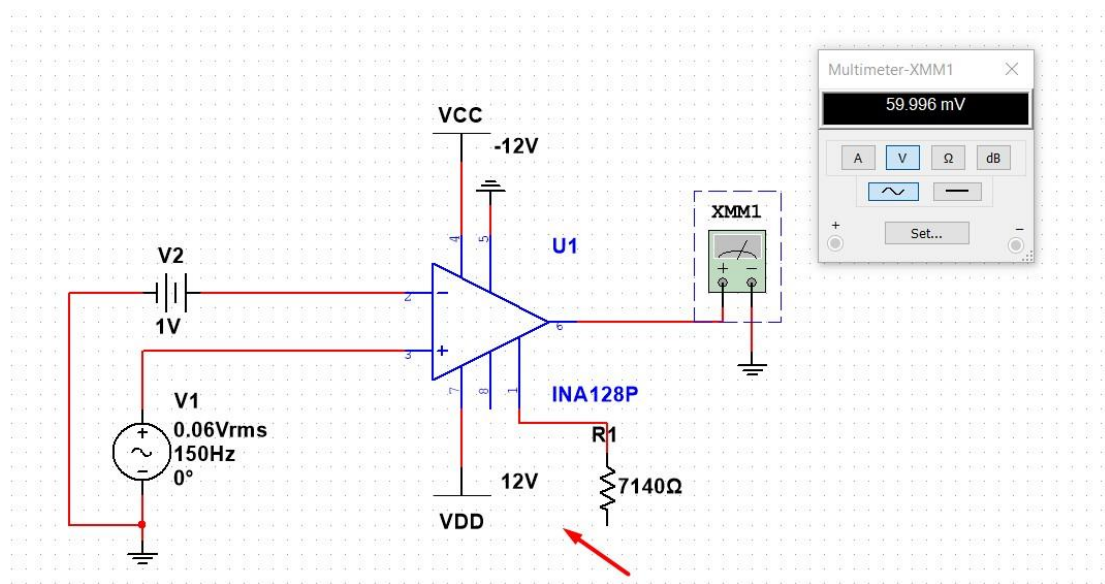
$$G = \frac{R_4}{R_3} * \left( 1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$$

Substituindo valores na fórmula de ganho:

$$\frac{40K}{40K} * \left( 1 + \frac{2 * (25K)}{x} \right) = 8$$

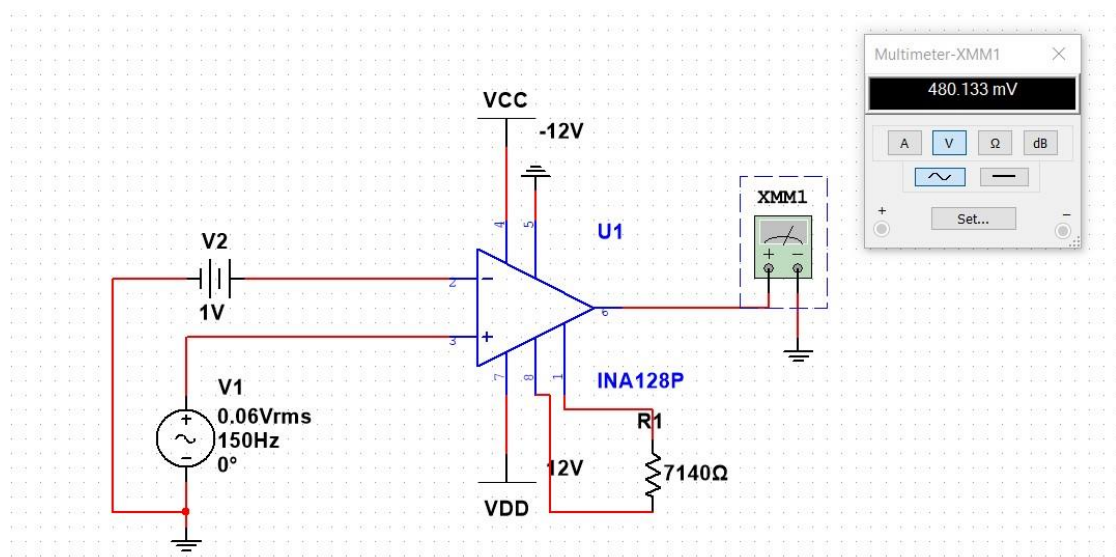
Em que ( $R_1=R_G$ ) = **7140Ω**

Verificação do ganho componente AC e DC

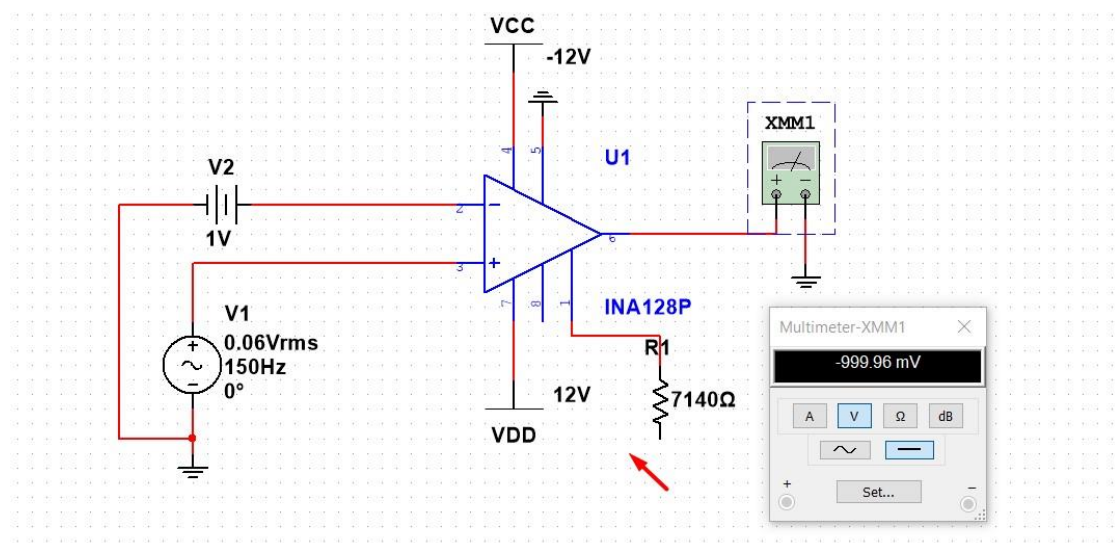


*Ilustração 6 Ampop Ganho = 1 (Componente AC)*

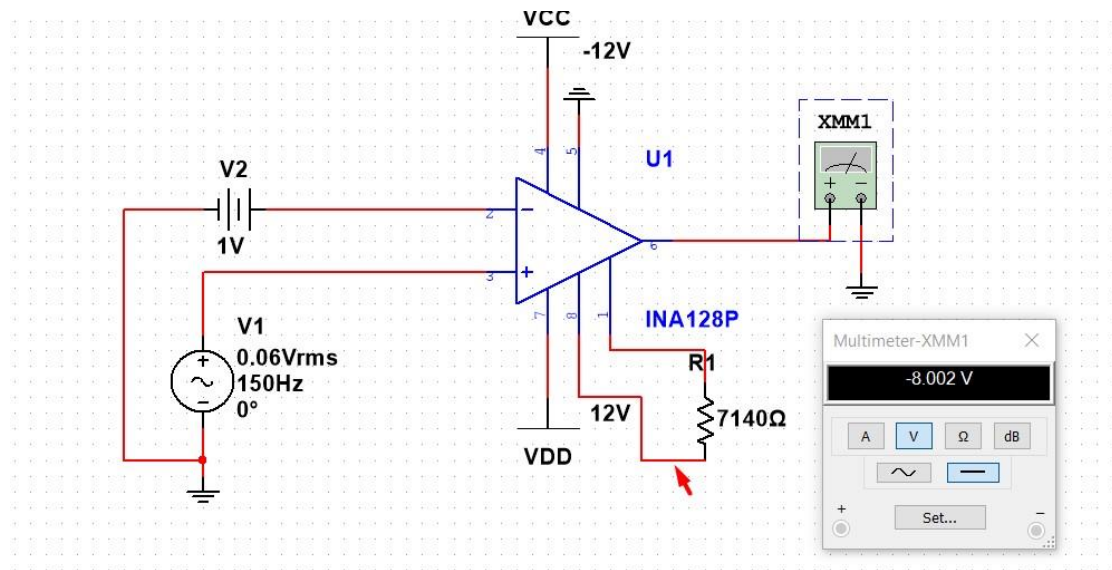




*Ilustração 7 Ampop Ganho = 8 (Componente AC)*



*Ilustração 8 Ampop Ganho = 1 (Componente DC)*

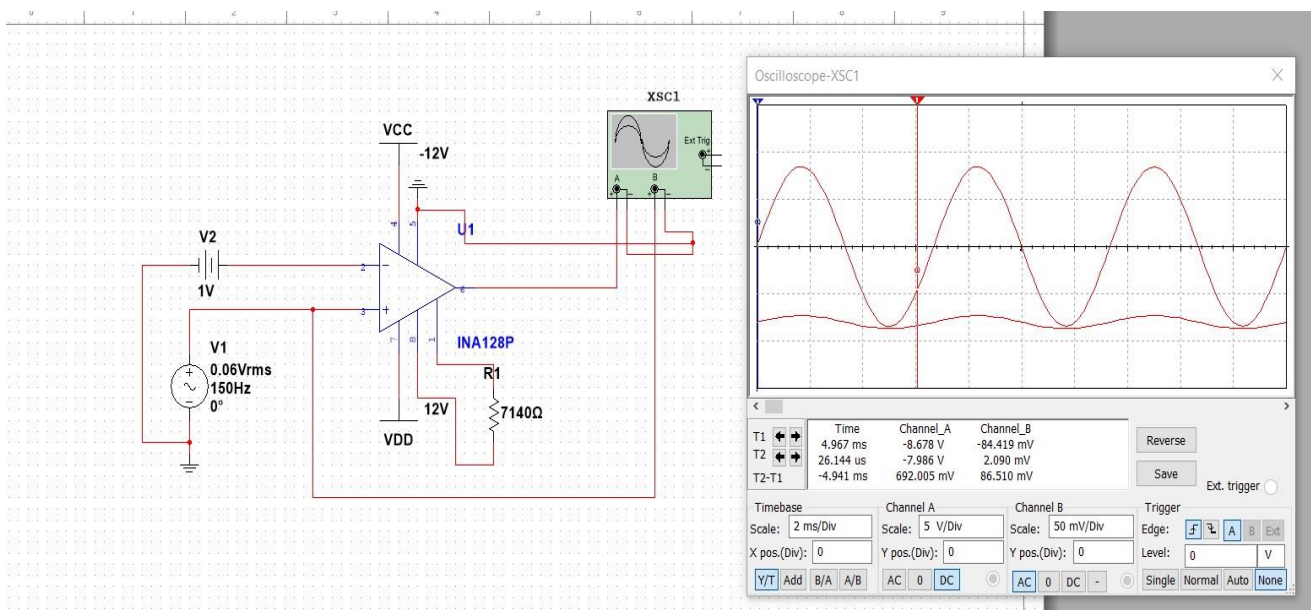


*Ilustração 9 Ampop Ganho = 8 (Componente DC)*

Como podemos observar sem a resistência R1 conectada temos uma saída na ordem dos 60mV(AC) e 1V DC, mas aplicando um ganho, ou seja, com R1 conectado temos uma saída 8 vezes maior do nosso sinal de entrada, ( $480/60 = 8$ ) em relação a componente AC e ( $8V/1V = 8$ ) no que diz respeito a componente DC, ou seja, com isto concluímos que o ganho do circuito é de 8.

