Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Elétrica

FEELT

Resolução da Lista de Exercícios Extras

Trabalho de Sinais e Sistemas II

por

Lesly Viviane Montúfar Berrios

11811ETE001

Prof. Alan Petrônio Pinheiro

Uberlândia, Dezembro / 2019

Sumário

1 Exercício 1

Por meio do código em anexo (Anexo 6.1) foi possível as informações retirar informações dispostas nas subssões seguintes.

1.1 Determinação de polos e zeros e curva de resposta em frequência

Pede-se modelar um filtro seletivo para uma determinada frequência $f_rejeitada$, da qual se extrairá os polos e zeros necessários. Para isso, é necessário relacionar a frequência a ser retirada com a frequência de amostragem F_S por meio de $w_{rejeitada} = 2 * pi * freq_{rejeitada}/F_s$, da qual se retira os os zeros $0.5877 - 0.8089i$ e $0.5877 + 0.8089i$, e polos $0.0823 - 0.2427i$, $0.0823 + 0.2427i$, $0.3703 - 0.6067i$ e $0.3703 + 0.6067i$. Na Figura 1 tem-se o diagrama de polos correspondente do filtro projetado.

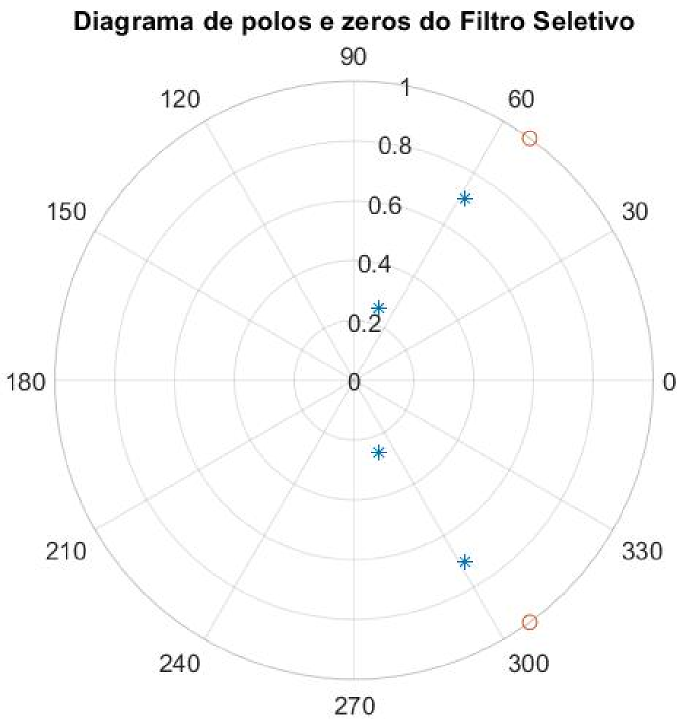

Figura 1: Diagramas de polos e zeros do filtro seletivo.

A partir dos polos e zeros é possível plotar a curva da resposta em frequência, como na Figura 2. Dela vê-se que tem-se o propósito de atenuar a frequência digital de $\frac{3\pi}{10}$.

Figura 2: Resposta em frequência do filtro seletivo.

1.2 Equação de diferenças e taxa de aquisição

Considerando uma taxa e aquisição de $F_S = 20kHz$ de acordo com o Teorema de Nyquist, pois deve-se ter pelo menos $F_S < 2 * f_{max}$ para reduzir a distorção significante provocada pelo aliasing. Além disso, a partir dos polos e zeros projetados para eliminar certa frequência, é possível escrever a equação de diferenças correspondente.
Com b:

$$0 \quad 0 \quad 0.0364 \quad -0.0427 \quad 0.0364$$

e a:

$$1 \quad -0.9051 \quad 0.6927 \quad -0.1318 \quad 0.0332$$

1.3 Comparação entre sinal de entrada e saída

Aplicando-se a equação de diferenças, ilustrada na Figura 2, ao sinal de entrada $x(t)$, tem-se no domínio da frequência a comparação mostrada na Figura 3 e, após a aplicar a transformar a Transformada Inversa de Fourier para converter novamente para o domínio do tempo, tem-se a comparação vista na Figura 4.

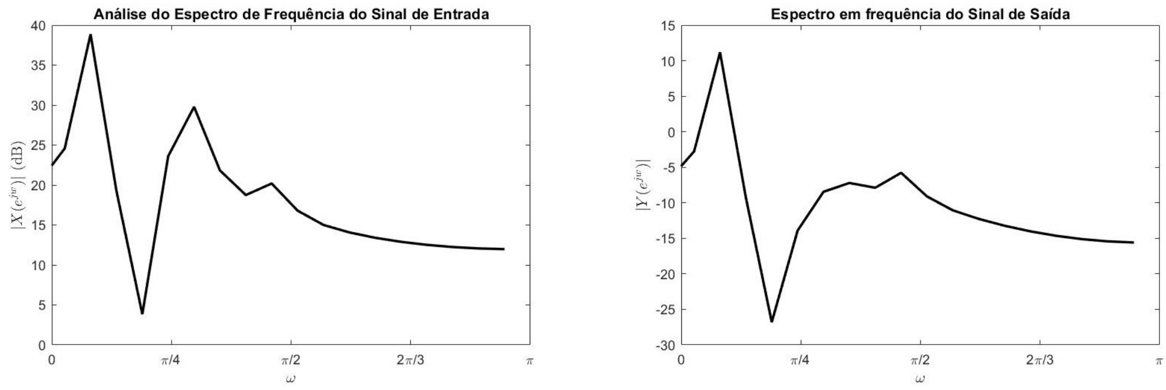

Figura 3: Compração entrada vs. saída no domínio da frequência.

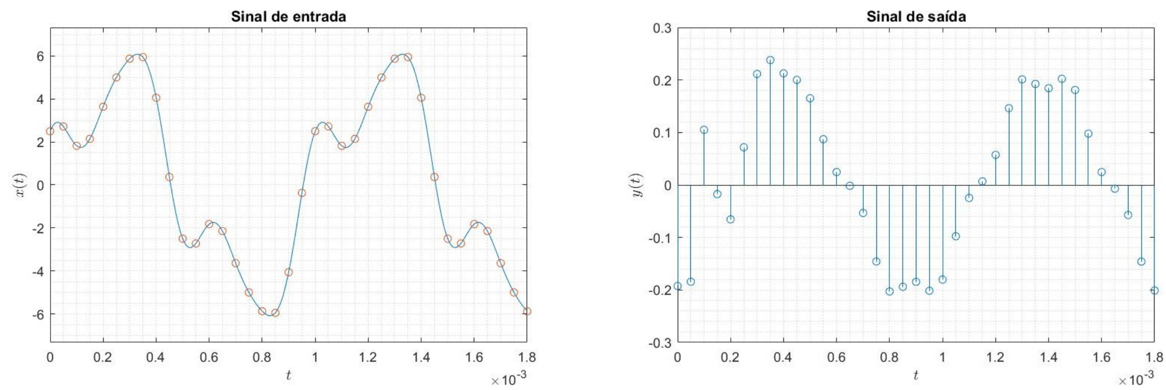

Figura 4: Compração entrada vs. saída no domínio do tempo.

