

고정주파수에서 동작하는 SRC를 이용한 3.3kW급 고효율 차량 탑재형 충전기 개발

김민재, 박준성, 최세완
서울과학기술대학교

Development of 3.3kW High efficiency on-board charger using SRC operated at fixed frequency

Minjae Kim, Junsung Park, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문은 IEEE 주최 국제대회 “2011 International Future Energy Challenge Competition (IFEC'11)”에 출품한 서울과학기술대팀의 차량탑재형 3.3kW급 배터리 충전기의 개발에 관한 것이다. 제안한 배터리 충전기의 부스트컨버터는 역률보상과 동시에 배터리의 전압·전류 제어를 수행하게 하여 절연부 SRC를 고정주파수에서 동작시킴으로서 전부하 영역에서 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온과 턴오프가 성취되고 최적설계가 가능한 특징을 갖는다. 최대효율 94.6%(최대부하효율 92.6%), 부피 7.6L를 달성하였다.

1. 서 론

최근 전기자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차의 개발경쟁이 가속화됨에 따라 차량탑재형 충전기의 개발이 활발히 진행되고 있는 가운데 IEEE Power Electronics Society에서는 ‘자동차와 신재생에너지를 위한 리튬이온 배터리 충전기’란 주제로 국제대회인 IFEC'11을 주최하였다.^[1] IFEC'11에서 제시한 설계목표는 표1과 같다. 본 논문에서는 서울과학기술대팀의 본 대회 출품작인 차량탑재형 3.3kW급 배터리 충전기 개발에 대해 기술한다. 제안한 배터리 충전기의 부스트컨버터는 역률보상과 동시에 배터리의 전압·전류 제어를 수행하게 하여 절연부 SRC는 고정주파수에서 동작시킴으로서 전부하 영역에서 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온과 턴오프가 성취되고 최적설계가 가능해진다. 또한 이로 인하여 직류 링크 전압이 가변되므로 전 부하상황에서 최적의 역률을 위한 전류제어기의 이득조정기법을 제안하였다.

표1 IFEC'11 설계목표

설계항목	설계목표
출력 전력	3kW
입력 전압	110V/220V
출력 전압	332nominal, 250V~370V
역률	98% 이상
효율	96% 이상
통신	CAN protocol
보호기능	과전류, 과전압, 과온도, 단락회로

2. 제안하는 배터리 충전기

그림 1은 제안하는 배터리충전기의 구성도를 나타낸다. 파워부의 부스트 컨버터는 역률보상과 배터리의 CC-CV를 수행하며, 절연부는 SRC로 구성된다. SRC는 고정주파수와 고정 듀티로 동작하며 공진인덕턴스를 변압기의 누설인덕턴스로 사용하여 부피를 최소화하였다. 제어블록은 외부루프에는 출력전압 또는 전류를 제어하고, 내부루프에서는 외부루프 제어기의 출력값인 크기정보와 입력전압으로부터 계산된 모양정보로부터 인덕터 전류값을 제어한다. 또한 내부루프 제어기의 낮은 120Hz 이득을 보상해주는 Feed-forward블록을 추가하였다. 한편, 제안한 방식은 직류 링크 전압이 가변되므로 내부루프의 제어기는 부하상황에 따른 역률정보를 가지고 이득을 조정해 주어 각 부하상황에서 최적의 역률이 나올 수 있게 만든다. 그림 2와 같이 현재 부하상황에 맞춰서 초기 이득을 계산하고, 부하가 증가하고 있는 상황(CC mode)일 때는 이전에 측정된 역률과 현재 역률을 비교해서 현재값이 낮으면 이득을 감소, 현재값이 높으면 이득을 유지시킨다. 부하가 감소하고 있는 상황(CV mode)일 때는 반대로 현재값이 낮으면 이득을 증가, 높으면 유지시킨다. 위와 같이 출력전압·전류를 부스트 컨버터가 제어하고 SRC는 단순절연기능을 수행함으로써 스위칭주파수를 공진주파수와 같게 하여 전 부하영역에서 스위치와 다이오드가 ZCS를 성취해 고효율과 최적설계가 가능하게 된다.

