



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. Wellington Maycon Santos Bernardes
Uberlândia, Dezembro / 2019

Sumário

1	Exercício 1	2
1.1	Determinação de polos e zeros e curva de resposta em frequência . . .	2
1.2	Equação de diferenças e taxa de aquisição	3
1.3	Comparação entre sinal de entrada e saída	3
1.4	Obtenção de saída $y(t)$ por laço for	4
2	Exercício 2	5
2.1	Estabilidade do sistema	6
2.2	Resposta ao degrau	7
3	Exercício 3	7
3.1	Análise da função de transferência do motor	7
3.2	Redução de <i>overshoot</i>	9
3.3	Aumento da velocidade do motor	12
4	Exercício 4	14
5	Exercício 5	16
6	Anexos	17
6.1	Código correspondente ao exercício 1	17
6.2	Código correspondente ao exercício 2	21
6.3	Código correspondente ao exercício 3	23
6.4	Código correspondente ao exercício 4	24

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.

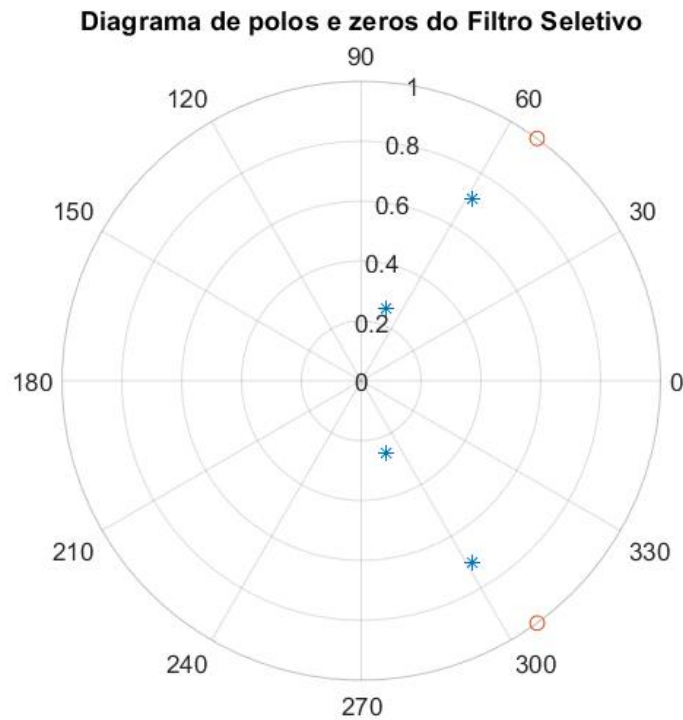


Figura 1: Diagramas de polos e zeros do filtro seletivo.

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 de 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 significativa 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.

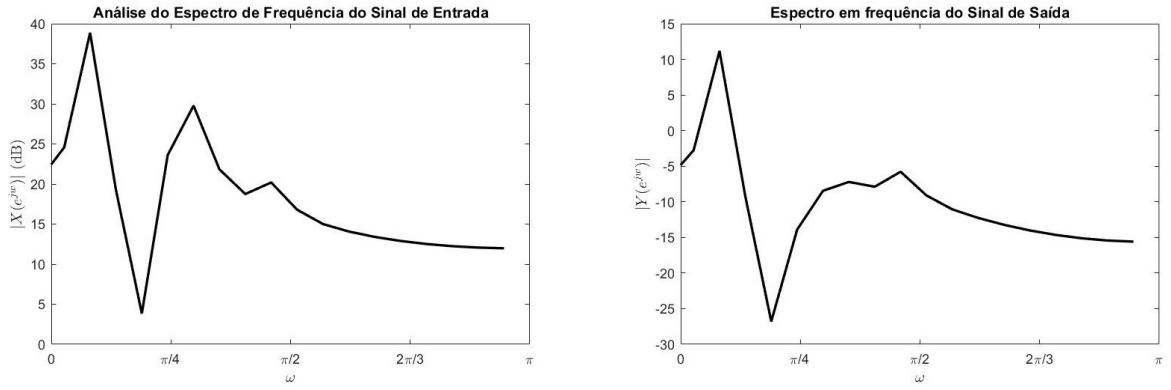


Figura 3: Comparação entrada vs. saída no domínio da frequência.

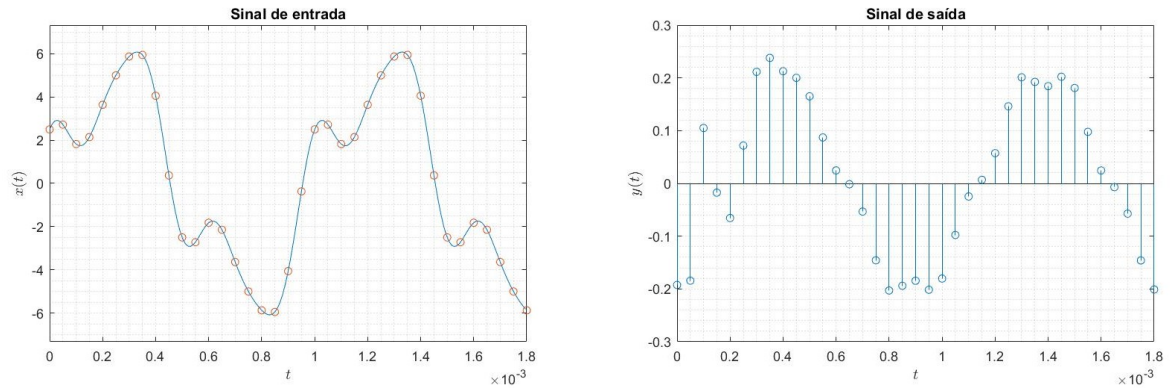


Figura 4: Comparação entrada vs. saída no domínio do tempo.

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.

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

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

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

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 $n < 0$, $y[n] = 0$.

