

Disciplina: Processamento Digital de Sinais

Material aula 8

Ambiente Blackboard

Apresentação

- 1) Transformação de “s” para “z”
- 2) Projeto e implementação do filtro IIR
- 3) Projeto e implementação do filtro FIR

Transformação de “s” para “z”

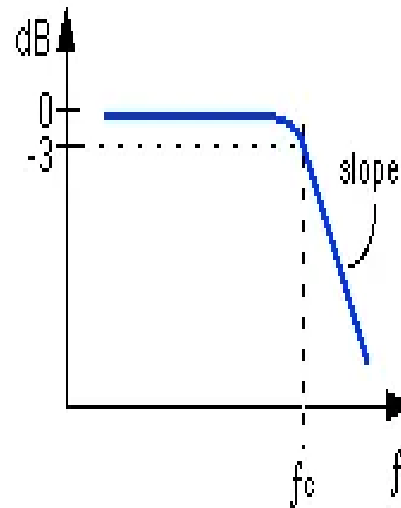
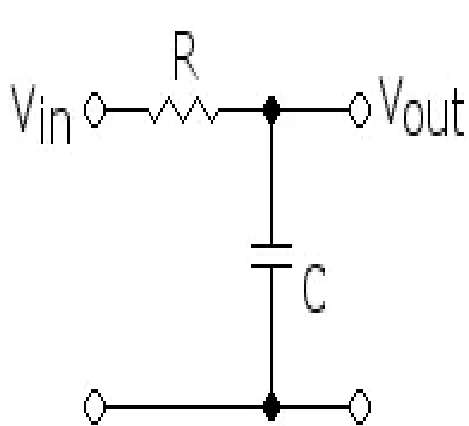
- Uma das transformações mais utilizadas é a "Tustin"

$$s = \frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)$$

- T_s é o periodo de amostragem

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Por exemplo, considere o filtro passa baixa RC.



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]}$$

Passa-Baixa

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Sabemos de Sinais e Sistemas (Matemática Aplicada) que:

$$H(s) = \frac{wc}{s + wc}$$

- Com

$$wc = \frac{1}{RC}$$

- frequencia de corte em rad/s

- e,

$$fc = \frac{1}{2\pi RC}$$

- frequencia de corte em Hz

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Pode-se aplicar a transformação "Tustin" para obter a correspondente $H(z)$

$$H(z) = \frac{wC}{\frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + wC}$$

- Para simplificar

$$F' = \frac{2}{T_s} \qquad H(z) = \frac{wC}{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + wC}$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Obtendo $H(z)$

$$H(z) = \frac{wc}{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + \frac{wc(1 + z^{-1})}{1 + z^{-1}}}$$

$$H(z) = \frac{wc(1 + z^{-1})}{F'(1 - z^{-1}) + wc(1 + z^{-1})}$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{wc + wc z^{-1}}{(F' + wc) + (wc - F')z^{-1}}$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Obtendo $H(z)$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{wc + wc z^{-1}}{(F' + wc) + (wc - F') z^{-1}}$$

$$Y(z) (F' + wc) + Y(z) (wc - F') z^{-1} = wc X(z) + wc X(z) z^{-1}$$

- Aplicando as propriedades da transformada Z

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Obtendo $H(z)$

$$Y(z) (F' + wc) + Y(z) (wc - F') z^{-1} = wc X(z) + wc X(z) z^{-1}$$

Aplicando as propriedades da transformada Z

$$y[n] = \frac{wc}{(F' + wc)} x[n] + \frac{wc}{(F' + wc)} x[n-1] - \frac{(wc - F')}{(F' + wc)} y[n-1]$$

$$y[n] = a x[n] + a x[n-1] - b y[n-1]$$

Projeto e implementação do filtro PB discreto

- Obtendo $H(z)$, Por exemplo

$$f_c = 1000 \quad \omega_c = 2\pi f_c = 6280$$

$$F_s = 8000; F' = 16000$$

- Temos: $a = 0.282$ e $b = -0.4361$

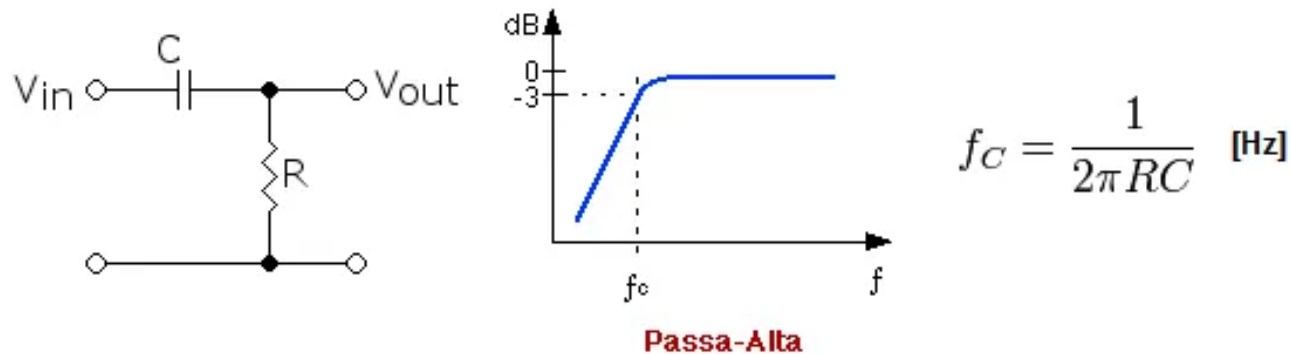
$$y[n] = 0.282 x[n] + 0.282 x[n-1] - (-0.4361) y[n-1]$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- **TAREFAS:** Obter a função de transferência $H[z]$ do filtro passa-baixas
- Plotar os pólos e zeros
- Implementar um programa para executar a equação diferença do filtro.
- Validar essa implementação com um sinal de entrada de sweep.

