

ECM405 – Sistemas de Controle

Lista de Exercícios 02 – Dinâmica

1. Considere o sistema de controle de altitude de um satélite, mostrado na Figura 1.

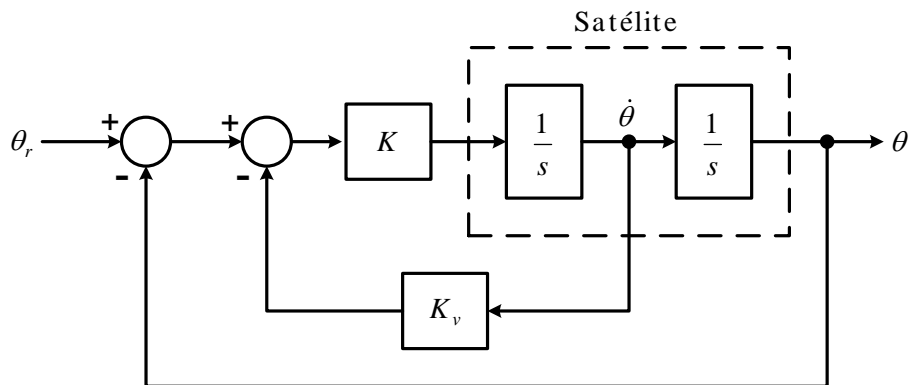


Figura 1

a) Escreva a função de transferência que descreve o sistema.

b) O ângulo de altitude desejado para o satélite é de 10° . Para tanto, aplica-se à sua entrada o sinal $\theta_r(t) = 10(t)$. Qual será o ângulo de altitude $\theta_{ss}(t)$ alcançado no estado estacionário?

c) Deseja-se que o sistema em malha fechada atinja o estado estacionário (para entrada em degrau) o mais cedo possível, sem a ocorrência de ultrapassagem – ou seja, $\zeta = 1$. Determine K_v , como uma função de K , de forma que esta especificação de desempenho seja atingida.

d) Calcule o valor do ganho K que leva o sistema ao estado estacionário em aproximadamente 6 segundos após o comando de controle.

e) Suponha que o elemento sensor de velocidade de giro falhe, ou seja, $K_v = 0$. Nesta situação, qual é a natureza da resposta do sistema?

2. Considere o sistema descrito por $G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{600}{(s+20)(s^2+8s+20)}$.

a) Determine o valor de estado estacionário da saída $y(t)$ quando o sistema é excitado com o sinal $r(t) = 5(t)$.

b) Quantos segundos, aproximadamente, são necessários para que a saída atinja o estado estacionário?

c) Você espera que a resposta transitória seja oscilatória? Justifique sua resposta.

3. Considere o sistema de controle da Figura 2, empregado em uma *plotter* digital.

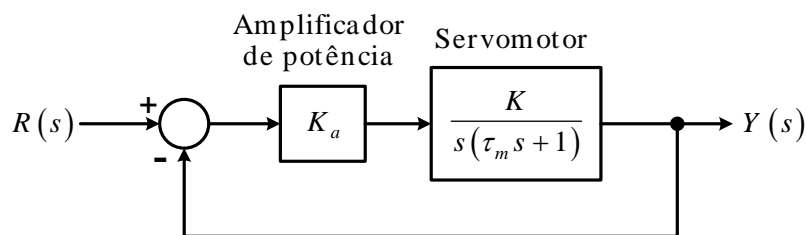


Figura 2

Determine os valores dos parâmetros K , K_a e τ_m de forma que o sistema em malha fechada possua tempo de assentamento de 0,25 s, com ultrapassagem nula.

4. Considere o sistema de controle da Figura 3.

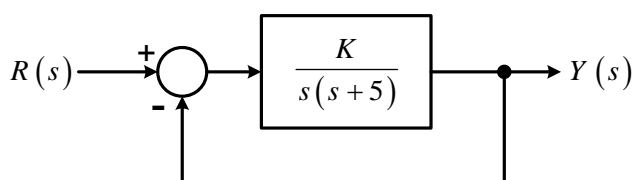


Figura 3

a) Determine a faixa de valores do ganho K para que a resposta do sistema seja:

- i) subamortecida;
- ii) criticamente amortecida;
- iii) sobreamortecida.

b) Qual o valor de K que resulta em uma resposta com tempo de assentamento mínimo?

