

병렬 SSHI 기법을 이용한 에너지 하베스터 연구

안현성, 차한주
충남대학교

A Study of Energy Harvester Using a Parallel SSHI Method

Hyunsung An, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 압전소자 발전기를 이용하여 하베스팅 에너지 발전량을 증대시키기 위한 에너지 하베스팅 방법을 제안하였다. 기존의 풀브리지 정류기만을 이용한 standard DC 방법에 압전소자와 병렬로 공진을 위한 인덕터와 MOSFET를 연결하여 parallel SSHI 회로를 구성하였으며, 또한 변위센서와 비교기를 통해 스위치 시점을 결정한다. 시뮬레이션 분석을 위해 압전발전기를 등가회로로 모델링하였으며, standard DC방법과 parallel SSHI 방법의 성능을 비교하여 parallel SSHI 방법이 standard DC 방법보다 약 13%의 전력이 증대된 것을 확인하였다.

1. 서론

압전소자를 이용한 에너지 하베스터는 생활 속에서 발생하는 진동 및 압력과 같은 에너지원을 활용하기 위한 시스템이고, 수 μ W에서 수mW급의 매우 작은 전력을 발전하며, 이러한 하베스터는 1990년대 중반 이후 군수, 산업체 등 여러 분야에서 연구되었다. 압전소자에서 발생하는 에너지를 부하 또는 배터리로 전달하기 위하여 풀브리지 정류기를 이용한 전력변환장치를 기본으로 사용하지만 전기-기계 결합상태 및 외부 조건에 따라 하베스팅 에너지양이 변한다. 이에 따라 다양한 외부 조건에서 강인하게 하베스팅 에너지를 얻을 수 있는 댐핑을 이용한 방법 및 공진을 이용한 방법 등이 연구되고 있다^{[1]-[2]}.

본 논문은 하베스팅 에너지 상승을 위해 공진을 이용한 Parallel Synchronized Switched Harvesting on Inductor (Parallel SSHI) 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 검증하기 위해서 시뮬레이션을 통해 standard DC와 parallel SSHI 회로를 비교 분석하였다.

2. 에너지 하베스터

2.1 에너지 하베스터 모델링

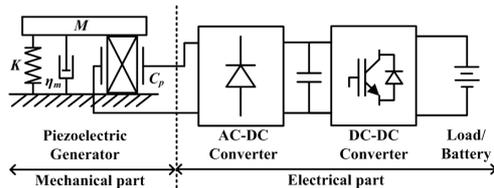


그림 1 에너지 하베스터 구성
Fig. 1 Structure of energy harvester

에너지 하베스터는 그림 1에서와 같이 전기적 부분과 기계적 부분으로 나누어지며, 압전발전기, AC-DC 전력변환장치, DC-DC 전력변환기, 부하로 구성된다. 압전발전기는 질량(M), 댐핑(η_m), 스프링상수(K), 커패시터(C_p)로 모델링할 수 있으며, 이는 시뮬레이션 및 분석을 위해 그림 2와 같이 등가모델로 표현할 수 있다. (1)과 (2)는 기본적인 전기기계적 운동방정식을 보여주며, u는 변위, θ는 전기기계적 결합계수이다.

$$F(t) = M\ddot{u}(t) + \eta_m \dot{u}(t) + Ku(t) + \Theta V_p(t) \quad (1)$$

$$I(t) = \Theta \dot{u}(t) - C_p \dot{V}_p(t) \quad (2)$$

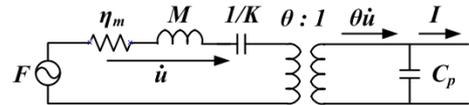


그림 2 압전발전기 모델링
Fig. 2 Modeling of piezoelectric generator

2.2 AC-DC 전력변환장치

Standard DC는 압전발전기에 풀브리지 정류회로를 연결하여 에너지를 부하 측으로 전달하는 방법으로 압전발전기에서 발생하는 전압의 크기가 정류기 출력전압보다 큰 상태에서만 에너지가 전달된다. 변위, 전압, 전류의 관계를 그림 5(a)를 통해 볼 수 있으며, 압전발전기 출력전압이 클램프가 되어 나타난다. 클램프 된 영역 외에는 압전소자의 C_p를 충전한다.

