

ATIVIDADE EM GRUPO

UM TIPO SIMPLES DE GIROSCÓPIO MEMS

Abaixo temos o esquema simplificado de um tipo de giroscópio eletromecânico esculpido em silício, visto de cima. As peças em azul são móveis: elas estão suspensas sobre o substrato (representado pelo fundo cinza). Essas peças móveis estão ancoradas (“fixadas”) no substrato apenas através dos pontos pretos a, b, c, d, e, f, g, h . As peças pretas A e B estão fixas no substrato cinza.

A placa M (chamada de “massa de prova”) pode oscilar no plano xy ; ela está ligada aos conjuntos “DRIVE” e “SENSE” através dos braços “1”. Esses braços funcionam como molas: cada barrinha de silício pode flexionar no plano xy numa direção perpendicular ao seu comprimento. Ao longo de seu comprimento, porém, as barrinhas são rígidas. Os braços “2” também funcionam como molas. Por exemplo, o braço “2” que está ancorado no ponto h pode flexionar apenas na direção x – ele é muito rígido nas direções y e z (a direção z é perpendicular ao plano do papel). Para pequenas amplitudes de vibração, conjunto SENSE não é sensível ao movimento da massa de prova na direção x , e o conjunto DRIVE não é sensível ao movimento de M na direção y . Por isso essa arquitetura é chamada de “giroscópio desacoplado”.

O objetivo do giroscópio é medir uma rotação ω do conjunto em torno do eixo z . Para isso, um sinal elétrico senoidal $V(t)$ é aplicado no conjunto DRIVE, causando uma força de atração senoidal entre os dentes móveis e fixos do DRIVE. Desse modo, a massa M é posta a oscilar com certa frequência e amplitude. Como os movimentos ao longo de x e y são desacoplados, o banco SENSE permanecerá imóvel. Mas uma rotação do conjunto ao redor do eixo z causará uma aceleração ao longo de y (efeito *Coriolis*), que é proporcional à velocidade angular ω e à velocidade de deslocamento de M na direção x . Essa força de Coriolis fará com que M oscile na direção y . Essa oscilação é então detectada pelo conjunto SENSE, medindo-se a variação de capacitância entre as placas fixas e móveis. Dentro de aproximações razoáveis, essa variação de capacitância será proporcional à velocidade angular ω .

