

PROJETO INTEGRADOR III - MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS MUSCULARES

Projeto Integrador III
Comunicação e Expressão
Augusto Daniel Rodrigues

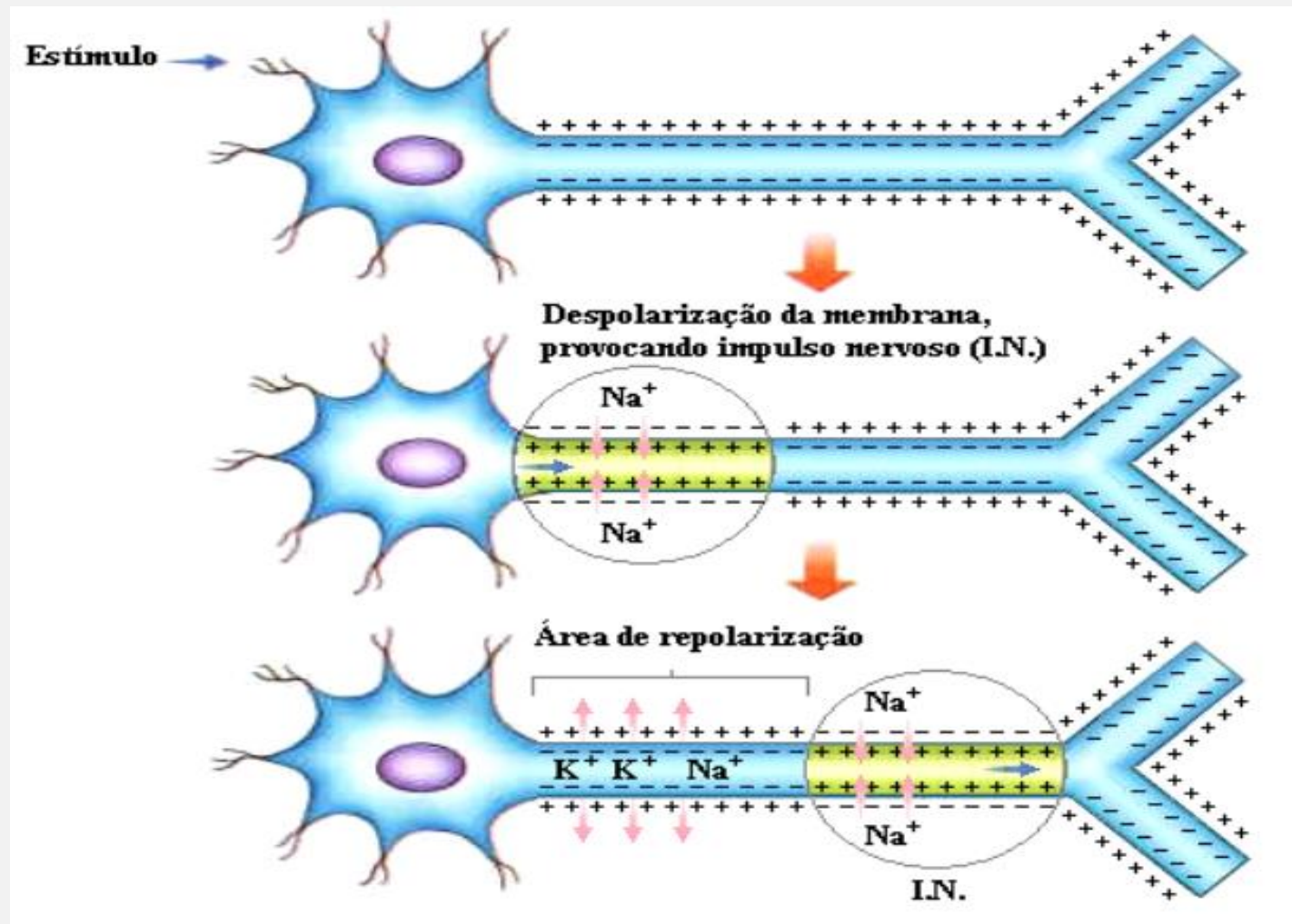
SUMÁRIO

- Sinais mioelétricos
- Condições de detecção de sinal
- Condicionamento de sinal
- Projeto dos blocos
- Esquemático, Layout e Hardware
- Testes dos blocos
- Referências

SINAIS MIOELÉTRICOS

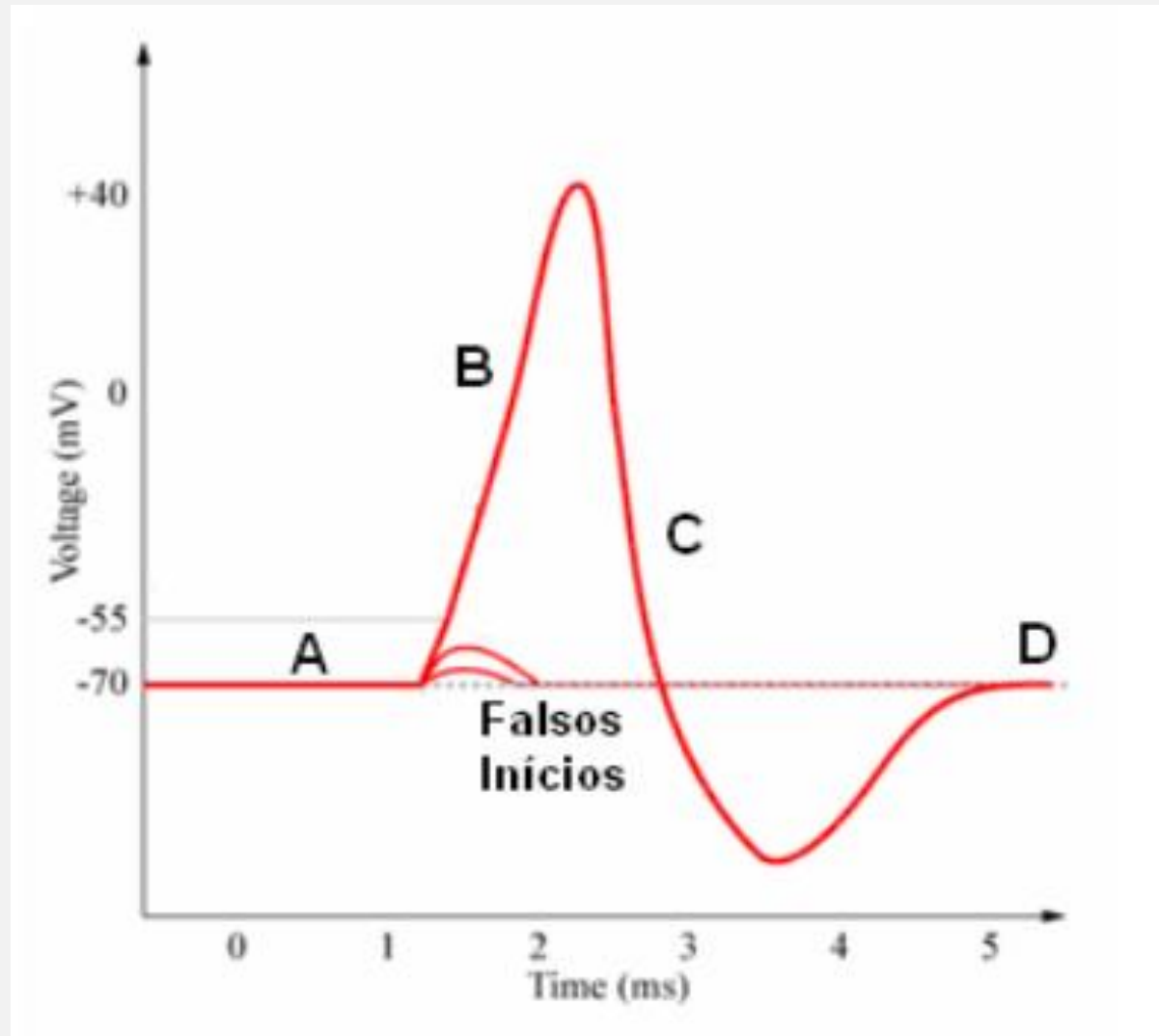
- Sinal sináptico -> axônio neuromotor -> potencial de ação;
- unidade motora;
- MUAP e MUAPT;
- Sinal EMG;

SINAIS MIOELÉTRICOS



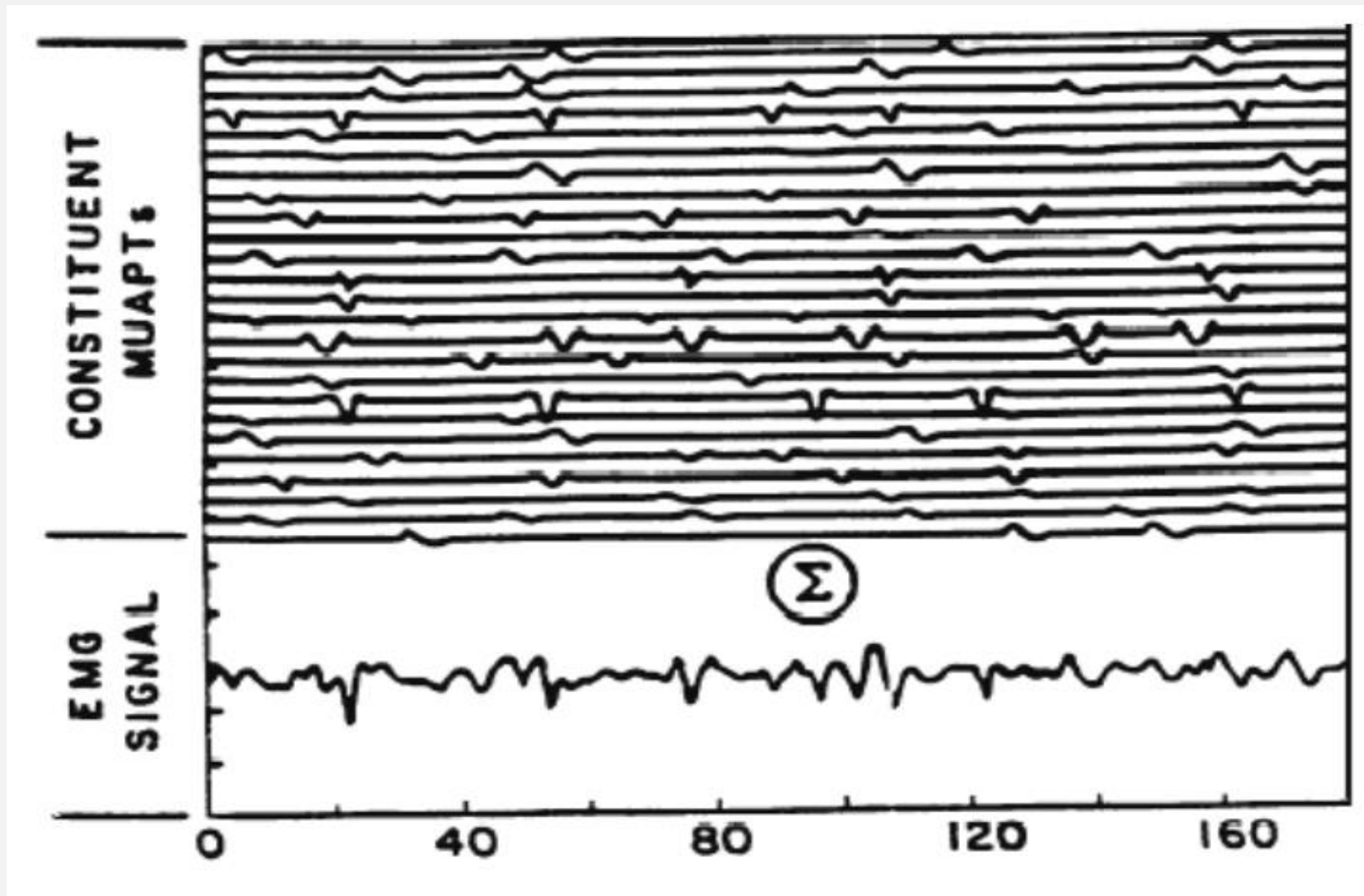
- Fonte: Vilela, 2004 apud Caparelli, 2007.

SINAIS MIOELÉTRICOS



- Fonte: Vilela, 2004 apud Caparelli, 2007.

SINAIS MIOELÉTRICOS



- Fonte: Basmajian; De Luca, 1985 apud Caparelli, 2007.

CONDIÇÕES DE DETECÇÃO DO SINAL

- Eletrodos de agulha x eletrodos de superfície;
 - Eletrodos passivos e ativos;
 - 10mVpp e 10kHz x 5mVpp 250 Hz;
- Ruídos e interferências;
- Posicionamento dos eletrodos;
 - Eletrodos de referência;
 - Arranjos monopolar, bipolar, etc;

CONDIÇÕES DE DETECÇÃO DO SINAL

- Ruídos e interferências;
 - Cross Talk;
 - Movimentos;
 - EMI (rede elétrica);
 - Componentes e técnicas de layout;

SINAIS MIOELÉTRICOS



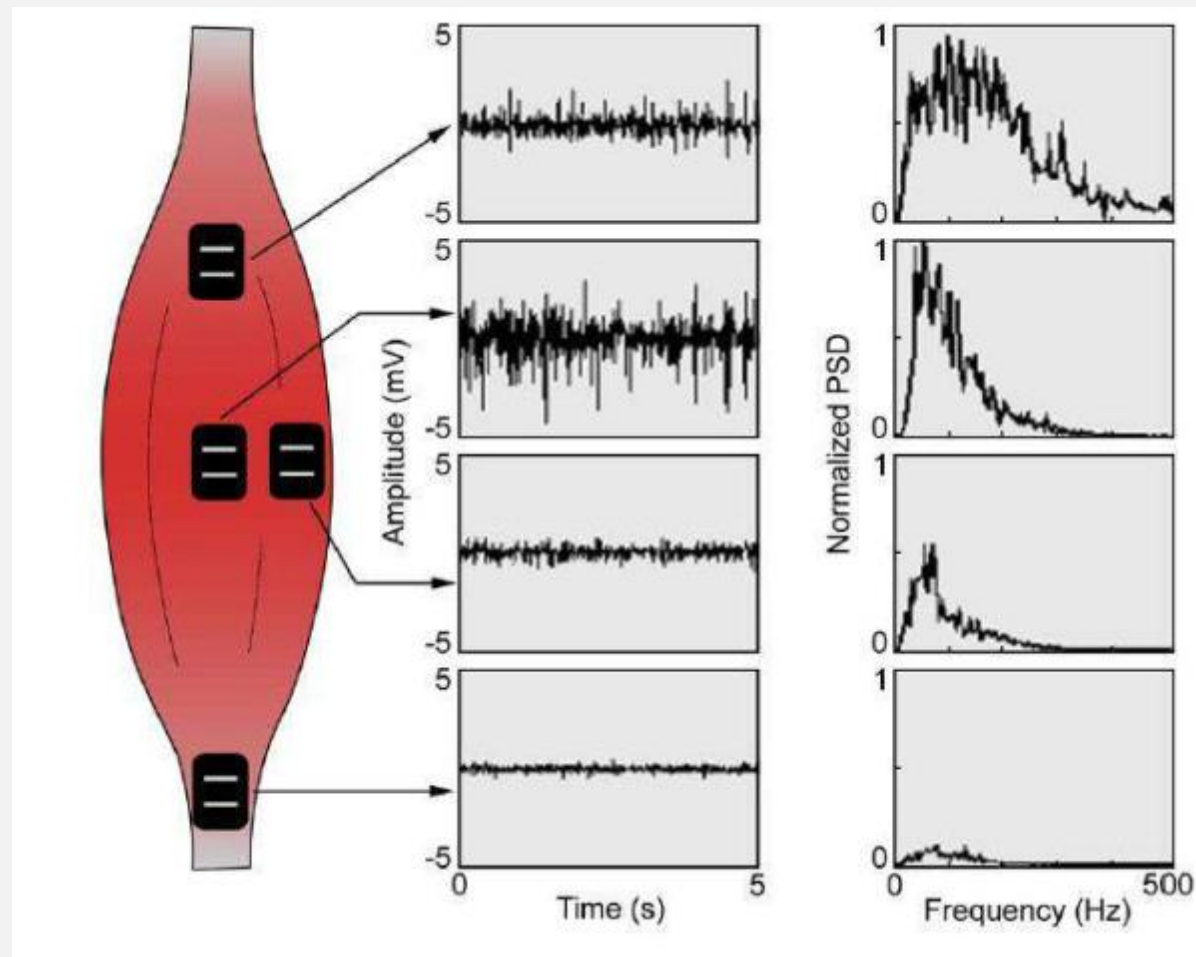
Fonte: Caparelli, 2007.

SINAIS MIOELÉTRICOS



Fonte : <https://www.primecirurgica.com.br/eletrodo-universal-red-dot-pct-c-50-unds-2570-3m-p760/>

SINAIS MIOELÉTRICOS



Fonte: Caparelli, 2007.

