



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Projetos de Filtros Por Amostragem

Processamento de Sinais Digitais

Arthur Cadore Matuella Barcella

07 de Julho de 2024

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

Sumário

1. Exemplos:	3
1.1. Exemplo 1:	3
1.2. Exemplo 2:	3
1.3. Exemplo 3:	4
1.4. Exemplo 4:	5
2. Questões:	6
2.1. Questão 1:	6
2.1.1. $M=10$:	7
2.1.2. $M=100$:	8
2.1.3. $M=1000$:	10
2.2. Questão 2:	12
2.3. Questão 3:	15
2.4. Questão 4:	18
2.4.1. Filtro 770Hz:	18
2.4.2. Filtro 852Hz:	19
2.4.3. Filtro 941Hz:	20

1. Exemplos:

1.1. Exemplo 1:

Projete um filtro que satisfaça as especificações a seguir:

- $M = 50$
- $\Omega_{c1} = \pi/4$ rad/s
- $\Omega_{c2} = \pi/2$ rad/s
- $\Omega_s = 2\pi$ rad/s

Abaixo está o exemplo apresentado em sala para entender o projeto do filtro:

```
1 M = 50;
2 Omega_c1 = pi/4;
3 Omega_c2 = pi/2;
4 ws = 2*pi;
5 wc1 = Omega_c1*2*pi/ws; wc2 = Omega_c2*2*pi/ws;
6 n = 1:M/2;
7 h0 = 1 - (wc2 - wc1)/pi;
8 haux = (sin(wc1.*n) - sin(wc2.*n))./(pi.*n);
9 h = [fliplr(haux) h0 haux];
10 [H,w]=freqz(h,1,2048,ws);
11 plot(w,20*log10(abs(H)))
12 axis([0 ws/2 -90 10])
13 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
14 xlabel('Frequência (rad/s)');
15 title('Resposta em Frequência');
```

1.2. Exemplo 2:

Projete um filtro rejeita-faixa que satisfaça as especificações a seguir usando as janelas retangular, de Hamming, de Hann e de Blackman:

- $M = 80$
- $\Omega_{c1} = 2000$ rad/s
- $\Omega_{c2} = 4000$ rad/s
- $\Omega_s = 10\,000$ rad/s

```
1 clear all
2 M = 80;
3 Omega_c1 = 2000;
4 Omega_c2 = 4000;
5 Omega_s = 10000;
6 wc1 = Omega_c1*2*pi/Omega_s; wc2 = Omega_c2*2*pi/Omega_s;
7 n = 1:M/2;
8 h0 = 1 - (wc2 - wc1)/pi;
9 haux = (sin(wc1.*n) - sin(wc2.*n))./(pi.*n);
10 h_ideal = [fliplr(haux) h0 haux];
11 h_ret=h_ideal;
12 [H_ret,w]=freqz(h_ret,1,2048,Omega_s);
```

```

13 figure(1)
14 plot(w,20*log10(abs(H_ret)))
15 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
16 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
17 xlabel('Frequência (rad/s)');
18 title('Resposta em Frequência - Janela Retangular');
19
20 h_aux=hamming(M+1);
21 h_ham=h_ideal.*h_aux';
22 [H_ham,w]=freqz(h_ham,1,2048,Omega_s);
23 figure(2)
24 plot(w,20*log10(abs(H_ham)))
25 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
26 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
27 xlabel('Frequência (rad/s)');
28 title('Resposta em Frequência - Janela de Hamming');
29
30 h_aux=hanning(M+1);
31 h_han=h_ideal.*h_aux';
32 [H_han,w]=freqz(h_han,1,2048,Omega_s);
33 figure(3)
34 plot(w,20*log10(abs(H_han)))
35 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
36 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
37 xlabel('Frequência (rad/s)');
38 title('Resposta em Frequência - Janela de Hanning');
39
40 h_aux=blackman(M+1);
41 h_black=h_ideal.*h_aux';
42 [H_black,w]=freqz(h_black,1,2048,Omega_s);
43 figure(4)
44 plot(w,20*log10(abs(H_black)))
45 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
46 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
47 xlabel('Frequência (rad/s)');
48 title('Resposta em Frequência - Janela de Blackman');

```

1.3. Exemplo 3:

Projete um filtro rejeita-faixa que satisfaça as especificações a seguir, usando a janela de Kaiser:

- $A_p = 1,0$ dB
- $A_r = 45$ dB
- $\Omega_{p1} = 800$ Hz
- $\Omega_{r1} = 950$ Hz
- $\Omega_{r2} = 1050$ Hz
- $\Omega_{p2} = 1200$ Hz
- $\Omega_s = 6000$ Hz

```

1 Ap = 1;
2 Ar = 45;
3 Omega_p1 = 800;

```

```

4  Omega_r1 = 950;
5  Omega_r2 = 1050;
6  Omega_p2 = 1200;
7  Omega_s = 6000;
8  delta_p = (10^(0.05*Ap) - 1)/(10^(0.05*Ap) + 1);
9  delta_r = 10^(-0.05*Ar);
10 F = [Omega_p1 Omega_r1 Omega_r2 Omega_p2];
11 A = [1 0 1];
12 ripples = [delta_p delta_r delta_p];
13 [M,Wn,beta,FILTYPE] = kaiserord(F,A,ripples,Omega_s);
14 kaiser_win = kaiser(M+1,beta);
15 h = fir1(M,Wn,FILTYPE,kaiser_win,'noscale');
16 figure(1)
17 stem(0:M,h)
18 ylabel('h[n]');
19 xlabel('n');
20 title('Resposta ao Impulso');
21
22 [H,w]=freqz(h,1,2048,Omega_s);
23 figure(2)
24 plot(w,20*log10(abs(H)))
25 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
26 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
27 xlabel('Frequência (Hz)');
28 title('Resposta em Frequência');

