



Instituto Federal de Santa Catarina

Curso superior de tecnologia em sistemas de telecomunicação

Processamento de Sinais Digitais - PSD

*Resposta ao Impulso*

*e*

*Resposta de Estado Nulo*

Prof. Deise Monquellate Arndt

Fonte: Lathi – Sinais e Sistemas Lineares

São José, março de 2015

# Resposta ao impulso (1)

- A resposta ao impulso  $h[n]$  é a solução da equação diferença quando a entrada é a função impulso unitário  $\delta[n]$ :

$$Q[E]h[n] = P[E]\delta[n]$$

- São consideradas condições iniciais nulas:

$$h[-1] = h[-2] = \dots = h[-N] = 0$$

- Cálculo iterativo (recursivo) pode ser utilizado
  - Exemplo 3.11, pg. 256

## Resposta ao impulso (2)

- Método iterativo não é prático para respostas ao impulso longas
- Solução fechada:

$$h[n] = \frac{b_N}{a_N} \delta[n] + y_c[n] u[n]$$

onde  $y_c[n]$  é a combinação linear dos modos característicos

$a_N$  e  $b_N$  obtidos da equação diferença:

$$\left( E^N + a_1 E^{N-1} + \dots + a_{N-1} E + \underline{a_N} \right) y[n] = \left( b_0 E^N + b_1 E^{N-1} + \dots + b_{N-1} E + \underline{b_N} \right) x[n]$$

- Coeficientes desconhecidos encontrados a partir de valores obtidos da solução recursiva de  $h[n]$
- Exemplo 3.12, pg. 258

# Resposta de estado nulo (1)

- Resposta do sistema à entrada
- Condições iniciais são consideradas zero
- Solução dada pelo **somatório de convolução**:

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m] h[n-m]$$

- Propriedades:

- Comutativa

$$x_1[n] * x_2[n] = x_2[n] * x_1[n]$$

- Distributiva

$$x_1[n] * (x_2[n] + x_3[n]) = x_1[n] * x_2[n] + x_1[n] * x_3[n]$$

- Associativa

$$x_1[n] * (x_2[n] * x_3[n]) = (x_1[n] * x_2[n]) * x_3[n]$$

# Resposta de estado nulo (2)

- Propriedade do deslocamento

$$\text{se } x_1[n] * x_2[n] = c[n]$$

$$x_1[n-m] * x_2[n-p] = c[n-m-p]$$

- Convolução com um impulso

$$x[n] * \delta[n] = x[n]$$

- Propriedade da largura

se  $d[n]$  tem  $R$  elementos e  $e[n]$  tem  $S$  elementos

$$f[n] = d[n] * e[n] \text{ tem } R+S-1 \text{ elementos}$$

- Causalidade

$$x[m] = 0 \text{ para } m < 0$$

$$h[m] = 0 \text{ para } m < 0, \text{ tal que } h[n-m] = 0 \text{ para } m > n$$

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{m=0}^n x[m] h[n-m]$$

- Exemplo 3.13, pg. 262

# *Resposta de estado nulo (3)*

- Cálculo da convolução não é muito utilizado
- Alternativas:
  - Procedimento gráfico
  - Tabelas
    - Lathi, Tabela 3.1, pg. 263

# Exercícios (Lathi)

- Exemplo 3.11, pg. 256
- Exemplo 3.12, pg. 258
- Exercício E3.14, pg. 259
- Exercício 3.7-4, pg. 298
- Exemplo 3.13, pg. 262
- Exercício E3.15, pg. 263
- Exemplo 3.14, pg. 264
- Exemplo de computador C3.6
- Criar uma função no Matlab para realizar a convolução entre dois sinais causais