

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO MATERIAL PIEZOELÉTRICO

Igor da Silva Melo – ism1@discente.ifpe.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira
BR 232, km 208, Prado.

CEP: 55200-000 – Pesqueira – PE

Renato Franklin Rangel – renato.rangel@pesqueira.ifpe.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira
BR 232, km 208, Prado.

CEP: 55200-000 – Pesqueira – PE

Alexandre Henrique Gouveia Farias – alehenrique64@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira
BR 232, km 208, Prado.

CEP: 55200-000 – Pesqueira – PE

Resumo: Recentemente tem sido objeto de interesse de alguns pesquisadores estudos que passem prováveis soluções para produção de energia elétrica alternativa. Muitas dessas pesquisas se condensam na utilização de recursos naturais, subjetivamente inesgotáveis, para conservar outras fontes de energias esgotáveis. Mas, atualmente tem-se estudado possibilidades de geração de energia elétrica de baixa potência, que seja capaz de suprir a demanda de alguns sistemas eletrônicos. Sistemas como comunicação remota ou sensores sem fio que tem baixo consumo de potência podem ser subvencionados. Dentre as várias tecnologias de geração de energia elétrica alternativa, o uso da energia por meio de vibração de infraestruturas pode ser utilizado para produzir energia elétrica. Para essa transformação utiliza-se os materiais piezoelétricos que transmuda a energia de deformação mecânica em energia elétrica. Neste trabalho trata-se de um estudo teórico e experimental de um gerador de energia elétrica utilizando material piezoelétrico. A partir dos resultados experimentais foi elaborado um gerador piezoelétrico. Neste trabalho observamos que existe uma relação de proporcionalidade entre a tensão elétrica e a deformação mecânica da célula, sendo maximizada em torno dos valores de ressonância da estrutura.

Palavras-chave: Colheita de energia, energia alternativa, materiais piezoelétricos.

1 INTRODUÇÃO

As preocupações ambientais associadas à correlação mundial na exploração e utilização de fontes de energia respaldada em combustíveis fósseis e o gradativo consumo energético mundial, conduzem a uma ligeira aceitação de que existe uma necessidade de acelerar os esforços em procura de diversificar a matriz energética, investindo em vetores novos de energia e passando a produzi-la a partir de múltiplas fontes renováveis.

Do ponto de vista macro energético a captação e transformação de energia a partir de fontes renováveis vem sendo empregada já a vários anos por meio dos parques eólicos e fotovoltaicos por exemplo, mas nos últimos, com os avanços tecnológicos especialmente na micro e nanotecnologia, a tendência é para a miniaturização, baixo consumo e mobilidade. Com a



redução simultânea do tamanho e nos requisitos de energia para microeletrônica, é concebível que alguns circuitos poderiam ser diretamente alimentados com energia extraída a partir do ambiente no qual o circuito opera. Assim, mais recentemente, estudos vêm sendo desenvolvidos em busca de meios para produção de energia elétrica em microescala para alimentação dos dispositivos eletrônicos com essas novas características (MACIAS, 2012) (MATIKO et al, 2014).