1.4 Obtenção de saída y(t) por laço for

A partir dos polos e zeros e zeros determinados tem-se a função de transferência, descrita pela Equação (1). Escolheu-se mais polos que zeros para garantir a estabilidade do sistema.

$$H(z) = 0.0364\ \frac{(z-(0.5877 \pm 0.8089i))}{(z-(0.0823 \pm 0.2427i))\ (z-(0.3703 \pm 0.6067i))} \tag{1}$$

Simplificando 1 tem-se 2, no qual visualizam-se os coeficientes b e a.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0 - 0\ z^{-1} + 0.0364\ z^{-2} - 0.0427\ z^{-3} + 0.0364\ z^{-4}}{1 - 0.9051\ z^{-1} + 0.6927\ z^{-2} - 0.1318\ z^{-3} + 0.0332\ z^{-4}} \tag{2}$$

Assim, aplicando a transformada de Z inversa, tem-se a equação de diferenças em (3), da qual é possível determinar a saída, como realizado no código em anexo (Anexo 6.1) por meio do comando ***for***. Ademais, na Figura 5 observa-se o resultado obtido, sendo que para as extremidades as distorções levam $y[n]$ a 0 devido a consideração de que para $n < 0$, $y[n] = 0$.

$$\begin{aligned} y[n] = 0.9051\ y[n-1] - 0.6927\ y[n-2] + 0.1318\ y[n-3] - 0.0332\ y[n-4] \\ + 0.0364\ x[n-2] - 0.0427\ x[n-3] + 0.0364\ x[n-4] \end{aligned} \quad (3)$$

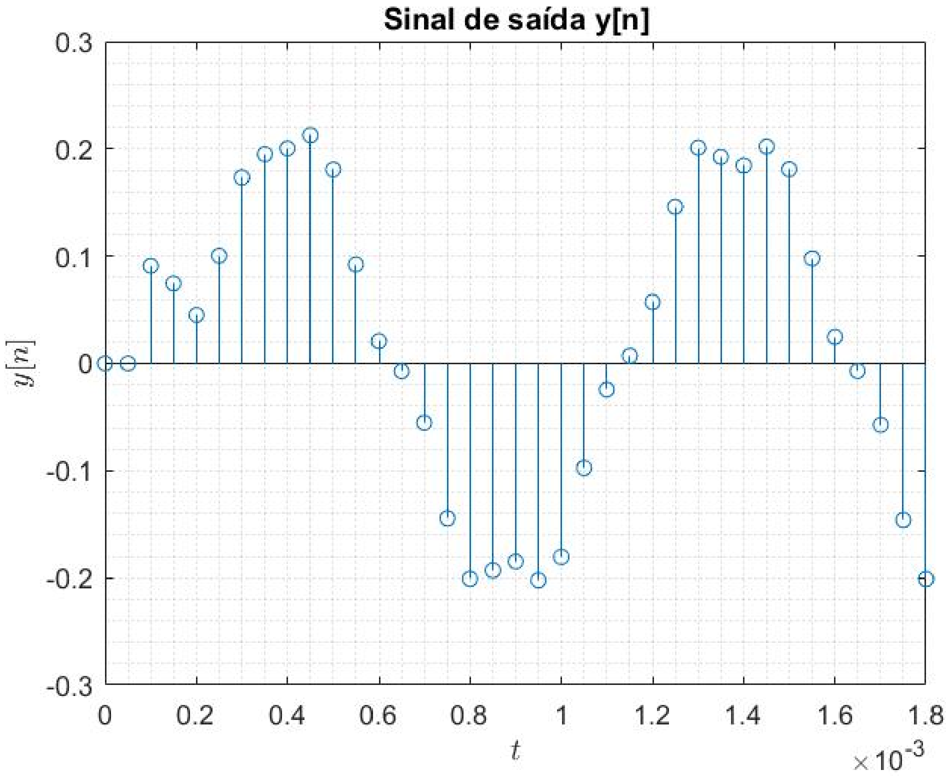

Figura 5: Sinal y[n] obtida pela equação de diferenças.

2 Exercício 2

Dada a equação de diferenças tem-se, na Equação (4), sua forma após aplicar-se a Transformada Z. Para assim obter a equação de sua resposta em frequência como na Equação (6) e analisá-la no espectro da frequência como na Figura 6.

$$y[n] - y[n-1] + \frac{1}{4}y[n-2] = x[n] + \frac{1}{4}x[n-1] - \frac{1}{8}x[n-2] \tag{4}$$

$$Y(z)\ (1 - 1\ z^{-1} + 0.25\ z^{-2}) = X(z)\ (1 + 0.25\ z^{-1} + 0.125\ z^{-2}) \tag{5}$$

$$H(z) = \frac{1 + 0.25\ z^{-1} + 0.125\ z^{-2}}{1 - 1\ z^{-1} + 0.25\ z^{-2}} \tag{6}$$

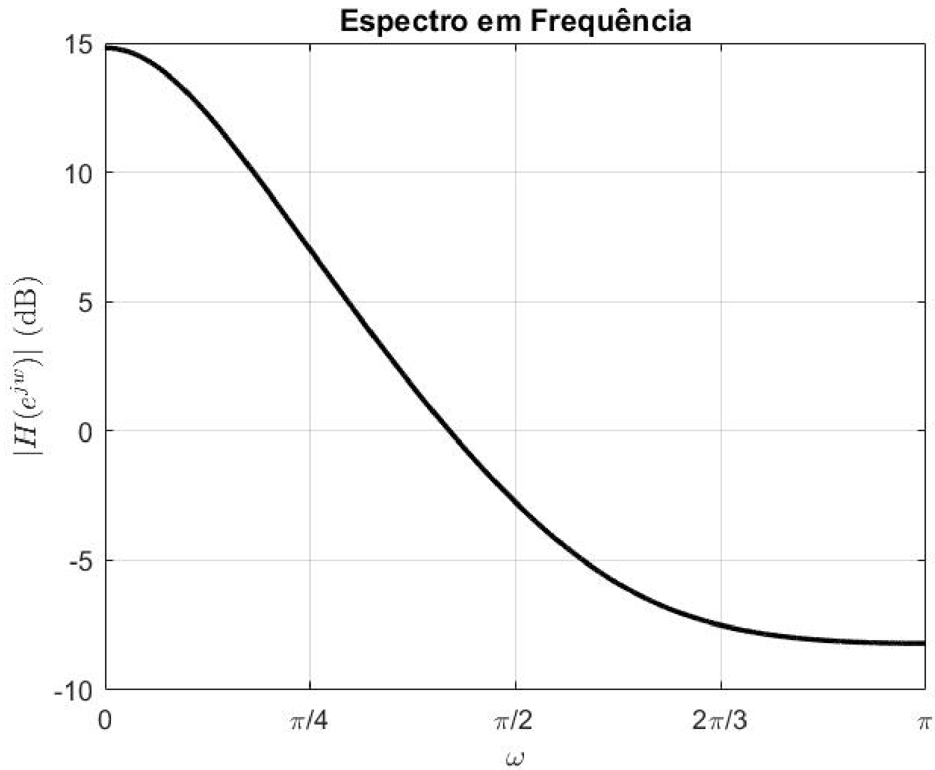

Figura 6: Espectro em frequência da equação de diferenças.

