

# 고승압비를 갖는 단일스위치 ZCS 병렬 공진 컨버터

이재연, 김민재, 최세완  
서울과학기술대학교

## A Single Switch ZCS Parallel Resonant Converter with High Step-up Ratio

Jaeyeon Lee, Minjae Kim, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 고승압비를 갖는 단일스위치 ZCS 병렬 공진 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 단일스위치를 사용하여 구조가 간단하며 병렬 공진회로를 이용하여 고승압이 가능하다. 또한, 별도의 클램프 회로 없이 전 부하영역에서 스위치의 ZCS 턴온 및 턴오프와 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 제안하는 컨버터는 250W 시제품을 제작하여 타당성을 검증하였다.

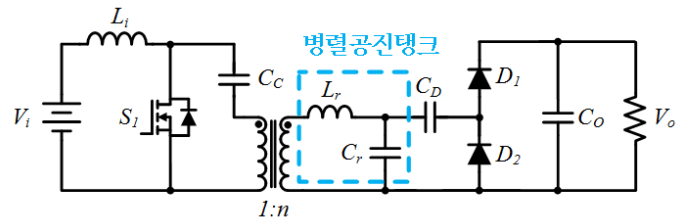


그림 1. 제안하는 병렬 공진 컨버터

### 1. 서론

최근 화석연료의 고갈로 인해 연료전지, 태양광 발전 등과 같은 신재생 에너지 응용분야에서 고승압, 저가격, 고효율 특성을 갖는 절연형 DC DC 컨버터의 필요성이 증대되고 있다. 고승압을 위한 기존 절연형 DC DC 컨버터로 전류원 능동클램프 방식의 풀브리지, 푸쉬풀, 하프브리지 컨버터가 많이 연구되어 왔다. 하지만 이 컨버터들은 기본적으로 스위치가 두 개 이상이고 소프트스위칭을 위해서 별도의 클램프 스위치가 필요하다. 또한 스위치 턴오프 시 하드스위칭을 하여 손실이 발생한다. 이러한 단점들로 인해 소용량 응용에서 고효율 및 저가격 달성이 어렵다. 이같은 소용량에서 많이 사용되고 있는 플라이백 컨버터는 능동클램프 방식과 무손실 수동클램프 방식으로 구분된다. 능동 및 수동클램프 방식의 플라이백 컨버터는 소자 수가 적으며 스위치 턴온시 소프트스위칭을 성취하지만 턴오프시 하드스위칭 동작을 하고 변압기의 자화전류가 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 별도의 클램프 회로를 사용하지 않고 고승압비를 갖는 병렬 공진 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 병렬 공진을 이용하여 스위치의 ZCS 턴온 및 턴오프를 성취하며 다이오드의 ZCS 턴오프가 가능하다. 또한 변압기 누설인덕턴스 성분을 공진에 이용하여 스위치 전압서지 문제가 없고, 클램프 캐패시터를 통해 변압기의 자화전류 오프셋을 제거한다. 제안하는 컨버터는 병렬 공진과 전압더블러를 사용한 전류원 컨버터로서 낮은 변압기 턴비로도 고승압이 가능하다.

### 2. 제안하는 컨버터

그림 1과 같이, 제안하는 컨버터는 변압기의 1차측에 부스트 컨버터와 2차측에 병렬 공진 회로를 구비하는 전압더블러 회로로 구성된다. 제안하는 컨버터의 주요 특징은 다음과 같다.

- 단일스위치를 사용하고 적은 소자수를 사용하여 구조 간단
- 부스트+병렬공진탱크+전압더블러 구조로 고승압에 적합
- 별도의 클램프 회로 없이 스위치 ZCS 턴온 및 턴오프 가능
- 다이오드 ZCS 턴오프

