

Single Cell Li-ion 전지 충전 IC

Single Cell Li-ion Battery Charger

이락현¹, 김준식¹, 박시홍^{1,a}

(Rock-hyun Lee¹, Jun-sik Kim¹, and Shihong Park^{1,a})

Abstract

This paper suggests a autonomous linear Li-ion battery charger which can safely distribute power between an external power source(AC adapter, auto adapter, or USB source), battery, and the system load. Depending on an external power source's capability, the charger selects proper charging-mode automatically. The charger IC designed and fabricated on Dongbu HITEC's 0.35 μm BCD process with layers of one poly and three metals.

Key Words : Li-ion battery, Battery charger, Smart power selector, Linear charger

1. 서론

리튬이온 전지는 높은 에너지 밀도와 긴 수명 그리고 메모리 효과가 없는 장점[1]을 가지고 있기 때문에 휴대폰, PDA, 노트북과 같은 휴대용 전자 장비에 널리 사용된다. 하지만 과충전 전압에 노출 되면 충전 용량이 치명적으로 줄어드는 특성 때문에 리튬이온 전지충전 회로를 설계할 때 최적 충전 전압의 1% 이내의 안정도를 가지는 특성이 요구된다[2]. 또한 충전 회로는 전지와 시스템 및 외부 전원의 종류에 따라 에너지를 외부 전원과 시스템 및 전지로 적절히 분배해야 한다. 본 논문은 전원의 종류와 전지의 상태에 따라 자동으로 전력을 분배하는 autonomous linear Li-ion battery charger IC를 제안하고 설계 및 제작하였으며 제작된 IC를 실험으로 검증하였다.

2. 본론

2.1 Li-ion 전지 충전 회로의 개념 및 동작

그림 1은 전지 충전 회로의 블록 다이어그램이다.

전지 충전 회로는 외부 전원과 전지, 시스템에 전력을 적절히 분배함으로써 시스템에 안정적인 전원을 공급한다. 충전시 외부 전원의 전력 공급량에 따라서 최대 충전 전류량을 설정하며 공급 전력보다 부하가 작을 때 잉여의 전력을 전지로 전달한다. 부하가 커서 시스템 전압이 떨어지거나 외부 전원으로부터의 전력 공급이 없는 경우에는 전지에서 시스템으로 전력을 전달해야 한다[3]. 또한 전지를 충전할 때에는 전지의 특성을 고려하여 1%이내의 정확도를 가지는 정전류 및 정전압 충전 모드로 전지를 충전하여야 한다[2]. 또 급격한 전류의 유입으로 저장능력의 손실을 막기 위하여 모드의 전환 시 충전 전류량을 서서히 증가시키는

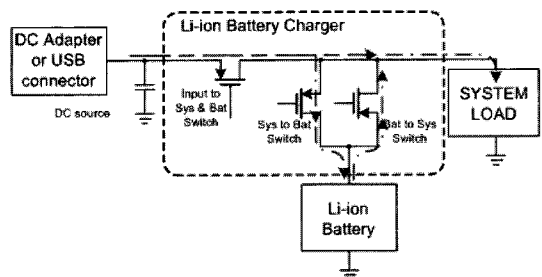


그림 1. Li-ion 전지의 충전 회로 개념도.
Fig. 1. A concept of Li-ion battery charger.

1. 단국대학교 전자전기공학과
(경기도 용인시 수지구 죽전동 126)
a. Corresponding Author : shihong@dku.edu
접수일자 : 2009. 6. 15
심사완료 : 2009. 6. 24

soft start 기능이 구현되어야 한다. 따라서 충전 회로를 설계할 시에 각각의 경우를 고려하여 회로를 설계하는 것이 요구된다.

2.2 Li-ion 전지의 충전 모드 및 동작

Li-ion 전지의 충전 회로를 구현하기 위해서는 4가지 모드의 충전 알고리즘이 필요하다[4]. 충전 전압이 3 V 미만인 경우, 전지가 완전히 방전되어 있는 경우에는 전하가 방전되어 고갈된 셀들을 회복시키는 전류가 필요하다. 이 전류량은 최대 충전 전류치의 10 % 정도로 낮은 전류로 설정되어야 한다[2]. 최초 충전 후 전압이 3 V를 넘어서게 되는 순간부터 충전 회로는 CC(Constant Current)모드로 들어가게 되며, 설정되어 있는 충전 가능한 최대의 일정 전류값으로 전지를 충전한다. 충전 전압이 4.2 V에 도달하게 되면 CV(Constant Voltage) 모드로 전환되며 4.2 V로 레귤레이션 된 일정한 전압으로 전지를 충전한다[3].