2.1 Estabilidade do sistema

A resposta em frequênia do sistema tabém pode ser escrita como mostrado na Equação (7), na qual observa-se a posição dos polos e zeros. Como há mais polos que zeros a primeira condição para a estabilidade foi obedecida, além de que os polos estão contidos no círculo de raio unitário. Também verifica-se da Figura 6 a estabilidade do sistema, uma vez que entradas limitadas gerarão saídas limitas, que conforme com o critério de estabilidade BIBO.

$$H(z) = \frac{(z - (-0.1250 \pm 0.3307i))}{(z - 0.5)\ (z - 0.5)} \tag{7}$$

2.2 Resposta ao degrau

A resposta degrau foi obtida pela equação de diferenças, a partir da Tranformada Z inversa de 6 e observa-se na Figura 7.

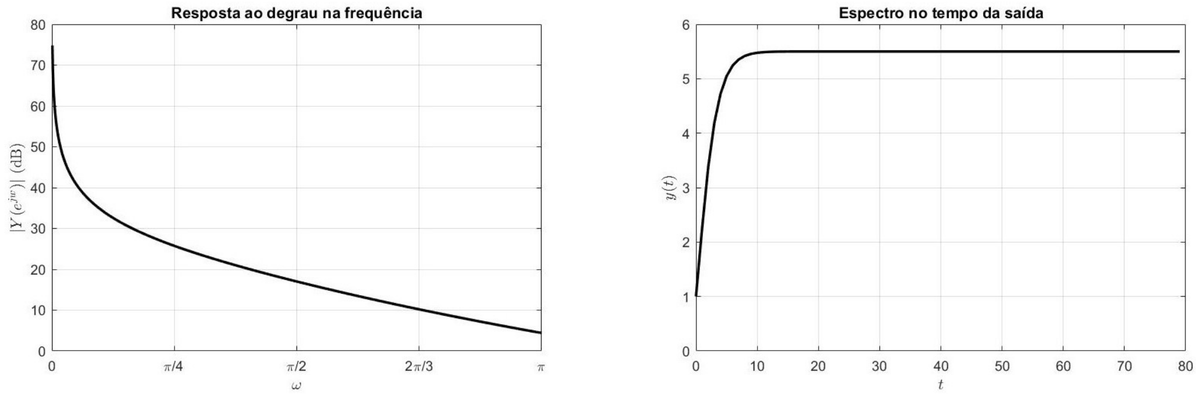

Figura 7: Espectro em frequência e tempo da resposta ao degrau unitário.

3 Exercício 3

3.1 Análise da função de transferência do motor

Para a análise do sistema do motor em que a entrada é a tensão e a saída, a velocidade angular, tem-se os gráficos das Figuras 8, 9 e 10. Percebe do gráfico da função de transeferência que primeiramente ocorre o acionamento do motor por uma elevada tensão positiva, para depois estabilizar-se e tende a valores proxóimos ao zero. Ademias, do gráfico da resposta ao degrau na Figura 10, tem-se que o sistema é subamortecido.

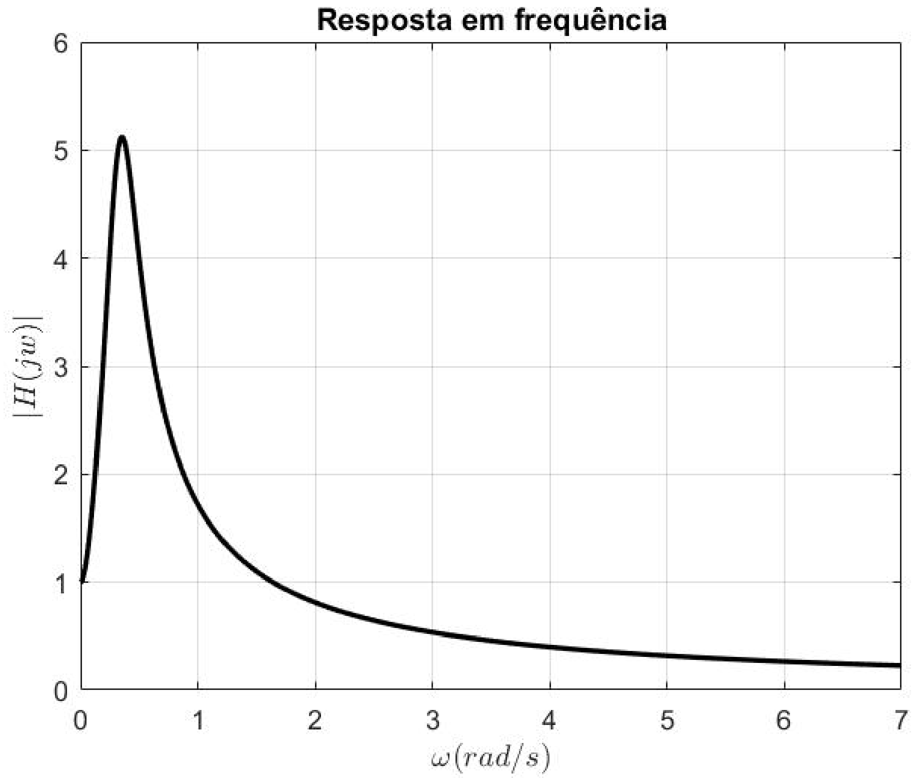

Figura 8: Espectro em frequência da função de tranferência.

