

# H-보조 공진 회로를 갖는 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 설계 및 해석

차길로\*, 박소리\*, 박상훈\*, 원충연\*, 정용채\*\*, 이수원\*  
 성균관대학교\*, 남서울대학교\*\*

## Design and Anaysis of Soft Switching Boost Converter with H-auxiliary resonant circuit

Gil-Ro Cha\*, So-Ri Park\*, Sang-Hoon Park\*,  
 Chung-Yuen Won\*, Yong-Chae Jung\*\*, Su-Won Lee\*  
 Sungkyunkwan University\*, Namseoul University\*\*

### ABSTRACT

In this paper, a soft switching boost converter with H-auxiliary resonant circuit is proposed. Using some resonant components, the circuit can be achieved the soft switching capability. Each of the switches in the proposed circuit perform ZVS at turn off and ZCS at turn on. Thus, the high efficiency characteristic can also be obtained, and then the size of the total system can be reduced. The operational principle of the soft switching boost converter in theoretically analyzed. Simulation results validate the analysis and experimental results demonstrate soft switching boost converter benefits.

### 1. 서 론

컨버터는 높은 주파수로 하드 스위칭을 하는 경우, 스위칭 주파수에 비례하여 스위칭 손실이 증가한다. 그러므로 스위칭 손실을 줄이기 위한 방법으로, 보조스위치, 인덕터 및 커패시터에 의한 공진을 이용한 소프트 스위칭 DC/DC 컨버터가 제안되고 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 부스트 컨버터의 효율을 개선하기 위하여 H-공진 회로를 갖는 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 인덕터와 커패시터의 공진에 의해 영 전압, 영 전류 조건에서 소프트 스위칭 동작을 하여 스위치에 발생하는 스트레스와 손실을 줄일 수 있다. 제안된 회로의 검증을 위해서 스위칭 주파수 30[kHz]와 입력 전압 200[V]조건에서 실험하여 1.6[kW] 풀 부하에서 최대 효율 94.7[%]를 얻었다.

### 2. 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터

#### 2.1 제안된 회로

그림 1은 제안된 H-보조 공진 회로를 갖는 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 회로도이다. 기존의 부스트 컨버터 회로에 보조 스위치와 2개의 다이오드, 인덕터와 커패시터를 추가하여 새로운 구조의 부스트 컨버터를 제안하였다. 두 스위치는 동시에 턴-온, 턴-오프 제어를 하게 된다. 두 스위치가 턴-온 시에는 공진 인덕터에 의해 영 전류 스위칭을 하고, 턴-오프 시에는 공진 커패시터에 의해 영 전압 스위칭을 하게되어, 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

#### 2.2 동작 모드 해석

제안된 회로의 동작모드를 분석하기 위해서 모든 소자들은 이상적이라고 가정한다. 회로의 동작은 전류가 흐르는 경로에 따라 그림 2와 같이 6개의 동작 모드로 나누어 설명한다.

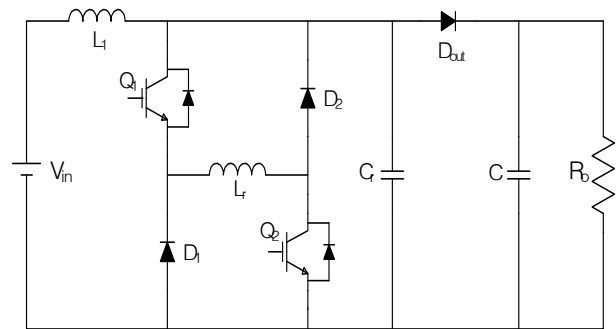


그림 1 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터  
 Fig. 1 The proposed soft switching boost converter

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

스위치 Q1과 Q2는 모두 오프 상태이다. 인덕터 L1에 흐르는 전류가 모두 출력 다이오드 D<sub>out</sub>을 통해 출력단으로 흐른다. 공진 인덕터 L<sub>r</sub>에는 전류가 흐르지 못하고, 공진 커패시터 C<sub>r</sub>은 출력전압 V<sub>o</sub>만큼 충전되어 있다.