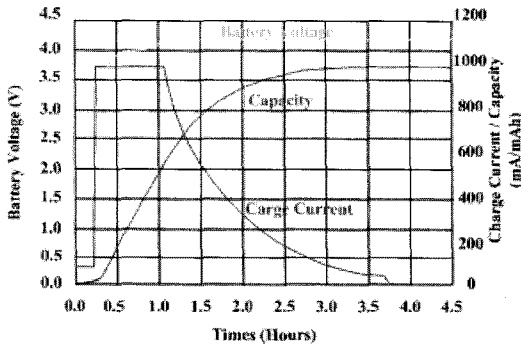


그림 2. Li-ion 전지의 충전에 따른 4가지 동작모드에 대한 충전 프로파일.

Fig. 2. A profile of 4 charging modes of Li-ion battery charger.

2.3 전지 충전 회로

제작된 IC는 크게 DC전원과 시스템, 전지를 연결하는 3개의 스위치 및 LDO로 구성된다. 또한 이를 입력 전압과 시스템 전압, 전지의 전압의 상태에 따라 컨트롤하는 Digital Control 블록과 보호회로인 Overtemperature Protection 블록, Soft starter 블록, UVOVLO(UnderVoltage and OverVoltage Lockout) 블록, 또 온도에 둔감한 정전압 및 기준 전압을 공급하는 bandgap and voltage reference 블록으로 구성된다.

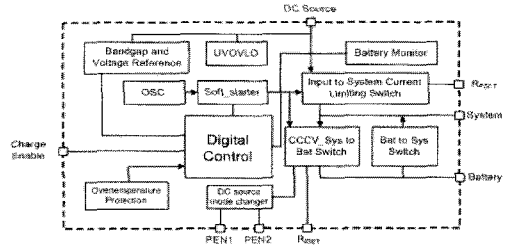


그림 3. 전지 충전 회로의 블록 다이어그램.
Fig. 3. A block diagram of battery charger.

a) Input limiter

Input limiter는 DC전원으로부터 시스템으로 전원을 공급하며 5.3 V의 정전압을 출력하는 LDO로 구성되어 있다. 또한 SenseFET을 이용하여 공급되는 전류를 센싱하여 공급 전류량을 제한하는 회로를 가지고 있으며 외부의 핀으로 저항(Rpset)을 연결하여 최대 공급 전류를 조절할 수 있다.

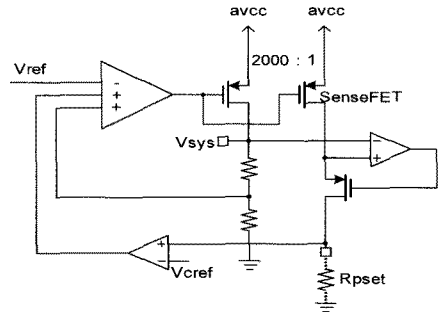


그림 4. Input limiter의 회로도.
Fig. 4. A concept schematic of input limiter.

b) CCCV battery charger(Constant current and constant coltage battery charger)

CCCV battery charger는 4.2 V의 정전압을 출력하는 LDO로 구성되어 있으며 두 가지 동작을 이용하여 전지를 충전한다. 전지의 전원이 낮을 때는 SenseFET을 사용하여 공급 전류를 감지하여 충전 전류를 제한하여 제한된 정전류로 전지를 충전한다. 이후 4.2 V의 레귤레이션 전압에 도달하게 되면 정전압으로 전지를 충전한다. 외부의 핀으로 저항을 연결하여 공급할 수 있는 전류의 양을 제한하여 최대 충전 전류를 조절할 수 있다. 또한 전류의 양을 제한하는 기준 전압을 서서히 변화시킴으로써 Soft Start 기능을 구현할 수 있다.