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

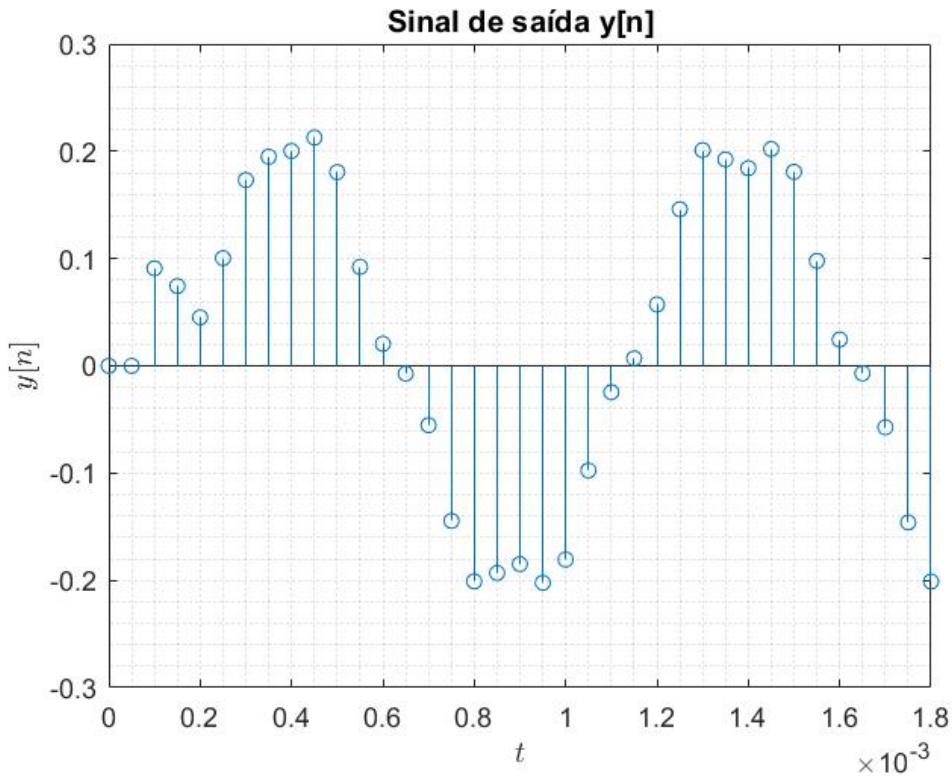


Figura 5: Sinal $y[n]$ obtida pela equação de diferenças.

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 (7) e analisá-la no espectro da frequência como na Figura 6.

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

$$(5)$$

$$Y(z) (1 - 1 z^{-1} + 0.25 z^{-2}) = X(z) (1 + 0.25 z^{-1} + 0.125 z^{-2}) \quad (6)$$

$$H(z) = \frac{1 + 0.25 z^{-1} + 0.125 z^{-2}}{1 - 1 z^{-1} + 0.25 z^{-2}} \quad (7)$$

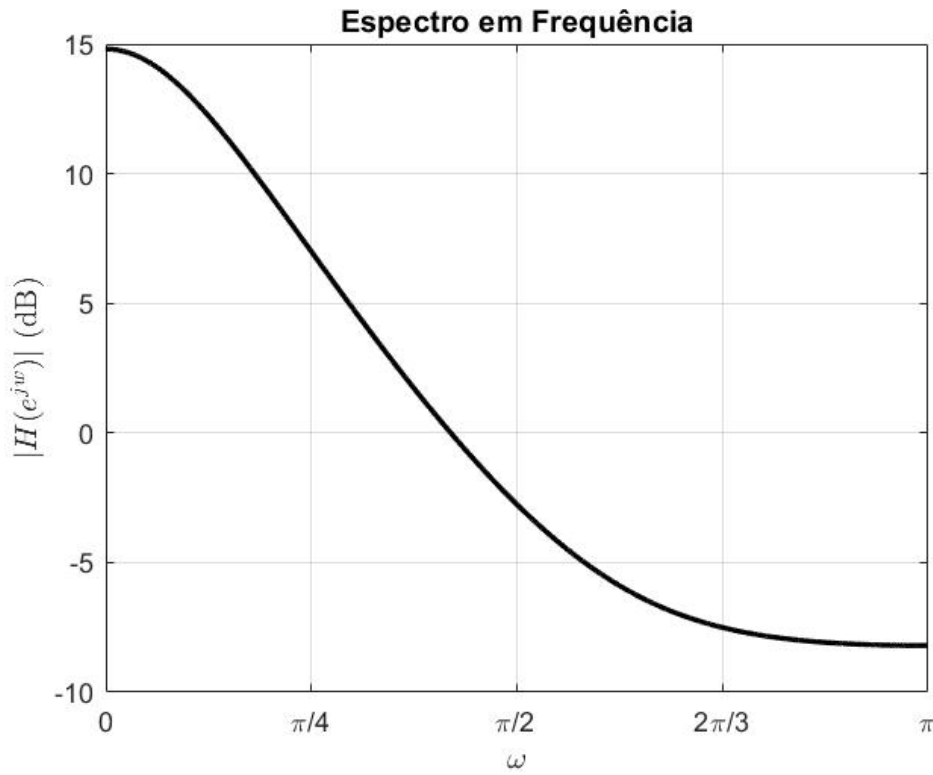


Figura 6: Espectro em frequência da equação de diferenças.

2.1 Estabilidade do sistema

A resposta em frequência do sistema também pode ser escrita como mostrado na Equação (8), 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.

$$H(z) = \frac{(z - (-0.1250 \pm 0.3307i))}{(z - 0.5)(z - 0.5)} \quad (8)$$

2.2 Resposta ao degrau

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

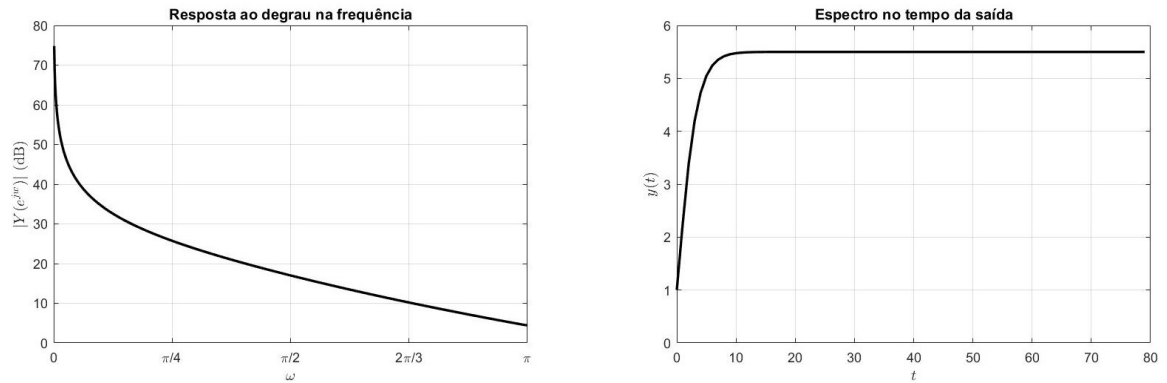


Figura 7: Espectro em frequência e tempo da resposta ao degrau unitário.

