

Proposta de um circuito para extração de potência de transdutores piezelétricos usando transistores MOS

Flavilene da Silva Souza, flavilene@hotmail.com¹
Camila Gianini Gonzalez, cacagss@hotmail.com¹
Vicente Lopes Júnior, vicente@dem.feis.unesp.br¹
Nobuo Oki, nobuo@dee.feis.unesp.br¹

¹UNESP – Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira - SP.

Resumo: Nos últimos anos, uma importante área do conhecimento vem ganhando destaque, esta área é conhecida como 'Power harvesting' ou 'Energy harvesting', que consiste no desenvolvimento de tecnologias para aquisição e conversão de alguma fonte de energia qualquer em energia elétrica utilizável. Neste contexto, destaque deve ser dado a tecnologias que utilizem transmissão sem fio e circuitos eletrônicos de baixa potência, onde o conceito de Power harvesting pode ser utilizado. Um método para obtenção desta energia é utilizar a vibração de estruturas mecânicas. Para proporcionar a conversão desta energia mecânica em energia elétrica, algum tipo de transdutor deve ser utilizado. Uma possibilidade é utilizar o transdutor piezelétrico que possui estão a capacidade de desenvolver uma diferença de potencial elétrico quando submetido a um esforço mecânico. Desta forma, na presença de vibrações mecânicas eles produzem energia elétrica, e esta energia é armazenada em uma bateria ou super-capacitor, para depois, ser utilizada em outros circuitos eletrônicos. No entanto, uma das limitações desses sistemas, é a baixa quantidade de energia gerada por esses dispositivos. Assim é necessário que haja uma otimização do circuito elétrico para minimização das perdas e por conseguinte, obter um melhor rendimento do sistema. Este trabalho investiga os circuitos retificadores utilizando transistor MOS e do conversor CC-CC para otimização do rendimento do sistema, ou seja para maximizar a quantidade de energia obtida do transdutor piezelétrico e fornecida a bateria..

Palavras-chave: Materiais Piezelétricos; Energy harvesting; Transistores MOS.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos vem crescendo muito a pesquisa em relação a *energy harvesting*, isto se deve ao desenvolvimento da tecnologia sem fio e eletrônicos de baixa potência. Existem inúmeras aplicações de *energy harvesting* na área industrial, comercial, residencial. Sem dúvida nenhuma a aplicação diferencial de *energy harvesting* é para sensores remotos, que através desta técnica, sistemas que necessitam de bateria para o seu funcionamento, podem se auto-realimentar.

Energy harvesting consiste no desenvolvimento de tecnologias para aquisição e conversão de alguma fonte de energia qualquer em energia elétrica utilizável. Esta fonte de energia é infinita e pode ser obtida de vibrações mecânicas, da energia solar, do campo gravitacional, do fluxo de fluidos, da pressão do som acústico, etc. A conversão de energia ocorre através de materiais disponíveis, tais como material piezelétrico, magnetoelétrico e termoeelétrico.

A utilização de transdutores piezelétricos para conversão de vibrações mecânicas em energia elétrica tem sido muito empregado, já que transdutor piezelétrico possui a capacidade de desenvolver uma diferença de potencial elétrico quando submetido a um esforço mecânico. Desta forma, na presença de vibrações mecânicas eles produzem energia elétrica, e esta energia é armazenada em uma bateria ou super-capacitor, para depois, ser utilizada em outros circuitos eletrônicos

Uma das limitações desses sistemas é a baixa quantidade de energia gerada por esses dispositivos, geralmente na faixa de miliwatt. Isto é causado principalmente por propriedades mecânicas do piezelétrico. Assim é necessário que haja uma otimização do circuito elétrico para minimização das perdas e obter um melhor rendimento do sistema.

O condicionamento de potência deve ser capaz de extrair o máximo de energia disponível em *energy harvesting*, neste campo vários circuitos são propostos para a otimização do sistema. Diversos trabalhos (Leufevre,2007; Kim, 2007; Ottman, 2003; Taylor,2004) empregam um conversor DC-DC para melhorar a eficiência do sistema.

Este artigo apresenta maneiras para otimização do circuito elétrico visando a diminuição de perdas. Um circuito retificador e um conversor DC-DC são utilizados para maximizar a quantidade de energia que chega à bateria.