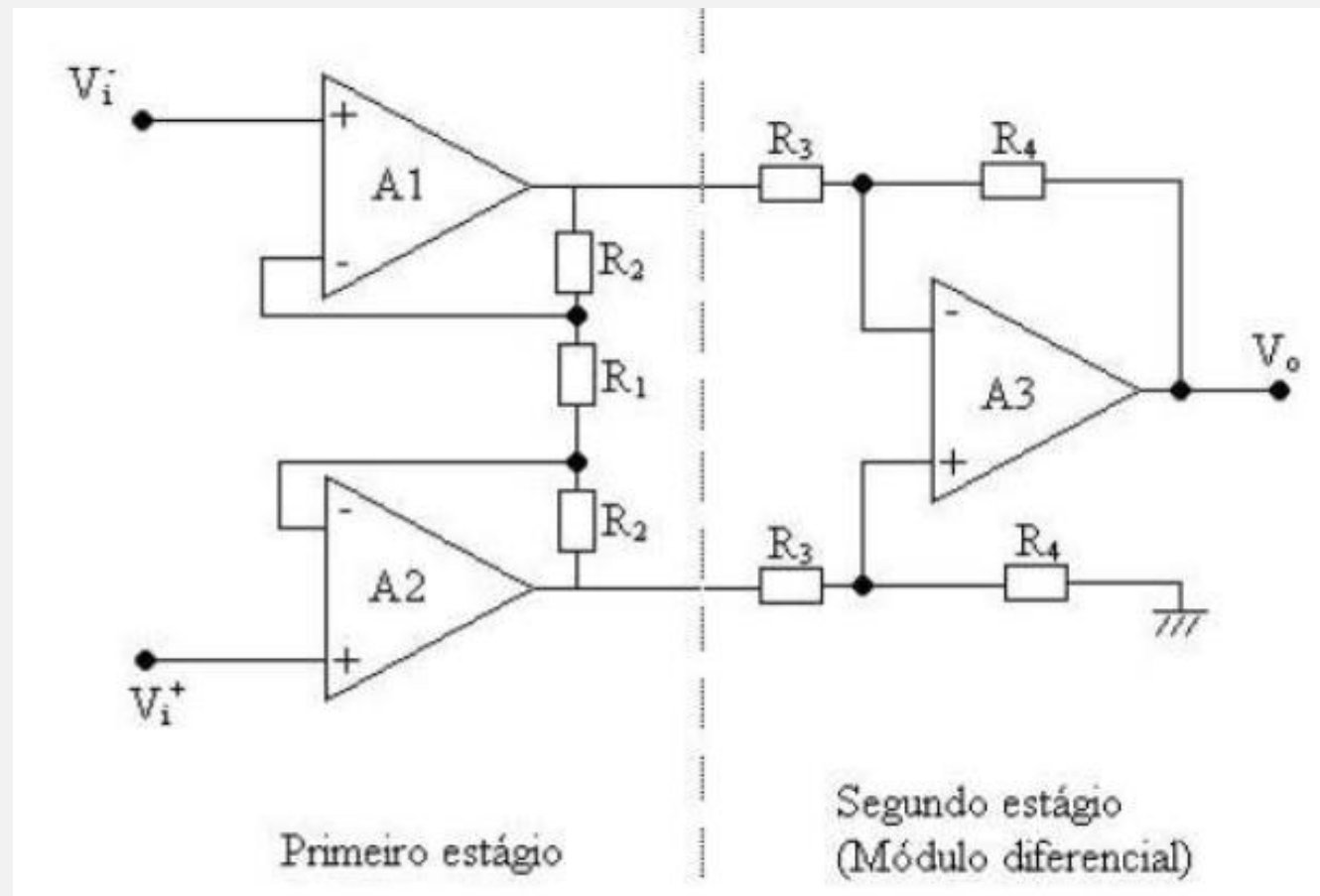
CONDICIONAMENTO DO SINAL

- Amplificação do sinal;
- Filtragem em frequência;
- Offset DC;
- Conversão Analógica-Digital;
- Processamento;
- Visualização;

CONDICIONAMENTO DO SINAL

- Amplificação do sinal;
 - Amplificador de Instrumentação
 - Amplificação diferencial;
 - Alto CMRR;
 - Ganho linear de até milhares de vezes;
 - Alta impedância de entrada;

CONDICIONAMENTO DO SINAL

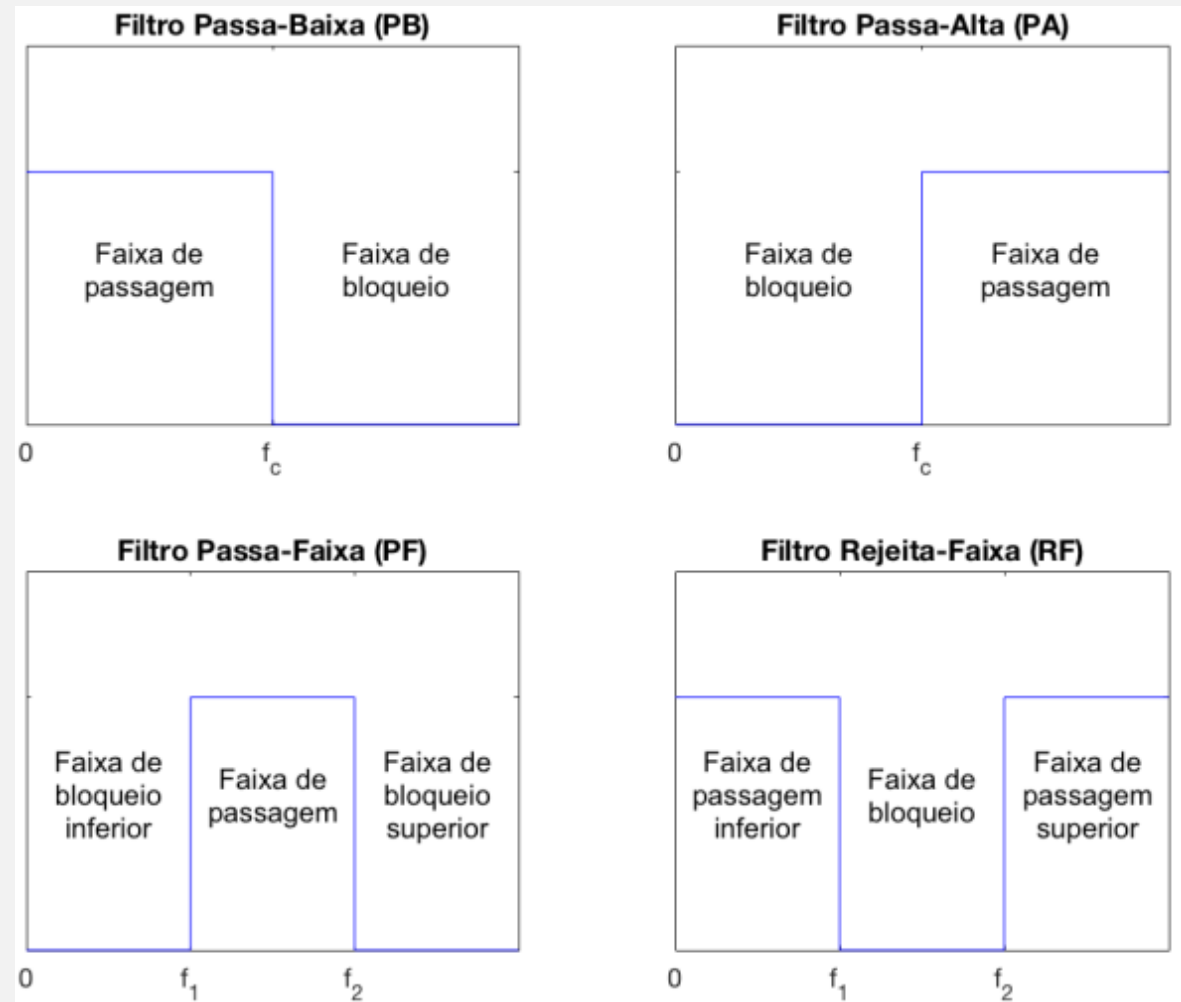


Fonte: FRANCO, 1998 *apud* PEPINO, 2007.

CONDICIONAMENTO DO SINAL

- Filtragem do sinal
 - Anulação ou permissão do prosseguimento de um sinal em função de sua frequência;

CONDICIONAMENTO DO SINAL

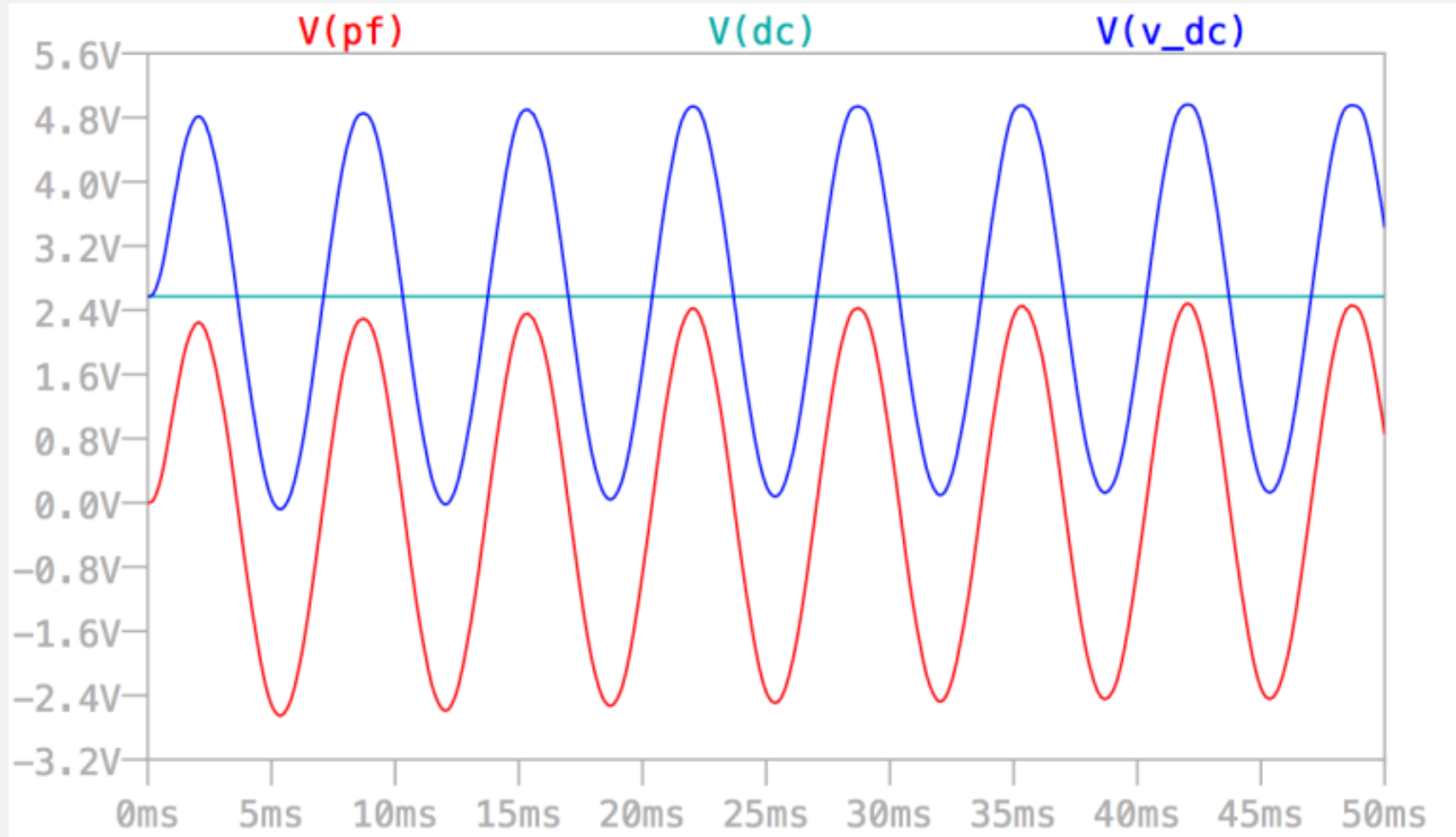


Fonte: LIMOLI (2017, p. 37).

CONDICIONAMENTO DO SINAL

- Offset DC
 - Elevação do nível de tensão do sinal;
 - Sinal contínuo;
 - Intervalo totalmente positivo (≥ 0);

CONDICIONAMENTO DO SINAL

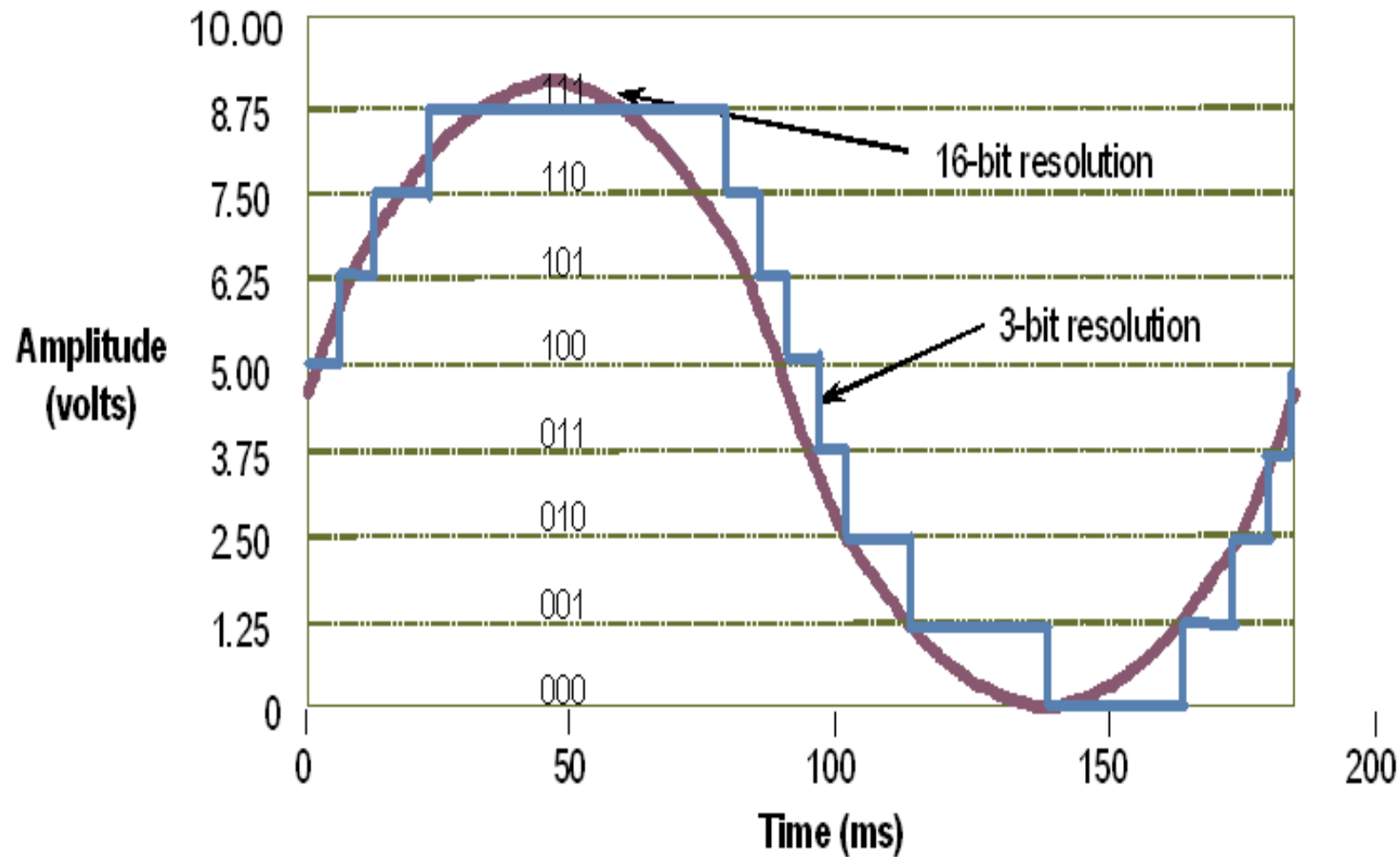


Fonte: LIMOLI (2017, p. 57).

