

# 넓은 전압범위를 갖는 새로운 양방향 대칭 공진형 컨버터

노신영, 김민재, 정범교, 최세완  
서울과학기술대학교

## New Symmetrical Bi-directional Resonant Converter with Wide Voltage Range

Shinyoung Noh, Minjae Kim, Bumkyo Jung, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 양방향 대칭 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 병렬 및 노치 공진탱크를 조합하여 승압 및 강압이 가능하며 다른 공진형 컨버터에 비해 작은 동작과파수 변동으로 넓은 전압범위를 만족할 수 있다. 또한 입력과 출력에서 보이는 공진탱크가 대칭적이기 때문에 전압이득곡선이 동일하며 모드 전환 시 과도상태가 거의 없고, 3차 권선을 통하여 공진 커패시터의 전류정격을 줄일 수 있는 장점이 있다. 3kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

본 논문에서는 변압기의 3차 권선을 사용하여 공진커패시터의 전류정격을 줄일 수 있는 새로운 양방향 대칭 공진형 컨버터를 제안한다. 공진커패시터의 전류정격을 조절할 수 있기 때문에 공진커패시터 선정에 용이하다. 또한 작은 동작과파수 변동으로 넓은 전압범위를 만족시킬 수 있고 전 부하 영역에서 스위치 및 다이오드의 ZVS 턴온 및 턴오프가 가능하다. 공진주파수에서 전압이득이 0이기 때문에 스타트업 동작 시 공진소자의 돌입전류에 의한 스트레스가 없고 입력과 출력에서 보이는 공진탱크가 대칭적이기 때문에 전압이득곡선이 동일하여 모드 전환 시 과도상태가 거의 없는 장점이 있다.

### 1. 서론

최근 신재생 에너지, 에너지 저장장치, UPS 시스템, 지능형 전력망(Smart grid), 전기자동차 등의 응용분야에서 양방향 DC DC 컨버터에 대한 개발 요구가 증대되고 있다.

기존의 양방향 DC DC 컨버터로는 Dual Active Bridge (DAB) 컨버터가 있다. DAB 컨버터는 회로가 간단하며 위상차를 이용하여 전력흐름을 제어하며 추가 회로 없이 모든 스위치가 ZVS 턴온이 가능하다. 하지만 전압이나 전력의 변동으로 위상이 증가하게 되면 무효전력과 소자들의 전류 정격이 증가한다. 또한 입력과 출력의 전압비가 다르면 경 부하에서 소프트 스위칭을 실패하는 문제가 있다. 양방향 CLLC 공진형 컨버터<sup>[1]</sup>는 넓은 전압 제어범위를 갖고, 전 부하에서 모든 스위치가 소프트 스위칭을 하는 장점이 있다. 하지만 공진 탱크가 복잡하여 컨버터를 설계하기 어려우며 모드 전환 시 과도상태가 발생하는 단점이 있다. 또한 스위치 ZVS 턴온 및 승압 시 전압 이득을 만족시키기 위해서는 자화 인덕턴스를 작게 설계해야 하므로 순환 전류의 문제가 있고, 전력이 증가하게 되면 공진 커패시터의 전류정격이 커져서 소자 선정의 문제가 있다.

### 2. 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터

그림 1은 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터의 구조이다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 모드별 AC 등가회로 및 전압이득곡선이다. AC 등가회로를 보면 충전 및 방전모드시 공진탱크가 동일한 것을 확인할 수 있고, FHA(First Harmonic Approximation)를 이용하여 모드별 전압이득곡선을 구할 수 있다. 제안하는 컨버터의 공진탱크는 병렬공진탱크와 노치공진탱크가 결합되어 있기 때문에 노치공진점에서 전압이득이 0이 되고, 노치공진점을 조절하면 전압변동시 동작주파수 변동 폭을 좁게 가져

