

**PTC 3020 – Sistemas de Controle**  
**2ª PROVA – 2020**

Nome: \_\_\_\_\_ N ° USP: \_\_\_\_\_

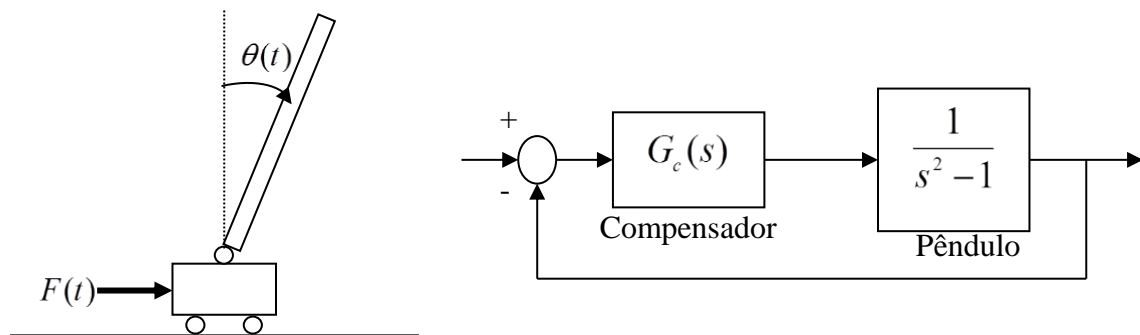
Instruções:

**INSTRUÇÕES**

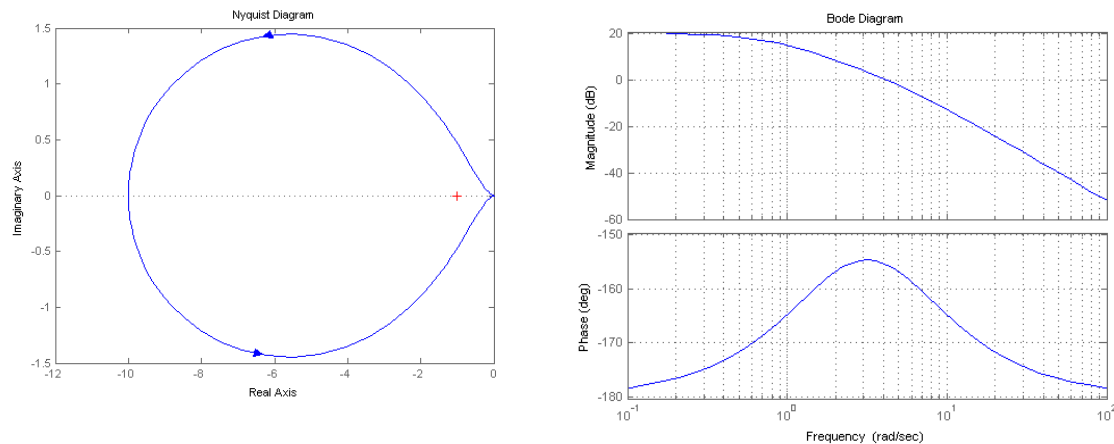
- Duração: 2h30min
- Consulta permitida apenas ao formulário em papel A4 próprio, devidamente identificado e que não contenha soluções de exercícios/problemas.
- Coloque nome e número em todas as folhas.
- Ao final da prova, entregue estas folhas de questões e o formulário de consulta.
- Apresente com clareza suas soluções para os problemas. Nunca deixe subentendido seu raciocínio.
- A calculadora poderá ser utilizada somente para a realização de contas.

**1a. QUESTÃO - Valor: 2,0**

Um projetista calculou um compensador para um sistema do tipo pêndulo invertido, cujo diagrama de blocos está representado abaixo.



A resposta em frequência do sistema em **malha aberta** ( $G_c(j\omega)G(j\omega)$ ) é dada pelos gráficos a seguir.



Sabe-se que o compensador  $G_C(s)$  tem os seus **polos e zeros no semiplano esquerdo aberto** (isto é, excluindo o eixo imaginário).

**a)** O sistema em **malha fechada** é estável? Justifique sua resposta. (Valor: 1,0)

**b)** Se a sua resposta no item **a)** foi “*SIM*”, quais os valores das margens de ganho e fase do sistema? Neste caso, supondo que se possa variar o ganho de malha aberta, é possível reduzi-lo sem destruir a estabilidade do sistema em malha fechada? Até que valor? Justifique.

Se a sua resposta no item **a)** foi “*NÃO*”, é possível estabilizar o sistema em malha fechada ajustando adequadamente o ganho de malha aberta? Caso seja, forneça pelo menos um valor do ganho para isso. Justifique. (Valor: 1,0)



**2a. QUESTÃO - Valor: 2,0**

Um determinado sistema de controle possui a seguinte função de transferência de malha aberta:

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

Considerando-se realimentação unitária, pretende-se construir um compensador tipo PD dado pela seguinte função de transferência.

$$G_c(s) = K_p(1 + T_d s)$$

Para tanto, pede-se:

- a) Desenhe o lugar das raízes e determine os valores de  $T_d$  de modo que a resposta do sistema ao degrau na referência seja sempre amortecida para  $\forall K_p > 0$ . **(Valor: 1,0)**
- b) Supondo  $T_d = 1$  determine o valor de  $K_p$  tal que a resposta ao degrau unitário tenha um tempo de subida de  $t_r = 1$  s. **(Valor: 1,0)**

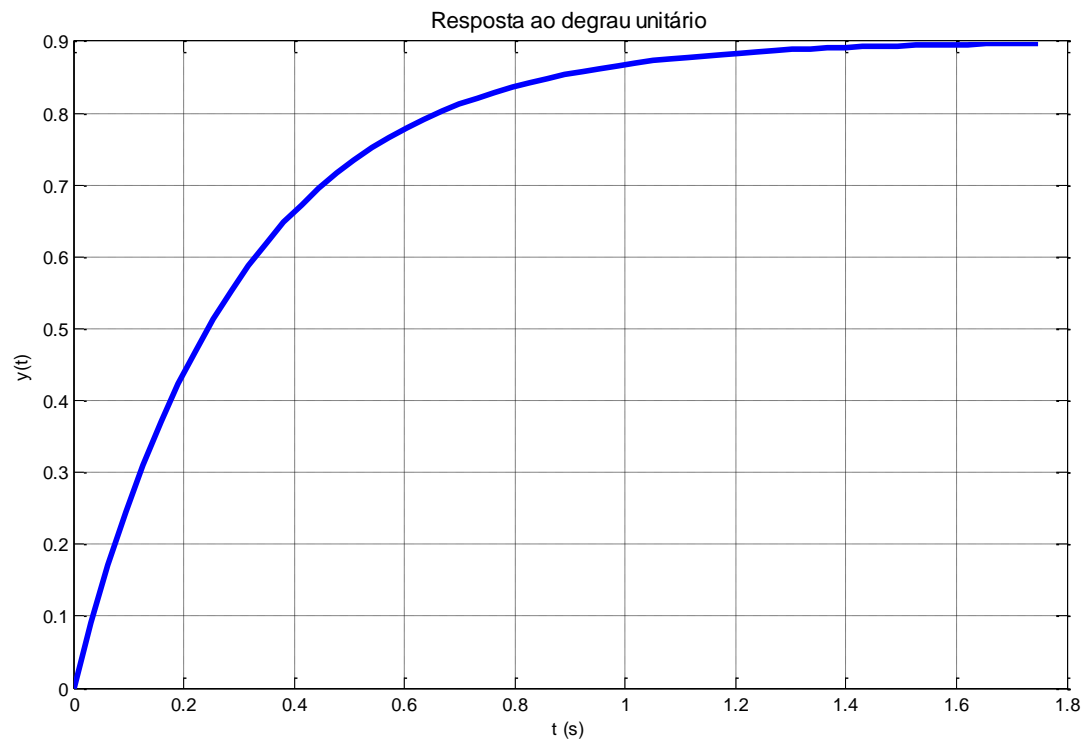


**3a. QUESTÃO - Valor: 2,0**

Considere um servomecanismo com a seguinte função de transferência em malha aberta.

$$G_t(s) = \frac{KK_t}{Ts + 1} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

A resposta do sistema a um degrau unitário é apresentada no gráfico a seguir.



Pedem-se:

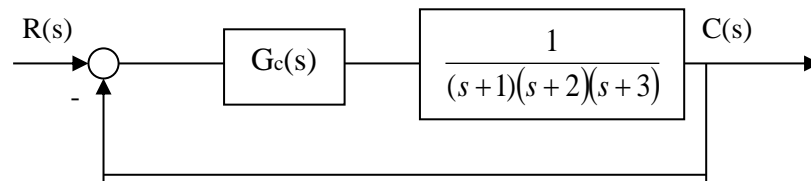
- Os valores de  $KK_t$  e de  $T$ . (**Valor: 0,5**)
- Projete um compensador PI (para controle de velocidade) tal que o pólo em malha aberta seja cancelado e escolha um ganho para o compensador tal que a constante de tempo do sistema em malha fechada seja igual a 0,2s. Considere realimentação unitária. (**Valor: 1,5**)



**4a. QUESTÃO - Valor: 1,5**

Considere o sistema abaixo para o qual se utiliza um controlador tipo PID. A função de transferência do controlador é dada por:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$



Uma das maneiras de se ajustar os parâmetros do controlador PID (quando o modelo da planta não é bem conhecido) é através de um dos métodos de Ziegler-Nichols, descrito a seguir:

**Segundo método (ensaio em malha**

**fechada):** com o sistema em malha fechada e utilizando inicialmente um controlador proporcional, aumentar continuamente o ganho proporcional até que surja uma oscilação sustentada. Sejam, então,  $K_{cr}$  o valor do ganho nessa situação e  $P_{cr}$  o período da oscilação verificada. O ajuste dos parâmetros do controlador é obtido através da tabela ao lado.

	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$0.5 K_{cr}$		
PI	$0.45 K_{cr}$	$P_{cr} / 1.2$	
PID	$0.6 K_{cr}$	$P_{cr} / 2$	$P_{cr} / 8$

Determine através do método anteriormente descrito os valores apropriados para  $K_P$ ,  $T_I$  e  $T_D$ .  
(Valor: 1,5)





**5a. QUESTÃO - Valor: 3,0**

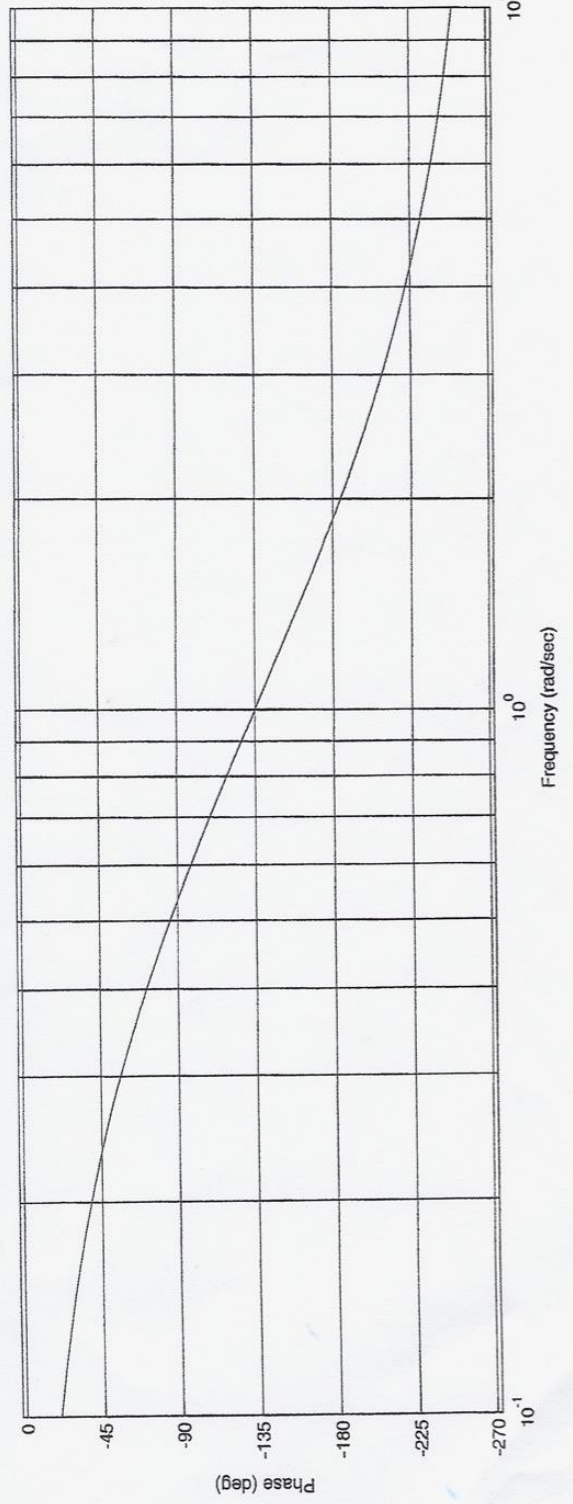
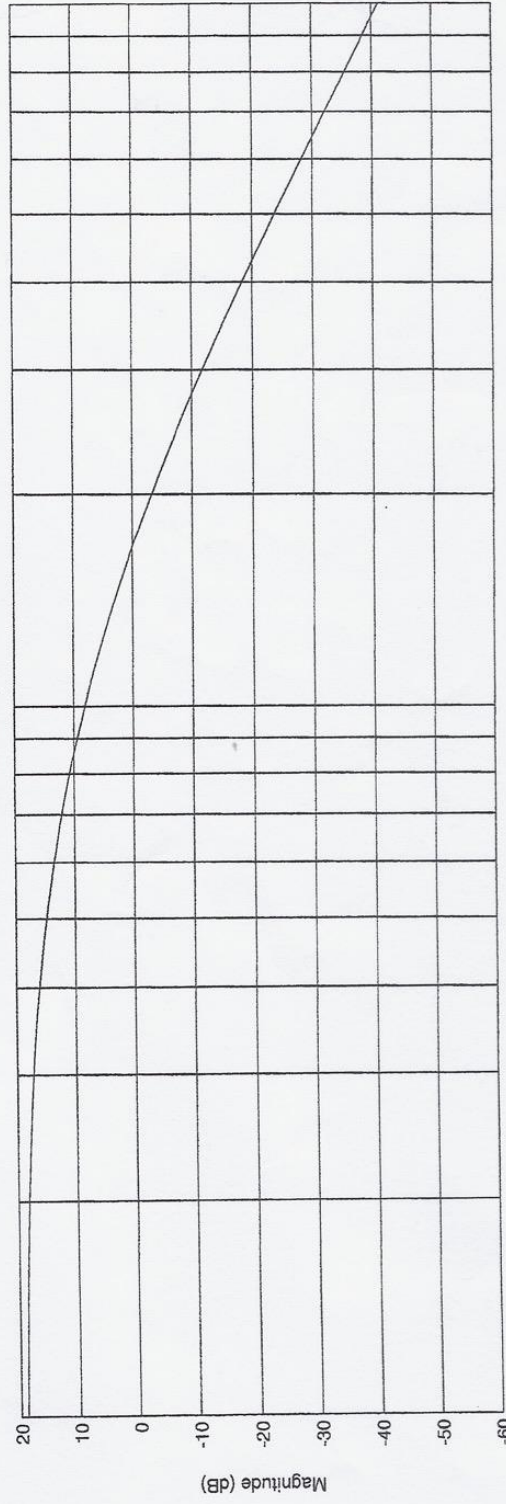
Um determinado sistema de controle possui a seguinte função de transferência de malha aberta:

$$G(s) = \frac{k}{(2s + 1)(s + 1)(0.5s + 1)}$$

Considerando-se realimentação unitária, pretende-se construir um compensador por avanço de fase tal que a constante de erro de posição estático seja  $k_p = 9$ , e a margem de fase (MF) seja igual a  $25^\circ$ . Para tanto, pede-se:

- a) O valor de  $k$ . **(Valor: 0,5)**
- b) Qual o controlador mais indicado para o sistema se, além das especificações apresentadas, o projetista estiver preocupado com eventual ruído de alta frequência? Justifique sua resposta. **(Valor: 0,5)**
- c) O diagrama de Bode considerando o valor de  $k$  do item anterior é apresentado na figura a seguir. Calcule a margem de fase e projete o compensador proposto indicando e justificando claramente os valores calculados. Considere como margem de segurança para o projeto um valor de fase adicional de  $5^\circ$ . **(Valor: 1,5)**

Sistema sem compensação





- d) Calcule, a partir da figura do sistema compensado, as novas MF e MG do sistema e comente os resultados. As margens devem ser indicadas na figura e seus valores apresentados com os respectivos sinais. (**Valor: 0,5**)

Sistema Compensado

