Universidade Federal do Rio de Janeiro

Trabalho Final de Sistemas Lineares I

Alunos	Igor Abreu da Silva
DRE	112053874
Curso	Engenharia Eletrônica
Turma	2016/2
Professor	Natanael Nunes de Moura Junior

Rio de Janeiro, 09 de Dezembro de 2016

Conteúdo

Lista de Figuras

1 Conhecimentos

1.1 Leis de kirchhoff

1.1.1 Lei das Correntes

A soma das correntes em um nó e igual a zero.

1.1.2 Lei das Tensões

A soma das tensões em uma malha fechada é nula.

1.2 Propriedades de Laplace

1.2.1 Propriedade da diferenciação

$$x(t) \Rightarrow X(S) \rightarrow \int_0^{+\infty} \frac{dx}{dt} e^{-st} dt \Rightarrow s \int_0^{\infty} x(t) e^{-st} dt - x(0^-) = sX(s) - x(0^-)$$

1.3 Função de Transferência

É a relação da saida sobre a entradas $H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)}$

1.4 Pólos e Zeros

Pólos são valores de **s** onde temos uma indefinição na função de transferência, ou seja quando o denominador é zero.

Zeros são todos os valores de **s** que zera a função de transferência, em outras palavras fazem com que o numerador seja igual a zero.

1.5 Diagrama de Bode

$$H(S) = \frac{Y(s)}{X(S)} \Rightarrow \frac{k(s + a_1)}{s(s + b_1)(s^2 + b_2 s + b_3)}$$

Organizando esta equação, temos:

$$\frac{k(a_1(\frac{s}{a_1} + 1))}{s b_1 b_3 (\frac{s}{b_1} + 1)(\frac{s^2}{b_3} + \frac{b_2 s}{b_3} + 1)}$$

Com isso, teremos:

$$|H(jw)| = \frac{k(a_1(\frac{jw}{a_1}+1))}{jwb_1b_3(\frac{jw}{b_1}+1)(\frac{(jw)^2}{b_3}+\frac{b_2jw}{b_3}+1)}$$

Por questões praticas, com o objetivo de facilitar as contas, adaptaremos essa função para utilizar como a representação magnitude de decibel, logo teremos:

$$20log(|H(jw)|) = 20log(|\frac{ka_1}{b_1b3}|)+20log(|\frac{jw}{a_1}+1|)-20log(|jw|)-20log(|\frac{jw}{b_1}+1|)$$

$$-20log(|\frac{(jw)^2+b_2jw}{b_3}+1|)$$

Como fase, teremos:

$$\angle H(jw) = \angle(\frac{jw}{a_1}+1) - \angle jw - \angle(\frac{jw}{b_1}+1) - \angle(\frac{(jw)^2+b_2jw}{b_3}+1)$$

Para o termo constante: $\frac{ka_1}{b_1b3}$
Modulo começa em $20log(\frac{ka_1}{b_1b3})$
Fase será π, $\frac{ka_1}{b_1b3} > 0$ ou 0, $\frac{ka_1}{b_1b3} \leq 0$

Termo: $j\omega$
Modulo -20db/dec (Pólo) ou +20db/dec (zero)
Fase $-arctg(\frac{w}{0})$, ou seja, -90^o (pólo) $+90^o$ (zero)

Primeira Ordem: $\frac{jw}{b_1}+1$
Modulo, começando na frequência de corte b_1, -20db/dec (Pólo) ou +20db/dec (zero)
Fase 0_o em $\frac{b_1}{10}$, -45^o (pólo) $+45^o$ (zero) em b_1 e por fim -90^o (pólo) $+90^o$ (zero) em $100b_1$

Segunda Ordem: $\frac{(jw)^2+b_2jw}{b_3}+1$
Modulo, começando na frequência de corte b_3, -40db/dec (Pólo) ou +40db/dec (zero)
Fase 0_o em $\frac{b_3}{10}$, -90^o (pólo) $+90^o$ (zero) em b_3 e por fim -180^o (pólo) $+180^o$ (zero) em $100b_3$

1.6 Resposta à sinas

Exemplo de como encontrar à resposta da função de transferência para um determinado sinal:

Tendo $H(S) = \frac{S+2}{S^2+5S+4}$, iremos encontrar a resposta para $x(t) = 5cos(2t+30°)$

$$H(j\omega) = \frac{j\omega + 2}{-\omega^2 + 5j\omega + 4}$$

sabemos que:

$$|H(j\omega)| = \frac{\sqrt{(\mathrm{I\!Re}_1)^2 + (\mathrm{Im}_1)^2}}{\sqrt{(\mathrm{I\!Re}_2)^2 + (\mathrm{Im}_2)^2}} \leftrightarrow \angle = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}_1}{\mathrm{I\!Re}_1}\right) - \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}_2}{\mathrm{I\!Re}_2}\right)$$

e que:

$$y(t) = |H(j\omega)| \cos(\omega t + \phi + \angle H(j\omega))$$

logo, substituindo os valores em:

$$|H(j\omega)| = \frac{\sqrt{\omega^2 + 4}}{\sqrt{(5j\omega)^2 + (4 - \omega^2)}} \leftrightarrow \angle H(j\omega) = \arctan\left(\frac{\omega}{2}\right) - \arctan\left(\frac{5\omega}{4 - \omega^2}\right)$$

temos:

$$y(t) = \sqrt{2}\cos(2t - 15°)$$

1.7 Série Trigonométrica de Fourier

A série de fourier serve para representar sinais periódicos em função de senos e cossenos.

com isso, temos:

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty}(a_n cos(\frac{2n\pi x}{T}) + b_n sen(\frac{2n\pi x}{T}))$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{T_0}^{T_f} f(x)cos(\frac{2n\pi x}{T})dx$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{T_0}^{T_f} f(x)sen(\frac{2n\pi x}{T})dx$$

2 Questão 1

Nesta sessão serão resolvidas todas as partes necessárias para encontrar as funções/utilidades de cada um dos circuitos, bem como a analise de resposta a determinados sinais e todos os itens solicitados na **Questão 1** do trabalho final de sistemas lineares.

O primeiro passo é modelar cada circuito, essa modelagem utilizara as leis de kirchhoff explicadas em 1.1. Apos a modelagem, encontraremos as E.D.O's, aplicaremos Laplace utilizando a propriedade da Derivação (1.2.1) e com isso encontraremos a função de transferência H(S). Em posse da função de transferência em função dos componentes do circuito, escolheremos o valor comercial de cada componente de acordo com o nosso objetivo, encontraremos os polos e zeros e o diagrama de bode conforme explicado em (1.4) e (1.5).

2.1 Circuito 1

2.1.1 Determinar a função do circuto

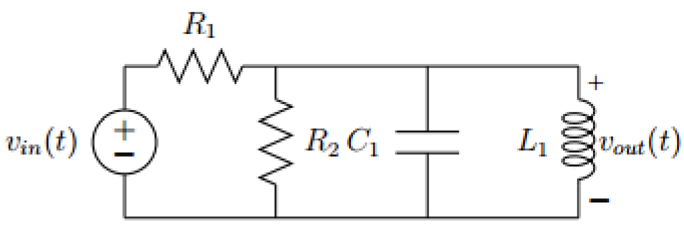

Figura 1: Circuito 1

Podemos modelar o circuito 1 em relação ao nó após R1. Teríamos a seguinte equação:

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{R1} - \frac{V_{out}}{R2} - \frac{C\partial V_{out}}{\partial t} - \frac{1}{L}\int V_{out}\partial t = 0$$

Para encontrarmos a E.D.O do circuito, vamos derivar toda esta expressão e separar V_{out} e V_{in}, encontrando a seguinte relação:

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial t}\left(\frac{1}{R_1}\right) = \frac{C\partial^2 V_{out}}{\partial t^2} + \frac{\partial V_{out}}{\partial t}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) + \frac{V_{out}}{L}$$

Em posse da E.D.O, utilizaremos Laplace para encontrar a função de Transferência do Circuito.

$$X(S)\left(\frac{1}{R_1}\right) = Y(S)\left(S^2C + S\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) + \frac{1}{L}\right) \Rightarrow$$

$$H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{SR_2L}{S^2\left(R_1R_2LC\right) + S\left(R_1L + R_2L\right) + R_1R_2}$$

Afim de facilitar os cálculos, tomaremos os seguintes valores para cada elemento do circuito:

- $R_1 = 56\Omega;$
- $R_2 = 100\Omega;$
- $C = 2.2\mu F;$
- $L = 23.2mH;$

Apos aplicar os valores comercias em H(S), temos:

$$H(S) = \frac{2.32S}{0.000285824S^2 + 3.6192S + 5600}$$

Utilizando essa função no MatLab para encontrar os polos (quando se zera o denominador), zeros (quando se zera o numerador) e o diagrama de Bode, obtemos o seguintes gráficos:

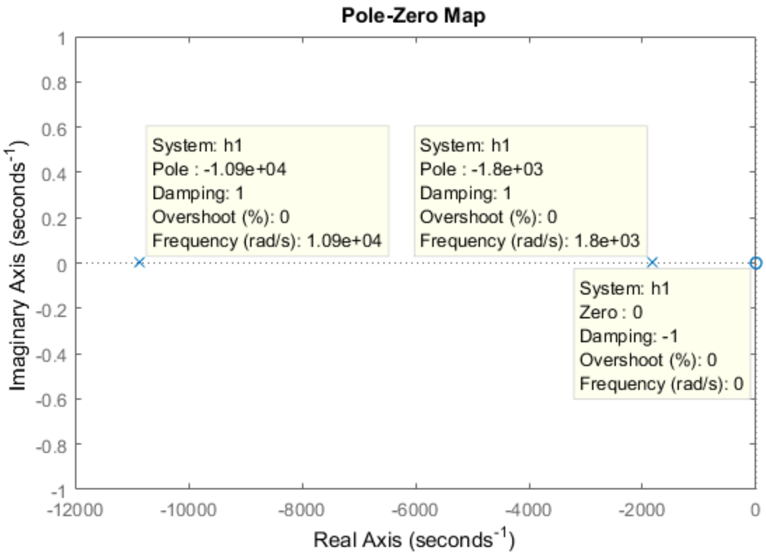

Figura 2: Circuito 1 - Polos e Zeros

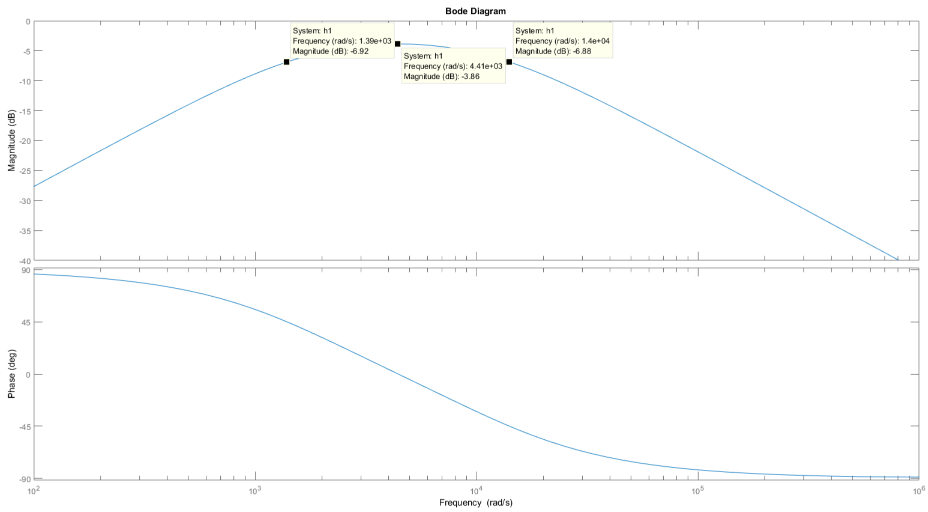

Figura 3: Circuito 1 - Diagrama de Bode

Analisando-se este circuito, pode-se afirmar que o mesmo é um filtro passa faixa operando na largura de banda de aproximadamente 12610 rad/sec em um intervalo [1390, 14000] rad/sec.

2.1.2 Resposta ao degrau unitário

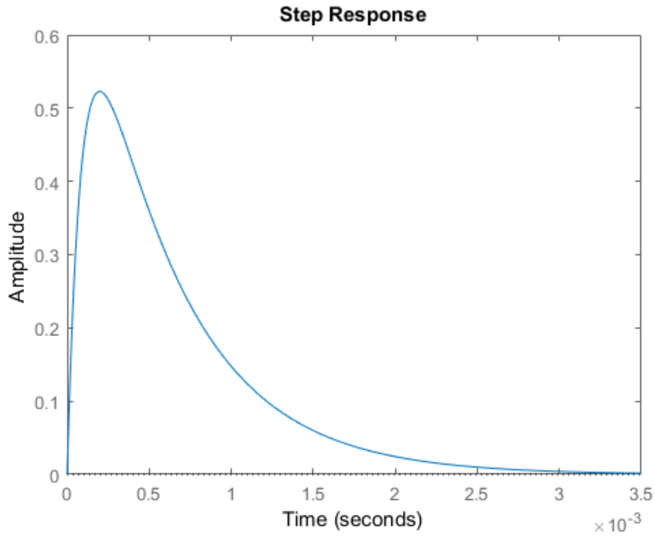

Figura 4: Circuito 1 - Resposta ao degrau unitário

2.1.3 Resposta a rampa unitário

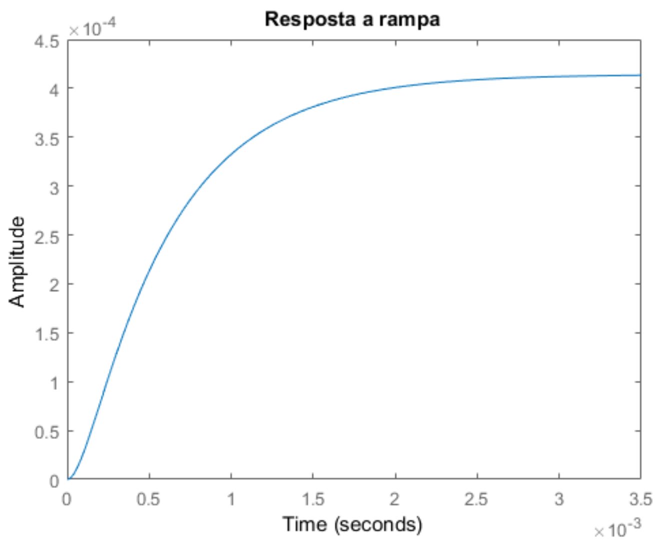

Figura 5: Circuito 1 - Resposta a rampa unitária

2.1.4 Resposta a onda quadrada

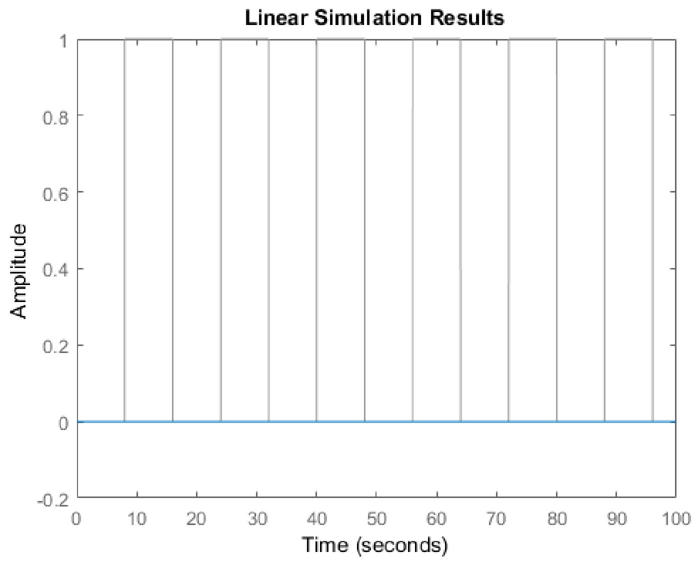

Figura 6: Circuito 1 - Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

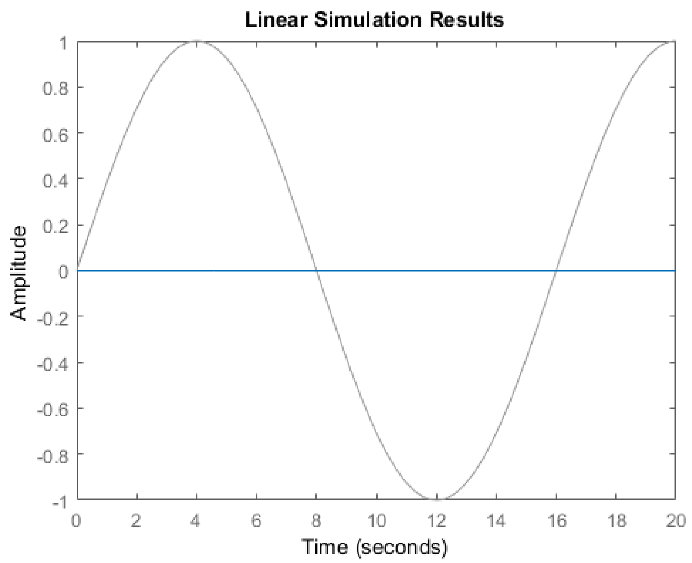

Figura 7: Circuito 1 - Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

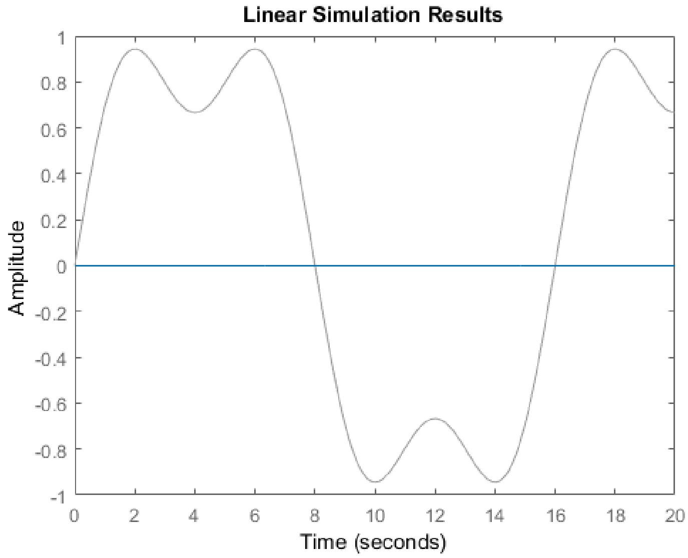

Figura 8: Circuito 1 - Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

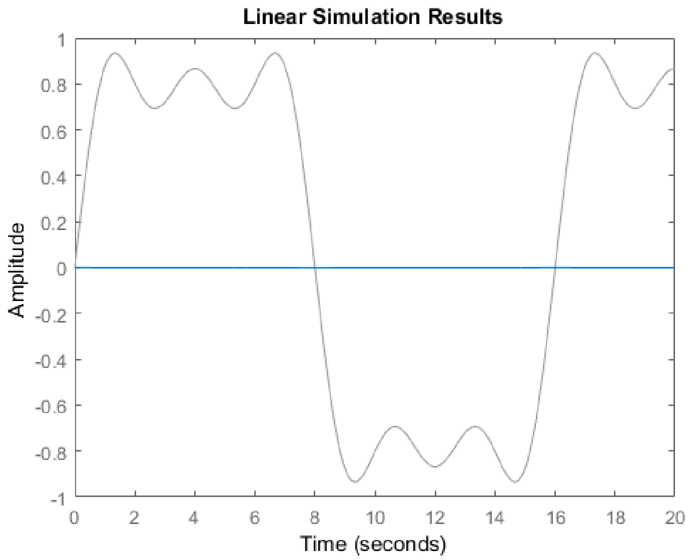

Figura 9: Circuito 1 - Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

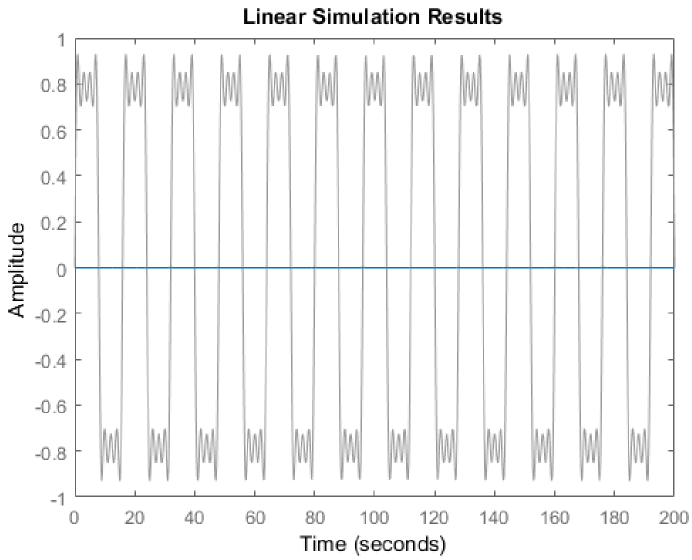

Figura 10: Circuito 1 - Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

2.2 Circuito 2

2.2.1 Determinar a função do circuto

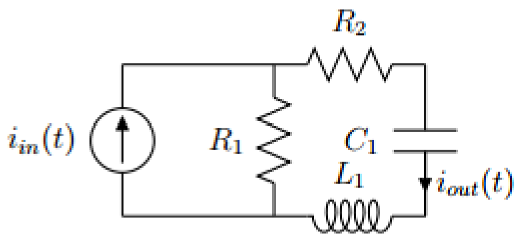

Figura 11: Circuito 2

Para modelarmos utilizaremos as seguintes equações:

$$I_1 = I_{in} - I_{out}$$

$$R_2 I_{out} + \frac{L \partial I_{out}}{\partial t} - R_1 I_1 + \frac{1}{C} \int I_{out} \partial t = 0$$