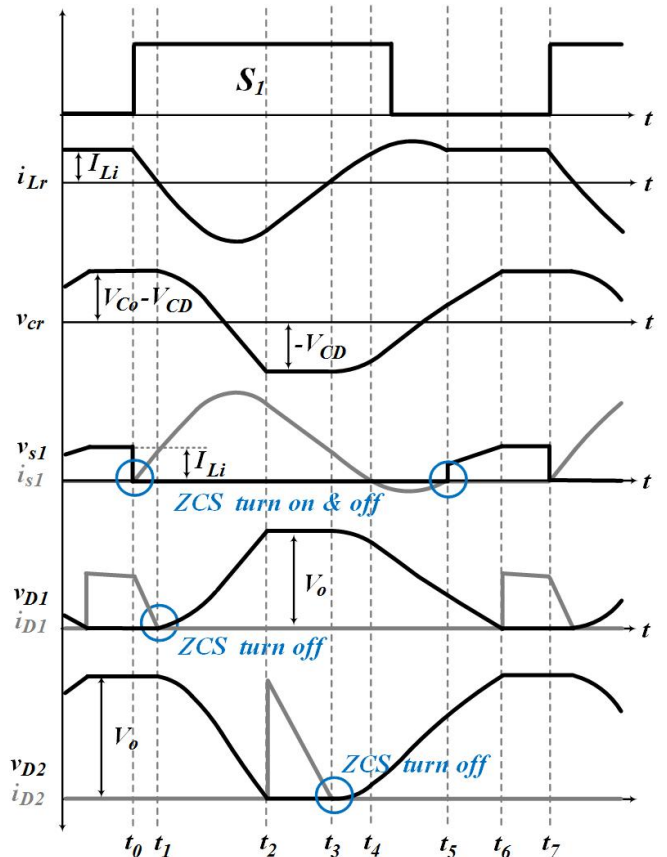


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작파형

- 변압기 누설인덕턴스 성분을 공진탱크로 이용하여 전압서지 문제가 없음
- 변압기 직류 오프셋 제거

표 1 각 컨버터의 특성비교

토폴로지		능동클램프 플라이백 <sup>[1]</sup>	수동클램프 플라이백 <sup>[2]</sup>	제안하는 컨버터
제어방식		듀티제어	듀티제어	주파수제어
스위치 개수		2	1	1
메인 스위치 특성	턴온	ZVS	ZVS	ZCS
	턴오프	하드스위칭	하드스위칭	ZCS
클램프회로 소자 수		2	4	없음
메인 스위치 정격		$\frac{1}{1-D} V_i$	$\frac{1}{1-D} V_i$	$V_i + \frac{V_o}{4n}$
클램프 커패시터 전압 정격		$\frac{D}{1-D} V_i$	없음	$V_i$
다이오드 개수		1	3	2
다이오드 턴오프 특성		ZCS	ZCS	ZCS
다이오드 전압정격		$V_o$	$\frac{V_o}{1+D}$	$V_o$

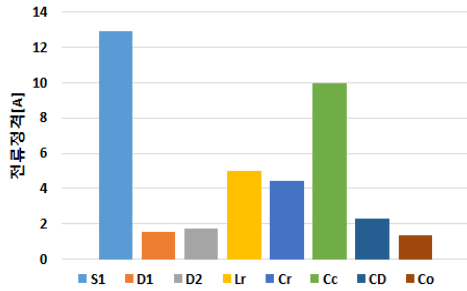


그림 4. 제안한 컨버터의 각 소자의 전류정격

그림 2는 제안하는 컨버터의 동작파형이다. 제안하는 컨버터는 주파수를 조절하여 출력전압을 제어한다. 스위치  $S_1$ 은  $L_r$ 과  $C_r$ 의 병렬 공진에 의해 ZCS 턴온 및 턴오프를 하게 되고, 다이오드는  $L_r$ 의 전류 기울기로 ZCS 턴오프를 성취한다. 제안하는 컨버터의 소프트스위칭을 보장하기 위해  $t_0 \sim t_4$  구간동안 스위치 턴온 상태를 유지해야하며  $t_4 \sim t_5$  구간에서 턴오프를 해야 한다. 표 1는 제안한 컨버터와 기존 플라이백 컨버터와의 비교표를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 다른 플라이백 컨버터와 달리 별도의 클램프 회로를 사용하지 않아 소자 수가 비교적 적으며 스위치의 ZCS 턴온 및 턴오프를 성취한다. 제안하는 컨버터는 두 개의 다이오드를 사용하며 다이오드 턴오프 특성은 다른 플라이백 컨버터와 동일하다. 그림 4는 각 소자의 전류 정격으로서 공진 소자  $L_r$ 과  $C_r$ 의 전류 정격이 스위치의 전류 정격보다 비교적 낮다.

