

새로운 2차측 능동 클램프회로의 영전압 영전류 스위칭
Full Bridge DC-DC 컨버터

김병철* 김형곤* 김광현**
*조선이공대학 **전남대학교

Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge
DC-DC Converter Using Novel Secondary Active Clamp

Byung-Chul Kim* Hyung-Gon Kim* Kwang-Heon Kim**
*Chosun College of Science & Technology **Chonnam National University

Abstract - The zero voltage and zero current switching(ZVZCS) full bridge(FB) PWM converter using secondary active clamp is characterized by high efficiency, good ZVZCS characteristic, simple topology and low cost. But at the period for discharge of the secondary clamp capacitor, peak pulses and ringing pulse occur in rectified secondary side of the converter. In this paper, a novel secondary active clamp circuit for the ZVZCS FB PWM converter is proposed and a 50 kHz, 500 W prototype converter was experimented for verification of the converter characteristics. It was verified that high voltage peak pulses and ringing pulse on secondary rectified waveforms of the converter are decreased effectively.

1. 서론

PS(Phase-Shift) PWM FB(Full-Bridge) dc-dc 컨버터에서 진상 레그 스위치들은 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching ; ZVS)을, 지상 레그 스위치들은 영전류스위칭(Zero Current Switching ; ZCS)을 행하는 영전압 영전류 스위칭(ZVZCS) 방식의 컨버터 회로들이 제안되어 활발히 연구되고 있다[1~5].

이들의 ZVZCS dc-dc 컨버터회로에서 ZVS 동작은 기존의 ZVS PS FB dc-dc 컨버터[6~7]와 동일하게 이루어지며, ZCS 동작은 컨버터 변압기 1차측에서 2차측으로 전력을 전달하지 못하는 환류 구간에 1차측을 흐르는 전류를 영으로 감소시켜 지상 레그의 ZCS를 달성하고 있다.

ZVZCS 컨버터 방식 중에서 지상 레그의 ZCS를 위해 변압기의 2차측에 능동 스위칭 소자와 캐패시터를 직렬로 접속하고 스위칭 시점을 적절히 제어하여 ZVZCS를 행하는 기법이 제안되어 있다[8].

이 방식은 환류구간에 1차측에 흐르는 전류를 효과적으로 리셋시켜 무익한 도통손실을 경감하고 지상 레그의 ZCS 동작을 확보하는 등 고입력전압, 대출력, 고주파 동작의 컨버터에서 우수한 성능이 입증되었고 종래의 ZVZCS PS FB DC-DC 컨버터의 한계를 극복할 수 있는 방식으로 주목되고 있다. 그러나 2차측 능동 클램프용 스위치의 턴 온 시간을 크게 하면 클램프 캐패시터에 충전된 전압이 누설리액턴스에 인가되면서 2차측 정류다이오드 출력전압 파형에 고전압의 피크 펄스 및 링킹 펄스가 첨가된다. 이로 인해 EMI/RFI 장애를 초래할 수 있으며 정류다이오드 및 부품의 전압스트레스를 증가시키게 된다. 그래서 본 연구에서는 새로운 2차측 능동클램프 방식의 ZVZCS PS FB DC-DC 컨버터를 제안하고 2차측 클램프 캐패시터의 방전 구간에서 발생하는 고전압 피크펄스 및 링킹을 방지할 수 있는 방안을 연구하였으며, 시작품을 제작하여 제안한 컨버터의 동작 특성을 규명하였다.

2. 컨버터회로의 동작

2.1 제안한 회로

2차측 능동 클램프 회로 방식의 PS FB DC-DC 컨버터에서 클램프 캐패시터의 방전제어시 피크 펄스 고전압과 과도한 링킹이 초래되는 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 그림 1과 같이 FRD, 가포화리액터, 저항등을 2차측 능동 클램프 회로에 추가한 새로운 구성의 2차측 능동 클램프 방식 PS FB DC-DC 컨버터 회로를 제안하였다.

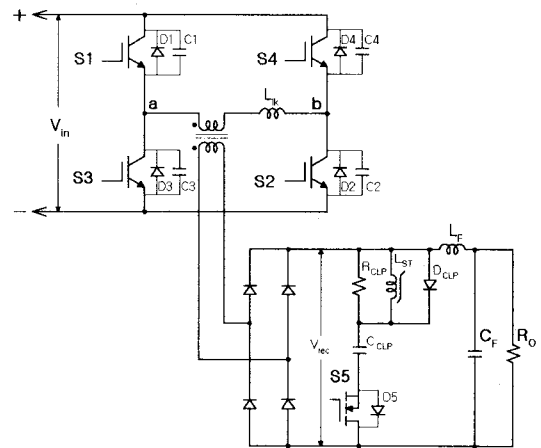


그림 1 제안한 컨버터의 주회로

2.2 클램프 스위치의 도통시간

2차측 클램프 캐패시터(C_{CLP})용 제어스위치 S5의 도통시간 t_c을 변화시키면 클램프 캐패시터에 흐르는 전류 I_c, 1차전류의 크기 및 파형, 환류구간의 리셋 상태, 2차측 정류파형의 유효 듀티싸이클, 컨버터 효율 등에 큰 영향을 미친다.