```

1.4. Exemplo 4:

Crie um sinal de entrada composto de três componentes senoidais, nas frequências 50 Hz, 350 Hz e 900 Hz, com $\Omega_s = 2$ kHz, com amplitudes de 5, 2 e 1, respectivamente. Projete um filtro usando as janelas retangular, Hamming, Hanning e Blackman para eliminar as componentes de 50 e 900 Hz.

```

1  clear all
2  M = 71;
3  Omega_c1 = 250;
4  Omega_c2 = 750;
5  Omega_s = 2000;
6  wc1 = Omega_c1*2*pi/Omega_s;
7  wc2 = Omega_c2*2*pi/Omega_s;
8  %% Resposta ao impulso do filtro ideal h[n]
9  n = [-1*((M-1)/2):(M-1)/2];
10 h_n = ((sin(wc2.*n) - sin(wc1.*n))./(pi.*n)); %resposta ao impulso para n≠0
11 h_n(((M-1)/2)+1) = (wc2 - wc1)/pi; %resposta ao impulso para n=0
12 w_hamm = 0.54 + 0.46*cos(2*n.*pi/(M)); %coeficientes da janela de hamming
13 w_hann = 0.5 + 0.5*cos(2*n.*pi/(M)); %coeficientes da janela de hanning
14 w_black = 0.42+0.5*cos(2*n.*pi/(M))+0.08*cos(4*n.*pi/(M)); %coeficientes da
15   janela de blackman
16 h_ret = h_n;
17 h_hamm = w_hamm.*h_n;
18 h_hann = w_hann.*h_n;
19 h_black = w_black.*h_n;

```

```

20 freqz(h_ret,1);
21 title('Filtro FIR passa-faixa - Janela Retangular')
22
23 figure
24 freqz(h_hamm,1);
25 title('Filtro FIR passa-faixa - Janela de Hamming')
26
27 figure
28 freqz(h_hann,1);
29 title('Filtro FIR passa-faixa - Janela de Hanning')
30
31 figure
32 freqz(h_black,1);
33 title('Filtro FIR passa-banda - Janela de Blackman')
34
35 %% Sinal
36 tmin = 0;
37 tmax = 2;
38 Fs=2000;
39 Ts=1/Fs;
40 L=(tmax-tmin)/Ts;
41 t=0:Ts:tmax-Ts;
42 s = 5*sin(2*pi*50*t) + 2*sin(2*pi*300*t) + sin(2*pi*900*t);
43 S = fft(s);
44 S = abs(2*S/L);
45 S = fftshift(S);
46 freq = Fs*(-(L/2):(L/2)-1)/L;
47 %% Gráficos do sinal
48 figure(1)
49 subplot(3,1,1),plot(t,s);
50 title('Sinal')
51 xlabel('t')
52 ylabel('s(t)')
53 subplot(3,1,2),plot(freq,S)
54 title('Espectro de Amplitude de s(t)')
55 xlabel('f (Hz)')
56 ylabel('|S(f)|')
57 h_hamm = w_hamm.*h_n;
58 h_hann = w_hann.*h_n;
59 h_black = w_black.*h_n;
60 s_f_h_ret = filter(h_ret,1,s);
61 S_F_h_ret = fft(s_f_h_ret);
62 S_F_h_ret = abs(2*S_F_h_ret/L);
63 S_F_h_ret = fftshift(S_F_h_ret);
64 subplot(3,1,3),plot(freq,S_F_h_ret)
65 title('Espectro de Amplitude do sinal Filtrado ')
66 xlabel('f (Hz)')
67 ylabel('|S(f)|')

```

2. Questões:

2.1. Questão 1:

Projete um filtro passa-faixa usando a janela de Hamming, a janela de Hanning e janela de Blackman que satisfaça a especificação a seguir.

2.1.1. M=10:

- $M = 10$
- $\Omega_{c1} = 10 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{c2} = 35 \text{ rad/s}$
