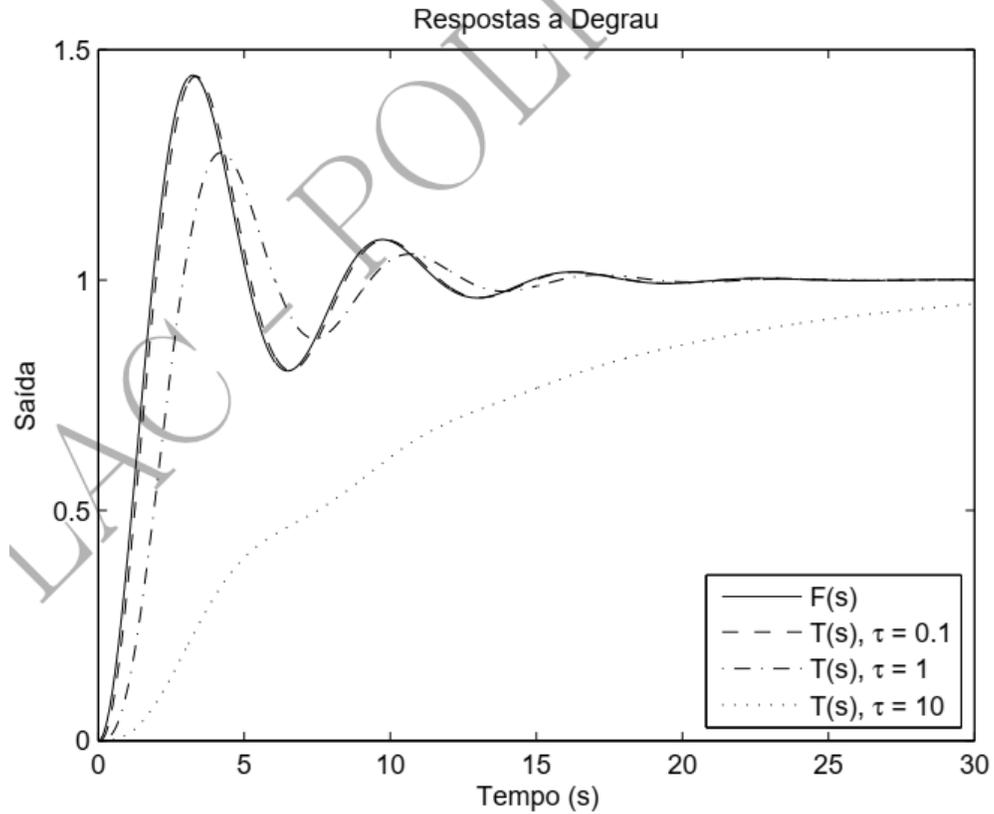
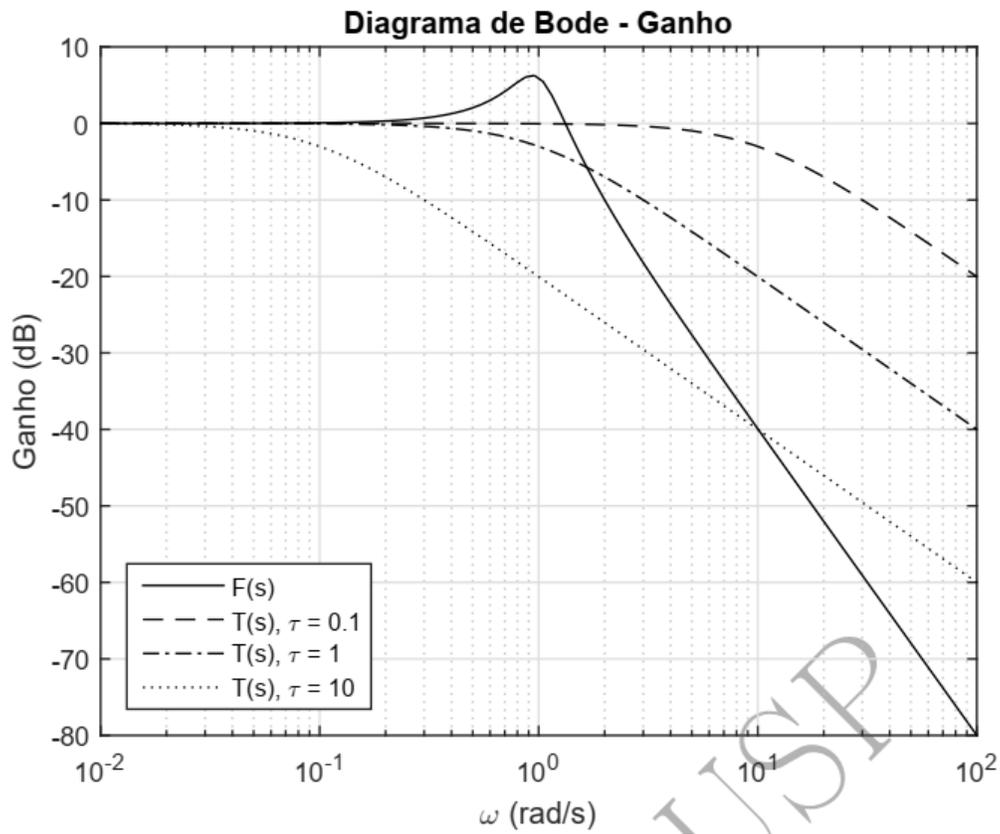


