

리튬 계열의 배터리 관리 및 모니터링을 위한 설계

김남성* · 복영수**

*한국폴리텍VI대학 구미캠퍼스, *한국폴리텍 I 대학 서울정수캠퍼스

The Design for Battery Management & Monitoring of Lithium Series

Nam-sung Kim* · Young-su Bok**

*Gumi Campus of Korea Polytechnic VI College,

**Seoul Jungsu Campus of Korea Polytechnic I College

E-mail : *siluet@kopo.ac.kr, **bokys@kopo.ac.kr

요 약

녹색 성장과 녹색 소비문화는 국제적인 추세이며, 이를 선도하는 분야중 하나인 전기차, 하이브리드차 등의 그린카의 중요성은 주변에서 쉽게 접할 수 있다. 그린카 분야에서 배터리를 활용하는 기술에 대한 연구개발 수준은 관심 차원을 넘어 활성화 되고 있는 단계라 할 수 있다.

이에 따라 2차 전지인 리튬 계열의 배터리를 보다 효율적이고 안정적으로 사용하기 위해 배터리를 관리하고 모니터링 하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 리튬 계열의 배터리를 관리하고 모니터링 하는 기술에 대한 설계 및 활용 방법에 대해 제안한다.

ABSTRACT

Green Growth and green consume culture is the international trend, the importance of Green Car in one of leading electric car, hybrid electric car are easily accessible from the surrounding. In Green Car, the level in research and development of technology to take advantage of the battery is activated beyond the interest.

Accordingly, it is needed to manage and monitor the battery in order to use more efficiently and reliably about the secondary battery of lithium series. In this paper, we propose the design and how to take advantage of technology for managing and monitoring of lithium series battery.

키워드

BMS, Battery Management System, Lithium, Polymer

I. 서 론

녹색 성장과 녹색 소비문화는 국제적인 추세이며, 이와 관련된 산업인 그린카 분야의 전기차, 하이브리드차 뿐만 아니라 스마트 그리드 및 신재생에너지 분야의 태양광, 풍력 및 수력 등과 관련하여 에너지를 저장하고 사용하기 위한 2차 전지에 대한 관심 및 연구개발은 지속적으로 이루어지고 있다[1]. 이와 더불어 이러한 2차 전지를 활용하기 위해서는 2차 전지의 효율적인 관리가 필요하기에 때문에 BMS (Battery Management System, 배터리 관리 시스템)에 대한 관심도 높아지고 있다.

BMS는 2차 전지의 전압, 충전·방전 전류 및 온

도 등을 최적의 조건으로 관리하기 위한 시스템이다. 특히, 과충전, 과방전 및 과전류 등의 비정상적인 동작을 미연에 방지하여 2차 전지의 수명을 보호하는 장치이다.

II. BMS 개요

최근에 휴대용 전자제품 및 전기차, 하이브리드차에 사용되는 2차 전지는 리튬 계열의 배터리가 주로 사용되고 있다. 리튬 계열의 배터리가 납축전지나 니켈수소전지에 비해서 동일 부피당 낮은 중량, 높은 에너지 밀도, 안전성 문제 해소 및 순간적인 높은 출력전압 등으로 인해서 2차 전지의

핵심 역할을 담당하고 있다[2]. 리튬 계열의 배터리 종류는 [표 1]과 같다.

표 1. 리튬 계열의 배터리 종류

종류	정격 전압	비고
Li-ion	3.6~4.2[V]	
Li-ion Polymer	3.7[V]	
리튬 인산철 (LiFePO4)	3.2[V]	

2차 전지의 실질적인 활용은 개별적인 셀별로 사용되는 경우도 있지만 전기차나 하이브리드차의 경우와 같이 고전압을 필요로 하는 분야에서 단위 전지를 다량의 묶음으로 사용하는 경우에 개별적인 셀에 대한 정확한 에너지 측정 능력, 온도 등에 대한 다양한 조건 하에서의 안정성 확보, 배터리의 사용시간 증가와 유지비 절감을 위한 배터리의 관리가 필요하기 때문에 BMS와 같은 장치가 필요하다.

BMS의 주요 사항은 다음과 같다.

- 과전압 보호 (Over Voltage Protection)
- 저전압 보호 (Under Voltage Protection)
- 과전류 보호 (Over Current Protection)
- 과충전 보호 (Over Charge Protection)
- 전압 편차 (Cell Balancing)
- SOC : State of Charge
- 온도 감시 (Temperature Supervision)
- 단락 보호 (Short Circuit Protection)

BMS와 같은 배터리 모니터링 시스템을 구성하기 위해서는 구성하고자 하는 아키텍처에 따라 다르겠지만 적어도 정확성, 신뢰성, 생산성, 비용 및 소모 전력과 같은 조건을 만족해야 한다. 각 항목별 상대적인 중요도는 최종적인 사용자의 요구 조건에 따라 달라질 것이다[3].

