

**PME 3481 – Controle e Aplicações – Prova P1 – 30 de abril de 2025 – Duração: 100 minutos**

É vedado o uso de calculadoras, computadores, tablets e quaisquer outros dispositivos com conexão WiFi ou Bluetooth.

Questão 1 (3,5 pontos). Um engenheiro precisa orientar a troca do controlador PID existente em um processo industrial que tem comportamento estável em malha aberta. Visando minimizar o tempo necessário para a sintonia do novo dispositivo, logo após sua instalação ele realiza uma série de ensaios avaliando a resposta do sistema a um impulso para diversos valores de um dos ganhos K . O gráfico da Fig. 1a mostra os dois últimos ensaios conduzidos pelo engenheiro. Após avaliá-los, ele concluiu que estes dois ensaios eram suficientes para aproximar os parâmetros necessários para a sintonia do controlador utilizando um dos métodos de Ziegler-Nichols.

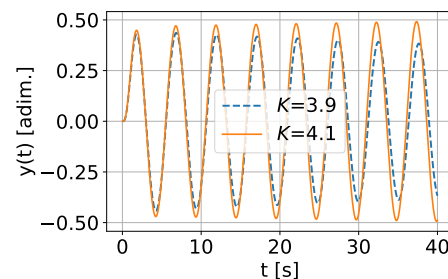
a) (0,5) Qual método de sintonia o engenheiro está utilizando e que características do sistema viabilizam sua utilização? Os ensaios são realizados em malha aberta ou em malha fechada?

b) (0,5) O que é o ganho K ? Durante os ensaios, em que valores devem ser mantidos os demais parâmetros do controlador?

c) (1,0) A partir dos ensaios da Fig. 1a, estime valores dos parâmetros necessários para a sintonia do controlador PID. O que representam estes parâmetros?

d) (0,5) Escreva as funções de transferência de controladores PI e PID sintonizados com base nos parâmetros estimados no item anterior. Utilize a tabela da Fig. 1b para a sintonia.

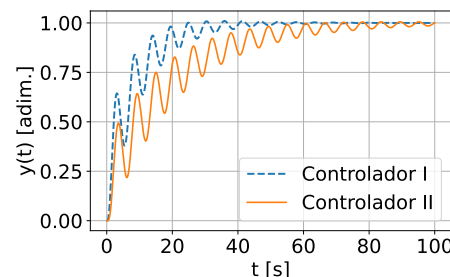
e) (1,0) Após a sintonia os controladores, o engenheiro decide verificar o comportamento do sistema em malha fechada realizando ensaios de resposta a degrau e obtendo os resultados indicados na Fig. 1c. Faça a correspondência identificando qual controlador (I ou II) corresponde a cada sintonia (PI ou PID), justificando sua resposta.



(a) Ensaios para sintonia do controlador

$G_c(s)$	K_c	T_i	T_d
PI	$0.45 K_u$	$\frac{P_u}{1.2}$	–
PID	$0.6 K_u$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8}$

(b) Tabela de sintonia do controlador



(c) Resposta a degrau do sistema em MF

Figura 1

Questão 2 (3,5 pontos). A função de transferência $G(s)$ representa uma planta de ordem 3 e tipo 0, com $G(0) = \frac{1}{8}$, que participa do canal direto de um sistema em malha fechada com realimentação unitária. A Fig. 2 ao lado mostra uma parte do diagrama do lugar das raízes para $G(s)$ destacando um trecho de um dos ramos (em linha contínua) e as três assíntotas (em linha tracejada).

a) (0,5) Sabendo que também há um controlador $G_c(s)$ no canal direto da malha fechada descrita, desenhe o diagrama de blocos correspondente.

b) (1,0) A partir das informações fornecidas no enunciado e na Fig. 2, obtenha a expressão de $G(s)$. Note que as assíntotas do lugar das raízes se interceptam no ponto $s = \bar{\sigma}$ com:

$$\bar{\sigma} = \frac{\text{somatória dos polos} - \text{somatória dos zeros}}{\text{número de polos} - \text{número de zeros}}$$

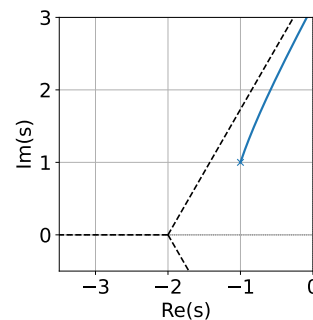


Figura 2

c) (1,0) Utilizando um controlador proporcional K no canal direto, determine o valor de K para o qual o lugar das raízes cruza o eixo imaginário.

d) (1,0) Com base nas informações obtidas na resolução dos itens acima, faça um esboço do lugar das raízes que mostre um trecho de cada um dos 3 ramos do diagrama, incluindo os pontos correspondentes de cruzamento com o eixo imaginário (indicando explicitamente os valores das ordenadas destes pontos).



Questão 3 (1,0 ponto). Considere o mesmo sistema descrito na questão anterior. A Fig. 3 mostra a resposta em malha fechada a uma entrada em degrau unitário em duas situações:

- linha tracejada – apenas ganho proporcional;
- linha cheia – sistema com ganho proporcional e um compensador de avanço-atraso no canal direto.

