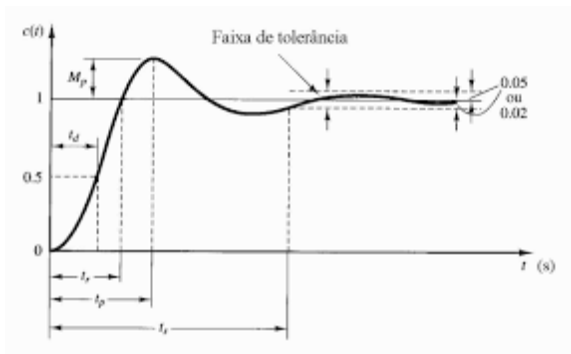


Sistemas Embarcados (C213)

Prof. Samuel Baraldi Mafra

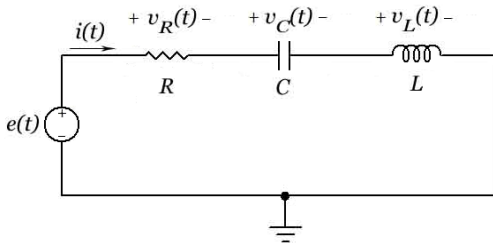


Resposta Típica de Segunda Ordem



Exemplos:

- Posição de uma massa num sistema massa-mola-atrito,
- Deslocamento angular do eixo de um motor DC (modelo simplificado)
- Carga no capacitor de um circuito RLC série.



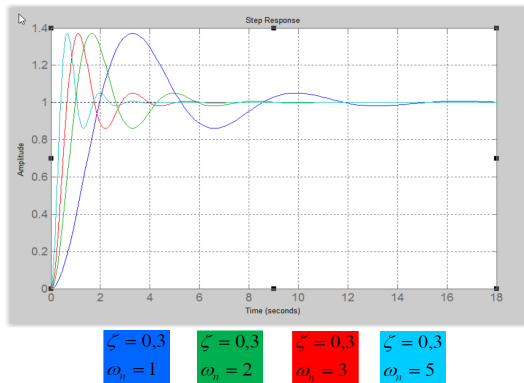
A forma padrão de um sistema de segunda ordem pode ser escrita como:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2} \quad (1)$$

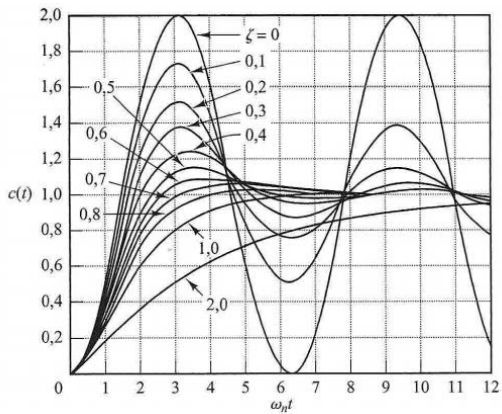
O comportamento dinâmico do sistema de segunda ordem pode ser descrito em termos de dois parâmetros ζ e w_n .

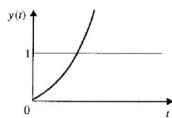
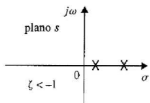
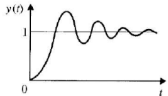
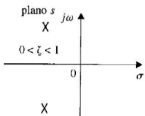
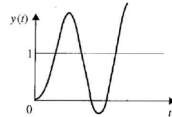
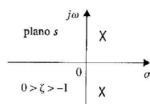
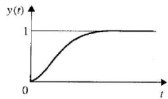
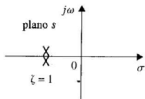
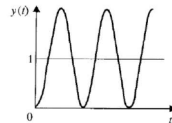
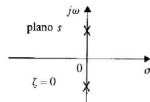
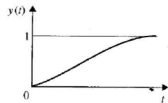
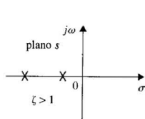
- ζ Coeficiente de Amortecimento
- w_n Frequência natural não amortecida

Influência de w_n



- $\zeta = 0$: O sistema oscila indefinidamente.
- $0 < \zeta < 1$: Os polos em malha fechada são complexos conjugados e a resposta é oscilatória (subamortecido).
- $\zeta = 1$: Criticamente Amortecido.
- $\zeta > 1$: Superamortecido.





- Para um sistema de segunda ordem com resposta transitória aceitável, deve-se fazer $0,4 < \zeta < 0,8$.
- Valores pequenos ($\zeta < 0,4$) resultam em excessivo sobressinal na resposta transitória.
- Valores grandes ($\zeta > 0,8$) a resposta se torna muito lenta.
- Sobressinal e tempo de subida são conflitantes entre si, ou seja, eles não podem ser diminuídos simultaneamente.

Calcule os valores de ζ e w_n para as seguintes funções de transferência de malha fechada:

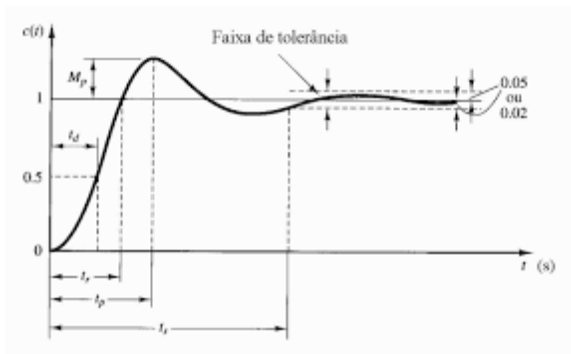


$$H(s) = \frac{121}{s^2 + 13.2s + 121} \quad (2)$$



$$H(s) = \frac{0.04}{s^2 + 0.02s + 0.04} \quad (3)$$

Definição das Especificações da Resposta



- Tempo de atraso t_d : Tempo requerido para que a resposta atinja 50% do valor final;
- Tempo de subida t_r : Tempo requerido para que a resposta chegue ao valor final pela primeira vez.
- Tempo de pico t_p : Tempo requerido para que a resposta o primeiro pico de sobressinal;
- Máximo sobressinal M_p : Valor máximo do pico medido a partir da unidade (em sistemas normalizados). Em sistemas em que o valor final difere da unidade, é calculado como:

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} * 100\% \quad (4)$$

- Tempo de acomodação t_s : tempo necessário para que o sistema alcance valores entre 2% e 5% do valor final. Normalmente se utiliza uma tolerância de 2%

Definição das Especificações

Característica	Símbolo	Fórmula
Tempo de Subida	Tr	$Tr = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$
Tempo de Pico	Tp	$Tp = \frac{\pi}{\omega_d}$
Máximo Sobressinal	Mp	$Mp = e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right) \cdot \pi}$
Tempo de Acomodação	Ts	$Ts = \frac{4}{\zeta \omega_n}$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \sigma = \zeta \omega_n \quad \beta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma}$$

Para o sistema dinâmico representado por sua Função de Transferência $H(s)$, determine as especificações de sua resposta ao degrau unitário em Malha Fechada.

$$H(s) = \frac{2}{s^2 + 0.56s + 2} \quad (5)$$

Para o sistema dinâmico representado por sua Função de Transferência $H(s)$, determine as especificações de sua resposta ao degrau unitário em Malha Fechada.

$$H(s) = \frac{2}{s^2 + \sqrt{2}s + 2} \quad (6)$$

Considere o sistema de malha fechada dado por:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2} \quad (7)$$

Determine os valores de ζ e w_n de modo que o sistema responda a uma entrada em degrau com aproximadamente 5% de sobressinal e tempo de acomodação de 2 segundos. (Tolerância de 2%)