- 정확성 : 배터리의 최대 사용 가능한 용량에 대한 장점을 얻기 위해서는 배터리 모니터링의 정확성이 중요하다.
- 신뢰성 : 차량의 경우에 매우 높은 신뢰성 규격을 만족해야 한다.
- 생산성 : EV/HEV 배터리 시스템을 위한 복잡한 전장 및 배선은 차 생산성에 대해 부가적인 문제를 일으킬 수 있다.
- 비용 : 비교적 비용이 많이 드는 부품을 최소화하여 전체 시스템 비용을 줄여야 한다.
- 소모 전력 : 배터리 모니터링 그 자체가 배터리의 부하가 된다. 저전력으로 시스템 효율을 개선해야 한다.

리튬 이온 배터리는 100% SOC까지 충전시키거나 0% SOC까지 방전시킬 경우에는 성능이 급격하게 저하된다. 결과적으로 리튬 이온 배터리 운용은 제한된 SOC 범위가 필요하다. SOC 범위 20~80%인 경우에는 실제 용량은 정격 용량의 60% 정도이다. 더욱이 리튬 이온 셀들은 평탄한 방전 커브를 갖기 때문에 1% SOC 변화가 단지 수 mV의 값으로 나타난다[4].

리튬 계열의 배터리 팩은 현행 배터리 기술 중에서 가장 높은 에너지 밀도를 제공하지만 디자인적으로 높은 성능을 확실히 보장하지는 못한다. 논란의 여지가 있지만 배터리를 어떻게 디자인하느냐 그것 보다는 BMS를 어떻게 활용하느냐에 따라 리튬 이온 배터리의 성능과 수명의 상당한 차이를 가져올 수 있다[5].

어떤 배터리 스택이라도 각 셀의 SOC를 정확하게 알면 더 많은 셀 용량을 이용하면서 셀 수명도 극대화할 수 있다. 그런데 자동차에서는 쿨롱을 계산하기가 어렵다. 배터리가 전기 모터를 구동하므로 200A의 전류 스파이크를 취급해야 하고, 낮은 레벨의 휴지기가 이어지며, 10개 또는 12개 그룹으로 직렬로 96~200개 까지 셀을 가지고 있기 때문이다. 이들 셀은 각기 다른 속도로 노화하며, 여러 로트로 제조된 것이며, 온도 차이를 나타낸다. 이 셀들의 용량은 갈수록 차이가 나게 되며, 동일한 쿨롱 값을 갖는 여러 셀들은 각각 다양하게 다른 충전량을 갖게 된다[5].

이러한 이유로 BMS는 셀 전압에 초점을 맞추게 된다. 모든 셀의 전압을 정확하게 측정할 수 있다면 정확한 셀의 SOC를 알 수 있다. 그 비결은 배터리 ESR 및 용량에 대한 온도의 영향을 고려해 전압 측정의 정확도를 향상시키기 때문이다. 지속적으로 각 셀의 전압을 측정하여 각 셀의 충전량을 계산할 수 있는 것이다. 이 때 만약 어떤 셀은 과충전되고 어떤 셀은 저충전 되었다면 전하 불리딩(수동 밸런싱)이나 전하 재분배(능동 밸런싱)를 이용해서 셀을 밸런싱 할 수도 있다[5].

III. BMS 설계 및 분석

설계한 시스템은 한 개의 BMS 보드에 2개의 배터리 모니터링 모듈을 내장했기에 리튬 계열의 배터리를 최대 24개의 셀까지 모니터링이 가능하다. 각 모듈간의 인터페이스는 daisy-chain 방식의 SPI 통신으로 구성함으로써 필요에 따라 BMS 보드를 추가로 연결하여 현재의 설계 조건보다 더 많은 배터리 셀 관리 및 모니터링도 가능하다.

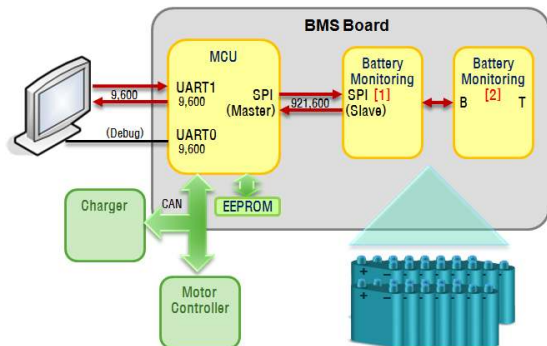


그림 1. BMS 구성도

본 연구에서 설계한 BMS 및 모니터링 시스템의 구성은 [그림 1]과 같다. 시스템 동작은 BMS 보드에 장착된 MCU에서 배터리 전압 및 온도 등을 측정하고 판단하여 처리할 수 있도록 구성하였다. BMS 보드의 동작을 직관적으로 확인할 수 있도록 이와 관련된 데이터를 RS-232 통신으로 모니터링 및 설정할 수 있도록 구성하였다.