- $\Omega_s = 100 \text{ rad/s}$

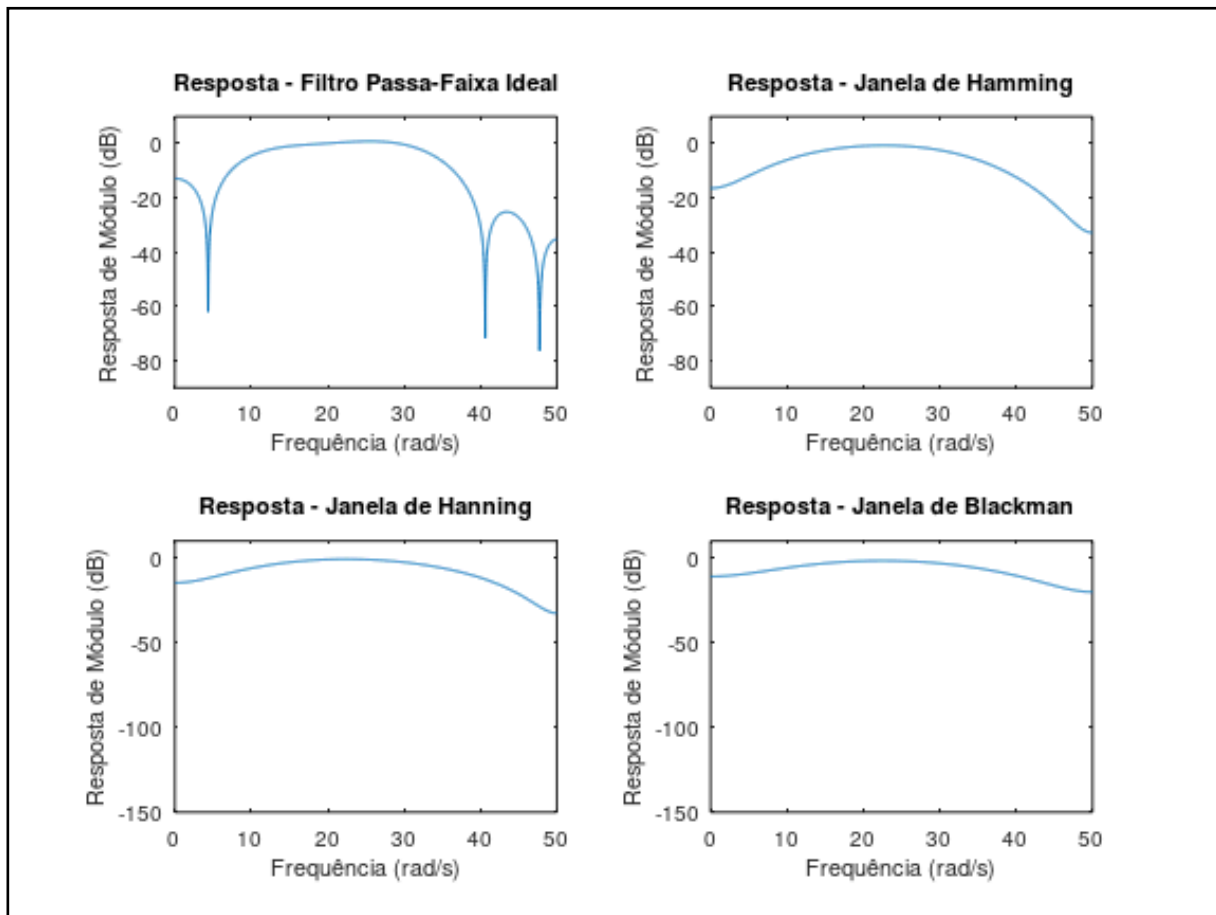
```
1  clear all; close all; clc;
2
3  % Parâmetros passados pela questão:
4  M = 10;
5  Omega_c1 = 10;
6  Omega_c2 = 35;
7  Omega_s = 100;
8
9  % Definição das frequências de corte em radianos:
10 wc1 = Omega_c1*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte inferior (rad/s)
11 wc2 = Omega_c2*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte superior (rad/s)
12
13 % Cálculo dos coeficientes do filtro passa-faixa ideal:
14 n = 1:M/2;
15 h0 = (wc2 - wc1)/pi;
16 haux = (sin(wc2.*n) - sin(wc1.*n))./(pi.*n);
17 h_ideal = [fliplr(haux) h0 haux];
18 h_ret = h_ideal;
19
20 % Cálculo da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
21 [H_ret, w] = freqz(h_ret, 1, 2048, Omega_s);
22
23 % Plot da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
24 figure(1)
25 subplot(2,2,1)
26 plot(w, 20*log10(abs(H_ret)))
27 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
28 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
29 xlabel('Frequência (rad/s)');
30 title('Resposta - Filtro Passa-Faixa Ideal');
31
32 % Hamming:
33 % Janela de Hamming com comprimento M+1
34 h_aux = hamming(M+1);
35 h_ham = h_ideal .* h_aux';
36 [H_ham, w] = freqz(h_ham, 1, 2048, Omega_s);
37
38 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hamming:
39 subplot(2,2,2)
40 plot(w, 20*log10(abs(H_ham)))
41 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
42 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
43 xlabel('Frequência (rad/s)');
44 title('Resposta - Janela de Hamming');
45
46 % Hanning:
47 % Janela de Hanning com comprimento M+1
48 h_aux = hanning(M+1);
49 h_han = h_ideal .* h_aux';
50 [H_han, w] = freqz(h_han, 1, 2048, Omega_s);
```

```

51
52 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hanning:
53 subplot(2,2,3)
54 plot(w, 20*log10(abs(H_han)))
55 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
56 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
57 xlabel('Frequência (rad/s)');
58 title('Resposta - Janela de Hanning');
59
60 % Blackman:
61 % Janela de Blackman com comprimento M+1
62 h_aux = blackman(M+1);
63 h_black = h_ideal .* h_aux';
64 [H_black, w] = freqz(h_black, 1, 2048, Omega_s);
65
66 % Plot da resposta em frequência com a janela de Blackman:
67 subplot(2,2,4)
68 plot(w, 20*log10(abs(H_black)))
69 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
70 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
71 xlabel('Frequência (rad/s)');
72 title('Resposta - Janela de Blackman');

