8. Para cada uma das funções de transferência mostradas a seguir, determine as posições dos polos e dos zeros, represente-os graficamente no plano s e, em seguida, escreva uma expressão para a forma geral da resposta ao degrau sem resolver para a transformada inversa de Laplace. Declare a natureza de cada resposta (superamortecida, subamortecida, e assim por diante). [Seções: 4.3, 4.4.]

a. $T(s) = \frac{2}{s+2}$

b. $T(s) = \frac{5}{(s+3)(s+6)}$

c. $T(s) = \frac{10(s+7)}{(s+10)(s+20)}$

d. $T(s) = \frac{20}{s^2+6s+144}$

e. $T(s) = \frac{s+2}{s^2+9}$

f. $T(s) = \frac{(s+5)}{(s+10)^2}$

12. Escreva a forma geral da tensão do capacitor para o circuito elétrico mostrado na Figura P4.4. [Seção: 4.4.]

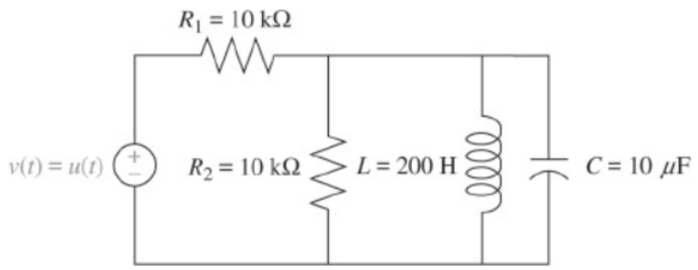

FIGURA P4.4

14. Resolva para $x(t)$ no sistema mostrado na Figura P4.5 caso $f(t)$ seja um degrau unitário. [Seção: 4.4.]

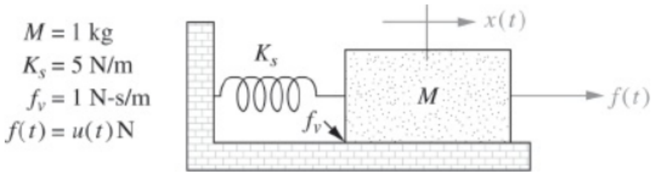

FIGURA P4.5

16. Deduza a relação para o fator de amortecimento em função da ultrapassagem percentual, Eq. (4.39) [Seção: 4.6.]

20. Para cada um dos sistemas de segunda ordem a seguir, determine ζ, ω_n, T_s, T_p, T_r e $\%UP$. [Seção: 4.6.]

a. $T(s) = \dfrac{16}{s^2 + 3s + 16}$

b. $T(s) = \dfrac{0{,}04}{s^2 + 0{,}02s + 0{,}04}$

c. $T(s) = \dfrac{1{,}05 \times 10^7}{s^2 + 1{,}6 \times 10^3 s + 1{,}05 \times 10^7}$

23. Para cada par de especificações de sistema de segunda ordem a seguir, determine a posição do par de polos de segunda ordem. [Seção: 4.6.]

a. $\%UP = 12\%$; $T_s = 0{,}6$ segundo

b. $\%UP = 10\%$; $T_p = 5$ segundos

c. $T_s = 7$ segundos; $T_p = 3$ segundos

24. Determine a função de transferência de um sistema de segunda ordem que resulta em uma ultrapassagem de 12,3% e um tempo de acomodação de 1 segundo. [Seção: 4.6.]

25. Para o sistema mostrado na Figura P4.7, faça o seguinte: [Seção: 4.6]

a. Obtenha a função de transferência $G(s) = X(s)/F(s)$.

b. Determine ζ, ω_n, $\%UP$, T_s, T_p e T_r.

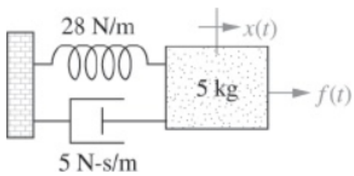

FIGURA P4.7

30. Para as seguintes funções de resposta, determine se pode haver uma aproximação de cancelamento de polos e zeros. Caso seja possível, obtenha a ultrapassagem percentual, o tempo de acomodação, o tempo de subida e o instante de pico. [Seção: 4.8.]

