

휴대용 비디오 레코더를 위한 배터리 보호회로

황원석, 임태호, 이선영, 김대정
 국민대학교 전자정보통신공학부
 E-mail: kimdj@kookmin.ac.kr

Battery Protection Integrated Circuit(IC) for portable video recorders

Won Seok Hwang, Tae ho Lim, Sunyoung Lee, Daejeong Kim,
 School of Electrical Engineering Kookmin University Seoul, Korea

요 약

본 논문에서는 휴대용 영상장비인 비디오 레코더에 사용되는 직렬구조 리튬이온 배터리의 보호회로를 제안하였다. 제안된 보호회로에서는 정적 전류소모가 큰 전지 상태 검출기를 공유하였고 배터리의 상태에 따른 저 전력모드 변환을 가능하게 하여 보호회로의 효율성을 극대화 하였다. 제안된 회로는 0.35um 표준 CMOS 공정을 사용하여 검증하였다.

1. Introduction

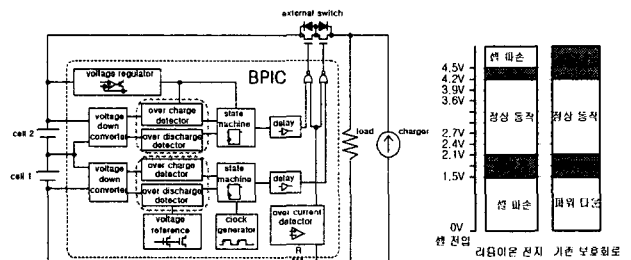
디지털 카메라, 핸드폰, 노트북 PC와 같은 휴대 기기들의 보급은 이들 제품들의 소형화 및 경량화 문제와 직면하게 되었다. 이러한 문제의 해결법으로 가볍고 에너지 밀도가 높은 2차 전지의 필요성이 부각 되기 시작하였다. 이와 같은 요구를 충족시킬 수 있는 리튬 이온 2차 전지는 니켈 카드뮴, 니켈 수소 전지에 비해 가볍고 높은 에너지 밀도와 높은 동작 전압, 우수한 수명 특성 등 많은 장점들을 가지고 있다. 그러나 리튬 이온 2차 전지는 과 충전이나 과 방전 시 전지의 구조 불안을 야기하여 음극과 양극이 단락되고, 전지의 특성이 현저히 떨어지며, 높은 전류를 형성하여 화재나 폭발 등의 위험 요소를 갖는다. 이러한 위험 요소를 전기적으로 제어하기 위하여 리튬 이온 2차 전지는 배터리 내에 보호회로를 사용한다. 보호회로는 리튬 이온 2차 전지의 과 충전, 과 방전 및 과 전류 상태에 대하여 충전과 방전 경로를 제어함으로써 전지를 보호한다[1].

본 논문에서는 최근 휴대용 영상장비의 배터리로서 사용되는 직렬 연결된 리튬 이온 2차 전지의 저전력 보호회로 설계 기법들을 제안 하였고, 제안된 회로는 0.35um 2poly-4metal 표준 CMOS 공정을 이용하여 hspice 시뮬레이션 되었다.

2. Conventional battery protection integrated circuit

그림1은 기존 배터리 protection IC의 block diagram 및 배터리 상태에 따른 상태 분류도이다. 회로는 과 충전 감지기, 과 방전 감지기, 기준전압 발생기, 상태 변환기, 지연단 및 충전 방전을 제어하는 mosfet 스위치로서 구성된다. 보호회로는 다음의 4가지 기본 동작으로 이루어진다. 동작중인 배터리가 그림 1-a의 정상상태 구간에서 충전으로 인한 과 충전상태(>4.2v)를 과 충전 판별시간(1s) 동안 머물 경우, 보호회로에 의하여 충전 경로가 차단되고 부하

에 의해 방전되어 정상상태를 회복 시 까지 재충전을 금지한다. 또 동작중인 배터리가 방전에 의하여 과방전 상태(<2.1v)를 과방전 판별시간(100ms)동안 머물 경우, 보호회로는 방전 경로를 차단하고 충전에 의해 정상상태로 회복 시 까지 방전을 금지한다. 또한 충/방전 시 과 전류 검출기를 사용하여 측정된 전류(>5A)가 판별시간(>4ms)이상 발생할 경우 충전 및 방전 경로를 차단한다. 배터리는 과 방전 상태에서 자가 방전에 의해 과 방전 전압이하로 방전 되어 파손될 수 있다. 이를 예방하기 위해 0v 상태 검출기를 두어 0v 상태(<1.5v)에서는 급속한 충전을 차단한다[2].



a). 블록도. b). 상태도.
 그림 1. 기존 보호회로의 블록도 및 상태도.

