

차량용 배터리 충전기의 전류오프셋 보상기법개발

정해광, 김동희, 이교범
아주대학교

Compensation method of currents offset with battery charger

Hae-Gwang Jeong, Dong-Hee Kim and Kyo-Beum Lee
Ajou university

초 록

본 논문은 전기자동차용 배터리 충전기를 위한 전류오프셋 보상기법을 제안한다. 인버터 내부의 스위치의 성능차이 또는 내부 회로의 문제로 인해 입력전류에 오프셋이 발생하게 되면 배터리 충전기와 연결된 직류단 전압에 선 주파수에 해당하는 리플 성분이 발생할 수 있다. 이러한 직류단 리플은 배터리 충전 시 출력전압의 리플이 되어 배터리의 수명과 성능에 악영향을 끼친다. 제안하는 전류오프셋 보상기법은 추가적인 수동소자나 센서의 추가 없이 입력전류 오프셋을 효과적으로 제어한다. 50kW 급의 전기자동차용 배터리 충전기모델을 이용한 시뮬레이션 결과는 제안하는 보상기법의 타당성과 안정성을 보인다.

1. 서론

최근 하이브리드자동차와 전기자동차가 상용화됨에 따라 효율적인 충전기에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다^[1]. 배터리를 사용하는 전기자동차는 배터리의 성능에 따라 주행가능거리, 효율 등이 결정된다. 효율적인 충전을 위해 초기에는 정전류 방식으로 80%까지 충전하고 이후 정전압 충전방식으로 전환하여 충전을 하게 된다^[2]. 일반적으로 전기 자동차용 충전기는 계통 교류 전원을 직류로 변환하는 입력측 인버터와 배터리 충전 제어를 담당하는 출력측 컨버터로 구성된다. 교류전원을 직류전원으로 변환하여 충전하는 과정에서 인버터 출력전류에 전류오프셋이 발생하면 충전기의 직류단 및 출력전압에 선주파수의 리플이 나타난다. 출력단의 리플성분은 배터리 충전시 전류의 리플로 인해 과열반응을 유발할 수 있으며 충전시간과 효율성에 문제를 야기할 수 있다. 또한 배터리의 수명을 단축시키고 결국 전기자동차의 성능이 저하되는 원인이 된다.

본 논문에서는 차량용 배터리 충전기의 오프셋 보상기법을 제안한다. 제안하는 전류오프셋 보상기법은 추가적인 센서나 수동소자 없이 디지털 제어로 입력 3상의 전류오프셋을 효과적으로 보상하여 배터리충전기의 성능을 향상 시킨다. 50kW급 배터리 충전기 모델 기반의 PSIM 시뮬레이션을 수행하여 제안하는 제어기법의 타당성을 검증한다.

2. 배터리 충전 시스템

일반적인 전기자동차용 충전기의 전체시스템 구성도는 그림 1과 같다.

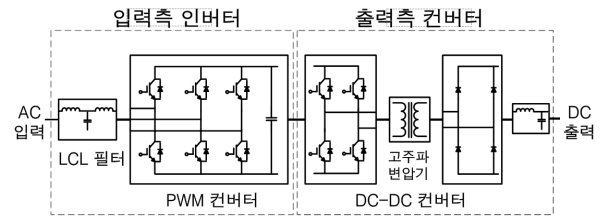


그림 1 전기자동차용 배터리 충전기의 시스템 구성도
Fig. 1 The system configuration of battery charger for electric vehicle.

입력측 인버터는 2-레벨 인버터와 LCL필터로 구성된다. 직류단 전압제어와 전류제어를 수행하여 충전기의 부하조건에 상관없이 높은 역률로 입력전류를 제어한다.

출력측 컨버터는 단상 풀-브리지 인버터와 고주파 변압기 그리고 4개의 다이오드를 이용한 H-브리지 정류기로 구성된다. 풀-브릿지 인버터는 위상천이 방식으로 스위칭하여 높은 효율을 가지며 충전 전압에 따라 정전류 및 정전압 제어 모드로 동작한다.

3. 전류오프셋 보상기법

그림 2는 전류오프셋이 포함된 인버터의 3상 출력전류를 나타낸다.

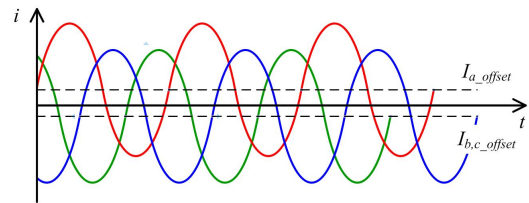


그림 2 오프셋이 포함된 3상 출력전류파형
Fig. 2 Three-phase output current waveform contains the offset

이를 고정좌표계로 변환하면 3상 교류전원에 의한 교류성분과 전류오프셋의 직류성분으로 구분할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_a &= \tilde{I}_{a-fund} + \bar{I}_{a-off} \\ I_b &= \tilde{I}_{b-fund} + \bar{I}_{b-off} \\ I_c &= \tilde{I}_{c-fund} + \bar{I}_{c-off} \end{aligned} \quad (1)$$