a. $C(s) = \dfrac{(s+3)}{s(s+2)(s^2+3s+10)}$

b. $C(s) = \dfrac{(s+2{,}5)}{s(s+2)(s^2+4s+20)}$

c. $C(s) = \dfrac{(s+2{,}1)}{s(s+2)(s^2+s+5)}$

d. $C(s) = \dfrac{(s+2{,}01)}{s(s+2)(s^2+5s+20)}$

32. Determine o instante de pico, o tempo de acomodação e a ultrapassagem percentual apenas para as respostas a seguir que podem ser aproximadas por respostas de segunda ordem. [Seção: 4.8.]

a. $$c(t) = 0{,}003500 - 0{,}001524e^{-4t} - 0{,}001976e^{-3t}\cos(22{,}16t) - 0{,}0005427e^{-3t}\operatorname{sen}(22{,}16t)$$

b. $$c(t) = 0{,}05100 - 0{,}007353e^{-8t} - 0{,}007647e^{-6t}\cos(8t) - 0{,}01309e^{-6t}\operatorname{sen}(8t)$$

c. $$c(t) = 0{,}009804 - 0{,}0001857e^{-5{,}1t} - 0{,}009990e^{-2t}\cos(9{,}796t) - 0{,}001942e^{-2t}\operatorname{sen}(9{,}796t)$$

d. $$c(t) = 0{,}007000 - 0{,}001667e^{-10t} - 0{,}008667e^{-2t}\cos(9{,}951t) - 0{,}0008040e^{-2t}\operatorname{sen}(9{,}951t)$$

51. A anestesia induz relaxamento muscular (paralisia) e inconsciência no paciente. O relaxamento muscular pode ser monitorado utilizando-se os sinais de um eletromiograma dos nervos da mão; a inconsciência pode ser monitorada utilizando-se a pressão arterial média do sistema cardiovascular. O medicamento anestésico é uma mistura de isoflurano e atracúrio. Um modelo aproximado que relaciona o relaxamento muscular à porcentagem de isoflurano na mistura é

$$\frac{P(s)}{U(s)} = \frac{7{,}63 \times 10^{-2}}{s^2 + 1{,}15s + 0{,}28}$$

em que $P(s)$ é o relaxamento muscular medido como uma fração da paralisia total (normalizada para a unidade) e $U(s)$ é o percentual de isoflurano na mistura (*Linkens*, *1992*). [Seção 4.6.]

a. Determine o fator de amortecimento e a frequência natural da resposta transitória da paralisia.

b. Determine o percentual máximo possível da paralisia caso uma mistura com 2% de isoflurano seja utilizada.

c. Represente graficamente a resposta ao degrau da paralisia caso uma mistura com 1% de isoflurano seja utilizada.

d. Qual percentual de isoflurano deveria ser utilizado para uma paralisia de 100%?

52. Para se tratar a asma aguda injeta-se por via intravenosa o medicamento teofilina. A taxa de variação da concentração do medicamento no sangue é igual à diferença entre a concentração injetada e a concentração eliminada. A concentração injetada é $i(t)/V_d$, em que $i(t)$ é a vazão do medicamento por peso e V_d é o volume aparente e depende do paciente. A concentração eliminada é dada por $k_{10}c(t)$, em que $c(t)$ é a concentração atual do medicamento no sangue e k_{10} é a constante de taxa de eliminação. A concentração de teofilina no sangue é crítica – se for muito baixa, o medicamento é ineficaz; se for muito alta, o medicamento é tóxico (*Jannett*, *1992*). Você ajudará o médico com seus cálculos.

a. Deduza uma equação relacionando a concentração desejada no sangue, C_D, com a vazão do medicamento por peso requerida, I_R.

b. Deduza uma equação que dirá por quanto tempo o medicamento deve ser administrado para alcançar a concentração desejada no sangue. Utilize ambos: o tempo de subida e o tempo de acomodação.

c. Determine a taxa de injeção de teofilina caso V_D = 600 mL, k_{10} = 0,07 h^{-1} e o nível requerido de medicamento no sangue seja 12 mcg/mL (“mcg” significa microgramas). Ver (*Jannett*, *1992*) para uma descrição dos valores dos parâmetros.

d. Determine o tempo de subida e o tempo de acomodação para as constantes no Item **c**.

53. Os pacientes com desordens neurológicas no sistema motor superior podem se beneficiar e recuperar funções úteis através do uso de neuropróteses funcionais. O projeto requer um bom entendimento da dinâmica dos músculos. Em um experimento para determinar as respostas de um músculo, a função de transferência identificada foi (*Zhou*, *1995*)

$$M(s) = \frac{2{,}5e^{-0{,}008s}(1 + 0{,}172s)(1 + 0{,}008s)}{(1 + 0{,}07s)^2(1 + 0{,}05s)^2}$$

Determine a resposta ao degrau unitário dessa função de transferência.

