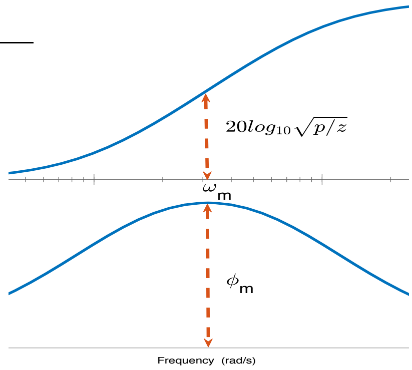
ENE/FT/UnB

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília
Prof, Adolfo Bauchspiess

Prova individual, sem consulta,
Só é permitido/necessário calculadora "simples",
(operações com números complexos)
Sala AT-15, 26/06/2017, 15^{30}-18^{30}

Nome:____ Matrícula: _______________



3ª PROVA – CONTROLE DINÂMICO - 1°/2017

1:9 (a=1:3;b=1:3)

$Mason: \dfrac{Y(s)}{U(s)} = \dfrac{\Sigma P_i \Delta_i}{\Delta}$

$P_i - i^{th}$ *caminho direto,* $u \rightarrow y$

$L_j - j^{th}$ *laço*

$\Delta = 1 - L_1 - L_2 \ldots + L_i L_j + \ldots$

$\Delta_i = \Delta - (laços\ que\ tocam\ P_i)$

$|sI - A + BK| = \tilde{a}(s)$

$|sI - A + LC| = \Delta(s)$

$|sI - A_a + B_a K_a| = \tilde{a}_a(s)$

$\begin{bmatrix} B & AB & \cdots & A^{n-1}B \end{bmatrix}$

$u = -Kx$

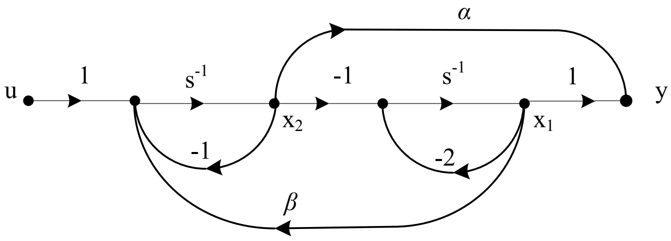
$\begin{bmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{p}{z} = \frac{1 + sen\phi_m}{1 - sen\phi_m} \rightarrow fator\ de\ avanço$$

$$\phi_m \rightarrow avanço\ máximo\ em\ \omega_m = \sqrt{pz} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}T}$$

$$D(s) = K\frac{Ts+1}{\alpha Ts + 1} = K'\frac{s+z}{s+p}$$

1ª Questão: (2,0) Considere o sistema representado pelo seguinte fluxografo:



a) (0,5) Para que condições relacionando α e β este sistema não é completamente controlável?
b) (0,5) Para que condições relacionando α e β este sistema não é completamente observável?
c) (1,0) Para a condição de ordem reduzida, assumindo $\alpha = 1$, qual a função de transferência $Y(s)/U(s)$?

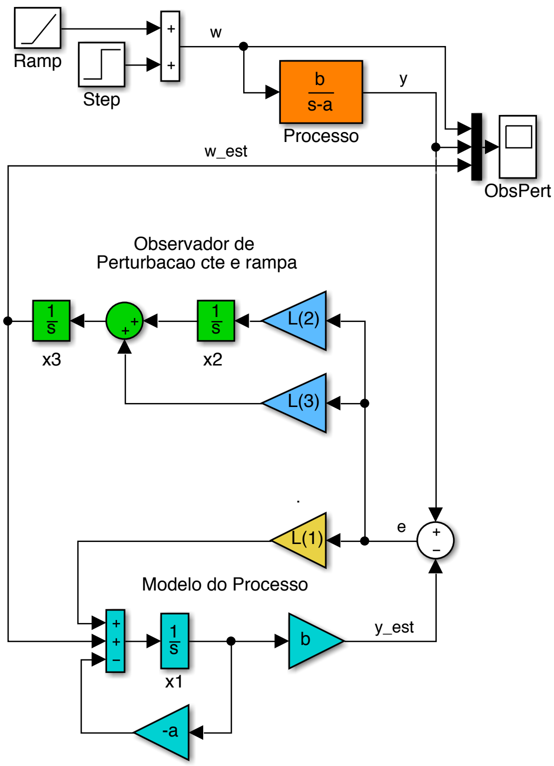
2ª Questão: (2,0) Assinale V ou F. Caso considere um item falso, comente cada um dos aspectos incorretos.

