|  |
| --- |
| C:\Users\lbarros.DEI\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\EE-C.PNG |
| Diogo Miguel Cunha Fernandes, PG47150  José Tomás Lima de Abreu, PG47386  ***Acelerómetro Capacitivo para acionamento de um airbag*** |
| Projeto  Microsensores e Microatuadores  Trabalho realizado sob a orientação de  **Professora Graça Minas**  **Professora Susana Catarino** |
| janeiro de 2022 |

**Índice**

[Lista de Figuras ii](#_Toc91628904)

[Lista de Tabelas ii](#_Toc91628905)

[Acrónimos e Siglas ii](#_Toc91628906)

[Capítulo 1 Introdução 2](#_Toc91628907)

[1.1 Introdução 2](#_Toc91628908)

[Capítulo 2 Análise 2](#_Toc91628909)

[2.1 Introdução 2](#_Toc91628910)

[2.2 Requisitos e Especificações 2](#_Toc91628911)

[Capítulo 3 Design 2](#_Toc91628912)

[3.1 Introdução 2](#_Toc91628913)

[3.2 Estrutura da mola 2](#_Toc91628914)

[3.3 Ruído e Sensibilidade 2](#_Toc91628915)

[3.4 Dimensões 2](#_Toc91628916)

[Capítulo 4 Bibliografia 2](#_Toc91628917)

Lista de Figuras

[Figura 1 - Estrutura da mola do acelerómetro. 2](#_Toc92525106)

Lista de Tabelas

**Não foi encontrada nenhuma entrada do índice de ilustrações.**

Acrónimos e Siglas

|  |  |
| --- | --- |
| **Acrónimo/Sigla** | **Significado** |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Introdução

Introdução

O objetivo deste projeto é dimensionar e simular o princípio de funcionamento de um acelerómetro capacitivo, para o acionamento de um *airbag*.

Acelerómetro de so um eixo????

BREVE introdução do problema

Análise

Introdução

O dispositivo que se pretende desenvolver trata-se de um sensor, capaz de medir a aceleração a que é sujeito, através de técnicas capacitivas. Existem várias técnicas capacitivas para determinar de forma precisa o movimento de um objeto, podendo ser através da alteração da distância entre os elétrodos, alteração da área ou alteração do dielétrico. Neste dispositivo usar-se-á a técnica de alteração da distância.

O princípio de funcionamento do acelerómetro pode ser compreendido pelo sistema convencional de mola, massa e amortecedor. A parte central do acelerómetro é constituída por uma massa suspensa, chamada de massa sísmica ou massa de prova. Sob a aplicação de uma aceleração externa, a massa de prova desloca-se, devido ao efeito da força inércia. Os deslocamentos da massa de prova implicam uma aceleração que pode ser medida por vários métodos. Para a abordagem de deteção capacitiva, o deslocamento é detetado medindo a mudança de capacitância entre os elétrodos fixos e os elétrodos adjacentes à massa de prova, sendo estes os elétrodos móveis. Quando o elétrodo móvel se mexe, devido à aceleração sofrida, a distância entre os elétrodos fixo e móvel altera-se, afetando a capacitância. Se esta distância aumentar, a capacitância diminuirá. Caso a distância entre os elétrodos diminua, a capacitância aumentará. O sensor será composto por uma série de elétrodos, a que chamemos braços, intercalados entre braços fixos e braços móveis.

Para que a massa suspensa se mova conforme a aceleração sofrida, o acelerómetro deve estar fixado, através de duas âncoras, uma em cada lado do sensor, criando-se uma mola/amortecedor de cada lado da massa de prova.

