

압전에너지 수확을 위한 AC/DC 공진형 자력 부스트 컨버터

金赫眞*, 鄭敎範†

AC/DC Resonant Piezo-Powered Boost Converter for Piezoelectric Energy Harvesting

Hyeok-Jin Kim and Gyo-Bum Chung

요 약

본 논문은 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 압전소자를 이용한 에너지 수확 시스템 내에서 전력변환을 수행하는 새로운 AC/DC 공진형 자력(自勵) 부스트 컨버터를 제안한다. AC/DC 공진형 자력 부스트 컨버터의 자력 스위칭을 위한 게이트 회로는, MOSFET 특성을 이용하여 압전소자 출력전압의 최대값을 검출하고 LC 공진회로의 특성을 이용하여 영전압 스위칭을 하며, 승압형 전력변환을 수행하기 위해서 별도의 전원을 필요로 하지 않는다. 제안된 컨버터 회로의 동작원리를 설명하고, 기존 연구·개발된 토폴로지와 비교, PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 통하여 유용성을 검증한다.

ABSTRACT

This paper proposes a new AC/DC RPPB(Resonant Piezo-Powered Boost) converter for energy harvesting using a piezoelectric device which converts mechanical vibration energy to electrical energy. The AC/DC RPPB converter can operate with only the harvested energy without an additional power conversion circuit for switching circuit and transfer energy to a load of which the voltage is higher than piezoelectric voltage. With the review of published topologies of the converter for energy harvesting, the operation principle of the AC/DC RPPB converter, and the results of PSPICE simulation and experiment are presented to prove the feasibility of the new converter for the energy harvesting.

Key Words : Energy harvesting, Piezoelectric device, AC/DC resonant piezo-powered boost converter, Piezo-powered switching, Self-powered switching

1. 서 론

에너지 공급원으로 배터리를 사용하는 무선 전기전자 제품의 사용시간 연장을 위한 연구·개발이 꾸준히

수행되고 있다.^[1,2] 최근에는 소용량 저전압 분야에서 에너지 수확 개념을 적용하여 무선 전기전자제품의 사용시간 연장 및 응용분야 확대를 시도하는 연구가 활발히 수행되고 있다.^[3,4]

압전에너지 수확시스템의 개발·연구는 전력용 반도체 스위칭 소자의 스위칭손실 특성과 수확 가능한 에너지가 mW 단위의 소량이라는 제약 때문에 개념 구현의 가능성을 시험하는 수준이었다.^[5,6] 그러나 최근 특성 개선이 이루어진 스위칭 반도체 소자를 이용한 압전에

†교신저자 : 정회원, 홍익대 전자전기공학과 교수

E-mail : gbchung@hongik.ac.kr

*학생회원, 홍익대 전기공학과 석사과정

접수일자 : 2009. 9. 28 1차 심사 : 2009. 10. 22

심사완료 : 2009. 11. 4

너지 수확 연구가 활발히 시도 되고 있다.^[7]

압전소자에서 발생한 소량의 전기에너지를 부하 특성에 맞게 전력변환하는 전력용 스위칭 소자는 출력전압 제어를 위해서 제어 목적에 맞는 게이트 드라이버를 필요로 한다. 일반적으로 사용되는 게이트 전용 드라이버인 MC34152의 전력 소모량은 약 70mW이며 7[V] 전원을 필요로 한다. 그리고 555 타이머를 이용한 게이트 드라이버 회로는 30mW 이상을 소비하며, 게이팅 회로에서의 전력소모를 줄이기 위해서 발진기를 사용할 경우에는 스위칭 주기 조절 및 정확한 스위칭 시점의 제어가 어려운 단점이 있다.^[8]

본 논문은 압전소자로부터 발생한 소량의 전기에너지를 수확하기 위해 압전소자에서 수확된 에너지만으로 구동 가능한 새로운 AC/DC RPPB(Resonant Piezo-Powered Boost) Converter를 제안한다. AC/DC RPPB 컨버터는 AC/DC 정류회로와 공진형 직류승압 회로로 구성되었다. AC/DC 정류회로는 다이오드를 대신하여 MOSFET을 사용하여 스위칭 손실을 개선하였다. 공진형 직류 승압회로의 게이트 회로는 별도의 구동용 전원을 필요로 하지 않으며, 압전소자의 출력 캐패시터(C_p)와 승압 인덕터(L)로 구성된 공진회로를 이용하여 압전소자 전압의 최대치와 영(Zero)전류에서 On 하고, 인덕터 전류 최대치와 영(Zero)전압인 순간에 Off 한다. 제안한 AC/DC RPPB 컨버터의 동작 원리를 4개의 모드로 구분하여 해석하였으며, PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 압전 에너지 수확 동작을 입증하였다.

2. AC/DC RPPB 컨버터

그림 1은 압전소자를 이용한 에너지 수확 시스템의 대표적인 전력변환 회로 토폴로지이다.^[1] 기계적 진동 에너지를 전기에너지로 변환하는 압전소자는 교류전류원($i_p(t)$)과 병렬 연결된 캐패시터(C_p)로 모델링할 수 있다. 압전소자의 교류 전압출력은 다이오드 브리지 회로를 통해 직류전압으로 정류되어 부하의 조건에 따라 DC/DC 컨버터를 사용하여 승압 또는 강압 변환을 한다.

