

# 소프트 스위칭 방식의 보조 회로를 갖는 영전류 및 영전압 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터

이일호\*, 김준구\*, 김재형\*, 원충연\*†, 정용채\*\*  
성균관대학교\*, 남서울대학교\*\*

## A Family of Zero Current and Zero Voltage Switching Bidirectional DC-DC Converter with Soft Switched Auxiliary Circuit

Il Ho Lee\*, Jun Gu Kim\*, Jae Hyung Kim\*, Chung Yuen Won\*†, Yong Chae Jung\*\*  
School of Information and Communication Eng., Sungkyunkwan University\*  
Department of Electronic Eng., Namseoul University\*\*

### ABSTRACT

In this paper, soft switching bidirectional DC DC converter is proposed. The proposed topology is added two auxiliary switches, two resonant capacitors and one resonant inductor to convectional bidirectional DC DC converter.

Therefore, this proposed topology can reduce switching loss of each power switch by ZVS (Zero Voltage Switching) and ZCS (Zero Current Switching). We have performed mode analysis, simulation and experiment for the proposed topology.

**Keyword:** Soft switching bidirectional converter, Zero voltage switching, Zero current switching, resonant

### 1. 서론

일반적으로 전력 변환 시스템을 구현할 때 시스템의 소형화 및 경량화는 스위칭 주파수를 증가시키으로써 얻을 수 있다. 그러나 스위칭 주파수가 증가함에 따라 비례적으로 발생하는 스위칭 손실의 증가는 스위칭 주파수 증가의 제한 요인이 되며, 전체 시스템 효율을 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 전체 시스템의 고 전력 밀도 및 효율 향상을 얻기 위해서 스위칭 주파수의 증가에 따른 스위칭 손실을 저감시키는 것은 필수적이다. 이와 같이 전력변환 방식에 공진형 방식을 채택하여 전력 반도체 소자의 스위칭 손실을 최소화하기 위해 전압이나 전류가 영에서 턴 온, 턴 오프 하는 소프트 스위칭 기법에 대해 관심이 집중되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

### 2. 제안한 양방향 DC-DC 컨버터

그림 1 1 (a)는 기존의 양방향 DC DC 컨버터이다. 본 논문에서 제안하는 양방향 DC DC 컨버터는 그림 1 1 (b)에 도시한 바와 같이 그림 1 1 (a)와 유사하며 단지 공진 인덕터, 두 개의 스위치와 공진 캐패시터가 추가되어 구성된 보조회로를 가진다는 점이 서로 다르다.

