

전부하영역에서 영전류 턴온 및 턴오프 스위칭을 하는 직렬공진 컨버터를 이용한 차량탑재형 충전기

김민재, 박준성, 최세완
서울과학기술대학교

On-Board Charger Using Series Resonant Converter with ZCS Turn-on and Turn-off in the Whole Load Range

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

ABSTRACT

본 논문에서는 SRC를 이용한 고효율 차량탑재형 충전기를 제안한다. 제안한 컨버터는 앞단의 부스트컨버터가 역률보상과 동시에 배터리의 전압·전류 제어를 수행하고 후단의 SRC를 고정 듀티와 고정 주파수로 동작시켜 전 부하영역에서 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온·턴오프가 가능하다. 3.3kW의 시작품으로부터 CC CV 충전을 통한 제안한 방식의 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근 전기자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차의 개발경쟁이 가속화됨에 따라 차량탑재형 충전기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 차량탑재형 충전기는 고전력밀도, 저소음, 고효율이 요구되며 넓은 입력전압(110Vac~220Vac)과 넓은 배터리 전압(250Vdc~370Vdc)의 동작범위를 가져야 한다. 일반적으로 충전기는 앞단의 역률보상을 위한 부스트 컨버터와 후단의 배터리의 전압·전류 제어를 위한 고주파 절연 컨버터로 구성된다. 고주파 절연 컨버터로는 PWM 컨버터와 공진형 컨버터가 있다. PWM 컨버터는 구현이 용이하고 스위치의 ZVS턴온이 가능하지만 턴 오프 전류가 큰 단점이 있다. 공진형 컨버터^[1]는 공진주파수 우측영역을 사용할 경우 ZVS턴온이 가능하고 턴오프전류가 작아지는 장점이 있다. 최근 공진형 컨버터로서 직렬공진 컨버터(SRC)와 LLC 공진형 컨버터가 제안되었다. SRC는 무부하시 출력전압 조절이 어려운 단점이 있고, LLC는 1)자화인덕턴스의 정확한 값으로 제작이 어렵고 공극 추가로 인한 발열문제와 2)턴오프 전류가 PWM 컨버터보다 작지만 동작주파수에 따라 커지는 문제가 있다.

본 논문에서는 앞단의 부스트컨버터가 역률보상과 동시에 배터리의 전압·전류 제어를 수행하고 후단의 절연형 컨버터로 SRC를 고정 듀티와 고정 주파수로 동작시킴으로서 전 부하영역에서 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능한 차량탑재형 충전기를 제안한다.

2. 제안하는 방식

그림 1은 제안하는 차량탑재형 충전기의 구성도를 나타낸다. 기존의 2단 차량탑재형 충전기는 부스트컨버터가 일정전압을 잡아주고 후단의 절연형 컨버터가 배터리의 전압·전류 제어를

수행하므로 동작주파수에 따라 스위치의 턴오프전류가 커지게 된다. 제안한 방식은 후단의 SRC를 항상 부하독립점에서 동작(그림 2 참조)시켜 전 부하영역에서 스위치와 다이오드가 ZCS 턴온 및 턴오프가 성취되도록 고정 듀티와 고정 주파수로 동작시키고 부스트 컨버터에서는 역률보상과 함께 출력전압 및 출력전류와 제어한다. 따라서 SRC는 부하와 상관없이 전압이득이 일정해지고 그림 3과 같이 SRC의 전압 이득은 턴비 n 에 의해 결정되는 것을 볼 수 있다. 따라서 턴비를 1 보다 작게 사용하여 부스트 컨버터에 의해 승압된 버스전압을 강압하여 넓은 배터리 전압 범위를 만족할 수 있다.

