

PSFB를 이용한 플러그-인 하이브리드 전기자동차용 탑재형 배터리 충전기

배태석, 임상민, 최재호
충북대학교

On-board battery charger for plug-in hybrid electric vehicle using PSFB

Taesuk Bae, Sangmin Lim, Jaeho Choi
Chungbuk National University

ABSTRACT

본 논문에서는 EV 또는 PHEV용 탑재형 배터리 충전기에 대하여 기술한다. 역률개선을 위한 PFC는 전류연속모드의 부스트 컨버터를 적용 하였으며, 스위칭 손실의 저감을 위해 영전압 스위칭이 가능한 위상천이 폴 브리지 DC DC 컨버터를 사용하여 전기적인 절연 및 소자의 스위칭 스트레스를 줄이고 효율 또한 향상 시키고자 하였다. PSIM을 사용하여 시뮬레이션 하였으며 실험세트를 구성하고 결과를 분석하여 시스템의 효율성을 검증하였다.

1. 서론

최근 화석 에너지 고갈과 지구온 환경 문제에 대한 관심이 고조되어 지면서 전기자동차, 플러그 인 하이브리드 전기자동차 등 친환경 자동차에 관한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행 되고 있다.^[1]

전기자동차의 핵심 기술로는 배터리 및 배터리 충전장치 그리고 구동용 전동기 및 인버터 등이 있다. 이중 전기자동차에서 배터리와 배터리 충전장치는 기존 기계식 차량의 엔진과 엔진 주유장치로 비유된다. 그 만큼 전기자동차에 있어서 배터리와 배터리 충전장치의 비중은 매우 높다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 고조파 전류 규제를 만족하기 위해 역률 개선을 위한 PFC 부스트 컨버터를 사용하였으며, 스위칭 손실의 저감을 위해 영전압 스위칭이 가능한 위상천이 폴 브리지 DC DC 컨버터를 사용하였다. PSIM을 기반으로 시뮬레이션 하였으며, 실험 세트를 구성한 뒤 결과를 분석하여 제작한 시스템의 효율성을 검증하였다.

2. PFC 부스트 컨버터 설계^[2]

2.1 PFC 부스트 컨버터 회로

그림 1에 나타나 있는 본 논문에서 설계된 PFC 부스트 컨버터는 DSP(TMS320VC33)를 이용한 디지털 제어방식으로 설계 하였고 기본 구성은 폴 브리지 다이오드 정류부, 부스트 인덕터와 IGBT 그리고 다이오드를 포함한 승압 회로부, 입력전압과 출력전압 및 인덕터 전류 검출부 등 이다. 본 논문에서 제작된 PFC 부스트 컨버터는 220[V_{ac}] 상용전압을 인가 받아 출력 레퍼런스 전압을 400[V_{dc}]로 설계하였다.

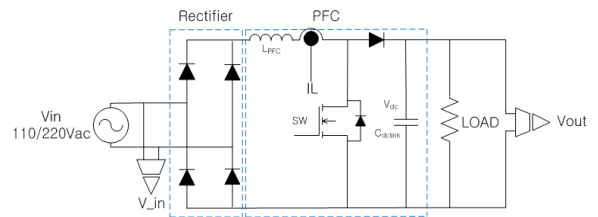


그림 1 PFC 부스트 컨버터 회로
Fig. 1. PFC boost converter circuit

2.2 PFC 부스트 컨버터의 전압, 전류 제어기

그림 2는 전압제어기와 전류제어기를 보여준다. 승압형 PFC 컨버터의 출력전압을 일정하게 제어하기 위한 제어기로 기준전압(V_{ref})과 실제 출력값(V_{out})을 입력받아 전압오차가 V_{err} 가 작아지도록 다음과 같은 비례(P), 적분(I) 제어기를 구성하였다.

$$V_{\pi} = K_{vp} \times V_{err} + K_{vi} \int_0^t V_{err}(\tau) d\tau \quad (1)$$

적분제어기에서 누적되는 오차가 커지게 되면 PI제어기는 더 이상 동작하지 못하기 때문에 전압 PI제어기의 포화 동작을 방지하기 위해 Anti windup을 사용하였다. 전류 제어기 또한 PI제어를 사용하였다.

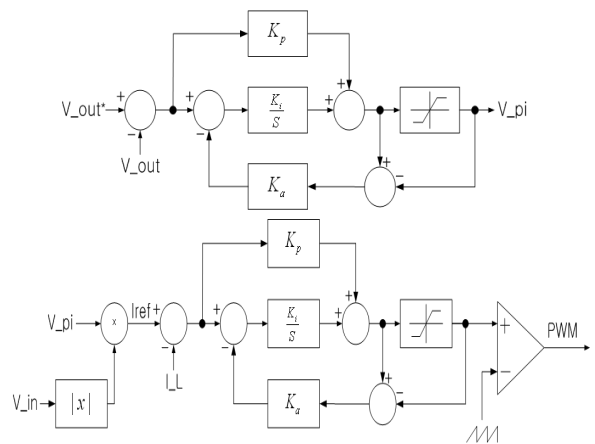


그림 2 PFC 전압 전류 제어기
Fig. 2. PFC voltage, current controller

3. 위상천이 풀-브리지 DC-DC 컨버터 설계

위상천이 컨버터의 회로는 그림 3과 같이 구성되어 있다. DC입력전압은 풀 브리지 스위치를 통해 교류전압을 얻고 고주파변압기, 다이오드 정류기 및 LC필터를 지나 부하와 연결된다. 왼쪽 스위치 SW1, SW4는 출력 인덕턴스 L_o 에 저장된 에너지에 의해 영전압 스위칭이 일어나고 오른쪽 스위치 SW2, SW3은 누설인덕턴스 L_{lk} 에 저장된 에너지에 의해 영전압 스위칭이 이루어진다.