2. TRANSDUTOR PIEZELÉTRICO

Material piezolétrico é um transdutor que na presença de vibração produz energia elétrica (efeito direto), e na presença de campo elétrico apresenta deformação e/ou tensão mecânica (efeito inverso). Isto é, o transdutor piezolétrico converte energia mecânica em elétrica, ou vice-versa.

Este fenômeno ocorre devido às cargas elétricas na superfície do material piezolétrico. No efeito direto essas cargas proporcionam polarização elétrica do piezolétrico. No efeito inverso essas cargas reagem com a diferença de potencial aplicada e o transdutor reage com uma deformação mecânica.

O transdutor piezolétrico pode ser modelado e analisado de acordo com circuito elétrico equivalente. Em tal abordagem as características mecânicas devem ser modeladas por seus respectivos análogos elétricos. A fig. (1) mostra o equivalente elétrico do transdutor piezolétrico, de acordo com Han (2004) e Le (2008).

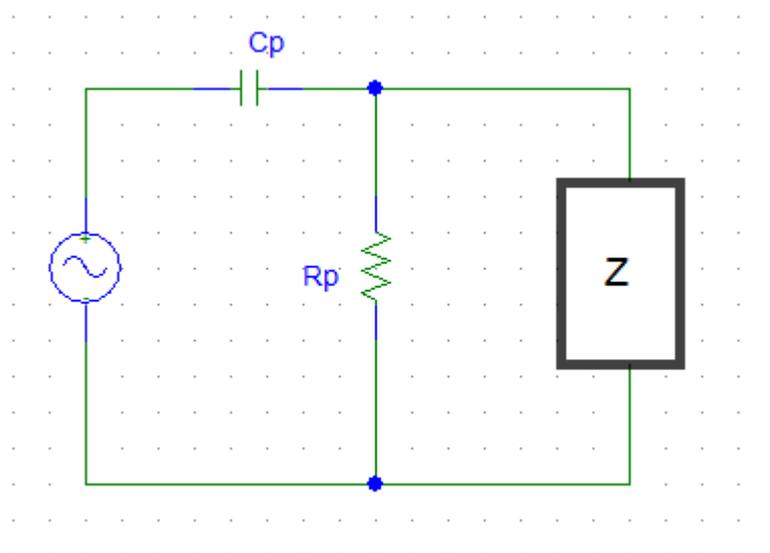


Figura 1- Equivalente elétrico do Transdutor Piezolétrico

O transdutor piezolétrico apresenta uma impedância interna alta. Esta alta impedância limita a corrente fornecida pelo transdutor a ordem de mA. Portanto há necessidade de projetar circuitos elétricos para uma conversão eficiente de *energy harvesting* e para minimizar as perdas elétricas do circuito, aperfeiçoando assim a energia fornecida pelo transdutor piezolétrico.

3. CIRCUITO DE EXTRAÇÃO DE POTÊNCIA

Para a tensão e a corrente provida do transdutor piezolétrico serem utilizadas por circuitos eletrônicos é preciso que sejam convertidas e condicionadas. Como a saída do piezolétrico é uma onda senoidal há necessidade de passar por um conversor AC/DC.

O condicionamento de potência deve ser capaz de extrair o máximo de energia disponível em *energy harvesting*, para isso o sistema de extração de potência é composto por três partes: retificador, estágio de potência e circuito de controle, conforme é mostrado na fig.(2).