지상 레그의 스위치들이 충분한 ZCS 동작이 이루어지도록 환류구간의 1차전류를 완전히 리셋 하는데 요하는 2차측 클램프 스위치의 최소 도통시간 t_c는 다음의 식으로 나타낼 수 있다[8].

$$t_c \geq \frac{n^2 L_{LK}}{V_C} I_{o(max)} \quad (1)$$

여기서 V_C : 클램프 캐패시터의 전압

I_o : 출력전류

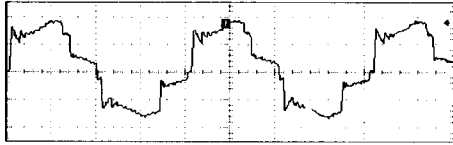
L_{LK} : 누설리액턴스

n : 변압기의 권수비이다.

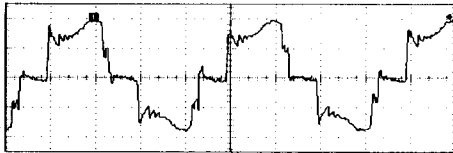
클램프 스위치의 도통시간 t_c에 의해 1차전류의 리셋 상태가 달라진다.

그림 2(a)의 경우는 t_c를 최적치 보다 적게 한 경우로서, 환류구간에서 1차전류는 기존의 ZVS 컨버터 전류

파형보다는 상당히 저감된 형태이나 완전히 영의 값으로 리셋되지 못하고 일정한 크기의 전류가 환류한다. 그러므로 이 경우 컨버터 지상 레그 스위치는 완전한 ZCS 동작이 이루어지지 못하게 된다. 한편, 그림 2(b)의 경우는 적절한 t_c 로 구동한 경우인데 환류 구간의 1차전류는 완전히 영이 되고 있음을 알 수 있다.



(a) t_c 가 부적절한 경우



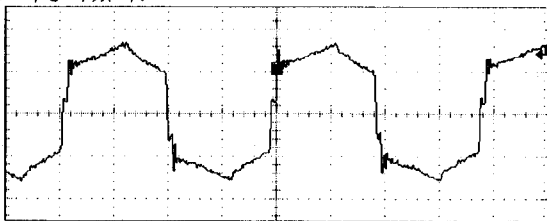
(b) t_c 가 적절한 경우

그림 2 t_c 값의 변화에 따른 1차측 전류의 파형(4A/div., 5 μ S/div.)

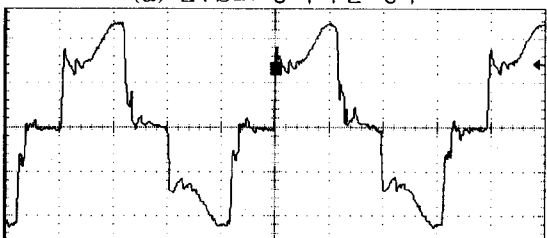
구동 스위치의 S5의 도통시간 t_c 의 변화는 또한 2차측 정류파형의 유효듀티사이클에 영향을 미친다. t_c 를 크게 하면 유효 듀티사이클은 증가되지만 클램프 캐패시터의 전류 I_c 도 증가하여 클램프 스위치의 도통손실이 증가되고 소자의 정격이 커지게 된다. 그러므로 클램프 스위치의 도통손실을 줄이기 위해 t_c 는 가급적 적은 값으로 동작시키는 편이 바람직하다.

3. 실험 결과

컨버터의 입력전압은 140V, 출력전압 55V, 출력 500W, 스위칭주파수 50kHz로 하였고, 스위칭소자로는 IGBT(TOSHIBA MG50J2YS50)를 사용하였다. 클램프 캐패시터 제어용 스위치 S5에는 Power MOSFET(IRF250)을 사용하였다. PS(Phase-Shift) 제어신호를 발생시키기 위해 전용 제어 IC인 UC3875를 이용하였다.