Comparando estes dois cenários indique uma característica que permita identificar o efeito do “compensador de avanço” e uma característica que permita identificar o efeito do “compensador de atraso” presentes no projeto do compensador de avanço-atraso usado no caso (ii).

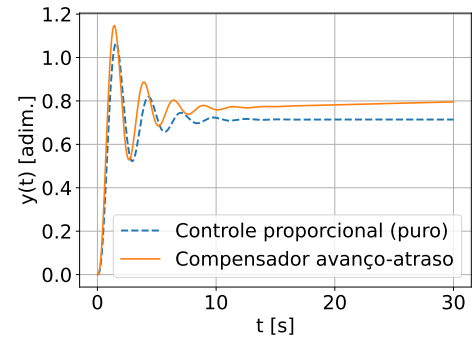


Figura 3

Questão 4 (2,0 pontos). Considere um sistema SISO operando em malha fechada com realimentação unitária e um canal direto constituído pela associação em série entre as funções $G_c(s)$ e $G_p(s)$ que representam, respectivamente, as funções de transferência de um compensador e da planta. A Fig. 4 mostra os diagramas de Bode do compensador $G_c(s)$, da planta $G_p(s)$ e do sistema em malha aberta $L(s)$, não necessariamente nesta ordem.

- a) (0,5) Faça a correspondência entre os Diagramas I, II e III da Fig. 4 e as funções de transferência $G_c(s)$, $G_p(s)$ e $L(s)$.
b) (0,5) Qual a natureza (tipo) do compensador? Justifique sua resposta.
c) (1,0) Estimar, a partir dos diagramas fornecidos, as margens de ganho e de fase do sistema com e sem o compensador.

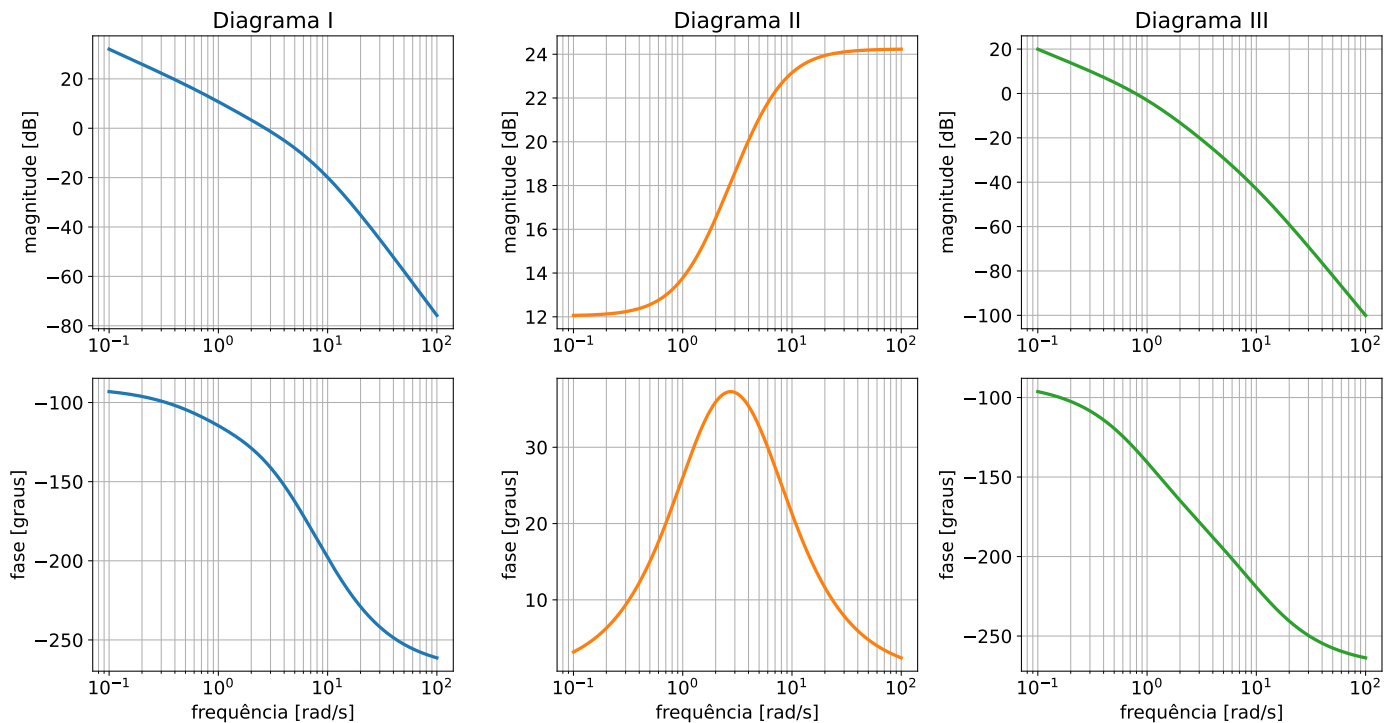


Figura 4