배터리 내부저항 계측을 위한 고속 스위칭 및 ADC 기술

추문식, 정종윤, 박동환, 안정훈†
한국전자기술연구원

High Speed Switching and ADC Technology for Battery Internal Resistance Measurement

Moon-Sik Chu, Jong-Yun Jeong, Dong-Hwan Park, and Jung-Hoon Ahn†
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

최근 전 세계적으로 배터리, 에너지저장장치 (ESS, Energy Storage System)의 필요성이 증가하였다. 이에 따라 전기차 및 ESS 화재 사고 또한 증가하였다. 배터리 사고는 내, 외부적인 원인이 다양하고 파악하기 어려워 배터리 관리 시스템의 중요도가 높아지고 있다. 본 논문에서는 배터리 사고의 전조증상 감지를 위해 On-Line 배터리 내부 상태 추정 방안을 제안하였다. GaN FET의 고속 스위칭을 이용한 배터리 저항, 전압, 전류 추정 방안을 제안하였고, On-Line 상태 배터리 내부 상태 추정 로직 및 알고리즘을 위해 계측 모듈 보드를 구성하고 검증하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 현재 신재생 에너지의 연구와 분산 전원의 보급 확대되는 중이다. 우리나라 또한 2017년 에너지 전환 정책 이후 신재생 에너지원, 분산 전원 등 발전원의 전력 수요에 따라 효율적인 운용과 관리를 위해 배터리 및 ESS(Energy Storage System)의 필요성이 증가하고 있다. 하지만 이에 따라 배터리 화재, 안전사고가 최근 5년간 39건의 적지 않은 빈도수로 안정성에 우려가 큰 상황이다[1]. 이는 ESS, 배터리 화재 발생 시 일반 화재 사고와 달리 배터리의 열폭주로 에너지가 모두 소진될 때까지 소화가 불가해 전소된 현장으로 사후 원인분석이 어렵고, 사고 원인 또한 배터리 결함, 전력변환장치(PCS), 관리 장치(BMS, PMS), 외부요인 등 다양하여 지속적인 안전관리 시스템이 요구된다.

본 논문에서는 On-Line 상태 배터리의 내재적인 문제 관리와 배터리 상태 추정이 중요함에 따라 이를 확인할 수 있는 유효 인자인 내부저항을 계측하였다. GaN FET, LMG3410R150 소자의 고속 스위칭을 활용해 ON/OFF 제어와 동기화하여 ADC(Analog to Digital Conversion) 회로 적용을 통해 배터리 전압, 전류를 계측하였다. 이를 통해 열화, 지락, 단락에 의한 배터리의 과전압, 과전류와 같은 내부 문제를 확인하고자 하였다.

2. 본론

2.1 On-Line 배터리 내부 상태 계측 센서 설계

동작 중 배터리, 즉 On-Line 상태 배터리 셀의 내부저항 추정 로직 및 알고리즘 구현을 위해 그림 1의 계측 모듈을 구

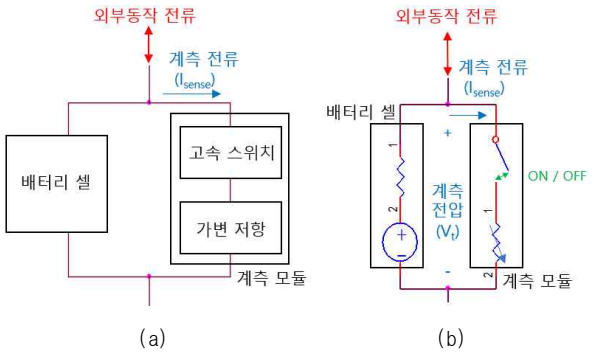

그림 1 배터리 내부저항 온라인 계측 모듈 - (a) 역할 구성, (b) 등가 회로

Fig. 1 Battery Internal Resistance Online Measurement Module - (a) Role Configuration, (b) Circuit Configuration

