

동기정류기를 이용한 펄스공진형 AC/DC 컨버터

정교범

홍익대학교 전자전기공학과

AC/DC Pulse-Resonant Converter with Synchronous Rectifier

Gyo-Bum Chung

Hongik University

ABSTRACT

본 연구는 저전압 교류 전류원으로부터 직류 부하에 에너지를 공급하기 위하여, 새로운 컨버터를 제안한다. 컨버터는 풀브리지 MOSFET 정류기와 플라이백 컨버터의 2단 구조로 구성되어 있으며, LC공진을 이용하여 AC/DC 전력변환을 수행한다. 컨버터 효율 개선을 위하여 컨버터 회로 내의 스위칭 소자는 3상한에서 동작한다. 제안된 컨버터의 동작원리 및 동작모드를 해석하고, 시뮬레이션을 통해 해석결과를 검증하였다.

1. 서론

마이크로 전력 분야에서는, 시스템 주변의 수압변화, 온도차, 소음 또는 진동을 에너지원으로 이용할 수 있다. 이들 에너지원은 시간에 따라 불규칙적으로 변화하고, 비선형적인 입·출력 특성을 보일 뿐만 아니라, 출력 용량이 매우 작다.

마이크로 전력용량의 무선시스템 내에서, 진동에 의한 기계적 변형을 전기 에너지로 변환시키는 압전소자를 에너지원으로 이용하여, 부하에 필요한 에너지의 일부를 공급하고자 하는 노력이 시도되었다.

압전소자의 기계적 입력에 대한 전기적 출력 특성은, 교류 전류원과 출력 캐패시터로 구현된 노튼 등가회로를 간단하게 나타낼 수 있다. 따라서 용량성 출력임피던스를 갖고 있는 교류 전류원으로부터, 직류 부하에 전력을 공급하기 위해서는, 컨버터의 손실을 최소화하고 효율적으로 에너지를 부하에 공급하는 토폴로지를 채택할 필요가 있다.

본 연구는 풀브리지 MOSFET정류기와 플라이백 컨버터의 2단 구조의 펄스 공진형 AC/DC 컨버터를 제안한다. 저전압에서 풀브리지 정류기와 플라이백 컨버터의 고효율화를 위하여, MOSFET의 3상한 동기정류기 특성을 이용하였다. 제안된 컨버터의 동작원리 및 동작모드를 해석하였고, 시뮬레이션을 통해서 결과를 검증한다.

2. 토폴로지 및 동작원리

그림 1은 압전소자의 전기적 출력특성을 모델링한 저전압 AC 전류원으로부터 직류부하에 에너지를 공급하는 새로운 AC/DC 컨버터의 토폴로지이다. AC/DC 변환을 위하여 Full Bridge MOSFET 정류기와 플라이백 컨버터로 구성되어 있다. 저전압 컨버터 시스템의 효율개선을 위해서, 풀브리지 MOSFET 정류기는 N-MOSFET (S_2, S_4)와 P-MOSFET(S_1, S_3)의 3상한에서의 동기정류기 특성을 이용하였다. 플라이백 컨버터는 N-MOSFET S_N 을 스위치와 동기정류기로 사용하였으며, P-MOSFET S_P 를 동기 정류기로 사용하였다. 플라이백 구조에 의해서 전원측과 부하측은 전기적 절연이 이루어지며, 부하에서 요구하는 전압으로의 승/강압이 가능하다.

전류원 출력단의 전압 $V_{ab}(t)$ 가 최대값일 때, MOSFET 스위치 S_N 이 턴온하여, $L_m C_e$ 공진회로를 구성하고, 캐패시터 C_e 에 저장된 에너지가 인덕터 L_m 으로 전달된다. 인덕터 L_m 에 저장된 에너지가 최대값을 가질 때, S_N 은 턴오프하며, 에너지는 직류부하 V_b 로 전달된다. 컨버터의 소형화를 위해서 스위칭 소자를 제외하고, 절연용 변압기 1개를 사용하였다. 전류원의 출력 캐패시터와 변압기의 자화인덕터에 의한 공진을 이용하여, 영전압/영전류 스위칭을 채택하여 컨버터 효율을 최대화 하였다.

