

ZCT 방식을 이용한 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터

이일호*, 박건욱*, 정두용*, 김재형*, 원충연**+, 정용채**
 성균관대학교*, 남서울대학교**

A Soft Switching Bidirectional DC-DC Converter Using ZCT method

Il-Ho Lee*, Kun-Wook Park*, Doo-Yong Jung*, 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, the bi-directional soft switching DC-DC converter using ZCT(Zero Current Transition) method is proposed for using battery application system. This topology is composed of soft switching bi-directional buck/boost converter having the ZCT auxiliary circuit with two switches, two resonant capacitors, one resonant inductor. Therefore, the proposed topology can reduce switching loss. To verify the validity of the proposed topology, theoretical analysis and simulation results are presented.

1. 서론

일반적인 양방향 DC-DC 컨버터는 하드 스위칭을 하기 때문에 시스템 효율을 저하시킨다. 하드 스위칭 방식은 스위칭 주파수가 높을수록 손실이 증가하기 때문에 시스템의 크기가 클 수밖에 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 ZCT 방식을 이용한 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 주 스위치와 보조 스위치의 턴 온 및 오프 시 소프트 스위칭이 가능하도록 하여 시스템 효율을 향상시킨다.^[1]

2. 제안된 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터이다. 일반적인 양방향 DC-DC 컨버터의 구조에서 두 개의 스위치와 두 개의 커패시터 그리고 하나의 공진 인덕터가 추가되었다.

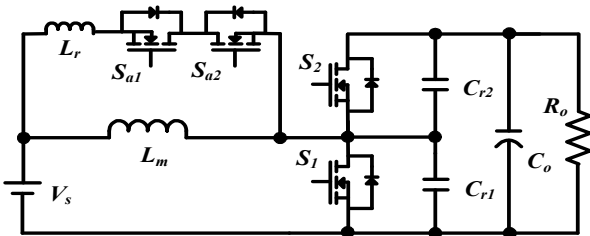


그림 1 제안된 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터
 Fig. 1 Proposed bidirectional soft switching DC-DC converter

2.1 Boost 모드 분석

제안된 컨버터의 Boost 모드 동작은 매 스위칭 주기 동안 전

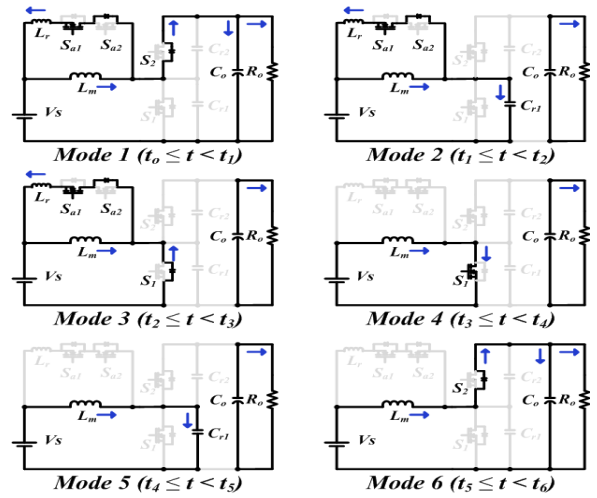


그림 2 제안된 컨버터의 Boost 모드
 Fig. 2 Boost mode of proposed converter

류의 흐름에 따라 6개의 서로 다른 구간으로 구분된다.^[2] 각 모드는 그림 2에 나타내었으며, 그에 따른 설명은 다음과 같다.

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 준공진(Current Quasi-Resonant)을 하게 되어 S_{a1} 은 ZCS 조건으로 턴-온 되며, L_r 의 전류는 선형적으로 증가하여 주 인덕터(L_m)의 전류와 동일하게 되면 Mode 1은 종료된다.

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.

Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$): 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_{a1} 은 준공진 전류가 영이 됨에 따라 ZCS 턴-오프 한다.

Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$): L_m 과 S_1 을 통해 전류가 흐르기 시작하고 L_m 에는 유도성 에너지가 축적된다.

Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$): S_1 이 턴-오프 하면 C_{r1} 에 순간적으로 충전전류가 흐르면서 S_1 양단을 영전압 상태로 만들어 ZVS 턴-오프 하게 된다.

Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$): L_m 전류는 S_2 의 환류 다이오드를 통해 출력 커패시터(C_o)를 충전한다.

2.2 Buck 모드 분석

제안된 컨버터의 Buck 모드 동작은 매 스위칭 주기 동안 전류의 흐름에 따라 7개의 서로 다른 구간으로 구분된다. 각 모드와 동작파형을 그림 3과 그림 4에 나타내었으며, 그에 따른 설명은 다음과 같다.