Substituindo I_1 para colocarmos a equação em função de I_{in} e I_{out} e derivando-a para removermos a Integral, temos a E.D.O:

$$\frac{\partial I_{in}}{\partial t}(R_1) = \frac{\partial^2 I_{out}}{\partial t^2}(L) + \frac{\partial I_{out}}{\partial t}(R_1 + R_2) + \frac{I_{out}}{C}$$

Transformando essa E.D.O em Laplace, obtemos:

$$X(S)(SR_1) = Y(S)\left(S^2 + S(R_1 + R_2) + \frac{1}{C}\right) \Rightarrow$$

$$H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{S(R_1 C)}{S^2(LC) + S(R_1 C + R_2 C) + 1}$$

Escolhendo os seguintes valores para cada elemento do circuito:

- $R_1 = 1M\Omega$;
- $R_2 = 100\Omega$;
- $C = 2.2\mu F$;
- $L = 23.2mH$;

Encontramos a seguinte função de transferência:

$$H(S) = \frac{2.2S}{0.000000051S^2 + 2.20022S + 1}$$

A partir dessa função obtemos os seguintes polos, zeros e diagrama de Bode:

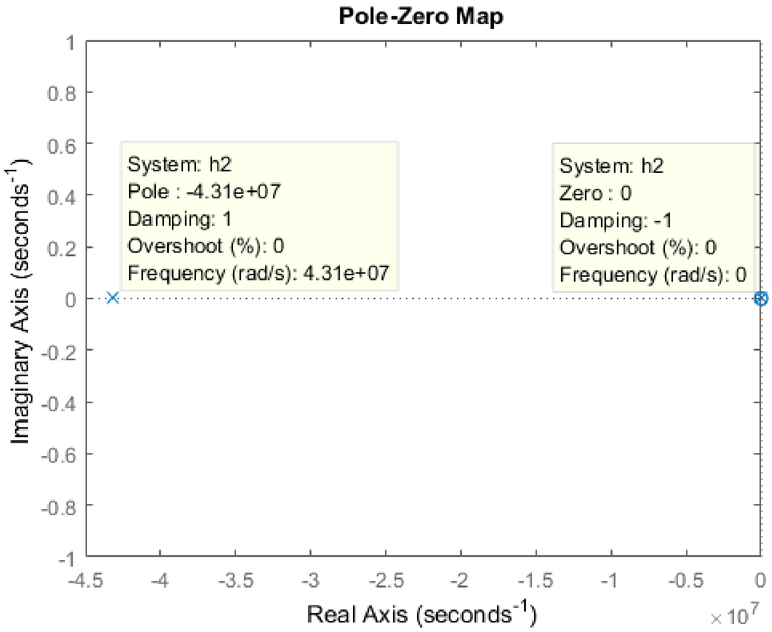

Figura 12: Circuito 2 - Polos e Zeros

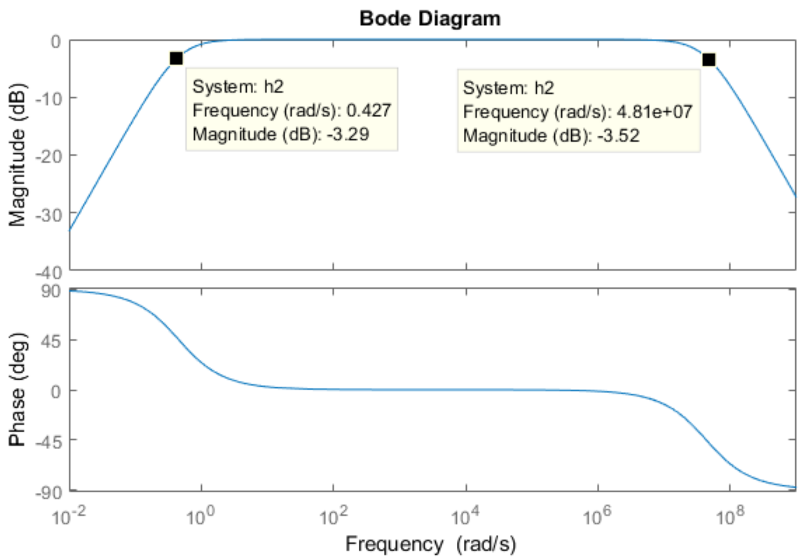

Figura 13: Circuito 2 - Diagrama de Bode

Assim como o circuito da figura 1, temos também um filtro passa faixa que opera nas faixas entre 0.427 rad/seg até 48.1×10^7 rad/seg

2.2.2 Resposta ao degrau unitário

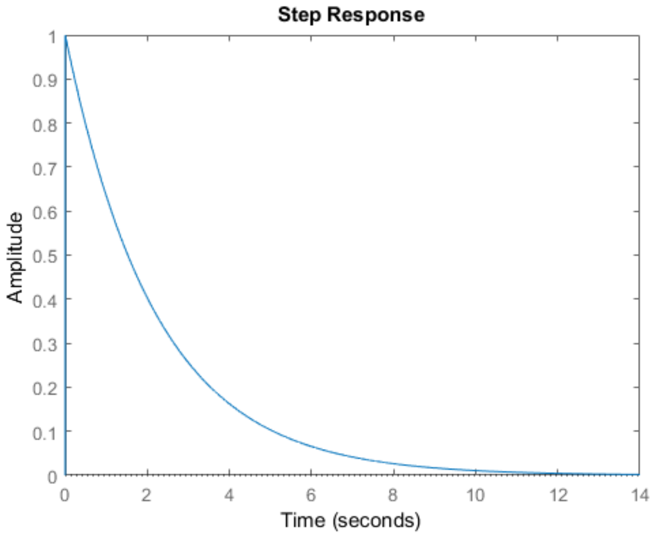

Figura 14: Circuito 2 - Resposta ao degrau unitário

2.2.3 Resposta a rampa unitário

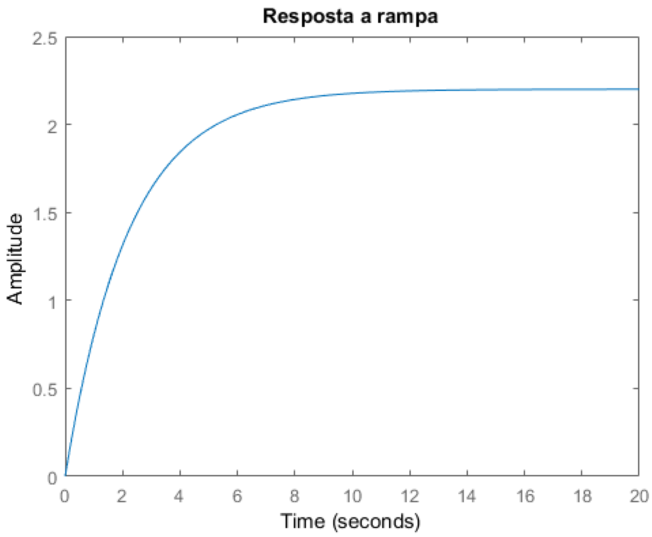

Figura 15: Circuito 2 - Resposta a rampa unitária

2.2.4 Resposta a onda quadrada

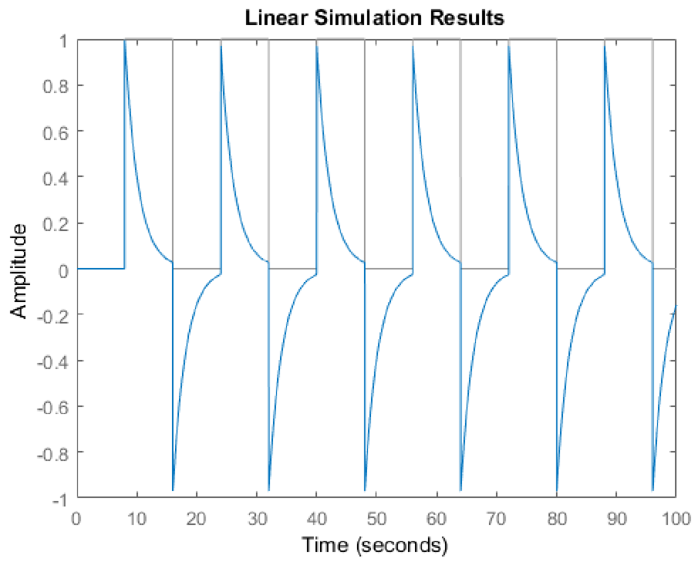

Figura 16: Circuito 2 - Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

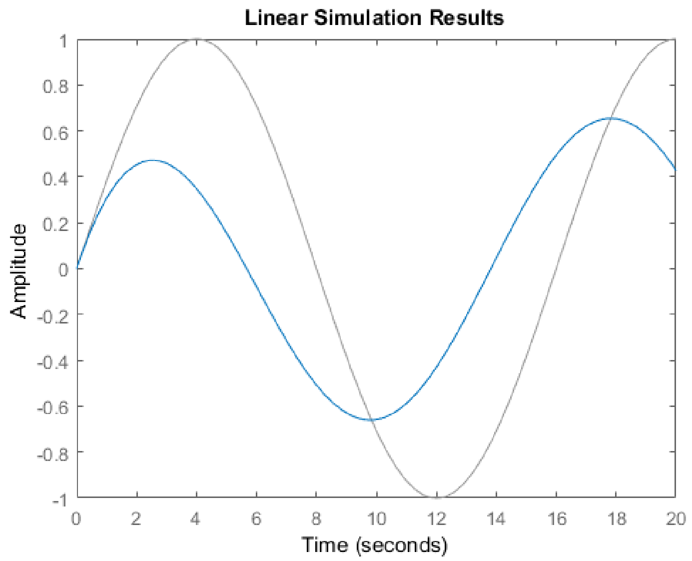

Figura 17: Circuito 2 - Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

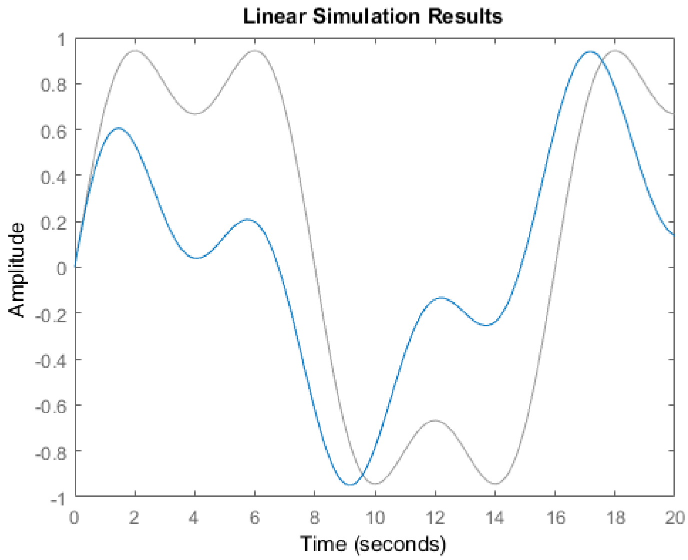

Figura 18: Circuito 2 - Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

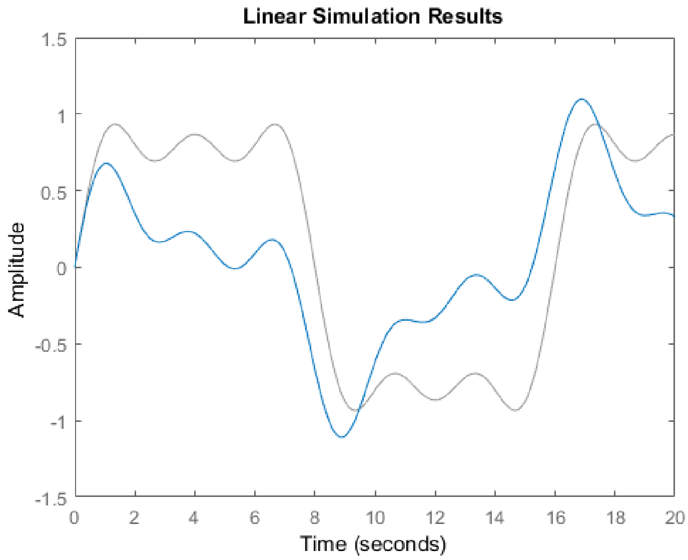

Figura 19: Circuito 2 - Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

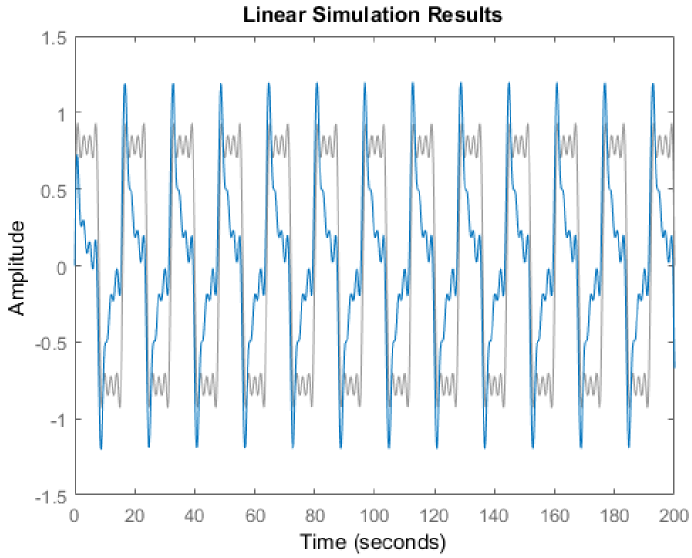

Figura 20: Circuito 2 - Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

2.3 Circuito 3

2.3.1 Determinar a função do circuto

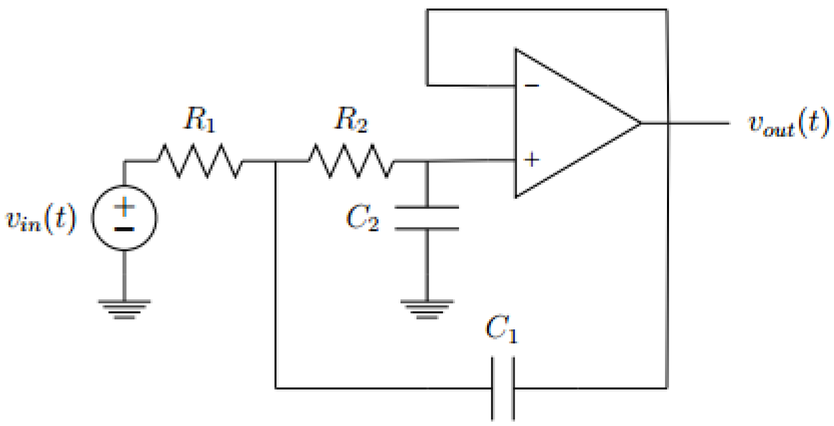

Figura 21: Circuito 3

Este circuito, também conhecido como topologia de Sallen-Key, sabendo que o AmpOp possui impedância infinita em sua entrada, que $V^- = V^+$, que

$V^- = V_{out}$ e chamando V_a da tensão que passa por C_1, obtemos:

$$V_a = V_{out} + R_2 C_2 \frac{\partial V_{out}}{\partial t}$$

Utilizando a lei dos nós entre R_1 e R_2 e já substituindo V_a por V_{out} temos:

$$\frac{V_{in}}{R_1} = R_2 C_1 C_2 \frac{\partial^2 V_{out}}{\partial t^2} + \left(C_2 + \frac{R_2 C_2}{R_1} \right) \frac{\partial V_{out}}{\partial t} + \frac{V_{out}}{R_1}$$

Com esta E.D.O, podemos encontrar a seguinte função de transferência utilizando o mesmo método empregado nos circuitos anteriores, com isso temos:

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

Utilizando os valores para cada elemento do circuito:

- $R_1 = 10k\Omega$;
- $R_2 = 1k\Omega$;
- $C_1 = 50nF$;
- $C_2 = 50nF$;

Encontramos a seguinte função de transferência:

$$H(S) = \frac{1}{0.000000025S^2 + 0.00055S + 1}$$

Que nos gera os seguintes polos, zeros e diagrama de Bode:

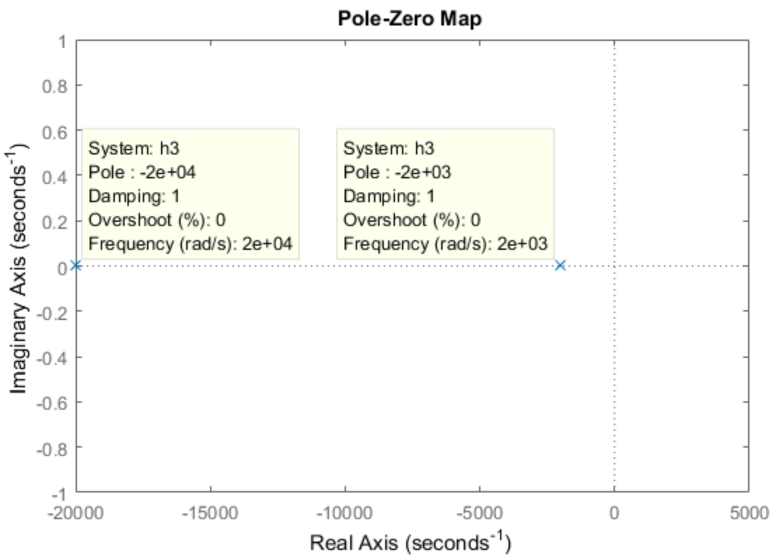

Figura 22: Circuito 3 - Polos e Zeros

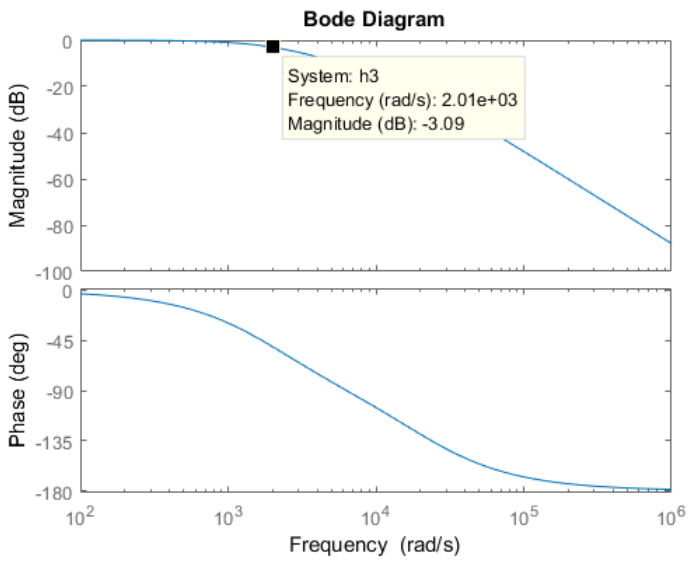

Figura 23: Circuito 3 - Diagrama de Bode

Pela a analise do diagrama de Bode, pode-se afirmar que esse circuito é um filtro passa baixa com frequência de corte igual a 2000 rad/s.