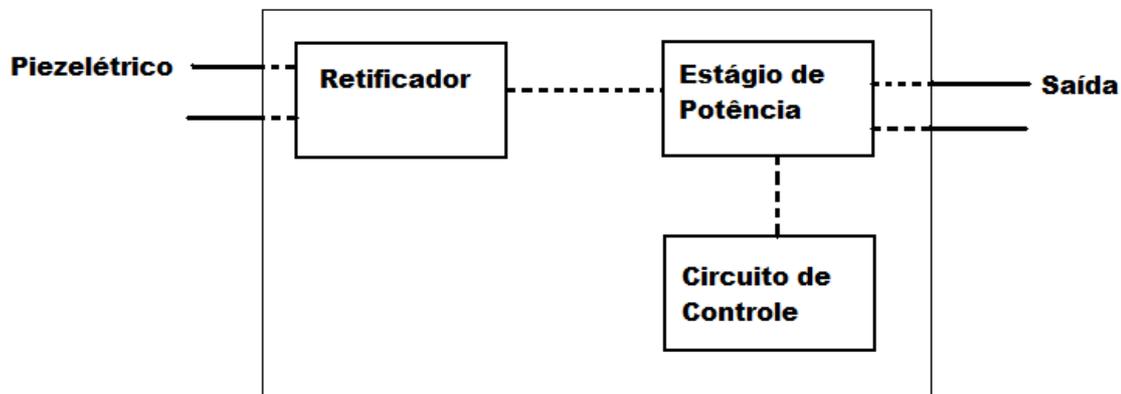


Figura 2 – Esquema do sistema de *energy harvesting*

Utiliza-se o retificador de onda completa por diodo para retificar o sinal AC proveniente do transdutor.

Uma solução simples para diminuir o valor da queda de tensão no circuito retificador é trocar a utilização de um diodo típico por diodo *Schottky*, que tem uma queda de tensão menor comparado com o primeiro (de 0,7 cai para 0,3) e responde mais rapidamente. Isto é, usando diodo *Schottky* há uma redução na perda de potência do sistema e um ganho na eficiência. Retificadores com diodos *Schottky* são simples e possuem um bom desempenho.

Outra maneira para amenizar a queda de tensão ocasionada pelo diodo é utilizar transistor MOS ao invés do diodo. O transistor MOS funcionará como uma chave.

O circuito de controle é empregado para controlar o transistor MOSFET do conversor *buck-boost*. Neste circuito será utilizado o OV-7604-C4, que é um oscilador de clock de baixa potência de 32 KHz. Estes dispositivos são pequenos pacotes SMD cerâmicos que integram um cristal 32 KHz com um circuito oscilador CMOS, conforme é mostrado na fig.(3).

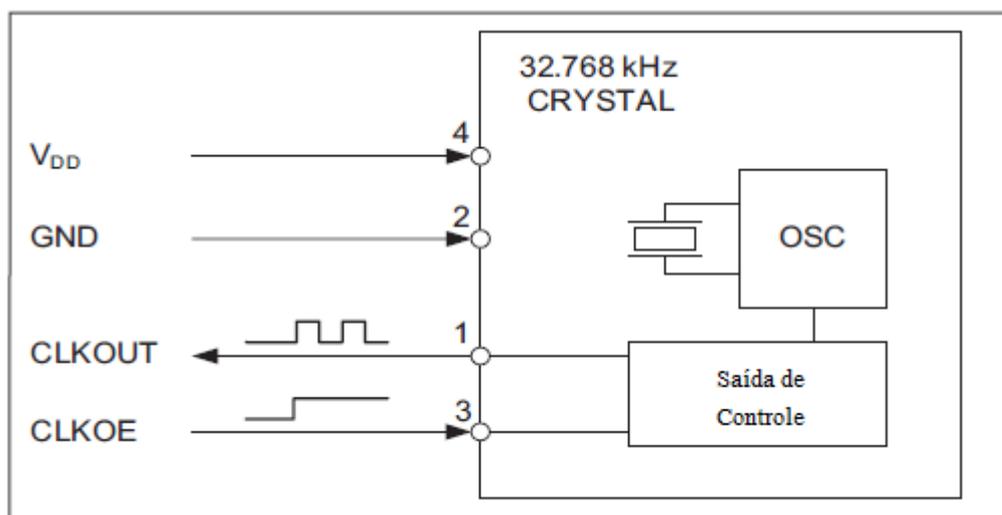


Figura 3 – Diagrama interno do OV-7604-C7

O conversor *buck-boost* é utilizado para controlar o fluxo de energia entre a carga e a fonte. Este conversor é naturalmente isolado, e é controlado por um transistor MOSFET que funciona como chave, isto é, operam na região de corte e linear. O transistor operando em corte bloqueia o sinal de tensão e quando está na região linear conduz corrente elétrica.

