

# 스위치 스트레스 저감이 가능한 소프트 스위칭 부스트 컨버터

박승원\*, 김준구\*, 김재형\*, 엄주경\*, 원충연\*, 정용채\*\*  
 성균관대학교\*, 남서울대학교\*\*

## Soft Switching boost converter for reduction of switch stress

Seung-Won Park\*, Jun-Gu Kim\*, Jae-Hyung Kim\*, Ju-Kyoung Eom\*, Chung-Yuen Won\*,  
 Yong-Chae Jung\*\*  
 Sungkyunkwan University\*, Namseoul University\*\*

### ABSTRACT

This paper proposed a soft switching boost converter with an auxiliary circuit, and a modified control method for reduction of switch stress. The proposed converter applies an auxiliary circuit, which is added to the conventional boost converter and used to achieve soft switching for both a main switch and an auxiliary switch. The auxiliary circuit consist of a resonant inductor and two capacitors, an auxiliary switch. The main switch is operated ZVS turn-on, turn-off also auxiliary switch is operated ZCS turn-on, ZVS turn-off. The proposed soft switching boost converter has lower switch loss and higher efficiency than conventional soft switching boost converter.

### 1. 서론

최근 컨버터는 전원장치의 소형 경량화를 위하여 스위칭 주파수를 증가시키고 있는 추세이다. 그러나 스위치 Turn-On, Off시 발생하는 스위칭 손실은 주파수에 비례하여 증가하기 때문에 시스템의 효율을 감소시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 공진 회로를 추가한 소프트 스위칭 컨버터 연구가 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 공진을 이용하여 영전압 및 영전류 스위칭을 하는 ZVZCS 컨버터에 대한 연구 결과가 많이 발표되고 있으나 공진형 컨버터의 지속적인 공진에 의한 소자의 정격용량이 커지게 된다. 일반적인 보조 회로를 추가한 공진형 컨버터의 경우 주 스위치는 소프트 스위칭을 하지만 보조 스위치는 하드 스위칭을 하기 때문에 전체 시스템의 효율 향상을 기대하기 어렵다. 또한 전력용반도체 스위치 Turn-On, Off 하는 동안 스위치에 과도한 전류상승 및 전압상승이 발생할 경우 스위치 스트레스의 증가로 인하여 더 큰 용량의 소자를 요구하게 된다.<sup>[2-3]</sup>

본 논문에서는 보조 회로를 이용한 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 보조 회로는 공진 인덕터와 두 개의 공진 커패시터, 보조 스위치로 구성되며, 주 스위치가 영전압에서 소프트 스위칭 하도록 공진을 한다. 또한 일반적인 공진형 컨버터의 스위치 및 소자에 발생하는 높은 전압 및 전류의 스트레스를 저감시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 제어방식의 적용에 의해 전체적인 손실을 감소시켰고, 공진에 의한 스위치 소자의 전압 및 전류 스트레스를 감소시켰다.

### 2. 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터

#### 2.1 제안된 컨버터의 구성

그림 1은 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 회로이다. 기본적인 부스트 컨버터에 점선으로 표시한 보조스위치와 공진 커패시터 2개, 공진 인덕터를 추가하여 주 스위치 및 보조 스위치를 소프트 스위칭이 가능하도록 제어 하였다.

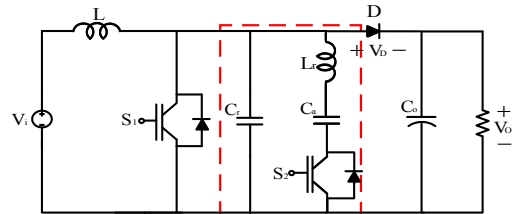


그림 1 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 구성  
 Fig. 1 Proposed soft switching boost converter

