

전원모듈 PMIC 특성평가에 관한 연구

A Study on Evaluation of Power Management IC

노영환*★

Young Hwan Lho**★

Abstract

The MAX77846, which is compatible with MAX77826, is a sub-power management IC (PMIC) for the latest Wearable Watch and 3G/4G smart phones. The MAX77846 contains N-MOSFET (N channel Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor), a high-efficiency regulator, and comparator, etc to power up peripherals. The MAX77846 also provides power on/off control logic for complete flexibility and an I²C (Inter Integrated Circuit) serial interface to program individual regulator output voltages. In this paper, the simplified power macro-model based on MAX77846 is designed to verify the performance of the battery voltage in terms of current and time, and simulated by using of the LTspice. In addition, it is verified how much time can the charged battery capacity for Samsung Galaxy Gear 2 be used to operate a specified function after measuring the currents flowing to carry out the main functions in real time, which will be applicable to design parameters for the advanced power module

요약

MAX77846은 MAX77826과 호환해서 최신 웨어러블 시계와 3G/4G 스마트폰용의 전력모듈(PMIC)로 사용된다. MAX77846은 주변장치의 전력을 공급하기 위해 N 채널 MOSFET와 고효율의 레귤레이터, 비교기 등으로 구성되어 있다. 또한, 완전한 적용성과 각각의 레귤레이터 출력전압을 제공하기 위해 I²C 연산을 위해 전력 on/off 제어 로직을 제공한다. 이 논문에서 MAX77846을 기반으로 한 축약된 전력 매크로 모델을 전류와 시간에 대한 배터리 전압의 상태를 검증하기 위해 설계하고 LTspice로 시뮬레이션을 수행한다. Samsung Galaxy Gear 2 용 충전된 배터리 용량이 실시간으로 주요기능을 수행하는데 흐르는 전류를 측정 후 특정한 기능을 수행하는데 사용가능한 시간을 검증하여 차세대 전력 모듈의 설계변수로 활용하는데 있다.

Key words : PMIC, power macro-model, MAX77846, N-MOSFET, Samsung Galaxy Gear 2

* Dep't of Railroad Electricity, Woosong University

★ Corresponding author

yhlho@wsu.ac.kr, 042) 629-6731

※ Acknowledgment

This work was supported by Institute for Information & Communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. B0186-16-1001. Form factor-free Multi-input and output Power Module Technology for Wearable Devices).

Manuscript received April. 11, 2016; revised May 26, 2016 ; accepted Jun 16. 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라는 IT 부품과 관련된 기술력은 매우 우수한데 웨어러블 스마트 기기와 새로운 부품 등의 배터리 핵심기술은 개발 초기단계에 있는 실정이다. 웨어러블 디바이스가 일시적인 트랜드가 아닌 지속적 성장산업으로 자리매김하기 위해서는 안정적인 배터리 기술과 심미적인 가치를 제공해야 하는데 현재 유통중인 웨어러블 디바이스의 주요 불만 요소는 짧은 배터리 수명(국내 스마트 워치: 315 mAh)과 스마트폰으로 인해 항상 착용의 가치를 제공하지 못하고 있다[1]. 세계 최고의 기술을 확보하기 위해서는 배터리 기술개발이

필요하고 주 배터리 수단이 없으므로, 자체 배터리를 갖추고 있는 스마트폰이나 네트워크 등의 주변 장치로 역할이 제한된 실정이다. 대부분의 전력 시스템 설계는 적은 에너지와 적은 전력을 소모하는 회로를 설계하는데 초점을 맞추므로 배터리를 구성하는 시스템의 연구에서 최대의 배터리 수명을 가지도록 회로를 설계해야 한다. 일반적으로 배터리 수명은 시스템 동작 상태에서 고려하는데 상대적인 측정은 배터리 수명이나 배터리 충전에서 얻은 유용한 클럭 사이클 수이다. 배터리 수명은 일반적으로 ampere-hour (Ah) 정적으로 나타낸다. 이상적인 배터리의 전압은 완전히 방전된 상태에서 0 V로 일정하게 떨어져야 한다. 실제 전압은 방전 시간이 경과될 때 감소되는데 정격전압의 약 80 %인 임계전압 이하로 떨어질 때 소진되는 것으로 간주한다. 그림 1의 시스템에서 배터리 충전은 4.2 V 로 설정하고 방전 시 3.5 V 까지 떨어지도록 설정하였다.