(a) ZVS로 동작시킨 경우

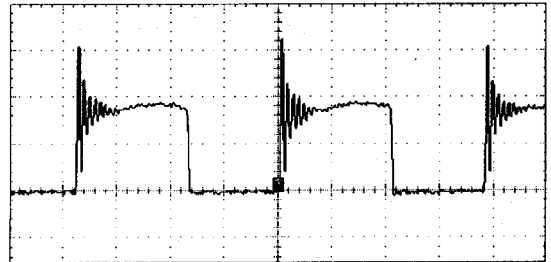


(b) 2차 능동클램프 동작의 경우

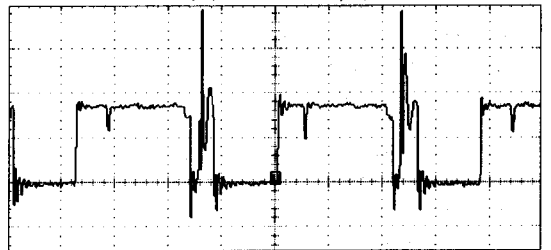
그림 3 변압기 1차전류 파형 (4A/div., 5 μ S/div.)

그림 3은 컨버터 변압기 1차전류 파형을 관측한 것이

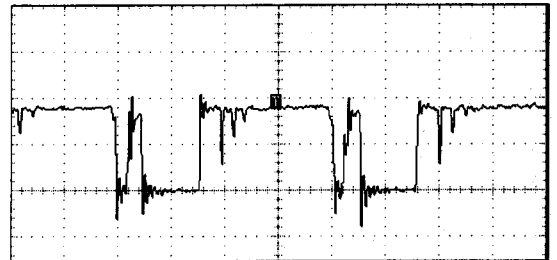
다. 그림 3(a)는 컨버터를 일반적인 ZVS 모드로 동작시킨 경우의 1차전류 파형이다. 그림 3(b)는 본 컨버터의 1차전류 파형인데 그림 3(a)의 경우와 비교해 보면 지상 레그 스위치들의 ZCS를 위해 환류구간의 1차전류를 거의 영의 값으로 리셋시키고 있으며, 1차전류의 리셋 시간이 극히 짧아지는 특성을 나타내고 있다. 그림 4는 컨버터회로의 변압기 2차측 정류된 전압 V_{res} 의 파형을 관측한 것이다.



(a) ZVS 컨버터



(b) 기존의 2차 능동 클램프 컨버터



(c) 제안한 컨버터

그림 4 정류전압 V_{res} 의 파형 (50V/div., 2.5 μ S/div.)

그림 4(a)는 컨버터를 ZVS 모드로 동작시킨 경우의 V_{res} 파형인데, 변압기 권선의 캐패시턴스 및 회로 배선 등의 부유 캐패시턴스와 변압기 누설리액턴스의 공진에 의한 링킹 파형이 상당히 나타나고 있다. 이 링킹 펄스의 높은 피크치로 인하여 정류다이오드의 전압 스트레스가 매우 커지게 되고 상대적으로 정격치가 큰 것을 사용해야하는 불리함이 있다.

그림 4(b)는 기존의 2차측 능동 클램프 방식 컨버터의 V_{res} 파형을 나타낸 것이다. 그림 4(a)의 경우에 보이는 파워링 구간의 심한 링킹은 사라졌으나 이번에는 S5를 턴 온 하여 클램프 캐패시터를 방전하는 t_c 의 구간에 피크 고전압이 링킹과 겹쳐서 나타나고 있으며, 이 피크 펄스 및 링킹펄스는 t_c 값을 크게 하면 더 증가된다. 이 점은 그림 4(a)의 경우와 마찬가지로 정류다이오드의 전압스트레스를 가중시킨다.

그림 4(c)는 본 컨버터의 V_{res} 파형인데 파워링 구간 및 t_c 구간의 고전압 피크펄스와 링킹을 효과적으로 경감시킬 수 있음을 알 수 있다. 그림 4(c)는 t_c 를 약 1 μ S 정도로 제어하고 있는 경우이나, 실험한 컨버터는 회로의 조건에 맞추어 t_c 를 0.5 μ S~3 μ S 범위에서 자유롭게 조절하는 것이 가능하였다.

그림 5는 t_c 를 약 2.6 μ S로 동작시킨 경우의 1차전류

파형인데 t_c 가 커진 만큼 1차전류의 리세트 시간이 짧아지고 환류 구간의 1차전류를 완벽하게 영에 가깝게 리세트 시키고 있음을 알 수 있다. 또한 이 경우는 V_{res} 의 듀티싸이클에 t_c 가 더해져 유효듀티싸이클이 증가하므로 출력전압의 평균치, 컨버터의 출력 등이 증가하는데 그로 인해 그림 5의 1차전류도 매우 증가된 것을 알 수 있다.

