

3상 11kW/단상 7.2kW 양방향 OBC 개발

김기훈, 김재훈, 이창섭, 송희경, 최세완†
 서울과학기술대학교

Development of Bidirectional OBC with 3-phase 11kW/Single-phase 7.2kW Compatibility

Kihoon Kim, Jaehoon Kim, Changseob Lee, Huigyoung Song, Sewan Choi†,
 Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 11kW/단상 7.2kW 급 양방향 차량용 탑재형 충전기를 제안한다. OBC의 토폴로지는 3상 인버터와 2상 인터리브드 토폴폴 PFC를 적용하였으며 DC-DC부는 CLLC 공진형 컨버터를 적용하였다. 3상 인버터와 토폴폴 PFC는 적은 수의 릴레이로 3상/단상 모드 변환이 간단하게 이루어질 수 있고, CLLC 공진형 컨버터는 전 전압, 전 부하 범위에서 ZVS를 성취하여 고효율 달성에 유리하다. 제안하는 OBC의 11kW 급 시작품으로 실험을 통하여 타당성을 검증하고, 최고 효율 96.56%, 정격 효율 95.86%를 달성하였다.

1. 서론

현대 사회에서 전기 자동차의 인기가 높아지면서 충전 인프라의 중요성이 부각되고 있다. 이는 효율적이고 편리한 충전 시스템의 개발과 보급에 크게 의존하고 있다. 특히, 전기 자동차 탑재형 충전기(On-Board Charger, OBC)는 전기자동차와 충전 인프라 간의 연결 고리로서 핵심적인 역할을 수행한다. 이러한 사회 분위기에 따라 고효율, 고전력밀도의 OBC가 필요하며, 세계 각국 계통전압의 상이함으로 인하여 제품 단일화를 위한 3상/단상 겸용 OBC가 요구되고 있다. 또한 전기자동차 배터리의 효율적인 사용을 위하여 V2L, V2G 등 양방향 동작을 요구하고 있다.^[1-2] 따라서 본 논문에서는 3상 11kW/단상 7.2kW 겸용 양방향 OBC를 제안한다.

2. 제안하는 3상/단상 겸용 양방향 OBC

그림 1은 제안하는 3상/단상 겸용 OBC의 토폴로지를 나타낸다. 제안하는 OBC의 PFC부는 3상 동작 시, 전압원 인버터로 동작하며 단상 동작 시, 2상 인터리브드 토폴폴 PFC로 동작한다. 두 토폴로지는 다이오드 브릿지가 없어 종래의 Boost type PFC보다 도통손실이 적으며 양방향 동작이 가능한 장점이 있고, 적은 수의 릴레이로 간단하게 회로 변환이 가능하다. DC-DC부는 양방향 동작이 가능하며 전 전압과 전 부하범위에서 ZVS를 성취할 수 있는 CLLC 공진형 컨버터를 적용하였다. 5.5kW급 CLLC를 설계하여 2병렬 구조를 설계하였으며 그림 2와 같이 충방전 시 주파수 범위를 좁게 사용하기 위하여 배터리 전압에 따라 DC 링크 가변제어를 적용하였다. 이에 따라

