

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

EA721 – Turma A – Prova I

27/09/2017

Nome

RA

Q1		Q4	
Q2		Q5	
Q3		--	--
		Total	

Instruções

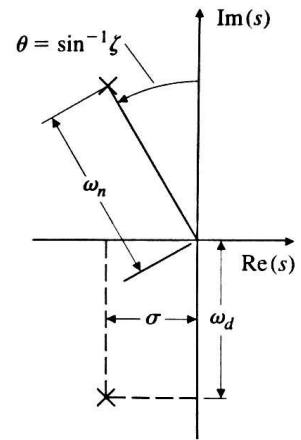
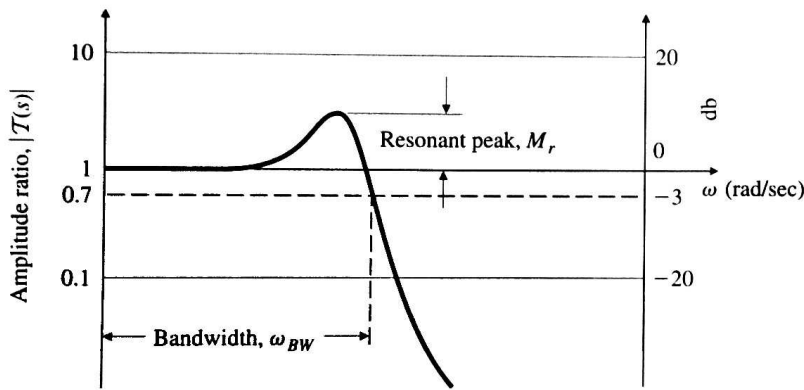
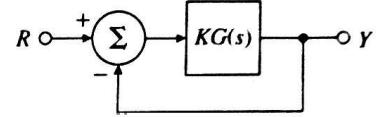
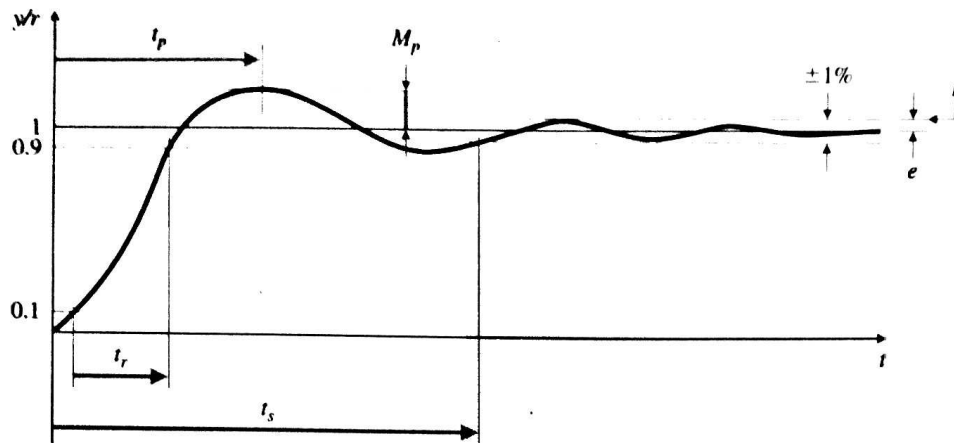
- Esta prova tem **05 questões** distribuídas em **09 páginas**.
- Cada questão deve ser resolvida, de forma organizada, no espaço indicado.
- Utilize a folha de almaço fornecida para rascunhos.
- Não destaque as folhas deste caderno.
- Não é permitida a consulta a qualquer material.
- Não é permitido o uso de calculadoras.
- A duração total da prova é de **120 minutos**.

Formulário

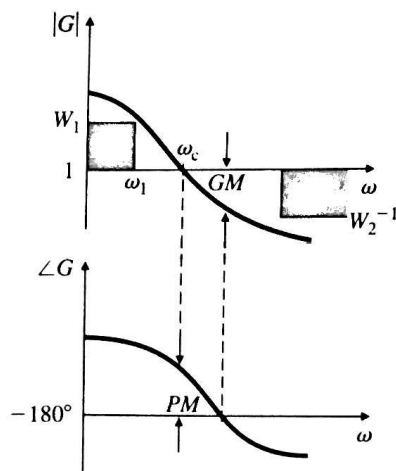
Ziegler–Nichols Tuning for the Regulator $D_c(s) = k_p(1 + 1/T_I s + T_D s)$, for a Decay Ratio of 0.25		Ziegler-Nichols Tuning for the Regulator $D_c(s) = k_p(1 + 1/T_I s + T_D s)$, Based on the Ultimate Sensitivity Method	
Type of Controller	Optimum Gain	Type of Controller	Optimum Gain
P	$k_p = 1/RL$	P	$k_p = 0.5K_u$
PI	$\begin{cases} k_p = 0.9/RL \\ T_I = L/0.3 \end{cases}$	PI	$\begin{cases} k_p = 0.45K_u \\ T_I = \frac{P_u}{1.2} \end{cases}$
PID	$\begin{cases} k_p = 1.2/RL \\ T_I = 2L \\ T_D = 0.5L \end{cases}$	PID	$\begin{cases} k_p = 1.6K_u \\ T_I = 0.5P_u \\ T_D = 0.125P_u \end{cases}$

