

# 고승압 인터리빙 ZVT 컨버터

박요한, 최세완  
서울과학기술대학교

## High Step-up Interleaved ZVT Converters

Yohan Park, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 무정전 전원장치, 연료전지 등 고승압 응용에 적합한 새로운 인터리빙 ZVT 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 0.7의 듀티로 약 10배 승압이 가능하며 스위치와 다이오드의 전압 정격이 기존 부스트 컨버터보다 약 1/3로 감소되어  $R_{DS(ON)}$ 이 작은 소자를 사용할 수 있다. 또한 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프 동작이 가능하고 보조 공진 회로에 의한 공진 모드로 기존 방식에 비해 스위치의 턴오프 손실이 감소한다. 1.5kW의 시제품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 무정전 전원장치, 친환경자동차 및 태양광, 연료전지 등 신재생 에너지의 응용에서 시스템의 대형화에 따라 DC-DC 컨버터의 대용량 및 고승압의 요구가 증대되고 있다<sup>[1]</sup>.

기존의 인터리빙 다상 부스트 컨버터는 전류부담을 줄여 대용량화하고 필터의 사이즈 감소가 가능하지만 고승압이 요구되는 경우에는 출력전압의 상승에 따라 스위치의 전압정격도 상승하며, 큰 듀티 사용으로 다이오드 역회복에 의한 서지발생 및 제어 성능이 저하되는 문제가 있다.

기존에 제안된 고승압 컨버터로서 결합 인덕터를 사용하는 방법<sup>[2]</sup>은 누설 인덕턴스의 영향으로 인해 고효율을 달성하기 어렵고, 또한 스위치 커패시터 방식<sup>[3]</sup>은 인덕터를 사용하지 않고 높은 전력밀도가 가능하지만 출력전압 조정을 위해 효율이 저하되는 문제가 있다. 최근에 CCM에서도 ZVS 턴온이 가능하고 낮은 듀티로도 고승압이 가능한 부스트 컨버터가 제안되었다<sup>[4]</sup>. 그러나 이 방식은 스위치 턴오프 손실이 큰 단점이 있다. 본 논문에서는 동일한 토폴로지를 바탕으로 보조회로의 공진을 이용하여 스위치의 턴오프 손실을 감소시키고 커패시턴스를 감소시킨 개선된 고승압 인터리빙 ZVT 컨버터를 제안한다.

### 2. 제안하는 컨버터

제안하는 컨버터는 그림 1에서 보듯이 주 회로로서 2개의 부스트 컨버터와 보조회로로서 2개의 LC 공진회로 그리고 출력측에 직렬 연결되는 2개의 다이오드 레그로 구성되어 있다. 저전압 측 레그는 그림 2와 같이 서로 180°의 위상차로 입력

인덕터의 전류를 인터리빙하기 때문에 전류 리플을 감소시킨다. 그리고 각 레그의 상·하측 스위치는 비대칭 상보적 스위칭 방식으로 출력전압을 제어하고 입력 인덕터와 보조 인덕터, 스위치의 내부 커패시터를 이용하여 DCM에서 뿐만 아니라 CCM에서도 자연스럽게 ZVS를 성취할 수 있으며 고전압 측의 다이오드 레그는 승압비를 높이고 소자들의 전압정격을 출력전압의 약 1/3로 낮추는 역할을 한다. 또한 그림 2에서 보듯이 보조 공진 회로에 의해 스위치 턴오프 손실이 감소하며 다이오드 전류 또한 ZCS 턴오프 스위칭으로 역방향 회복에 의한 서지가 거의 없다.