Este conversor pode funcionar como abaixador ou elevador de tensão, dependendo da razão cíclica. Razão cíclica é a razão entre o tempo em que o transistor está conduzindo e o período de chaveamento, como mostrado na eq.(1) a seguir, onde : D- Razão Cíclica, ton – tempo de acionamento do transistor, T – período de chaveamento.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1)$$

Quando o transistor está conduzindo o indutor acumula energia da fonte de alimentação. Neste caso o diodo é bloqueado e a carga é alimentada pelo capacitor, previamente carregado. Quando o transistor está em corte o diodo entra em condução e o indutor transfere a energia armazenada não só para a carga como também para o capacitor, conforme a etapa 1 e 2 da fig.(4).

O conversor pode estar em modo de condução contínua (MCC) ou modo de condução descontínua (MCD). O modo de condução contínua ocorre quando a corrente do transformador não se anula simultaneamente, nesse caso funcionam as etapas 1 e 2 da Fig.(4). Já o descontínuo acontece quando o transistor está aberto e a corrente que o transformador armazenou se anula antes do transistor ser fechado novamente. Neste episódio além das etapas 1ª e 2ª, ocorre a 3ª.

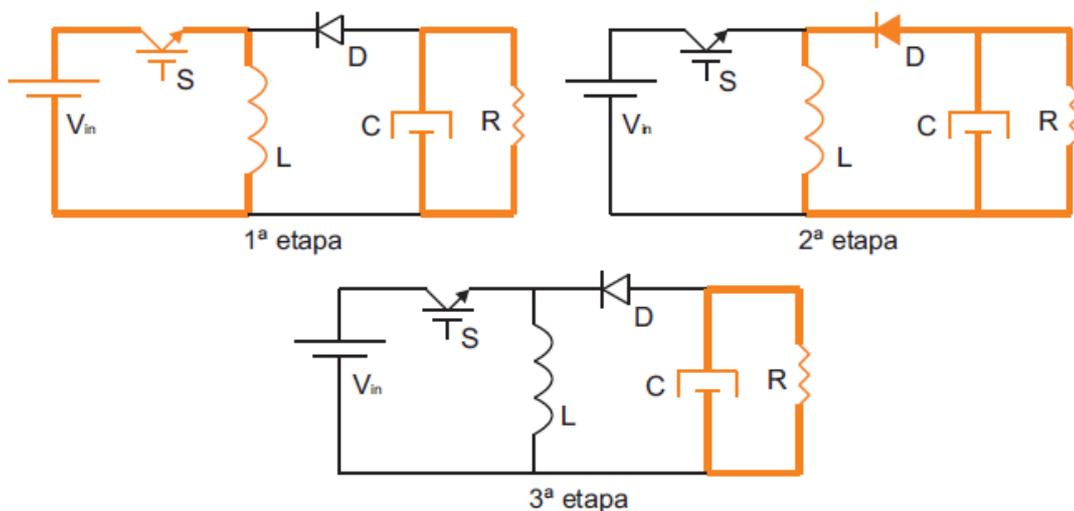


Figura 4 – Etapas de funcionamento do conversor *Buck-boost* (Yoshimura,2008)

Em *energy harvesting* interessa-se, particularmente, pelo MCD por dois motivos principais. Primeiro em MCD há uma redução da perda do conversor no chaveamento. Além disso, ele provê uma resistência entre o transdutor piezelétrico e a carga de saída a fim de maximizar o fluxo de potência máxima.

Pela primeira lei de ohm o conversor pode ser representado por uma resistência equivalente, conforme eq.(2), onde \$L\$ é o valor do indutor, \$f_{sw}\$ é a frequência de chaveamento do transistor MOSFET. Esta resistência interna depende do indutor, da frequência de chaveamento e da razão cíclica, fatores conhecidos e controlados. Desta forma, o conversor *Buck-boost* operando na forma MCD exibe propriedades similares a um resistor. O valor deste parâmetro é determinado de acordo com o modelo eletromagnético do piezelétrico, neste modelo é obtido o ponto ideal onde o sensor produz a potência máxima.

$$R_{im} = \frac{V_{rst}}{i_{rst}} = \frac{2 L f_{sw}}{D^2} \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O circuito de extração de potência foi montado na plataforma Orcad 9.0, no PSpice Schematics, conforme fig.(6). Para simular a saída do piezelétrico foi utilizado uma tensão senoidal com pico de 3V e com frequência de 10Hz.

