

배터리 관리 시스템의 CAN 기반 배터리 팩 온도 측정 포인트 확장에 관한 연구

배영민, 이평연, 국강현, 김종훈*

충남대학교

godudals1@gmail.com, leep9826@naver.com, kook91615@naver.com *whdgns0422@cnu.ac.kr

A Study on the Expansion of CAN-based Battery Pack Temperature Measurement points in the Battery Management Systems

Young-Min Bae, Pyeong-Yeon Lee, Gang-Hyeon Kook, Jonghoon Kim*

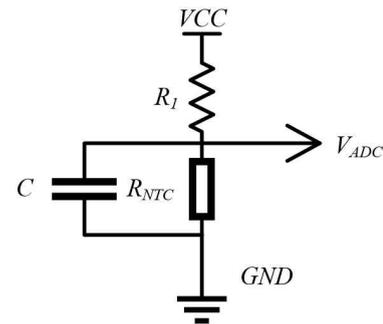
Chungnam Univ.

요약

최근 어플리케이션에서 운용되는 전압이 높아지고 용량이 커지고 있으며, 이에 따라 배터리 팩을 구성하는 셀의 개수가 증가하고 있다. 배터리 팩은 다수의 셀의 연결로 구성되며, 충전과 방전을 반복하면서 배터리 팩 내부에서 열이 발생한다. 다수의 셀로 구성된 배터리 팩은 충전방전이 될수록 셀간 편차가 필연적으로 발생하여 열적인 불균형까지 발생하게 된다. 열적인 불균형이 발생함에 따라 배터리 팩의 용량과 성능에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 BMS의 한정된 온도 측정 개수를 확장하여 다중 온도 측정을 위한 회로 설계를 제안하며, 이에 대한 검증을 진행한다.

I. 서론

전세계적으로 탄소 배출량을 '0'으로 만드는 넷 제로를 달성하기 위한 노력이 계속되고 있다. 수송 분야에서는 내연 기관차를 줄이고 전기차가 늘어나는 추세이며, 전기차가 늘어남에 따라 동력원인 배터리의 효율적인 운용 및 안전한 운용에 대한 중요성이 증가하고 있다. 또한 전기차량의 배터리 팩은 주행거리 향상과 급속충전을 위해 400V에서 800V로 확장하는 추세이다. 배터리 팩은 어플리케이션에서 요구하는 고전압 및 고용량을 만족하기 위해 직렬 및 병렬 연결되는 단일 셀의 수가 증가하고 있어, 필연적으로 셀간의 불균형이 발생하게 된다. 셀간 불균형이 발생함에 따라, 배터리 팩의 수명 및 성능에 영향을 미치게 된다. 배터리 팩의 수명 및 성능에 영향을 미치는 여러 요인이 있지만, 배터리의 성능에 영향을 미치는 주요 요인은 열이다. 상용 배터리 팩은 15°C~35°C 사이에서 최적으로 동작하도록 설계되어 있다. 배터리 팩이 15°C 아래에서 동작하면 전체 용량이 감소하고 배터리의 내부 저항이 증가한다[1]. 이와는 반대로 35°C 이상의 온도는 잠재적으로 리튬이온 배터리 팩 전체에서 비가역적인 반응을 일으키고 열 폭주의 위험을 증가시킨다[2,3]. 이러한 위험성으로 인해 배터리 팩을 만드는 과정에 있어서 온도도 필수적으로 측정되고 있으며, 이의 값을 통해 배터리 팩을 제어하고 있다. 하지만, 기존 배터리 팩의 온도 측정은 2-4개를 사용하여 온도를 측정하고 있다. 온도 측정에 있어 기존 BMIC(Battery Monitoring Integrated Circuit) 내 온도를 측정할 수 있는 채널 개수가 제한되어 있어 많은 채널의 온도를 측정하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 배터리 팩 내 단일 셀의 온도를 모두 측정하기 위해 멀티플렉서(Multiplexer)를 활용한 온도 측정 방식을 제안한다.