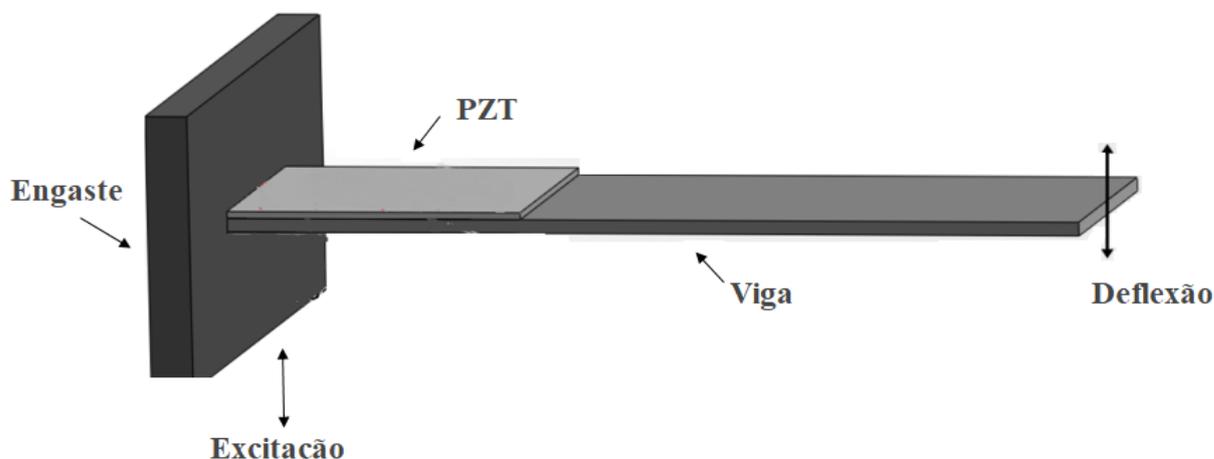
Alguns materiais denominados de inteligentes (*smart materials*) foram descobertos por volta do século XIX e possuem a capacidade de fazer o acoplamento entre dois domínios físicos, como os piezoelétricos, que são capazes de acoplar a vibração com a eletricidade. Os materiais piezoelétricos têm propriedades que lhes permitem gerar energia elétrica ou mecânica, por alteração do seu estado mecânico ou elétrico respectivamente. Esses materiais induzem um campo elétrico quando submetidos a uma deformação mecânica (efeito direto) e se deformam quando submetidos a um campo elétrico (efeito inverso) (PETITJEAN et al, 2001). Por esse motivo esses elementos têm sido bastante estudados nas últimas décadas sendo aplicados como sensores e atuadores em sistemas vibratórios (CARNEAL; FULLER, 2004) (PARK; CUDNEY; INMAN; 2000). Mais recentemente tem sido estudada a possibilidade de utilização desses elementos para geração de energia elétrica a partir de outras formas de energias, utilizando a energia cinética na forma de vibração/deformação mecânica, presente em máquinas e sistemas biológicos assim como em bens domésticos, estruturas em movimento (carros e aviões), enfim, estruturas sujeitas a tensões e/ou deformações mecânicas (ALRASHDAN et al, 2013) (YOUNGSU et al, 2016).

O tipo de matéria piezoelétrica mais indicado pela literatura, para colher energia elétrica a partir de vibração mecânica, é o Zirconato Titanato de Chumbo (PZT). Segundo (ANTON; SODANO, 2007) as cerâmicas de PZT oferecem algumas vantagens em relação a outros materiais piezoelétricos: alto valor de rigidez, baixo custo de fabricação, pequeno volume e são leves.

Por se tratar de uma cerâmica, o PZT é um material frágil, apresentando assim limitações às deformações. Por esse motivo, esse material deve ser acoplado a uma outra estrutura, uma viga, por exemplo. Em (LEFEUVRE et al, 2006), após terem realizado um amplo estudo da literatura sobre micro geradores de energia piezoelétrica informam, com base nos resultados dos trabalhos investigados, que conceber geradores a partir de vigas em balanço ou *cantilever*, continua sendo a forma mais simples e eficiente para captar e converter energia mecânica em elétrica.

Partindo dessas informações, é apresentado neste trabalho, o estudo e desenvolvimento de um gerador de energia elétrica, Figura 1, constituído por uma célula piezoelétrica de PZT (10x12x0,2 mm) acoplado a uma viga em balanço de 0,15 mm de espessura 12 mm de largura e 60 mm de comprimento. Baseado no efeito piezoelétrico direto, o gerador produzirá, como consequência da ação da vibração sobre o mesmo, uma quantidade de energia elétrica proporcional à deformação mecânica sofrida pelo elemento piezoelétrico.

Figura 1 – Geometria do gerador piezoelétrico.



Fonte: Próprio autor.