$$i_{L1}(t) = i_{L1}(t_0) - \frac{V_o - V_{i_t}}{L} t$$

(1)

$$i_{Lr}(t) = 0$$

(2)

$$v_{Cr}(t) = V_o$$

(3)

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

스위치 Q1과 Q2가 동시에 턴-온 된다. 공진 인덕터 L<sub>r</sub>에 전류가 흐르기 시작한다. 공진 인덕터 L<sub>r</sub>로 흐르는 전류는 증가하고 출력 다이오드 D<sub>out</sub>을 통해 부하로 흐르던 전류는 서서히 감소한다. 공진 인덕터 L<sub>r</sub>의 전류가 영일 때 두 스위치가 동시에 온 되므로 두 스위치는 영전류 스위칭을 한다. 시간 t<sub>2</sub>에서 인덕터 L<sub>1</sub>에 흐르는 전류와 공진 인덕터 L<sub>r</sub>에 흐르는 전류는

같아지게 되고, 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 부하로 흐르던 전류는 영이 된다. 공진 커패시터  $C_r$ 은 출력전압  $V_o$ 만큼 충전되어 있다.

$$i_{L1}(t) = i_{L1}(t_1) - \frac{V_o - V_i}{L}t \quad (4)$$

$$i_{Lr}(t) = \frac{V_o}{L_r}t \quad (5)$$

$$i_{L1}(t) = i_{Lr}(t) + i_{Dout}(t) \quad (6)$$

$$i_{L1}(t_2) = i_{Lr}(t_2) \quad (7)$$

$$i_{Dout}(t_2) = 0 \quad (8)$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \quad (9)$$

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

시간  $t_2$ 에서 출력 다이오드  $D_{out}$ 을 통해 부하로 흐르던 전류가 영이 되면 모드가 시작된다. 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.

$$i_{L1}(t) \approx I_{min} \quad (10)$$

$$i_{Lr}(t) = I_{min} + \frac{V_o}{Z_r} \sin \omega_r t \quad (11)$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \cos \omega_r t \quad (12)$$

$$v_{Cr}(t_2) = V_o \quad (13)$$

$$v_{Cr}(t_3) = 0 \quad (14)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (15)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (16)$$

### 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 환류한다. 인덕터  $L_1$ 에 흐르는 전류는 증가하며  $L_1$ 에 에너지를 축적하고, 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 를 통해 흐르는 전류는 서서히 감소한다.

$$i_{L1}(t) = I_{min} + \frac{V_i}{L_1}$$

(17)

$$i_{Lr}(t) = I_{Lr \max}$$

(18)

$$v_{Cr}(t) = 0$$

(19)

### 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 충전을 한다.  $C_r$ 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 다이오드  $D_{out}$ 은 턴 오프 상태를 유지한다.

