



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA

CAMPUS DE SOBRAL

ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E ENGENHARIA ELÉTRICA

### **Processamento Digital de Sinais (SBL0085)**

**Prof.: C. Alexandre Rolim Fernandes**

#### **Trabalho AP2 – Filtros de Fase Linear e Janelamento**

- Trabalho Individual
- Apenas simulações, sem trabalho escrito
- Os códigos devem estar bem organizados e comentados, para que seja possível entendê-los e corrigi-los. Códigos que estejam desorganizados ou sem os devidos comentários explicativos terão penalização na nota.
- Fazer todas as questões em **um só arquivo.**
- O seu código deve **gerar automaticamente todos os gráficos e resultados** solicitados.
- Enviar no SIGAA o **código cujo nome do arquivo deve ser igual ao seu nome.**
- Não enviar código em PDF.
- Prazo e forma de entrega: dia 21/11/25 às 23h59, no SIGAA.

#### **Filtros de Fase Linear Usando Janelamento**

##### **Parte 1**

- 1-) Gere um sinal de entrada  $x[n]$  que é a soma de três funções cosseno com frequências angulares iguais a  $0,2\pi$ ,  $0,5\pi$  e  $0,8\pi$ , e amplitudes iguais a 1. Este sinal deve possuir  $N=200$  pontos. **Gere o gráfico do módulo da Transformada de Fourier deste sinal  $x[n]$  em dB.** Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a módulo da Transformada de Fourier está de acordo com o esperado.
- 2-) Gere a resposta ao impulso  $h[n]$  de um filtro passa-baixa FIR usando truncamento (janela retangular) a partir um filtro passa-baixa ideal com frequência de corte igual a  $0,65\pi$  e atraso  $\alpha=15$ . A resposta ao impulso deste filtro deve ser não nula de 0 até  $M=2\alpha=30$ . **Gere**

**o gráfico do módulo da Resposta em Frequência deste sistema em dB** (ou seja, da Transformada de Fourier da resposta ao impulso  $h[n]$ ). Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a módulo da Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

3-) **Gere o gráfico da resposta em fase deste sistema** (com fase contínua, usando unwrap. Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a fase da Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

4-) **Gere o gráfico do atraso de grupo deste sistema** (pode usar a função pronta para o cálculo do atraso de grupo). Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se o atraso de grupo está de acordo com o esperado.

5-) Filtre o sinal  $x[n]$  da Questão 1 usando a resposta ao impulso  $h[n]$  gerada na Questão 2. **Gere o gráfico do módulo da Transformada de Fourier da saída  $y[n]$  em dB**. Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se o módulo da Transformada de Fourier do sinal filtrado está de acordo com o esperado.

6-) O sinal de saída  $y[n]$  deve ser, de forma aproximada, igual a um sinal  $g[n]$  que corresponde à soma de dois cossenos com frequências angulares igual a  $0,2\pi$  e  $0,5\pi$ , mas com um atraso igual a  $\alpha$ . Para saber se isto realmente está acontecendo, **gere, em um mesmo gráfico, os sinais  $g[n-\alpha]$  e  $y[n]$** , e comente se estes sinais são parecidos e sincronizados.

## Parte 2

A seguir, nós repetiremos os procedimentos acima, mas com um passa-baixa IIR com resposta em fase não-linear

7-) Gere os coeficientes  $a_k$  e  $b_k$  da equação de diferenças de um filtro passa-baixa IIR de Butterworth com frequência de corte igual a  $0,65\pi$  e ordem igual a 8. Use uma função pronta para gerar o filtro de Butterworth. **Gere o gráfico do módulo da Resposta em Frequência deste sistema em dB**. Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a módulo da Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

8-) **Gere o gráfico da resposta em fase deste sistema** (com fase contínua, usando unwrap. Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a fase da Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

9-) **Gere o gráfico do atraso de grupo deste sistema** (pode usar a função pronta para o

cálculo do atraso de grupo). Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se o atraso de grupo está de acordo com o esperado.