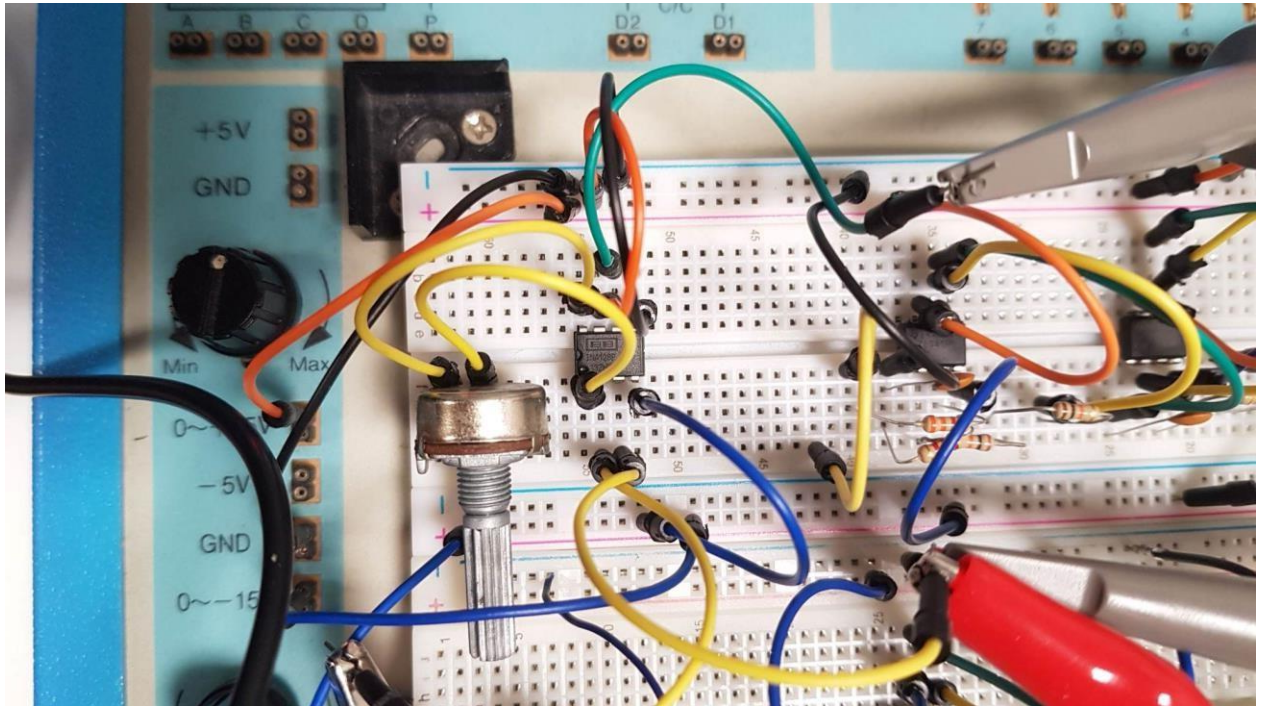
**3.1.3 Utilizando o componente eletrônico INA118 (ver circuito equivalente no datasheet respetivo), faça a montagem do circuito utilizando as resistências que lhe permitam alcançar o ganho referido na alínea anterior. Alimente o circuito com as tensões +12 V e -12 V. Aplique uma onda sinusoidal com 60 mV de amplitude e frequência de 150 Hz na entrada  $V_+$  e aplique uma tensão contínua de 1 V na entrada  $V_-$ . Registe a tensão de saída e confirme o ganho calculado.**

Validação resultados simulação através do software de simulação multisim:

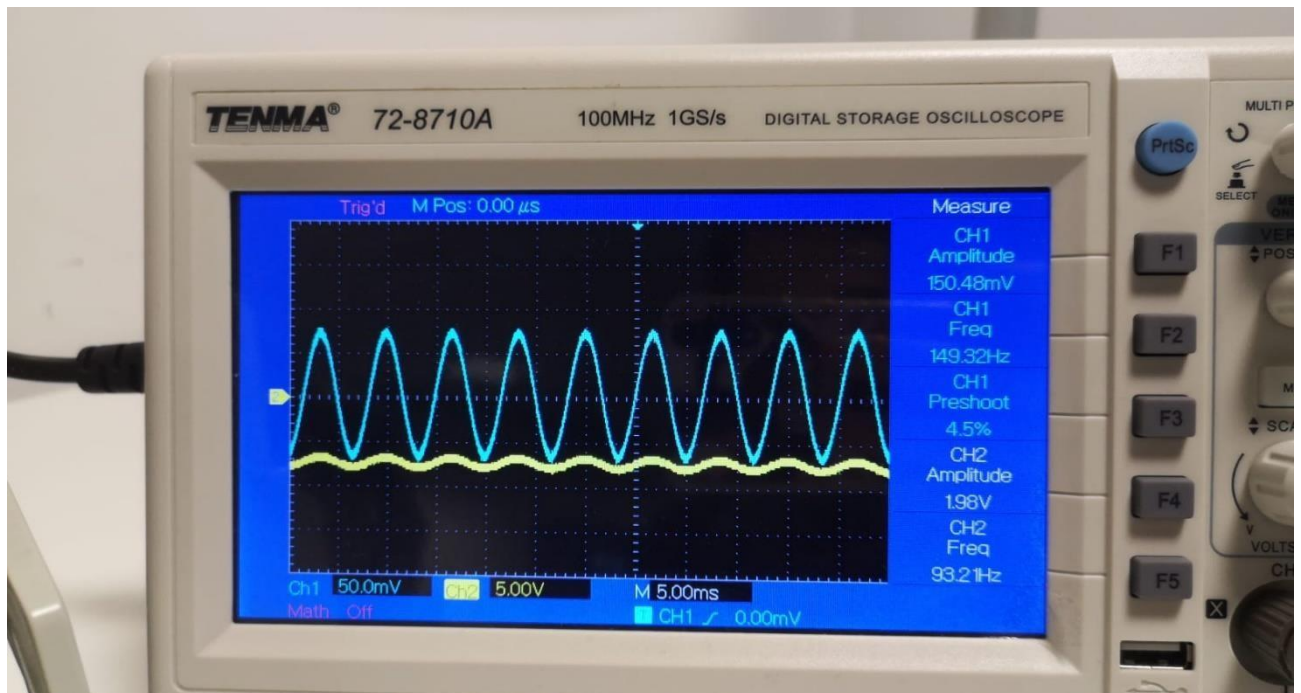


*Ilustração 10 Simulação multisim*

Validação resultados em contexto pratico:



*Ilustração 11 Circuito Instrumental INA128*



*Ilustração 12 Validação contexto pratico*

Como podemos observar existe uma desfazem entre o sinal de entrada em relação ao sinal de saída (offset), podemos verificar que o sinal de saída está num potencial muito mais abaixo que o sinal de entrada, isto é dado pelo sinal que é subtraído ao sinal entrada componente DC, em que como o grupo optou por colocar um potenciómetro a simular a resistência de R1 este sinal era facilmente manuseável com a regulação deste mesmo potenciómetro.



## 3.2 Filtro Passa-Banda e Ganho Intermédio

### 3.2.1 Desenhe um filtro passa banda (filtro passa baixo seguido de um filtro passa alto).

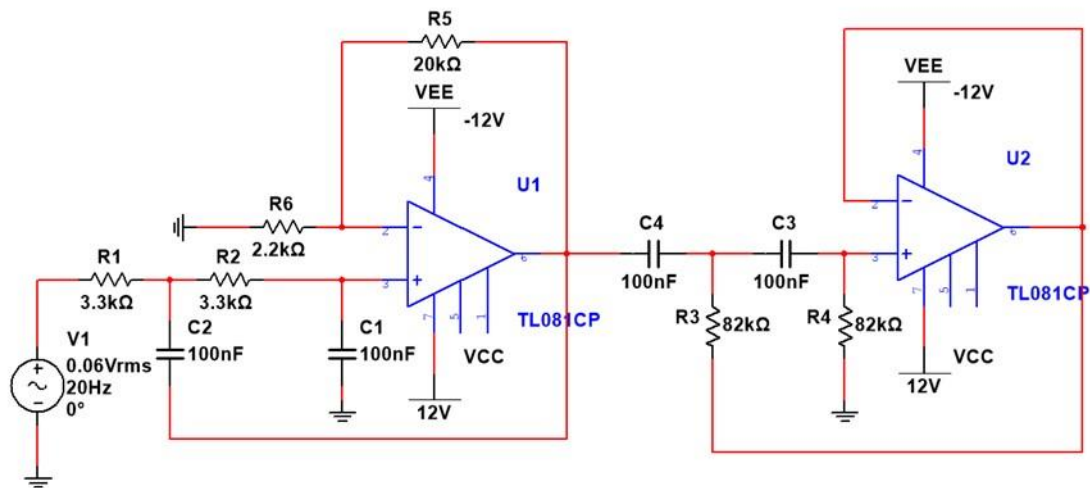


Ilustração 13- Desenho do filtro passa-banda

### 3.2.2 Obtenha as respetivas funções de transferência e correspondentes frequências de corte.

Arbitragem das correntes:

