

# Filtros Elétricos

## Simulação de Filtros Elétricos

Vitor de Sousa França

Prof. Dr. Cleonílson Protásio Souza

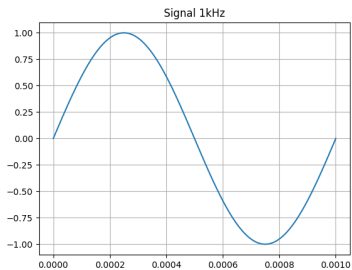
# Objetivos

- ▶ Objetivo: Simulação da remoção de ruídos utilizando filtros.
- ▶ Código disponível em:  
[https://github.com/V-kr0pt/filtros\\_ufpb](https://github.com/V-kr0pt/filtros_ufpb).

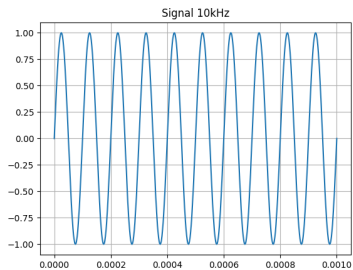
# Introdução

- ▶ Filtros elétricos são dispositivos utilizados para permitir ou bloquear diferentes faixas de frequências.
- ▶ Utilizados para remover ruídos indesejados em circuitos eletrônicos.
- ▶ Classificação: Filtros Passivos (R, L, C) e Filtros Ativos (incluem Amplificadores Operacionais).

