

방전 시간 밸런싱을 사용한 배터리 교대 방전 기법

Alternating Battery Discharge Method Using Discharge Time Balancing

이 중 배*, 이 성 수**

Jong-Bae Lee*, Seongsoo Lee**

Abstract

This paper proposes an alternating battery discharge method by balancing discharge time of battery cells, which significantly increases battery lifetime. In the conventional method, several battery cells are alternately discharged to make battery recovery effect, and this increases battery lifetime. In this case, there are some overlap intervals where several battery cells are ON to avoid system power cut-off, but this makes several problems due to the voltage differences of battery cells. To mitigate these problems, discharge time of battery cells are controlled to make battery cell voltages as equal as possible. Measurements show that the battery lifetime is extended by 19.2% in the proposed method.

요 약

본 논문에서는 배터리 교대 방전 기법에서 배터리 셀의 방전 시간을 밸런싱함으로써 배터리 사용 시간을 크게 높이는 방법을 제안한다. 기존 기법에서는 다수의 배터리 셀을 교대로 방전시킴으로써 배터리에 회복 효과를 발생시키고, 이를 통해 배터리 사용 시간을 연장한다. 이때, 시스템에 공급되는 전원이 차단되지 않도록 배터리 셀이 동시에 켜지는 시간 구간이 있는데, 배터리 셀의 전압 차이로 인해 여러 가지 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 배터리 셀이 가능한 한 균등한 전압을 가지도록 배터리의 방전 시간을 제어한다. 실험 결과, 제안하는 방법에서 배터리 사용 시간이 19.2% 연장되었다.

Key words : battery, recovery effect, alternating discharge, discharge time balancing, adaptive control

* School of Electronic Engineering, Soongsil University

★ Corresponding author: sslee@ssu.ac.kr, 02-820-0692

※ Acknowledgment

“This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2010-0025041).”

Manuscript received Aug. 5, 2015; revised Aug. 27, 2015 ; accepted Aug. 31, 2015

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

최근 들어 스마트폰과 같은 휴대기기의 발달에 따라 배터리 사용 시간이 큰 문제로 대두되고 있다[1]. 특히, 이들 휴대기기가 고성능화되고 있으며 사용자의 사용시간도 늘어나고 있기 때문에 휴대기기의 소모 전력은 계속 늘어나고 있으나, 휴대기기의 크기 제한 때문에 탑재되는 배터리의 용량은 어느 이상 늘리기가 매우 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 배터리 자체의 방전을 최적화하여 배터리의 사용 시간을 늘리는 연구가 진행되고 있다. 배터리 스케줄링[2][3] 기법은 배터리 모델, 워크로드 분석, 수학적 알고리즘에 따라 다수의 배터리 셀 중에서 최적의 배터리 셀을 동적으로

로 선택하여 사용하는 방법이다.

배터리 교대 방전 기법[4]-[6]에서는 배터리 회복 효과[7]를 이용하여 배터리 사용 시간을 연장한다. 여기에서는 몇 개의 그룹으로 나뉜 배터리 셀을 번갈아 방전하며, 한 그룹은 시스템에 전력을 공급하고 다른

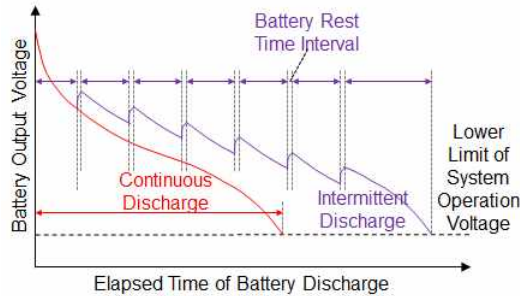


Fig. 1. Battery recovery effect. (modified from [6])
 그림 1. 배터리 회복 효과. ([6]에서 수정)

