

COMPORTAMENTO DINÂMICO E GERAÇÃO DE ENERGIA DE UM PISO COLETOR DE ENERGIA HÍBRIDO SOB EXCITAÇÕES NÃO-IDEAIS

KAUANNY SCHIRMER SIVERIS^{1,2}, JORGE LUIS PALACIOS FELIX^{2,3}

1 Introdução

O conceito de sustentabilidade tem sido aplicado ao uso sustentável dos recursos energéticos para uma cidade inteligente, tornando-se uma área de pesquisa de interesse primário para o meio científico. Neste caso, o movimento de pessoas e veículos sobre infraestruturas em macro escala como calçadas e estradas asfaltadas surge como uma alternativa sustentável de geração de energia elétrica através do uso de painéis fotovoltaicos, materiais piezoelétricos, geradores termoelétricos, coletores térmicos e geradores eletromagnético, que são tecnologias inseridas dentro de uma plataforma topologicamente tridimensional. Recentemente, um estudo sobre o funcionamento de um gerador de energia piezoelétrico com suporte de viga em balanço sujeita de forças de excitação através da passagem de veículos na pista da praça de pedágio do município de Gravataí/RS demonstrou que a capacidade de geração dos sensores piezoelétricos depende do volume de tráfego sobre o sistema. (HELLER, 2019).

Kauffman (2021), projetou um protótipo de piso coletor de energia em pequena escala com material piezoelétrico polimérico LDT1-028K fixada na base de uma viga engastada de material de alumínio flexível, em cujo extremo livre foi fixada uma massa para melhorar a captura de energia durante a passagem de pessoas, considerando caminhadas lentas, intermediárias e rápidas. Os resultados obtidos apresentaram um crescente aumento na saída de tensão eficaz conforme as simulações variaram de passos lentos para passos rápidos. Obteve-se uma tensão de 0,967 V para lento, 1,217 V para intermediário e 1,788 V para rápido.

Ribeiro et al. (2022), introduziram no sistema, de viga em balanço sob o efeito de um potencial descrito por dois polos magnéticos, vibrações de força externa não ideal baseada nos

1 Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária, instituição UFFS, campus Cerro Largo, contato: kausiveris@gmail.com

2 Grupo de Pesquisa em Recursos Energéticos e Tecnologias Limpas - GPRETEC, da Universidade Federal da Fronteira Sul

3 Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP. Professor efetivo do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) campus Cerro Largo, RS. E-mail: jorge.felix@uffs.edu.br.

parâmetros que relacionam a interação entre a oscilação do sistema e a fonte de excitação. Diante dos estudos realizados até o momento este projeto segue a mesma linha de pesquisa, a colheita de energia de vibração não linear com ressonância interna de relação de um a dois e ressonância externa não-ideal. Considera-se no piso inteligente um sistema oscilante de duas vigas em balanço e perpendiculares no extremo livre com ímãs permanentes similar ao trabalho de Yang; Towfighian (2019). Em cada base da viga são fixados os piezoelétricos, quando a força magnética é aplicada, este sistema de vibração não linear de dois graus de liberdade mostra o fenômeno de ressonância interna que amplia a largura de banda de frequência em comparação com um sistema linear.

2 Objetivos

Neste trabalho, tem-se por objetivo estudar numericamente o desenvolvimento do fenômeno de ressonância interna e a fonte de excitação com frequência variável no tempo, sobre um sistema de colheita de energia incorporado numa plataforma de piso inteligente sujeito as caminhadas de pessoas e passagem de veículos.

3 Metodologia

A estrutura piso coletor de energia analisada, como mostra a Figura 1, consiste de uma plataforma móvel tipo U apoiado sobre as molas e direcionada em movimento vertical. Duas vigas perpendiculares são fixadas na plataforma. Nos extremos livres das vigas são fixados os ímãs com uma distância definida. Os piezoelétricos são fixados nas bases de cada viga.