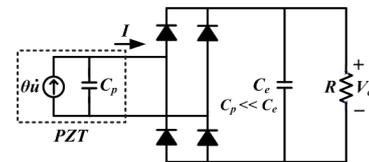


그림 3 Standard DC 구성
Fig. 3 Structure of standard DC

Parallel SSHI는 그림 4에서와 같이 압전발전기의 C_p에 병렬로 인덕터와 스위치를 연결하여 공진을 이용하여 순간적으로 압전발전기의 출력전압을 반전시키는 방법으로써 그림 5(b)와 같은 관계를 가지고 공진시간은 (3)과 같다. 반전된 전압은 인덕터 및 스위치 소자의 저항손실분(q₁)이 발생하여 공진에 의한 전압은 (4)와 같이 표현되며 부하 측 전압은 (5)으로 표현된다. Parallel SSHI는 AC입력이므로 N-타입 FET와 P-타입 FET로 구성된다.

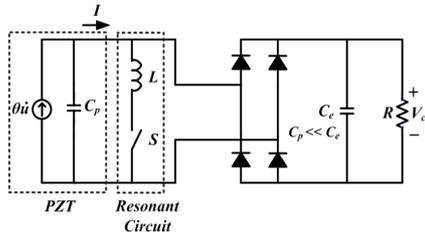
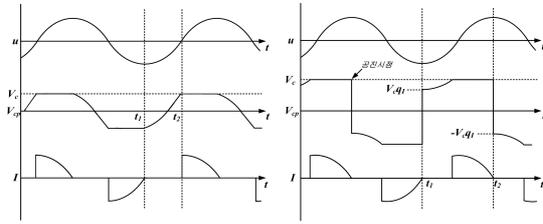


그림 4 Parallel SSHI 구성
Fig. 4 Structure of parallel SSHI

$$\Delta t = \pi \sqrt{LC} \quad (3)$$

$$V_{cp}(t_1^+) = V_{cp} q_I, \quad q_I = e^{-\frac{\pi}{2Q}} \quad (4)$$

$$V_c = \frac{2R\theta\omega}{(1-q_I)C_p R\omega + \pi} u_0 \quad (5)$$



(a) Standard DC method (b) Parallel SSHI method

그림 5 에너지 하베스터 변위, 전압, 전류 파형
Fig. 5 Displacement, voltage and current waveform of energy harvester

3. 시뮬레이션 결과

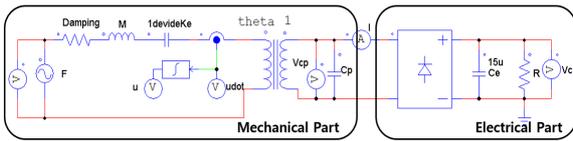


그림 6 시뮬레이션 구성
Fig. 6 Structure of simulation

그림 6은 에너지 하베스팅 standard DC 방법의 시뮬레이션 구성을 보여주며, 그림 2와 같이 압전발전기는 등가회로로 구현하였다. Parallel SSHI 방법은 압전발전기와 병렬로 공진회로가 연결되며, 인덕터, N-타입, P-타입 MOSFET, 역방향 다이오드로 구성된다. 또한, FET를 운전하기 위한 비교기를 추가하였으며, 시뮬레이션에서 힘(F)는 압전소자의 공진주파수 60.5Hz의 주기함수로 구현되었다.