$$i_{L1} \approx I_{max} \quad (20)$$

$$i_{Lr}(t) = I_{max} - (I_{max} + I_{Lr \max}) \cos \omega_r t \quad (21)$$

$$v_{Cr}(t) = Z_r (I_{max} + I_{Lr \max}) \sin \omega_r t \quad (22)$$

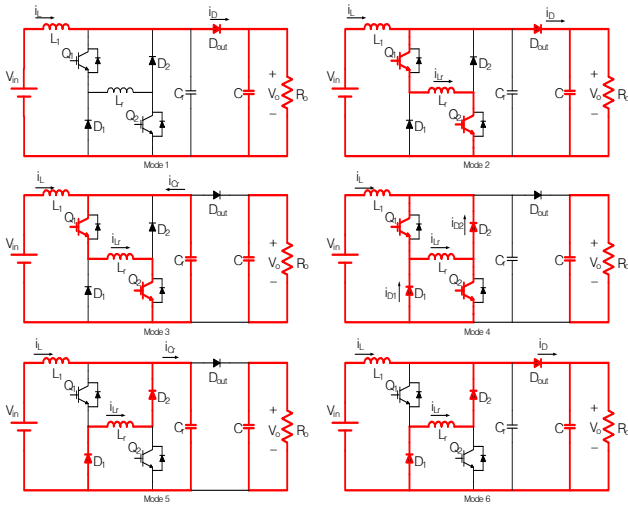


그림 2 제안된 회로의 동작 모드  
Fig. 2 The operation modes of the proposed circuit

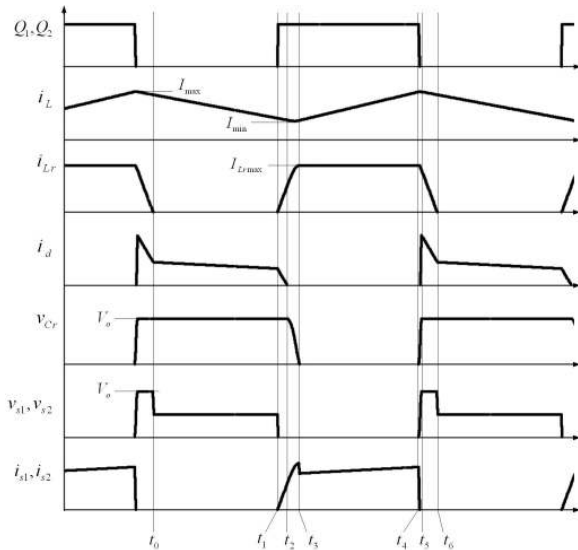


그림 3 제안된 회로의 주요 파형  
Fig. 3 The typical waveforms of the proposed circuit

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (23)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (24)$$

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

$C_r$  양단의 전압이 출력전압  $V_o$ 와 같아지면 출력 다이오드  $D_{out}$ 이 턴-온되며 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 흐르는 전류가 영이 되면 모드 6이 종료되고, 이 모드를 끝으로 다시 모드 1로 반복하게 된다.

$$i_{D_{out}}(t) = i_{L_1}(t) + i_{L_r}(t) \quad (25)$$

$$i_{L_r}(t_6) = 0 \quad (26)$$

$$v_{C_r}(t) = V_o \quad (27)$$

그림 3은 제안된 회로의 정상상태에서의 각 부 주요파형을 나타낸다.

### 3. 실험 결과

제안된 회로를 검증하기 위해 600[W]급으로 설계하여 스위칭 주파수 30[kHz], 입력전압 200[V]를 받아 출력전압을 400[V]로 승압하였다.

그림 4는 게이트 드라이브 신호에 따른 메인 인덕터와 공진 인덕터의 전류 파형이다. 두 스위치는 추가 게이트 신호 없이 하나의 신호로 동일 제어를 하였다. 그림 5는 출력전압과 공진 인덕터의 전류, 공진 커패시터의 전압 파형이다. 공진 커패시터와 공진 인덕터의 공진을 통해서 공진 커패시터가 0[V]에서 출력전압으로 충전하여 인덕터의 에너지가 커패시터로 전달된다. 또한 출력전압에서 0[V]로 방전하여 공진 커패시터에 저장되었던 에너지가 공진 인덕터로 전달되는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 출력 다이오드의 전압과 전류 파형이다. 출력 다이오드는 턴-온 시에는 영전류 스위칭을 하고, 턴-오프 시에는 영전압 스위칭을 한다. 그림 7은 스위치 턴-온 시의 전압과 전류 파형이다. 스위치가 턴-온 시에 공진 인덕터의 영향으로 영전류 조건에서 스위칭 하는 모습을 보인다. 회로에 사용된 스위칭 소자들이 소프트 스위칭을 하여 스위칭 손실을 줄였다.