출력 전압의 크기가 작은 압전소자를 이용한 에너지 수확 시스템에서는, 다이오드 정류기를 이용할 경우에 AC/DC정류 과정에서 에너지 손실이 크고, 부하 요구조건에 따른 승압/강압 동작이 필요한 경우에는 DC/DC 변환 과정에서 추가 전원이 요구되는 스위칭 회로를 필요로 한다.

기존의 다이오드 브리지로 구성된 압전에너지 전달

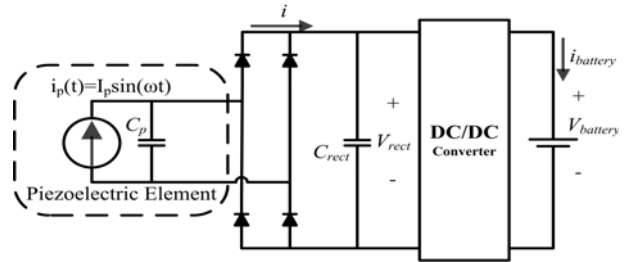


그림 1 압전소자를 이용한 에너지 수확 토폴로지^[1]
 Fig. 1 An energy harvesting topology using a piezoelectric device

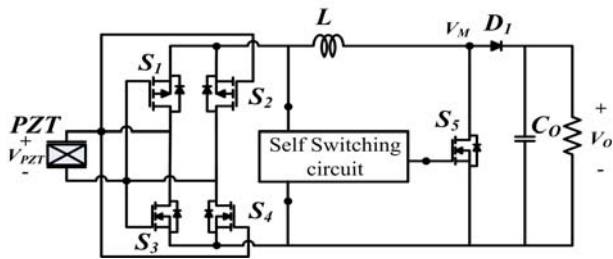
회로^[1]를 개선하여 Self-powered switching 기능을 갖춘 New Synchronized Switch Harvesting on Inductor (SSHI-Series) 에너지 수확 회로가 제안되었다.^[9] SSHI-Series 에너지 수확 회로는 압전소자 출력전압의 순시값(V_{PZT})이 부하전압보다 큰 조건에서, V_{PZT} 가 최대인 순간에 Self-powered switching 기능에 의해 압전소자의 출력단이 부하측에 연결되며, 공진에 의해 에너지가 부하측으로 전달된다. 공진회로는 압전소자 출력 캐패시터(C_p)와 인덕터 L 로 구성된다. 공진주파수($2\pi\sqrt{LC_0}$)의 반주기동안 스위치를 On 하여 압전소자의 출력 전압의 극성을 바꿈으로써 압전소자의 최대 전압 크기를 상승시키는 특성을 갖게 되며, 다이오드만으로 구성한 회로보다 더 많은 에너지를 부하에 전달할 수 있다. 그러나 압전소자 출력전압의 최대 크기가 부하전압보다 낮은 조건에서는 공진회로가 구성되지 않아 에너지 전달이 불가능한 단점이 있다. 본 논문은 압전소자의 출력전압보다 부하전압이 큰 조건에서 압전소자로부터 수확 가능한 에너지의 최대값을 부하로 전달하는 새로운 AC/DC 공진형 RPPB 컨버터를 제안 한다.

2.1 토폴로지

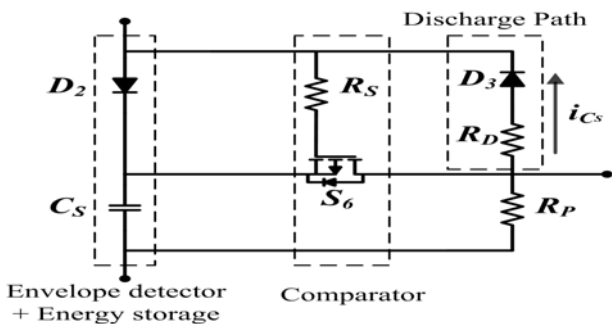
그림 2는 본 논문에서 제안한 AC/DC RPPB 컨버터 토폴로지이다. 그림 2(a)의 MOSFET S_1, S_2, S_3, S_4 는 AC/DC 정류를 위한 Active rectifier이다. S_1, S_2, S_3, S_4 의 스위칭을 위한 별도의 게이트 드라이브 회로 없이 압전소자의 출력전압(V_{PZT})의 극성을 이용하여 On, Off 스위칭하며 AC/DC 변환을 수행한다.

그림 2(b)는 AC/DC RPPB 컨버터의 공진형 승압 회로부의 MOSFET S_5 의 구동을 위해서, 압전소자의 출력에너지를 추가 변환과정을 거치지 않고 직접 사용하는 자력스위칭 회로이며, 다이오드(D_2, D_3), 캐패시터

(C_S), 저항(R_S, R_D, R_P) 및 MOSFET(S_6)으로 구성되어 있다. 자러스위칭 회로의 MOSFET S_6 은 Turn-On 특성에 의해 MOSFET S_6 게이트 전압과 캐패시터 (C_S)의 전압을 비교하여 압전소자 출력전압의 최대값을 검출하는 기능을 갖는다. 스위치(S_6)의 V_G 및 V_S 의 전압차에 의해 S_6 가 On 되면 부스트 컨버터의 메인 스위치(S_5)가 On 된다. S_5 의 On 시간(t_{ss_on})은 Discharge Path 내부의 저항(R_D) 크기에 비례하여 증가한다. C_S 에 저장된 압전소자의 에너지는 Discharge Path의 다이오드(D_3)를 통해 부하로 회생된다. C_S 가 영전압이 되고, 인덕터 전류가 최대일 때, 스위치(S_5, S_6)는 Off 한다.