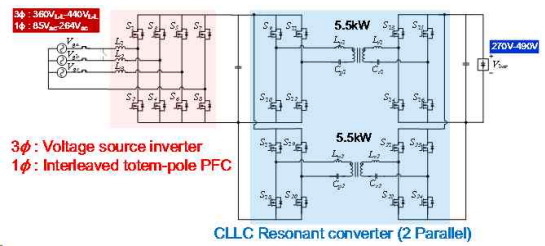


그림 1. 제안하는 3상/단상 겸용 OBC의 토폴로지



그림 2. 배터리 전압 범위에 따른 DC 링크 전압. (a) 충전, (b) 방전

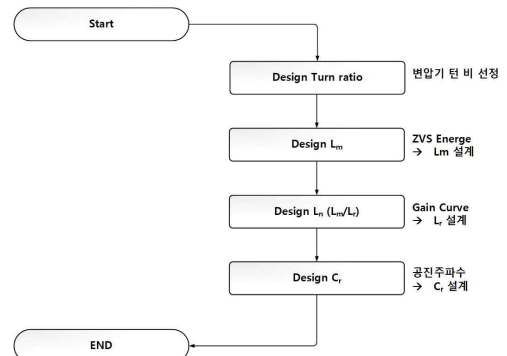


그림 3. CLLC 컨버터의 설계 flow chart

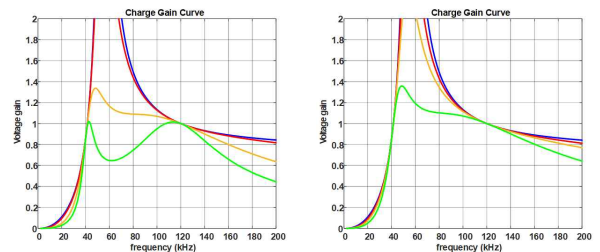


그림 4. CLLC 컨버터의 게인 곡선. (a) 충전, (b) 방전
 DC-DC부의 고주파 변압기의 최적설계가 가능하며 DCX 범위가 넓어지게 되어 고효율 동작이 가능한 장점이 있다. 그림 3

은 CLLC 컨버터의 설계 flow chart를 나타낸다. 먼저 배터리의 공칭 전압과 DC 링크 전압의 비율로 변압기의 턴 비를 선정하여, 배터리 공칭 전압 상황에서 CLLC의 DCX 동작을 통해 고효율 충방전을 가능하게 한다. 자화인덕턴스 L_m 은 데드타임과 스위치의 기생 커패시턴스 성분을 고려하여 ZVS가 가능한 L_m 범위를 계산하여 설계하였고, 충방전 게인 곡선 및 주파수 범위를 확인하며 공진 인덕턴스의 값을 선정하며, 공진 커패시턴스는 120kHz의 공진주파수를 갖도록 설계하였다. 2차측의 공진탱크 파라미터는 변압기 턴비에 의해 등가적으로 같은 값을 갖도록 설계하였다. 그림 4는 설계된 공진탱크에 의한 충방전 게인 곡선을 나타낸다.

3. 실험결과

제안하는 3상/단상 겸용 양방향 OBC의 동작 및 성능 검증을 위하여 11kW급 시작품을 제작하여 실험을 진행하였다. 그림 5는 3상과 단상 계통에서 충전 실험을 진행한 파형이며, 그림 6은 동일한 상황에서 방전 실험 및, 단상 V2L (Vehicle to Load) 실험을 진행한 파형이다. CLLC 컨버터는 효율을 위해 동기정류 기법을 적용하였으며 단상 계통에서 CLLC 컨버터에 공진제어기를 사용하여 배터리 측 전류에 2차 고조파 성분을 제거하였다.