3. Proposed low power battery protection integrated circuit

그림2는 제안된 보호회로의 block diagram이다. 회로의 구성은 전과 동일하며 검출기를 on/off 시키는 파워 나운 제어기, 전압 감지회로를 공유하기 위한 순차적 시분할 전지 선택기가 추가 되었다. 보호회로는 최대 50kHz의 저속 회로이므로 동적 전력 소모는 매우 적고 정적 전력 소모가 대부분을 차지한다. 따라서 정적 전력 소모를 줄이기 위하여 전력 소모가 큰 검출부를 공유한다. 제안된 회로는 하나의 검출부만을 사용, 여러 전지를 순차적으로 감지한다. 이를 위해 나이퀴스트 이론이 적용된 과 표본 시분할

전지 선택기가 사용된다.

또한 제안된 회로에서는 전지의 상태를 기존 보호회로보다 세분화하여 과 충전과 과 방전 상태 진입부에 활성화 영역을 추가하였다. 이를 통해 정상상태에서는 정밀하지만 전력 소모가 큰 검출기를 휴면 시키고 전력 소모가 적은 저 전력 활성화 검출기만을 가동하여 정적 전류 소모를 감소시킨다. 그림3은 제안된 보호회로의 상태분류도이다.

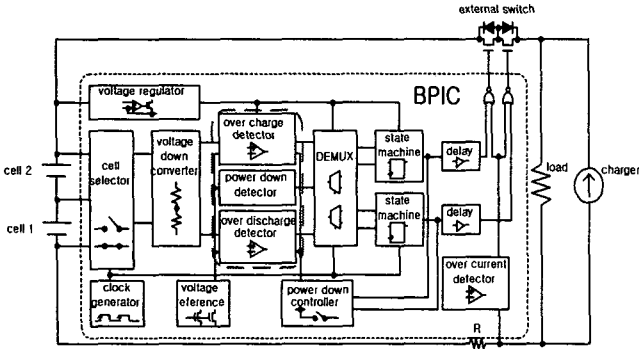


그림 2. 제안하는 보호회로의 블록도.

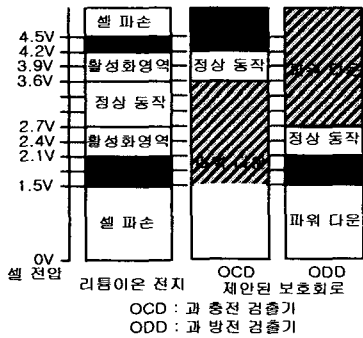


그림 3 제안하는 보호회로 및 배터리 상태도.

3.1 Proposed battery state detector

상태 검출부는 전지의 상태와 기준 전압을 비교한다. 비교기로 구성된 상태 검출부는 전원 전압 잡음에 의해서 발생하는 전력 소모 및 회로의 오 동작을 방지하기 위하여 전압 잡음에 안정적인 히스테리시스 비교기를 사용한다[3]. 전지 상태 검출부는 전지 전압 상태를 검출하는 전지 전압 검출기와 칩 외부의 Resn 저항을 이용하여 전류 상태를 검출하는 전지 전류 검출기로 구성된다. 전지 전압 검출기로써 과 충전과 과 방전 검출기는 히스테리시스를 갖는 비교기로 구성되고, 0V 전지 검출기는 일반 비교기로 구성된다. 사용되지 않는 전지 전압 검출기는 전력 소모를 최소한으로 하기 위해 파워다운 모드로 들어간다. 이 기능을 위하여 과 충전, 과 방전 비교기에서는 EN 단을 켜둔다. 입력 잡음에 의한 영향을 줄이기 위해 비교기의 차동 입력 단을 PMOS transistor로 제작 되었다. 또한, 전력 소모를 최소한으로 줄이기 위해 각각의 Mosfet는 약전 이 상태(weak inversion)에서 동작하도록 설계 하였다. 그림 4는 과 충전 활성화 비교기와 과 방전 활성화 비교기에 사용한 저 전력 비교기이다. 제안된 활성화 비교기는 정적 소모 전류가 없고 동적 전류만 소모하여 저주파수에서는 저 전력으로 동작한다. 동작 원리는 사전에 래치의

양단을 'high'로 충전시킨 후 전지의 전압과 기준전압을 비교하는 방식이다.

