열전에너지 수확이 가능한 공진형 DC/DC 컨버터의 동작 해석

金赫眞^{*}, 鄭敎範[†], 趙官烈^{**}, 崔載昊^{***}

Operation Analysis of Resonant DC/DC Converter able to Harvest Thermoelectric Energy

Hyeok Jin Kim, Gyo-Bum Chung, Kwan-Youl Cho, and Jaeho Choi

요 약

본 논문은 입력단 전압과 출력단 부하전압의 상대적 크기에 따라 동작모드가 다르게 구성되며, 열전에너지 수확이 가능한 새로운 공진형 DC/DC 컨버터의 동작 특성을 해석한다. 공진형 DC/DC 컨버터는, 직류 입력전원에 연결되는 LC 공진회로와, 공진회로의 캐패시터 전압이 최대일 때 부하측으로 에너지를 전달하는 펄스형 공진 컨버터로 구성되어있다. 입력단 LC 공진회로의 캐패시터는 전압의 최대값이 입력전압의 최대값의 2배가 되는 Voltage Doubler의 특성을 갖는다. 제안한 컨버터는 공진 캐패시터 전압의 최대값과 부하전압의 상대적 크기에 따라서 승압형 연결, 혼합형 연결, 직접연결의 3가지 동작특성을 가진다. 승압형 연결은 공진 캐패시터 전압의 최대값이 부하전압보다 작은 경우이다. 혼합형 연결은 공진 캐패시터 전압의 최대값이 부하전압보다 큰 경우이며, 스위칭 주기에 직접연결과 승압형 연결이 연속하여 나타난다. 직접연결은 입력단 전압의 크기가 부하전압보다 큰 경우이며, 입력단 에너지가 부하측으로 컨버터의 스위칭 동작 없이 직접 전달된다. 공진형 DC/DC 컨버터 회로의 동작원리를 설명하고, PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 통하여 검증하였으며, 열전에너지 수확분야에 활용 가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

The operational characteristics of a resonant DC/DC converter, which can harvest thermoelectric energy, is analyzed, depending on the relative magnitudes of the input voltage and the load voltage. The resonant converter consists of LC resonant circuit connected to DC input source and a resonant pulse converter in which the input energy is transferred to the load as the resonant capacitor voltage is peak. The resonant capacitor doubles the input voltage by the resonance phenomenon. By the relative magnitude between the input voltage and the output voltage, the resonant DC/DC converter operates in three different modes. For boost mode, the peak voltage of the resonant capacitor is smaller than the load voltage. For hybrid mode, the peak voltage of the resonant capacitor is bigger than the load voltage and every switching period has both the boost mode and the direct mode. For the direct mode, the input voltage is bigger than the load voltage and the converter transfers directly the input energy to the load without the switching operation. Operation principles and the feasibility of the converter for the thermoelectric energy harvesting are verified with PSPICE simulation and experiment.

Key Words : Resonant DC/DC converter, Self switching, Energy harvesting, Thermoelectric module

[†]교신저자 : 정회원, 홍익대 전자전기공학과 교수

E-mail : gbchung@hongik.ac.kr

^{*}학생회원, 홍익대 전기공학과 석사과정

^{**}정회원, 충주대 정보제어공학과 조교수

^{***}정회원, 충북대 전자전기컴퓨터공학부 교수

접수일자 : 2009. 12. 17

2차 심사 : 2010. 1. 28

1차 심사 : 2010. 1. 5

심사완료 : 2010. 2. 9

1. 서 론

전력변환 과정에서 스위칭 손실의 저감을 통한 고효율화의 구현을 위하여 컨버터에 공진회로를 적용하는 사례가 증가하고 있다.^[1] 인덕터와 캐패시터의 공진현

상을 이용한 공진형 컨버터는 영전압 또는 영전류 순간의 Soft Switching 스위칭을 통하여 전력변환 효율을 개선하는 장점을 갖는다.^[2,3] 그러나 공진형 컨버터는 부하측 또는 입력측의 운전조건이 변하면 동작모드가 변하게 되고, 입력측의 에너지를 효율적으로 부하에 전달하기가 어려워지며, 전력크기가 크게 변할 경우 공진이 되지 않거나 공진점이 변하게 되어 컨버터가 정상적으로 동작하지 않는 경우가 있다.^[4] 또한 공진형 컨버터는 전압/전류를 정현파형으로 제어하기 때문에 스위칭 소자의 전압/전류의 교번이 잦아져 스위칭 스트레스와 공진 인덕터 및 공진 캐패시터의 손실이 증가하며 공진전류의 최대크기가 크기 때문에 컨버터의 스트레스가 크다.