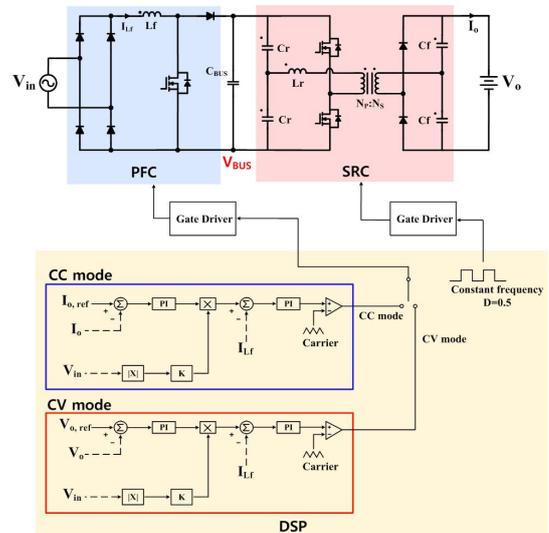


그림 1 제안하는 차량탑재형 충전기의 구성도

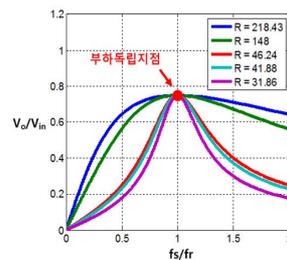


그림 2 SRC의 전압이득 곡선

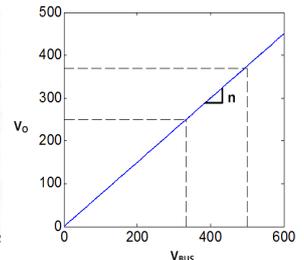


그림 3 부하독립점 동작시 SRC의 입출력 관계

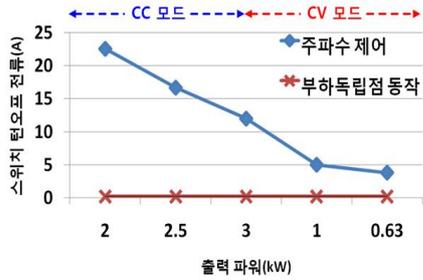
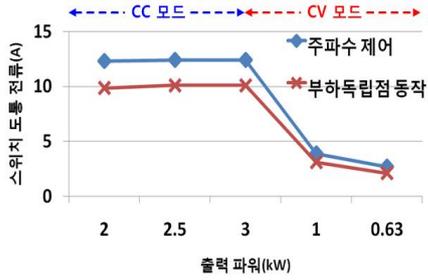


그림 4 충전 프로파일에 따른 제어 방식별 스위치의 도통 전류 및 턴오프 전류 비교

그림 4는 기존의 주파수 제어와 제안하는 부하독립점 동작에 대한 배터리 충전 프로파일에 따른 각 동작점에서의 스위치의 도통 전류와 턴오프 전류를 나타낸다. 제안한 방식의 스위치 손실이 더 낮은 것을 볼 수 있다.

3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양과 그림 4의 CC CV 충전 프로파일에 따라 실험을 하였다.

- P_o : 3kW
- V_{AC} : 110 ~ 220V
- V_{DC} : 250 ~ 370V
- $f_s(PFC)$: 35kHz
- $f_s(SRC)$: 105kHz
- PF : 0.98 이상

그림 5는 CC CV 충전 프로파일과 이에 따른 제안한 컨버터의 동작시 측정효율을 나타낸다. 대부분 부하영역에서 95% 이상이며, 2kW에서 최고효율 96.8%가 측정되었다. 그림 6는 3kW급 차량탑재형 충전기 시작품이고, 그림 7은 실험파형으로 (a)~(c)는 스위치와 다이오드의 전압, 전류파형으로 각 부하상황별로 ZCS 턴온 및 턴오프가 되는 것을 확인할 수 있다.

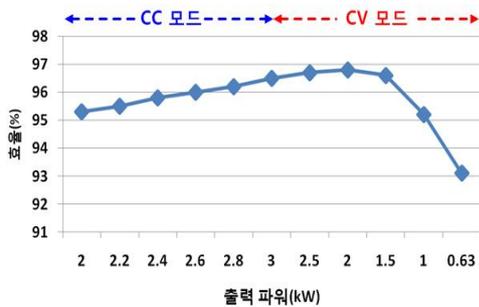
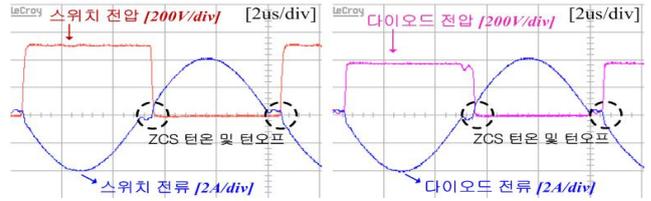


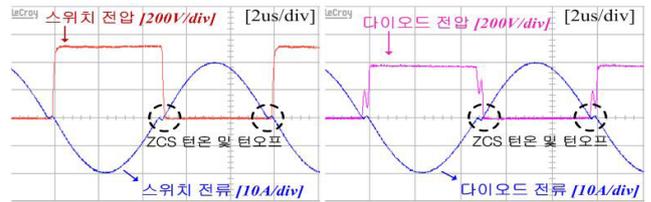
그림 5 충전 프로파일에 따른 SRC 측정효율(YOKOGAWA사의 WT3000)



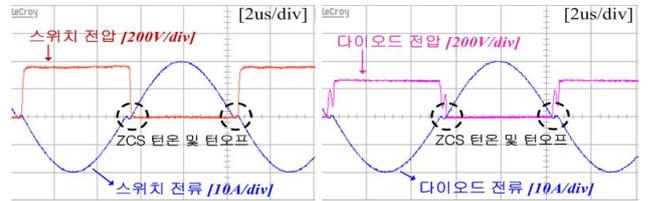
그림 6 3kW 시작품



(a) CV 모드($P_o = 630W$, $V_o = 370V$)



(b) CC-CV 모드전환지점($P_o = 3kW$, $V_o = 370V$)



(c) CC 모드($P_o = 2kW$, $V_o = 250V$)

그림 7 실험 파형

4. 결론

본 논문에서는 전부하영역에서 영전류 턴온 및 턴오프 스위칭을 하는 SRC를 이용한 차량탑재형 충전기를 제안하였다. 제안하는 차량용 충전기는 후단의 절연형 컨버터를 SRC의 최적점에서 동작시켜 고효율을 달성할 수 있다. 3.3kW급 시작품으로부터 2kW에서 최고효율 96.8%, 정격에서 96.5% 효율을 달성하였다.

참고 문헌

[1] Daocheng Huang, Lee, F.C, Dianbo Fu, "Classification and selection methodology for multi element resonant converters" in Proc. IEEE APEC, 2011, pp, 558 565.