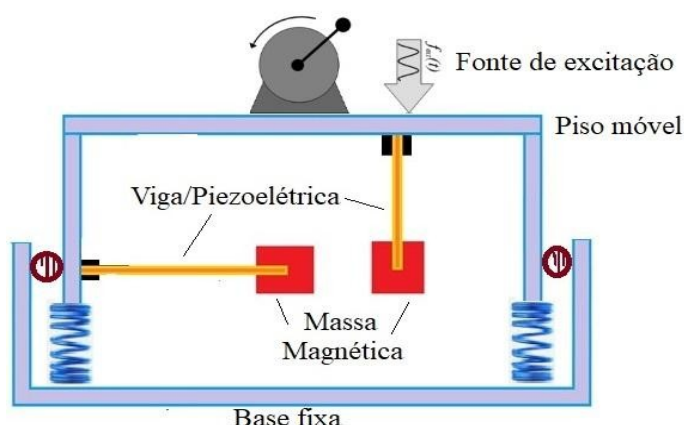


Figura 1. Modelo físico aproximado de um piso coletor de energia.

Fonte: Elaborado pelo proponente do projeto, 2024.

Para estudar o comportamento dinâmico da colheita de energia vibracional na passagem de ressonância externa produzida por uma força harmônica de frequência variável

no tempo e a presença do fenômeno de ressonância interna entre as vigas produzidas pelas forças magnéticas é necessário a modelagem matemática. Desenvolve-se a modelagem matemática para descrever o comportamento dinâmico que consiste de um sistema de equações diferenciais ordinárias não lineares adaptada do modelo proposto por Yang; Towfighian (2019). Para os ensaios computacionais foram considerados os parâmetros adimensionais para um sistema de equações diferenciais adimensionais com termos não lineares quadráticos (1)-(3):

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + \omega_0^2 x + 2\mu_1 \frac{dx}{d\tau} + a_1 y^2 = f_0 \sin(\Omega_0 \tau + a_0 \sin(b_0 \Omega_0 \tau)) \quad (1)$$

$$\frac{d^2y}{d\tau^2} + y + 2\mu_2 \frac{dy}{d\tau} + a_3 xy - \chi v(\tau) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dv(\tau)}{d\tau} + \lambda v(\tau) + \kappa \frac{dy}{d\tau} = 0 \quad (3)$$

4 Resultados e Discussão

Para que a integração numérica das equações (1)-(3) seja possível através do método de Runge-Kutta, é considerado um sistema de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem nas variáveis de estado. Considerando os valores dos parâmetros adimensionais do sistema de equações (1)-(3): $\mu_1=0,01$, $a_1=0,4$, $\mu_2=0,01$, $a_3=0,3$, $\chi=0,05$, $\kappa=0,5$, $\lambda=0,05$, $f_0=0,35$, $a_0=2,0$, $b_0=0,01$.

A condição inicial adotada para as simulações de integração é $x_0 = [0,01, 0,0, 0,01, 0,0, 0,0]$. Cada ponto da curva da passagem de ressonância, com $\Omega_0 \in [1,7, 2,4]$, foi considerado como a amplitude de oscilação do movimento estacionário de cada série temporal (x, y, v) correspondente a uma frequência de excitação externa Ω_0 .

A figura 2 descreve o comportamento do fenômeno de ressonância interna na passagem de ressonância externa. Nas regiões, antes e após da região de ressonância, $\Omega_0 \in [1,7; 1,87) \cup (2,15, 2,4]$ a viga horizontal tem leves oscilações (linha de círculos) enquanto a viga vertical de oscilações reduzidas a zero (linha de triângulos), nesse caso não há geração de energia (linha de asteriscos). Na região de ressonância externa, $\Omega_0 \in [1,87, 2,15]$, apresenta-se uma transferência de energia da viga horizontal para a viga vertical, ou seja, a viga vertical cresce drasticamente em sua amplitude de oscilação e a viga horizontal começa a reduzir suas amplitudes de oscilação. Nesse caso, tem-se a geração de energia pelo

piezoelétrico.

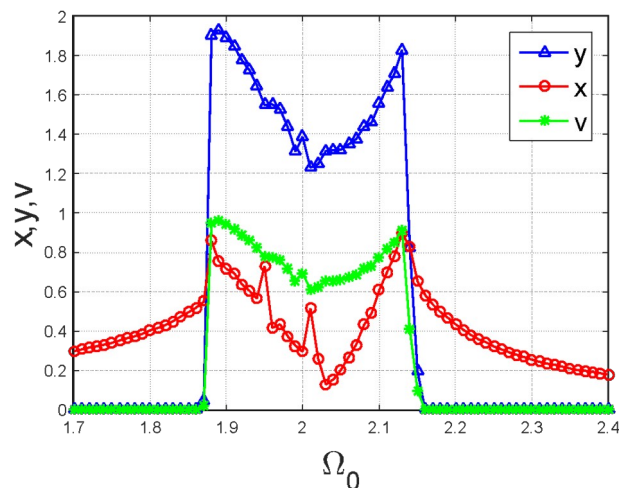


Figura 2. Curvas de passagem de ressonância

Fonte: Elaborado pelo proponente do projeto, 2024

Na Figura 3, considerando $\Omega_0 = 2,05$, mostra a resposta do sistema eletromecânico em serie temporal dentro da região de ressonância correspondente a Figura 2.