(a) AC/DC 공진형 자러 부스트 컨버터 회로



(b) 자러 스위치 회로

그림 2 AC/DC 공진형 자러 부스트 컨버터 토폴로지
Fig. 2 A topology of AC/DC Resonant Piezo-Powered Boost converter

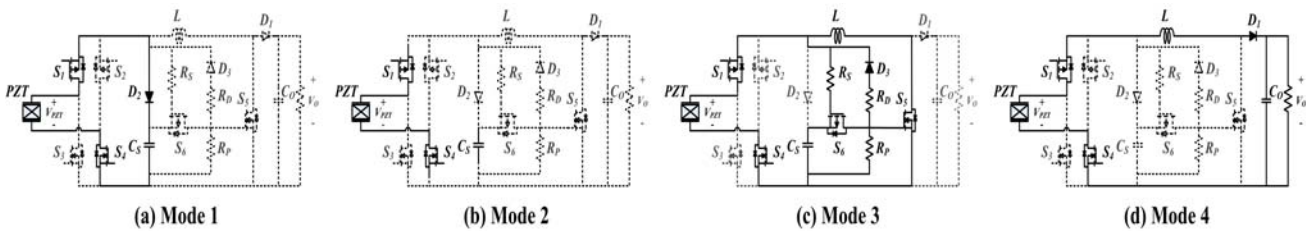


그림 3 AC/DC 공진형 자러 부스트 컨버터의 각 모드별 동작 해석
Fig. 3 Active parts of AC/DC Resonant Piezo-Powered Boost converter

2.2 AC/DC RPPB 컨버터 동작 설명

그림 3은 AC/DC RPPB 컨버터의 동작 Mode이다. AC/DC RPPB 컨버터는 압전소자의 교류 전압 출력의 반주기동안 4개의 동작모드로 나뉜다. 그림 4는 4개 동작 모드 별로 계산된 전압 및 전류 파형이다.

(a) Mode 1 ($t_0 \sim t_1$) : 압전소자의 출력 캐패시터 (C_P)는 압전소자 내의 교류 전류원(i_P)과 병렬 연결되어 있다. i_P 는 식(1)과 같으며, 출력 전압(V_{PZT})는 식(2)와 같다.

$$i_P(t) = I_P \sin(\omega(t+td)) \tag{1}$$

$$V_{PZT}(t) = -\frac{I_P \cos(\omega(t+td))}{(C_P + C_S)\omega} + \frac{I_P \cos(\omega \cdot td)}{(C_P + C_S)\omega} \tag{2}$$

Mode 1은 V_{PZT} 가 최대값에 도달할 때까지 지속되며, 압전소자 진동주파수의 반주기 정도에 해당된다.

(b) Mode 2 ($t_1 \sim t_2$) : V_{C_P}, V_{C_S} 가 V_{PZT} 의 최대값까지 충전된 후 다이오드에 의해서 V_{C_S} 는 최대값에 고정된다. V_{C_P} 의 전압은 압전소자의 진동에 의해 감소하며 $V_{C_S} - V_{C_P} - V_{D2}$ 의 크기가 S_6 의 V_{th} 에 도달할 때 S_6 는 On되고 Mode 2는 끝난다. D_2 의 Reverse current에 대한 V_{C_S} 의 전압감소가 없다고 가정할 때 td 는 식(3)과 같다.

$$t_d = \frac{\arccos\left(\sqrt{\frac{I_P + \pi f V_{D2}(C_P + C_S) - \pi f V_{th}(C_P + C_S)}{I_P}}\right)}{\pi f} \tag{3}$$

(c) Mode 3 ($t_2 \sim t_3$) : S_6 가 On하면 S_5 도 On되고 C_P 와 C_S 는 L 과 공진회로를 구성한다. 압전소자의 출력전압 초기값 $V_C(t_2)$ 는 Mode 1의 식(2)에서

$V_{PZT}\left(\frac{\pi}{w}\right)$ 이며, 인덕터 전류 초기 값 $i_L(t_2)$ 은 0이다.

Mode 3에서 인덕터 전류는 식(4)와 같다.

$$i_L(t) = \frac{V_C(t_2)}{L\alpha} \exp\left(-\frac{R_3}{2L}t\right) \sin(\alpha t) \quad (4)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{4L - (C_P + C_S)R_3^2}{4L^2(C_P + C_S)}} \quad (5)$$

Mode 3는 V_{PZT} 가 영진압, 인덕터 전류가 최대값에 도달할 때까지 지속된다. Mode 3의 동작시간 $t_3 - t_2$ 는 L 과 $C_P + C_S$ 로 이루어진 공진회로의 주기 $2\pi\sqrt{L(C_P + C_S)}$ 의 $\frac{1}{4}$ 이며, R_3 는 Mode3의 기생 저항 성분의 합이다.