세부적인 시스템 설계 기준은 48V 및 72V 전기차의 BMS로 동작하도록 구성하였다. 사용 배터리는 리튬 인산철 배터리를 기준으로 48V인 경우에는 3.2[V]×15셀(모듈1-8셀, 모듈2-7셀)과 같이 구성하고, 72V인 경우에는 3.2[V]×21셀(모듈1-12셀, 모듈2-11셀)과 같이 구성이 가능하다. 추가적으로 한 개의 BMS 보드에서 최대로 모니터링이 가능한 전압 보다 높은 전압을 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구성하기 위해서는 daisy-chain 방식의 SPI 통신으로 연결하여 시스템 확장이 가능하다. daisy-chain 방식의 SPI 통신에 의한 배터리 모니터링 모듈의 시스템 확장은 최소한의 케이블로 각 모듈간의 인터페이스 구성이 가능하다. BMS를 위해 설계한 하드웨어는 [그림 2]와 같다.

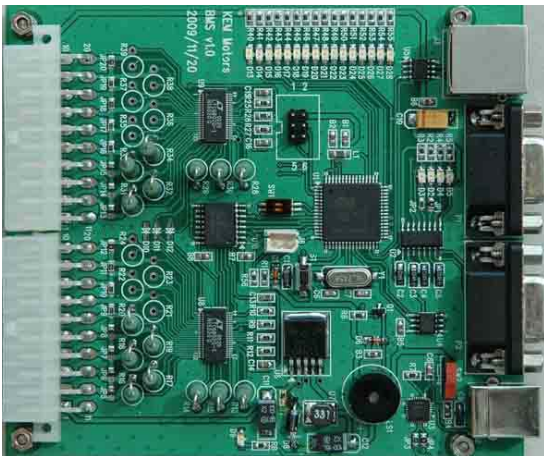


그림 2. BMS 하드웨어

3.1 BMS 인터페이스

BMS를 위해 각 장치와의 통신 인터페이스 구성은 다음과 같다.

- BMS 보드과 다른 장치(충전기, 모터 컨트롤러)와 통신 : CAN 2.0
- BMS 모니터링 및 설정(PC 또는 임베디드 시스템) : RS-232
- MCU와 배터리 모니터링 IC : daisy-chain 방식의 SPI

3.2 BMS 하드웨어 환경

BMS를 위한 하드웨어 환경은 다음과 같다.

- 한 개의 배터리 모니터링 모듈에 연결 가능한 셀의 갯수 : 12개 까지 (최소 4개 이상 : 전체

셀 전압은 10[V] 이상 요구됨)

- 한 개의 배터리 모니터링 모듈의 최대 입력 전압 : 60[V]
- 한 개의 셀 단자에 대한 최대 입력 전압 : 9[V]
- ADC : 12-bit
- 셀 방전 단자 : 모듈에 내장 - 셀 발란싱 기능
- 온도 측정 : 2개의 서미스터 입력 및 1개의 내부 모듈의 온도 측정
- 오픈 와이어 점검 : 각 셀별로 연결된 단자 중에서 와이어의 끊김으로 인해서 발생할 수 있는 오류를 방지
- 자가 진단 : 각각의 셀에 대한 ADC 동작이 정상적인지 판단자는 자가 진단 기능, ADC 변환에 대한 신뢰성 확보
- 위치독 타이머 : 배터리 모니터링 중에 일정 시간(2초) 동안 아무런 동작이 없으면 해당 기능을 초기화함으로써 시스템 동작 오류를 보호
- 디지털 아이솔레이터 : 측정을 위한 배터리로부터의 과전압에 의한 MCU의 보호

3.3 BMS 분석

설계한 시스템은 BMS 보드의 MCU가 배터리에 대한 전반적인 동작, 모니터링 및 관리하는 방식이다. [그림 3]은 BMS를 위한 PC 환경의 모니터링 프로그램의 화면이다.

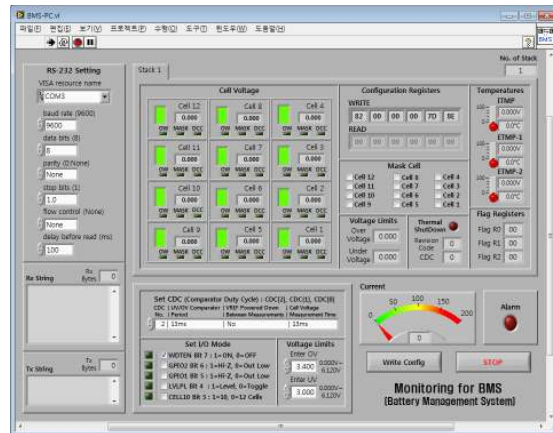


그림 3. BMS 모니터링 프로그램

BMS 보드는 RS-232 시리얼 통신을 통해서 배터리와 관련된 모니터링 데이터를 1초 주기로 PC에 전송한다. 전송되는 데이터는 설정된 레지스터 값과 셀별 전압, 과전압/저전압 플래그, 오픈 와이어 및 온도 값 등이다.