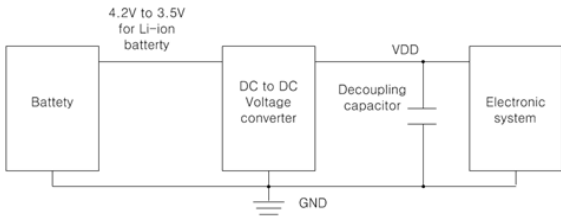


Fig. 1. Structure of battery power supplying equipment
그림 1. 배터리 전력 공급 장치 구조

실제로 배터리는 정격전류의 3배보다 적은 부하전류에 대해 이상적인 수명을 유지할 수 있다. 예를 들어 400 mAh의 배터리는 1.2 A 까지 전류를 공급할 수 있어야 한다. 일반적으로 내부 손실에 따라 실제 수명의 감소가 발생된다. 그래서 배터리 효율은 등식 (1)과 같이 표현된다.

$$Efficiency = \frac{Actual\ lifetime}{Ideal\ lifetime} \quad (1)$$

배터리 충/방전 모델[2]은 RC 모델, 테브난 모델, DP (dual polarization) 모델로 나뉘어진다. RC 모델은 SAFT 배터리 사에서 그림 2와 같이 설계하여 많은 응용을 수행하였다. 그림 2의 충전용 RC 모델에서 입력을 전류 I_L , 출력은 전압 U_L 로 설정 시 상태 및 출력 방정식은 등식

(2)와 같이 표현된다. 출력 전압은 입력 전류에 따라 결정됨을 알 수 있다.

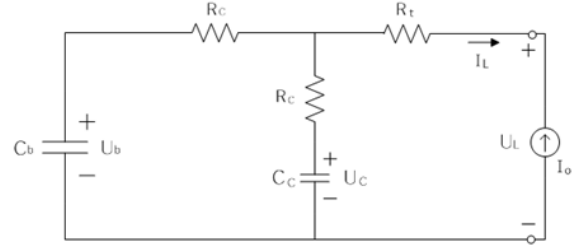


Fig. 2. Charging circuit of RC model
그림 2. 충전 RC 모델 회로도

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ \frac{1}{C_b(R_e + R_c)} & \frac{-1}{C_c(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_b \\ U_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_c \\ -R_e \\ \frac{-R_c}{C_c(R_e + R_c)} \end{bmatrix} I_L \quad (2)$$

$$U_L = \begin{bmatrix} R_c \\ \frac{R_c}{(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_b \\ U_c \end{bmatrix} + \left[-R_t - \frac{R_e R_c}{(R_e + R_c)} \right] I_L$$

II. 전원모듈 설계

Wearable 시계의 전원모듈 설계는 주요한 기능을 효율적으로 수행하고 용적에서 최적화를 추구하면서 적은 전력을 소모하도록 설계해야 한다.