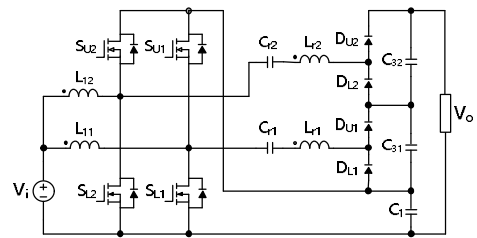


그림 1 제안하는 고승압 인터리빙 ZVT 컨버터

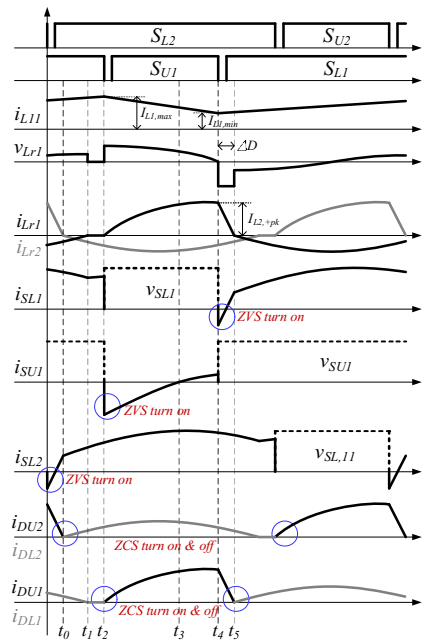


그림 2 제안하는 컨버터의 주요 파형(N=2, P=1)

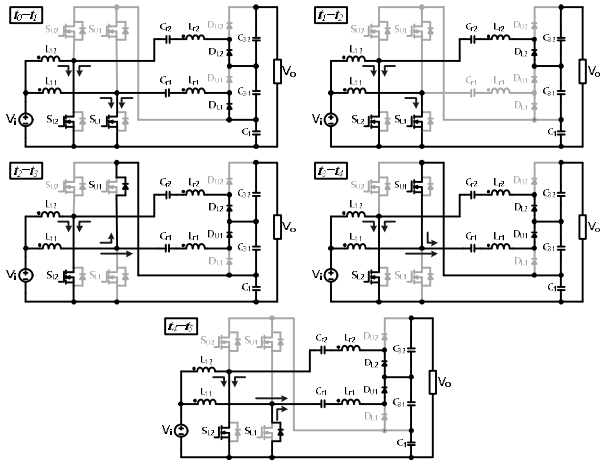


그림 3 제안하는 컨버터의 동작모드

제안하는 컨버터의 동작원리는 그림 2와 3에서 보듯이  $t_0$ 에서  $t_1$ 구간에서 하측스위치가 모두 턴온 상태로  $S_{L1}$ ,  $S_{L2}$ 에는 입력 인덕터 전류와 보조 인덕터 전류가 도통하고 있다. 이때  $C_r$ 와  $L_{r2}$ 가 공진회로를 구성하여 공진을 시작하고  $C_{r1}$ 과  $L_{r1}$ 은 공진이 끝나게 된다.

$$\omega_{r1} = \omega_{r2} = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

$$I_{Lr2}(t) = (V_{C1} + V_{C31}) \sqrt{\frac{C_{r2}}{L_{r2}}} \sin(\omega_{r2}(t - t_0)) \quad (2)$$

$$I_{Lr1}(t) = (V_{C1}) \sqrt{\frac{C_{r1}}{L_{r1}}} \sin(\omega_{r1}(t - t_5)) \quad (3)$$

$t_1$ 에서  $t_2$ 구간은  $C_{r1}$ 과  $L_{r1}$ 의 공진이 끝나고 하측스위치로 입력 인덕터 전류만 흐르게 되고 스위치가 턴오프 되면  $t_2$ 에서  $t_3$ 구간에서  $C_{r1}$ 과  $L_{r1}$ 이 공진을 시작하고  $t_3$ 에서  $t_4$ 구간에  $I_{Lr1}$ 의 공진 전류가  $I_{Lr1}$ 보다 커지면 부족한 전류를  $C_1$ 에서 상측 스위치  $S_{U1}$ 을 통해 공급하게 된다. 그리고 상측 스위치  $S_{U1}$ 이 턴오프 되면  $I_{Lr1}$ 은 흐르던 전류를 유지하기 위해 하측 스위치  $S_{L1}$ 의 내부 커패시터를 방전시키고 내부 다이오드로 도통하면서 ZVS 턴온 성취를 하게 된다.

