



Construção de um dispositivo para produção de energia elétrica por efeito piezelétrico

Samuel Mota da Silva, Francisco José Arnold

Faculdade de Tecnologia, UNICAMP, Brasil

RESUMO: O presente trabalho estuda a transformação de energia mecânica em energia elétrica por meio do impacto de uma bola de borracha com um transdutor piezelétrico. Foram realizados experimentos de impacto por queda livre e por lançamento em plano inclinado. Os lançamentos ocorreram em diferentes alturas. Em todos os experimentos foram testadas cargas resistivas ligadas ao transdutor que permitiram determinar a potência transferida no impacto. Os resultados evidenciam que a tensão elétrica convertida aumenta com a altura de lançamento e a resistência de carga utilizada. Por meio de balanço energético é possível determinar a relação da energia potencial do lançamento com a de conversão piezelétrica.

Palavras-chave: potência, energia, impacto.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de energia vem se constituindo como um tema de grande importância no desenvolvimento tecnológico voltado ao fornecimento de eletricidade para equipamentos em diversas áreas como sensores sem fio, instrumentação embutida, calculadoras, dispositivos Bluetooth, aplicações em rodovias sustentáveis [1], entre outros [2].

Materiais piezelétricos são capazes de gerar diferença de potencial quando pressionados ou, ainda, ao serem excitados com uma diferença de potencial, de gerar um deslocamento mecânico.

O presente trabalho aborda o uso de transdutores piezelétricos para fins de conversão de energia mecânica em energia elétrica, portanto será focado o efeito piezelétrico direto [3]. Este segmento de pesquisa vem ganhando especial destaque nos últimos anos devido à busca de fontes alternativas e sustentáveis de produção de energia elétrica para implantação e desenvolvimento de equipamentos portáteis e de baixo consumo. Esses equipamentos são usados em aplicações médicas, sensores sem fio, instrumentação eletrônica embutida, dispositivos de monitoração para fins militares e acessórios de pequeno porte para uso pessoal e como fonte de auto alimentação [4].



Neste trabalho foram desenvolvidos experimentos para obter energia elétrica a partir do impacto de uma bola de borracha com um transdutor piezelétrico. Os resultados serão úteis para estudos mais aprofundados sobre produção de energia elétrica com cerâmicas piezelétricas em pisos de rodovias [5,6] e complementação de outros estudos voltados ao ensino de Física [7,8].

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O comportamento de dispositivos piezelétricos é regido pelas equações piezelétricas [9]. Estas equações são matriciais e dependem da natureza do cristal piezelétrico. Em muitas situações, devido a geometria do dispositivo, as equações piezelétricas podem se restringir a um único modo de vibração e, nestes casos, elas tornam-se unidimensionais. Neste trabalho iremos utilizar dispositivos com forma de disco onde apenas o modo espessura é considerado. A tensão elétrica gerada é proporcional a força do impacto ($N(t)$) na superfície do elemento piezelétrico, $V(t) = KN(t)$, onde K é uma constante dependente das propriedades físicas do elemento piezelétrico e de sua área de contato [10].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O elemento piezelétrico utilizado é o cabeçote comercial desse transdutor ultrassônico utilizado em equipamentos de fisioterapia FISIO HEAD MONOFREQUENCY GBE.YJ.RNC-3MHz (PZTAP880 30mm x 3MHz) (Figura 1), onde foi realizado a caracterização do mesmo e foi medido que o transdutor tem uma impedância de $0,50\Omega$ quando entra em frequência de ressonância (2,911 MHz) e o mesmo tem uma impedância de 67Ω quando entra na frequência de antirressonância (3,261 MHz). A bola de borracha tem diâmetro de 5,6 cm, massa de 133,9 g e densidade de $1456,2\text{ kg/m}^3$. Cada um dos resistores ($R1 = 100\text{ k}\Omega$, $R2 = 220\text{ k}\Omega$, $R3 = 1\text{ M}\Omega$) foi conectado em paralelo com o transdutor. Para cada altura e cada resistor foram realizados 12 lançamentos. As tensões elétricas foram medidas usando-se um osciloscópio Agilent DSO9254A.



Figura 1. Transdutor utilizado no desenvolvimento experimental.



O desenvolvimento experimental consiste em lançar sobre o dispositivo piezelétrico uma bola de borracha e medir a tensão elétrica ao longo do tempo decorrente do impacto. A potência média foi determinada por meio de $p(t) = v(t)^2/R$. As energias de conversão geradas são calculadas numericamente por $E = \int_{t_0}^{t_1} p(t) dt$.

Foram realizados lançamentos verticais e oblíquos a partir de diversas alturas. A bola de borracha utilizada tem as seguintes características: diâmetro de 5,6 cm, massa de 133,9 g e densidade de 1456,2 kg/m³.

Os lançamentos verticais foram realizados das seguintes alturas: 49 mm, 114 mm e 179 mm. Um artefato apropriado foi desenvolvido para garantir que a bola colidisse com a parte central da superfície do transdutor (Figura 2). Nos lançamentos oblíquos, a bola foi solta do alto de uma rampa de modo a sempre percorrer uma distância de 44 cm até colidir com a superfície do transdutor. A rampa foi disposta em ângulos de 13°, 23° e 29° com a horizontal. Um artefato de ajuste da inclinação foi desenvolvido para este experimento (Figura 3). Todos os experimentos foram repetidos 12 vezes.



Figura 2. Artefato para lançamento vertical. Figura 3. Artefato para lançamento oblíquo.

4. RESULTADOS

A Figura 4 ilustra exemplos de curvas de tensão (V) em função do tempo (t) capturadas pelo osciloscópio para lançamentos na altura de 179 mm com os resistores 1 M Ω , 100 k Ω e 220 k Ω .

