

다중셀 구조의 보호회로 IC의 저전력 설계기법

이중훈, 조충현, 김대정, 민경식, 김동명
국민대학교 전자정보통신공학부
전화 : 02-910-4704 / 핸드폰 : 016-501-9745

Low-Power Design Scheme of Protection IC for Multi-Cell Configurations

Jong-Hoon Lee, Chung-Hyun Cho, Daejeong Kim, Kyeong-Sik Min, and Dong Myong Kim
Kookmin University
E-mail : jingol61@magicn.com

Abstract

A low-power design technique for lithium-ion Battery-Protection Integrated Circuit (BPIC) for multi cell configuration is proposed. The hardware sharing scheme with more precisely divided operating states in the detection range could reduce the power consumption significantly, especially during the normal state. The usefulness of the proposed scheme was confirmed through HSPICE simulations.

I. 서론

노트북, 캠코더, 휴대용 전화기와 같은 이동기
기 산업이 발전함에 따라 이들 제품들의 소형화
및 경량화를 위해 에너지 밀도가 높은 2 차 전지
의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이와 같은 요구
를 충족시킬 수 있는 리튬 이온 2 차 전지는 니켈
수소 전지에 비해 높은 에너지 밀도와 높은 동작
전압, 우수한 수명 특성 등 많은 장점들을 가지고
있다. 그러나 리튬 이온 2 차 전지는 과 충전이
나 과 방전 시 전지의 구조가 불안정해지고 음극
과 양극이 단락되어 전지의 특성이 현저히 떨어지
거나 높은 전류의 형성으로 화재나 폭발의 위험
요소를 가진다. 이런 위험 요소를 전기적으로 제
어하기 위하여 리튬 이온 2 차 전지 내에 보호회

로를 사용한다. 보호회로는 리튬 이온 2 차 전지
의 과 충전, 과 방전 및 과 전류 상태에 대해서
충전과 방전 경로를 제어함으로써 전지를 보호한
다[1].

본 논문은 2 개 이상의 셀이 직렬로 연결된 2 차
리튬 이온 전지 보호회로의 저전력 설계 기법들을
제안 하였다.

II. 본론

리튬 이온 2 차 전지는 과 방전 시에 보호회로
내의 회로들을 휴면모드로 두어서 전력 소모를 줄
이지만 검출기는 전지의 상태를 감지해야 하므로
항상 정적 전력을 소모한다. 이러한 보호회로의
자체 전력소모에 의해서 전지의 전압이 1.5[V]이
하 까지 떨어지게 되면 전지를 영구히 사용 불가
능하게 되므로 저전력으로 설계한다.

본 논문은 제안된 저전력 설계 기법을 적용하여
전지 검출 정확도의 감소없이 효과적인 저전력 보
호회로를 제안하였다.

2.1 리튬 이온 2 차 전지의 전압 특성

그림 1 은 리튬 이온 2 차 전지의 전류를 일정하
게 소모할 때 시간에 따른 전압 특성 곡선이다. a

에서 b 구간동안 리튬 이온 2 차 전지는 정상 상태로 동작을 하고, 전지의 전압 변화는 작다. 정상 동작 영역 외의 과 충전, 과 방전 영역에서는 급격한 전압 변화와 함께 전지의 특성이 불안정해진다[2].

