

# 낮은 턴오프 전류를 갖는 비절연 고승압 ZVZCS DC-DC 컨버터

정병길, 최세완, 박요한\*  
 서울과학기술대학교, \*LG전자(주)

## Non-isolated High Step-up ZVZCS DC-DC Converter with Low Turn-off Current

Byoungkil Jung, Sewan Choi, Yohan Park\*  
 Seoul National University of Science and Technology, \*LG Electronics Inc.

### ABSTRACT

본 논문에서는 절연이 요구되지 않는 고승압 응용에 적합한 비절연 고승압 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 기존의 부스트 컨버터에 비해 약 2배의 승압비를 가지며 스위치와 다이오드의 전압 정격이 1/2로 감소되어  $R_{DS(ON)}$ 이 작은 소자를 선정할 수 있다. 또한 스위치의 ZVS 턴오프와 ZCS 턴오프가 성취되며 보조 회로의 공진을 이용함으로써 기존 방식에 비해 스위치의 턴오프 전류가 낮아져 스위칭 손실이 감소한다. 2kW의 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 태양광 및 연료전지 등 신재생 에너지, UPS의 응용에서 DC-DC 컨버터가 폭넓게 사용되고 있으며 고승압 및 고효율이 요구되고 있다. 고주파 변압기를 이용하여 고승압을 달성하는 경우 변압기로 인한 손실이 발생하며 부피 및 가격이 상승한다. 따라서 전기적인 절연이 요구되지 않는 응용에서는 변압기가 없는 비절연 고승압 컨버터를 사용하는 것이 유리하다. 일반적인 비절연 부스트 컨버터로 고승압을 얻기 위해서는 큰 듀티가 필요하고 이에 따른 스위치와 다이오드의 전압 및 전류 스트레스가 증가하며 기본적으로 하드스위칭 동작을 하기 때문에 고주파 동작에 제한이 있다. 기존의 비절연 고승압 컨버터로서 결합 인덕터 방식<sup>[1]</sup>은 입력전류 리플이 크며, 스위치드 커패시터 방식<sup>[2]</sup>은 고승압을 위해 소자수가 많아지는 등 기존의 방식은 수 kW급 이상의 용량에 적합하지 않다. 최근에 고승압 및 수 kW급 이상의 용량 증대가 가능하고 CCM에서도 ZVS 턴오프가 성취되는 비절연 고승압 PWM 컨버터<sup>[3]</sup>와 보조회로의 공진을 이용하여 턴오프 전류를 작게 개선한 공진 PWM 방식<sup>[4]</sup>이 새로이 제안되었다.

본 논문에서는 공진 PWM 방식의 보조회로 설계 방법을 제시하고 PWM 방식과의 비교·분석과 2kW 2상 인터리빙 컨버터로 시작품을 제작하여 효율 분석을 수행한다.

### 2. 제안하는 컨버터

그림1은 제안하는 컨버터의 기본 회로이다. PWM 방식과 공진 PWM(RPWM) 방식 모두 주회로인 부스트 컨버터와 보조 인덕터, 보조 커패시터, 두 개의 다이오드의 보조회로를 갖는 동일한 구조이며, 이 보조 회로로 인하여 출력 전압을 상승

시키고 DCM 뿐만 아니라 CCM에서도 ZVS를 성취할 수 있게 된다. PWM 방식에서는 보조 커패시터를 전압원으로 사용하기 위하여 큰 커패시턴스를 사용하기 때문에 필터 인덕터 전류와 보조 회로의 전류의 합이 하측 스위치의 턴오프 전류가 되나, RPWM 방식은 보조회로의 공진을 이용하며 하측 스위치 턴오프 전류가 필터 인덕터 전류로 제한이 되므로 그림 2에서 보듯이 PWM방식보다 스위치 턴오프 전류 및 다이오드  $di/dt$ 가 작아져 턴오프 스위칭 손실이 감소한다. 또한 RPWM 방식에서  $C_r$ 의 커패시턴스는 PWM 방식에 비해 약 1/20 작아지고 이에 따른 부피도 줄어든다. 그림 2와 3, 표 1에서 보듯이 듀티 손실 또한 작아져서 동일한 듀티에 대해 더 높은 출력 전압을 낼 수 있다. 그러나 상·하측 스위치의 턴오프 전류가 각각 하·상측 스위치의 ZVS 전류가 되는데 스위치 턴오프 전류가 낮아지는 만큼 ZVS 전류가 낮아지게 된다.