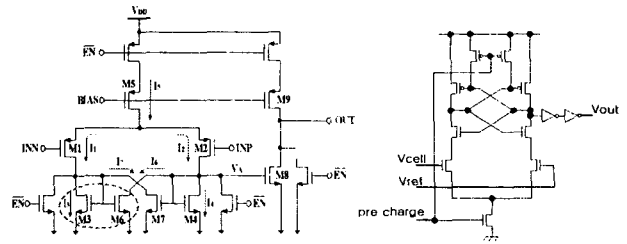


그림 4 제안하는 전압 비교기 및 저전력 활성화 검출기.

3.1 State machine

상태 변환기는 비교기의 출력을 받아 배터리의 상태를 결정하고 각각의 상태에 따른 행동을 취한다. 상태 변환기는 비동기식 SR-latch를 사용한다. 그림5는 상태 변환기에 의한 배터리 상태변환 모습이다

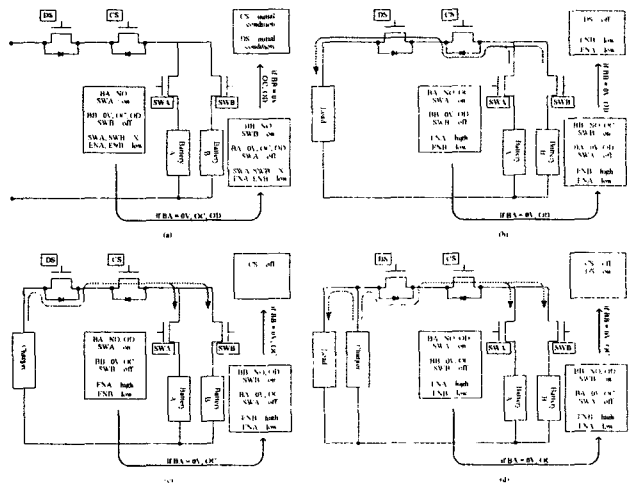
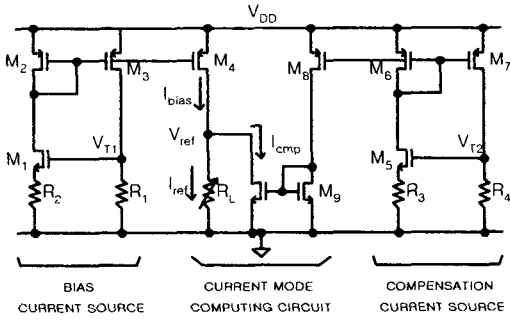


그림 5. 배터리 상태 변환도.

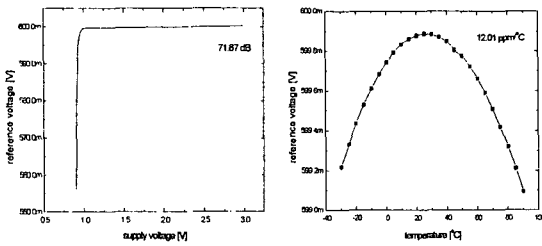
3.1 Reference voltage generator

보호회로는 전지의 안정된 동작을 위해 정확한 전지 상태 검출이 필요하다. 전압분배기에 의해 나누어진 전지의 전압은 비교기를 통해 과 충전, 과 방전, 과 전류 상태를 검출하게 된다. 이때 각 상태의 기준이 되는 전압을 생성하는 것이 기준 전압 발생기이다. 기준 전압 발생기는 고정, 공급전압 및 온도(P.V.T.)에 둔감한 전압을 생성하는 것을 목적으로 설계한다. 또한, 전지 전력 소모를 줄이기 위해 저전력으로 설계하고 낮은 전지 전압에서도 동작 할 수 있도록 저 전압으로 설계한다. 표준 CMOS 공정에서 1V 이하의 낮은 공급전압에 동작 가능하며 온도와 공급전압에 둔감한 특성을 가진 정전압원을 제안 하였다. 그림 6은 제안된 기준 전압 발생기로 자기 바이어스, 온도보상 전류회로, 전류 감지 스타트업, 출력 단으로 구성된다. 바이어스 회로는 기존에 존재하는 공급 전압에 독립적인 VT 기준 회로이다. 2차 전지는 온도에 민감하게 반응하기 때문에 기준 전압 발생기 또한 온도에 대한 특성이 좋아야 한다. 제안된 기준 전압 발생기에서는 보상 전류를 이용한 온도 보상 기법에 의해 reference current와 bias

