

## MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA NÃO LINEAR DE NÚCLEOS ELÁSTICOS MEMS<sup>1</sup>

**Emerson Luiz Faccin<sup>2</sup>, Marcelo Tresseno<sup>3</sup>, Manuel Martín Pérez Reibold<sup>4</sup>, Airam Teresa Zago Romcy Sausen<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de Pesquisa realizado no curso de Modelagem Matemática da Unijuí

<sup>2</sup> Aluno do Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

<sup>3</sup> Aluno do Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

<sup>4</sup> Docente no curso de Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

<sup>5</sup> Docente no curso de Mestrado em Modelagem Matemática - Unijui

## MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA NÃO LINEAR DE NÚCLEOS ELÁSTICOS MEMS

Emerson Luiz Faccin<sup>2</sup>; Manuel Martín Pérez Reibold<sup>3</sup>; Airam Teresa Zago Romcy Sausen<sup>4</sup> ;  
Marcelo Tresseno<sup>5</sup>

1Projeto de Pesquisa do curso de Mestrado em Modelagem Matemática - Unijuí

2 Acadêmico do Mestrado em Modelagem Matemática, bolsista UNIJUI, elfaccin@hotmail.com

3Docente no Mestrado em Modelagem Matemática, doutor Engenharia Elétrica, UNIJUI,manolo@unijui.edu.br

4Docente no Mestrado em Modelagem Matemática, doutora em Engenharia Elétrica, UNIJUI,airan@unijui.edu.br

5 Acadêmico do Mestrado em Modelagem Matemática, bolsista UNIJUI, marcelo3seno@hotmail.com

Resumo: MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) é uma das tecnologias emergentes mais utilizadas para construir sensores e atuadores. A indústria, atualmente, demanda que estes dispositivos apresentem maiores deslocamentos como resposta à excitação de sinais elétricos/mecânicos nas suas entradas. A obtenção do modelo matemático pode contribuir na redução de custos no projeto e nos testes realizados durante a fabricação em alta escala dessas microestruturas. O objetivo deste trabalho, é investigar a utilização do modelo NARX como modelo para o desempenho comportamental não linear de MEMS. Para isto o primeiro passo realizado, foi a identificação de todas as possíveis combinações de regressores existentes, resultantes do grau do modelo proposto. A geração automática dessas componentes foi obtida mediante ferramentas computacionais, acelerando dessa forma a estrutura a ser adotada no modelo. A ferramenta desenvolvida é eficaz, eficiente e de baixo custo.



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

**Palavras-Chave:** MEMS; Identificação de Sistemas, NARX; Comb-drive.

**Introdução:** Sistemas Microeletromecânicos, MEMS, são microtransdutores que podem ser utilizados tanto como sensores quanto como atuadores. Suas principais qualidades são sua leveza, invisibilidade, confiabilidade e economia de energia. A produção, bem como a pesquisa envolvendo tais dispositivos, vem apresentando constante evolução. Os principais fatores que contribuem para este crescimento são a miniaturização dos dispositivos, ampliação das áreas de aplicação e o baixo custo de produção, que é garantido pelas técnicas de processamento em pacote, onde milhões de componentes são fabricados em um único wafer.

Entretanto, Reimbold, (2008) destaca que, se a produção tem custo baixo, o mesmo não pode ser dito sobre o encapsulamento destes microdispositivos. Uma alternativa para baixar esse custo, pode ser o uso de modelos matemáticos desses dispositivos para testes e simulações, antes da fabricação. Tais modelos podem ser lineares ou não lineares.

Em geral, modelos não lineares conseguem representar uma gama maior de peculiaridades do sistema, sendo assim mais fiel ao sistema real. A capacitância e a indutância são exemplos de não linearidades encontradas no processo físico de MEMS, dessa forma é impreterível que se investigue acerca da modelagem matemática para esses efeitos, tendo a perspectiva do aperfeiçoamento no processo de controle de qualidade da fabricação dos dispositivos. Todavia, pela complexidade que é característica em modelos não lineares, é indispensável que se faça uso de ferramentas computacionais no processo de implementação do modelo. Para isso, no presente trabalho a ferramenta MATLAB®; será usada como auxílio para interpretação dos resultados.

**Metodologia.** Encontra-se na literatura de Identificação de Sistemas uma grande variedade de Modelos Não Lineares, como a Série de Volterra, Modelos de Hammerstein e de Wiener, Representações NARX, Modelos polinomiais contínuos, Funções Radiais de Base, Redes Neurais Artificiais, Neurônio neo-fuzzi, entre outros. Dentre estes, a opção pelo modelo NARX deve-se a satisfatória precisão conseguida com baixo esforço computacional, quando comparada as demais. De acordo com Aguirre, (2007), o Modelo NARX é constituído por um somatório de produtos de entradas e saídas anteriores. Sendo assim, a determinação da estrutura, ou seja, o desenvolvimento desse somatório é uma das partes mais importantes da construção do Modelo. Serão utilizados recursos computacionais do software MATLAB®; para auxiliar na determinação dos termos do Modelo, a partir da escolha do número de entradas e saídas a serem utilizadas, bem como do grau de não linearidade.

**Resultados e discussão:** O Modelo NARX, quando na sua forma polinomial, pode ser expandido como o somatório de termos com grau variando de um até l, sendo que l é o grau de não linearidade do Modelo. De forma trivial, nota-se que se l for um pouco alto, o processo de construção e resolução desse somatório será bastante árduo. Um simples caso onde o grau de não linearidade seja





**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XVIII Jornada de Pesquisa

três e onde são consideradas três entradas e três saídas, o somatório quando aberto, gera uma expressão com 84 termos.

Alguns passos da elaboração do Modelo precisam ser feitas manualmente, porém, neste estágio de construção e resolução do somatório, o mais viável é que implementar o modelo com auxílio de um recurso computacional. Neste caso, será utilizado o software MATLAB®; software amplamente utilizado no meio científico. Com auxílio desta ferramenta, em alguns instantes temos os termos do somatório. Com isso, torna-se viável a execução das técnicas empregadas na Identificação de Sistemas.

**Conclusões:** Percebemos que economizamos um tempo considerável na elaboração do Modelo Matemático NARX quando usamos a ferramenta computacional MATLAB®;. Além do que também percebemos que em alguns casos, onde o grau de não linearidade  $l$  for um pouco elevado, fica praticamente impossível a construção e resolução do somatório de forma manual, sem auxílio computacional. Esta é a contribuição do nosso trabalho: Mostramos como é possível, com auxílio do software MATLAB®; tornar mais rápido e simples a elaboração de um modelo que representa a estrutura MEMS estudada.

#### .Referências Bibliográficas

AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 3ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

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.