

# 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터

박준형, 이승민, 품소피악, 전한석, 김은수<sup>†</sup>, 공영수\*  
 전주대학교, 국립과학수사연구원\*

## Bidirectional Resonant Converter with High Efficiency Characteristics

J.H Park, S.M Lee, S. Phum, H.S Jeon, E.S Kim<sup>†</sup>, Y.S Kong\*  
 JeonJu University, National Forensic Service\*

**Abstract**— For achieving the high gain and resonant characteristics in both of the power flow directions, a bidirectional resonant dc dc converter with auxiliary switches is proposed. Auxiliary switches are connected in the primary and secondary side of the bidirectional resonant dc dc converter, respectively. A 1kW prototype bidirectional resonant dc dc converter for interfacing the 400V DC buses in the energy storage system is built and tested to verify the validity and applicability of this proposed converter.

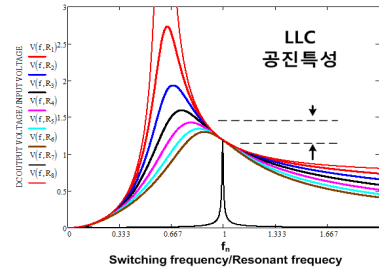


그림 2. 제안된 양방향 DC/DC컨버터 및 순방향/역방향 전압이득특성

### 1. 서론

최근 태양광발전 계통연계 시스템과 배터리 충·방전 시스템, 전기자동차 등 여러 분야에 양방향 DC DC 컨버터가 적용되고 있다. 그 중 사이즈 및 스위칭 손실, EMI(Electro Magnetic Interference) 저감을 위한 영전압스위칭(ZVS: Zero Voltage Switching)과 영전류스위칭(ZCS: Zero Current Switching)이 모두 가능한 LLC 공진컨버터가 개발 되어 있다. 하지만 그림 1과 같이 1, 2측에 사용되는 공진커패시터 값 사용의 경우 CLLC 공진컨버터 특성에 따라 요구된 전압이득 특성을 얻을 수 없기 때문에 설계에 어려움이 따른다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 그림 2에서와 같이 양방향보조스위치와 Blocking 커패시터로 구성된 보조수단을 사용하여 순방향 및 역방향 전력 전달 시 양방향보조스위치를 턴 온, 턴 오프 제어하여 1차측 및 2차측 공진커패시터와 병렬로 구성, 연결하여 줌으로써 순방향 및 역방향 동작시 그림 2와 같이 LLC 공진컨버터 전압이득특성을 갖도록 하여 줌으로써 높은 이득특성 및 고효율특성을 갖는 양방향 공진컨버터에 대해 1kW급으로 적용 및 실험하였다.

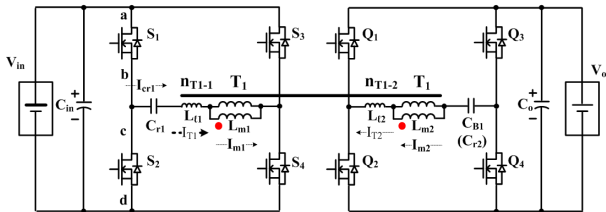
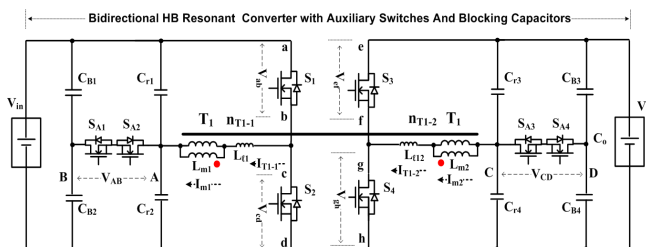


그림 1. 기존 양방향 전력수수 가능한 공진컨버터 주회로도



### 2. 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터

본 논문에서는 그림 2와 같이 양방향보조스위치(SA1, SA2, SA3, SA4)와 Blocking 커패시터(CB1, CB2, CB3, CB4)로 구성된 보조수단을 사용하여, 순방향 및 역방향 전력전달 시 양방향보조스위치(SA1, SA2, SA3, SA4)를 턴 온, 턴 오프 제어함으로써 그림 2와 같이 높은 전압이득특성을 갖는 LLC공진컨버터로 동작한다.<sup>[2]</sup>

