

논문 20-5-5

슈퍼 커패시터를 결합한 하이브리드 전지의 효율 개선

Improving the Efficiency for Hybrid Battery Combining Super Capacitor

지승현¹, 김수호¹, 김주선², 윤영수^{1,a}

(Seung-hyun Jee¹, Soo-ho Kim¹, Ju-sun Kim², and Young-soo Yoon^{1,a})

Abstract

To prevent degradation of battery efficiency generated by serious current variation in rechargeable batteries, we researched a hybrid battery combining a super capacitor and a rechargeable battery. The hybrid battery shows high efficiency in a lifetime and a voltage drop. The hybrid battery was composed of a rechargeable battery, a current regulator and a super capacitor that can be used with supporting power. Before the experiment, the hybrid battery was simulated for current regulation and an electric current in a super capacitor by using the Pspice program. After that, we compared the efficiency of the hybrid battery with the efficiency of the normal battery. In this result, we demonstrated that the hybrid battery has a higher efficiency and a longer lifespan than the normal battery.

Key Words : Hybrid battery, Supercapacitor, Pspice, Efficiency, Lifetime

1. 서론

현재, 휴대용 제품들은 넓은 부하 범위에서의 전압 안정도, 부하전류의 높은 변화율에 대한 안정된 전원 공급 및 수명유지, 5 V 이하의 저전압 구동에 따른 안정된 전원 공급 유지 등을 필요로 한다[1]. 그러나 넓은 부하 범위와 높은 공급 전류변화율에 따른 전지의 전압 강하율이 높아질 경우, 전원의 불안정한 공급, 전지 수명 단축으로 인한 사용시간 단축 등의 단점이 나타나 전지사용의 장점을 극대화 시킬 수 없게 된다. 그러므로, 전지 또한 기기의 전원 설계에 중요한 역할을 하고, 뿐만 아니라 사용에너지가 제한되어 있다는 점에서 전지 전원의 효율적인 공급에 큰 관심을 가지게 되었다.

소자에 전원을 효율적으로 공급하기 위해 전원 시스템 설계상에서 전원의 손실을 감소시켜 제품

사용시간을 늘리는 설계안으로 영전압 스위칭 동작을 하는 동기 정류 제어 방식의 컨버터등의 고효율의 DC-DC Converter를 개발하여 사용하는 보고가 있다[2-5]. 그러나 이러한 시스템은 자체에서 효율을 높여서 전원을 설계하고 있지만, 전지의 높은 전류 변화에 따른 사용시간 감소에는 영향을 크게 주지 못한다. 그렇기 때문에 전지 자체에 기본적인 내부 회로를 구성하여 넓은 부하에서 작동하는 전자기기들에서의 전지의 효율을 높이고 전지의 사용시간을 늘려주며, 충방전 횟수 증가시 사용시간의 감소가 적은 전지를 연구의 필요성이 증가하고 있다.

지금까지의 전지는 충방전 횟수와 비례하여 전지의 시간특성이 저하될 뿐만 아니라 전지의 적정 전류 이상의 전류가 흐를 경우에도 특성이 나빠지기 때문에 전지에 연결된 부하에 짧은시간동안 많은 전류의 공급 시, 전지의 고유 적정 전류 이상의 흐름에 기인하여 전지의 특성이 저하된다[6,7].

슈퍼 커패시터는 전지 등의 전원장치를 보조해 주고, 전지와 달리 분극 현상에 의한 전원이기 때문에 시간특성 저하가 그의 없다. 이러한 슈퍼 커패시터를 전지와 결합할 경우, 전지와 커패시터의 장점을 동시에 갖는, 즉 높은 에너지 밀도와 수명 특성이 개선된 효율적인 전지를 제작 할 수 있다.