# Sinais de Interesse

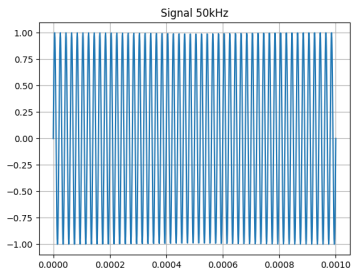


(a) Sinal senoidal de 1kHz

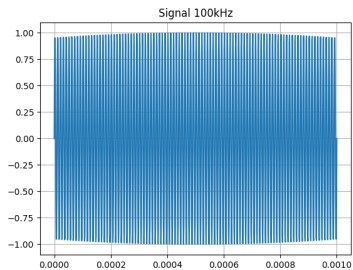


(b) Sinal senoidal de 10kHz

# Sinais de Interesse

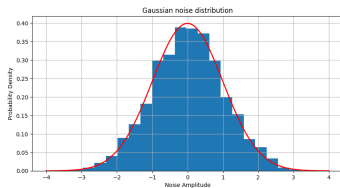


(a) Sinal senoidal de 50kHz

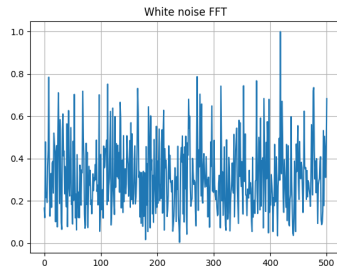


(b) Sinal senoidal de 100kHz

# Ruído Gaussiano Branco



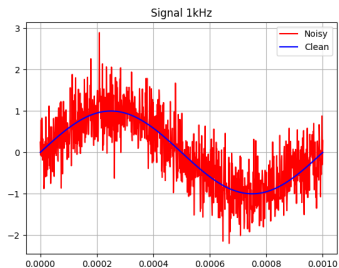
(a) Histograma do ruído gerado



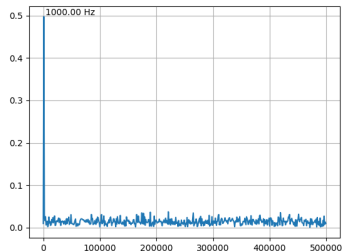
(b) Ruído no domínio da frequência

Figura: Ruído Gaussiano Branco

# Sinais de Interesse com Ruído

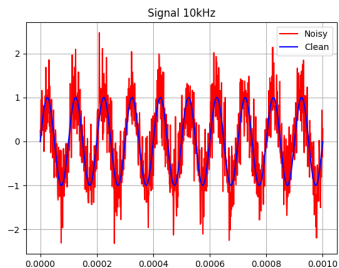


(a) Sinal de 1kHz com ruído

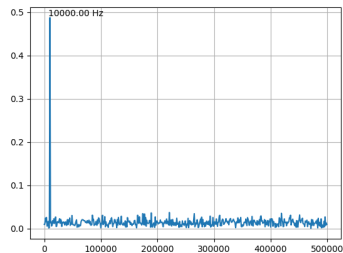


(b) Sinal de 1kHz no domínio da frequência

# Sinais de Interesse com Ruído



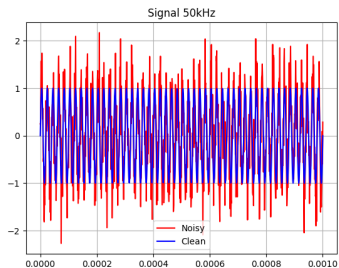
(a) Sinal de 10kHz com ruído



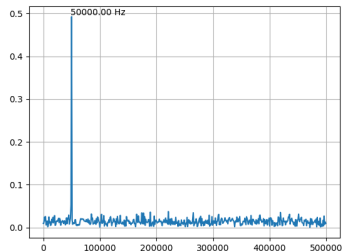
(b) Sinal de 10kHz no domínio da frequência



# Sinais de Interesse com Ruído

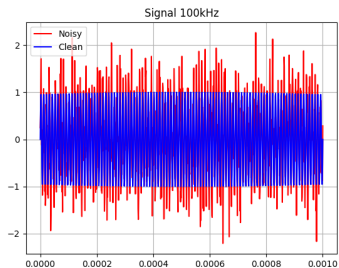


(a) Sinal de 50kHz com ruído

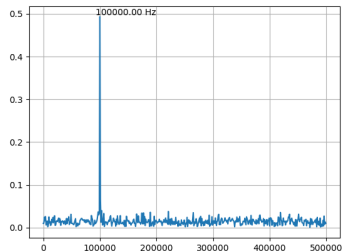


(b) Sinal de 50kHz no domínio da frequência

# Sinais de Interesse com Ruído



(a) Sinal de 100kHz com ruído



(b) Sinal de 100kHz no domínio da frequência

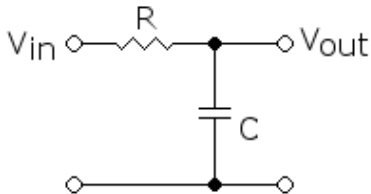
## Relação Sinal-Ruído (SNR)

$$SNR(dB) = 10 \log \left( \frac{P_s}{P_n} \right) \quad (1)$$

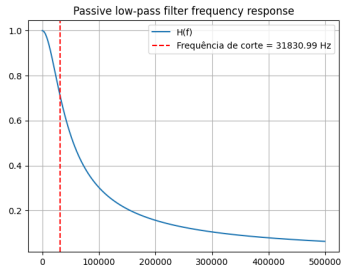
$$SNR(dB) = 10 \log \left( \frac{P_s^{out}}{P_{s+n}^{out} - P_s^{out}} \right) \quad (2)$$

- ▶ SNR do sinal de entrada: 3,19 dB
- ▶ Comparação da eficácia dos filtros utilizando SNR.

# Filtro Passa-Baixa Passivo



(a) Circuito do filtro

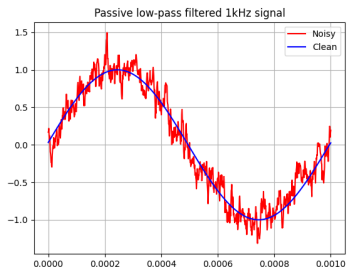


(b) Resposta em frequência

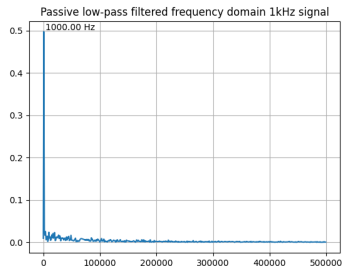
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (3)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}, \quad R = 5k\Omega \text{ e } C = 1nF \implies f_c = 31,8kHz \approx 30kHz$$

