

DETERMINAÇÃO DE PADRÕES DE DEFEITOS EM ROTORES MEMS DE NÚCLEO DEFORMÁVEL E TOPOLOGIA SIMPLES¹

Marcelo Tresseno Da Luz², Manuel Martín Pérez Reibold³, Emerson Luiz Faccin⁴.

¹ Projeto de Pesquisa realizado no curso de Mestrado em Modelagem Matemática

² Bolsista UNIJUI, aluno do curso de Mestrado em Modelagem Matemática

³ Docente no curso de Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

⁴ aluno do curso de Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

Os MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) compõem uma tecnologia premente que vem destacando-se, especialmente na concepção de sensores e atuadores. A alta performance, o baixo custo e a multiplicidade de aplicações em diversos segmentos industriais justificam o interesse científico por estes dispositivos. O processo fabril de MEMS ocorre através do emprego de técnicas de microusinagem que possibilitam a produção de milhões de dispositivos de forma rápida e barata. Porém, estas técnicas ainda apresentam deficiências e, conseqüentemente, estruturas defeituosas vêm a falhar durante a operação. A falha por quebra de vigas é a mais comum em rotores MEMS de núcleo deformável. Portanto, é necessário que se desenvolva uma metodologia que auxilie na identificação dessas falhas de forma que se possa aperfeiçoar o processo de controle de qualidade das peças produzidas. Esta investigação propõe a determinação dos padrões de respostas do deslocamento em função da força aplicada em estruturas sob colapso. Para a realização deste estudo foi simulado o comportamento da elastomassa ponte simples, sem e com defeito. Esta é uma estrutura teórica cuja dinâmica de funcionamento é fundamental no microtransdutor comb-drive, industrialmente utilizado em giroscópios e acelerômetros. A realização do estudo se deu através da simulação da estrutura em elementos finitos utilizando a ferramenta computacional ANSYS ®. Foram realizados ensaios de quebras nas vigas e através dos dados coletados foram geradas as assinaturas gráficas, deslocamento em função da força e deslocamento em função de tempo, comparando-se posteriormente os padrões de resposta das estruturas com vigas não danificadas e danificadas por quebra.

Palavras-Chave: Comb-drive; Defeitos; MEMS; Microtransdutores; Ponte Simples.

1 Introdução

Os sistemas microeletromecânicos MEMS são dispositivos com possibilidades de aplicações ilimitadas. Estes funcionam como transdutores eletromecânicos, o que lhes permite que sejam explorados na condição de sensores e atuadores.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

A investigação nessa área torna-se multidisciplinar, uma vez que abrange os segmentos industriais tais como: automotivo, medicina, telecomunicações, aeroespacial, militar entre outras. Leveza, invisibilidade, confiabilidade, baixo custo de produção, economia de energia e baixo impacto ambiental são peculiaridades que justificam a importância do estudo de MEMS (BEDENDO, 2012). Tudo isso tem sido garantido pelas técnicas de fabricação, onde milhões de peças são produzidas em uma única lamina de silício. Dentre as estruturas mais utilizadas destaca-se o comb-drive que consiste num arranjo de pentes capacitivos entrelaçados e sem contato físico (RIBAS, 2003). A Figura 1 ilustra um comb-drive com ação de translação longitudinal.

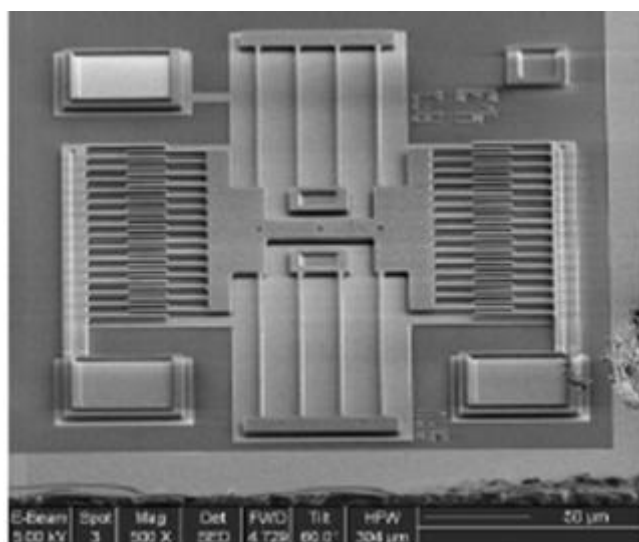


Figura 1: Transdutor Comb-Drive

Esta estrutura é amplamente utilizada e se destaca com aplicações em giroscópios e acelerômetros. Sua topologia pode apresentar três formas diferentes: estrutura de ponte simples, dupla e dobradiça. A Figura 2 ilustra a estrutura de ponte simples, objeto de estudo deste trabalho. Esta estrutura consiste num arranjo de duas vigas denominadas: positiva (lado direito) e negativa (lado esquerdo), uma massa rígida e duas âncoras, uma positiva e uma negativa.

