

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{K_0 K_1 K_2 n}{s[R_a(J_0 s + b_0) + K_2 K_3]} \\
 &= \frac{K_0 K_1 K_2 n / R_a}{J_0 s^2 + \left(b_0 + \frac{K_2 K_3}{R_a}\right)s}
 \end{aligned} \tag{3.51}$$

O termo $[b_0 + (K_2 K_3 / R_a)]s$ indica que a fcm do motor aumenta efetivamente o atrito viscoso do sistema. A inércia J_0 e o coeficiente de atrito viscoso $b_0 + (K_2 K_3 / R_a)$ referem-se ao eixo do motor. Quando J_0 e $b_0 + (K_2 K_3 / R_a)$ são multiplicados por $1/n^2$, a inércia e o coeficiente de atrito viscoso são expressos em termos do eixo de saída. Introduzindo novos parâmetros definidos por:

$$J = J_0 / n^2 = \text{momento de inércia referente ao eixo de saída}$$

$$B = [b_0 + (K_2 K_3 / R_a)] / n^2 = \text{coeficiente de atrito viscoso referente ao eixo de saída}$$

$$K = K_0 K_1 K_2 / n R_a$$

a função de transferência $G(s)$ dada pela Equação 3.51 pode ser simplificada, resultando em:

$$G(s) = \frac{K}{Js^2 + Bs}$$

ou

$$G(s) = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

onde

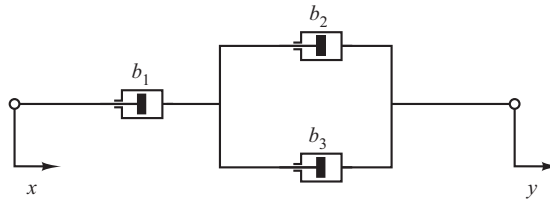
$$K_m = \frac{K}{B}, \quad T_m = \frac{J}{B} = \frac{R_a J_0}{R_a b_0 + K_2 K_3}$$

O diagrama de blocos do sistema indicado na Figura 3.29(b) pode, assim, ser simplificado como mostra a Figura 3.29(c).

Problemas

B.3.1 Obtenha o coeficiente de atrito viscoso b_{eq} equivalente do sistema mostrado na Figura 3.30.

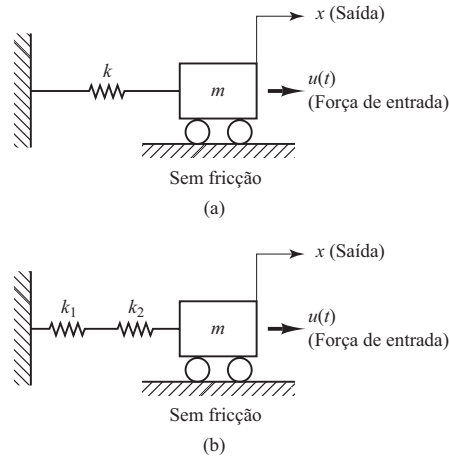
FIGURA 3.30
Sistema de amortecedores.



B.3.2 Obtenha os modelos matemáticos dos sistemas mecânicos mostrados nas figuras 3.31(a) e (b).

FIGURA 3.31

Sistemas mecânicos.



- B.3.3** Obtenha uma representação no espaço de estados do sistema mecânico indicado na Figura 3.32, onde u_1 e u_2 são as entradas e y_1 e y_2 são as saídas.
- B.3.4** Considere o sistema de pêndulo de mola com carga indicado na Figura 3.33. Suponha que a ação da força da mola sobre o pêndulo seja zero quando este está na posição vertical ou $\theta = 0$. Suponha também que o atrito envolvido seja desprezível e o ângulo de oscilação θ seja pequeno. Obtenha o modelo matemático do sistema.
- B.3.5** Referindo-se aos exemplos 3.5 e 3.6, considere o sistema de pêndulo invertido indicado na Figura 3.34. Suponha que a massa do pêndulo invertido seja m e seja uniformemente distribuída ao longo da haste. (O centro de gravidade do pêndulo está localizado no centro da haste.) Supondo que θ seja pequeno, deduza os modelos matemáticos para o sistema na forma de equações diferenciais, funções de transferência e equações no espaço de estados.

FIGURA 3.32

Sistema mecânico.