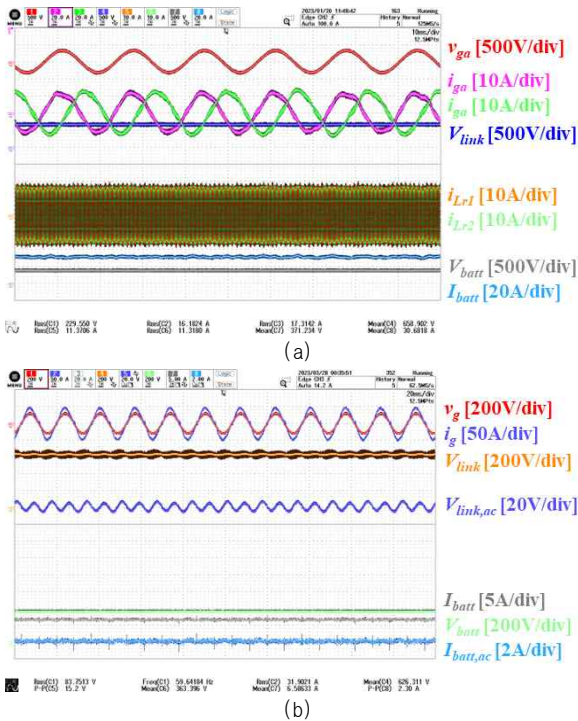


그림 5. 충전 실험 파형. (a) 3상 계통 충전, (b) 단상 계통 충전

4. 결론

본 논문에서는 3상/단상 겸용 11kW급 양방향 OBC를 제안하였다. 제안하는 OBC는 실험을 통해 동작과 성능을 검증하였으며 충전 최고 효율 96.56%, 방전 최고 효율 95.96%를 달성하였다. 시작품의 효율 그래프는 그림 7과 같다.

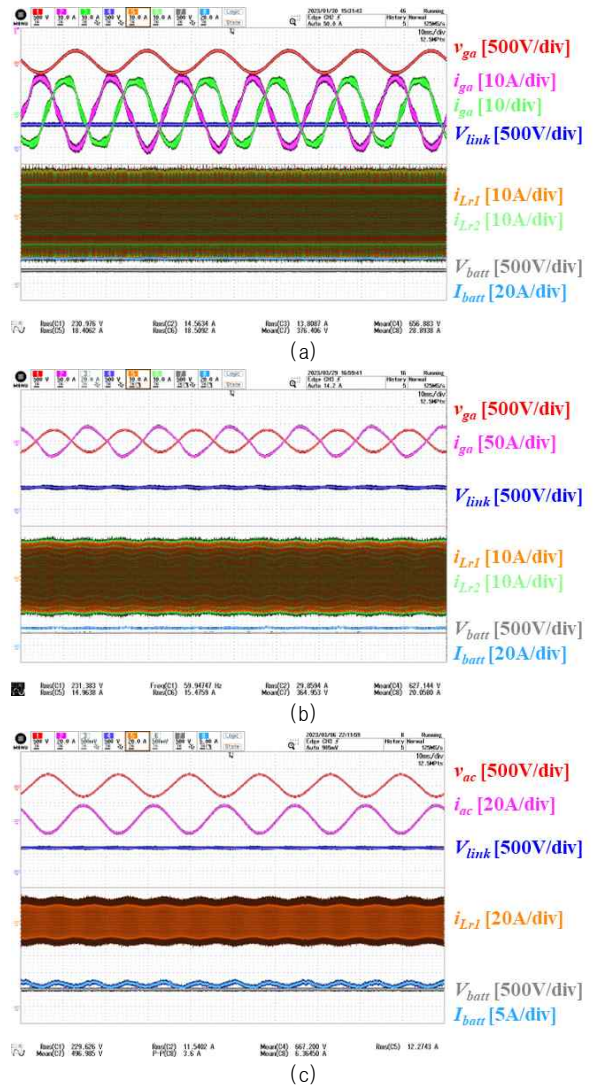


그림 6. 방전 실험 파형. (a) 3상 계통 V2G, (b) 단상 계통 V2G, (c) 단상 V2L

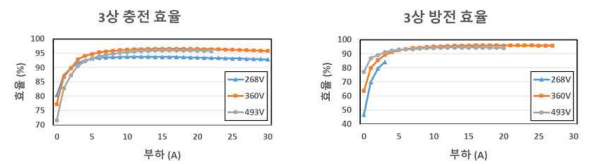


그림 7. 충방전 실험 효율. (a) 충전, (b) 방전

이 논문은 LG MAGNA의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC 3.0 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] 김진영, 김재훈, 김기훈, 이창섭, 최세완. (2022). “Sigma 컨버터를 적용한 단상 11kW 양방향 OBC”, 2022년도 전력전자 하계학술대회 논문집, 2022.7.
- [2] 임병석, 이재연, 이동한, 박세진, 최세완, 김현희, 양동혁, 이진희, 전용성. (2022). “3상 22kW/단상 17.6kW 북미/유럽 공용 양방향 OBC 개발”, 2022년도 전력전자 하계학술대회 논문집, 2022.7.