Projeto e implementação do filtro IIR

- **TAREFAS:** Obter a função de transferencia $H[z]$ de um filtro passa-alta.



$$H(s) = \frac{s}{s + \omega_c}$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Sabemos de Sinais e Sistemas (Matemática Aplicada) que:

$$H(s) = \frac{s}{s + \omega_c}$$

- Com

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

- frequencia de corte em rad/s

- e,

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- frequencia de corte em Hz

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Pode-se aplicar a transformação "Tustin" para obter a correspondente $H(z)$

$$H(z) = \frac{\frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)}{\frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + wC}$$

- Para simplificar

$$F' = \frac{2}{T_s} \quad H(z) = \frac{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)}{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + wC}$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Obtendo $H(z)$

$$H(z) = \frac{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)}{F' \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + \frac{wc(1 + z^{-1})}{1 + z^{-1}}}$$

$$H(z) = \frac{F' (1 - z^{-1})}{F' (1 - z^{-1}) + wc(1 + z^{-1})}$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{F' - F' z^{-1}}{(F' + wc) + (wc - F') z^{-1}}$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

- Obtendo $H(z)$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{F' - F' z^{-1}}{(F' + wc) + (wc - F')z^{-1}}$$

$$Y(z) (F' + wc) + Y(z) (wc - F') z^{-1} = F' X(z) - F' X(z) z^{-1}$$

- Aplicando as propriedades da transformada Z

$$y[n] (F' + wc) + y[n-1] (wc - F') = F' x[n] - F' x[n-1]$$

Exemplo – Transformação “s” -> “z”

Aplicando as propriedades da transformada Z

$$y[n] (F' + wc) + y[n - 1] (wc - F') = F' x[n] - F' x[n - 1]$$

$$y[n] = \frac{F'}{(F' + wc)} x[n] - \frac{F'}{(F' + wc)} x[n - 1] - \frac{(wc - F')}{(F' + wc)} y[n - 1]$$

$$y[n] = a x[n] - a x[n - 1] - b y[n - 1]$$

Projeto e implementação do filtro PA discreto

- Por exemplo

$$f_c = 1000 \quad \omega_c = 2\pi f_c = 6280$$

$$F_s = 8000; F' = 16000$$

- Temos: $a = 0.718$ e $b = -0.4361$

$$y[n] = 0.718 x[n] - 0.718 x[n-1] - (-0.436) y[n-1]$$

Projeto e implementação do filtro IIR

- **TAREFAS:**
- Projete um filtro Passa Alta com $f_c = 400\text{Hz}$ e $F_s = 8\text{kHz}$
Plotar os pólos e zeros
- Implementar o programa para executar a equação diferença do filtro.
- Validar essa implementação com um sinal de entrada de sweep.

Projeto e implementação do filtro FIR

- **Material de referência:**
- **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**
By Steven W. Smith, Ph.D.
- **Link: <http://www.dspguide.com/>**
- **Capítulo 14 – Introduction to Digital Filters**
- **Capítulo 16 - Windowed-Sinc Filters**

Projeto e implementação do filtro FIR

- **TAREFAS:**
- Capítulo 14 – **Introduction to Digital Filters**
- Apresente as principais características que são desejáveis em um filtro digital.
- Apresente os procedimentos para se obter a partir de um filtro PB o PA, PF e RF.

Projeto e implementação do filtro FIR

- **TAREFAS:**

Capítulo 16 - **Windowed-Sinc Filters**

Faça um programa para plotar a função Sinc.

Faça um programa para plotar as janelas
Hamming(Eq 16-1) e a Blackman(Eq 16-2)

Descreva em detalhes as etapas mostradas na Fig
16-1

Faça um programa para plotar a Eq 16-4 para
diferentes tamanhos

Projeto e implementação do filtro FIR

- **TAREFAS:**

Capítulo 16 - **Windowed-Sinc Filters**

Faça um programa para projetar um filtro PB. Siga os passos mostrados na tabela 16-1.

Utilize os coeficientes obtidos e o comando `freqz` para plotar a resposta em frequência do filtro.

Salve os coeficientes em arquivo e execute o filtro . Utilize como exemplo o programa da média móvel.

Disciplina: Processamento Digital de Sinais

Material aula 8

Ambiente Blackboard