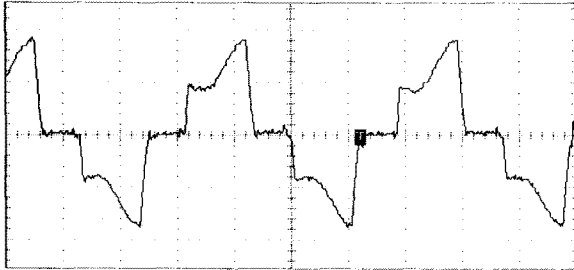


그림 5 t_c 를 크게 한 경우의 1차전류 파형
(10A/div., 5 μ S/div.)

본 컨버터의 측정된 효율은 91%로서 상당히 높은 값을 나타내었다. 이는 본질적으로 ZVZCS 동작에 기인한 바가 크며 본 컨버터에서 2차 능동클램프 캐패시터 제어 스위치 S5의 도통 시간 t_C 는 1 μ S 정도로서 극히 짧게 하였기 때문에 S5의 하드 스위칭 손실, 저항, 가포화리액터 등에서의 전력손실은 무시할 수 있는 정도이며 효율에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

ZVS PS FB DC-DC컨버터에서 지상 레그 스위치들의 ZCS를 달성하기 위해 변압기의 2차측에 능동 클램프 캐패시터 제어회로를 부가한 PS FB ZVZCS DC-DC 컨버터는 우수한 ZCS 특성을 지니고 있으나 클램프 캐패시터의 방전제어시 2차측 정류된 전압 파형에 고전압 피크펄스 및 링킹이 첨가되어 정류다이오드 등에 전압스트레스를 증가시키고 아울러 EMI/RFI가 증가될 우려도 있다. 본 논문에서는 기존의 2차측 능동 클램프 회로에 가포화리액터, FRD, R 등을 추가한 새로운 구성의 2차 능동클램프 방식 PS FB ZVZCS DC-DC 컨버터 회로를 제안하고 시작품을 제작하여 실험하고 그 동작특성을 고찰하였다. 2차 능동클램프 회로 요소에 포함된 저항, 가포화리액터 등에서의 전력손실 및 캐패시터 제어스위치 S5의 스위칭 손실 등은 그리 크지 않아 컨버터 효율에 큰 영향을 미치지 않는다. 컨버터의 측정된 효율은 91%로 높게 나타났으며 기존의 컨버터의 우수한 특성을 살리면서도 클램프 캐패시터의 방전 구간에 발생하는 고전압 피크 펄스와 링킹을 대폭 경감시킬 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 추병호, 이병국, 유상봉, 현동석, "새로운 2차측 클램프 회로를 사용한 소프트 스위칭 Full-Bridge PWM DC/DC 컨버터", 대한전기학회논문지 제47권 6호, pp.783~787, 1998.
- [2] 김은수, 계문호, 조기연, 김윤호, 윤병도, "도전손실저감을 위한 새로운 소프트 스위칭 FB DC-DC 컨버터", 대한전기학회논문지 제47권 2호, pp.175~180, 1998.
- [3] Xinbo RUAN, Yangguang YAN, "An Improved Phase-Shifted Zero-Voltage and Zero-Current Switching PWM Converter", IEEE APEC '98 Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp.811~815, 1998.
- [4] Jung-Goo Cho, Juan A. Sabate, Guichao Hua, Fred C. Lee, "Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full-Bridge PWM Converter for High-Power Applications", IEEE Trans. on Power Elect. Vol.11, No.4, pp.622~628, July 1996.
- [5] 백주원, 조정구, 정창용, 유동욱, "변압기 보조권선을 이용한 새로운 영전압 영전류 스위칭 풀 브리지 DC/DC 컨버터", 대한전기학회논문지 제47권 7호, pp.935~940, 1998.
- [6] R. Redl, N. O. Sokal, and L. Balogh, "A Novel Soft Switching Full Bridge dc/dc Converter : Analysis, Design, Considerations, and Experimental Results at 1.5kW, 100kHz", IEEE PESC Rec., 1990, pp.162~172.
- [7] David J. Hamo, "A 50W 500kHz Full-Bridge Phase-Shift ZVS Isolated DC to DC Converter Using the HIP4081A", Harris Semiconductor AN9606, April 1995.
- [8] Jung-Goo Cho, Chang-Yong Jeong, "Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full-Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp", IEEE Trans. on Power Elect. Vol.13, No.4, pp.601~607, July 1998.