Nome: ____

Valor do Y é o último algarismo da sua matrícula.

1) Considere a massa M = 15 kg e a constante de mola K = (1+Y) N.m/rad e calcule o *overshoot* (ultrapassagem percentual - M_p) e o tempo de acomodação (t_s) para uma entrada em degrau no torque do motor $T_m(t)$ do sistema mostrado na Figura P4.21.

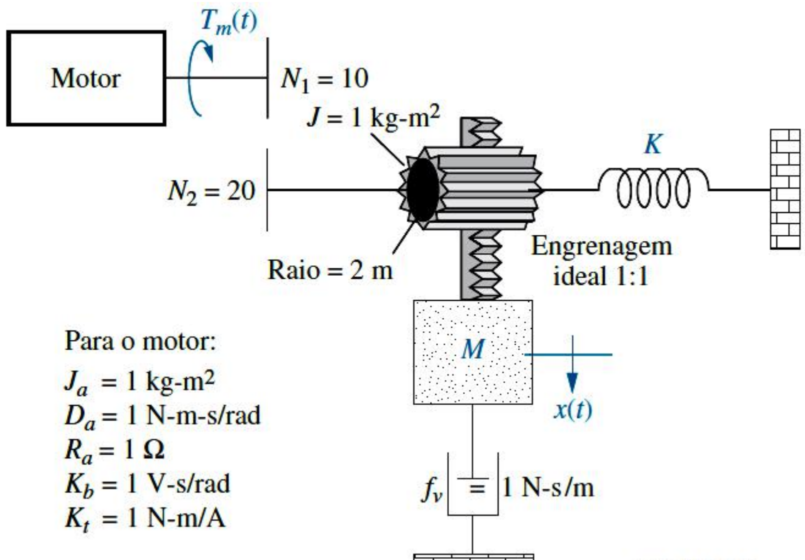


FIGURA P4.21

2) Dado o sistema de controle com realimentação unitária para a seguinte função de transferência de malha aberta:

$$G(s) = \frac{Y.K}{(s+a).(s+b)}$$

a) Considere b = -1, quais os valores de K e a para ser estável (caso exista);
b) Qual o erro de regime permanente para uma entrada unitária em degrau: 1) caso b = 0 e 2) caso b > 0;
c) Qual o erro de regime permanente para uma entrada unitária em rampa: 1) caso b = 0 e 2) caso b > 0;
d) Qual o valor do K para resultar em um erro de 2% em regime permanente e qual o sobressinal (Mp) para uma entrada em degrau, sendo a=1 e b=2.

3) Dado o sistema de controle com realimentação unitária para a seguinte função de transferência de malha aberta:

$$G(s) = \frac{K.(s+Y)}{s.(s+5).(s+8).(s+12)}$$

a) Qual valor de *K* resultará em um erro de regime permanente de 0,01 para uma entrada $u(t) = t/10$?
b) Qual o erro de regime permanente para uma **entrada unitária** em degrau, em rampa e em parábola?
c) Qual é o menor erro de regime permanente possível para a entrada dada no item a?

Obs: Não se deve simplificar polos e zeros, mesmo tendo valores iguais.

4) A função de transferência que relaciona o ângulo do profundor δ_e e a arfagem de altitude θ de uma aeronave é:

$$\frac{\theta(s)}{\delta_e(s)} = G(s) = \frac{50(s+1)(s+Y)}{(s^2+5s+40)(s^2+0{,}03s+0{,}06)}$$

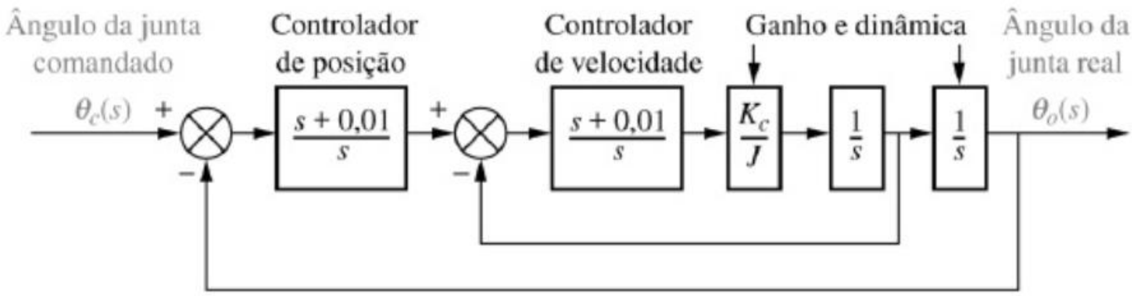
Utilizando realimentação unitária e um compensador em avanço D(s), calcule os valores de K que garante a estabilidade do sistema.

$$\frac{\delta_e(s)}{E(s)} = D(s) = \frac{K(s+3)}{(s+10)}$$

5) Um sistema de controle com realimentação unitária tem a função de transferência em malha aberta $G(s) = A/s(s+a)$, calcule:

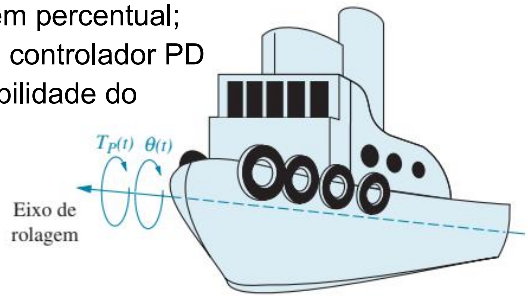
a) Sensibilidade da função de transferência de malha fechada a variações no parâmetro A
b) Sensibilidade do erro em regime permanente a variações do parâmetro A para uma entrada em degrau unitário
c) Sensibilidade do erro em regime permanente a variações do parâmetro A para uma entrada em rampa unitária
d) Sensibilidade do erro em regime permanente a variações do parâmetro A para uma entrada em parábola unitária

6) Uma estação espacial precisa manter seus painéis solares apontados na direção do Sol. Admita que o diagrama de blocos simplificado abaixo representa o sistema de controle de rastreamento solar que será utilizado. Determine:



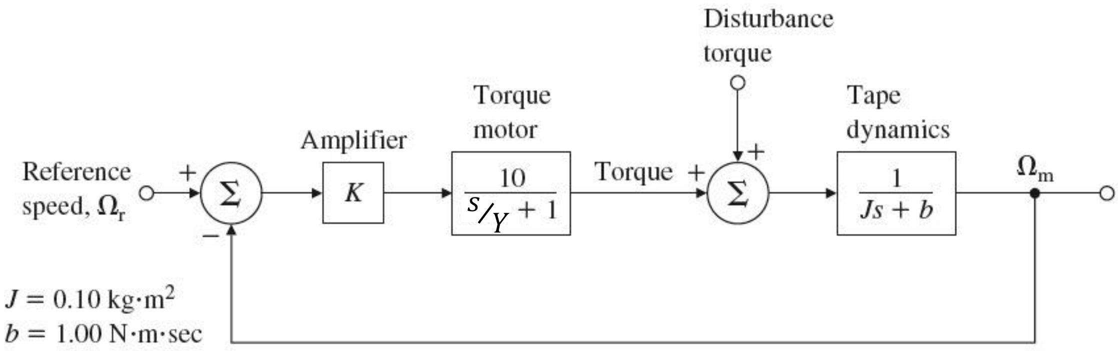
a) O erro em regime permanente para comandos em degrau, em rampa e em parábola;
b) A faixa de K_c/J para tornar o sistema estável.

7) Admita que a dinâmica de rolagem, que relaciona a saída de ângulo de rolagem, $\theta(s)$, com a entrada de torque, T(s) conforme equação abaixo, determine:
a) O tempo de acomodação e a ultrapassagem percentual;
b) Ainda em malha aberta, caso se utilize um controlador PD do tipo K.$(s+Y)$, qual a influência na estabilidade do sistema, no tempo de acomodação e na ultrapassagem percentual?



$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{2,25}{s^2 + 0,5.s + 2,25}$$

8) As funções de transferência de controle de velocidade para um sistema de acionamento de fita magnética são mostrados na figura abaixo. O sensor de velocidade é rápido o suficiente para que seu atraso seja desconsiderado, assim o diagrama do sistema tem realimentação unitária. Escreva a função de transferência que relaciona a saída (posição Ω_m) em função da referência (Ω_r) e do distúrbio de torque. Assumindo o distúrbio nulo, qual é o sobressinal do sinal de saída para uma entrada degrau forçando o tempo de subida (t_r) em 0,1 s?

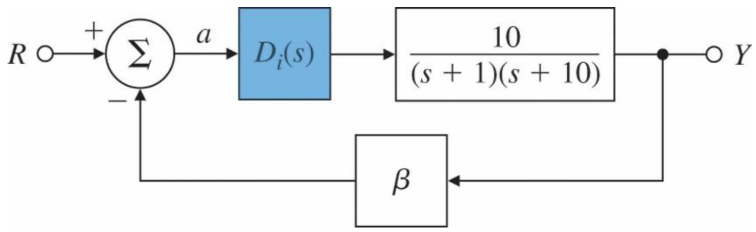


9) Considerando o mesmo motor do exercício anterior e substituindo o amplificador K por um compensador PID $(K_p + K_d.s + K_I/s)$, calcule:
   a) Condição dos ganhos proporcional, integral e derivativo para a estabilidade de seguir a referência.
   b) Erro de estado estacionário em relação a uma entrada em rampa unitária.
   c) Considerando nulo o ganho integral ($K_I = 0$), encontre o ganhos proporcional e derivativo para que o tempo de acomodação (t_s) seja menor que 0,1s e apresente um sobressinal (M_p) menor que 5% para uma entrada em degrau unitário.