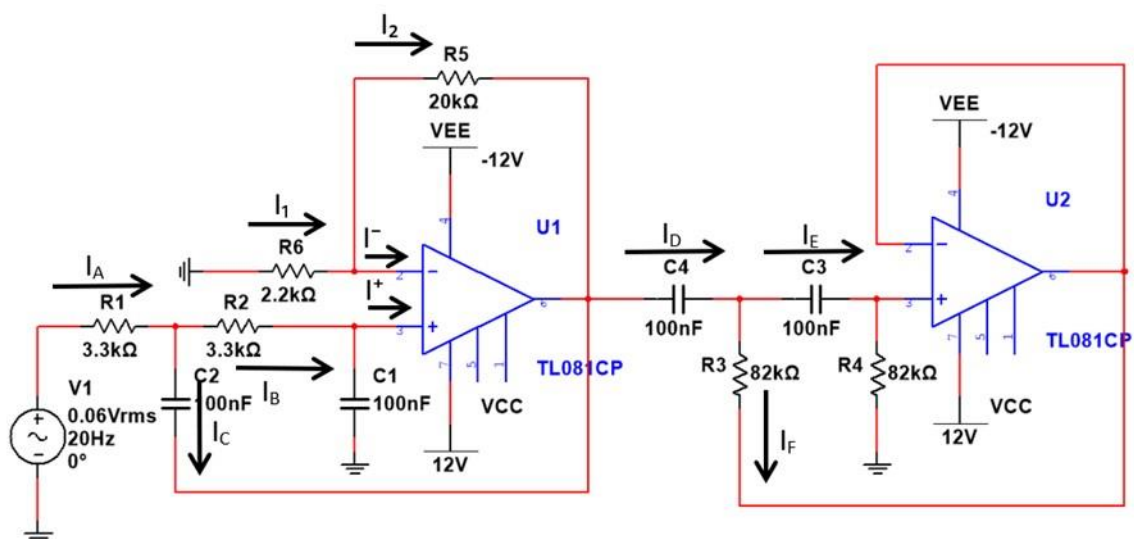


Ilustração 14- Arbitragem das correntes do filtro passa-banda

Cálculo do ganho do circuito passa-banda:

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho} - I_1 &= I_2 + I^- \Leftrightarrow \frac{0 - V_{(s)}^-}{R_1} = \frac{V_{(s)}^- - V'_{O(s)}}{R_2} \Leftrightarrow \frac{-V_{(s)}^-}{R_1} = \frac{V_{(s)}^-}{R_2} - \frac{V'_{O(s)}}{R_2} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow -\frac{V_{(s)}^-}{R_1 \times (-1)} - \frac{V_{(s)}^-}{R_2 \times (-1)} = -\frac{V'_{O(s)}}{R_2 \times (-1)} \Leftrightarrow V_{(s)}^- \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{V'_{O(s)}}{R_2} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow V_{(s)}^- \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \times R_2 = V'_{O(s)} \Leftrightarrow V'_{O(s)} = V_{(s)}^- \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{V_{(s)}^-} = \frac{R_2}{R_1} + 1
 \end{aligned}$$

Função de transferência passa-baixo:

$$\begin{aligned}
 I_A &= I_B + I_C \Leftrightarrow \frac{V_{1(s)} - V_{2(s)}}{Z_R} = \frac{V_{2(s)} - 0}{Z_R + Z_C} + \frac{V_{2(s)} - V'_{O(s)}}{Z_C} \\
 &\Leftrightarrow (\text{Anular o denominador}) \\
 &\Leftrightarrow [V_{1(s)} - V_{2(s)}]Z_C(Z_R + Z_C) = V_{2(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + [V_{2(s)} - V'_{O(s)}](Z_C + Z_R) \cdot Z_R \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow V_{1(s)} \cdot Z_C(Z_R + Z_C) - V_{2(s)} \cdot Z_C(Z_R + Z_C) = V_{2(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + V_{2(s)}(Z_C + Z_R) \cdot Z_R - \\
 &\quad V'_{O(s)}(Z_C + Z_R) \cdot Z_R \Leftrightarrow (\text{Trocar } V_2 \text{ de lado, multiplicar por } (-1)) \\
 &\Leftrightarrow V_{2(s)} \cdot Z_C(Z_R + Z_C) + V_{2(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + V_{2(s)}(Z_C + Z_R) \cdot Z_R = V'_{O(s)}(Z_C + Z_R) \cdot Z_R + \\
 &\quad V_{1(s)} \cdot Z_C(Z_R + Z_C) \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow V_{2(s)}[Z_C(Z_R + Z_C) + Z_C \cdot Z_R + (Z_C + Z_R) \cdot Z_R] \\
 &\quad = V'_{O(s)} \cdot (Z_C + Z_R) \cdot Z_R + V_{1(s)} \cdot Z_C(Z_R + Z_C) \Leftrightarrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\downarrow \\
 &\quad V'_{O(s)} = V_{(s)}^- \underbrace{\left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right)}_K \Leftrightarrow V'_{O(s)} = V_{(s)}^- \cdot K \Leftrightarrow V_{(s)}^- = \frac{V'_{O(s)}}{K} \\
 &\quad V_{(s)}^- = V_{(s)}^+ = V_{2(s)} \left( \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} \right) \Leftrightarrow V_{2(s)} = \frac{V_{(s)}^+ \cdot (Z_R + Z_C)}{Z_C} \Leftrightarrow V_{2(s)} = \frac{V'_{O(s)}}{K} \cdot \frac{(Z_R + Z_C)}{Z_C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\cancel{Z_C} + \cancel{Z_R})[V'_{O(s)} \cdot Z_R + V_{1(s)} \cdot Z_C] \Leftrightarrow \\
 & \Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{K \cdot Z_C} [Z_C \cdot Z_R + Z_C^2 + Z_C \cdot Z_R + Z_C \cdot Z_R + Z_R^2] = V'_{O(s)} \cdot Z_R + V_{1(s)} \cdot Z_C \Leftrightarrow \\
 & \Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{K \cdot Z_C} \underbrace{[Z_C^2 + Z_R^2 + 3(Z_C \cdot Z_R)]}_A = V'_{O(s)} \cdot Z_R + V_{1(s)} \cdot Z_C \Leftrightarrow \\
 & \Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{K \cdot Z_C} \cdot A - V'_{O(s)} \cdot Z_R = V_{1(s)} \cdot Z_C \Leftrightarrow V'_{O(s)} \left[ \frac{A}{K \cdot Z_C} - Z_R \right] = V_{1(s)} \cdot Z_C \Leftrightarrow \\
 & \Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{V_{1(s)}} = \frac{Z_C}{\left[ \frac{A}{K \cdot Z_C} - Z_R \right]} \Rightarrow \frac{Z_C}{\frac{A}{K \cdot Z_C} - \frac{Z_R \times (K \cdot Z_C)}{1 \times (K \cdot Z_C)}} \Rightarrow \frac{Z_C}{\frac{A - Z_R \cdot K \cdot Z_C}{K \cdot Z_C}} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \frac{Z_C^2 \cdot K}{Z_C^2 + Z_R^2 + 3(Z_C \cdot Z_R) - Z_R \cdot K \cdot Z_C} \Rightarrow \frac{Z_C^2 \cdot K}{Z_C^2 + Z_R^2 + Z_C \cdot Z_R(3 - K)} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \frac{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2 \cdot K}{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2 + R^2 + \frac{R}{s \cdot c} \cdot (3 - K)} \Rightarrow \frac{\frac{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2 \cdot K}{1 \times (R^2)}}{\frac{1}{s^2 \cdot c^2 \times (R^2)} + \frac{R^2}{1 \times (R^2)} + \frac{R}{s \cdot c \times (R^2)} \cdot (3 - K)} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \frac{\frac{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2 \cdot K}{R^2}}{\frac{1}{(s \cdot c \cdot R)^2} + 1 + \frac{1}{s \cdot c \cdot R} \cdot (3 - K)} \Rightarrow \frac{\frac{K}{(s \cdot c \cdot R)^2}}{\frac{1}{(s \cdot c \cdot R)^2} + 1 + \frac{1}{s \cdot c \cdot R} \cdot (3 - K)} \Rightarrow \\
 & \frac{K}{(s \cdot c \cdot R)^2 \cdot \left( \frac{1}{(s \cdot c \cdot R)^2} + 1 + \frac{1}{s \cdot c \cdot R} \cdot (3 - K) \right)} \Leftrightarrow \frac{V'_{O(s)}}{V_{1(s)}} = \frac{K}{1 + (s \cdot c \cdot R)^2 + s \cdot c \cdot R \cdot (3 - K)} \\
 \\
 & \text{Frequência de corte} - \frac{\mathcal{S}^2}{W_o^2} = \mathcal{S}^2 \cdot R^2 \cdot c^2 \Leftrightarrow \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2} = R^2 \cdot c^2 \Leftrightarrow f^2 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)^2} \\
 & \Leftrightarrow \\
 & \Leftrightarrow f = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)}
 \end{aligned}$$



Função de transferência passa-alto:

$$I_D = I_E + I_F \Leftrightarrow \frac{V_{3(s)} - V_{4(s)}}{Z_C} = \frac{V_{4(s)} - 0}{Z_C + Z_R} + \frac{V_{4(s)} - V_{O(s)}}{Z_R}$$

$\Leftrightarrow$  (Anular o denominador)

$$\Leftrightarrow [V_{3(s)} - V_{4(s)}]Z_R(Z_C + Z_R) = V_{4(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + [V_{4(s)} - V_{O(s)}] \cdot Z_C(Z_C + Z_R) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{3(s)} \cdot Z_R(Z_C + Z_R) - V_{4(s)} \cdot Z_R(Z_C + Z_R) = V_{4(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + V_{4(s)} \cdot Z_C(Z_C + Z_R) - V_{O(s)} \cdot Z_C(Z_C + Z_R) \Leftrightarrow$$

