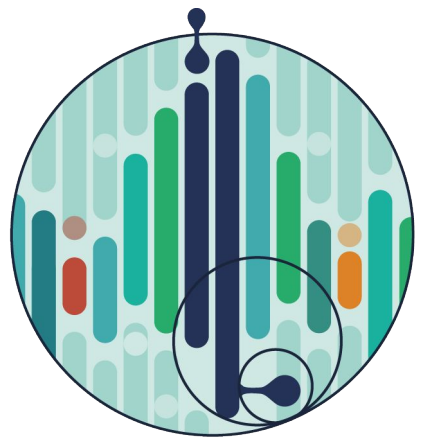


Diseño de filtros



INGENIERÍA
BIOLÓGICA

Clase de Práctico N°7
Procesamiento Digital de Señales

Contenidos

01 Filtro butterworth
tiempo continuo

02 Conversión a
tiempo discreto

2.1 Invarianza al
impulso

2.2 Bilineal

01

**Filtro Butterworth
en tiempo continuo**

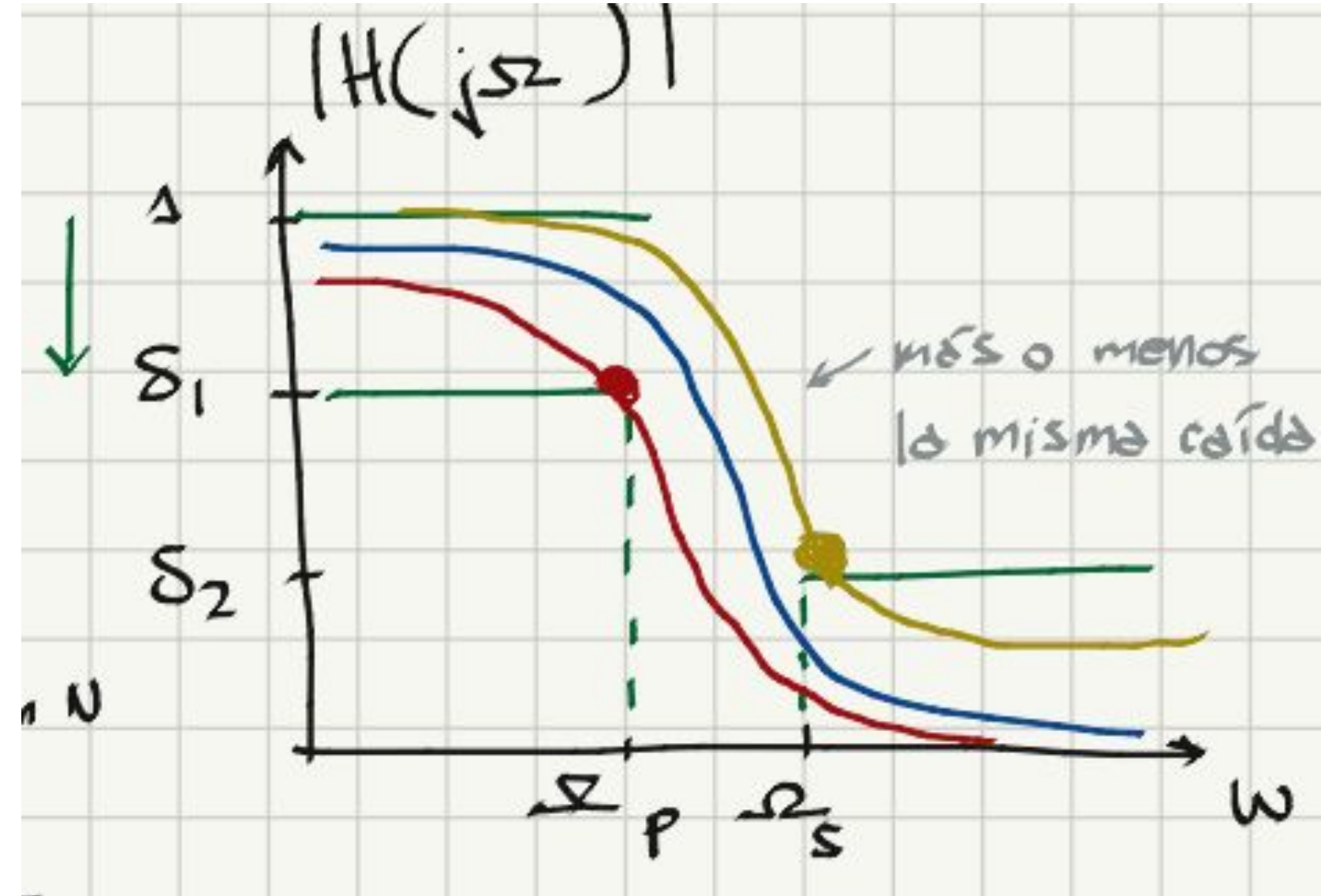
Filtro pasa bajos en tiempo continuo

Especificaciones

- $\delta_1 = 0.8$
- $\delta_2 = 0.2$
- $f_p = 10$ Hz
- $f_s = 30$ Hz
- $T_d = 1/100$

