UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHRIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

1ª Lista de SEL0417 – Fundamentos de Controle

Professor: Rodrigo Andrade Ramos
Referência:

DORF, Richard D. Modelos Matemáticos de Sistemas. *In*: SISTEMA de Controle Modernos. 8. ed. [*S. l.*: *s. n.*], 1998. cap. 2.

FRANKLIN, Gene F. Modelos Dinâmicos. *In*: SISTEMAS de Controle para Engenharia. 6. ed. [*S. l.*]: Bookman, 2013. cap. 2.

Exercício 1

Escreva as equações diferenciais e encontre a função de transferência do circuito da Figura 1, onde e_i é a entrada e e_o é a saída. Monte também um modelo de estados para este circuito.

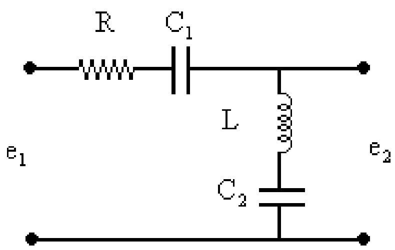

Figura 1: Circuito elétrico passivo.

Exercício 2

Ache a tensão de saída v_o em função da tensão de entrada v_i para o circuito com amplificador operacional da Figura 2.

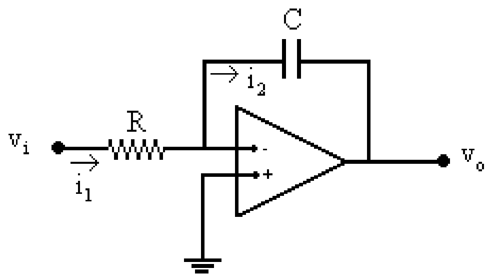

Figura 2: Circuito elétrico com função de integrador ativo.

Exercício 3

Construa também um modelo em espaço de estados para o circuito da Figura 3, e obtenha, em seguida, a função de transferência $E_o(s)/E_i(s)$ deste circuito.

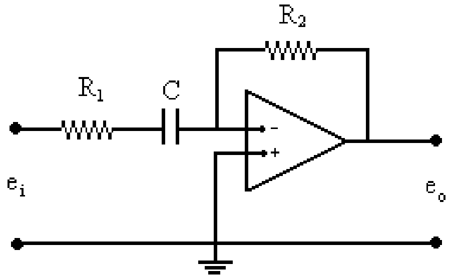

Figura 3: Circuito elétrico ativo com amplificador operacional.

Exercício 4

Escreva as equações diferenciais do sistema mecânico da Figura 4, de tal forma que x_2 possa ser determinado. Construa também o sistema elétrico análogo a este sistema mecânico.

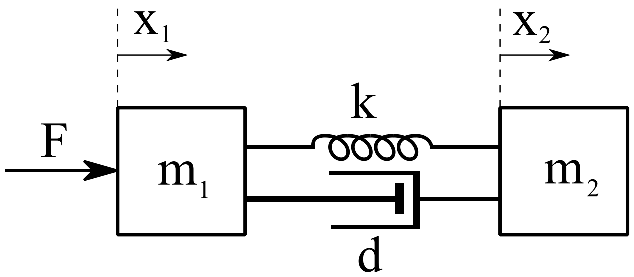

Figura 4: Sistema mecânico de duas massas.

Exercício 5

Considere que, no sistema de armazenamento de líquido da Figura 5, seja possível controlar a vazão que entra no tanque da esquerda e a vazão que sai pela válvula R_2, mas que não seja possível controlar a vazão que entra no tanque da direita ou a vazão que passa pela válvula R_1. Considere ainda que seja possível medir a altura da coluna de líquido nos dois tanques e a vazão nas válvulas R_1 e R_2.

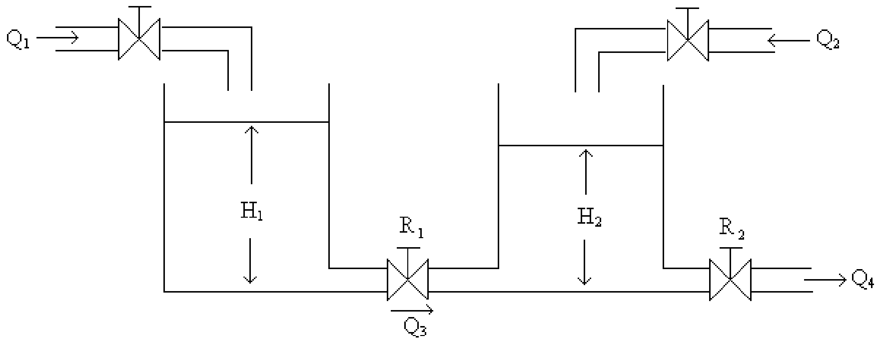

Figura 5: Sistema de armazenamento de líquido com dois tanques.