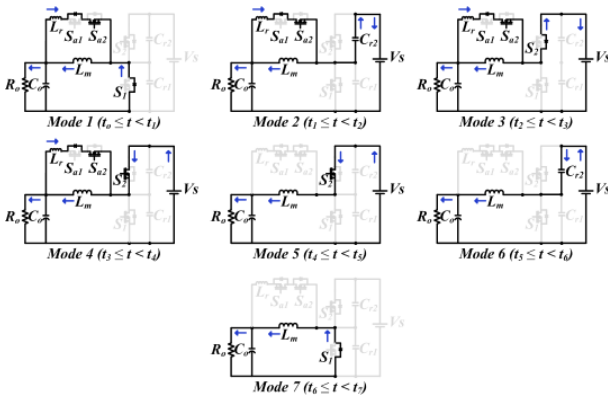


그림 3 제안된 컨버터의 Buck 모드
Fig. 3 Buck mode of proposed converter

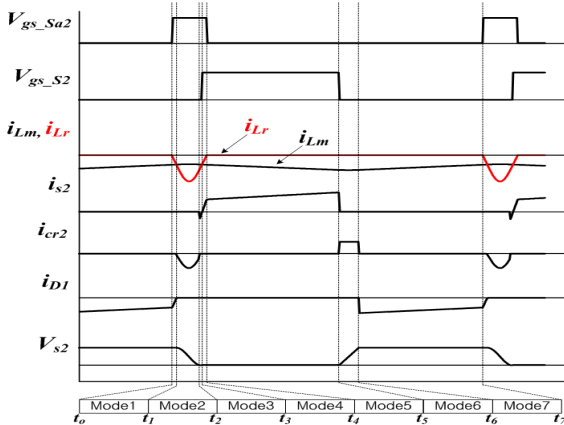


그림 4 Buck 모드 동작에 대한 각 구간별 동작파형
Fig. 4 Key waveforms of the buck mode operation

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$) : 보조스위치(S_{a2})가 턴-온 되는 순간부터 Mode 1은 시작된다. 이 때 S_{a2} - L_m - L_r 의 경로로 전류형 준공진을 하게 되어 S_{a2} 는 ZCS 조건으로 턴-온 되며, L_r 의 전류는 선형적으로 증가하여 L_m 의 전류와 동일하게 되면 Mode 1은 종료된다.

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$) : 시간 t_1 이후 L_r 의 전류는 준공진에 의해 사인파의 일부분의 형태를 나타내며 C_{r2} 가 방전되고 다시 L_m 의 전류와 같아졌을 때 Mode 2는 종료된다.

Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$) : 주 스위치(S_2)의 환류 다이오드를 통해 공진 전류 루프가 구성된다.

Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$) : S_2 의 환류 다이오드가 도통 되는 동안 S_2 양단은 영전압 상태가 되고 이 때 S_2 는 ZVS 턴-온 하게 된다. 그리고 S_{a2} 는 준공진 전류가 영이 됨에 따라 ZCS 턴-오프 한다.

Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$) : L_m 과 S_2 를 통해 전류가 흐르기 시작하고 L_m 에는 유도성 에너지가 축적된다.

Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$) : S_2 가 턴-오프 하면 C_{r2} 에 순간적으

로 충전전류가 흐르면서 S_2 양단을 영전압 상태로 만들어 ZVS 조건으로 턴-오프 하게 된다.

Mode 7 ($t_6 \leq t < t_7$) : L_m 전류는 S_1 의 환류 다이오드를 통해 C_o 를 충전한다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 PSIM 6.0을 사용하여 제안된 양방향 컨버터의 소프트 스위칭 동작을 확인하였다. 표 1은 제안하는 양방향 컨버터 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들을 나타낸다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터의 값
Table 1 Values of parameters for a simulation

항목	사양	항목	사양
용량	1 [kW]	공진 인덕터	20 [μ H]
입력전압	200 [V]	공진 커패시터 1	20 [nF]
출력전압	400 [V]	공진 커패시터 2	20 [nF]
스위칭주파수	30 [kHz]	출력 커패시터	1000 [μ F]
주 인덕터	1 [mH]		

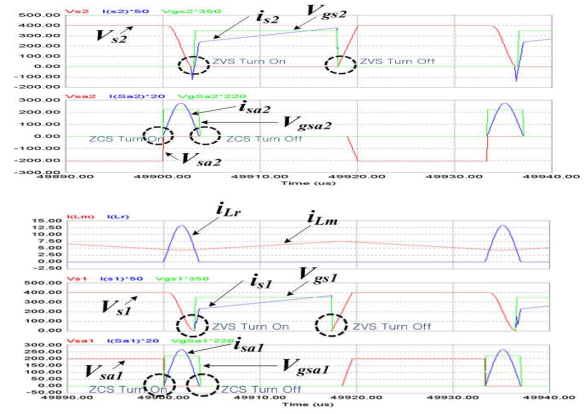


그림 5 Buck/Boost 모드 시 소프트 스위칭 동작 파형
Fig. 5 Buck/Boost mode soft switching operation waveforms

4. 결론

본 논문에서는 보조 스위치를 이용한 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 주 스위치는 ZVS 조건에서 턴-온 및 턴-오프 스위칭 하며, 보조 스위치는 ZCS 조건에서 턴-온 및 턴-오프 스위칭을 하므로 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안된 컨버터는 향후 실험을 통해 효율 분석 및 동작 특성을 연구할 예정이다.

이 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] G. Hua, F. C. Lee, "Soft switching techniques in PWM converters", IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 42, pp. 595-603, 1995.
- [2] 최현철, "스위칭 손실 없는 보조회로를 이용한 고효율 부우스트 컨버터 설계", 전력전자학회 논문지 제11권 제2호, pp. 97-194, 2006. 4