current에서 발생하는 온도의 전류차이를 보상하였으며 공정변화에 적용하기 위해 출력전압을 조절하는 4-bit trimming resistive network(Rtrim)를 구현하였다. 제안된 기준전압발생기는 2개의 transistor만 stack 되어 있어 이론적으로 최저 $V_{th}+V_{ds}+V_{NM}$ 의 저전압까지 동작하고 기생 BJT를 사용하지 않으므로 밴드갭 기준전압발생기가 가지는 문제점과 무관하며 depletion VT와 같은 특수 공정을 필요로 하지 않는다[4]. 그러므로 제안된 voltage reference는 저 전압, 저 전력, 고성능, 노이즈 둔감성 등의 특징으로 휴대용 기기에 적합하다.



a). 제안하는 저전력 기준 전압 발생기 회로도.



b). 공급전압 및 온도 변화에 따른 전압 특성 곡선.

그림 6. 제안하는 저전력 기준 전압 발생기

4. Simulation result

제안된 보호회로는 0.35 μ m 표준 CMOS공정에서 Hspice를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 2차 전지의 전압을 500[usec]동안 1[V]에서 5[V]까지 증가 시켰을 때의 제안된 검출기의 출력 전압이다. 여기서 Vcell은 전지의 전압이고 Vod는 과 방전 검출기, Vdc는 과 방전 활성화 검출기, Voc는 과 충전 활성화 검출기, Voc는 과 충전 활성화 검출기의 출력 전압을 나타낸다.

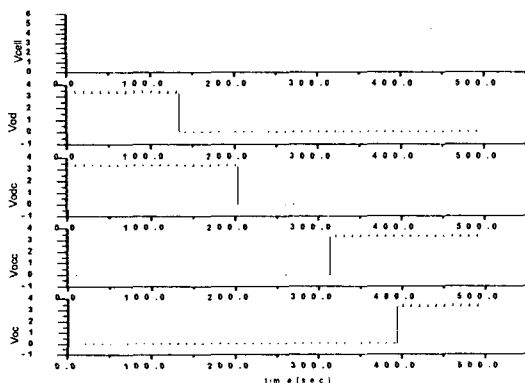


그림 7. 배터리 전압상태에 대한 검출기 출력 전압.

표 1은 전지의 상태에 따른 제안된 검출부와 기존 검출부의 소모 전류를 비교한 표이다. 제안된 검출부가 2차 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. 제안된 검출부와 기존 검출부의 소모 전류를 비교.

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

표 2. 시뮬레이션 과형 정보.

BVA : voltage of cell A, BVB : voltage of cell
BCHD : detect charger, LOD : detect load
CSOUT : switch input of charge path
DSOUT : switch input of discharge path
SWAOUT : switch input of cell A
SWBOUT : switch input of cell
BCI : detect of charge current,
DI : detect of discharge current
ENAO : power down operation of cell
AENBO : power down operation of cell
BENTO : power down operation of the all cells

표2의 시뮬레이션 과형 정보를 참조하여 각각의 상태를 분석하였다. 그림 8은 과 충전 발생시의 시뮬레이션 결과이다. 배터리 A, B는 정상 상태이고, 배터리 A가 선택되어 있다. 충전과 방전이 발생하지 않는다면 배터리는 휴면 모드로(ENAO/ENBO OFF) 들어간다. 이때 충전의 발생으로 과 충전이 판별되면 배터리 A의 선택 스위치가 차단되어(SWAOUT OFF) 휴면 상태로(ENAO OFF) 들어가며 배터리 B가 선택(SWBOUT ON) 된다. 이때 배터리 B가 과 충전 되면 충전 경로가 차단되고(CSOUT OFF) 휴면모드로(ENBO OFF) 들어간다. 이때 부하가 검출되면(LOD ON) 배터리 B는 다시 동작하고 방전된다. 배터리 B가 방전에 의해 정상상태에 도달하면 충전경로는 다시 연결된다(CSOUT ON).

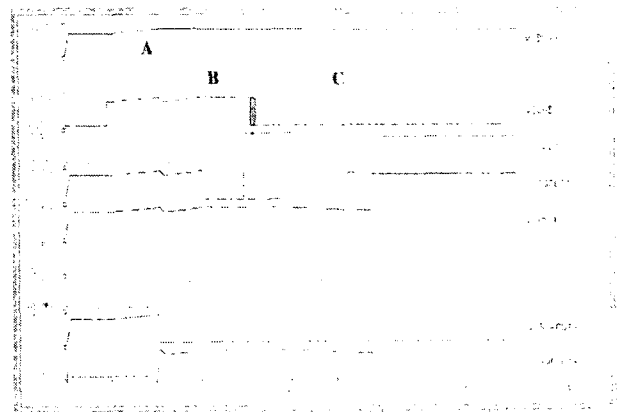


그림 8. 과 충전 발생시 시뮬레이션 결과.

