고속 다채널 배터리 모니터링을 위한 CVM 시스템의 구현

이경량*, 조승일**, 연인철***, 김성권**** 정회원

Implementation of Cell Voltage Monitoring System for Monitoring Multi-channel Battery

Kyung-Ryang Lee*, Seung-Il Cho**, In-Chol Yeon***, and Seong-Kweon Kim**** *Regular Members*

요 약

리튬이온 배터리는 낮은 자체 방전율 특성과 고밀도 에너지 저장장치로 다양하게 응용되고 있으며, 단위 셀 배터리의 전압은 4V 보다 낮아, 직렬로 연결하여 사용해야 하는 것이 일반적이다. 배터리 셀전압의 직렬 연결 동작시, 각각의 단위 셀 배터리는 내부 저항이 균일하지 않아, 충전 시, 특정 단위 셀 배터리는 4V 이상이 걸려, 폭발이 발생할 수도 있으며, 또한, 방전 시 배터리의 특성을 떨어뜨릴 수 있는 한계 전압 이하가 되는 심각한 문제가 존재한다. 따라서, 단위 셀 배터리의 충전 및 방전 동작에서는 과충전과 과방전을 사전에 감지하기 위한 전압 센싱 동작이 필요하며, 이에, 본 논문에서는 고속 배터리 전압 센싱 모듈 개발을 소개한다. 제작된 CVM(Cell Voltage Monitoring)은 단위 배터리 셀을 통하여, 전압 및 온도 채널 포함하여, 12채널을 모니터링할 수 있으며, 채널당 12-bits 분해능과 192 kbps 전송 속도를 가진다.

Key Words : Battery Cell, Charge, Discharge, ADC, CVM

ABSTRACT

Lithium-ion batteries have been used for high density energy storage system due to the features such as low self-discharge rate. And the unit cell battery with the voltage less than 4V is recommended to use the series connections for a high voltage charger. When batteries are charged or discharged with series connection, there may be an explosion or degradation of unit cell battery owing to undistributed internal resistance of cell battery. therefore, the voltages of unit cell batteries should be monitored to prevent an overcharging and a deep discharging. This paper introduces the implementation of CVM (Cell Voltage Monitoring) system that can transmit the 12 channel's information including voltages and temperatures with the 12-bits resolutions and the transmission speed of 192 kbps.

I. 서 론

전기자동차에 사용될 리튬-이온 배터리는 신뢰성 확보를 위하여, 출하 전에 배터리 성능 시험이 요구되며, 일정 전류를 드라이빙하여, 충전 및 방전 테스트를 할 수 있는 충방전 장치가 사용된다. 테스트는 단위 배터리 셀이 직렬로 연결된 구조로 실시되는 경우도 있으며, 각각의 단위 배터리는 화합물 구성, 충전량, 충방전 사이클, 전력손실, 온도에 따른 임피던스 특성 등이 상이하여, 충전, 방전 테스트를 반복할 경우, 배터리 상호간 전압 불균형을 피할 수 없게 되어, 배터리의 충전 테스트의 경우, 특정 단위 셀은 과충전되어, 폭발 및 화재가 발생할 수 있으며, 방전 테스트에서 배터리팩의 한계 전압보다 낮은 전압으로 과방전하게 되면, 배터리의 성능이 열화되어, 수명이 단축될 수 있는 등, 예기치 않은 문제를 일으킬 수 있다. 따라서, 배터리 충방전 동작 중에는 단위 배터리 셀에 대한 배터리의 과충전과 과방전을 감지할 수 있도록, 고속 동작의 다채널 셀 전압 모니터링(Cell Voltage Monitoring: CVM) 동작이 필요하며, CVM 의 기능 구현은 충방전 장치의 사양에 따라, 다르게 구현될 필요가 있다.

본 논문에서는 40kW급의 충방전 장치에서, 다수의 리튬이온 배터리 단위셀의 측정을 위한 96 채널의 전압 및 온도 정보를 192 kbps의 고속의 전송속도로 모니터링할 수 있는

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 (일부)지원으로 수행되었습니다.
*서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 ITSC연구실 (corenc@seoultech.ac.kr), **Yamagata Univ, ***LGCNS,
****교신저자 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 (kim12632@seoultech.ac.kr)
접수일자 : 2013년 7월 15일, 수정완료일자 : 2013년 8월 13일, 최종게재확정일자 : 2013년 8월 16일

CVM 시스템을 제안하였으며, Daisy Chain 방식을 채택하여제작된 단위 모듈을 통해 고속 다채널 배터리셀 전압 및 온도 모니터링 동작을 확인하였다.