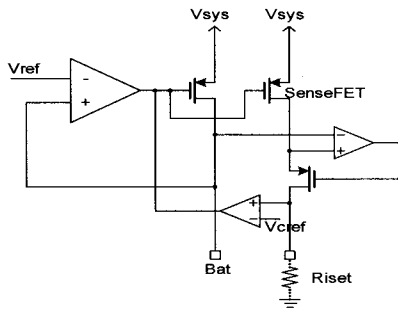


그림 5. CCCV battery charger의 회로도.
Fig. 5. A concept schematic of CCCV battery charger.

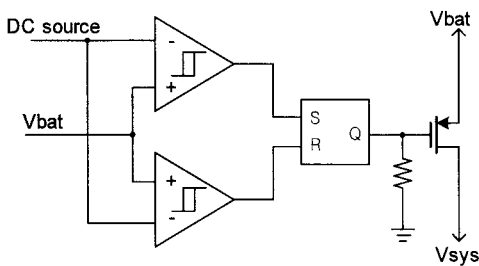


그림 6. Bat-to-sys switch의 회로도.
Fig. 6. A concept schematic of Bat-to-sys switch.

c) Bat-to-sys switch(Battery to system switch)

Bat to Sys Switch는 전지의 전압이 3.9 V 이하로 떨어졌을 경우 전지와 시스템을 전지에서 시스템으로 전력을 공급한다.

d) Protection blocks

Surge current를 방지하기 위하여 Input limiter와 CCCV charger블록의 스위치는 서서히 전류를 증가시키는 디지털 기반의 soft start회로를 사용하였으며 165 °C 이상 온도에 회로를 차단시키는 Overtemperature protection 기능이 구현되어 있다. 또한 UVOVLO블록은 3.5 V (500 mV의 히스테리시스 전압) 이하의 낮은 입력 전압이나 6.9 V (100 mV 히스테리시스 전압) 이상의 높은 입력 전압이 입력될 경우 회로를 차단하는 기능을 가지고 있다.

3. 실험 결과 및 검토

제작된 IC는 3000u*4500u의 크기로 28-PIN의 SOP type으로 제작되었다.

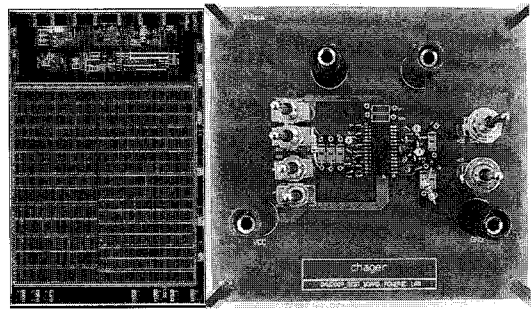


그림 7. 제작된 IC의 Layout과 PCB test board.
Fig. 7. Layout of designed IC and PCB test board.

Charger IC를 검증하기 위하여 IC가 자동적으로 전지의 전압에 따라 설정된 모드에서 적절하게 전류 및 전압을 공급하는지 측정 및 확인하였다.

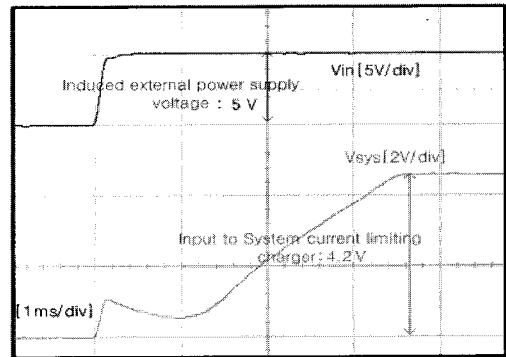


그림 8. CCCV battery charger의 soft start 실험 결과.
Fig. 8. The test results of soft start in CCCV battery charger.

3.1 Soft start

시스템에 전원이 들어오자 Softstart기능이 동작하면서 4 ms의 시간동안 서서히 목표 전압인 4.2 V까지 상승하며 급격한 전류의 유입을 방지한다.

3.2 CCCV battery charger

실험 시 빠른 테스트 결과를 위해서 4개의 470 uF 전해커패시터를 병렬로 연결하여 Li-ion 전지로 등가화 시켜서 측정하였으며 적절한 관찰 가능한 시간에 따라 충전변화량을 측정하기 위하여 최대 충전 전류를 180 mA로 제한하여 등가화된 커패시터의 전압 상승폭을 제한하였다.

