

Experiência 4: Projeto de filtros IIR de Butterworth

Vamos projetar um filtro passa-baixas com as seguintes especificações:

- Faixa de passagem: $0 \leq \omega \leq \omega_p = 0,3\pi$ rad/amostra,
 - Faixa de rejeição: $0,5\pi$ rad/amostra $= \omega_r \leq \omega \leq \pi$ rad/amostra,
 - Atenuação mínima na faixa de rejeição: 60 dB,
 - Queda máxima na faixa de passagem $\delta_p = 0,001$.
1. Aplique pré-distorção da escala da frequência na transformação das especificações ao tempo contínuo.
 2. Complementando a transformação das especificações ao tempo contínuo, determine as restrições de atenuação sobre a função característica.
 3. Baseando-se nas suas respostas aos itens 1. e 2. acima, determine a ordem N da aproximação de Butterworth e o fator C da função característica. Que frequência de corte Ω_c resulta?
 4. Projete seu filtro Butterworth em tempo contínuo, determinando seus zeros e polos com o comando

```
[Z P K] = butter(N,Wc,'s');
```

Obtenha o mapa dos polos e zeros obtidos com os comandos

```
Hssys = tf(B,A);  
figure(x)  
pzmap(Hssys); sgrid  
axis equal
```

O mapa está de acordo com sua expectativa?
 5. Através da correspondente transformação bilinear inversa, obtenha os polos e zeros do seu filtro projetado $H(z)$ em tempo discreto. Apresente o mapa de suas localizações, que pode ser obtido com os comandos

```
Hsys = tf(b,a,1);  
figure(x)  
pzmap(Hsys); zgrid  
axis equal
```

Seu filtro é estável e de fase mínima?

6. Calcule o fator de ganho da resposta em frequência de seu filtro $H(z)$ para que apresente módulo máximo unitário na faixa de passagem.
7. Apresente o gráfico da resposta em frequência de $H(z)$ e os gráficos amplificados das ondulações na faixa de passagem e na faixa de rejeição. Essa resposta em frequência parece ser de um filtro de Butterworth? Ele satisfaz as especificações? Explique e compare a ordem obtida com as ordens que obteve nas experiências anteriores com filtros FIR para as mesmas especificações.