#### 2.2 동작모드 분석

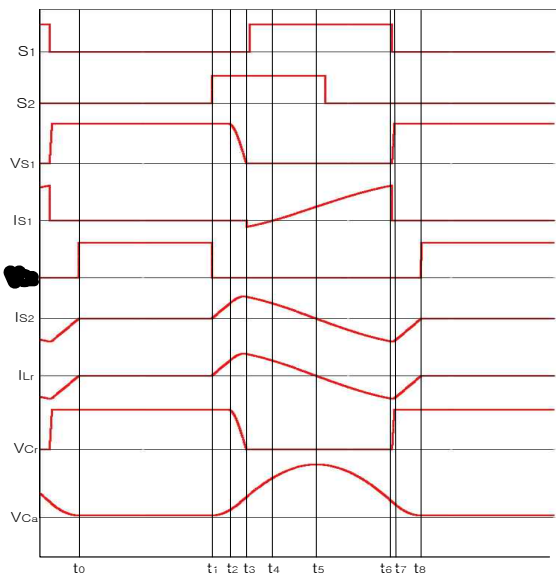


그림 2 제안된 회로의 동작 파형  
 Fig. 2 Waveforms of proposed converter

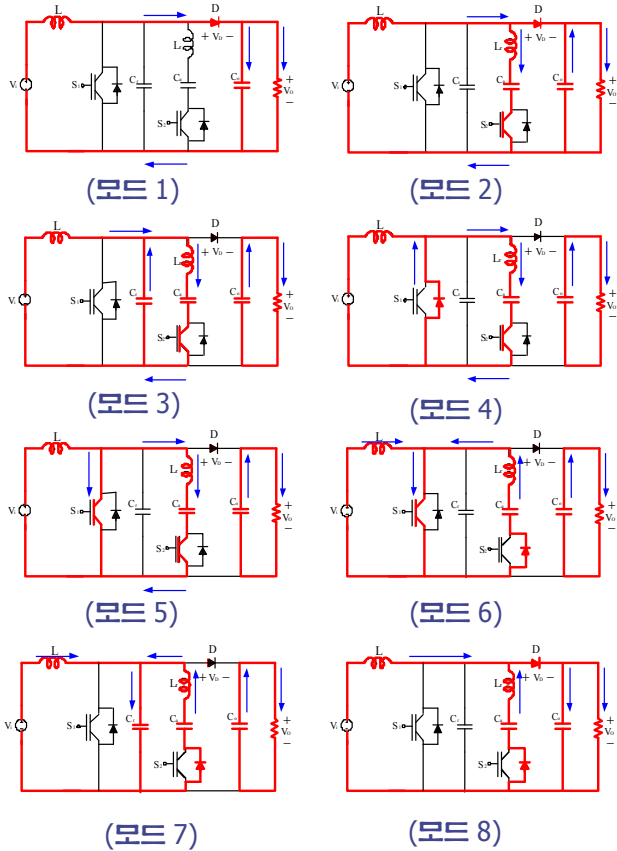


그림 3 제안된 회로의 동작모드  
Fig. 3 Operation mode of proposed converter

그림 2는 제안된 컨버터의 동작 파형이고, 그림 3은 동작 모드를 도시한 것이다.

### 2.3 동작모드 설명

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

모드 1에서 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 는 모두 Turn-Off상태이며 입력 전류는 다이오드 D를 통하여 부하로 흐른다. 공진 커패시터  $C_r$ 은 일정 전압으로 완전 충전상태이다.

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

모드 2는 보조 스위치의 ZCS Turn-On 으로 시작된다. 공진 인덕터  $L_r$ 을 통해 전류가 흐르면서 공진커패시터  $C_a$ 의 충전이 시작된다. 다이오드 D를 통해 부하로 흐르던 전류는 서서히 감소하고 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 는 선형적으로 증가한다. 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 가 주 인덕터 전류  $I(L)$ 와 같아지게 되면 이 모드는 종료하게 된다.

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

공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 는 주 인덕터 전류  $I(L)$ 보다 더 크며, 공진 커패시터  $C_a$ 가 충전한다. 다이오드 D를 통해 부하로 흐르던 전류는 더 이상 흐르지 않고, 공진 커패시터  $C_r$ 과 공진 인덕터  $L_r$ 은 공진한다. 커패시터  $C_r$ 의 완전 방전 후 전압  $V(C_r)$ 이 0이 되면 이 모드는 끝나게 된다.