그러나 전압, 전류의 크기가 작은 저전력 응용분야에서는 공진회로를 이용한 Soft Switching 방식은 시스템의 고효율화 및 소형화를 가능하게 하여 이에 대한 지속적인 연구가 수행되고 있다.

에너지 수확 분야에서 공진형 컨버터를 적용하여 저전력 에너지의 효율적 수확을 위한 연구가 활발히 수행되고 있다.^[1] 교류전원의 특성을 갖는 압전에너지 수확을 위해, MOSFET의 3상한 특성을 이용한 Active Rectifier와 공진형 펄스 컨버터로 구성된 AC/DC 공진형 컨버터^[5,6]가 제안되었다.

본 연구는 입출력 전압의 상대적 크기에 따라 동작모드가 달라지고, 직류특성을 갖는 열전에너지의 수확이 가능한 공진형 DC/DC 컨버터의 동작특성에 대한 연구를 수행한다. 공진형 DC/DC 컨버터의 스위칭 주회로부는 압전에너지 수확을 위한 AC/DC 공진형 컨버터의 공진형 펄스 컨버터와 동일하다. 따라서 본 논문에서 제안한 공진형 DC/DC 컨버터는, 소형화 및 고효율화의 장점이 있는 공진회로를 이용하며, 직류 에너지원의 최대에너지를 직류 부하측으로 전달하고 스위칭을 위한 컨트롤 IC를 사용하지 않는 장점이 있다.

연구 내용을 입증하기 위해서, 공진형 DC/DC 컨버터의 동작모드의 특성을 해석하고, PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 제안한 컨버터의 활용방안을 제시하기 위해서 열전에너지 수확 실험을 추가로 수행하여 그 가능성을 제시하였다.

2. 공진형 DC/DC 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안한 공진형 DC/DC 컨버터이다. 공진형 DC/DC 컨버터는 입력단의 공진 회로, 공진형 펄스 컨버터로 구성되어 있다. 공진형 펄스 컨

그림 1 공진형 DC/DC 컨버터
Fig. 1 Resonant DC/DC Converter

그림 2 자력 스위칭 회로
Fig. 2 Self Switching Circuit

버터(Resonant Pulse Converter)는 기존 연구·개발되었던 압전에너지 수확을 위한 공진형 AC/DC 컨버터의 주 전력변환 회로와 동일하다.^[5,6]

공진회로는 공진 인덕터 L_{in} 및 공진 캐패시터 C_{in} 으로 구성되어 있으며, 컨버터의 스위칭 주파수를 결정한다. 공진형 펄스 컨버터는 부스트 인덕터 L , 메인 N-형 MOSFET 주스위치 S_1 , 자력스위칭회로(Self Switching circuit)로 구성되어 있다. 공진형 펄스 컨버터는 공진 캐패시터 전압의 최대 크기와 부하전압의 크기 차이에 따라 3개의 동작 특성을 가진다.

그림 2는 공진형 컨버터의 주스위치 S_1 을 스위칭하기 위한 자력스위칭 회로이다.^[5] 다이오드 D_2 , D_3 , 스위칭 캐패시터 C_s , P-형 MOSFET S_2 , 저항 R_s , R_p 로 구성되어 있다. C_s 에 공진 캐패시터의 최대 전압이 저장되며 P-형 MOS S_2 의 턴온 특성에 의해 주스위치 S_1 을 스위칭 한다. R_p 는 S_1 의 오동작 방지를 위한 풀다운 저항이다.

3. 동작 특성

공진형 DC/DC 컨버터는 입력전압 V_{in} 의 크기가 부

그림 3 $V_{in} \geq V_O$ 일 때 공진형 DC/DC 컨버터 등가 회로
Fig. 3 Equivalent circuit of resonant DC/DC converter when $V_{in} \geq V_O$

하전압 V_O 의 보다 큰 경우($V_{in} \geq V_O$)와 V_{in} 의 크기가 V_O 보다 작지만 $V_O/2$ 보다는 큰 경우($V_O/2 \leq V_{in} < V_O$)와 V_{in} 의 크기가 $V_O/2$ 보다도 작은 경우($V_{in} < V_O/2$)의 조건에 따라 3가지 형태의 스위칭 동작 특성을 가진다.