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Passivo

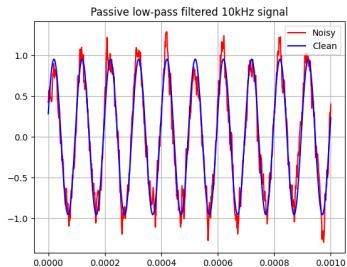


(a) Sinal de 1kHz filtrado

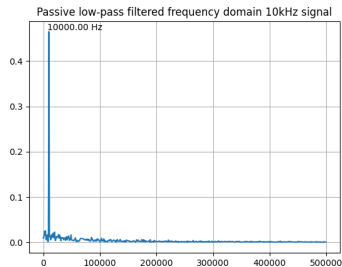


(b) Sinal de 1kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Passivo

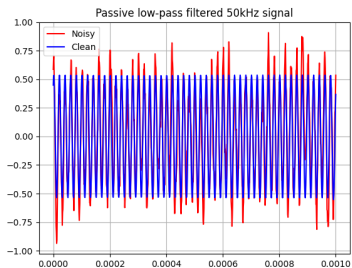


(a) Sinal de 10kHz filtrado

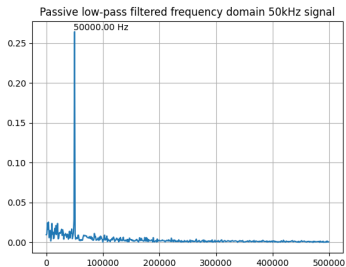


(b) Sinal de 10kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Passivo

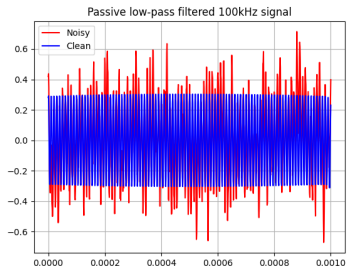


(a) Sinal de 50kHz filtrado

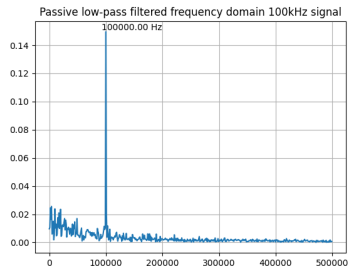


(b) Sinal de 50kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Passivo



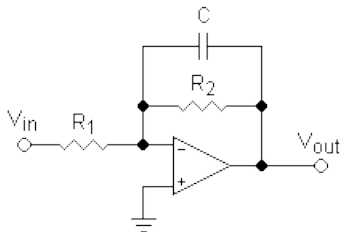
(a) Sinal de 100kHz filtrado



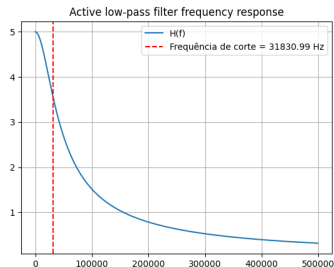
(b) Sinal de 100kHz no domínio da frequência



# Filtro Passa-Baixa Ativo



(a) Circuito do filtro



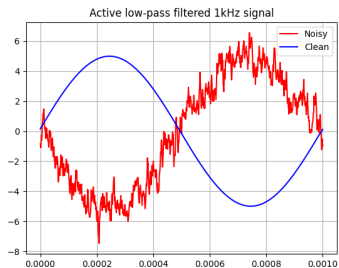
(b) Resposta em frequência

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-\frac{1}{R_1 C}}{s - \frac{1}{R_2 C}} \quad (4)$$