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

공진커패시터  $C_a$ 과 공진인덕터  $L_r$ 이 공진을 하며, 주 스위치의 역병렬 다이오드가 도통하며 이 모드가 시작된다. 역병렬 다이오드가 도통을 하게 되면 주 스위치 전압  $V(S_1)$ 은 0이 되고 이 상태에서 주 스위치  $S_1$ 에 ON신호를 주면 영전압 구간에서 ZVS Turn-On을 하게 된다. 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 가 주 인덕터 전류  $I(L)$ 와 같아지면 모드를 종료하게 된다.

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

주 스위치 전류  $I(S_1)$ 가 증가하며 보조 회로에 흐르는 전류는 감소한다. 공진 커패시터  $C_a$ 는 충전을 하며 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 가 0이 되면서 모드는 종료하게 된다.

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

공진 커패시터  $C_a$ 에 저장된 에너지는 공진 인덕터  $L_r$ 을 거쳐 주 스위치  $S_1$ 로 방전한다. 보조 스위치  $S_2$ 의 역병렬 다이오드에 의해 환류 구간이 생기게 되고 이때 보조 스위치 전압  $V(S_2)$ 은 0이 된다. 이 상태에서 보조 스위치  $S_2$ 의 OFF신호를 주어 ZVS Turn-Off를 하게 된다. 주스위치 전압  $V(S_1)$ 이 0인 상태에서  $S_1$ 이 ZVS Turn-Off 되면서 이 모드가 종료 된다.

#### MODE 7 ( $t_6 \leq t < t_7$ )

주 스위치  $S_1$ 이 ZVS Turn-Off가 되면 주 인덕터 전류  $I(L)$ 와 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$ 는 공진 커패시터  $C_r$ 을 충전시킨다. 공진 커패시터는 순간적으로 충전이 되며, 출력단의 전압보다 커지게 되면 다이오드는 도통이 되면서 모드가 종료 된다.

#### MODE 8 ( $t_7 \leq t < t_8$ )

공진 커패시터  $C_r$ 이 완전 충전 상태가 되면 주 인덕터의 에너지는 출력단으로 전달된다. 공진 커패시터  $C_a$ 와 공진 인덕터  $L_r$ 은 공진을 하며, 공진 커패시터  $C_a$ 의 에너지가 모두 방전이 될 때까지 이 모드는 지속된다.

## 3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 POWERSIM사의 PSIM 6.0을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값을 나타낸다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameter

입력전압	$V_i$	200[V]
출력전압	$V_o$	380[V]
스위칭 주파수	$f_s$	30[kHz]
공진 커패시터	$C_r$	20[nF]
공진 커패시터	$C_a$	1[uF]
공진 인덕터	$L_r$	50[uH]
승압용 인덕터	$L$	560[uH]

시뮬레이션에서 스위칭 소자로 IGBT를 사용하였다. ZVS 방법은 스위치의 Turn-On 과정 시 영전압 구간에서 스위칭 동작을 하여 기생 커패시턴스에 의한 Turn-On 손실이 큰

MOSFET에 적절한 스위칭 방식으로 알려져 있다. 그러나 MOSFET의 경우 정격이 고압이나 고출력으로 갈수록 가격이 상승하며 소자특성상 정격 전류가 커지면 RDS(ON)의 증가로 인하여 도통 손실이 증가하게 되어 공진형 토폴로지에 적지 않은 문제점이 발생한다.<sup>[4-5]</sup> 따라서 소프트 스위칭에 의한 효율 향상을 더욱 부각시키기 위해 MOSFET보다 도통 손실이 적은 IGBT를 사용하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 보조 스위치를 이용한 새로운 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 주 스위치는 공진 커패시터와 공진 인덕터에 의해 소프트 스위칭을 하여 하드 스위칭으로 동작할 때보다 많은 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 공진 회로에서 스위치가 감당하는 전압, 전류 스트레스를 줄임으로서 스위치 소자 선정시 정격을 낮출 수 있다.

본 논문에서 제안된 회로는 고효율 승압형 컨버터, 태양광 발전용 DC/DC컨버터, 역률 제어회로 등에 적용할 수 있다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원 사업의 연구결과입니다.

