

ZVS기법을 사용한 양방향 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터

오순택*, 김재형*, 엄주경*, 원충연**+, 정용채**
 성균관대학교*, 남서울대학교**

Bidirectional Soft Switching DC-DC Converter using ZVS method

Soon-Tack Oh*, Jae-Hyung Kim*, Ju-Kyung Eom*, Chung-Yuen Won**+, Yong-Chae Jung**

*School of Information and Communication Eng., Sungkyunkwan University

**Department of Electronic Eng., Namseoul University

ABSTRACT

This paper proposed bidirectional DC-DC converter applying soft switching technique. Compared with conventional bidirectional converter, the main switches of proposed converter are operated without switching losses, and auxiliary switches were run under soft switching condition using quasi-resonant current mode. To verify the validity of the proposed converter, mode analysis and simulation results are presented.

1. 서론

기존의 양방향 DC-DC 컨버터의 경우, 주 스위치들이 하드 스위칭을 하기 때문에 많은 스위칭 손실이 발생한다. 본 논문에서는 스위칭 손실 저감을 위하여 ZVS 방식^[1]을 사용한 양방향 DC-DC 소프트 스위칭 컨버터를 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 개선점을 증명하였다.

2. 회로 설명 및 동작원리

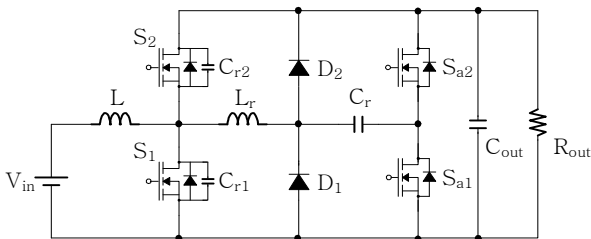


그림 1 ZVS 방식을 사용한 제안된 양방향 DC-DC 컨버터
 Fig. 1 Proposed bidirectional DC-DC converter using ZVS

그림 1은 제안된 양방향 DC-DC 컨버터를 나타낸다. 기존의 양방향 DC-DC 컨버터 구조에 직렬 공진탱크^[2]와 2개의 보조 스위치 그리고 2개의 다이오드가 추가된 구조이다. 일반적인 소프트 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터의 경우 보조 스위치가 하드 스위칭을 하지만, 앞서 제시한 2개의 다이오드를 통해 주 스위치의 소프트 스위칭 동작을 돕는 보조 스위치도 손실 없이 스위칭을 할 수 있도록 설계하였다. 제안된 컨버터의 각 소자의 전류와 전압을 기준으로 모드를 구분하였다. 또한 그림 2는 앞서 언급한 기준을 바탕으로 각 소자에 인가되는 전압과 흐르는 전류파형을 나타낸다.

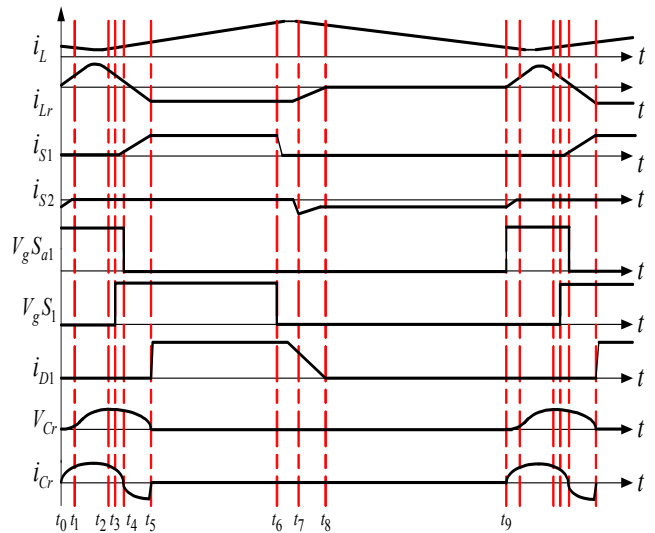


그림 2 제안된 컨버터의 각부 파형
 Fig. 2 Waveforms of the proposed converter

2.1 Boost mode 모드분석

Boost 동작모드는 전류의 흐름에 따라 그림 2와 같이 9 개의 구간으로 나뉘어진다. 또한 모드분석에 있어, 토폴로지에 사용된 모든 소자는 이상적인 소자로 가정한다.