(d) Mode 4 ($t_3 \sim t_4$) : S_5 가 Off 후 L 에 저장된 에너지는 다이오드 D_1 을 On 시키고, 부하로 전달된다. 압전소자의 전압 초기값 $V_C(t_3)$ 는 0, 인덕터 전류의 초기값 $i_L(t_3)$ 은 식(4)의 $i_L(0.5\pi\sqrt{L(C_P + C_S)})$ 이다. Mode 4 동안 인덕터 전류 $i_L(t)$ 는 식(6)과 같으며, R_4 는 Mode 4 구간동안 기생저항성분의 합이다.

$$i_L(t) = \exp\left(-\frac{R_4}{2L}t\right) \cos(\alpha t) i_L(t_3) - \frac{\exp\left(-\frac{R_4}{2L}t\right) \sin(\alpha t) \left(V_{D1} - V_O + \frac{i_L(t_3)R_4}{2}\right)}{\alpha L} \quad (6)$$

Mode 4의 동작시간 ($t_4 - t_3 = t_{off}$)는 i_L 의 전류가 0에 도달할 때까지의 시간이며 식(7)과 같다.

$$t_{off} = \frac{1}{\alpha} \cdot \arctan\left(\frac{\alpha i_L(t_3)}{V_{D1} + V_O + \frac{i_L(t_3)R_4}{2}}\right) \quad (7)$$

$V_L(t)$ 는 $V_O + V_{D1}$ 을 유지하여 부하에 전력을 전달한다. $i_L=0$ 이 되면 D_1 은 Off 된다. Mode 4에서 부하에 전달되는 전력은 식(8)과 같다.

$$P_{transfer} = \int_0^{t_{off}} i_L(t) \cdot V_L(t) dt \quad (8)$$

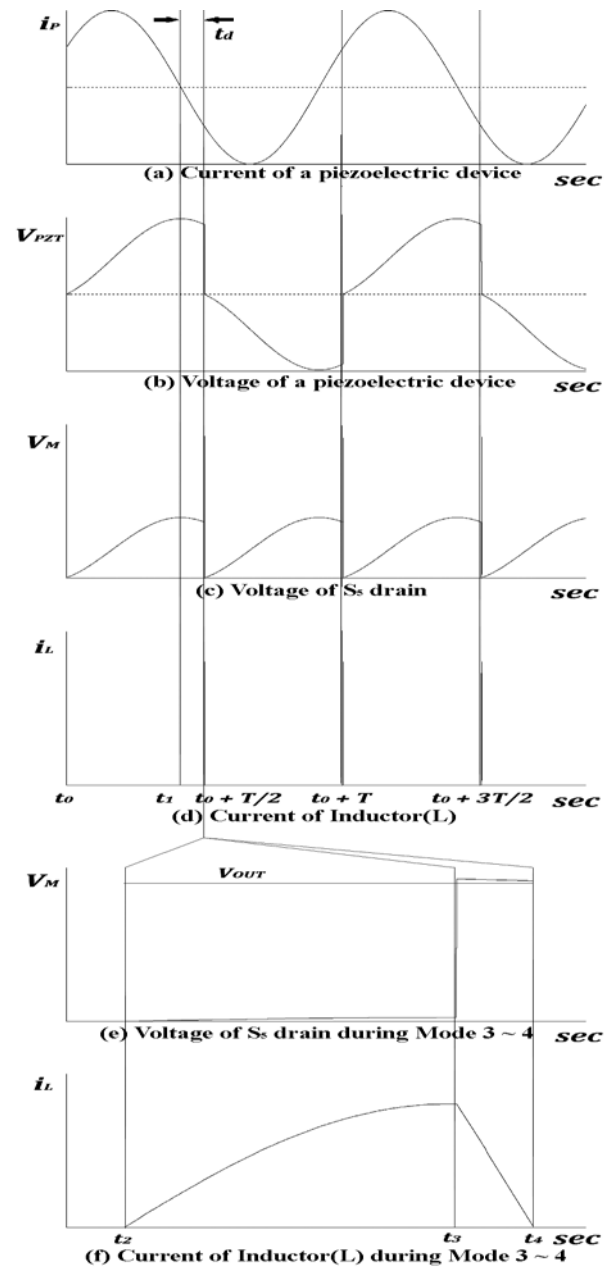


그림 4 동작모드별 해석 파형
Fig. 4 Analytical voltage and current waveform of each mode

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 PSPICE 시뮬레이션

AC/DC RPPB 컨버터의 동작을 검증하기 위해 PSPICE를 사용한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 데이터들을 표1에 표시하였으며, 시뮬레이션 시간을 단축하기 위해 초기 부하전압(V_O)

은 14[V]로 설정하였다. 압전소자의 출력은 $f = 300\text{Hz}$, $I_p = 2\text{mA}$ 의 전류원으로 설정하였으며, 압전소자의 출력 캐패시턴스는 $0.2\mu\text{F}$ 이다.

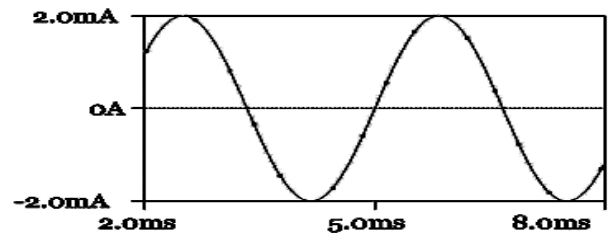
표1에 설정된 시뮬레이션 데이터를 적용한 AC/DC RPPB 컨버터의 시뮬레이션 파형을 그림 5에 도시하였다. 압전소자의 출력 전압(V_{PZT})이 최대 전압에서 식(3)의 t_d 만큼 지연되어 스위칭 되는 것을 그림 5(b)에서 확인할 수 있다.