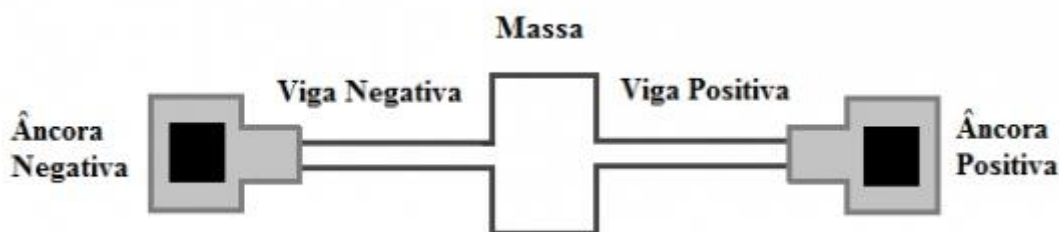


Figura 2: Estrutura ponte simples

Moreira, (2013) destaca a simplicidade desse tipo de estrutura. Ela apresenta apenas um grau de liberdade e acessibilidade ao modelo analítico. As vigas são engastadas em uma de suas extremidades e a outra é presa à massa rígida. O atuador ponte simples é teórico, o que permite compreender o princípio de atuação de rotores com esse caráter. O mesmo pode ainda ser empregado na construção de interruptores (MOREIRA, 2013).

Apesar de tantas vantagens, Ribas et al, (2003) destaca que as técnicas de produção utilizadas devem ser aprimoradas, uma vez que muitos dos dispositivos produzidos apresentam falha em seu funcionamento. Reimbold, (2008) preconiza que apesar da produção ter baixo custo, o mesmo não se pode se dizer sobre o encapsulamento destes microdispositivos. O mesmo autor destaca o elevado custo dos testes empregados em MEMS. Estes podem chegar a 50% do valor total do dispositivo. Assim fica evidente a importância de investigações científicas que visam otimizar esses processos.

A determinação de padrões de falhas desses dispositivos deve ser uma ferramenta essencial na fase em que estes são testados (OLIVEIRA, 2010). O diagnóstico de defeitos previne prejuízos e evita que peças avariadas cheguem ao mercado. A quebra ou rompimento de vigas é um dos defeitos mais comuns em microrrotores (RIBAS, 2003), conforme Figura 3.

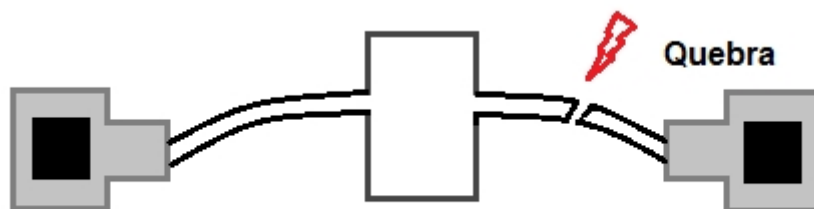


Figura 3: Rompimento em viga positiva

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

Uma alternativa que resolve esse problema é a comparação de padrões de funcionamento das estruturas. Através de simulações é possível obter um banco de padrões de comportamento dos dispositivos. De acordo com Antunes (2003), simulações computacionais aliadas à técnica de signature ou, comparação de assinaturas, constituem um método eficiente para a melhoria do controle de qualidade de processos. Assim, fazendo-se uso deste método é possível realizar o diagnóstico de defeitos em rotores MEMS.

2 Metodologia

A presente investigação foi realizada em três etapas: Primeiramente, para a realização dos ensaios experimentais foi necessário realizar um estudo acerca da implementação da estrutura no software ANSYS ® para criar a plataforma de testes. Com os dados coletados foram criados padrões de comparação para a determinação da viga fraturada e o ponto de fratura.