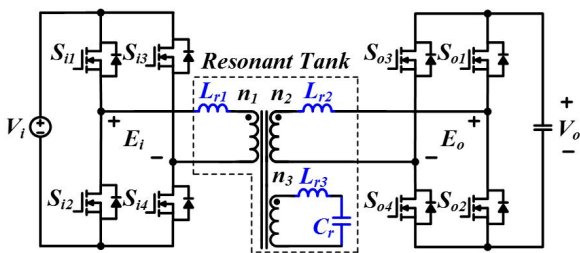


그림 1. 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터의 구조

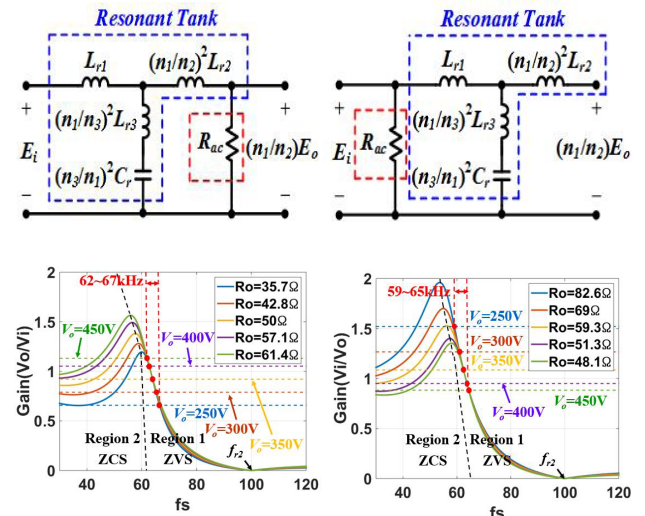


그림 2. 제안하는 컨버터의 모드별 AC 등가 회로 및 전압이득곡선  
(a) 충전 모드 시 (b) 방전 모드 시

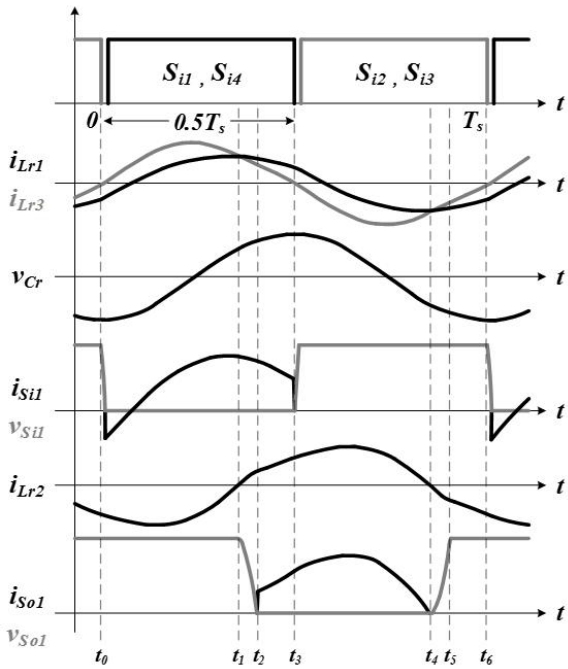


그림 3. 충전 모드 시 동작파형

갈 수 있다. 또한 Region 1 영역에서는 모든 부하에서 스위치의 ZVS 턴온을 성취할 수 있다. 그림 3은 제안하는 컨버터의 충전 모드 시 동작 파형이다. 1차 측 스위치는 주파수 제어하고 2차 측 스위치는 내부 다이오드로 동작하며  $L_{r1}$ 과  $L_{r3}$ 의 전류의 차가 2차 측으로 전달된다. 방전 모드 시에는 반대로 동작한다. 또한 변압기의 3차 권선을 이용하여 공진커패시터로 흐르는 전류를 감소시킬 수 있으므로 공진커패시터 선정이 용이하고 대용량 응용에 적용 시 공진커패시터의 부피를 감소시킬 수 있다.

### 3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위한 설계 사양은 다음과 같고 그림 2는  $I_o=7A$ 일 때 설계 사양에 따른 충전 및 방전 모드 시 전압이득곡선이다.