2 METODOLOGIA

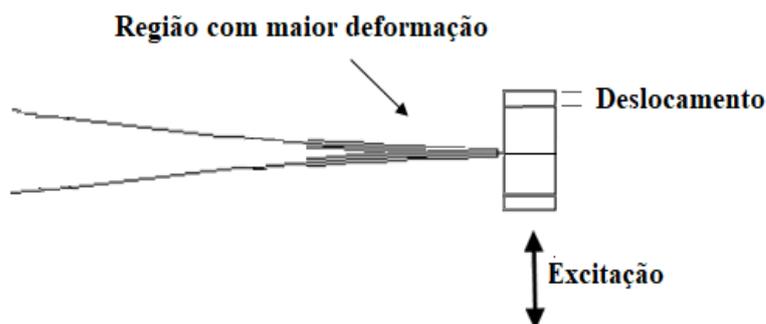
O desenvolvimento da pesquisa proposta, se deu, inicialmente, com a realização de um estudo minucioso sobre a possibilidade de geração de energia elétrica, a partir de fontes de vibração mecânica, por meio de um material piezoelétrico, tendo em vista informações como: tipos de materiais e os efeitos piezoelétrico, as formas de captação de energia, as configurações existentes de geradores piezoelétrica.

A partir das verificações no estado da arte e tendo como objetivo desenvolver o gerador piezoelétrico, foram então discutidas as possíveis formas ou configurações geométricas deste dispositivo, onde então, decidiu-se, desenvolver o gerador baseado em uma viga em balanço com um PZT acoplado ao mesmo. As etapas seguintes foram montagem do dispositivo mecânico e a instrumentação eletrônica do mesmo para coleta, condicionamento e análise dos resultados de geração de energia elétrica com relação ao nível de vibração/deformação oferecido a estrutura.

2.1 Estrutura Experimental

A estrutura experimental foi projetada e montada no Laboratório de Energias Renováveis (sala E14) do Campus Pesqueira. A mesma foi construída tendo em vista uma configuração mecânica de uma viga em balanço que, quando excitada mecanicamente, fornecesse à célula piezoelétrica cargas cíclicas de tração e compressão, tomando como base o esquema ilustrado na Figura 1. Na Figura 2 é mostrado o modo de vibrar esperado para a estrutura.

Figura 2 – Modo de vibrar esperado para a estrutura.



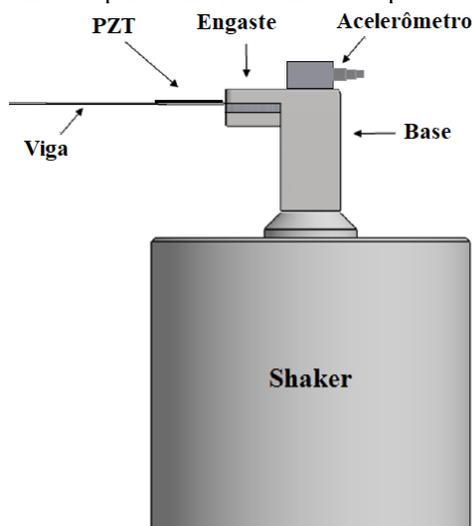
Fonte: Próprio autor.



O modo de vibrar mostrado na Figura 2, proporcionará ao elemento piezoelétrico, deformações ora por tração, ora por compressão, pois, a geometria em que o gerador é baseado, permitirá que o maior nível de deformação sofrido pela viga ocorra próximo a área engastada, justamente onde a célula piezoelétrica encontra-se acoplada.

Desse modo, seguindo o princípio de funcionamento esquematizado na Figura 1, utilizou-se como fonte de vibração o excitador eletromagnético - mini shaker type 4810 da Labworks Inc. (uma máquina de vibrações que permite regular a frequência e a amplitude de oscilação da estrutura). No topo do excitador eletromagnético foi acoplada uma estrutura para acomodação do gerador, como o esquematizado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema do aparato mecânico montado para o estudo do gerador.