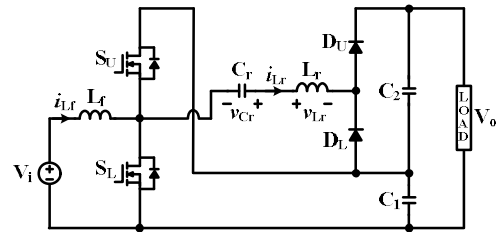


그림 1 비절연 고승압 ZVZCS DC-DC 컨버터

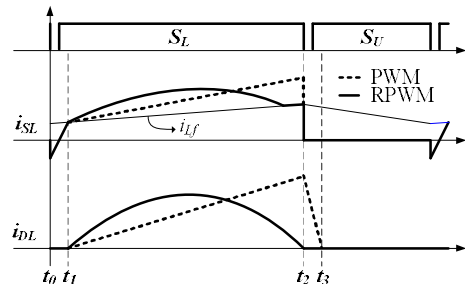


그림 2 PWM 방식과 RPWM 방식의 스위치 및 다이오드 전류

표 1 PWM 방식과 RPWM 방식의 성능 비교

	PWM 방식	RPWM 방식
동작 듀티	0.657	0.637
소프트 스위칭	ZVS On	ZVS On
스위치 도통 전류(RMS)	31A, 14A	29.5A, 12.5A
스위치 턴오프 전류	58A, 15A	42.6A, 3.9A
다이오드 $di/dt$	33A/usec, 31A/usec	4A/usec, 35A/usec
$C_r$	60uF	2.2uF

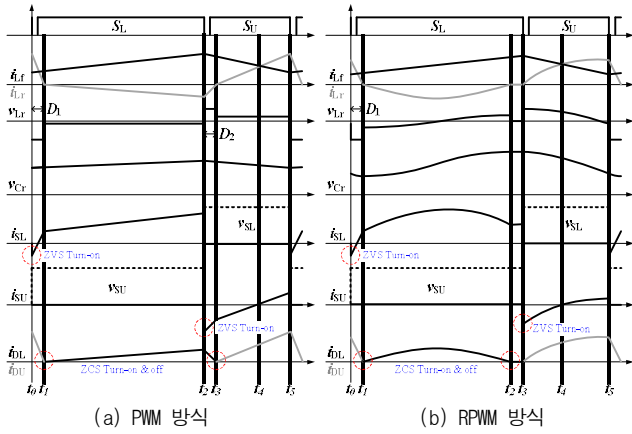


그림 3 주요 동작 파형

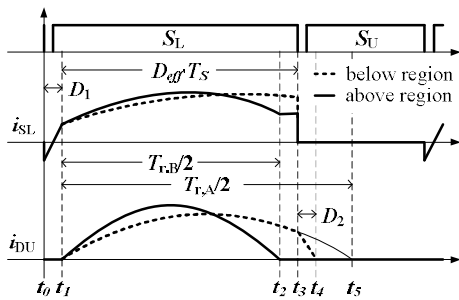


그림 4 공진 주파수  $f_r(1/T_r)$ 에 따른 스위치 및 다이오드 전류

RPWM 방식에서는 보조회로의  $L_r$ - $C_r$  공진 주파수 선정이 중요하다. 그림 4는 공진 주파수  $f_r(1/T_r)$ 에 따른 스위치 및 다이오드의 전류 파형이다. above 영역보다 below 영역에서 듀티 손실 및 스위치 턴오프 전류, 다이오드  $di/dt$ 가 작으므로 Below 영역에서 동작하도록 보조회로의  $L_r$ ,  $C_r$ 를 스위칭 주파수, 유효 듀티를 이용하여 다음과 같이 설계한다.

$$f_r > \frac{f_s}{2 \cdot D_{eff}} \quad (1)$$

여기서  $f_r$ 은 보조회로의 공진 주파수,  $D_{eff}$ 는 유효 듀티임.