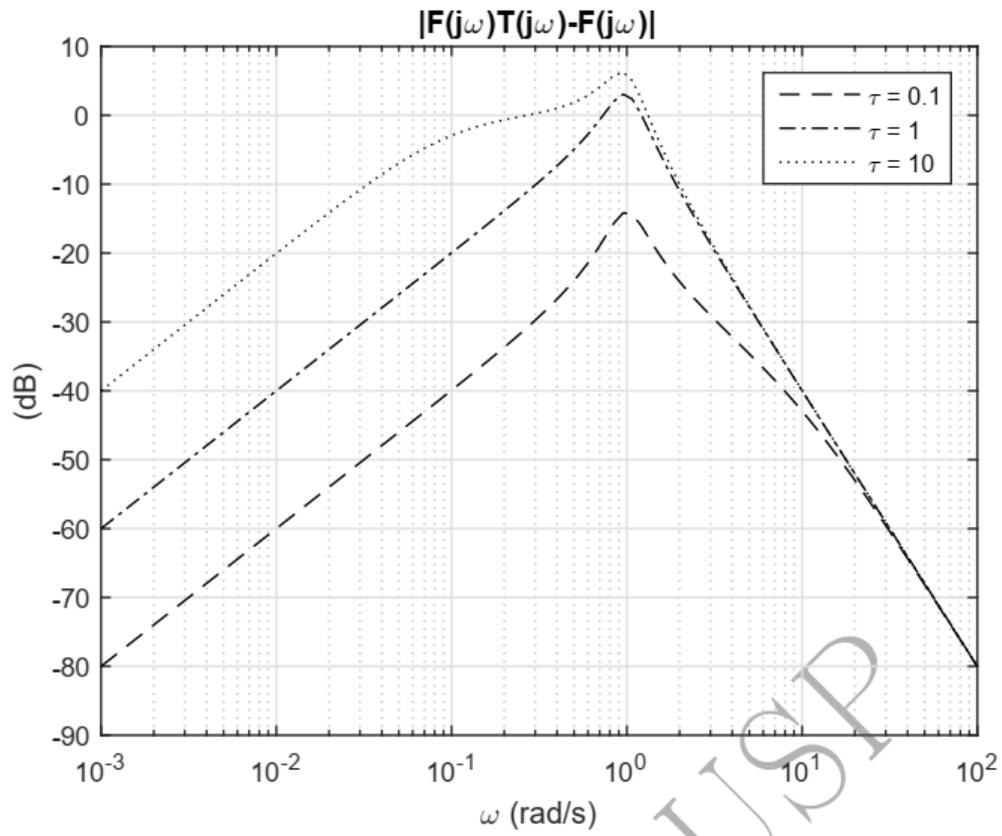
### EXEMPLO 2.10

$$F(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad \omega_n = 1 \text{ rad/s}; \xi = 0,25$$