- $P_o = 3kW$
- $V_i = 380V$
- $V_o = 250 \sim 430V$
- $L_{r1} = 150\mu H$
- $L_{r2} = 150\mu H$
- $L_{r3} = 200\mu H$
- $C_r = 9.8nF$
- $n_1:n_2:n_3 = 1:1:2$

그림 4는 3kW급 시작품 사진이며 그림 5는 실험파형이다. 그림 5(a), (b)를 보면 공진커패시터 전류인  $i_{Lr3}$ 이  $i_{Lr1}$ ,  $i_{Lr2}$ 에 비해 작은 것을 알 수 있다. 일반적으로 공진커패시터는 전압정격이 높고 전류정격이 낮는데, 제안하는 컨버터에 경우 파형에서 볼 수 있듯이 공진커패시터전류가 작기 때문에 다른 공진형 컨버터에 비해 공진커패시터 선정에 용이하다. 그림 5(c)~(f)는 스위치  $S_{i1}$ ,  $S_{o1}$ 의 전압 및 전류 파형으로 ZVS 턴온과 내부 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취하는 것을 확인할 수 있다. 또한 스위칭 손실을 감소시키기 위해 스위치에 병렬로 커패시터를 추가하였는데, 따라서 스위치 턴오프시 하드 스위칭을 함에도 불구하고 전압 스파이크가 거의 없는 것을 볼 수 있다.

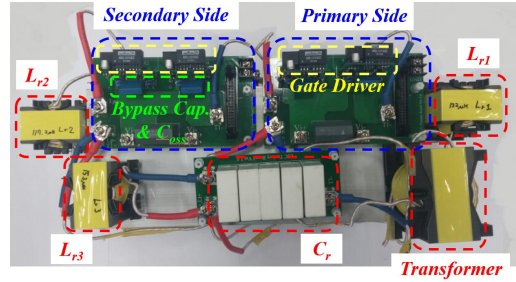


그림 4. 시작품 사진

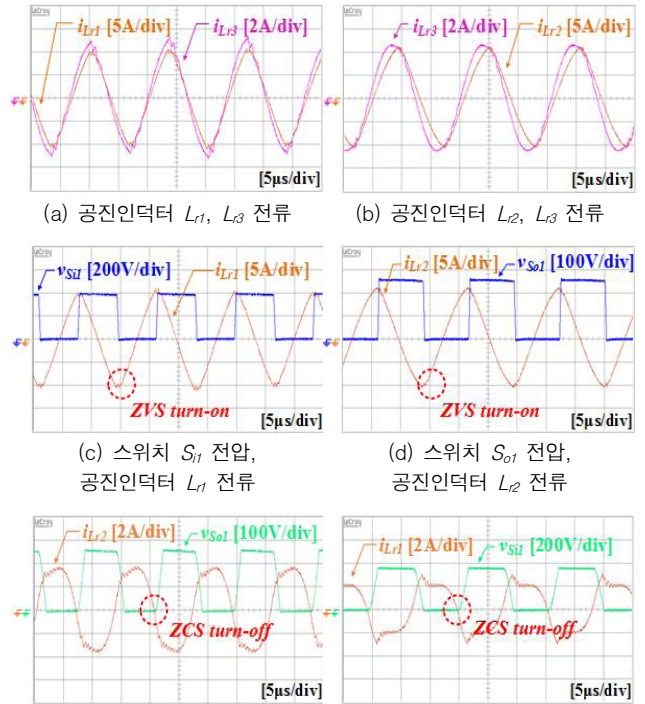


그림 5. 실험파형 (a),(c),(e) 충전 모드 (b),(d),(f) 방전 모드

### 4. 결론

본 논문에서는 새로운 양방향 대칭 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 노치공진점을 이용하여 주파수 변동 폭을 좁게 가져갈 수 있고 3차 권선을 이용하여 공진 커패시터의 전류 정격을 줄일 수 있다. 또한, 부하에 상관없이 스위치와 다이오드가 ZVS 턴온 및 ZCS 턴오프를 성취할 수 있다. 스타트업시 소자 스트레스가 없고, 입력과 출력에서 보이는 공진탱크가 동일하기 때문에 모드전환시 과도상태가 거의 없는 장점이 있다. 3kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

[1] W. C, P. Rong, and Z Lu, "Snubberless Bidirectional DC DC Converter With New CLLC Resonant Tank Featuring Minimized Switching Loss," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, pp. 3075-3086, Sep. 2010.