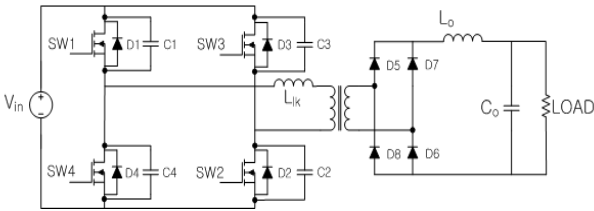


그림 3 위상천이 풀-브리지 DC-DC 컨버터 회로
Fig. 3. Phase shift full bridge dc-dc converter circuit

4. 시뮬레이션 및 실험결과

설계된 PFC 부스트 컨버터와 위상천이 풀 브리지 DC DC 컨버터의 퍼포먼스를 확인하기 위하여 실험세트를 구성하였고 PWM 제어부는 TMS320VC33 DSP 제어보드를 사용하였다.

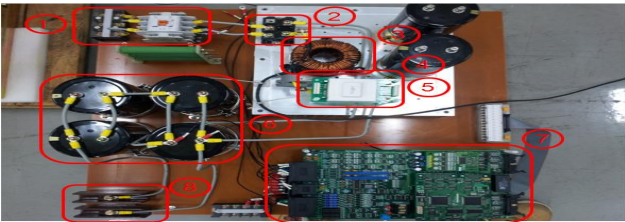


그림 4 PFC 하드웨어
Fig. 4. PFC hardware system

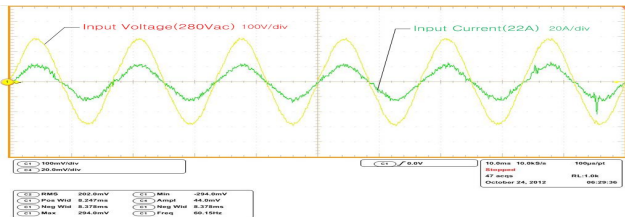


그림 5 입력전압 및 입력전류
Fig. 5. Input voltage, Input current

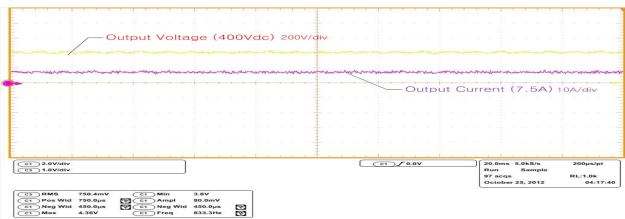


그림 6 출력전압 및 출력 전류
Fig. 6. Output voltage, Output current

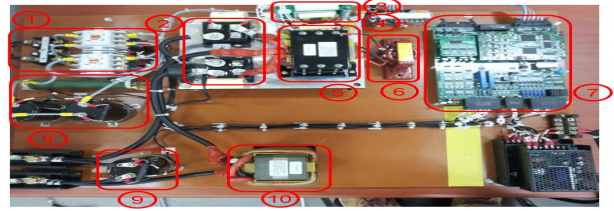


그림 7 PSFB 하드웨어
Fig. 7. PSFB hardware system

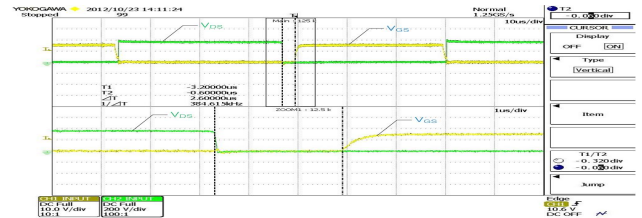


그림 8 드레인-소스 전압 및 게이트-소스 전압
Fig. 8. Drain-source voltage and gate-source voltage

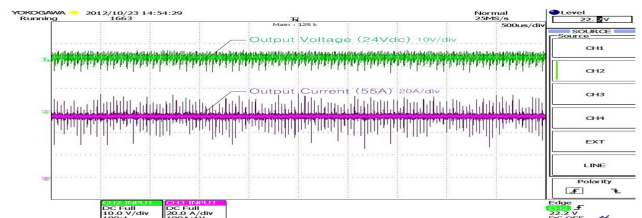


그림 9 출력전압 및 출력전류
Fig. 9. Output voltage, Output current

그림 5에서 PFC의 입력전압과 입력전류가 동상이 되는 것을 확인함으로써 역률이 개선됨을 확인할 수 있고 출력전압과 출력전류가 레퍼런스인 $400[V_{dc}]$ 전압을 잘 추종하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 8에서 위상천이 컨버터의 드레인-소스 전압이 0이 된 후 게이트-소스 전압이 인가되는 것을 확인함으로써 영전압 스위칭이 되고 있음을 확인할 수 있으며 출력전압과 출력전류로부터 레퍼런스인 $24[V_{dc}]$ 를 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 상용전원을 사용하는 탑재형 배터리 충전기의 설계에 대하여 기술하였으며 역률 개선을 위해 PFC부스트 컨버터를 영전압 스위칭을 위해 위상천이 풀 브리지 DC DC 컨버터를 적용하였다. 실험세트를 구성하여 실험결과를 분석한 결과 설계한 제어기에 따라 잘 동작하고 있음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 김종수, 최규영, 정혜만, 이병국, 조영진, "전기자동차용 3.3kW 탑재형 배터리 충전기 설계 및 제작", *전력전자학회, 전력전자학회논문지*, 제15권 제5호, pp. 369-375, 2010. 10.
[2] 양오, "DSP를 이용한 단상 PFC의 설계", *전자공학회 논문지*, 제44권 제6호, pp. 450-458, 2007. 11