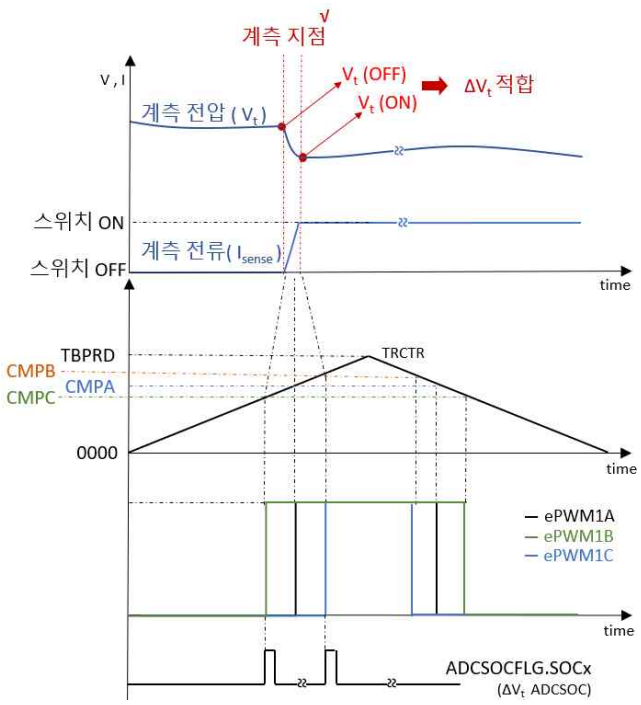

그림 2 스위칭에 따른 On-Line 배터리 내부저항 계측 지점 동기화

Fig. 2 Measurement Point Synchronization for On-Line Battery Internal Resistance Measurement Using Switching

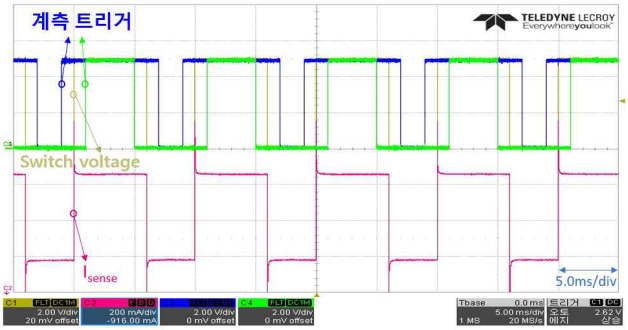

그림 3 On-Line 배터리 내부저항 계측 동기화 파형

Fig. 3 Waveform of Synchronized On-Line Battery Internal Resistance Measurement

표 1 내부저항, 계측 전류에 따른 전압 변동 △Vt 추이

Table 1 The Voltage Variation ΔVt According to Internal Current and Resistance Transition

내부저항	계측 전류	ΔV_t	ADCRESLT
0.8mΩ	1A	1.6mV	32
	5A	8.2mV	162
1.0mΩ	1A	0.2mV	41
	5A	10.2mV	203
1.2mΩ	1A	2.5mV	49
	5A	12.3mV	244

성하였다. 내부저항 계측 모듈은 ON/OFF 하는 고속스위치와 변동 값을 갖는 저항을 배터리 내부저항에 병렬로 연결해 스위칭에 따라 경로가 분리되도록 설계하였다. 또한 배터리 과전압 시 고속스위치 작동 duty 비를 증가시켜 배터리의 에너지 일부를 소모해 배터리 과전압 또한 제어하도록 설계하였다. 배터리 내부저항 추정은 그림 1 계측 모듈의 고속스위치를 ON/OFF 동작으로 가변저항과 연결/분리가 되도록 하였다. 이에 따라 배터리의 전압과 전류는 변동분이 생긴다. 고속스위치가 ON 시점에서 계측되는 전압 변동분 ΔV_t와 계측 전류 I_{sense}로 나누면 배터리의 내부저항이 도출된다. 계측 모듈의 가변저항은 배터리 전압 조건에 따라 계측 전류, I_{sense}를 가변시키는 역할을 한다. 하지만 On-Line 상태의 전압 변동, 전류 계측 지점을 고속스위치 ON/OFF 동작 계측 지점과 동기화해 계측하지 않으면 정확한 전압, 전류를 계측할 수 없다. Off-Line 상태 배터리는 전압 변동 ΔV_t, 계측 전류 I_{sense}가 고속스위치 ON/OFF 시점 전, 후 계측 지점의 관계없이 일정하고 정확하게 배터리 내부저항을 계측할 수 있다. 하지만 장비에 연결된 On-Line 상태 배터리는 그림 2, 3과 같이 계측 지점에 따라 계측 전압이 상이하다. 따라서 그림 3과 같이 계측 전압은 같이 고속스위치 ON/OFF 직전, 직후에서 계측해야 배터리 운전 전류로 인한 왜곡 없이 가능하다. 이때 배터리의 운전 전류로 인한 영향을 최소화하기 위해서는 고속스위치의 ON/OFF 스위칭 시간(Rising Time 또는 FallingTime)은 최소화되어야 하며, 스위칭 주파수는 최대가 되어야 한다.

