PTC3313 - Sistemas de Controle - Prova 2

Profs. Diego e Fuad - Segundo Semestre de 2020

INSTRUÇÕES

- Duração: 3h
- 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.
- Apresente com clareza suas soluções para os problemas. Nunca deixe subentendido seu raciocínio. Respostas sem justificativas não serão consideradas.
- Um arquivo único, contendo as soluções das questões propostas e o formulário utilizado, deverá ser entregue. Os nomes dos arquivos das provas digitalizadas deverão conter somente o nome completo do aluno. Ex.: Diego Colón.pdf ou Fuad Kassab Junior.jpg

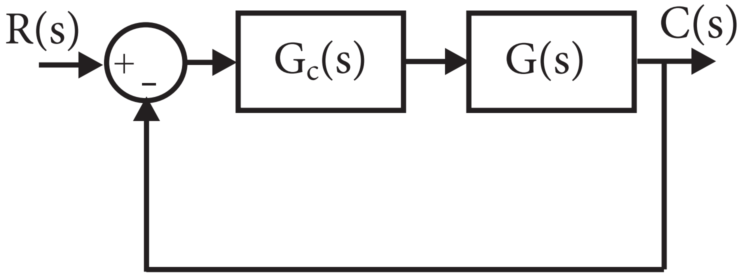

Figura 1: Diagrama de Blocos do Sistema em Malha Fechada

Questão 1 (4.0 pontos)

Dado um sistema em malha fechada como na Figura 1, um engenheiro precisa projetar um controlador $G_c(s)$ para a planta:

$$G(s) = \frac{2s+1}{s^2(\frac{1}{2}s+1)(\frac{9}{10}s-1)}$$

cujo diagrama de Nyquist é mostrado na Figura 2.

1. Analise a estabilidade do sistema em malha fechada para $G_c(s) \equiv 1$ usando o critério de Nyquist (0.75 ponto)

2. Determine os polos de malha fechada do item anterior ? (0.75 ponto)

3. Analise a estabilidade, pelo critério de Nyquist, para um controlador proporcional $G_c(s) = K$, para $K > 0$ (1.50 ponto) Dica: analise a fase de $G(s)G_c(s)$ para $\omega \to \infty$ como auxiliar a prova.

4. **Bonus**: Após muito "quebrar a cabeça", o engenheiro encontrou um controlador que é um duplo avanço de fase, cuja função de transferência é:

$$G_c(s) = \frac{26.184(s + 0.1279)(s + 1.425)}{(s + 5.761)(s + 4.638)}$$

e cujo diagrama de Nyquist de $G(s)G_c(s)$ é mostrado na Figura 3 (somente a parte próxima da origem é mostrada). Mostre, usando o critério de Nyquist, que este controlador estabiliza o sistema em malha fechada. (1.00 ponto) Dica: complete o diagrama de Nyquist

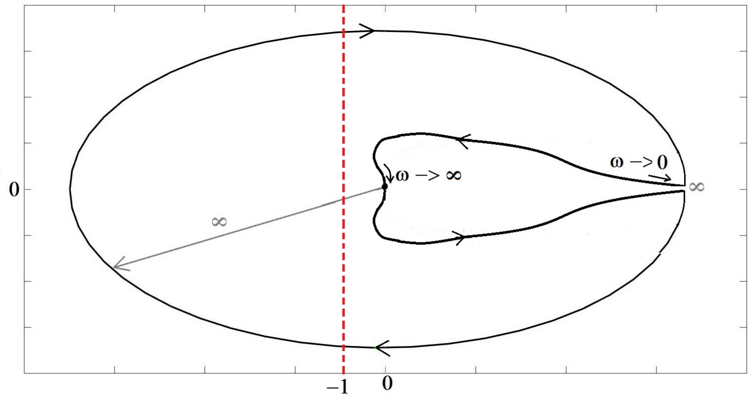

Figura 2: Diagrama de Nyquist da Planta $G(s)$

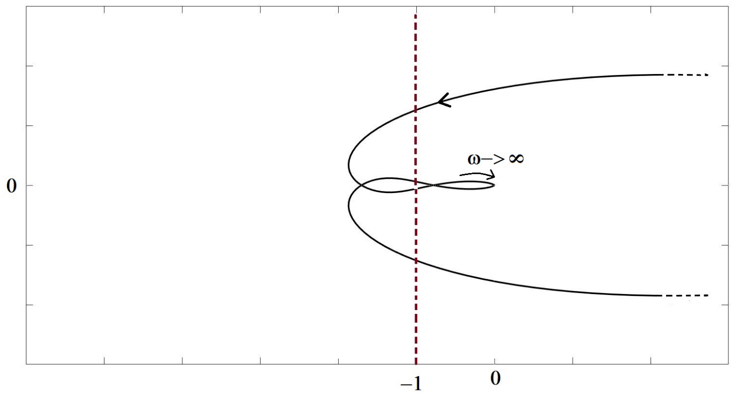

Figura 3: Diagrama de Nyquist de $G(s)G_c(s)$ para o item 4

Questão 2 (4,0 pontos)

Um avião de combate possui uma função de transferência entre o ângulo de deflexão do profundor δ (em radianos) e a velocidade de arfagem q (em radianos por segundo) dada por:

$$G_p(s) = \frac{q(s)}{\delta(s)} = \frac{-10(s + 1)(s + 0.02)}{(s^2 + 2s + 2)(s^2 + 0.03s + 0.01)}$$

O atuador, cuja entrada é $u(t)$, tem função de transferência:

$$G_a(s) = \frac{\delta(s)}{u(s)} = \frac{-15}{s+15}$$

O diagrama de Bode de $G(s) = G_p(s)G_a(s)$ é apresentado na Figura 4, tal que a margem de ganho é igual a 4.7dB na frequência $\omega_1 = 4.13\,\text{rad/s}$ e a margem de fase é de 8.93^o na frequência $\omega_2 = 3.17\,\text{rad/s}$. Um engenheiro aeronáutico deseja projetar um compensador $G_c(s)$ em serie com $G_p(s)G_a(s)$ e utilizar realimentação unitária tal como na Figura 1. Ajude ele no projeto:

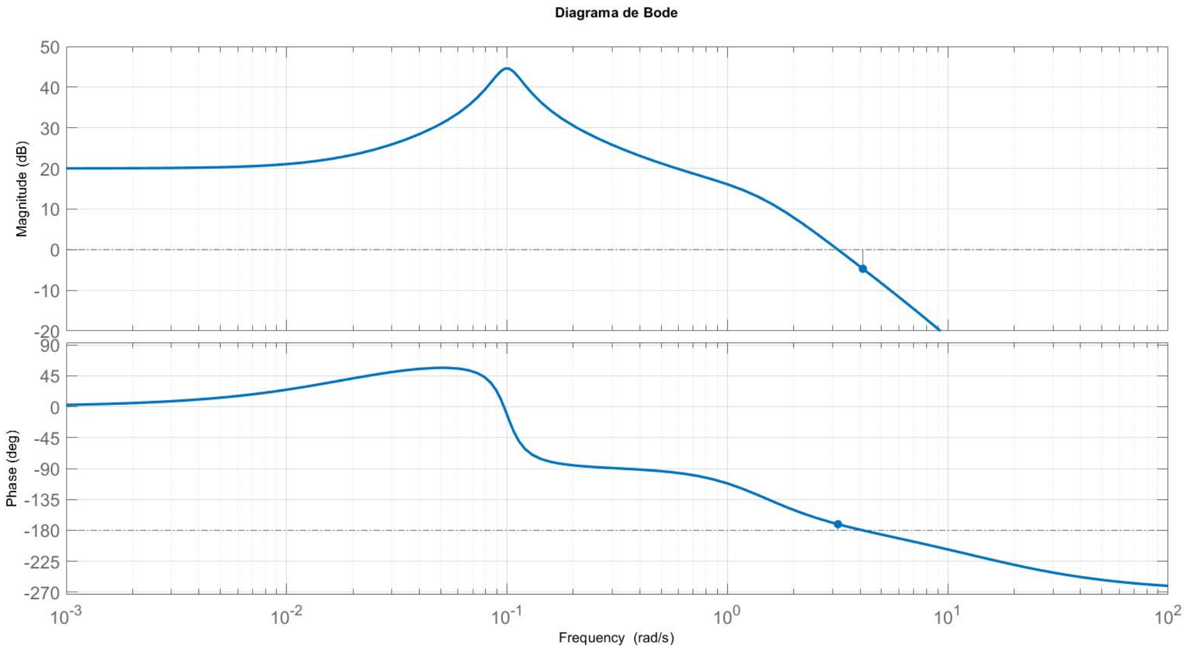

Figura 4: Diagrama de Bode de $G(s) = G_p(s)G_a(s)$

1. Como primeira tentativa, ele usou um compensador $G_c(s) \equiv 1$. Calcule o erro estacionário da resposta ao degrau em malha fechada para este caso. (1,0 ponto)

2. O engenheiro aeronáutico ficou satisfeito com o erro estacionário do item anterior, mas não com a margem de fase, que ele gostaria que fosse aproximadamente 40^o. Projete um novo compensador $G_c(s)$ de avanço de fase usando uma margem de segurança de 8^o. (1.75 pontos)

3. O diagrama de Bode em malha aberta do sistema compensado ficou como apresentado na Figura 5. Determine a margem de ganho e a margem e comente (0.5 ponto)

4. Por fim, foi determinado um compensador final $G_c(s)$ que resultou em uma margem de fase de 40^o e garantiu o erro estacionário do primeiro item. A resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada é apresentada na Figura 6. O engenheiro aeronáutico gostaria de saber se o sistema em malha fechada ficou aproximadamente de segunda ordem subamortecido. Mostre se esse é o caso ou não, justificando (0.75 ponto).

Questão 3 (3,0 pontos)

Dado um sistema em malha fechada como na Figura 1, onde a planta tem a função de transferência:

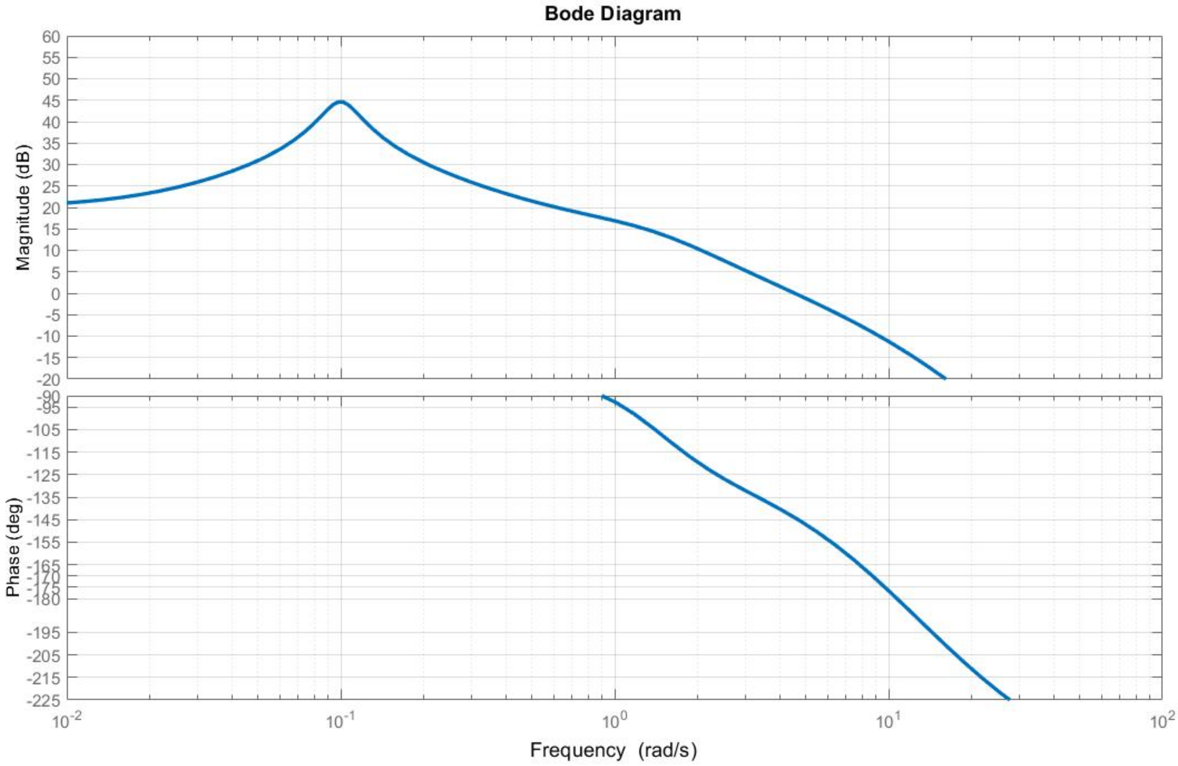

Figura 5: Diagrama de Bode do primeiro sistema compensado

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 70s + 600}$$

pretende-se projetar um compensador PID para o sistema de forma a garantir as seguintes especificações para o sistema em malha fechada:

1. Erro estacionário nulo (para uma entrada degrau unitário);
2. Cancelamento dos polos de malha aberta do sistema e imposição de uma constante de tempo de 2.0 segundos.

Considerando $G_c(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$, determine os valores de K_p, T_i e T_d que satisfaçam tais especificações.

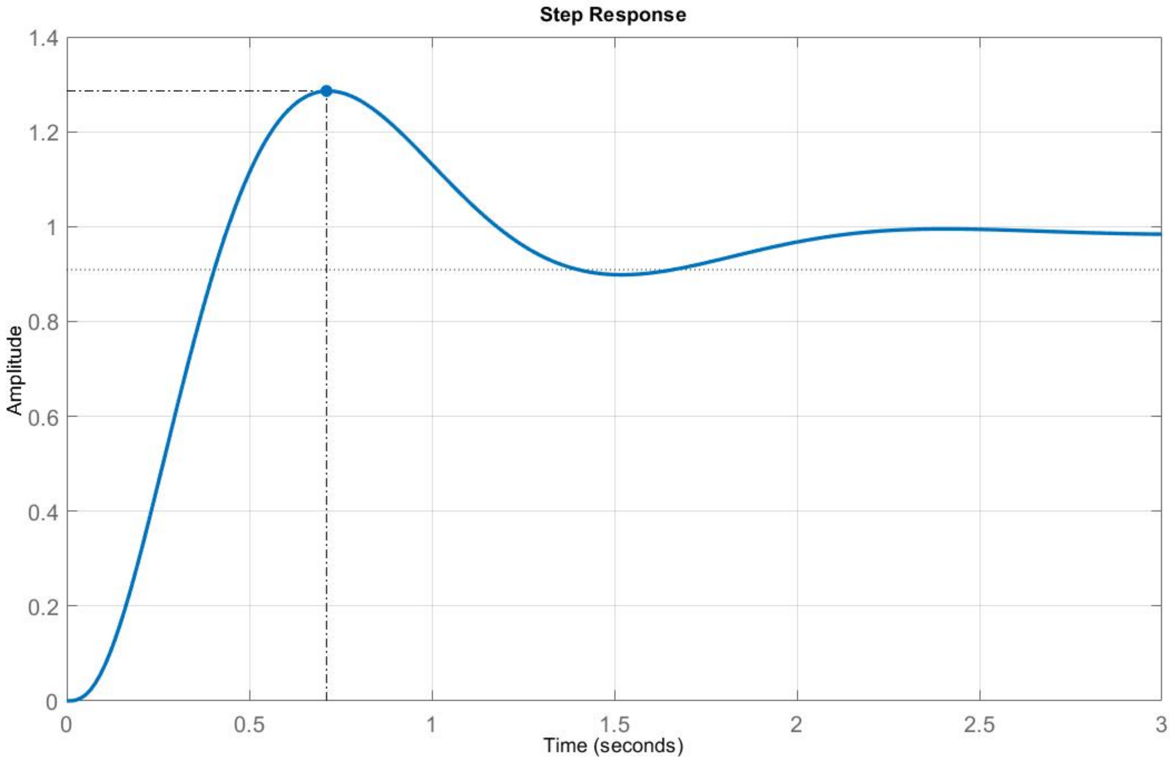

Figura 6: Resposta ao degrau do sistema final