Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.54, NO.2, February 2017 https://doi.org/10.5573/ieie.2017.54.2.141
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2017-54-2-18

충전식 전원 모듈의 성능 개선에 대한 연구

(A Study on Performance Improvement of Rechargeable Power Modules)

안 태 원*, 이 강 윤**

(Tae-Won Ahn© and Kang-Yoon Lee)

요 약

본 논문에서는 휴대용 전자기기에 널리 사용되고 있는 리튬-이온 충전용 전원 모듈에서 발열을 줄이면서 배터리의 충전 시간을 단축하기 위한 기법을 연구하였다. 제안하는 기법은 마스터 충전 모듈과 슬레이브 충전 모듈로 구성된 다중 충전 모듈을 이용하여 병렬적인 전류 경로를 구성하면서 단일 선로 통신 방식을 적용함으로써 추가적인 하드웨어를 최소화하여 충전 회로를 매우 간단하게 구성할 수 있도록 하였다. 마스터 충전 모듈과 슬레이브 충전 모듈 간의 단일 선로 통신 방식은 필요 부품의 핀 개수를 최소화하고 디지털 통신 방식을 사용하지 않고 전압 레벨을 이용한 통신 방식을 적용하였기 때문에 구현 면적이 줄어들고 비용적인 측면에서도 유리한 장점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 충전 기법은 고속의 충전을 필요로 하는 충전식 전원 모듈의 구현에 실용적으로 적용 가능할 것으로 기대한다.

Abstract

This paper presents a method to improve Li-ion battery charging speed for portable electronic devices maintaining stable operating temperature. The proposed method uses multiple chargers which consist of a master module and slave modules designed with single wire communication signal for parallel current path in order to simplify the additional hardware needs. A single wire communication signal control between a master module and slave modules makes the number of pins of parts lowered and the required area small, furthermore leading to lower cost. Therefore the proposed charging method can be practically used for implementing battery charging modules requiring high speed Li-ion battery charging.

Keywords : Li-ion battery, charging speed, multiple chargers, single wire communication

Ⅰ. 서 론

현재 리튬-이온 충전용 배터리 모듈은 휴대용 전자기기 등에 널리 사용되고 있으며, 특히 최근의 스마트폰, PDA 단말기, 랩탑 등에는 없으면 안 될 아주 주요한 기능 블록으로 자리하고 있다. 충전 모듈의 성능은 충전 효율, 충전 속도, 안정성, 가격 등에 의해 사용자의 선택을 받게 되는데 리튬-이온 충전 배터리는 에너지 밀도가 높아서 고용량화에 유리한 장점이 있는 반면에 과도 충전시 안정성이 떨어지는 특성이 있고, 반대로 완전 방전시 충전 수명이 크게 감소하는 단점을 가지고 있다[1~2]. 특히 과도한 충전이 지속될 경우 물리적인 손상 위험이 있으며, 충전 레벨이 낮은 상태가 지속되는 경우에는 충전지의 에너지 용량이 감소하게 된다. 또한 완전 충전 전압에 미흡하는 충전이 반복되는 경우에도 충전 효율이 떨어지고 결과적으로 충전 모듈의 수명을 단축시킬 우려가 있다[3~4].

리튬-이온 충전기는 일반적으로 그림 1과 같이 교류

* 정회원, 동양미래대학교 전기전자통신공학부
(School of Electrical Engineering, Dongyang Mirae University)
** 정회원, 성균관대학교 전자전기공학부
(School of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University)
© Corresponding Author (E-mail : twahn@dongyang.ac.kr)
※ 본 논문은 2016학년도 동양미래대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음.
Received ; November 29, 2016 Revised ; December 7, 2016
Accepted ; January 23, 2017

전원 콘센트에서 정류회로를 거쳐 DC로 변환이 된 후에 선형 또는 스위칭 레귤레이터를 거친 직류 전원에 의해 충전이 되도록 구성된다. 물론 최근에는 USB에서 나오는 DC 출력 전압을 이용해서 충전을 하는 경우도 많다. 대부분의 경우에는 빠르고 안정적인 충전을 진행하기 위하여 처음에 일정한 전류를 충전기에 공급하여 일정 전압 이상으로 충전한 후 모드를 전환하여 충전 전류의 양을 줄이면서 일정 전압을 유지하여 공급함으로써 충전을 완료하게 된다. 이러한 방식의 충전에서는 정전류 모드와 정전압 모드의 적절한 전환에 의해 충전 모듈의 안전성과 속도, 그리고 전원 효율이 결정되게 된다[1~2].