```

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

2.1.2. M=100:

- $M = 100$
- $\Omega_{c1} = 10 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{c2} = 35 \text{ rad/s}$
- $\Omega_s = 100 \text{ rad/s}$

```

1  clear all; close all; clc;
2
3  % Parâmetros passados pela questão:
4  M = 100;
5  Omega_c1 = 10;
6  Omega_c2 = 35;
7  Omega_s = 100;
8
9  % Definição das frequências de corte em radianos:
10 wc1 = Omega_c1*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte inferior (rad/s)
11 wc2 = Omega_c2*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte superior (rad/s)
12
13 % Cálculo dos coeficientes do filtro passa-faixa ideal:
14 n = 1:M/2;
15 h0 = (wc2 - wc1)/pi;
16 haux = (sin(wc2.*n) - sin(wc1.*n))./(pi.*n);
17 h_ideal = [fliplr(haux) h0 haux];
18 h_ret = h_ideal;
19
20 % Cálculo da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
21 [H_ret, w] = freqz(h_ret, 1, 2048, Omega_s);
22
23 % Plot da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
24 figure(1)
25 subplot(2,2,1)
26 plot(w, 20*log10(abs(H_ret)))
27 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
28 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
29 xlabel('Frequência (rad/s)');
30 title('Resposta - Filtro Passa-Faixa Ideal');
31
32 % Hamming:
33 % Janela de Hamming com comprimento M+1
34 h_aux = hamming(M+1);
35 h_ham = h_ideal .* h_aux';
36 [H_ham, w] = freqz(h_ham, 1, 2048, Omega_s);
37
38 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hamming:
39 subplot(2,2,2)
40 plot(w, 20*log10(abs(H_ham)))
41 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
42 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
43 xlabel('Frequência (rad/s)');
44 title('Resposta - Janela de Hamming');
45
46 % Hanning:
47 % Janela de Hanning com comprimento M+1
48 h_aux = hanning(M+1);
49 h_han = h_ideal .* h_aux';
50 [H_han, w] = freqz(h_han, 1, 2048, Omega_s);
51
52 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hanning:
53 subplot(2,2,3)

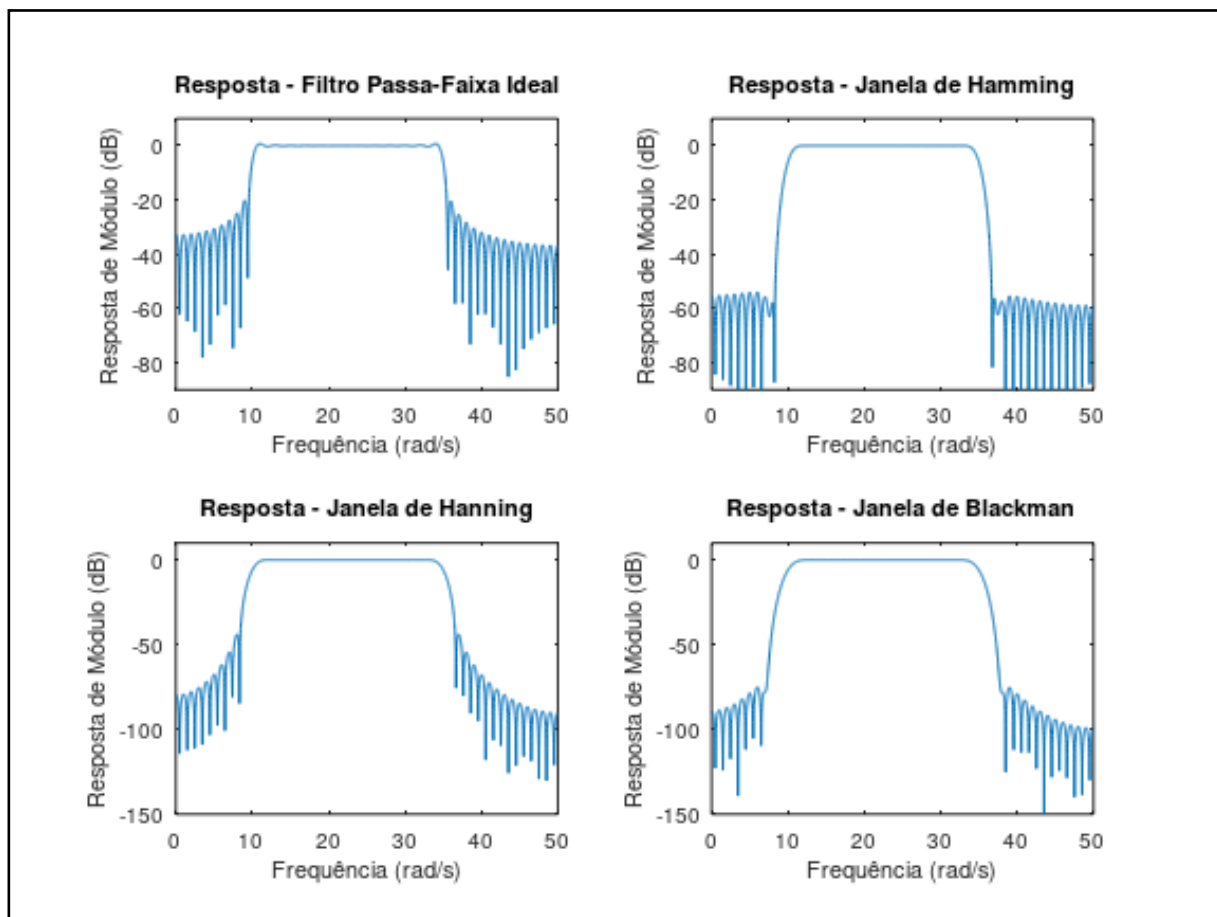
```

```

54 plot(w, 20*log10(abs(H_han)))
55 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
56 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
57 xlabel('Frequência (rad/s)');
58 title('Resposta - Janela de Hanning');
59
60 % Blackman:
61 % Janela de Blackman com comprimento M+1
62 h_aux = blackman(M+1);
63 h_black = h_ideal .* h_aux';
64 [H_black, w] = freqz(h_black, 1, 2048, Omega_s);
65
66 % Plot da resposta em frequência com a janela de Blackman:
67 subplot(2,2,4)
68 plot(w, 20*log10(abs(H_black)))
69 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
70 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
71 xlabel('Frequência (rad/s)');
72 title('Resposta - Janela de Blackman');