CONDICIONAMENTO DO SINAL

- Conversão Analógica-Digital
 - Conversão de um nível de tensão para um conjunto de bits;
 - Janela de conversão (1.1 V, 3.3 V, 5 V);
 - Resolução da Conversão (nº de bits);
 - Taxa de amostragem;

CONDICIONAMENTO DO SINAL

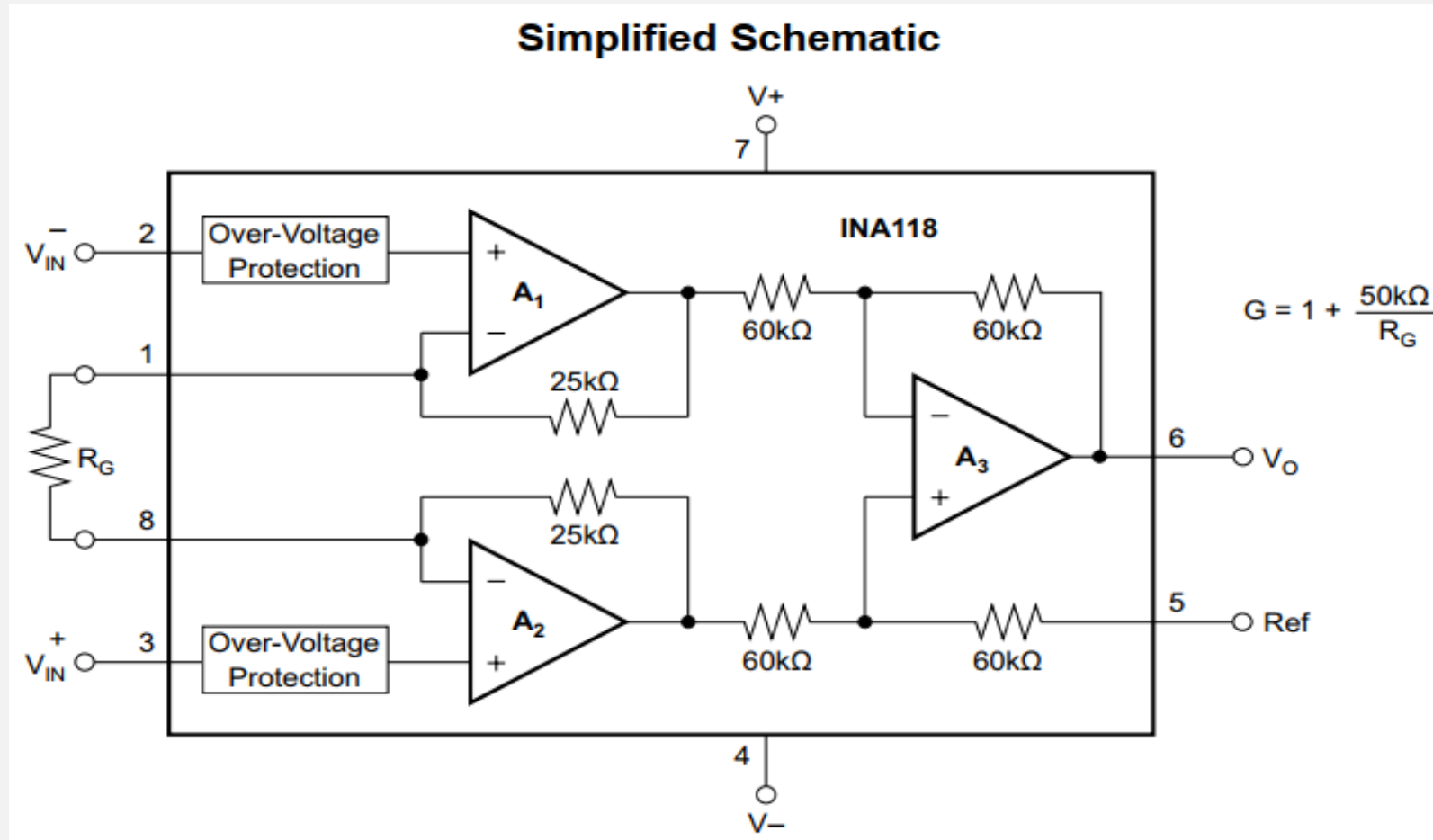


PROJETO DOS BLOCOS

- Pré-requisitos / Parâmetros de projeto
 - Conversão AD de 3.3V 10 bits;
 - Offset DC de 1,65V;
 - Janela de frequência de 25 Hz a 250 Hz;
 - Considerar sinais da ordem de |250uV| à |5mV|;
 - Ampop de instrumentação disponível = INA118;
 - Ampop para demais circuitos = LM324N;
 - Alimentação simétrica |5V| (regulada de baterias de 9V);

PRÉ-AMPLIFICADOR + PASSA-ALTA

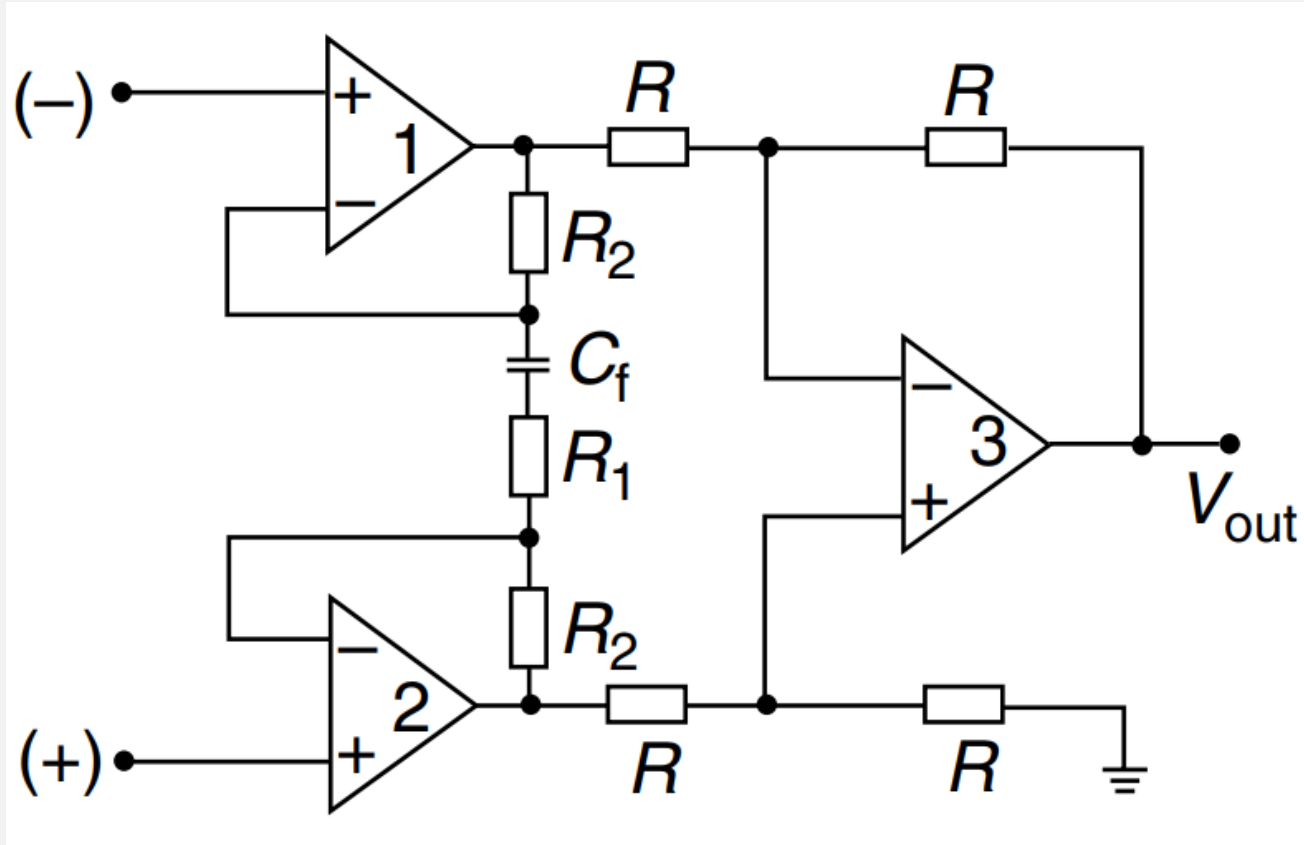
$G = 51$,
logo $R_G = 1\text{k}\Omega$;



Fonte : Datasheet INA118. Disponível em : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina118.pdf>.


PRÉ-AMPLIFICADOR + PASSA-ALTA

- Topologia Quase-high pass



$$G = 1 + \frac{2R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}}$$

PRÉ-AMPLIFICADOR + PASSA-ALTA

 filtro PA.sce (G:\Meu Drive\IFSC\Engenharia\2018_1\Projeto Integrador III\Calculos e projetos\filtro PA.sce) - SciNotes


Arquivo Editar Formatar Opções Janela Executar ?



filtro PA.sce (G:\Meu Drive\IFSC\Engenharia\2018_1\Projeto Integrador III\Calculos e projetos\filtro PA.sce) - SciNotes

filtro PA.sce 

```
1 f = -25;  
2 w = -2 * %pi * f;  
3 G = -51;  
4 R1 = -1000;  
5 C = -sqrt((-1) / ((w^2) * (((sqrt(2) - + -2 * sqrt(2)) / G) - (R1^2))))
```

 Scilab 5.5.2 Console

Arquivo Editar Controle Aplicativos ?



Scilab 5.5.2 Console

Execução de iniciação:

carregando o ambiente inicial

```
-->exec('G:\Meu Drive\IFSC\Engenharia\2018_1\Projeto Integrador III\Calculos e projetos\filtro PA.sce', -1)
```

```
-->C
```

```
C =
```

```
0.0000064
```

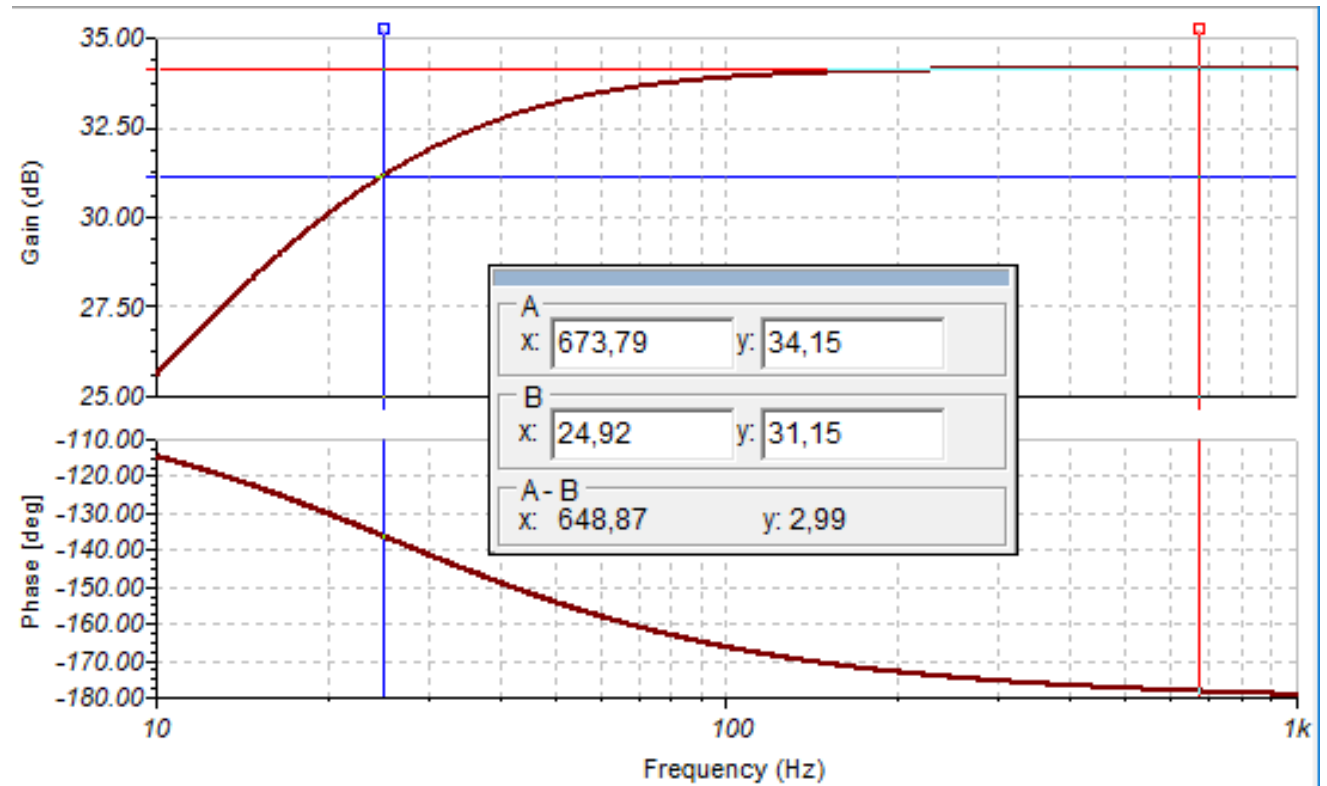
Fonte: Do autor.

PRÉ-AMPLIFICADOR + PASSA-ALTA

- Ganho = 51;
- Frequência de corte inferior = 25 Hz;
- $C = 7 \mu\text{F}$;

PRÉ-AMPLIFICADOR + PASSA-ALTA

- Simulação
- $34,15 = 20 \cdot \log(51)$
- $31,15 = 20 \cdot \log(51/\sqrt{2})$
- -3 dB;

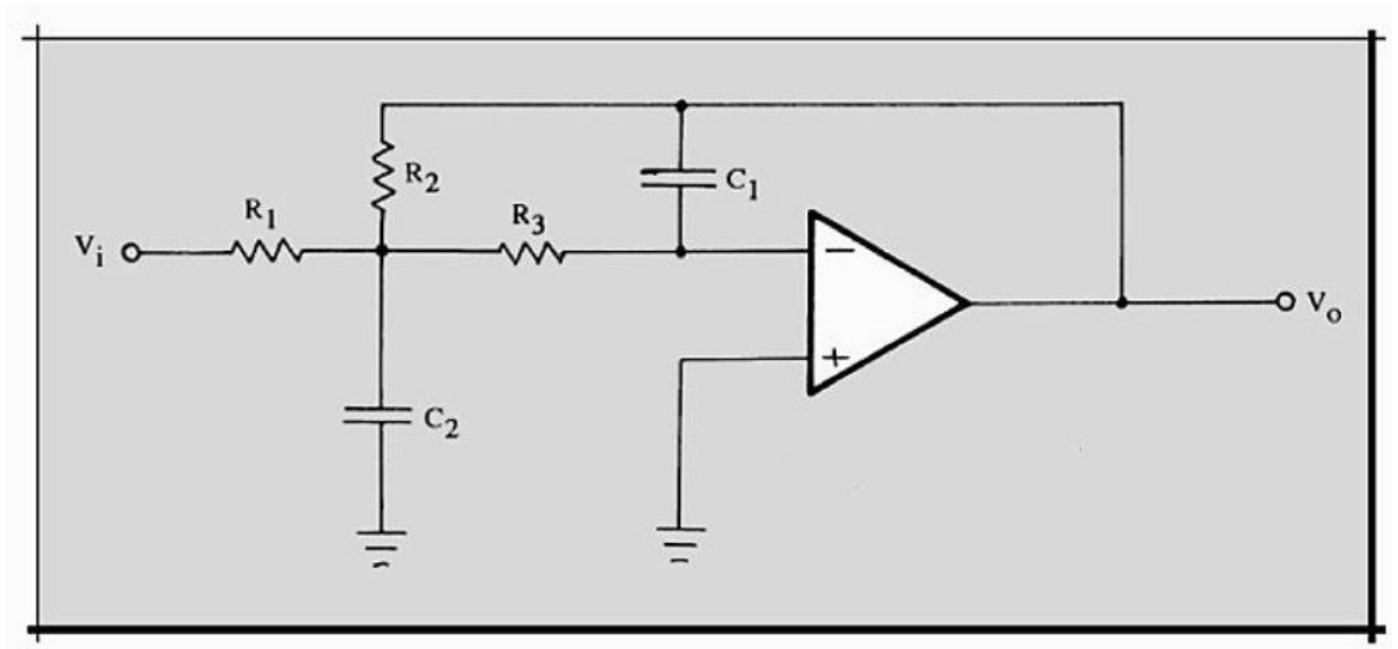


Fonte: Do autor.

PASSA-BAIXA

- Ganho = 12,5;
- Filtro ativo de 2ª ordem Multiple Feedback com aproximação Butterworth;
- Frequência de corte superior = 250 Hz;

PASSA-BAIXA



Fonte: PERTENCE JR, Antônio (2003, p.184).