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 transferência que primeiramente ocorre o acionamento do motor por uma elevada tensão positiva, para depois estabilizar-se e tende a valores próximos ao zero. Ademias, do gráfico da resposta ao degrau na Figura 10, tem-se que o sistema é subamortecido.

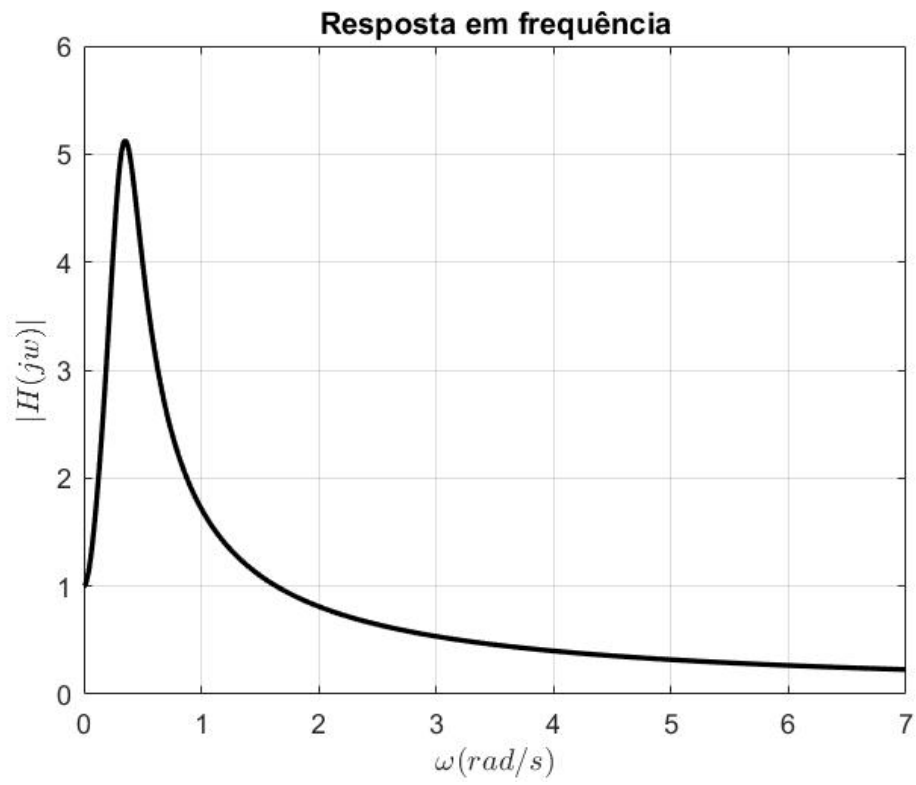


Figura 8: Espectro em frequência da função de transferência.

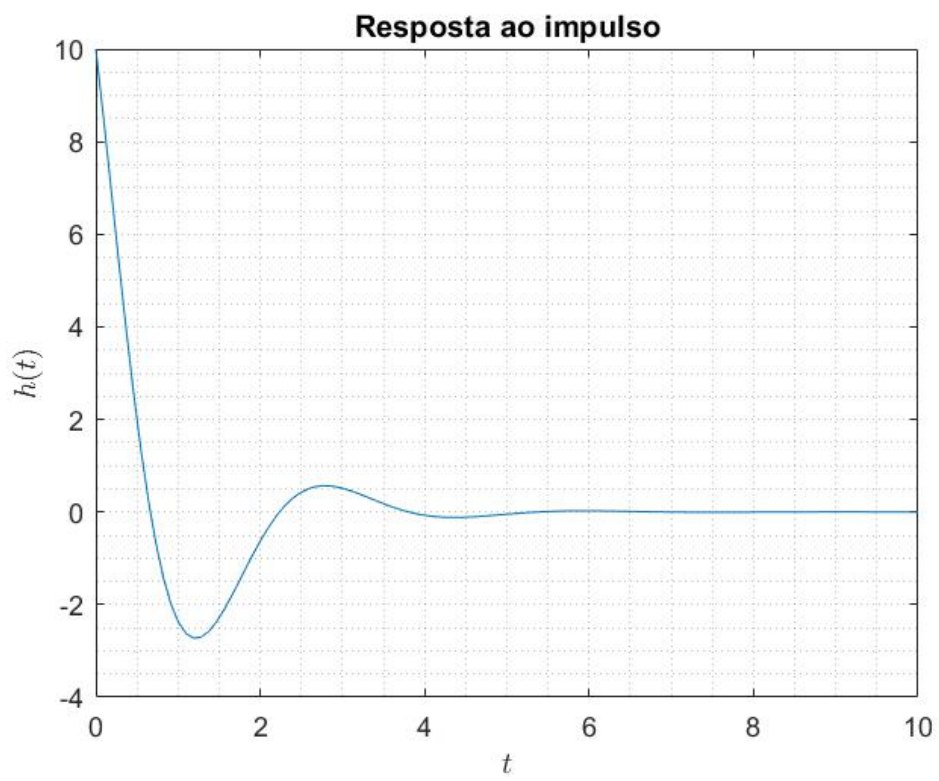


Figura 9: Curva de resposta ao impulso.