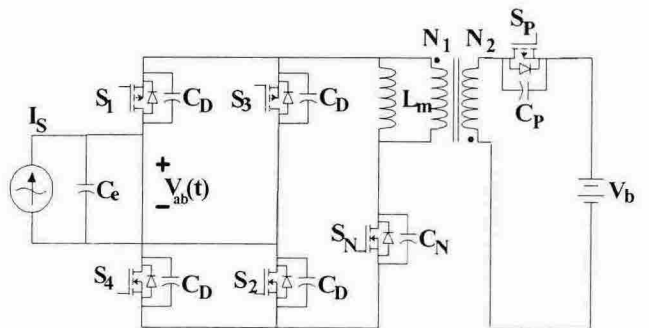


그림 1 펄스공진형 AC/DC 컨버터 시스템

Fig. 1 Topology of Pulse-Resonant AC/DC Converter

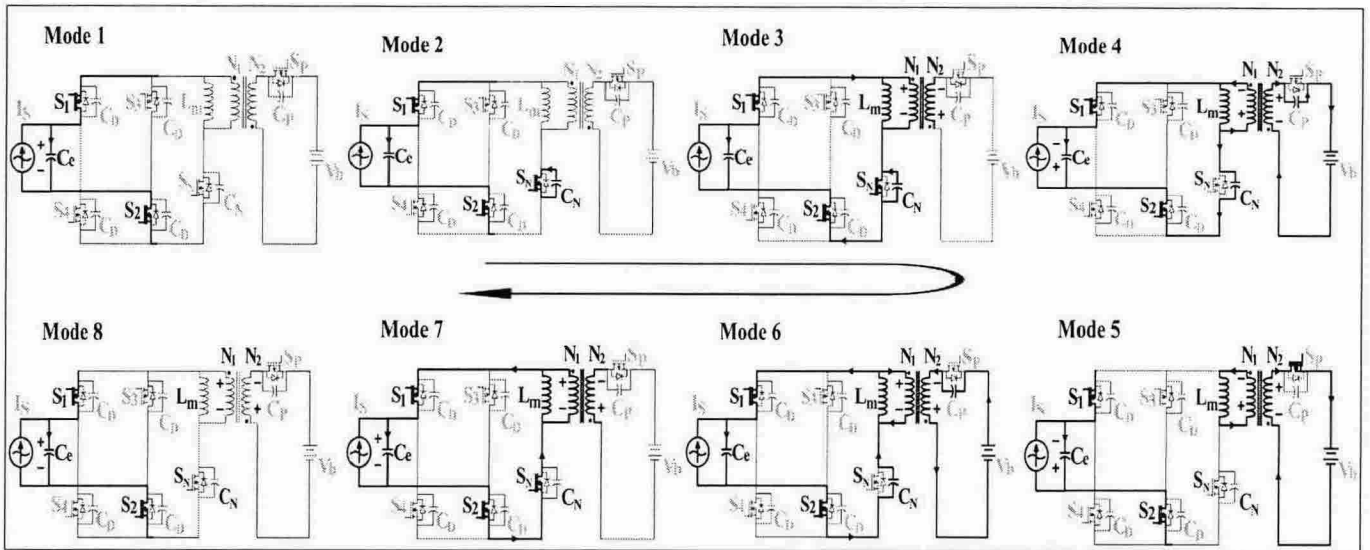


그림 2 AC/DC 컨버터 동작모드별 회로도.
Fig. 2 Equivalent Circuit for Operational Modes of AC/DC Converter

3. 동작모드 해석

컨버터의 동작모드 해석을 위하여, P형 또는 N형 MOSFET은 이상적 스위치, 스위칭 소자에 병렬로 연결된 기생캐패시터 및 0.7[V]에서 턴온되는 역방향 다이오드로 모델링하였다.

컨버터는 스위칭 동작에 의해서 8개의 주요 동작모드로 구분된다. 그림 2는 펄스공진형 AC/DC 컨버터 회로내의 각 동작모드에서의 활성부분을 보인다.

모드 1 : ($t_0 - t_1$) 저전압 AC 전류원의 출력 캐패시터 C_e 가 충전되는 구간이다. 출력캐패시터 전압은 시각 t_1 에서 최대값으로 충전되며, 이 때 저주파 AC 전류원의 출력 전류 I_s 의 크기는 영점을 지난다. 풀브리지 MOSFET 정류기의 S_1 과 S_2 는 턴온상태이다.