(Trocar  $V_2$  de lado, multiplicar por  $(-1)$ )

$$\Leftrightarrow V_{4(s)} \cdot Z_R(Z_C + Z_R) + V_{4(s)} \cdot Z_C \cdot Z_R + V_{4(s)} \cdot Z_C(Z_C + Z_R) = V_{O(s)} \cdot Z_C(Z_C + Z_R) + V_{3(s)} \cdot Z_R(Z_C + Z_R) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{4(s)}[Z_R(Z_C + Z_R) + Z_C \cdot Z_R + Z_C(Z_C + Z_R)]$$

$$= V_{O(s)} \cdot Z_C(Z_C + Z_R) + V_{3(s)} \cdot Z_R(Z_C + Z_R) \Leftrightarrow$$

---


$$V_{(s)}^- = V_{(s)}^+ = V_{4(s)} \left( \frac{Z_R}{Z_C + Z_R} \right) \Leftrightarrow V_{4(s)} = \frac{V_{(s)}^+ \cdot (Z_C + Z_R)}{Z_R} \Leftrightarrow V_{4(s)} = V_{O(s)} \cdot \frac{(Z_C + Z_R)}{Z_R}$$


---

$$\Leftrightarrow V_{O(s)} \cdot \frac{(Z_C + Z_R)}{Z_R} [Z_R(Z_C + Z_R) + Z_C \cdot Z_R + Z_C \cdot (Z_C + Z_R)] =$$

$$(Z_C + Z_R)[V_{O(s)} \cdot Z_C + V_{3(s)} \cdot Z_R] \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{O(s)}}{Z_R} [Z_C \cdot Z_R + Z_R^2 + Z_C \cdot Z_R + Z_C \cdot Z_R + Z_C^2] = V_{O(s)} \cdot Z_C + V_{3(s)} \cdot Z_R \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{O(s)}}{Z_R} \underbrace{[Z_R^2 + Z_C^2 + 3(Z_C \cdot Z_R)]}_A = V_{O(s)} \cdot Z_C + V_{3(s)} \cdot Z_R \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{O(s)}}{Z_R} \cdot A - V_{O(s)} \cdot Z_C = V_{3(s)} \cdot Z_R \Leftrightarrow V_{O(s)} \left[ \frac{A}{Z_R} - Z_C \right] = V_{3(s)} \cdot Z_R \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{O(s)}}{V_{3(s)}} = \frac{Z_R}{\left[ \frac{A}{Z_R} - Z_C \right]} \Rightarrow \frac{Z_R}{\frac{A}{Z_R} - \frac{Z_C \times (Z_R)}{1 \times (Z_R)}} \Rightarrow \frac{\frac{Z_R}{1}}{\frac{A - Z_C \cdot Z_R}{Z_R}} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned}
 &\Rightarrow \frac{Z_R^2}{Z_R^2 + Z_C^2 + 3(Z_C \cdot Z_R) - Z_C \cdot Z_R} \Rightarrow \frac{Z_R^2}{Z_R^2 + Z_C^2 + 2 \cdot (Z_C \cdot Z_R)} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \frac{R^2}{1 \times (1/s \cdot c)^2} \Rightarrow \\
 &\frac{R^2}{1 \times (1/s \cdot c)^2} + \frac{1}{s^2 \cdot c^2 \times (1/s \cdot c)^2} + \frac{2 \cdot \left[ \left( \frac{1}{s \cdot c} \right) \cdot R \right]}{1 \times (1/s \cdot c)^2} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \frac{\frac{R^2}{1}}{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2} \Rightarrow \frac{(R \cdot s \cdot c)^2}{(R \cdot s \cdot c)^2 + 1 + 2 \cdot (R \cdot s \cdot c)} \Rightarrow \\
 &\frac{\frac{R^2}{1}}{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2} + \frac{1}{\frac{1}{s^2 \cdot c^2}} + \frac{2 \cdot \left( \frac{R}{s \cdot c} \right)}{\left( \frac{1}{s \cdot c} \right)^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Frequência de corte } - \frac{S^2}{W_o^2} &= S^2 \cdot R^2 \cdot c^2 \Leftrightarrow \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2} = R^2 \cdot c^2 \Leftrightarrow f^2 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)^2} \\
 &\Leftrightarrow f = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)}
 \end{aligned}$$

**3.2.3 Dimensione o valor das resistências e condensadores para que as frequências de corte sejam: frequência superior de corte FSC=500 Hz; frequência inferior de corte FIC=20 Hz e o ganho na banda passante seja 10. Apresente o diagrama de Bode teórico do circuito em escala logarítmica.**

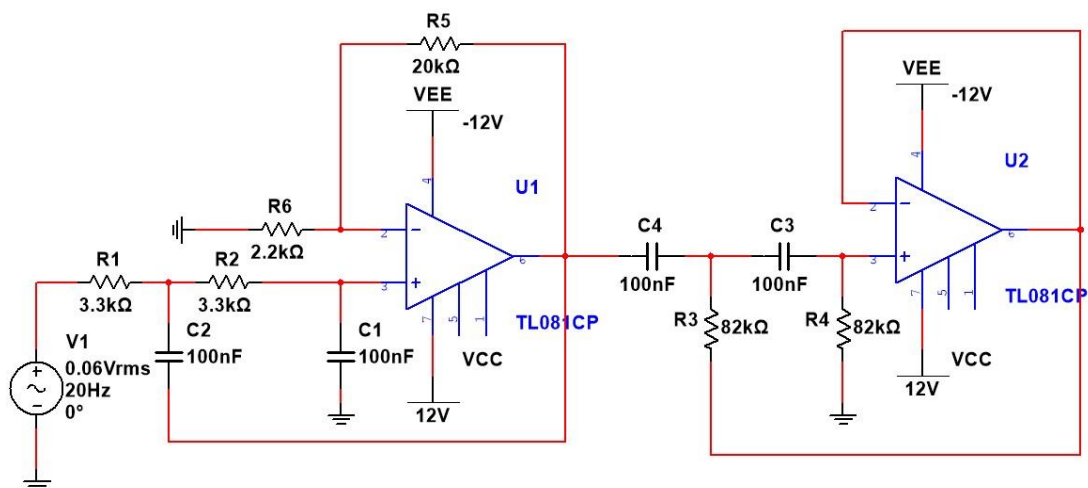
$$G = \frac{R_2}{R_1} + 1 \Leftrightarrow 10 = \frac{20k}{2,2k} + 1 \Leftrightarrow 10 \approx 10$$

Assumindo que o valor dos condensadores serão de 100n.

$$f_{sc} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)} \Leftrightarrow R = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{sc} \cdot c)} \Leftrightarrow R = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 100n)} \Leftrightarrow R \approx 3,2k$$

$$f_{ic} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot R \cdot c)} \Leftrightarrow R = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{ic} \cdot c)} \Leftrightarrow R = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 100n)} \Leftrightarrow R \approx 80k$$

Atribuição dos valores das resistências e condensadores no circuito:



*Ilustração 15- Dimensionamento das resistências e condensadores do filtro passa-banda*

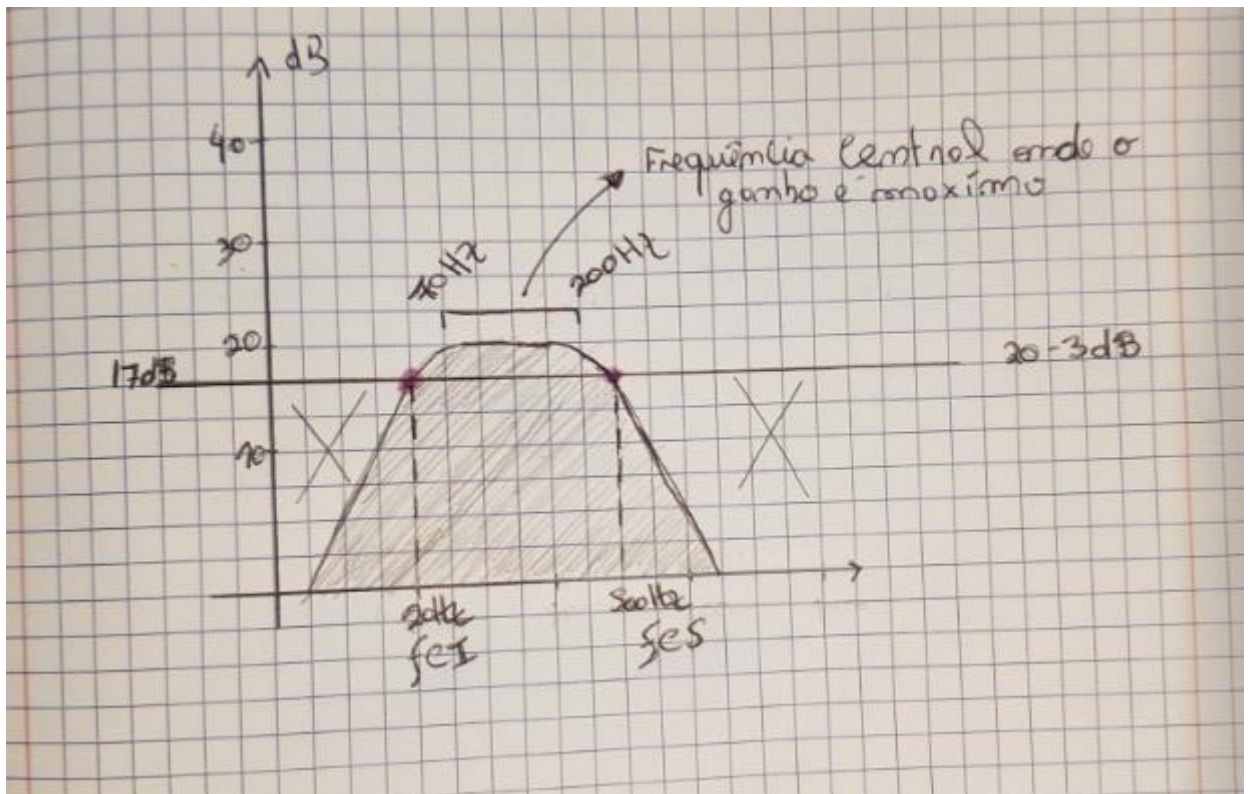


Ilustração 16 Diagram Bode Passa Banda

$$20\log(\text{Ganho}) = 20\log(10) = 20\text{dB} \text{ (Ganho máximo)}$$

$$20\text{dB} - 3\text{dB} = 17\text{dB} \text{ (Freq Corte)} 10^{\frac{17}{20}} = 7.07 \text{ Ganho}$$

**3.2.4 Faça a montagem do amplificador passa-banda e aplique na sua entrada a tensão  $v_i = 0,06 \times \sin(2\pi \times F \times t)$  (Volt) para as gamas de frequências:**

- 1 - 20 Hz, com intervalos de 1 Hz;
- 20 – 500 Hz, com intervalos de 10 Hz;
- 100 – 1000 Hz, com intervalos de 100 Hz.
- 1000 – 10000 Hz, com intervalos de 1000 Hz.