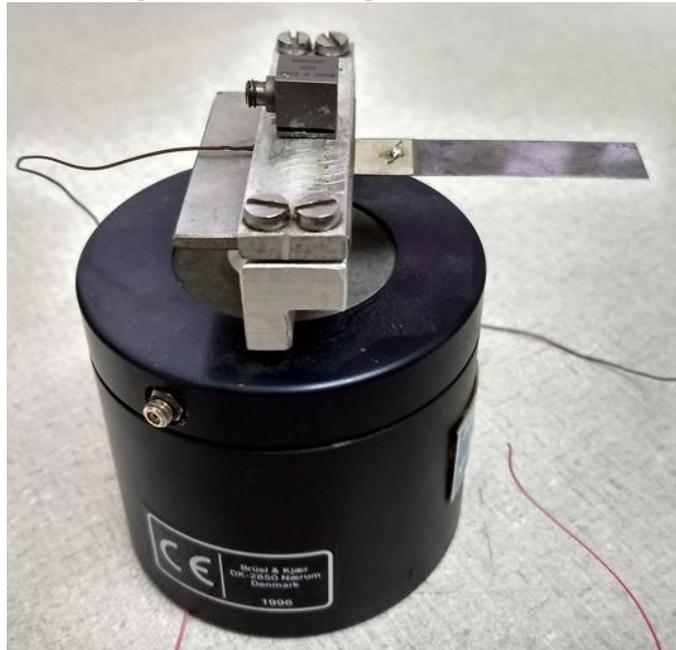


Fonte: Próprio autor.

Analisando a configuração mostrada na Figura 3 é possível constatar que o movimento vibratório proveniente do excitador eletromagnético é transmitido ao gerador piezoelétrico por meio de uma base, a qual, tem a sua face inferior presa ao atuador enquanto parte superior serve como engaste para uma das extremidades da viga. O nível de deformação sofrida pela célula depende diretamente da frequência e da amplitude de vibração transmitida do atuador à estrutura.

Para fazer a leitura do sinal de vibração mecânica transmitido ao gerador, foi colado um acelerômetro sobre a face superior da base. O modelo do acelerômetro é o 4507, produzido pela Brüel & Kjaer, com capacidade máxima de operação de ± 70 g com sensibilidade de 98,1 mV/g ou 10 mV/(m/s²) e capacidade de operar entre a faixa de 0,3 a 6 kHz com erro de $\pm 5\%$. O sensor é interligado a um condicionador de sinais, modelo 480E09 da PCB PIEZOTRONICSINC.

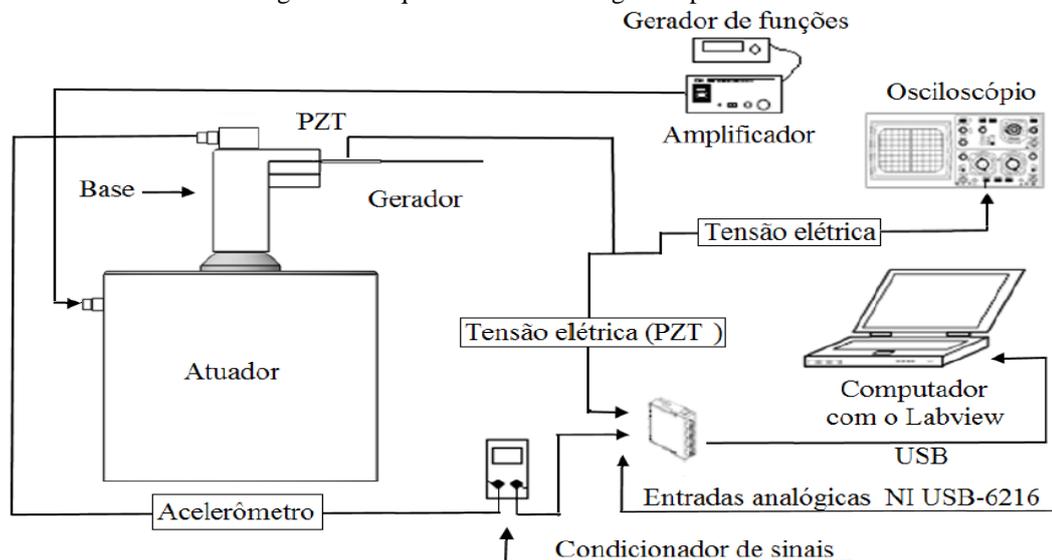
Figura 4 – Estrutura Experimental.