그림 7은 standard DC 방법에 대해 부하 100kΩ과 1MΩ에서의 시뮬레이션 결과를 보여주며, 변위, 압전발전기 출력전압, 부하전압, 부하전류의 관계를 보여준다. ① 구간은 압전소자의 커패시터 C_p 를 충전하는 구간으로 부하전류(I)가 흐르지 않는 것을 볼 수 있으며, ② 구간은 에너지가 부하 측으로 전달되는 구간으로 압전발전기의 출력전압이 부하 전압 크기로 나타난다. 압전발전기의 커패시터 C_p 는 19nF이며, 정류기 출력단의 커패시터 C_c 는 15μF으로 정류기 출력단의 커패시터가 매우 크므로 압전발전기의 출력전압이 부하전압에 클램프되는 것을 볼 수 있다. 100kΩ 부하저항에서의 출력전압은 7.67V이며, 1MΩ 부하저항에서의 출력전압은 15.77V이다.

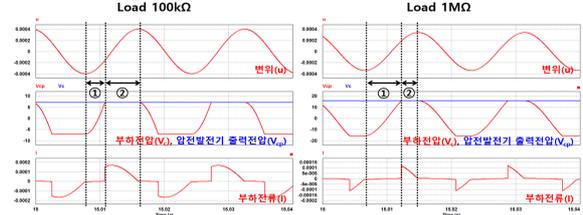


그림 7 Standard DC 방법의 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation result of standard DC

그림 8은 parallel SSHI 시뮬레이션 결과를 보여준다. 변위, 압전발전기 출력전압, 부하전압, 부하전류, 공진전류의 관계를 보여주며, 속도의 영점을 검출함으로써 변위의 최댓점에서 공진이 발생되어 전압이 반전되는 것을 볼 수 있다. 반전된 전압은 스위치 및 인덕터 손실에 의한 전압강하를 볼 수 있으며, 공진 시점에서는 공진전류가 발생된다. ③ 구간에서는 standard DC 방법과 동일하게 압전소자 커패시터를 충전하는 구간이며, ④ 구간에서는 에너지가 부하 측으로 전달되는 구간이다. 100kΩ 부하저항에서의 출력전압은 8.17V이고 1MΩ 부하저항에서의 출력전압은 16.78V로써 standard DC에 비해 전압이 상승된 것을 볼 수 있으며, 이는 공진을 통해 전압을 반전시킨 결과이다.

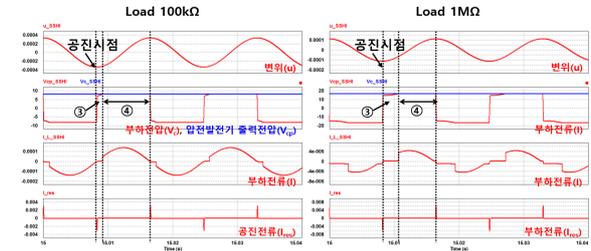


그림 8 Parallel SSHI 방법의 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation result of Parallel SSHI

4. 결론

본 논문은 하베스팅 에너지를 상승시키기 위해 parallel SSHI 에너지 하베스터를 제안하였다. 기존의 풀브리지 정류기를 이용한 standard DC 방법에 압전발전기와 병렬로 인덕터와 MOSFET를 연결하여 공진회로 구성하였으며, 시뮬레이션을 위해 압전발전기는 운동방정식을 기본으로 등가회로로 모델링하였다. Parallel SSHI 방법은 시뮬레이션을 통해 standard DC 방법과의 비교를 통해 성능을 검증하였으며, standard DC 전력은 부하에 따라 각각 100kΩ과 1MΩ에서 588μW와 249μW이고 parallel SSHI의 경우 667μW와 282μW로 동일한 부하에서 약 13%이상 하베스팅 에너지의 전력이 상승한 것을 확인하였다.

참고 문헌

[1] D. Guyomar, A. Badel, E. Lefeuvre, and C. Richard, "Toward Energy Harvesting Using Active Materials and Conversion Improvement by Nonlinear Processing" IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 52, No. 4, 584-595, 2005

[2] Y C Shu, I C Lien, "Analysis of power output for piezoelectric energy harvesting system", Smart Materials And Structures, 15, IOP, 1449-1512, 2006