a) Identifique grandezas que podem ser usadas, respectivamente, como entrada de controle, entrada de distúrbio, saída medida e saída controlada, na construção de um modelo de estados para este sistema;
b) Dentre as grandezas identificadas, sugira um par de variáveis que possa ser usado como entrada de controle e saída controlada, caso o objetivo do controle seja manter constante a altura da coluna de líquido no tanque da direita;
c) Supondo novamente que o objetivo de controle seja manter constante a altura da coluna de líquido no tanque da direita, equacione a condição que garante o atendimento deste objetivo em termos das vazões de entrada nos tanques da direita e da esquerda e da vazão na válvula R_2..

Exercício 6

O termômetro da Figura 6 pode ser representado como duas massas térmicas com capacitâncias térmicas C_1 e C_2. As resistências totais do vidro interno e do vidro externo são R_1 e R_2, respectivamente.

a) Pensando em termos de energia, explique o significado dos conceitos de capacitância e resistência térmicas envolvidos neste problema;
b) Fazendo uma analogia entre os conceitos de temperatura, capacitância térmica e resistência térmica mencionados anteriormente com os conceitos de tensão, capacitância elétrica e resistência elétrica presentes na teoria de circuitos elétricos, construa um modelo em espaço de estados que represente a variação das temperaturas T_1 e T_2 neste termômetro, considerando a temperatura T_0 como entrada;
c) Obtenha a função de transferência que descreve a variação da temperatura T_2 em função da temperatura T_0.

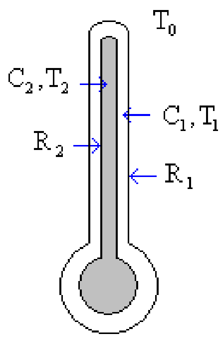

Figura 6: Representação esquemática de um termômetro.

Exercício 7

Um termômetro com constante de tempo τ = 0,5 [min] encontra-se imerso em um líquido com temperatura constante de 40 [ºC].

a) Em *t=0* o termômetro é retirado daquele líquido e colocado em um banho mantido à temperatura constante de 80 [ºC]. Determine o tempo necessário para que a temperatura lida neste termômetro seja 60 [ºC].

b) Em *t=0* a temperatura do líquido de 40 [ºC] começa a oscilar senoildamente com a frequência de $10/\pi$ [ciclos/min] e amplitude 20 [ºC]. Determine a leitura do termômetro.

Exercício 8

Como ilustrado na Figura 8, um cilindro de material sólido, imerso em um líquido, desenvolve um movimento de rotação mantendo-se na vertical, devido à queda de uma massa que está a ele ligada através de um fio inextensível. Sendo B o coeficiente de atrito viscoso rotacional entre o cilindro e o líquido, determine a equação diferencial que descreve o comportamento dinâmico do deslocamento angular do cilindro.

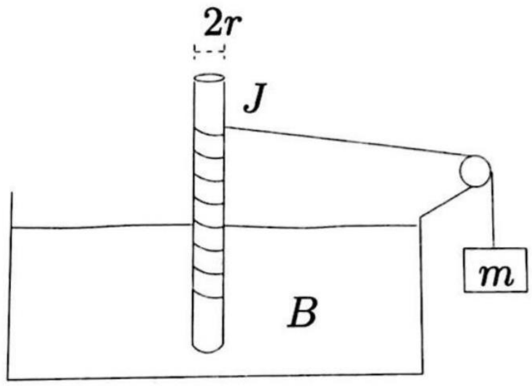

Figura 8: Rotação com atrito

Exercício 9

A figura 9 mostra uma massa M = 1,0 [kg] e uma mola com massa m = 0,1 [kg] e coeficiente de elasticidade k = 4 [N/m]. Considere, como indicado na mesma figura que a massa da mola está concentrada na metade do seu comprimento. Determine:

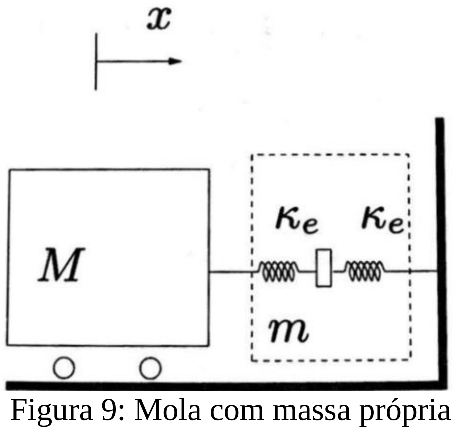

Figura 9: Mola com massa própria

a) O valor do coeficiente de elasticidade equivalente *Ke*.

b) As equações que regem o movimento da massa M segundo o referencial indicado, desconsiderando a existência de atrito.