**Anote VO e o ganho do filtro para cada uma das frequências. Apresente o diagrama de Bode prático do circuito em escala logarítmica e comente os seus resultados relativamente aos valores teóricos esperados.**

F(Hz)	V <sub>in</sub>	V <sub>out</sub>	Ganho
1	0,56		0
2	0,56	0,59	1,053571
3	0,56	0,73	1,303571
4	0,56	1,01	1,803571
5	0,56	1,32	2,357143
6	0,56	1,64	2,928571
7	0,56	1,86	3,321429
8	0,56	2,1	3,75
9	0,56	2,48	4,428571
10	0,56	2,68	4,785714
11	0,56	2,88	5,142857
12	0,56	3	5,357143
13	0,56	3,16	5,642857
14	0,56	3,32	5,928571
15	0,56	3,45	6,160714
16	0,56	3,6	6,428571
17	0,56	3,72	6,642857
18	0,56	3,8	6,785714
19	0,56	3,92	7
20	0,56	4,24	7,571429
30	0,56	4,96	8,857143
40	0,56	5,20	9,2857
50	0,56	5,45	9,732143
60	0,56	5,52	9,857143
70	0,56	5,6	10
80	0,56	5,64	10,07143
90	0,56	5,68	10,14286
100	0,56	5,68	10,14286
150	0,56	5,6	10
200	0,56	5,52	9,857143
250	0,56	5,2	9,285714

Ilustração 17- Tabela de bode prática

300	0,56	5,04	9
350	0,56	4,8	8,571429
400	0,56	4,64	8,285714
450	0,56	4,4	7,857143
500	0,56	4,16	7,428571
600	0,56	3,84	6,857143
700	0,56	3,28	5,857143
800	0,56	3	5,357143
900	0,56	2,78	4,964286
1000	0,56	2,56	4,571429
2000	0,56	1,41	2,517857
3000	0,56	0,98	1,75
4000	0,56	0,708	1,264286
5000	0,56	0,58	1,035714
6000	0,56	0,492	0,878571
7000	0,56	0,44	0,785714
8000	0,56	0,38	0,678571
9000	0,56	0,34	0,607143
10000	0,56	0,306	0,546429

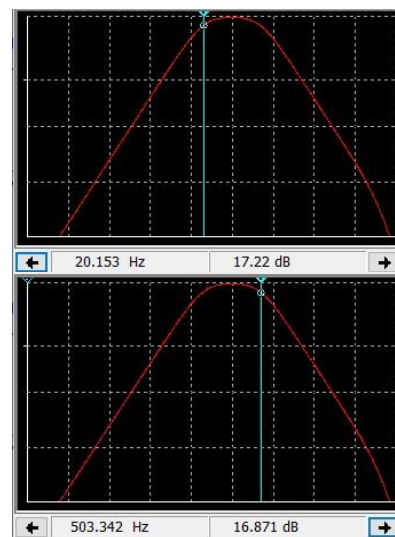
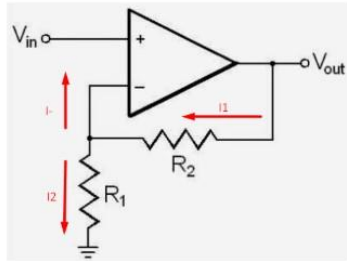


Ilustração 18- Diagrama de bode Multisim

### 3.3 Amplificador Não Inversor

#### 3.3.1 Obtenha a respetiva função de Transferência



Leis de Kirchhoff:

$$I^- = I^+ \cong 0A$$

$$V^- = V^+ \approx 0V$$

$$\text{Ganho} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$(V^-) = V(+) = V_{in}$$

$$I1 = I^- + I2$$

$$I1 = I2$$

$$\left\{ \frac{(V^-) - 0}{R2} = \frac{(V^-) - 0}{R1} \right\} \left\{ \frac{V_{out} - v_{in}}{R2} = \frac{V_{in}}{R1} \right\} \left\{ (V_{out} - V_{in}) * R1 = V_{in} * R2 \right\} \left\{ (V_{out}R1 - V_{in}R1) = V_{in} * R2 \right\}$$

$$\left\{ (V_{out}R1) = V_{in}R2 + V_{in}R1 \right\} \left\{ (V_{out}R1) = V_{in}(R1 + R2) \right\} \left\{ \frac{V_{out}R1}{V_{in}} = (R1 + R2) \right\} \left\{ \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \right\}$$

**3.3.2 Dimensione o valor das resistências para que o ganho eleve a amplitude do sinal de saída para um valor próximo de 5 V. Uma das resistências deverá ser um potenciômetro para um ajuste mais fácil do ganho na fase final do trabalho.**

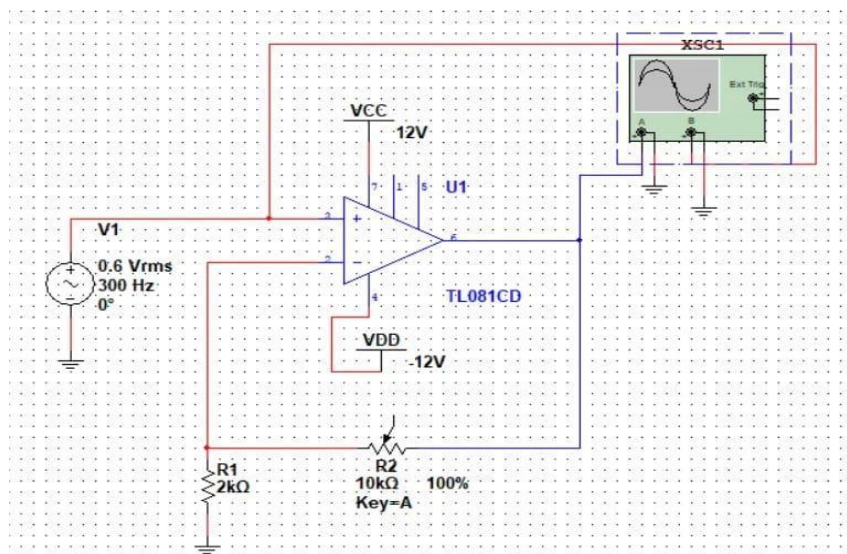
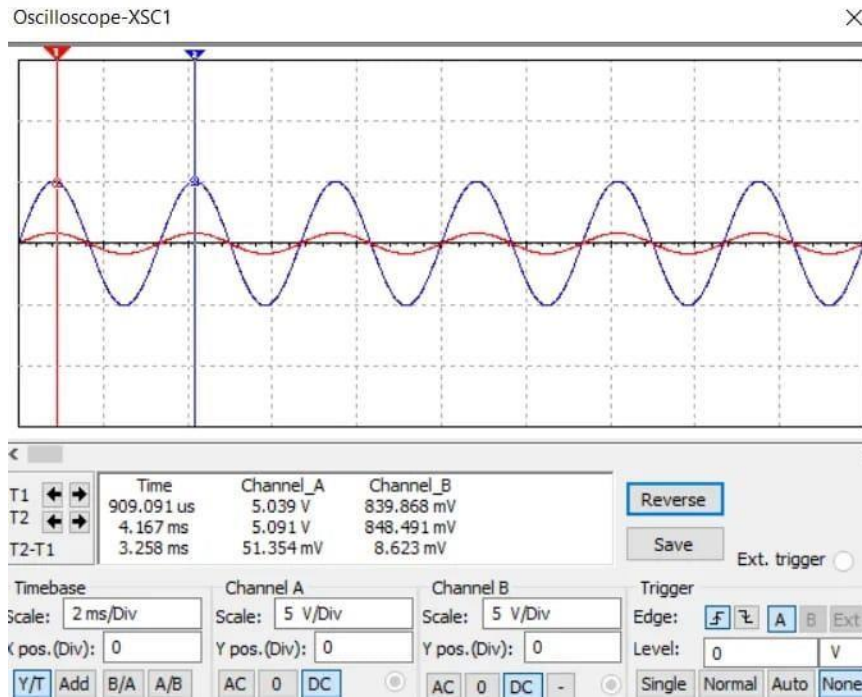


Ilustração 19 Circuito em Multisim

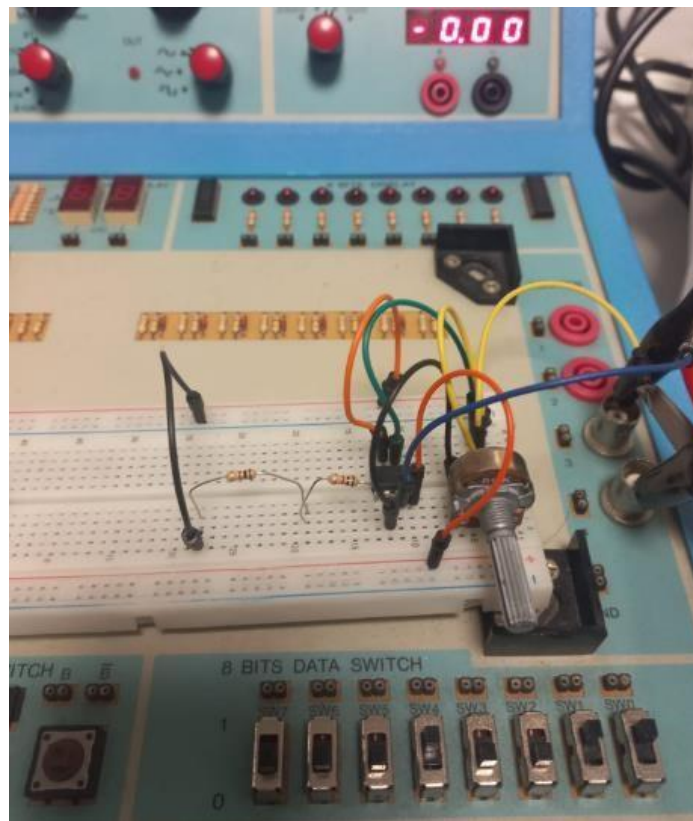
**3.3.3 Faça a montagem do amplificador e aplique na sua entrada a tensão  $v_i = 0,60 \times \sin(2\pi \times 300 \times t)$  (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída**



