

ZCT Boost 컨버터의 스위치 손실 저감에 관한 연구

정명섭*, 김용*, 배진용**, 계상범***, 이병송§
 *동국대학교, **특허청, ***(주)메디슨, §한국철도기술연구원

A ZCT(Zero-Current-Transition) Boost Converter with Reduced switch losses

Myung-Sub Jung*, Yong Kim*, Jin-Yong Bae**, Sang-Bum Gye***, Byung-Song Lee§
 *Dongguk Univ, **Korean Intellectual Property Office, ***Medison Co.,Ltd, §KRRI

Abstract - This paper presents an improved ZCT (Zero-Current-Transition) PWM DC/DC Boost Converter without additional current stress and conduction loss on the main switch during the resonance period of the auxiliary cell. The auxiliary cell consists of a resonance inductor, a resonant capacitor, an auxiliary switch and the Zero-Current-Switching ranges of the main and the auxiliary switch of the proposed converters are entirely achieved by operating the auxiliary cell. Then Improved ZCT soft switching converter will be discussed. Therefore, the proposed converter has a high efficiency. To show the superiority of this converter is verified through the experiment with a 640W, 50kHz prototype converter.

1. 서 론

최근 전력용 반도체 소자의 급속한 발전으로 고속 스위칭과 대용량의 능력을 갖는 반도체 스위치 소자에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한, 전력 변환 시스템의 스위칭 주파수를 높임으로써 시스템의 경량화가 이루어지고 있으나, 스위칭 시 발생하는 손실(turn-on, turn-off 시)이 저주파로 동작할 때에 비해 전체 시스템에 미치는 영향이 더욱 커지게 되었다. 따라서 공진을 일으키는 소자 즉, 인덕터 및 커패시터를 회로에 추가하여 영전압 스위칭(ZVS), 영전류 스위칭(ZCS), 영전압·영전류 스위칭(ZVZCS), 영전압 천이 스위칭(ZVT) 및 영전류 천이 스위칭(ZCT) 방식들의 제안으로 이러한 스위칭 손실을 줄일 수 있다.[1-6]

본 논문에서는 개선된 ZCT(Zero Current Transition) Boost 컨버터에 대하여 논하였다. 기존의 ZCT Boost 컨버터의 일부는 주 스위치의 영전류 전이를 이루기 위해 큰 공진전류가 주 스위치를 통하여 흐르게 되므로 주 스위치의 전류 스트레스의 증가와 도통 손실의 증가에 따른 손실을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 기존의 토폴로지를 개선시켜 주 스위치에 전류 스트레스를 저감시키고, 부가적인 전압 스트레스가 없는 항상된 효율을 가진 컨버터를 구현하고자 한다. 본 논문에서는 제안된 컨버터의 동작원리 및 특성에 대해서 논하였으며, 검증용 위해 IGBT 스위치소자를 사용하여 640W급 시작품을 제작, 50kHz에서 실험하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 회로

그림 1은 제안된 컨버터의 회로도이다. 기존의 컨버터에서 토폴로지를 변화시켜 주 스위치의 전류스트레스를 저감시키며, 부가적 전압스트레스도 없는 컨버터를 구현하였다.

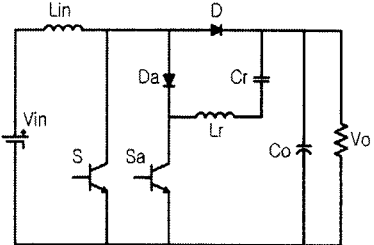


그림1. 제안된 ZCT 컨버터 회로

2.2 이론적인 파형 및 동작특성

그림 2, 3 은 개선된 ZCT DC/DC Boost 컨버터의 모드별 동작회로 및 이론적인 각부 파형을 나타낸다. 모드별 정상상태 해석을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 1) 모든 소자는 이상적이다.
- 2) 스위치 및 다이오드에 흐르는 전류 리플은 무시한다.
- 3) 스위치 양단의 전압 리플은 무시한다.
- 4) 입력 측 승압 인덕터는 충분히 커서 스위칭 기간 동안 입력 전류는 일정하다.
- 5) 출력 측 평활용 커패시터는 충분히 크다고 가정한다.