Fonte: Próprio autor.

De modo geral, toda a planta experimental foi instrumentada com osciloscópio, gerador de funções, fonte de tensão, atuador eletromagnético, amplificador de potência, elemento piezoelétrico, acelerômetro, módulo condicionador de sinais, placa de aquisição de dados e computador, como esquematizado na Figura 5.

Figura 5 - Esquemático da montagem experimental.

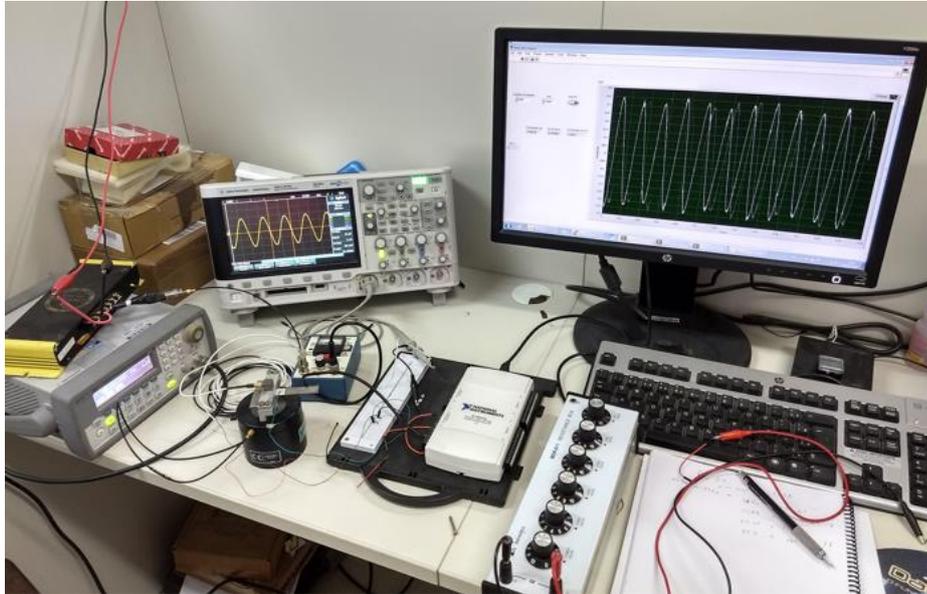


Fonte: Próprio autor.

Os dados de frequência e amplitude de vibração de saída do atuador são ajustados através do gerador de funções que está conectado ao amplificador de potência que por sua vez alimenta o atuador. O acelerômetro, utilizado para captar a aceleração aplicada ao sistema, foi conectado na parte superior da base que interliga o excitador ao gerador. O sistema para a aquisição dos dados gerados pela planta experimental é baseado no hardware e software da National Instruments. Os sinais de interesse são colhidos pelos sensores, condicionados e enviados para o módulo de aquisição NI USB-6216, recebidos via USB pelo computador dotado com o

LabView que trata e expõe os dados ao usuário a partir de uma interface de análise dinâmica. Os valores de tensão elétrica gerados pelo PZT, além de serem captados pela placa de aquisição, também são analisados diretamente com o auxílio do osciloscópio de 10 M Ω (impedância de entrada). A fotografia da bancada de trabalho experimental está mostrada na Figura 6.

Figura 6 – Bancada de trabalho experimental.