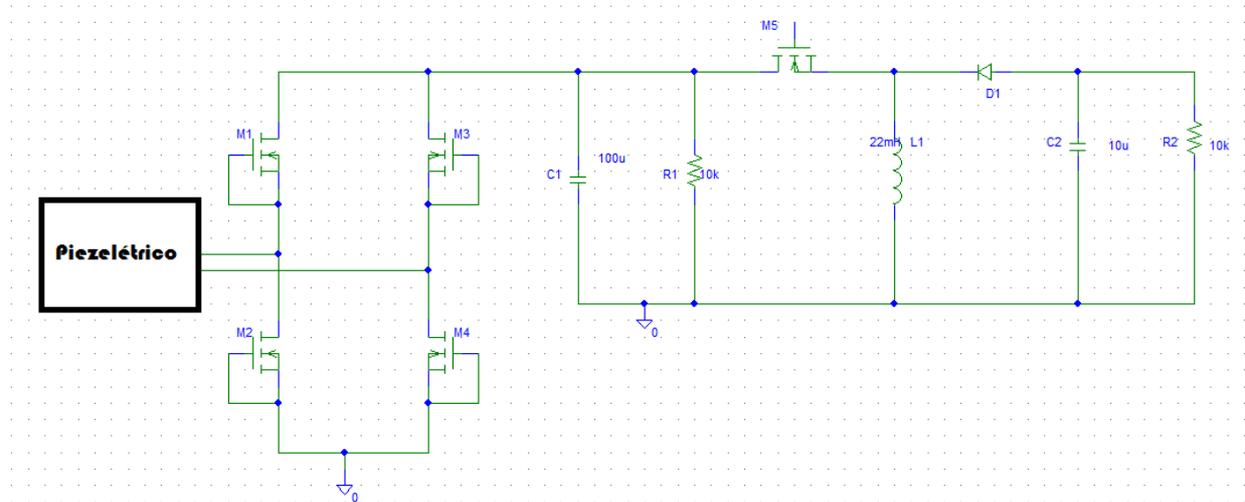


Figura 6 - Circuito de extração de potência

O retificador em ponte foi montado por transistor ALD1107 para NMOS , um capacitor de 100 μF para filtro de saída e uma carga de 10K Ω . O sinal retificado é mostrado na fig.(7), onde V_{in} é a tensão de entrada do retificador e o $V1$ é a tensão retificada em cima do resistor. O valor máximo da tensão do sinal de entrada é 2,61 V e do sinal retificado é 2,28 V. Há uma queda de 0,33 V no retificador em ponte utilizando transistores MOS.

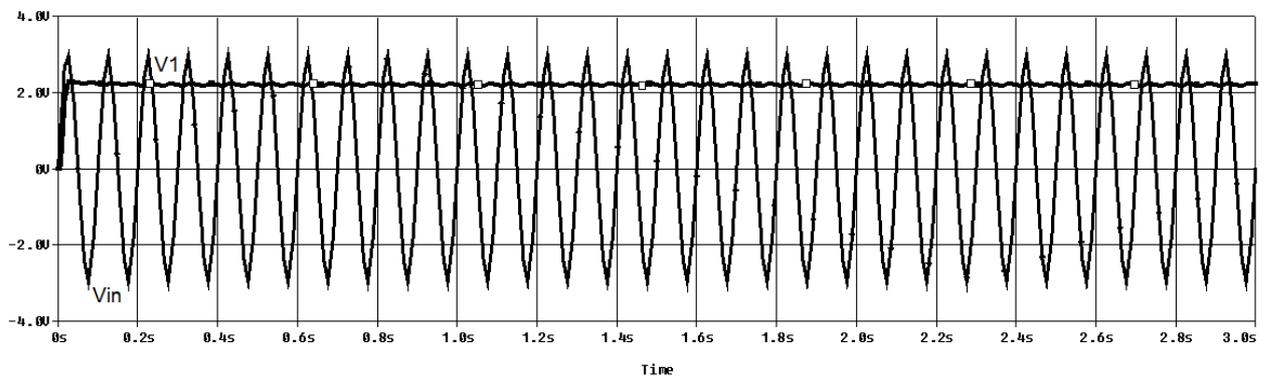


Figura 7- Tensão de entrada e retificado

Para o conversor *Buck-boost* foram empregado o indutor do valor de 22mH, um capacitor de 10uF, um resistor de 1K Ω , um diodo *Schottky* BAT17, MOSFET IRFZ44N. O circuito foi simulado no Schematics e apresentou os resultados mostrado nas figuras 8 e 9, onde $V1$ e $I1$ é respectivamente a tensão e a corrente provida do retificador e $V2$ e $I2$ são a tensão e a corrente na saída do conversor DC-DC. Onde mostra que a corrente na saída é maior que na entrada.