```

Figura 2: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

2.1.3. M=1000:

- $M = 1000$
- $\Omega_{c1} = 10 \text{ rad/s}$

- $\Omega_{c2} = 35 \text{ rad/s}$
- $\Omega_s = 100 \text{ rad/s}$

```

1  clear all; close all; clc;
2
3  % Parâmetros passados pela questão:
4  M = 1000;
5  Omega_c1 = 10;
6  Omega_c2 = 35;
7  Omega_s = 100;
8
9  % Definição das frequências de corte em radianos:
10 wc1 = Omega_c1*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte inferior (rad/s)
11 wc2 = Omega_c2*2*pi/Omega_s; % Frequência de corte superior (rad/s)
12
13 % Cálculo dos coeficientes do filtro passa-faixa ideal:
14 n = 1:M/2;
15 h0 = (wc2 - wc1)/pi;
16 haux = (sin(wc2.*n) - sin(wc1.*n))./(pi.*n);
17 h_ideal = [fliplr(haux) h0 haux];
18 h_ret = h_ideal;
19
20 % Cálculo da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
21 [H_ret, w] = freqz(h_ret, 1, 2048, Omega_s);
22
23 % Plot da resposta em frequência do filtro passa-faixa ideal:
24 figure(1)
25 subplot(2,2,1)
26 plot(w, 20*log10(abs(H_ret)))
27 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
28 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
29 xlabel('Frequência (rad/s)');
30 title('Resposta - Filtro Passa-Faixa Ideal');
31
32 % Hamming:
33 % Janela de Hamming com comprimento M+1
34 h_aux = hamming(M+1);
35 h_ham = h_ideal .* h_aux';
36 [H_ham, w] = freqz(h_ham, 1, 2048, Omega_s);
37
38 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hamming:
39 subplot(2,2,2)
40 plot(w, 20*log10(abs(H_ham)))
41 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
42 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
43 xlabel('Frequência (rad/s)');
44 title('Resposta - Janela de Hamming');
45
46 % Hanning:
47 % Janela de Hanning com comprimento M+1
48 h_aux = hanning(M+1);
49 h_han = h_ideal .* h_aux';
50 [H_han, w] = freqz(h_han, 1, 2048, Omega_s);
51
52 % Plot da resposta em frequência com a janela de Hanning:
53 subplot(2,2,3)
54 plot(w, 20*log10(abs(H_han)))
55 axis([0 Omega_s/2 -150 10])

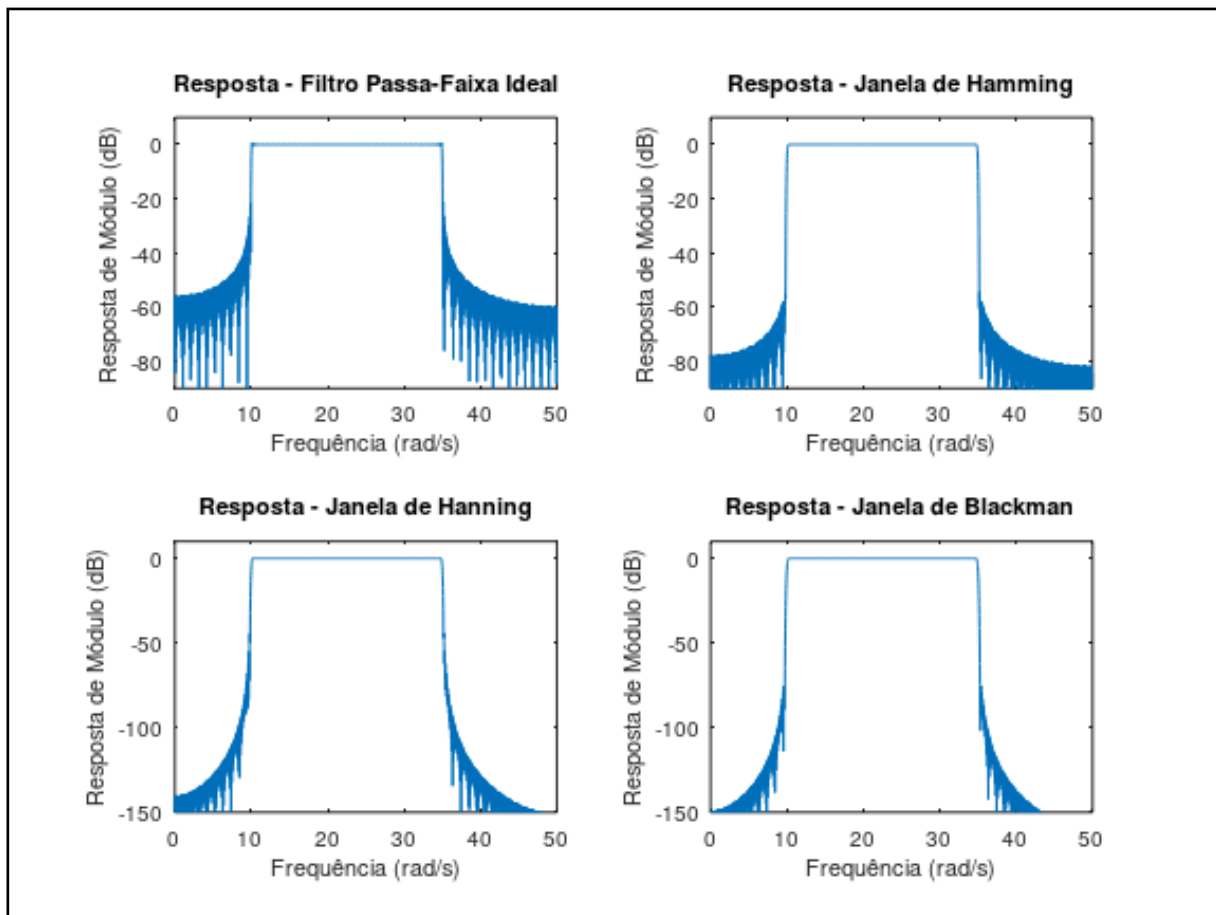
```

```

56 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
57 xlabel('Frequência (rad/s)');
58 title('Resposta - Janela de Hanning');
59
60 % Blackman:
61 % Janela de Blackman com comprimento M+1
62 h_aux = blackman(M+1);
63 h_black = h_ideal .* h_aux';
64 [H_black, w] = freqz(h_black, 1, 2048, Omega_s);
65
66 % Plot da resposta em frequência com a janela de Blackman:
67 subplot(2,2,4)
68 plot(w, 20*log10(abs(H_black)))
69 axis([0 Omega_s/2 -150 10])
70 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
71 xlabel('Frequência (rad/s)');
72 title('Resposta - Janela de Blackman');