한 개의 배터리 모니터링 모듈이 관리할 수 있는 셀은 최대 12개이다. 각 셀의 데이터는 측정된 전압과 이와 관련하여 과전압/저전압 등 셀 상태를 직관적으로 나타낼 수 있는 칼라 표시 그리고 셀 발란싱을 위한 방전, 사용되지 않는 셀의 마스크 및 오픈 와이어 상태를 모니터링 할 수 있다.

또한 한 개의 배터리 모니터링 모듈은 내부 온도와 2개의 서미스터 입력에 대한 온도 측정값을 표시한다.

동일한 특성의 리튬 계열 모델의 배터리를 사용한다는 전제 조건으로 설계하였기에 다수의 배터리 모니터링을 위해 여러 개의 배터리 모니터링 모듈이 사용되더라도 각각의 배터리 모니터링 모듈에 대한 레지스터 및 과전압/저전압 설정은 동일한 값으로 사용하도록 프로그램을 설계하였다.

여러 개의 배터리 모니터링 모듈이 동작하는 경우, 만약에 특정 셀이 저전압으로 인하여 방전에 문제가 있다고 판단되면 BMS 보드는 부저를 통해서 사용주의 경보를 알리며 모니터링 프로그램에서는 알람 표시를 한다. 이 경우에 각각의 배터리 모니터링 모듈의 상태를 파악하기 위해서 모니터링 프로그램의 탭을 클릭하여 어느 배터리 셀에 문제가 발생했는지를 파악할 수 있다.

BMS 동작 중에 배터리 셀을 모니터링 하는 단자 및 와이어가 손상되는 경우가 발생할 수 있다. 이와 같은 경우에는 모니터링 단자에 예측할 수 없는 값이 측정됨으로 인해서 모니터링 오류가 발생할 수 있다. '오픈 와이어 점검'기능은 각 셀 별로 연결된 단자가 정상적으로 연결되었는지의 상태를 판단하여 와이어의 끊김으로 인해서 발생할 수 있는 모니터링 오류를 방지할 수 있다.

배터리 셀의 수명에 치명적인 영향을 미치는 항목이 과충전이기 때문에 충전시에는 특정 배터리 셀의 과충전을 방지하기 위해서 해당 배터리 셀에 과전압이 검출되면 해당 셀의 방전 단자를 'ON'시켜서 셀 발란싱을 유지하면서 충전을 지속할 수 있다. 이와 같은 셀 발란싱 기능이 없으면 과충전을 방지하기 위해서 충전을 중단하고 해당 셀을 배터리 스택의 각 셀의 전압 수준과 유사하게 유지하기 위해 오랜 시간 동안 방전을 시켜야 되는 문제가 발생된다.

방전시에는 전체 배터리 스택에 흐르는 전류를 모니터링 하고 각 배터리 셀의 전압과 비교·분석하여 SOC를 예측할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 리튬 계열의 배터리 관리 및 모니터링을 위한 설계 기술에 대해 서술하였다.

향후에는 이와 같은 시스템을 기반으로 고전압이 필요한 전기차 및 하이브리드차에서 활용할 수 있는 지능적이고 효율적인 BMS를 설계하고자 하며, BMS와 직접적으로 관련된 충전기 설계가 요구된다. 추가로 BMS 알고리즘 및 회로를 보완하여 언제나 배터리를 최적화 상태에서 사용할 수 있고, 배터리 수명을 연장할 수 있는 방법이 요구된다.

모니터링 프로그램도 추가적인 보완을 통하여 차량 내에 장착된 임베디드 시스템에서 타 프로

그램과 동시에 상시적인 모니터링을 할 수 있도록 프로그램 설계 변경이 필요하다.

참고문헌

- [1] 녹색성장위원회, <http://www.greengrowth.go.kr>
- [2] <http://www.linear.com>
- [3] Jim Douglass, "Battery Management Architectures for Hybrid/Electric Vehicles", Electronic Product Design, pp 8~10, March 2009
- [4] Greg Zimmer, Special Report Automotive Electronics, pp 19~20, September 2009
- [5] Michael Kultgen and Jon Munson, "Battery Stack Monitor Extends Life of Li-Ion Batteries in Hybrid Electric Vehicles", Vol. XIX No. 1, Linear Technology Magazine, pp 2~8, March 2009