1. 건국대학교 신기술융합학과 (서울시 광진구 화양동 1)
2. 한국과학기술연구원 나노재료연구센터
a. Corresponding Author : ysyoon@konkuk.ac.kr
접수일자 : 2006. 11. 16
1차 심사 : 2007. 3. 23
심사완료 : 2007. 4. 18

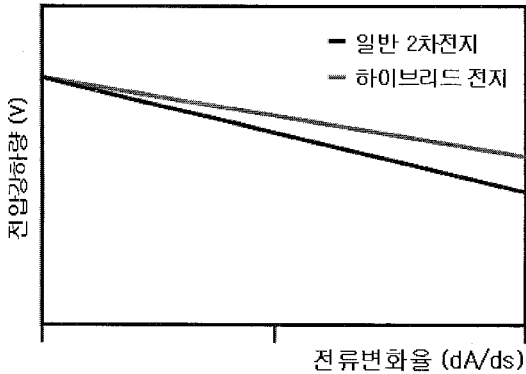


그림 1. 전류 변화율에 대한 전압강하량 비교.
 Fig. 1. Comparison of voltage drop for current variation.

슈퍼 커패시터와 결합한 전지는 전원의 안정된 공급과 사용시간 증가, 충방전 횟수의 증가시에 나타나는 전지 사용시간의 감소, 과전류에 의한 전지 보호등의 장점을 가진 새로운 형태의 전지가 될 수 있다. 또한 박막 배터리 및 초소형 배터리의 내부에 내부 회로 및 캐패시터를 공정단계에서 삽입을 할 경우 기존의 배터리보다 효율이 증가된 새로운 하이브리드 배터리를 제작할 수 있다. 그러나, 슈퍼 커패시터를 결합한 2차 전지의 전류 변화량 증가에 따른 성능 향상에 대한 시뮬레이션 및 실제 전압 강하 감소에 대한 연구 및 보고는 아직 없는 실정이다. 그림 1은 일반전지와 하이브리드 전지의 전류변화량에 대한 전압강하량을 나타낸 그래프이다.

본 연구에서는 넓은 부하의 범위에서도 안정된 전원 공급과 사용시간이 감소하지 않는 슈퍼커패시터를 결합한 고효율 하이브리드 전지를 제안하고자 한다. 그림 2는 이차전지 시스템의 충방전 전체 구성도이다. 그림과 같이 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드 배터리를 장착하여 배터리의 성능을 개선하고 전자기에 안정적 전원을 공급할 수 있도록 설계하였다.

제안한 하이브리드 전지는 Pspice에서 simulation을 통하여 과전류시 전지의 큰 전류변화를 방지하며, 커패시터에서 보조 전원을 사용해 안정된 전원을 공급할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 슈퍼 커패시터를 결합한 하이브리드 전지를 제작할 경우, 일반 전지와 비교실험에 의하여 넓은 부하 범위에서 일반 전지보다 전압강하량이 감소하며, 사용시간이 증가된 것으로 나타났다. 따라서 슈퍼 커패시터를 결합한 하이브리드 전지는 일반 전지보다 사용시간과 배터리의 수명이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

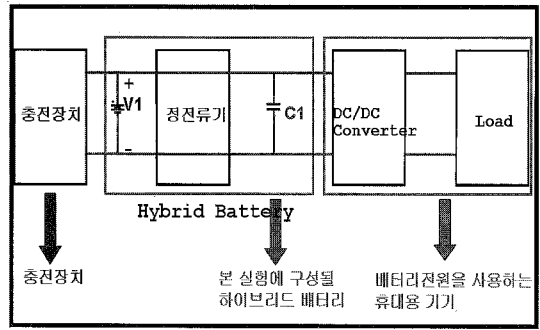


그림 2. 이차 전지 시스템의 충전, 방전 전체 구성도.
 Fig. 2. Whole block diagram of charging and discharging in hybrid battery system.