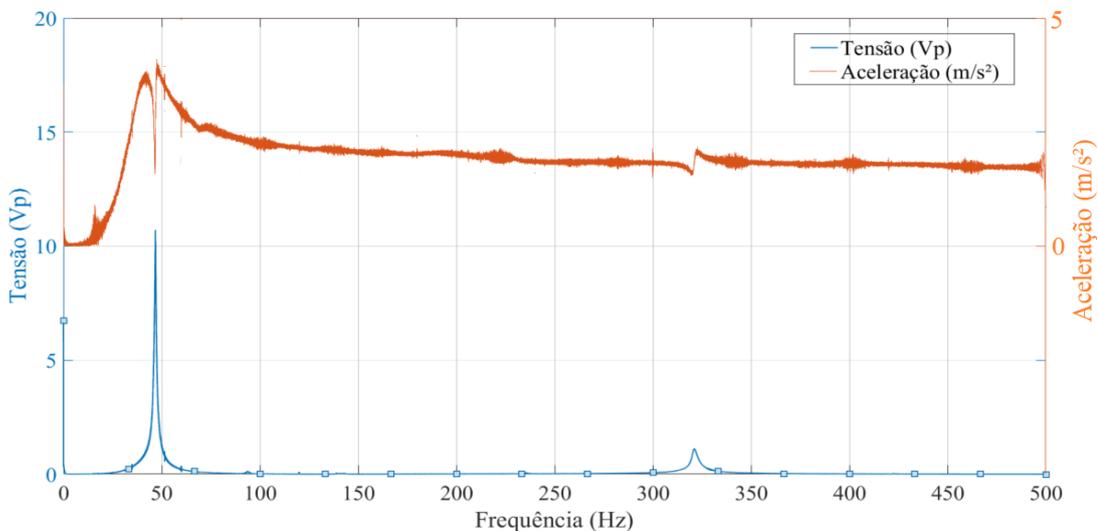


Fonte: Próprio autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente o *shaker* foi alimentado com um sinal de frequência variando em uma faixa de 10 a 500 Hz. O sinal de tensão elétrica gerada pelo elemento piezoelétrico e a aceleração fornecida à estrutura em função da frequência estão apresentados na Figura 7. O valor máximo de 11 Vp é atingido quando a estrutura é excitada em cerca de 47 Hz a uma aceleração de 3,9 m/s².

Figura 7 – Espectro da tensão elétrica e aceleração versus frequência.



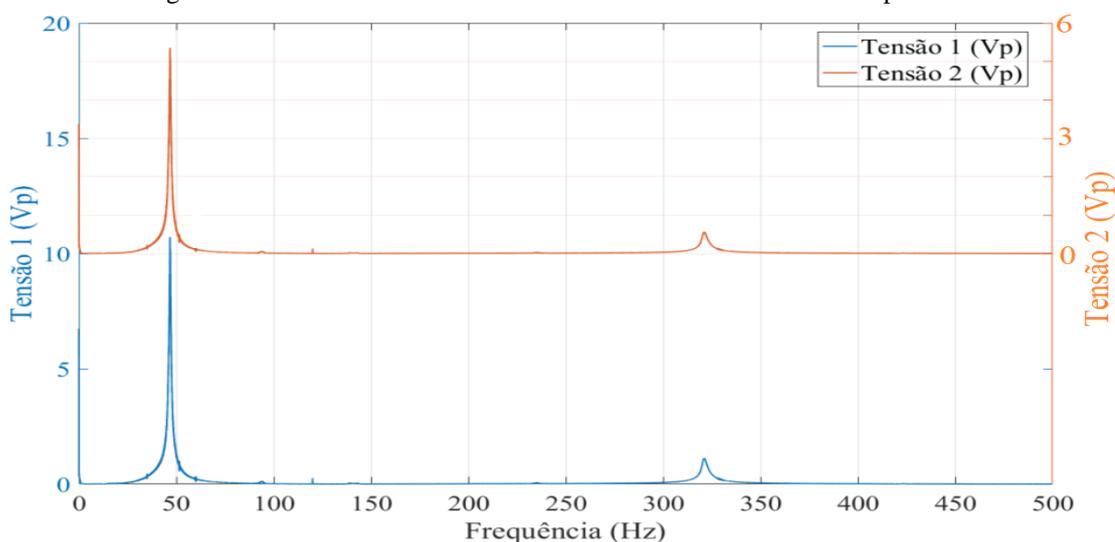
Fonte: Próprio autor.