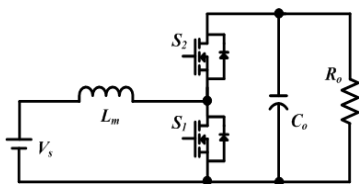


그림 1-1 (a) 기존의 양방향 DC-DC 컨버터

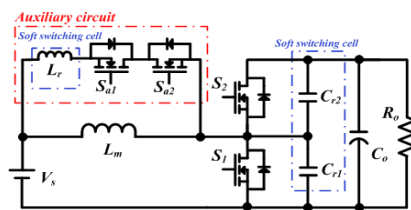


그림 1-1 (b) 제안한 양방향 DC-DC 컨버터

### 2.1 부스트 동작 원리 및 회로 해석

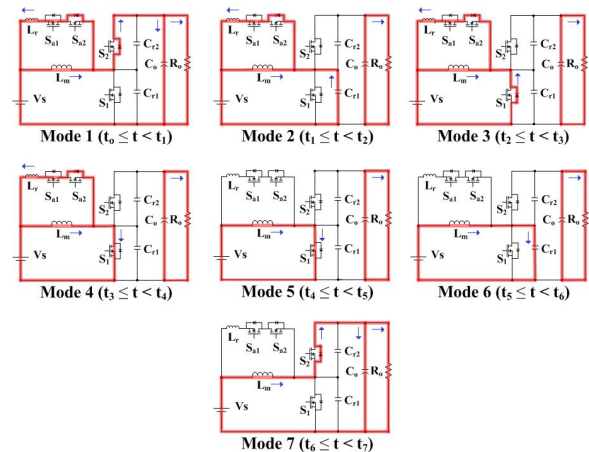


그림 2 제안된 부스트 회로의 모드별 동작상태

Mode 1 ( $t_0 \leq t < t_1$ ) : 보조스위치( $S_{a1}$ )가 턴 온 되는 순간부터 Mode 1은 시작된다. 이 때  $S_{a1}$   $L_r$   $L_m$ 의 경로로 전류형 준공진을 하게 되어  $S_{a1}$ 은 ZCS 조건으로 턴 온 되며,  $L_r$ 의 전류는 선형적으로 증가하여  $L_m$ 의 전류와 동일하게 되면 Mode 1은 종료된다.

$$i_{L_m} = \frac{1}{L_m} (V_s - V_o)t + I \quad (1)$$

$$i_{L_r} = \frac{1}{L_r} (V_o - V_s)t \quad (2)$$

Mode 2 ( $t_1 \leq t < t_2$ ) : 시간  $t_1$ 이후  $L_r$ 의 전류는 준공진에 의해 사인파의 일부분의 형태를 나타내며  $C_{r1}$ 이 방전되고 다시  $L_m$ 의 전류와 같아졌을 때 Mode 2는 종료된다.

$$i_{L_r} = \frac{1}{L_r} \frac{(V_o - V_s)}{Z_r} \sin \omega_r t + I_{r1} \quad (3)$$

$$V_{Cr1} = V_s + (V_o - V_s) \cos \omega_r t, \quad V_{Cr2} = V_o - V_{Cr1} \quad (4)$$

$$C_r = C_{r1} + C_{r2}, \quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}, \quad Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (5)$$

Mode 3 ( $t_2 \leq t < t_3$ ): 주 스위치( $S_1$ )의 환류 다이오드를 통해 공진 전류 루프가 구성된다.

$$i_{L_m} = \frac{1}{L_m} V_s t + I_2 \quad (6)$$

$$i_{L_r} = -\frac{1}{L_r} V_s t + I_{r2} \quad (7)$$

Mode 4 ( $t_3 \leq t < t_4$ ):  $S_1$ 의 환류 다이오드가 도통 되는 동안  $S_1$  양단은 영전압 상태가 되고 이 때  $S_1$ 은 ZVS 턴 온 하게 된다. 그리고  $S_{all}$ 은 준공진 전류가 영이 됨에 따라 ZCS 턴 오프 한다.

$$i_{L_m} = \frac{1}{L_m} V_s t + I_3 \quad (8)$$

$$i_{L_r} = -\frac{1}{L_r} V_s t + I_{r3} \quad (9)$$

Mode 5 ( $t_4 \leq t < t_5$ ):  $L_m$ 과  $S_1$ 을 통해 전류가 흐르기 시작하고  $L_m$ 에는 유도성 에너지가 축적된다.

$$i_{L_m} = \frac{1}{L_m} V_s t + I_4 \quad (10)$$

$$i_{L_r} = 0 \quad (11)$$

Mode 6 ( $t_5 \leq t < t_6$ ):  $S_1$ 이 턴 오프 하면  $C_{r1}$ 에 순간적으로 충전전류가 흐르면서  $S_1$  양단을 영전압 상태로 만들어 ZVS 조건으로 턴 오프 하게 된다.

$$V_{Cr1} = V_o - V_{Cr2}, \quad V_{Cr2} = V_s + (V_o - V_s) \cos \omega_m t \quad (12)$$

$$C_r = C_{r1} + C_{r2}, \quad \omega_m = \frac{1}{\sqrt{L_m C_r}}, \quad Z_m = \sqrt{\frac{L_m}{C_r}} \quad (13)$$

Mode 7 ( $t_6 \leq t < t_7$ ):  $L_m$  전류는  $S_2$ 의 환류 다이오드를 통해  $C_o$ 를 충전한다.

$$i_{L_m} = \frac{1}{L_m} (V_s - V_o) t + I_6 \quad (14)$$

벽 모드의 동작 모드 또한 7개의 구간으로 나누어지며 해석 방식은 부스트 모드와 동일하다. 다만, 보조 스위치와 주 스위치의 소자가 다르게 구성되어 동작하게 된다.