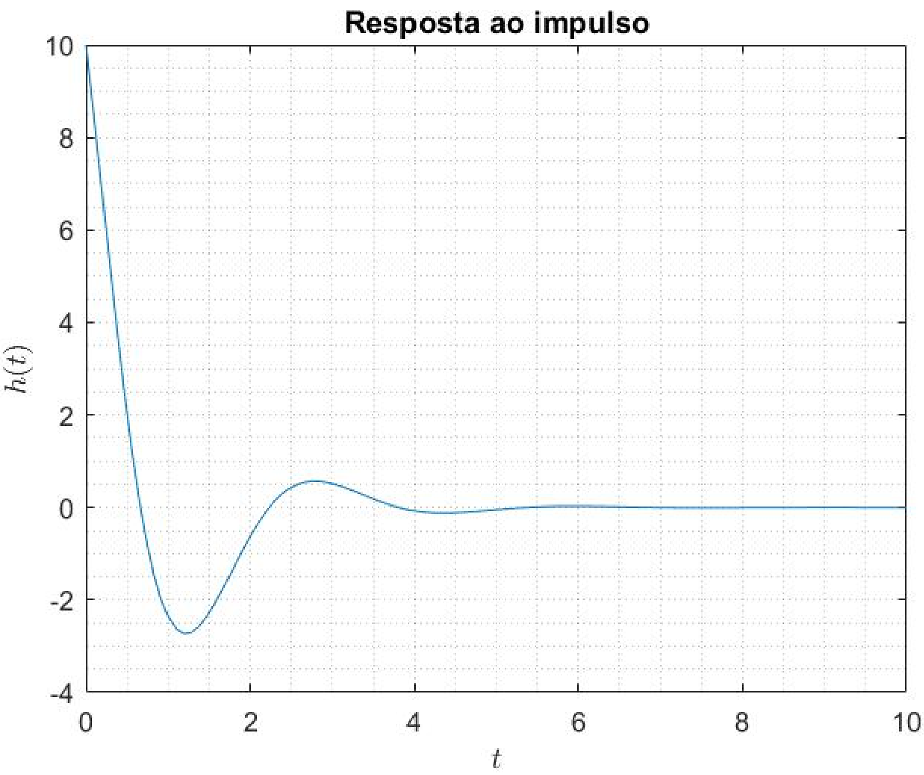

Figura 9: Curva de resposta ao impulso.

Figura 10: Curva de resposta ao degrau.

3.2 Redução de *overshoot*

Da equação de transferência fornecida para o motor, é possível modelá-la de forma que fique no formato de:

$$H(jw) = \frac{\omega_n^2}{(jw)^2 + 2\zeta\omega_n(jw) + w_n^2}$$

sendo o valor percentual do overshoot dado por:

$$M_p = e^{\frac{-\zeta\ \pi}{\sqrt{(1-\zeta^2)}}}$$

ou ainda,

$$\zeta = \sqrt{\frac{ln(M_p)^2}{\pi^2 + ln(M_p)^2}}$$

Assim, para um sistema com $M_p < 0,2$, pois no gráfico de resposta ao degrau a estabilização ocorre para s(t)=1, deve-se ter um $\zeta > 0.4559$. Colocando, por exemplo um sistema em série com função de transferência:

$$H_{serie}(j\omega) = \frac{5}{(j\omega) + 5}$$

Tem-se que os parâmetros para atender a $M_p < 1,2$ estarão na faixa de valores aceitáveis, pois assim ter-se-á $2\zeta\ \omega_n = 2 \Rightarrow 2\zeta\ \sqrt{5} = 2 \Rightarrow \zeta = 0,4472 \approx 0.4559$. Para esse novo sistema se terá a análise das Figuras 14, 15 e 16, sendo $H_{novo}(jw)$ descrito como na Equação (8).

$$H_{novo}(j\omega) = \frac{5}{(jw)^2 + 2\zeta\omega_n(jw) + w_n^2} \tag{8}$$

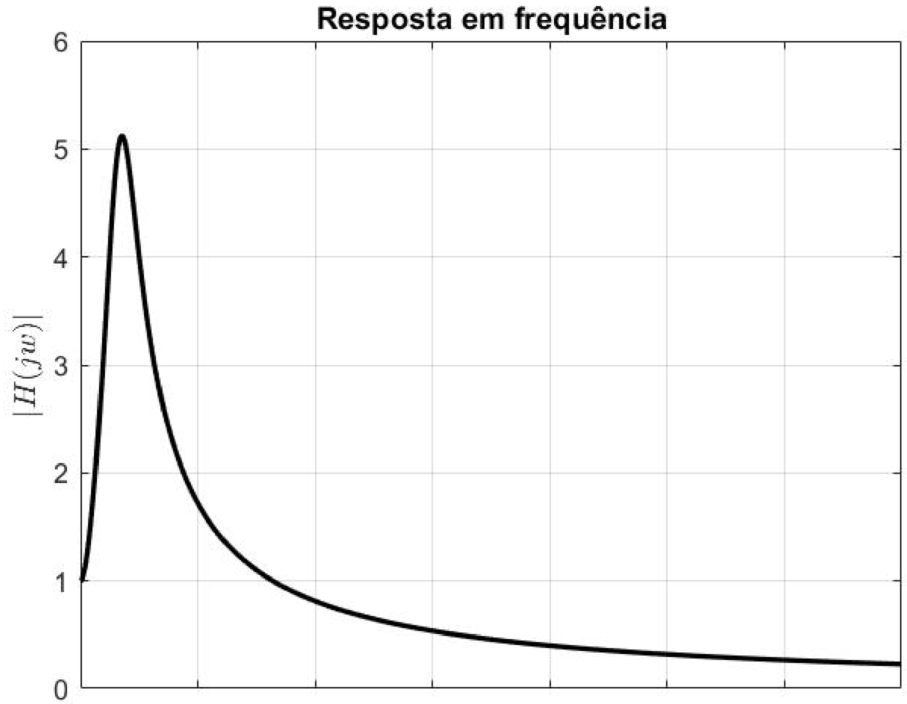

Figura 11: Espectro em frequência da função de tranferência para o novo sistema.

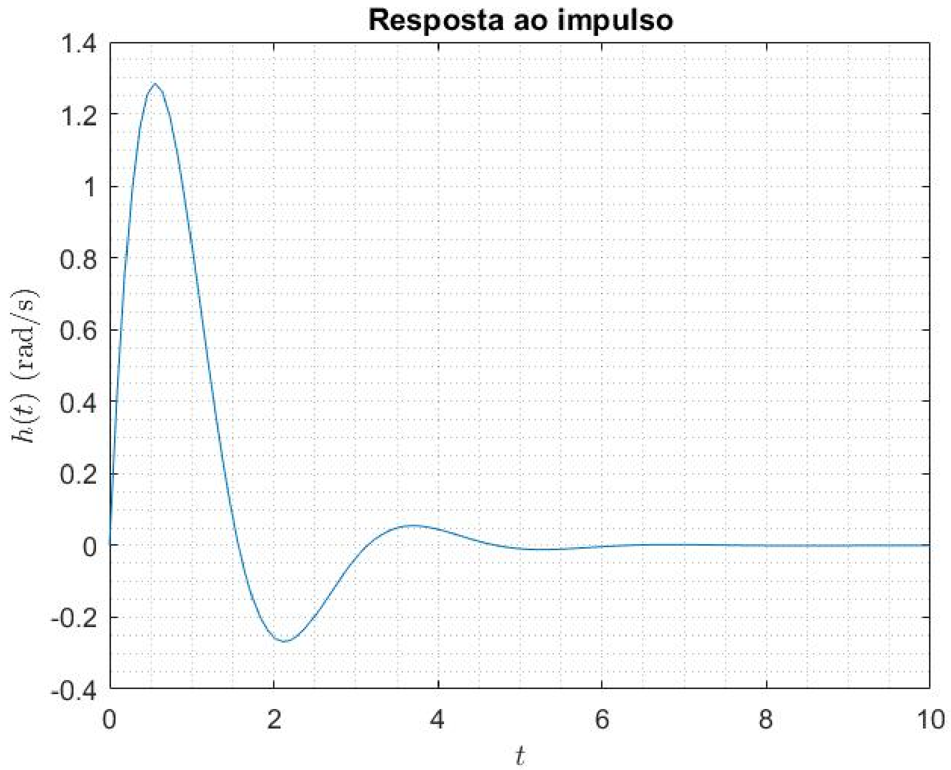

Figura 12: Curva de resposta ao impulso para o novo sistema.