#### 2.1 순방향 동작

순방향 동작 시 그림 3과 같이 1차측 스위칭소자(S1, S2)는 각각 고정된 듀티비(50%)를 가지고 턴 온, 턴 오프로 인가되고, 2차측 스위칭소자(S3, S4)는 턴 오프 상태로 유지되어 있고 2차측 스위칭소자(S3, S4)의 역병렬다이오드가 정류다이오드로 동작된다. 1차측 보조스위치(SA1, SA2)는 턴 오프 되어 동작하지 않고 1차측 Blocking 커패시터(CB1, CB2)는 1차측 공진커패시터(Cr1, Cr2)와 병렬로 연결되지 않기 때문에 LLC 공진컨버터 처럼 높은 전압이득특성을 얻을 수 있다. 따라서 1차측 보조수단은 동작되지 않고, 2차측 양방향보조스위치(SA3, SA4)가 턴 온 동작되어 2차측 공진커패시터(Cr3, Cr4)와 2차측 Blocking 커패시터(CB3, CB4)가 병렬 연결되어 큰 값의 커패시턴스(Cr3+CB3, Cr4+CB4)를 가지되어 높은 전압이득특성의 LLC 공진컨버터처럼 동작을 하게 된다.

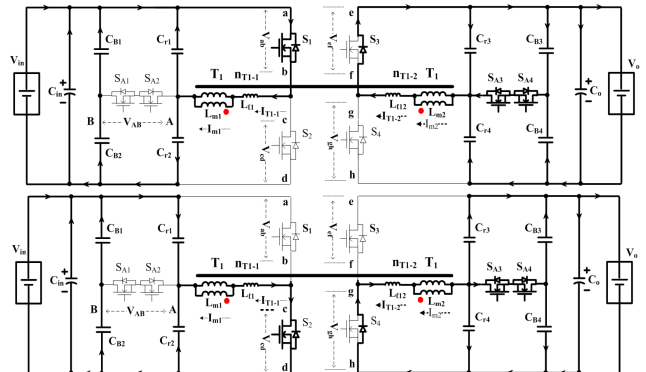


그림 3. 보조스위치와 Blocking 커패시터 적용 순방향 모드 동작

## 2.2 역방향 동작

역방향 동작 시 그림 4와 같이 2차측 스위칭소자( $S_3, S_4$ )는 각각 고정된 듀티비(50%)를 가지고 턴 온, 턴 오프 인가되고, 1차측 스위칭소자( $S_1, S_2$ )는 턴 오프 상태로 유지되고 스위칭소자의 역병렬다이오드가 정류다이오드로 동작된다. 또한 공진컨버터 2차측에 위치한 보조스위치( $S_{A3}, S_{A4}$ )는 턴 오프 되어 동작하지 않기 때문에 순방향 모드 동작과 마찬가지로 LLC 공진컨버터의 높은 전압이득특성을 얻을 수 있다.

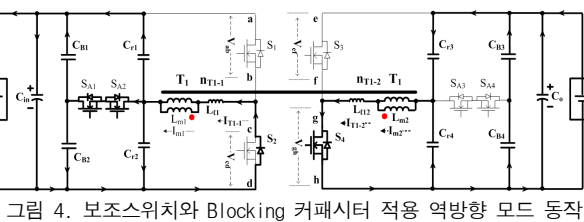
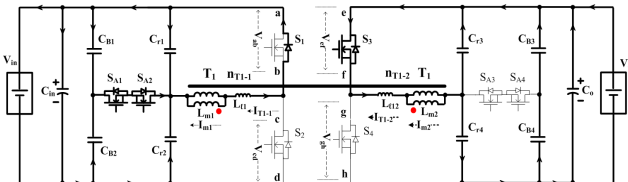


그림 4. 보조스위치와 Blocking 커패시터 적용 역방향 모드 동작

## 3. 실험결과

본 논문에서는 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터에 대해 1kW급 출력용량으로 실험 적용하였다. 순방향 모드 시에는 입력전압 200V~300V 조건에서 최대정격출력용량 400V/2.5A에 대해 실험하였고, 역방향 모드 시에는 입력전압 400V 조건에서 정격출력용량 300V~400V / 2.5A~3.33A에 대해 각각 실험하였다. 그리고 적용된 실험조건과 주요정격에 대해 표 1, 2에 나타내었다.

표 1. 양방향 공진컨버터 실험조건

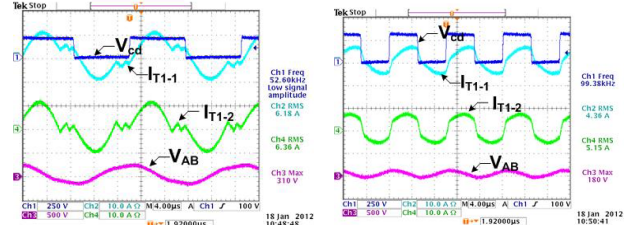
순방향모드	
전압( $V_{in}$ )	200V ~ 300V
순방향 출력용량( $P_o$ )	400V / 2.5A (1kW)
스위칭주파수( $f_s$ )	52.60kHz ~ 99.38kHz
공진주파수( $f_r$ )	75.17kHz
역방향모드	
전압( $V_o$ )	400V
역방향 전력용량	300V~400V / 2.5A~3.3A (1kW)
스위칭주파수( $f_s$ )	44.55kHz ~ 68.11kHz
공진주파수( $f_r$ )	67.05kHz