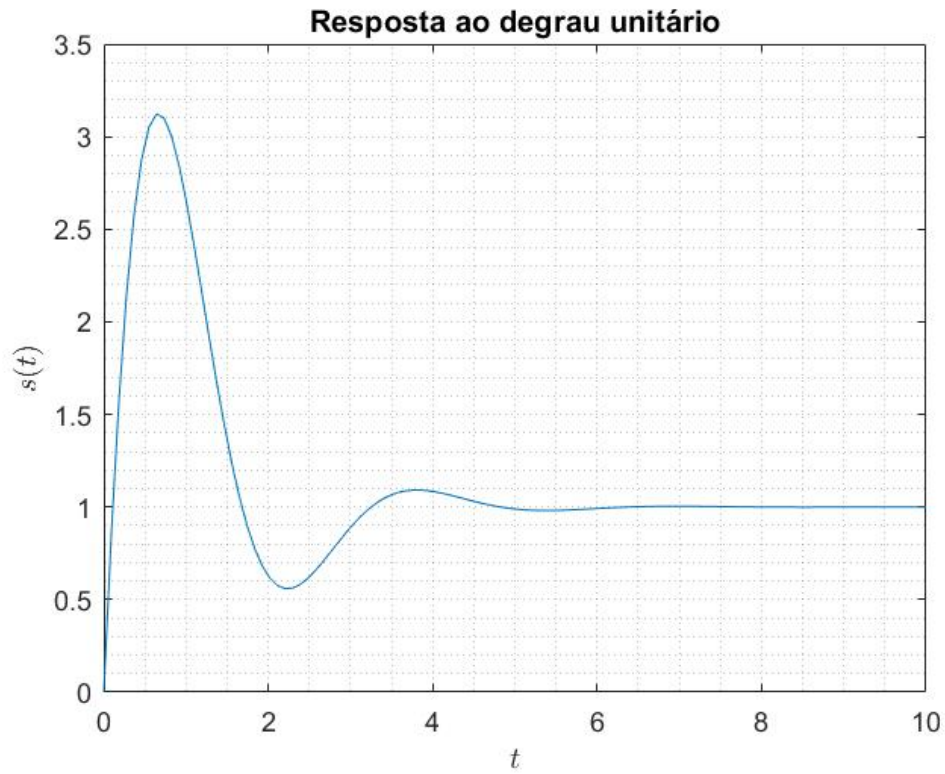


Figura 10: Curva de resposta ao degrau.

3.2 Redução de *overshoot*

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

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

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 (9).

$$H_{novo}(j\omega) = \frac{5}{(j\omega)^2 + 2\zeta\omega_n(j\omega) + \omega_n^2} \quad (9)$$

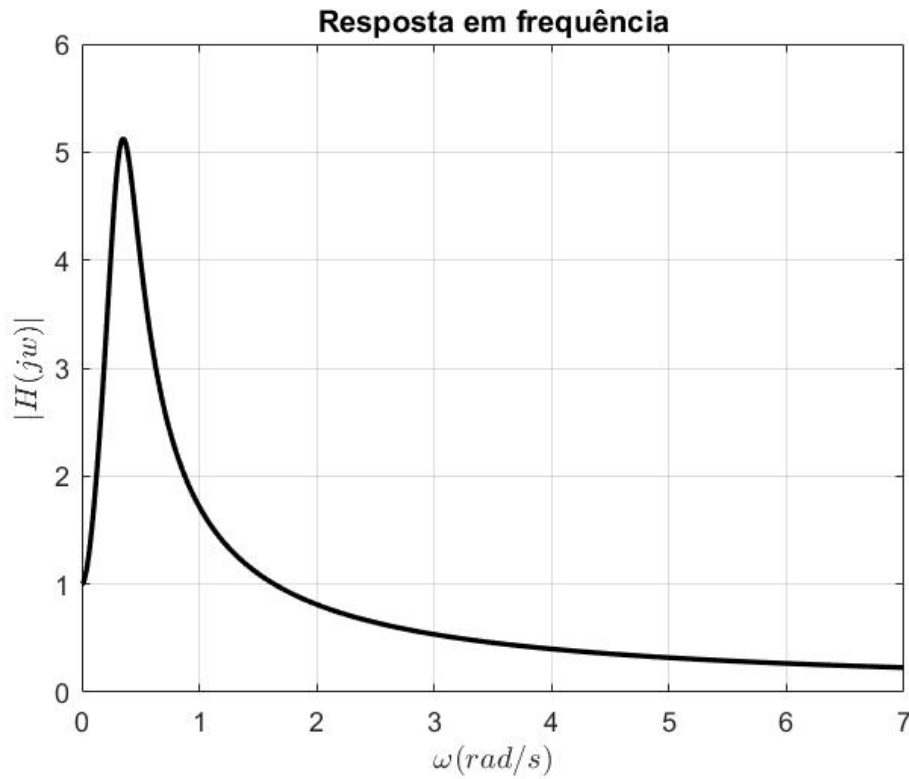


Figura 11: Espectro em frequência da função de transferência para o novo sistema.

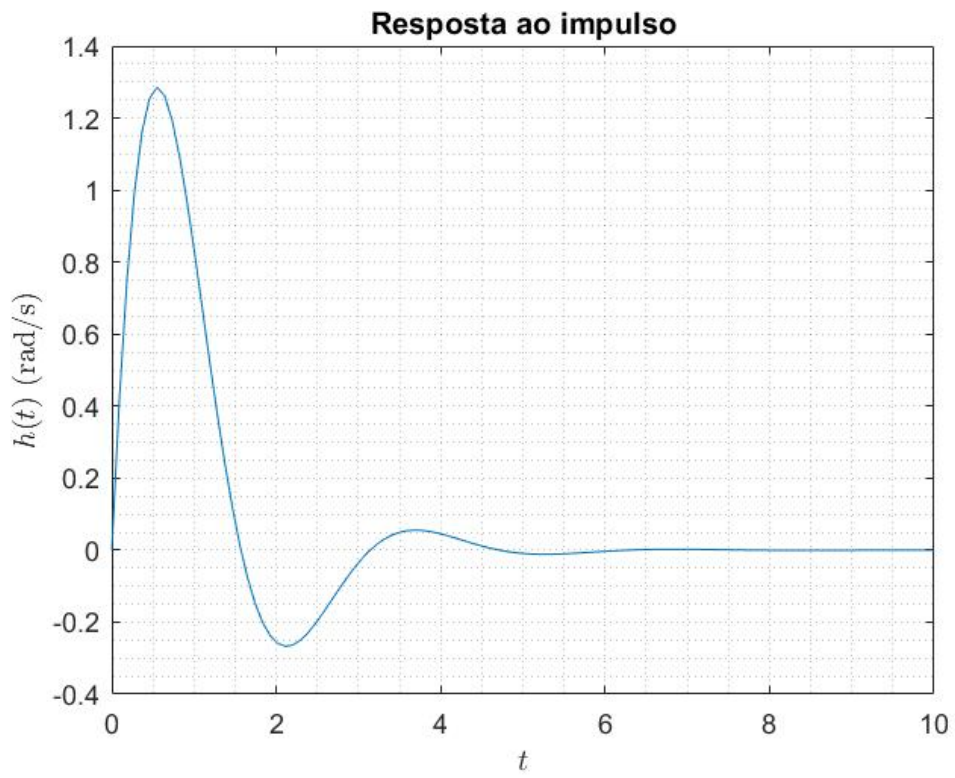


Figura 12: Curva de resposta ao impulso para o novo sistema.