[그림 1] 저항 분배 법칙을 이용한 전압 측정 회로 예시

측정하도록 구성되어 있다. 이 회로에서 온도를 측정하는 방식은 다음과 같다. 그림 1에서 NTC는 온도에 따라 저항이 변경되기 때문에 NTC 양단에 인가되는 전압이 ADC(Analog to Digital Converter)에도 인가된다. 다음으로 ADC에서 아날로그 신호의 전압이 디지털 신호의 전압으로 변환되며, 이의 전압은 ADC에 인가되는 전압은 저항을 이용한 전압 분배 법칙을 활용하여 식 (1)과 같이 산출할 수 있다. 이 수식을 통해 측정되는 V_{ADC} , VCC , R_1 을 통해 R_{NTC} 를 산출할 수 있다. 여기서 VCC 는 MCU(Micro Controller Unit)에서 사용하는 기준 전압을 의미한다. 마지막으로 산출된 R_{NTC} 를 활용하여 식 (2)을 통해 온도를 추정하게 된다. 식 (2)는 NTC 저항을 이용하여 온도 값을 구할 수 있는 방정식을 의미한다. 여기서, R_0 는 25°C의 NTC 저항, β 는 NTC 계수, T_0 는 25°C의 절대 온도, T 는 현재 온도의 절대 온도를 의미한다.

II. 다수의 온도 측정을 위한 제안된 토폴로지

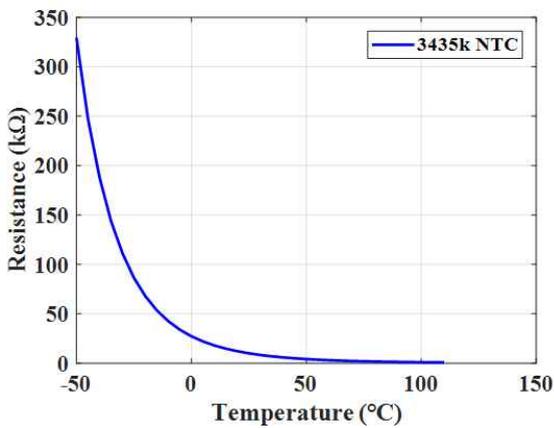
그림 1은 배터리 팩 내 온도를 측정하기 위한 기본적인 회로를 나타내고 있다. 이 회로는 그림 2와 같이 온도에 따라 저항이 변화하는 NTC(Negative Temperature Coefficient thermistor)의 특성을 통해 온도를

$$V_{ADC} = \frac{VCC}{(R_1 + R_{NTC})} \times R_{NTC} \quad (1)$$

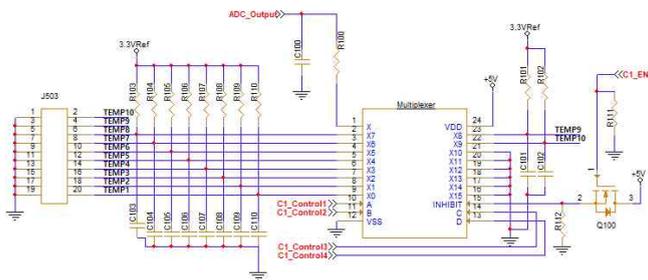
$$R_{NTC} = R_0 \times e^{\beta \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (2)$$

III. 온도 측정 검증을 위한 시험 환경 구성 및 결과

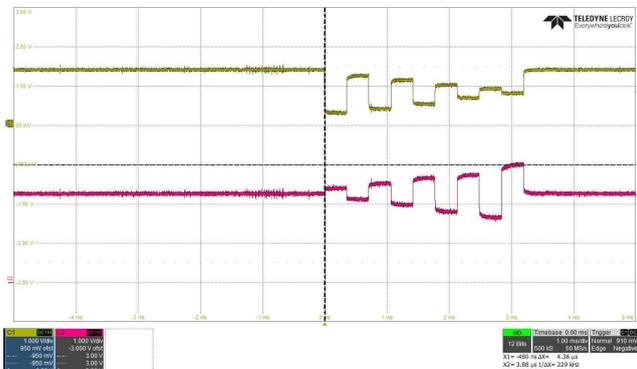
회로의 MCU는 ST의 STM32F407VG를 사용하였다. 해당 MCU의 ADC는 클럭 속도는 12MHz, 분해능은 12-Bit로 약 0.8mV의 오차를 갖고 있다. CAN Transceiver는 ADI의 ADM30538RWZ를 사용하였다. CAN의 통신속도는 500kbps로 세팅하였고, 컴퓨터와 통신하기 위해 PEAK System의 IPEH-004022를 사용하였다. 또한, 멀티플렉서는 Onsemi의 MC14067BDWG로 구성하였으며, 고정 저항은 1%의 오차를 갖는 저항을 사용하였다. 그림 3과 같이 GPIO 4개 핀을 할당하여 멀티플렉서의 채널 제어가 가능하도록 설계하였고, 온도를 측정하지 않는 경우는 해당 멀티플렉서를 비활성화할 수 있도록 추가적으로 GPIO 1개 핀을 할당하여 해당 회로를 구성하였다. 온도 측정 검증을 위한 시험환경 구성에서 NTC를 활용할 경우, 각 NTC가 갖는 저항이 비슷하여 변화량을 측정하기 어려움이 존재한다. 따라서 시험 환경 구성은 NTC를 활용하는 것이 아닌 오차를 1%의 고정 저항을 이용하여 멀티플렉서의 채널 간 전압 차이를 임의로 구현하여 멀티플렉서 내의 채널 변경할 때의 스위칭 리플이 발생하도록 테스트 환경을 구축하였다.