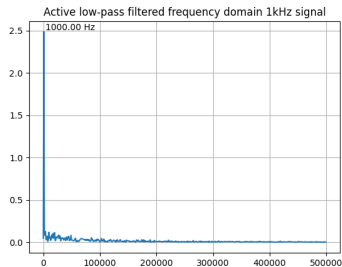
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}, R_2 = 5k\Omega \text{ e } C = 1nF \implies f_c = 31,8kHz \approx 30kHz$$

$$R_1 = 1k\Omega \implies A_{dc} = -5V/V$$

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Ativo

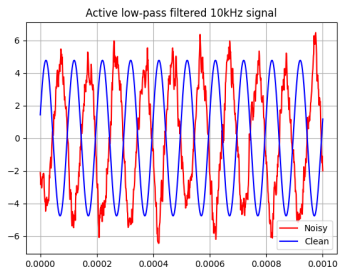


(a) Sinal de 1kHz filtrado

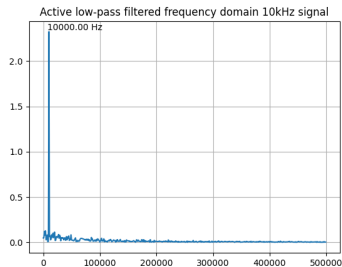


(b) Sinal de 1kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Ativo

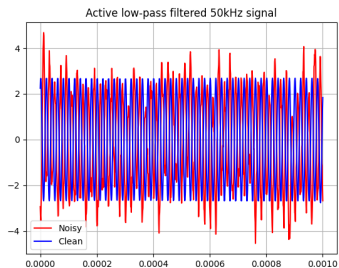


(a) Sinal de 10kHz filtrado

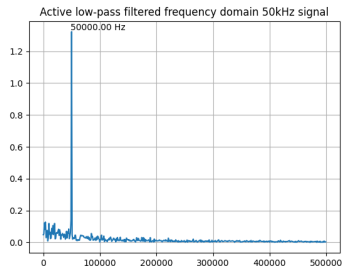


(b) Sinal de 10kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Ativo

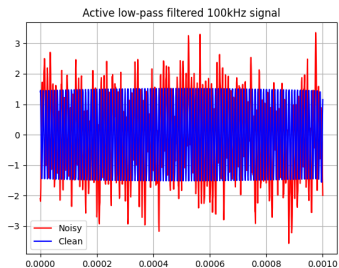


(a) Sinal de 50kHz filtrado

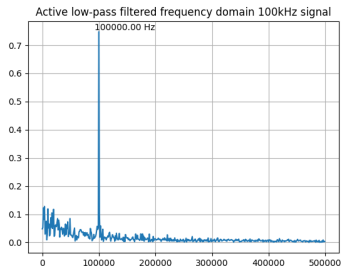


(b) Sinal de 50kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Baixa Ativo



(a) Sinal de 100kHz filtrado



(b) Sinal de 100kHz no domínio da frequência

## SNR: Sinal de Saída do Filtro Passa-Baixa

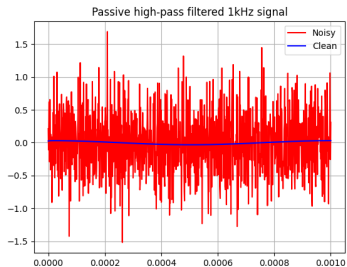
$$SNR_{1\text{kHz}} = 13.40\text{dB}$$

$$SNR_{10\text{kHz}} = 12.99\text{dB}$$

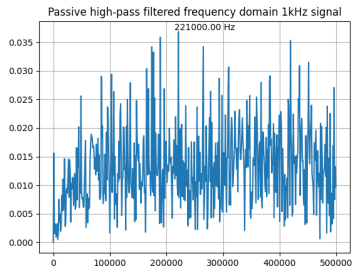