Design Aids

Closed Loop



Open Loop



Design Relations

$$t_s = \frac{4.6}{\sigma} \quad t_r = \frac{1.8}{\omega_n}$$

$$\sigma = \zeta \omega_n \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_0}, \quad K_0 = |G(j\omega)|_{\omega=0}$$

$$|E| < \frac{1}{1 + W_1}, \quad \omega < \omega_1$$

$$\omega_{BW} = \omega_c \quad \text{for } PM = 90^\circ$$

$$\omega_{BW} = 2\omega_c \quad \text{for } PM = 45^\circ$$

$$M_r \cong \frac{1}{2 \sin(PM/2)}$$

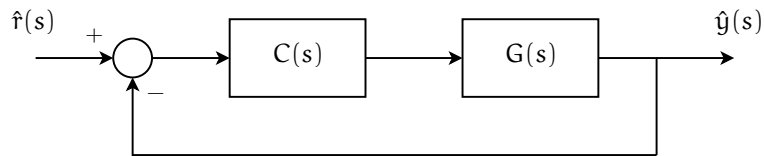
$$M_p = 5\%, \quad \zeta = 0.7$$

$$M_p = 15\%, \quad \zeta = 0.5$$

$$M_p = 35\%, \quad \zeta = 0.3$$

$$\zeta \cong \frac{PM}{100} \quad \text{for } PM < 70^\circ$$

► **Questão 1:** Considere o sistema de controle dado na figura abaixo



com $C(s) = k_P + \frac{k_I}{s}$ e $G(s) = \frac{1}{s+2}$.

- (a) **(0.5pt)** Qual é o tipo deste sistema? Determine a sua constante de erro associada.
- (b) **(1.0pt)** Deseja-se que o sistema em malha fechada satisfaça os seguintes requisitos:
- Máximo sobressinal **menor** do que 5%;
 - Tempo de estabilização **menor** do que 1 s

Usando os critérios para sistemas de segunda ordem, esboce a região de alocação desejada para os polos do sistema em malha fechada.

- (c) **(0.5pt)** Use o item anterior para determinar os parâmetros do controlador, k_P e k_I , para que os requisitos de projeto sejam atingidos.

Resolução:

► **Questão 2:** Deseja-se controlar uma planta com função de transferência dada por

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 4}.$$

Os requisitos de projeto são os seguintes:

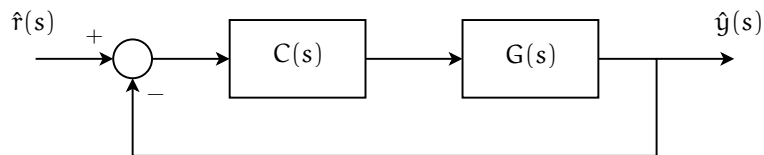
- Máximo sobressinal de, **no máximo**, 10%;
- Tempo de estabilização de, **no máximo**, 2 s.
- O sistema deve seguir um degrau unitário com **erro nulo** em regime permanente.

(a) **(0.5pt)** Indique se cada um dos requisitos acima é satisfeito ou não pela planta.

Resolução:

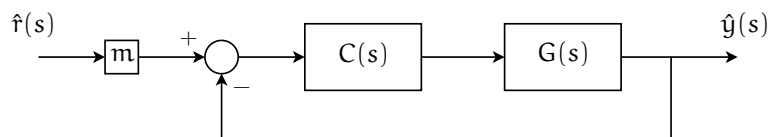
Para satisfazer todos os requisitos, você deve projetar controladores que verifiquem esses requisitos usando duas estratégias.

(b) **(1.0pt)** Para a malha de controle abaixo, projete um controlador $C(s)$ do tipo PID que satisfaça as condições acima. **Justifique** a verificação de cada um dos critérios estabelecidos pelo seu projeto.



Resolução:

- (c) **(1.0pt)** Para a malha de controle abaixo, projete um controlador $C(s)$ próprio que satisfaça as condições sobre o transitório dadas acima. Determine o ganho m do pré-filtro que verifica a condição sobre o regime permanente.

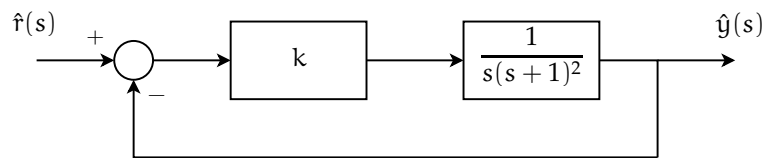


Resolução:

- (d) **(0.5pt)** Aponte uma vantagem da primeira abordagem com relação à segunda.