고정좌표계의 d-q축 전류의 성분을 간략히 요약하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I_d^s &= \frac{1}{3}(2\tilde{I}_{a-fund} - \tilde{I}_{b-fund} - \tilde{I}_{c-fund}) \\
 &+ \frac{1}{3}(2\bar{I}_{a-fund} - \bar{I}_{b-fund} - \bar{I}_{c-fund}) \\
 &= \tilde{I}_{d-fund}^s + \bar{I}_{d-off}^s \\
 I_q^s &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\tilde{I}_{b-fund} + \tilde{I}_{c-off}) \\
 &+ \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{I}_{b-fund} + \bar{I}_{c-off}) \\
 &= \tilde{I}_{q-fund}^s + \bar{I}_{q-off}^s
 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)의 전류를 동기좌표계로 변환하면 출력전류의 윗셋 성분은 식(3) 및 그림 3과 같이 선 주파수와 같은 리플성분으로 나타나게 된다.

$$\begin{aligned}
 I_d^e &= \tilde{I}_{d-fund}^e + \tilde{I}_{d-off}^e \\
 I_q^e &= \tilde{I}_{q-fund}^e + \tilde{I}_{q-off}^e
 \end{aligned} \quad (3)$$

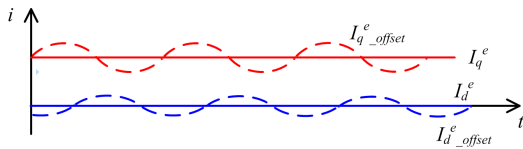


그림 3 윗셋이 포함된 동기좌표계 d, q축 전류파형
Fig. 3 d-q axis current waveform contains the offset

동기좌표계에서의 실제 d-q축 전류와 전류지령 값의 차를 구하면 윗셋으로 인한 교류성분만을 검출할 수 있다. 교류성분을 고정좌표계로 역변환하면 식 (4)와 같이 전류윗셋 성분만을 검출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_d^e - I_{d-ref}^e &= \tilde{I}_{d-off}^e \rightarrow \bar{I}_{d-off}^s \\
 I_q^e - I_{q-ref}^e &= \tilde{I}_{q-off}^e \rightarrow \bar{I}_{q-off}^s
 \end{aligned} \quad (4)$$

전류 윗셋 보상기법에 대한 블록도를 그림 4에 나타내었다. 식 (2)와 (3), 그리고 (4)에서 얻어진 출력의 전류윗셋은 PI제어를 이용하여 0으로 제어된다. 이때 제어기의 출력은 지령전압의 윗셋이 되어 회로나 스위칭 오차에 의한 전류윗셋을 보상한다.

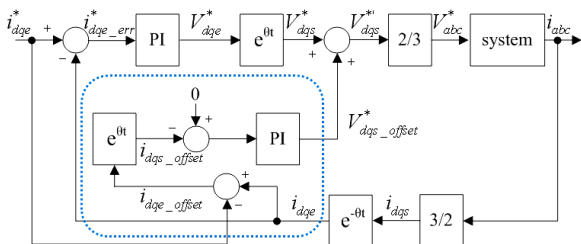


그림 4 전류 윗셋 보상기법 블록도
Fig. 4 Block diagram of the current offset compensation technique

4. 시뮬레이션 결과

그림 5는 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위한 PSIM 시뮬레이션 결과이다.

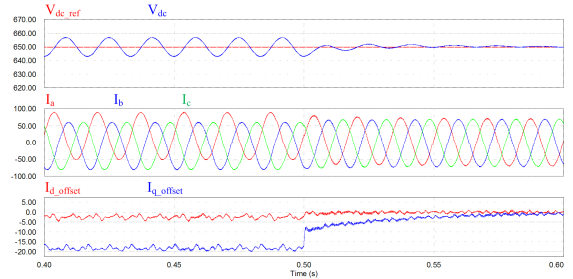


그림 5 윗셋 보상기법을 적용한 배터리 충전기의 성능
Fig. 5 Applying the offset compensation performance of the battery charger

A상 스위치 레그에 4%의 스위칭 온-시간 오차가 발생하여 3상의 출력 전류에는 약 25%의 전류윗셋이 발생하였고, 직류단 전압에 약 8%의 리플이 발생되는 것을 확인할 수 있다. 0.5초에 제안하는 보상기법을 적용하였다. 제어기는 전류윗셋을 빠르게 감소시켜 0.56초에 정상상태에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 전류윗셋이 보상됨에 따라 직류단 전압의 리플도 감소하여 0.56초 이후에는 리플이 거의 제거되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 전기자동차용 배터리 충전기를 위한 전류윗셋 보상기법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 발생한 전류윗셋을 디지털 제어를 이용하여 보상함으로써 출력 직류전압의 리플성분을 제거하여 배터리 충전성능을 향상시킨다. 50kW급 전기자동차 충전기를 모의한 시뮬레이션 결과로 제안하는 보상기법의 타당성을 검증하였다.

본 논문은 2011년도 한국에너지기술평가원(지식경제부)의 재원으로 에너지지원기술개발사업 지원을 받아 수행된 것임(20111020400030-11-1-000).

참고 문헌

[1] Su-Young Yun, Hyung-Jun Chae, Won-Yong Kim, Hyung-Tae Moon, Yu-Seok Jeong, and Jun-Young Lee, "전기자동차용 배터리 충전기," 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제15권, 제6호, pp. 460-465, 2010.12.

[2] Jong-Soo Kim, Gyu-Yeong Choe, Hye-Man Jung, Byoung Kuk Lee, and Young-Jin Cho, "전기자동차용 3.3 kW 탑제형 배터리 충전기 설계 및 제작," 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제15권, 제5호, pp. 369-375, 2010.10.