표 2. 양방향 공진컨버터 파라미터 및 사용된 소자

1,2차측 자기인덕턴스( $L_p, L_s$ )	242.6uH/161.9uH
1, 2차측 누설인덕턴스( $L_{l1}, N^2L_{l2}$ )	18.54uH/63.76uH
등가누설인덕턴스( $L_{eq}$ )	68.17uH
턴수비( $N_1/N_2$ )	16/12
공진 커패시터 ( $C_{r1}, C_{r2}$ )/( $C_{r3}, C_{r4}$ )	68nF/101nF
블록킹 커패시터( $C_{B1}, C_{B2}, C_{B3}, C_{B4}$ )	2uF
주 스위칭소자( $S_1 \sim S_4$ )	FGH40N6S2D(600V/35A)
양방향보조스위치( $S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}$ )	IHY30N160R2(1600V/30A)
적용된 제어 IC	MC34067

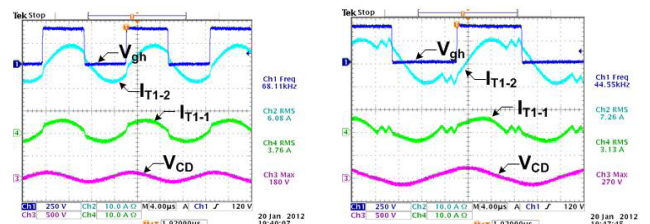
그림 5와 그림 6은 그림 2의 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터 실험파형으로, 그림 5는 입력전압( $V_{in}$ ) 200V, 300V 각

각 조건에서 출력전압( $V_o$ ) 400V / 2.5A 1kW일 때, 단자전압( $V_{cd}$ ), 전류( $I_{T1-1}, I_{T1-2}$ )와 보조스위치 전압( $V_{AB}$ )를 측정된 파형이다. 그림 6은 출력전압( $V_o$ ) 400V 조건에서 입력전압( $V_{in}$ ) 300V~400V / 2.5A~3.33 1kW일 때, 단자전압( $V_{gh}$ ), 전류( $I_{T1-2}, I_{T1-1}$ )와 보조스위치 전압( $V_{CD}$ )를 측정된 파형이다.



(a)  $V_{in}$ :200V  $V_o$ :400V,  $I_o$ :2.5A (b)  $V_{in}$ :300V  $V_o$ :400V,  $I_o$ :2.5A

그림 5. 순방향 동작시 실험파형



(a)  $V_o$ :400V  $V_{in}$ :300V,  $I_{in}$ :3.33A (b)  $V_o$ :400V  $V_{in}$ :400V,  $I_{in}$ :2.5A

그림 6. 역방향 동작시 실험파형

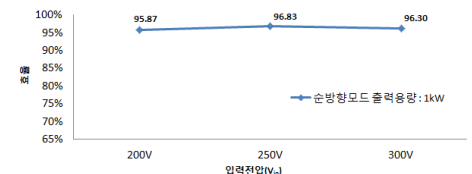


그림 7. 순방향동작시 전압( $V_{in}$ )과 각 부하별 효율

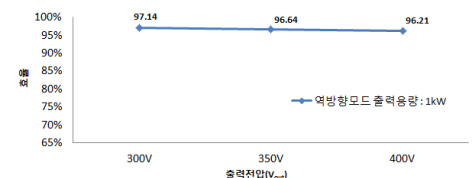


그림 8. 역방향동작시 전압( $V_o$ )과 각 부하별 효율

그림 7과 그림 8은 그림 2의 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터 효율측정으로, 순방향 모드 시 입력전압 250V에서 최대부하(1kW)일 때 96.83% 효율이 측정되었고 역방향 모드 시 출력전압 300V에서 최대부하(1kW)일 때 97.14%의 효율 특성을 보여주었다.

이 논문은 한국연구재단(KRF 2008 313 D00369) 과제와 카코뉴에너지(주) 산학협력연구과제 지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] Wei Chen, Ping Rong, and Zhengyu Lu, "Snubberless Bidirectional DC DC Converter With New CLLC Resonant Tank Featuring Minimized Switching Loss", IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 57, No. 9, September 2010., pp.3075-3086.
- [2] 김은수, "양방향 직류 직류 컨버터", 특허출원(10 2011 0111497).