

환류 다이오드의 전압스트레스가 강하된 ZCS-PWM Converter

김명오*, 김영석*, 이건행*
*인하대학교 전기공학과

ZCS-PWM Converter dropped Voltage Stress of Free-Wheeling Diode

Myung-O Kim*, Young-Seok Kim*, Gun-Haeng Lee*
*Dept. of Electrical Engineering of Inha University

Abstract - This paper presents a boost circuit topology driving in high - frequency. It solves the problem which arised from hard-switching in high-frequency using a period of resonant circuit and operating under the principle of ZCS turn-on and ZCZVS turn-off commutation schemes. In the existing circuit, it has the high voltage stress in free-wheeling diode. But in the proposed circuit, it has voltage stress which is lower than voltage stress of existing circuit with modifying a location of free-wheeling diode. In this paper, it explained the circuit operation of each mode and the waveform of each mode. Also the experiment result compares the existing voltage stress of free-wheeling diode with the proposed voltage stress of that.

1. 서 론

최근들어, PWM DC-DC 컨버터는 고전력 출력과 제어의 용이성 때문에 넓은 범위에서 다양하게 사용되고 있다. 스위칭 주파수의 증가는 더욱더 작은 크기의 인덕터와 캐패시터를 사용하게 한다. 그러나, 스위칭 주파수의 증가는 스위칭 손실이나 EMI 노이즈를 발생시킨다.[1,2] 고주파시 hard-switching으로 구동하게 되면 스위칭 손실은 더욱더 증가하게 되고, 안정도가 불안해진다.[3] 반면에 soft-switching PWM 기술은 턴온, 턴오프시 영전류 또는 영전압 스위칭 구동을 하기 때문에 이러한 문제를 충분히 해결한다. 스위칭 문제와 관련하여 SMPS의 기능을 향상시키기위해 다양한 방식의 soft-switching 회로가 제안되었다.[4] 이러한 대부분의 회로는 주 스위칭 소자의 공진모드를 만들기 위해서 보조 스위칭 소자를 사용하였다.

본 논문에서는 제안된 회로가 기존의 회로가 가지는 환류 다이오드의 높은 전압스트레스를 감소시켰다. 동작모드는 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, 최대출력 150W 까지 회로를 제작하여, 100kHz에서 실험하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터

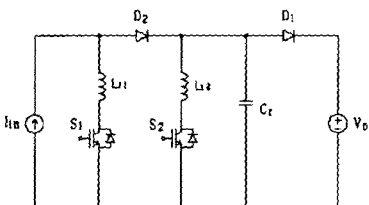


그림 1. 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터

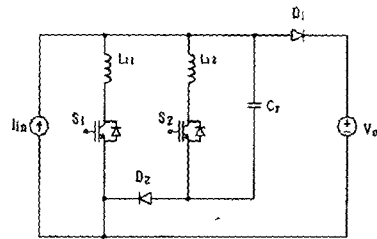
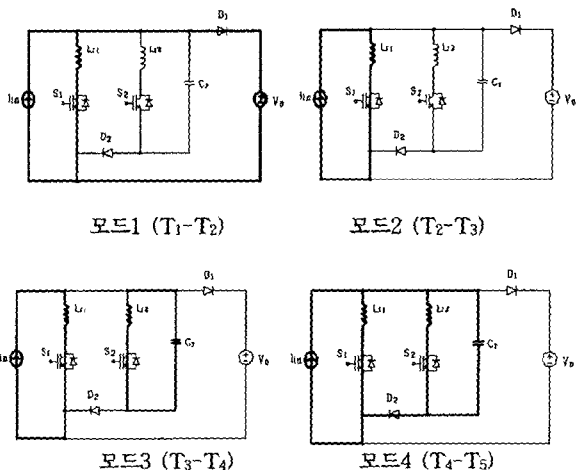


그림 2. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터

그림 2의 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터회로는 그림 1의 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터회로[5]에 비해서 회로의 부품수는 같으나, 환류다이오드(D2)의 위치를 수정함으로써 전압스트레스가 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터 회로의 환류다이오드 전압스트레스에 비해서 떨어지게 된다. 다이오드의 전압스트레스가 떨어지게 되면 다이오드의 내압이 작은 것을 사용할 수 있으므로, 대량의 SMPS를 제작할 때는 경제적으로 큰 이익을 볼 수 있다.

2.2 동작원리 및 회로해석

제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터회로의 전체적인 동작은 그림 3과 같이 9개의 동작 모드로 나눌 수 있고, 각 모드별 주요 파형은 그림 4와 같다. 모드별 정상상태 해석을 위해서, 모든 반도체 소자들은 이상적이며, 출력전류(I_{in})는 일정하고, 공진 캐패시터 Cr의 전압은 출력전압 V_o와 동일하다고 가정한다.