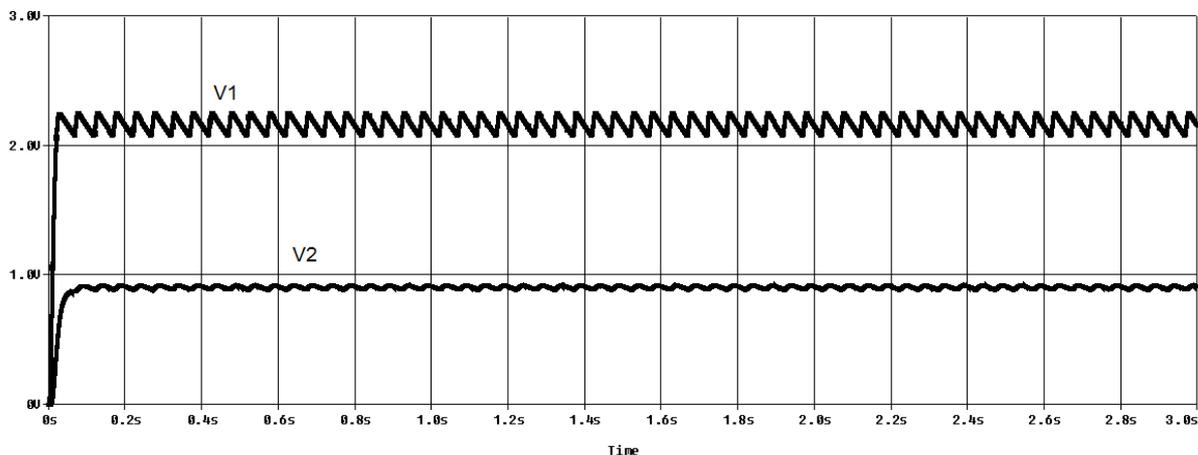


Figura 8 - Tensões no retificador e no conversor *Buck-boost*

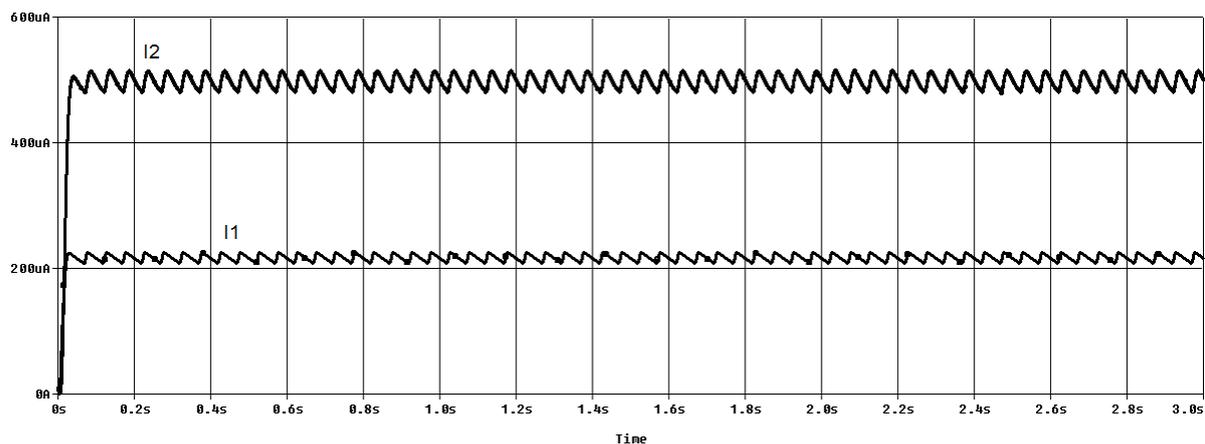


Figura 9- Correntes no retificador e no conversor *Buck-boost*

O conversor *Buck-boost* tem baixo consumo de potência e melhora a potência do sistema, aumentando a corrente para ser armazenada em uma bateria ou super capacitor.

