

Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão

Departamento de Eletroeletrônica

Exercícios Propostos: Simulação Analógica

O pacote computacional SIMULINK para simulação analógica deve ser utilizado para resolver numericamente equações diferenciais ordinárias. A partir da construção de um Diagrama de Simulação Analógica correspondente, pode-se facilmente definir um diagrama de simulação no SIMULINK que permitirá a simulação digital de um processo industrial qualquer.

IMPORTANTE:

- Para os exercícios relacionados aos sistemas retilíneo e torcional, gere uma entrada impulsiva de forma aproximada, com amplitude 10, considerando um pulso de área unitária e de duração muito curta.
- Verifique visualmente se o passo escolhido pela rotina de integração do SIMULINK é apropriado. Caso não seja suficientemente pequeno, as curvas das respostas não serão suaves mas cheias de quebras e pontas.

1. Considere um sistema massa/mola/amortecedor mostrado na Fig. 1. As equações diferenciais que regem o comportamento do sistema são:

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2(x_1 - x_2) = F(t) \tag{1}$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_3 x_2 + k_2(x_2 - x_1) = 0 \tag{2}$$

A partir do conjunto de equações (1) e (2), determine o Diagrama de Simulação Analógica do sistema massa/mola/atrito-viscoso, explicitando como saídas as posições x_1 e x_2 das massas m_1 e m_2 , respectivamente.

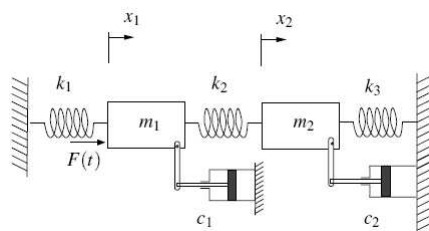


Figura 1: Sistema retilíneo: Sistema massa/mola/amortecedor.

2. Considere o sistema inércia/mola/amortecedor mostrado na Fig. 2. As equações diferenciais que regem o comportamento do sistema são:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + b_1 \dot{\theta}_1 + K_1(\theta_1 - \theta_2) = T(t) \tag{3}$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + K_2 \dot{\theta}_2 + K_1(\theta_2 - \theta_1) = 0 \tag{4}$$

A partir do conjunto de equações (3)-(4), determine o Diagrama de Simulação Analógica do sistema disco/mola-de-torsão/amortecedor, explicitando como saídas as posições angulares q_1 e q_2 dos discos de inércia J_1 e J_2 , respectivamente.

3. Utilizando a idéia de simulação analógica, explique o que seria necessário para transformar o sistema retilíneo num simulador por analogia do sistema torcional.

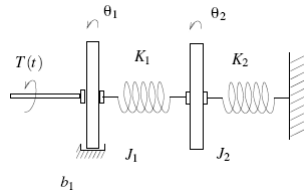


Figura 2: Sistema torsional: disco/mola-de-torsão/amortecedor.

4. Utilizando o SIMULINK implemente o Diagrama de Simulação Analógica dos sistemas retilíneo e torsional. Considere as condições iniciais nulas e utilize os dados numéricos (unidades MKS):

Sistema retilíneo : $m_1 = 0.7Kg; m_2 = 0.5Kg; k_1 = k_3 = 380N/m; k_2 = 200N/m; c_1 = c_2 = 1.5N - s/m;$
 Sistema torsional : $J_1 = 0.003kg - m^2; J_2 = 0.002Kg - m^2; K_1 = K_2 = 1.5N - rad; b_1 = 0.01N - m/rad$

5. Obtenha, na forma de gráficos, as respostas temporais das variáveis $x_1, \dot{x}_1, x_2, \dot{x}_2, q_1, \dot{q}_1, q_2$ e \dot{q}_2 . Obtenha, na forma de gráficos as respostas no plano de fase das variáveis $x_1 \times x_2, \dot{x}_1 \times \dot{x}_2, q_1 \times q_2$ e $\dot{q}_1 \times \dot{q}_2$ (Dica: utilize simulink/sinks/xygraph).

6. Um forno industrial cerâmico, Fig. 3, apresenta um comportamento dinâmico dado por:

$$m_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} = k_{12}(T_2 - T_1) \tag{5}$$

$$m_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} = -k_{12}(T_2 - T_1) - k_{20}(T_2 - T_0) + u(t) \tag{6}$$

onde $T_1(t), T_2(t), T_0(t)$ são as temperaturas do material sob análise, a interna do forno e a ambiente(perturbação), respectivamente. O bloco de ferro sob análise tem massa $m_1 = 3000g$ e calor específico $c_1 = 0.107 \frac{Cal}{g.^{\circ}C}$; a massa interna do material que constitui o forno é $m_2 = 4000g$ com calor específico $c_2 = 0.21 \frac{Cal}{g.^{\circ}C}$; as condutividades térmicas do ferro e da cerâmica são $k_{12} = 0.16 \frac{Cal}{s.cm.^{\circ}C}$ e $k_{20} = 0.0011 \frac{Cal}{s.cm.^{\circ}C}$, respectivamente. (Dica: Considere a perturbação um sinal aleatório de média $30^{\circ}C$ e variância $1.5^{\circ}C$; o forno apresenta uma resistência de $r = 50\Omega$ e funciona com tensão nominal de $U = 220V$ *olts* AC; A energia fornecida pelo elemento resistivo é dada por $\frac{U^2}{4.2 \times r}$ Cal). Gere uma entrada pulsiva com duração de 1 hora.

- a) Utilizando o SIMULINK implemente o Diagrama de Simulação Analógica do forno industrial.
- b) Obtenha, na forma de gráficos, e compare as respostas temporais das variáveis T_1, \dot{T}_1, T_2 e \dot{T}_2 , para o forno a vazio ($k_{12} = 0$) e com blocos de ferro ($k_{12} = 0.16 \frac{Cal}{s.cm.^{\circ}C}$) de massa $m_1 = 200g, 500g, 700g, 1000g, 2000g, 3000g$. Explique os resultados obtidos.
- c) Obtenha, na forma de gráficos as respostas no plano de fase das variáveis $T_1 \times T_2, \dot{T}_1 \times \dot{T}_2$ para as análise do ítem b.
- d) Com base nos resultados apresentados, analise o comportamento dinâmico do sistema térmico em função de T_1 e T_2 .
- e) Sabendo-se que a temperatura de fusão do ferro é de 1540 graus Celsius, qual o tempo estimado para que o forno alcance esta temperatura em plena carga. O forno consegue acomodar-se nesta temperatura? Explique se no projeto de um controlador para este forno, você consideraria o efeito da carga no forno ou apenas o forno a vazio (sem carga)?

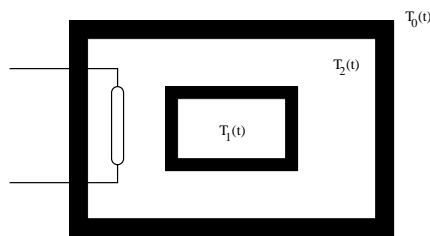


Figura 3: Planta térmica