2.3.2 Resposta ao degrau unitário

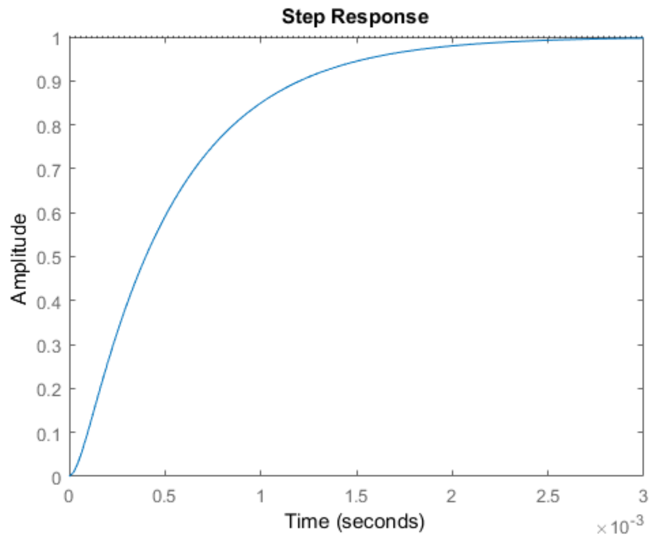

Figura 24: Circuito 3 - Resposta ao degrau unitário

2.3.3 Resposta a rampa unitário

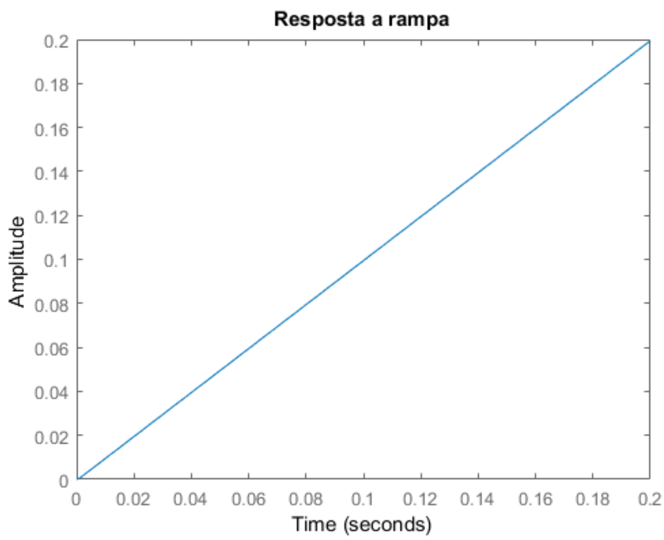

Figura 25: Circuito 3 - Resposta a rampa unitária

2.3.4 Resposta a onda quadrada

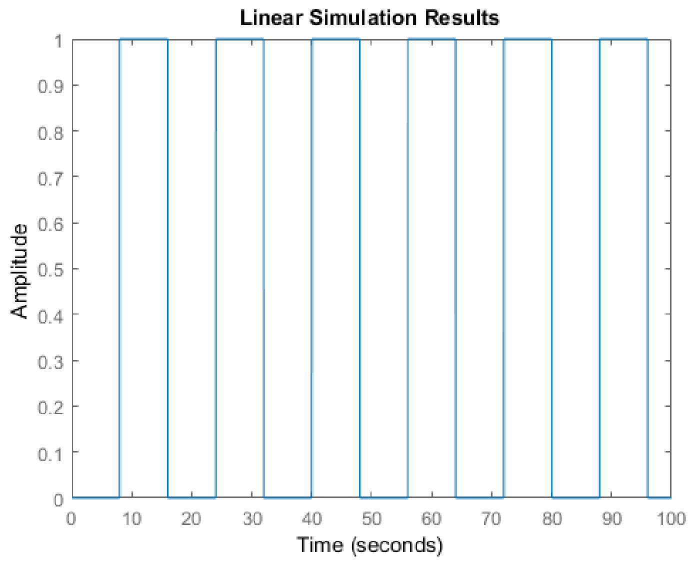

Figura 26: Circuito 3 - Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

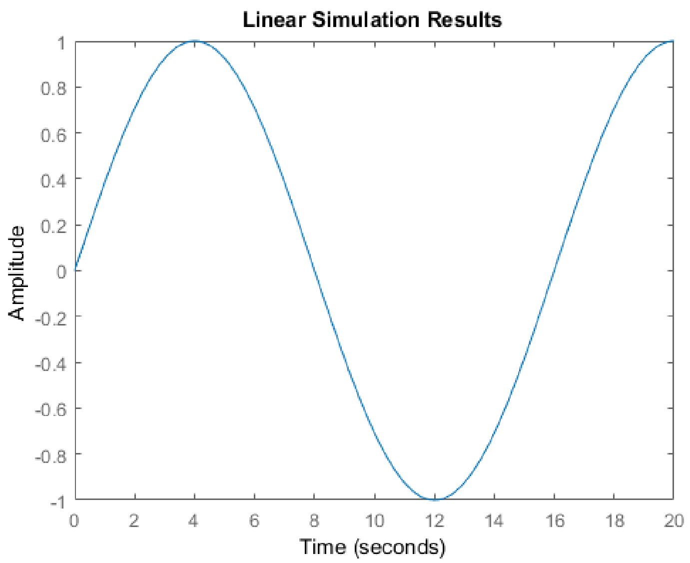

Figura 27: Circuito 3 - Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

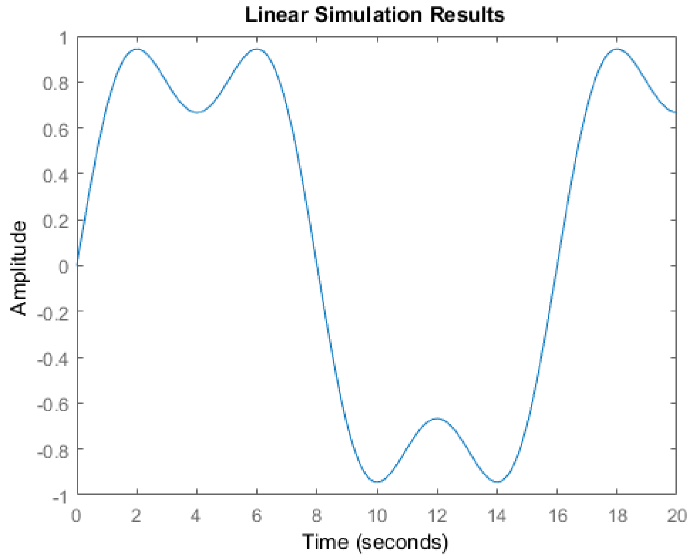

Figura 28: Circuito 3 - Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

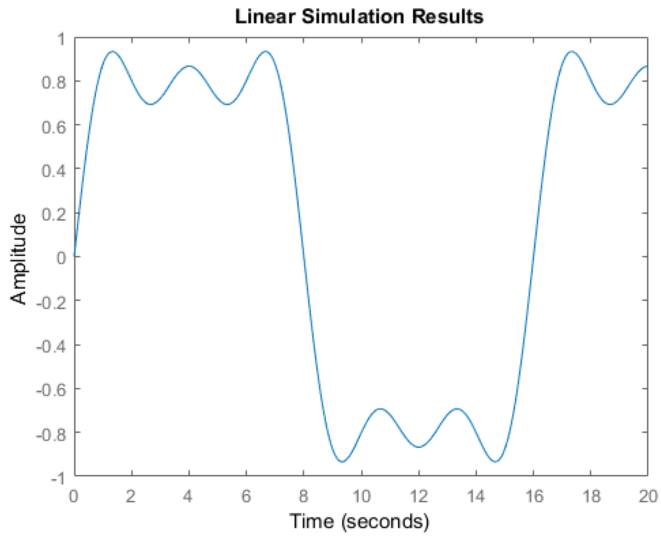

Figura 29: Circuito 3 - Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

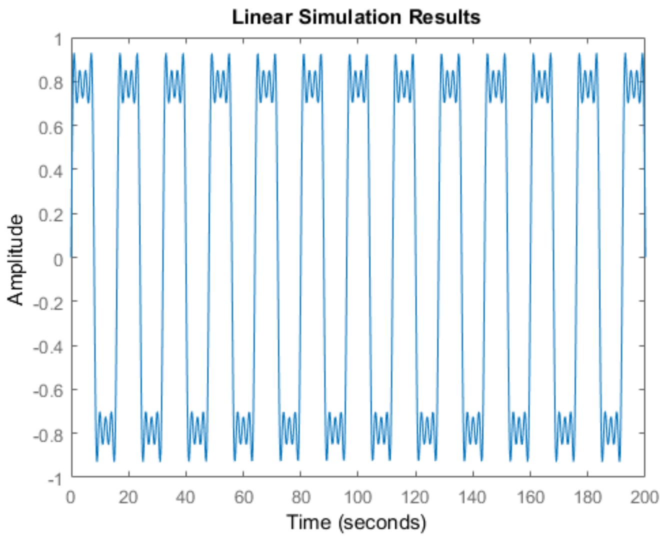

Figura 30: Circuito 3 - Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

2.4 Circuito 4

2.4.1 Determinar a função do circuto

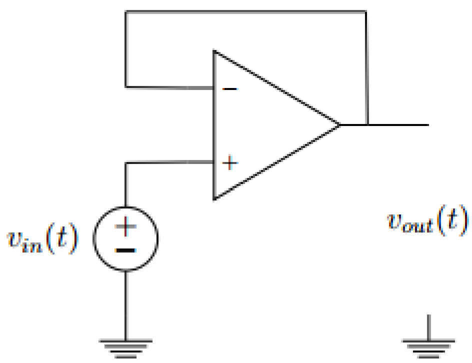

Figura 31: Circuito 4

Esse circuito, conhecido como buffer, é utilizado como um isolador. Como V_{in} é igual a V_{out}, sua função de transferência H(S) = 1. Não existem polos nem zeros para esse circuito e seu diagrama de Bode permanece em 0.

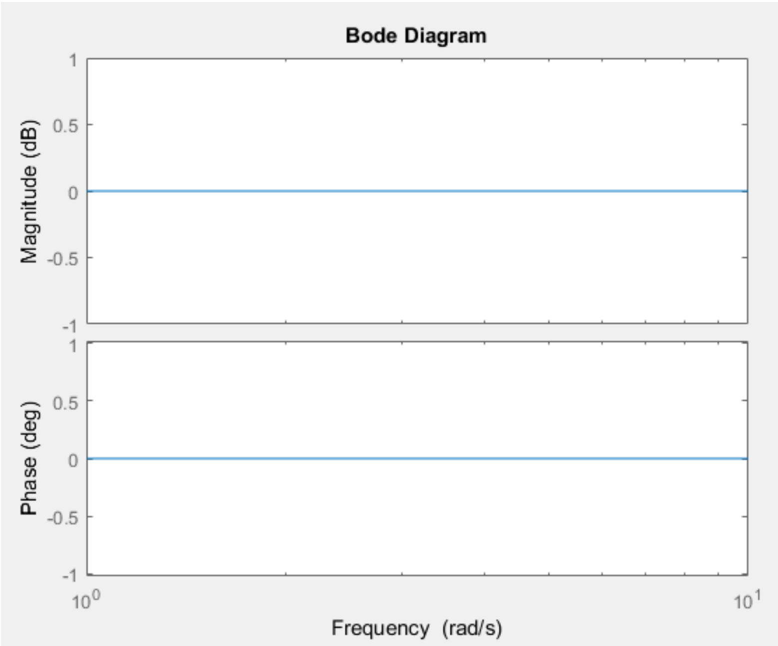

Figura 32: Circuito 4 - Diagrama de Bode

2.4.2 Resposta ao degrau unitário

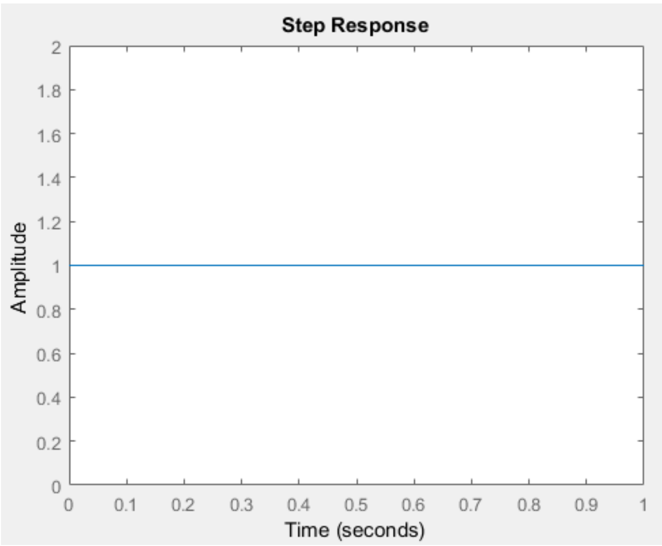

Figura 33: Circuito 4 - Resposta ao degrau unitário

2.4.3 Resposta a rampa unitário

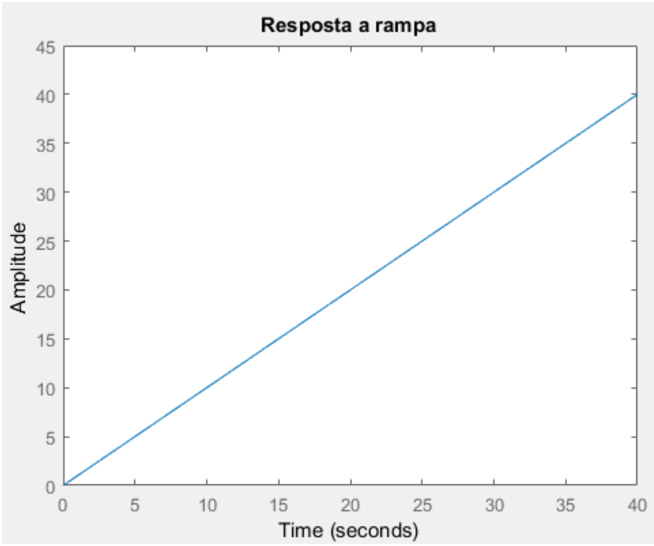

Figura 34: Circuito 4 - Resposta a rampa unitária

2.4.4 Resposta a onda quadrada

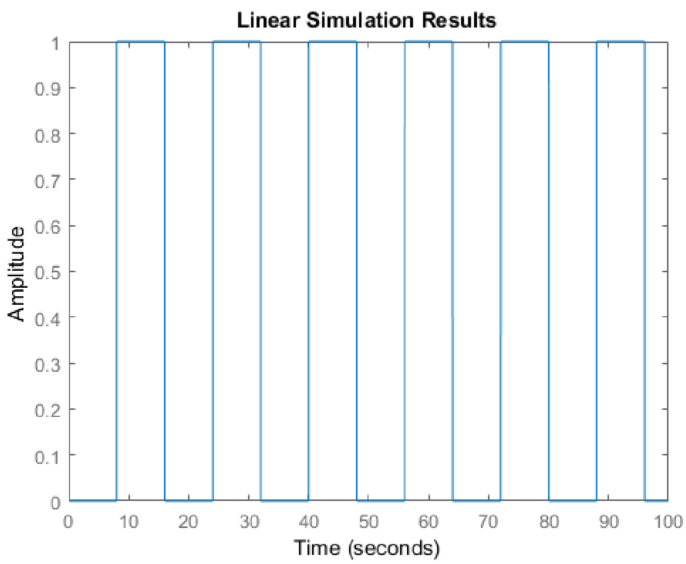

Figura 35: Circuito 4 - Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

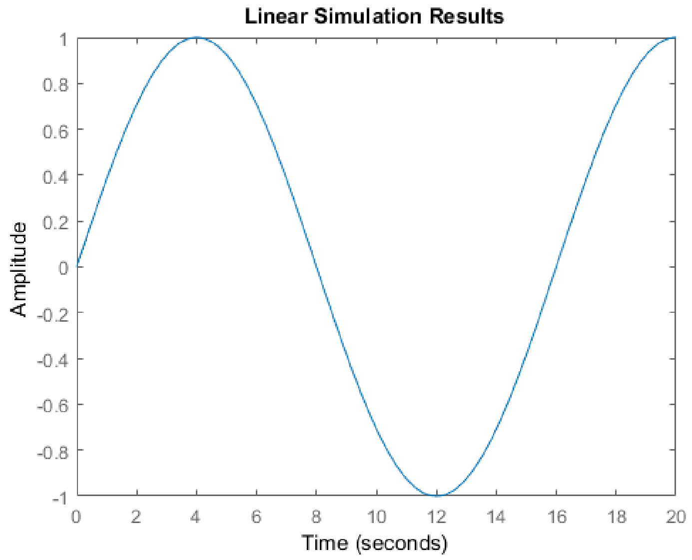

Figura 36: Circuito 4 - Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

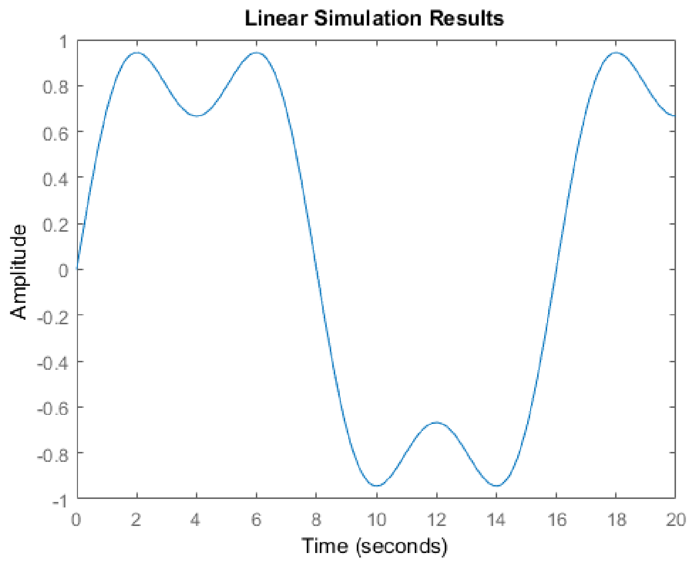

Figura 37: Circuito 4 - Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

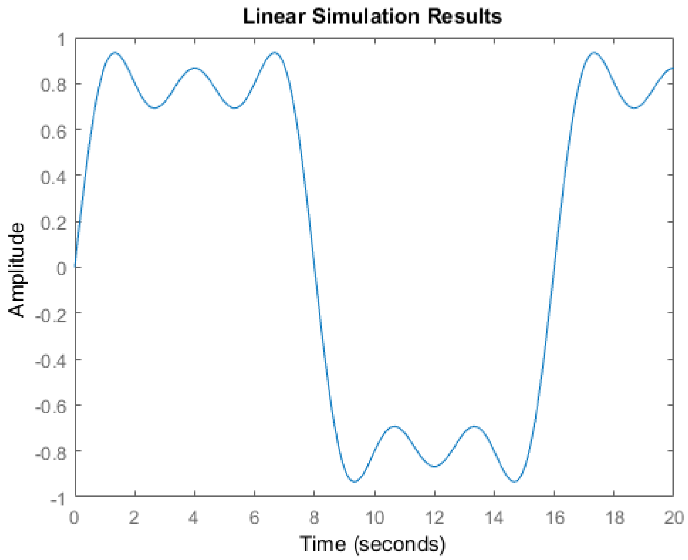

Figura 38: Circuito 4 - Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

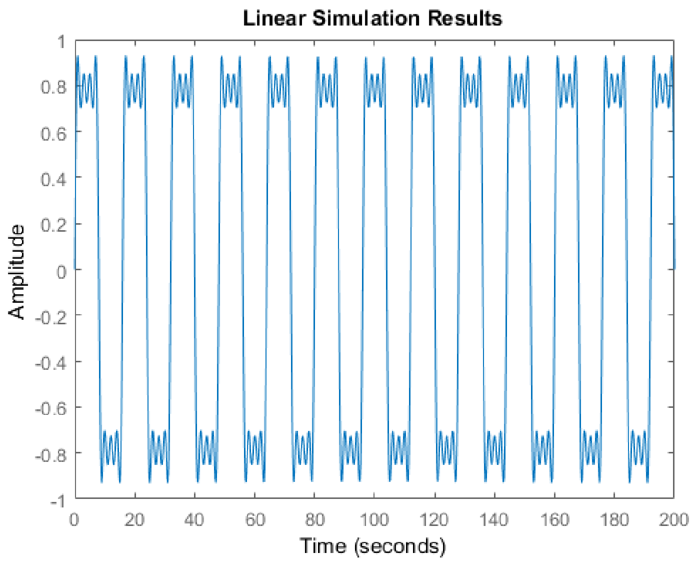

Figura 39: Circuito 4 - Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

2.5 Circuito 5

2.5.1 Determinar a função do circuto

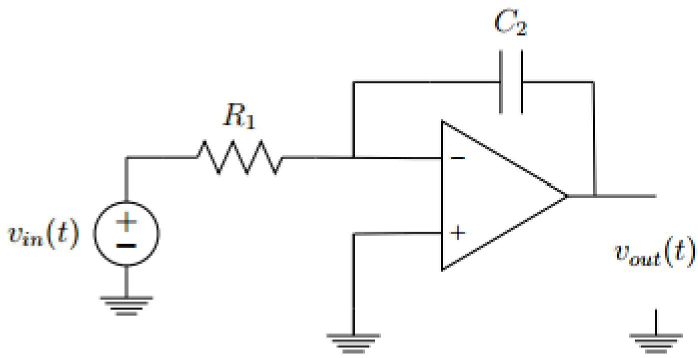

Figura 40: Circuito 5

Esse circuito pode ser escrito como:

$$\frac{V_{in}}{R} + C\frac{\partial V_{out}}{\partial t} = 0$$

Transformando esta E.D.O com Laplace utilizando o mesmo método dos circuitos passados, obtemos:

$$H(S) = \frac{-1}{RCS}$$

Tomando os seguintes valores para os elementos do circuito:

- $R = 1M\Omega$;
- $C = 50nF$;

Temos a seguinte equação de transferência:

$$H(S) = \frac{-1}{0.05S}$$

A partir dessa equação, obtemos os seguintes polos, zeros e diagrama de Bode:

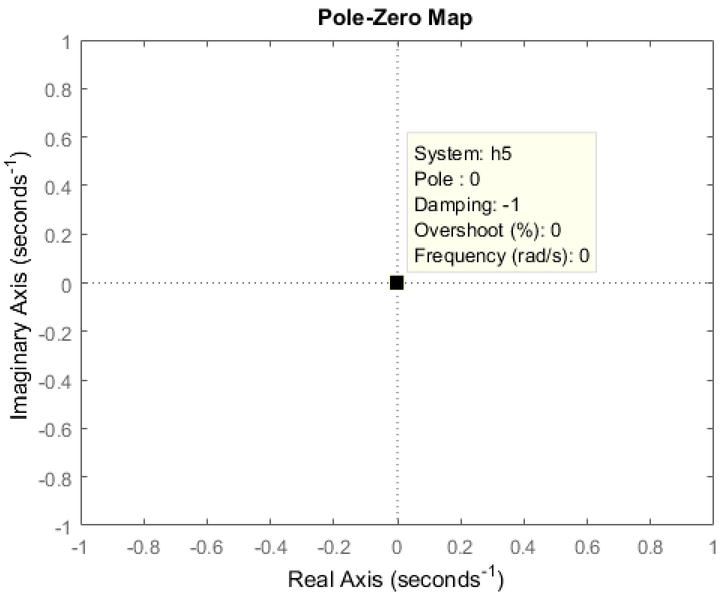

Figura 41: Circuito 5 - Polos e Zeros

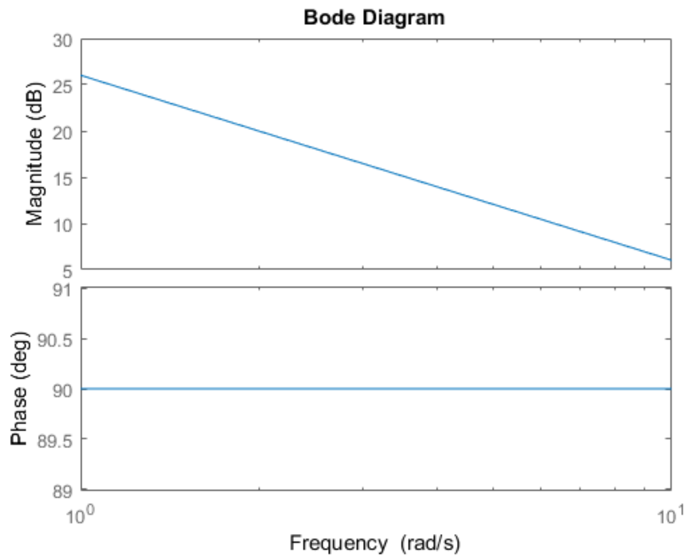

Figura 42: Circuito 5 - Diagrama de Bode

Este circuito corresponde a um filtro passa baixa integrador de apenas um polo.

2.5.2 Resposta ao degrau unitário

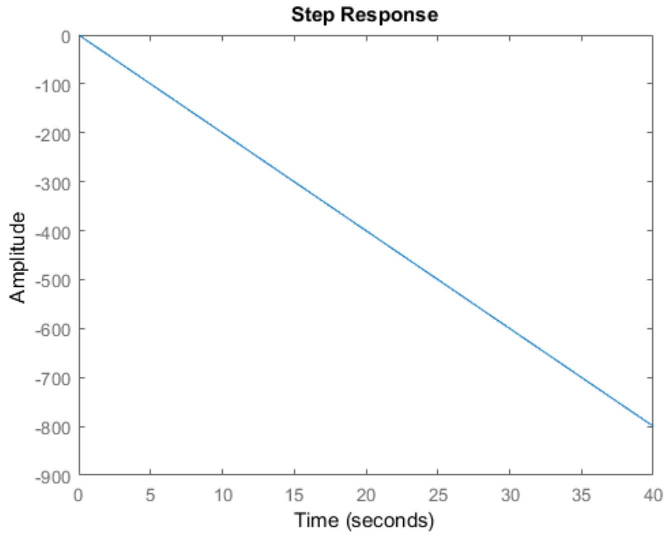

Figura 43: Circuito 5 - Resposta ao degrau unitário

2.5.3 Resposta a rampa unitária

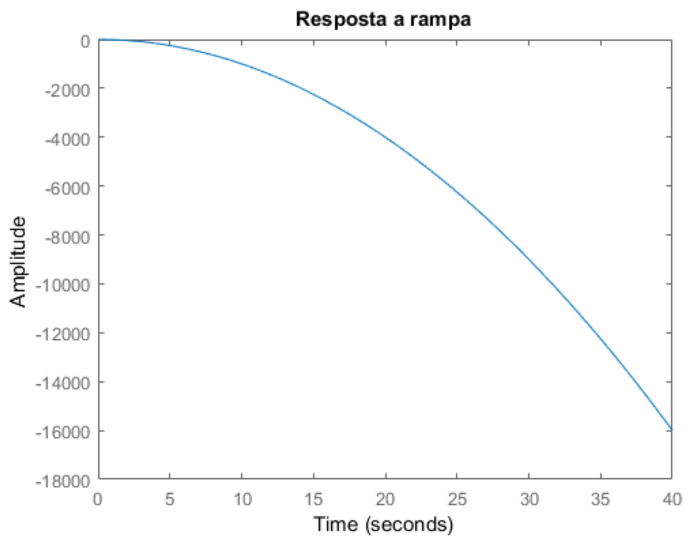

Figura 44: Circuito 5 - Resposta a rampa unitária

2.5.4 Resposta a onda quadrada

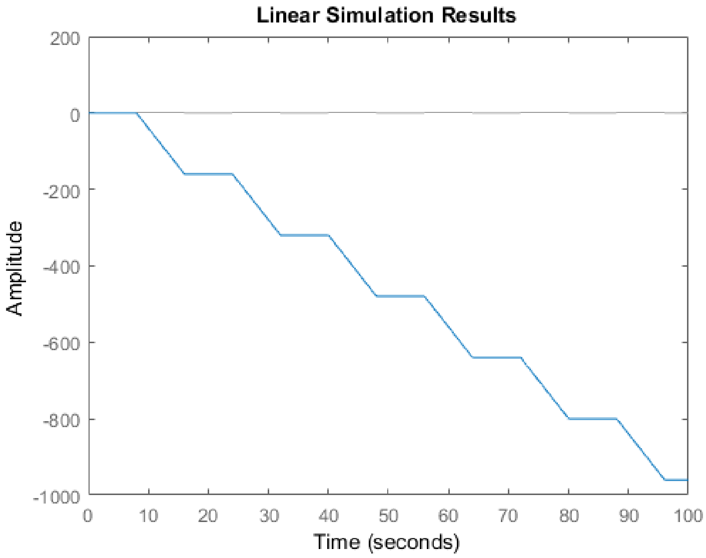

Figura 45: Circuito 5 - Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

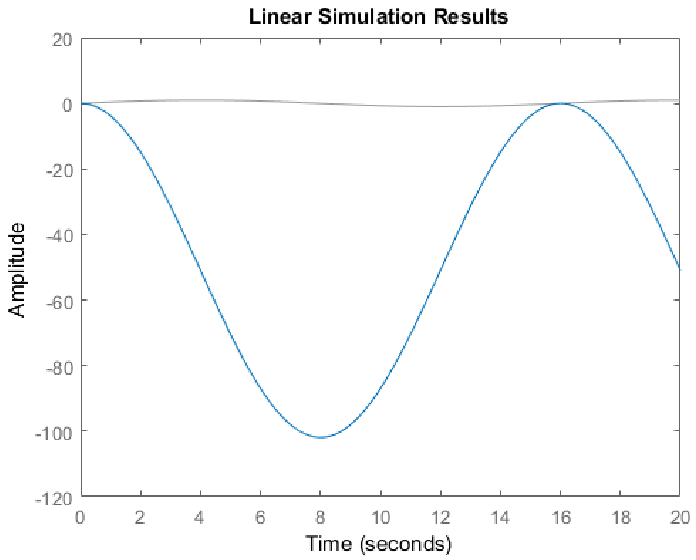

Figura 46: Circuito 5 - Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

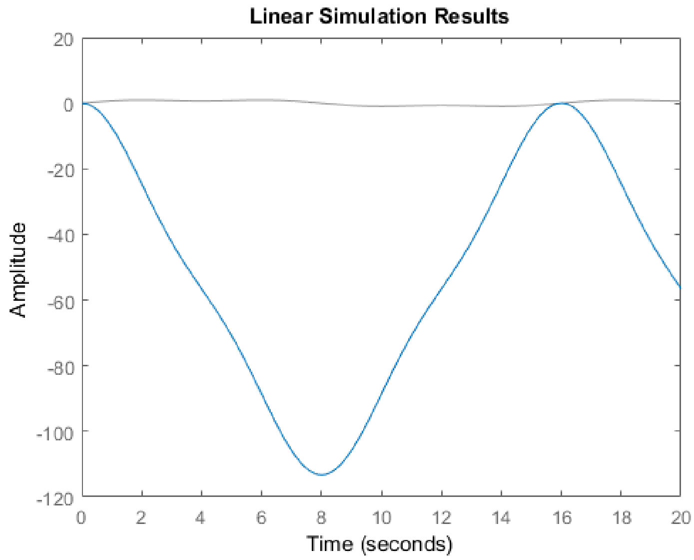

Figura 47: Circuito 5 - Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

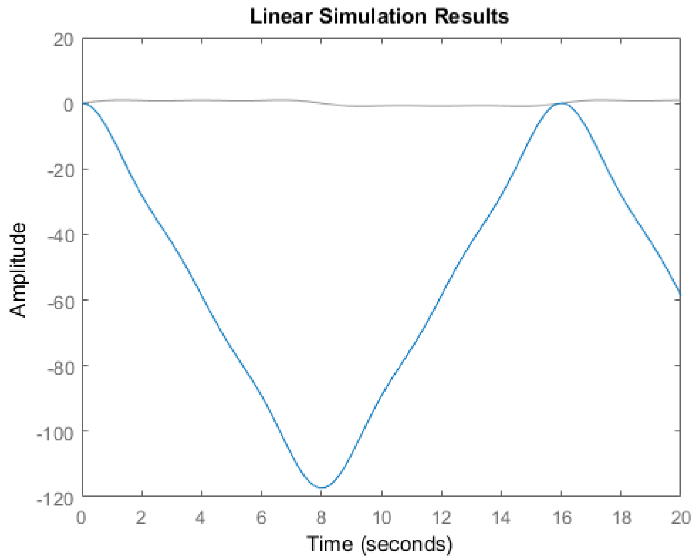

Figura 48: Circuito 5 - Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

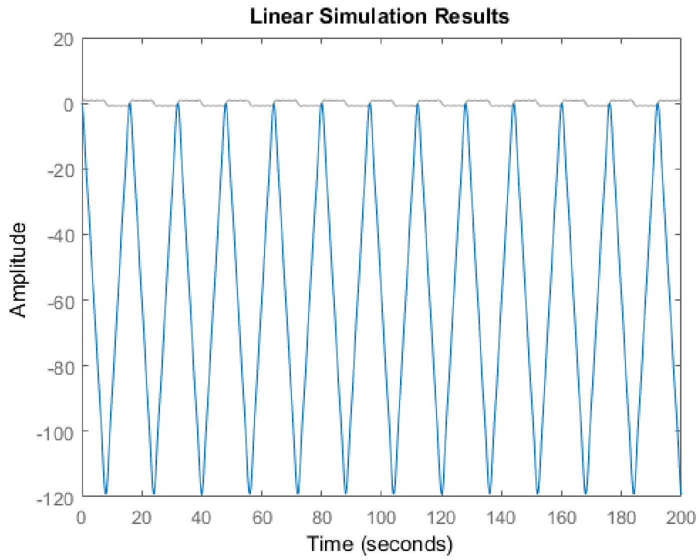

Figura 49: Circuito 5 - Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

3 Questão 2

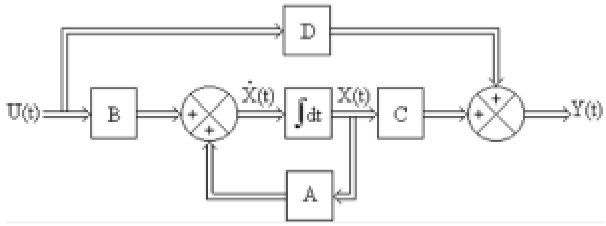

Figura 50: Diagrama de Blocos

3.1 Equações do diagrama

Seguindo as regras definidas no trabalho em relação aos valores de A, B, C e D para o diagrama de blocos, temos:

- a = -22;
- b = 7;
- c = 3;
- d = 4;

Pare que o circuito possua estabilidade BIBO, precisamos que o valor de A seja negativo, caso contrario, o circuito é instável.

Com esses valores obtemos as seguintes equações para o diagrama de blocos abaixo:

- y(t) = 4u(t) + 3x(t) *(Item (e) da questão 2)*;
- B = 7u(t);
- C = 3x(t);
- D = 4u(t);
- $x^{'}(t) = 7u(t) - 22x(t)$ *(Item (d) da questão 2)*;

Sabendo que $x(t) = \frac{y(t)-4u(t)}{3}$ e $x^{'} = \frac{y^{'}(t)-4u^{'}(t)}{3}$, obtemos a seguinte E.D.O:

$$\frac{\partial y(t)}{\partial t} + 22y(t) = 4\frac{\partial y(t)}{\partial t} + 109u(t)$$

Aplicando Laplace, obtemos a seguinte função de transferência:

$$H(S) = \frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{4S + 109}{S + 22}$$

De posse da função de transferência, podemos encontrar os seguintes polos e zeros e o diagrama de Bode:

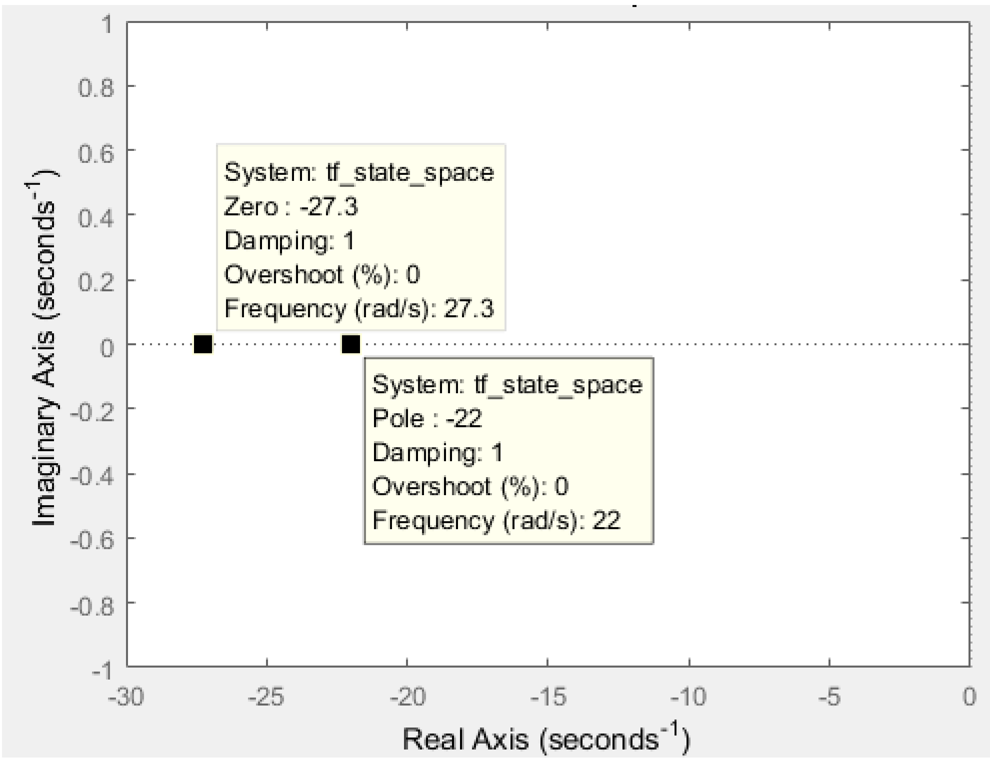

Figura 51: Polos e Zeros

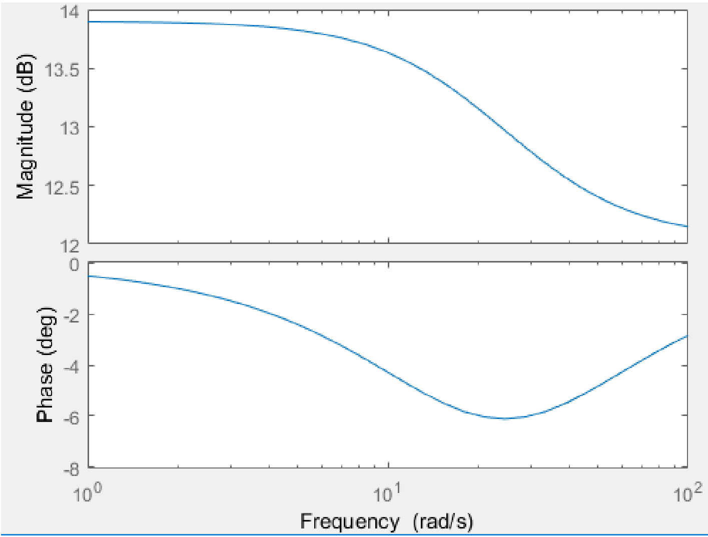

Figura 52: Diagrama de Bode

3.2 Resposta ao degrau unitário

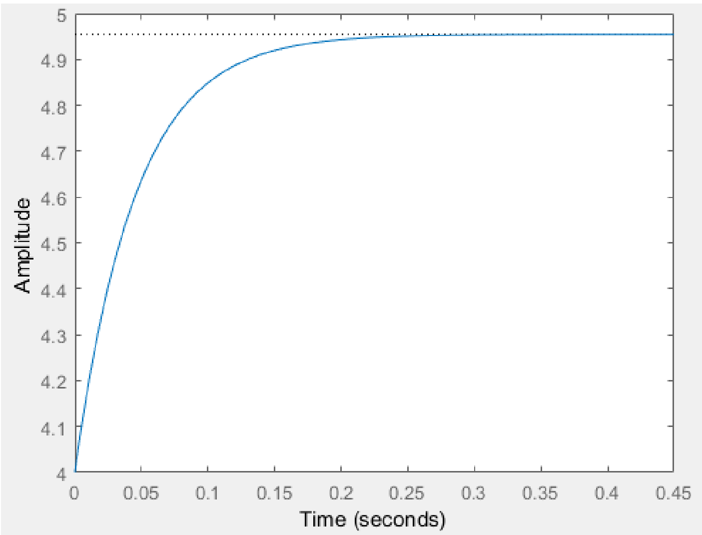

Figura 53: Resposta ao degrau unitário

3.3 Resposta a rampa unitária

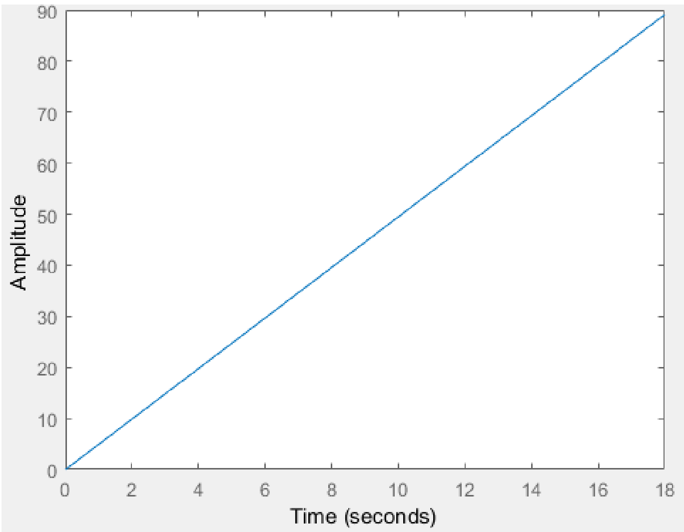

Figura 54: Resposta a rampa unitária

3.4 Resposta a onda quadrada

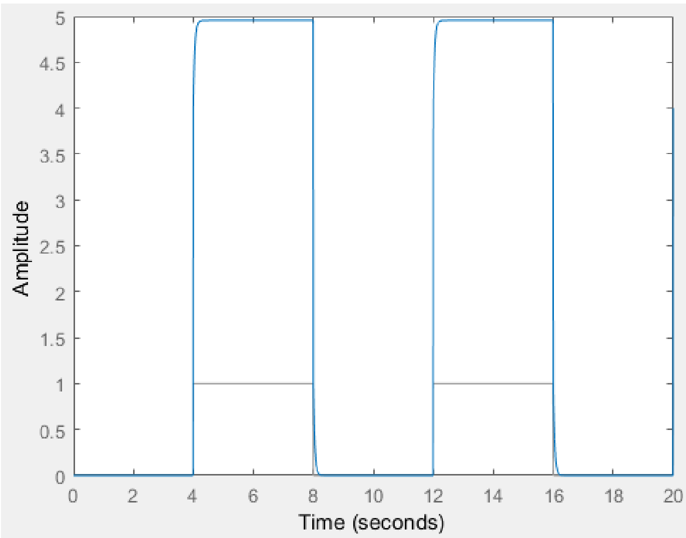

Figura 55: Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

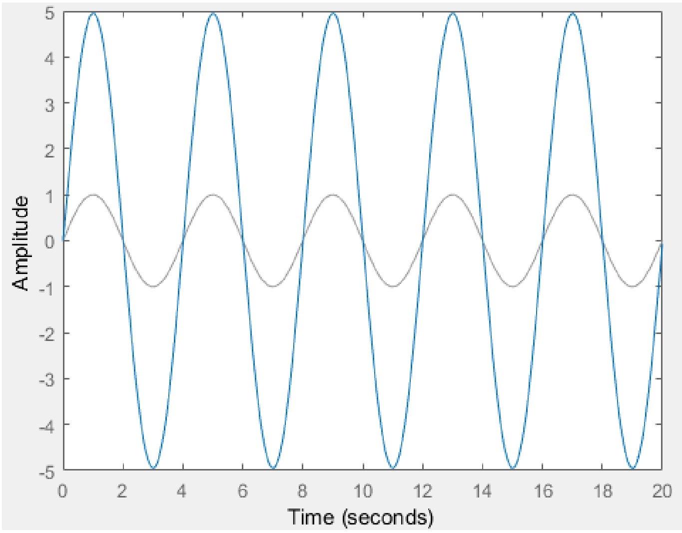

Figura 56: Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{2}\pi$

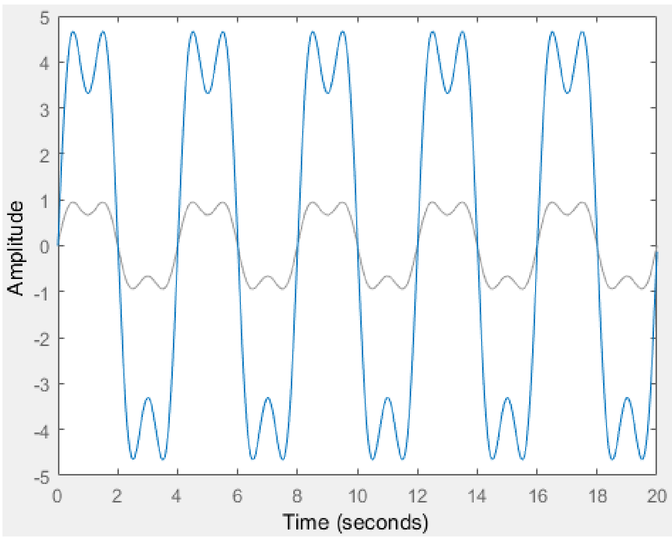

Figura 57: Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{2}\pi$

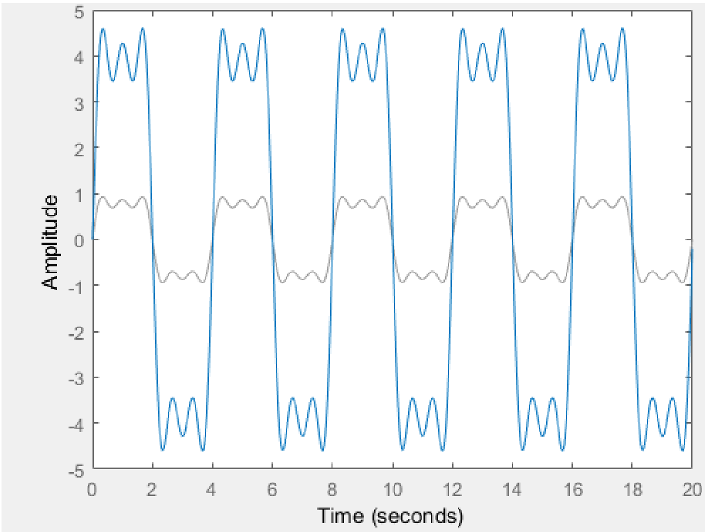

Figura 58: Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{2}\pi$

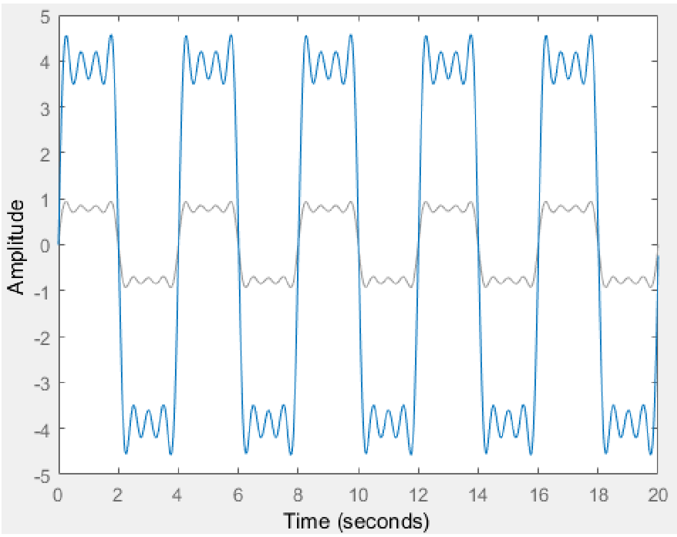

Figura 59: Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{2}\pi$

4 Questão 3

Resolva as questões para os sistemas descritos pelas seguintes funções de transferência:

$$H(S) = \frac{1 + \alpha S}{S^2 + 2S + 2}$$

$$H(S) = \frac{S + 10^4}{S^2 + 2\beta S + 100}$$

4.1 E.D.O dos sistemas

4.1.1 Sistema 1

$$X(S)[1 + \alpha S] = Y(S)[S^2 + 2S + 2] \Rightarrow$$

$$\alpha \frac{\partial x(t)}{\partial t} + x(t) = \frac{\partial^2 y(t)}{\partial^2 t} + 2\frac{\partial^y (t)}{\partial t} + 2y(t)$$

4.1.2 Sistema 2

$$X(S)[S + 10^4] = Y(S)[S^2 + 2\beta S + 100] \Rightarrow$$

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} + 10^4 x(t) = \frac{\partial^2 y(t)}{\partial^2 t} + 2\beta \frac{\partial y(t)}{\partial t} + 100y(t)$$