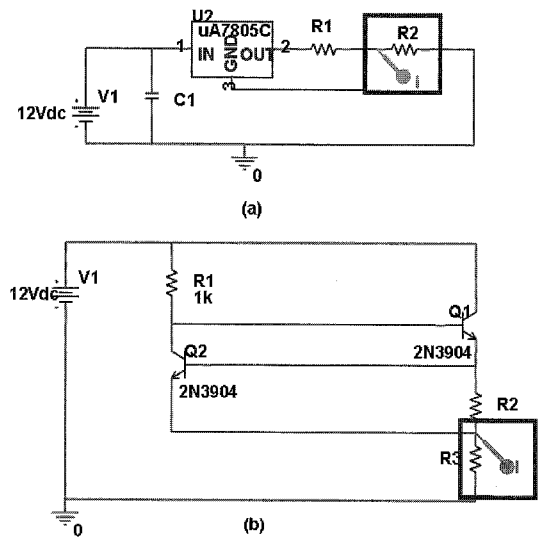


그림 3. 7805(A), 2n3904(B)를 이용한 정전류 회로.
 Fig. 3. A electric current regulator circuit using 7805(A), 2n3904(B).

2. 실험

2.1 정전류 회로(7805, 2n3904)의 Pspice simulation

이차전지 시스템에서 전지의 수명과 기능향상의 중요한 부분인 정전류 장치의 특성을 분석하기 위하여 Pspice simulation 프로그램을 이용하여 저항의 변화에 따른 전류치의 변화량을 분석하였다. 이는 이차전지를 이용한 시스템상에서 발생할 수 있

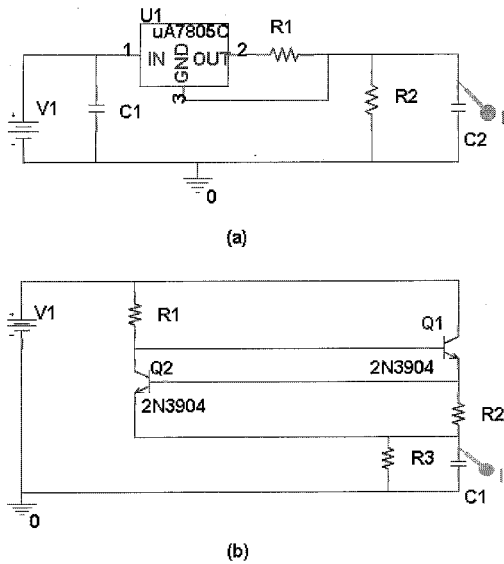


그림 4. 슈퍼커패시터에서의 전류 simulation.
 Fig. 4. Electric current simulation in super capacitor.

는 순간적인 과전류 현상 제어 여부를 확인하기 위함에 그 연구의 목적이 있다. 본 실험에서 사용한 정전압기와 양극접합트랜지스터(BJT)는 model 7805과 model 2n3904를 각각 이용하였다. 그림 3(a), (b)는 본 실험에서 Pspice simulation 프로그램을 이용하여 설계한 정전류 장치의 회로도이다. 그림 3(a)의 R2와 그림 3(b)의 R3값을 1000 Ω~100 Ω까지 100 Ω씩 감소시키면서 저항의 변화에 따른 전류치의 변화량을 측정하였다. 여기서 R1,2,3은 저항을 나타낸다.

그림 4(a),(b)는 슈퍼커패시터 (supercapacitor)를 병렬구조로 설계하였을때 전류 보상치에 대한 분석을 하기 위하여 설계한 회로도이다. 본 회로 실험에서는 두 정 전류회로에 슈퍼 커패시터를 병렬 구조로 설계 하였을때 커패시터 상부 방전시 전류치의 변화를 실험하였다.

2.2 슈퍼커패시터를 결합한 이차전지의 수명 개선 실험

Simulation 분석을 통하여 얻어진 결과값과 비교분석하기 위하여 실제로 회로를 설계하여 저항의 감소에도 정전류가 되는지를 확인하였다. 또한, 슈퍼커패시터를 장착한 회로를 만들어 부하의 변