3.1 공진형 DC/DC 컨버터의 정상 운전을 위한 조건

공진형 DC/DC 컨버터는 기생성분을 무시하고 공진 컨버터의 스위칭 주파수가 자리스위칭의 주파수보다 매우 작다고 가정할 때 입력전압은 식(1)의 조건을 만족하면 정상적으로 동작한다. V_{th} 는 MOSFET의 Threshold 전압이며 V_{Df} 는 다이오드 순방향 전압강하이다.

$$V_{in} \geq V_{Df} + V_{Nth} + V_{Pth} \quad (1)$$

3.2 직접연결 방식 ($V_{in} \geq V_O$)

입력전압의 크기가 부하전압보다 큰 경우이다. 공진 인덕터 L_{in} 과 공진 캐패시터 C_{in} 은 공진을 하지 않으며, 자리스위칭 회로는 동작하지 않는다. 입력단 직류 전원과 출력단 직류부하는 다이오드를 통해 직접 연결되어 그림 3과 같은 등가회로로 모델링되며, 입력측 에너지가 부하에 직접 전달된다.

3.3 승압형 연결 방식 ($V_{in} \leq V_O/2$)

입력전압의 2배 크기가 부하전압보다 작은 경우이며, 공진형 DC/DC 컨버터는 그림4의 MODE A, B, C, D의 순서로 동작한다.

Mode A($t_0 \sim t_1$) : 모든 인덕터와 캐패시터의 초기 전압과 전류는 0으로 가정한다. 공진 인덕터의 전류 $i_{L_{in}}$ 및 공진 캐패시터 전압 $V_{C_{in}}$ 은 공진에 의해 식(2), (3)과 같다. R 은 공진 인덕터 및 공진 캐패시터의 기생 저항의 합이다. 이 구간동안 공진 캐패시터의

전압 $V_{C_{in}}$ 및 스위칭 캐패시터 C_S 의 전압 V_{C_S} 는 입력 전압 V_{in} 의 약 2배까지 상승하게 된다. Mode A 구간($t_0 \sim t_1$)은 컨버터의 스위칭 주기 T 의 대부분을 차지한다. 스위칭 캐패시터 C_S 의 크기는 공진 캐패시터 C_{in} 의 크기보다 매우 작아 공진주기 T 에서 C_{in} 에 의한 공진성분은 무시할 수 있다.

$$i_{L_{in}}(t) = \frac{V_{in}}{wL_{in}} e^{-\frac{R}{2L_{in}}t} \sin(wt) \quad (2)$$

$$v_{C_{in}}(t) = \frac{1}{C_{in}} \int i(t) dt + V_{in} \quad (3)$$

$$w = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T} = \sqrt{-\left(\frac{R}{2L_{in}}\right)^2 + \frac{1}{L_{in}C_{in}}} \quad (4)$$

$$V_{C_{in}}(t_1) = V_{C_S}(t_1) - V_{D_{2f}} \approx 2V_{in} \quad (5)$$

$$C_{in} + C_S \approx C_{in} \quad (6)$$

Mode B($t_1 \sim t_2$) : 스위칭 캐패시터 C_S 에 공진 캐패시터의 최대 전압이 저장된 후 공진 캐패시터의 전압 $V_{C_{in}}$ 은 감소하게 된다. 이 구간동안 자리스위칭 회로내의 P-형 MOS S_2 의 게이트-소스 전압, V_{GS} 가 증가하게 된다.

Mode C($t_2 \sim t_3$) : P-형 MOS S_2 의 V_{GS} 가 턴온 조건을 만족하게 되면 Mode C가 시작된다. S_2 가 도통되어 스위칭 캐패시터의 전압 V_{C_S} 가 주스위치 S_1 의 게이트에 인가되어 S_1 이 도통된다. S_1 이 도통되면 공진 캐패시터 C_{in} , 스위칭 캐패시터 C_S 와 부스트 인덕터 L 이 공진회로를 구성하게 된다. 이 구간동안 캐패시터에 저장된 에너지는 부스트 인덕터 L 로 전달된다. 스위칭 캐패시터 C_S 의 저장된 에너지가 그림 2의 방전통로(Discharge Path)를 통하여 부스트 인덕터 L 로 전달되면서 V_{C_S} 가 감소하게 된다. 이로 인하여 S_1 이 차단된다. Mode C구간은 공진 캐패시터 C_{in} 과 부스트 인덕터 L 으로 이루어지는 공진주기의 1/4 이다. 이 구간동안 캐패시터에서 인덕터로 전달된 에너지는 다음과 같다.