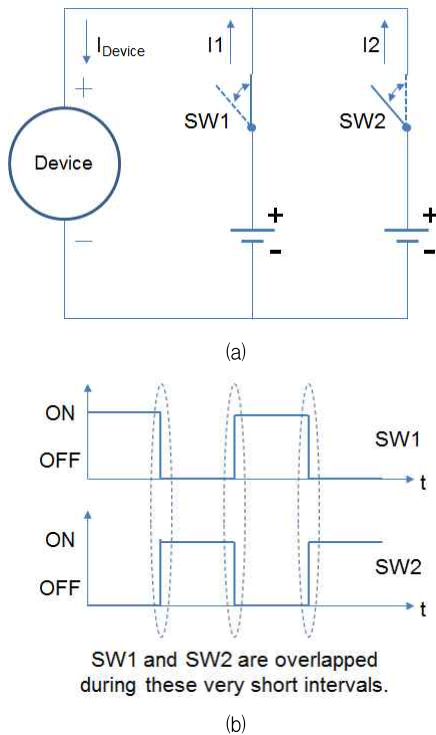


Fig. 2. Alternating battery discharging method. (a) Battery connection. (b) Switch connection. (modified from [6])
 그림 2. 배터리 교대 방전 기법. (a) 시스템 동작. (b) 스위치 동작. ([6]에서 수정)

그룹은 휴식을 하게 된다. 휴식을 취한 그룹의 셀의 출력 전압은 배터리 회복 효과에 의해 증가하게 되고, 이는 배터리 사용 시간의 증가로 이어진다. 이때 배터리 셀이 동시에 켜지는 시간 구간이 있는데, 배터리 셀의 전압 차이로 인해 여러 가지 문제가 발생하여 실제로는 배터리 사용 시간이 조금밖에 증가하지 않는다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 배터리 셀이 가능한 한 균등한 전압을 가지도록 배터리의 방전 시간을 배터리 셀 간의 전압 차이에 비례하도록 밸런싱한다. 이렇게 하면 전압이 높은 배터리 셀일수록 오래 방전되기 때문에 배터리 셀 간의 전압을 상당히 균등하게 할 수 있다.

II. 기존 기법의 문제점

그림 1은 배터리 회복 효과에 따른 출력 전압과 배터리 사용 시간을 나타낸다. 그림 1에 나타나 있듯이 배터리 셀이 휴식하게 되면 회복 효과로 인해 출력 전압이 증가하며 배터리 사용 시간도 증가하게 된다. 배터리 교대 방전 기법[4]-[6]은 그림 2 (a)와 같이 두 배터리 셀을 SW1과 SW2에 의해 교대로 방전시킨다. 그러나 시스템에 공급되는 전원이 차단되지 않

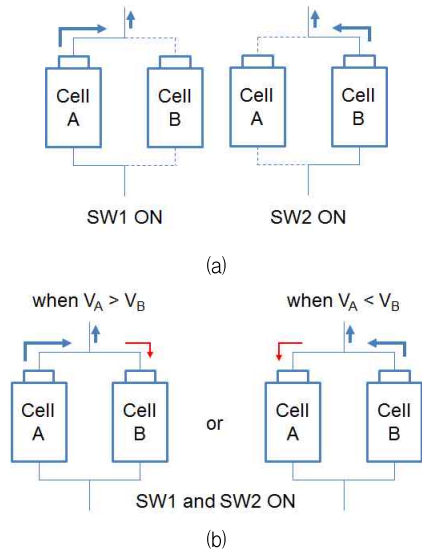


Fig. 3. Energy waste due to voltage difference of battery cells. (a) Either SW1 or SW2 is ON. (b) Both SW1 and SW2 are ON. (modified from [5])

그림 3. 배터리 셀의 전압차로 인한 에너지 낭비. (a) SW1과 SW2 중 하나만 ON일 때. (b) SW1과 SW2가 모두 ON일 때. ([5]에서 수정)

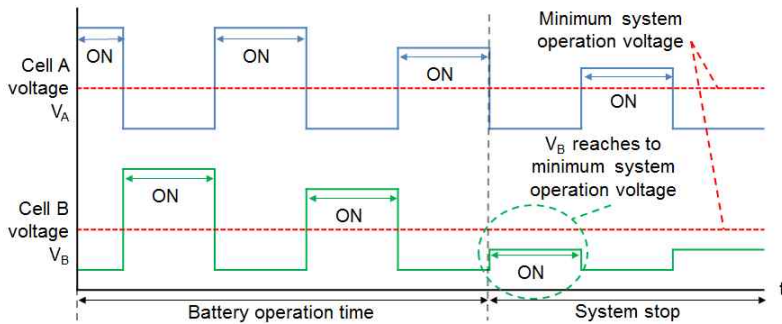


Fig. 4. Degradation of battery lifetime in alternating battery discharge method.
 그림 4. 배터리 교대 방전에서 배터리 사용 시간의 저하.