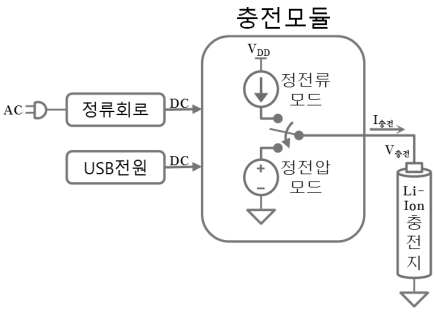


그림 1. 일반적인 리튬-이온 충전 방식
Fig. 1. General Li-ion charging method.

그림 2는 리튬-이온 충전용 배터리의 충전 절차에 대한 순서도를 나타낸다. 초기에 충전 전압 레벨이 낮은 상태에서 충전이 시작되어 V_{Li-Ion} 전압이 3V 이하인 상태에서는 안정적인 충전을 위한 저속 충전 모드에서 동작을 하게 된다. 저속 충전 모드에서 충전이 계속되어 V_{Li-Ion} 전압이 3V 이상이 되면 고속 충전을 위한 정전류 모드로 들어가게 되는데 일반적으로 리튬-이온 충전용 배터리에서 정전압 모드로의 변환이 너무 늦게 되면 에너지 효율이 떨어지게 되며, 반대로 너무 빠른 모드 변환은 충전 전압을 과도하게 급상승시키게 되어 충전지에 물리적인 손상을 가져올 위험이 존재한다. 일반적인 경우에는 V_{Li-Ion} 전압이 4.2V 이상이 되면 고속의 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환되어 완충 단계로 향하게 된다.

최근에는 완전 충전 레벨을 안정적으로 높여서 충전 효율을 최대화하는 기법에 대한 연구가 활발히 진행되어 이에 대한 성능 개선은 상당한 수준에 이르고 있다[1~2]. 하지만 아직도 충전 속도를 안정적으로 높이는 기법의 실용적인 구현에 대한 연구는 부족한 상황이다.

또한 리튬-이온 충전용 배터리는 항상 온도의 급상승에 대한 주의가 필요하며, 특히 충전 속도를 높이기 위한 고속의 정전류 모드에서 발열 문제의 개선이 필수적이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 회로의 복잡도를 줄이고 급속 충전 동작에 의한 온도 상승 효과를 최소화함으로써 충전모듈의 안정성을 유지하면서 저비용으로 충전식 전원 모듈의 충전 속도를 개선하기 위한 기법에 대하여 소개한다.

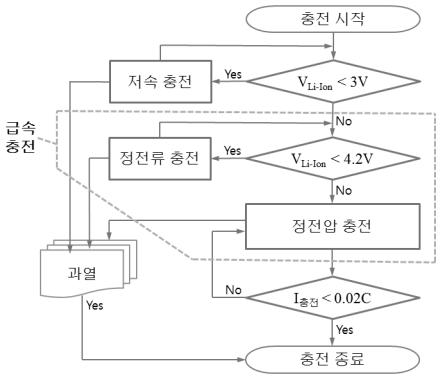


그림 2. 충전식 전원 모듈의 충전 순서도
Fig. 2. Charging flow chart of power module.

Ⅱ. 기존 충전 기법에 대한 문제점

1. 단일 정전류 충전 방식

그림 3은 미국 Maxim사에서 소개하는 일반적인 USB 출력 전원용 단일 정전류 충전 방법을 나타내는 그림이다[5]. 이와 같은 기존 방식에서는 USB HOST의 V_{BUS}에서 전력을 공급하고, BATTERY CHARGER가 전압 및 전류를 조절하여 배터리를 충전하며 배터리 충전 시간은 BATTERY CHARGER의 출력 전력에 의해 결정된다.