$$t_3 - t_2 = \frac{1}{2} \pi \sqrt{C_{in}L} \quad (7)$$

$$\frac{1}{2} C_{in} V_{C_{in}}(t_2)^2 + \frac{1}{2} C_S V_{C_S}(t_2)^2 = \frac{1}{2} L i_{peak}^2 \quad (8)$$

그림 4 공진형 DC/DC 컨버터의 승압형 및 혼합형 동작 특성

Fig. 4 Boost and Hybrid operation characteristics of resonant DC/DC converter

Mode D($t_3 \sim t_4$) : 스위칭 캐패시터 C_S 의 에너지가 부스트 인덕터 L 로 전달되어 메인 스위치 S_1 이 차단되면 다이오드 D_1 이 도통되어 부스트 인덕터 L 에 저장된 에너지가 부하로 전달된다. 부하로 전달된 평균 전력은 다음과 같다. P_{loss} 는 스위칭 손실 및 기생 성분에 의한 손실의 합이다.

$$P_{transfer} = \frac{\frac{1}{2} [C_{in} v_{C_{in}}(t_2)^2 + C_S v_{C_S}(t_2)^2]}{T} - P_{loss} \quad (9)$$

$$P_{loss} = P_{S_{1-loss}} + P_{parasitic} \quad (10)$$

3.4 혼합형 연결 방식 ($V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$)

입력전압의 2배 크기가 부하전압보다 크지만, 입력 전압이 부하전압보다 작은 경우이다. 공진형 DC/DC 컨버터는 그림 4의 점선과 같이 Mode A, A-1, B, C, D의 순서로 동작한다.

Mode A($t_0 \sim t_C$) : 모든 인덕터와 캐패시터의 초

기 전압과 전류는 0으로 가정한다. 이 구간동안 공진 캐패시터의 전압 $V_{C_{in}}$ 과 스위칭 캐패시터의 전압 V_{C_s} 는 부하전압까지 상승한다.

$$V_{C_{in}}(t_1) = V_{C_S}(t_1) - V_{D_{2f}} = V_O \quad (11)$$

Mode A-1 ($t_C \sim t_1$) : 캐패시터의 전압이 부하전압
 까지 상승한 후 인덕터에 저장된 에너지는 다이오드
 D_1 을 통하여 부하로 전달된다. 이 때 공진 캐패시터
 의 전압 $V_{C_{in}}$ 은 부하전압과 동일하며 $V_{C_{in}}$ 가 부하전
 압까지 충전되는 시간 t_C 는 식 (12)와 같다. 이 구간동
 안 공진 인덕터의 전류는 선형으로 감소하며 식 (14)
 와 같다. 식 (15)는 이 구간동안 부하에 전달되는 전력
 P_{clamp} 이다.

$$v_C(t_c) = V_O + V_{D_{lf}} \quad (12)$$

$$\frac{T}{4} \leq t_c \leq \frac{T}{2} \quad (13)$$

$$i(t) = \frac{V_{in} - V_O}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_{in}}t}\right) + i(0^-) e^{-\frac{R}{L_{in}}t} \quad (14)$$

$$P_{clamp} = \int_{t_c}^{\frac{T}{2}} i(t) V_O dt \quad (15)$$

공진 인덕터에 저장된 에너지가 선형적으로 부하에 전달되어 인덕터의 전류가 0이 되면 Mode A-1은 종료된다. 공진 캐패시터에 저장된 에너지는 Mode B, C, D를 거쳐 부하로 전달된다.