Requisitos e Especificações

* **Gama de funcionamento:** Prevê-se uma gama de funcionamento de **+/-** 5 g, que segundo a [ref] são os valores de aceleração máximos definidos para o acionamento de *airbags* na maioria dos automóveis.
* **Linearidade necessária:** Como o propósito deste dispositivo é o acionamento de um airbag, não sendo necessária a leitura de valores de saída, então a linearidade não é necessária, pois o airbag será acionado assim que seja atingido o valor máximo definido.
* **Amplitude dos estímulos:** O estímulo envolvido neste dispositivo é a força mecânica aplicada à massa suspensa. Considerando a massa igual a 0,4 µg e, para uma aceleração máxima de 5 g, então a força mecânica aplicada à massa suspensa, será igual a , sendo calculada por .
* **~~Dimensões?~~ (passar para o design)**

~~16 braços fixos e 16 braços móveis de cada lado do acelerómetro.~~

~~Distância braço móvel – braço fixo: 3 µm.~~

~~Dimensões dos braços: Comprimento 160 µm; Largura 3 µm; Espessura: 6 µm.~~

~~Dimensões da massa móvel: Comprimento 200 µm; Largura 80 µm; Espessura: 6 µm.~~

~~O sensor é composto por 4 vigas, que constituem a mola e o amortecedor no sistema mola-massa-amortecedor. As dimensões das vigas são: Comprimento 270 µm; Largura 9 µm; Espessura: 6 µm.~~

~~O sensor possuí, ainda, 2 âncoras que permitem a fixação das vigas do sensor. As âncoras têm as dimensões: Comprimento 80 µm; Largura 6 µm; Espessura: 6 µm;~~

* **Restrições ao nível da geometria/configuração:** Os braços do sensor não devem estar nem muito distanciados, pois a variação da capacidade será baixa, diminuindo a sensibilidade, nem devem estar muito próximos, correndo o risco de se tocarem.
* **Materiais usados:** Polissilício - O Silício policristalino é um material que possui cristais de silício desalinhados, fazendo deste material um bom condutor, podendo, por isso, ser usado em condensadores.
* **Valores de output:** Capacidade total do sensor.
* **Mede (ou atua) sinais contínuos ou oscilatórios (em que frequências)? Freq de oscilação da massa suspensa**
* **Variáveis a simular:** Deslocamento da massa móvel e Capacidade.
* **Que aproximações posso fazer?**

Design

Introdução

Neste capítulo será descrito o processo de dimensionamento do acelerómetro capacitivo a desenvolver, apresentando todas as equações necessárias e respetivos cálculos.

Como visto anteriormente, sob a aplicação de uma aceleração externa, a massa de prova desloca-se. De acordo com a segunda lei de movimento de Newton, todas as forças que agem na massa de prova são iguais à força inércia que atua na massa de prova. A equação diferencial para o deslocamento em função da aceleração externa, , é representada por um sistema massa-mola-amortecedor, de segunda ordem, como apresentado na equação (4.1).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.1) |
|  | (4.2) |

Onde, é a massa de prova, é o coeficiente de amortecimento, é a constante da mola e é a aceleração aplicada. Aplicando a transformada de Laplace à equação (4.2), obtém-se a equação (4.3) e posteriormente a equação (4.4).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.3) |
|  | (4.4) |

Comparando a equação (4.4) com a equação (4.5), que representa uma função de transferência genérica para um sistema de segunda ordem, linear e invariante no tempo:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5) |

Obtém-se os seguintes parâmetros (equações (4.6) e (4.7)), onde, é a frequência natural em rad/s, é a frequência natural em Hz e é o fator de amortecimento.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.6) |
|  | (4.7) |

Perante uma resposta em regime permanente, usando a equação (4.4) com , obtém-se:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.8) |
|  | (4.9) |

Desta forma é possível….

Estrutura da mola

A topologia de uma viga dobrada pode ser tratada como uma mola, fornecendo uma constante de mola mais baixa e, portanto, maior sensibilidade para o sensor.

A constante elástica de mola desta estrutura é dada pela equação (4.10), onde é a constante de mola para uma viga dobrada, é o comprimento da viga, é a largura da viga, é a espessura da viga e é o módulo de Young do material que compõe a estrutura.

|  |  |
| --- | --- |
| Uma imagem com texto, relógio, manómetro  Descrição gerada automaticamente | (4.10) |

Na Figura 1, é mostrada uma estrutura suspensa, fixada por uma âncora. Na figura pode ver-se que quatro vigas dobradas podem ser tratadas como quatro molas conectadas em paralelo. Deste modo, para esta estrutura, a constante elástica de mola ao longo da direção pode ser determinada através da equação (4.11).

