

# 양방향 배터리 충전기를 위한 새로운 대칭 공진형 컨버터

노신영, 김민재, 이재연, 최세완  
서울과학기술대학교

## New Symmetrical Resonant Converter for Bi-directional Battery Charger

Shinyoung Noh, Minjae Kim, Jaeyeon Lee, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 양방향 배터리 충전기를 위한 새로운 대칭 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 좁은 스위칭 주파수 변동폭으로 넓은 전압범위의 동작이 가능하고 전 부하에서 스위칭 소자의 소프트 스위칭을 성취할 수 있다. 또한 스타트업 시 돌입전류에 의한 소자의 전류스트레스가 제한되고 입력과 출력에서 보이는 공진탱크가 대칭적이어서 충전 및 방전시 전압이득곡선이 동일하며, 3차 권선을 통하여 공진 커패시터의 전류정격을 줄일 수 있다. 3kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 신재생 에너지, 에너지 저장장치, UPS 시스템, 지능형 전력망(Smart grid), 전기자동차 등의 응용분야에서 양방향 배터리 충전기에 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 전 부하에서 모든 스위치가 소프트 스위칭을 하는 장점이 있지만 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 있다.

본 논문에서는 병렬공진탱크와 노치공진탱크가 결합된 새로운 양방향 대칭 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 변압기의 3차 권선을 사용하여 노치공진탱크를 구성하였기 때

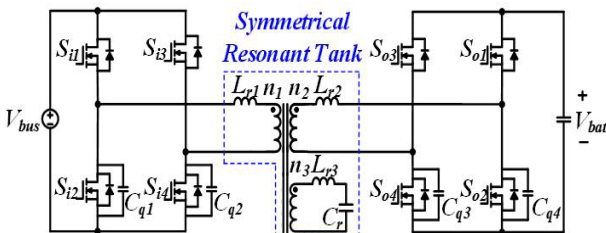


그림 1. 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터의 구조

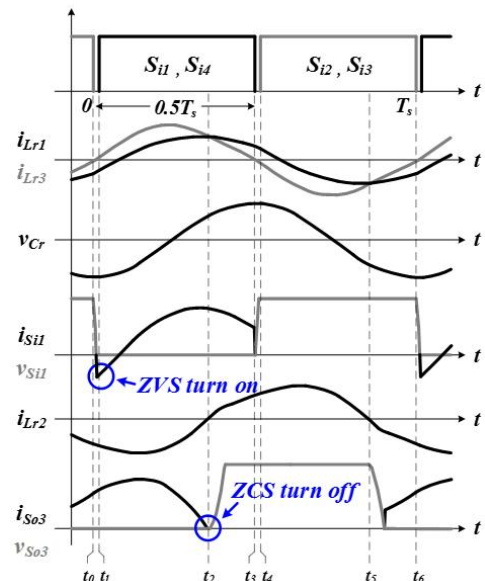
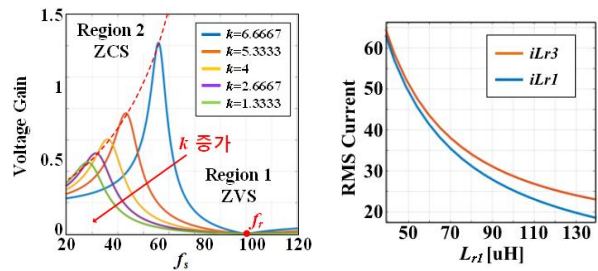


그림 2. 충전 모드 시 동작파형



(a) k에 따른 전압이득곡선

(b) Lr1에 따른 공진전류

그림 3. 제안하는 컨버터의 전압이득곡선 및 공진전류곡선

문에, 턴비에 따른 공진커패시터의 전류정격 조절이 가능 하다. 또한 입출력 전압에 의해서 스위치의 전압이 제한되기 때문에 소자의 전압스트레스를 감소시키기 위한 클램핑 회로가 필요없고, 작은 동작주파수 변동으로 넓은 전압범위를 만족시킬 수 있으며 전 부하 영역에서 스위치 및 다이오드의 ZVS 턴온 및 턴오프가 가능하다. 입력과 출력에서 보이는 공진탱크가 대칭적이기 때문에 전압이득곡선이 동일하여 모드전환시 과도상태가 거의 없는 장점이 있다.

### 2. 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터

그림 1은 제안하는 양방향 대칭 공진형 컨버터의 구조이다. 1차측과 2차측이 변압기를 사이에 두고 정확히 대칭적으로 구성되어 있으며 1차측과 2차측의 턴비는 1:1이고  $L_{r1}$ 과  $L_{r2}$ 는 동일하며 3차측에 노치공진탱크가 있어서 노치공진점에서 거의 0 전압으로 강압이 가능하다. 그림2는 제안하는 컨버터의 동작과 형으로서 인버팅부의 스위치는 ZVS, 정류부의 다이오드는 ZCS 턴오프를 성취하는 것을 볼 수 있다. 그림 3(a)는 인덕턴스 비율  $k=(L_{r1}/((n_1/n_3)^2 L_{r3}))$ 에 대한 전압이득곡선이고 그림3(b)는  $L_{r1}$ 의 크기에 따른 공진전류의 그래프이다. 그림을 통해서  $L_{r1}$ 이 증가하면 전압이득은 감소하지만 공진전류의 크기는 줄어드는 것을 알 수 있다.

### 2.1 공진 소자 설계

공진 소자를 설계할 때 고려해야 할 점은 모든 부하 조건에서 원하는 전압 범위를 만족시켜야 하는 것이다. 설계사양은 다음과 같다:  $P_o=3kW$ ,  $I_{bat,max}=7A$ ,  $V_{bus}=380V$ ,  $V_{bat}=250\sim 430V$ ,  $f_s=50\sim 100kHz$ .