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 $2 \times H(j\omega)$ será uma função de transferência com o dobro de ganho, para um incremento constante de tensão, fazendo assim que a relação entre aumento de tensão e velocidade angular seja linear. Nas Figuras 14, 15 e 16 verifica-se o resultado visual e na Equação (10) a função de transferência resultante, mantendo $M_p \approx 1,2$

$$H_{novo}(j\omega) = \frac{10}{(j\omega)^2 + 2\zeta\omega_n(j\omega) + \omega_n^2} \quad (10)$$

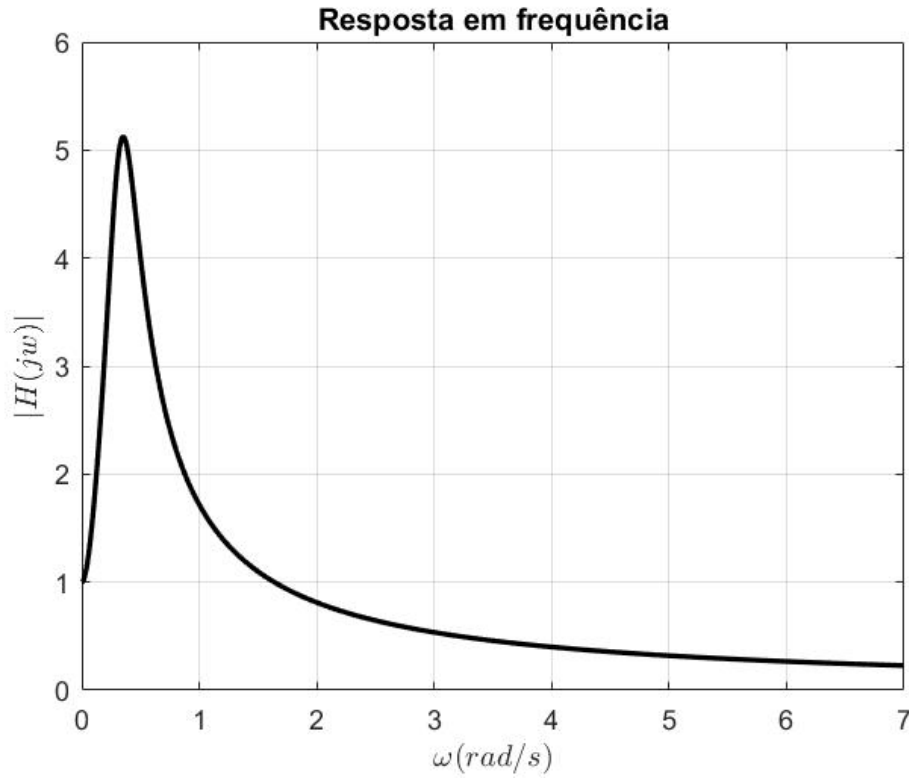


Figura 14: Espectro em frequência da função de transferência para o novo sistema com ganho 2.

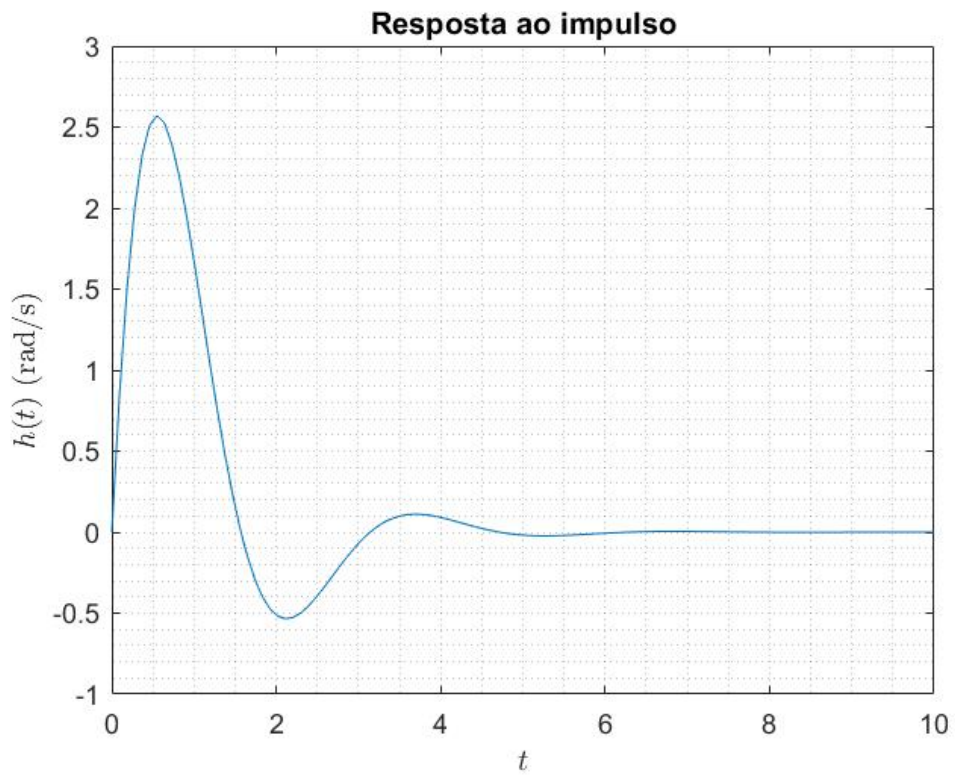


Figura 15: Curva de resposta ao impulso para o novo sistema com ganho 2.



