

# 고효율 태양광 발전을 위한 소프트 스위칭 부스트 컨버터

차길로\*, 원충연\*, 정용채\*\*, 김영렬\*\*\*  
성균관대학교\*, 남서울대학교\*\*, 안양대학교\*\*\*

## Soft Switching Boost Converter for High Efficiency Photovoltaic System

Gil-Ro Cha\*, Chung-Yuen Won\*, Yong-Chae Jung\*\*, Young Real Kim\*\*\*  
Sungkyunkwan University\*, Namseoul University\*\*, Anyang University\*\*\*

### ABSTRACT

기존의 부스트 컨버터에 보조 스위치와 다이오드, 공진 인덕터와 공진 커패시터를 추가하여 소프트 스위칭을 위한 보조회로가 포함된 새로운 구조의 태양광 발전용 부스트 컨버터를 제안하였다. 공진 인덕터에 의해 스위치의 턴 온 시 영전류 스위칭을 하고, 공진 커패시터에 의해 스위치 턴 오프 시 영전압 스위칭을 함에 따라 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 제안된 회로의 동작모드를 분석하고, 제안된 회로의 검증을 위해 PSIM 시뮬레이션을 통해 모의실험 하였다.

### 1. 서 론

태양광발전은 일사량과 온도 등의 환경에 따른 많은 제약이 있고 에너지 변환 효율이 낮은 단점이 있다. 이런 단점들을 보완하고자 태양전지 셀과 전력변환장치의 효율을 높이려는 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>[1-2]</sup>

한편, 컨버터는 높은 주파수로 하드 스위칭을 하는 경우, 스위칭 주파수에 비례하여 스위칭 손실이 증가한다. 그러므로 스위칭 손실을 줄이기 위한 방법으로, 하드 스위칭 기술에서 점차 인덕터와 커패시터에 의한 공진을 이용한 소프트 스위칭 기술이 제안되고 있다.<sup>[3]</sup>

따라서 본 논문에서는 태양광의 낮은 출력전압을 증압하기 위한 전력변환장치인 부스트 컨버터의 효율을 개선하기 위하여 태양광용 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안 하였다. 인덕터와 커패시터의 공진에 의해 영전압, 영전류 조건에서 소프트 스위칭 동작을 하여 스위치에 발생하는 스트레스와 손실을 줄일 수 있다. 제안된 회로를 태양광 발전용으로 사용하기 위해 스위칭 주파수 30kHz와 입력 전압 200V에서 PSIM 시뮬레이션을 통해 제안된 회로를 검증하였다.

## 2. 제안된 ZVS 부스트 컨버터

### 2.1 제안된 회로

그림 1은 제안된 부스트 컨버터의 회로도이다. 스위칭 손실을 줄이기 위해 기존의 부스트 회로에 보조 스위치와 2개의 다이오드, 인덕터와 커패시터를 추가하여 새로운 구조의 부스트 컨버터를 제안하였다. 두 스위치는 동시에 on/off 제어가 되고,

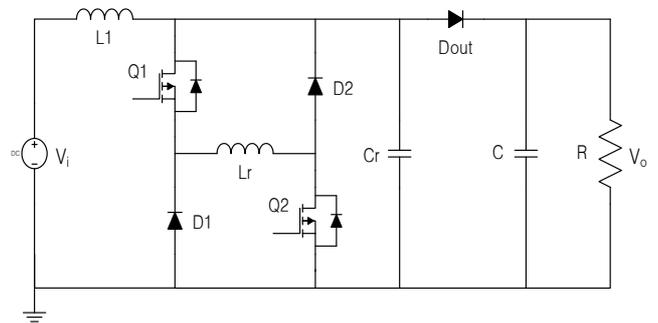


그림 1 제안된 ZVS 부스트 컨버터  
Fig. 1 Proposed ZVS boost converter

공진 인덕터와 공진 커패시터에 의해 소프트 스위칭 함으로서 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

### 2.2 동작모드 해석

제안된 회로의 동작모드를 분석하기 위해, 전류 경로에 따라 그림 2와 같이 6개의 동작 모드로 나누어 설명한다.