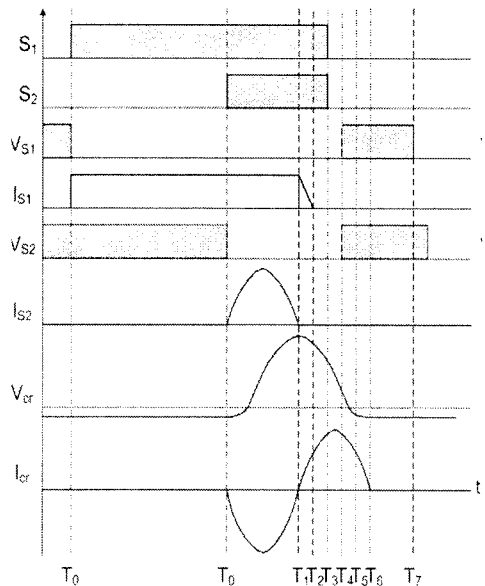


그림 2. 회로 모드별 동작 파형

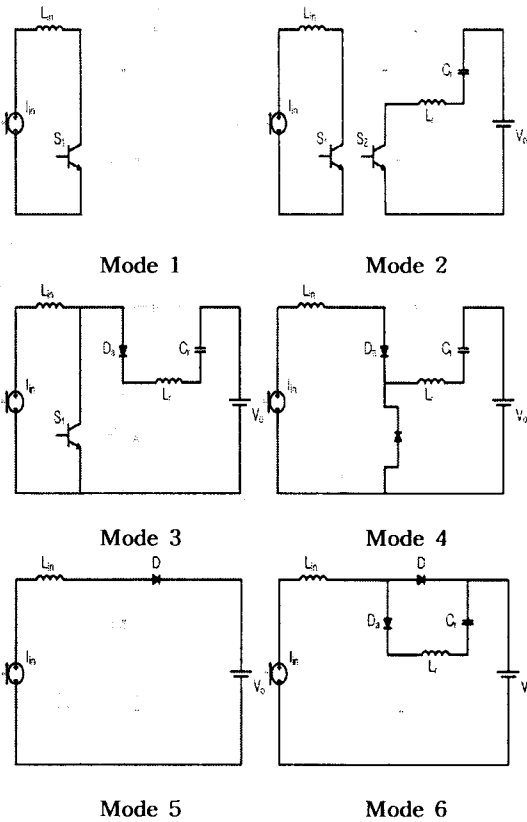


그림 3. 이론적인 회로 각부 모드

1) 모드 1 (T₀ ~ T₁)

입력전류가 주 스위치로만 흐르고 있는 단순한 PWM Boost 컨버터로 구동된다.

$$\frac{d i_{L_m}}{dt} = \frac{V_{L_m}}{L_{in}} \quad (1)$$

$$\frac{d V_{C_o}}{dt} = -\frac{V_{C_o}}{C_o} \quad (2)$$

2) 모드 2 (T₁ ~ T₂)

이 구간에서는 보조 스위치가 on 되기 시작하는 구간으로 공진 인덕터와 공진 커패시터가 공진을 일으킨다. 공진 커패시터는 이 구간이 끝날 때 까지 충전되고 공진 커패시터 전압은 최대값까지 상승한다.

3) 모드 3 (T₂ ~ T₃)

이 구간에서는 공진 인덕터의 전류방향이 바뀌면서 다이오드 D_a에 전류가 도통된다. 보조스위치에는 전류가 흐르지 않으며, 주스위치의 전류는 점차 작아진다. 보조 스위치에 전류는 역 병렬 다이오드를 통하여 흐를 수 있는 펄스가 형성되지만, 주 스위치와 다이오드 D_a의 전압강화의 상쇄로 역 병렬 다이오드에 전류가 흐르지 않는다.