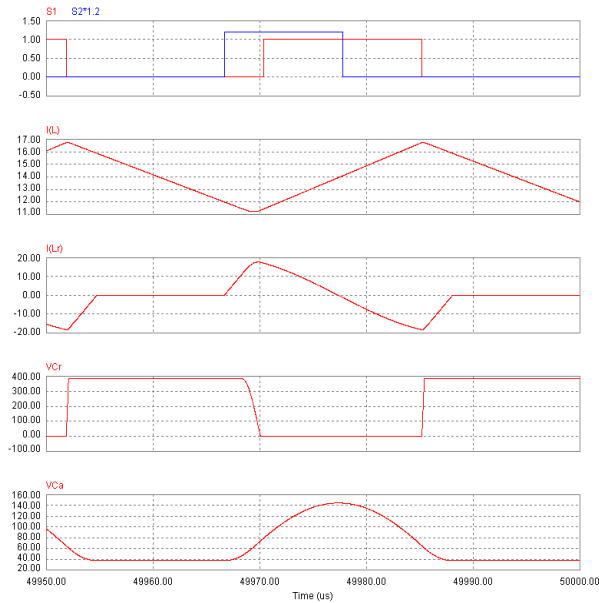


그림 4 제안된 컨버터의 시뮬레이션 파형

Fig 4. Simulation waveforms of proposed converter

그림 4는 제안된 컨버터의 스위치 신호와 주 인덕터 전류  $I(L)$ , 공진 인덕터 전류  $I(L_r)$  파형과 공진 커패시터 전압  $V(C_r)$ 과  $V(C_a)$ 의 전압파형이다. 주 스위치  $S_1$ 의 ON-OFF상태에 따라서 주 인덕터 전류  $I(L)$ 가 선형적으로 증가, 감소하는 것을 확인할 수 있으며 공진 인덕터  $L_r$ 과 공진 커패시터  $C_r$ 과  $C_a$ 가 공진하는 것을 볼 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] 김윤호, 김윤복, 정재웅, “소프트 스위칭 보조 스위치를 가지는 ZVT-PWM 부스트컨버터”, 전력전자 학술대회 논문집 전력전자학회 1998년 학술대회논문집 pp. 265-268, 1998. 7
- [2] 원영진, 조경현, “보조 회로를 이용한 ZVS PWM 부스트 컨버터”, 전자공학회 논문지-IE 제41권 TE편 제1호, pp. 45-49, 2004. 3.
- [3] Claudio. M.C. Durate, “A New ZVS-PWM Active-Clamping High Power Factor Rectifier: Analysis, Design, and Experimentation”, IEEE Applied Power Electronics, vol. 1, pp. 230-236, 1998.
- [4] 서기영, 문상필, 김주용, 박진만, “액티브 보조 공진 스너버를 이용한 ZVT-PWM AC-DC 컨버터의 실험적 고찰”, 조명·전기 설비학회 논문지 제 18권제 2호, pp. 75-82, 2004. 3.
- [5] R. L. Lin and F. C. Lee, “Novel zero current switching zero voltage switching converters,” in PESC, pp. 438-442, 1996.

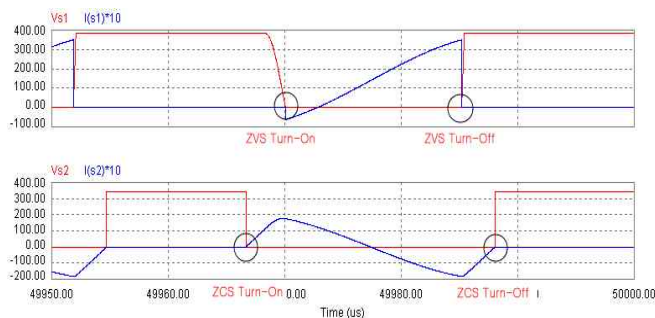


그림 5 주 스위치  $S_1$ 과 보조 스위치  $S_2$ 의 전압, 전류 파형

Fig 5. Voltage, current waveforms of  $S_1$  and  $S_2$

그림 5는 주 스위치  $S_1$ 과 보조 스위치  $S_2$ 의 전압, 전류 파형으로 주 스위치  $S_1$ 은 ZVS Turn-On, Turn-Off 하며 보조 스위치의 경우 ZCS Turn-On, ZCS Turn-Off 를 확인할 수 있다. 또한 두 스위치에 걸리는 전압, 전류 스트레스의 피크가 출력 전압과 전류보다 같거나 작게 걸리는 것을 확인할 수 있다.