PASSA-BAIXA

PROJETO DE FILTRO PASSA-BAIXA DE 2ª ORDEM FSM COM APROXIMAÇÃO BUTTERWORTH

$$k := 12,5 \quad f_c := 250 \text{ Hz} \quad n := 2 \quad a := \sqrt{2} \quad b := 1$$

$$G := 20 \cdot \log_{10}(k) = 21,9382$$

$$\omega_c := 2 \cdot 3,1415 \cdot f_c = 1570,75 \text{ Hz}$$

Cálculo dos Capacitores:

$$C2 := \frac{10}{f_c} = 0,04 \text{ s}$$

$$C2 := 39 \text{ nF}$$

$$C1 := \frac{a \cdot a \cdot C2}{4 \cdot b \cdot (k+1)} = 1,4444 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$C1 := 1,2 \text{ nF}$$

Cálculo dos resistores:

$$R2 := \frac{2 \cdot (k+1)}{\left(a \cdot C2 + \sqrt{a \cdot a \cdot C2 \cdot C2 - 4 \cdot b \cdot C1 \cdot C2 \cdot (k+1)}\right) \cdot \omega_c} = 2,2082 \cdot 10^5 \Omega$$

$$R2 := 220 \text{ k}\Omega$$

$$R1 := \frac{R2}{k} = 17600 \Omega$$

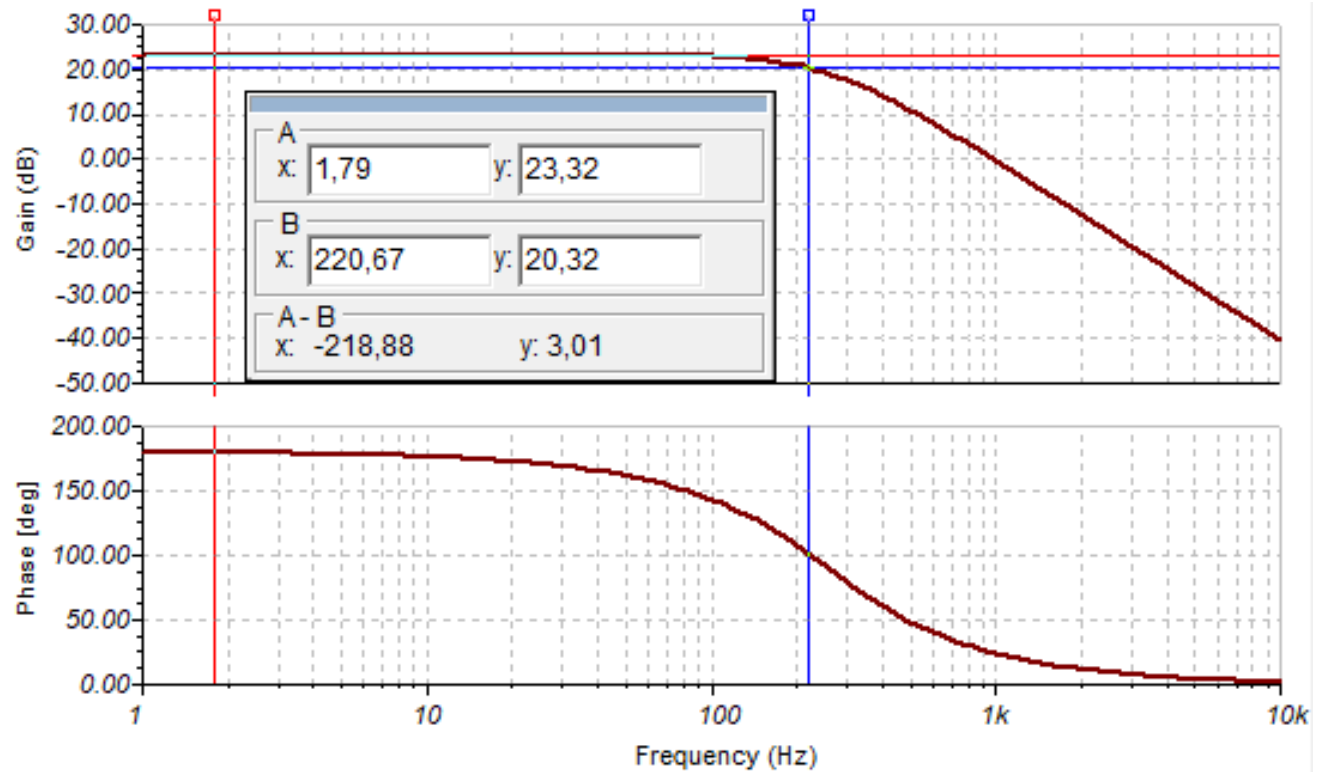
$$R1 := 18 \text{ k}\Omega$$

$$R3 := \frac{1}{b \cdot C1 \cdot C2 \cdot R2 \cdot \omega_c \cdot \omega_c} = 39365,6412 \Omega$$

$$R3 := 39 \text{ k}\Omega$$

PASSA-BAIXA

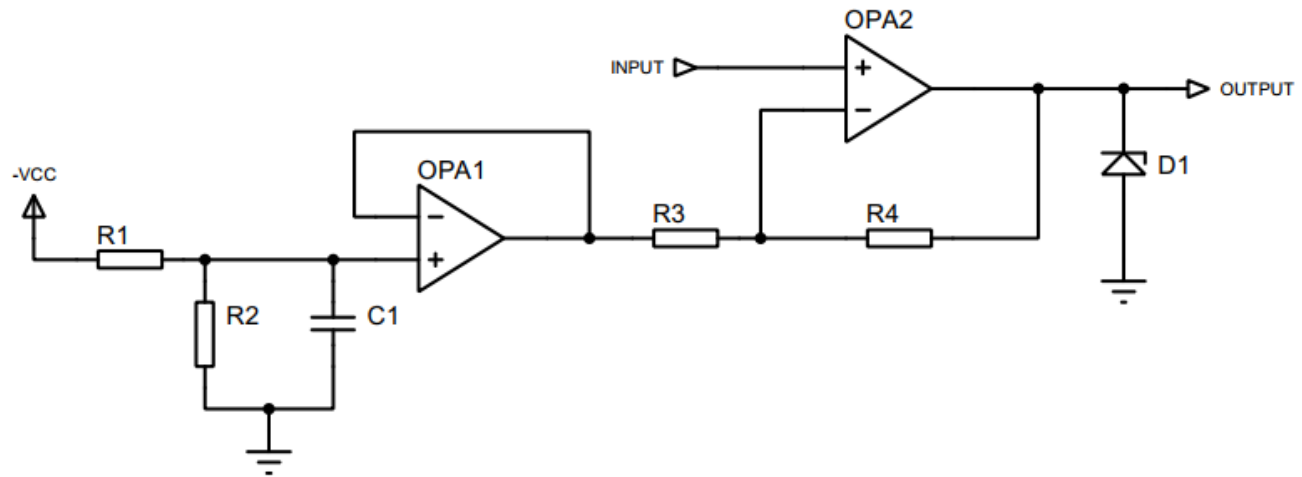
- Simulação:
- $G_s = 10^{(23,32/20)} = 14,65$
- Nova $f_c = 220$ Hz (OK!)
- Ampop LM324N;



Fonte: Do autor.

SOMADOR DC

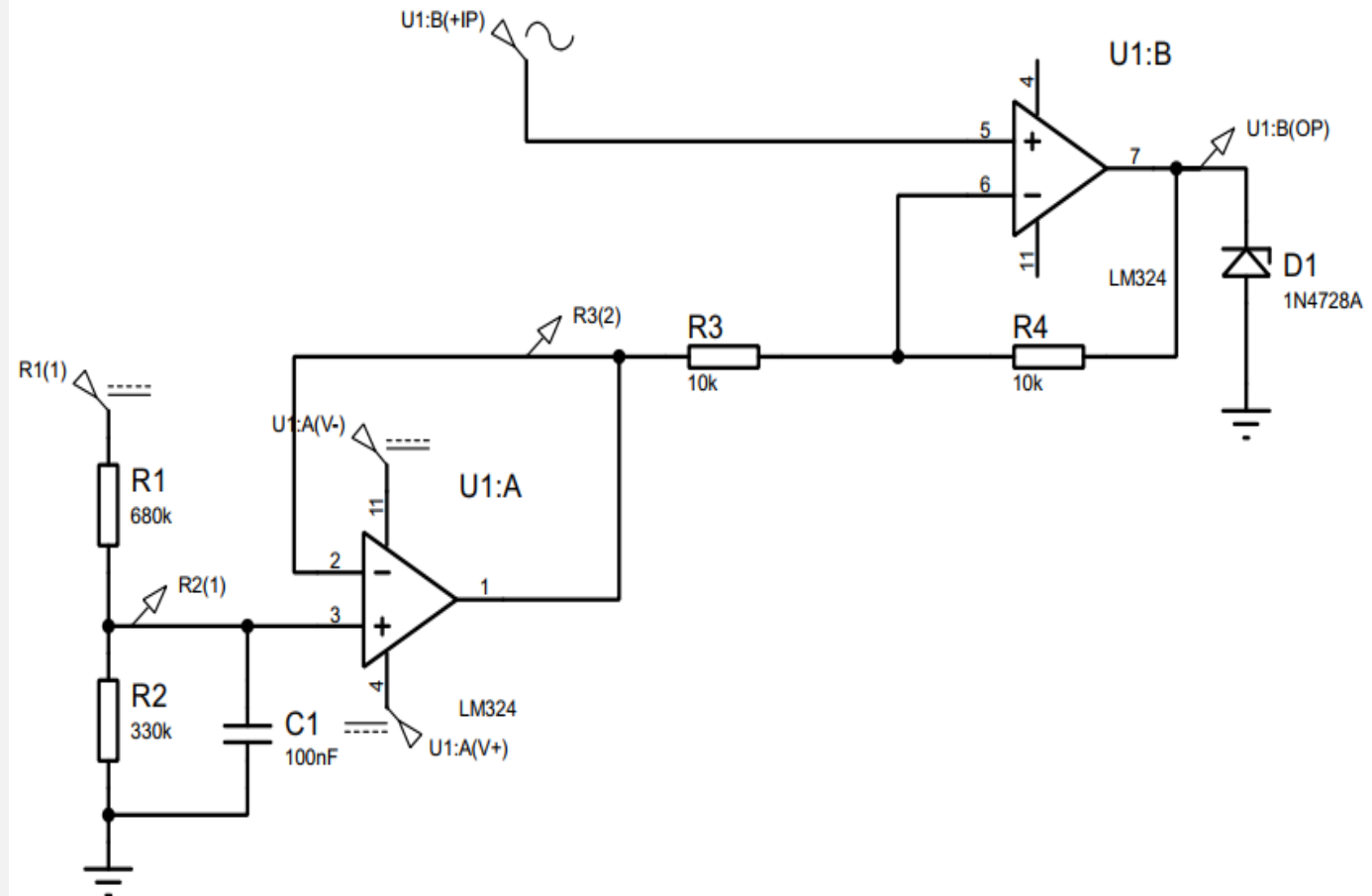
- Saída de 0 V a 3.3 V;
- Buffer + somador não inversor;
- Capacitor de estabilização;
- $V_{ref} = 1,65\text{ V}$;
- $V_{out} = 2*V_{in} + V_{ref}$, logo
- $-0,815\text{ V} < V_{in} < +0,815\text{ V}$
- Ampop LM324N;



Fonte: Do autor.

SOMADOR DC

- $V_{ref} = -V_{cc} * R2 / (R1 + R2);$
- $R1 = 2,03 * R2;$
- $R1 = 680k$ e $R2 = 330k, V_{ref} = 1,63 V;$



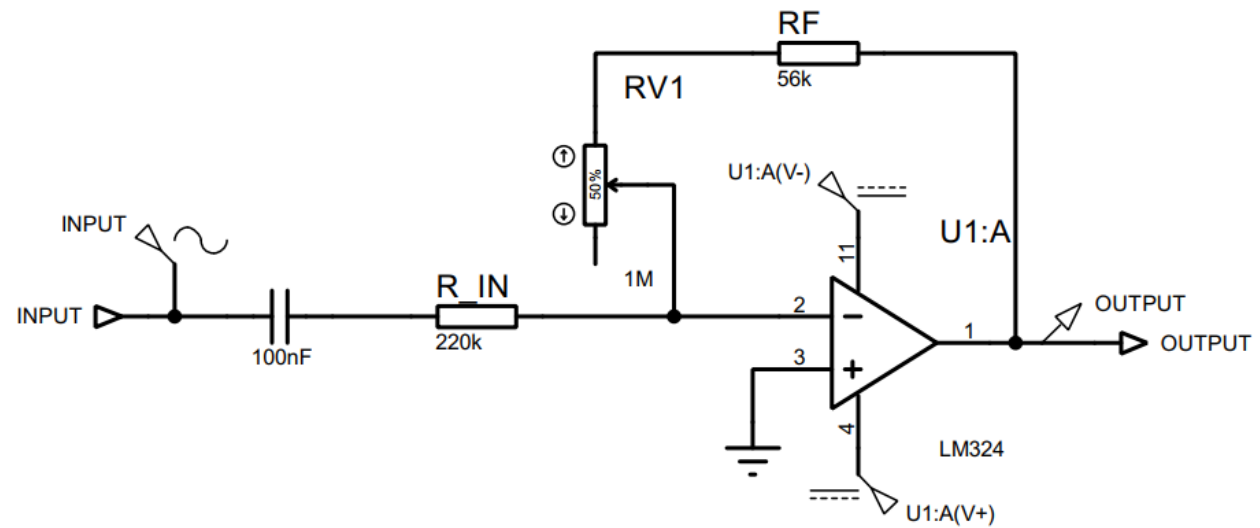
Fonte: Do autor.

AJUSTE DE GANHO

- Ganho do primeiro bloco = 51;
- Ganho do primeiro bloco = 12,5;
- Ganho em cascata = 637,5;
- Ganho máximo:
 - $|250\mu V| * 637,5 = 0,159375$;
 - $0,815 / 0,159375 = 5,11$;
- Ganho mínimo:
 - $|5mV| * 637,5 = 3,1875$;
 - $0,815 / 3,1875 = 0,256$;

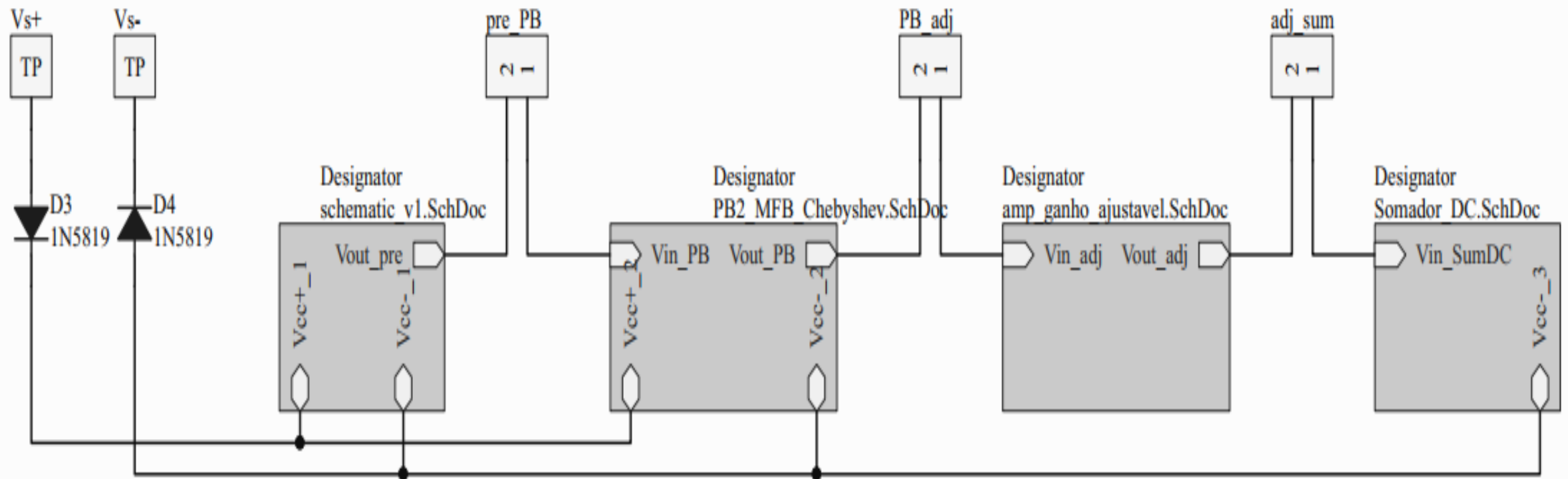
AJUSTE DE GANHO

- Capacitor de acoplamento AC;
- Situação 1:
 - $56k/220k = 0,254$;
- Situação 2:
 - $1056k/220k = 4,8$;



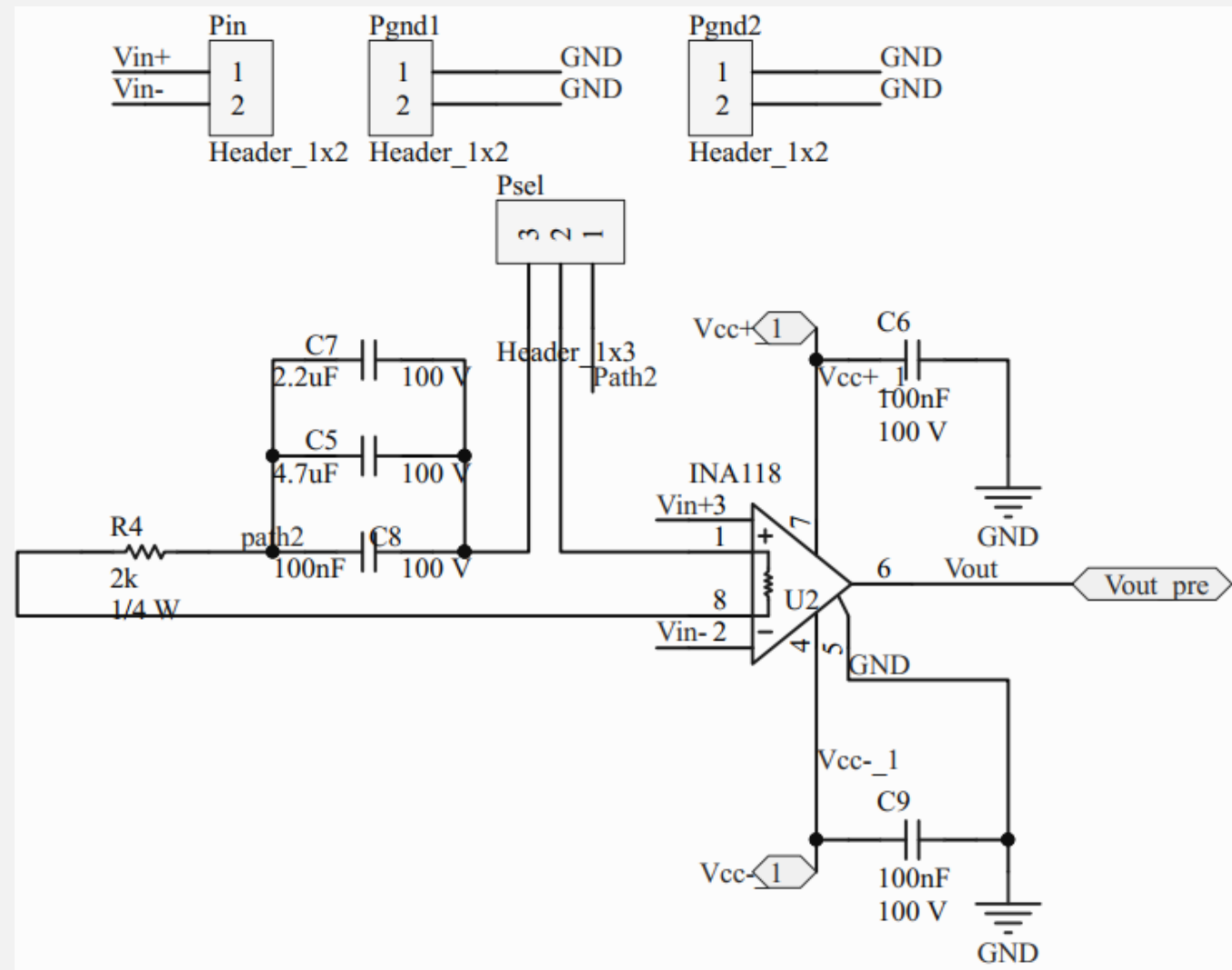
Fonte: Do autor.

ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE



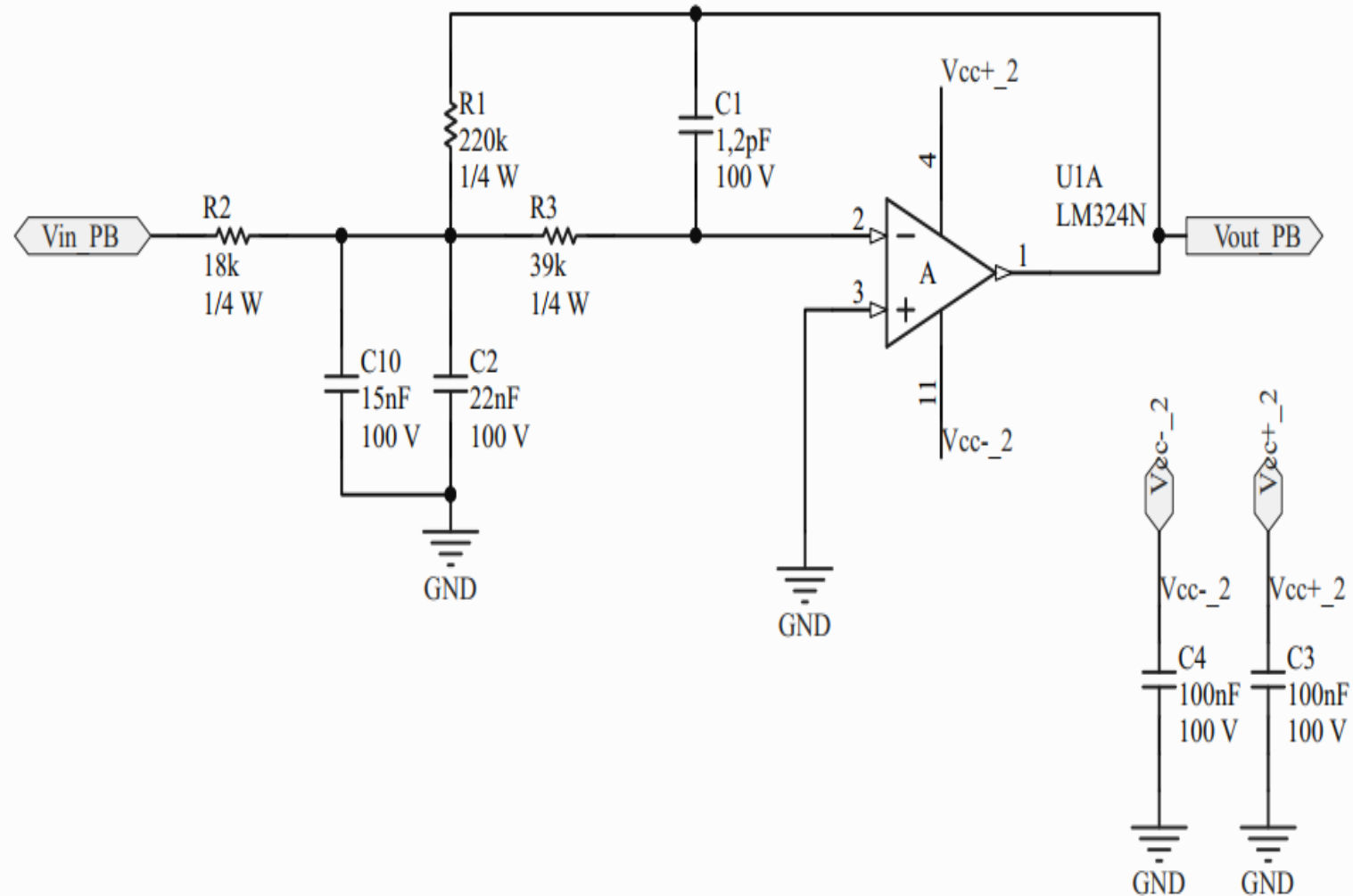
Fonte: Do autor.

ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE

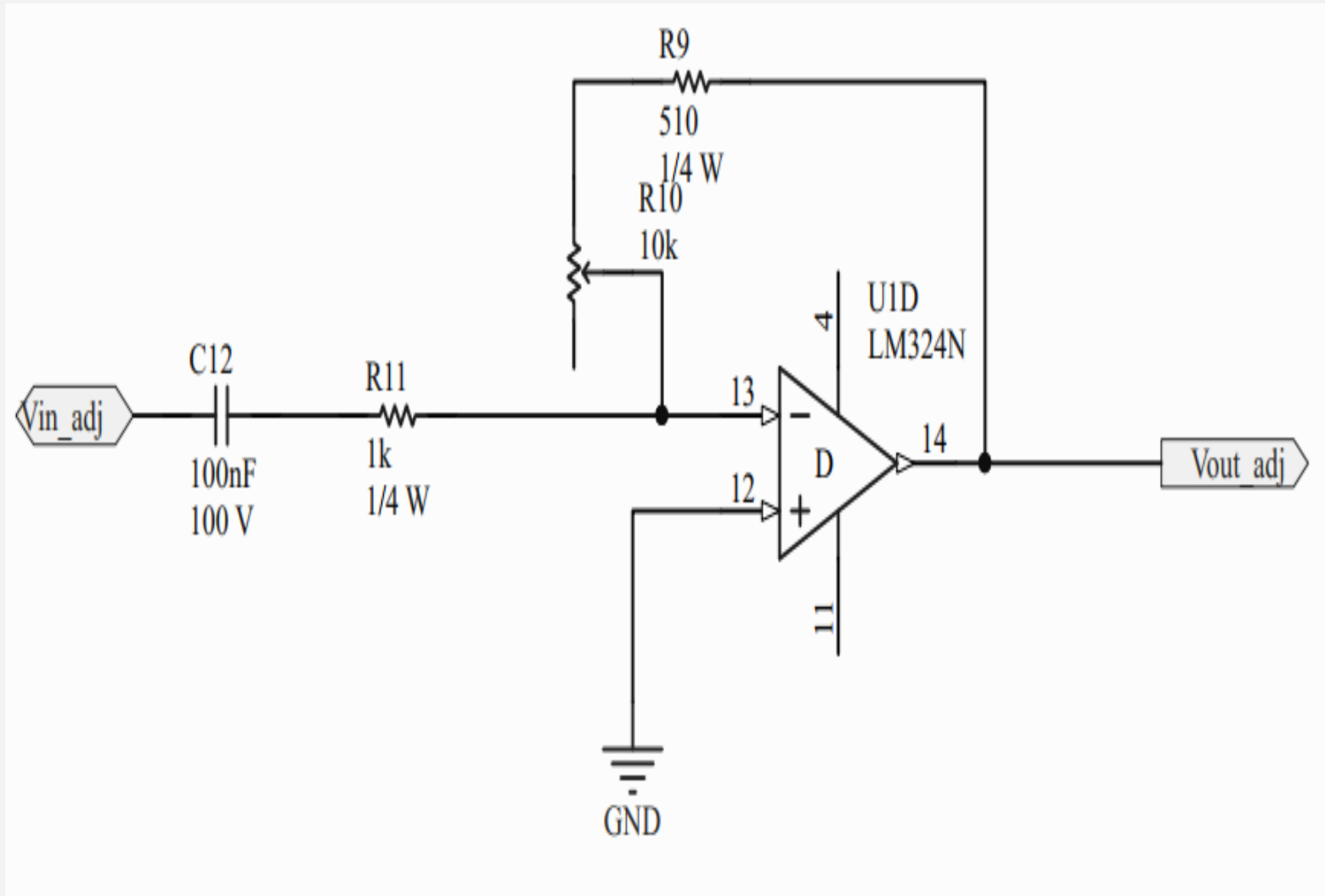


Fonte: Do autor.

ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE

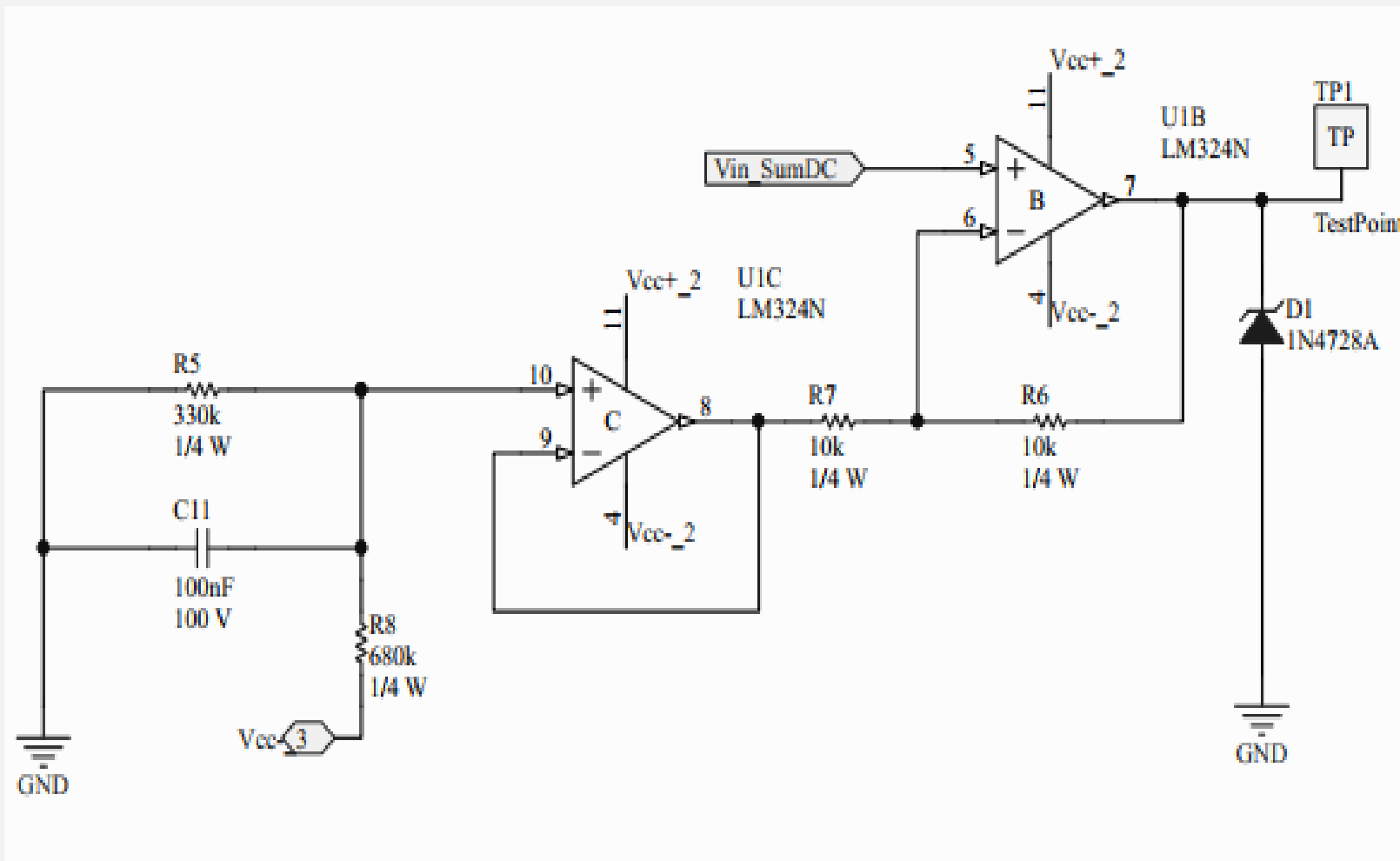


ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE



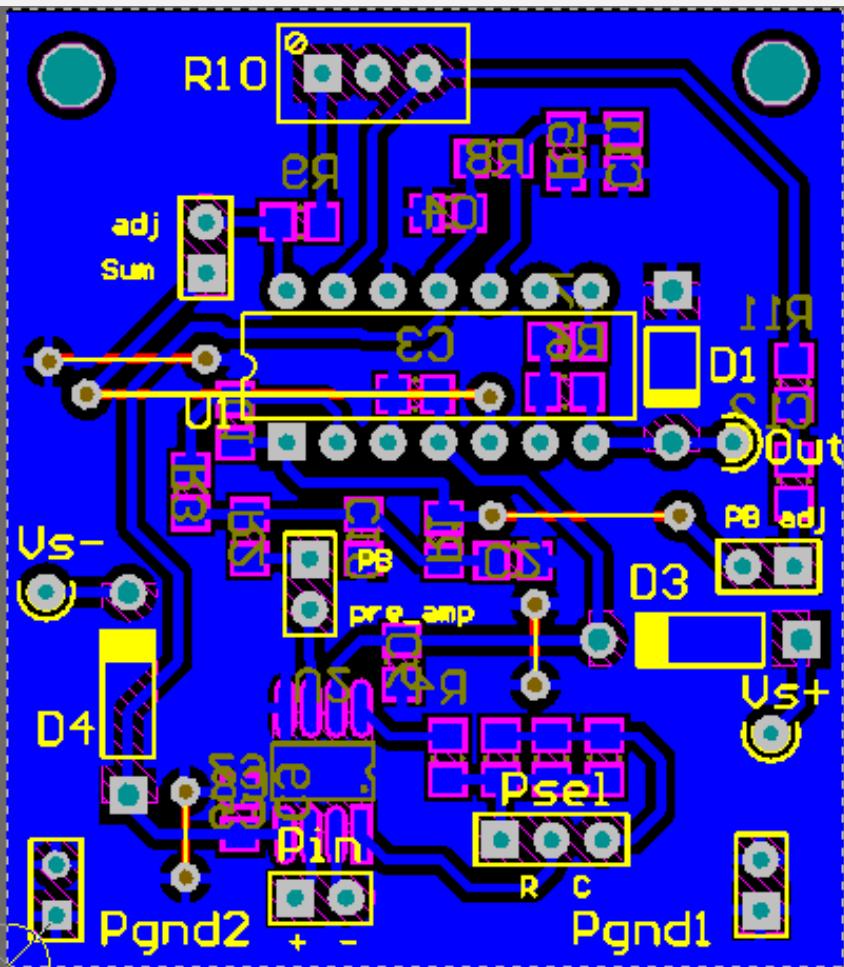
Fonte: Do autor.

ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE

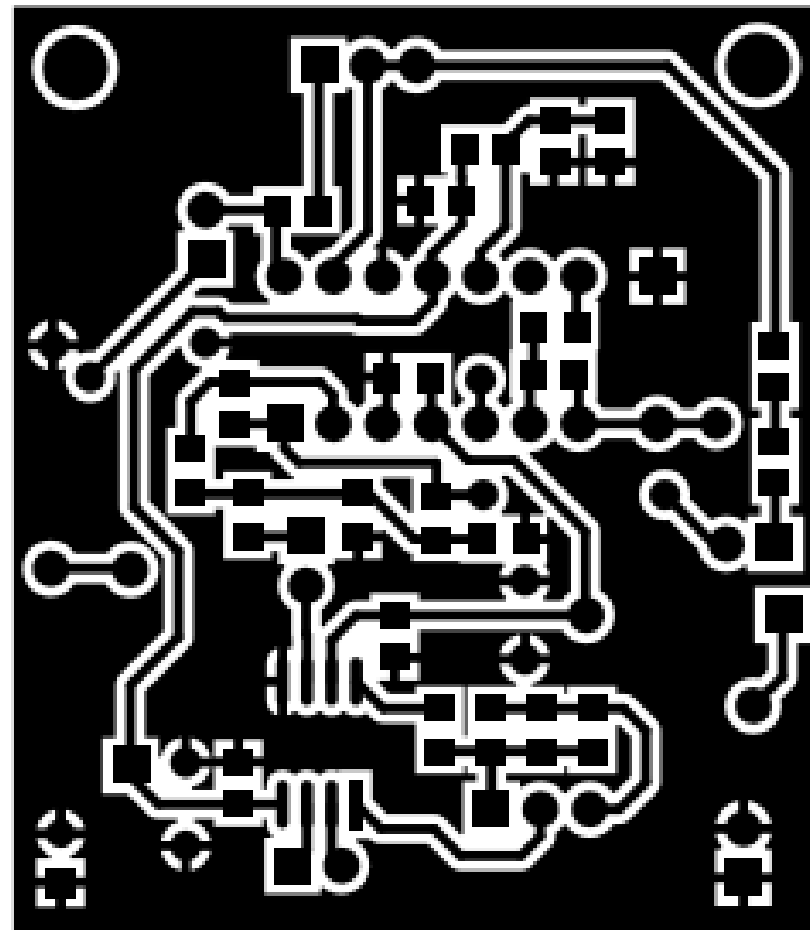


Fonte: Do autor.

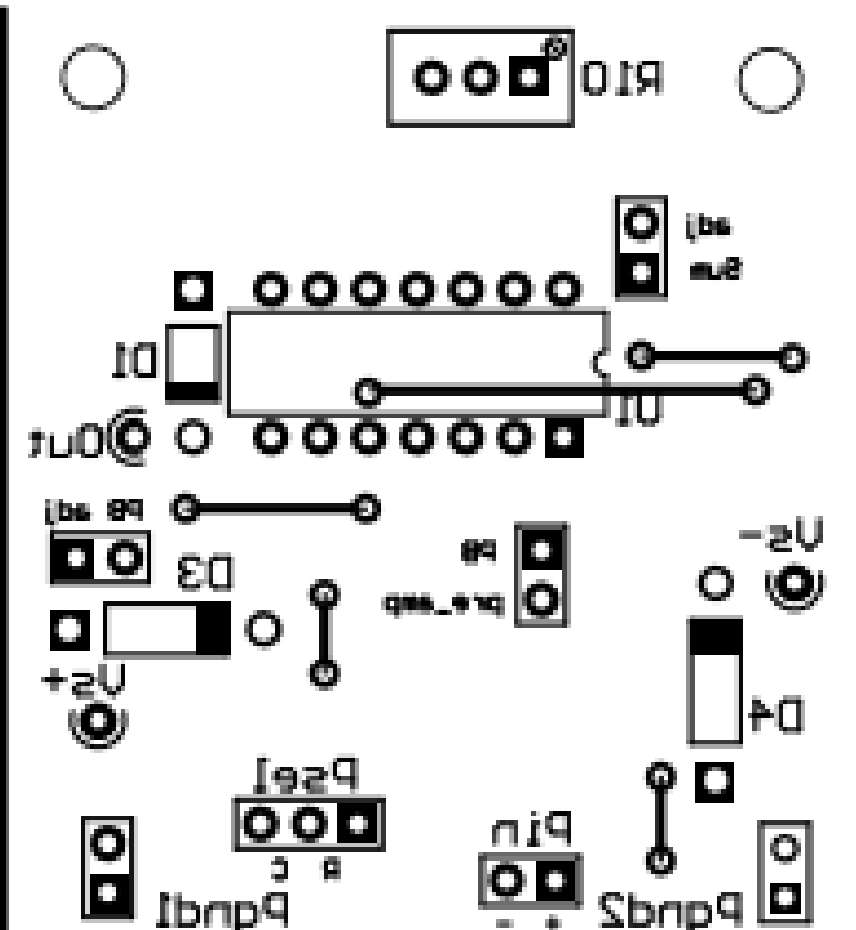
ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE



Fonte: Do autor.

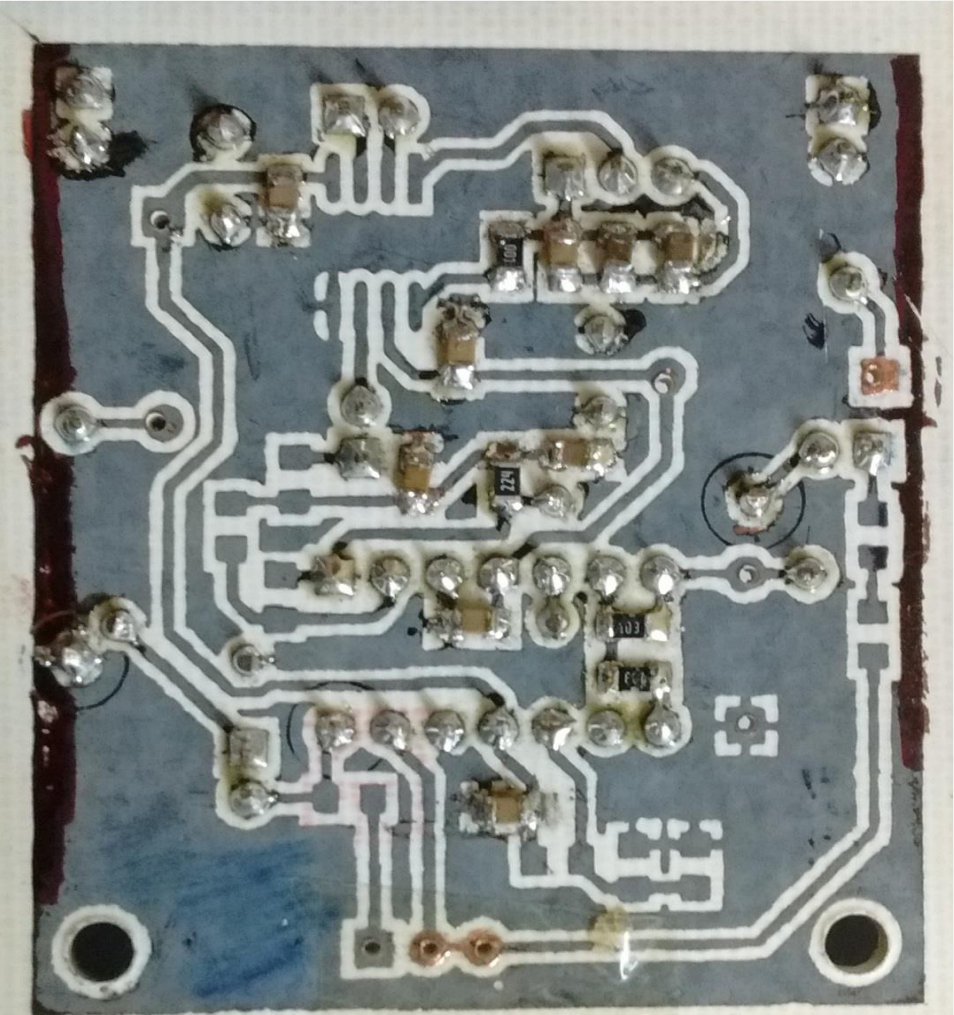


Fonte: Do autor.

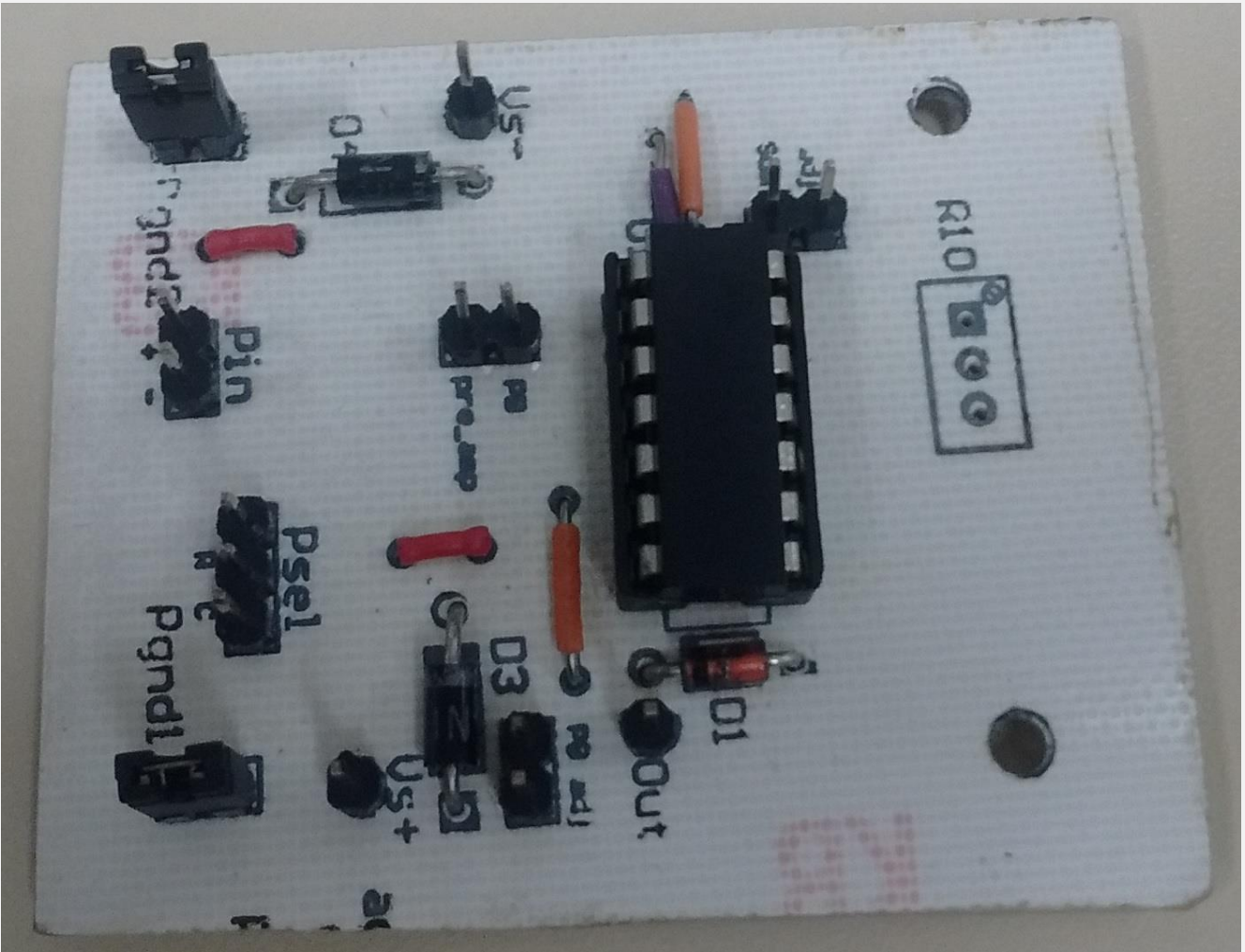


Fonte: Do autor.

ESQUEMÁTICO, LAYOUT E HARDWARE



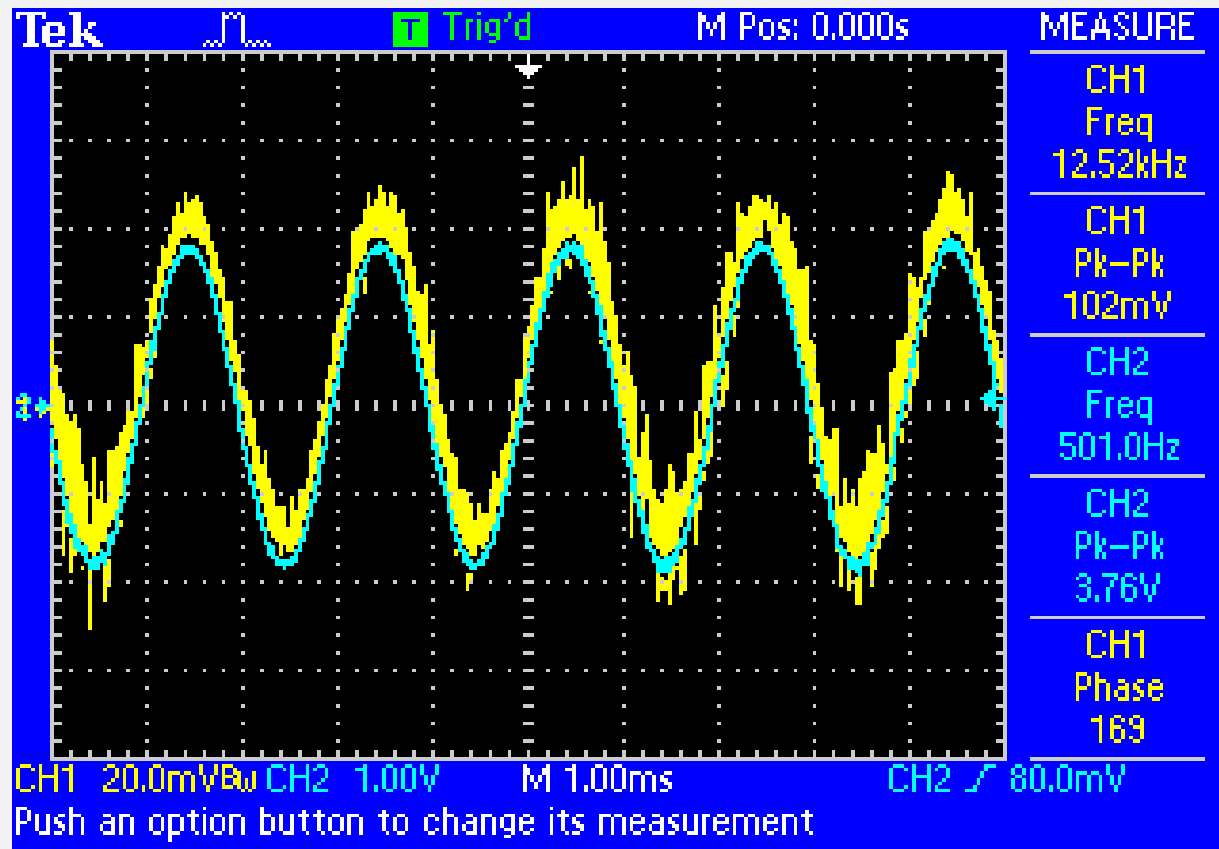
Fonte: Do autor.



