

전류 적산법 기반의 LiFePO₄ 배터리 SOC 추정 회로 구현

전창윤*, 김종훈*, 허인녕*, 조보형*, 한승훈**
서울대학교*, 삼성테크윈**

Circuit Implementation for LiFePO₄ Battery SOC Estimation based on the Coulomb Counting Method

C. Y. Chun*, J. H. Kim*, I. N. Hur*, B. H. Cho*, S. H. Han**
Seoul National University*, Samsung Techwin**

ABSTRACT

전류 적산법(Coulomb counting, Ampere counting)을 이용한 배터리 SOC(State of Charge) 추정 방식은 초기 SOC 값에 존재하는 오차와 SOC를 추정하는 시간동안 누적되는 전류 값의 오차로 인해 추정이 실패할 수 있는 단점이 존재한다. 하지만 알고리즘이 직관적이며 단시간 내에서는 그 오차가 크지 않고, 상용화된 배터리 SOC 추정 IC가 존재하여 구현이 간단하다는 장점 또한 있다. 본 논문에서는 전류 적산법 기반의 배터리 SOC 추정 IC를 사용하여 LiFePO₄ 리튬 폴리머 배터리의 SOC 추정 회로를 구현하는 과정을 제안한다. 또한 실험을 통해 제안된 배터리 SOC 추정 회로의 성능을 확인해본다.

1. 서 론

리튬 폴리머 배터리는 2차 전지 중에서도 높은 에너지 밀도와 고전력 출력이 가능하다는 점 때문에 소형의 휴대용 기기, EV와 HEV 같은 대용량의 에너지원이 필요한 기기에 널리 사용되고 있다. 이러한 2차 전지들은 일정한 전압, 전류 영역에서 사용해야 안정적으로 에너지를 저장하고 공급하는 배터리의 특성을 유지한다. 그렇기 때문에 배터리를 사용가능한 영역에서 동작시킬 수 있게 제어해주는 배터리 관리 시스템(BMS, Battery Management System)이 필요하다. BMS는 배터리의 전압과 배터리에 인가되는 전류, 배터리의 온도 정보를 바탕으로 배터리 내부에 사용가능한 에너지 양(SOC, State of Charge)을 추정한다.

본 논문에서는 전류 적산법 기반의 배터리 SOC IC를 이용하여 배터리 SOC 추정 회로를 구현하는 과정을 제안하기로 한다. 최종적으로는 HEV 전류 프로파일을 인가하여 배터리 SOC를 추정하고 실제 배터리의 SOC와의 비교를 통해 전류 적산으로 인해 발생하는 오차를 확인해보기로 한다.

2. 제안한 배터리 SOC 추정 회로

2.1 전류 적산법을 이용한 배터리 SOC추정

전류 적산법을 이용한 SOC의 정의는 식 (1)과 같다. SOC₀는 초기 SOC를 의미하고 C_n은 배터리의 용량을 의미한다.

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_n} \int idt \quad (1)$$

즉 초기 SOC 값을 알고 있는 경우, 용량 대비 전류 적산을 통해서 얻은 값을 계속적으로 갱신하는 방식이다. 즉, 전류 적산법을 이용한 SOC 추정 회로를 구현하기 위해서는 오차가 커지는 것을 막기 위해서 오차를 초기화 시켜주는 알고리즘이 필요하게 된다.

2.2 리튬 폴리머 배터리(LiFePO₄)의 OCV-SOC특성

일반적인 리튬 이온 배터리나 리튬 폴리머 배터리(LiCoO₂, LiMn₂O₄)의 경우, 충방전에 관계없이 OCV와 SOC간에 그림 1의 (a)와 같은 선형적인 관계가 나타난다. 하지만 LiFePO₄ 계열의 리튬 폴리머 배터리의 경우, OCV 값이 SOC에 관계없이 크게 변하지 않는 영역이 존재하며, 충방전에 따라서 OCV 값이 달라지는 결과가 그림 1의 (b)와 같이 나타난다^[1].