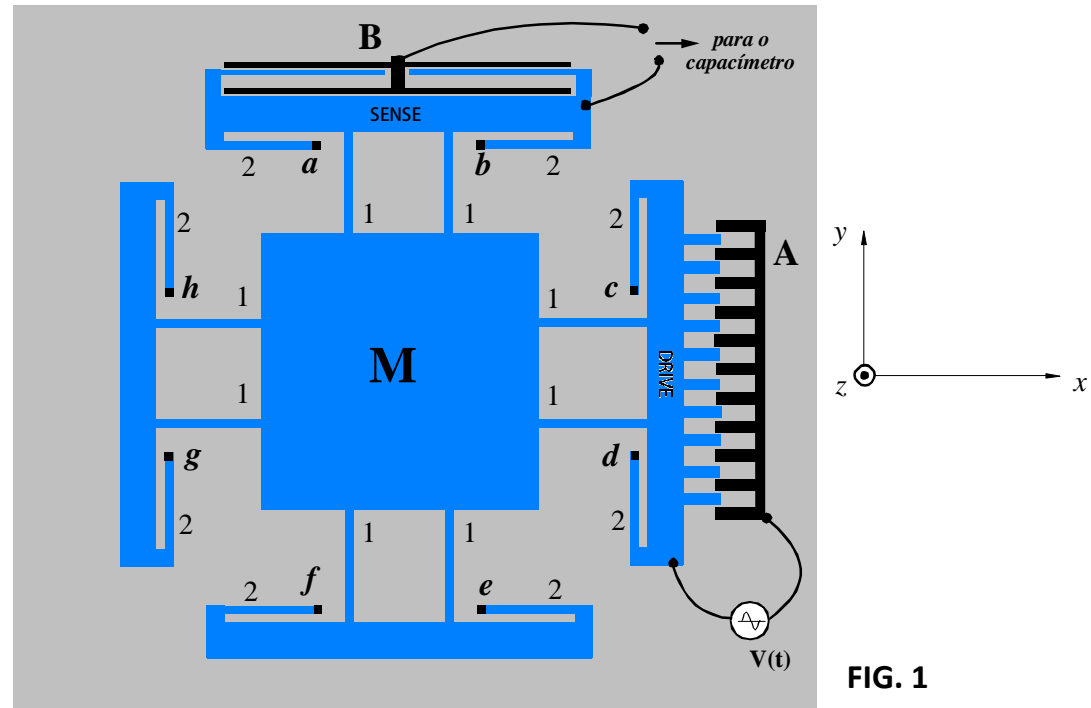


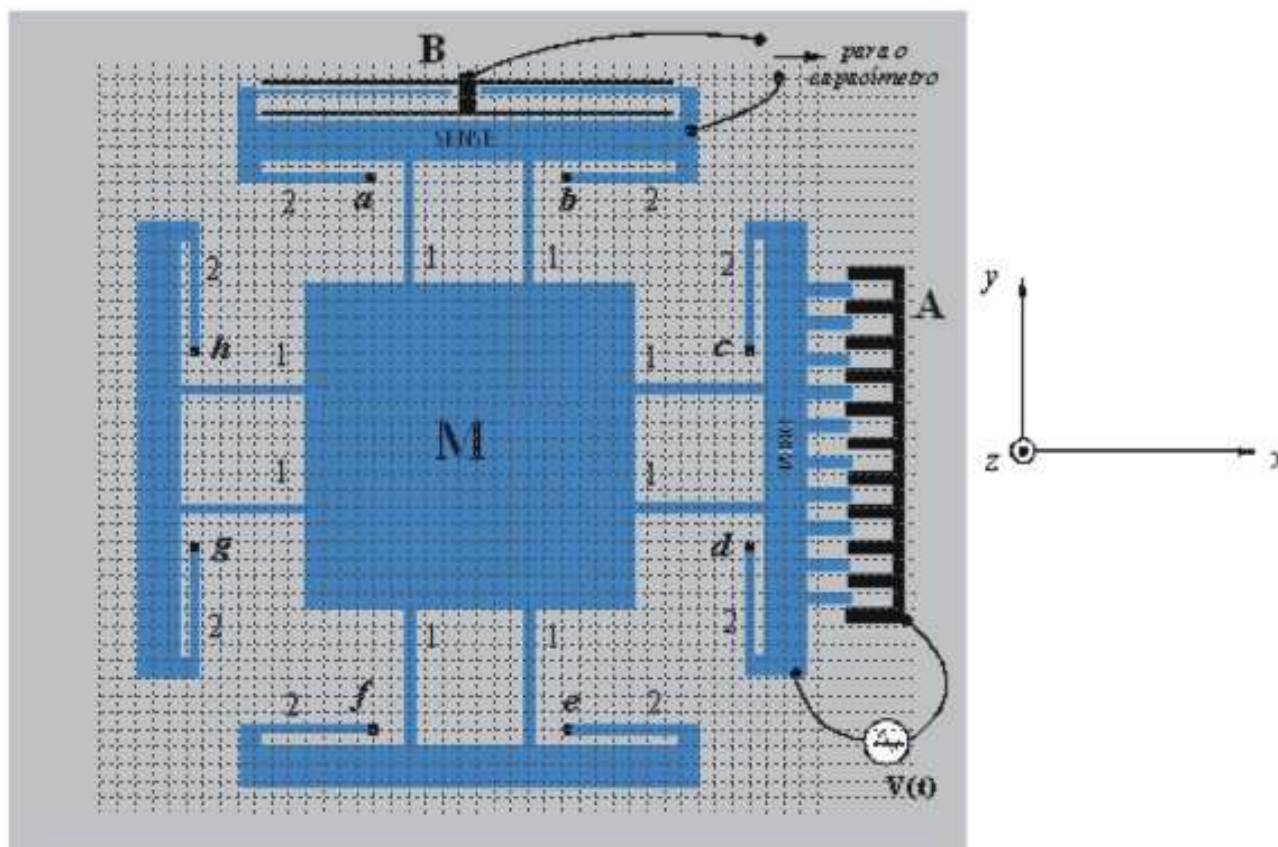
FIG. 1

A descrição acima está bastante simplificada, despreza alguns efeitos geométricos e/ou não-lineares importantes, mas é suficiente para uma primeira análise.

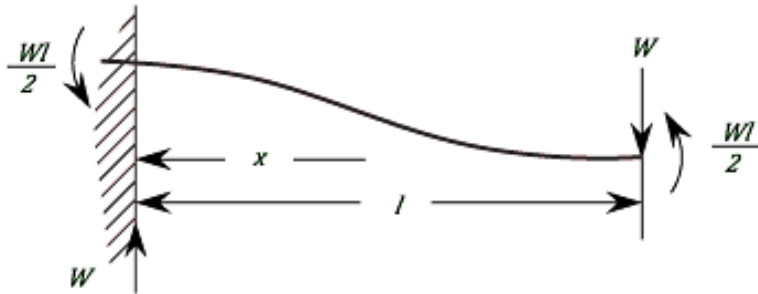
Suponha que o giroscópio acima seja projetado do modo mais simétrico possível, ou seja, que as frequências de ressonância dos modos SENSE e DRIVE sejam iguais.