3.5 수동소자 크기에 따른 컨버터 동작 특성

식 (9)에 의하면, 스위칭 주기 T 가 작을수록 부하로 전달되는 전력이 증가한다. 또한 공진 캐패시터 C_{in} 의 저장된 에너지는 공진인덕터 L_{in} 에 흐르는 전류가 영점류인 시점 근처에서 공진형 펄스 컨버터의 인덕터 L 로 전달된 후 부하로 다시 전달되기 때문에, 인덕터 L 의 값을 크게 하면 컨버터에 흐르는 전류의 크기를 감소시킬 수 있다. 그러나 인덕터 L 의 크기를 증가시키면, 부하로 전달되는 펄스 전류의 구간이 길어지므로 공진인덕터 L_{in} 의 영향을 받는 스위칭 주기 T 에 영향을 주게 되므로, 식 (16)의 조건을 이용하여 설계한다.

$$L_{in} \gg L \quad (16)$$

부하전압의 크기를 제어하는 기존 컨버터와 달리, 본 논문에서 제안한 공진형 DC/DC 컨버터의 목적은 공진 캐패시터에 저장된 최대에너지를 부하로 전달하는 것이다. 부하전압이 공진 캐패시터의 전압보다 크고, 회로내의 소자가 이상적이라고 가정하면, 부하로 전달되는 평균 전력은 식 (17)과 같다.

$$P_{avg} = \sqrt{\frac{C_{in}}{L_{in}}} V_{in}^2 \quad (17)$$

4. PSPICE 시뮬레이션

공진형 DC/DC 컨버터의 동작 특성을 확인하기 위해 PSPICE 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 소자들의 파라미터이다. 입력전압 크기의 변화에 따른 컨버터의 동작 특성을 확인하기 위하여 부하전압은 변동 없이 12[V]로 설정하였다. $V_{in} = 6[V]$ 일 때 공진 캐패시터 전압 $V_{C_{in}}$, 주스위

치 S_1 의 드레인 전압 V_{S_1D} , 스위칭 캐패시터의 전압 V_{C_S} 를 그림 5에, 공진 컨버터의 부스트 컨버터 전류 i_L 을 그림 6에 나타내었다. $V_{in} = 10[V]$ 일 때 시뮬레이션 결과 파형을 그림 7, 8에 나타내었다. 승압형 연결에서 공진 캐패시터에 저장된 에너지가 Self Switching인 Mode C와 D를 통해 부하로 전달되는 것을 그림 5에서 확인할 수 있으며, 이 때 전류가 펄스인 것을 그림 6에서 확인할 수 있다. 혼합형 연결에서는 공진 캐패시터의 전압이 부하전압까지 상승된 후 입력측 에너지가 부하측으로 스위칭 동작 없이 부하로 전달되는 것을 확인할 수 있다. 또한 부하측으로 스위칭 동작 없이 에너지를 전달한 후 공진 캐패시터에 저장된 에너지를 부하측으로 전달하는 것을 그림 7에서 확인할 수 있으며, 전류는 펄스로 전달되는 것을 그림 8에서 확인할 수 있다.

표 1 공진형 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Parameters of resonant DC/DC converter simulation

Component	Symbol	Rating	Parasitic R, V_{th} or V_{Df}
Capacitor	C_{in}	5 μ F	.
Capacitor	C_S	50nF	.
Inductor	L_{in}	4mH	1 Ω
Inductor	L	3.3 μ H	16m Ω
N MOSFET	S_1	HUF75343	0.7 Ω , 4[V]
P MOSFET	S_2	NTR4101P	0.1 Ω , 1[V]
Diode	D_1, D_2, D_3	1N914	0.5[V]

그림 5 $V_{in} = 6[V]$, $V_O = 12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$ 조건일 때 $V_{C_{in}}$, V_{S_1Drain} , V_{C_S} , V_O 시뮬레이션 파형

Fig. 5 Simulation result of $V_{C_{in}}$, V_{S_1Drain} , V_{C_S} , V_O when $V_{in} = 6[V]$, $V_O = 12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$

그림 6 $V_{in}=6[V]$, $V_O=12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$ 조건일 때 i_L 시뮬레이션 파형
Fig. 6 Simulation result of i_L when $V_{in}=6[V]$, $V_O=12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$

그림 7 $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$ 조건일 때 V_{Cin} , V_{SDrain} , V_{Cs} , V_O 시뮬레이션 파형
Fig. 7 Simulation result of V_{Cin} , V_{SDrain} , V_{Cs} , V_O when $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$

그림 8 $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$ 조건일 때 i_L 시뮬레이션 파형
Fig. 8 Simulation result of i_L when $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$

그림 9는 공진 인덕터 및 캐패시터의 크기가 변화할 때 부하에 전달되는 전력 및 컨버터의 효율이다. 공진 캐패시터의 크기가 증가할수록 캐패시터에 저장되는 에너지가 증가하여 부하에 전달되는 에너지가 증가하