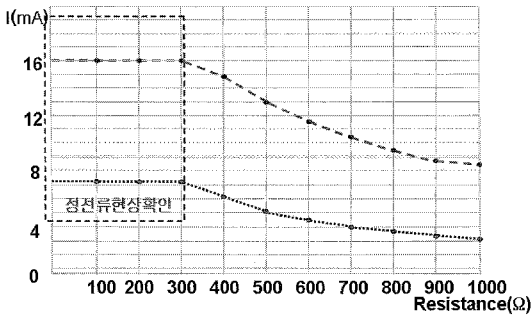
화에도 슈퍼커패시터의 보조 전원을 공급하여 배터리의 전류변화를 최소화하여 전지의 전압강하량을 최소화 하여 일반전지와와의 전압 강하량을 측정하였다. 전지는 실험의 결과를 보다 명확하게 하기 위하여 전압강하량이 비교적 크면서 큰 전압을 낼 수 있도록 리튬 이온 전지 2개를 직렬로 연결하여 사용하였다. 실험회로에서 부하저항(그림 4(b) R3)은 0 ~ 1 kΩ의 가변저항을 사용하였다. 전지의 전류 변화는 부하저항을 0 ~ 1 kΩ까지의 변화를 1 Hz로 2분 동안 변화를 시켜 전지의 전류 변화에 대한 전압 강하량 실험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정전류 회로(7805, 2n3904)의 Pspice simulation 결과

이차 전지 시스템에서의 정전류 simulation을 검증을 통하여 실제 회로에서 나타날 수 있는 정전류 현상을 분석하였다. 그림 5은 정전류 회로의 simulation 결과값이다. 일반적인 회로에서는 공급 전압이 일정할 때, 저항과 전류는 반비례하여 저항이 감소하면 전류는 증가하는 것이 기본적인 회로의 원리이다. 그러나, 그림 5에서 볼 수 있듯이 정전압기인 model 7805를 사용했을 경우 300 Ω에서 100 Ω까지 에서는 일정하게 16 mA정도로 정전류 되어 과전류가 방지됨을 확인할 수 있었다. 이 회로에 슈퍼 커패시터를 장착할 경우 충전되어 있던 커패시터의 전류가 빠져나가기 됨을 예상할 수 있다. 또한, 300 Ω~1000 Ω에서는 정상적인 전류와 저항의 반비례관계가 나타남을 확인하였다. 양극접합트랜지스터 model 2n3904를 이용한 결과에서도 저항이 작아짐에도 전류 값이 7.2 mA에서 더 이상 감소 않아 정전류되어 과전류가 방지 된다는 것을 확인하였다.

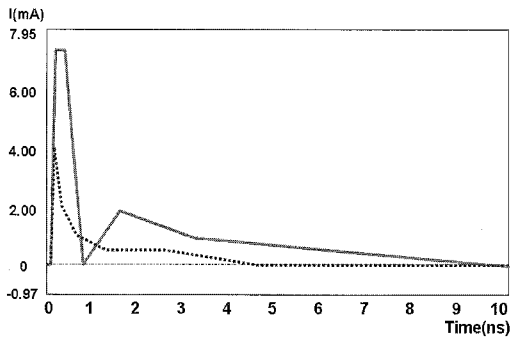
그림 6은 정전압기(model 7805) 와 양극접합트랜지스터(model 2n3904)를 이용하여 설계한 두 정전류 회로에 슈퍼커패시터를 병렬로 연결하여 커패시터 상부의 방전시 나타나나 simulation 전류값을 보여 주고 있다. 측정 결과, 시간에 따라 전류의 값이 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며, 기울기가 지수 함수꼴로 나타나고 있다. 결과적으로, 지수함수 그래프의 적분값에 해당하는 전류치만큼 과전류시 부하에 전류가 공급되는 것을 예상할 수 있다.



--- 7805를 이용한 정전류 회로에서 정전류 시뮬레이션
 2N3904를 이용한 정전류 회로에서 정전류 시뮬레이션

그림 5. 7805(A), 2n3904(B)를 이용한 정전류 회로의 simulation 결과.

Fig. 5. Simulation in a electric current regulating circuit using 2n3904.



— 7805를 이용한 정전류 회로에서 캐패시터에 흐르는 전류 시뮬레이션
 2N3904를 이용한 정전류 회로에서 캐패시터에 흐르는 전류 시뮬레이션

그림 6. 슈퍼커패시터를 장착한 회로의 전류 simulation 결과.

Fig. 6. Simulation in a electric current in a super capacitor.

