

Trabalho Final Sistemas Lineares I

Gabriel Henrique Braga Lisboa

DRE: 120095995

Engenharia Eletrônica e de Computação

Período 2022.2

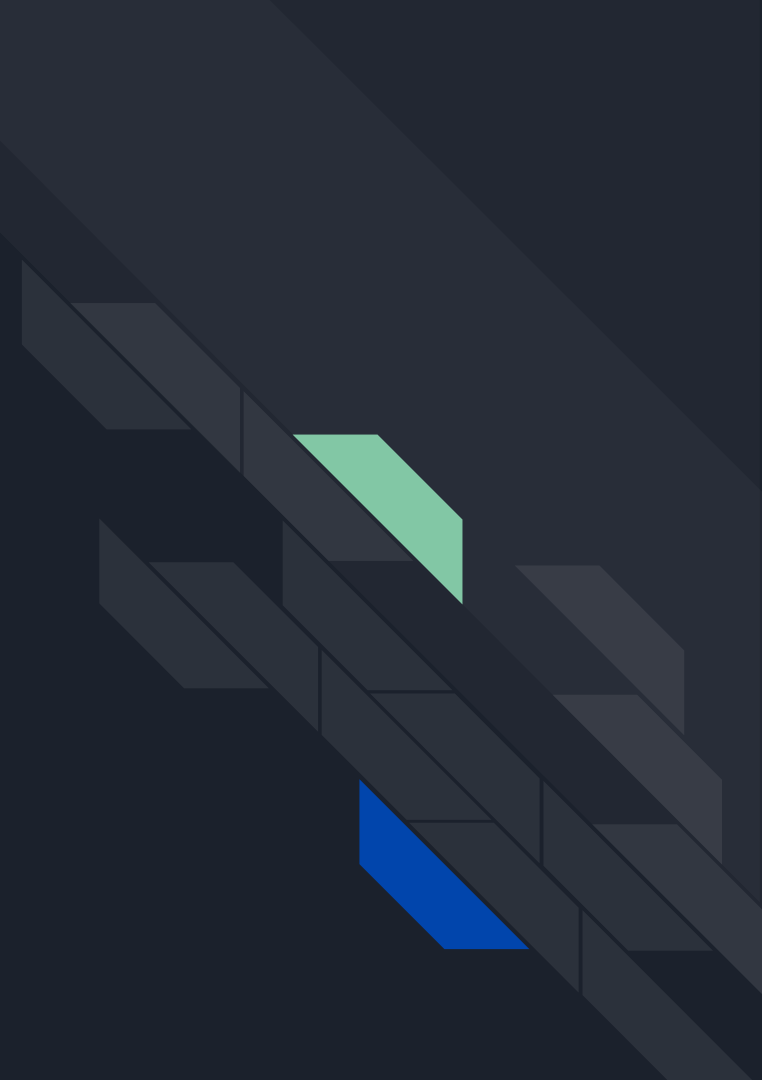


Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Índice

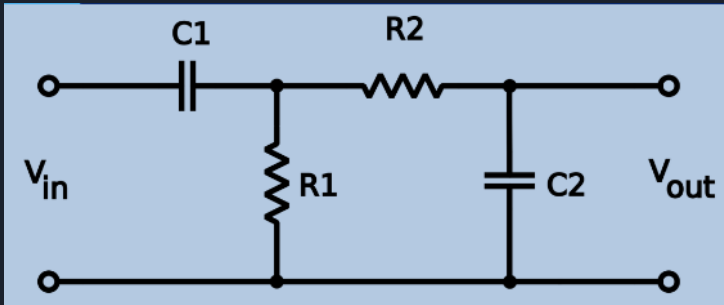
Projetos -----	3
Afinador de corda de violão -----	4
Subwoofer -----	13
Questão 1 – Circuitos 5 e 6 -----	22
Questão 2 -----	25
Questão 4 – Função de Transferência 1 -----	28



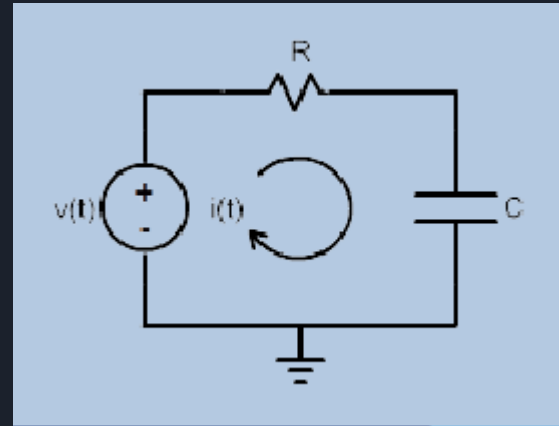
Projetos

Foram desenvolvidos dois projetos, um para um filtro passa-baixa e outro para um passa-faixa. O objetivo dos projetos é analisar cada tipo de filtro dentro de uma aplicação real.

Circuito Passa-Faixa - Afinador de Violão



Circuito Passa-Baixa - Subwoofer





Afinador de corda de violão

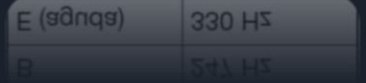


Corda Si

A ideia do projeto é desenvolver um **filtro passa-banda**, que funcione como um **afinador da corda Si de um violão**, reconhecendo as frequências das ondas geradas pelo instrumento e indicando se a frequência está dentro da faixa de afinação.



Corda	Frequência
E (grave)	82 Hz
A	110 Hz
D	146 Hz
G	196 Hz
B	247 Hz
E (aguda)	330 Hz



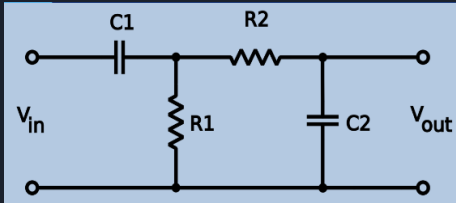
Público-Alvo

Seja para músicos ou para quem toca violão por hobby, ter um afinador é importantíssimo para que a experiência de tocar o instrumento e reproduzir os sons corretos das notas seja a melhor possível. Já imaginou ir no show da sua banda favorita, e as músicas que você se acostumou a ouvir e gostar soarem estranhas pois tem um instrumento desafinado?



Modelagem e Planejamento

Modelo Teórico do Circuito



Função de Transferência

$$H(s) = \frac{R_1 C_1 s}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1}$$

R1 – Resistor de 560 Ω

R2 – Resistor de 750 Ω

C1 e C2 – Capacitores
de 1 μF

Frequência de corte inferior: $\frac{1}{2\pi R_1 C_1}$

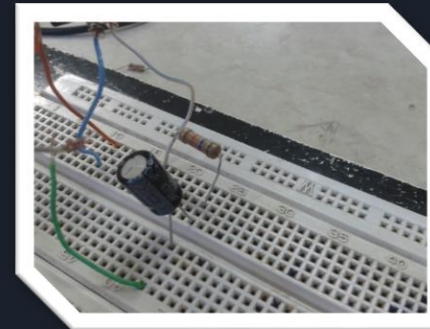
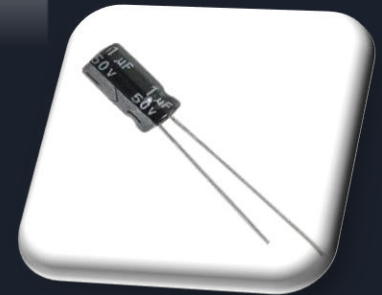
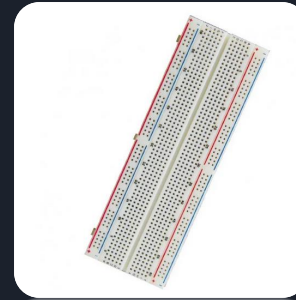
Frequência de corte superior: $\frac{1}{2\pi R_2 C_2}$

Com esses valores, temos um filtro com intervalo de banda entre 212 Hz e 284 Hz. O filtro irá deixar passar sinais com frequências dentro dessa banda e irá atenuar sinais com frequências fora da faixa, permitindo a afinação da corda Si na frequência certa.