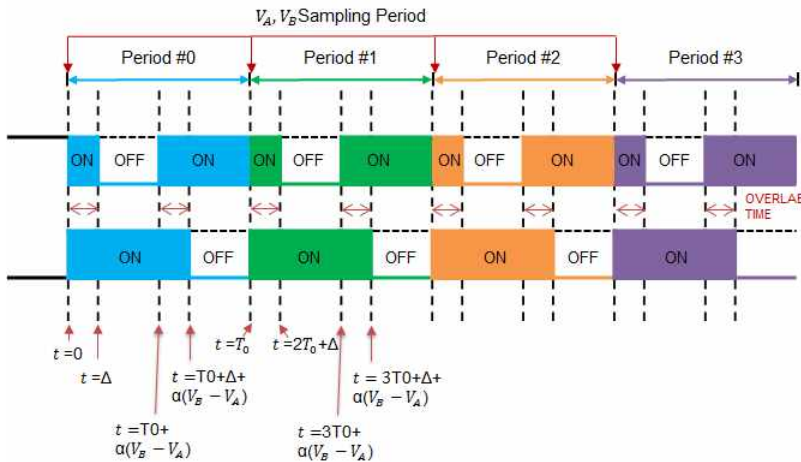


Fig. 5. Proposed discharge time balancing method.
 그림 5. 제안하는 방전 시간 밸런싱 방법

도록 그림 2 (b)와 같이 배터리 셀이 동시에 켜지는 아주 짧은 시간 구간이 존재한다. 이 시간 구간에는 서로 다른 전압을 가진 두 배터리 셀이 동시에 연결되기 때문에 몇 가지 문제점이 발생한다.

먼저, 배터리 셀 간의 전압 차이로 인해 배터리 셀에서 시스템에 공급되어야 할 전류의 일부가 다른 배터리 셀로 흐르는 경우가 발생한다. SW1과 SW2중 하나만 ON되어 있는 경우에는 그림 3 (a)와 같이 별 문제가 없지만, SW1과 SW2가 모두 ON되어 있는 경우에는 그림 3 (b)와 같이 셀A에서 셀B 또는 그 반대로 전류가 흐르게 된다. 즉 $V_A > V_B$ 의 경우 전류는 시스템과 셀B 모두에 흐르게 된다. 또한 $V_B > V_A$ 의 경우에도 전류는 시스템과 셀A 모두에 흐르게 된다. 이렇게 원치 않는 전류는 배터리에 저장된 전력의 낭비를 가져오며, 이는 곧 배터리 사용 시간이 줄어드는 것을 의미한다.

둘째, 배터리 셀의 전압이 다르다면 이 중 낮은 쪽의 전압을 기준으로 시스템의 동작이 멈추기 때문에, 높은 쪽의 배터리 셀에는 에너지가 남아있어도 이를 사용할 수 없게 된다. 그림 4에서 셀A와 셀B의 전압 차이가 있을 때, 셀A의 전압이나 셀B의 전압 중 어느 하나라도 시스템 최소 동작 전압 이하로 떨어지면 시스템은 정지하게 되고, 이는 곧 배터리 사용 시간이 줄어드는 것을 의미한다.

위와 같은 이유로 인해 배터리 교대 방전 기법에서는 배터리 회복 효과에도 불구하고 배터리 사용 시간 증가가 7% 정도에 불과하다[6].

III. 제안하는 방전 시간 밸런싱 기법

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 배터리 셀이 가능한 한 균등한 전압을 가지도록 배터리

의 방전 시간을 밸런싱하는 기법을 제안한다.

시스템의 전력 소비는 시간에 따라 가변적이므로 각 배터리 셀의 전력 소모는 달라지고 결국 배터리 셀마다 전압의 차이가 발생한다. 제안하는 기법에서 각 배터리 셀의 방전 시간은 배터리 셀의 출력 전압에 따라 기본값에서 늘어거나 줄어들며, 이때의 증가/감소값은 배터리 셀의 전압 차이에 음의 부호로 비례한다. 이렇게 하면 출력 전압이 높은 배터리 셀이 더 길게 방전되고 출력 전압이 낮은 배터리 셀은 더 짧게 방전되어 결과적으로 배터리 셀의 출력 전압 차이를 줄이는 방향으로 동작하게 된다.