Resolução:

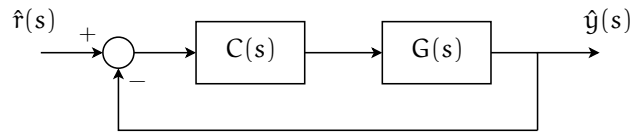
► **Questão 3:** Considere o sistema de controle dado na figura abaixo.



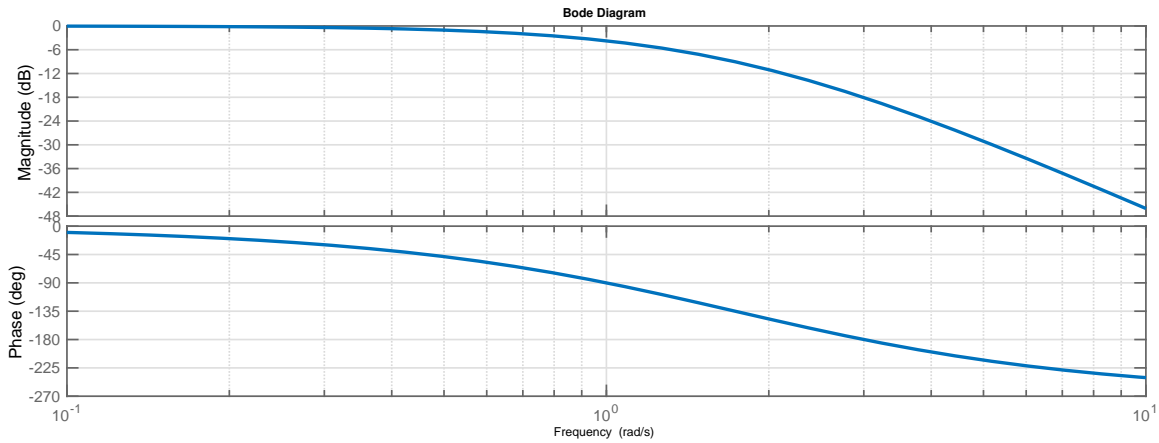
- (a) **(1.0pt)** Esboce o diagrama de Nyquist da função de transferência da Planta, indicando o(s) ponto(s) de cruzamento do diagrama com o eixo real.
- (b) **(1.0pt)** Use o diagrama para determinar o intervalo de valores de k para os quais o sistema em malha fechada é estável.

Resolução:

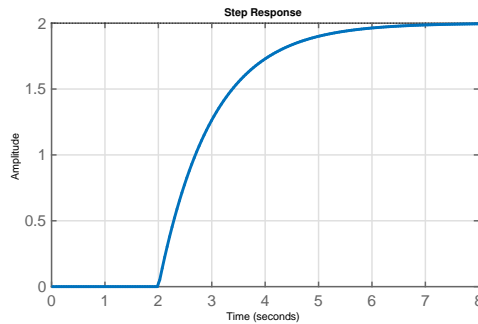
► **Questão 4: (1.5pt)** Considere o sistema de controle dado na figura abaixo e resolva **apenas um** dos itens a seguir.



- (a) Considere $G(s) = \frac{a^3}{(s+a)^3}$, $a > 0$, que tem diagramas de Bode dados na figura abaixo. Determine o intervalo de valores de $k > 0$ para os quais $C(s) = k$ garanta a estabilidade do sistema em malha fechada.



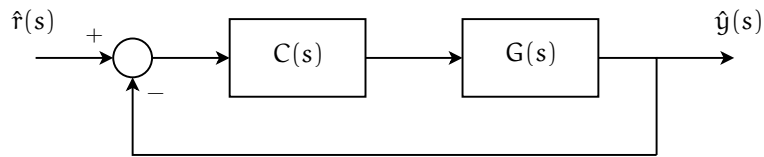
- (b) Sabendo-se que a planta $G(s)$ tem a resposta ao degrau unitário dada na figura abaixo, identifique-a, ou seja, determine $G(s)$. Use a tabela de Ziegler-Nichols para projetar um controlador PID $C(s)$ para esta planta.



Resolução do Item ____ :

► **Questão 5:** Considere o sistema de controle da figura abaixo, com

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



Deseja-se projetar um controlador $C(s)$ do tipo PID para esta planta usando-se as regras de Ziegler-Nichols baseadas na resposta em malha fechada.

- (a) **(0.7pt)** Para um controlador proporcional $C(s) = k$, use a Tabela de Routh para encontrar o intervalo de valores de $k > 0$ que torna a malha fechada estável.
- (b) **(0.8pt)** Use a tabela construída acima para determinar o ganho crítico k_c que torna a resposta ao impulso do sistema em malha fechada puramente oscilatória. Determine, também, o período de oscilação T_c .
- (c) **(0.5pt)** Com os dados obtidos acima, projete o controlador PID segundo a regra de Ziegler-Nichols.

Resolução: