

**PTC 3313– Sistemas de Controle**  
**2ª PROVA – 2021**

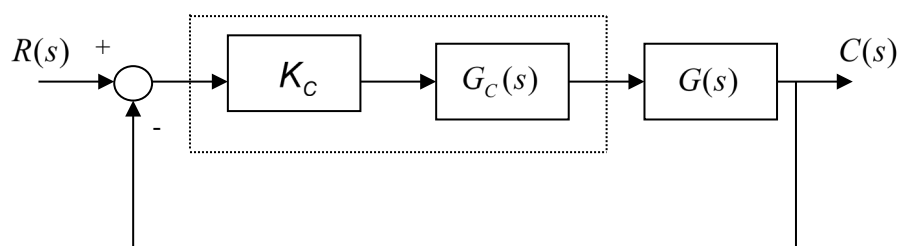
Nome: \_\_\_\_\_ N ° USP: \_\_\_\_\_

**INSTRUÇÕES**

- Duração: 3h
- Consulta permitida apenas à apostila.
- Não é permitido uso do MATLAB (ou similares)
- 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 pdf, contendo as soluções das questões propostas, 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.pdf**

**1ª questão: (Valor 5,0)**

Considere o sistema da figura abaixo



onde,

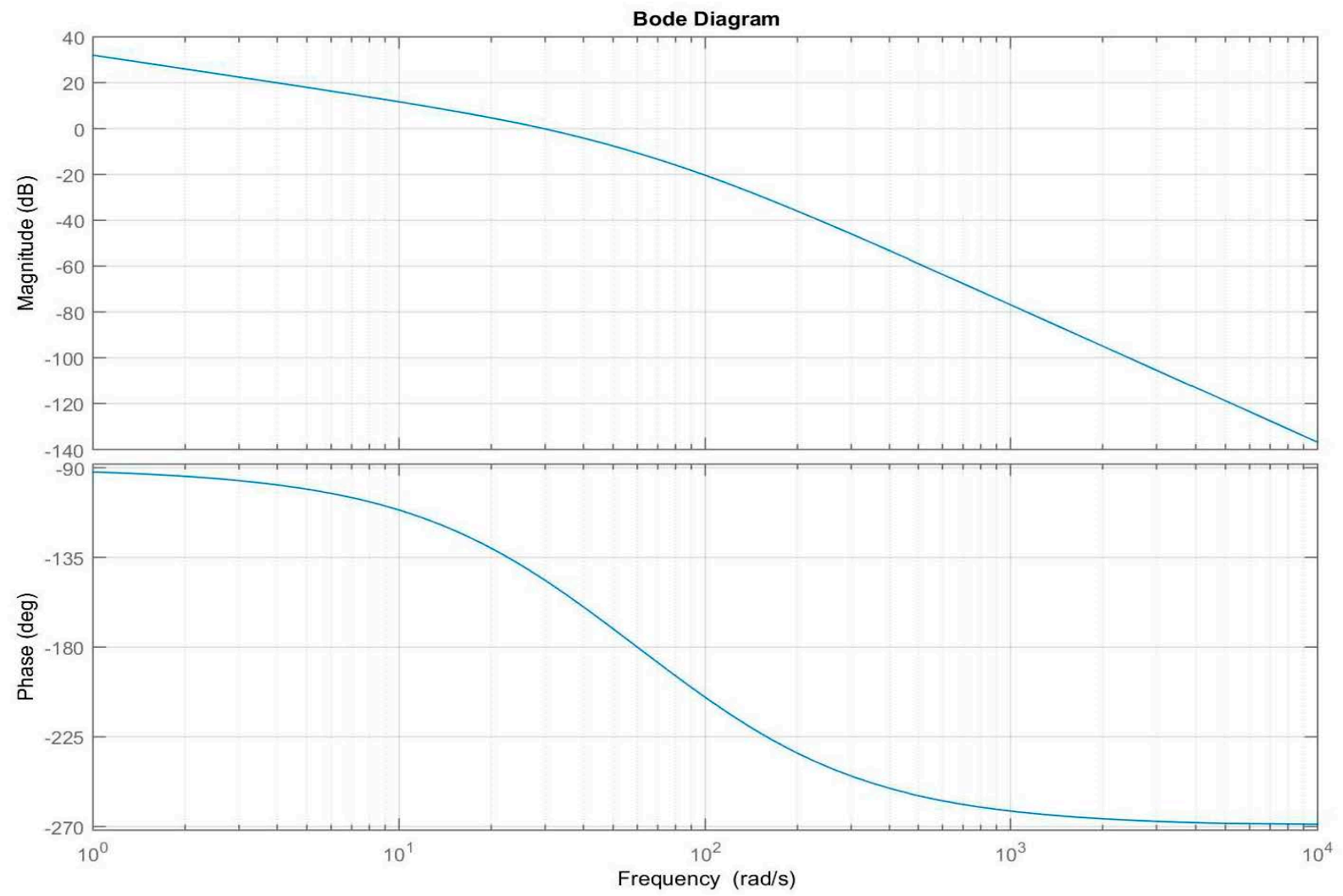
$$G_C(s) = 1, \quad G(s) = \frac{100}{s(s+100)(s+36)} \quad \text{e} \quad K_C > 0.$$

Pede-se:

- a) A função de transferência de malha fechada (FTMF) do sistema. **(Valor 0,5)**
- b) Os valores de  $K_C$  para os quais o sistema em malha fechada é estável. **(Valor 0,5)**
- c) Determine o valor de  $K_C$  tal que  $K_v = 40$ , onde  $K_v$  é o coeficiente de erro de velocidade estacionário. **(Valor 0,5)**
- d) O Diagrama de Bode para o valor de  $K_C$  determinado anteriormente no item c) é apresentado na figura seguinte. Estime, a partir da figura, as margens de fase e ganho do sistema indicando claramente seus valores e frequências associadas. **(Valor 0,5)**

- e) Considerando agora os valores obtidos no item d), projete dois compensadores  $G_c(s)$  para o sistema a partir das seguintes especificações:
- Compensador por avanço de fase com margem de fase desejada de, no mínimo,  $50.5^\circ$  e margem de segurança de  $10^\circ$ ; **(Valor 1,5)**
  - Compensador por atraso de fase com margem de fase desejada de, no mínimo,  $60^\circ$  e margem de segurança de  $9^\circ$ . O zero do compensador deverá estar a uma década da frequência estimada de 0 dB. **(Valor 1,5)**

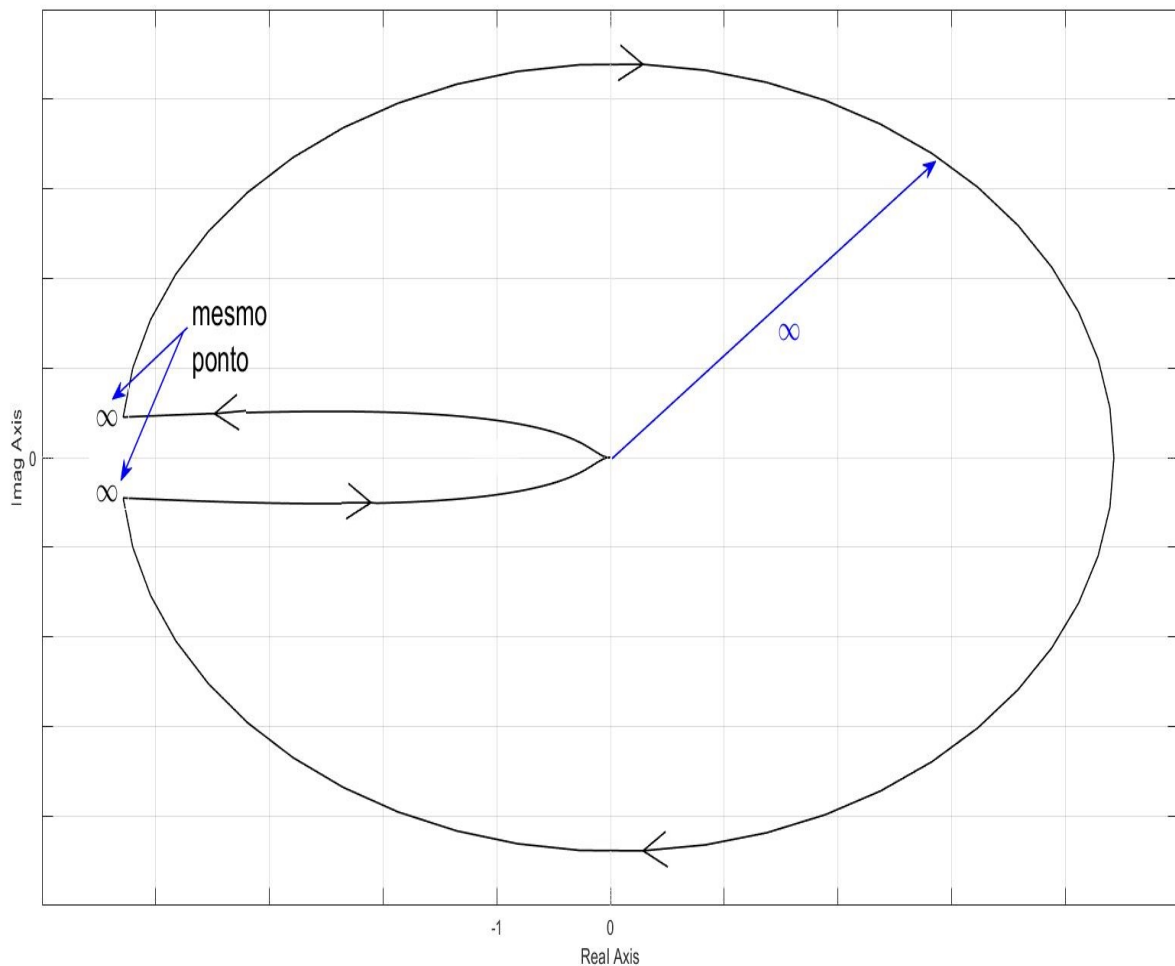
**Observação:** A solução pode ser feita de duas formas. Analiticamente, com todas os passos explicitados, ou graficamente, indicando no gráfico os pontos relevantes.



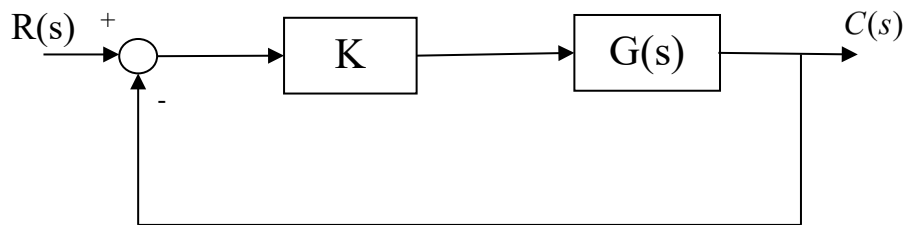
**2ª questão: (Valor 3,0)**

Um engenheiro pediu para seu estagiário encontrar um modelo para uma planta  $G(s)$  e “plotar” o diagrama de Nyquist desta planta. O estagiário, usando um gerador de funções, aplicou várias senóides com diferentes frequências (com mesmas amplitude e fase) na entrada, coletou as respectivas saídas e construiu os diagramas de Bode. Ele reportou que quando aplicou uma senoide de frequência de 6.03 rad/s, a senoide na saída da planta apresentava uma defasagem de 180 graus e ganho de 0.01688 (não está em decibéis). Sabe-se que esta planta é de fase mínima e que tem mais polos do que zeros.

O estagiário construiu o diagrama de Nyquist da figura abaixo baseado nestes dados. O gerador de funções utilizado pelo estagiário não gerava frequências acima de 10 rad/s, de modo esta é a frequência máxima plotada no Nyquist.

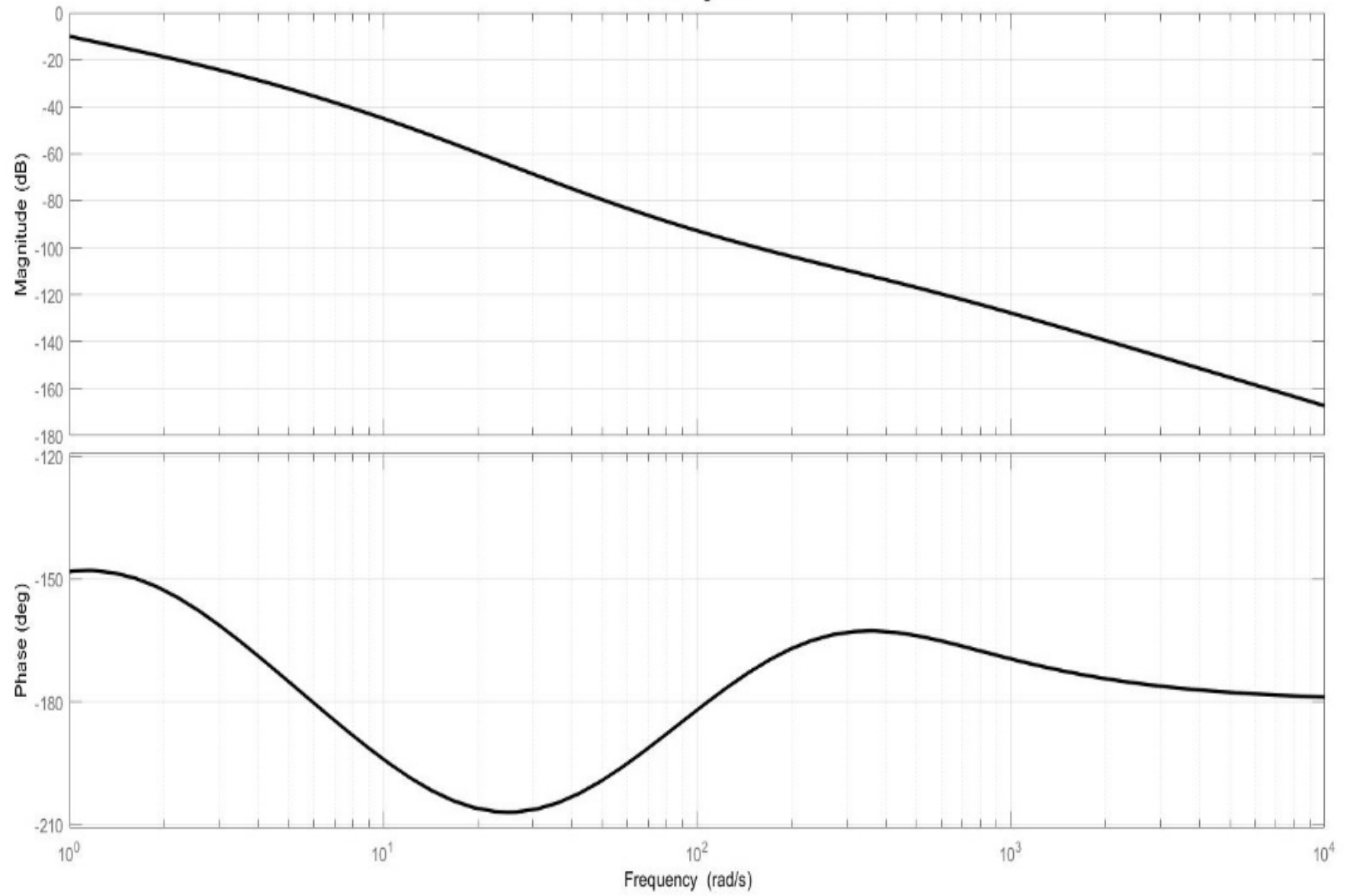


O engenheiro deseja projetar um controlador proporcional em malha fechada para tal planta  $G(s)$  como na figura abaixo.



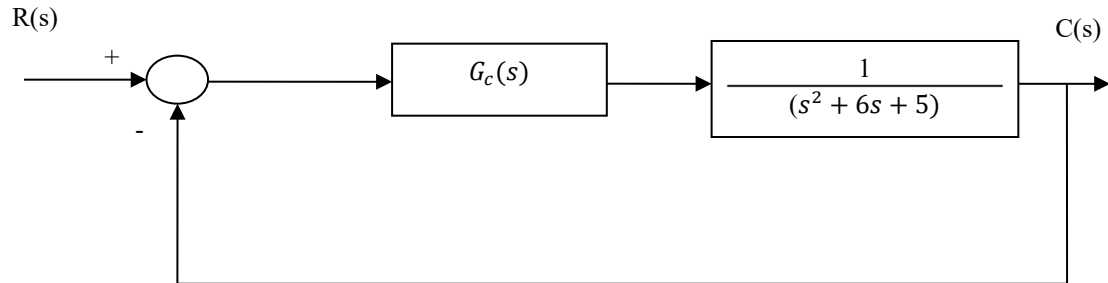
- a) Se o engenheiro usar simplesmente o controlador  $K=1$ , o sistema em malha fechada será ou não estável? **(Valor 1,00)**
- b) O engenheiro gostaria que o erro estacionário à rampa fosse zero. Será que com um controlador proporcional, este requisito seria atingido? **(Valor 0,5)**
- c) O tempo de acomodação para a resposta ao degrau unitário deste sistema em malha fechada (ou seja, com  $K=1$ ) ficou por volta de 45 segundos, o que o engenheiro considerou muito alto. Baseado nas informações do estagiário, o engenheiro concluiu que pode aumentar o valor de  $K$  até um certo  $K_1$ . Por que o engenheiro está certo (justifique usando critério de estabilidade de Nyquist)? Qual o valor de  $K_1$  (não dê o valor em decibéis aqui)? **(Valor 0,75)**
- d) Outro estagiário trouxe um gerador de funções capaz de gerar senóides com as mesmas amplitude e fase, porém poderia aumentar a frequência até 10000 rad/s. Ele construiu os diagramas de Bode para a planta apresentados na figura abaixo. Após analisar estes diagramas, o engenheiro concluiu que haveria mais uma faixa de valores de  $K$ , muito maiores que  $K_1$ , que ele poderia utilizar. Esta conclusão é verdadeira (use critério de estabilidade de Nyquist)? Se for, qual é o menor ganho  $K_2$  desta faixa (em decibéis)? **(Valor 0,75)**

Bode Diagram



**3ª questão: (Valor 2,0)**

Considere o sistema da figura seguinte.



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

- erro estacionário nulo (para uma entrada degrau unitário);
- $M_p = 1.516\%$ ; e,
- Cancelamento do polo mais lento do sistema.

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