Custo do projeto

Valor dos componentes

1 resistor 560R 5% (1/4W) – R\$ 0,05
1 resistor de 750R 5% (1/4W) – R\$ 0,05
2 capacitores de 1 μ F / 50V – R\$ 0,23 cada – Total: R\$ 0,46
Protoboard 830 Pontos MB-102 – R\$ 16,92
Total: 17,48



Custo do projeto

Mão de obra

Profissional: Técnico em Eletrônica

Média salarial: R\$ 2690/mês

Jornada de Trabalho: 8 horas/dia – 40 horas/semana

Horas mensais trabalhadas: 160

Custo de mão de obra: R\$ 16,81/hora

Tempo de montagem de um circuito: 1 hora

R\$ 16,81 por circuito montado

Custo total do projeto, incluindo preço dos componentes e mão de obra:

R\$ 34,29 por circuito

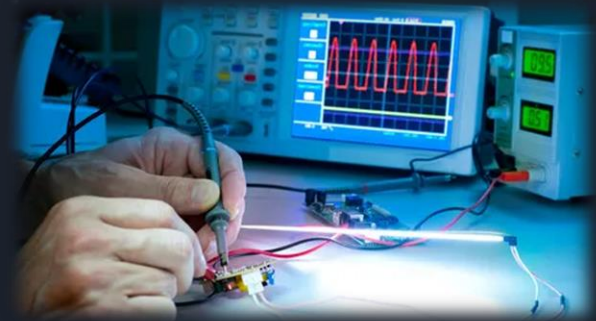
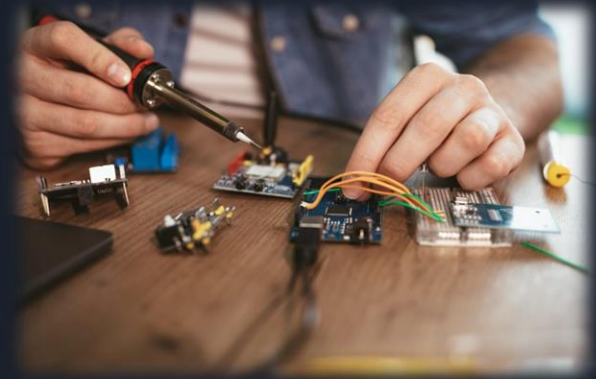


Diagrama de Polos e Zeros e Diagrama de Bode

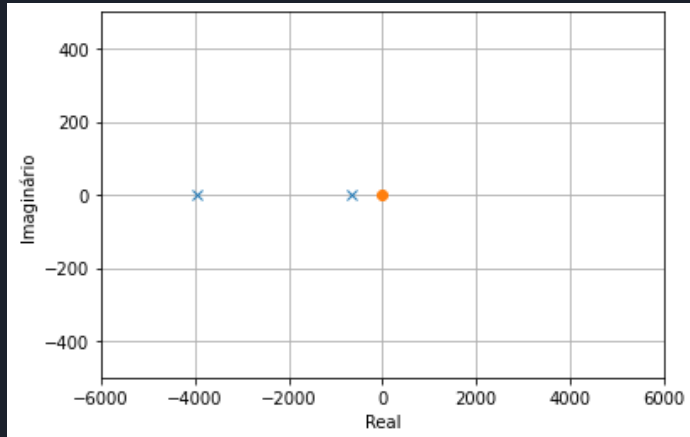


Diagrama de Polos e Zeros

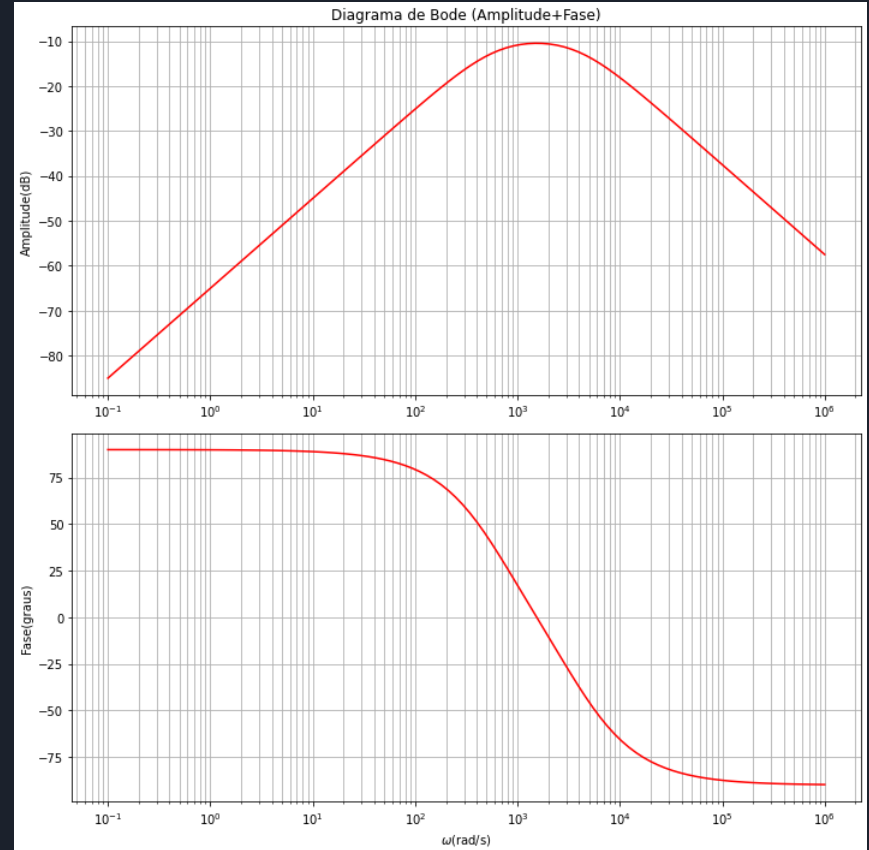
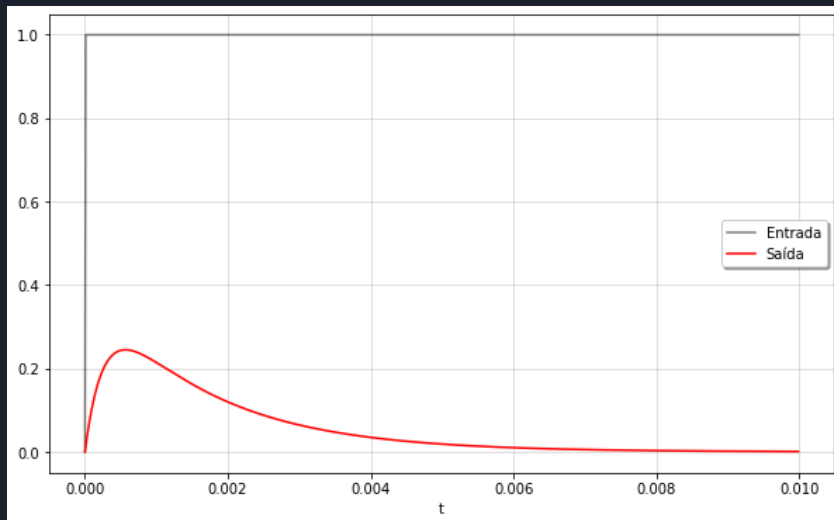


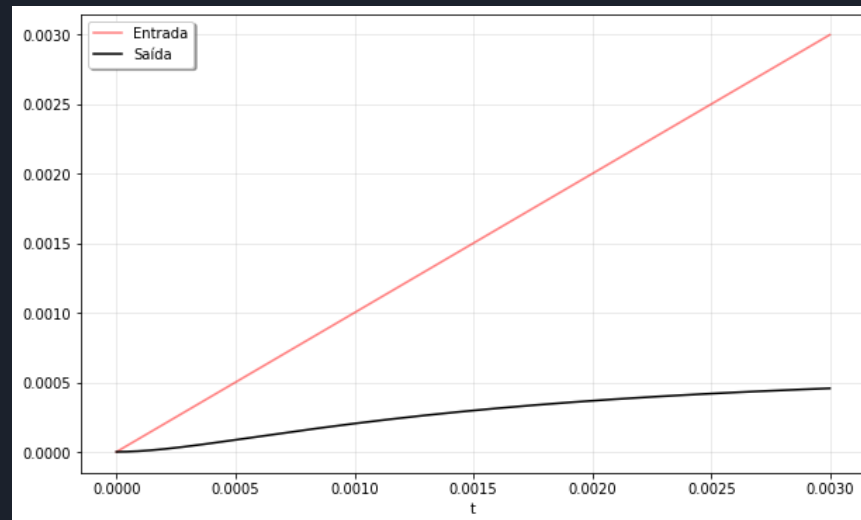
Diagrama de Bode

Resposta ao Degrau Unitário e à Rampa Unitária

Resposta ao Degrau Unitário



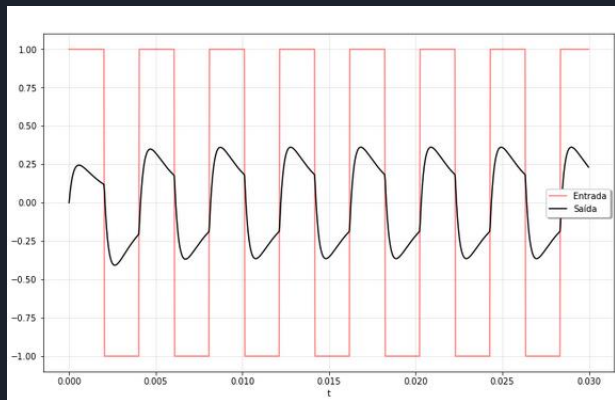
Resposta à Rampa Unitária



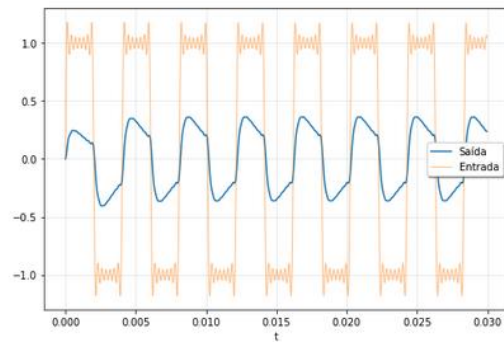
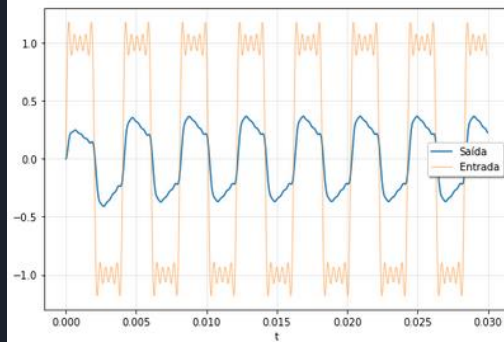
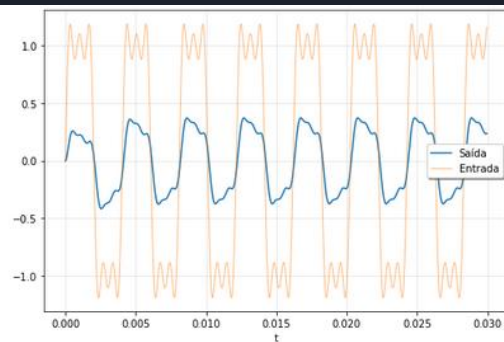
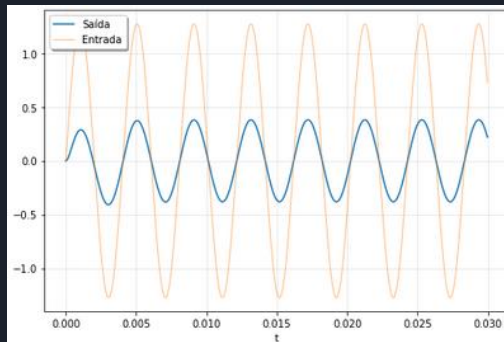
Resposta à onda quadrada e seus harmônicos da Série de Fourier

Resposta do 1º ao 7º harmônico da Série de Fourier

Resposta à Onda Quadrada

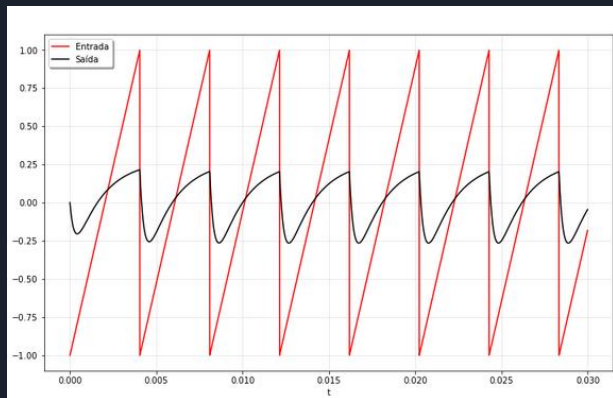


$$f = 247 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 1552 \text{ rad/s}$$



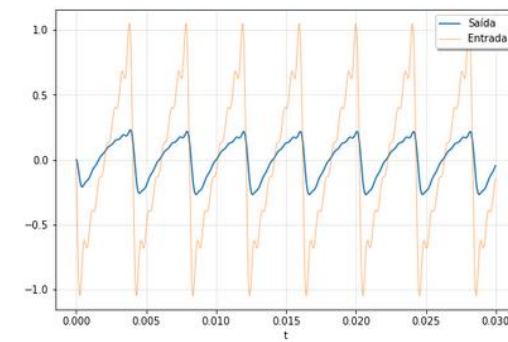
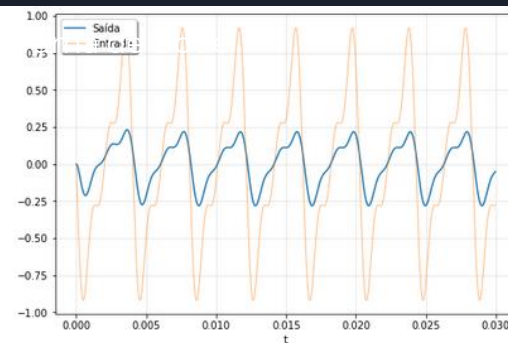
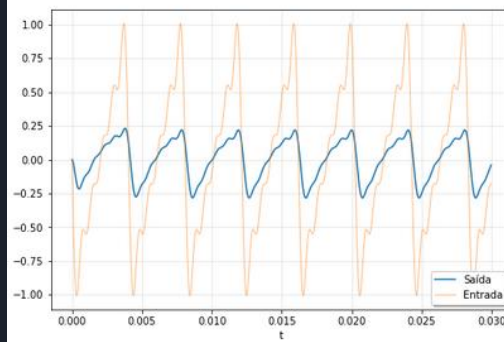
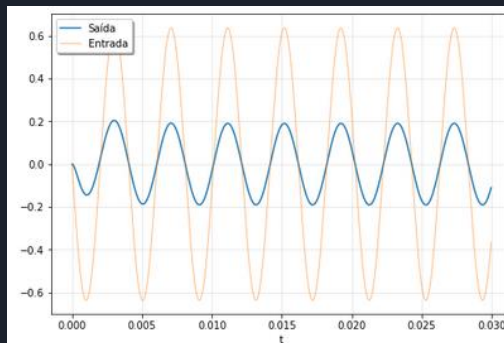
Resposta à dente de serra e seus harmônicos da Série de Fourier

Resposta à Dente de Serra



$$f = 247 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 1552 \text{ rad/s}$$

Resposta do 1º ao 7º harmônico da Série de Fourier





Subwoofer



Para este projeto foi feito um **filtro passa-baixa**, que funciona como um **subwoofer**, uma espécie de alto-falante que reproduz as frequências mais baixas, responsáveis pelos sons graves. Essas frequências pertencem a uma faixa de 20-200 Hz



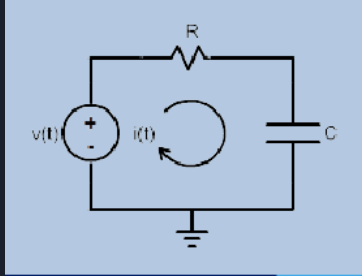
Público-Alvo

Um subwoofer pode parecer desnecessário, pois um alto-falante comum teoricamente já resolveria seus problemas. Porém, isso está longe de ser verdade! Ter um equipamento para transmitir esses sons mais graves, seja de instrumentos como o bumbo ou o baixo, seja no seu home theater, faz toda a diferença na qualidade do som.



Modelagem e Planejamento

Modelo Teórico do Circuito



R – Resistor de $360 \, \Omega$
C – Capacitor de $2,2 \, \mu\text{F}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Frequência de corte para um filtro passa-baixa

Função de Transferência

$$H(s) = \frac{1}{RCs+1}$$

Com esses valores, temos um filtro com frequência de corte de aproximadamente 201 Hz. O filtro irá deixar passar sinais com frequências mais baixas do que a frequência de corte e irá atenuar sinais com frequências mais altas, ou seja, em termos de ondas sonoras, o filtro só irá transmitir os sons mais graves, o que é o desejado para esse projeto.

Custo do projeto

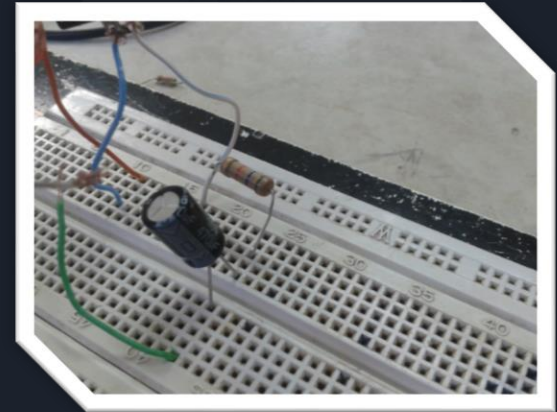
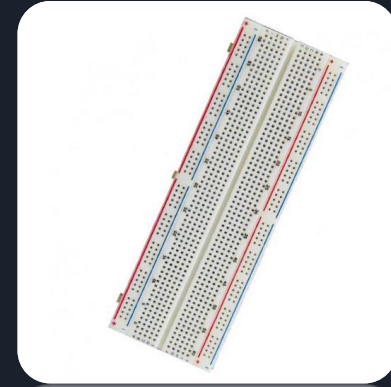
Valor dos componentes

1 resistor 360R 5% (1/4W) – R\$ 0,05

1 capacitor de 2,2 μ F / 50V – R\$ 0,16

Protoboard 830 Pontos MB-102 – R\$ 16,92

Total: 17,13



Custo do projeto

Mão de obra

Profissional: Técnico em Eletrônica

Média salarial: R\$ 2690/mês

Jornada de Trabalho: 8 horas/dia – 40 horas/semana

Horas mensais trabalhadas: 160

Custo de mão de obra: R\$ 16,81/hora

Tempo de montagem de um circuito: 1 hora

R\$ 16,81 por circuito montado

Custo total do projeto, incluindo preço dos componentes e mão de obra:

R\$ 33,94 por circuito

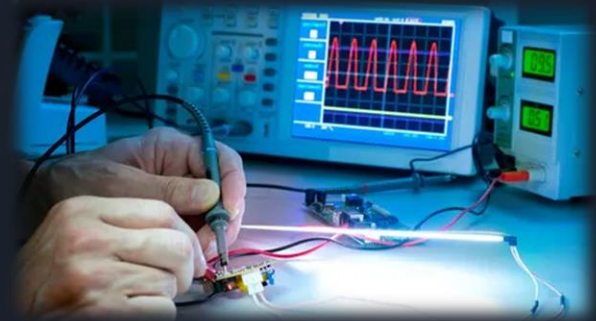
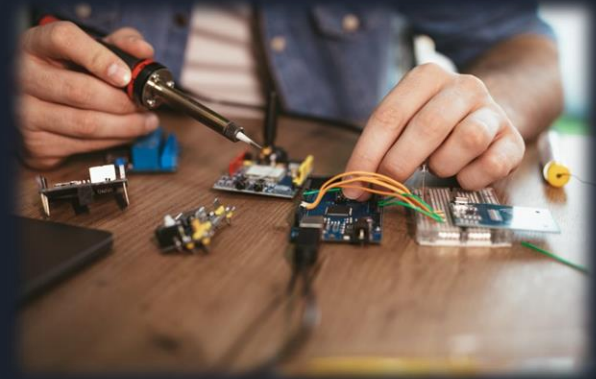


Diagrama de Polos e Zeros e Diagrama de Bode

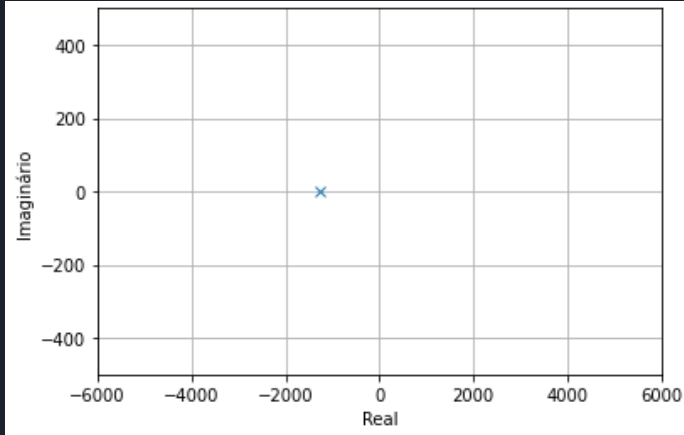


Diagrama de Polos e Zeros

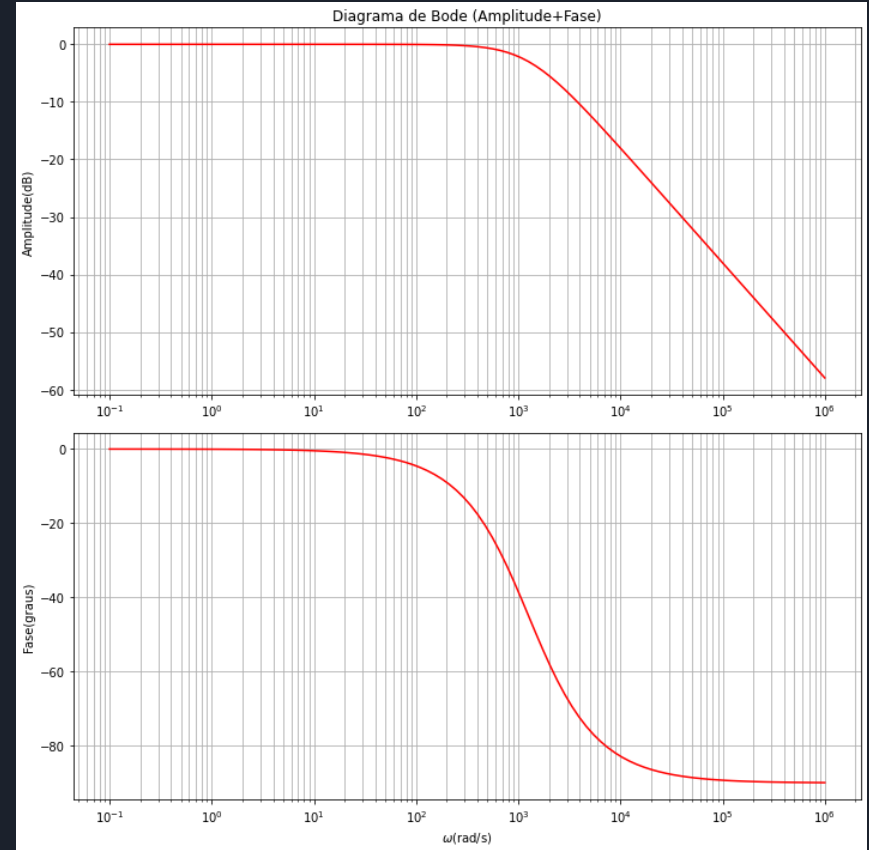
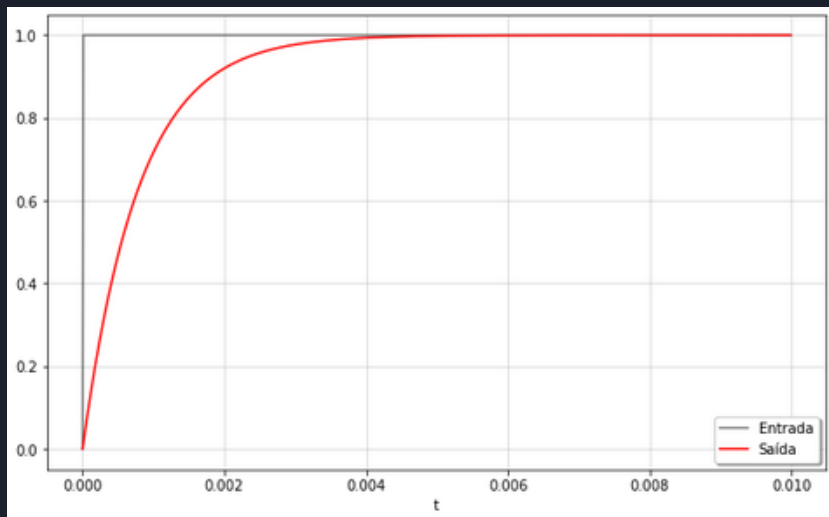


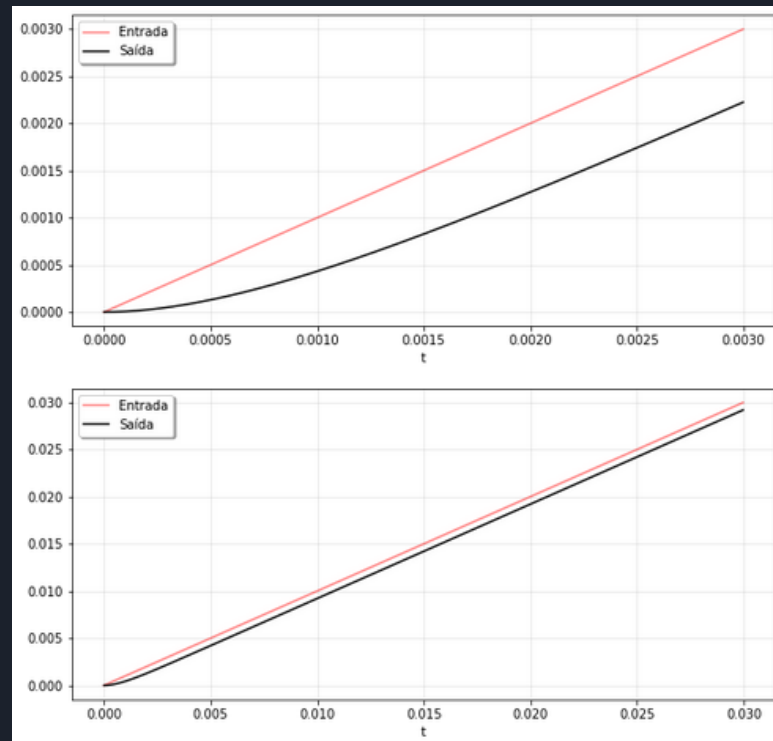
Diagrama de Bode

Resposta ao Degrau Unitário e à Rampa Unitária

Resposta ao Degrau Unitário

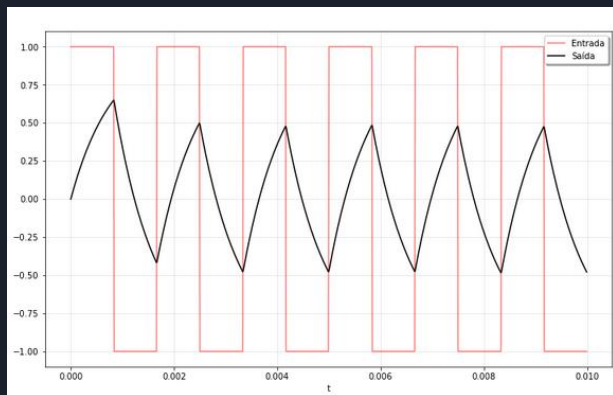


Resposta à Rampa Unitária



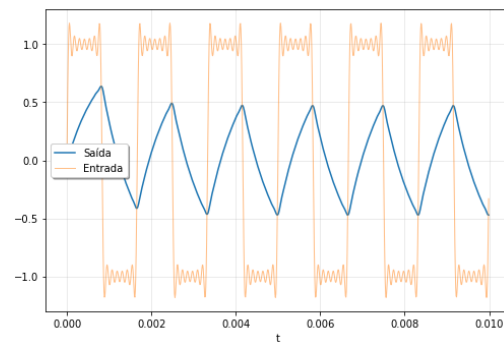
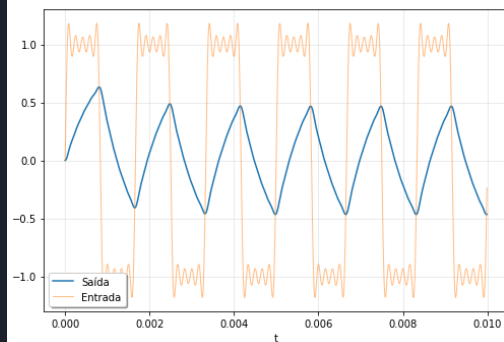
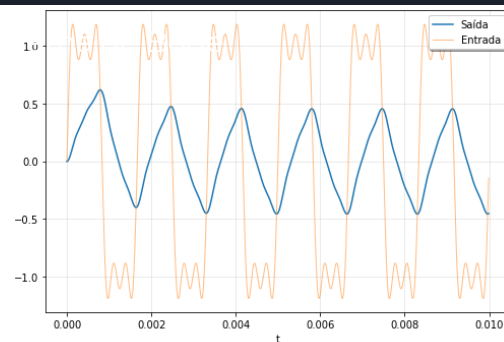
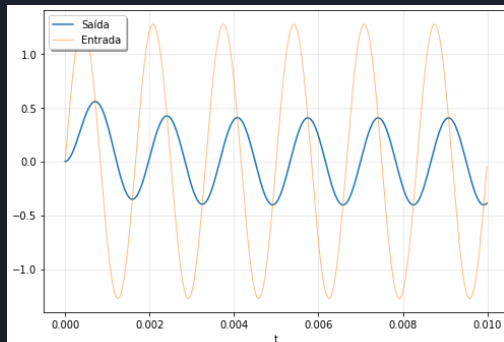
Resposta à onda quadrada e seus harmônicos da Série de Fourier

Resposta à Onda Quadrada



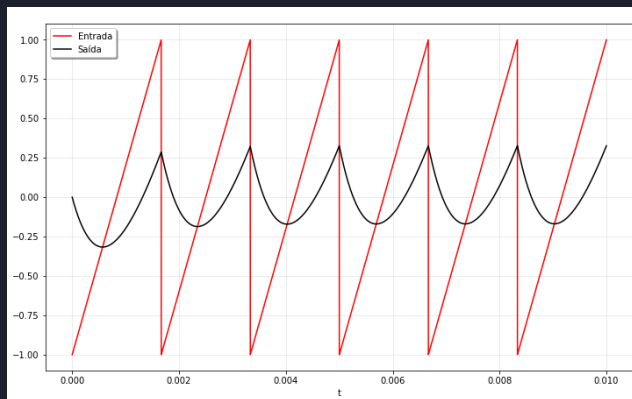
$$f = 600 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 3770 \text{ rad/s}$$

Resposta do 1º ao 7º harmônico da Série de Fourier



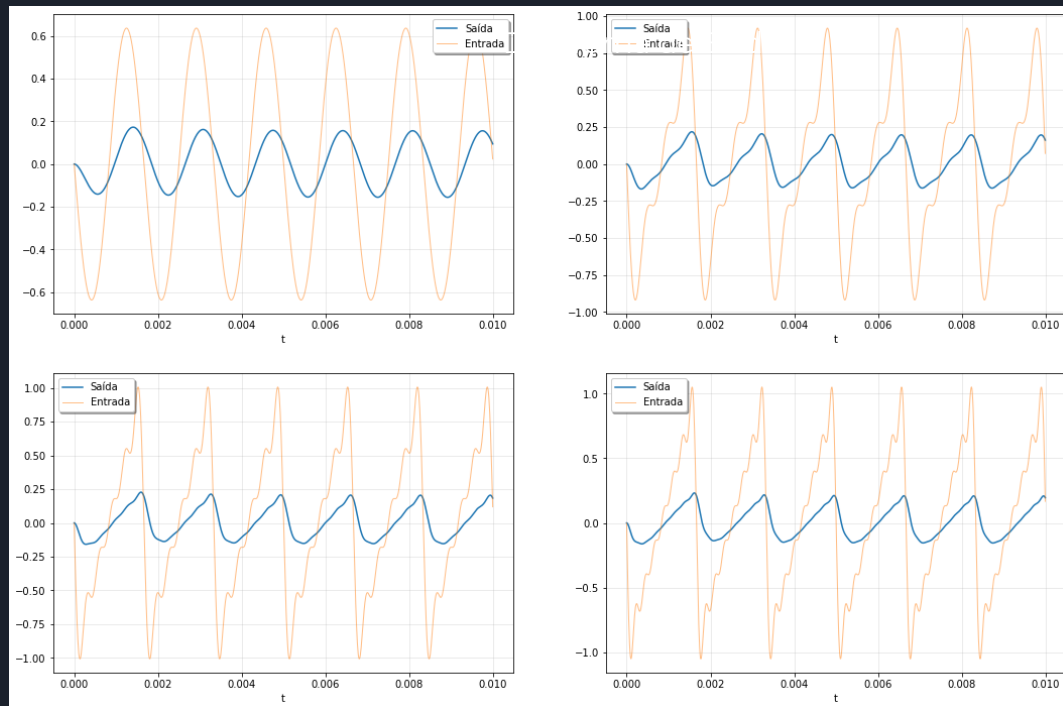
Resposta à dente de serra e seus harmônicos da Série de Fourier

Resposta à Dente de Serra



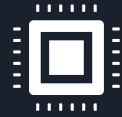
$$f = 600 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 3770 \text{ rad/s}$$

Resposta do 1º ao 7º harmônico da Série de Fourier



Questão 1 – Circuitos 5 e 6

Integradores de Tensão



Já foi discutido nos projetos dois tipos de filtro: passa-baixa e passa-faixa, ambos com circuitos RC. A seguir, será apresentado um circuito integrador e um integrador inversor, ambos contendo amplificadores operacionais.

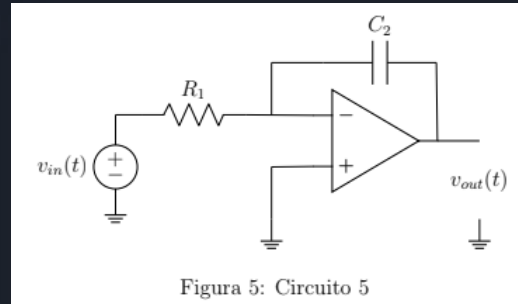


Figura 5: Circuito 5

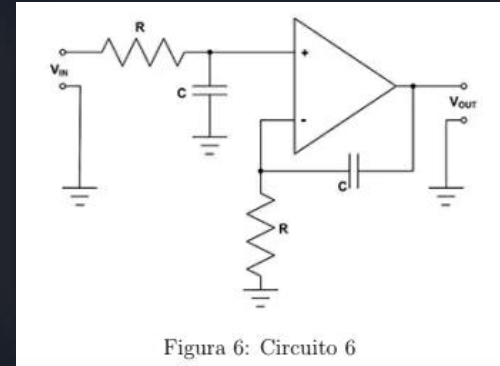


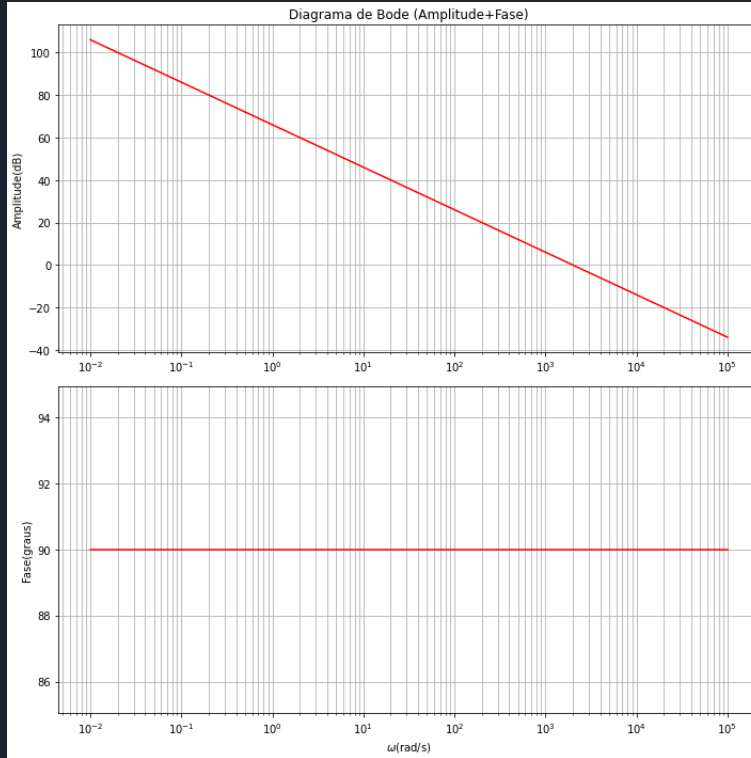
Figura 6: Circuito 6

$$\text{Circuito 5} \Rightarrow H(s) = -\frac{1}{R_1 C_2 s}$$

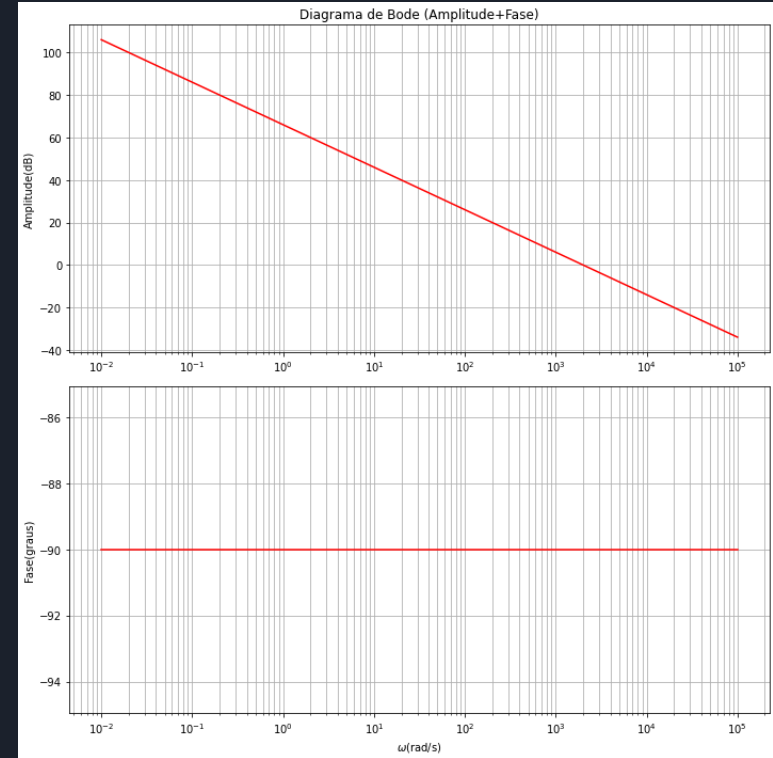
$$\text{Circuito 6} \Rightarrow H(s) = \frac{1}{RCs}$$

