

**ELT129 – OFICINA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO**  
**EXERCÍCIO COMPUTACIONAL 10**

- 1) Gere um script ec10a.m a partir de tut10a.m e adicione um atraso de 1 e 5 segundos nas entradas  $V_d$  e  $T_d$  respectivamente ao criar a função de transferência  $T(s)$  com o comando connect. Compare as funções de transferência e os gráficos dos diagramas de Bode, respostas ao impulso, respostas ao degrau com e sem atraso. Plote também as respostas dos sistemas com e sem atraso a uma entrada cossenoidal  $v_a = \cos(\text{tempo})$  fazendo  $T_d$  igual a zero.
- 2) Para atenuar a vibração produzida pela rotação do motor, queremos projetar um sistema massa-mola a ser afixado à plataforma conforme mostrado na Figura 1.

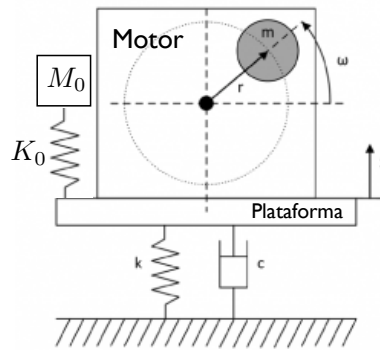


FIGURA 1. Motor desbalanceado e sistema massa-mola para atenuação de vibração.

A equação que descreve o movimento da plataforma passa a ser:

$$M \ddot{x} + c \dot{x} + kx = f(t) + f_0(t) ,$$

onde  $f_0(t)$  é a força exercida pelo novo sistema massa-mola sobre a plataforma. Esse subsistema pode ser descrito pelas equações

$$M_0 \ddot{y} = -K_0(y - x)$$

$$f_0 = K_0(y - x) ,$$

em que  $y$  representa variações na altura de  $M_0$ . Assim, temos uma função de transferência

$$H(s) = \frac{F_0(s)}{X(s)} = K_0 \left( \frac{Y(s)}{X(s)} - 1 \right) = K_0 \left( \frac{K_0}{M_0 s^2 + K_0} - 1 \right) = \frac{-K_0 M_0 s^2}{M_0 s^2 + K_0} .$$

Note que  $H(s)$  cria uma malha de realimentação, de modo que a saída  $X(s)$  afeta a entrada  $F_0(s)$ .

Crie um arquivo com nome ec10b.m. Esse script deverá incluir em tut10b.m a malha de realimentação para obter a função de transferência  $T(s) = X(s)/F(s) =$

$G(s)/(1 - G(s)H(s))$ . O valor de  $K_0$  será fixado em  $1.35 \cdot 10^4$  [N/m] e  $M_0$  será fixado em 0.4617. Plote o diagrama de Bode de  $T(s)$  e a resposta ao impulso. Exiba os pólos e zeros de  $T(s)$  usando o comando `zpk`. Execute o arquivo e explique por que o valor de  $M_0$  obtido minimiza a amplitude de oscilação. Altere o valor de  $M_0$  e observe o diagrama de Bode de  $T(s)$  e veja que a amplitude de oscilação voltou a ser grande.

**Comentário:** É interessante notar que poderíamos mudar a frequência de ressonância da plataforma adicionando massa à mesma. A dificuldade aqui é que, para obter o efeito desejado, teríamos que adicionar massa da ordem da massa do motor. Usando um sistema massa-mola, somos capazes de obter o mesmo efeito com uma massa muito menor. O mesmo problema de ressonância descrito aqui é encontrado na excitação de arranha-céus pelo vento. Note que neste caso é absolutamente inviável a solução de adicionar massa da ordem daquela do arranha-céu.

**O que você aprendeu nesta aula:**

- Como calcular interconexões de sistemas lineares.
- Como obter pólos e zeros de um sistema.
- Como cancelar pólos e zeros para obter realizações mínimas.
- Como obter diagramas de Bode e a resposta em frequência de sistemas lineares.
- Como obter a resposta temporal de sistemas com condições iniciais não-nulas.
- Como calcular a amplitude da resposta do sistema a entradas senoidais.
- Como usar ferramentas de otimização para projetar um sistema de atenuação de oscilações.