5. Considere um sistema de primeira ordem com função de transferência $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_1}{s + \alpha}$.

a) Esboce a região do plano s na qual os pólos devem estar localizados de modo que o tempo de assentamento seja inferior a 10 s.

b) Determine a faixa de valores de K_1 e α que satisfazem o item anterior.

6. Considere um sistema com função de transferência $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$.

a) Esboce a região do plano s na qual os pólos devem estar localizados de forma que o sistema possua tempo de assentamento inferior a 2 s e ultrapassagem para resposta ao degrau inferior a 10%.

b) Determine a faixa de valores de ζ e ω_n que satisfazem o item anterior.

7. Dado o sistema de controle da Figura 4:

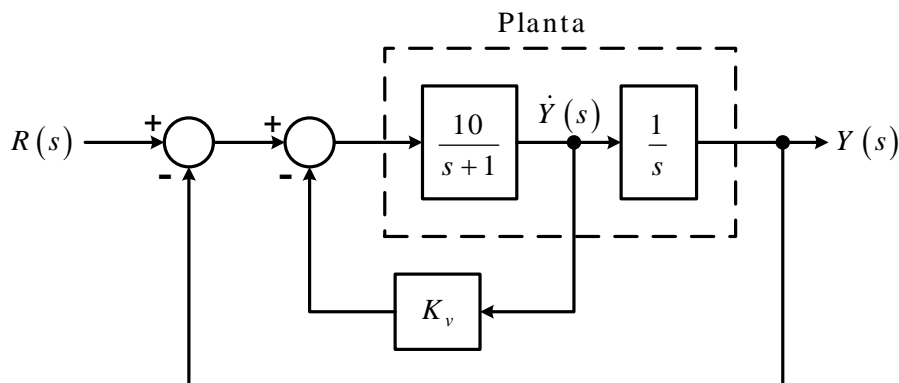


Figura 4

- Determine a função de transferência em malha fechada.
- Qual o ganho DC em malha fechada?
- Se $K_v = 0$ – falha no elemento sensor – qual a nova função de transferência?

8. O sistema de controle de velocidade de um motor elétrico é mostrado na Figura 5. O sinal de entrada é uma tensão e representa a velocidade desejada.

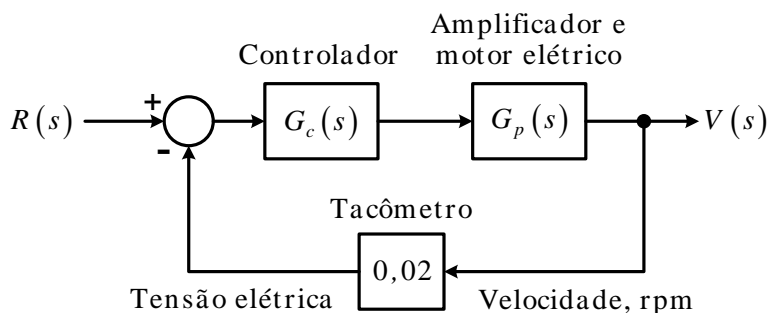


Figura 5

- O ganho do tacômetro é $H_k = 0,02$. Qual é a unidade deste ganho?
- Se a velocidade desejada para o motor for de 300 rpm, determine a tensão de entrada (constante), $r(t)$, que deve ser aplicada ao sistema.
- Para determinada aplicação, é necessário que a velocidade do motor aumente linearmente de 0 rpm até 500 rpm em 20 s. Em seguida, a velocidade deve retornar imediatamente para 200 rpm e se manter constante. Esboce o sinal de entrada $r(t)$, em volts, para esta situação.
- Construa o diagrama de blocos para o modelo de retroação unitária do sistema, de forma que a entrada e a saída sejam medidas em rpm.