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:

$$H_{ideal}(j\omega) = \frac{144^2}{(j\omega)^2 + 2 * 0.4037 * 144(j\omega) + (144)^2} \quad (11)$$

que comparando com a função de transferência de descrita por:

$$H_{real}(j\omega) = \frac{100 K}{(j\omega)^2 + (a + 25) (j\omega) + 25a} \quad (12)$$

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 (13)

$$H_{real}(j\omega) = \frac{1298,3}{(j\omega)^2 + (544.3) (j\omega) + 1298,3} \quad (13)$$

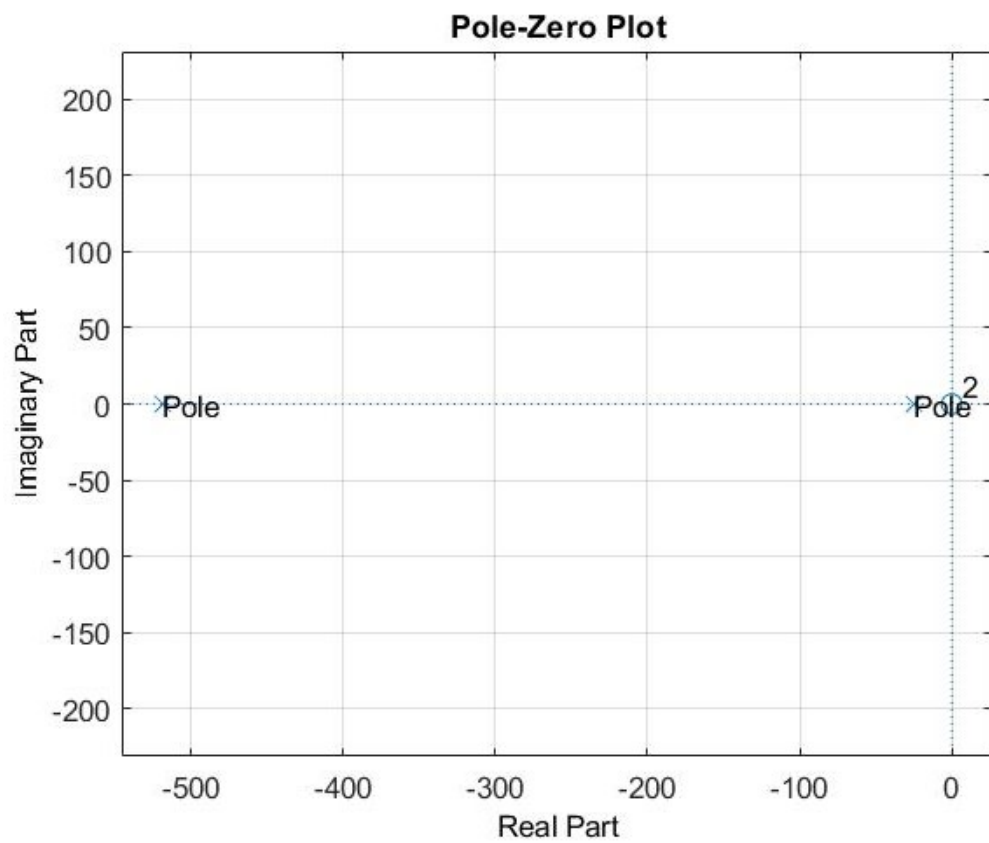


Figura 17: Curva de resposta ao degrau unitário.

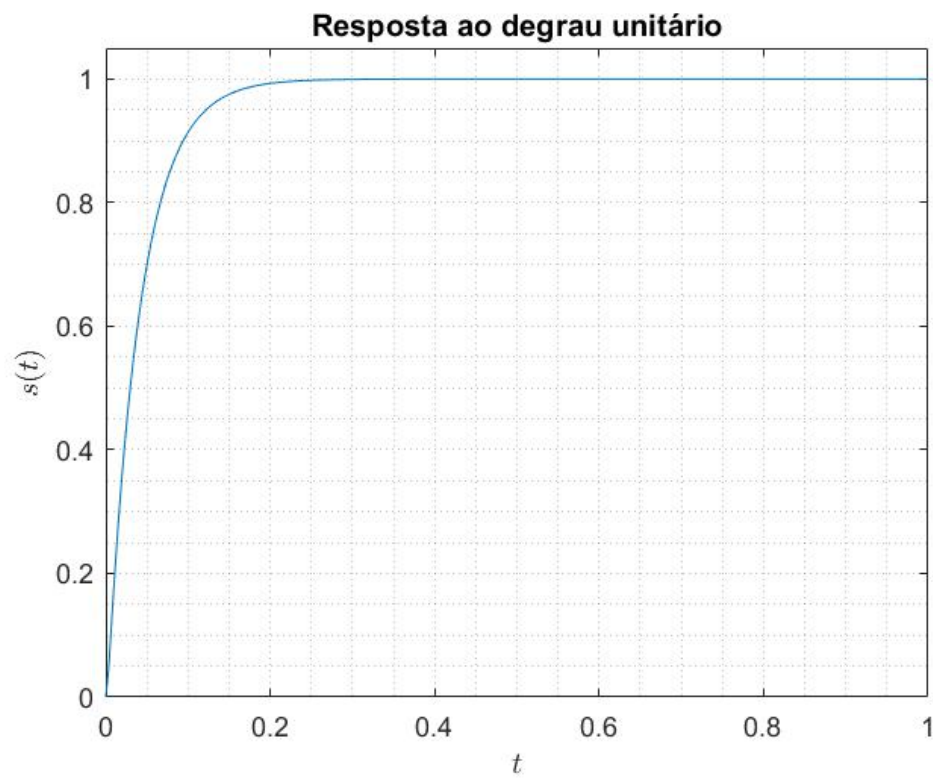


Figura 18: Curva de resposta ao degrau unitário.