그림 5(c)의 MOSFET S_5 드레인 전압 V_M 은 Mode 3 기간동안 영(Zero)전압을 유지하고, Mode 4 기간에는 부하전압과 같음을 보인다. Mode 3에서 공진에 의해 인덕터에 축적된 에너지가 Mode 4에서 부하측으로 전달됨을 확인할 수 있다.

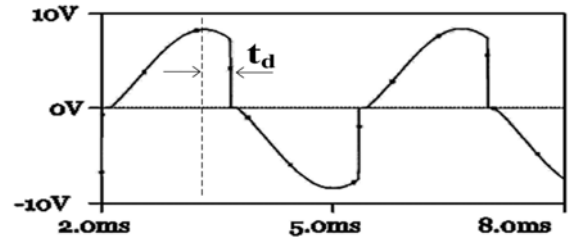
압전소자로부터의 에너지가 직류부하로 전달되는 동작을 확인하기위해 그림 5(d) 점선 안의 Mode 3 및 Mode 4 구간을 확대한 시뮬레이션 파형을 그림 6에 나타내었다. 그림 2(b) 게이팅 회로를 사용하는 메인스위치 (S_5)는 L 과 $C_p + C_s$ 의 공진주기 $2\pi\sqrt{L(C_p + C_s)}$ 의 1/4 동안 On 되는 것을 그림 6(a)에서 확인할 수 있다. 그림 6(b) 인덕터(L)은 S_5 가 On 되어 있는 동안 $C_p + C_s$ 와 공진회로를 구성하며, i_L 은 S_5 이 On 된 후 증가하여 Off 후 부하에 에너지를 전달한다. 이때 S_5 드레인 전압(V_M)은 $V_O + V_{D1}$ 의 값을 가지게 되며, 인덕터 에너지가 부하로 전달되는 것을 그림 6(c)에서 확인할 수 있다. 이때 V_O 는 그림 6(d)와 같이 ΔV 만큼($\approx 40\text{mV}$) 상승한다. 해석 결과의 그림 4와 시뮬레이션 결과의 그림 5, 6의 상이한 부분은 기생성분의 영향이다. 부하저항(R) $67.5\text{k}\Omega$ 의 전압이 14[V]일 때 방전과 충전이 평형 상태를 이루었다. 시뮬레이션 결과 압전소자의 출력 $I_p = 2\text{mA}$, $f = 300\text{Hz}$ 일 때 부하에 약 2.9mW를 공급하였다.

표 1 AC/DC RPPB 컨버터 시뮬레이션 데이터
Table 1 Parameters of AC/DC RPPB converter simulation

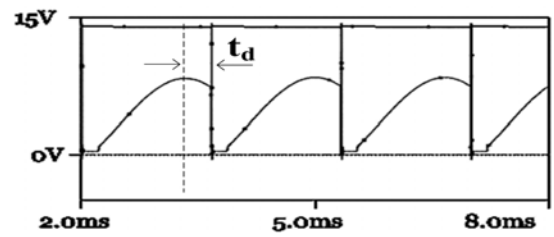
Component	Name	Rating	Parasitic
Capacitor	C_p	$0.2\mu\text{F}$	·
Capacitor	C_s	10nF	·
Capacitor	C	$10\mu\text{F}$	·
Inductor	L	$150\mu\text{H}$	$72\text{m}\Omega$
Load	R	$67.5\text{k}\Omega$	·
N MOSFET	S_3, S_4, S_5	NTZD3154N	0.7Ω
P MOSFET	S_1, S_2, S_6	NTR4101P	0.1Ω
Diode	D_1, D_2, D_3	NSR0320	·



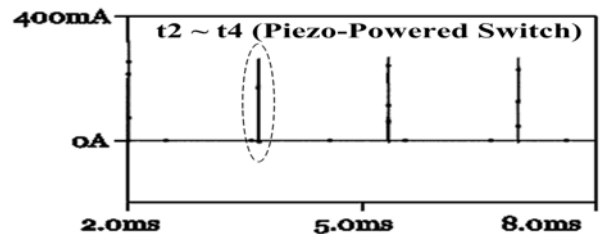
(a) 압전소자 내부 전류원 i_p



(b) 압전소자 출력 전압 V_{PZT}

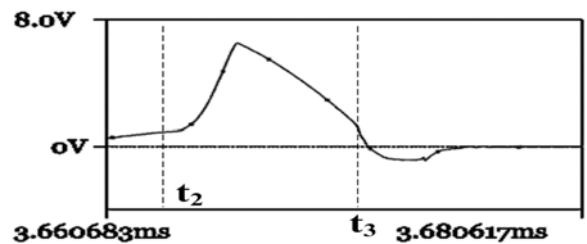


(c) MOSFET 드레인 전압 V_M , 출력전압 V_O



(d) 인덕터 전류 i_L

그림 5 AC/DC RPPB 컨버터의 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 5 Waveform of simulation of AC/DC RPPB converter