```

Figura 3: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

2.2. Questão 2:

Projete um filtro que satisfaça as especificações a seguir, usando a janela de Kaiser:

- $A_p = 1,0$ dB
- $A_r = 40$ dB

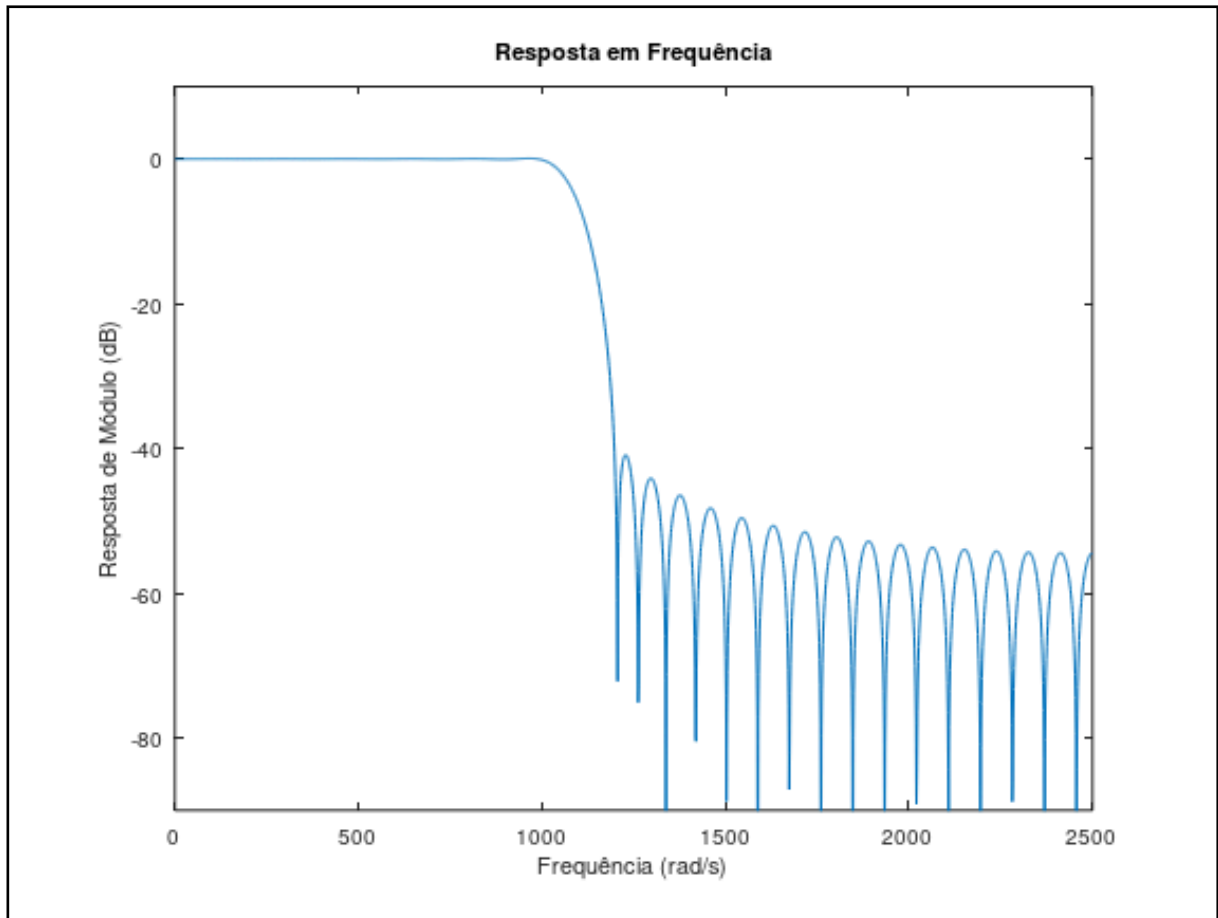
- $\Omega_p = 1000$ rad/s
- $\Omega_r = 1200$ rad/s
- $\Omega_s = 5000$ rad/s

```

1  clear all; close all; clc;
2
3  pkg load signal;
4
5  % Parâmetros passados pela questão:
6
7  Omega_p = 1000;
8  Omega_r = 1200;
9  Omega_s = 5000;
10
11 % Ripple de passagem em dB
12 Ap = 1.0;
13
14 % Atenuação mínima em dB
15 Ar = 40;
16
17
18 % Convertendo Ap para amplitude
19 delta_p = (10^(0.05*Ap) - 1) / (10^(0.05*Ap) + 1);
20
21 % Convertendo Ar para amplitude
22 delta_r = 10^(-0.05*Ar);
23
24 % Definição das frequências de corte em radianos:
25 F = [Omega_p Omega_r];
26 A = [1 0];
27 ripples = [delta_p delta_r];
28
29 % Determinação dos parâmetros do filtro usando Kaiserord:
30 [M, Wn, beta, FILTYPE] = kaiserord(F, A, ripples, Omega_s);
31
32 % Geração da janela de Kaiser:
33 kaiser_win = kaiser(M+1, beta);
34
35 % Projeto do filtro FIR usando fir1 com a janela de Kaiser:
36 h = fir1(M, Wn, FILTYPE, kaiser_win, 'noscale');
37
38 % Plot da resposta ao impulso:
39 figure(1)
40 stem(0:M, h)
41 ylabel('h[n]');
42 xlabel('n');
43 title('Resposta ao Impulso');
44
45 % Cálculo e plot da resposta em frequência:
46 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
47 figure(2)
48 plot(w, 20*log10(abs(H)))
49 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
50 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
51 xlabel('Frequência (rad/s)');
52 title('Resposta em Frequência');

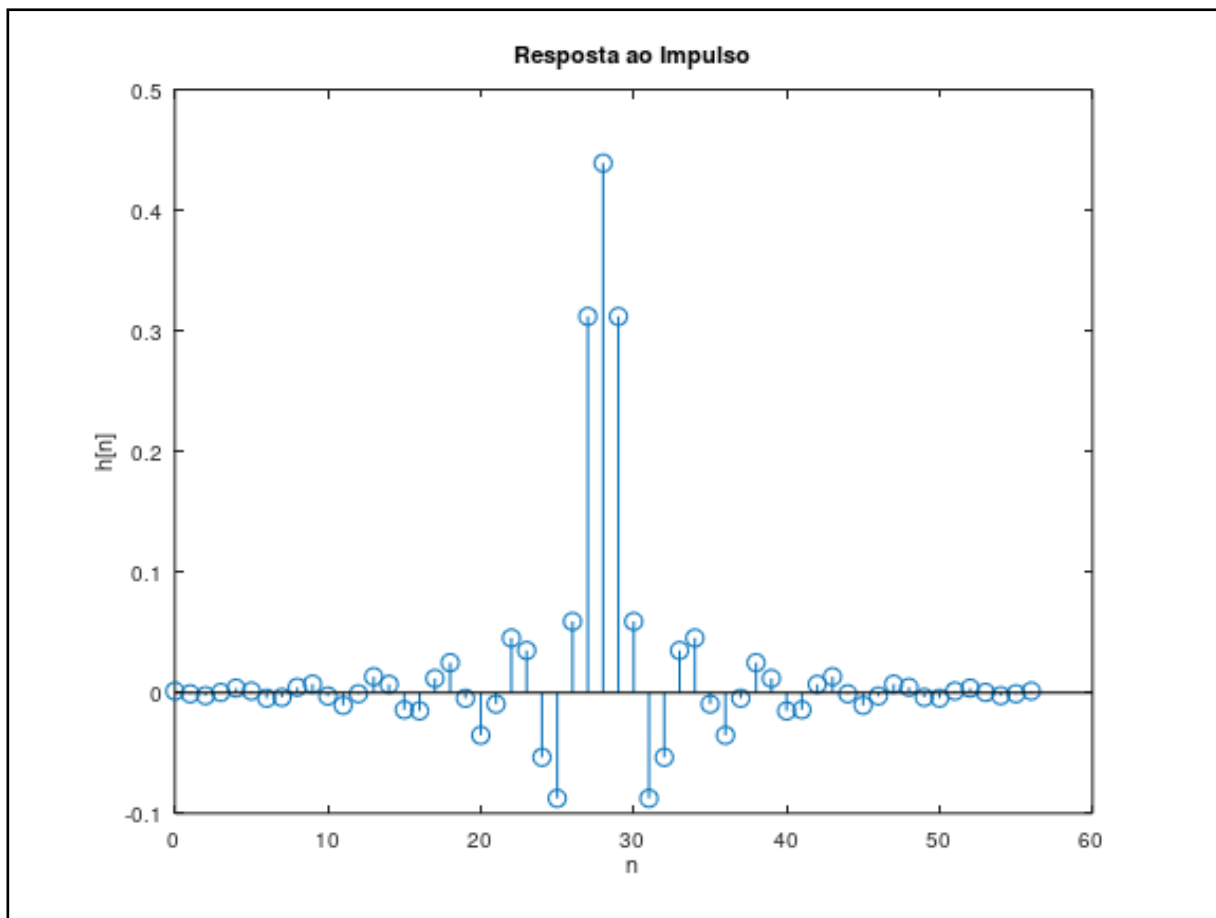
```

Figura 4: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 5: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

2.3. Questão 3:

Projete um filtro que satisfaça as especificações a seguir, usando a janela de Kaiser:

- $A_p = 1,0$ dB
- $A_r = 80$ dB
- $\Omega_{r1} = 800$ rad/s
- $\Omega_{p1} = 1000$ rad/s
- $\Omega_{p2} = 1400$ rad/s
- $\Omega_{r2} = 1600$ rad/s
- $\Omega_s = 10000$ rad/s