A partir desses dados, foi possível observar a correspondência eletromecânica do fenômeno piezoelétrico pelo comportamento dinâmico do gráfico, mostrando que quanto mais a estrutura vibra e consequentemente mais a célula piezoelétrica é deformada, um maior nível de tensão elétrica é gerado. A o sinal de aceleração e o potencial elétrico assumem valores máximos em torno de 47 Hz, pelo fato, da frequência de excitação fornecida pelo atuador ter coincidido com a frequência natural do acoplamento mecânico da estrutura experimental.

Até o momento, as análises experimentais permitiram a obtenção e correlação gráfica do valor do potencial elétrico gerado e as acelerações as quais o sistema foi submetido correlacionando-os com a frequência. Outro parâmetro imprescindível para a caracterização do elemento piezoelétrico como gerador de energia elétrica, é a quantidade de potência elétrica gerada. Para a obtenção desse parâmetro é necessário que o valor da impedância interna do elemento gerador seja conhecido.

Considerando a célula de PZT como fonte geradora de energia elétrica, sua impedância interna pode ser estimada de forma experimental fazendo uso do teorema da máxima transferência de potência. Com tudo, a impedância interna do elemento piezoelétrico foi estimada da seguinte maneira: primeiramente, a estrutura de testes foi posta em funcionamento com valores pré-estabelecidos de amplitude e frequência de vibração. Em seguida, a tensão do elemento piezoelétrico foi medida diretamente por um osciloscópio de 10 M Ω de impedância de entrada (considerada, em casos práticos, como uma medida em circuito aberto). Após essa primeira medição, os terminais do PZT foram interligados a uma década resistiva de 1111110 Ω e, a resistência da década foi variada até que o valor da tensão elétrica medida nos terminais do PZT atingisse a metade do valor da tensão registrada na primeira medição, como ilustrado na Figura 8. Ou seja, quando a tensão elétrica do PZT no circuito (Tensão 2), for metade da tensão elétrica do PZT fora do circuito (Tensão 1), o valor da resistência elétrica contida na década resistiva será correspondente à impedância resistiva do elemento piezoelétrico.

Figura 8 – Tensão elétrica medida antes e durante o casamento de impedância.



Fonte: Próprio autor.

Considerando as características de vibração utilizadas na análise da Figura 6, o gráfico da Figura 8 mostra o comportamento da impedância do PZT e dos sinais de tensão elétrica medidos no mesmo, antes (Tensão 1) e durante o casamento de impedâncias (Tensão 2), em função da frequência. Para a frequência de 47 Hz, onde a tensão elétrica atinge seu valor máximo, a impedância experimentalmente estimada para a célula de PZT correspondeu a 200 k Ω .

Uma vez conhecendo o valor da impedância, pode-se então calcular o valor da potência elétrica gerada pelo sistema gerador. Para o caso apresentado; 3,9 Vrms e 200 k Ω , temos uma

potência de 76,05 μW com o sistema vibrando com uma aceleração de 3,9 m/s^2 a uma frequência de 47 Hz.

Por fim, foram realizadas experimentações variando-se a amplitude de tensão de alimentação no gerador de funções; isso implica em um maior deslocamento do êmbolo do atuador e como consequência, maiores níveis de vibração impostos ao gerador. O intervalo de frequência de análise continuou sendo de 10 a 500 Hz. Na Tabela 1 estão contidos os valores máximos de saída para quatro níveis diferentes da amplitude de excitação da estrutura.

Tabela 1 – Resultados adquiridos da estrutura experimental.

Frequência (Hz)	Aceleração (m/s^2)	Tensão (Vrms)	Impedância ($\text{k}\Omega$)	Potência (μW)
47	3,9	3,9	200	76,05
	5,3	9,5		451,25
	7,4	12,4		768,8
	10,8	14,8		1095,2

Fonte: próprio autor.