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$) : 보조스위치(S_{a1})이 켜지면서 모드1이 시작된다. 주 인덕터(L)의 전류가 주 스위치(S_1)의 환류 다이오드를 통해 출력 측으로 흐르면서 점차 감소한다. S_{a1} 이 턴 온 되면 공진 인덕터전류(I_{Lr})는 직렬 공진 탱크(L_r, C_r)에 의해 준공진 사인과 형태의 전류 모양으로 상승하게 되어 ZCS 턴 온 상태가 된다. 이 공진 전류가 상승하여 주 인덕터(L) 전류와 같아지면 모드 1은 종료된다.

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$) : 공진 인덕터는 에너지 축적이 완료된 후, 그 에너지를 방출하며 공진 커패시터 C_r 에 전압이 충전된다. 스위치 S_2 의 전압이 상승하면서 C_{r1} 은 에너지를 방전하고 C_{r2} 는 에너지를 충전한다.

Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$) : C_{r1} 과 C_{r2} 는 방전과 충전을 완료하므로 전류가 흐르지 않는다. S_1 의 환류 다이오드를 통해 공진 전류가 흐르게 된다. 이때 S_1 은 ZVS 턴 온 하게 된다.

Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$) : 주 스위치와 보조 스위치가 동시에 켜져 있는 구간이다. 공진전류가 0이 되면서 S_{a1} 은 ZCS

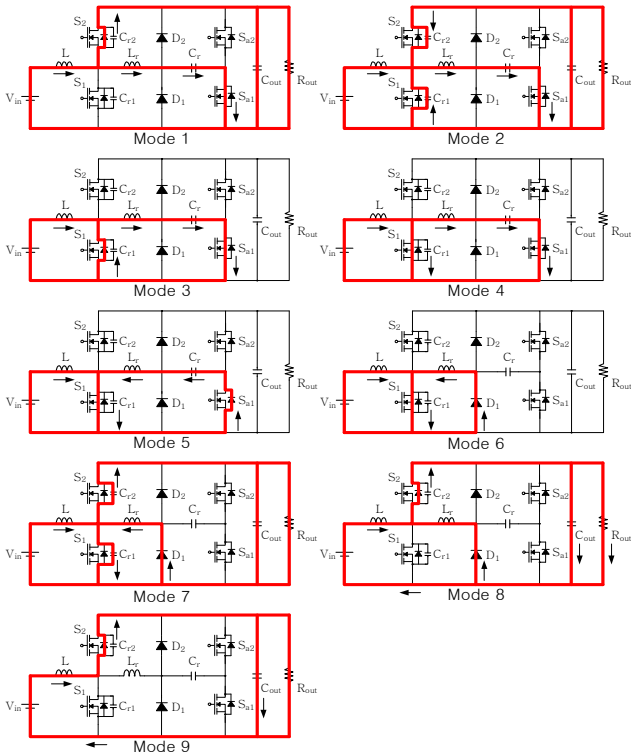


그림 3 동작 모드에 따른 전류 경로
Fig. 3 Current path of each operation mode

턴 오프 한다.

Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$) : 공진커패시터(C_r)에 충전된 에너지는 주 스위치를 통해 방전하므로 공진 인덕터에 흐르는 전류의 방향도 바뀐다. 공진 커패시터가 방전하면서 보조 스위치의 환류 다이오드를 통해 역방향의 공진 전류 루프가 구성된다. 공진 커패시터의 에너지가 방전되면 모드가 종료된다.

Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$) : 공진 커패시터의 에너지가 방전되었기 때문에 L_r 의 유도성 에너지가 다이오드 D_1 을 통해 흐른다. 주 인덕터에 흐르는 전류가 상승하게 되고 주 스위치가 턴 오프하면 이 모드는 종료된다.

Mode 7 ($t_6 \leq t < t_7$) : 주 스위치 S_1 이 ZVS 턴 오프된 후, 이전에 전압을 방전과 충전했던 C_{r1} 과 C_{r2} 는 각각 충전과 방전이 된다. C_{r1} 과 C_{r2} 가 충전과 방전이 완료되면 모드가 종료된다.