2.2 On-Line 배터리 내부저항 계측 방안

GaN FET, LMG3410R150 스위칭 소자를 PWM (Pulse Width Modulation)을 이용한 펄스로 동작시키고, 이와 동기화한 두 개의 펄스 duty를 조정해 스위칭 직전, 직후에 발생시켜 계측 트리거로 사용한다. 이를 통해 On-Line 상태 배터리 전압 변동과 전류를 배터리 운전 전류로 인한 왜곡 없이 계측하고자 하였다. 또한 고 방전 배터리의 경우 내부저항의 값이 아

그림 4 셀 단위 전압 계측

Fig. 4 Cell level Voltage Measurement

주 작다. 이 경우 앞서 말한 전압 변동 ΔV_t 계측이 매우 어렵다. ΔV_t는 내부저항, 계측 전류에 따라 영향을 받는다. 내부저항의 값이 1mΩ, 계측 전류 I_{sense} 1A 가정, 전압 변동은 1mV로 작은 값이다. 이는 ADC 회로를 통한 12bit digital 변환 시 무의미한 값으로 계측되지 않는다. 그에 따른 방안으로 계측 모듈의 변동 값을 갖는 저항을 조정해 계측 전류를 변화시키고, FDA(Fully Differential Amplifier)를 이용한 Scaling을 거쳐 Ti 사 TMS 320 계열 MCU(Microcontroller Unit) TMS320F28377D의 16bit differential ADC Mode를 통해 표 1과 같이 높은 해상도로 전압 변동을 계측할 수 있다.

2.3 On-Line 배터리 내부저항 계측 충·방전 시험

On-Line 상태 배터리 내부저항 추정 알고리즘과 추정 로직을 검증하기 위해 계측 보드를 제작하였다. 전원 장치를 이용해 SOC 90% 상태의 배터리 셀에 충·방전 프로파일을 동작시켜 On-Line 상태 배터리의 환경을 구현한 후 앞선 방안을 통해 그림 4의 전압, 전류를 측정하여 배터리 내부저항을 추정해 고속 스위칭을 활용한 On-Line 상태 배터리 내부저항 계측 기술을 검증하였다.

3. 결론

본 논문에서는 고속 스위칭을 활용해 On-Line 배터리의 내재적인 문제 관리와 배터리 상태 추정에 유효 인자인 내부저항을 측정하고자 하였다. 그에 따른 방안으로 스위칭 시간을 최소화하고 스위칭 주파수를 최대화한 고속 스위칭의 ON/OFF 제어와 동기화된 FDA(Fully differential amplifier)를 활용한 16bit 기반의 ADC 회로 적용과 계측 방안을 통해 스위치 ON/OFF 직전, 직후의 전압 변동, 전류 계측을 통해 On-Line 상태에서 배터리 내부저항 계측 방안을 제안하고 계측 보드를 구성해 내부저항을 도출하여 검증하였다.

이 논문은 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20206900000020)

참 고 문 헌

[1] 이수민, 김창훈, "주요국 상대 비교를 통한 우리나라 에너지전환정책 시사점 연구," 에너지경제연구원 수시연구보고서, pp. 1-88, 07 2021.