Diagramas de Bode

Circuito 5



Circuito 6

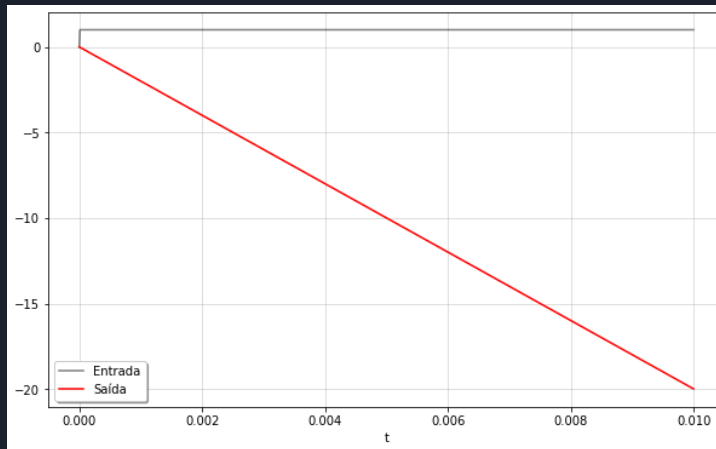


Resposta ao Degrau Unitário

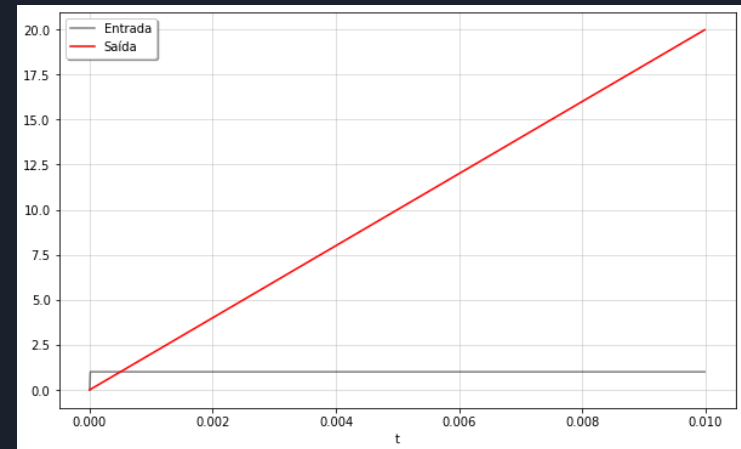
Os valores dos componentes utilizados foram os mesmos para os dois circuitos:

- Resistência: $100\ \Omega$
- Capacitor: $5\ \mu\text{F}$

Circuito 5

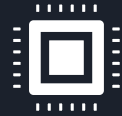


Circuito 6

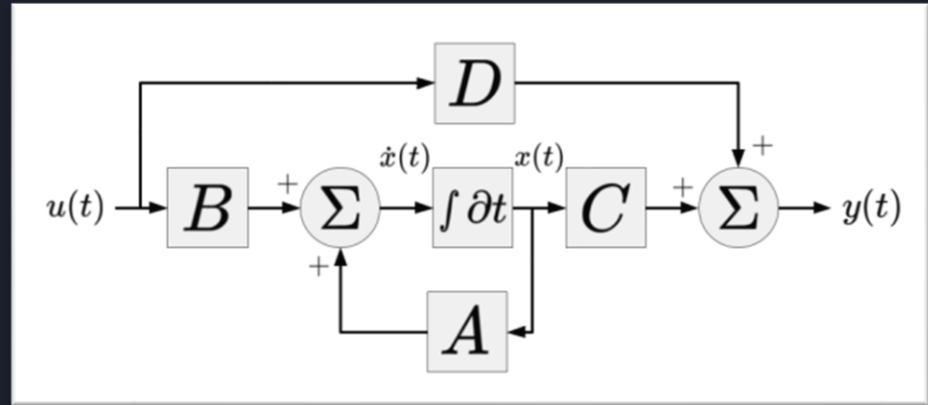


Questão 2

Resposta à Rampa Unitária



Para a questão 2, será analisada a resposta à rampa unitária da função de transferência obtida modelando o diagrama de Blocos abaixo.



Correção: na saída do A para o somador, o correto é que o sinal que entra no somador seja negativo.

Função de Transferência

$$H(s) = \frac{11s+143}{s+7}$$

Diagrama de Polos e Zeros

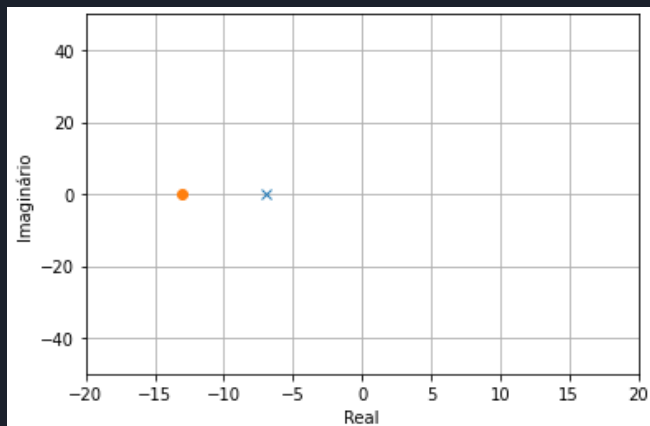
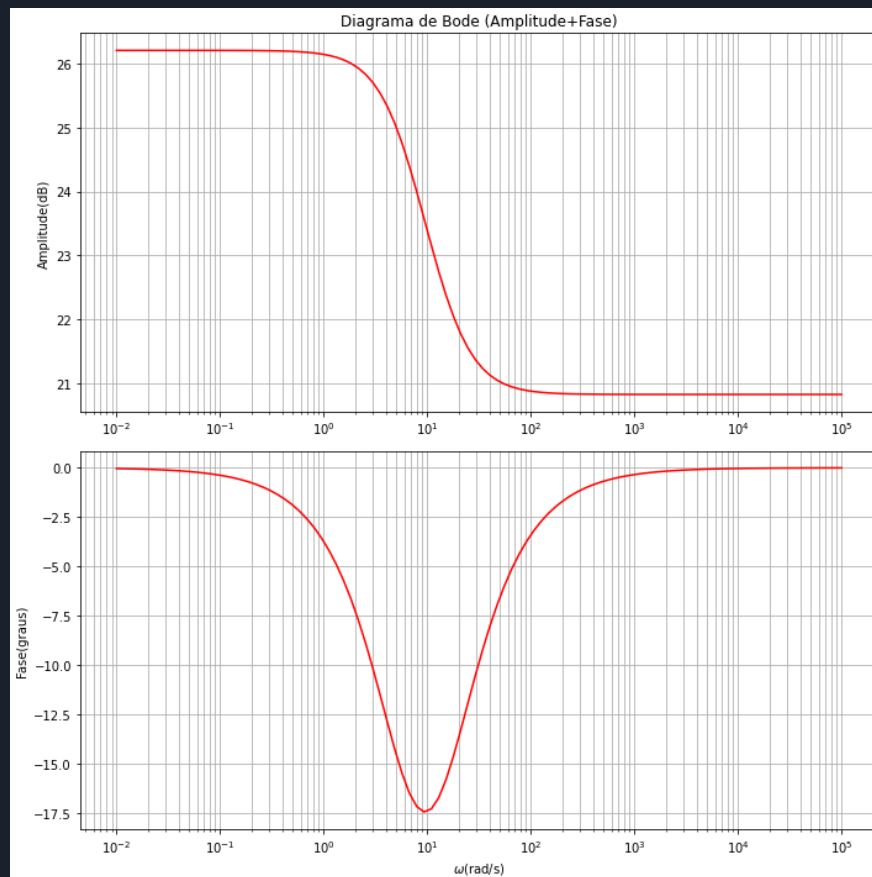


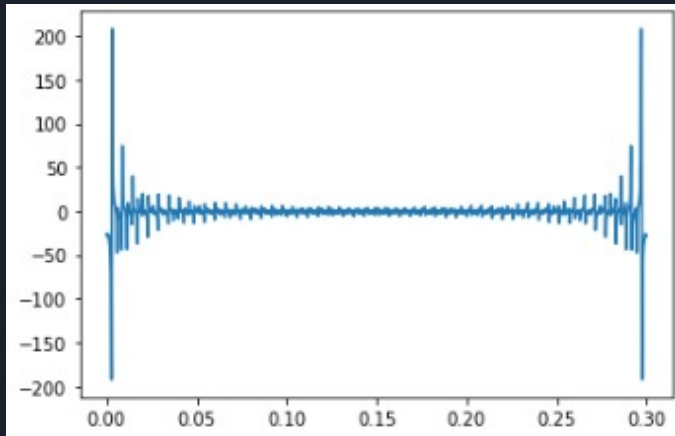
Diagrama de Bode



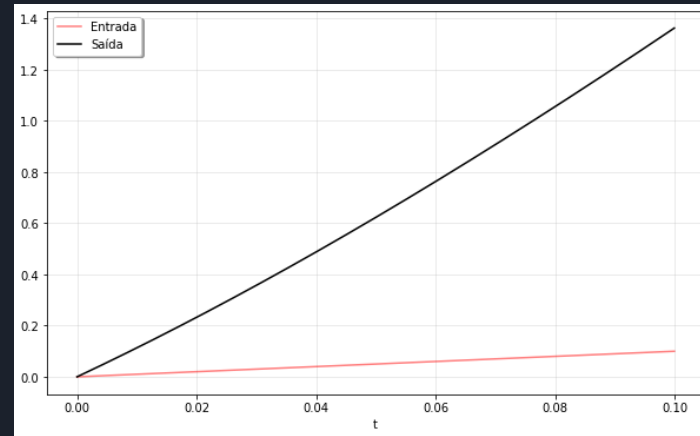
Resposta à Rampa Unitária

Antes de analisar o gráfico da resposta à rampa unitária, convém analisar o espectro de Fourier da rampa unitária