#### Mode 1 ( $t_0 \leq t < t_1$ )

스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 모두 오프 상태이므로 스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 에는 전류가 흐르지 못하고, 인덕터  $L_1$ 에 흐르는 전류가 모두 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 출력단으로 흐른다. 공진 커패시터  $C_r$ 은 출력전압  $V_o$ 만큼 충전되어 있다.

$$I_{D_{out}} = I_{L1} \quad (1)$$

$$V_{C_r} = V_o \quad (2)$$

#### Mode 2 ( $t_1 \leq t < t_2$ )

스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 가 턴 온 되는 구간으로, 공진 인덕터  $L_r$ 에 전류가 흐르기 시작한다. 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 부하로 흐르던 전류는 서서히 감소하고, 공진 인덕터  $L_r$ 로 흐르는 전류는 증가한다. 공진 인덕터  $L_r$ 의 전류가 영일 때 두 스위치가 동시에 온 되므로 두 스위치는 영전류 스위칭을 한다. 시간  $t_2$ 에서 인덕터  $L_1$ 에 흐르는 전류와 공진 인덕터  $L_r$ 에 흐르는 전류는 같아지게 되고, 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 부하로 흐르던 전류는 영이 된다.

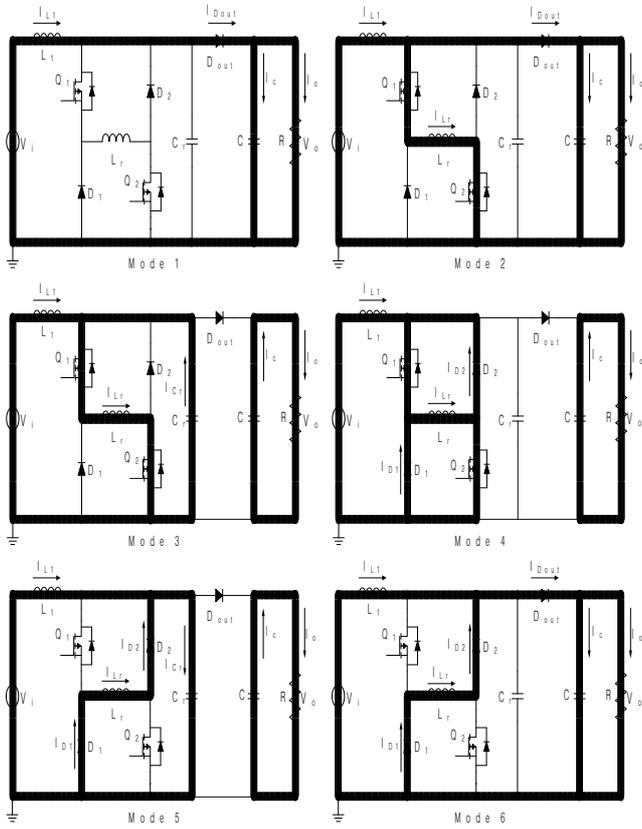


그림 2 제안된 회로의 각 동작 모드  
Fig. 2 Operation modes of proposed circuit

$$I_{L1} = I_{Lr} + I_{Dout} \quad (3)$$

### Mode 3 ( $t_2 \leq t < t_3$ )

시간  $t_2$ 에서 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 부하로 흐르던 전류는 흐르지 않고, 공진 커패시터  $C_r$ 이 공진 인덕터  $L_r$ 과 공진을 한다. 이 공진을 통해서 공진 커패시터의 전압은 출력전압에서 영으로 떨어진다. 이 모드는  $C_r$ 의 전압이 영이 될 때까지 지속된다.

$$I_{Lr} = I_{L1} + I_{Cr} \quad (4)$$

### Mode 4 ( $t_3 \leq t < t_4$ )

$C_r$ 의 공진이 끝나면, 공진 인덕터  $L_r$ 에 흐르던 전류는 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 를 통해 흐른다. 인덕터  $L_1$ 에 흐르는 전류는 증가하며  $L_1$ 에 에너지를 축적하고, 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 를 통해 흐르는 전류는 서서히 감소한다.

$$I_{Lr} = I_{L1} + I_{D1} + I_{D2} \quad (5)$$

### Mode 5 ( $t_4 \leq t < t_5$ )

이 모드는 스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 가 턴 오프 되는 구간으로, 인덕터  $L_1$ 과 공진 인덕터  $L_r$ 에 흐르던 전류에 의해 공진 커패시터  $C_r$ 은 충전된다.  $C_r$ 의 전압이 출력전압과 같아질 때까지 이 모드가 지속된다. 공진 커패시터  $C_r$ 이 있으므로 두 스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 영전압 조건에서 턴 오프 한다. 이 모드까지 출력 다이오