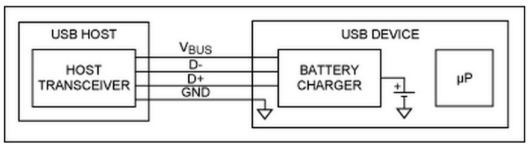
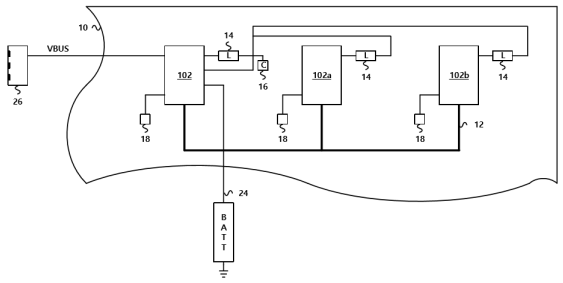


그림 3. USB 출력 전원을 사용하는 단일 정전류 충전
Fig. 3. Single constant current charging with USB power.

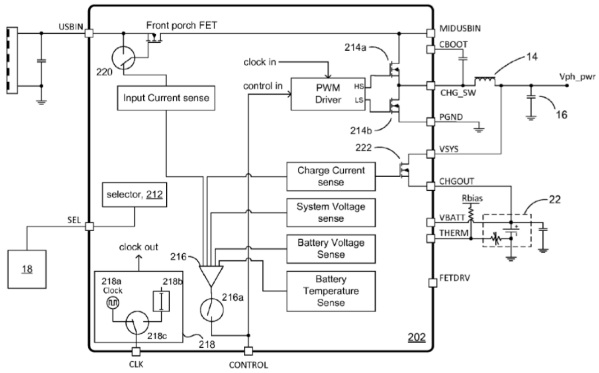
충전 시간을 단축하기 위해서는 배터리 충전 전류를 증가시켜서 출력 전력을 높여야 하는데 충전 전류가 증가되면, BATTERY CHARGER의 발열이 증가되기 때문에 충전 전류를 계속 늘릴 수 없다. 따라서 이와 같은 일반적인 기존 배터리 충전 방식은 충전 시간을 단축하는데 한계가 있다.

2. 마스터-슬레이브 다중-위상 충전 방식

그림 4는 미국 Qualcomm사의 특허 대표 그림으로서 마스터-슬레이브 다중-위상 충전 방식을 나타낸다[6]. 그림 4(a) 그림에서는 VBUS 노드에서 전력을 인가 받고, 102, 102a, 102b는 복수개의 충전 모듈 회로를 나타낸다. 복수개의 충전 모듈 회로간의 통신 및 제어를 위한 버스도 있으며, 클록 기반으로 동작하는 시스템으로서 그림 4와 같은 구성의 경우 102, 102a, 102b 중 1개는 마스터 모듈이 되고 나머지 2개는 슬레이브 모듈이 된다.



(a) 시스템 블록도



(b) 시스템 상세 회로도

그림 4. 마스터-슬레이브 다중-위상 충전 방식
Fig. 4. Master-slave multi-phase charging method.

그림 4(b)는 그림 4(a)의 102, 102a, 102b에 해당하는 회로 모듈의 상세 도면을 나타내며 Charge Current sense, System Voltage sense, Battery Voltage sense, Battery Temperature sense 등의 회로가 포함되어 있다. Sensing circuits에서 feedback 받은 신호는 '216' 회로에서 control 신호를 생성하여 준다. 그림 4(a)에서 나타낸 버스 신호(12)는 그림 4(b)의 CLK pin, CONTROL pin, FETDRV pin에 해당된다. SEL pin과 '18'은 충전 모듈의 마스터 모드 또는 슬레이브 모드를 선택해 줄 수 있는 핀이다. 이와 같이 Qualcomm사의 특허는 마스터-슬레이브 간 통신 및 제어를 위해 3개의 핀이 필요하며, 외부 저항을 추가하여 마스터 모드 또는 슬레이브 모드를 선택해야 하기 때문에 외부저항 및 추가 핀을 사용하게 된다.