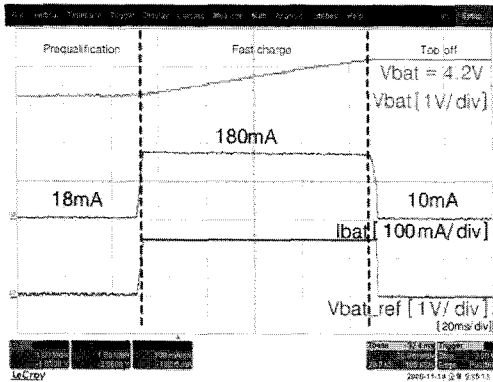


그림 9. CCCV battery charger의 실험 결과.
Fig. 9. Test result of CCCV battery charger.

전지가 3 V 이하일 경우 최대 충전 전류의 10 %인 18 mA로 커패시터를 충전하였으며 3 V 이상 일 때는 CC모드(Constant Current Mode)로 동작하여 설정된 충전 전류 최대치인 180 mA로 커패시터를 충전하고 4.2 V에 도달하자 최대 충전 전류의 7.5 %인 10 mA로 전류치가 줄어들며 CV모드(Constant Voltage Mode)로 동작하여 정전압으로 충전 동작을 하는 것을 확인하였다.

3.3 Bat-to-sys switch

입력 전원이 높은 경우 시스템의 전원이 입력 전원과 동일하게 나타나고 입력 전원이 전원 전압보다 떨어졌을 경우에는 전지의 전압과 시스템의 전원이 동일하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 시스템 전압이 떨어졌을 경우 전지로부터 시스템에 전력이 공급되는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문은 Cadence사의 Spectre tool을 사용하고 동부하이텍사의 0.35 um의 BCD 공정을 통해 Autonomous linear Li-ion battery charger를 제작하였다. Li-ion 전지 충전 IC가 가지고 있는 충전 모드 동작과 입력 전원의 형태에 따라서 전력을 적절하게 분배하여 시스템에 안정된 전력을 공급하면서 동시에 충방전을 할 수 있는 IC를 제작하였다. 실험 결과 시스템의 부하에 따라서 외부 전원과 전지를 충방전하며 전력을 공급하는 동작이 양호하였고 충전시 각각의 모드에 따라서 충전하는 동작이 양호함을 확인하였다.

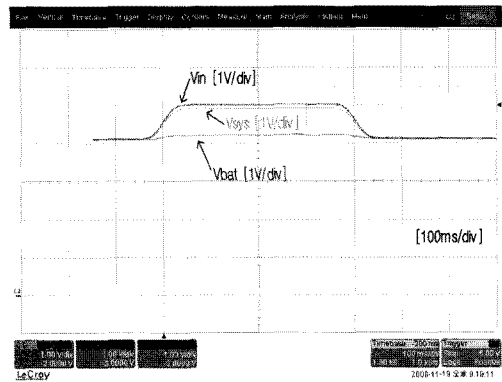


그림 10. Bat-to-sys의 실험 결과.
Fig. 10. Test result of Bat-to-sys switch.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산하 SYSTEM IC 2010 사업으로부터 지원받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] D. Linden and T. B. Reddy, Handbook of Batteries New York, McGraw-Hill, Ch. 35, 2002.
- [2] S. Deanborn, "Charging Li-ion batteries for maximum run times", Power Electron. Technol. Mag., p. 40, 2005.
- [3] Application Note : Power-Management ICs for Single-Cell, Li+ Battery-Operated Devices, Maxim, 2007.
- [4] M. Chen and G. A. Rincon-Mora, "Accurate, compact, and power-efficient Li-ion battery charger circuit", IEEE Circuits And Systems II:Express Briefs., Vol. 53, No. 11, 2006.
- [5] C. Tsai, C. Lin, and Y. Hwang, "A Multi-mode LDO-based Li-ion Battery Charger in 0.35 um CMOS Technology", IEEE Asia-Pacific Conference Circuits, 2004.
- [5] N. S. Jung, J. H. Jeong, and G. H. Cho, "High efficiency and high fidelity analog-digital switching mixed mode amplifier", IEE Electronics Letters, Vol. 34, No. 9, p. 828, 1998.