



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
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 α . 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 (α). 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 β , ordem do filtro (M), frequência de corte (w_c) e atraso do filtro ideal (α). 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 α . 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.