$$T(s) = \frac{1}{\tau s + 1} \quad \tau / \tau = 0,1; 1; 10 \text{ s.}$$

Ver figs. 2.23, 2.24 e 2.25 da Apostila.





• Projeto do controlador para compatibilidade entre o pré-filtro e a malha fechada

- Neste caso supõe-se  $F(s)$  dado

- Problema: escolher o controlador

- Relembrando a condição de compatibilidade:

$$|F(j\omega)[1 - T(j\omega)]| \leq \delta_F(\omega) \quad (\omega \leq \omega_b)$$

$$\therefore \left| 1 - \frac{G(j\omega)K(j\omega)}{1 + G(j\omega)K(j\omega)} \right| \leq \frac{\delta_F(\omega)}{|F(j\omega)|} \quad (\omega \leq \omega_b)$$

$$\therefore \frac{1}{|1 + G(j\omega)K(j\omega)|} \leq \frac{\delta_F(\omega)}{|F(j\omega)|} \quad (\omega \leq \omega_b)$$

$$\boxed{|S(j\omega)| \leq \frac{\delta_F(\omega)}{|F(j\omega)|}} \quad (\omega \leq \omega_b) \quad (H_\infty)$$

- Para Loop Shaping:

$$|1 + G(j\omega)K(j\omega)| \geq \frac{|F(j\omega)|}{\delta_F(\omega)} \quad (\omega \leq \omega_b)$$

Mas:

$$|1 + G(j\omega)K(j\omega)| = |G(j\omega)K(j\omega) - (-1)| \geq$$

$$\geq |G(j\omega)K(j\omega)| - 1 > 0$$

↑  
porque  $|G(j\omega)K(j\omega)| \gg 1$   
para  $\omega \leq \omega_b$

Então impomos que:

$$|G(j\omega)K(j\omega)| - 1 \geq \frac{|F(j\omega)|}{\delta_F(\omega)} \quad (\omega \leq \omega_b)$$

Ou seja:

$$|G(j\omega)K(j\omega)| \geq 1 + \frac{|F(j\omega)|}{\delta_F(\omega)} \quad (\omega \leq \omega_b) \quad (\text{Loop Shaping})$$

### 3. ERROS DE MODELAGEM

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

Modelo nominal (modelo de projeto)

Todo modelo  $\rightarrow$  erro de modelagem

Robustez  $\rightarrow$  para um dado conjunto de erros

Necessário quantificar o erro de modelagem

- Robustez da estabilidade
- Robustez do desempenho

Para quantificar o erro:

- Entender as causas
- Representá-lo apropriadamente
- Conhecimento do projetista

Vamos admitir que dispomos de:

- Modelo nominal ( $G(s)$ )
- Conjunto das possíveis plantas "reais"  
( $G_R(s)$ )

∴ Plantas "reais" → lineares !

- Funciona bem muitas vezes
- Pragmatismo : resultados simples e práticos

Erros de modelagem :

- Intencionais
- Não intencionais

Conjunto de plantas "reais"

- $G(s) \in$  conjunto !