a) (0,5) Um modelo dinâmico com polos em $\pm j\omega_0$ permite reconstruir sinais A.sen(ω_0t+ϕ). Assim, perturbações senoidais abritrárias, com A, ω_0 e ϕ valores inteiros, podem ser completamente rejeitadas como o uso de um observador de perturbações senoidais alimentado pelo erro (r - y).
b) (0,5) A inclusão de um observador de perturbações senoidais afeta a capacidade de rejeição de perturbações constantes. Isto é, apenas um observador de perturbações é mais eficaz se ocorre apenas um tipo de perturbação.
c) (0,5) Uma vantagem de se utilizar observadores de estados é financeira, pois reduz a compra de sensores. Por outro lado, a utilização de sensores para medir as variáveis de estado evita, intrinsecamente, o erro de modelagem (ex.: erro na matriz de sistema = $A_{real} - A_{modelado}$). Nos dois casos o projeto do controlador utiliza $A_{modelado}$.
d) (0,5) O posicionamento de polos na realimentação de estados está limitado por alguns fatores: saturação dos atuadores, saturação das variáveis de estado, polos de malha aberta no SPD, zeros de malha aberta entre outros.

3ª Questão: (3,0) Projete um controlador no Espaço de Estados com canal PI para o sistema $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s+b}{s^2+a}$

a) (0,5) Obtenha a representação do sistema $G(s)$ na forma canônica controlável: $\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \\ y = \mathbf{C}\mathbf{x} + Du \end{cases}$
b) (0,5) Calcule L_1 e L_2 de tal forma que a equação característica do observador atenda $\Delta(s) = s^2 + 10s + 50$.
c) (0,5) Obtenha as matrizes $\mathbf{A}_a$ =[A **0**; -C 0] e $\mathbf{B}_a$ =[B; 0] do sistema aumentado que permitem projetar uma realimentação de estados com canal integral $|s\mathbf{I} - \mathbf{A}_a + \mathbf{B}_a\mathbf{K}| = \tilde{a}(s)$. Assuma, por enquanto, K_p=0.
d) (1,0) Considerando as raízes da equação característica desejada $s_{1,2,3}$ =-2,-2,-b, calcule **K**=[K_1 K_2 K_i].
e) (0,5) Acrescente um canal proporcional à referência, K_p, para que a função de transferência Y(s)/R(s) seja de ordem reduzida. Y(s)/R(s)?

4ª Questão: (3,0) O princípio da separabilidade permite projetar o observador como se não houvesse realimentação de estados. (Para um sistema de ordem n temos n equações com n incógnitas). Este princípio também se aplica ao projeto do observador de perturbações: ele não faz parte da função de transferência, Y(s)/R(s).



Projete nesta questão um controlador no espaço de estados com observador de perturbações constantes e perturbações em rampa para o processo indicado na figura ao lado.