Figura 13: Curva de resposta ao degrau para o novo sistema.

3.3 Aumento da velocidade do motor

Para o aumento da velocidade do motor em 2 vezes, pode-se multiplicar a nova função por dois obtendo-se assim que $2 \times H(jw)$ será uma função de transferência com o dobro de ganho, para um inscremento constante de tensão, fazendo assim que a relação entre aumento de tensão e velocidade ângular seja linear. Nas Figuras 14, 15 e 16 verifica-se o resultado visual e na Equação (9) a função de tranferência resultante, mantendo $M_p \approx 1,2$.

$$H_{novo}(j\omega) = \frac{10}{(jw)^2 + 2\zeta\omega_n(jw) + w_n^2} \tag{9}$$

Figura 14: Espectro em frequência da função de tranferência para o novo sistema com ganho 2.

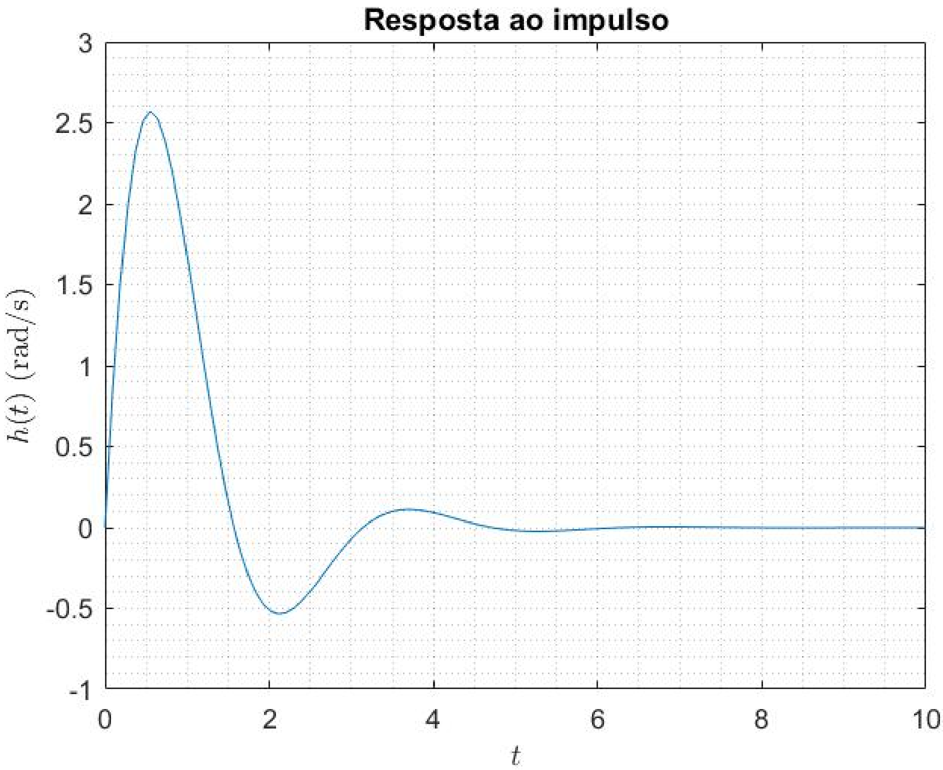

Figura 15: Curva de resposta ao impulso para o novo sistema com ganho 2.

Figura 16: Curva de resposta ao degrau para o novo sistema com ganho 2.

4 Exercício 4

Para um $M_p < 0.25$, tem-se que $\zeta > 0.4037$ idealmente. Ademais, é pedido que K e a sejam projetados de forma que o tempo de acomodação t_s seja igual ou inferior a 0.1s, logo, ainda tem-se que:

$$t_s = \frac{4,6}{\zeta\omega_n} \Rightarrow \omega_n = \frac{4,6}{\zeta t_s} \Rightarrow \omega_n = 113,9424$$

Para cumprir com esses requisitos idealmente teria-se:

$$H_{ideal}(j\omega) = \frac{144^2}{(jw)^2 + 2 * 0.4037 * 144(jw) + (114)^2} \tag{10}$$

que comparando com a função de transferência de descrita por:

$$H_{real}(j\omega) = \frac{100\ K}{(jw)^2 + (a+25)\ (jw) + 25a} \tag{11}$$

tem-se:

$$\begin{cases} a + 25 = 2\ \zeta\ \omega_n \\ \sqrt{25\ a} = \omega_n = \sqrt{100\ K} \end{cases}$$

das se quais de tira que $a = 519.3148$ e $k = 129.8287$. Além disso, do código no Anexo 6.4, não há zeros e tem-se polos reais em -519.3148 e -25.0000, os quais são representados na Figura 17.

Na Figura 18, tem-se ainda a resposta ao degrau unitário da função de transferência resultante e descrita na Equação (12)