그림 1의 (a)와 같은 배터리의 경우 OCV를 측정하는 것에 따라 SOC 값이 선형적으로 얻어지기 때문에, 상대적으로 SOC₀를 파악하는 것이 쉽다. 즉, 기기를 사용하기 시작하는 그 순간의 배터리 OCV를 읽어 들여 과거의 누적된 오차를 제거하는 방법이다. 하지만 그림 1의 (b)의 경우에는, 충방전에 따른 OCV 값 차이가 현저하게 존재하기 때문에, 위 방법을 사용하면 시 도리어 오차를 증가시킬 수 있다. 그렇기에 그림 1의 (b)의 경우, 배터리가 만충(fully-charged), 완방(fully-discharged)되는 순간을 파악하여 그 순간에 SOC 정보를 1 혹은 0으로 초기화 시켜주는 알고리즘이 그림 1 (a)의 경우보다 더욱 필요할 수밖에 없다. 전류 적산법 기반으로 동작하는 Maxim사의 배터리 SOC 추정 IC인 DS2788을 사용할 시에 이러한 초기화 방법을 지원하므로, 이 논문에서는 DS2788을 사용하여 배터리 SOC 추정 회로를 사용하기로 한다.

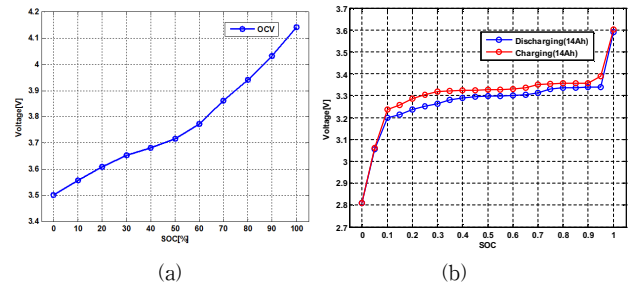


그림 1 충/방전에 따른 배터리의 OCV curve (a)LiNiCoMnO₂, (b)LiFePO₄
Fig. 1 OCV during charging/discharging (a)LiNiCoMnO₂, (b)LiFePO₄ Batteries

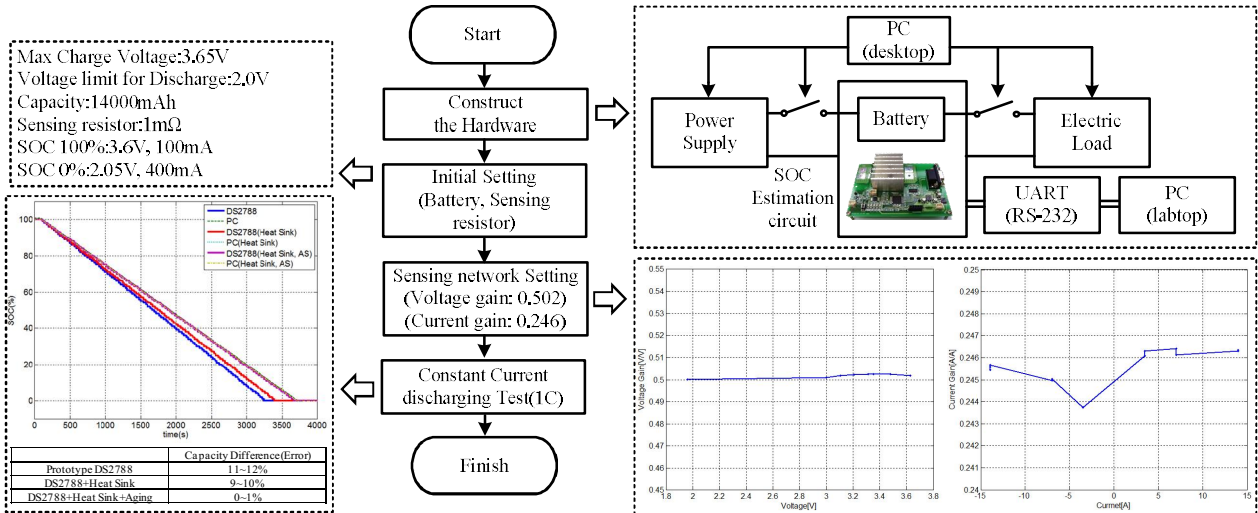


그림 2 배터리 SOC 추정회로의 센싱 오차 감소를 위한 설정 순서도
Fig. 2 Flowchart of initial and sensing network setting for reducing soc error