Samsung Galaxy Gear 2에 실장되어 있는 MAX77846 chip의 블록도는 그림 3과 같다. 입력에 대하여 출력전압을 일정하게 만들어 주는 LDO(low dropout regulator)[3]와 출력전압을 낮게 하거나 높게 하는 Buck-Boost 컨버터로 구성되어 있다. 그림 4는 Samsung Galaxy Gear 2의 전원모듈의 MX77846[4]의 주요 기능만을 시뮬레이션 하기 위해 설계한 축약된 회로이다. 전원모듈 MX77846 회로도에서 상단에 2개의 power N-MOS가 실장되는데 비교기(comparator)의 입력 ‘-’ 단의 전압이 1.5 V 미만이면 비교기가 개방되고 하단의 charge pump[5]에서 전류가 공급되어 N-MOS의 게이트 전압이 올라가 N-MOS의 저항이 줄어들어 전류가 많이 공급된다. 비교기의 입력 ‘-’ 단의 전압이 1.5 V 이상이면 비교기가 도통되고 charge pump에서 전류가 줄어들어 게이트 전압이 감소하므로 원하는 전류 값이 흐르도록 하여 battery를 충전시키는 구조이다. Battery 보호 IC[6]는 드레인(drain)을 공통으로 사용한다.

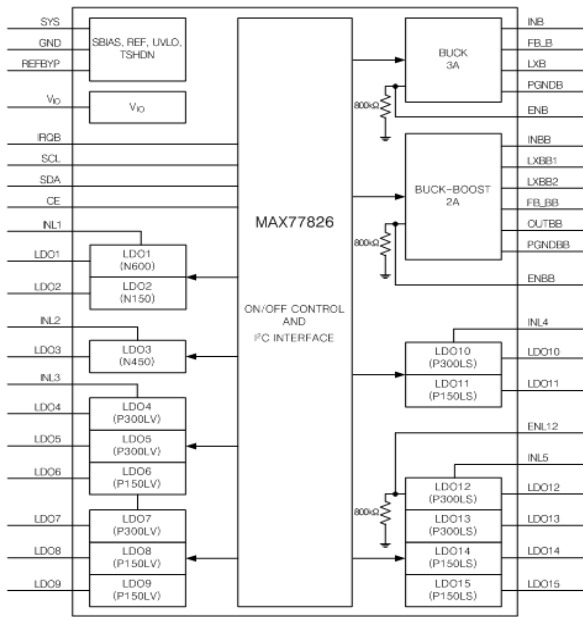


Fig. 3. Block diagram of MAX77846

그림 3. MAX77846 블록도

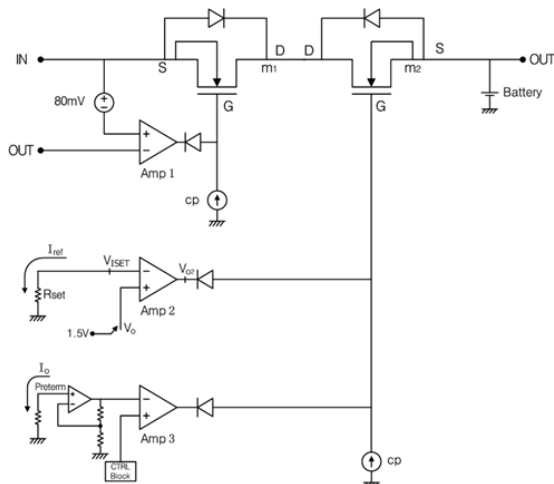


Fig. 4. Simplified circuit of power module MX77846

그림 4. 전원모듈 MX77846의 축약된 회로

III 시뮬레이션

전원모듈 MX77846 배터리 충전용 macro-model의 설계도는 그림 5와 같으며 배터리 충전 시 V_c 값을 센싱하여 4.2 V 이상에서는 저항을 키워 전류가 흐르지 않도록 하여 더 이상 충전되지 않게 하고, 방전 시 3.6 V 이하에서도 다시 B1의 전압 값이 크게 증가하여 B2에 걸리는 전압이 크게 감소하는 값을 B3의 한계(limiting)

기능을 통하여 전압이 0 V 로 급격히 전압이 줄어드는 특성을 갖도록 설계하였다. B1은 V1에 해당되고 Vbat 단자는 배터리 전압 값을 출력하기 위해 Vsense 배터리의 충/방전용 전류공급 포트를 나타낸다. C1의 배터리가 갖고 있는 용량과 직렬로 연결된 내부 저항의 구현을 위한 전압원 모델을 B2로 표시한다.