$$H_{real}(j\omega) = \frac{1298,3}{(jw)^2 + (544.3)\ (jw) + 1298,3} \tag{12}$$

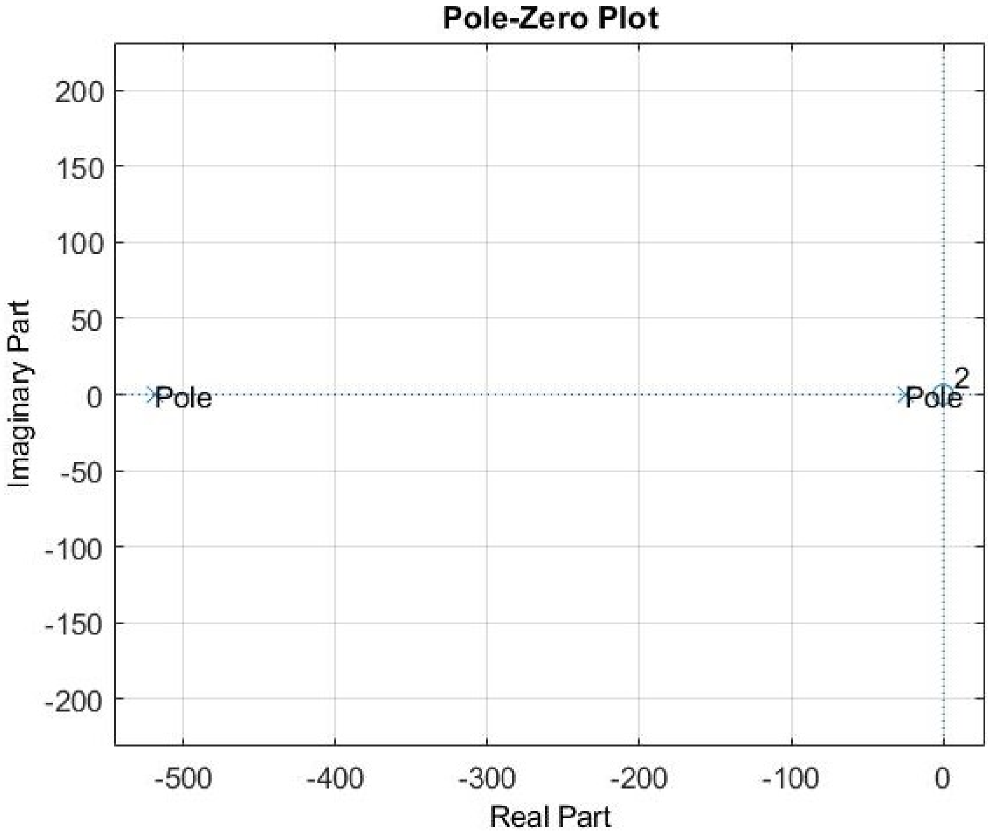

Figura 17: Curva de resposta ao degrau unitário.

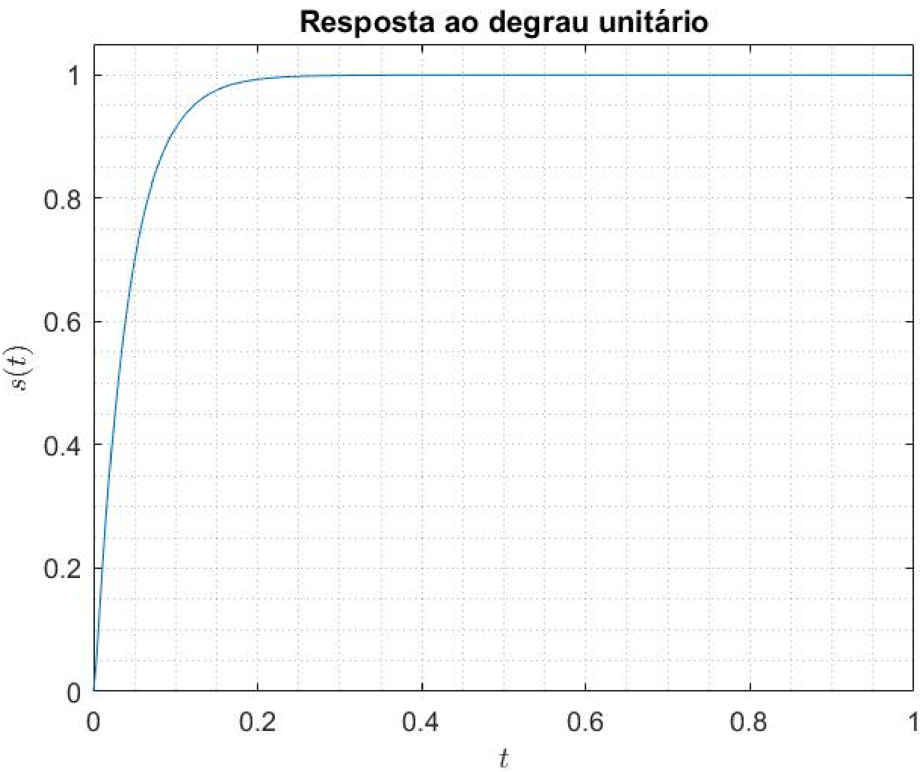

Figura 18: Curva de resposta ao degrau unitário.

5 Exercício 5

Os dados do sistema do laboratório são lineares, no entanto ainda é possível ajustá-ia uma curva, mediante a modelagem exponencial (Veja Anexo 6.5). Assim, tem-se que $y(t)$ pode ser descrita como:

$$y(t) = 0.9729\ e^{0.0050\ t} + 0.4321\ e^{-4.0703\ t} - 1.4031\ e^{-1.0747\ t}$$

Além disso, a Figura 19 mostra a correspondência da curva obtida e a dispersão dos dados, enquanto que na Figura 20 está comtemplado o Diagrama de Bode para o sistema.

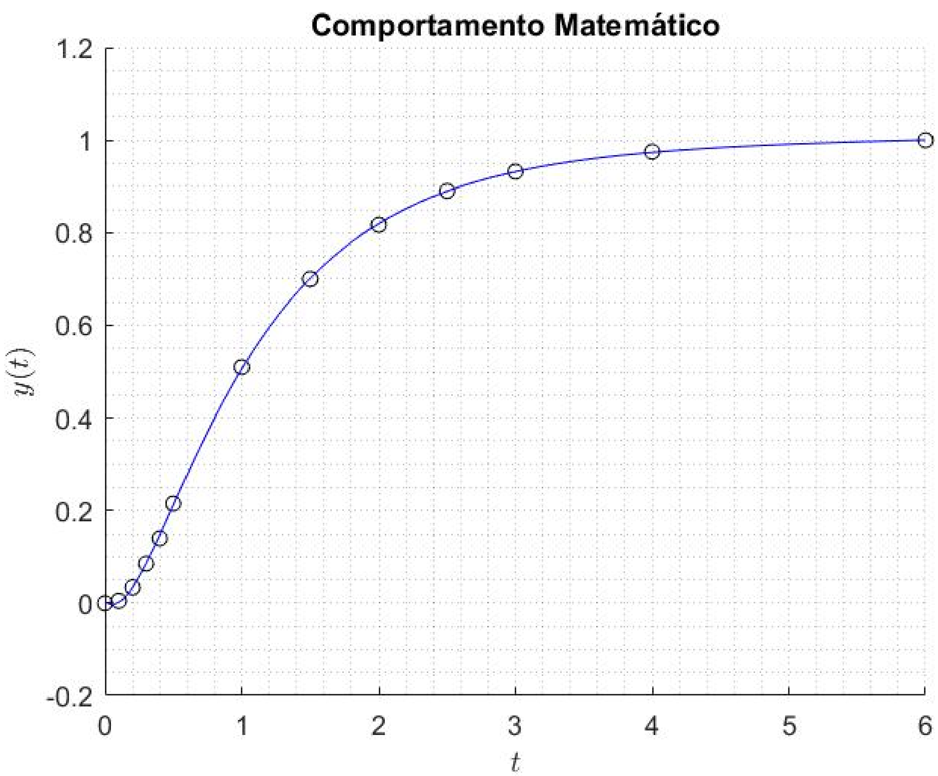

Figura 19: Modelagem matemática do sistema via MATLAB.