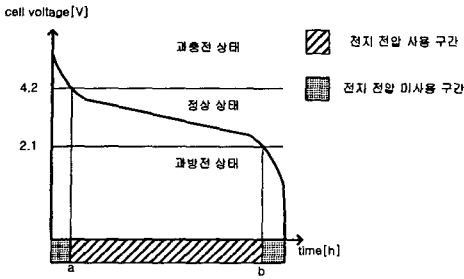


그림 1. 리튬 이온 전지의 전압 특성

2.2 보호회로의 동작

보호회로의 기본적으로 과 충전 상태, 과 방전 상태, 과전류 상태, 0V 전지 전압 상태에 따른 보호 동작을 한다. 첫 번째 보호동작은 리튬 이온 전지가 1[sec] 이상 지속적으로 4.20±0.05[V] 이상 유지되면 전지를 과 충전 상태로 인식하고 충전 경로를 제어하는 스위치를 통해 충전을 정지한다. 두 번째는 전지가 150[msec] 이상 지속적으로 2.10±0.10[V] 이하가 유지되면 전지를 과 방전 상태로 인식하고 방전 경로를 제어하는 스위치를 통해 방전을 정지한다. 세 번째는 전지를 통해 5[A] 이상의 전류가 흐르면 전지 및 회로에 치명적인 영향을 주므로 5[A] 이상의 전류가 20[μ sec]동안 지속적으로 흐르면 충전 및 방전을 정지한다. 네 번째는 리튬 이온 전지는 셀 파손 영역인 1.5[V] 이하가 되면 전지 제어 기능을 상실하기 때문에 이 영역에서 충전이 이루어지면 전지의 전압 상태가 불안정해서 폭발의 위험성을 갖는다. 이것을 제어하기 위하여 0V 전지 전압 검출기를 사용한다.

2.3 기존 보호회로의 구조 및 동작원리

그림 2 는 기존 보호회로의 블록 다이어그램이다. 기존의 보호회로는 전지 전압을 감지하여 이상 유무를 판단하기 위해 비교기로 제작된 전지

상태 검출부와 리튬 이온 2 차 전지가 안정화되기 위해 필요한 지연 시간을 만들어 내는 지연부, 전지 상태 검출부로부터 검출된 전지의 상태를 저장하여 전지를 제어하기 위한 신호를 생성하는 상태 변환부, 비교기의 정확한 기준전압을 만들어내는 기준 전압 발생부로 구성되었다. 기존 보호회로는 각 전지마다 두개의 전지 상태 검출기를 항상 동작시켜 전지 전압의 이상유무를 판단한다. 그리고, 4.2[V] 이상의 높은 공급전압은 단위 전지 셀을 직렬로 연결하여 구현한다.

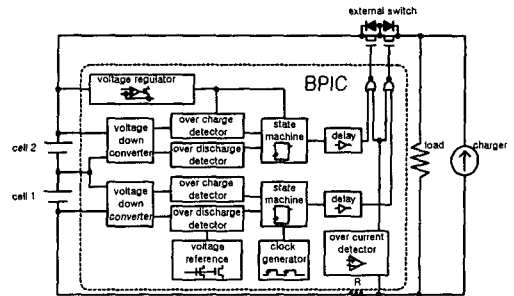


그림 2. 기존 보호회로의 전체 블록 다이어그램

그림 3 은 리튬 이온 전지의 전압에 따른 기존 보호회로의 동작 영역이다. 보호회로는 과 충전 검출기와 과 방전 검출기를 사용하여 과 충전 이상의 구간에서는 충전을 정지하고 과 방전 이하의 구간에서는 방전을 정지하여 전지를 보호한다.

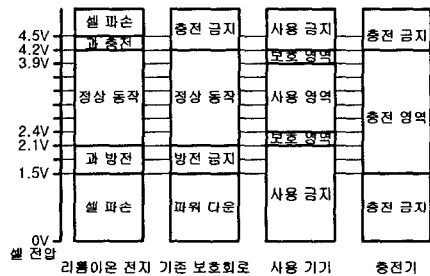


그림 3. 전지의 상태에 따른 기존 보호회로의 동작

2.4 제안된 보호회로의 구조 및 동작원리

그림 4 는 제안된 리튬 이온 2 차 전지 보호회로의 블록 다이어그램이다. 제안된 보호회로는 기존 보호회로에 전지의 상태에 따라 검출기를 온, 오프 시키는 파워 다운 제어기, 전압 감지회로를 공

유하기 위해 전지를 순차적으로 시분할 선택하는 전지 선택기를 추가하였다. 보호회로는 최대 50[kHz]의 저속 회로이므로 보호회로에서의 동적 전력 소모는 매우 적고 대부분 정적 전력 소모가 차지한다. 기존 보호회로는 검출기 자체를 저전력으로 설계하여 전력 소모를 줄였으나 검출기의 정확도가 나빠지는 단점이 있다. 두개의 전지를 직렬로 연결하면 최고 8.4[V]의 전압이 생성된다.