(a) 스위치(S_5) 게이트 전압

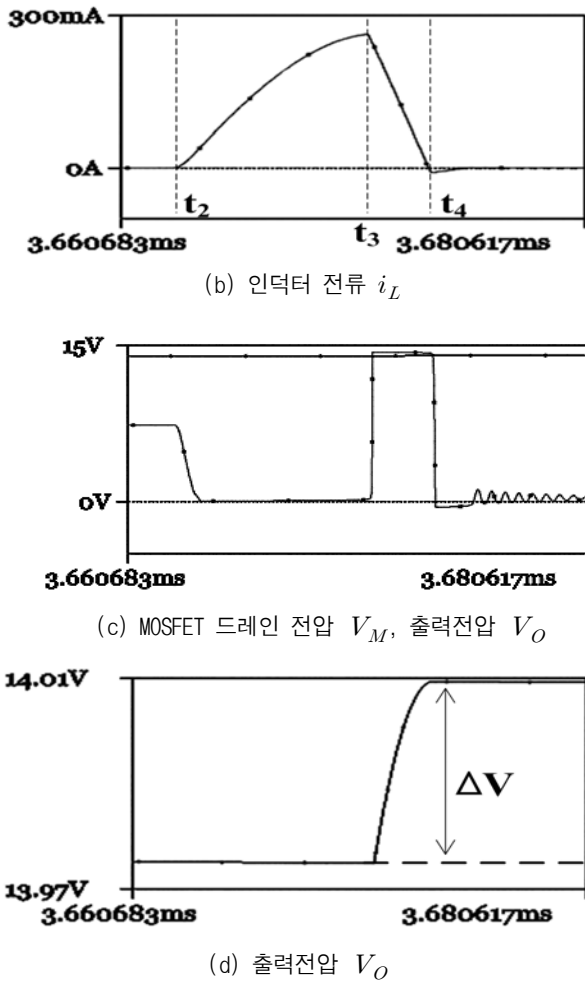


그림 6 자력 스위치 동작 구간 동안 AC/DC RPPB 컨버터의 시뮬레이션 결과 파형
 Fig. 6 Waveform of simulation of AC/DC RPPB converter during process of Piezo-Powered Switch

3.2 AC/DC RPPB 컨버터 실험 결과

압전에너지 수확을 위한 AC/DC RPPB 컨버터의 가능성을 입증하기 위해서 실험을 수행하였다. PSPICE 시뮬레이션과 동일한 운전 조건, 스위칭 소자 및 수동 소자를 사용하였다. 그림 7은 AC/DC RPPB 컨버터를 이용한 압전에너지 수확시스템의 구성도 및 실험장치의 사진이다. 기계적 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위해서 Bruel & Kjaer 회사의 가진기(Modal Exciter 4809)와 압전소자(QuickPack 20W)를 사용하였다.^[10] 표 2는 실험에 사용한 부품이며 그림 8, 9는 실험 결과 파형이다. PSPICE 시뮬레이션 결과와 비교를 위해 압전소자의 출력은 Actuator를 사용하여 무부하 조건에서 $f = 300\text{Hz}$, $I_p = 2\text{mA}$ 으로 조절하였다.

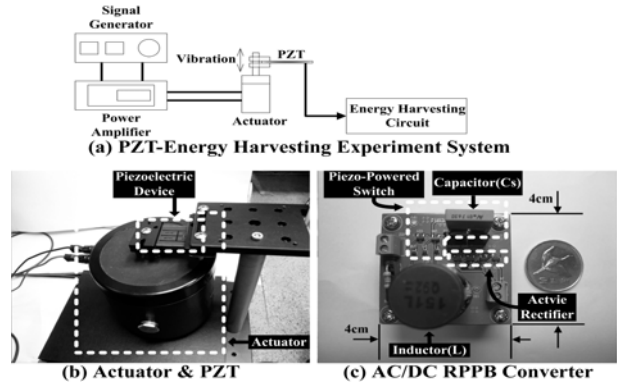


그림 7 AC/DC RPPB 컨버터를 이용한 에너지 수확 시스템
 Fig. 7 Energy harvesting system using AC/DC RPPB converter

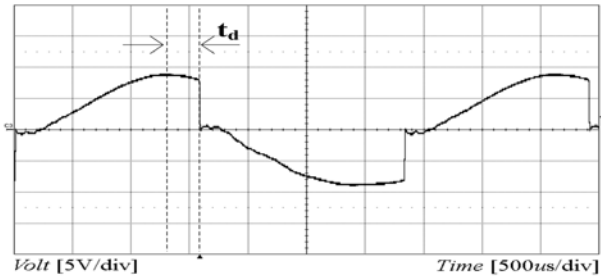
표 2 AC/DC RPPB 컨버터 실험 데이터

Table 2 Parameters of AC/DC RPPB converter experiment

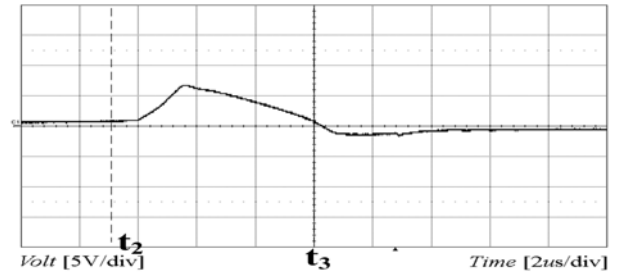
Component	Name	Rating	Parasitic
N MOSFET	S_3, S_4, S_5	NTZD3154N	0.7Ω
P MOSFET	S_1, S_2, S_6	NTR4101P	0.1Ω
Diode	D_1, D_2, D_3	NSR0320	.

