$$\therefore \boxed{|G_R(j\omega) - G(j\omega)| \leq \ell_m(\omega) \cdot |G(j\omega)|}$$

- Problema: Como obter $\ell_m(\omega)$?

  - Experimentalmente
  - Modelar $G_R(s)$
  - Exemplo 3.1

3.3 - INCERTEZAS ESTRUTURADAS

- Incertezas paramétricas
- Avaliação numérica
  - fixa ω
  - varia parâmetros
- Diagramas de Bode → não convêm!
- Restam Nyquist e Nichols
- Melhor Nichols:
  - GK é simples a partir de G e de K
  - Margem de Ganho
  - Margem de Fase
  - Ressonâncias
- Exemplo 3.2

$$G(s) = \frac{1}{s}$$

$$G_R(s) = \frac{1}{s} e^{-s\tau} \qquad (0 \leq \tau \leq 0{,}2)$$

Seja ω uma frequência qualquer.

- $G(j\omega) = \dfrac{1}{j\omega}$

$$\therefore |G(j\omega)| = \left|\frac{1}{j\omega}\right| = \frac{1}{\omega}$$

$$\angle G(j\omega) = \angle \frac{1}{j\omega} = \angle 1 - \angle j\omega = 0 - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{2}$$

- $G_R(j\omega) = \dfrac{1}{j\omega} e^{-j\omega\tau} \quad (0 \leq \tau \leq 0{,}2)$

$$|G_R(j\omega)| = \left|\frac{1}{j\omega} \cdot e^{-j\omega\tau}\right| = \left|\frac{1}{j\omega}\right| \cdot \underbrace{\left|e^{-j\omega\tau}\right|}_{=1} = \frac{1}{\omega}$$

$$\angle G_R(j\omega) = \angle \frac{1}{j\omega} e^{-j\omega\tau} = \underbrace{\angle \frac{1}{j\omega}}_{-\pi/2} + \underbrace{\angle e^{-j\omega\tau}}_{-\omega\tau} = -\frac{\pi}{2} - \omega\tau$$

Exemplo 3.3

$$G(s) = \frac{1}{s(s+2)}$$

$$G_R(s) = \frac{k}{s(s+a)} \qquad 1 \leq k \leq 1,5$$

$$1 \leq a \leq 2$$

- $G_R(j\omega) = \dfrac{k}{j\omega(j\omega+a)}$

  - Analiticamente ? ...

  - Numericamente :

    - fixa ω

    - varia k e a

    - por exemplo, para $\omega = 2$:

$$G_R(j2) = \frac{k}{j2(j2+a)}$$

- TEMPLATES

  - Gráficos de $G_R(j\omega)$ para diversos valores de ω

  - Construidos numericamente ponto a ponto

MATÉRIA DATA

3.4 - CONSERVADORISMO DA REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA NA FORMA MULTIPLICATIVA

- Representação por ℓ_m → incerteza completa na fase
- Representação por templates → incerteza justa na fase

EXEMPLO 3.4

$$G(s) = \frac{1,25}{s(s+1,5)}$$

$$G_R(s) = \frac{k}{s(s+a)}, \quad 1 \leq k \leq 1,5 \quad 1 \leq a \leq 2$$

$\omega = 2$ rad/s

- $$\ell_m(2) = \max_{\substack{1 \leq k \leq 1,5 \\ 1 \leq a \leq 2}} \left| \frac{G_R(j2) - G(j2)}{G(j2)} \right|$$

$$|G_R(j2) - G(j2)| \leq \ell_m(2) \cdot |G(j2)| \Rightarrow$$

Círculo no plano de Nyquist ⇒

Região oval no plano de Nichols

Implicação prática

Projeto robusto com base em ℓ_m considera como possíveis, plantas "reais" que não existem!