2.3 제안한 배터리 SOC 회로 설계 방법

먼저 전류 적산법 기반의 Maxim DS2788 IC를 사용하였으며, SOC정보를 dsPIC의 UART 통신을 이용하여 PC(laptop)에 전송해주는 구조로 제작하였다. 이렇게 IC를 통해 계산된 SOC 값을 PC(desktop)에서 에러가 없는 전류 프로파일 값을 토대로 계산한 배터리 SOC 값과 비교하였다. 이렇게 하드웨어 제작을 완료한 후, 그림 2의 순서도에 따라 배터리의 datasheet를 토대로 배터리의 충전, 방전 조건, 용량 정보를 넣어주는 과정을 진행하였다. LiFePO₄ 배터리의 경우, 배터리 전압으로 완방, 만충 조건을 판단하므로, 비교적 정확한 센싱이 필요하다. 이러한 이유로 다음 과정에서 실제 회로에서 측정할 수 있는 전압 값과 DS2788 칩이 인식하는 전압 값을 비교하여 측정된 전압 비를 IC에 넣어주었다. 추가적으로 센싱 저항을 통해 전류 센싱을 하게 되는 경우, 센싱 저항의 온도와 회로 내부의 온도로 인해 실제 전류 값과는 다른 값의 전류 값을 인식하는 문제가 발생할 수 있기 때문에 방열판을 설치해주었다. 마지막으로 IC(14A) 전류(일정한 전류)로 방전하면서 용량을 측정하여 회로의 정상동작을 확인하였다.

3. 제안한 SOC 추정 회로 및 실험

일정한 전류로 회로를 구동시켰을 시에는 전류의 오차가 발생해도 그 영향이 상쇄될 수 있지만, 그림 3과 같은 HEV 전류 프로파일을 인가하였을 경우에는 오차 누적이 효과가 나타날 수밖에 없다. 2.3절에서 사용한 SOC 비교방법을 동일하게 적용하여 SOC 결과를 비교하면 그림 4의 (a)와 같은 SOC 차이가 나타난다. 그림 4의 (b)를 통해서는 초기 SOC 값을 거의 오차가 없게 추정하였을 시에, 3시간 정도의 실험시간동안 2% 내의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

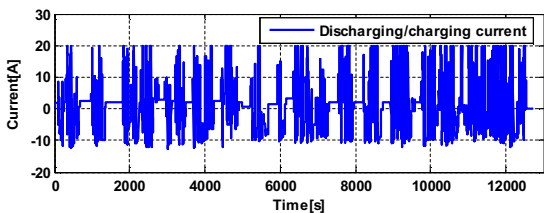


그림 3 전류 적산법을 통해 계산한 SOC와 실제 배터리 SOC
Fig. 3 Battery SOC using ampere counting method

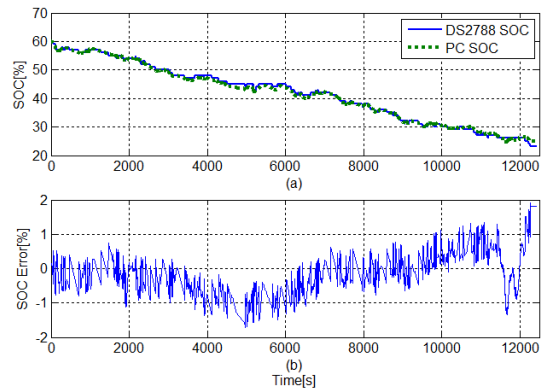


그림 4 (a)배터리 SOC 추정 회로(DS2788)의 SOC와 실제 배터리 SOC(PC SOC), (b)SOC 오차율
Fig. 4 (a)Measurement SOC and estimated SOC,(b) SOC error

4. 결론

배터리 SOC 값을 초기화 해주는 과정을 포함한 전류 적산법 기반의 배터리 SOC 추정 회로는 전류 누적이 짧은 경우에 그 오차율이 크지 않음을 실험적으로 확인하였다. LiFePO₄ 배터리의 경우 OCV-SOC의 관계가 선형적인 관계를 보이지 않으므로 센싱 회로의 정확도가 더 중요하다. 본 논문에서는 배터리 SOC 추정 회로의 구현 방법을 제안하고 실험 결과를 토대로 검증하였다.

본 연구는 삼성테크윈의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 또한 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No.20104010100490).

참고 문헌

[1] J. H. Kim, C. Y. Chun, I. N. Hur, B. H. Cho, B. J. Kim, "OCV Hysteresis Effect-based SOC Estimation in EKF Algorithm for a LiFePO₄/C Cell," in Proc. of KIPPE Power Electronics Autumn Conference, Nov. 2011.