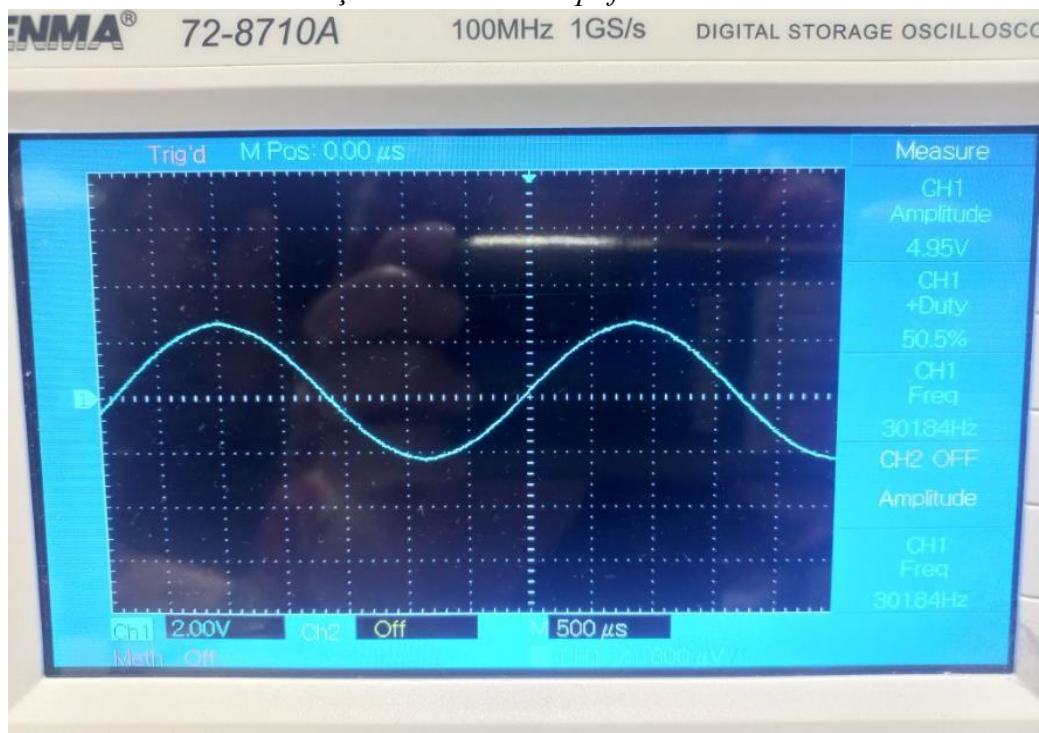
*Ilustração 20 Simulação sinal de saída Multisim*



Validação resultados em contexto pratico:



*Ilustração 21 Circuito Amplificador Não inversor*



*Ilustração 22 Validação contexto pratico*



### 3.4 Retificador de Onda Completa de Precisão

#### 3.4.1 Explique o funcionamento do circuito seguinte. Estabeleça as principais diferenças para o retificador de onda completa estudado na UC de Eletrônica I.

Quando o sinal de entrada é positivo, o retificador de meia onda inverte o sinal e deixa passar o semi- ciclo positivo, logo se  $V_e > 0$  então o  $V_{out} = -V_e$ . O amplificador somador tem duas entradas, uma corresponde à saída do retificador de meia onda com semi- ciclo positivo e a outra ao sinal  $V_e$ . As resistências são todas iguais com exceção da resistência  $R_3$ , pois para que o sinal retificado à saída do amplificador somador apresente a onda com o mesmo ganho a resistência tem de ser metade das outras. Para entender as diferenças entre um circuito retificador de onda completa e um retificador de precisão de onda completa, temos de saber em que consiste cada um dos circuitos.

Um circuito retificador de onda completa consiste em um transformador, que é usado para diminuir a tensão de entrada, uma ponte retificadora, que é composta por quatro díodos, e um filtro, que é usado para suavizar a ondulação na tensão CC de saída. Um circuito retificador de precisão de onda completa, por outro lado, normalmente inclui um amplificador operacional no seu circuito. O amplificador operacional é usado para fornecer uma tensão de saída precisa. O circuito também inclui feedback que permite ao amplificador operacional comparar a tensão de saída com a tensão de entrada e ajustar o ganho de acordo.

### 3.4.2 Dimensioe as resistências do circuito e modo que o ganho do sinal negativo seja igual, mas com sinal contrário, ao gando do sinal positivo.

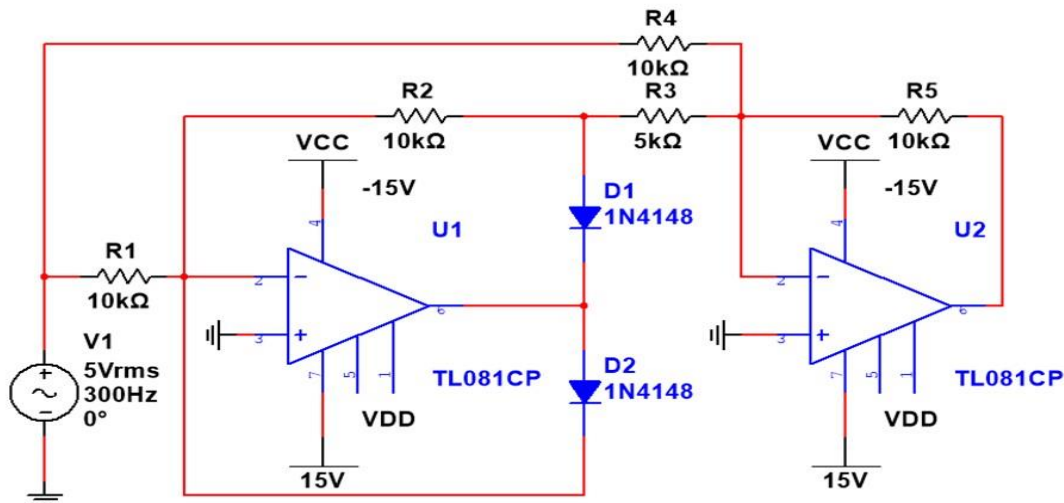


Ilustração 23-Dimensioamento das resistências do retificador de precisão de onda completa

A R3 terá de ser metade das outras resistências, assim o sinal negativo dobra, e quando somado no amplificador o ganho do sinal negativo será igual ao do sinal positivo.

### 3.4.3 Faça a montagem do circuito e aplique na sua entrada a tensão $v_i = 5 \times \sin(2\pi \times 300 \times t)$ (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída.

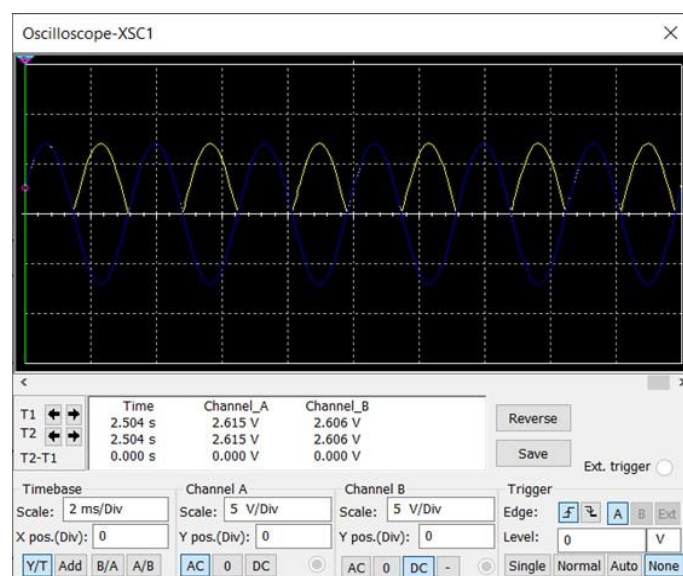
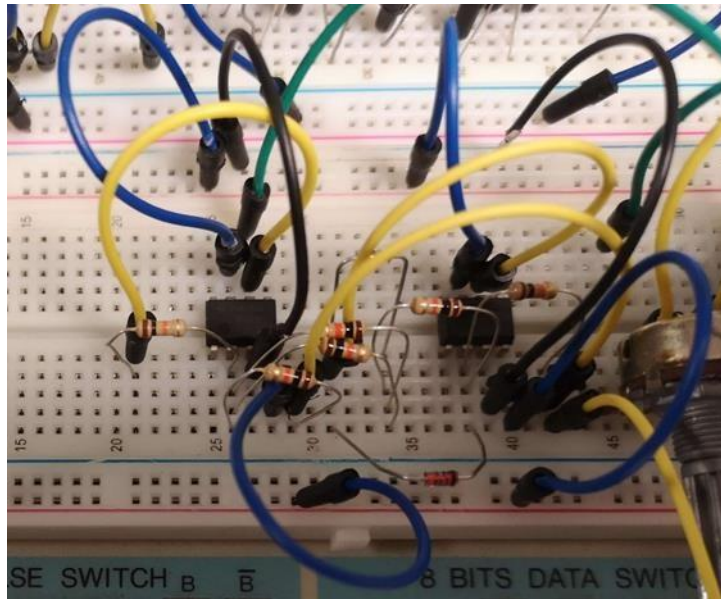
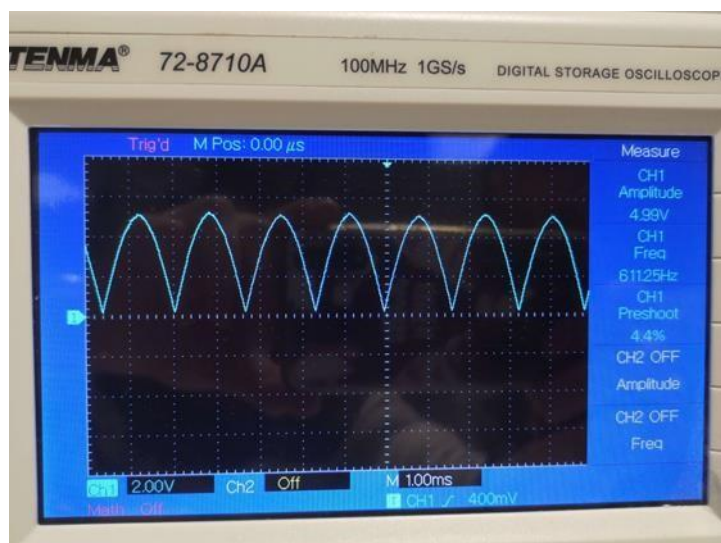