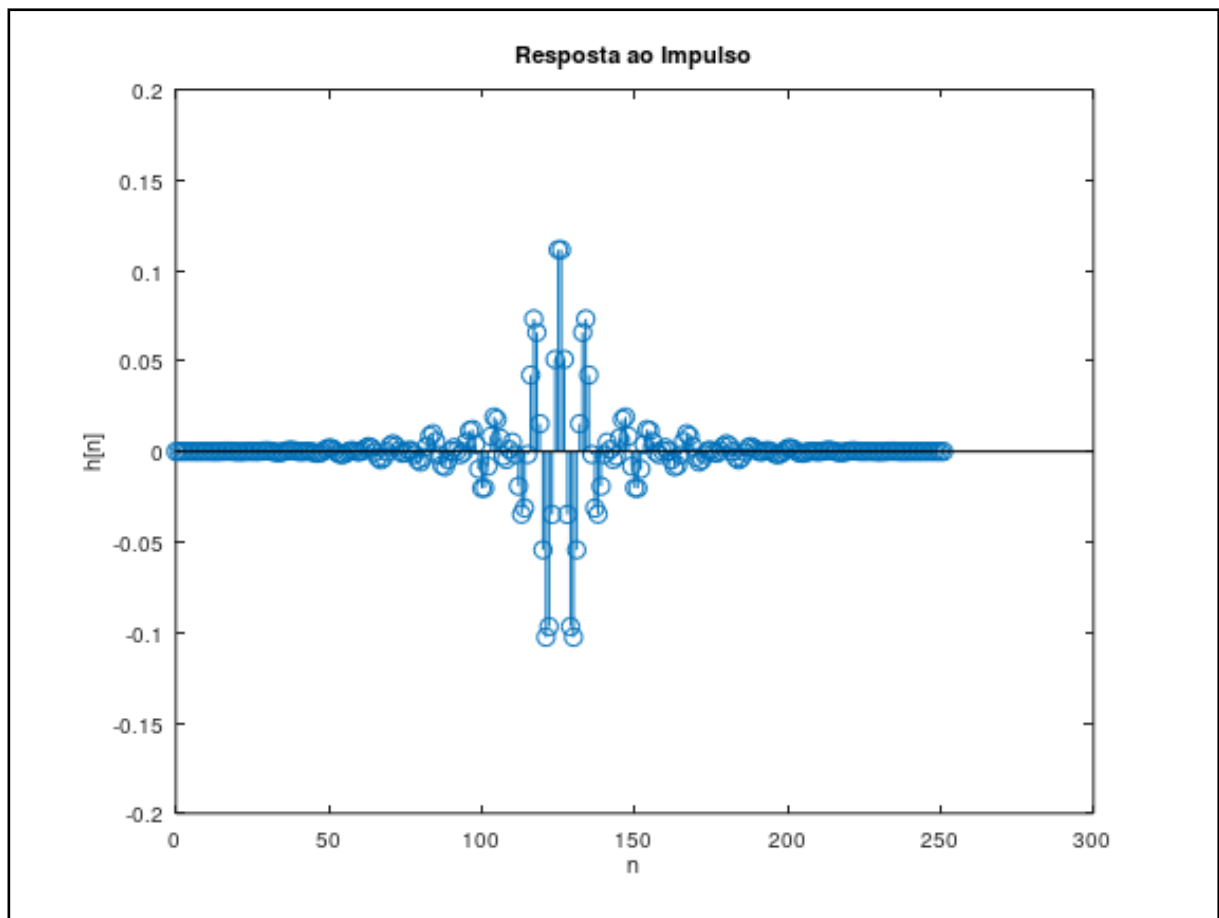
```
1 clear all; close all; clc;
2
3 pkg load signal;
4
5 % Parâmetros passados pela questão:
6 Omega_r1 = 800;
7 Omega_p1 = 1000;
8 Omega_p2 = 1400;
9 Omega_r2 = 1600;
10 Omega_s = 10000;
```

```

11
12 % Ripple de passagem em dB
13 Ap = 1.0;
14
15 % Atenuação mínima em dB
16 Ar = 80.0;
17
18 % Convertendo Ap para amplitude
19 delta_p = (10^(0.05*Ap) - 1) / (10^(0.05*Ap) + 1);
20
21 % Convertendo Ar para amplitude
22 delta_r = 10^(-0.05*Ar);
23
24 % Definição das frequências de corte em radianos:
25 F = [Omega_r1 Omega_p1 Omega_p2 Omega_r2];
26 A = [0 1 0];
27 ripples = [delta_r delta_p delta_r];
28
29 % Determinação dos parâmetros do filtro usando Kaiserord:
30 [M, Wn, beta, FILTYPE] = kaiserord(F, A, ripples, Omega_s);
31
32 % Geração da janela de Kaiser:
33 kaiser_win = kaiser(M+1, beta);
34
35 % Projeto do filtro FIR usando fir1 com a janela de Kaiser:
36 h = fir1(M, Wn, FILTYPE, kaiser_win, 'noscale');
37
38 % Plot da resposta ao impulso:
39 figure(1)
40 stem(0:M, h)
41 ylabel('h[n]');
42 xlabel('n');
43 title('Resposta ao Impulso');
44
45 % Cálculo e plot da resposta em frequência:
46 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
47 figure(2)
48 plot(w, 20*log10(abs(H)))
49 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
50 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
51 xlabel('Frequência (rad/s)');
52 title('Resposta em Frequência');

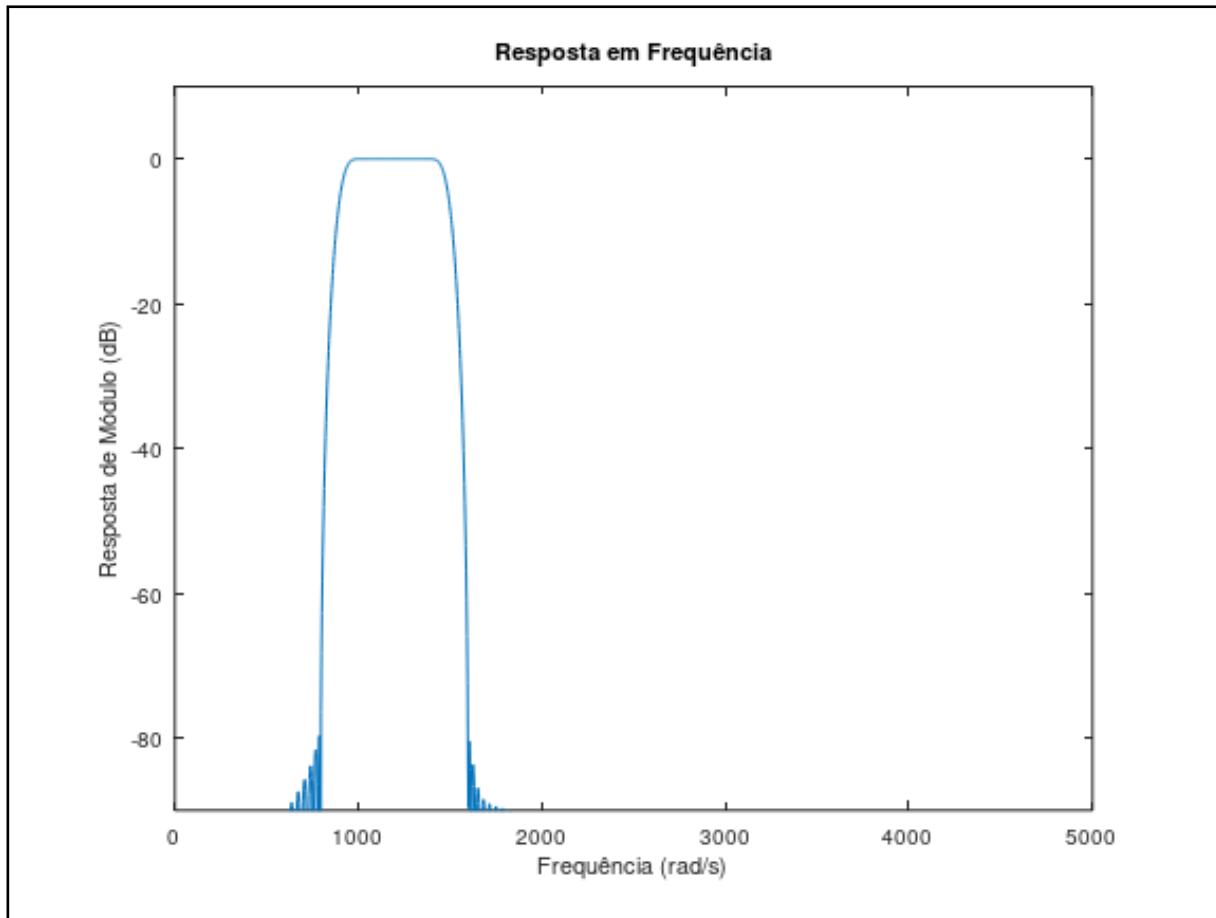
```