4.2 Polos e zeros

4.2.1 Variando em α

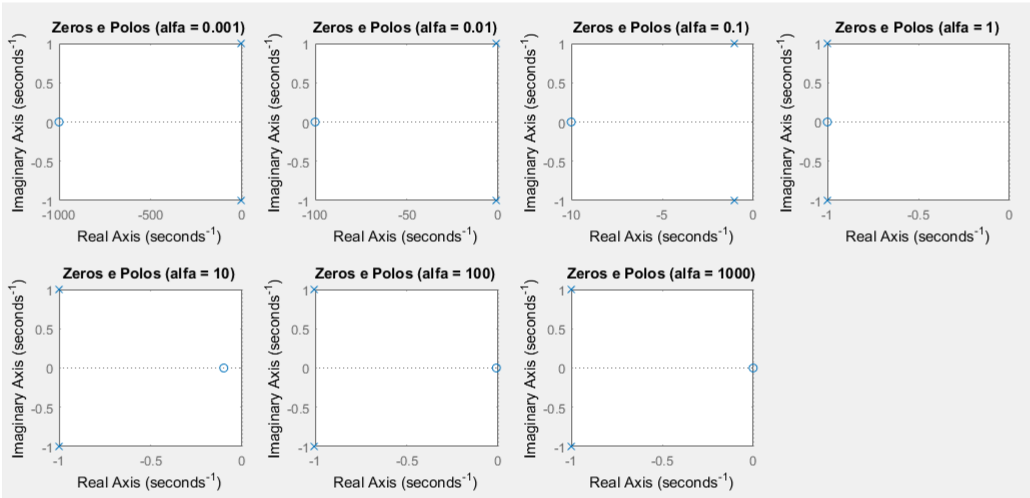

Figura 60: Polos e Zeros variando em α

4.2.2 Variando em β

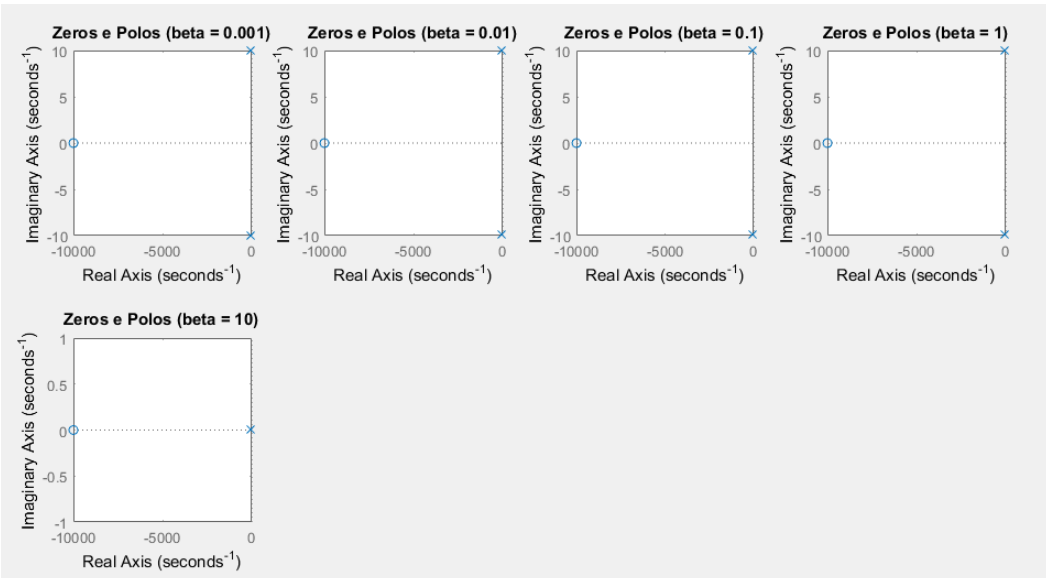

Figura 61: Polos e Zeros variando em β

4.3 Diagrama de Bode

4.3.1 Variando em α

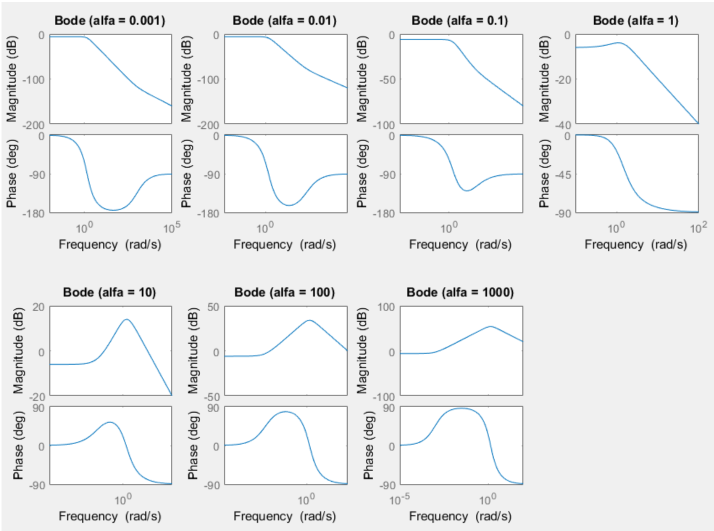

Figura 62: Diagrama de Bode variando em α

4.3.2 Variando em β

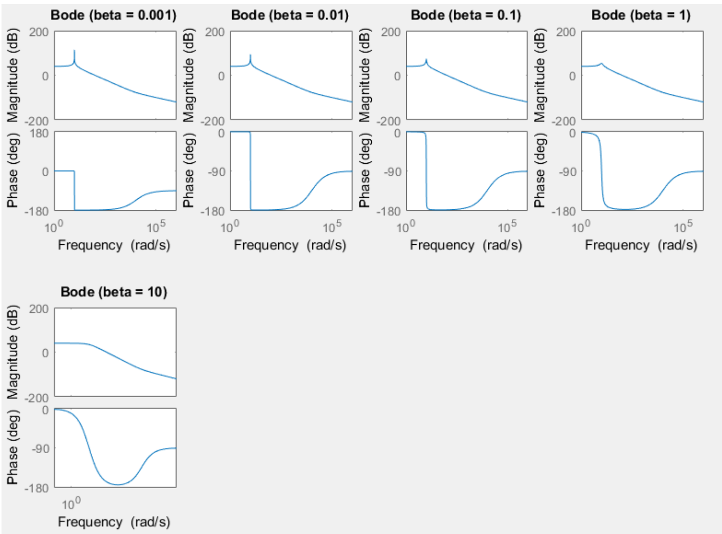

Figura 63: Diagrama de Bode variando em β

4.4 Resposta ao Degrau Unitário

4.4.1 Variando em α

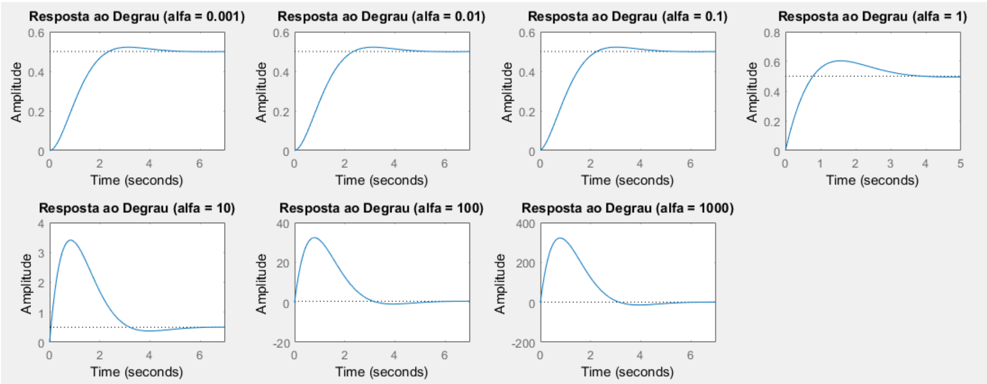

Figura 64: Resposta ao Degrau Unitário variando em α

4.4.2 Variando em β

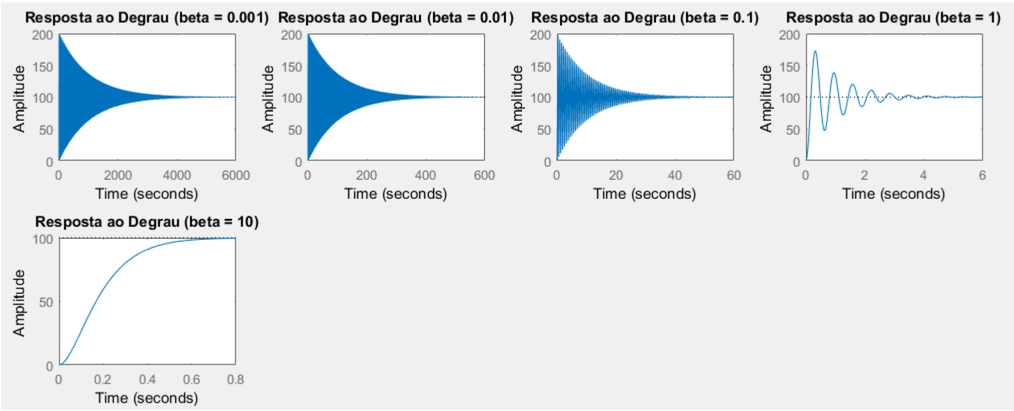

Figura 65: Resposta ao Degrau Unitário variando em β

4.5 Resposta a Rampa Unitária

4.5.1 Variando em α

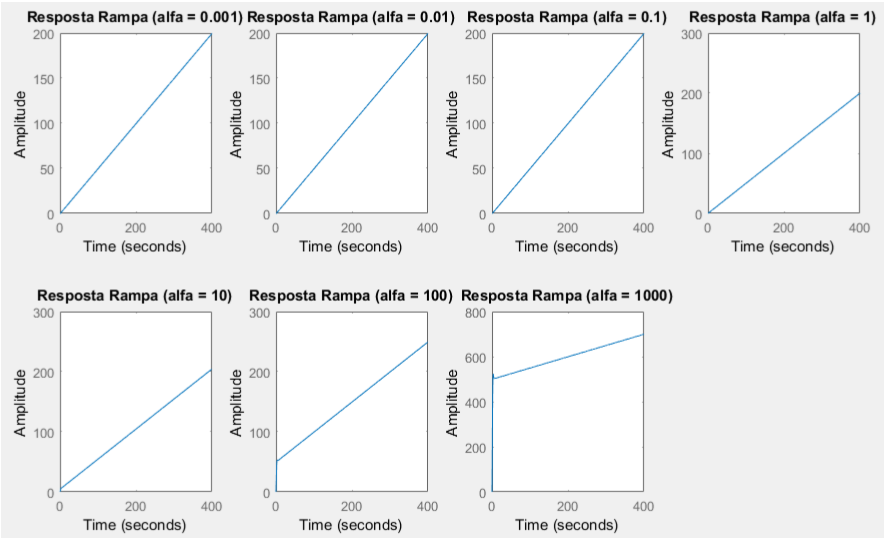

Figura 66: Resposta a rampa Unitária variando em α

4.5.2 Variando em β

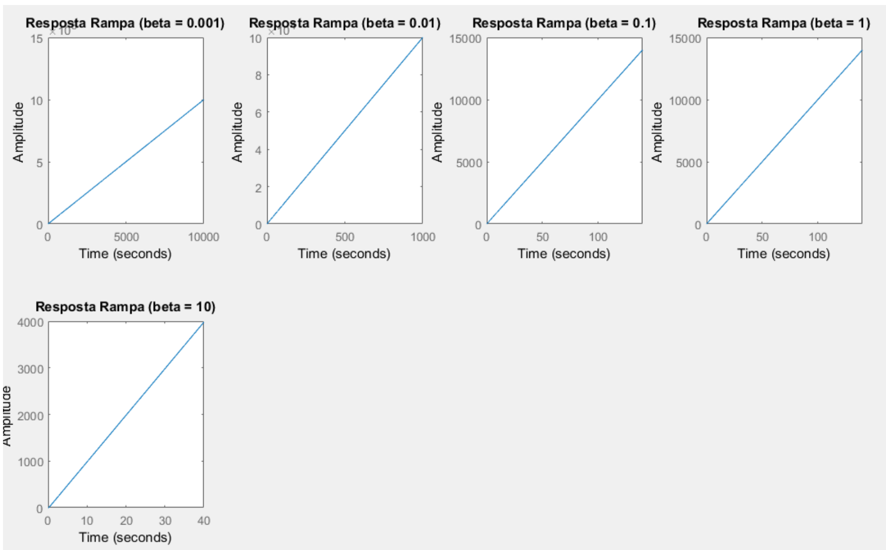

Figura 67: Resposta a rampa Unitária variando em β

4.6 Resposta a onda quadrada

4.6.1 Variando em α

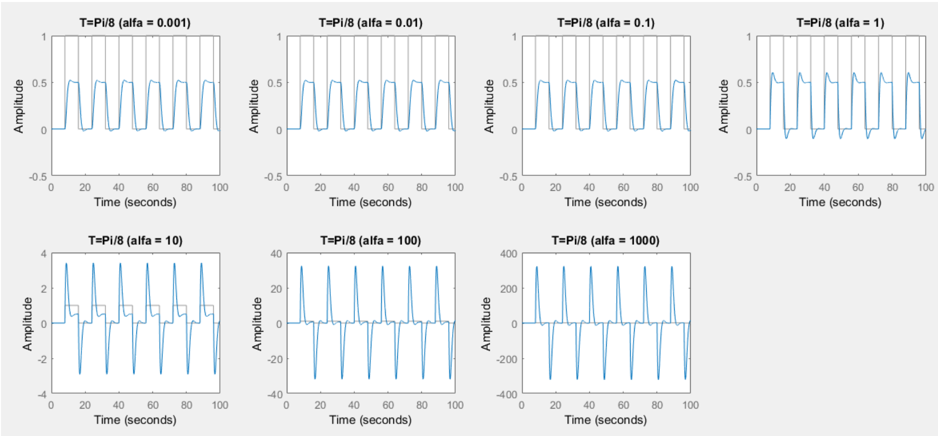

Figura 68: Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

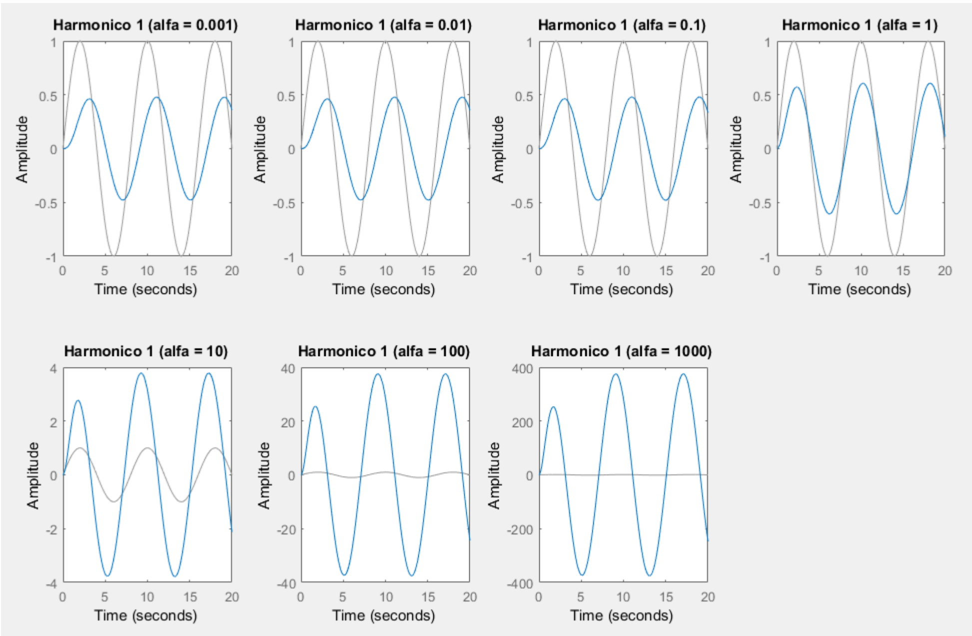

Figura 69: Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

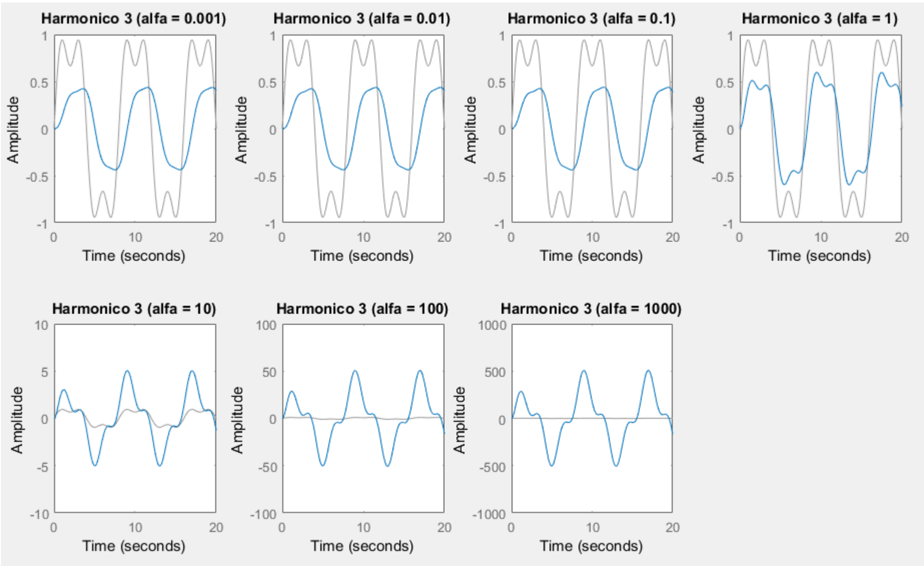

Figura 70: Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

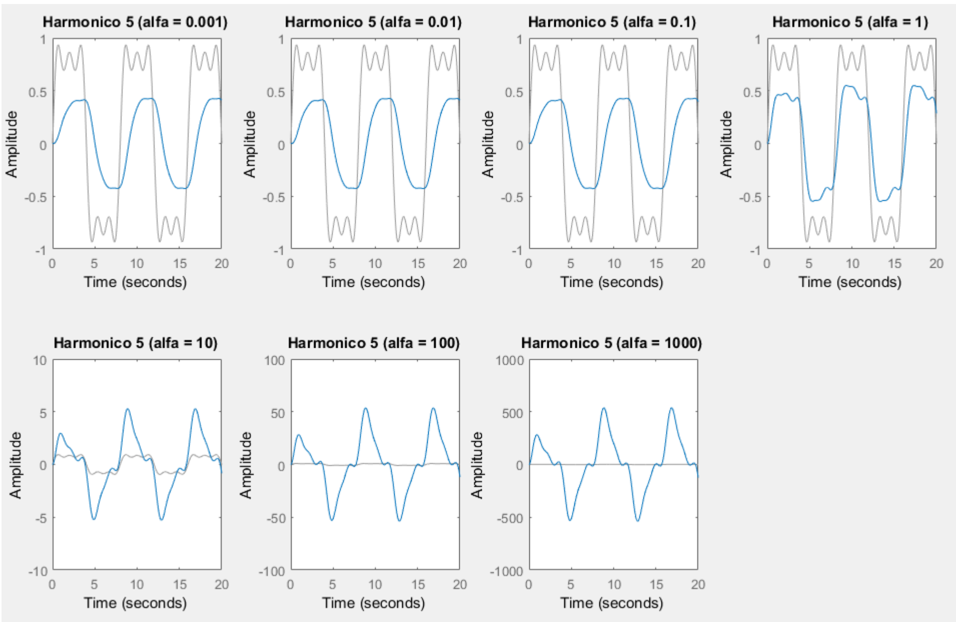

Figura 71: Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

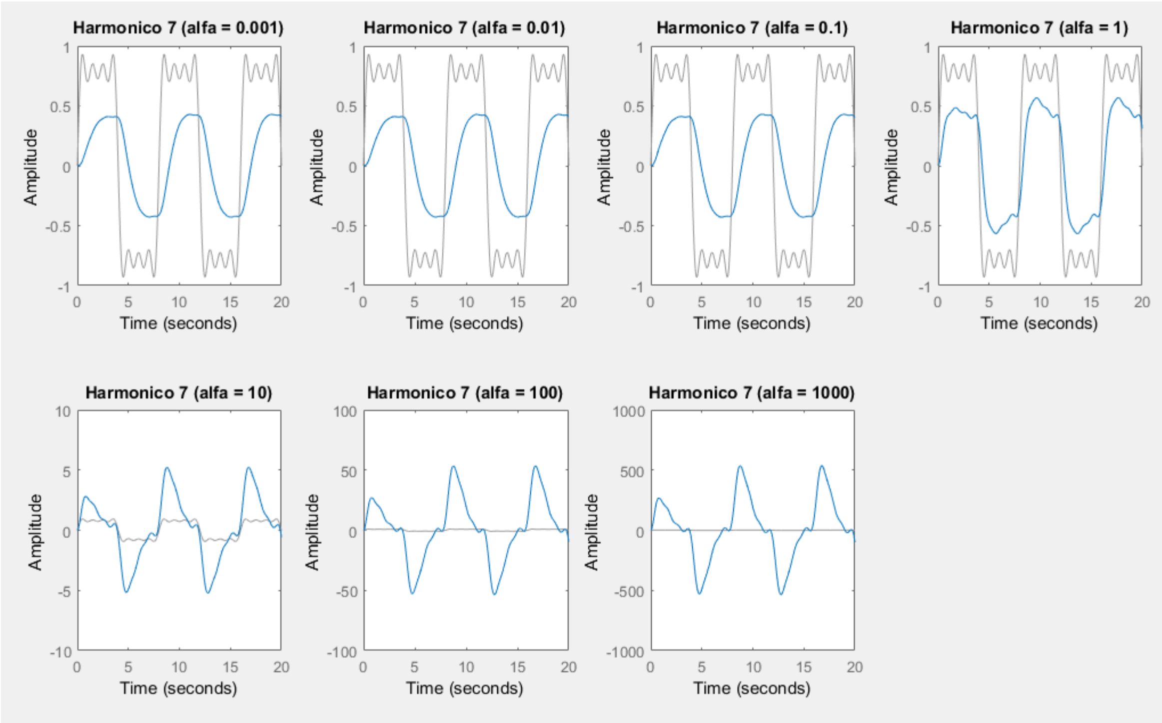

Figura 72: Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

4.6.2 Variando em β

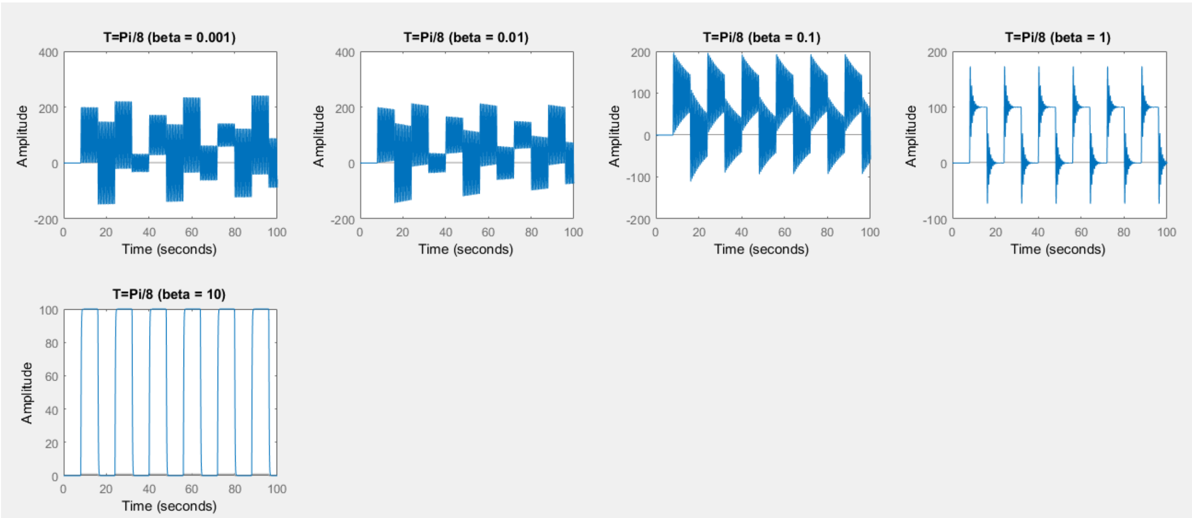

Figura 73: Resposta a onda quadrada com $\omega = \frac{1}{8}\pi$

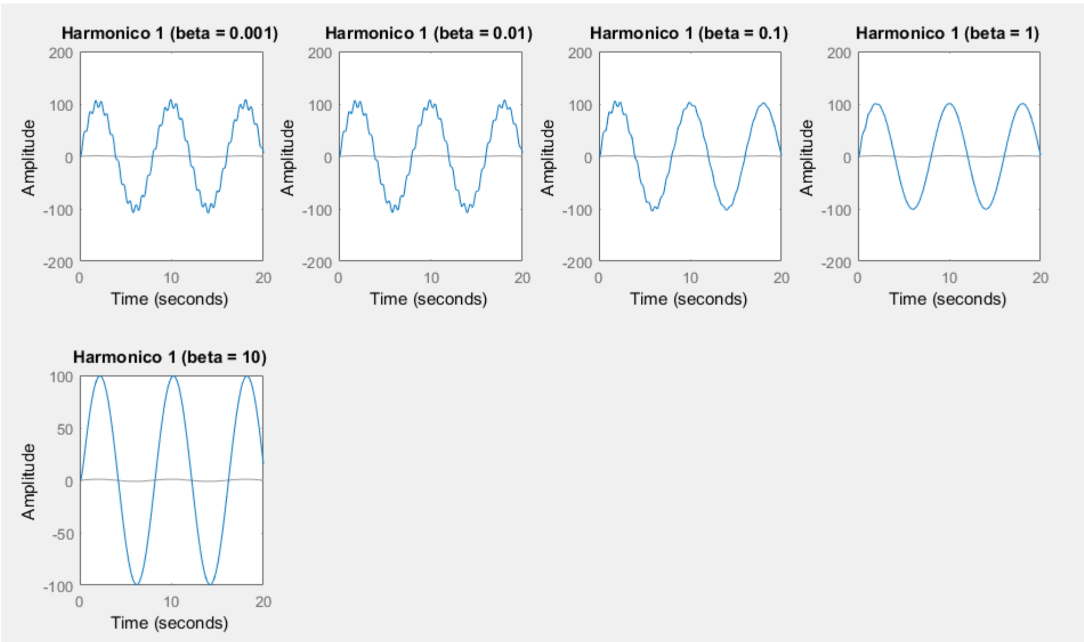

Figura 74: Resposta ao primeiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

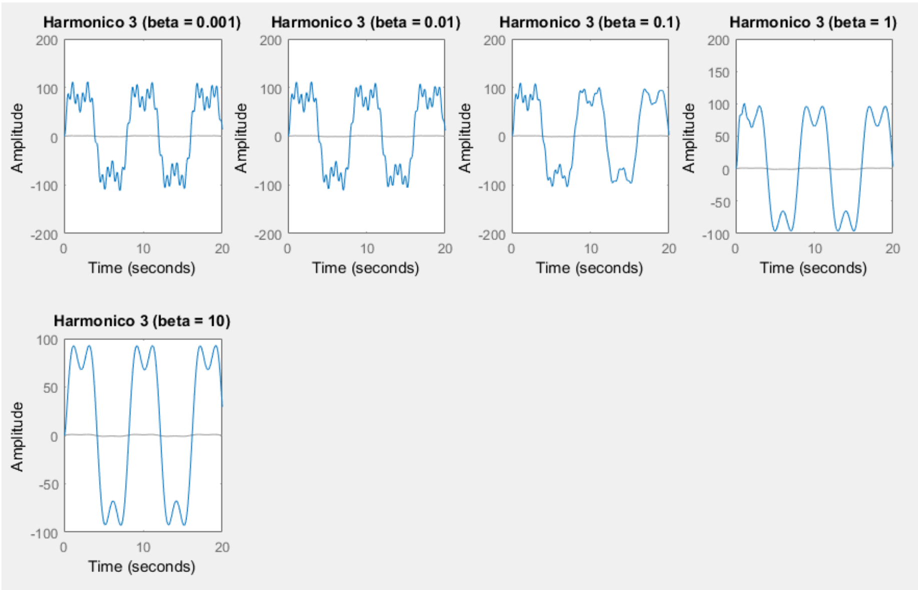

Figura 75: Resposta ao terceiro harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

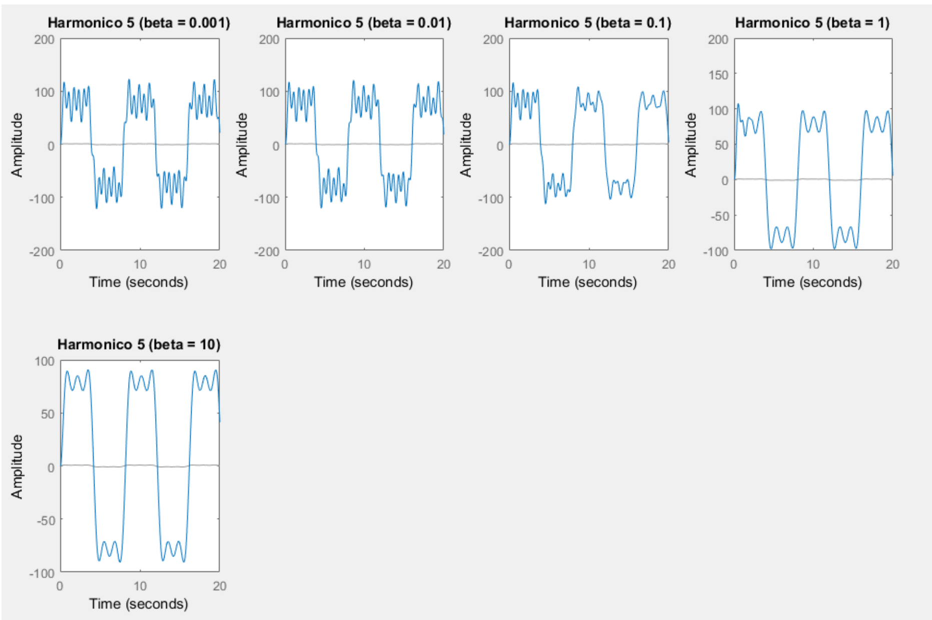

Figura 76: Resposta ao quinto harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

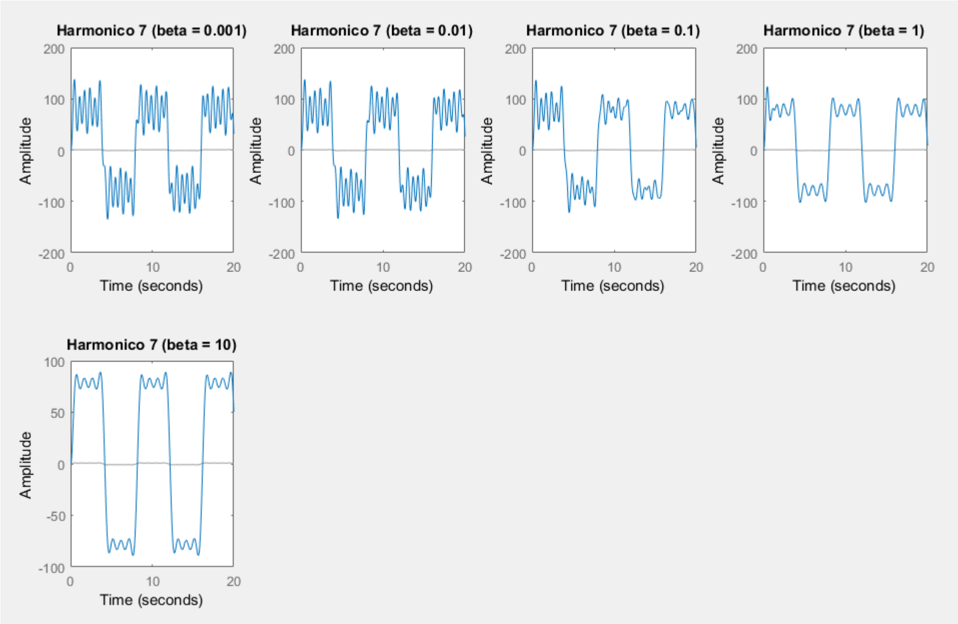

Figura 77: Resposta ao sétimo harmônico da série de Fourier de um onda quadrada com $\omega = \frac{1}{4}\pi$