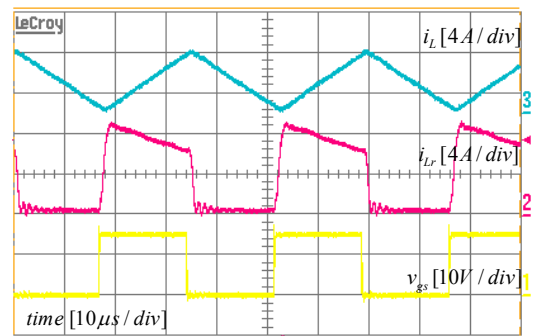


그림 4 메인 인덕터와 공진 인덕터의 전류 파형  
Fig. 4 The experimental current waveforms of the main inductor and the resonant inductor

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성  
화대학원사업의 연구결과입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 원영진, 조경현, “ 보조 회로를 이용한 ZVS PWM 부스트 컨버터”, 전자공학회논문지, 제 41권1호, pp. 45-49, 2004.
- [2] 차길로, 원충연, 정용채, 김영렬, “ 고효율 태양광 발전을 위한 소프트 스위칭 부스트 컨버터”, 전력전자학회 2007년도 추계학술대회 논문집, 2007, 11, pp. 37 ~ 39

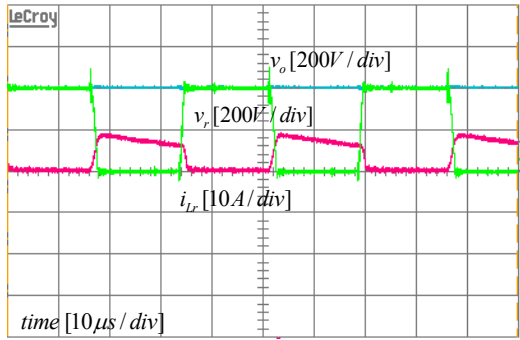


그림 5 공진 인덕터 전류와 공진 커패시터 전압 파형  
Fig. 5 The experimental resonant inductor current and resonant capacitor voltage waveforms

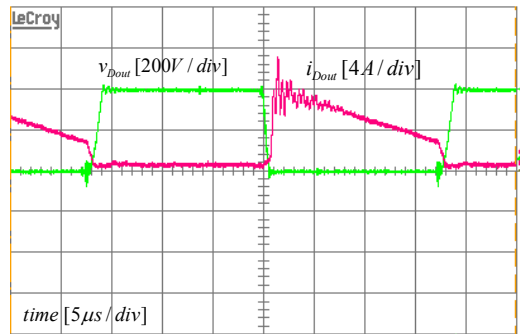


그림 6 출력 다이오드의 전압과 전류 파형  
Fig. 6 The experimental voltage and current waveforms of the output diode

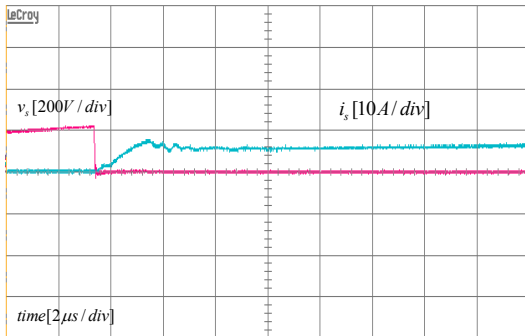


그림 7 스위치 턴-온시 스위치의 전압 전류 파형  
Fig. 7 The experimental voltage and current waveforms of the switch at turned on

### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 부스트 컨버터 회로에 보조스위치와 다이오드, 인덕터, 커패시터를 추가하여 새로운 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 출력 다이오드의 역 회복 문제를 해결하였고 두 스위치를 동일한 신호로 제어하기 때문에 제어가 용이하다. 또한 스위칭 소자들의 전압 스트레스가 작은 장점이 있다. 스위치 턴 온 시 공진 인덕터에 의한 영 전류 조건에서 스위칭을 하며, 스위치 턴 오프 시에는 공진 커패시터에 의해 영 전압 조건에서 스위칭을 함으로써 스위칭 손실을 줄였다. 제안된 컨버터의 동작원리를 분석하고, 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.