(a) 전달된 전력

(b) 효율

그림 9 공진 인덕터 및 캐패시터 크기 변화에 따른 공진형 DC/DC 컨버터의 부하에 전달된 전력 및 효율
Fig. 9 Transferred power and efficiency of resonant DC/DC converter when resonant inductor and capacitor vary

그림 10 공진형 DC/DC 컨버터
Fig. 10 Resonant DC/DC Converter

지만 컨버터에 흐르는 전류 최대치가 증가하여 손실이 증가하므로 효율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 인덕터의 크기가 클수록 컨버터에 흐르는 전류 최대치가 작아지므로 전달되는 전력은 줄어들고 효율이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 실험

공진형 DC/DC 컨버터의 동작 특성을 입증하기 위

해 실험을 수행하였다. 그림 10은 실험을 위해 제작한 공진형 DC/DC 컨버터이며, PSPICE 시뮬레이션의 스위칭소자 및 수동소자를 이용하였으며, 동일한 운전조건에서 실험을 수행하였다.

5.1 직류전압 공급 장치를 사용한 경우

공진형 DC/DC 컨버터의 동작특성을 입증하기 위해서, 입력전원을 직류전압 공급 장치(GP-4303)를 사용하여 구성하였다.

그림 11은 입력전압 6[V], 부하전압이 12[V] 일 때 부하전압 V_O , 스위칭 캐패시터 전압 V_{CS} , 주스위치 S_1 드레인 전압, 부스트 인덕터 L 의 전류 i_L 의 파형이다. 자리스위칭 동작에 의해 펄스로 부하에 에너지를 전달하는 것을 확인할 수 있다. 그림 12는 입력전압 10[V], 부하전압이 12[V] 일 때 결과 파형이다. 시뮬레이션 결과와 동일하게 $V_{in} \leq V_O/2$ 일 때 펄스로 전력을 부하에 전달하며, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$ 일 때 공진 캐패시터의 전압이 부하에 클램핑되어 공진 인덕터의 저장된 에너지를 부하에 전달한 후 공진 캐패시터의 잔여 에너지를 펄스로 전달하는 것을 확인할 수 있다.

5.2 열전소자를 이용한 경우

본 논문에서 제안한 공진형 DC/DC 컨버터의 활용분야를 제안하기 위해서, 직류출력전압의 특성을 갖는 열전소자를 이용한 열전에너지 수확을 시도하였다.

열전 소자로부터 에너지를 수확을 위하여 턴온 임계전압의 크기가 작은 스위칭 소자를 사용하여 컨버터를

표 2 열전 에너지 수확 실험을 위한 공진형 DC/DC 컨버터 파라미터

Table 2 Parameters of resonant DC/DC converter for thermoelectric energy harvesting

Component	Name	Rating	Parasitic R, V_{th} or V_{Df}
Capacitor	C_{in}	1 μ F	.
Capacitor	C_S	10nF	.
Inductor	L_{in}	4mH	1 Ω
Inductor	L	150 μ H	40m Ω
N MOSFET	S_1	NTZD3154	55m Ω , 0.8[V]
P MOSFET	S_2	NTR4101P	0.1 Ω , 1[V]
Diode	D_1, D_2, D_3	NSR0320	0.3[V]

그림 11 $V_{in}=6[V]$, $V_O=12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$ 조건일 때 V_{CS} , $V_{S,Drain}$, V_O , i_L 실험 파형

Fig. 11 Experimental waveform of V_{CS} , $V_{S,Drain}$, V_O , i_L when $V_{in}=6[V]$, $V_O=12[V]$, $V_{in} \leq V_O/2$

그림 12 $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$ 조건일 때 $V_{S,Drain}$, V_{CS} , V_O , i_L 실험 파형

Fig. 12 Experimental waveform of $V_{S,Drain}$, V_{CS} , V_O , i_L when $V_{in}=10[V]$, $V_O=12[V]$, $V_O/2 \leq V_{in} \leq V_O$

제작하였으며, 사용된 소자는 표 2와 같다. 열전소자는 TEC-12712를 사용하였으며 그림 13은 열전 에너지 수확 실험 장치이다.