표 1. 배터리 사양

Max Voltage	4.15 V
Discharge Cut-Off Voltage	3.0 V at 25℃
Max Capacity	37 Ah

Ⅱ. 충방전 시스템

단위 배터리 셀의 SOC(State Of Charge)는 충전 시, 배터리의 충전특성을 나타내며, 충전용량(Capacity)이 불안정한 경우, 각각의 배터리 셀 전압은 특성에 따른 오차를 보일 수 있다[1]. 전기자동차에 주로 쓰이는 Li-ion 배터리는 셀 내부의 화학적인 Short 회로구성으로 인해 과충전에 취약하며, 과충전시 충전에너지는 저장되지 않고, 열로써 발산되어 셀 내부의 압력증가 및 폭발 등 물리적인 변형을 일으키게 되며, 이와 같은 오동작은 일반적으로 고율특성(rate-capability), 냉각, 충전시스템 기능을 통해 해결할 수 있으며, 배터리 셀의 안전문제는 배터리 전압 및 온도 모니터링 시스템의 전압 임계치 설정을 통해 해결가능하다[2]. 다른 배터리 셀과의 독립적인 구조가 유지된 상태에서 과도전압구간 4.3V인 특성을 지닌 배터리 셀의 경우 4.3V 이하의 임계전압을 모니터링하여 배터리 셀의 과충전 구간 진입시 해당 셀의 방전동작을 수행한다[3]. 방전의 경우도 충전동작과 동일하게 과방전시 배터리 셀의 물리적인 구조에 충격을 줄 수 있으며, Li-ion 배터리 화합물의 경우, 일반적으로 2.2V~2.7V에 따른다[4].

표 1은 전기자동차에 사용되는 일반적인 리튬-이온 배터리의 사양을 나타낸다. 방전 컷오프 전압 3.0V, 최대충전전압 4.15[V], 최대충전용량 37[Ah]을 지니며, 다수의 배터리가 직렬 연결되어 배터리 팩 형태로 사용된다.

그림 1은 시험가동 중인 40kW급 배터리 충방전 시스템의 블록도를 나타낸다. IGBT를 사용하여, V++전원으로부터 전류를 배터리팩의 BAT++ 단자로 공급하는 충전동작과 COM과 BAT++ 패스의 방전 동작을 하며, 방전 동작은 배터리팩으로부터의 전류를 LOAD저항으로 방출시켜 열로 에너지를 소모하는 구조를 가진다. 제시된 충방전 시스템은 직렬 연결된 배터리에 대하여 충방전에 대한 기능만 제공하기 때문에, 단위 배터리 셀에 대한 전압 및 온도 모니터링은 제안되는 CVM 시스템을 통해 이루어진다.

표 2는 단위 배터리 셀 다수를 고전압으로 충방전할 수 있는 충방전 시스템의 사양을 나타낸다. 40kW급으로 전류 및 전압의 구동은 10 msec 내에 정상상태에 도달할 수 있도록 제작하였으며, Overshoot 및 Undershoot 가 0.5 % 내에 있도록 하는 비교적 높은 사양의 충방전 시스템이다. 이 충방전 시스템은 96개의 리튬-이온 배터리를 직렬로 연결한 상태에서 충방전을 하기 때문에, 전압 및 온도를 포함한 96개의 채널에 대한 모니터링 결과를 100 msec 안에 전송할 수 있어야 하며, 전송속도는 최소 24 kbps 를 확보하여야 한다.

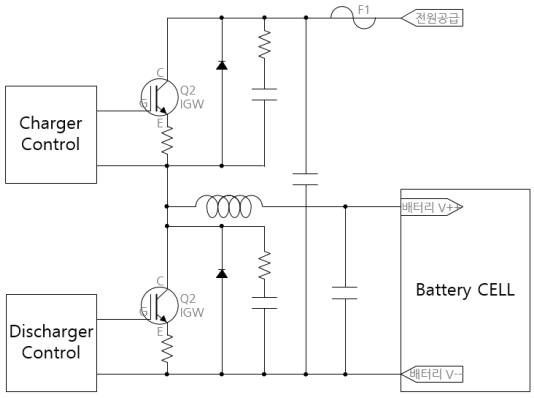

그림 1. 충방전 시스템 블럭도

표 2. 충방전 시스템 사양

Max Supply Voltage	200 V
Max Supply Current	200 A
Rising Time	10ms
Falling Time	10ms
Switching Time	40ms
Overshoot	5%
Undershoot	5%
Accuracy	0.5A