4.7 Resposta a cossenoides

4.7.1 Variando frequências nos valores de α

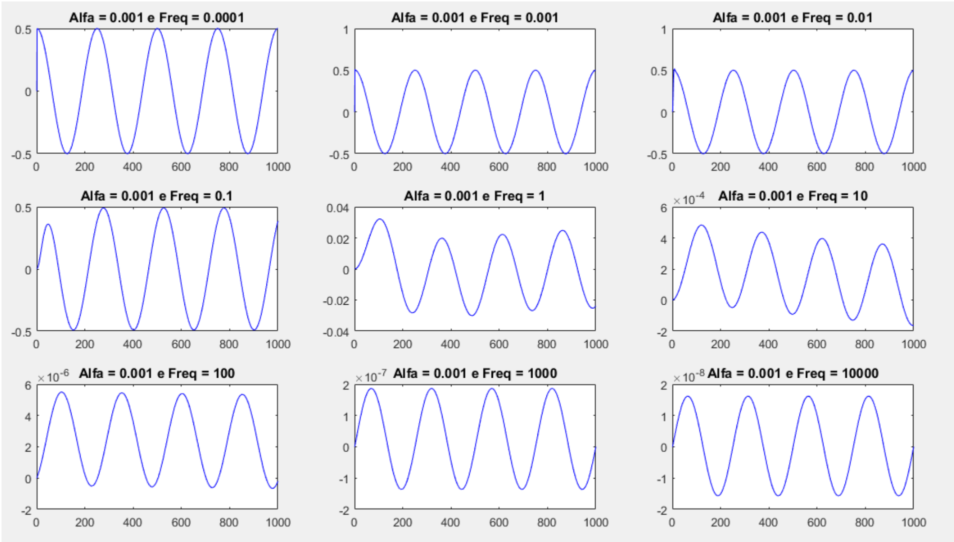

Figura 78: Resposta para $\alpha = 0.001$ em frequências variantes

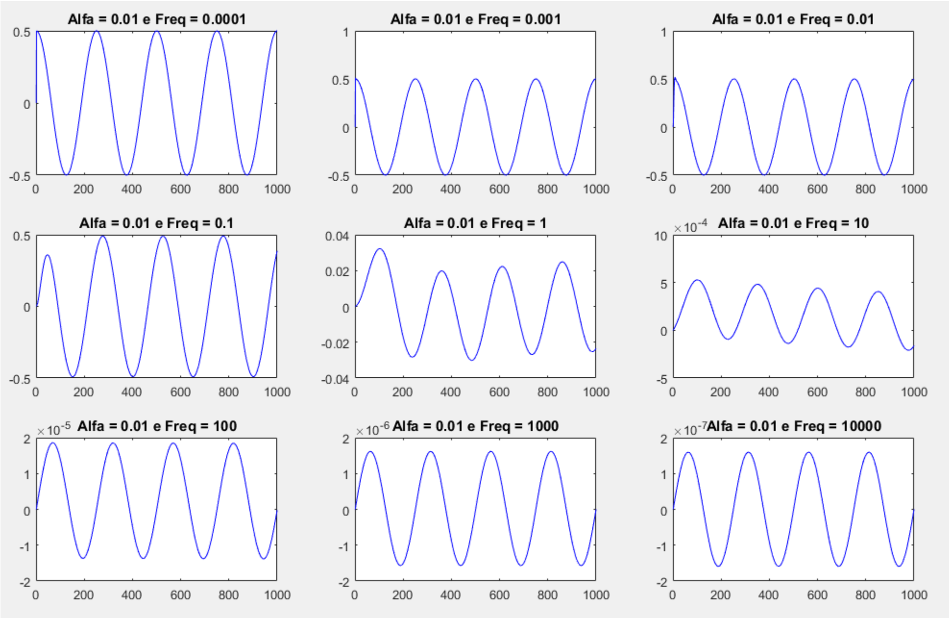

Figura 79: Resposta para $\alpha = 0.01$ em frequências variantes

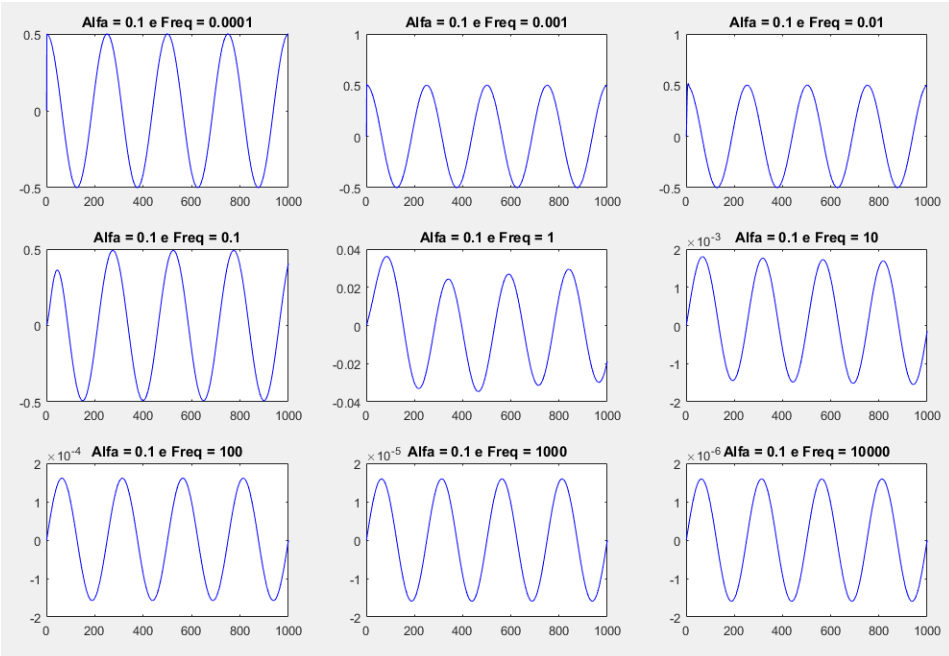

Figura 80: Resposta para $\alpha = 0.1$ em frequências variantes

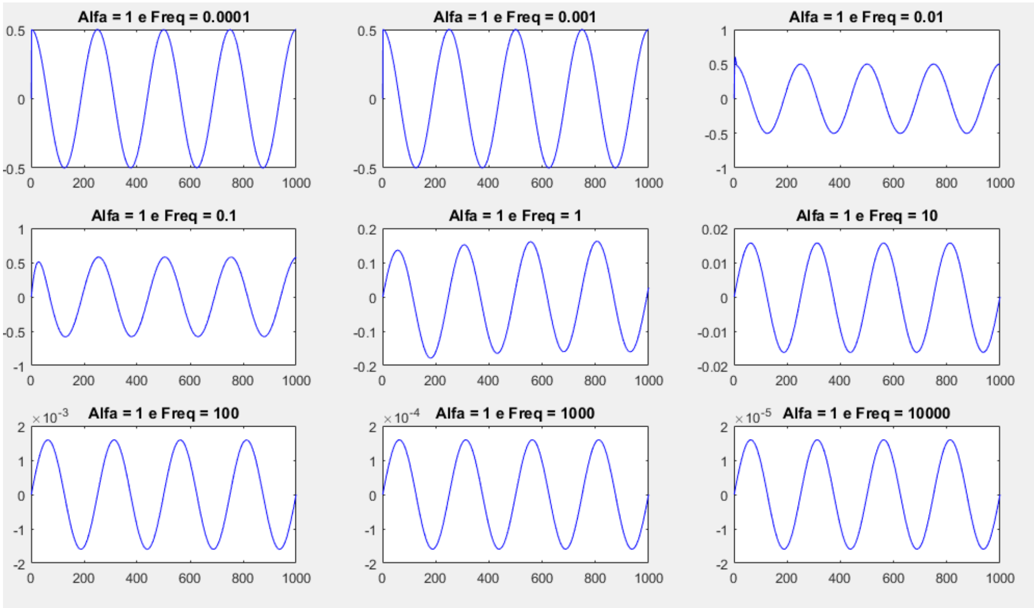

Figura 81: Resposta para $\alpha = 1$ em frequências variantes

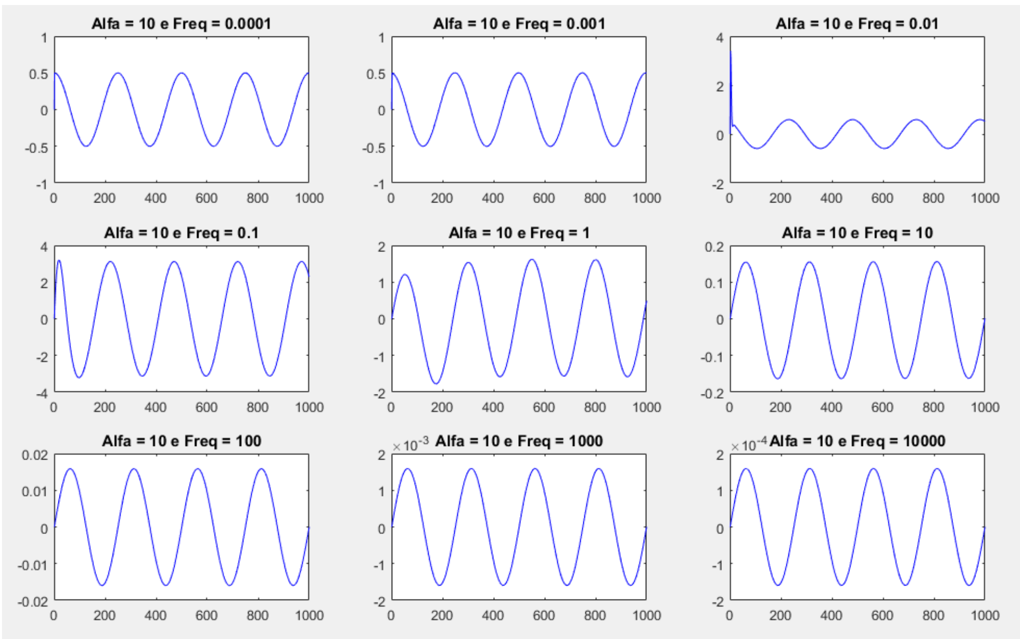

Figura 82: Resposta para $\alpha = 10$ em frequências variantes

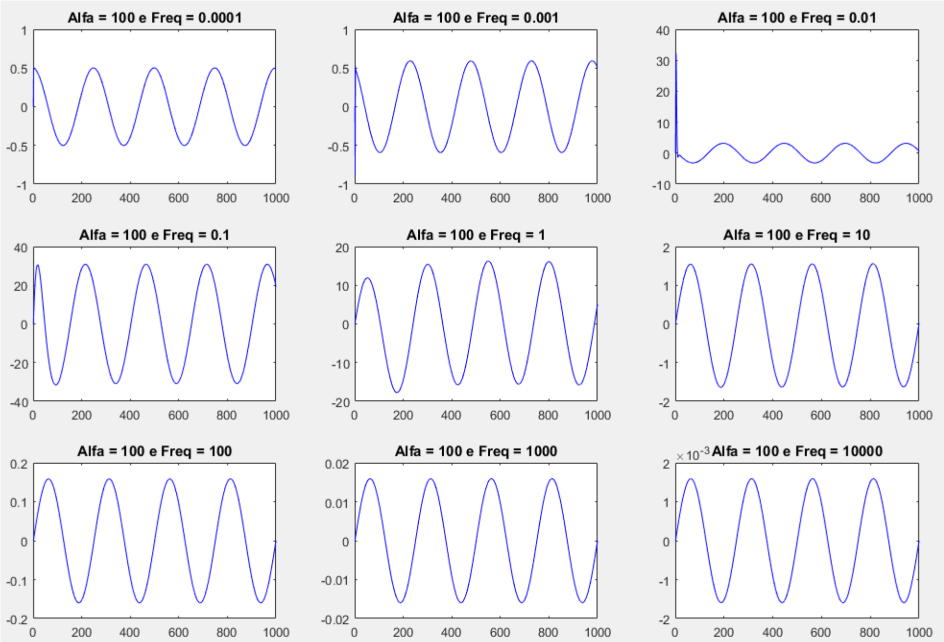

Figura 83: Resposta para $\alpha = 100$ em frequências variantes

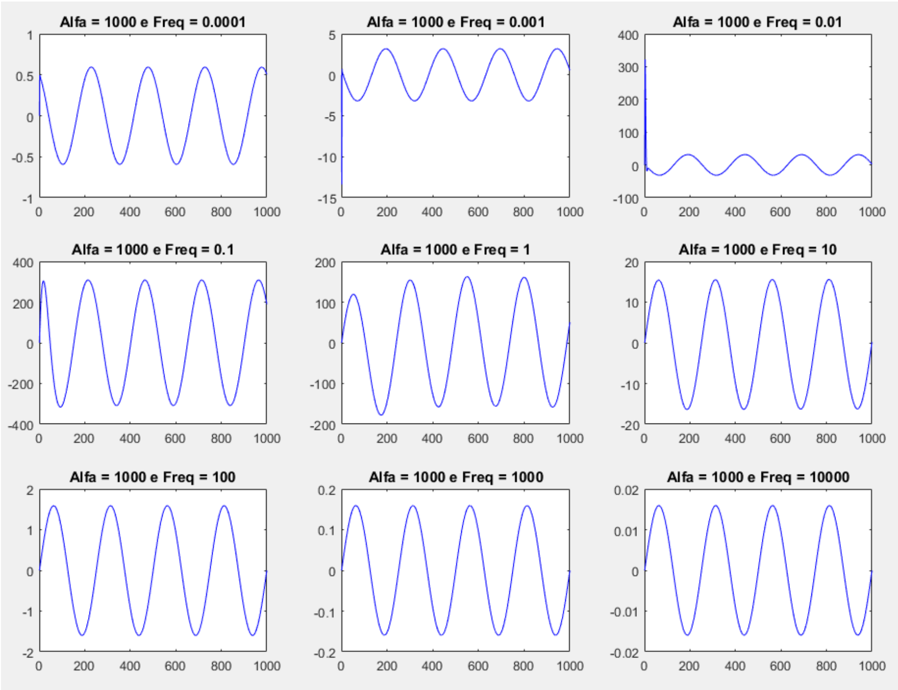

Figura 84: Resposta para $\alpha = 1000$ em frequências variantes

4.7.2 Variando frequências nos valores de β

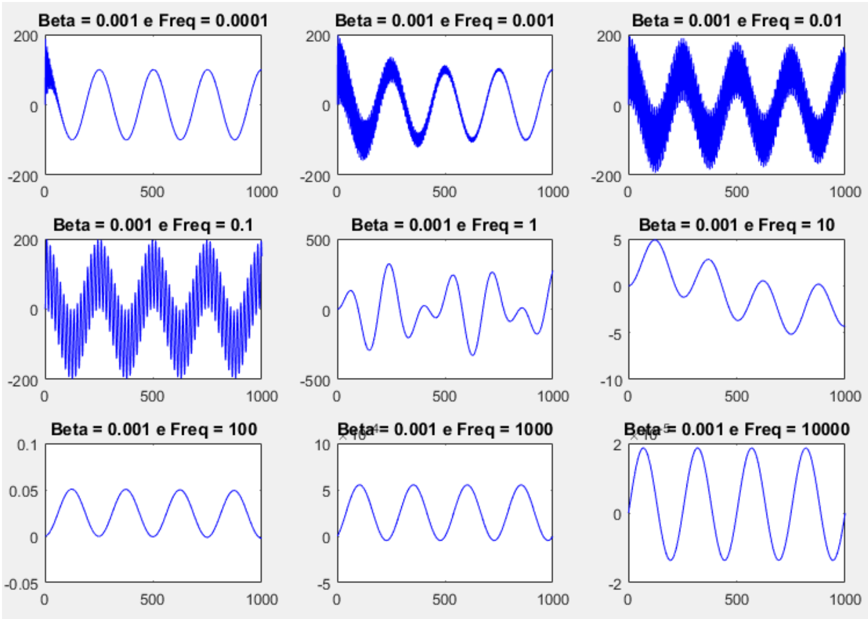

Figura 85: Resposta para $\beta = 0.001$ em frequências variantes

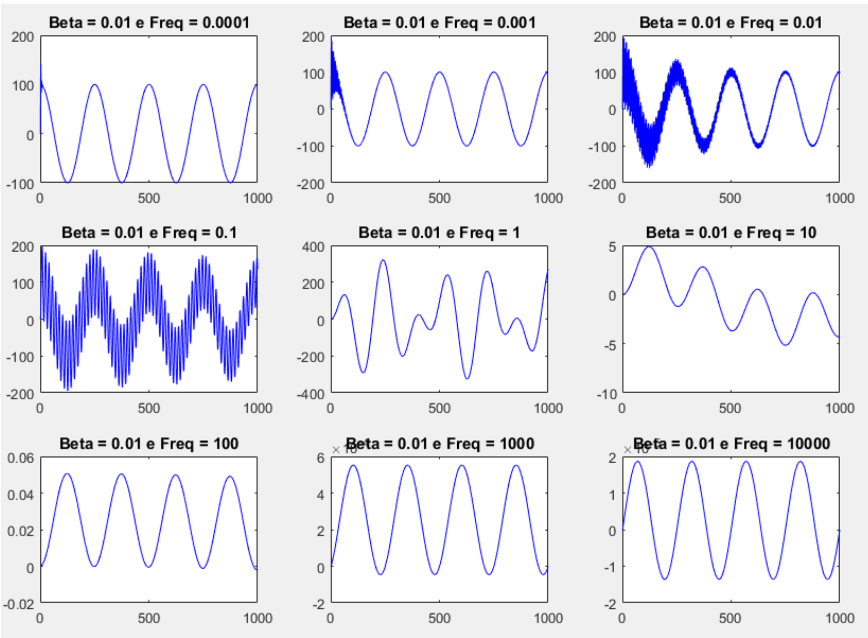

Figura 86: Resposta para $\beta = 0.01$ em frequências variantes

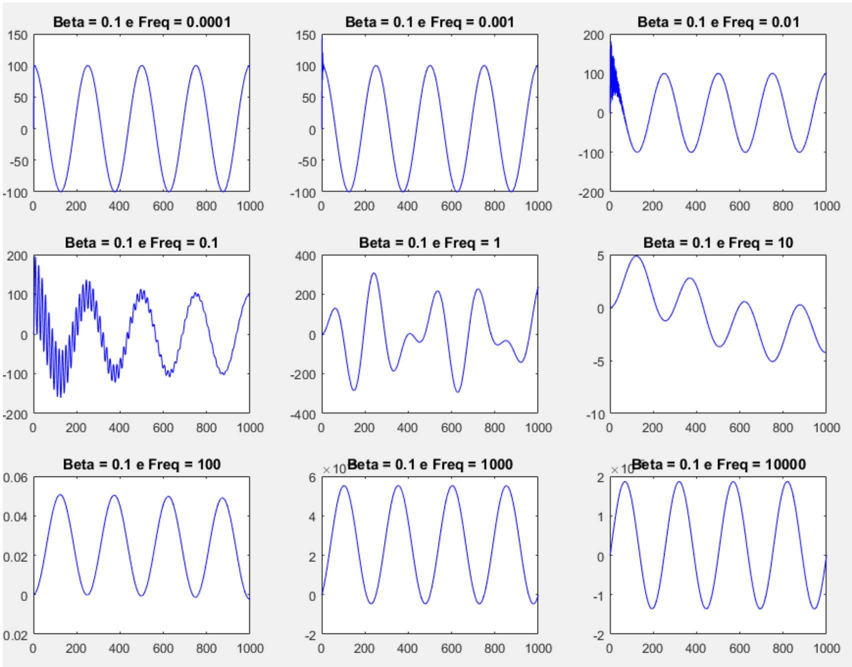

Figura 87: Resposta para $\beta = 0.1$ em frequências variantes

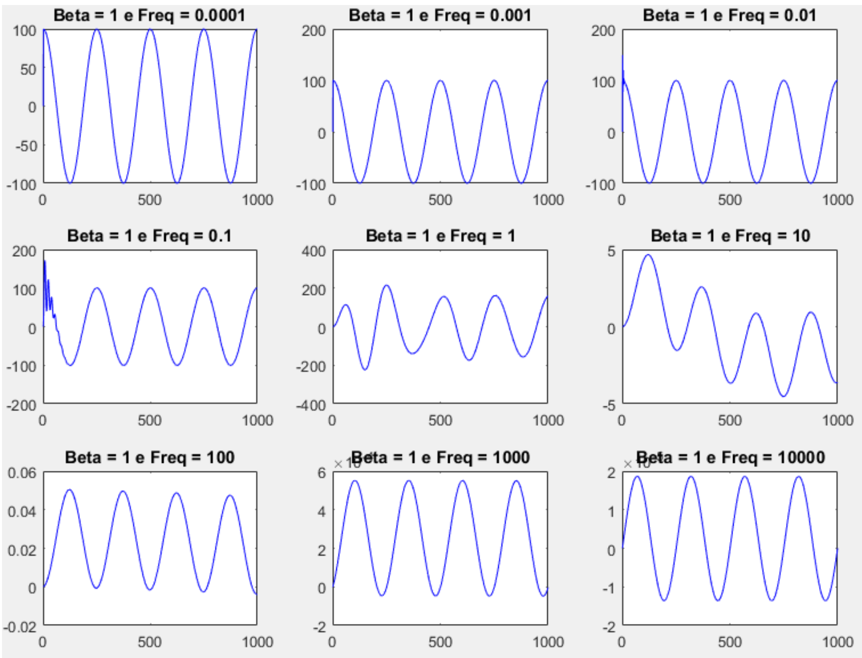

Figura 88: Resposta para $\beta = 1$ em frequências variantes

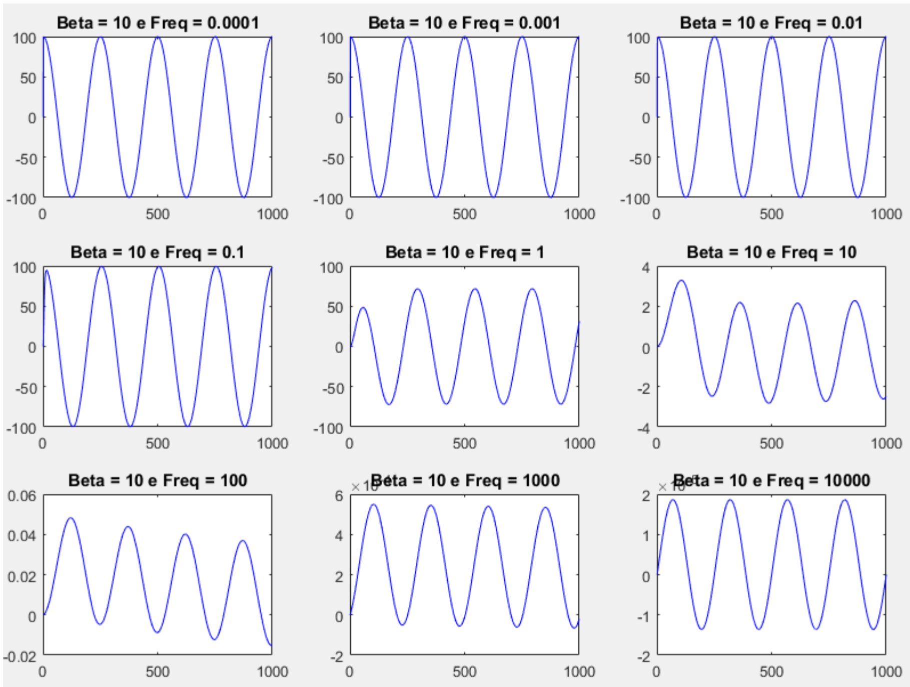

Figura 89: Resposta para $\beta = 10$ em frequências variantes

5 Questão 4

5.1 Circuito III

5.1.1 Análise da resposta na Frequência de Corte

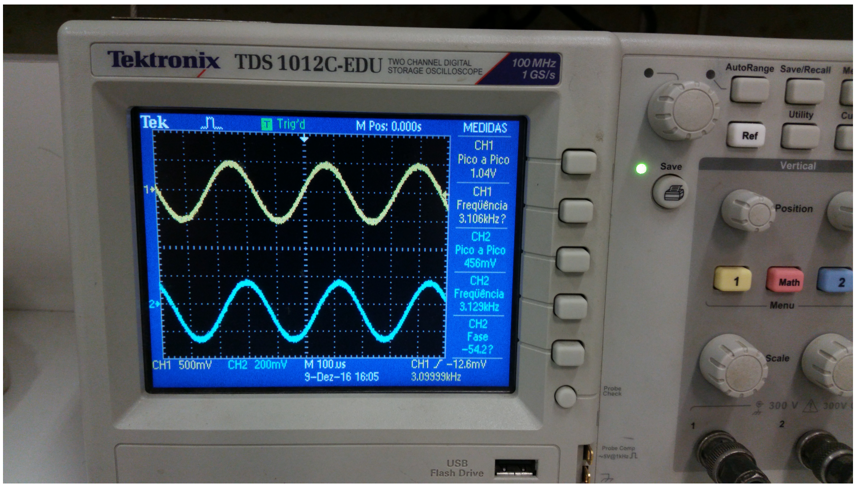

Figura 90: Análise da resposta na Frequência de corte

5.1.2 Análise da resposta na Frequência em $0.1w_c$

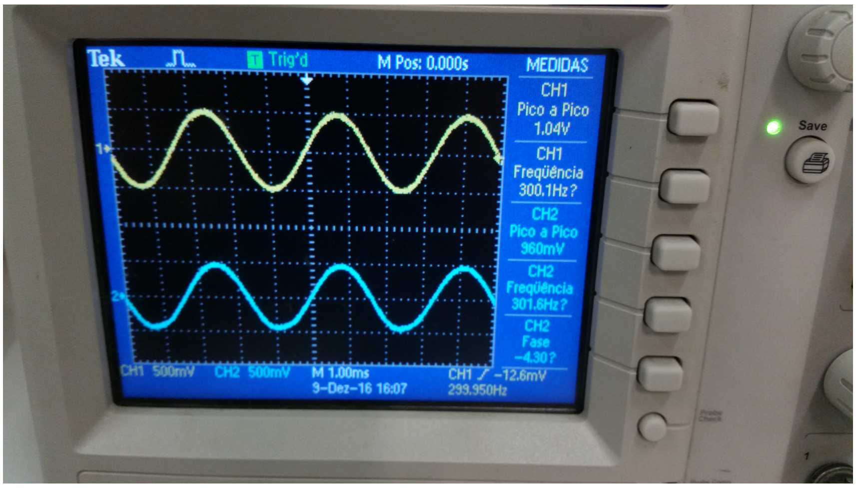

Figura 91: Análise da resposta na Frequência de corte uma década antes

5.1.3 Análise da resposta na Frequência em $10w_c$

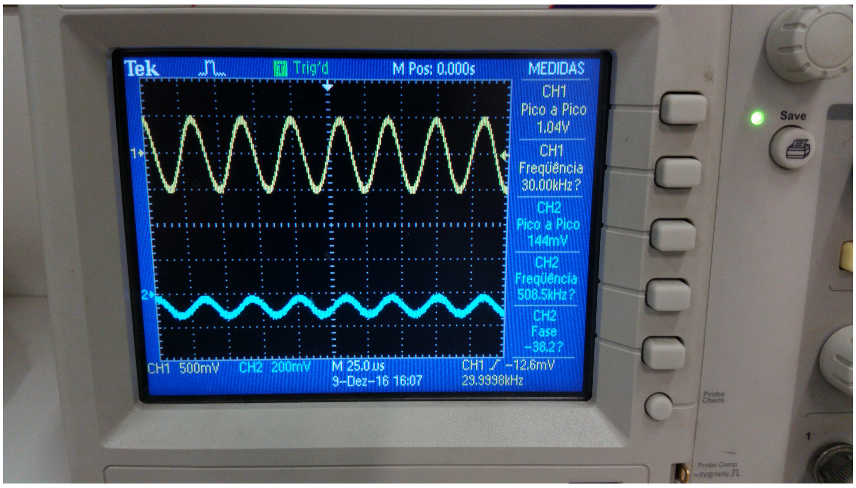

Figura 92: Análise da resposta na Frequência de corte uma década depois

5.1.4 Harmônicos de Fourier

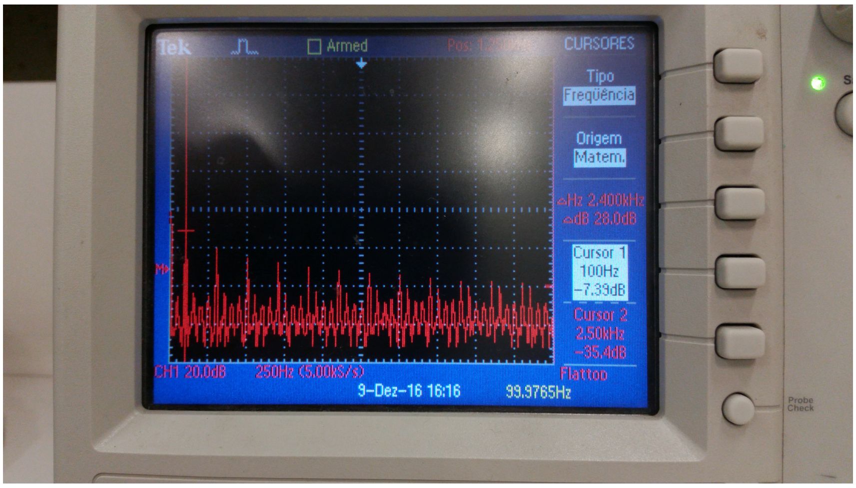

Figura 93: Primeiro harmônico

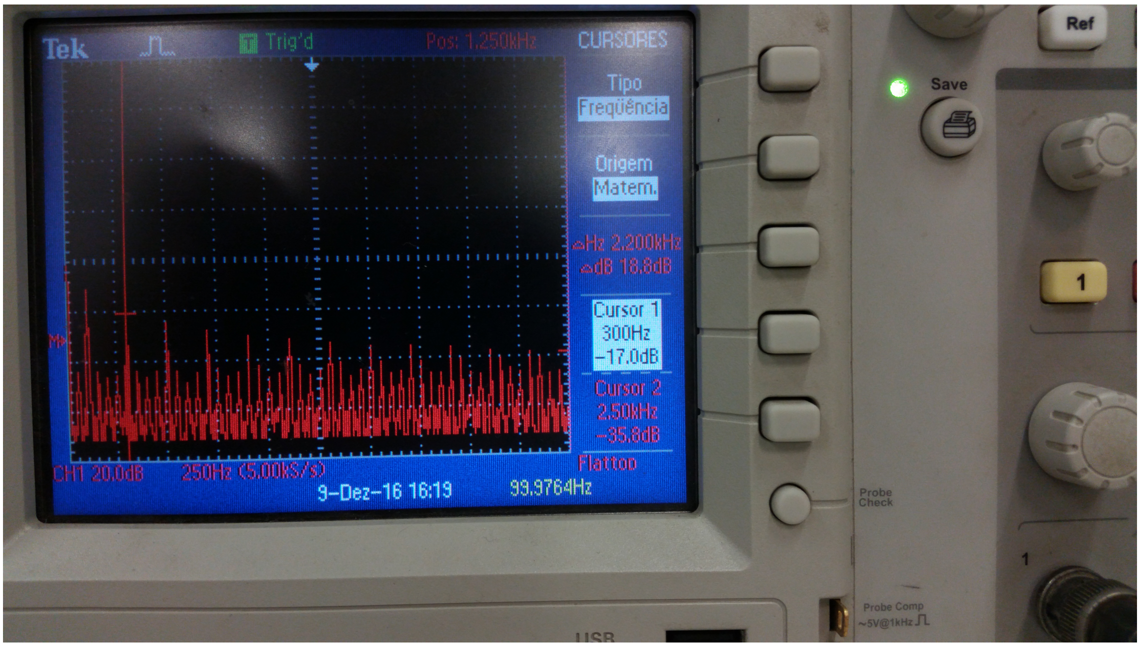

Figura 94: Terceiro harmônico

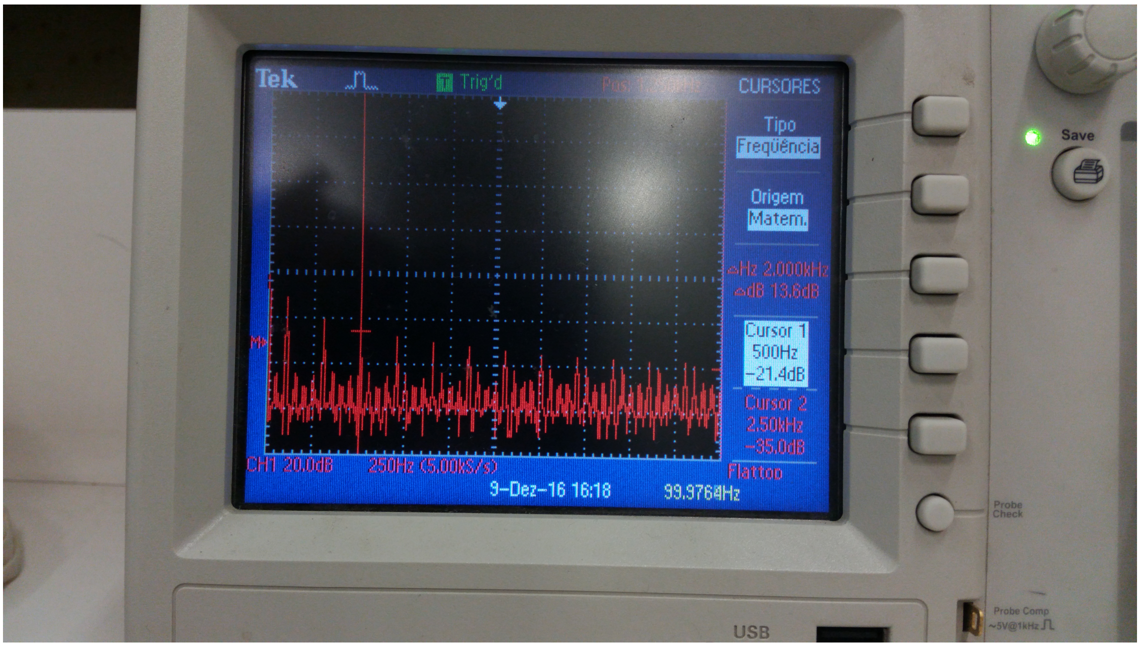

Figura 95: Quinto harmônico

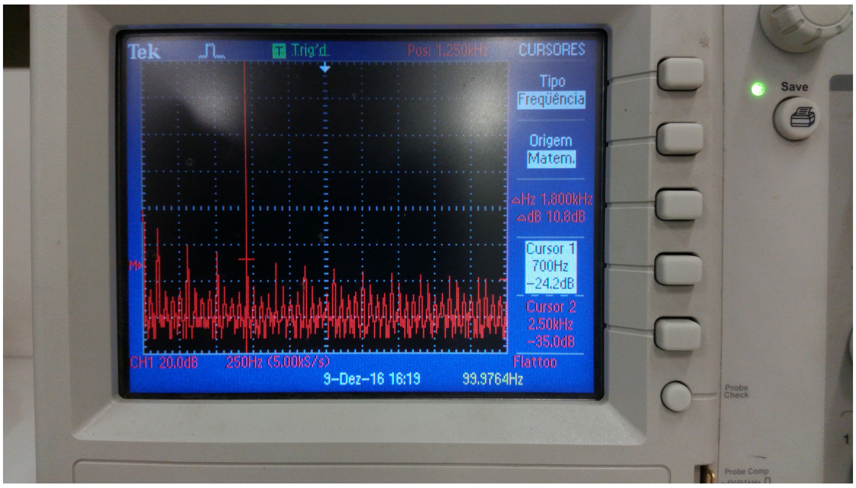

Figura 96: Sétimo harmônico

5.1.5 Respostas para diferentes frequências

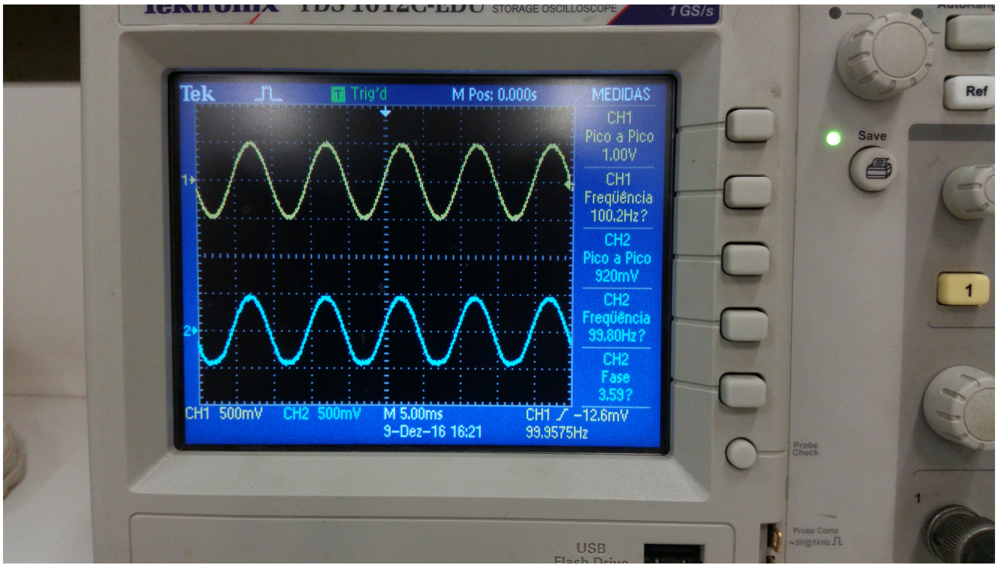