4) 모드 4 (T₃ ~ T₅)

이 구간에서는 보조스위치의 역 병렬 다이오드가 도통되고, 주 스위치와 보조 스위치 둘 다 영전류 스위칭이 되는 구간이다.

기존 컨버터의 회로에서는 이러한 영전류 현상이 되는

구간에서 전류가 역으로 흘렀지만, 개선된 컨버터에서는 전류가 흐르지 않아 손실을 저감시킬 수 있다.

5) 모드 5 (T₅ ~ T₆)

다이오드 D_{a1}이 도통하고 주 스위치와 보조 스위치가 동시에 턴-오프하는 구간이다.

6) 모드 6 (T₆ ~ T₇)

계속해서 주스위치와 보조 스위치가 턴 오프되는 구간으로 입력전압과 승압 인덕터의 전압이 중첩되어 다이오드 D를 통하여 부하 측으로 전력이 전달되며, 단순한 PWM Boost 컨버터로 구동된다.

$$\frac{d i_{L_m}}{dt} = -\frac{1}{L_{in}} V_{C_o} + \frac{1}{L_{in}} V_{in} \quad (3)$$

$$\frac{d V_{C_o}}{dt} = -\frac{1}{C_o} i_{L_m} + \frac{1}{C_o} V_{C_o} \quad (4)$$

2.3 실험결과

제한된 방식의 타당성을 검증하기 위해 50kHz, 640W DC/DC Boost 컨버터를 제작하여 실험하였다. 표 1은 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

입력 전압 (V _{in})	DC 200V
출력 전압 (V _o)	DC 400V
최대 출력 (P _o)	640W
인덕터 (L _{in})	900uH
주 스위치 (S)	GT60M301, TOSHIBA
보조스위치 (S _a)	GT60M301, TOSHIBA
다이오드 (D)	DSEI 30. IXYS
보조다이오드(D _a)	SF20L60U. Shindengen
공진 인덕터 (L _r)	10uH
공진 커패시터 (C _r)	10nF
출력 커패시터 (C _o)	940uF
스위칭 주파수 (f)	50kHz

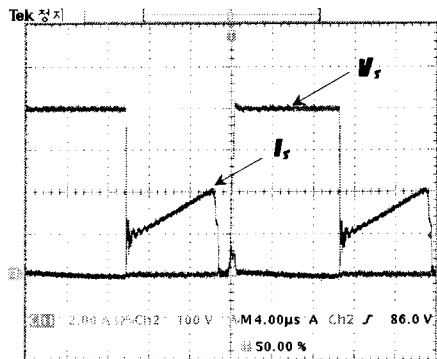


그림 4. ZCT Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 파형 (4us)

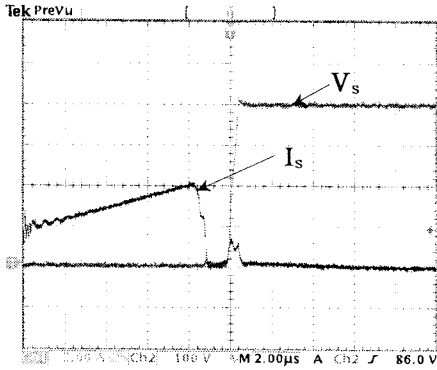


그림 5. ZCT Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 확대 파형 (2us)

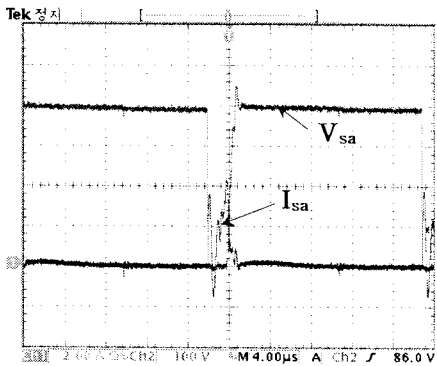


그림 6. ZCT Boost 컨버터의 보조 스위치 전압·전류 파형

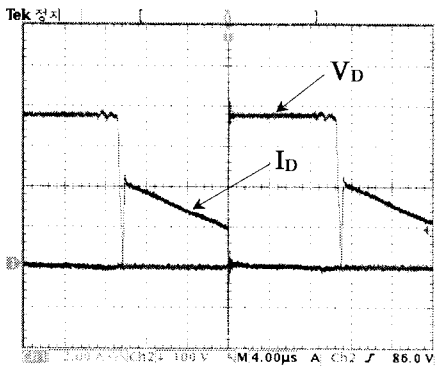


그림 7. 기존의 ZCT Boost 컨버터의 주 다이오드 전압·전류 파형

그림 4는 개선된 ZCT Boost 컨버터의 주스위치의 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 주 스위치의 턴-오프 시 기존의 일부 ZVT 컨버터에서는 전류가 역으로 흘러 전체적인 효율이 저감되었지만, 여기서는 주 스위치가 영전류가 이루어짐을 볼 수 있다. 그림 5는 주 스위치의 턴-오프 구간을 확대하여 본 파형이다.

그림 6는 보조스위치의 전압 및 전류의 파형을 나타낸다. 큰 공전전류가 흐르지 않으며, 턴-오프 시 준영전류 스위칭을 한다.

그림 7은 주 다이오드의 전압 및 전류의 파형을 나타

낸다. 기존의 컨버터에 비해 턴 온 시의 전류 링잉이 적다는 장점이 있다.

그림 8은 기존의 컨버터와 개선된 컨버터의 효율을 비교한 결과이다. 본 연구에서 제안한 컨버터의 효율이 전 부하영역에 걸쳐 좋은 효율 특성을 지니고 있다.

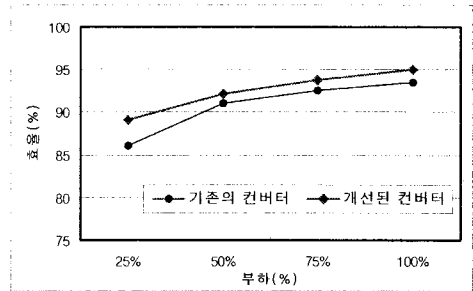


그림 8. 효율 비교

3. 결 론

본 논문에서는 스위치 손실에 최소화를 위한 ZCT DC/DC Boost 컨버터를 제안하였다. 기존 컨버터에 비해 큰 공전전류가 흐르지 않기 때문에 스위치의 전류 스트레스 저감과 부가적인 전압 스트레스가 없다. 따라서, 제안된 컨버터는 기존의 컨버터에 비해 좋은 효율을 나타내므로 IGBT를 사용하는 대전력, 고전압, 고밀도 전력 변환장치에 응용할 수 있을 것이라고 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] G. Hau, C. Leu, and F. C. Lee, "Novel Zero Current Transition PWM Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 9, no.6, pp. 601-606, 1992
- [2] Nikhil Jain, Praveen K. Jain, Fellow, "A Zero Voltage Boost Converter Employing a Soft Switching Auxiliary Circuit With Reduced Conduction Losses", IEEE Transactions on Power Electronics, pp. 1301-39, 2004
- [3] G. Spiazzi, P. Mattavelli, "A new family of zero-current-switching variable frequency DC-DC converter," Power Electronics Specialists Conference, IEEE 31st Annual, vol.2, pp 604-609, 2000
- [4] 최항석, 조보형, "개선된 영전류 과도상태 PWM 스위치 셀", 대한전기학회, 하계학술대회, 2000
- [5] Hang-Seok Choi, B. H. Cho, "Novel zero current-switching (ZCS) PWM switch cell minimizing additional conduction loss," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 49, Issu 1, pp 165-172, Feb 2002
- [6] Dong-Yun Lee, Min Kwang Lee, Dong-Seok Hyunk, Ick Choy, "New Zero current switching PWM DC/DC Converters Without Current Stress," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 18, no.1, pp. 95-104, 2003