59. Em algum instante de suas vidas a maioria das pessoas sofrerá com pelo menos um ataque de dor na coluna lombar. Essa desordem pode desencadear sofrimento extenso e provocar uma incapacidade temporária, mas sua causa é de difícil diagnóstico. Sabe-se que a dor na coluna lombar altera os padrões motores principais; assim, há interesse em se estudar as causas dessas alterações e suas extensões. Devido às diferentes causas possíveis desse tipo de dor, é difícil obter um grupo de pessoas de "controle" para estudos em laboratório. Entretanto, a dor pode ser estimulada em pessoas saudáveis, e as faixas de movimento muscular podem ser comparadas. Dor controlada na coluna pode ser induzida injetando-se uma solução salina diretamente em músculos ou ligamentos relacionados. A função de transferência da taxa de infusão para a resposta de dor foi obtida experimentalmente injetando-se 5% de solução salina a seis diferentes taxas de injeção por um período de 12 minutos. Os indivíduos avaliavam verbalmente sua dor a cada 15 segundos em uma escala de 0 a 10, com 0 indicando ausência de dor e o 10 uma dor insuportável. Foi utilizada a média de diversos ensaios e os dados foram ajustados à seguinte função de transferência:

$$G(s) = \frac{9{,}72 \times 10^{-8}(s + 0{,}0001)}{(s + 0{,}009)^2(s^2 + 0{,}018s + 0{,}0001)}$$

Para efeito de experimentação, deseja-se construir um sistema de infusão automática para manter o nível de dor constante, como mostrado na Figura P4.15. Segue-se que, idealmente, a função de transferência do sistema de injeção deveria ser

$$M(s) = \frac{1}{G(s)}$$

para se obter uma função de transferência global $M(s)G(s) \oplus 1$. Entretanto, para propósitos de implementação, $M(s)$ deve possuir no mínimo um polo a mais do que zeros (*Zedka, 1999*). Obtenha uma função de transferência apropriada, $M(s)$, invertendo $G(s)$ e adicionando polos que estejam afastados do eixo imaginário.

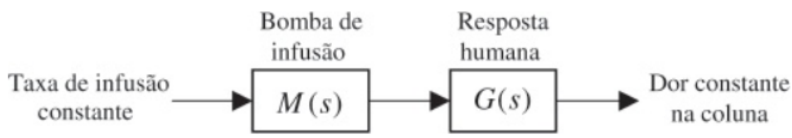

FIGURA P4.15

61. Uma função de transferência observada, do potencial de tensão para a força em músculos esqueléticos, é dada por (*Ionescu, 2005*)

$$T(s) = \frac{450}{(s+5)(s+20)}$$

a. Obtenha a resposta ao impulso do sistema.

b. Integre a resposta ao impulso para obter a resposta ao degrau.

c. Verifique o resultado do Item b obtendo a resposta ao degrau utilizando técnicas da transformada de Laplace.

65. A modelagem matemática e o controle de processos de pH são bastante desafiadores uma vez que os processos são altamente não lineares, devido à relação logarítmica entre a concentração dos íons de hidrogênio [H+] e o nível de pH. A função de transferência da entrada de pH para a saída de pH é $G_a(s) = \frac{Y_a(s)}{X_a(s)} = \frac{14,49e^{-4s}}{1478,26s+1}$, em que $G_a(s)$ é um modelo para o processo anaeróbico em um sistema de tratamento de esgoto no qual bactérias produtoras de metano precisam que o pH seja mantido em sua faixa ótima de 6,8 a 7,2 (*Jiayu, 2009*). Semelhantemente, (*Elarafi, 2008*) utilizou técnicas empíricas para modelar uma planta de neutralização de pH como um sistema de segunda ordem com um atraso puro, produzindo a seguinte função de transferência relacionando o pH de saída com o pH de entrada:

$$G_p(s) = \frac{Y_p(s)}{X_p(s)} = \frac{1,716 \times 10^{-5} e^{-30s}}{s^2 + 6,989 \times 10^{-3} s + 1,185 \times 10^{-6}}$$

a. Obtenha expressões analíticas para as respostas ao degrau unitário $y_a(t)$ e $y_p(t)$ para os dois processos, $G_a(s)$ e $G_p(s)$. (Sugestão: utilize o teorema do deslocamento no tempo da Tabela 2.2.)