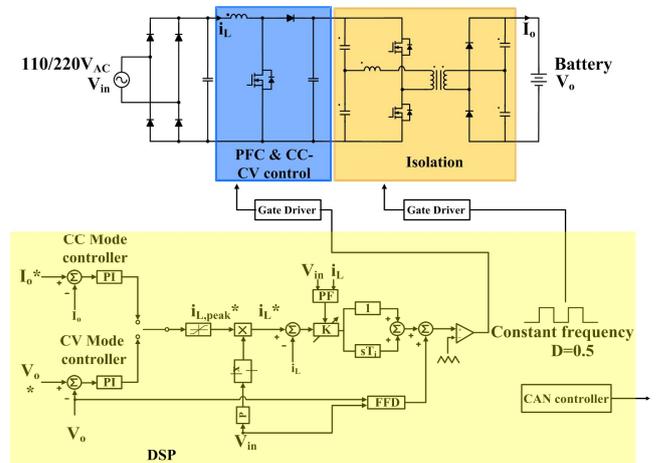


그림 1 제안하는 차량탑재형 충전기의 시스템 구성도

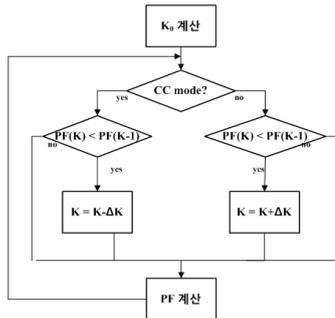


그림 2 전류제어기 이득조정을 위한 순서도

3. 실험 결과

개발된 충전기는 표1과 같은 설계 사양을 가지고 CC-CV 충전 프로파일에 따라 실험을 하였다. PFC제어와 충전 알고리즘을 위해 DSP TMS320F28335를 사용하였고, CAN통신을 이용하여 사용자 인터페이스를 구성하였다. 그림3은 개발된 충전기의 하드웨어 사진이고, 그림 4는 LabVIEW를 이용하여 개발된 사용자 인터페이스 화면이다. 그림 5는 PFC의 입력전압 및 입력 전류로 최고 역률 0.996을 달성하였다. 그림6은 고정주파수에서 동작하는 SRC의 부하상향별 실험파형으로 (a) CC모드 2kW, (b) 모드전환시 3kW, (c) CV 모드 630W의 스위치와 다이오드의 전압, 전류파형으로 모두 ZCS 턴온 및 턴오프가 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 역률 및 실험 효율로 최대 효율 94.6%와 정격부하 효율 92.7%가 측정되었다.



그림 3 개발된 3.3kW급 차량탑재형 충전기

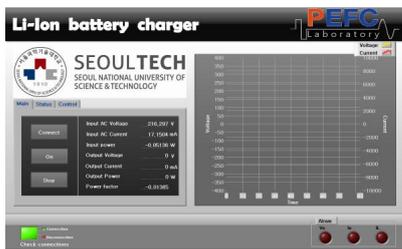


그림 4 LabVIEW를 이용하여 개발된 사용자 인터페이스 화면

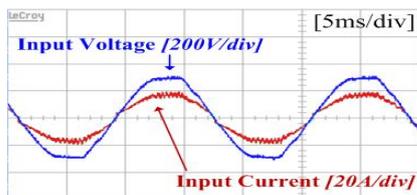


그림 5 입력전압 및 전류 (PF=0.99)

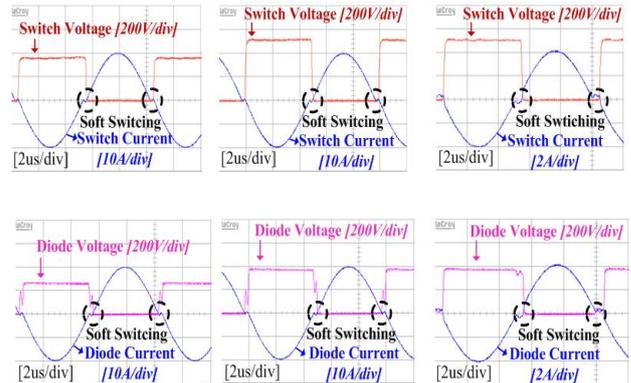


그림 6 SRC 실험파형

(a)CC모드 $P_o=2kW$, (b) 모드전환시 $P_o=3kW$, (c) CV모드 $P_o=630W$

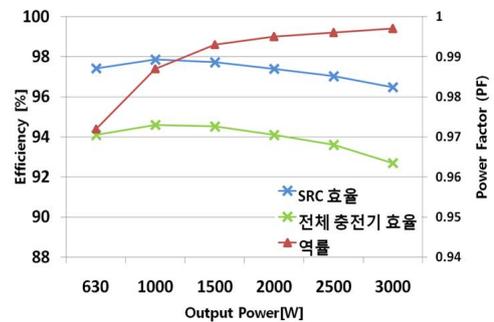


그림 7 측정 역률 및 효율 (YOKOGAWA사의 WT3000)

4. 결론

본 논문에서는 IFEC'11의 설계사양에 맞춰 3.3kW급 고효율 차량탑재형 충전기를 개발했다. 고정주파수에서 동작하는 SRC를 이용해 고효율과 작은 부피를 달성하고, 전류제어기 이득조정을 통해 높은 역률을 달성했다. 개발된 차량용 충전기는 1kW에서 최고 효율 94.6%(3.3kW에서 92.6%) 부피 7.6L, 1kW 이상에서 역률 0.98이상 달성하였다.

참고 문헌

- [1] "2011 International Future Energy Challenge Competition", 대회 홈페이지 <http://www.energychallenge.org>
- [2] 김민재, 박준성, 최세환, "전부하영역에서 영전류 턴온 및 턴오프 스위칭을 하는 직렬공진 컨버터를 이용한 차량탑재형 충전기" *전력전자학회 2011년도 학술대회 논문집*, 2011. 7, pp. 338-339.
- [3] Daocheng Huang, Lee, F.C, Dianbo Fu, "Classification and selection methodology for multi-element resonant converters" in *Proc. IEEE APEC*, 2011, pp. 558-565.