그림 8, 9, 10은 실험 결과이며, 결과 파형은 해석결과 및 시뮬레이션 결과와 일치한다. 스위치 S_5 가 On 되면 압전소자의 출력 캐패시터(C_p)와 그림 2(b)의 자력스위칭을 위한 게이트 회로 내부의 캐패시터(C_s)는 인덕터(L)와 공진회로를 구성하여 V_{PZT} 는 극성이 변하며, C_p 의 모든 에너지가 방출되어 V_{PZT} 는 0[V]가 됨을 그림 8(a)에서 확인할 수 있다. 스위치 S_5 가 Off 하면 인덕터 특성에 의하여 다이오드(D_1)이 On 되고, 드레인 전압(V_M)은 부하전압(V_O) + V_{D1} 으로 증가하는 것을 그림 8(b)에서 확인할 수 있다. 그림 8(c)는 인덕터 전류 i_L 이다.

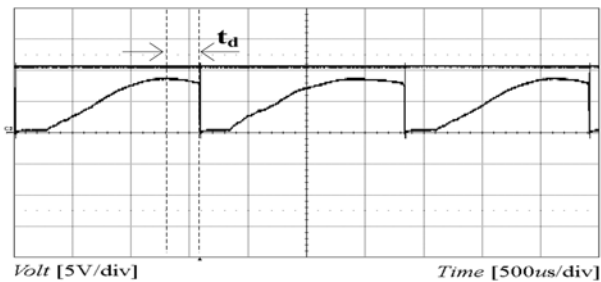
그림 9는 C_p 와 L 의 공진에 의해 부하에 에너지를 공급하는 Mode 3, 4 구간을 확대한 결과 파형이다. AC/DC RPPB 컨버터의 메인스위칭(S_5) 스위칭이 인덕터 전류(i_L)이 최대일 때 Piezo-Powered Switching에 의해 정확하게 이루어지는 것을 그림 9(a), (b)에서 확인할 수 있다. Piezo-Powered Switching이 종료된 후 S_5 의 드레인 전압 V_M 은 부하전압(V_{out}) + 다이오드 순방향 전압강하(V_{D1}) 만큼 상승하여 부하에 에너지를 전달하는 것을 그림 9(c)를 통해 확인할 수 있으며 이때 부하전압(V_O)은 약 20mV 상승한다.



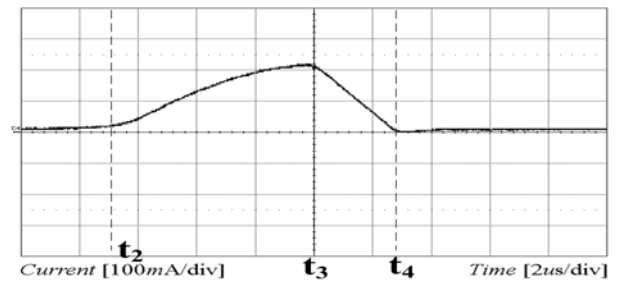
(a) 압전소자 출력전압 V_{PZT}



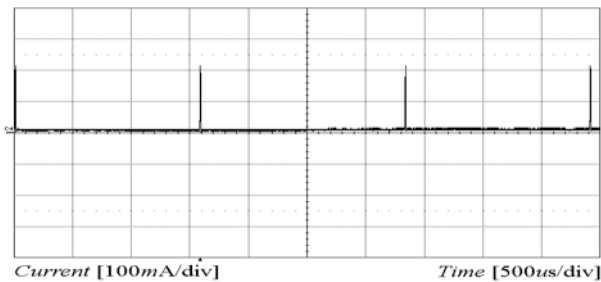
(a) 스위치(S_5) 게이트 전압



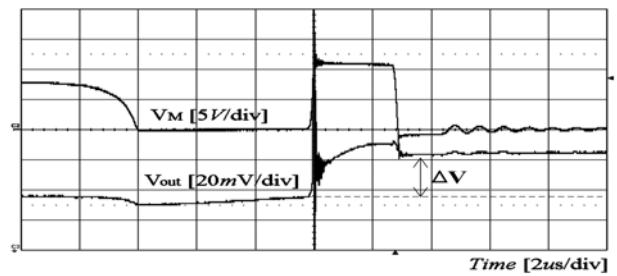
(b) MOSFET 드레인 전압 V_M , 출력전압 V_O



(b) 인덕터 전류 i_L



(c) 인덕터 전류 i_L



(c) MOSFET 드레인 전압 V_M , 출력전압 V_{out}

그림 8 AC/DC RPPB 컨버터의 실험 결과 파형
Fig. 8 Waveform of experiment of AC/DC RPPB converter

그림 9 자러 스위치 동작 구간 동안 AC/DC RPPB 컨버터의 실험 결과 파형
Fig. 9 Waveform of experiment of AC/DC RPPB converter during process of Piezo-Powered Switch

부하저항(R) 67.5k Ω 의 전압이 11[V]일 때 방전과 충전이 평형 상태를 이루었다. 실험 결과 압전소자의 출력 $I_p=2\text{mA}$, $f=300\text{Hz}$ 일 때 부하에 약 1.8mW를 공급하였다. 시뮬레이션 결과와 비교하여 동일한 출력의 압전소자를 연결하였을 때 약 1mW의 출력 차이를 보였다. 시뮬레이션 결과(2.8mW)보다 작은 이유는 회로내의 기생성분의 영향으로 추정한다.