Figura 97: Cossenóide 100Hz

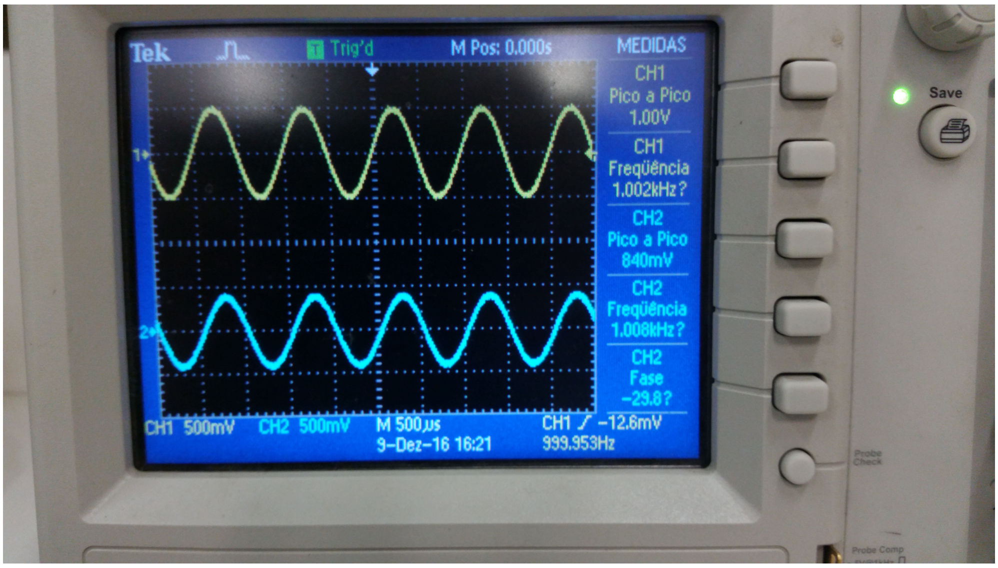

Figura 98: Cossenóide 1kHz

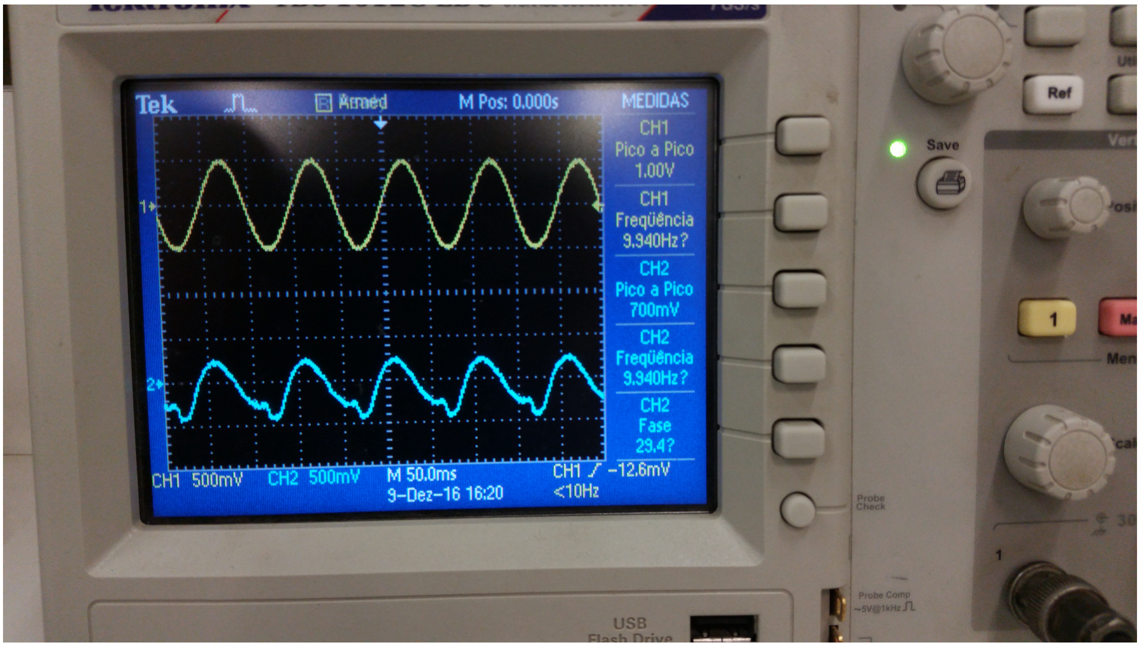

Figura 99: Cossenóide 10kHz

6 Conclusão

Boa parte desse trabalho foi reaproveitado do meu trabalho feito no período passado, com exceção das seções 1 2 e 5. Em especial adicionei os conhecimentos utilizados para resolver o trabalho explicando todos os artifícios para resolver cada um dos itens solicitados e remodelei os circuitos com valores realísticos (Removi os indutores de 1H :) é muito fio para enrolar!!) .

O trabalho foi bastante importante para fixar alguns conceitos aprendidos na sala, dos quais eu posso listar como mais importante:

- Analise dos circuitos;
- Transformar E.D.O do circuito em funções de transferência através da transformada de Laplace;
- Verificar como os polos e o zeros influenciam na pratica a plotagem do diagrama de bode;
- Entender como o valor dos componentes influenciam nos polos e zeros e nas frequências de filtragem;
- Compreender superficialmente o funcionamento de filtros;

- Representação de circuitos em diagrama de blocos;
- Encontrar a reposta do sistema para diferentes sinais através de sua função de transferência.
- Verificar que a resposta ao somatório dos harmônicos de fourier se aproxima do sinal normal conforme o numero de harmônicos crescem;
- Aprender a realizar simulações no MatLab e no Octave;
- Montagem de circuito na prática;

7 Referências

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Buffer_amplifier;

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_filter;

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter;

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass_filter;

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter;

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen-Key_topology;

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Integrator;

[8] https://en.wikibooks.org/wiki/Signals_and_Systems;

[9] http://www.lps.ufrj.br/ñatmourajr/EEL350/2016_01/slides_SL1.pdf;

[10] B. P. Lathi, Linear Systems and Signals. Oxford, UK: Oxford University Press, 2nd ed., 2009.

[11] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, and S. H. Nawab, Signals and Systems (2Nd Ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1996.