9. Seja o sistema mecânico de rotação ilustrado na Figura 6.

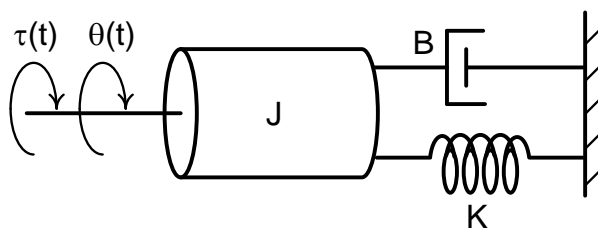


Figura 6

a) Escreva a função de transferência $G(s)$ que relaciona o ângulo de rotação $\Theta(s)$ com o torque aplicado $T(s)$, em função dos parâmetros J , B e K .

b) Admitindo $B = 1,0 \text{ N m s / rad}$, determine o momento de inércia J e a constante elástica K de forma que a resposta ao degrau de torque apresente uma ultrapassagem percentual de 30%, com tempo de assentamento de 4 s.

Nota: No Sistema Internacional de unidades: $[J] = \text{kg m}^2$ e $[K] = \text{N m / rad}$.

10. Seja o sistema de controle com retroação da Figura 7.

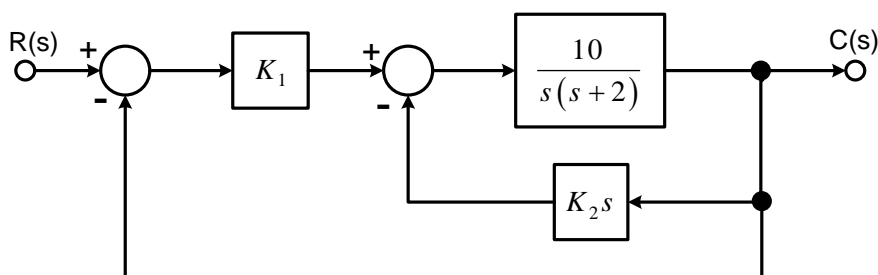


Figura 7

a) Efetuando a redução de subsistemas múltiplos, determine a função de transferência $G(s) = C(s)/R(s)$.

b) Determine os valores dos ganhos K_1 e K_2 para os quais a resposta ao degrau unitário do sistema apresenta tempo de assentamento igual a 2 s e instante de pico igual a 1 s.

11. Um veículo submersível de pequeno porte possui o sistema de controle de profundidade ilustrado na Figura 8.

a) Efetuando a redução de subsistemas múltiplos, determine a função de transferência $G(s) = C(s)/R(s)$.

b) Calcule a resposta $y(t)$ para uma entrada em degrau $R(s) = 1/s$, quando $K = K_2 = 1$.

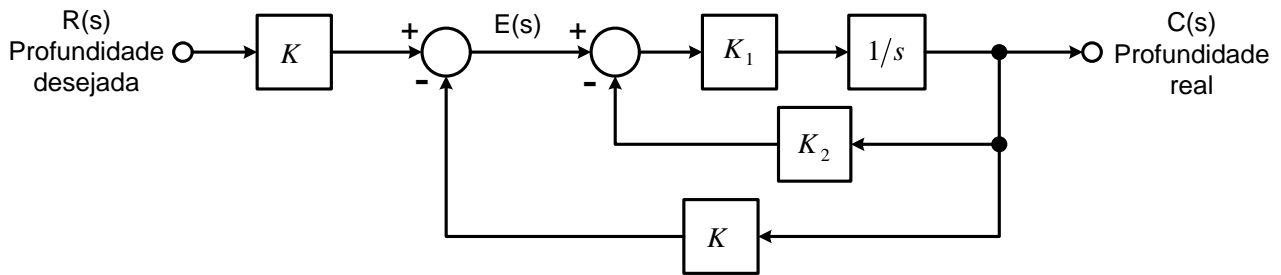


Figura 8

c) Tomando por base o resultado anterior, e sabendo-se que o valor de K_1 pode variar na faixa $1 < K_1 < 10$, selecione um valor adequado para esse ganho de modo que a resposta ao degrau $y(t)$ seja a mais rápida possível. Justifique sua resposta.