O circuito encontra-se em andamento para desenvolvimento e será montado em *protoboard* e testado.

5. CONCLUSÃO

Após análises e simulações com relação ao sistema de extração de potência do *energy harvesting* conclui-se que o mais apropriado para efetuar a armazenagem da energia elétrica na bateria ou super-capacitor é o retificador com o conversor *Buck-boost* operando no modo de condução descontínua controlado pelo OV-7604-C4. Com esse circuito será possível otimizar o processo de *energy harvesting*. O conversor empregado maximiza o fluxo de potência pela combinação de impedância entre o transdutor piezelétrico e da saída de carga. Além de fornecer uma tensão adequada para serem armazenadas. O passo seguinte para continuidade deste estudo é a implementação experimental destas configurações para uma posterior comparação e proposta de melhoria.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) pelo aporte financeiro a este trabalho

7. REFERÊNCIAS

Han, J., 2003, Novel Power Conditioning Circuits for Piezoelectric Micro Power Generators, 152 p. tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação) – Oregon State University – Corvallis, Oregon - EUA.

- Kim, H.; Priya, S.; Stephanou, H; Uchino, K., 2007, Consideration of Impedance Matching Techniques for Efficient Piezoelectric Energy Harvesting, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 54, nº 9.
- Le, T. T., 2008, Efficient Power Conversion Interface Circuits for Energy Harvesting Applications, 223 p. tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação) – Oregon State University – Corvallis, Oregon - EUA.
- Leufeuve, E.; Audigier, D.; Richard, C.; Guyomar, D., 2007, Buck-Boost Converter for Sensorless Power Optimization of Piezoelectric Energy Harvester, IEEE Transactions on Power Electronics, vol 22, nº 5.
- Ottman, G. K.; Hofmann, H. F.; Lesieutre, G. A., 2003, Optimized Piezoelectric Energy Harvesting Circuit Using Step-Down Converter in Discontinuous Conduction Mode, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, nº 2.
- Taylor, R. J., 2004, Optimization of a Discontinuous Conduction Mode Flyback for Acoustical Energy Harvesting, 96 p. Dissertação (Mestrado em ciências) - University of Florida, Gainesville, Florida – EUA.
- YOSHIMURA, V. L., 2008, Apostila de Fontes Chaveadas: Conversores cc-cc. Disponível em: <www.getec.cefetmt.br/~victor>, acesso em: 15/08/2008.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Proposal for a circuit for extracting power piezoelectric transducers using MOS transistors

Flavilene da Silva Souza, flavilene@hotmail.com¹
Camila Gianini Gonsalez, cacagss@hotmail.com¹
Vicente Lopes Júnior, vicente@dem.feis.unesp.br¹
Nobuo Oki, nobuo@dee.feis.unesp.br¹

¹UNESP – Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, CEP 15385-000 , Ilha Solteira - SP

Abstract. *In recent years, an important area of knowledge has come to prominence, this area is known as 'Power harvesting' or 'Energy harvesting', which is to develop technologies for acquisition and conversion of some source of any energy into electrical energy usable. In this context, attention should be given to technologies that use wireless transmission and electronic circuits of low power, where the concept of power harvesting can be used. A method for obtaining this energy is to use the vibration of mechanical structures. To provide the conversion of mechanical energy into electrical energy, some kind of transducer should be used. One possibility is to use the piezoelectric transducer that is has the ability to develop an electric potential difference when subjected to mechanical stress. Thus, in the presence of mechanical vibrations they produce electricity, and this energy is stored in a battery or super capacitor, to then be used in other circuits. However, one of the limitations of these systems is the low amount of energy generated by these devices. So there must be an optimization of the electrical circuit to minimize losses and thus get a better system performance. This work investigates the rectifier circuits using MOS transistor and the DC-DC converter to optimize the performance of the system, ie to maximize the amount of energy obtained from the piezoelectric transducer and provided the battery.*

Keywords: *Piezoelectric materials; Energy harvesting; MOS Transistors.*