### 3. 실험 결과

그림 5는 아래의 사양으로 설계된 시작품의 회로이다. 입력 전류 리플을 만족하기 위해 2상 인터리빙 회로를 이용하여  $C_r=60\mu\text{F}$ (PWM 방식)과  $C_r=2.2\mu\text{F}$ (RPWM 방식)을 실험하고 효율을 비교하였다.

- ▶  $P_{out} = 2\text{kW}$
- ▶  $V_{in} = 70\text{V}$
- ▶  $V_{out} = 380\text{V}$
- ▶  $f_s = 50\text{kHz}$
- ▶  $\Delta I_{in} = 30\%$
- ▶  $\Delta V_{out} = 5\%$

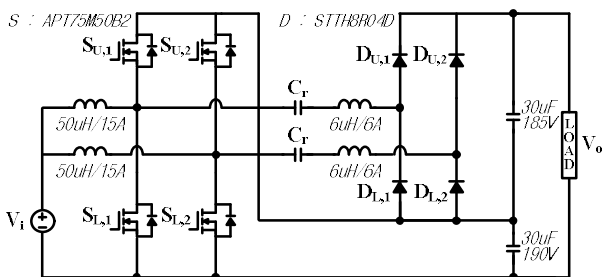


그림 5 2상 인터리빙 실험 회로

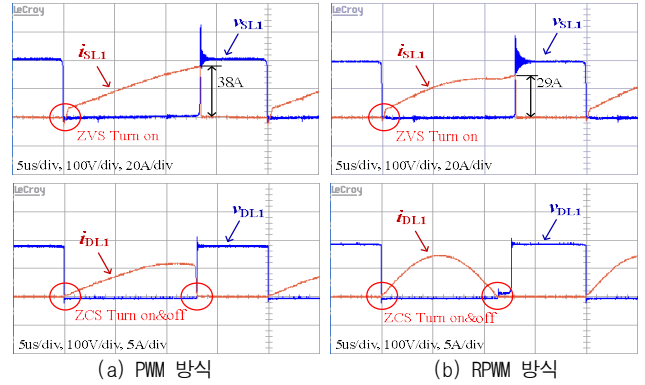


그림 6 실험파형

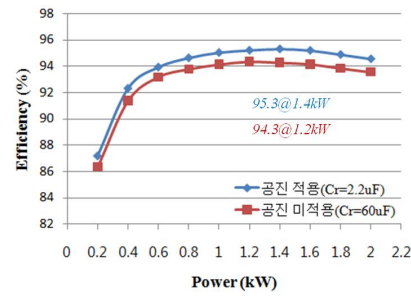


그림 7 측정효율

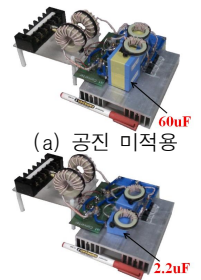


그림 8 스택 사진

그림 6을 통해 스위치와 다이오드의 소프트 스위칭을 확인하고 RPWM 방식에서의 스위치 턴오프 전류가 낮음을 확인할 수 있다. 효율은 YOKOGAWA사의 WT3000로 측정하였고 RPWM방식은 1.4kW에서 최고 효율인 95.3%, PWM방식은 1.2kW에서 최고 효율인 94.3%를 달성하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 PWM 방식과 RPWM 방식의 비절연 고승압 DC-DC 컨버터를 비교하였다. PWM 방식에 공진을 적용함으로써 커패시턴스가 작아지며 스위치의 스위칭 손실이 감소되어 더 높은 효율을 달성하였다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (20101020300260) 주관으로 수행된 과제임.

### 참고 문헌

- [1] Qun Zhao, Fred C. Lee, "High Performance Coupled-Inductor DC-DC Converter", in Proc. IEEE APEC, pp.109-113, Feb. 9-13, 2003.
- [2] O. Abutbul, A. Gherlitz, Y. Berkovich, and A. Ioinovici, "Step-up switching-mode converter with high voltage gain using a switched-capacitor circuit," IEEE Trans. Circuits and Systems-I, vol. 50, no. 8, pp. 1098 - 1102, Aug. 2003.
- [3] 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.
- [4] 박요한, 최세완, "고승압 인터리빙 ZVT 컨버터", 추계학술대회 논문집, pp. 20-21. 2010.11.