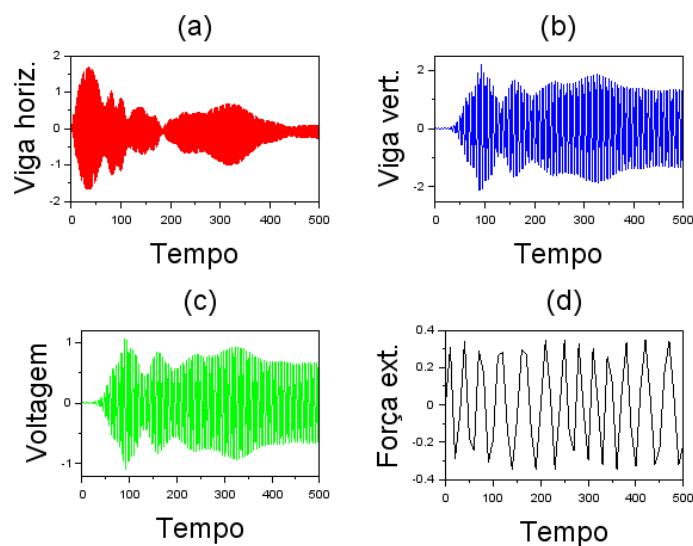


Figura 3. Resposta da viga horizontal (a), vertical (b), saída de voltagem (c), a força externa (d)

Fonte: Elaborado pelo proponente do projeto, 2024

Observa-se a transferência de energia da viga horizontal, Fig 3 (a), para a viga vertical, Fig 3 (b). Como o piezoelétrico está posicionado na viga vertical tem uma saída de voltagem de melhor desempenho em Fig. 3 (c).

5 Conclusão

Em forma geral, foi resolvido numericamente o sistema de colheita de energia através do acoplamento de duas vigas piezoelétricas engastadas perpendicularmente nos extremos livres em vácuo em pequena distância. O efeito da ressonância interna, produzida pela interação magnética entre as vigas e presente os termos não lineares quadráticos no modelo matemático, levou a uma transferência de energia de uma viga para a outra e assim produziu uma saída de tensão do piezoelétrico, em média de 0,8 volts. Devido a frequência variável no tempo da força externa a região de ressonância tem uma largura de banda de frequência achatada e mais ampla sendo a que apresentou o melhor desempenho na colheita de energia.

Referências Bibliográficas

HELLER, Lucas Fraporti. **Microgeração de energia em pavimentos: estudo de caso de um gerador piezoelétrico instalado em um pavimento rodoviário**. Orientador: Prof. Lélío Antônio Teixeira Brito. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/230215>. Acesso em: 01 out. 2021.

KAUFMANN, Thanity Braun. **Micro colheita de energia através de piso vibratório com sistema piezoelétrico**. Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Palacios Felix. 2021. 60 f. Trabalho de conclusão (Graduação). Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, 2021. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/5273/1/KAUFMANN.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023

RIBEIRO, M.A.; BALTHAZAR, J.M.; LENZ, W.B.; FELIX, J.L.P.; LITAK, G.; TUSSET, A.M. Fractional Dynamical Behavior of an Elastic Magneto Piezo Oscillator Including Non-Ideal Motor Excitation. **Axioms**, 11, 667, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1680/11/12/667>. Acesso em: 01 mar. 2023.

YANG, W.; TOWFIGHIAN, S. A Parametric Resonator with Low Threshold Excitation for Vibration Energy Harvesting, **Journal of Sound and Vibration**, Vol. 446, pp. 129-143, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.01.038>. Disponível em: https://orb.binghamton.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=mechanical_fac. Acesso em: 01 mar. 2023.

Palavras-chave: Coleta de energia híbrida; força magnética; piso coletor de energia; sistema não-ideal; piezoelétrico.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2023 - 0242

Financiamento: Bolsa UFFS (Bolsas IC).