Exercício 10

Para o sistema de fluxo de fluido constituído de dois tanques mostrado na Figura 10, encontre as equações diferenciais relacionando o fluxo entrando no primeiro tanque com o fluxo saindo do segundo taque.

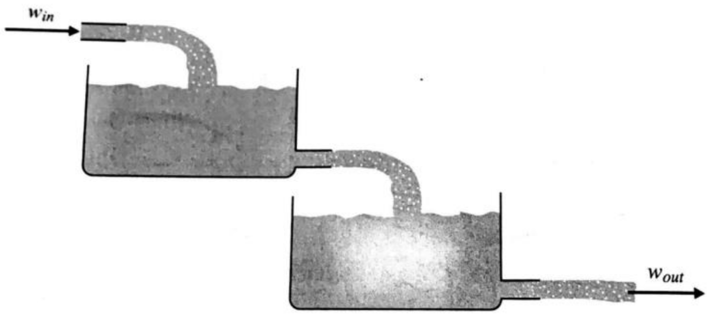

Figura 10: Sistema de fluxo fluido constituído de dois tanques

Exercício 11

Considere o alto-falante na Figura 11 e o circuito na Figura 12, encontre as equações diferenciais relacionado a tensão de entrada *va* com o deslocamento *x* do cone. Assuma que a resistência R e a indutância L sejam eficientes.

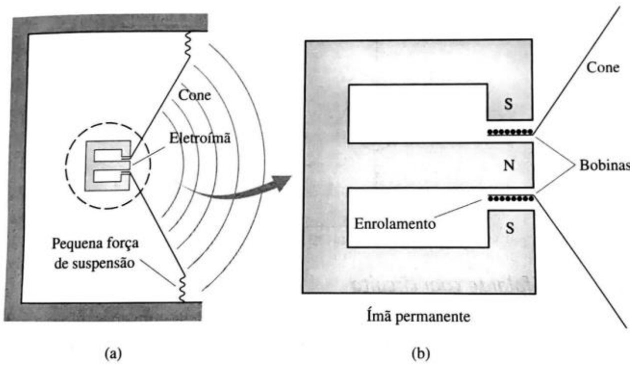

Figura 11: Geometria de um alto-falante: (a) configuração geral; (b) bobina eletromagnética.

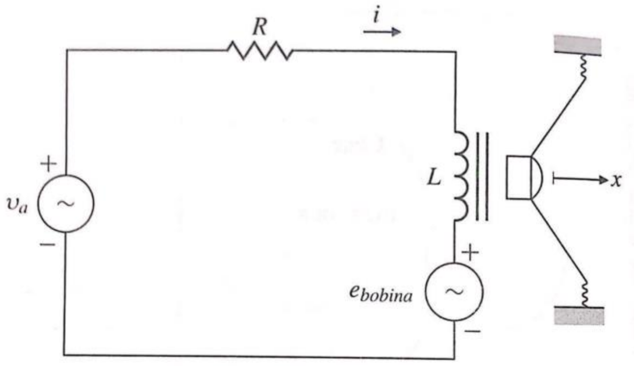

Figura 12: Circuito de um alto-falante.

Questão 12

Considerar o controle do robô mostrado na Figura 12. O motor girando no cotovelo move o pulso através do antebraço, que possui alguma flexibilidade, como está mostrado. A mola tem uma constante de mola de k e a constante de amortecimento é b. Sejam as variáveis estado $X_1 = -\phi$ e $X_2 = \omega 1/\omega 0$, onde

$$\omega_0{}^2 = \frac{k(J_1 + J_2\ )}{J_1 J_2}$$

Escrever a equação das variáveis de estado na forma de matriz quando $X_3 = \omega 2/\omega 0$

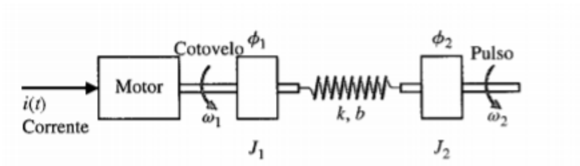

Figura 12: Um robô industrial