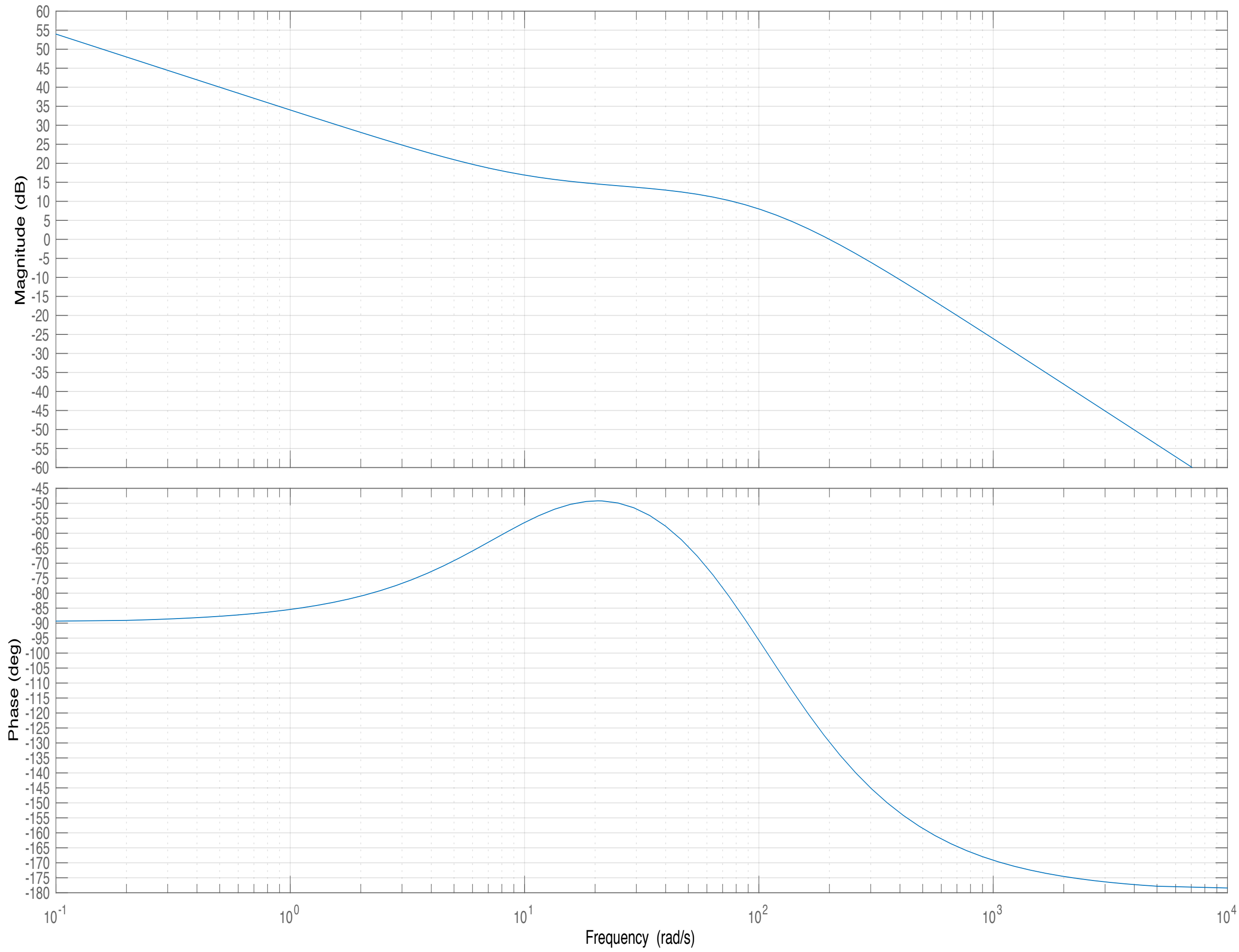
Especificações:

- Eq. característica de malha fechada: $\tilde{a}(s) = s+1$;
- Polos do observador: $s_{1,2,3} = -2$;

a) (0,5) Apresente o fluxografo do sistema completo (variáveis a calcular, K, N_b, L_1, L_2, L_3, de forma literal).
b) (1,5) Projete o observador de estados, (L_1, L_2 e L_3), considerando o sistema aumentado, $sI - A_a + L_aC_a$.
Obs: o sistema aumentado pode ser obtido do diagrama de blocos ao lado. A_a=[A B*C_w; **0** A_w]; C_a=[C **0**].
c) (0,5) Projete o ganho de realimentação de estado, K.
d) (0,5) Projete o fator de ajuste de ganho N_b. Qual a função de transferência do sistema completo?