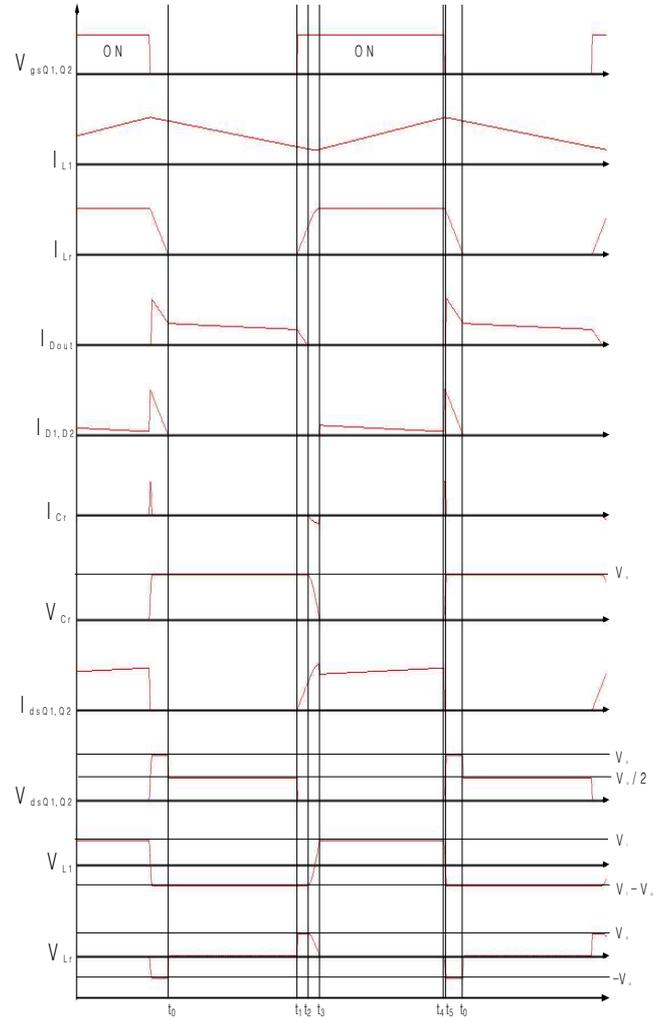


그림 3 각 부 주요 파형  
Fig. 3 Key waveforms

드  $D_{out}$ 은 턴 오프 상태를 유지한다.

$$I_{Cr} = I_{L1} + I_{Lr} \quad (6)$$

### Mode 6 ( $t_5 \leq t < t_6$ )

$C_r$ 양단의 전압이 출력전압  $V_o$ 와 같아지면 모드가 시작된다. 인덕터  $L_1$ 과 공진 인덕터  $L_r$ 에 흐르는 전류가 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 출력단으로 흐른다. 공진 인덕터  $L_r$ 에 저장되었던 에너지가 모두 출력단으로 전해지면 이 모드가 종료되고, 이 모드를 끝으로 다시 모드 1로 반복하게 된다.

$$I_{Dout} = I_{L1} + I_{Lr} \quad (7)$$

$$V_{Cr} = V_o \quad (8)$$

그림 3은 제안된 컨버터의 정상상태에서의 각 부 주요파형을 나타낸다.

## 3. 시뮬레이션 결과

2kW급, 스위칭주파수 30kHz로 하여 시뮬레이션 하였다. 표 1

표 1 시뮬레이션 사양

Table 1 Simulation parameters

	Value		Value
용량 (kW)	2	스위칭주파수 (kHz)	30
입력전압 (V)	200	출력전압 (V)	400
인덕터 (μH)	560	공진인덕터 (μH)	40
부하저항 (Ω)	80	공진커패시터 (nF)	20

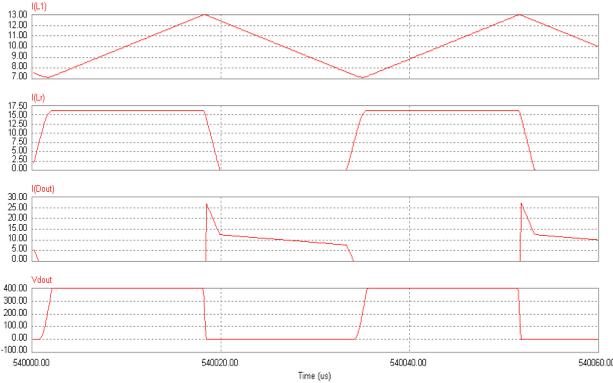


그림 4 각 부 시뮬레이션 파형 (I<sub>L1</sub>, I<sub>Lr</sub>, I<sub>Dout</sub>, V<sub>dout</sub>)

Fig. 4 Simulation waveforms (I<sub>L1</sub>, I<sub>Lr</sub>, I<sub>Dout</sub>, V<sub>dout</sub>)

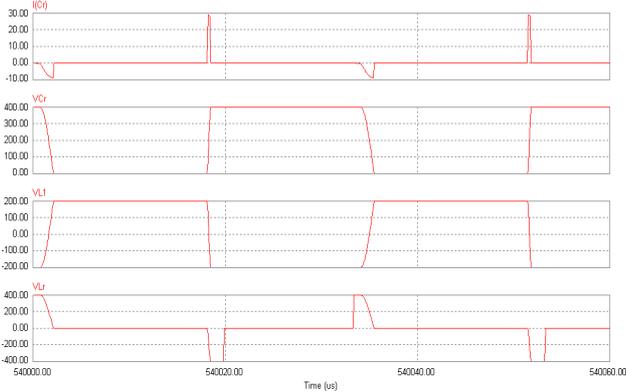


그림 5 각 부 시뮬레이션 파형 (I<sub>Cr</sub>, V<sub>Cr</sub>, V<sub>L1</sub>, V<sub>Lr</sub>)

Fig. 5 Simulation waveforms (I<sub>Cr</sub>, V<sub>Cr</sub>, V<sub>L1</sub>, V<sub>Lr</sub>)

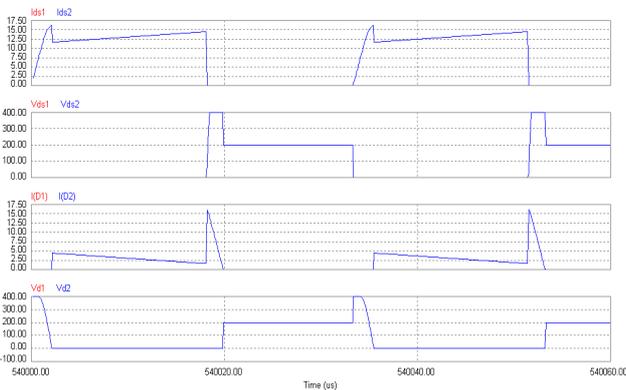


그림 6 스위치와 다이오드의 전압과 전류 파형

Fig. 6 Simulation waveforms (I<sub>ds</sub>, V<sub>ds</sub>, I<sub>d</sub>, V<sub>d</sub>)

은 시뮬레이션 사양을 나타낸다.

그림 4의 파형은 인덕터 L<sub>1</sub>과 공진 인덕터 L<sub>r</sub>에 흐르는 전류, 출력 다이오드 D<sub>out</sub>에 흐르는 전류와 양단에 걸리는 전압들의 정상상태에서의 파형이다.

그림 5는 인덕터 L<sub>1</sub>과 공진 인덕터 L<sub>r</sub>의 양단에 걸리는 전압, 공진 커패시터 C<sub>r</sub>에 흐르는 전류와 양단에 걸리는 전압들의 정상상태에서의 파형이다. 공진 커패시터가 충·방전함에 따라 인덕터의 전압이 기울기를 가지며, 증가·감소하는 것을 확인할 수 있다

그림 6은 공진회로에서의 스위치와 다이오드의 전압, 전류의 정상상태에서의 파형이다. 스위치 턴 온 시 공진 인덕터의 영향 때문에 영전류 스위칭을 하며, 스위치 턴 오프 시에는 공진 커패시터의 영향에 의해 영전압 스위칭을 한다. 공진 커패시터의 방전이 종료된 후에 환류 다이오드가 턴 온을 하여 영전압 스위칭을 하고, 공진 인덕터에 흐르는 전류가 영이 된 후에 다이오드가 턴 오프하여 영전류 스위칭을 한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 기존의 부스트 컨버터 회로에 보조스위치와 다이오드, 인덕터, 커패시터를 추가하여 새로운 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 스위치 턴 온 시 공진 인덕터에 의한 ZCS 스위칭을 하며, 스위치 턴 오프 시에는 공진 커패시터에 의해 ZVS 스위칭을 함으로써 스위칭 스트레스와 손실을 줄였다. 제안된 컨버터의 동작원리를 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

이 논문은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화대학 원사업의 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

[1] Zhenhua Jiang, "Power Management of Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell Power Systems", Power Engineering Society General Meeting of the IEEE, pp. 1-6, 2006, June.  
 [2] 이현관, 공영수, 김은수, 김운호, 이기식, 강성인, 정봉근, "태양광 발전 시스템을 위한 무접점 전원장치" 전력전자학회논문지, 제11권3호, pp. 216-223, 2006.  
 [3] 원영진, 조경현, "보조 회로를 이용한 ZVS PWM 부스트 컨버터", 전자공학회논문지, 제 41권1호, pp. 45-49, 2004.