2.1 Simulações e coleta de dados

Como os MEMS possuem dimensões micrométricas, a coleta de dados reais torna-se inviável. Assim, os dados foram obtidos através de ensaios em uma plataforma de testes implementada no software ANSYS ® (Analysis System). Dentre os parâmetros definidos na plataforma é importante destacar a força aplicada, que foi de 0,14 . Esta força foi distribuída em cinco nós ao longo da massa rígida da estrutura ponte simples visando monitorar o deslocamento de cada um dos nós, conforme ilustrado na Figura 4.

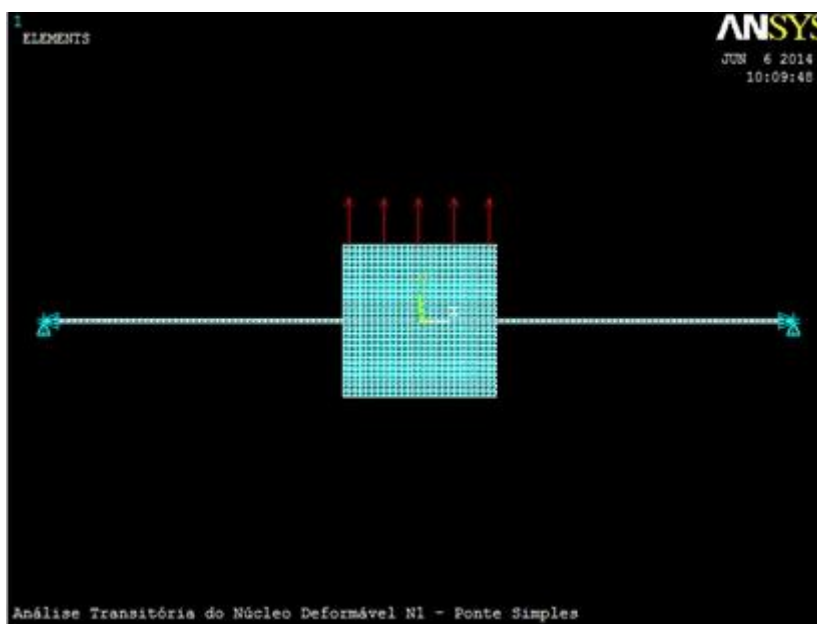


Figura 4: Simulação de ponte simples no ANSYS ®

Através dos ensaios experimentais foram coletados os dados para a força e o deslocamento de cada nó, considerando a estrutura com e sem defeito.

2.2 Determinação da viga fraturada

Num segundo momento, foram geradas as assinaturas com base nas figuras de Lissajous no software MATLAB® para estrutura intacta e defeituosa, com o intuito de obter assinaturas características para cada caso. As assinaturas referentes à estrutura intacta foram exploradas como parâmetro de comparação. A Figura 5 ilustra as assinaturas dos nós extremos para uma estrutura com a viga positiva fraturada.

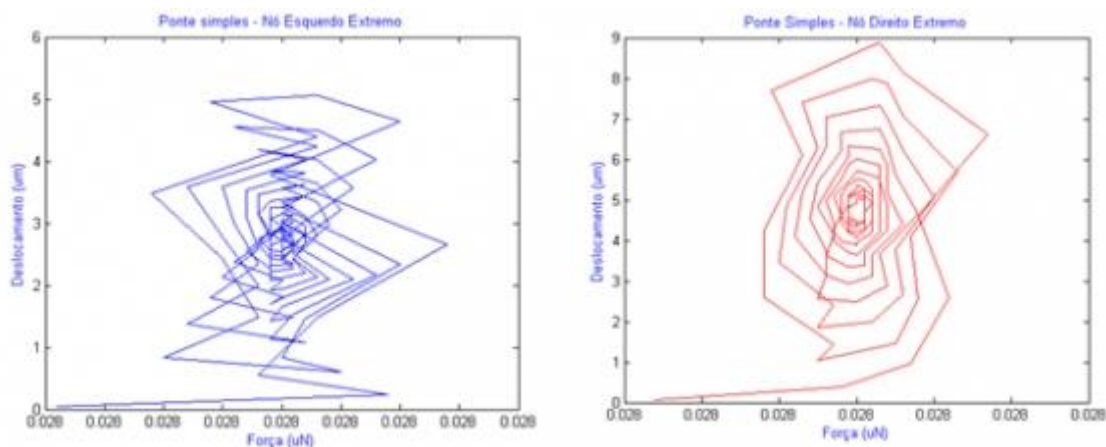


Figura 5: Força x Deslocamento de nós extremos para quebra em viga positiva

Após realizar a análise das assinaturas obtidas, foram identificadas as peculiaridades de cada uma. Estas foram de suma importância para o diagnóstico do defeito. A Figura 6 ilustra as assinaturas dos nós extremos para uma estrutura com a viga negativa fraturada.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