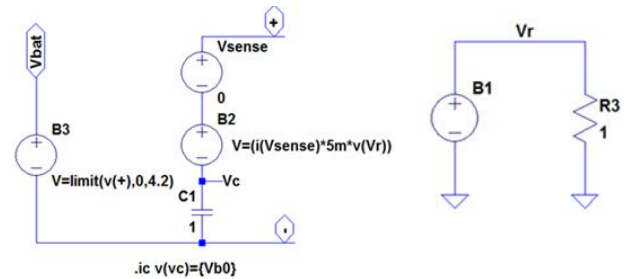


Fig. 5. Macro-model for charging MX77846

그림 5. MX77846 배터리 충전용 macro-model

전원모듈 MX77846의 배터리에 정 전류 회로를 구현할 때 전류는 등식 (2)와 같이 연산된다.

$$I = \beta V_{TO}^2 \tag{2}$$

여기서 β 는 N-JFET의 conductance 이고 V_{TO} 는 N-JFET의 threshold voltage 이다. 정 전류를 공급하여 충전하는 macro-model 회로를 이용하여 시뮬레이션[7]을 수행한 결과, 시간 및 전류에 대한 배터리 충전 전압에 대한 내용은 그림 6과 같다. β 를 10 (u)와 V_{TO} 를 0.1 (V)로 가정할 때 정 전류 I는 100 mA 이고 N-JFET의 크기를 1, 2, ..., 5로 변환 시 공급전류를 100 mA, 200 mA, ..., 500 mA로 증가되어 충전 시 각 공급 전류에 대한 해당 전압을 보여주고 있다. 100 mA의 경우 완전히 충전 될 때까지 6초, 200 mA의 경우 3초가 걸리고 전류를 증가시킬 때 걸리는

시간이 감소되어 500 mA 일 때 약 1.2초가 걸림을 보여주고 있다.

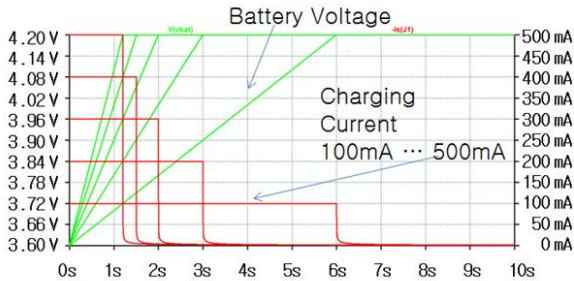


Fig. 6. Battery voltage vs. time and current
 그림 6. 시간 및 전류에 대한 배터리 전압

용량과 전류와 전압의 관계는 등식 (3)과 같다.

$$Q = I \times T = C \times V \quad (3)$$

예로 배터리 충전전압을 3.6 V에서 4.2 V로 0.6 V 증가시킬 때 Fitbit 경우 10 mAh 일 때 용량은 등식 (4)을 이용하여 60 [mF]이 계산된다.

$$C = \frac{3,600 \text{ (sec)} \times \text{배터리용량 (mC)}}{0.6 \text{ (V)}} \text{ [mF]} \quad (4)$$

Samsung Galaxy Gear 2의 경우 실시간으로 소모전류를 측정 시[8] 화면이 Idle 상태일 때 1.32 mA로 전류가 적게 흐르고, Bluetooth를 연결할 때 그림 7과 같이 최대 124.5 mA, 커지는 순간 최대 110 mA이고, 화면을 full color display 할 때 65 mA, 통화모드 송신 시 80 mA, 수신 시 52 mA로 배터리 수명시간을 결정하는 주요 항목이다.