Ⅲ. 다중 모듈 충전 방식의 구현

1. 제안하는 다중 모듈 충전 기법

그림 5는 기존 기술의 문제점의 해결 방안에 대한 간략한 시스템 블록도를 나타낸다. 배터리의 충전 시간을 단축하기 위해 다중 충전 회로 모듈을 병렬로 구성하여 충전 전류 경로를 늘린다. 이러한 기법에 의해 복수개의 충전 회로 모듈이 열을 분배하기 때문에 발열 문제도 해결할 수 있다. 충전 회로 모듈 간 통신을 간단히 하기 위해 핀을 1개만 사용하는 단일 선로 통신 방식을 사용하기 때문에 그림 4의 Qualcomm사 특허에 비해 하드웨어의 구현이 간단해지고 비용 절감을 가져올 수 있다. 또한 디지털 방식의 통신을 사용하지 않으므로 충전 회로 동작을 하는 모듈에 DAC가 필요하지 않게 되며, 따라서 DAC의 성능에 따라 전류 및 전압 등의 정확도 구현에 대한 부담이 없어진다. 따라서 마스터 충전 모듈에서 일정 전압 값으로 정보를 전달해 줄 때, 아날로그 전압으로 전달해 주며 아날로그 전압 값의 레벨에 따라 모듈 서로 간의 인식에 따른 배열 구성을 할 수 있도록 하였다.

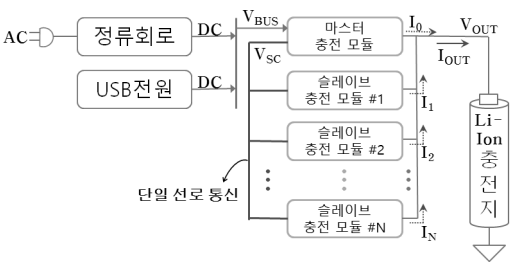


그림 5. 제안하는 다중 충전 모듈 기법의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the proposed multiple chargers.

그림 5에서 마스터 충전 모듈은 외부에서 DC 전원(V_{BUS})을 받아서 필요한 전류의 양에 따라 슬레이브 충전 모듈에 전원을 공급해주는 경로를 구성하며 V_{BUS} 전압 및 전류의 보호회로, 그리고 단일 선로 통신을 위한 제어 전압(V_{SC})을 조절하는 회로를 포함하도록 한다.

그림 6은 마스터 충전 모듈과 슬레이브 충전 모듈, 그리고 단일 선로 통신을 위한 회로의 상세 도면을 나타낸다. 마스터 충전 모듈에서 공급 전류(I_{MC})가 가변적으로 변할 수 있도록 구성하고, 슬레이브 충전 모듈에서 싱크 전류(I_{SC1}~I_{SCN})를 가변적으로 구성할 수 있도

록 한다. 공급 전류(I_{MC})와 싱크 전류(I_{SC1}~I_{SCN})의 전류 크기에 따라 단일 선로 통신 제어 전압(V_{SC})은 아래 식과 같이 계산된다.

$$V_{SC}(t) = \frac{(I_{MC} - (I_{SC1} + I_{SC2} \ldots + I_{SCN}) \times t}{C_{MC}} \quad (1)$$

마스터 충전 모듈의 단일 선로 통신 회로는 비교기와 ADC를 사용하여 V_{SC} 전압을 감지하고 그 전압을 이용하여 충전에 필요한 전류의 양을 결정할 수 있다. 슬레이브 충전 모듈의 단일 선로 통신 회로는 비교기만 사용하여 V_{SC} 전압을 감지한다.

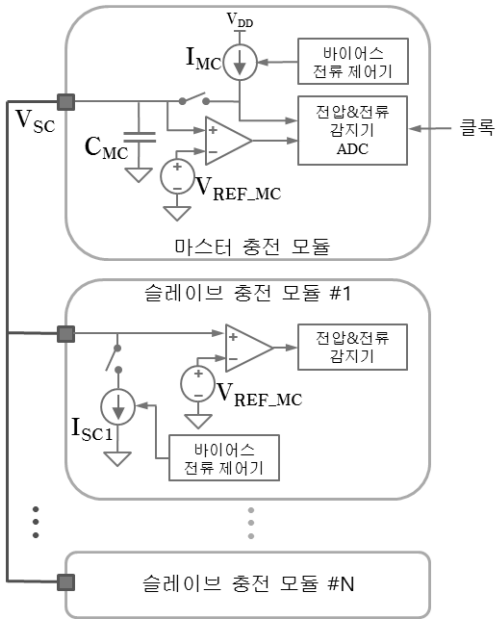


그림 6. 제안하는 다중 충전 모듈 시스템 상세 블록도
Fig. 6. Detailed diagram of the proposed charging system.