|  |  |
| --- | --- |
| Uma imagem com texto, relógio, manómetro  Descrição gerada automaticamente | (4.11) |

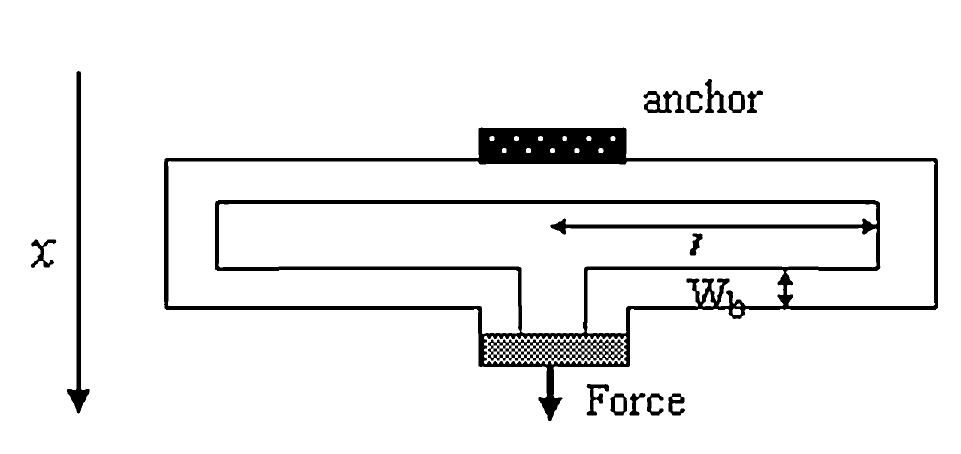


Figura 1 - Estrutura da mola do acelerómetro.

Para obter um bom desempenho e uma boa sensibilidade num acelerómetro capacitivo, é muito importante escolher bem os parâmetros, como a largura e o comprimento da viga ( e , respetivamente), que representam a suspensão do sistema de aceleração.

Para atingir uma sensibilidade muito alta do dispositivo, a largura da viga , deve ser o menor possível. No entanto, existe um limite mínimo para que é definido pela largura mínima de linha num processo de fabricação. Se a largura da viga for muito estreita, inferior a , será muito difícil fabricar a viga, por ser extremamente frágil, podendo ser facilmente quebrada.

Como dito anteriormente, o material utilizado para a estrutura será o poli-silício, que apresenta um módulo de Young de . A espessura da camada de poli-silício, ou seja, a espessura da viga , também deve ser escolhida tendo em conta o processo de fabricação.

Tendo isto em mente, na Tabela 1 apresentam-se os parâmetros definidos para a estrutura da mola.

Tabela 1 - Parâmetros da estrutura da mola do acelerómetro.

|  |  |
| --- | --- |
| Parâmetros | Design |
| Comprimento da viga, | 270 m |
| Largura da viga, | 3 m |
| Espessura da viga, | 6 m |
| Módulo de Young do material estrutural, |  |

Princípio de operação

Uma estrutura capacitiva diferencial típica de MEMS é mostrada na Fig. 7, onde representa a massa móvel, e denotam braços fixos enquanto e são ambos vigas flexíveis do dispositivo que permitem ancorar a massa móvel ao substrato.

Uma imagem com texto, dispositivo, relógio, contador

Descrição gerada automaticamente

Esta estrutura constitui capacitâncias e , entre o braço superior fixo e a massa, e o braço inferior fixo e a massa. Quando a massa se encontra estática, está localizada no centro entre e , as capacitâncias estáticas são obtidas pela equação xx, onde é a constante dielétrica do ar, é a distância de capacitância estática entre a massa móvel e cada um dos braços fixos, é a área sobreposta entre e , .

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.12) |

Quando existir aceleração, o resultado um deslocamento da massa móvel, através da deflexão das vigas, devido ao efeito da força inércia. Esta deflexão é na direção oposta da aceleração aplicada. A sensibilidade do deslocamento do dispositivo é definida como o deslocamento da massa móvel por unidade de gravidade, , ao longo do eixo .

