

# Elementos de Processamento de Sinais:

## Lista de Exercícios #4

Data de entrega: Segunda, 05 de Julho, 2019

*Prof. Sergio Lima Netto, Segundas e Quartas (e Sextas): 08:00–10:00*

**Vinicius Mesquita de Pinho**

## Questão 1

Projeto de um filtro rejeite-faixas digital através da aproximação de Chebyshev.

O projeto será da seguinte maneira:

- Conversão das frequências de operação para as frequências digitais (entre 0 e  $2\pi$ ).
- Realização do *prewarp* das frequências, ou seja,  $\Omega_a = (2/T) \tan(w/2)$ , obtendo as frequências analógicas correspondentes.
- Verificação se o filtro analógico resultante é geometricamente simétrico. Caso não seja, fazer a adequação.
- Normalização do filtro, para cálculo de  $H(s')$ , o seu equivalente passa-baixas analógico.
- Desnormalização do filtro passa-baixas calculado para o tipo de filtro desejado, neste caso rejeita-faixa, cálculo do  $H(s)$ .
- Transformação do filtro analógico calculado para o domínio digital através da transformação bilinear, calculando  $H(z)$ .

**A aproximação de Chebyshev:** Esse método apresenta melhor aproveitamento das especificações em banda passante, pois sua função de atenuação é:

$$|A(j\Omega')|^2 = 1 + \epsilon^2 C_n^2(\Omega'), \quad (1)$$

onde

$$C_n(\Omega') = \begin{cases} \cos[n\cos^{-1}(\Omega')], & 0 \leq \Omega' \leq 1 \\ \cosh[n\cosh^{-1}(\Omega')], & \Omega' > 1. \end{cases} \quad (2)$$

A equação (2) mostra que a função de Chebyshev  $C_n$  tem característica oscilatória para  $0 \leq \Omega' \leq 1$ , assim fazendo melhor aproveitamento das especificações na banda passante do filtro.

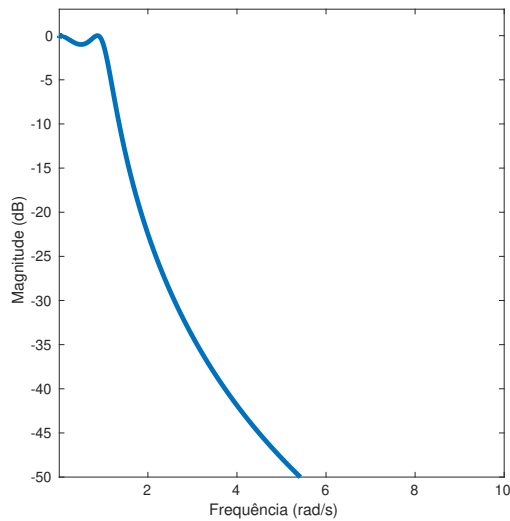
**As especificações do filtro desejado:**  $A_{p1} = 1$  dB,  $A_{p2} = 2$  dB,  $A_r = 40$  dB,  $\Omega_{p1} = 850$  Hz,  $\Omega_{r1} = 980$  Hz,  $\Omega_{p2} = 1020$  Hz,  $\Omega_{r2} = 1150$  Hz,  $\Omega_s = 10$  kHz.

Escolhi um exemplo em que as especificações possuem atenuações diferentes nas bandas passantes.

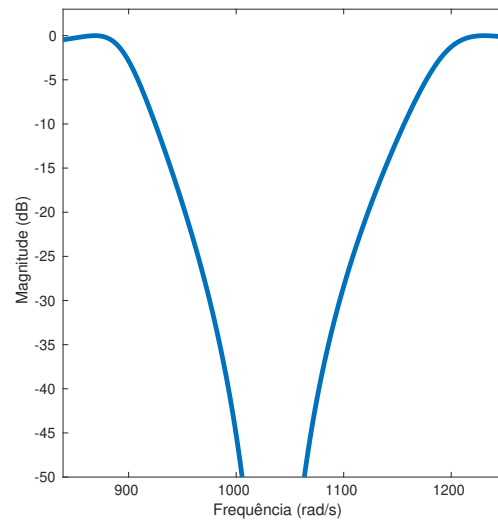
A Figura 1a mostra a magnitude da resposta em frequência do filtro analógico passa-baixas normalizado, calculado pela aproximação de Chebyshev. Com os coeficientes deste filtro, foi realizado sua desnormalização, gerando um filtro rejeita-faixa da Figura 1b. Porém, esses filtros projetados ainda são analógicos. Através da transformação bilinear

$$s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)},$$

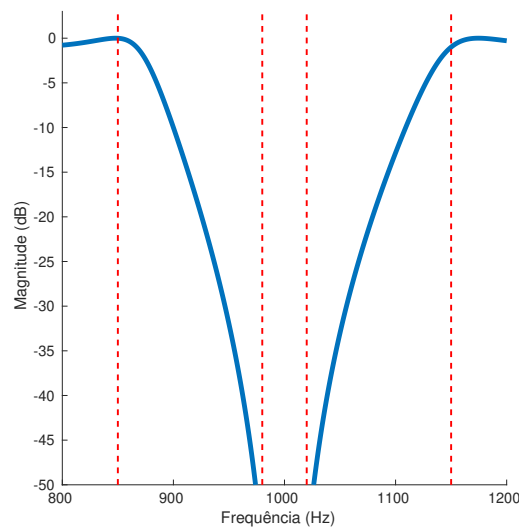
temos o filtro digital rejeita-faixa da Figura 1c.



(a) Filtro passa-baixas analógico.



(b) Filtro rejeita-faixa analógico.



(c) Filtro passa-baixas digital.

Figura 1: Etapas para design do filtro digital rejeita-faixa.