Ilustração 24- Sinal de saída do retificador de precisão de onda completa



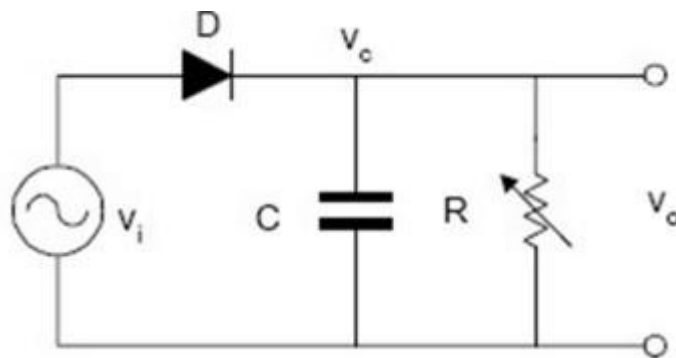
*Ilustração 25- Montagem em breadboard do retificador de precisão de onda completa*



*Ilustração 26- Sinal de saída do retificador de precisão de onda completa em condições laboratoriais*

### 3.5 Detetor de pico

#### 3.5.1 Dimensione um circuito detetor de pico que permita detetar o valor máximo do sinal de entrada.

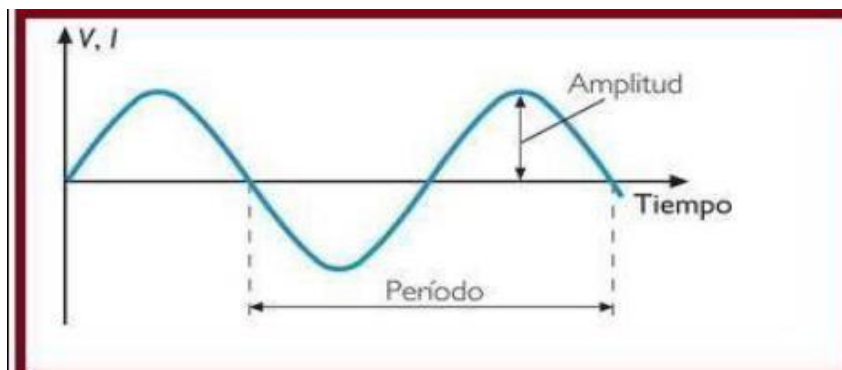


*Ilustração 27 Circuito detetor de pico*

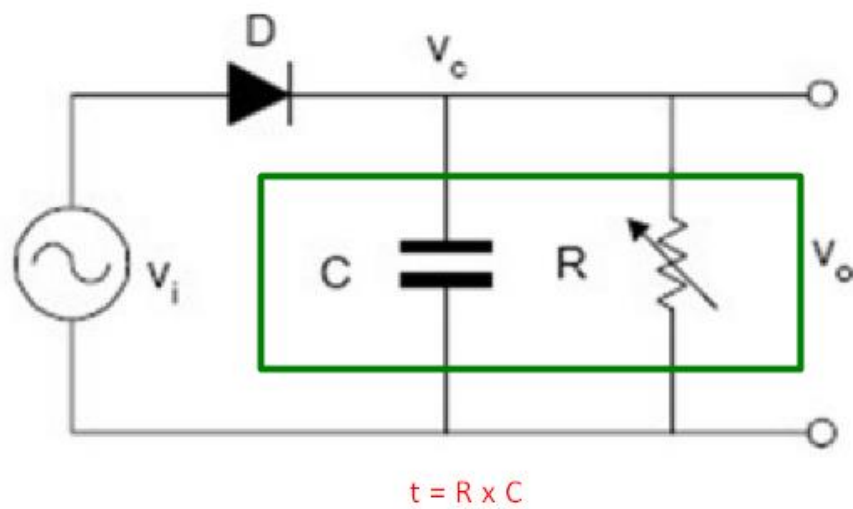
O **detetor de pico** no estágio final de um sistema de leitura mioelétrico facilita a captação de informações importantes sobre o sinal, como a intensidade máxima da contração muscular, que é posteriormente lida e interpretada pelo Arduino. Assim, ele melhora a precisão e eficiência do processo de conversão analógica-digital ao fornecer um valor DC estável e de fácil leitura para o ADC.

Para o dimensionamento do circuito tivemos de considerar que o condensador estava conectado a um elemento onde a impedância não é infinita neste caso (1K). Para o dimensionamento do condensador seguimos uma regra em que calculamos a constante de tempo, ou seja, o tau, ( $t = R \cdot C$ ) em que fizemos com que a constante de tempo (tau) fosse muito maior que o período da nossa tensão de entrada.

$$t = 10 * T(\text{periodo})$$



*Ilustração 28 Período da onda*



*Ilustração 29  $t$  constante de tempo*

Cálculos:

1. Sinal de entrada temos que:

$$y(t) = A_{\text{máx}} * \text{sen}(2\pi ft)$$

$$y(t) = 5 * \text{sen}(2 * \pi * (100) * t)$$

2. Em que calculando o período da nossa entrada obtemos

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100\text{Hz}} = 0.01\text{s}$$

3. Como queremos que a constante de tempo seja maior 10 vezes que o nosso período:

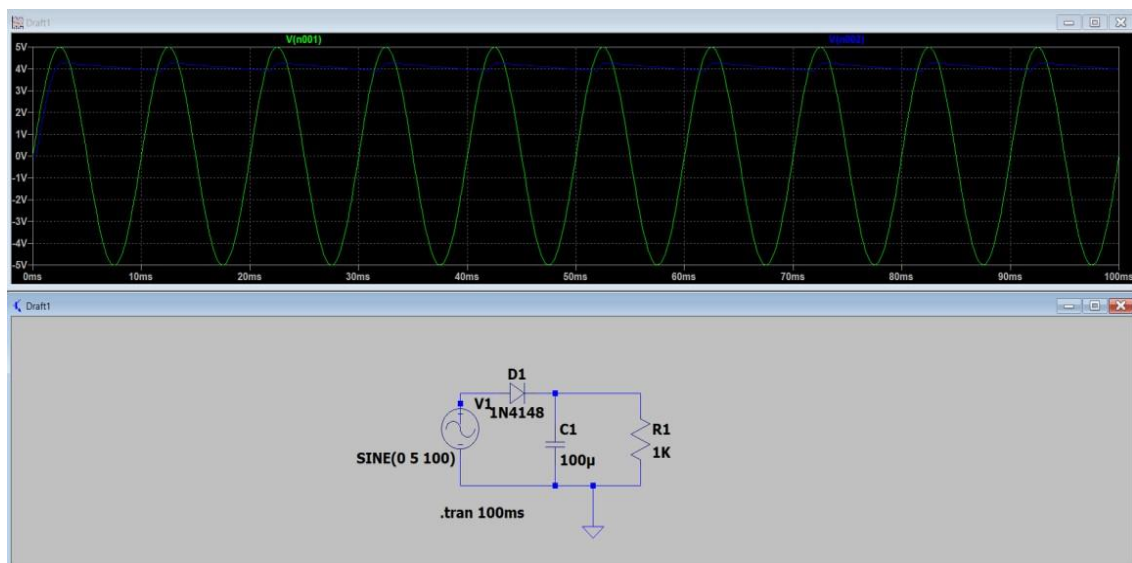
$$t = 0.01 * 10 = 0.1 \text{ ms}$$

Então assumindo para efeitos de calculo uma resistência de carga e de entrada de 1k,  $t = R * C$

$$0.1 = 1K * C$$

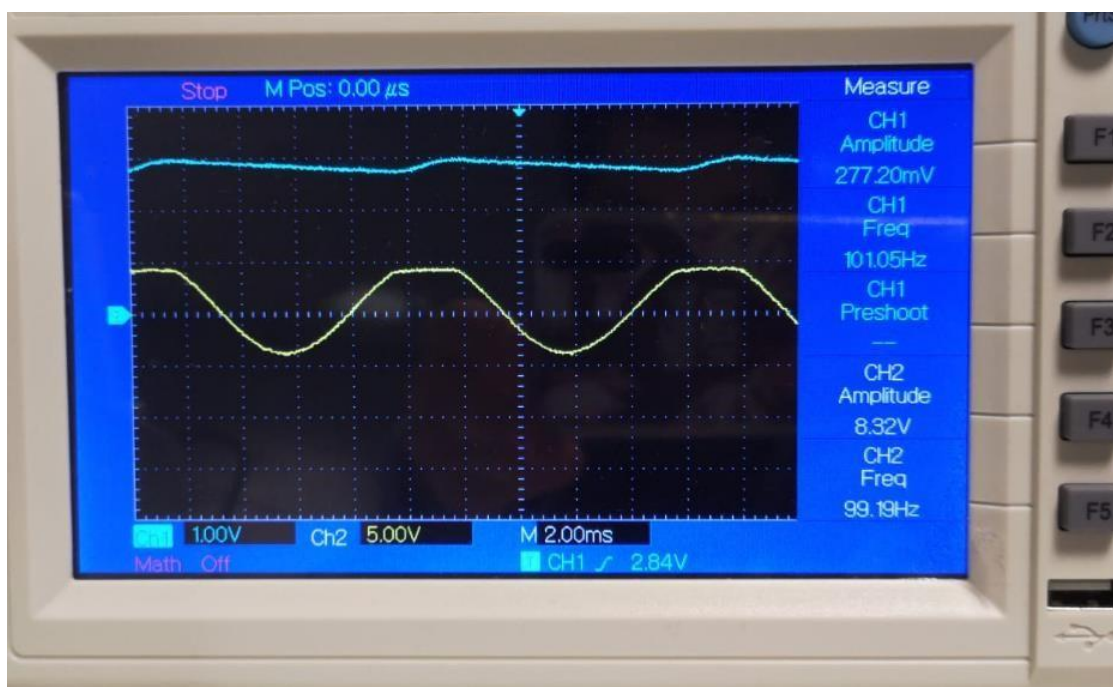
$$C = 100\mu F$$

**3.5.2 Faça a montagem do circuito e aplique na sua entrada a tensão  $v_i = 5 * \sin(2\pi \times 100 \times t)$  (Volt). Obtenha a respetivo sinal de saída.**