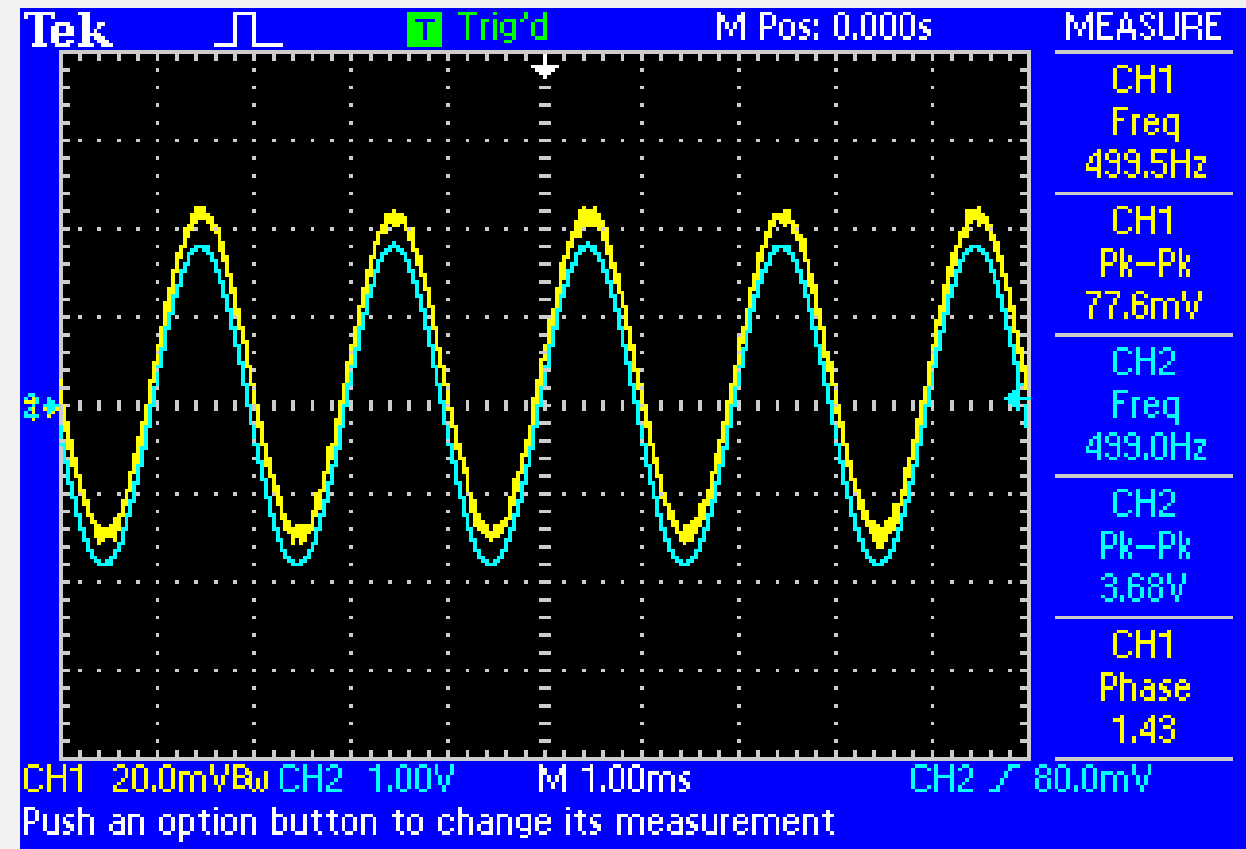
Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Pré-amplificador + passa-alta:
- $3,68 / 77,6e-3 = 47,42$;
- 500 Hz;



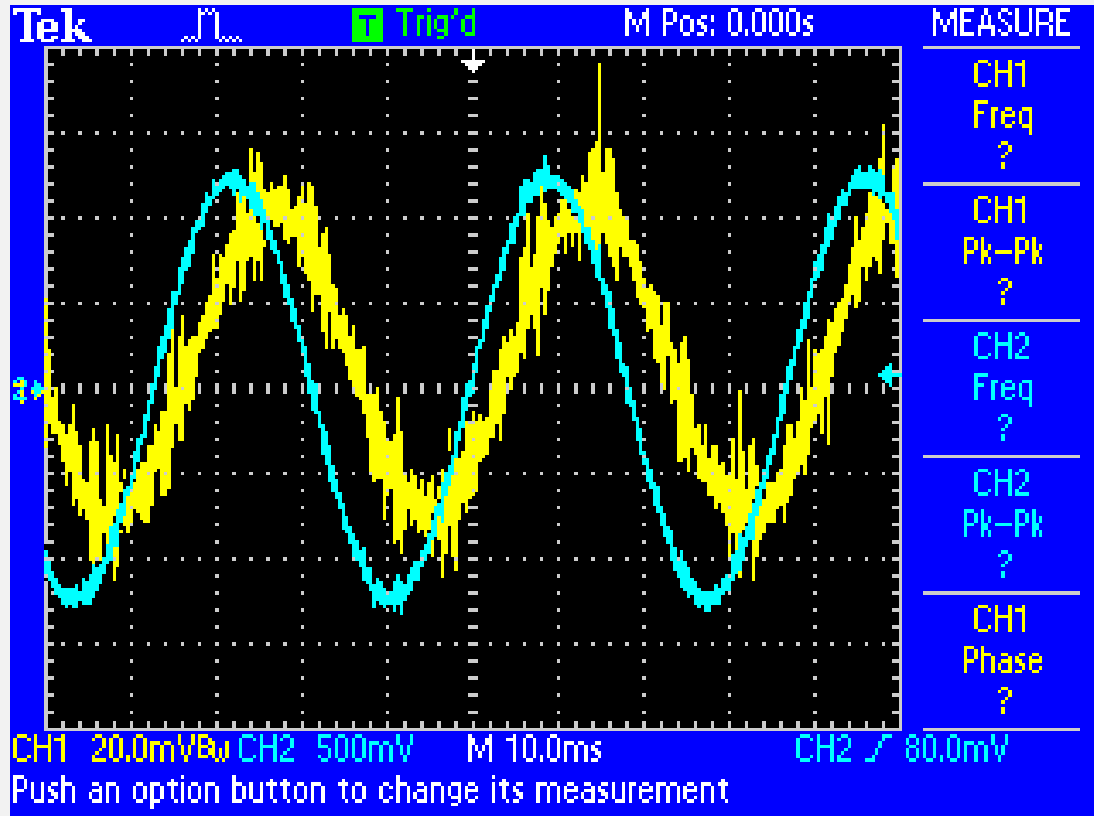
Fonte: Do autor.



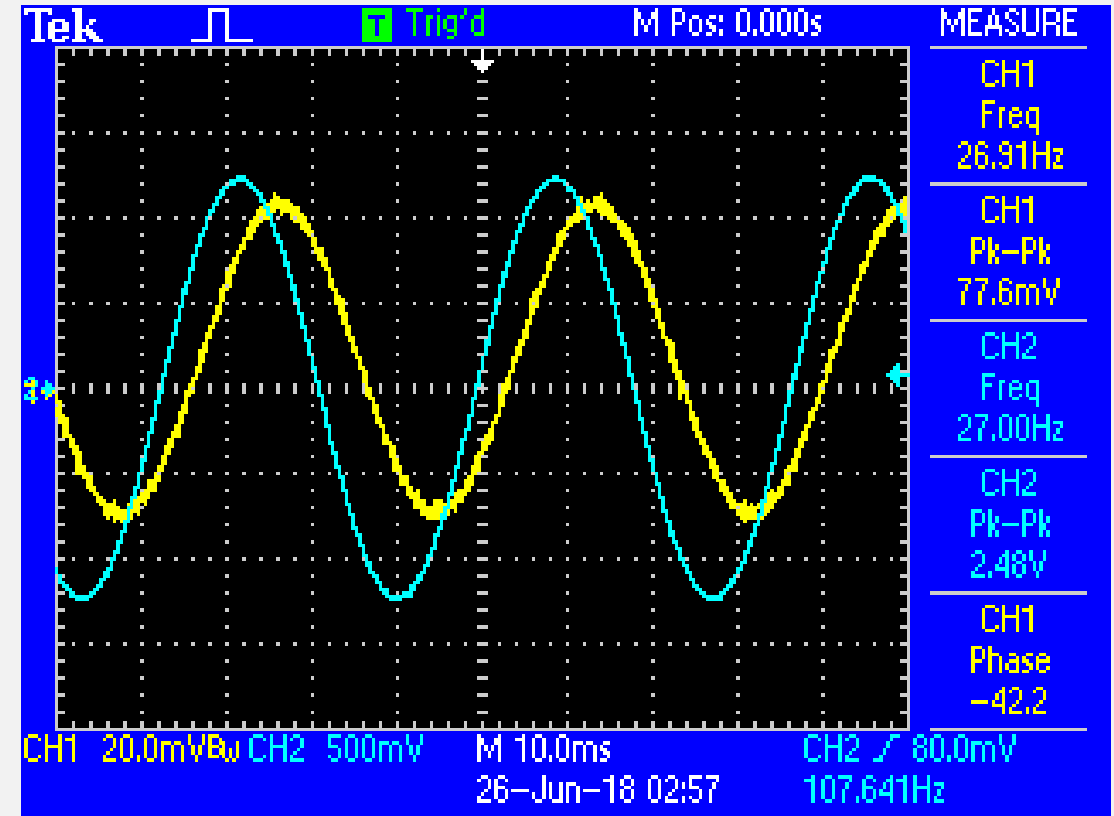
Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Pré-amplificador + passa-alta:
- $2,48 / 77,6e-3 = 31,96 \approx 47,42 * 0,707$;
- ~ 27 Hz;



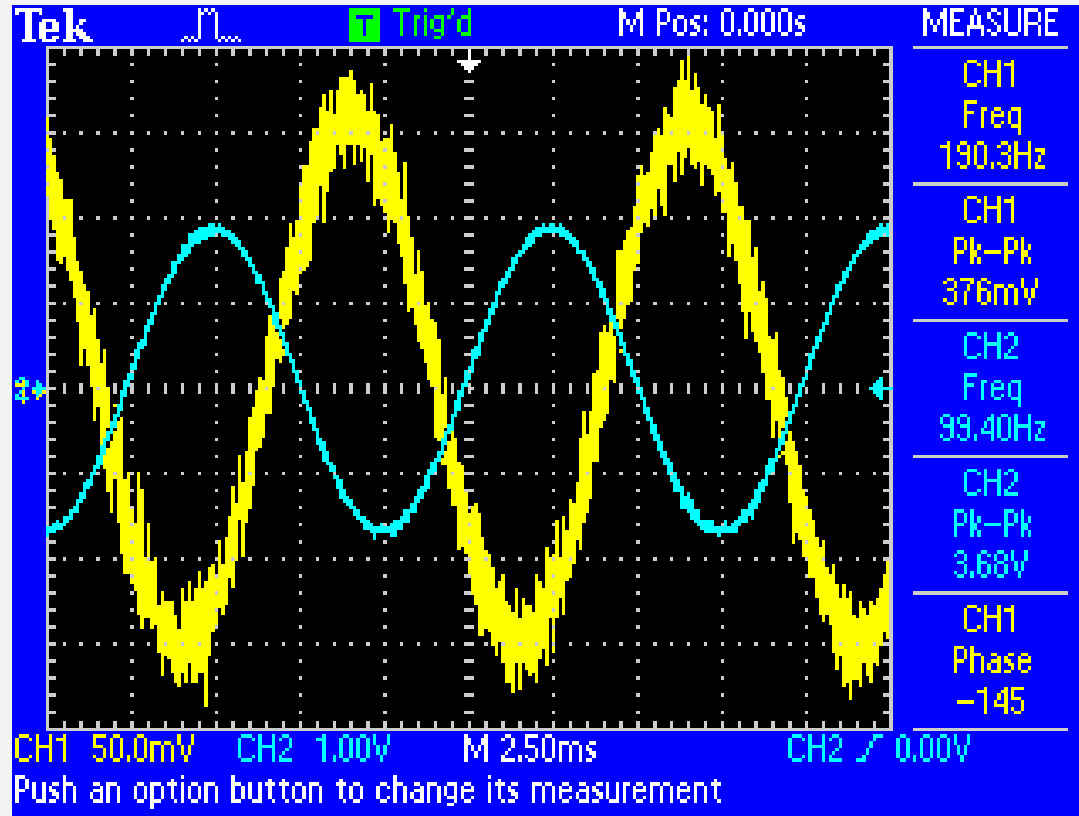
Fonte: Do autor.



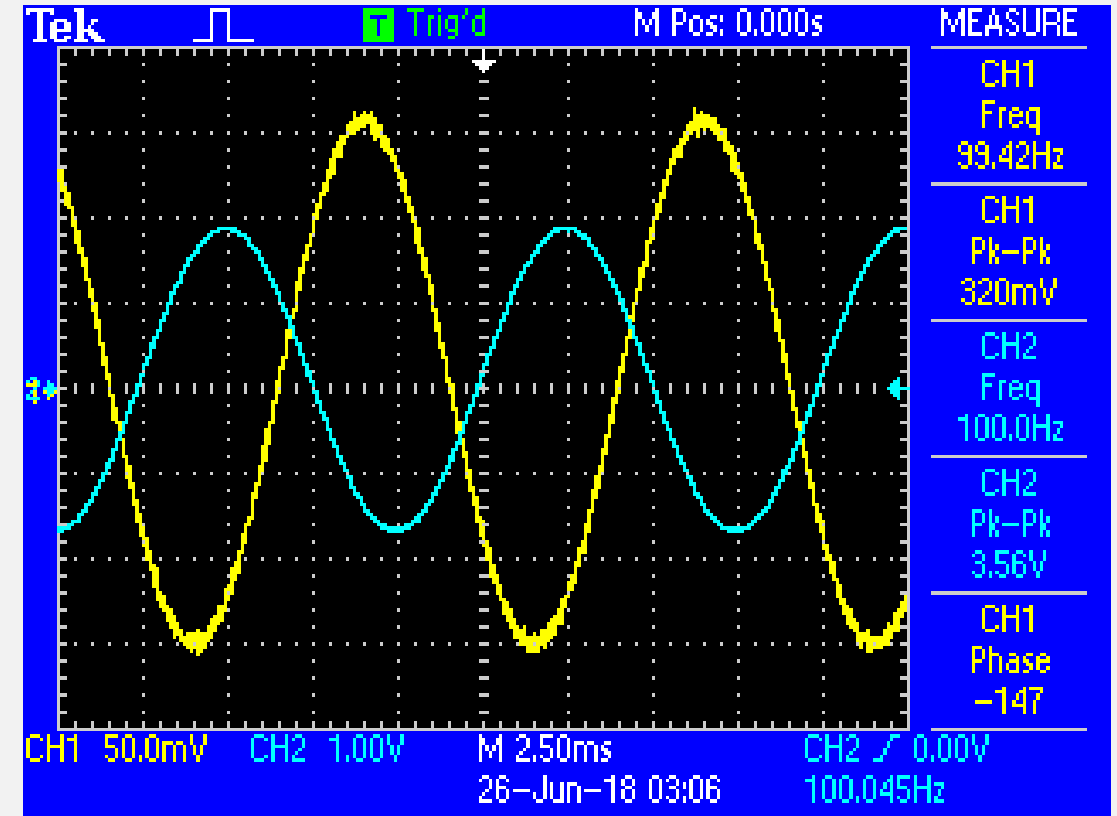
Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Passa-Baixa:
- $3,56 / 0,320 = 11,125$;
- ~ 100 Hz;



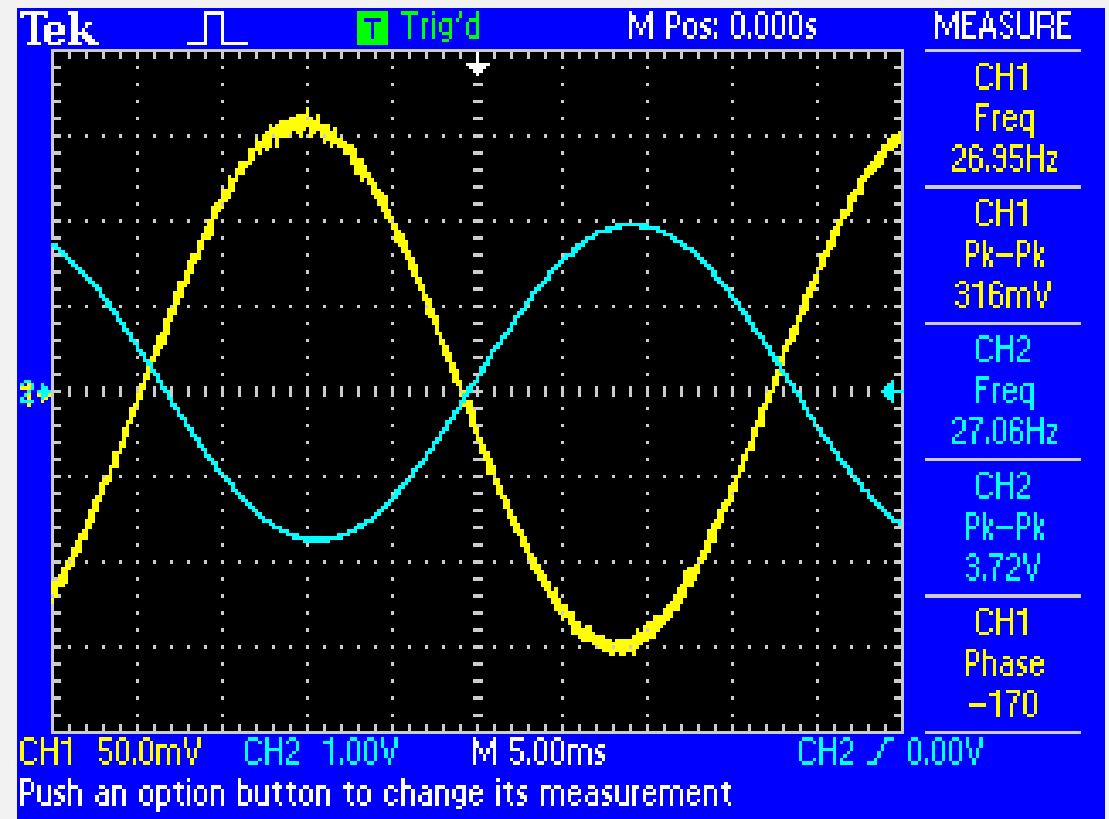
Fonte: Do autor.



Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Passa-Baixa:

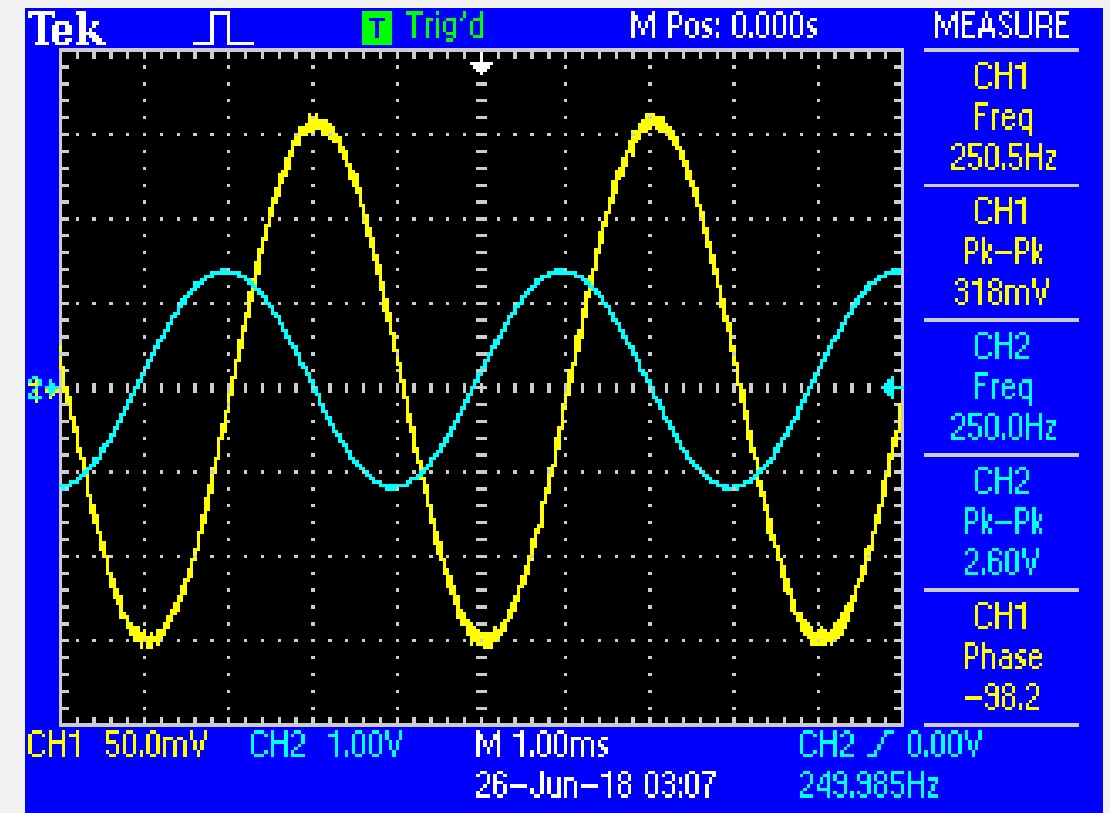


- $3,72 / 0,316 = 11,77;$
- $\sim 27 \text{ Hz};$

Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Passa-Baixa:

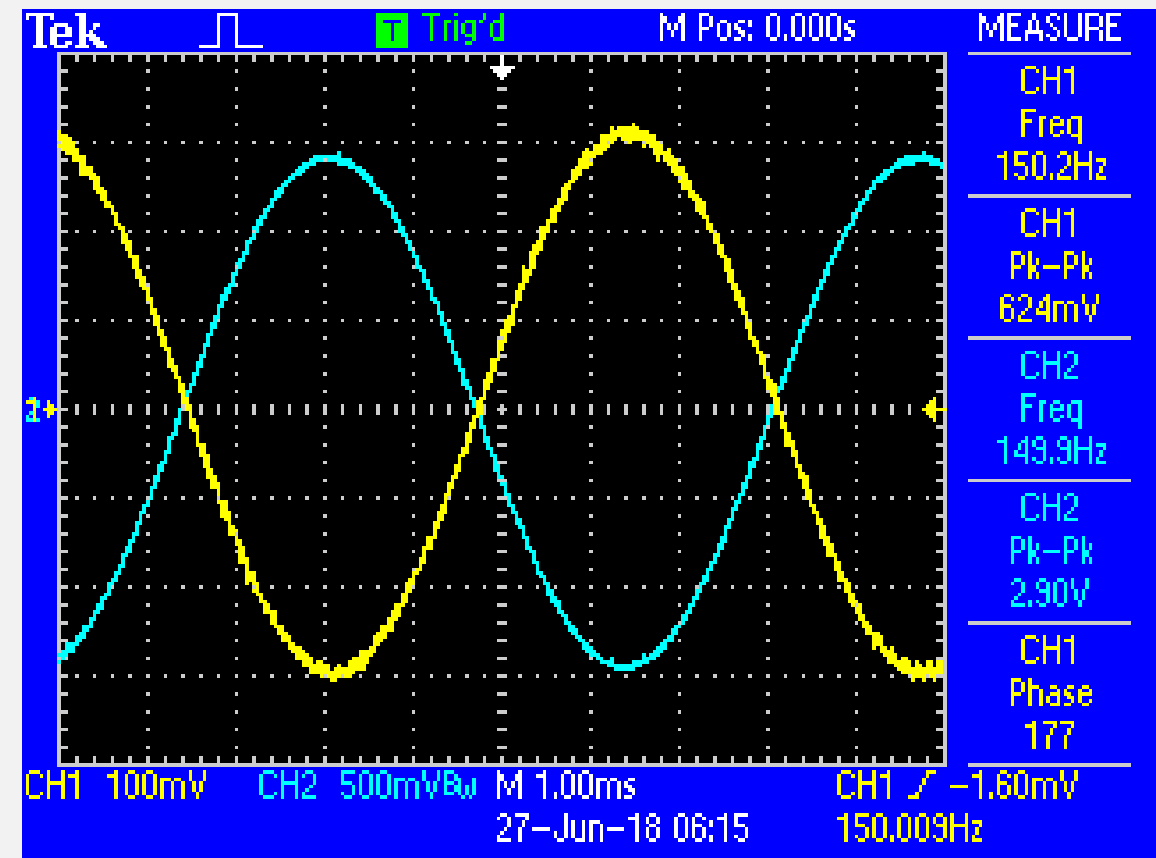


- $2,60 / 0,318 = 8,17 \approx 11,77 * 0,707;$
- $\sim 250 \text{ Hz};$

Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Ajuste de Ganho:

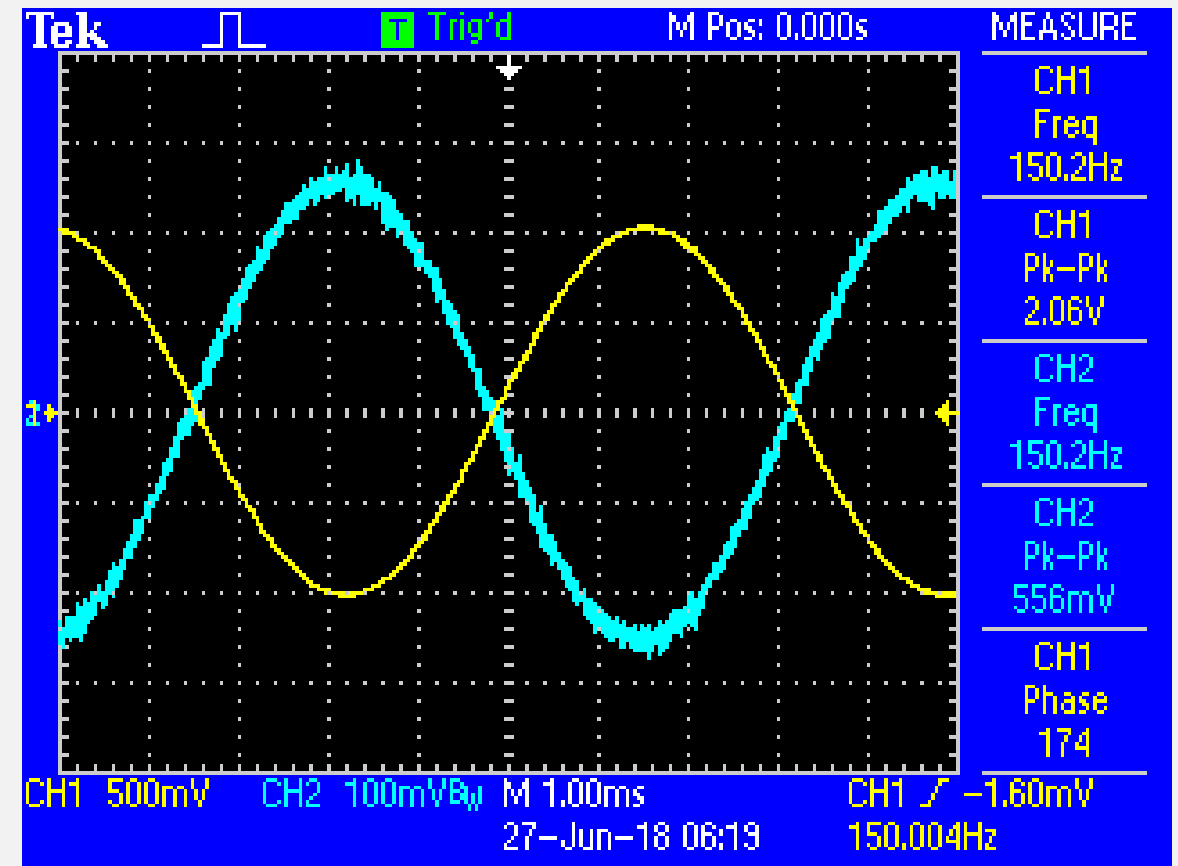


- $2,90 / 0,624 = 4,64;$
- $\sim 150 \text{ Hz};$

Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Ajuste de Ganho:

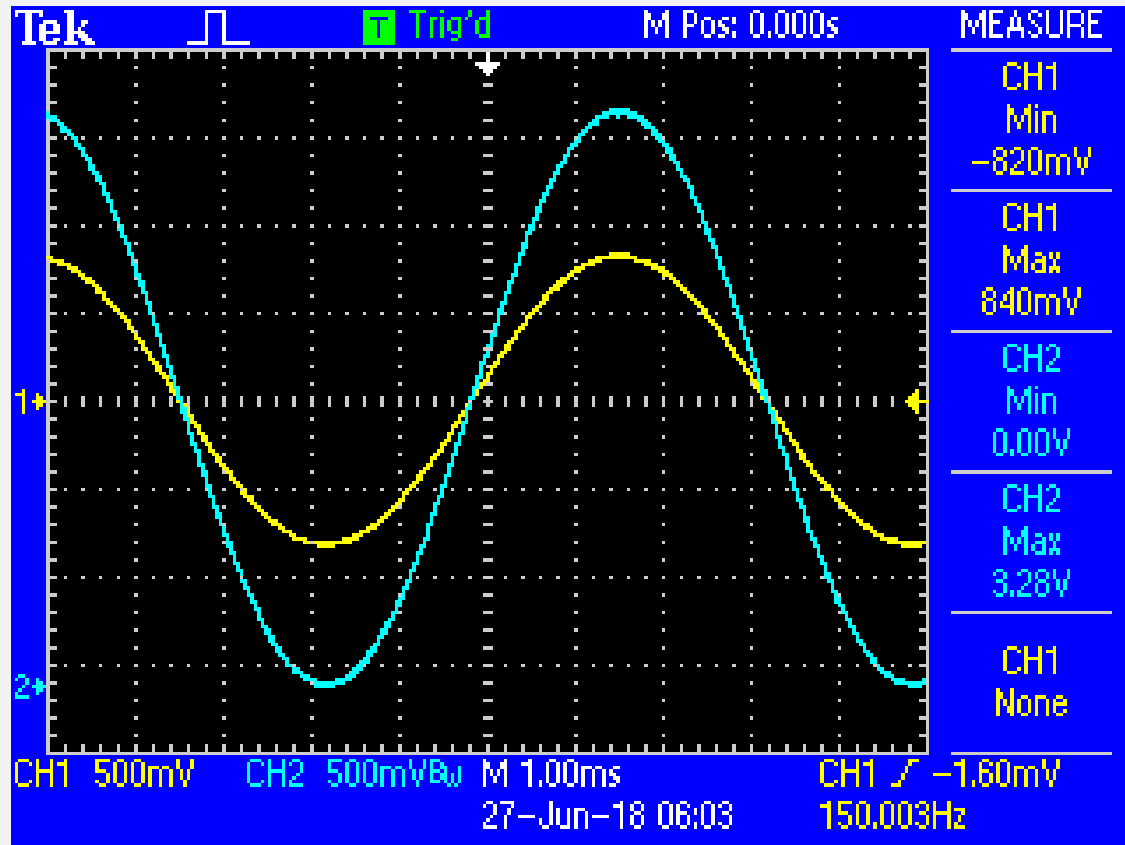


- $0,556 / 2,06 = 0,269;$
- $\sim 150 \text{ Hz};$

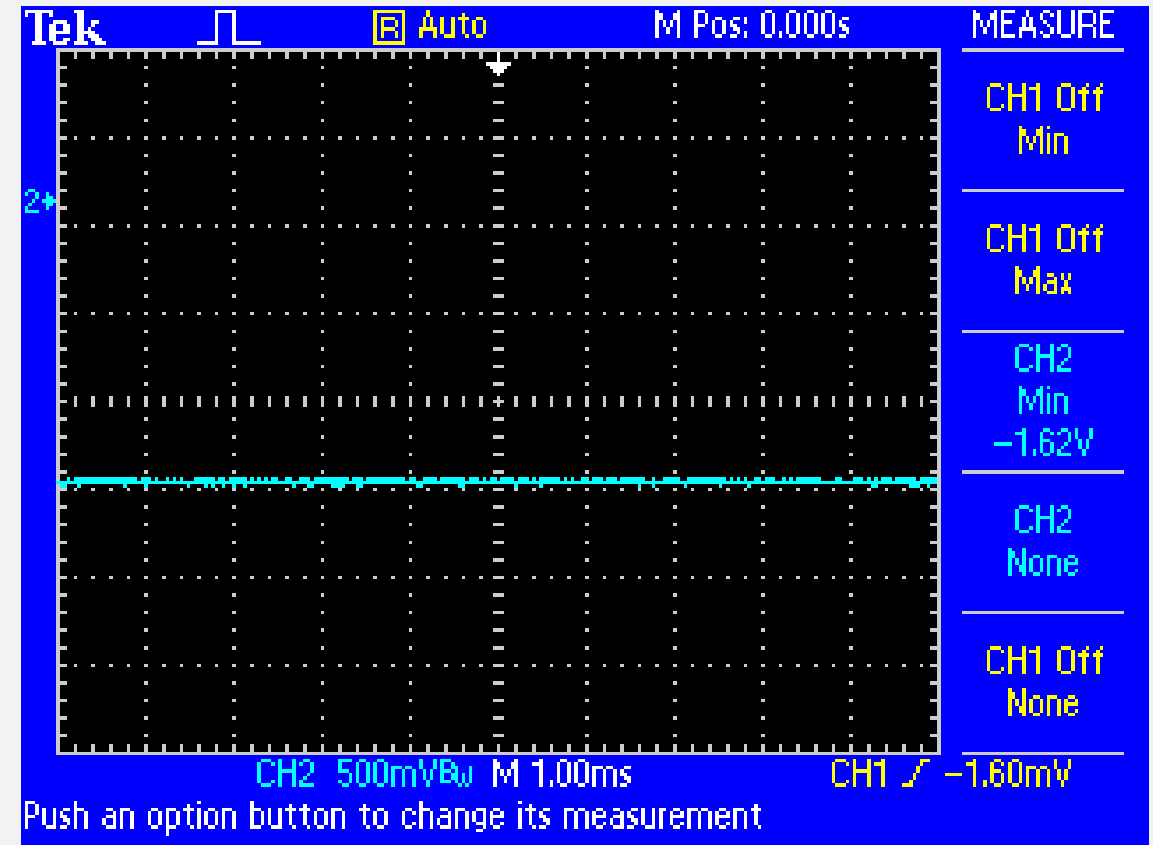
Fonte: Do autor.

TESTES DOS BLOCOS

- Somador DC:



Fonte: Do autor.



Fonte: Do autor.

OBRIGADO!

Augusto Daniel Rodrigues
augusto.dr@aluno.ifsc.edu.br

REFERÊNCIAS

BRONZINO, Joseph D. **The Biomedical Engineering Handbook: Medical Devices and Systems**. 3th ed. Hartford. Taylor and Francis, 2006.

Disponível em: https://brainmaster.com/software/pubs/brain/The_Biomedical_Engineering_Handbook_.pdf

CAPARELLI, Thiago B. **Projeto e desenvolvimento de um sistema multicanal de biotelemetria para detecção de sinais ECG, EEG e EMG**. 2007. 109 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14636>

DE LUCA, Carlo J; BASMAJIAN, John V. **Muscles Alive: Their functions revealed by eletromyography**. 5th ed. Baltimore: Willians and Wilkins, 1985.

LIMOLI, Camila S. **Protótipo de um eletromiógrafo sem fio de baixo custo**. 2017. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. - São Carlos.

Disponível em : <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-29052017-162649/?&lang=br>

REFERÊNCIAS

PEPINO, André L.G. **Sistema de controle de Dispositivos Através de EMG(Eletromiografia)**. 2007. 90p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) - Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Positivo. Curitiba.

Disponível em: <https://www.up.edu.br/blogs/engenharia-da-computacao/wp-content/.../2007.1.pdf>