그림 9는 과 방전 발생시의 시뮬레이션이다. 초기 상태는 과 충전시와 동일하다. 배터리 A가 과 방전 되면 배터리 선택 스위치는 차단되고 휴면상태로 동작하며 배터리 B가 선택된다. 이때 배터리 B도 방전에 의해 과 방전 되면 휴면상태로 전환된다. 이 후 충전기가 검출되면서(CHD ON) 배터리 B는 휴면 상태를 해제하고 다시 동작하게 된다.

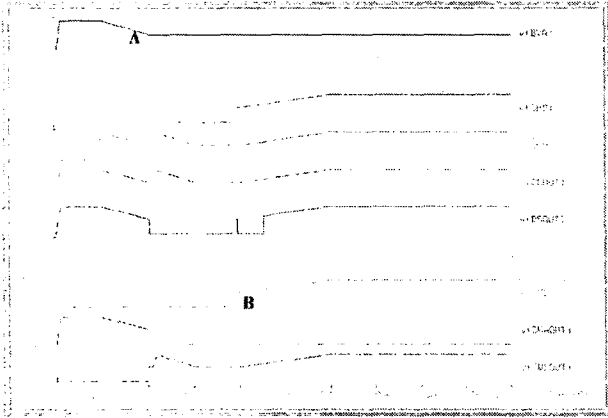


그림 9. 과 방전 발생시 시뮬레이션 결과.

그림10은 과 전류 상태의 시뮬레이션 결과이다. 방전 중 과 전류가 발생하면 과전류 방전 상태가 on 되고(DI ON) 방전 스위치가 차단된다(DSOUT OFF) 반대로 충전시 과 전류가 검출되면 과전류 충전 검출기가 on 되고(CI ON) 충전 경로를 차단한다(CSOUT OFF).

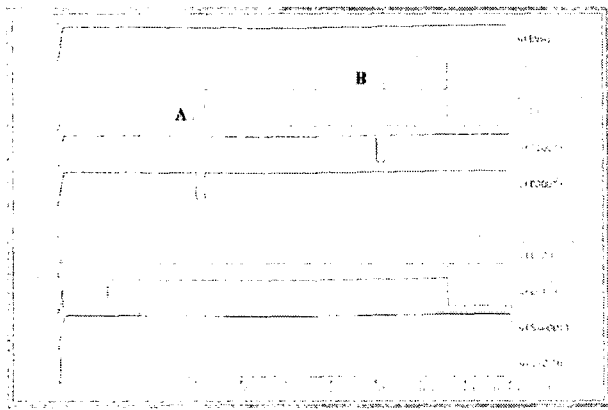


그림 10. 과 전류 상태의 시뮬레이션 결과.

5. Conclusion

본 논문에서는 휴대용 영상장비에 사용되는 직렬연결 배터리 구조에 적합한 저 전력 배터리의 보호회로를 제안하였다. 제안된 회로는 상태 검출기의 공유 및 전지 영역 세분화에 따른 저 전력 활성화 검출기 등을 사용하여 전력소모를 크게 감소시켰으며, 저 전력 CMOS 기준 전압 발생 회로를 제안하여 칩 사이즈 및 성능의 효율성을 극대화 하였다. 제안된 보호회로는 0.35 μm 표준 CMOS공정에서 HSPICE로 시뮬레이션 하여 검증하였다.

References

- [1] 김상민, 조상준, 채정석, 김상호, 박영진, 손영철, 김동명, 김대정, "2차 전지 보호회로를 위한 충·방전 스위치 구조의 설계," 전자공학회 논문지 제 24권, 제 1호, pp.85-88, 2001.
- [2] Carlos Martinez, Yossi Drori and Joe Ciancio, "Smart Battery Primer," XICOR, 1999
- [3] P. E. Allen and D. R. Holberg, CMOS Analog Circuit Design, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1987.
- [4] K. N. Leung and P. K. T. Mok, "A sub-1-V 15-ppm/ $^{\circ}\text{C}$ bandgap voltage reference without requiring low threshold voltage device," IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 37, pp.526-530, Apr. 2002