그림 14는 약 1[V]의 직류 전압 출력을 내는 열전소자를 공진형 DC/DC 컨버터를 사용하여 에너지 수확한 결과 파형이다. 부하는 6[V]의 연축전지를 사용하였다. 그림 15는 에너지가 전달되는 순간을 확대한 결과 파형이다. 자리스위칭에 의하여 주스위치가 도통되면 부스트 인덕터의 전류가 증가한다. 인덕터 전류가 최대값일 때, 자리스위칭 동작에 의해 주스위치가 차단되는 것을 확인할 수 있다. 또한 주스위치가 차단되면 다이오드는 도통되고, 인덕터에 저장된 에너지는 펄스 형태로 부하에 전달되는 것을 확인할 수 있다. 공진형 DC/DC 컨버터를 이용하면, 열전소자의 출력전압이 약 1[V]일 때, 6[V]의 연축전지에 평균 2[mW]의 전력이 수확됨을 확인하였으며 효율은 약 50%이다.

(a) 방열판

(b) 열전소자 및 가열기

그림 13 열전 에너지 발생 장치

Fig. 13 Equipments for thermoelectric energy generation

그림 14 열전 에너지 수확 결과 파형 V_O , $V_{NMOS_{Drain}}$ Fig. 14 Waveform V_O , $V_{NMOS_{Drain}}$ of thermoelectric energy harvesting experiment

6. 결 론

본 논문은 DC전원 특성을 가진 에너지의 수확분야에 응용이 가능한 새로운 공진형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 공진형 DC-DC 컨버터의 스위칭 회로부는,

그림 15 열전 에너지 수확 확대 결과 파형 V_O ,

$$V_{NMOS_{Drain}}, V_{NMOS_{Gate}}, i_L$$

Fig. 15 Waveform V_O , $V_{NMOS_{Drain}}$, $V_{NMOS_{Gate}}$, i_L of thermoelectric energy harvesting experiment

압전에너지 수확을 위한 AC/DC 공진형 컨버터의 자리스위칭 회로부를 응용하였다.

제안한 컨버터는 입력단 전압과 출력단 부하전압의 상대적 크기에 따라서 승압형 연결, 혼합형 연결, 직접 연결 방식의 3가지 동작 특성을 나타낸다.

제안한 컨버터의 동작 원리 및 동작모드를 PSPICE 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 증명하였다. 또한 본 논문에서 제안한 공진형 DC/DC 컨버터를 이용한 열전에너지 수확 가능성을 실험을 통하여 입증함으로써, 컨버터의 활용방안을 제시하였다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA- 2009-(C1090-0904-0007))

참 고 문 헌

- [1] 김혁진, 정교범, “압전소자를 이용한 에너지 수확 시스템의 컨버터 토폴로지”, *전력전자학술대회 논문집*, pp. 600-602, 2009. 7.
- [2] 김진영, 조원우, 김인동, 노의철, 김홍근, “소프트 스위칭 PWM Sepic DC-DC 컨버터의 해석과 설계”, *전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집*, pp. 133-135, 2009. 7.
- [3] 정두용, 김재형, 지용혁, 원충연, 정용채 “단일 스위치를 사용한 소프트 스위칭 부스트 컨버터”, *전력전자학회 논문지*, 제14권 제3호, pp. 211-219, 2009. 6.
- [4] 이동영, 이일운, 조보형, “ZVS Full-Bridge 컨버터의 ZVS 공진 에너지 불평형 문제와 해결 방법”, *전력전자*

학회 학술대회논문집, pp. 364-367, 2001. 7.

- [5] 김혁진, 정교범 “압전에너지 수확을 위한 AC/DC 공진형 자력 부스트 컨버터”, *전력전자학회 논문지*, 제14권 제6호, pp. 488-495, 2009. 12.
- [6] 김혁진, 정교범 “압전에너지 수확을 위한 공진형 부스트 컨버터”, *조명설비학회 추계학술대회 논문집*, pp. 407-410, 2009. 10.

저 자 소 개

김혁진(金赫眞)

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

정교범(鄭敎範)

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 한국전기연구소 선임연구원. 1995년~현재 홍익대 전자·전기공학과 교수. 당 학회 국문지 편집이사.

조관열(趙官烈)

1963년 2월 20일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전자전산학과 졸업(공박). 1993년~2003년 LG 전자(주) DA연구소 책임연구원. 2004년~현재 충주대 정보제어공학과 조교수. 당 학회 JPE Publication editor.

최재호(崔載昊)

1955년 9월 27일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1981년~1983년 중경공업전문대학 전자과 전임강사. 1983~현재 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 1993년, 1998년, 2003년~2004년 University of Toronto(Visiting professor). 당 학회 JPE Editor-in-chief.