그림 5는 제안된 배터리 방전 시간 밸런싱 기법을 나타낸다. T_0 , Δ 와 α 는 사용자가 입력할 수 있는 값이고, 각각 주기, 오버랩 시간, 비례상수 값이다. 그림 5에서 셀A, 셀B가 교대 방전하는 동안 먼저 주기의 시작점에서 셀의 전압 V_A , V_B 를 측정한다. 이후 측정된 전압값을 기초로 식 (1)을 계산하게 된다.

$$T_{d1,d2} = \alpha(V_B - V_A) \quad (1)$$

이 값이 양수로 나오면 셀B의 전압이 더 높다는 것이고 전압 차만큼 비례하여 셀A의 다음 방전 시간은 길어지고 셀B의 다음 방전 시간은 짧아진다. 반대로

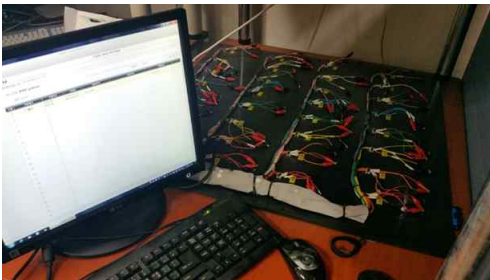


Fig. 6. 32 channel Cyclyer™ automated battery charging and discharging equipment.

그림 6. 32 채널 Cyclyer™ 배터리 자동 충전방전 장비.

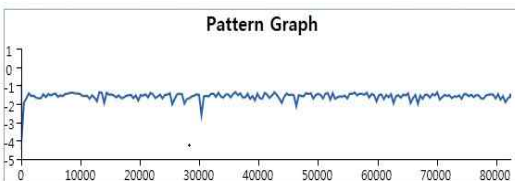


Fig. 7. Power consumption pattern of iPad2™ as a target system.

그림 7. 타겟 시스템으로 사용한 iPad2™의 전력 소모 패턴.

이 값이 음수로 나오면 셀A의 전압이 더 높다는 것이고 전압 차만큼 비례하여 셀B의 다음 방전 시간은 길어지고 셀A의 다음 방전 시간은 짧아진다.

또한 배터리 셀의 방전 시간이 너무 길거나 너무 짧아지면 시스템이 불안정하게 동작할 가능성이 있으므로 식 (1)의 결과값은 $0.5T_0 \sim 1.5T_0$ 의 범위로 제한한다. 이때 Δ 는 오버랩 시간이며 안정된 시스템 운영을 위해 1초 미만의 짧은 시간을 갖게 된다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 그림 6과 같이 원하는 전력/전압/전류 부하 (load)를 자동화된 패턴으로 가할 수 있는 배터리 충전방전 장비인 Cyclyer™을 사용하여 실험을 진행하였다.

이 장비를 사용한 가장 큰 이유는 실험 오차의 감소와 실험 시간의 단축이다. 일반적으로 배터리 셀은 같은 공장에서 제조된 같은 모델이라 하더라도 최대 $\pm 20\%$ 가량의 상당히 큰 편차를 가지고 있다. 이러한 편차를 상쇄하기 위해서는 매우 많은 수의 실험을 반복 수행하여 평균값을 취해야 하는데, 반복 수행되는 실험마다 시스템 부하 전력/전압/전류를 동일하게 유지하기는 쉽지 않으며, 각각의 실험에도 매우 오랜 시간이 걸린다. Cyclyer™은 미리 설정된 패턴의 시스템 부하 전력/전압/전류를 32채널에 독립적으로 가할 수 있고, 32채널에 연결된 배터리를 자동으로 급속 충전 → 패턴 방전 → 초기화 과정을 반복할 수 있다.

실험에서는 먼저 타겟 시스템으로 사용할 iPad2™에서 영상 플레이어 응용프로그램을 실행시켜 그림 7과 같이 전력 패턴을 측정하였으며, 이 측정 패턴을 Cyclyer™에 로드하여 측정을 수행하였다.