[그림 2] 온도에 따른 NTC의 저항 변화 그래프



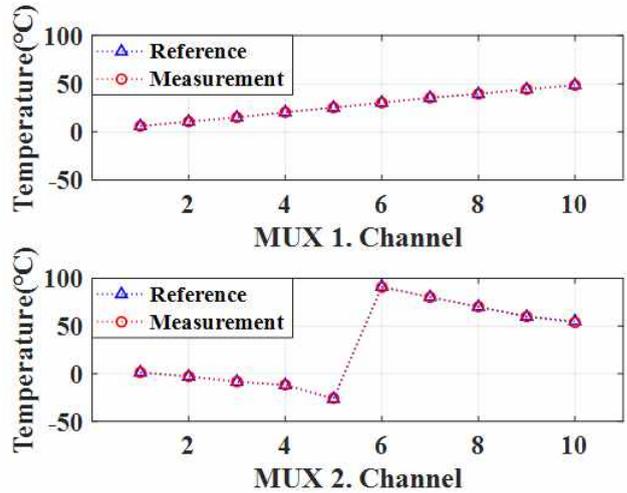
[그림 3] 멀티플렉서를 이용한 10채널 온도 센싱 회로도



[그림 4] 구현된 멀티플렉서 동작에 대한 ADC 전압 파형

그림4는 구성된 회로에서 MCU의 ADC에 인가되는 전압 값을 오실로스코프를 활용하여 측정된 전압 파형이다. 멀티플렉서의 채널 선택 시간은 약 4.36 us이고 ADC 값을 가져와서 계산하는 시간이 약 180 us가 소요된다. 따라서, 10채널 전체의 ADC 값을 읽어 온도를 계산할 경우, 대략 1.84 ms가 소요된다.

그림 5는 고정 저항으로 계산하여 얻은 온도 값과 제안 토폴로지를 활용하여 측정된 온도값을 CAN 통신하여 받아 비교한 결과 그래프이다. 해당 테스트 환경에서 온도는 최대 $\pm 0.66^{\circ}\text{C}$ 의 오차를 갖는 것을 확인하였다. 이러한 오차는 NTC가 0도 이하에서 전체 저항의 증감분의 91.93%를 갖는 특성으로 인하여 0도 이하에서 발생한 오차로 확인된다.



[그림 5] 기준 온도와 제안된 시스템에서 측정된 온도 그래프

IV. 결론

본 논문에서는 BMS(Battery Management System)에서 사용되는 MCU의 한정된 ADC로 인한 온도 측정 포인트가 적은 문제점을 해결하기 위해 멀티플렉서를 이용하여 1개의 ADC에 10개의 온도를 측정할 수 있는 시스템을 제안하고, 제안한 토폴로지를 검증하기 위해 인위적인 시험환경을 구축하여 멀티플렉서를 활용한 다중 온도 측정을 검증하였다. 향후, 더 높은 분해능을 가진 BMIC의 ADC에 멀티플렉서를 연결하여 다중 온도 측정을 구현하고 측정된 온도 데이터를 활용하여 배터리 팩의 열관리 시스템에 적용할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 다스텍(12V 100A 차량장착용 배터리 BMS 개발)와 산업기술 평가관리원의 재원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고출력 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

- [1] University B., "BU-502: Discharging at high and low temperatures", Battery Portable World, 1(2021)
- [2] Lucia Ianniciello P.A., "Electric vehicles batteries thermal management systems employing phase change materials", Journal of Power Sources, 378, pp. 383-403, Feb. 2018.
- [3] Gambhire, Priya, et al. "A reduced order electrochemical thermal model for lithium ion cells." J. Power Sources 290 (2015): 87-101.