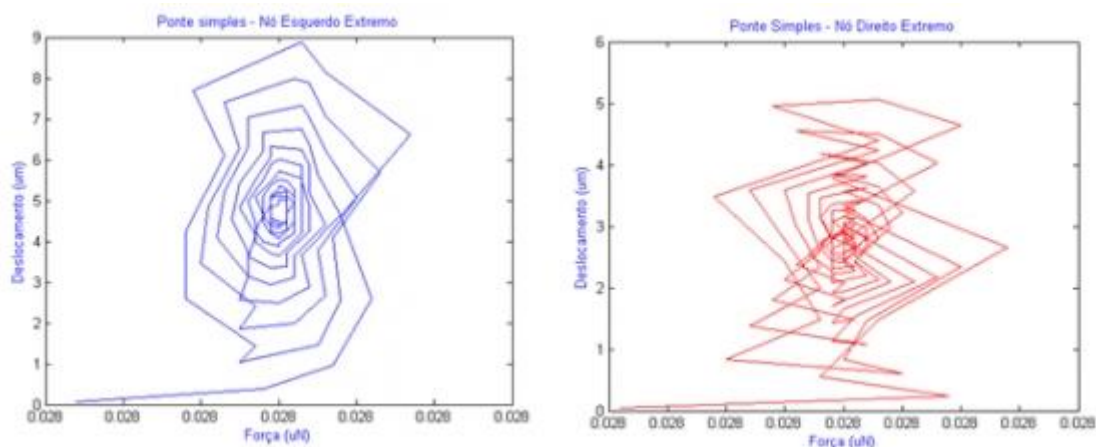


Figura 6: Força x Deslocamento de nós extremos para quebra em viga negativa

Os ensaios foram realizados considerando o rompimento sempre em uma única viga. Dessa forma, criou-se um banco de assinaturas da estrutura considerando o rompimento, para que posteriormente fossem realizadas comparações com a estrutura intacta.

2.3 Determinação do ponto de fratura

Na terceira etapa, foram realizados ensaios de quebra em 1/4, 1/2 e 3/4 do comprimento de ambas as vigas. Esta etapa foi realizada com o objetivo de identificar aproximadamente o ponto de rompimento através da análise das curvas geradas. A figura 7 mostra a comparação das assinaturas do deslocamento em função do tempo, considerando os pontos onde a viga foi rompida.