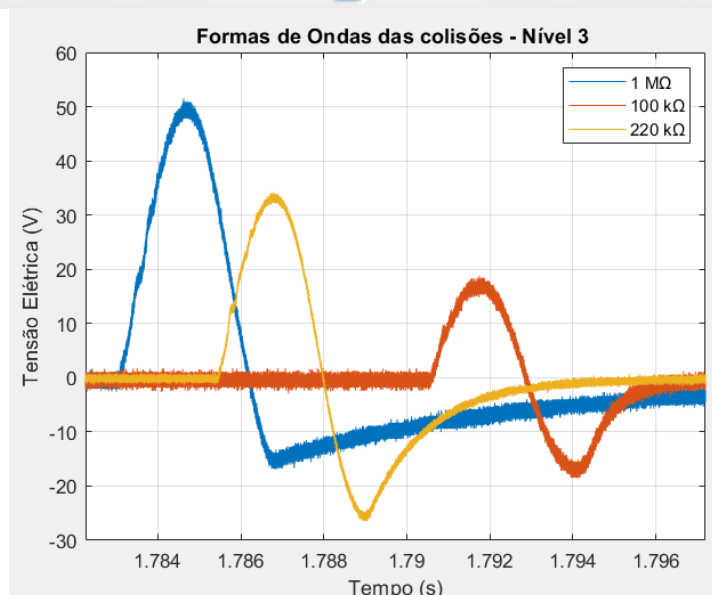


Figura 4. Formas de ondas das tensões elétricas geradas a partir de impactos da bola de borracha solta de uma altura de 179 mm com a superfície do transdutor de um dos lançamentos verticais.

A Tabela I mostra os valores médios dos resultados da potência média e da energia convertida para as alturas $h_1 = 49\text{mm}$, $h_2 = 114\text{mm}$ e $h_3 = 179\text{mm}$ para cada resistor utilizado.

Tabela I. Potências e energias médias dos impactos em lançamentos em queda livre.

	$p(\mu\text{W})$			$E(\mu\text{J})$		
	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
h_1	1220±140	1763±210	857±146	0,513±0,043	0,364±0,027	0,127±0,013
h_2	2700±390	2545±527	1650±320	0,679±0,057	0,424±0,041	0,173±0,020
h_3	4520±840	4080±884	2514±335	0,833±0,052	0,487±0,047	0,213±0,017

A Tabela II mostra dos resultados da potência e da energia convertida para os rolamentos em rampa nas inclinações de $\alpha_1 = 13^\circ$, $\alpha_2 = 23^\circ$ e $\alpha_3 = 29^\circ$ para cada resistor utilizado.

Tabela II. Potências e energias médias dos impactos por rolamentos em um plano inclinado.

	$p(\mu\text{W})$			$E(\mu\text{J})$		
	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
α_1	315±34	356±58	136±37	0,287±0,029	0,222±0,026	0,064±0,001
α_2	685±82	416±104	252±52	0,43±0,056	0,19±0,029	0,074±0,008
α_3	1230±170	1190±140	589±41	0,48±0,033	0,33±0,023	0,110±0,006



5. DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

Em ambos experimentos as potências e energias convertidas são mais elevadas quando se empregam resistores mais elevados como carga e quando a energia cinética do impacto é maior (proporcional à altura do lançamento). Verifica-se também que a forma de onda da tensão elétrica gerada se modifica devido ao uso de resistores de carga, estabelecendo condições diferenciadas de amortecimento.

6. REFERÊNCIAS

- [1] L. Guo, Q. Lu, Potentials of piezoelectric and thermoelectric technologies for harvesting energy from pavements, *Renew. and Sust. Energy Rev.*, 72, 761-773, (2017).
- [2] A. Harb, Energy harvesting: state-of-art, *Renew. Energy*, 36, 2641-2654, (2011).
- [3] H. Sodano, D. Inman, G. Park, A Review of Power Harvesting from Vibration using Piezoelectric Materials, *The Shock and Vibration Digest*, 36(3), 197-205, 2004.
- [4] J. Rocha, L. Gonçalves, P. Rocha, M. Silva, S. Lanceros, Energy Harvesting from Piezoelectric Materials Fully Integrated in Footwear, *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, 57(3), (2010).
- [5] S. Cafiso, M. Cuomo, A. Di Graziano, C. Vecchio, Experimental Analysis for Piezoelectric Transducers Applications into Roads Pavements, *Adv. Mat. Research*, 684, 253-257, (2013).
- [6] H. Roshani, P. Jagtap, S. Dessouky, A. Montoya, A. T. Papagiannakis, Theoretical and Experimental Evaluation of Two Roadway Piezoelectric-Based Energy Harvesting Prototypes, *J. Mater. Civ. Eng.*, 30(2), 04017264, (2018).
- [7] F.J. Arnold, A. G. Godeny, M. M. Costa, J. F. Viana, R.L. Ximenes, Proposta experimental do estudo de colisões entre bolas de borracha e superfície plana, *Ver. Bras. Ens. Fis*, 40 (2), e2502, (2018).
- [8] T. Scalet, J. F. Viana, A. Rangel, F. J. Arnold, Experimental Evaluation of Piezoelectric Buzzers as Devices for Energy Harvesting, *Brazilian Technological Symposium*, 2017.
- [9] D. Berlincourt, D. Curran, H. Jaffe (1964) Piezoelectric and Piezomagnetical Materials and Their Function in Transducers. In: Mason, W.P., Ed., *Physical Acoustics*, Academic Press, New York, 1A, 169-270.
- [10] M. E. Bacon, B. Stevenson, C.G. S. Baines, Impulse and momentum experiments using piezo disks, *Am. J. Phys.*, 66(5), 445-448, (1998).