### 3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양으로 제작한 후 동작을 검증하였다.

- $P_{out} = 1.5kW$  •  $V_{in} = 40V$  •  $V_{out} = 380V$  •  $f_s = 70kHz$
- 스위치 : IXYS IXTQ69N30P(300V, 69A, 49m $\Omega$ )
- 다이오드 : IR MUR820(200V, 8A, 25ns)
- 인덕터 :  $L_1=50\mu H$ (High flux core),  $L_r=4\mu H$ (MPP core)
- 커패시터 :  $C_1=C_3=30\mu F/250V$ ,  $C_r=2.2\mu F/275V$

그림 4 (a)와 (b)는 인덕터 전류가 CCM일 때 스위치( $S_{L1}$ ,  $S_{U1}$ )가 ZVS 턴온이 성취되었고, (c)와 (d)는 공진 회로에 의해 다이오드( $D_{L1}$ ,  $D_{U1}$ )가 ZCS 턴온 및 턴오프가 되었다. 효율은 전 부하 영역에서 92%이상의 고효율을 달성하였고 최대 1kW에서 96.2%의 효율을 달성하였다.

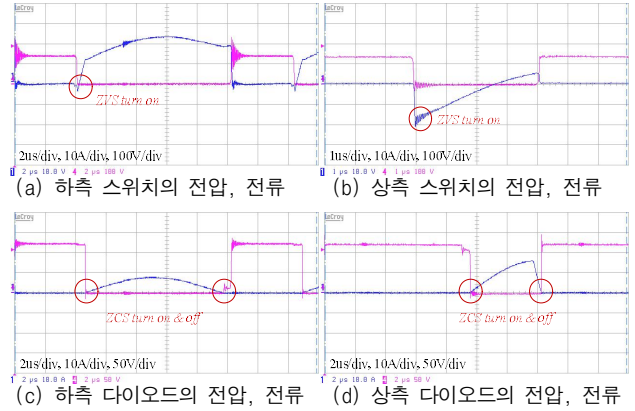


그림 4 제안하는 컨버터의 실험파형

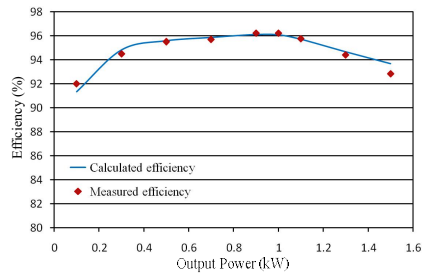


그림 5 측정효율



그림 6 1.5kW 시작품

### 4. 결론

본 논문에서는 무정전 전원장치, 연료전지 응용 등에 적합한 새로운 비절연 고승압 인터리빙 ZVT 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 CCM에서도 스위치의 ZVS 턴온이 가능하며 다이오드 ZCS 턴오프 동작으로 역방향 회복으로 인한 서지가 없다. 기존에 제안한 방식에 비해 공진을 적용함으로써 스위치의 턴오프 손실이 작고 커패시턴스가 작으며 듀티 손실을 감소시킬 수 있다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0014433)

### 참고 문헌

- [1] 최세완, "특집 : 대체에너지 발전시스템에서의 전력전자기술 - 연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지, 제 6권, 제 1호, pp.30-36, 2003년 8월.
- [2] K. Hirachi, M. Yamanaka, K. Kajiyama, and S. Isokane, "Circuit Configuration of Bidirectional DC/DC Converter Specific for Small Scale Load Leveling System", in Proc. IEE Power Conversion Conf., vol. 2, April 2002, pp. 603-609.
- [3] M. S. Makowski, "Realizability Conditions and Bounds on Synthesis of Switched-Capacitor DC-DC Voltage Multiplier Circuits", IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl., vol. 44, no. 8, pp. 684-691, Aug. 1997.
- [4] S. Park, S. Choi, "Soft-Switched CCM Boost Converters With High Voltage Gain for High-Power Applications," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 25, no. 5, pp. 1211 - 1217, May 2010.