Mode 8 ($t_7 \leq t < t_8$) : 공진 인덕터(L_r)의 잔여 에너지는 스위치 S_2 의 환류 다이오드를 통해 흐르고, 그 전류가 0이되면 모드가 종료된다.

Mode 9 ($t_8 \leq t < t_9$) : 주 인덕터의 전류는 S_2 에 연결된 환류 다이오드를 통해 흐른다. 보조 스위치(S_{a1})이 켜지면 Mode 1이 시작된다.

Buck 모드는 9개의 동작 모드로 나누어지고 해석방식은 Boost 모드와 동일하다. 하지만 Buck 모드에서는 S_2 , S_{a2} 그리고 D_2 를 주 소자로 사용하여 모드가 구성된다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안된 ZVS방식을 이용한 양방향 DC-DC 컨버터를 PSIM 소프트웨어를 통해 시뮬레이션 하였다. 제안한 컨버터는 0.5의 시비율에서 400[V]와 200[V]의 출력전압을 얻고 부스트 모드에 대한 결과 파형은 그림 4에 나타내었다.

표 1 제안된 시스템의 파라미터

Table 1 Parameter of proposed system

항목	사양	항목	사양
용량	1[kW]	공진 인덕터	50[uF]
입력전압	200[V]	공진커패시터	50[nH]
출력전압	400[V]	출력커패시터	1000[uF]
주 인덕터	1[mH]	스위칭주파수	30[kHz]

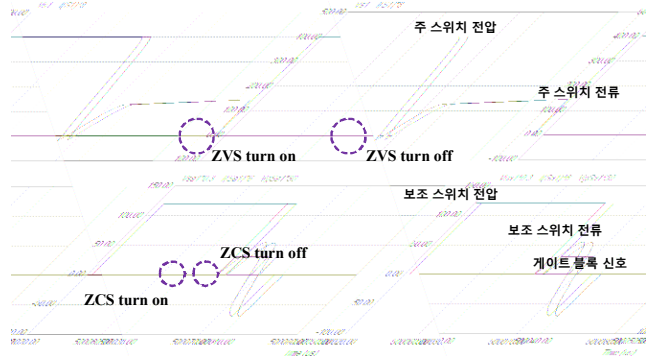


그림 4 PSIM 시뮬레이션의 주요 결과파형
Fig 4. Key waveforms of PSIM simulation

그림 4의 상단 파형에서, 주 스위치가 ZVS 조건에서 동작함을 전압과 전류 파형을 통해 나타낸다. 하단의 파형은 공진 스위치가 ZCS 조건에서 동작하는 것을 보조 스위치의 전압, 전류 그리고 게이트 블록의 신호를 통해 나타낸다. 그러므로 제안한 토폴로지는 턴 온 시에 구성된 모든 스위치가 소프트 스위칭 상태에서 동작하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 ZVS방식을 이용한 양방향 DC-DC 컨버터를 제안 하였다. 제안한 컨버터에 대한 모드별 분석과 시뮬레이션을 통해 제안된 토폴로지의 타당성을 증명하였고 모든 스위치에서 소프트 스위칭 동작이 정상적으로 이루어짐을 확인하였다. 이러한 토폴로지는 신재생에너지를 이용하는 분산전원의 BESS로 활용이 가능할 것으로 기대된다. 향후 실험을 통해 효율 측정 및 동작 특성을 확인할 예정이다.

이 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

[1] Liu Yuanyuan, Qu Wenlong, and Ma Gang, "The ZVS Condition Analysis of a Novel Soft Switching Bidirectional DC/DC Converter", IEEE Region 10 Conference, 2006. TENCON 2006. Vol. 1, No. 1, pp. 1-4, 2006, Nov.

[2] Hong Mao, Osama Abdel-Rahman, and Issa Batarseh, "Active Resonant Tank to Achieve Zero-Voltage-Switching for Non-Isolated DC-DC Converters with Synchronous Rectifiers", Industrial Electronics, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE, pp. 585-591, 2005, Nov.