배터리 충전방전 실험에서는 1600mAh 리튬 이온 배터리를 사용하였으며 2개의 배터리 셀이 1세트로 진행되어 32채널을 지원하는 장비에 총 16세트의 배터리를 연결하여 각각 10회 반복 실험을 진행하였다.

실험에서는 표 1과 같이 T_0 와 α 값을 각각 10~20초, 100~200초/V로 각각 바꾸어가며 진행하였다. Δ 는 오버랩 시간으로 짧을수록 좋기 때문에 Cyclyer™ 장비에서 지원되는 가장 짧은 시간인 0.1초로 고정하였다.

기존의 병렬 방전 기법과 본 논문에서 제안한 방전 시간 밸런싱 기법의 동작 시간을 측정된 결과는 표 1과 같으며, 제안하는 기법은 배터리 사용 시간을 19.2% 연장하였다. 이는 기존의 배터리 셀 교대 방전 방법[6]의 이득 7%보다 크게 향상된 것이다.

Table 1. Measurement result.

표 1. 측정 결과.

Experiment	Conventional Parallel	Proposed				
		T0=10s α=100s/V Δ=0.1sec	T0=15s α=100s/V Δ=0.1 sec	T0=20s α=100s/V Δ=0.1 sec	T0=10s α=200s/V Δ=0.1 sec	T0=15s α=200s/V Δ=0.1 sec
Operation Time (s)	51393	57268	58175	61263	59213	58175
Gain (%)	-	11.4	13.2	19.2	15.2	13.2

V. 결론

본 논문에서는 배터리 교대 방전 기법에서 배터리 셀의 전압차에 비례하여 방전 시간을 조절하는 배터리 방전 시간 밸런싱 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 배터리 교대 방전 기법에서 다수의 배터리 셀이 모두 ON 되어 있는 시간 구간에서 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하였으며, 측정 결과 배터리 교대 방전 기법의 효율을 7%에서 19.2%로 크게 개선하였다.

References

[1] C. Park, K. Jang, S. Woo, and J. Choi, "Design of a High-Resolution Integrating Sigma-Delta ADC for Battery Capacity Measurement", Journal of IKEEE, vol. 16, no. 1, pp. 28-33, Jan. 2012.

[2] M. Jongerden, B. Haverkort, H. Bohnenkamp, and J. Katoen, "Maximizing System Lifetime by Battery Scheduling", Proceedings of IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks, pp. 63-72, 2009.

[3] H. Kim and K. Shin, "Scheduling of Battery Charge, Discharge, and Rest", Proceedings of IEEE Real-Time Systems Symposium, pp. 13-22, 2009.

[4] J. Lee and S. Lee, "Battery Operation Time Enhancement Based On Alternating Battery Cell Discharge", International Journal of Electronics Science and Engineering, vol. 7, no. 10, pp. 862-865, Oct. 2013.

[5] J. Lee and S. Lee, "Adaptive Discharge Time Control for Battery Operation Time Enhancement", International Journal of Electronics Science and Engineering, vol. 7, no. 11, pp. 672-675, Nov. 2013.

[6] J. Lee and S. Lee, "Battery Lifetime Enhancement Based on Recovery Effect", Journal of IKEEE. vol. 18, no. 1, pp. 96-105, Mar. 2014.

[7] M. Doyle, and J. Newman, "Analysis of Capacity-Rate Data for Lithium Batteries Using Simplified Models of the Discharge Process", Journal of Applied Electrochemistry, vol. 27, no. 7, pp. 846-856, Jul. 1997.

BIOGRAPHY

Jong-Bae Lee (Member)



2011 : BS degree in Electronic Engineering, Hansoo University.
 2014 : MS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.
 2014~Now : Ph.D candidate in Electronic Engineering, Soongsil University

<Main Interest> HEVC, Low-Power SoC Design, Multimedia SoC Design, Battery Management

Seongsoo Lee(Life Member)



1991 : BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.
 1993 : MS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.
 1998 : PhD degree in Electrical

Engineering, Seoul National University.
 1998~2000 : Research Associate, University of Tokyo
 2000~2002 : Research Professor, Ewha Womans University
 2002~Now : Professor in School of Electronic Engineering, Soongsil University
 <Main Interest> HEVC, Low-Power SoC Design, Multimedia SoC Design, Battery Management