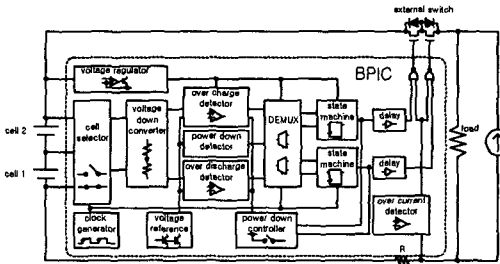


그림 4. 제안된 보호회로의 전체 블록 다이어그램

그러나 보호회로는 3.3[V]의 공급전압으로 동작하므로 8.4[V]의 전압을 컨트롤 하기 위해서 그림 5 (a)와 같은 스위치를 사용하여 전지 선택기를 구성하였다. 그림 5 (b)는 저전력 활성화 검출기에 사용된 동적 래치의 회로도이다.

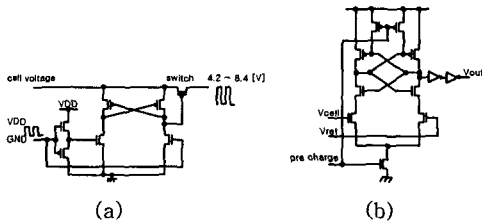


그림 5. (a) 전지 선택기 내의 스위치 구조
(b) 활성화 검출기의 동적 래치

제안한 보호회로는 2 가지의 저전력 설계기법을 사용하였다. 첫째는 멀티 상태 동작 기법이고, 둘째는 상태 검출부의 공유 기법이다.

a) 제안한 멀티상태 동작 기법

그림 6 은 멀티 상태 동작 기법을 사용한 보호회로의 동작 영역이다. 기존의 과 충전 검출기와 과 방전 검출기 외에 두개의 저전력 활성화 검출기를 추가하여 전지의 상태를 다양화하였다.

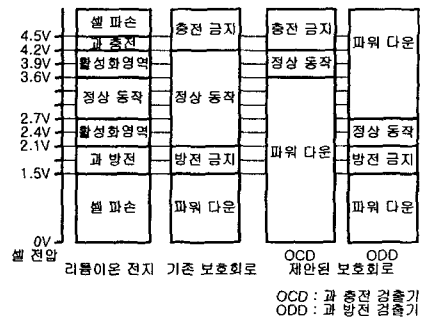


그림 6. 전지 상태에 따른 제안된 보호회로의 동작

전지의 상태에 따른 변화없이 검출기를 항상 동작하여 전지의 상태를 검사하던 기존의 보호회로는 달리 제안된 보호회로는 저전력 활성화 검출기를 사용하여 정적 전력 소모가 큰 검출기를 상태에 따라 온, 오프하여 전력 소모를 줄였다. 전지의 상태가 정상 상태일 때는 과 충전, 과 방전의 위험 부담이 적은 구간이므로 전력 소모가 큰 과 충전 검출기와 과 방전 검출기를 휴면 상태로 두고, 대신 정적 전류 소모가 작은 활성화 검출기를 사용하여 정상상태에서 벗어나는지를 판단한다. 그러나 전지가 정상상태에서 벗어나 과 충·방전 활성화 상태가 되면 과 방전이나 과 충전에 대한 위험도가 커지므로 저전력 활성화 검출기와 파워다운 제어를 통하여 휴면 상태에 있는 과 충·방전 검출기를 동작시켜 리튬 이온 2 차 전지의 과 충전, 과 방전 상태로의 진입을 감지한다. 보호회로는 50[kHz]의 저속 동작을 하므로 과 방전 검출기와 과 충전 검출기의 온, 오프시의 정상 동작을 위한 충분한 시간을 가질 수 있다. 멀티상태 동작 기법은 정적 전류 소모가 큰 검출기를 필요에 따라 온, 오프하여 기존 회로의 정확도의 감소 없이 전력 소모를 줄일 수 있는 기법이다. 또한, 그림 1 과 같이 전지 사용시간 중 과 충전, 과 방전 검출기를 모두 다 휴면 상태로 둘 수 있는 정상상태에 있는 구간이 많아서 제안된 기법은 보호회로의 저전력 동작에 더욱 효과적으로 적용될 수 있다.