Ao observar os resultados das análises experimentais contidos na Tabela 1, pode-se concluir que a tensão piezoelétrica de saída é tanto maior quanto maior for a amplitude da oscilação de excitação fornecida a estrutura e, por conseguinte a deformação do elemento gerador. Portanto, existe uma relação de proporcionalidade entre a tensão elétrica e a deformação mecânica da célula, sendo maximizada em torno dos valores de ressonância da estrutura. Comportamento que representa a correspondência eletromecânica do fenômeno piezoelétrico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma investigação acerca da possibilidade de gerar energia elétrica por meio de um gerador piezoelétrico baseado em uma viga em balanço. Os estudos foram concentrados na verificação do comportamento eletromecânico do PZT junto a estrutura por meio de experimentos. Os resultados experimentais obtidos de uma estrutura que emula a realidade prática de vibração/deformação, demonstraram a capacidade de geração de energia elétrica a partir de deformações relativamente pequenas. Mostraram também a influência esperada na geração de energia elétrica quando a frequência de excitação atingiu a frequência natural da estrutura. Fato este que determina o ponto de maior energia elétrica gerada pelo PZT. Como resultado, observou-se a geração de energia da ordem de 1,0952 mW quando a estrutura foi submetida a uma aceleração de 10,8 m/s^2 a uma frequência de 47 Hz.

REFERÊNCIAS

ALRASHDAN M. H. S. et al. **Design and Simulation of Piezoelectric Micro Power Harvester for Capturing Acoustic Vibrations**. IEEE, Langkawi, Malaysia, 2013.

ANTON, S. R.; SODANO, H. A. **A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006)**. Smart Materials and Structures, doi:10.1088/0964-1726/16/3/R01. 2007.

CARNEAL, J. P., FULLER, C. R. **An analytical and experimental investigation of active structural acoustic control of noise transmission through double panel systems**. Journal of Sound and Vibration, v. 273, pp. 749–771, Abr. 2004.



LEFEUVRE, E. et al. **A comparison between several vibration-powered piezoelectric generators for standalone systems.** Sensors and Actuators, A 126, pages 405–416. 2006.

MACIAS, F.A. **Energy harvesting.** Soldiers Magazine Jan. 2011: 46. Academic OneFile. Disponível <<http://go.galegroup.com.ez15.periodicos.capes.gov.br/ps>> Acessado em: 11 de dezembro de 2012.

MATIKO J. W et al. **Review of the Application of Energy Harvesting in Buildings.** IOP publishing. Measurement Science and Technology, 2014.

PARK, G.; CUDNEY H. H.; INMAN, D. J. **An integrated health monitoring technique using structural impedance sensors.** Journal of Intelligent Material Systems and Structures, v. 11, pp. 448 – 455, Jun. 2000.

PETITJEAN, B. et al. **Active Control Experiments for Acoustic Radiation Reduction of a Sandwich Panel: Feedback and Feedforward Investigations.** Journal of Sound and Vibration, v. 252, pp19 36, 2001.

YOUNGSU, C. et al. **Energy Harvesting from a Piezoelectric Biomimetic Fish Tail.** ELSEVIER, Renewable Energy, 2016.



COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e II Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019
Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia
no contexto da globalização 4.0"

EXPERIMENTAL STUDY OF AN ELECTRIC POWER GENERATOR USING PIEZOELECTRIC MATERIAL

Abstract: It has recently been the object of some researchers' studies to pass on probable solutions for the production of alternative electric energy. Many of these researches are condensed into the use of subjectively inexhaustible natural resources to conserve other sources of exhaustible energy. But, currently has been studied possibilities of low-power electric power generation, which is able to supply the demand of some electronic systems. Systems such as remote communication or wireless sensors that have low power consumption can be subsidized. Among the various technologies for alternative electric energy generation, the use of energy by means of vibration of infrastructures can be used to produce electric energy. For this transformation is used the piezoelectric materials that transmutes the energy of mechanical deformation into electric energy. In this work, it is a theoretical and experimental study of an electric energy generator using piezoelectric material. From the experimental results a piezoelectric generator was developed. In this work, we observe that there is a proportionality relation between the electric voltage and the mechanical deformation of the cell, being maximized around the resonance values of the structure.

Keywords: Energy harvesting, alternative energy, piezoelectric materials.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:

