

셀 단위 On-Line 배터리 내부저항 계측 기술

추문식, 정종윤, 송성근, 안정훈[†]
한국전자기술연구원

A Study on On-Line Internal Resistance Measurement of Battery for Early Detection of ESS Abnormalities

Moon-Sik Chu, Jong-Yun Jeong, Sung-Geun Song, and Jung-Hoon Ahn[†]
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

국내 ESS(Energy Storage System) 시장의 급성장으로 연간 ESS의 결과 화재 사고 또한 증가하고 있다. 사고 대부분은 충전 이후 On-Line 상태에서 많은 사고율을 보인다. 본 논문에서는 Wide Band Gap 기반의 초고속 반도체 스위치를 ‘고속스위치’에 이용한 On-Line 상태에서도 배터리 내부저항을 계측하는 방안을 제안하였다. 따라서 내부저항을 계측하여 사전에 ESS 이상 징후를 감지해 안전사고를 예방하고자 한다. 그 방안으로 On-Line 상태의 배터리 내부저항 추정 로직 및 알고리즘을 위해 계측 모듈 보드를 구성하고 검증하였다.

1. 서 론

현재 전 세계적으로 신재생에너지의 연구와 분산 전원의 보급 확대에 박차를 가하는 중이다. 신재생 에너지원, 분산 전원 등의 발전원을 전력 수요에 따라 효율적으로 운용 및 관리를 위한 에너지 저장 장치인 ESS(Energy Storage System)의 필요성이 증가하고 있다[1]. 하지만 시장의 급성장에 맞춘, 발생하는 안전사고 또한 연간 약 10건 정도로 늘어나게 되었는데 이는 배터리 보호 시스템의 표면적인 문제만 계측하여 내재적인 문제 관리가 어렵고, 제한된 정보와 단기적인 판단으로 통합 보호 관리체계의 미흡, 화재 시 전소된 현장으로 인한 사후 원인분석의 어려움 등이 원인이다. 또한 안전사고 현장의 특징에 평균 1.5년의 운영 기간, SOC 90% 이상의 완충 후 대기상태 시 화재가 대부분이다[2].

그러므로 본 논문에서는 셀 단위의 내재적인 문제 관리와 On-Line 상태의 배터리 관리가 중요해 배터리의 상태를 계측할 수 있는 유효 인자인 내부저항을 Wide Band Gap 기반의 초고속 반도체 스위치를 ‘고속스위치’에 이용해 배터리 내부저항 계측을 위한 센서를 설계하고 방안을 계측지점을 스위치 ON/OFF 제어와 동기화해 On-Line 상태에서의 내부저항 측정 방안을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 배터리 내부저항 계측을 위한 센서 설계 및 방안

On-Line 상태에서 PCS 가동 여부에 독립적인 배터리 내부 상태를 셀 단위의 단전지 셀 On-Line 내부 추정 로직 및 알고

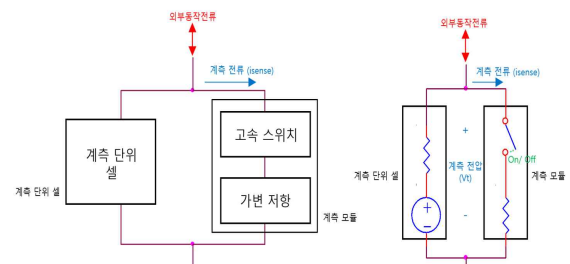


그림 1 샘플 신호 배터리 내부저항 온라인 계측 모듈 - (좌) 블록도, (우) 등가회로 구성

Fig. 1 Sample Signal Battery Internal Resistance Online Measurement Module - (Left) Role Configuration, (Right) Circuit Configuration

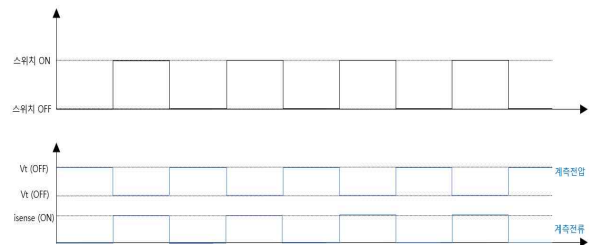


그림 2 온라인 배터리 내부저항 계측 모듈의 계측원리 파형
Fig. 2 Measurement Principle and Waveform of Online Battery Internal Resistance Measurement Module

리즘 개발을 위해 그림 1의 계측 모듈을 구성하였다. 내부저항 계측 모듈은 ON/OFF 하는 고속스위치와 가변 혹은 고정값을 갖는 저항이 계측 대상 저항에 병렬로 연결되어, 고속스위치가 ON이 되면, 배터리의 에너지 일부가 가변저항으로 소모되고, OFF 시 경로는 분리되도록 설계하였다.

배터리 내부저항을 계측하는 방안으로는 배터리 내부저항 계측 모듈의 전압 변동분 ΔV_t 와 계측 전류 $i_{sense}(ON)$ 를 이용하는 방법이 있다. 그림 2는 배터리 내부저항 계측 모듈의 동작 파형이다. 고속스위치의 ON/OFF에 따라 배터리는 계측 모듈의 가변저항과 연결/분리를 반복되도록 하였다. 이때, 배터리 전압의 변동분을 고속스위치 ON 조건에서 계측되는 계측 전류로 나누면 배터리의 내부저항이 도출된다. 이때 가변저항의 값은 능동적으로 가변 되도록 구성하여 배터리 전압 조건에 따라 계측 전류 $i_{sense}(ON)$ 을 가변시켜 센싱감도를 조절하는 역할을 한다. 하지만 On-Line 상태의 내부저항은 Off-Line과 달리 계측값에 변동이 있어 내부저항 계측에 어려움이 있다.

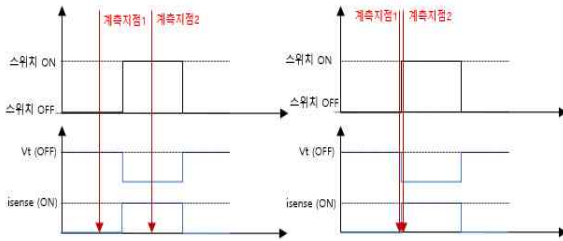


그림 3 계측지점 동기화에 따른 오프라인 상태 배터리 내부저항 계측
Fig. 3 Measurement of Internal Resistance of Offline State Batteries Depending on the Synchronization Position of the Measurement Point

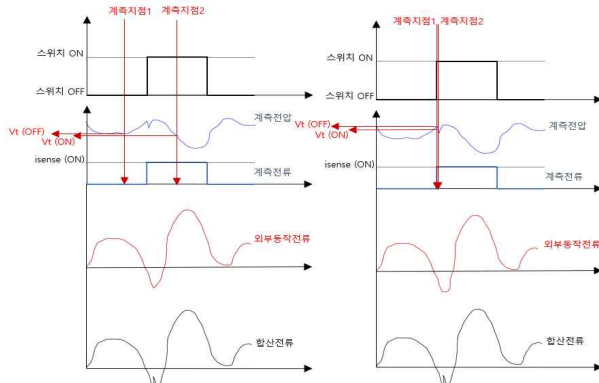


그림 4 계측지점 동기화에 따른 온라인 상태 배터리 내부저항 계측
Fig. 4 Measurement of Internal Resistance of Online State Batteries Depending on the Synchronization Position of the Measurement Point



그림 5 온라인 상태 배터리 내부저항 계측을 위한 계측지점 동기화
Fig. 5 Measurement Point Synchronization for Online State Battery Internal Resistance Measurement

2.2 계측지점 동기화 및 On-Line 배터리 내부저항 계측

본 논문에서는 계측지점을 ‘고속스위치’의 ON/OFF 제어와 동기화된 ADC(Analog to Digital Conversion) 회로의 적용을 통해 스위치 ON/OFF 직전, 직후의 계측값을 이용하여 배터리 내부저항을 측정하는 방안을 제안하였다.

Off-Line 상태의 배터리 내부저항 계측 시 그림 3과 같이 계측지점과 상관없이 배터리 전압의 변동분 ΔV_t 및 ON 조건에서 계측되는 계측 전류 $i_{sense}(ON)$ 가 일정하여 정확하게 배터리 내부저항 계측이 가능하였다. 하지만 배터리가 장비에 연결되어 동작 중인 On-Line 상태에서는 그림 4와 같이 계측지점이 어디에 동기화되었는지에 따라서 배터리 전압의 변동분 ΔV_t 계산이 바뀌게 된다. 그로 인해 그림 5와 같이 고속스위치가 OFF 상태에서 ON 상태로 변하는 직전과 직후 지점을



그림 6 배터리 셀 내부저항 추정을 위한 전압, 전류 측정
Fig. 6 Voltage and Current Measurement for Estimating Battery Cell Internal Resistance

계측하여 배터리의 운전전류로 인한 측정의 오류가 발생하지 않게 하였다. 이때, 배터리의 운전전류변화로 인한 영향을 최소화하기 위해 ‘고속스위치’의 ON/OFF에서의 스위칭 과도시간(Rising Time 및 Falling Time)이 최소화되어야 하며, 스위칭 주파수는 최대화되어야 한다. 따라서 ‘고속스위치’는 Wide Band Gap 기반의 초고속 반도체 스위치를 사용해 스위칭 손실을 최소화하였다.

2.3 ESS 내부 계측 보드 개발 및 배터리 충/방전 시험

On-Line 상태의 배터리 내부저항 추정 로직 및 알고리즘을 위해 계측 보드인 ‘R-module’을 제작하였다. ‘R-module’을 이용해 SOC 90% 상태의 배터리 셀에 임의의 충·방전 프로파일 동작시켜 On-Line 상태의 배터리 셀과 동일한 환경을 만들어준 후 그림 6의 전압과 전류를 측정하고 내부저항을 도출해 On-Line 상태의 배터리 내부저항 계측방안을 검증하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 셀 단위의 On-Line 배터리에 셀 임피던스 계측 지령을 내려 내부저항을 계측해 ESS의 이상 징후와 사고를 사전에 방지하고자 하였다. 그에 따른 방안으로 ‘고속스위치’의 ON/OFF 제어와 동기화된 ADC(Analog to Digital Conversion) 회로의 적용을 통해 스위치 ON/OFF 직전, 직후의 계측값을 이용하여 On-Line 상태에서 배터리 내부저항 계측방안을 제안하고, 계측 보드를 구성해 내부저항을 도출하여 검증하였다.

이 논문은 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20206900000020)

참 고 문 헌

- [1] 안정훈. (2023). 안전한 에너지 사회를 위한 BMS 기술의 현재와 미래. 전기의 세계, 72(2), 21-27.
- [2] 박광목, 김재현, 박진영, 방선배. (2018). 화재 현황 및 현장 조사를 통한 ESS의 화재 위험성 연구. 한국화재소방학회 논문지, 32(6), 91-99.