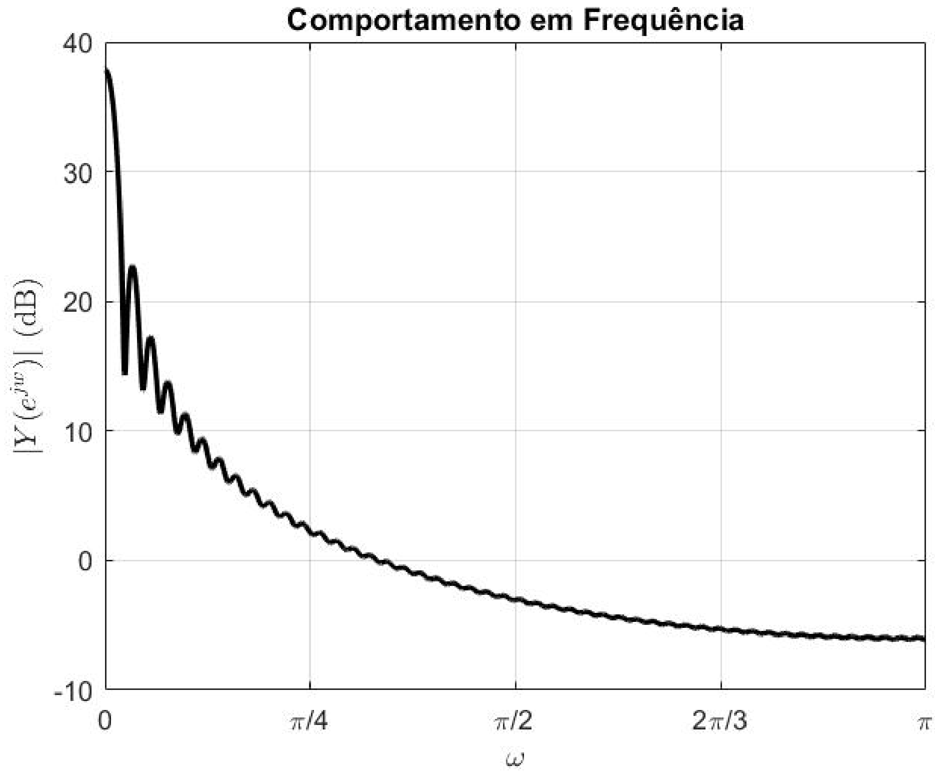

Figura 20: Comportamento em frequência do sistema.

6 Anexos

6.1 Código correspondente ao exercício 1

```
clear all; close all; clc;

% Invervalo a ser analisado - beep beep beep
ti = 0;
t_f = 0.0018;
t_total = t_f-ti;

% Sinal recebido
syms t real
xt = 5*sin(2*pi*1000*t) + 2*cos(2*pi*3000*t) + 0.5*cos(2*pi*5000*t);

% Amostragem
Fs = 20e3; % Fs > 2*Fmax_sinal (Teorema de Nyquist para evitar o aliasing)
Ts = 1/Fs;
figure('Name', 'Receptor');
subplot(2, 1, 1);
[x_n, n] = figure_amostragem('$nT_s$','$x[nT_s]$', xt, t, Fs, ti, t_f);
title(strcat('Sinal recebido ps amostragem com Fs=', string(Fs/1e3), 'kHz'));
ax = gca; ax.FontSize=11;

% Espectro de frequencia do sinal amostrado
X = fft(x_n); Nfft = length(n);
X_abs = abs(X);
X_phased = phase(X)*(180/pi);
w = (pi/Fs)*n/(t_f-ti); % frequencia digital 0:pi com mesmo numero de amostra que n
subplot(2,1,2);
plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(X))),'linewidth',2,'color',[0 0 0]);
title('Anlise do Espectro de Frequncia do Sinal de Entrada');
```

```
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|X(e^{jw})|$ (dB)','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});

% Projeto do filtro rejeita banda
p_filtro = figure('Name','Projeto do filtro rejeita banda');
freq_rejeitada = 3e3;
w_rejeitada = 2*pi*freq_rejeitada/Fs; % Freq Digital equivalente
zero = 0.9999*(cos(w_rejeitada)+ 1j*sin(w_rejeitada));
zeros = [zero; conj(zero)];
polo = 0.14*real(zero)+0.3j*imag(zero);
polo2 = 0.63*real(zero)+0.75j*imag(zero);
polos = [polo; conj(polo); polo2; conj(polo2)];
% um sist estvel possui mais polos dq zeros

k = 0.2/(5+.5);
[b,a]=zp2tf(zeros,polos,k);
Hjw = fft(b,Nfft)./fft(a,Nfft);

subplot(2, 1, 1); polarplot([polos], '*');
hold on; polarplot([zeros], 'o'); ax = gca; ax.FontSize=11;
title('Diagrama de polos e zeros do Filtro Seletivo');
subplot(2, 1, 2);
plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(Hjw))),'linewidth',2,'color',[0 0 0]);
grid on;
title('Espectro em freq da Resposta ao Impulso');
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|H(e^{jw})|$ (dB)','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});

% Para encontrar a sada filtrada tem-se:
```

```
Y = Hjw.* X;
Y_abs = abs(Y);
Y_phased = phase(Y)*(180/pi);

figure('Name','Sinal Transmitido');
subplot(2, 1, 1);
plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(Y))),'linewidth',2,'color',[0 0 0]);
title('Espectro em frequncia da sada');
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ylabel('$|Y(e^{jw})|$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});

yt = ifft(Y);
yt_abs = real(yt);
subplot(2, 1, 2); stem(n*Ts, yt_abs);
title('Espectro no tempo da sada');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ylabel('$y(t)$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ax = gca; ax.FontSize=11;


% Pelo lao for

% a(1) y[n] = - a(1+1) y[n-1] - a(2+1) y[n-2] - a(3-1) y[n-3] ...
%          b(1) x[n-0] + b(2) x[n-1] + ...
y_n = eqdif(b, a, x_n);
figure; stem(n*Ts, y_n);
title('Sinal de sada y[n]');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ylabel('$y[n]$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid minor;

% Functions

```

```
function [s, n] = amostragem(sinal, var, Fs, ti, t_f)
    % AMOSTRAGEM (sinal, var, Fs, ti, t_f)
    % sinal: em funcao de var
    % var: variavel de percurso analgico
    % Fs: frequencia de amostragem desejada
    % ti: tempo inicial
    % t_f: tempo final

     n = ti*Fs:1:t_f*Fs; % Ts=1/Fs
     s = eval(strrep(string(sinal),char(var),'n/Fs'));
end

function [s_n, n]= figure_amostragem(x_label, y_label, sinal, var, Fs, ti, t_f)
    % FIGURE_AMOSTRAGEM (x_label, y_label, sinal, var, Fs, ti, t_f)
    % x_label: str
    % y_label: str
    % sinal: em funcao de var
    % var: variavel de percurso analgico
    % Fs: frequencia de amostragem desejada
    % ti: tempo inicial
    % t_f: tempo final

     [s_n, n] = amostragem(sinal, var, Fs, ti, t_f);
     ezplot(sinal, [ti t_f]);
     hold on;
     scatter(n/Fs, s_n);
     xlabel(x_label,'Interpreter','LaTex','FontSize',16);
     ylabel(y_label,'Interpreter','LaTex','FontSize',16);
end

function [y_n] = eqdif(b, a, x_n)
    % EQDIF determina a saida por meio da eq de diferencas

    % y_n(0)=0; matlab nao aceita
     for n=1:length(x_n)
         y_n(n) = 0; ia=2;
         while ia<=n
```

```
                y_n(n) = y_n(n) - a(ia)*y_n(n-(ia-1));
                ia = ia+1;
                if ia > length(a) break; end
            end
            ib = 1;
            while (n-1)-(ib-1)>=0 % pensar no bsico
                y_n(n) = y_n(n) + b(ib)*x_n(n-(ib-1));
                ib = ib+1;
                if ib > length(b) break; end
            end
            y_n(n) = y_n(n)/a(1);
        end
end
```