그림 7은 본 논문에서 제안하는 충전 방식의 동작 파형을 나타낸다. 마스터 충전 모듈이 동작을 시작하면, V_{SC} 전압이 로직 High 레벨에 도달하고 슬레이브 충전 모듈이 비교기를 이용하여 기준 전압과의 차이를 감지할 수 있도록 한다. 그러면 감지된 결과에 의해 슬레이브 충전 모듈이 전류 충전 모드로 전환되어, 싱크 전류 경로가 열리게 되고, V_{SC} 전압은 로직 Low 레벨로 떨어지게 된다. 제안하는 기법의 모듈 인식 동작에 의해 마스터 충전 모듈의 공급 전류(I_{MC})가 증가되고 슬레이브 충전 모듈의 싱크 전류 경로가 열려 있다면, V_{SC} 전압은 식 (1)과 같이 선형적으로 증가된다. 지정된 시간 t초 뒤에 마스터 충전 모듈의 ADC가 V_{SC} 전압을 감지하면, 슬레이브 충전 모듈이 얼마나 연결되어 있는지 알 수 있게 된다. 본 논문에서 제안하는 기법의 배열 구성 동작은 이와 같은 모듈 인식 동작이 종료된 후 외부로부터 전달받은 전원 공급기의 전류 한계값을 슬레이브 충전 모듈의 수량 + 1(마스터 충전 모듈) 로 나누게 된다. 이 값으로 V_{SC} 전압을 레귤레이션하여 슬레이브 충전 모듈이 동작할 수 있도록 한다.

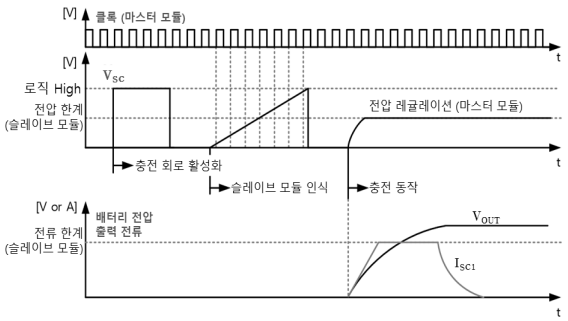


그림 7. 제안하는 다중 충전 방식의 동작 파형
Fig. 7. Operation waveform of the proposed charging.

그림 8과 그림 9는 본 논문에서 제안한 기법에 대한 설계와 동작 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 외부 전원 공급 V_{BUS}는 5V로 가정하고 전류 한계를 1.2A로 설정하고, 마스터 충전 모듈 1개와 슬레이브 충전 모듈 2개 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 초기 시작 단계에서 V_{SC} 전압은 마스터 충전 모듈에 의해 로직 High 레벨이 된다. 이후 슬레이브 충전 모듈에 의해 V_{SC} 전압은 로직 Low 레벨이 되고, 모듈 인식 동작을 한다. 그 이후로 충전 동작을 할 때, 부하 전류가 변화하였고, 400mA에서 전류 한계에 도달하는 것을 확인하였다.

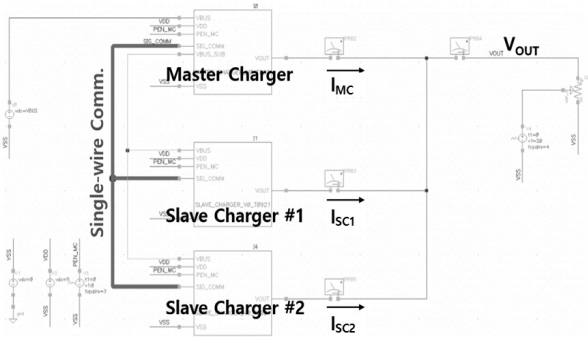


그림 8. 제안하는 다중 충전 방식의 설계
Fig. 8. Design of the proposed charging system.