5ª Questão: (2,0 – Bonus P2) Projete um compensador em avanço para que o sistema descrito pelo diagrama de Bode a seguir atenda às seguintes especificações:

- MF = 50° (acrescente tolerância de 20°)
- e_{SS} (rampa unitária) = 0,002
-

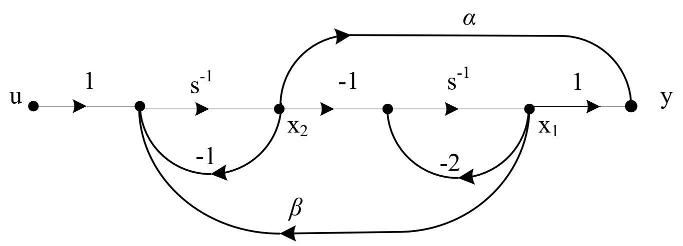


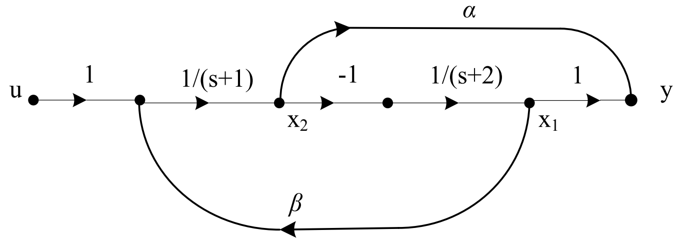
1ª Questão: (2,0)

a) (0,5) $posto[B\ AB] = posto\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = 2.$ É completamente controlável para qualquer valor de $\alpha\ e\ \beta.$

b) (0,5) $posto\begin{bmatrix} C \\ CA \end{bmatrix}; det\begin{bmatrix} 1 & \alpha \\ -2+\alpha\beta & -1-\alpha \end{bmatrix} = -1+\alpha-\alpha^2\beta.$ Para $\beta = \frac{1-\alpha}{\alpha^2}$ não é completamente observável.

c) (1,0) Função de transferência





Mason $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\frac{\alpha}{(s+1)}+\frac{-1}{(s+1)(s+2)}}{1+\frac{\beta}{(s+1)(s+2)}} = \frac{-1+\alpha(s+2)}{\beta+(s+1)(s+2)}.$ Para $\alpha = 1 \rightarrow \beta = 0.$ $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s+1}{(s+1)(s+2)} = \frac{1}{s+2}$

2ª Questão: (2,0)

a) (0,5) F – i) ω_0 é fixo; ii) valores reais dos parâmetros; iii) y - $\hat{y}$.
b) (0,5) V
c) (0,5) V
d) (0,5) F – a posição dos polos de malha aberta, inclusive no SPD, não restringe o posicionamento de polos em MF.

3ª Questão: (3,0) considerando a = 3; b = 3.

a) (0,5) $\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}u \\ y = [b \quad 1]\boldsymbol{x} \end{cases}$

b) (0,5) $|sI - A + LC| = s^2 + 10s + 50.$

c) (0,5) $\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -a & 0 & 0 \\ -b & -1 & 0 \end{bmatrix}\boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}u \\ y = [b \quad 1 \quad 0]\boldsymbol{x} \end{cases}$