$$SNR_{50\text{kHz}} = 8.00\text{dB}$$

$$SNR_{100\text{kHz}} = 3.04\text{dB}$$

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Passivo

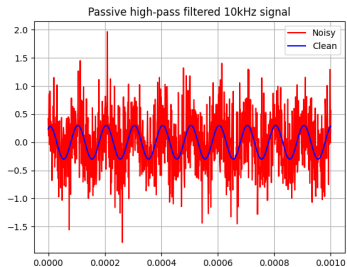


(a) Sinal de 1kHz filtrado

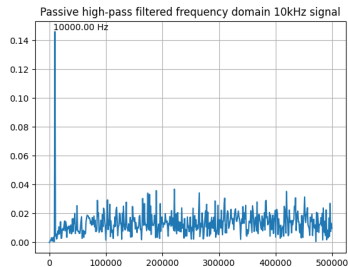


(b) Sinal de 1kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Passivo



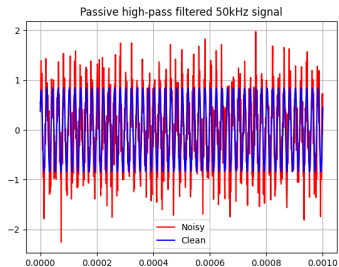
(a) Sinal de 10kHz filtrado



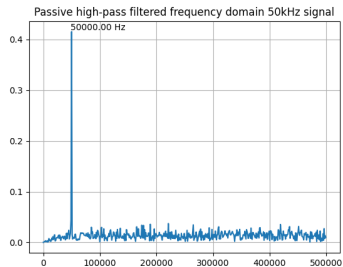
(b) Sinal de 10kHz no domínio da frequência



# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Passivo

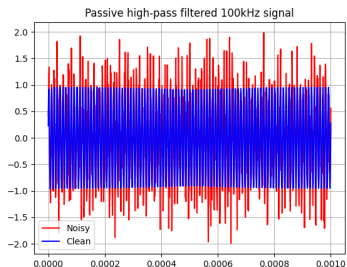


(a) Sinal de 50kHz filtrado

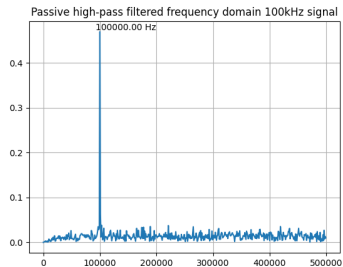


(b) Sinal de 50kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Passivo

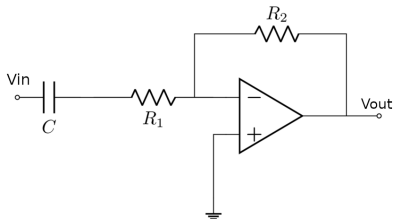


(a) Sinal de 100kHz filtrado

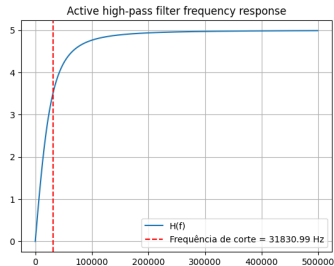


(b) Sinal de 100kHz no domínio da frequência

# Filtro Passa-Alta Ativo



(a) Circuito do filtro



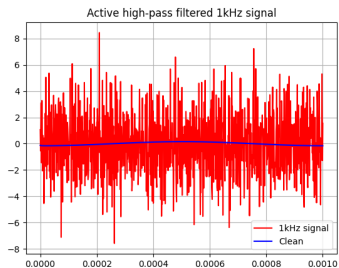
(b) Resposta em frequência

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-s \frac{R_2}{R_1}}{s + \frac{1}{R_1 C}} \quad (5)$$