Transferencia orden: N

$$|H(s)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{j\Omega_c}\right)^{2N}}$$



Filtro pasa bajos en tiempo continuo

1. Pasar especificaciones a radianes

2. Cambio de variable

a. $d_1 = \delta^{-2}_1 - 1$

b. $d_2 = \delta^{-2}_2 - 1$

3. Determinación del N óptimo

$$N^* = \frac{\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)}{2\log\left(\frac{\Omega_p}{\Omega_s}\right)}$$

4. Determinar el natural más cercano a N^*

5. Determinar Ω_c

$$\Omega_c = \frac{\Omega_p}{d_1^{\frac{1}{2N_o}}}$$

6. Determinar los polos

$$S_k = \Omega_c \cdot e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \frac{(2k+1)\pi}{2N_o}\right)} \quad k = 0, \dots, 2N_o - 1$$

7. Seleccionar los polos del semiplano izquierdo

Filtro pasa bajos en tiempo continuo

8. Determinar el polinomio
D(s) (utilizar np.convolve)

$$H(s) = \frac{1}{D(s)} = \frac{1}{\prod_{k=0}^{N_o-1} (s - s_k)}$$

9. Verificación

- a. Crear el sistema
signal.lti(a,b)

$$H(s) = \frac{a[0]}{b[0]s^2 + b[1]s + b[2]}$$

- b. Obtener el bode
signal.bode()

02

Conversión a tiempo discreto

2.1 Invarianza al impulso

Continua en fracciones simples

$$H_c(s) = \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{s - S_k}$$

Discreta en fracciones simples

$$H(z) = Td. \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{1 - P_k \cdot z^{-1}}$$

Invarianza al impulso

Determinación de los polos de z

$$P_k = e^{S_k \cdot Td}$$

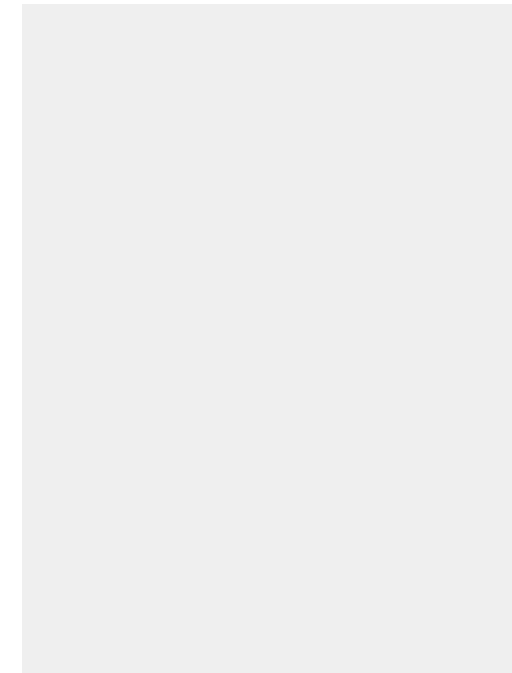
Determinar los residuos de H(s) (A_k)

residuo, _, _ = signal.residue(num, den)

2.2 Bilinear

$$s = \frac{2}{Td} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

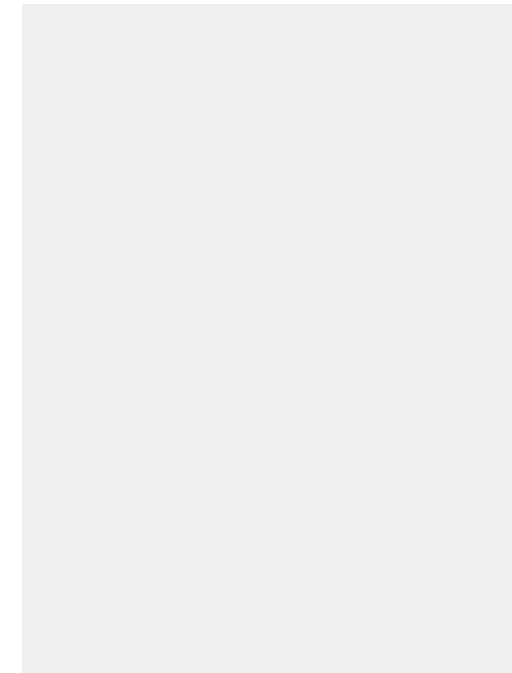
$$H(z) = H_c(s(z))$$



Bilinear

Mapeo de Ω a ω

$$w = 2 \cdot \text{atan}\left(\frac{\Omega \cdot Td}{2}\right)$$



Gracias

¿Preguntas?

Renato Sosa Machado



renato.sosast@gmail.com

Lucía Lemes



llemes@cup.edu.uy

CREDITS: This presentation template was created by **Slidesgo**, including icons by **Flaticon**, and infographics & images by **Freepik**