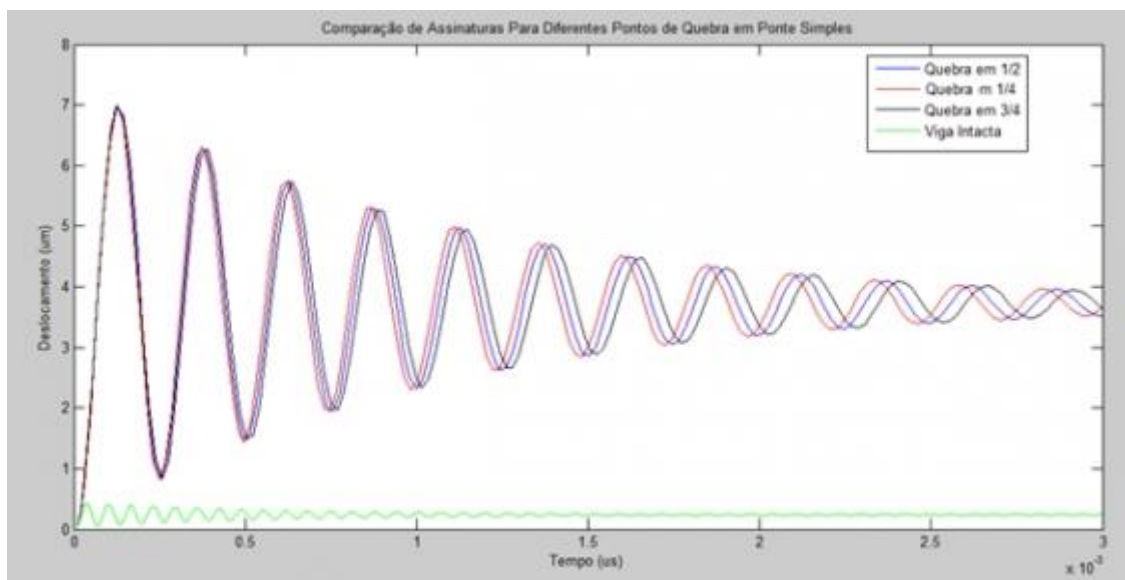


Figura 7: Tempo x Deslocamento da ponte simples considerando diferentes pontos de quebra nas vigas

Para esta análise foi considerado somente o deslocamento do nó central do núcleo rígido. Foi analisado o comportamento das curvas e identificadas às defasagens geradas pelo defeito de rompimento da viga em relação à ausência do mesmo. A realização desta etapa serviu como suporte para a determinação completa do defeito no rotor.

3 Resultados e discussão

Para a estrutura intacta foram obtidas as cinco assinaturas iguais, uma vez que o deslocamento dos nós se dá de forma igual, não havendo quebra em qualquer viga. Para a estrutura com viga fraturada foi verificado que o lado onde ocorre a quebra, altera a dinâmica das assinaturas geradas. Em síntese, constatou-se que o nó extremo mais próximo do lado da quebra tem maior amplitude de deslocamento. As assinaturas referentes aos nós mais próximos do ponto de quebra possuem caráter mais arredondado. Dessa forma é possível diagnosticar qual das vigas entrou em colapso através da comparação gráfica.

Ao monitorar o ponto de rompimento da viga verificou-se que o ponto onde ocorre a fratura causa alteração na assinatura gerada. De uma forma geral, pode-se afirmar que a curva é transladada para esquerda ou direita, estando isso em função do ponto onde acontece a fratura. Assim, combinando os resultados obtidos, obteve-se um parâmetro eficiente para o diagnóstico do defeito na estrutura do rotor.

4 Conclusões

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

Nesta investigação foram apresentados resultados obtidos através de simulações realizadas com método dos elementos finitos de um rotor MEMS de núcleo deformável e topologia simples. O estudo foi feito com base na quebra de vigas do rotor, realizando comparações de padrões assinaturas gráficas de uma estrutura com e sem defeito. A comparação de assinaturas gráficas mostrou-se como um método eficiente para o diagnóstico do defeito abordado. Dessa forma, a metodologia empregada nesta investigação permitiu identificar tanto o lado da quebra, quanto a proximidade do ponto de rompimento da viga em colapso. Assim, pode-se concluir que esta forma de trabalho é uma ferramenta viável para o aperfeiçoamento do processo de controle de qualidade dos dispositivos MEMS. Isto contribui para que os testes em MEMS sejam realizados de forma simples e dinâmica.

5 Referências Bibliográficas

ANTUNES, J.M.V.C.D. Análise De Assinaturas No Controle Da Qualidade De Processos. 2003. Disponível em: <<http://digitalconcept.no.sapo.pt/Doc/JCAntunes%20Thesis.PDF>> . Acesso em: 07 de Junho de 2014

BEDENDO, A. L. Modelagem matemática da dinâmica linear de MEMS baseados em deformação elástica e ação eletrostática. 2012. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

GERHARDT, Daniel; ITURRIOZ, Ignácio; GOMES, Herbert M.; RIBAS, Renato P. Determinação de padrões de defeito em microsensores tipo comb-drive utilizando análise harmônica em um modelo de elementos finitos. Mecânica Computacional. Argentina, 2003.

MOREIRA, C. J. M. Identificação de modelos lineares para dinâmica de elastomassas MEMS utilizando critérios da modelagem caixa preta. Dissertação. Mestrado em Modelagem Matemática. Ijuí, 2013.

OLIVEIRA, Hildebrando de. Visão e desafios da Indústria de Semicondutores para teste de Circuitos Integrados. Instituto de Tecnologia José Rocha Sergio Cardoso. São Paulo, 2010.

REIMBOLD, M. M. P. Otimização da Síntese do Projeto de Atuadores MEMS baseados em Deformação Elástica e Estrutura Comb-drive. 119 f. Tese (Doutorado em Microeletrônica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.