본 논문에서 제안하는 다중 충전 모듈 방식은 마스터 충전 모듈을 이용하여 병렬의 전류 경로를 증가시킴으로써 발열을 줄이면서 배터리의 충전 시간을 단축할 수 있다. 단일 선로 통신 회로를 이용하여 필요한 부품의 핀 개수를 최소화 하고, 전압 레벨을 이용한 통신으로

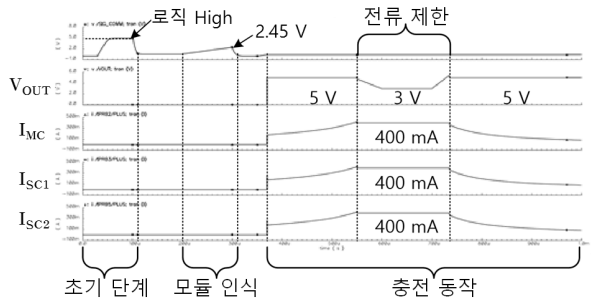


그림 9. 제안하는 다중 충전 방식의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation results of the proposed charging.

슬레이브 충전 모듈의 회로를 매우 간단하게 구성할 수 있기 때문에 면적이 줄어들고, 비용적인 측면에서도 유리하다. 마스터 충전 모듈에서 V_{BUS}의 전압 및 전류를 슬레이브 충전 모듈로 분배해주는 구조를 사용하여 외부 전원 공급의 과잉 전압 보호 기능을 마스터 충전 모듈에서 제어할 수 있도록 하였다. 슬레이브 충전 모듈은 과잉 전압 보호 기능을 따로 두지 않아 회로 구성 면적을 줄일 수 있는 장점이 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 리튬-이온 충전용 전원 모듈에서 발열을 줄이면서 배터리의 충전 시간을 단축하기 위한 기법을 연구하였다. 제안하는 기법은 마스터 충전 모듈과 슬레이브 충전 모듈로 구성된 다중 충전 모듈을 이용하여 병렬적인 전류 경로를 구성하면서 단일 선로 통신 방식을 적용함으로써 추가적인 하드웨어를 최소화하여 충전 회로를 매우 간단하게 구성할 수 있도록 하였다. 마스터 충전 모듈과 슬레이브 충전 모듈 간의 단일 선로 통신 방식은 필요 부품의 핀 개수를 최소화하고 구현 면적이 줄어들어 비용적인 측면에서도 유리한 장점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 다중 충전 모듈 기법은 고속의 충전을 필요로 하는 충전식 전원 모듈의 구현에 실용적으로 적용 가능할 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] Do Valle B, et al., “An Area and Power-Efficient Analog Li-Ion Battery Charger Circuit,” IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol. 5, no. 2, pp. 131-137, April 2011.
[2] Min Chen, et al., “Accurate, Compact, and Power-Efficient Li-Ion Battery Charger Circuit,” IEEE Transactions on Circuits and Systems II, vol. 53, no. 11, pp. 11801-1184, November 2006.
[3] Seok-Ho Song, et al., “A Study on The Enhanced Charging Algorithm of Lithium-Ion Secondary Battery,” Journal of the IEEK, vol. 38-IE, no. 4호, pp. 112-121, December 2001.
[4] Ki-Woong Jin, et al., “A hybrid charging IC for a lithium ion battery with improved charging performance,” in Proceedings of the IEEK Conference, pp. 123-126, June 2014.
[5] Len Sherman, “The Basics of USB Battery Charging : A Survival Guide,” Maxim Integrated Products, Inc., December 2010.
[6] MASTER-SLAVE MULTI-PHASE CHARGING, Qualcomm, Inc., Patent US 2014/0347001 A1.

저 자 소 개

안 태 원(정회원)
현재 동양미래대학교 전기전자통신공학부 교수
전자공학회논문지 제51권 제9호 참조

이 강 윤(정회원)
현재 성균관대학교 전자전기공학부 부교수
전자공학회논문지 제51권 제11호 참조