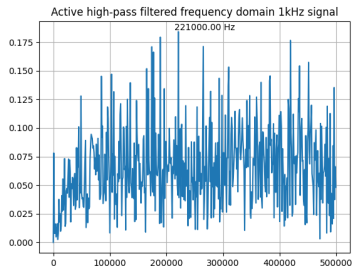
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}, R_1 = 5k\Omega \text{ e } C = 1nF \implies f_c = 31,8kHz \approx 30kHz$$

$$R_2 = 25k\Omega \implies A_{s \rightarrow \infty} = -5V/V$$

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Ativo

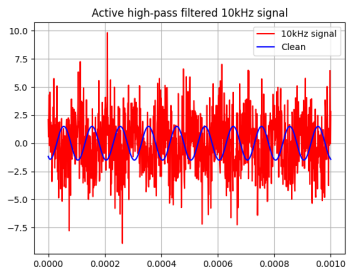


(a) Sinal de 1kHz filtrado

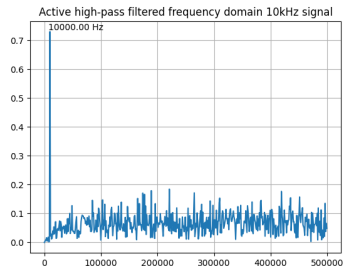


(b) Sinal de 1kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Ativo

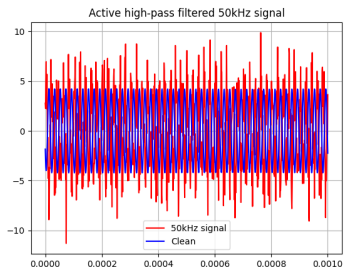


(a) Sinal de 10kHz filtrado

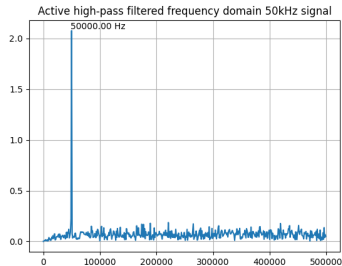


(b) Sinal de 10kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Ativo

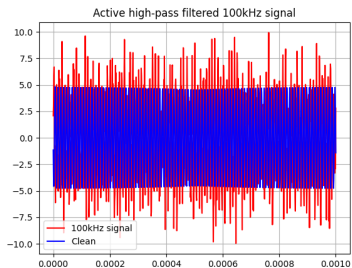


(a) Sinal de 50kHz filtrado

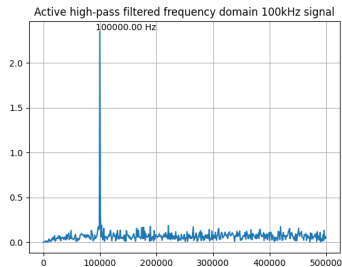


(b) Sinal de 50kHz no domínio da frequência

# Sinais Filtrados: Filtro Passa-Alta Ativo



(a) Sinal de 100kHz filtrado



(b) Sinal de 100kHz no domínio da frequência

## SNR: Sinal de Saída do Filtro Passa-Alta

$$SNR_{1\text{kHz}} = -26.43\text{dB}$$

$$SNR_{10\text{kHz}} = -6.84\text{dB}$$

$$SNR_{50\text{kHz}} = 2.15\text{dB}$$

$$SNR_{100\text{kHz}} = 3.21\text{dB}$$



# Comparação do SNR

$f_{\text{sin}}l$	Sinal de Entrada	Passa-Baixa	Passa-Alta
1kHz	3.19 dB	13.40 dB	-26.43 dB
10kHz	3.19 dB	12.99 dB	-6.84 dB
50kHz	3.19 dB	8.00 dB	2.15 dB
100kHz	3.19 dB	3.04 dB	3.21 dB

**Tabela:** Comparação do SNR dos sinais de entrada e saída dos filtros

# Conclusão

- ▶ Verifica-se a importância dos filtros bem dimensionados para obter a redução de ruídos;
- ▶ Para um ruído branco e um filtro passa-baixa, observa-se o caráter decrescente da SNR do sinal de saída em função da frequência do sinal de interesse (o inverso para passa-alta);
- ▶ Filtros passa-baixa obtiveram melhores resultados devido a distribuição da potência do ruído nas frequências.