### 3. 실험

본 논문에서는 스위칭 주파수 30kHz로 작동되는 양방향 컨버터를 시험용으로 제작하여 실험하였다.

표 1은 제안한 양방향 컨버터 실험에 사용된 파라미터 값들을 나타낸다.

표 1 실험에 사용된 파라미터의 값

$P_o$	1 [kW]	$L_r$	20 [ $\mu$ H]
$V_{in}$	200 [V]	$C_{r1}$	20 [nF]
$V_{out}$	400 [V]	$C_{r2}$	20 [nF]
$L_m$	1 [mH]	$C_o$	1360 [ $\mu$ F]

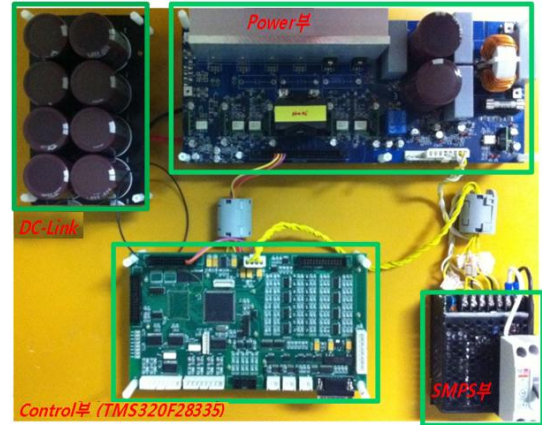


그림 3 제안한 양방향 컨버터의 하드웨어

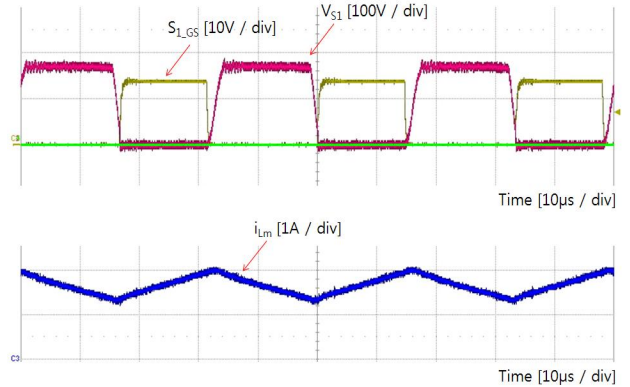


그림 4 주 스위치 게이트 신호, 전압 및 주 인덕터 전류 파형

### 4. 결론

본 논문에서는 기존의 양방향 DC DC 컨버터에 두 개의 보조 스위치를 추가하여 보조 회로를 구성한 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 형태의 컨버터는 주 스위치와 역 병렬 다이오드에서 뿐만 아니라, 보조 회로의 보조 스위치 턴 온 및 턴 오프 순간에도 소프트 스위칭이 가능하도록 하여 전체 시스템의 스위칭 손실 저감을 가능하게 한다.

이 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] Choi. Hyun Chil, "A New Soft switched PWM Boost Converter with a Loses Auxiliary Crcit", The Transactionas of the Korean Institute Power Electronics, Vol.11, no.2, pp. 149 158, 2006.
- [2] Choi. Hyun Chil, "A New Zero Current Transition Buck Converter", The Transactionas of the Korean Institute Power Electronics, Vol.6, no.6, pp. 556 563, 2001.