

# V2G-V2H 기능을 갖는 전기자동차용 고효율 무 전해캐패시터 양방향 충전기

권민호, 정세형, 최세완  
서울과학기술대학교

## A High Efficiency Electrolytic-Capacitor-less Bi-directional EV Charger for V2G and V2H Application

Minho Kwon, Sehyung Jung and Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

최근 전기자동차에 양방향 충전기를 탑재하여 배터리 충전 뿐만 아니라 배터리에 저장된 전기에너지를 전력망으로 재송전하는 V2G 기술과 정전 시 배터리에 축적된 전기에너지를 가정에 공급하는 V2H 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 본 논문에서는 NRSRC(Non regulating series resonant converter) 기반 정현파 충전 방식과 전해캐패시터를 사용하지 않는 양방향 충전기를 제안한다. 3.3kW 시작품을 통해 제안하는 충전기의 타당성을 검증 하였다.

### 1. 서론

일반적으로 전기자동차는 단방향 충전기를 사용하여 계통으로부터 전기에너지를 공급받아 배터리를 충전하고, 배터리에 저장된 전기에너지를 사용하여 차량을 동작시킨다. 최근 전기자동차를 스마트그리드 영역에서 활용하려는 시도가 다양하게 이뤄지고 있다. 특히 충전기를 양방향으로 사용하여 전기자동차 배터리에 저장된 전기에너지를 전력망으로 재송전함으로써 운전자가 전기 요금이 저렴한 야간 시간에 전력을 저장한 뒤 요금이 비싼 주간 시간에 되팔 수 있게 하는 V2G에 대한 개발 및 실증이 활발히 진행되고 있다. 더불어 정전 시 배터리에 축적된 전기에너지를 가정에 공급하는 V2H 모드 또한 스마트그리드의 핵심 솔루션으로 부상하고 있다.

한편, 전기자동차용 충전기는 계통과 차량간에 전기적 절연이 요구되며 소형화, 경량화, 장내구성이 요구된다. 인버터 DC측에는 계통 주파수의 2배의 저주파리플이 발생하기 때문에 용량성이 좋은 전해캐패시터가 사용되는데 이는 시스템 수명에 장애가 되고, 필름캐패시터를 사용할 경우에는 내구성은 증가하지만 용량성이 작기 때문에 전해캐패시터를 대체하기 위해서는 많은 양이 필요하게 되어 소형화에 장애가 될 수밖에 없다. 만약 이러한 저주파리플 전류를 캐패시터로 제거하지 않고 배터리에 주입한다면 캐패시터의 용량을 크게 줄여 소량의 필름캐패시터로 사용하여 소형화 및 장내구성을 만족 시킬 수 있다. 그리고 리튬이온 배터리에 주입되는 리플전류는 수명에 큰 영향을 미치지 않는다<sup>[1]</sup>.

기존 DAB(Dual active bridge)컨버터 기반 양방향 충전기는<sup>[2]</sup> 전해캐피터를 사용하지 않고 저주파리플을 그

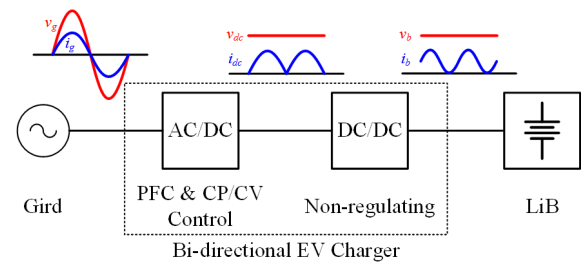


그림 1 제안하는 정현파 충전 개념도

대로 배터리에 보내는 정현파 충전방식이다. 이 방식은 DAB컨버터와 인버터에 별도의 제어기를 사용하므로 충·방전모드에서 V2H로 전환시 과도상태 크게 발생하게 된다. 또한 DAB의 제어기는 배터리 전류의 평균값만을 제어하기 위해 낮은 차단주파수의 저역통과필터가 필요하므로 제어성능이 저하된다. 본 논문에서는 전부하 범위에서 소프트스위칭이 가능한 NRSRC기반 양방향 충전기를 제안한다. 제안하는 충전기는 그림1과 같이 정현파 충전 방식으로 전해캐패시터가 없고 낮은 차단주파수의 필터도 필요 없고 인버터가 모든 제어를 수행하기 때문에 전체 시스템의 제어 알고리즘이 간단해질 뿐만 아니라 모드전환 구현이 용이한 장점을 갖는다.