그림 10은 AC/DC RPPB 컨버터가 초기전압 0[V]인 부하($R=67.5\text{k}\Omega$, $C_o=0.2\mu\text{F}$)를 약 1초 동안의 기간에 압전에너지 수확을 통하여 11[V]로 상승시키는 실험 결과 파형이다.

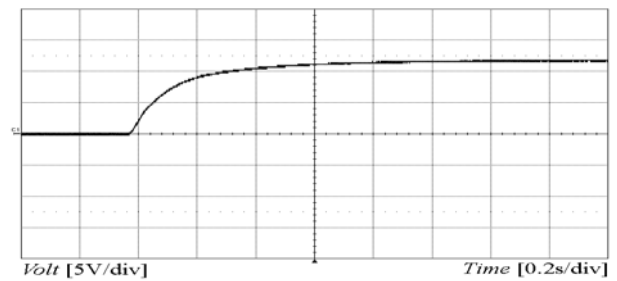


그림 10 AC/DC RPPB 컨버터를 이용해 압전에너지를 수확하였을 때 부하의 전압
Fig. 10 Voltage of load when piezoelectric energy is harvested using AC/DC RPPB converter

4. 결 론

본 논문은 기존 에너지 수확 컨버터의 다이오드 정류부의 손실, 부하전압 크기보다 작은 압전소자의 출력 전압으로 인한 DC/DC 부스트 전압 변환의 필요, 추가 외부 전원을 필요로 하는 스위칭 방식의 단점을 극복하기 위하여 새로운 AC/DC RPPB(Resonant Piezo-Powered Boost) 컨버터를 제안하였다.

AC/DC RPPB 컨버터는 압전소자의 출력전압의 크기가 부하전압보다 작은 경우에도 승압형 전력변환을 통하여 부하 측에 압전소자로부터 수확할 수 있는 에너지의 최대값을 전달할 수 있으며, 게이팅 회로는 구동용 전원을 추가로 필요로 하지 않는 Piezo-Powered Switching이 가능하다. 또한 Piezo-Powered Switch를 위해서 저장된 캐패시터의 에너지는 스위칭 동작과정에서 부하로 회생된다.

제안한 AC RPPB 컨버터 회로의 동작 원리 및 동작모드를 설명하고, PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 압전에너지를 효율적으로 수확할 수 있음을 입증하였다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2008T100100296) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

[1] G.K Ottman, H.F. Hofmann, A.C. Bhatt, G.A. Lesieutre "Adaptive piezoelectric energy harvesting circuit for wireless remote powersupply" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 17, pp. 669- 676, 2002, Sep.

[2] G.K Ottman, H.F. Hofmann, A.C. Bhatt, G.A. Lesieutre "Optimized piezoelectric energy harvesting circuit using step-down converter in discontinuous conduction mode" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 18, No. 2, pp. 696- 703, 2003, Mar.

[3] Suman Dwari, Leila Parsa "Efficient low voltage direct AC/DC converters for self-powered wireless sensor nodes and mobile electronics" *IEEE Telecommunications Energy Conference*, pp. 1-7, 2008,

[4] Steven R Anton, Henry A Sodano "A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003-2006)" *IOP Smart Mater. Struct*, Vol. 16, No. 3, R1, 2007.

[5] Shengwen Xu, Khai Ngo, Toshikazu Nishida, Gyo-Bum Chung, Attma Sharma "Converter and

Controller for Micro-Power Energy Harvesting" *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Vol. 1, pp. 226-230, 2005.

[6] Gyo-Bum Chung, Khai D.T.Ngo "Analysis of an AC/DC Resonant Pulse Power Converter for Energy Harvesting Using a Micro Piezoelectric Device" *Journal of Power Electronics*, Vol. 5, No. 4, pp. 247-256, 2005, Oct.

[7] 김혁진, 정교범 "압전소자를 이용한 에너지 수확 시스템의 컨버터 토폴로지", 2009년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 600-602, 2009. 7.

[8] Lefeuvre E, Audigier D, Richard C, Guyomar D "Buck-boost converter for sensorless power optimization of piezoelectric energy harvester" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 22, No. 5, pp. 2018-2025, 2007, Sep.

[9] M. Lallart, D. Guyomar, "An Optimized self-powered switching circuit for non-linear energy harvesting with low voltage output" *IOP Smart Mater. Struct*, Vol. 17, No. 3, pp. 035 030, 2008, Jun.

[10] M J Guan, W H Liao "On the efficiencies of piezoelectric energy harvesting circuits towards storage device voltages" *IOP Smart Mater. Struct*, Vol. 16, No. 2, pp. 498-505, 2007, Mar.

저 자 소 개



김혁진(金赫眞)

1982년 11월 27일생. 2009년 홍익대 전자전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



정교범(鄭教範)

1959년 12월 20일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 Univ. of Florida (공박). 1992년~1993년 Virginia Tech (Post Doc.). 1993년~1995년 한국전기연구원 선임연구원. 1995년~현재 홍익대 전자전기공학과 교수. 당 학회 편집이사.