10-) Filtre o sinal  $x[n]$  da Questão 1 usando os coeficientes  $a_k$  e  $b_k$  da equação de diferenças gerados na Questão 7. **Gere o gráfico do módulo da Transformada de Fourier da saída  $y[n]$  em dB.** Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se o módulo da Transformada de Fourier do sinal filtrado está de acordo com o esperado.

11-) Novamente, o sinal de saída  $y[n]$  deve ser, de forma aproximada, igual a um sinal  $g[n]$  que corresponde à soma de dois cossenos com frequências angulares igual a  $0,2\pi$  e  $0,5\pi$ , mas com um atraso. Entretanto, desta vez, o atraso do sinal  $g[n]$  não pode ser determinado a priori. Este atraso deve ser estimado a partir do atraso de grupo. Para saber se isto realmente está acontecendo, **gere, em um mesmo gráfico, os sinais  $g[n-n_d]$  e  $y[n]$** , em que  $n_d$  é um atraso que você deve estimar a partir do atraso de grupo. Comente se estes sinais são parecidos e sincronizados.

### Parte 3

12-) Projete um filtro passa-baixa FIR usando o Método do Janelamento com as seguintes especificações:  $w_p = 0,6\pi$ ,  $w_s = 0,7\pi$ ,  $\delta_1 = 0,01$  e  $\delta_2 = 0,05$ . Para a completa especificação do filtro, você deve dizer os valores de: Janela usada (retangular, Bartlett, Hanning, Hamming ou Nlackman), ordem do filtro ( $M$ ), frequência de corte ( $w_c$ ) e atraso do filtro ideal ( $\alpha$ ). Para esta questão, usa a tabela que se encontra nos slides da disciplina. **Coloque a resposta em forma de comentário no código.**

13-) Repita a Questão 12 usando Janela de Kaiser. Para a completa especificação do filtro, você deve dizer os valores de: parâmetro  $\beta$ , ordem do filtro ( $M$ ), frequência de corte ( $w_c$ ) e atraso do filtro ideal ( $\alpha$ ). Para esta questão, use as fórmulas que se encontram nos slides da disciplina. **Coloque a resposta em forma de comentário no código.**

OBS.: Você deverá fazer as questões seguir usando o filtro com o menor valor de  $M$  entre os 2 filtros projetados nas Questões 12 e 13.

14-) **Gere o gráfico do módulo da Resposta em Frequência deste filtro em dB** (ou seja, da Transformada de Fourier da resposta ao impulso  $h[n]$ ). Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a módulo de Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

15-) **Gere o gráfico da resposta em fase deste sistema** (com fase contínua, usando unwrap. Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se a fase da Resposta em Frequência está de acordo com o esperado.

16-) **Gere o gráfico do atraso de grupo deste sistema** (pode usar a função pronta para o cálculo do atraso de grupo). Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x.

Explique, em forma de comentário em seu código, se o atraso de grupo está de acordo com o esperado.

17-) Filtre o sinal  $x[n]$  da questão 1 usando a resposta ao impulso projetada usando o método do Janelamento. **Gere o gráfico do módulo da Transformada de Fourier da saída  $y[n]$  em dB.** Não esqueça de colocar as frequências corretas no eixo x. Explique, em forma de comentário em seu código, se o módulo da Transformada de Fourier do sinal filtrado está de acordo com o esperado.

18-) O sinal de saída  $y[n]$  deve ser, de forma aproximada, igual a um sinal  $g[n]$  que corresponde à soma de dois cossenos com frequências angulares igual a  $0,2\pi$  e  $0,5\pi$ , mas com um atraso igual a  $\alpha$ . Para saber se isto realmente está acontecendo, **gere, em um mesmo gráfico, os sinais  $g[n-\alpha]$  e  $y[n]$** , e comente se estes sinais são parecidos e sincronizados.

19-) Descreva, em forma de comentário no código, **quais as vantagens e desvantagens dos filtros das Partes 1, 2 e 3** a partir dos gráficos gerados e da teoria vista em sala de aula.