b) 검출부의 공유 기법

그림 1 과 같이 전지의 전압은 짧은 시간 동안에는 크게 변하지 않고, 전지의 상태가 변환되려면 최소 20[μ sec] 이상의 지연 시간이 필요하다. 나이퀴스트 이론에 따라 20[μ sec]의 주기를 가지는 신호의 10 배의 과 표본화 주기인 1[μ sec]으로 전지의 전압을 과 표본화하고 전지 선택기를 사용하여 순차적으로 공유된 검출부를 사용하여 전지의 상태를 감지한다. 이와 같이 제안된 검출부의 공유 기법을 적용하여 전력 소모가 큰 검출기를 포함한 검출부를 공유하였다.

III. 시뮬레이션 결과

제안한 두 기법을 적용한 보호회로를 0.35 μ m 표준 CMOS 공정에서 HSPICE 를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 7 은 2 차 전지의 전압을 500[μ sec]동안 1[V]에서 5[V]까지 증가 시켰을 때의 제안된 검출기의 출력 전압이다. 여기서 Vcell 은 전지의 전압이고 Vod 는 과 방전 검출기, Vodc 는 과 방전 활성화 검출기, Vocc 는 과 충전 활성화 검출기, Voc 는 과 충전 활성화 검출기의 출력 전압을 나타낸다.

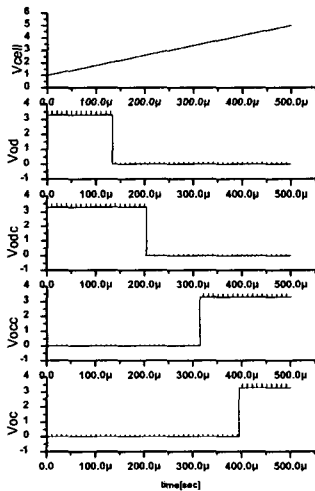


그림 7. 전지 전압에 따른 검출기의 출력 전압

표 1 은 전지의 상태에 따른 제안된 검출부와 기존 검출부의 소모 전류를 비교한 표이다. 제안

된 검출부가 2 차 전지의 모든 상태에서 기존 검출부보다 더 적은 소모전류를 소모하였다. 특히 전지의 상태가 정상상태에 있을 때에는 제안된 검출부의 과 충전·과 방전 검출기가 휴면상태에 있기 때문에 소모전류가 거의 없다.

표 1. 전지 상태에 따른 보호회로의 소모전류

전지 상태	전지 전압	기존 보호회로의 소모전류	제안된 보호회로의 소모전류
과충전 상태	4.50V	102.0uA	25.1uA
과충전 활성화 상태	3.90V	55.9uA	10.3uA
정상 상태	3.15V	49.1uA	7.9nA
과방전 활성화 상태	2.40V	39.0uA	26.4uA
과방전 상태	1.80V	93.1uA	44.1uA

IV. 결론

본 논문에서 제안한 두개의 공유 기법을 적용하여 저전력 보호회로를 설계하였다. 첫번째는 멀티 상태 동작 기법으로 전지의 상태가 과 충전·과 방전 상태로부터 멀리 떨어진 정상상태에서는 전력 소모가 큰 검출기를 휴면 상태에 두고 저전력 활성화 검출기를 사용하여 전지의 상태를 감지하는 기법이다. 두 번째는 검출부의 공유 기법으로 전력 소모가 큰 검출부를 공유하여 전지를 감지하는 기법이다. 제안한 두 기법을 적용한 보호회로를 0.35 μ m 표준 CMOS 공정에서 HSPICE 로 시뮬레이션하여 유용성을 검증하였다.

Acknowledgment

본 논문은 IDEC (IC design education center) 의 디자인 소프트웨어의 지원에 의한 것이며, 이에 깊은 감사 드립니다.

참고문헌

[1] 김상민, 조상준, 채정석, 김상호, 박영진, 손영철, 김동명, 김대정, "2 차 전지 보호회로를 위한 충·방전 스위치 구조의 설계," 전자공학회 논문지 제 24 권, 제 1 호, pp.85-88. 2001.
 [2] Carlos Martinez, Yossi Drori and Joe Ciancio, "Smart Battery Primer," XICOR. 1999.