### 2. 제안하는 양방향 충전기

그림 2는 제안하는 전기자동차용 양방향 충전기 회로이다. NRSRC는 전기적 절연과 배터리 전압을 승압시키는 역할만을 하며 듀티와 주파수를 최적점에서 고정하여 항상 소프트스위칭을 성취할 수 있게 설계하고 대신 인버터가 충·방전량을 제어

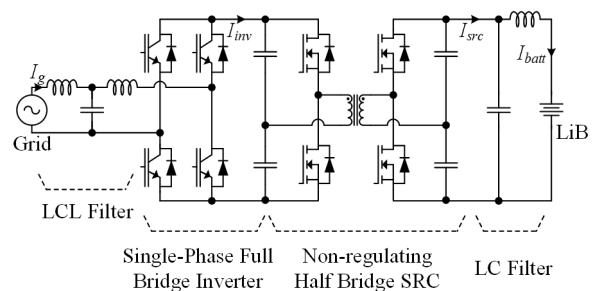


그림 2 제안하는 양방향 충전기

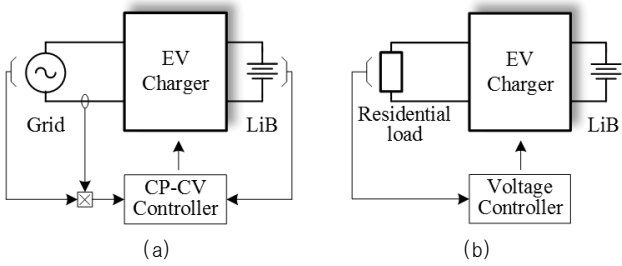


그림 3 제어기 구조 (a)충전모드, V2G모드 (b)V2H 모드

한다. 따라서 2단 방식임에도 불구하고 인버터만 제어를 수행하기 때문에 전체 시스템의 제어 알고리즘이 간단해질 뿐만 아니라 V2H를 위한 무순단 모드전환 알고리즘 적용이 용이하다.

그림 3은 제안하는 충전기의 제어 알고리즘으로 충전모드와 V2G모드를 위한 제어블록은 그림 3(a)과 같다. 충전모드에서는 계통측 파워를 계산하여 충전량을 조절하고 완충시 정전압으로 배터리 전압을 제어한다. V2G 모드에서는 충전모드와 동일한 제어구조를 그대로 사용하고 음의 값으로 파워를 지령하여 배터리전력을 계통에 투입한다. 그림 3(b)는 V2H 동작을 위한 제어블록이다. 부하측 교류전압을 일정하게 제어하여 배터리의 전력을 부하에 공급한다. 제안하는 양방향 충전기는 충·방전량을 계통측 파워로 계산되기 때문에 배터리측 전류를 측정할 필요가 없다. 즉 배터리의 평균전류를 측정하기 위해 낮은 차단 주파수의 필터도 필요 없을뿐더러 전류센서 수를 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

### 3. 실험결과

제안하는 충전기의 성능을 검증하기 위하여 3.3kW급 시작품을 설계, 제작하였고 사양은 다음과 같다.