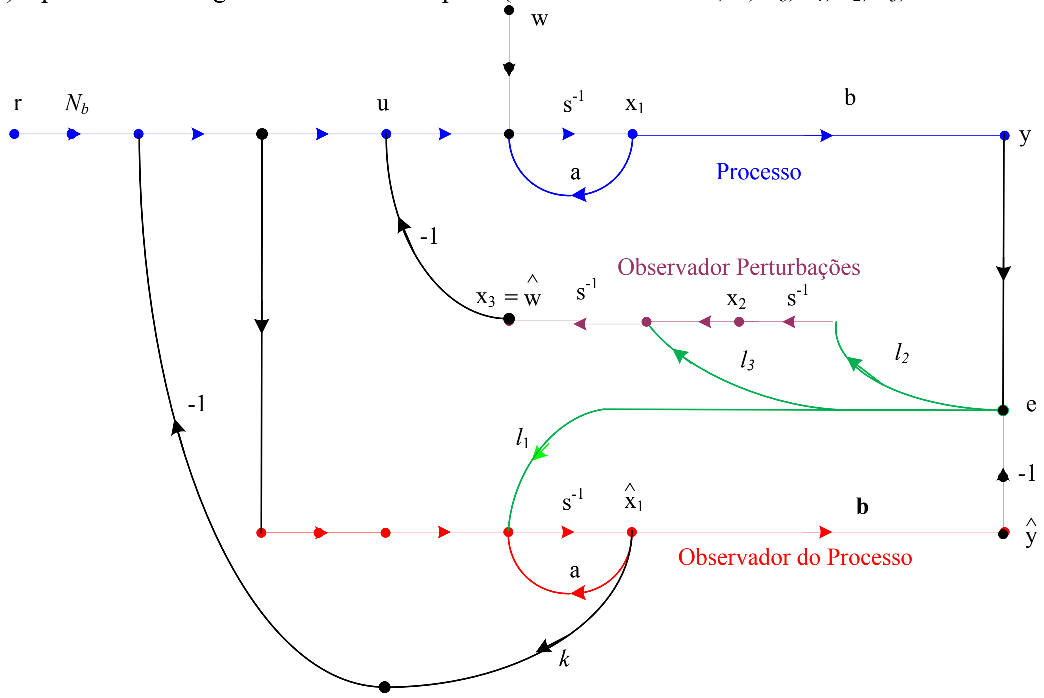
d) (1,0) $|sI - A_a + B_aK| = (s+2)^2(s+b).$

e) (0,5) K_p=K_i/2. $\boxed{\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{2}{s+2}}$

Prova	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1	3,00	7,00	11,00	2,00	6,00	10,00	1,00	5,00	9,00
K_2	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00
K_i	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
L_1	-19,50	-5,80	-1,90	-12,67	-4,67	-1,63	-9,25	-3,85	-1,42
L_2	29,50	21,60	15,70	22,67	19,33	14,90	19,25	17,71	14,25
K_p	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

4ª Questão: (3,0)

a) (0,5) Apresente o fluxografo do sistema completo (variáveis a calcular, K, N_b, L_1, L_2, L_3, de forma literal).



(1,5) $\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} a & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} b & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{cases}$ $\rightarrow$ $|sI - A_a + LC_a| = (s+2)^3 = s^3 + 6s^2 + 12s + 8$

b)

$$\begin{vmatrix} s - a + l_1 b & 0 & -1 \\ l_2 b & s & 0 \\ l_3 b & -1 & s \end{vmatrix} = s^3 + s^2(-1 + l_1 b) + s l_3 b + l_2 b \qquad \begin{cases} l_1 = 7/b \\ l_2 = 8/b \\ l_3 = 12/b \end{cases}$$

c) (0,5) $|sI - (-a) + bK| = s + 1 \quad \rightarrow K = (1-a)/b$

d) (0,5) $N_b = 1/b$. $\quad \boxed{\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{s+1}}$

Prova	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00
L_1	7,00	3,50	2,33	8,00	4,00	2,67	9,00	4,50	3,00
L_2	8,00	4,00	2,67	8,00	4,00	2,67	8,00	4,00	2,67
L_3	12,00	6,00	4,00	12,00	6,00	4,00	12,00	6,00	4,00
N_b	1,00	0,50	0,33	1,00	0,50	0,33	1,00	0,50	0,33

5ª Questão: (2,0 – Bonus P2)

$K_{vo} = 10^{54/20} * 0{,}1 = 50 \rightarrow e_{ss} = 0{,}02 \Rightarrow ganho\ em\ baixas\ freq. = 10\ (20\ dB)$

Fase: $50°\ (Espec.) - 15°\ (Atual) + 20°\ (Tol.) = 55° \Rightarrow fator\ de\ avanço = 10\ (20\ dB)$

Queda de 10 dB -> *frequência* $\omega_m = 1260\ rad/s$

$z = \sqrt{\alpha}\omega_m = 398{,}7 \approx 400$ rad/s $\quad p = \frac{\omega_m}{\sqrt{\alpha}} = 3981{,}6 \approx 4000$ rad/s

$$D(z) = 10 \frac{4000}{400} \frac{s + 400}{s + 4000} = \boxed{100 \frac{s + 400}{s + 4000}}$$

Obs: Margem de Fase obtida de fato: 64°