Incertezas (erros) de modelagem

- Estruturadas
- Não estruturadas

## 3.2 - INCERTEZAS NÃO ESTRUTURADAS

### Controle clássico:

- Margem de ganho
- Margem de fase
- Pico de ressonância

Modelo rudimentar  
da incerteza

### INCERTEZA NÃO ESTRUTURADA

- Não importa a causa
- Limite superior para a magnitude do erro

Também pode ser utilizada quando a incerteza é paramétrica

Porém é mais indicada para dinâmicas não modeladas de altas frequências

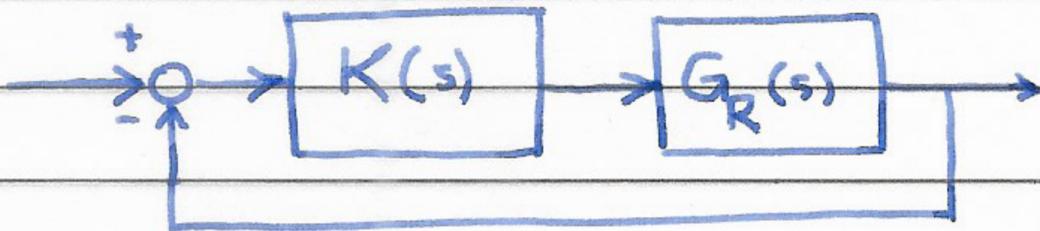
### Incertezas não estruturadas:

- Aditivas (absolutas)
- Multiplicativas (relativas)

### 3.2.1 - INCERTEZAS ADITIVAS

• Def.:  $\Delta_a(s) = G_R(s) - G(s)$  (Absoluta!)

• Inconveniente



$G_R(s)K(s)$  é que interessa:

- para a estabilidade

- para o desempenho

$$\Delta_a' = G_R(s)K(s) - G(s)K(s)$$

$$\therefore \Delta_a'(s) = \Delta_a(s) \cdot K(s) \rightarrow \text{depende de } K(s) !$$

### 3.2.2 - INCERTEZAS MULTIPLICATIVAS

- Definição

$$\Delta_m(s) = \frac{G_R(s) - G(s)}{G(s)} \quad (\text{Relativa!})$$

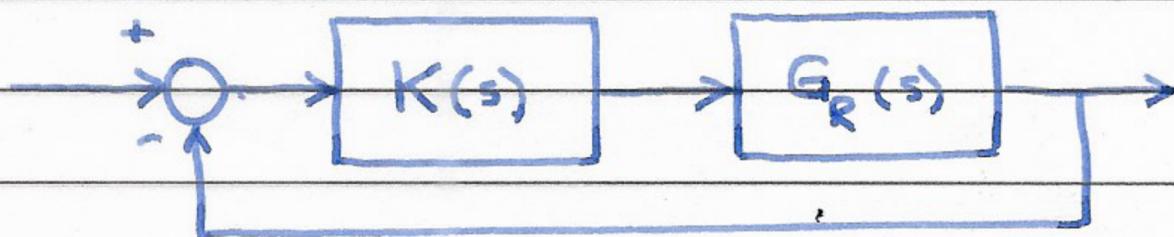
- Hipótese fundamental

$G_R(s)$  tem o mesmo n.º de polos instáveis de  $G(s)$

- O que se supõe conhecido:  $\ell_m(\omega)$

$$|\Delta_m(j\omega)| \leq \ell_m(\omega) \quad (\forall \omega \in \mathbb{R})$$

- Não há o inconveniente de  $\Delta_a(s)$ !



$$\Delta'_m(s) = \frac{G_R(s)K(s) - G(s)K(s)}{G(s)K(s)} = \frac{G_R(s) - G(s)}{G(s)} = \Delta_m(s)$$

$$\therefore \Delta'_m(s) = \Delta_m(s)$$

- Visualização no plano de Nyquist: Fig. 3.1

$$G_R(s) - G(s) = \Delta_m(s) \cdot G(s) \Rightarrow$$

$$|G_R(j\omega) - G(j\omega)| = |\Delta_m(j\omega)| \cdot |G(j\omega)| \leq \ell_m(\omega) \cdot |G(j\omega)|$$