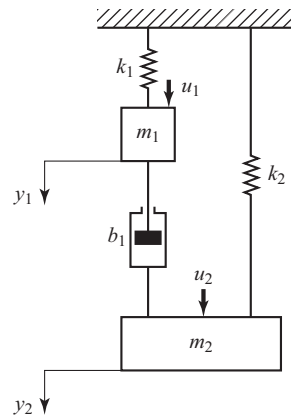
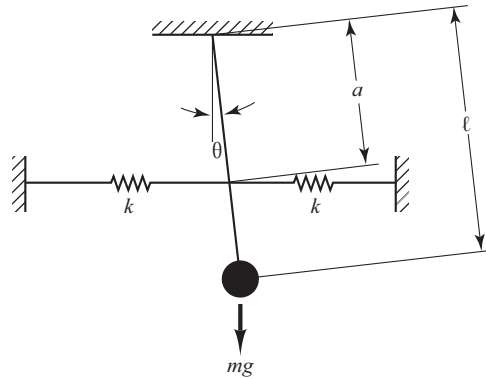
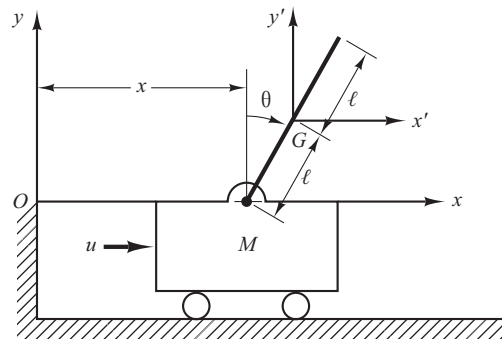


FIGURA 3.33

Sistema de pêndulo de mola com carga.

**FIGURA 3.34**

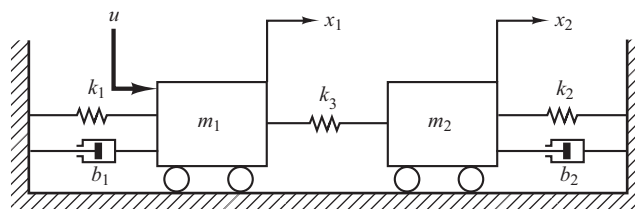
Sistema de pêndulo invertido.



B.3.6 Obtenha as funções de transferência $X_1(s)/U(s)$ e $X_2(s)/U(s)$ do sistema mecânico indicado na Figura 3.35.

FIGURA 3.35

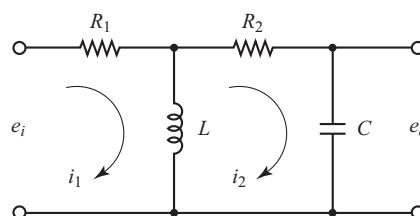
Sistema mecânico.



B.3.7 Obtenha a função de transferência $E_o(s)/E_i(s)$ do circuito elétrico indicado na Figura 3.36.

FIGURA 3.36

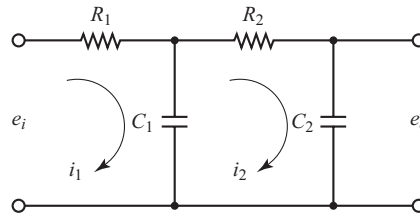
Circuito elétrico.



- B.3.8** Considere o circuito elétrico mostrado na Figura 3.37. Obtenha a função de transferência $E_o(s)/E_i(s)$ pelo método do diagrama de blocos.

FIGURA 3.37

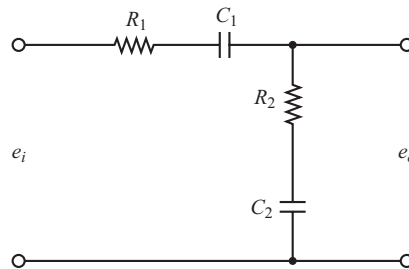
Circuito elétrico.



- B.3.9** Deduza a função de transferência do circuito elétrico indicado na Figura 3.38. Desenhe um diagrama esquemático de um sistema mecânico análogo.

FIGURA 3.38

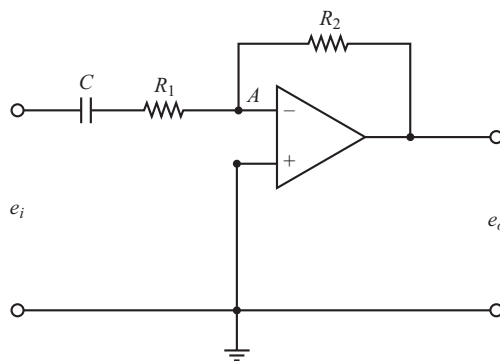
Circuito elétrico.



- B.3.10** Obtenha a função de transferência $E_o(s)/E_i(s)$ do circuito com amplificador operacional indicado na Figura 3.39.

FIGURA 3.39

Circuito com amplificador operacional.



- B.3.11** Obtenha a função de transferência $E_o(s)/E_i(s)$ do circuito com amplificador operacional indicado na Figura 3.40.