Espectro de Fourier da Rampa Unitária



Resposta à Rampa Unitária



Questão 4 – Função de Transferência 1

Diagrama de Bode e Fenômeno de Gibbs



Na questão 4, será analisado o diagrama de Bode, que possui uma característica particular para essa função de transferência. Além disso, a resposta aos harmônicos da série de Fourier de uma onda quadrada desse sistema será aproveitada para analisar o Fenômeno de Gibbs

$$H(s) = \frac{s+10^4}{s^2+2\beta s+100}, \text{ para } \beta = \{0.001, 0.01, 0.1, 1, 10\}.$$

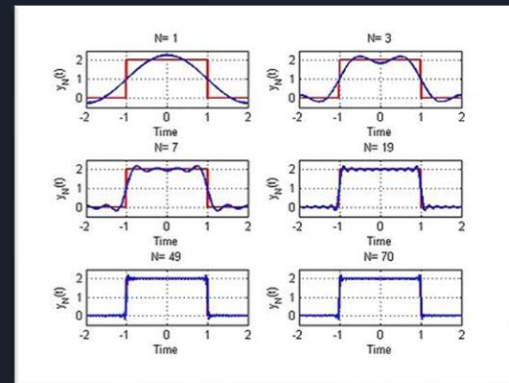
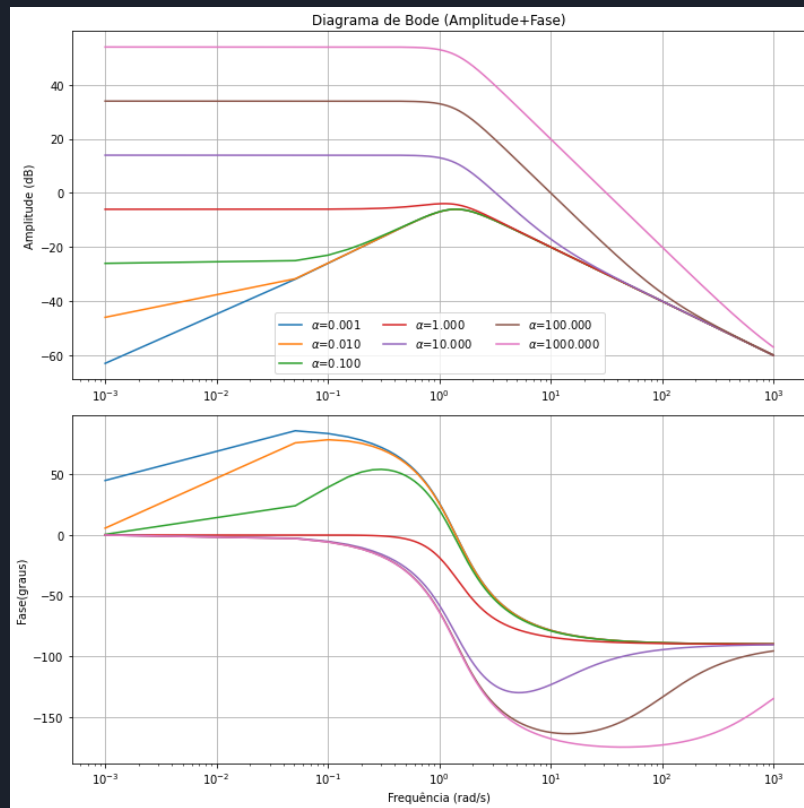


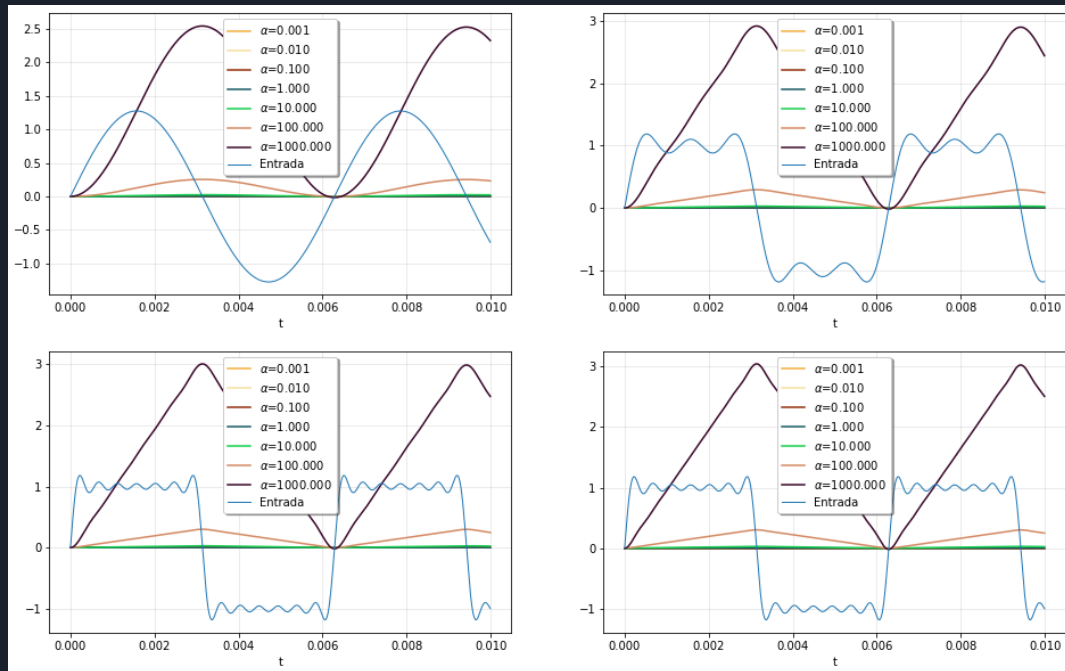
Diagrama de Bode



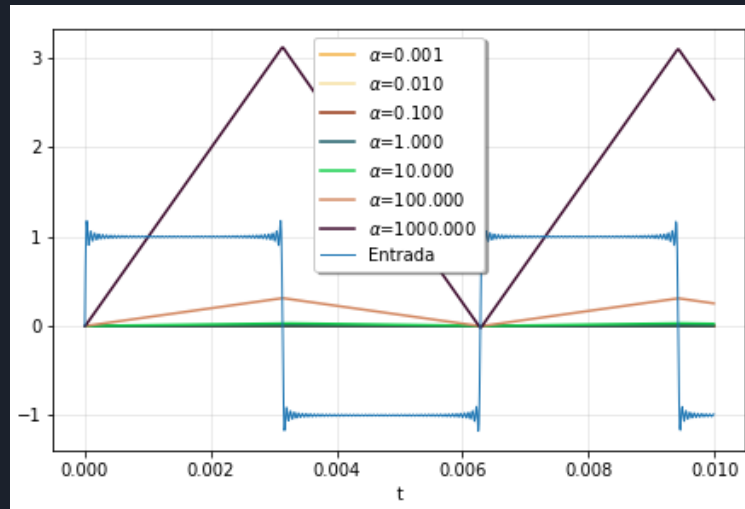
Resposta aos harmônicos da Série de Fourier de uma onda quadrada e o Fenômeno de Gibbs

$$\omega = 1000 \text{ rad/s}$$

Resposta do 1º ao 7º harmônico da Série de Fourier



Resposta aos 50 primeiros harmônicos



Fenômeno de Gibbs



Obrigado!