### 3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양으로 제작하여 실험하였다.

$$\begin{aligned} \cdot P_o &= 250W \cdot V_i = 28 \sim 38V \cdot V_o = 380V \cdot f_s = 80 \sim 115kHz \\ \cdot L_r &= 15\mu H \cdot C_r = 66nF \cdot C_o, C_D = 1\mu F \cdot N_p:N_s = 1:2 \end{aligned}$$

그림 5는 스위치 전압과 전류의 실험파형이다. 입력 전압 및 부하가 변동하여도 ZCS 턴온 및 턴오프를 성취하는 것을 볼

수 있다. 스위치의 전압 링잉 현상은 스위치 내부 커패시터에 의한 것으로 스위치 전압 정격에 크게 영향을 미치지 않는다. 그림 6은 다이오드 전압 및 전류 파형이며 모든 다이오드가 ZCS 턴오프를 성취하는 것을 알 수 있다. 다이오드 전류 링잉 현상은 공진 커패시터와 기생 인덕턴스에 의해서 발생하지만 ZCS 턴오프에는 영향을 미치지 않는다.

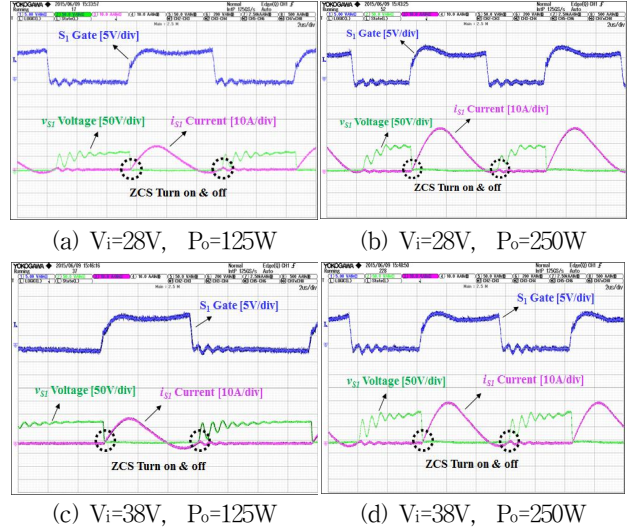


그림 5. 스위치 실험파형

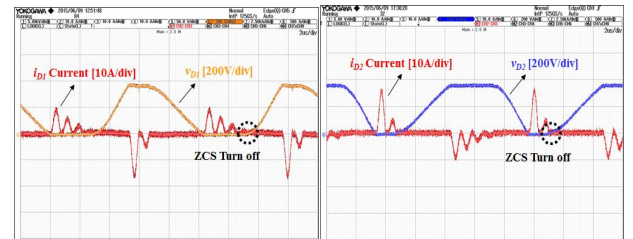


그림 6. 다이오드 실험파형

### 4. 결론

본 논문에서는 단일스위치를 사용한 고출압 병렬 공진 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 병렬공진 회로를 사용하여 고출압이 가능하고 별도의 추가회로 없이 스위치의 ZCS 턴온 및 턴오프와 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 또한 변압기의 직류 오프셋이 없기 때문에 변압기 부피가 작다. 250W 시제품을 제작하였고 실험을 통해 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] R. Watson, F. C. Lee, and G. C. Hua, "Utilization of an active clamp circuit to achieve soft switching in flyback converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, no. 1, pp. 162-169, Jan. 1996.
- [2] J. H. Lee, T. J. Liang, and J. F. Chen, "Isolated coupled inductor integrated DC DC converter with nondissipative snubber for solar energy applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 7, pp. 3337-3348, Jul. 2014.