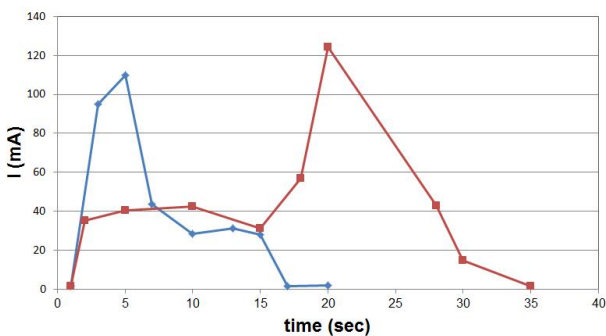


Fig. 7. Currents at Idle and bluetooth on/off
 그림 7. Idle, Bluetooth On/Off 시 전류

그림 8은 Bluetooth를 켜고 있을 때 임의의 흐르는 전류가 57 mA임을 보여 주고 있으며, 배터리 용량이 315 mAh 일 때 통화모드 송신할 시 80 mA 전류가 흐르므로 약 4시간 사용 가능하다.

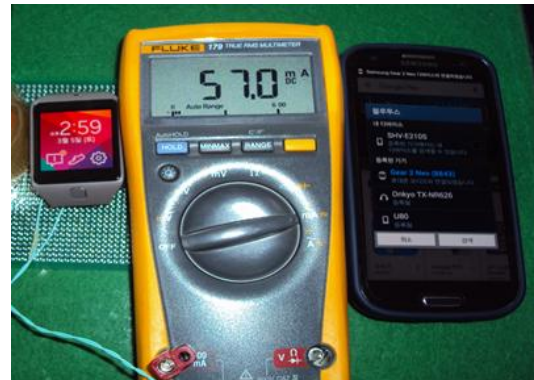


Fig. 8. Arbitrary current of 57.0 mA flowing when Bluetooth is "on"
 그림 8. Bluetooth를 켜고 있을 때 임의의 흐르는 전류 57.0 mA

IV 결론

전원모듈 분석을 위하여 Samsung Galaxy Gear 2에 적용되는 MAX77846의 회로의 구성을 분석하였으며 배터리 macro-model을 설계한 후 충전 및 방전 시 시간 및 전류에 대한 시뮬레이션을 수행하여 이론치와 일치함을 검증하였다. 또한 동작 모드별 전류특성을 측정 후 배터리 수명을 결정하는 주요 동작 모드를 분석하여 배터리 수명을 연장할 수 있는 설계기반을 마련하였다고 평가한다.

References

[1] CHO Alliance, "Market Prospect on Next Generation Wearable Smart Device and Tendency on Core Technology," Vol-009, 2015
 [2] Hongwen He, etc. "Evaluation of Lithium-Ion Battery Equipment Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach," National Engineering Laboratory for Electric Vehicles, Beijing Institute of Technology, Beijing, China, Energies 2011 4, 582-598; doi: 10.3390 /en4040582

- [3] Behnam Samadpoor Rikan, "A High Current Efficiency CMOS LDO Regulator with Low Power Consumption and Small Output Voltage Variation," *Journal of IKEEE*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-44, March 2014
- [4] Datasheet of MAX77826/77846, Power Management IC, 2014
- [5] Manish Kulkarni and Vishwani D. Agrawal, "A Tutorial on Battery Simulation-Matching Power Source to Electronic System," *14th IEEE/VLSI Design and Test Symposium*, Chandigarh, India, July 2010
- [6] Findlay Shearer, "Power Management Integrated Circuits," www.newnespress.com, 2010
- [7] LTspice IV, Linear Technology Corporation, 2014
- [8] The Report on "A Study on An Applicable Verification of the Next Generation Power Module of Smart Wearable Device," *ETRI*, March, 2016 (in Korean)

BIOGRAPHY

Young Hwan Lho (Member)

1982 : BS degree in
Electronics, KyungPook
National University.

1988 : MS degree in Electrical
Engineering, University of New
Mexico, U.S.A..

1993 : PhD degree in
Electrical Engineering, Texas A&M University.
1982~1985 : Engineer, LG Information
Communication Co., Ltd.

1994~1995 : Senior Researcher, Korea
Aerospace Research Institute

1995~present : Professor, Dep't of Railroad
Electricity System, Woosong University