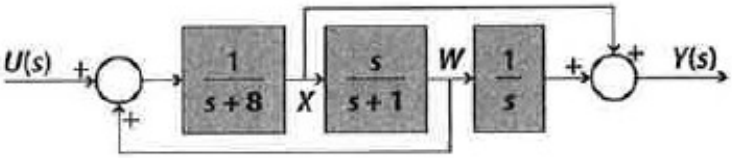
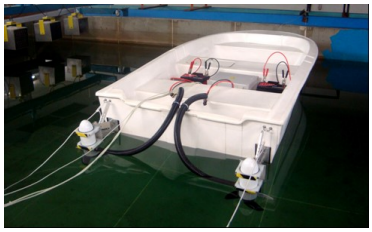
Prova 2 – Sistemas Dinâmicos I – PMR 3320 25/06/2019

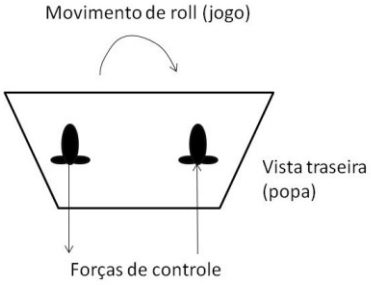
Nome: _____ NUSP: _____

1) (3,0 pontos) Seja o diagrama de blocos abaixo representante da relação entre as transformadas de Laplace entre a entrada $u(t)$ e a saída $y(t)$. Calcule o valor de regime permanente ($t \to \infty$) da saída para a entrada $u(t)$ igual a um degrau unitário.



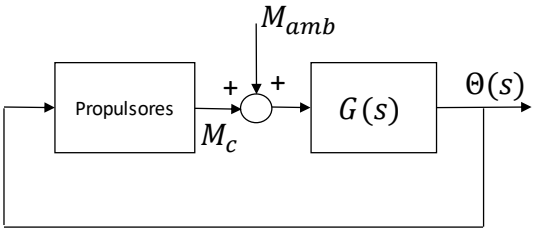
2) (3,5 pontos) O jogo de um navio de recreação deve ser minimizado, a fim de garantir o conforto dos passageiros. Uma das técnicas para este fim, estudada no laboratório TPN-USP, é a utilização de propulsores gerando forças reativas para baixo e para cima, compensando tal movimento, como mostrado na figura abaixo.





O modelo matemático obtido para um barco modelo (escala reduzida), sendo θ o ângulo de jogo (roll), M_c o momento (binário) gerado pelos propulsores de controle e M_{amb} é o momento devido ao distúrbio ambiental é dado pela equação abaixo. O diagrama de bloco do sistema de controle, sujeito ao distúrbio, também é apresentado.

$$30\,\ddot{\theta} + 100\,\dot{\theta} + 2500\,\theta = M_c + M_{amb}$$

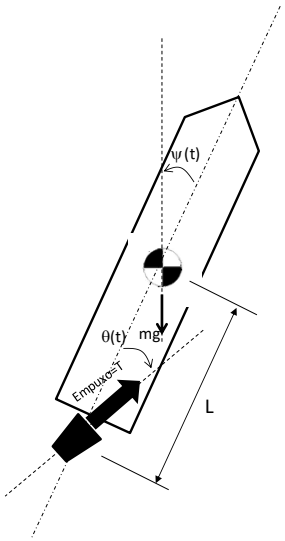


a) Qual o fator de amortecimento natural do barco (dinâmica $G(s)$)? Proponha uma lógica de controle $M_c = M_c(\dot{\theta})$ para que o barco controlado apresente um fator de amortecimento de 0,7. Considere que a velocidade angular é medida por um giroscópio.

b) Para implementar o sistema de controle, devem-se especificar os motores elétricos para acionar os propulsores. Sendo U a entrada de referência de rotação do servomotor e R a rotação, qual dos servomotores é mais adequado para nossos sistema e justifique:

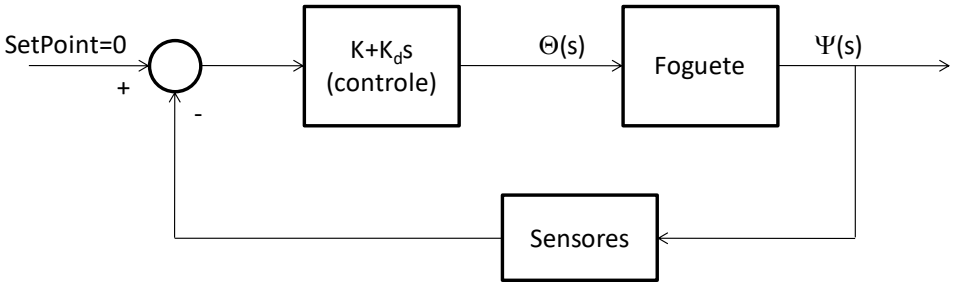
$$\left(\frac{R(s)}{U(s)}\right)_1 = \frac{10}{0.03s+1} \qquad \left(\frac{R(s)}{U(s)}\right)_2 = \frac{10}{0.3s+1}$$

3-(3,5 pontos) O problema de pouso de um foguete na vertical pode ser descrito de forma simplificada pela figura abaixo. O propulsor gera um empuxo T na direção $\theta(t)$ em relação ao eixo do foguete. O ângulo $\theta(t)$ é controlado. A atitude do foguete em relação à vertical é dada por $\psi(t)$, e deve ser mantida próximo de zero para evitar o tombamento. Na fase final de aproximação, o Empuxo T(t) é aproximadamente igual ao peso do foguete (T=mg). O momento de inércia de rotação no eixo perpendicular ao desenho é dado por J, e a distância entre o ponto de aplicação do empuxo e o centro de gravidade é dado por L.

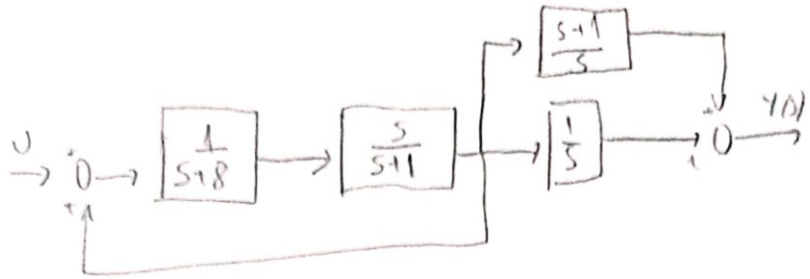


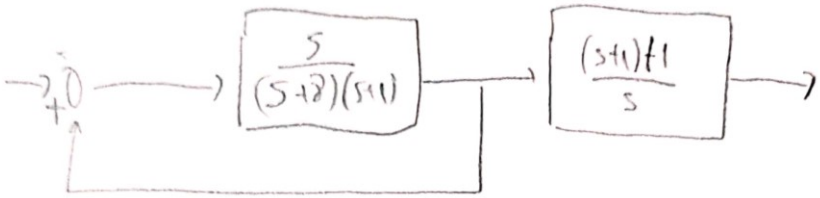
A função de transferência para pequenos ângulos para: L=35m; m = 500kg ; J = 2.10^5 kg.m^2 é dada por $\frac{\psi(s)}{\theta(s)} = \frac{0{,}86}{s^2}$

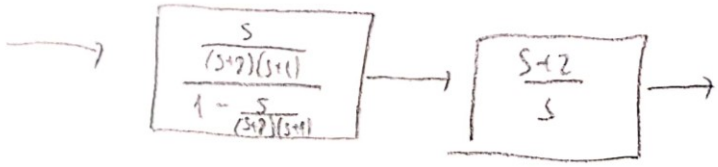
Foi implementado um controle em malha fechada para estabilizar a atitude do foguete no pouso.

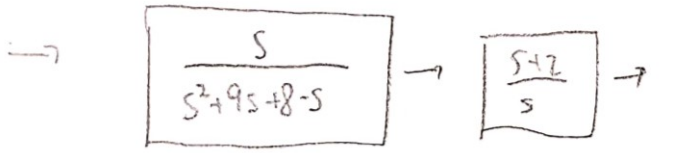


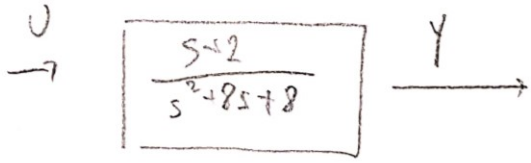
a) Assumindo $K_d = 0$ (controle apenas proporcional), é possível estabilizar o sistema? Qual a faixa de valores de K para estabilidade? Justifique
b) Assumindo $K = 0$ (controle apenas derivativo), é possível estabilizar o sistema? Qual a faixa de valores de K_d para estabilidade? Justifique
c) Assumindo $K, K_d \neq 0$ (Controle proporcional, derivativo), quais valores para K, K_d para que o sistema se estabilize em 1,5s e apresente fator de amortecimento em malha fechada de $\zeta = 0{,}7$?