6.2 Código correspondente ao exercício 2

```
clc; clear all; close all;
% Desenvolvido no documento tem-se:
r = 1; w = 0:1e-3:pi;
z = r.*exp(1j.*w);
Hz = (1 + 0.25*z.^(-1) + 0.125*z.^(-2))./(1 - 1*z.^(-1) +
   0.25*z.^(-2));
Nfft = length(w);
figure('Name', 'Reposta ao impulso');
plot(w, 20*log10((abs(Hz))),'linewidth',2, 'color', [0 0 0])
   ;
grid on;
title('Espectro em Frequncia');
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|H(e^{jw})|$ (dB)','Interpreter','LaTex','FontSize'
   ,14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});

% Estabilidade do sistema
[zeros,p,k]=tf2zp([1 0.25 0.125], [1 -1 0.25]);
for i=1:length(p)
    estavel = (p<=1);
```

```
    if length(p)<length(zeros) estavel=0; end
    if estavel == 0 break; end
end

if estavel fprintf('Sistema estvel!\n');
else fprintf('Sistema instvel!\n'); end
%p'

% Resposta ao degrau
figure('Name', 'Reposta ao degrau');
Uz = 1./(1-z.^(-1));
Y = Uz.*Hz;
subplot(121); plot(w, 20*log10(abs(Y)), 'linewidth',2, 'color', [0 0 0]);
grid on;
title('Resposta ao degrau na frequncia');
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|Y(e^{jw})|$ (dB)','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});

y = eqdif([1 0.25 0.125], [1 -1 0.25], ones(1, 80));
subplot(122); plot(0:length(y)-1, abs(y), 'linewidth',2, 'color', [0 0 0]);
title('Espectro no tempo da sada');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ylabel('$y(t)$','Interpreter','LaTex','FontSize',16);
ylim([0 6]);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid on;

function [y_n] = eqdif(b, a, x_n)
    % EQDIF determina a saida por meio da eq de diferencas

    % y_n(0)=0; matlab nao aceita
    for n=1:length(x_n)
        y_n(n) = 0; ia=2;
```

```
            while ia<=n
                y_n(n) = y_n(n) - a(ia)*y_n(n-(ia-1));
                ia = ia+1;
                if ia > length(a) break; end
            end
            ib = 1;
            while (n-1)-(ib-1)>=0 % pensar no bsico
                y_n(n) = y_n(n) + b(ib)*x_n(n-(ib-1));
                ib = ib+1;
                if ib > length(b) break; end
            end
            y_n(n) = y_n(n)/a(1);
        end
    end
```

6.3 Código correspondente ao exercício 3

```
%clc; close all; clearvars;
% Dada a equao de diferenas
Fs = 7;
w=0:1e-3:2*pi*Fs;
s = 1j*w;
Hs = (10*s+5)./(s.^2+2*s+5);
b = [10]; a = [1 2 5];

figure; plot(w/(2*pi), (abs(Hs)), 'linewidth',2, 'color', [0 0 0]);
title('Resposta em frequncia');
xlabel('$\omega (rad/s)$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|H(jw)|$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid on;

% Resposta ao impulso
figure;
[h,t] = impulse(tf(b, a), 10);
plot(t, h);
title('Resposta ao impulso');
```

```
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$h(t)$ (rad/s)','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid minor;

% Resposta ao degrau
figure;
[u,t] = step(tf(b, a), 10);
plot(t, u);
title('Resposta ao degrau unitrio');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$s(t)$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid minor;
```

6.4 Código correspondente ao exercício 4

```
clearvars; close all;
% Do esquema do enunciado tem-se:
zeta = 0.4037; wn = 113.9424;
A = wn^2/25;%2*zeta*wn-25;
K = wn^2/100;
w = 0:1e-3:pi;
s = 1j*w;
Hjw = (100*K)./((s+A).*(s + 25));

b = [100*K];
a = [1 25+A 25*A];
[z, p, k] = tf2zp(b, a);

fvtool(b,a,'polezero')
text(real(z)+.1,imag(z),'Zero')
text(real(p)+.1,imag(p),'Pole')

% Resposta ao degrau
figure;
[u,t] = step(tf(b, a), 1);
plot(t, u);
```

```
title('Resposta ao degrau unitrio');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$s(t)$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid minor;

tf(b, a)
```

6.5 Código correspondente ao exercício 5

```
clc; clearvars; close all;
t = [0 0.1:0.1:0.5 1:0.5:3 4 6];
y = [0 0.005 0.034 0.085 0.140 0.215 0.510 0.7 0.817 0.89
    0.932 0.975 1]

% Modelo exponencial
modelo = @(x,t) x(1)*exp(x(2)*t) + x(3)*exp(x(4)*t) + x(5)*
    exp(x(6)*t);

x0 = [5, -2, 5, -4, 1, -2];
x = lsqcurvefit(modelo, x0, t, y);

figure('Name', 'Dados experimentais');
scatter(t, y, 'o');
hold on;
times = linspace(t(1), t(end));
plot(t,y,'ko',times,modelo(x,times),'b-')
title('Comportamento Matemtico');
xlabel('$t$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$y(t)$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
grid minor;

% Comportamento em frequncia
w=0:1e-3:pi;
Nfft = length(w);
Y = fft(modelo(x, times), Nfft)
figure('Name', 'Comportamento em frequcia');
plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(Y))),'
```

```
    linewidth',2,'color',[0 0 0]);
grid on;
title('Comportamento em Frequncia');
xlabel('$\omega$','Interpreter','LaTex','FontSize',14);
ylabel('$|Y(e^{jw})|$ (dB)','Interpreter','LaTex','FontSize'
    ,14);
ax = gca; ax.FontSize=11;
set(ax,'xtick', [0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
set(ax,'xticklabel', {'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});
```

Referências

[1] Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami-Naieni., "Sistemas de Controle para a Engenharia", Porto Alegre: Bookman, 2013.

[2] Oppeinheim, Alan V.; Willsky, Allan S., "Sinais e Sistemas", São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 2ª Edição.