(a) Suponha que a FIG.1 mostre as peças na escala relativa correta, e que a massa de prova seja uma placa quadrada de silício medindo $600 \mu\text{m}$ de lado com $100 \mu\text{m}$ de espessura. Todas as peças móveis são fabricadas em silício, e tem a mesma espessura ($100 \mu\text{m}$). Estime a massa inercial da estrutura móvel, em kg.

Abaixo temos um esquema do giroscópio com uma grade para orientar suas estimativas.



(b) Cada braço de mola é uma barrinha de silício que flexiona no modo “guiado”, isto é, as extremidades movem-se ao longo de uma direção fixa. Nesse caso, podemos estimar a constante de cada mola como abaixo.



$$K = E \frac{b \cdot t^3}{l^3} \quad , \text{ onde } l = \text{comprimento da mola}$$

b = altura da mola = espessura das peças

t = largura da mola

(a mola vibra ao longo do plano b - t)

E = módulo de Young do silício = 169 GPa = $169 \times 10^9 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$

Estime a constante de mola efetiva para as vibrações do giroscópio.

(c) Estime a frequência de ressonância f do giroscópio em kHz.

Suponha que as oscilações são bem pequenas, de modo que voce pode utilizar um modelo simples, linear,

do tipo massa-mola. Nesse caso, podemos usar $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$.

(despreze as pequenas diferenças entre as massas inerciais DRIVE e SENSE)

Para a otimização do giroscópio, foi suposto um layout geométrico simples, como ao lado. A massa de prova ocupa uma área A , e a é a área total ocupada pelos conjuntos de capacitores do atuador e do sensor. O giroscópio ocupa um espaço quadrado de lado L .

Pode-se mostrar que, com esse layout, a sensibilidade do giroscópio é dada por

$$S = 1,37 \times 10^{-15} \frac{b}{d_0^5} \cdot V_0^2 \cdot f \cdot f_A \cdot \frac{L^3}{\sqrt{A_T}} l^{1,5} t^{2,5} \cdot \Delta^2 \quad (\text{pf/Hz})$$

e a largura da faixa (rapidez da resposta do giroscópio) é

$$BW = 1,51 \times 10^4 \frac{\Delta}{t^2} \quad (\text{Hz})$$

Nessas equações,

b = espessura das peças (profundidade)

V_0 = voltagem de pico aplicada no atuador

$$f_A = A/A_T$$

l = comprimento das molas

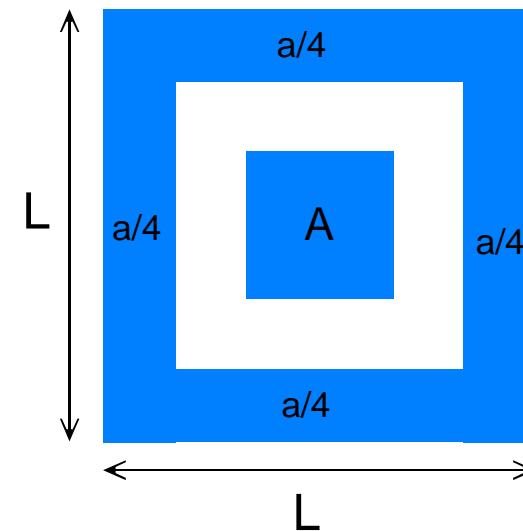
$$\Delta = 1 + 5,92 \times 10^{-3} \frac{A_T \cdot l^3}{t^7}$$

d_0 = distância entre as placas dos capacitores

A_T = área total = $(A+a)$

$$f = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1-f_A) \cdot A_T}{L^2}} \right]$$

t = espessura das molas



Todas as dimensões devem ser usadas em micrometros (μm).

Essas equações podem ser usadas para otimizar o projeto: conseguir sensibilidade máxima para um dado valor da largura de faixa.

(d) Utilizando o máximo valor possível para V_0 (o limite de ruptura elétrica é $30\text{V}/\mu\text{m}$), estime a sensibilidade e a largura de faixa do giroscópio da FIG.1 .

Prazo de entrega do relatório: aula da semana seguinte à atividade em grupo.