#### 2.1.1 필요한 전압이득 및 부하저항 범위

제안하는 컨버터는 노치공진점에서 거의 0전압까지 강압이 가능하므로 최대전압이득( $=G_{max}$ )을 고려하면 모든 전압범위를 만족시킬 수 있다. 충전 모드시  $G_{max}$ 는 1.1316, 부하저항  $R_L$ 은 61.43 $\Omega$ 이다.

#### 2.1.2 동작주파수 제한에 따른 공진주파수 선정

설계사양에서 주어진  $f_{s,max}$ 는 100kHz이므로 노치공진주파수  $f_r$ 은 100kHz이고  $f_{s,min}$ 은 50kHz이므로 최대전압이득을 얻는 동작주파수는 50kHz이다.

#### 2.1.3 충전 및 방전모드시 공진소자값 설계

전압이득을 함수로 고려하면,  $G=F(L_{r1}, L_{r3}, C_r, R_L, f_s)$ 로 정의할 수 있고,  $G_{max}$ 에서의  $R_L$ ,  $f_s$ 를 알고있고  $C_r$ 은  $L_{r3}$ 으로 표현될 수 있기 때문에 최대전압이득은  $L_{r1}$ 과  $L_{r3}$ 의 두 변수로 나타내어진다.  $G_{max}$ 에 10% 마진을 주고 방전모드도 충전모드와 마찬가지로 설계를 진행하면 그림 4(a),(b)와 같이  $G_{max}$ 를 성취할 수 있는  $L_{r3}$ 에 따른  $L_{r1}$ 의 곡선을 얻을 수 있다. 최적설계값은 주어진 전압범위를 만족시키기 위해서 방전모드시에 얻은 공진소자값 ( $L_{r1}=159\mu H$ ,  $L_{r3}=39\mu H$ ,  $C_r=65nF$ )으로 설계하였다.

#### 2.1.4 최적설계값에 따른 전압이득곡선 검증

최적설계값을 검증하기 위해 그림4(c),(d)와 같이 충전 및 방전모드의 전압이득곡선을 구하여서 모든 전압범위를 만족하는 것을 확인하였다.

## 3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 3kW급 시작품을 제작하여 동작을 검증하였다. 그림4는 최대출력 3kW시 충전 및 방전모드 실험파형이다. 실험을 통하여 모든 전압범위에서의 동작과 스위칭 소자의 소프트스위칭 성취를 확인하였다.

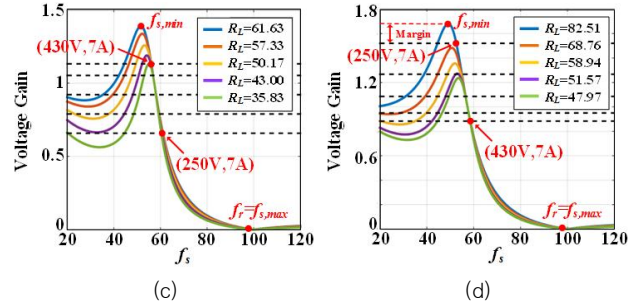
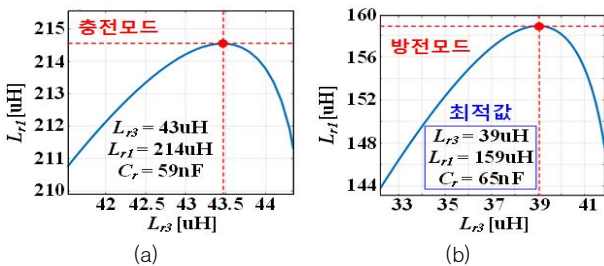


그림 4. 최대전압이득을 얻는  $L_{r3}$ 에 대한  $L_{r1}$ 곡선 및 최적설계값에 따른 전압이득곡선 (a),(c) 충전모드 (b),(d) 방전모드

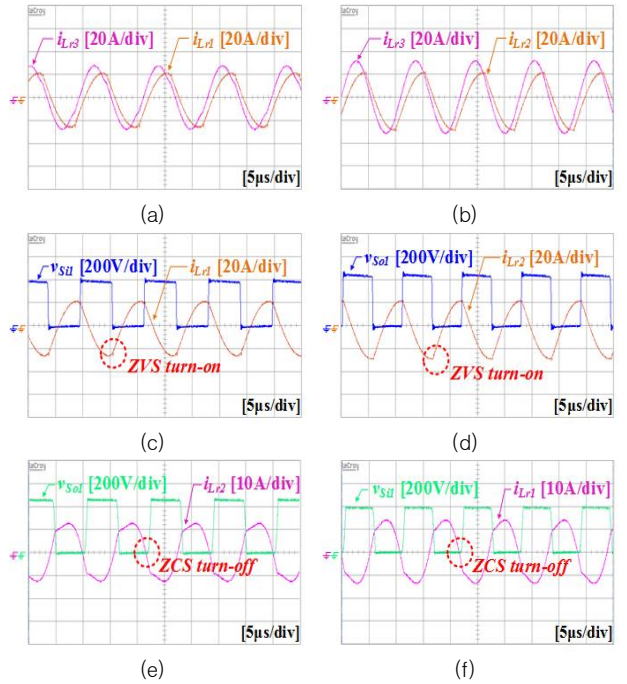


그림 5. 실험파형 (a),(c),(e) 충전 모드 (b),(d),(f) 방전 모드

## 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. 또한 스타트업시 돌입전류에 의한 소자의 전류스트레스가 제한되고 출력이 단락되었을 때에도 전류를 제한할 수 있다. 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.