Figura 6: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 7: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

2.4. Questão 4:

Crie um sinal de entrada composto de três componentes senoidais, nas frequências 770 Hz, 852 Hz e 941 Hz, com $\Omega_s = 8$ kHz. Projete três filtros passa-faixa digitais, o primeiro com frequência central em 770 Hz, o segundo em 852 Hz e o terceiro em 941 Hz. Para o primeiro filtro, as extremidades das faixas de rejeição estão nas frequências 697 e 852; para o segundo, em 770 e 941 Hz; para o terceiro. Em 852 e 1209 Hz. Nos três filtros, a atenuação mínima na faixa de rejeição é 60 dB.

Para essa questão, será utilizado o filtro de kaiser, desta forma definimos um valor de atenuação maior que 60dB para garantir que o filtro atenda a especificação.

2.4.1. Filtro 770Hz:

Parâmetros dados pela questão (resumo):

1° Filtro:

- $\Omega_s = 8$ kHz
- $\Omega_c = 770$ Hz
- $\Omega_{r1} = 697$ Hz
- $\Omega_{r2} = 852$ Hz

```

1  clear all; close all; clc;
2
3  pkg load signal;
4
5  Fator_Borda=8;
6  % Parâmetros passados pela questão:
7  Omega_p1 = 697;
8  Omega_r1 = Omega_p1 - Omega_p1/Fator_Borda;
9  Omega_p2 = 852;
10 Omega_r2 = Omega_p2 + Omega_p2/Fator_Borda;
11 Omega_s = 8000;
12
13 % Ripple de passagem em dB
14 Ap = 1.0;
15
16 % Atenuação mínima em dB
17 Ar = 80.0;
18
19 % Convertendo Ap para amplitude
20 delta_p = (10^(0.05*Ap) - 1) / (10^(0.05*Ap) + 1);
21
22 % Convertendo Ar para amplitude
23 delta_r = 10^(-0.05*Ar);
24
25 % Definição das frequências de corte em radianos:
26 F = [Omega_r1 Omega_p1 Omega_p2 Omega_r2];
27 A = [0 1 0];
28 ripples = [delta_r delta_p delta_r];
29
30 % Determinação dos parâmetros do filtro usando Kaiserord:
31 [M, Wn, beta, FILTYPE] = kaiserord(F, A, ripples, Omega_s);
32
33 % Geração da janela de Kaiser:
34 kaiser_win = kaiser(M+1, beta);
35
36 % Projeto do filtro FIR usando fir1 com a janela de Kaiser:
37 h = fir1(M, Wn, FILTYPE, kaiser_win, 'noscale');
38
39 % Plot da resposta ao impulso:
40 figure(1)
41 stem(0:M, h)
42 ylabel('h[n]');
43 xlabel('n');
44 title('Resposta ao Impulso');
45
46 % Cálculo e plot da resposta em frequência:
47 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
48 figure(2)
49 plot(w, 20*log10(abs(H)))
50 axis([0 Omega_s/2 -90 10])
51 ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
52 xlabel('Frequência (rad/s)');
53 title('Resposta em Frequência');

```

2.4.2. Filtro 852Hz:

Parâmetros dados pela questão (resumo):

2° Filtro:

- $\Omega_s = 8 \text{ kHz}$
- $\Omega_c = 852 \text{ Hz}$
- $\Omega_{r1} = 770 \text{ Hz}$
- $\Omega_{r2} = 941 \text{ Hz}$

1 % Parâmetros do filtro

2.4.3. Filtro 941Hz:

Parâmetros dados pela questão (resumo):

3° Filtro:

- $\Omega_s = 8 \text{ kHz}$
- $\Omega_c = 941 \text{ Hz}$
- $\Omega_{r1} = 852 \text{ Hz}$
- $\Omega_{r2} = 1209 \text{ Hz}$

1 % Parâmetros do filtro