

PMR3404 – Controle I
Projeto de Laboratório

MICRO-MESA

1. Descrição

O consiste numa mesa sustentada por um par de molas-lâminas que permitem, num pequeno curso, um movimento de translação da mesa. A força de reação da mola é proporcional ao deslocamento da mesa. Sobre essa mesa é empilhada uma segunda mesa, igualmente apoiada sobre molas de lâminas. O acionamento é feito através de um par bobina-imã permanente. Circulando corrente na bobina o imã pode ser atraído ou repelido. O objetivo do sistema de controle é posicionar a sub-mesa de acordo com o comando requerido e assim mantê-la mesmo na presença de distúrbios e erros de modelagem.

2. Modelo matemático

A Figura 1 ilustra o sistema. A mesa possui massa M_1 , apoiada sobre molas de constante k_{m1} . A sub-mesa apoiada possui massa M_2 , ligada à primeira mesa por molas de constante k_{m2} .

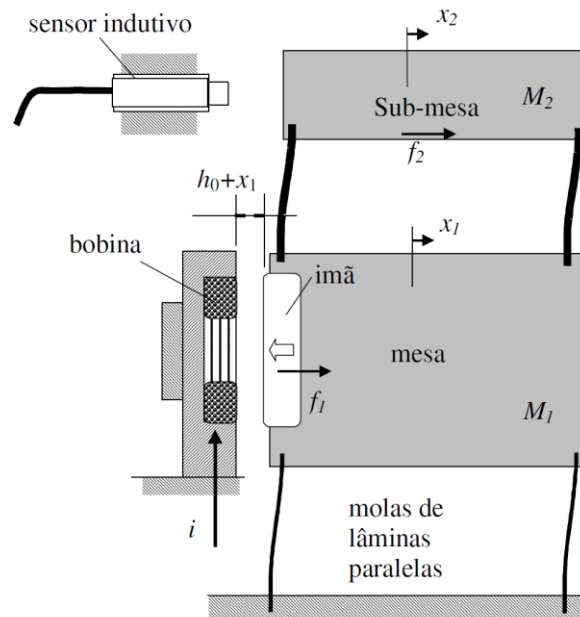


Figura 1 - Esquema da micro-mesa

2.1. Equações de movimento

O equilíbrio de forças na mesa 1 é derivado a partir da Figura 2:

$$f_1(t) = M_1 \ddot{x}_1(t) + C_{m1} \dot{x}_1(t) + f_2(t) + k_{m1} x_1(t)$$

O deslocamento da mesa 1 é dado por $x_1(t)$, a força na bobina atuante sobre a mesa 1 é dada por $f_1(t)$. O sistema possui um amortecimento de constante C_{m1} . A força de reação da sub-mesa pode ser modelada por

$$f_2(t) = C_{m2}(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k_{m2}(x_1(t) - x_2(t))$$

Na qual o deslocamento da mesa 2 é dado por $x_2(t)$ e C_{m2} é o amortecimento entre as duas mesas.

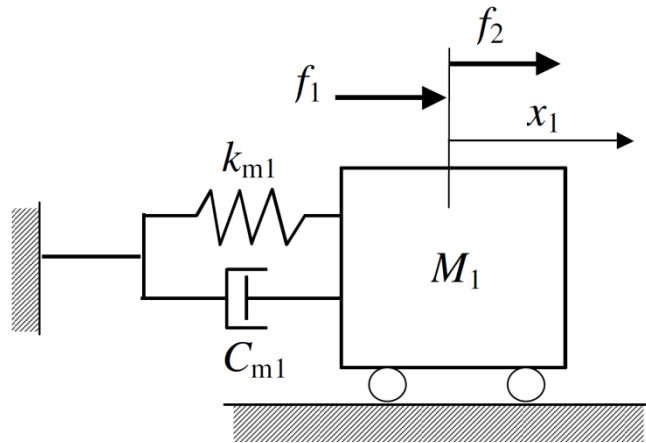


Figura 2 - Equilíbrio de forças na mesa

O equilíbrio de forças da sub-mesa é derivado então da Figura 3:

$$M_2 \ddot{x}_2(t) = f_2(t)$$

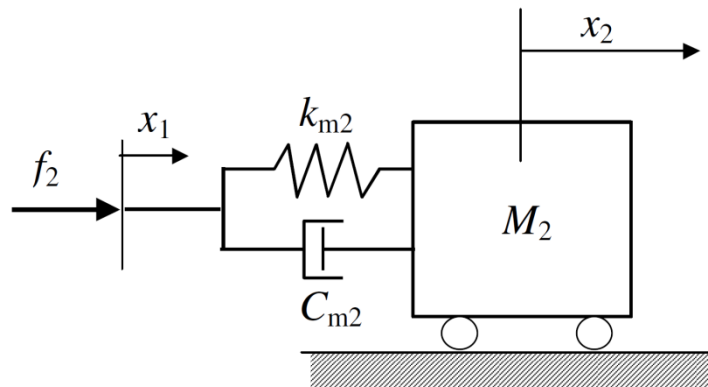


Figura 3 – Equilíbrio de Forças na sub-mesa

2.2. Dinâmica do Atuador

A força magnética do atuador é dada por

$$f_1(t) = k_{mag} \frac{i(t)}{(h_0 + x_1(t))^2}$$

Onde h_0 é o entreferro quando a corrente da bobina $i(t)$ é nula e as mesas se encontram em repouso, k_{mag} é uma constante eletromagnética que converte a corrente em força de empuxo.

A equação dinâmica do circuito elétrico é dada por

$$v_a(t) = L \frac{di}{dt} + Ri(t) + v_{cem}(t)$$

Na qual $v_a(t)$ é a tensão nos terminais da bobina e $i(t)$ é a corrente na bobina.

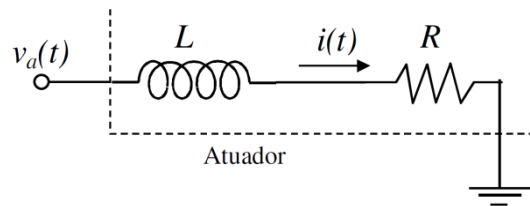


Figura 4 - Circuito do atuador

$v_{cem}(t)$ é a tensão induzida na bobina pelo movimento relativo do ímã e proporcional à velocidade do ímã, conforme a equação a seguir:

$$v_{cem}(t) = k_{cem} \dot{x}_1(t)$$

Na qual k_{cem} é uma constante de proporcionalidade.

A tensão nos terminais da bobina é fornecida por um amplificador de potência, cuja entrada é um sinal de tensão u e o fator de amplificação é k_{amp} :

$$v_a = k_{amp} u$$

2.3. Resposta do sensor

A posição da sub-mesa é medida por um sensor indutivo, que fornece uma tensão $v_s(t)$ proporcional ao deslocamento da mesa:

$$v_s(t) = k_s x_2(t)$$

2.4. Parâmetros

Parâmetro	Valor
Massa da mesa M_1	0.01 kg
Massa da sub-mesa M_2	0.004 kg
Constante de mola k_{m1}	$1 \times 10^3 N/m$
Constante de mola k_{m2}	$12 \times 10^3 N/m$
Constante de amortecimento C_{m1}	18 N.s/m
Constante de amortecimento C_{m2}	26 N.s/m
Ganho do amplificador de potência k_{amp}	10 V/V
Constante eletromagnética k_{mag}	14 N.m ² /A
Constante contra-eletromotriz k_{cem}	0.003 V.s/m
Entreferro em repouso h_0	0.0005 m

Ganho do sensor k_s	$1 \times 10^3 \text{ V/m}$
Resistência ôhmica do atuador R	30Ω
Indutância do atuador L	0.02 H
Máxima corrente no atuador	$15 \times 10^{-9} \text{ A}$
Curso útil	0.1 mm
Carga máxima sobre a submesa	0.001 kg

3. Requisitos de desempenho

O sistema de controle deve levar a submesa para a posição desejada e mantê-la em equilíbrio com as seguintes características em malha fechada:

- Erro de regime igual a zero para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Sem sobressinal
- Tempo de assentamento de 2% compatível com a dinâmica do sistema para o comando de referência variando na forma de degrau (estabeleça claramente o valor);
- Margem de ganho maior do que 10 dB;
- Margem de fase maior do que 45° ;
- Rejeição completa de qualquer perturbação constante.
- Robustez à presença de carga na submesa
- Esforço de controle compatível com o valor máximo de corrente permitido na bobina.