12. Um satélite espacial utiliza o sistema de controle ilustrado na Figura 9 para reajustar sua orientação.

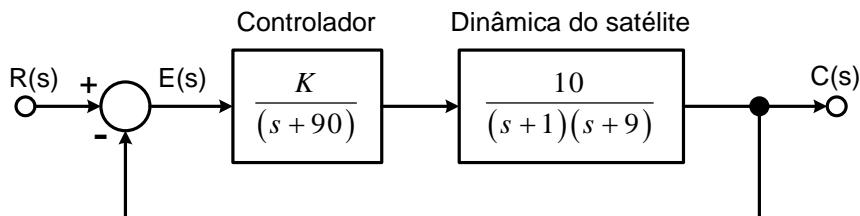


Figura 9

a) Determine um modelo aproximado de segunda ordem, $G(s)$, para o sistema em malha fechada.

b) Utilizando o modelo de segunda ordem obtido, selecione o valor do ganho K de modo que o sistema em malha fechada apresente ultrapassagem percentual inferior a 15% e erro de estado estacionário inferior a 12% para uma excitação em degrau.

13. Determine os valores de K e k do sistema em malha fechada ilustrado na Figura 10 de tal modo que a ultrapassagem máxima da resposta ao degrau unitário seja de 25%, com instante de pico em 2 s.

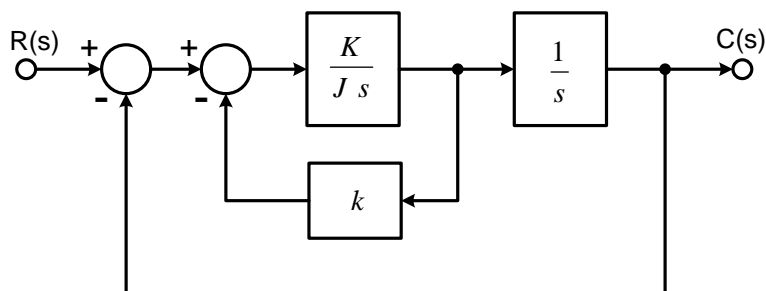


Figura 10

14. Considere o sistema de controle da Figura 1. Para cada função de transferência dada, determine o erro em estado estacionário para as entradas:

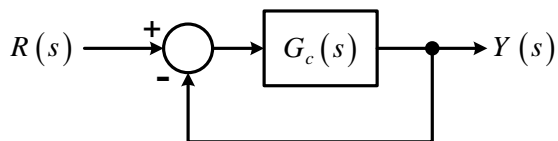


Figura 11

i) degrau unitário;

ii) rampa unitária.

a) $G_a(s) = \frac{10}{(s+1)(s+3)}$

c) $G_c(s) = \frac{7(s+2)}{s^2(s+6)}$

b) $G_b(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+6)}$

d) $G_d(s) = \frac{6s^2 + 2s + 10}{s(s^2 + 4)}$

15. Considere o sistema de controle de um gerador DC ilustrado na Figura 12. Suponha que o sistema é estável para todas as situações analisadas neste problema e que os sinais de entrada e saída são medidos em volts.

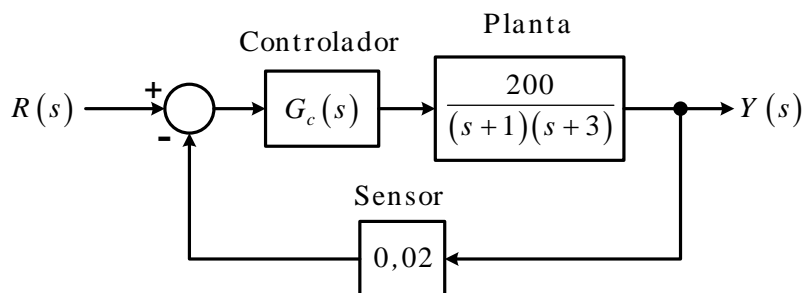


Figura 12

a) Para $G_c(s) = 1$, determine o erro em estado estacionário, medido em unidades da saída, para as entradas:

i) degrau unitário

ii) rampa unitária.

Assuma que estas entradas são aplicadas ao modelo de retroação unitária.

b) Repita o item a) para $G_c(s) = 1 + \frac{0,1}{s}$, um controlador PI (proporcional + integral).

c) Repita o item a) para $G_c(s) = 1 + 0,3s$, um controlador PD (proporcional + derivativo).

d) Qual o efeito da parcela integral do controlador PI no erro estacionário?

e) Qual o efeito da parcela derivativa do controlador PD no erro estacionário?