10) Considere o sistema mostrado na figura abaixo, no qual o ganho de realimentação β está sujeito a variações. Projete um controlador para este sistema de forma que a saída $y(t)$ ratreie com precisão a entrada de referência $r(t)$. Considerando $\beta = {}^{10}/_{Y}$ e os três tipos de controladores $D(s)$:

$$D_1(s) = k_p,\ D_2(s) = \frac{k_p s + k_I}{s} \text{ e } D_3(s) = \frac{k_p s^2 + k_I s + k_2}{s^2}$$

Escolha o controlador (incluindo valores para os parâmetros do controlador) no qual o sistema resultante apresente um erro de estado estacionário menor que ${}^{1}/_{10}$ para uma entrada de referência em rampa unitária.



11) Considere o sistema de segunda ordem $G(s) = \frac{1}{s^2 + Ys + 1}$. Deseja-se adicionar um compensador $D(s) = \frac{K(s+a)}{s+b}$ em série com G(s) em uma estrutura de realimentação unitária.
   a) Ignorando a estabilidade por um momento, quai são os valores de *K*, *a* e *b* tal que o sistema seja do Tipo 1?
   b) Quais são as restrições em *K*, *a* e *b* tal que o sistema seja estável e do tipo 1?

12) Dado o sistema com realimentação unitária com $G(s) = \frac{K(s+12)}{s(s+1)(s+Y)}$ determine o seguinte:

a) A faixa de K que mantém o sistema estável.
b) O valor de K que faz o sistema oscilar.
c) A frequência de oscilação quando K é ajustado para o valor que faz o sistema oscilar. Dica: substitua o valor de s por $j\omega$.

13) As equações dinâmicas de um motor CC podem ser escritas pela seguinte equação diferencial

$$J_m\ddot{\theta}_m + \left(b + \frac{{K_m}^2}{R_a}\right)\dot{\theta}_m = \frac{K_m}{R_a}v_a$$

Sendo $J_m = 0{,}01$ kg.m^2, $b = 0{,}001$ N.m.s, $K_m = \frac{Y}{100}$ e $R_a = 10$ Ω.

a) Encontre a função de transferência entre a tensão aplicada v_a e a velocidade do motor $\dot{\theta}_m$.
b) Qual é a velocidade em estado estacionário do motor após a tensão $v_a = 10$ V ter sido aplicada?
c) Qual o erro de posição em estado estacionário deste motor para uma entrada em degrau e realimentação unitária?

14) Considerando o mesmo motor do exercício anterior, calcule:

a) Suponha que uma realimentação seja adicionada de modo que o servomecanismo de posição segue a seguinte equação $v_a = K(\theta_r - \theta_m)$, sendo K o ganho de realimentação. Encontre a função de transferência entre θ_r e θ_m.
b) Qual o máximo valor de K que pode ser usado, caso seja desejado um sobressinal $M_p < 20\%$?
c) Quais valores de K irão prover um tempo de subida igual a 2 s? Recalcule o novo sobressinal M_p.

15) Considere a seguinte equação dinâmica de uma antena de rastreamento de satélite: $J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} = T_c$, sendo T_c o torque desenvolvido pelo motor, $J = 600000\, kg.m^2$ e $B = 20000\, N.m.s$. Suponha que o torque aplicado é calculado para que θ siga o comando de referência θ_r de acordo com a seguinte realimentação unitária: $T_c = K(\theta_r - \theta)$, sendo K o ganho de realimentação.

a) Qual valor máximo de K que pode ser usado para ter sobressinal $M_p < Y\%$
b) Substituindo K por compensador PD = $(K_p + K_d.s)$, calcule o erro de regime permanente para o rastreamento de uma entrada unitária em rampa.
c) Para que valores de K_p e K_d o sistema realimentado é estável?

16) Um sistema de segunda ordem com realimentação unitária deve seguir uma entrada em rampa com as seguintes especificações: a posição de saída em regime permanente deve diferir da posição de entrada por 0,1 da velocidade de entrada; a frequência natural do sistema em malha fechada deve ser de Y rad/s. Determine o seguinte:

a) A expressão exata da função de transferência do caminho à frente
b) O sobressinal do sistema em malha fechada, em caso de uma entrada em degrau.

$$Y(s) = \frac{{\omega_n}^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + {\omega_n}^2} \qquad \lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{s\to 0} sy(s)$$

$$M_p = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \qquad t_r = \frac{1{,}8}{\omega_n}$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{\left(\ln M_p\right)^2}{\pi^2 + \left(\ln M_p\right)^2}} \qquad \omega_n = \frac{4{,}605}{\zeta t_s}$$

$$\theta = sen^{-1}\,\zeta \qquad \sigma = \zeta\omega_n$$

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \qquad S_A^T = \frac{A}{T}\frac{dT}{dA}$$

$$e_{ss} = \lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} s[1 - \mathrm{T}(s)]R(s)$$