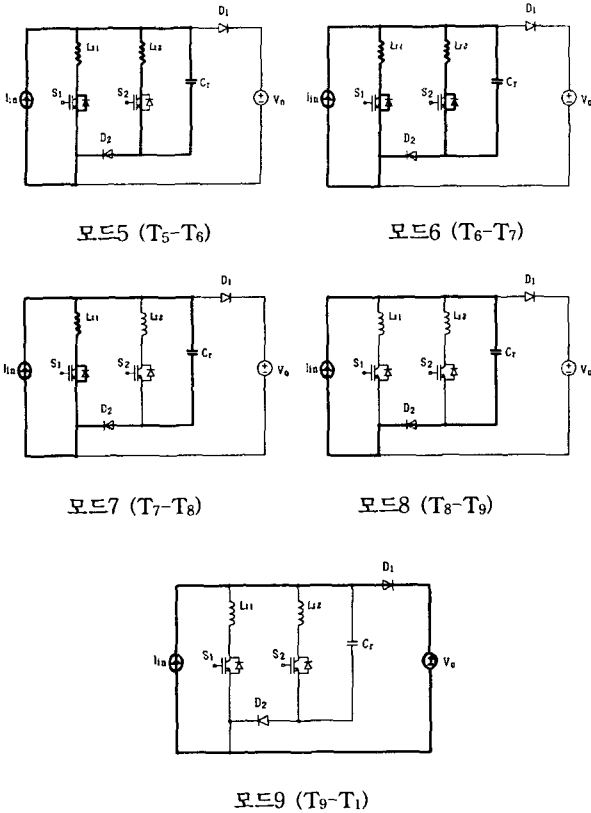


그림 3. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터의 동작모드

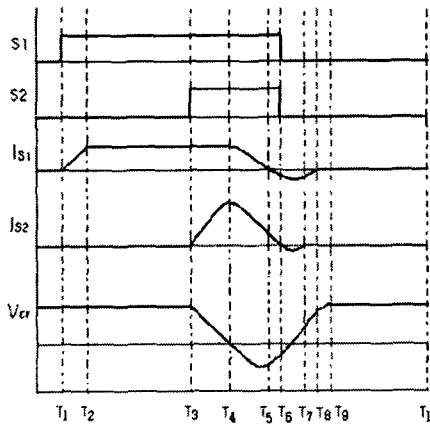


그림 4. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터의 각 부 파형

MODE 1(T₁-T₂) : 전 모드에서 C_r 는 v_o 만큼 충전되어 있는 상태이고, I_m 은 D_1 을 통하여 흐르고 있다. $T=T_1$ 에서 주 스위치(S_1)가 ZC 상태로 on되고 i_{Lr1} 은 0에서 I_m 이 될 때까지 서서히 증가한다.

MODE 2(T₂-T₃) : $T=T_2$ 에서 i_{Lr1} 이 I_m 까지 상승하고 D_1 은 off가 되면서 I_m 은 주 스위치(S_1)을 통하여 흐른다.

MODE 3(T₃-T₄) : $T=T_3$ 에서 보조스위치(S_2)가 L_{r2} 의 영향으로 ZC상태로 on되고, L_{r2} 와 C_r 사이에서 공진이 일어난다. $T=T_4$ 일때 $v_{cr}=0$ 이 된다.

MODE 4(T₄-T₅) : $T=T_4$ 에서 $v_{cr}=0$ 이 되면 D_2 가 on된다. i_{Lr1} 은 서서히 감소하여 $T=T_5$ 일때 i_{Lr1} 은 0이 된다.

MODE 5(T₅-T₆) : $T=T_5$ 일때 주스위치(S_1)의 Diode를 통하여 흐르기 시작한다. $T=T_6$ 일때 i_{Lr2} 는 0이 된다.

MODE 6(T₆-T₇) : $T=T_6$ 일때 보조스위치(S_2)의 Diode를 통하여 흐르기 시작한다. 이 구간에서 주스위치(S_1), 보조스위치(S_2)를 off한다. $T=T_6$ 에서 i_{Lr2} 는 0이 된다.

MODE 7(T₇-T₈) : $T=T_8$ 에서 주스위치(S_1)의 Diode는 off되고 공진이 끝난다.

MODE 8(T₈-T₉) : C_r 는 서서히 충전한다. $T=T_9$ 일때 v_{cr} 은 V_o 값을 가지게 되고 D_1 은 on이 된다.

MODE 9(T₉-T₁) : $T=T_9$ 일때 D_1 은 on이 되면서 I_m 은 D_1 을 통하여 V_o 로 흐른다. $T=T_1$ 일때 주스위치(S_1)이 on된다.

표 1. 스위칭소자의 스위칭 소자의 조건

반도체 소자	턴 온 상태	턴 오프 상태
주 스위치	ZCS	ZCZV
보조 스위치	ZCS	ZCZV

2.3 실험결과

제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터의 동작파형을 확인하기 위해서, 스위칭 주파수 100kHz로 구동되는 시스템을 제작하였다. 실험에 사용된 부품의 명칭과 수치는 표 2와 같다.

표 2. 실험에 사용된 소자의 파라미터

Component	Value/Model
입력 전압(V_{in})	30[V]
출력 전압(V_o)	50[V]
출력 전류(I_o)	1~3[A]
최대 출력(P_o)	150W
공진 캐패시터(C_r)	25nF
입력 인덕터(L)	1.9mH
공진 인덕터(L_{r1})	15μH
공진 인덕터(L_{r2})	12μH
주 스위칭 소자(S_1)	IRF640
보조 스위칭 소자(S_2)	IRF640
정류용 다이오드	PBS 2506
다이오드(D_1, D_2)	D25-04C

그림 5는 주스위칭 소자 전압, 전류 실험파형을 나타내었고, 그림 6은 보조스위치 소자 전압, 전류 실험파형을 나타낸다. 그림 7은 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터의

환류다이오드 D_2 가 가지는 전압 스트레스 파형을 나타낸 것이고, 그림 8은 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터의 환류다이오드 D_2 의 전압스트레스 파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 제안된 회로의 환류다이오드 D_2 의 전압스트레스는 기존의 회로에서의 환류다이오드 D_2 의 전압스트레스보다 낮은 전압스트레스를 가지게 된다는 것을 볼 수 있다.

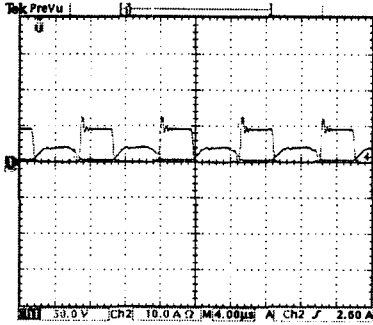


그림 5. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터회로의 주스위치 전압,전류 파형(4µs/div)

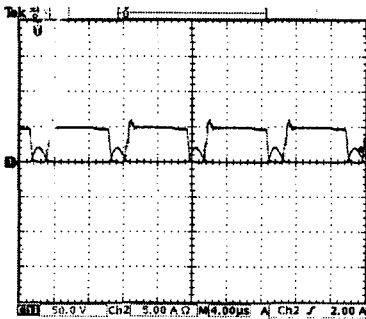


그림 6. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터회로의 보조스위치 전압,전류 파형(4µs/div)

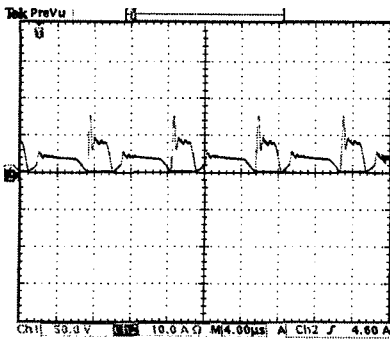


그림 7. 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터회로의 환류다이오드 전압스트레스 파형(4µs/div)

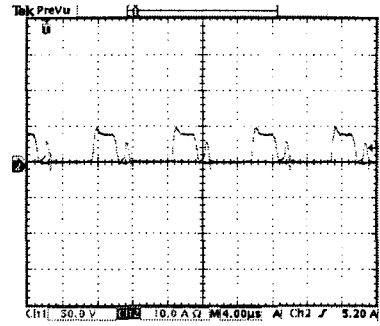


그림 8. 제안된 ZCS-PWM Boost 컨버터회로의 환류다이오드 전압스트레스 파형(4µs/div)

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 ZCS-PWM Boost 컨버터와 부품 수는 갖게 설계하면서 환류다이오드의 전압스트레스를 강하시킨 개선된 ZCS-PWM Boost 컨버터를 제안하였다. 그러므로써, SMPS 제작시 내압이 작은 다이오드를 사용해서 경제적 이익을 얻을 수 있다. 150W, 100kHz ZCS-PWM Boost 컨버터를 설계하여 실험 파형을 제시함으로써 제안된 회로의 유용성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.Pietkiewicz and D.A.Tollik, "Snubber circuit and mosfet paralleling considerations for high power boost-based power-factor correctors", in proceeding of INTELEC'95, pp 41-45, 1995
- [2] Ching-Jung.tseng, etc, "A Passive lossless Snubber cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters", IEEE Trans. on IE, Vol.45, No4, pp 593-601, Aug. 1998
- [3] Xuezi WU, Xinmin JIN, Lipei HUANG and Guang FENG, "A Lossless Snubber for DC-DC Converter and Its Application in PFC", Proceedings of IP EMC 2000, Vol.3, pp 1144-1149, 2000
- [4] Masa aki Shimada and Mantaro Nakamura, "Single - Switch Auxiliary Resonant Converters", Proceeding of PCC nagaoka, Japan, pp 811-814, 1997
- [5] Fabio T.Wakabayashi, Marcelo J. Bonato, and Carlos A. Canesin, "Novel High-Power-Factor ZCS-PWM Preregulators", IEEE Trans. Vol.48, NO.2, pp322-333, 2001