5 Exercício 5

6 Anexos

6.1 Código correspondente ao exercício 1

```
1 clear all; close all; clc;
2
3 % Intervalo a ser analisado – beep beep beep
4 ti = 0;
5 t_f = 0.0018;
6 t_total = t_f-ti;
7
8 % Sinal recebido
9 syms t real
10 xt = 5*sin(2*pi*1000*t) + 2*cos(2*pi*3000*t) + 0.5*cos(2*pi
    *5000*t);
11
12 % Amostragem
13 Fs = 20e3; % Fs > 2*Fmax_sinal (Teorema de Nyquist para
    evitar o aliasing)
14 Ts = 1/Fs;
15 figure('Name', 'Receptor');
16 subplot(2, 1, 1);
17 [x_n, n] = figure_amostragem('$nT_s$', '$x[nT_s]$', xt, t, Fs
    , ti, t_f);
18 title(strcat('Sinal recebido ps amostragem com Fs=', string(
    Fs/1e3), 'kHz'));
19 ax = gca; ax.FontSize=11;
20
21 % Espectro de frequencia do sinal amostrado
22 X = fft(x_n); Nfft = length(n);
23 X_abs = abs(X);
24 X_phased = phase(X)*(180/pi);
25 w = (pi/Fs)*n/(t_f-ti); % frequencia digital 0:pi com mesmo
    numero de amostra que n
26 subplot(2,1,2);
27 plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(X))), '
    linewidth',2,'color',[0 0 0]);
28 title('Anlise do Espectro de Frequencia do Sinal de Entrada')
    ;
```

```

29 xlabel( '$\omega$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
30 ylabel( '$|X(e^{j\omega})|$ (dB)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',
    ,14);
31 ax = gca; ax.FontSize=11;
32 set(ax, 'xtick', [0:1/4:1]); set(ax, 'xlim', [0 1]);
33 set(ax, 'xticklabel', {'0', '\pi/4', '\pi/2', '2\pi/3', '\pi'});
34
35 % Projeto do filtro rejeita banda
36 p_filtro = figure('Name', 'Projeto do filtro rejeita banda');
37 freq_rejeitada = 3e3;
38 w_rejeitada = 2*pi*freq_rejeitada/Fs; % Freq Digital
    equivalente
39 zero = 0.9999*(cos(w_rejeitada)+ 1j*sin(w_rejeitada));
40 zeros = [zero; conj(zero)];
41 polo = 0.14*real(zero)+0.3j*imag(zero);
42 polo2 = 0.63*real(zero)+0.75j*imag(zero);
43 polos = [polo; conj(polo); polo2; conj(polo2)];
44 % um sist estvel possui mais polos dq zeros
45
46 k = 0.2/(5+.5);
47 [b,a]=zp2tf(zeros, polos, k);
48 Hjw = fft(b, Nfft)./ fft(a, Nfft);
49
50 subplot(2, 1, 1); polarplot([polos], '*');
51 hold on; polarplot([zeros], 'o'); ax = gca; ax.FontSize=11;
52 title('Diagrama de polos e zeros do Filtro Seletivo');
53 subplot(2, 1, 2);
54 plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(Hjw))), '
    linewidth', 2, 'color', [0 0 0]);
55 grid on;
56 title('Espectro em freq da Resposta ao Impulso');
57 xlabel( '$\omega$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
58 ylabel( '$|H(e^{j\omega})|$ (dB)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',
    ,14);
59 ax = gca; ax.FontSize=11;
60 set(ax, 'xtick', [0:1/4:1]); set(ax, 'xlim', [0 1]);
61 set(ax, 'xticklabel', {'0', '\pi/4', '\pi/2', '2\pi/3', '\pi'});
62
63 % Para encontrar a sada filtrada tem-se:

```

```

64 Y = Hjw.* X;
65 Y_abs = abs(Y);
66 Y_phased = phase(Y)*(180/pi);
67
68 figure('Name','Sinal Transmitido');
69 subplot(2, 1, 1);
70 plot((0:Nfft-1)/Nfft*2-1, 20*log10(fftshift(abs(Y))), '
    linewidth',2,'color',[0 0 0]);
71 title('Espectro em frequencia da sada');
72 xlabel('$\omega$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
73 ylabel('$|Y(e^{j\omega})|$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
74 ax = gca; ax.FontSize=11;
75 set(ax,'xtick',[0:1/4:1]); set(ax,'xlim',[0 1]);
76 set(ax,'xticklabel',{'0','\pi/4','\pi/2','2\pi/3','\pi'});
77
78 yt = ifft(Y);
79 yt_abs = real(yt);
80 subplot(2, 1, 2); stem(n*Ts, yt_abs);
81 title('Espectro no tempo da sada');
82 xlabel('$t$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
83 ylabel('$y(t)$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
84 ax = gca; ax.FontSize=11;
85
86
87 % Pelo lao for
88
89 % a(1) y[n] = - a(1+1) y[n-1] - a(2+1) y[n-2] - a(3-1) y[n
    -3] ...
90 %          b(1) x[n-0] + b(2) x[n-1] + ...
91 y_n = eqdif(b, a, x_n);
92 figure; stem(n*Ts, y_n);
93 title('Sinal de sada y[n]');
94 xlabel('$t$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
95 ylabel('$y[n]$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',16);
96 ax = gca; ax.FontSize=11;
97 grid minor;
98
99 % Functions
100

```

```

101 function [s, n] = amostragem(sinal, var, Fs, ti, t_f)
102     % AMOSTRAGEM (sinal, var, Fs, ti, t_f)
103     % sinal: em funcao de var
104     % var: variavel de percurso analgico
105     % Fs: frequencia de amostragem desejada
106     % ti: tempo inicial
107     % t_f: tempo final
108
109     n = ti*Fs:1:t_f*Fs; % Ts=1/Fs
110     s = eval(strrep(string(sinal),char(var),'n/Fs'));
111 end
112
113 function [s_n, n]= figure_amostragem(x_label, y_label, sinal
    , var, Fs, ti, t_f)
114     % FIGUREAMOSTRAGEM (x_label, y_label, sinal, var, Fs,
        ti, t_f)
115     % x_label: str
116     % y_label: str
117     % sinal: em funcao de var
118     % var: variavel de percurso analgico
119     % Fs: frequencia de amostragem desejada
120     % ti: tempo inicial
121     % t_f: tempo final
122
123     [s_n, n] = amostragem(sinal, var, Fs, ti, t_f);
124     ezplot(sinal, [ti t_f]);
125     hold on;
126     scatter(n/Fs, s_n);
127     xlabel(x_label, 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',16);
128     ylabel(y_label, 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',16);
129 end
130
131 function [y_n] = eqdif(b, a, x_n)
132     % EQDIF determina a saida por meio da eq de diferencas
133
134     % y_n(0)=0; matlab nao aceita
135     for n=1:length(x_n)
136         y_n(n) = 0; ia=2;
137         while ia<=n