표 3. CVM 시스템의 단위 모듈 사양

배터리 전압 측정	12채널
온도 측정	12채널
전송 시간	8 msec
Frame 길이	8 Bytes * 3
CAN Bit rates	24 kbps

Ⅲ. CVM(Cell Voltage Monitoring) 시스템

CVM 시스템을 통해 전압 및 온도에 관한 배터리 정보를 획득한 충방전 장치는 배터리 팩 내 단위 배터리 셀의 상태를 모니터링 할 수 있으며, 용량결함과 같은 배터리 특성 오차를 반영한 정밀한 충방전 프로파일 구성에 사용할 수 있다.

그림 2는 제안하는 CVM(Cell Voltage Monitoring) 시스템을 나타낸다. CVM 시스템은 배터리 셀을 타겟으로 충방

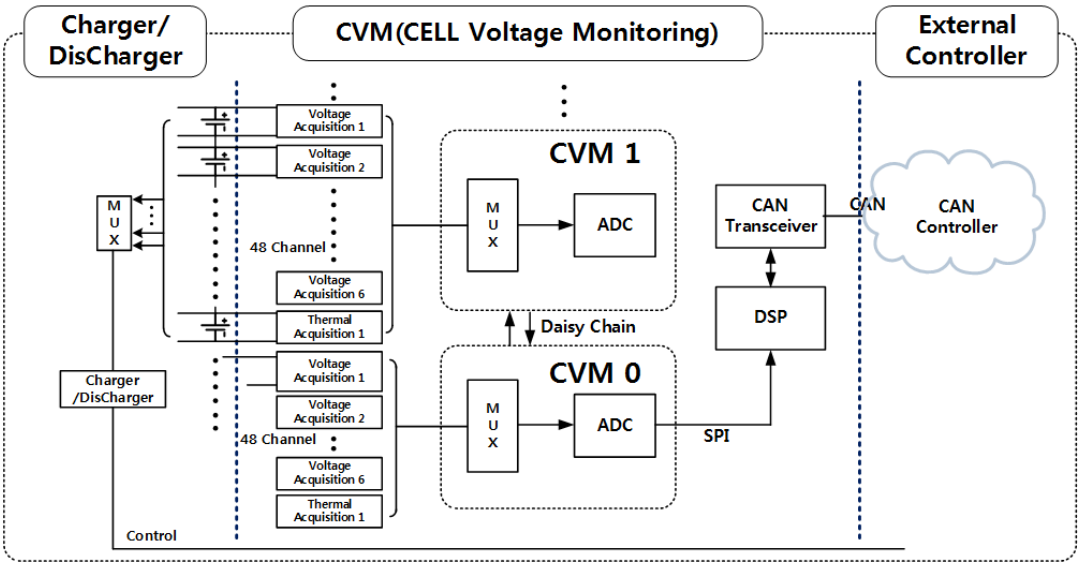

그림 2. CVM Block Diagram

전 시스템과 병렬로 연결되어 배터리 전압 및 온도를 측정하고 외부 충방전 장치 제어기로 송수신하는 시스템이다. 요구되는 사양인 96개의 채널에 대한 모니터링은 Daisy Chain 방식을 채택하는 시스템의 설계로 12개의 채널을 기본단위로 하는 모듈을 설계하였다.

표 3은 CVM 시스템의 단위 모듈의 사양을 나타낸다. 이 CVM 단위 모듈을 사용하여, 충방전 시스템의 요구 사양인 96채널에 대한 모니터링을 위하여 배터리 전압 및 Thermistor 온도측정을 위한 CVM 8개 모듈까지 Daisy Chain 인터페이스로 구성될 수 있도록 하였으며, 각 측정 채널은 12-bits SAR typed A/D, 192 kbps, Daisy-Chain 8-STACK, 배터리전압 48채널, 배터리온도 48채널까지 측정이 가능하도록 설계하였다.