- $P_o = 3.3kW$     •  $V_g = 220Vac$     •  $V_{batt} = 250 \sim 410Vdc$

그림 4는 일정 파워로 충전하는 동작의 시뮬레이션 파형이

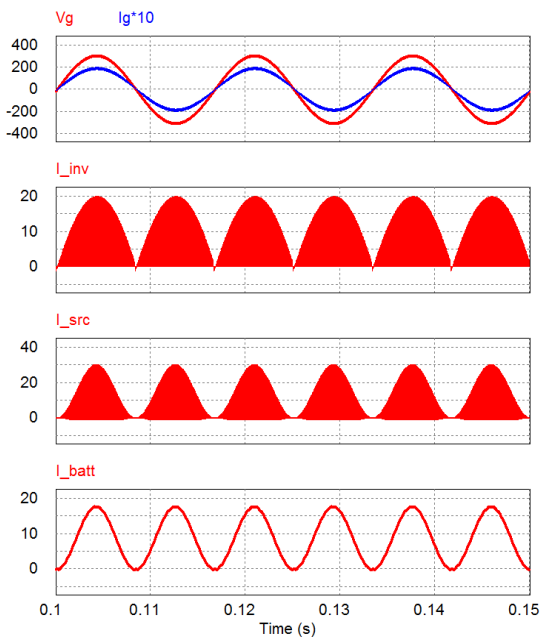


그림 4 시뮬레이션 파형

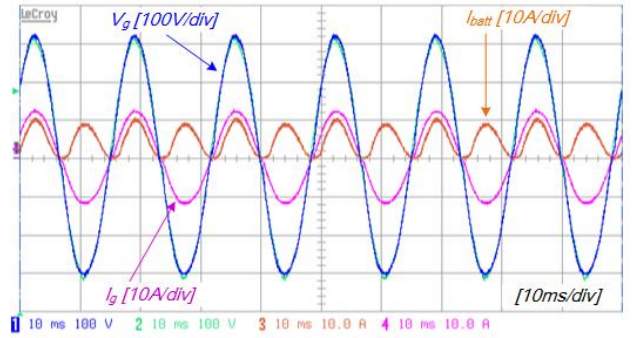


그림 5 배터리 충전모드 정상상태 실험파형

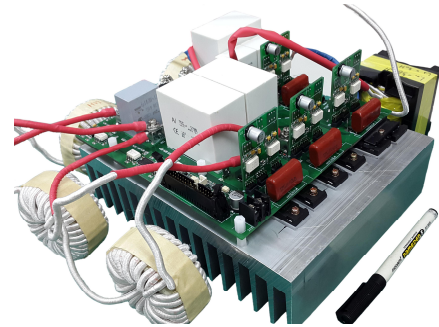


그림 6 제안하는 3.3kW급 양방향 충전기 시작품

다. 위에서부터 계통전압, 계통전류, 인버터 DC측 전류, SRC 출력 전류 그리고 배터리 전류이다. 그림 5는 3.3kW급 시작품을 통해 실험 파형으로 충전동작의 계통측 유효전력을 일정하게 배터리에 충전하는 동작을 보여준다. 배터리 전류는 계통 주파수보다 2배 높은 주파수의 정현파로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 제안하는 3.3kW급 시작품으로 전해캐패시터 없이 필름캐패시터만으로 설계되었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 무 전해캐패시터 양방향 충전기를 제안하였다. 제안하는 충전기는 정현파 충전 방식을 적용하여 필름캐패시터만을 사용하여 내구성을 증가시킨다. 또한 전부하 범위에서 소프트스위칭이 가능한 공진형 컨버터를 적용하여 높은 효율을 기대할 수 있다. 게다가 2단 방식임에도 제어가 간단하여 양방향제어, 모드전환 알고리즘 구현이 용이하고 전류센서 수를 줄일 수 있다. 3.3kW급 시작품으로 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

[1] S. Bala, T. Tengner, P. Rosenfeld, and F. Delince, "The effect of low frequency current ripple on the performance of a lithium iron phosphate(LFP) battery energy storage system," in *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. and Expo. (ECCE)*, 2012, pp. 3485-3492.

[2] L. Xue, Z. Shen, D. Boroyevich, P. Mattavelli, and D. Diaz, "Dual Active Bridge Based Battery Charger for Plug in Hybrid Electric Vehicle with Charging Current Containing Low Frequency Ripple," *IEEE Trans. on Power Electron.*, to be published.