```

```

138         y_n(n) = y_n(n) - a(ia)*y_n(n-(ia-1));
139         ia = ia+1;
140         if ia > length(a) break; end
141     end
142     ib = 1;
143     while (n-1)-(ib-1)>=0 % pensar no bsico
144         y_n(n) = y_n(n) + b(ib)*x_n(n-(ib-1));
145         ib = ib+1;
146         if ib > length(b) break; end
147     end
148     y_n(n) = y_n(n)/a(1);
149 end
150 end

```

6.2 Código correspondente ao exercício 2

```

1  clc; clear all; close all;
2  % Desenvolvido no documento tem-se:
3  r = 1; w = 0:1e-3:pi;
4  z = r.*exp(1j.*w);
5  Hz = (1 + 0.25*z.^(-1) + 0.125*z.^(-2))./(1 - 1*z.^(-1) +
        0.25*z.^(-2));
6  Nfft = length(w);
7  figure('Name', 'Reposta ao impulso');
8  plot(w, 20*log10(abs(Hz)), 'linewidth', 2, 'color', [0 0 0])
9  ;
10 grid on;
11 title('Espectro em Frequncia');
12 xlabel('$\omega$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
13 ylabel('$|H(e^{j\omega})|$ (dB)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',
14         14);
15 ax = gca; ax.FontSize=11;
16
17 % Estabilidade do sistema
18 [zeros, p, k] = tf2zp([1 0.25 0.125], [1 -1 0.25]);
19 for i=1:length(p)
20     estavel = (p<=1);

```

```

21     if length(p)<length(zeros) estavel=0; end
22     if estavel == 0 break; end
23 end
24
25 if estavel fprintf('Sistema estvel!\n');
26 else fprintf('Sistema instvel!\n'); end
27 %p'
28
29 % Resposta ao degrau
30 figure('Name', 'Reposta ao degrau');
31 Uz = 1./(1-z.^(-1));
32 Y = Uz.*Hz;
33 subplot(121); plot(w, 20*log10(abs(Y)), 'linewidth',2, '
    color', [0 0 0]);
34 grid on;
35 title('Resposta ao degrau na frequencia');
36 xlabel('$\omega$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',14);
37 ylabel('$|Y(e^{jw})|$ (dB)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize'
    ,14);
38 ax = gca; ax.FontSize=11;
39 set(ax, 'xtick', [0:1/4:1]); set(ax, 'xlim', [0 1]);
40 set(ax, 'xticklabel', {'0', '\pi/4', '\pi/2', '2\pi/3', '\pi'});
41
42 y = eqdif([1 0.25 0.125], [1 -1 0.25], ones(1, 80));
43 subplot(122); plot(0:length(y)-1, abs(y), 'linewidth',2, '
    color', [0 0 0]);
44 title('Espectro no tempo da sada');
45 xlabel('$t$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',16);
46 ylabel('$y(t)$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',16);
47 ylim([0 6]);
48 ax = gca; ax.FontSize=11;
49 grid on;
50
51 function [y_n] = eqdif(b, a, x_n)
52     % EQDIF determina a saida por meio da eq de diferencas
53
54     % y_n(0)=0; matlab nao aceita
55     for n=1:length(x_n)
56         y_n(n) = 0; ia=2;

```

```

57         while ia<=n
58             y_n(n) = y_n(n) - a(ia)*y_n(n-(ia-1));
59             ia = ia+1;
60             if ia > length(a) break; end
61         end
62         ib = 1;
63         while (n-1)-(ib-1)>=0 % pensar no bsico
64             y_n(n) = y_n(n) + b(ib)*x_n(n-(ib-1));
65             ib = ib+1;
66             if ib > length(b) break; end
67         end
68         y_n(n) = y_n(n)/a(1);
69     end
70 end

```

6.3 Código correspondente ao exercício 3

```

1  %clc; close all; clearvars;
2  % Dada a equao de diferenas
3  Fs = 7;
4  w=0:1e-3:2*pi*Fs;
5  s = 1j*w;
6  Hs = (10*s+5)./(s.^2+2*s+5);
7  b = [10]; a = [1 2 5];
8
9  figure; plot(w/(2*pi), (abs(Hs)), 'linewidth',2, 'color', [0
    0 0]);
10 title('Resposta em frequencia');
11 xlabel('$\omega$ (rad/s)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize',
    14);
12 ylabel('$|H(j\omega)|$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
13 ax = gca; ax.FontSize=11;
14 grid on;
15
16 % Resposta ao impulso
17 figure;
18 [h,t] = impulse(tf(b, a), 10);
19 plot(t, h);
20 title('Resposta ao impulso');

```



```

21 xlabel( '$t$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
22 ylabel( '$h(t)$ (rad/s)', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14)
    ;
23 ax = gca; ax.FontSize=11;
24 grid minor;
25
26 % Resposta ao degrau
27 figure;
28 [u,t] = step(tf(b, a), 10);
29 plot(t, u);
30 title('Resposta ao degrau unitrio');
31 xlabel( '$t$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
32 ylabel( '$s(t)$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
33 ax = gca; ax.FontSize=11;
34 grid minor;

```

6.4 Código correspondente ao exercício 4

```

1 clearvars; close all;
2 % Do esquema do enunciado tem-se:
3 zeta = 0.4037; wn = 113.9424;
4 A = wn^2/25;%2*zeta*wn-25;
5 K = wn^2/100;
6 w = 0:1e-3:pi;
7 s = 1j*w;
8 Hjw = (100*K) ./ ((s+A) .* (s + 25));
9
10 b = [100*K];
11 a = [1 25+A 25*A];
12 [z, p, k] = tf2zp(b, a);
13
14 fvtool(b,a, 'polezero')
15 text(real(z)+.1, imag(z), 'Zero')
16 text(real(p)+.1, imag(p), 'Pole')
17
18 % Resposta ao degrau
19 figure;
20 [u,t] = step(tf(b, a), 1);
21 plot(t, u);

```

```
22 title('Resposta ao degrau unitrio');
23 xlabel('$t$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
24 ylabel('$s(t)$', 'Interpreter', 'LaTeX', 'FontSize', 14);
25 ax = gca; ax.FontSize=11;
26 grid minor;
```

Referências

- [1] ..., “Sistemas de Controle para a Engenharia”, Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica, DSE – FEEC – UNICAMP , 2019.
- [2] ..., “Sinais e Sistemas”,... , 2019.