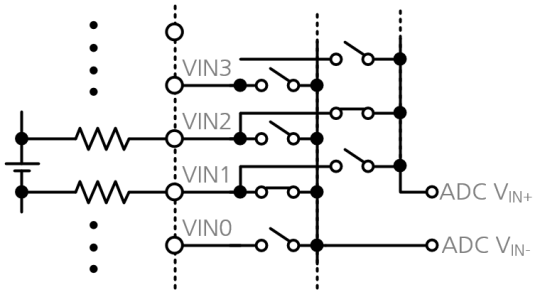

그림 3. 배터리 셀 전압측정 모듈

그림 3은 배터리 셀 전압측정 모듈을 나타낸다. 배터리 셀 전압측정 모듈은 Daisy-Chain 구조로 연결되어 배터리 셀로부터 스위치 동작을 통하여 인접하는 두 개의 아날로그 전압에 따른 전위차로 배터리 채널의 전압을 측정한다. 그림 5는 Daisy Chain 구조에서 배터리 팩 내부 두 번째 배터리 셀 (VIN1-VIN2)의 전압획득을 위한 구조를 나타낸다.

그림 4는 단위 배터리 셀의 온도측정을 위한 회로를 나타내며, CVM Regulator(VREF=5V)를 Thermistor와 직렬로 연결했을 때 IR drop을 A/D 채널로 측정함을 보여준다. 측정된 전압은 프로세서로 사용된 DSP에서 수신하며, 측정 대상 단위배터리 셀 온도는 Thermistor로 사용된 NTC (Negative Temperature Coefficient of Resistance) 10kΩ의 선형성을 역산하여 산출한다.

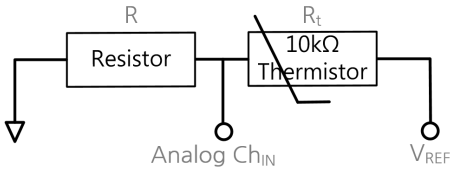

그림 4. Thermistor Circuit

그림 5는 CVM Processor Block Diagram 를 나타내며, CVM 시스템의 디지털 신호처리는 TI TMS320F28335 DSP 프로세서를 통해 구현하였다. 설계된 펌웨어는 그림 5와 같이 CVM Block과 SPI(Serial peripheral Interface)를 통해 채널 전압 값을 수신 받아 외부컨트롤러로 전송하는 펌웨어를 포함하고 있다. 충방전부 제어 인터페이스와 고속 동작을 위해 192 kbps 의 CAN Protocol을 사용하여 구현하였다.

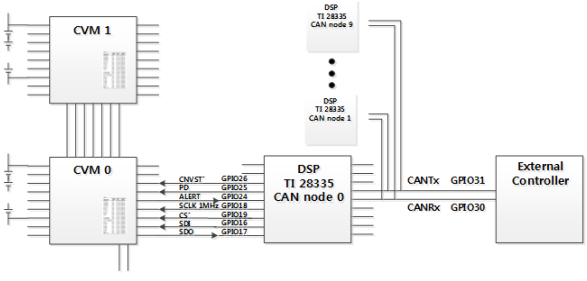

그림 5. CVM Processor Block Diagram

CVM Digital Block은 DSP의 CS(Chip Select) 시그널로 해당 CVM이 Selection 되고, Rising Edge로 초기화 후, 4-Wire SPI 인터페이스(SDO, SCLK, SDI, CS')를 통해 AD 변환 결과를 송수신한다.

그림 6은 제작된 CVM 단위 모듈을 나타낸다. Daisy Chain 스택구조 연결을 통해 8개 CVM 단위 모듈에서 48 채널 전압, 48채널 온도 측정이 가능하며, 단위 모듈로부터는 전압 12채널, 배터리 셀 온도 12채널의 배터리 상태정보를 확인할 수 있다.

그림 7은 CVM 단위 모듈을 통한 CAN 통신 메시지 수신 결과를 나타내며, 타겟 단위 배터리 셀은 표 1에서 제시된 배터리를 사용하였으며, 1 msec 동안에 24 bytes 씩 전송되므로, 192 kbps의 고속 동작을 확인하였다.

그림 8은 배터리 셀의 충전 및 방전 시 전압 측정 결과 SOC를 나타내며, 구현된 CVM 단위 모듈을 사용하여 배터리 전압 및 온도 측정 동작을 검증하였다.