$$\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{s\to 0} \frac{1}{s}\cdot s\cdot\frac{(s+2)}{s^2+9s+8} = 0{,}25$$

$$30\ddot{\theta} + 100\dot{\theta} + 2500\,\theta = M$$

a)

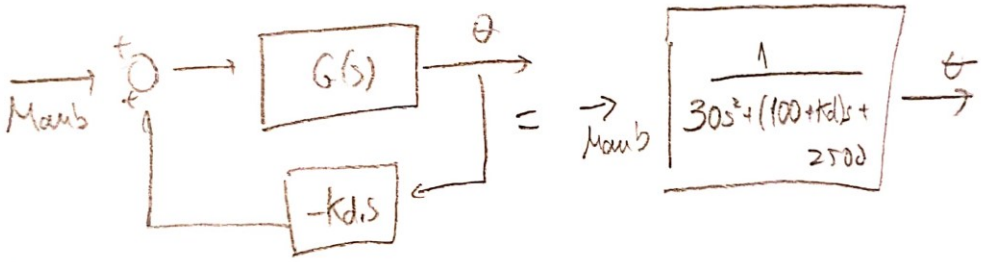
$$\frac{\theta(s)}{M_T(s)} = \frac{1}{30s^2+100s+2500}$$

$\hookrightarrow s_{1,2} = 1{,}67 \pm 8{,}9i$

$\zeta = 0{,}18$ $\rightsquigarrow$ amortecimento do sistema natural, sem controle

$\omega_N = 9{,}13\,rad/s$

Se $M = -K_d.\dot{\theta} \Rightarrow$

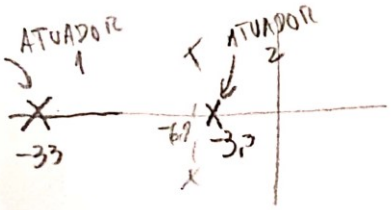


$$\Rightarrow \omega_N^2 = \frac{2500}{30} \Rightarrow \omega_N = 9{,}13\,rad/s$$

$$2\zeta\omega_N = \frac{100+K_d}{30} \Rightarrow 2.0{,}7.9{,}13 = \frac{100+K_d}{30}$$

$$\boxed{K_d = 283\ N.m/rad/s}$$

b) Os polos do sistema após inserir o controlador são $-6{,}8 \pm 6{,}5j$



A dinâmica da válvula 2 é mais lenta que o sistema e irá afetar o desempenho do sistema de controle $\Rightarrow$ deve-se optar pelo atuador 1

$$\frac{\Psi(s)}{\text{Set point}(s)} = \frac{\frac{0{,}86(K+Kds)}{s^2}}{1+\frac{0{,}86(K+Kds)}{s^2}} = \frac{0{,}86(K+Kds)}{s^2+0{,}86Kds+0{,}86K}$$

a) $Kd=0 \Rightarrow$ eq caracteristica

$$s^2+0{,}86K=0 \Rightarrow s=\pm\sqrt{0{,}86K}$$

se $K>0 \Rightarrow$ 1 polo real positivo, 1 polo real negativo $\rightarrow$ instável

se $K<0 \Rightarrow$ 2 polos complexos conjugados $\Rightarrow$ não estabiliza (oscilatório)

logo, não é possível estabilizar o sistema com $Kd=0$

b) $K=0 \Rightarrow \frac{\Psi(s)}{SP(s)} = \frac{0{,}86Kd}{s+0{,}86Kd} \Rightarrow$ eq caract $\Rightarrow s+0{,}86Kd=0$, $s=-0{,}86Kd$

$\Rightarrow$ se $Kd>0 \Rightarrow$ polo real negativo e sistema é estável

c) requisitos:

$$\begin{cases} t_s^{2\%}=1{,}5 \\ \xi=0{,}7 \end{cases} \Rightarrow \frac{4}{\xi\omega_n}=1{,}5 \Rightarrow \omega_n=3{,}9\,rad/s$$

pela equação caract:

$$\begin{cases} \omega_n^2=0{,}86K \\ 2\xi\omega_n=0{,}86Kd \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} K=16{,}9 \\ Kd=6{,}2 \end{matrix}$$