모드 2 : ($t_1 - t_2$) N형 MOSFET 스위치 S_N 이 턴오프 상태에서 턴온상태로 전환되는 기간이며, 드레인-소스사이의 기생캐패시터 C_N 의 에너지가 방전하는 기간이다.

모드 3 : ($t_2 - t_3$) MOSFET 스위치가 턴온되고 출력 캐패시터 C_e 에 저장되어 있던 에너지가 인덕터 L_m 으로 전달된다.

모드 4 : ($t_3 - t_4$) MOSFET 스위치 S_N 이 턴오프되는 과정에서, 인덕터 전류 I_L 이 MOSFET 기생캐패시터 C_N 와 C_P 에 의해서 분배되는 Dead-Time 기간이다.

모드 5 : ($t_4 - t_5$) P형 MOSFET S_P 가 3상한에서 동기 정류기의 동작을 위해서 턴온되고, 인덕터 L_m 에 저장된 에너지가 배터리로 전달되는 기간이다. 이 모드는 인덕터 L_m 의 전류가 0[A] 될 때까지 지속된다.

모드 6 : ($t_5 - t_6$) P형 및 N형 MOSFET의 기생 캐패시터와 인덕터에 의해 고주파 공진이 발생한다. 이 때 부하로 전달된 에너지의 일부가 출력 캐패시터 C_e 로 회생

된다.

모드 7 : ($t_6 - t_7$) MOSFET S_N 이 3상한 동작을 하는 구간이며, 역방향 공진전류가 0[A]될 때까지 지속된다.

모드 8 : ($t_7 - t_8$) MOSFET S_N 의 3상한 동작을 턴오프한 이후에, N형 및 P형 MOSFET의 기생 캐패시터와 인덕터에 의해 고주파 공진이 이루어진다. 풀브리지 MOSFET 정류기가 (S_1, S_2)에서 (S_3, S_4)로 스위칭할 때까지 지속된다.

4. 시뮬레이션

펄스공진형 AC/DC 컨버터의 동작 모드 해석을 검증하기 위해서, PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 펄스공진형 AC/DC 컨버터의 시뮬레이션 데이터이다.

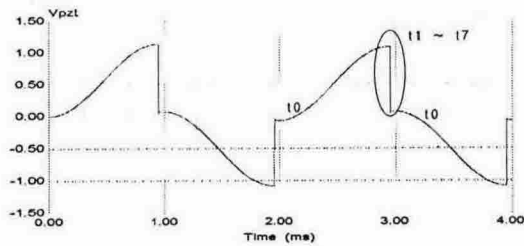
표 1 펄스공진형 AC/DC 컨버터 시스템 데이터.
Table 1 Data of Pulse-Resonant AC/DC converter.

I_p	12 μ A	f_s	500 Hz
L	100 μ H	V_b	1 V
C_e	582.6 pF	C_D	3 pF
C_e	3 pF	Duty	0.112 %

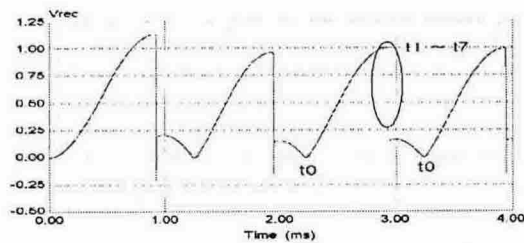
그림 3은 펄스공진형 AC/DC 컨버터의 동작과 관련하여 회로내의 전류원의 출력단 캐패시터 전압 V_{ab} , 정류기 전압 V_{rec} , 공진인덕터 L_m 의 전류파형이다.

그림4는 동작모드를 상세하게 관측하기 위해서 그림 3(c)의 $[t_1-t_7]$ 구간을 확대한 인덕터 전류, MOSFET 드레인 전압, 부하의 전류이다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 파

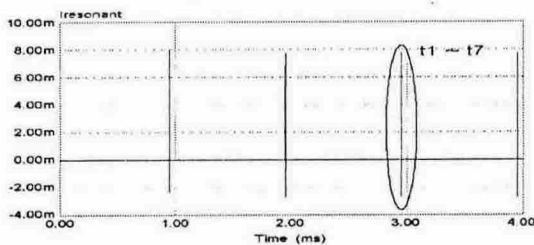
형은 해석결과와 일치하며, 8개의 동작모드가 존재함을 확인할 수 있다.



(a)



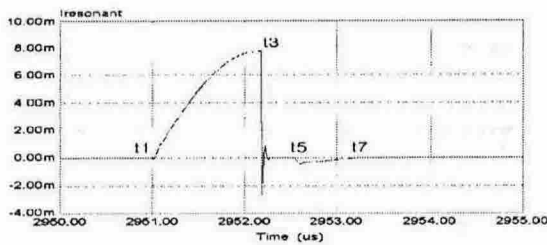
(b)



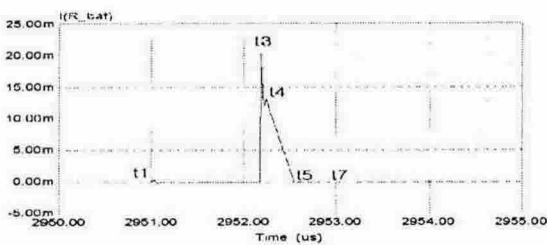
(c)

그림 3 펄스공진형 AC/DC 컨버터의 시뮬레이션 파형. (a) C_o 전압 (b) 정류기 V_{rec} (c) L_m 전류

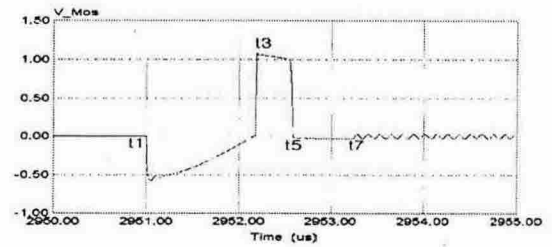
Fig. 3 Simulated Waveforms of Pulse-Resonant AC/DC Converter (a) Voltage of C_o (b) V_{rec} (c) L_m Current.



(a)



(b)



(c)

그림 4 확장된 시간축에서 AC/DC 컨버터의 시뮬레이션 전류 파형. (a) 1차측 공진전류 (b) 배터리 V_b 전류 (c) MOSFET S_M 의 드레인전압

Fig. 4 Simulated Current Waveforms of AC/DC Converter in the Enlarged Time Scale (a) Inductor current (b) Battery V_b current (c) Drain voltage of MOSFET S_M

5. 결론

압전소자를 모델링한 출력 캐패시터를 갖고 있는 저전압 교류 전류원으로 부터, DC 부하에 에너지를 공급하기 위한 새로운 펄스공진형 AC/DC 컨버터를 제안하였다. 컨버터는 풀브리지 MOSFET 정류기와 플라이백 컨버터의 2단 구조로 구성되었다. 컨버터 회로의 고효율화를 추구하기 위하여, 컨버터 내의 스위칭 소자는 MOSFET을 이용한 동기정류기를 채택하였다. 컨버터 회로의 동작원리 및 MOSFET의 기생정전용량을 고려한 동작모드를 해석하고, 시뮬레이션을 통해 해석결과를 검증하였다

참고 문헌

- [1] P. Glynn-Jones, S.P. Beeby, N.M. White, "Towards a piezoelectricvibration-powered microgenerator," IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 148, No. 2, March 2001.
- [2] A. Kasyap, J. Lim, D. Johnson, S. Horowitz, T. Nishida, K. Ngo, M. Sheplak, L. Cattafesta, "Energy Reclamation from a Vibrating Piezoceramic Composite Beam," 9th International Congress on Sound and Vibration, ICSV9
- [3] G.K. Ottman, H.F. Hofmann, A.C. Bhat, G.A. Lesieutre, "Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wrieless Remote Power Supply," IEEE trans. on Power Eletronics, Vol. 17, No. 5, pp. 669 676, September 2002.
- [4] S. Horowitz, A. Kasyap, F. Liu, D. Johnson, T. Nisida, K. Ngo, M. Sheplak, L. Cattafesta, "Technology Development for Self-Powered Sensors," AIAA Paper-2002-2702, 1st Flow Control Conf. June 24-26, St. Louis, M
- [5] S. Ben-Yaakov, S. Lineykin, " Frequency Tracking to Maximum Power of Piezoelectric Transformer HV Converters under Load Variation," IEEE PESC, Vol. 2 pp. 23-27, June 2002.