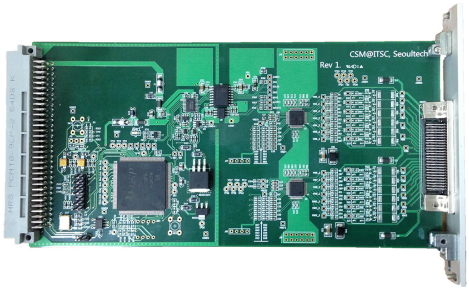

그림 6. 구현된 Cell Voltage Monitoring 시스템

Time / 10 mSec	Identifier	Format	Flags	Data
00:00:15.00	201	Std		C8 CC C8 C5 CC CB E1 E1
00:00:15.00	202	Std		E1 E1 E1 FC 00 00 00 00
00:00:15.00	203	Std		00 00 00 00 00 00 00 00
00:00:15.09	201	Std		C8 CC C8 C5 CC CB E1 E1
00:00:15.09	202	Std		E1 E1 E1 FC 00 00 00 00
00:00:15.09	203	Std		00 00 00 00 00 00 00 00
00:00:15.19	201	Std		C8 CC C8 C5 CC CB E1 E1
00:00:15.19	202	Std		E1 E1 E1 FC 00 00 00 00
00:00:15.19	203	Std		00 00 00 00 00 00 00 00
00:00:15.29	201	Std		C8 CC C8 C5 CC CB E1 E1
00:00:15.29	202	Std		E1 E1 E1 FC 00 00 00 00
00:00:15.29	203	Std		00 00 00 00 00 00 00 00
00:00:15.40	201	Std		C8 CC C8 C5 CC CB E1 E1
00:00:15.40	202	Std		E1 E1 E1 FC 00 00 00 00
00:00:15.40	203	Std		00 00 00 00 00 00 00 00

그림 7. 배터리 전압/온도 CAN 메시지 수신 결과

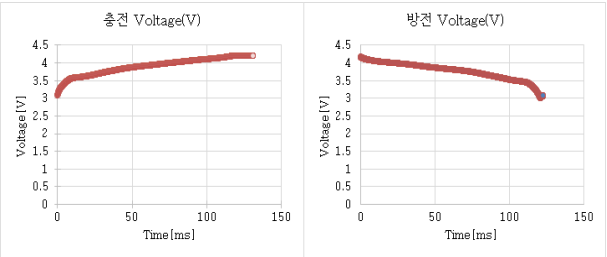

그림 8. 배터리 셀에 대한 충전 및 방전 SOC

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 40kW급의 충전시스템에 사용되는 고속 다채널 CVM 시스템 구현을 소개하였다. 충방전 동작에서 배터리 전압 및 온도 측정을 제작된 CVM 단말을 통해 검증하였으며, 제안된 CVM 시스템은 충방전 시스템의 신뢰성 향상, 안정성 확보를 위한 유용한 기술로 활용될 것이 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Yevgen Barsukov, "Battery Cell Balancing: What to Balance and How",Texas Instruments, Vol2, pp. 102-110, 2009.
[2] 황호석, "리튬-이온 배터리팩의 전압안정화회로 설계",전력전자학술대회, Vol2, pp. 187, 2004.
[3] 진성태, "수동 셀 밸런싱 로직 개발을 위한 배터리 셀 전압 모사장치 개발",한국자동차공학회, Vol10, pp.1264, 2011.
[4] 김헌희, "전기자동차에 적용되는 새로운 배터리 전압 밸런싱 시스템",전력전자학회, Vol11, pp.473-474, 2011.

저자

이 경 량 (Kyung-Ryang Lee) 정회원

· 2006년 : 명지대학교 컴퓨터공학과
· 2009~2011년 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 석사
· 2011년~현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정
<관심분야> : VLSI, SoC, POSIX

조 승 일(Seung-Il Cho) 정회원

· 2013년 : 일본 YAMAGATA대학교 이공학연구과 공학박사
· 2013년~현재 : 일본 YAMAGATA대학교 이공학연구과 Research Fellow
<관심분야> : Adiabatic logic circuit, 아날로그 디지털 mixed 회로설계

연 인 철(In-Chol Yeon) 정회원

· 1994년 : 인하대학교 공학석사
· 2005~현재 : LG CNS 부장
ITS 단말기개발
전기자동차충전시스템개발
ESS용 HybridUPS 개발
<관심분야> : 리튬이온전지, UPS, ESS

김 성 권 (Seong-Kweon Kim) **정회원**

- 2002년 : 일본TOHOKU대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2002~2004년 : 일본TOHOKU대학교 Assistant Professor & Research Fellow
- 2004~2009년 : 목포해양대학교 조교수
- 2009년~현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 부교수

<관심분야> : 무선통신용 IC 설계, 아날로그 회로설계