VER MELHOR ISTO

Uma imagem com texto, antena

Descrição gerada automaticamente

Usando a equação 12 e analisando a fig x, considerando , a capacitância estática do pente do acelerómetro (quando não há aceleração) é dada pela equação xx, onde é o número total de braços fixos, é o comprimento de um braço móvel.

|  |  |
| --- | --- |
| Uma imagem com texto  Descrição gerada automaticamente | () |

Quando existe aceleração horizontal para a esquerda, segundo o eixo da figura xx, assumindo uma deflexão pequena, , as capacitâncias e são dadas pelas equações xx e yy, respetivamente.

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |
| Uma imagem com texto, relógio  Descrição gerada automaticamente |  |

A capacitância diferencial obtida é dada pelas equações mm e mm.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | () |
|  | Uma imagem com texto, relógio, manómetro  Descrição gerada automaticamente |  |

A partir destas equações, pode-se concluir que a capacitância diferencial é diretamente proporcional ao deslocamento dos braços móveis.

where, k is the mechanical spring stiffness, *E* is Young’s modulus, *ws* is the width of beam, *L*1 and *L*2 are the lengths of beam, *t* is the thickness.

Here, we have kept *L*1 = *L*2 = *Ls* to calculate spring constant. The dimensions of the anchor and the small beam joining the two longer beams do not affect the value of spring constant significantly and are considered as nearly rigid.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

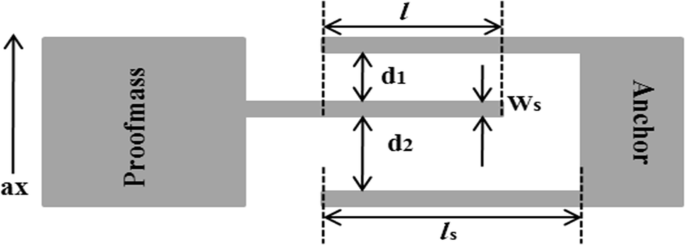
Ruído e Sensibilidade

The total noise contributed by the two major sources of noise; electrical noise equivalent acceleration (ENEA) and mechanical noise equivalent acceleration (MNEA) is given by:

MNEA is < 1% of ENEA, and therefore MNEA is ignored, while calculating total noise. For a high signal to noise (SNR) ratio, the signal which is differential change in capacitance in capacitive accelerometers, should be at least three times the total noise.

Minimum change in displacement (xmin), acceleration should be minimum (amin), therefore

Dimensões



Gap *d*1 = 3.5 μm selected to meet the fabrication feasibility aspects. The ratio *d*2/*d*1=3, has been selected to provide maximum change in capacitance.

The minimum number of combs required to produce *x*min can be calculated by:

where,

* ε is permittivity of air,
* is the overlap length of combs
* *t* is the thickness
* *N* is the number of combs
* *d*1 is the smaller gap between electrodes
* *d*2 is the larger gap between electrodes.

minimum length (*lm*) of the proofmass required to accommodate *N* number of combs can be calculated as

Lm = (6+2\*1u)\*5 – 6+1u

where, *w*c is the comb width

Capacitance gap d0 3 lm

Mass width Wm 80 lm

Mass length Lm 200 lm

Movable sensing mass Ms 0.43841 lg

Finger width Wf 3 lm

Finger length Lf 160 lm

Number of sensing fingers Nf 32

The dielectric constant of air e0 8.854 9 10-12 F/m

The density of poly-Si q 2.33 9 103 kg/m3

Gravity acceleration g 9.81 m/s2

Spring constant Ktotal 2.8313 N/m

Descrição da implementação do modelo em COMSOL (geometria, materiais, físicas, condições fronteira e iniciais, malhas, solvers, etc)

Principais resultados obtidos

Otimizações que tenham feito.

# Bibliografia

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | N. M. M. Mourad Benmessaoud, “ResearchGate,” maio 2013. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/257439996\_Optimization\_of\_MEMS\_capacitive\_accelerometer. [Acedido em 8 dezembro 2021]. |
| [2] | Hella, “Hella Tech World,” [Online]. Available: https://www.hella.com/techworld/br/Tecnica/Eletrica-Eletronica/Sistema-de-Airbag-3083/. [Acedido em 8 dezembro 2021]. |