*Ilustração 30 Simulação circuito 100uF*

Validação resultados em contexto pratico:

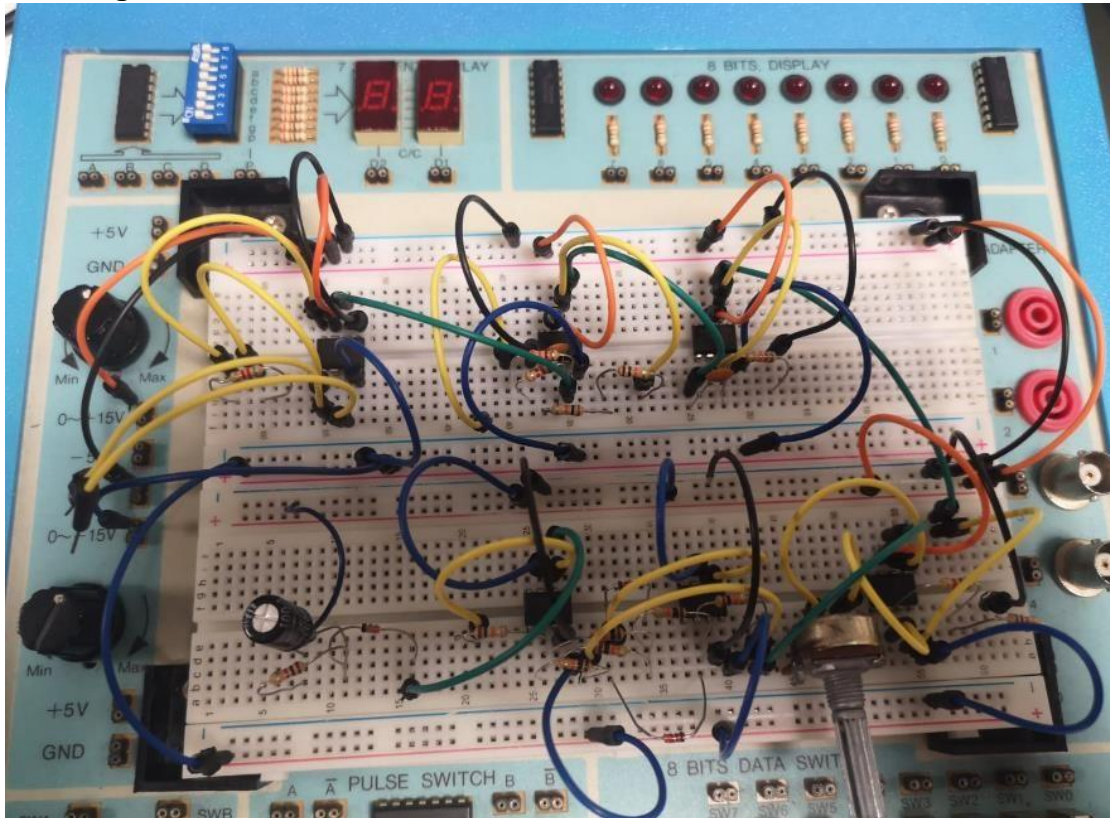


*Ilustração 31 Tensão de saída Detetor pico*



### 3.6 Montagem Global do Circuito

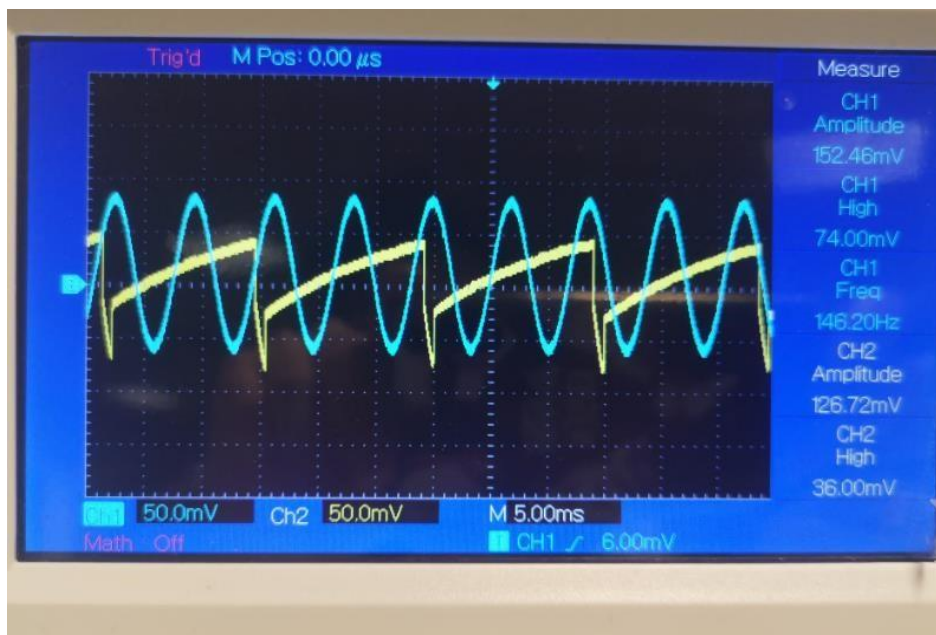
#### 3.6.1 Ligue em série todos os circuitos anteriores.



*Ilustração 32 Ligação serie todos os circuitos*

#### 3.6.2 Recolha sinal de Saída





*Ilustração 33 Verificação sinal de Saída*

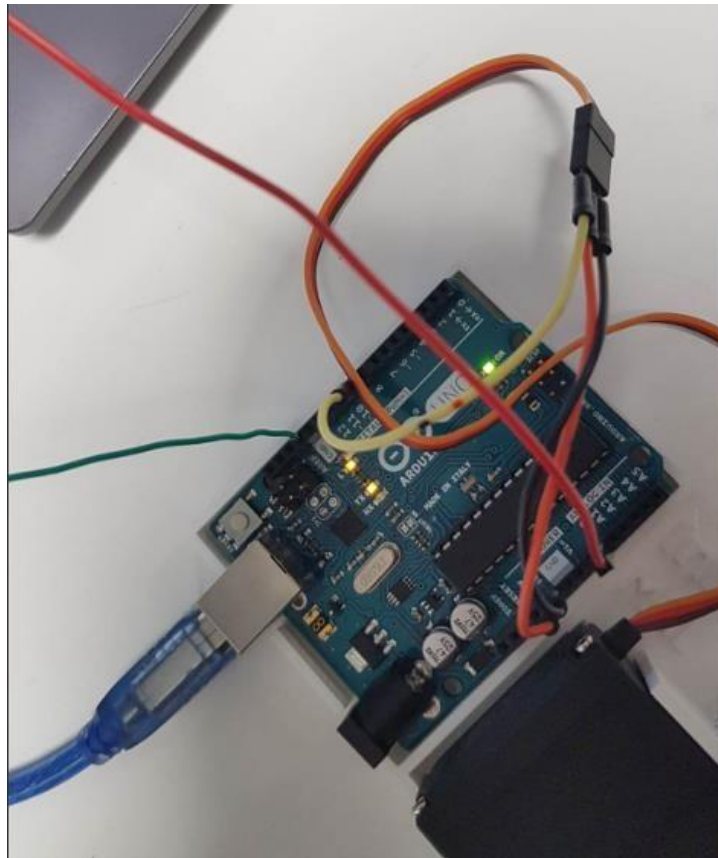
### 3.7 LIGAÇÃO À ORTOSE ROBÓTICA

```

1  #include <Servo.h>
2
3  Servo myservo; // Criação do objecto Servo
4
5  int potpin = A1; // Declaração do Pino Analogico para ligação do Potenciometro
6  int Analogread1; // Variavel responsavel pela leitura da porta Alogica
7
8  void setup() {
9      myservo.attach(7); // Seleção do pino 7 para o controlo arduino
10     Serial.begin(9600);
11 }
12
13 void loop() {
14     Analogread1 = analogRead(potpin); // leitura do valor analogico (value between 0 and 1023)
15     Serial.println(Analogread1);
16     val = map(val, 200, 1023, 0, 110); // Escala do servo
17     myservo.write(val);
18     delay(100); // Delay para o servo
19 }

```

*Ilustração 34 Código Arduino*



## 4 Conclusões

Em jeito de Conclusão o grupo partilha da mesma opinião, foi sem dúvida uma atividade que enriqueceu conhecimentos de todos elementos do mesmo.

É sem dúvida gratificante ver a vertente teórica quando aplicada ir de encontro a tudo que foi feito na prática e levar assim a conclusões assertivas e a resultados esperadas.

O grupo ficou com a ideia que este foi um trabalho não conseguido a 100%, ficou com a sensação que em relação ao primeiro trabalho pratico correu pior não conseguindo atingir todos os objetivos, mas por outro lado sentimos que o que foi feito foi sem dúvida impactante para a consolidação daquilo que foi falado ao longo da cadeira Eletrónica II, especialmente na última parte da UC, que diz respeito aos filtros osciladores entre outros.

O tema teve um impacto positivo uma vez que levou o grupo a várias horas de pesquisa e análise para que fossem aplicados os conceitos certos em prática levando assim resultados assertivos, o que por outro lado levou a algumas limitações como por exemplo resultados que na prática era esperado uma semelhança com a teoria o que por vezes não foi possível.

Dentro daquilo que o grupo conseguiu fazer sentimos que foi um trabalho bem feito e debatemos até ao final para que os melhores resultados fossem apresentados.

## Bibliografia

- [1] Material de apoio da cadeira.
- [2] <https://training.ti.com/introduction-op-amps?context=1139747-1139745-14685-1138796>
- [3] <https://training.ti.com/ti-precision-labs-op-amps-slew-rate-introduction>
- [4] <https://professoreletrico.com/posts/teoria/realimentacao-feedback/>.
- [5] <https://ti.com/op-amps-bandwidth-theory?context=1139747-1139745-14685-1138800>
- [6] <http://cadeiras.iscte.pt/cse/Folhas/AMPOPs/AMPOPs.htm>, <consultado a 12-12-2011>

- [7] [https://www.lsi.usp.br/~roseli/www/psi2307\\_2004-Teoria-7-AmpOp.pdf](https://www.lsi.usp.br/~roseli/www/psi2307_2004-Teoria-7-AmpOp.pdf)