3.2 이차 전지의 효율 개선 실험 결과

그림 7은 이차 전지에서 정전류 실험을 통해 얻어진 저항변화에 따른 전류치를 나타내고 있다. 측정 결과 저항이 감소함에 따라 전류치가 일정한 것을 볼 수 있었으며, 결과적으로 저항이 변할지라도 정전류 현상이 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 simulation 결과와 일치하는 것을 보여 주고 있다. 일반 전지와 이차 전지의 전압 강하 비교 실험은 그림 4(a)의 회로를 통해 실험을 하였다. 일반 전지에는 슈퍼커패시터를 제외한 정전류기를 장착하여 출력전류를 맞추어 실험의 결과값을 명

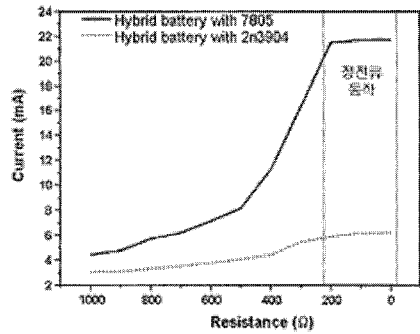
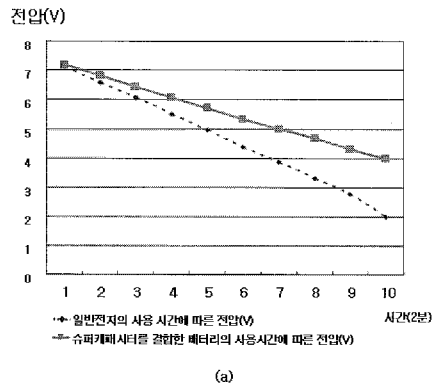
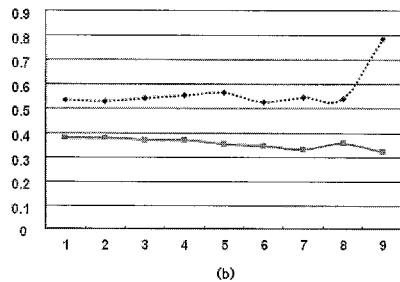


그림 7. 이차전지 회로에서의 전류값.

Fig. 7. Electric current in hybrid battery.



(a)



(b)

--- 일반전지의 전압강하량(V)
 슈퍼커패시터를 결함한 배터리의 전압강하량(V)

그림 8. 일반전지와 하이브리드 전지의 전류변화에 대한 (a) 전지전압과 (b) 전지전압강하량.

Fig. 8. (a) Voltage and (b) voltage drop of normal battery for current variation.

확하게 하였다. 그림 8은 일반 이차 전지와 하이브리드 전지의 전압강하량에 대하여 나타내고 있다. 그 결과 슈퍼커패시터를 장착한 전지의 전압강하량이 슈퍼커패시터를 장착하지 않은 이차 전지의 전압강하량 대비 62 % 향상된 결과를 보여 주고 있다. 일반적으로, 일반 전지가 약 1시간 이상을

사용함을 생각해 보면 많은 전압강하량을 줄일 수 있어 전지의 효율개선에 많은 도움을 주는 것으로 나타났다. 실험은 두 실험이 같은 조건을 유지하도록 약 6 mA~20 mA 정도의 전류값에서 실험을 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 슈퍼 커패시터를 결합한 이차 전지의 효율 개선을 분석하기 위하여 Pspice simulation 프로그램을 이용하여 회로를 설계하였으며, 이에 따른 실제 회로도틀 제작하여 simulation결과와 비교 분석 하였다.

슈퍼커패시터를 결합한 이차 전지의 단위시간당 전압 강하비율은 일반 이차전지 대비 62 %의 향상된 효율을 나타냄을 분석 결과 알 수 있었다. 일반 전지의 사용시간을 고려하였을 때, 본 연구에서 보여 주고 있는 결과는 미래의 이차 전지 시스템 설계에 많은 도움을 줄 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] S. Goodfellow and D. Weiss, "Designing Power Systems Around Processor Specifications", Electronic Design, p. 53, 1997.

[2] J.-H. Cho, "Improving the Efficiency for Battery-operated Equipment's Power System Using The Synchronous Rectifier Buck Converter", Masters's paper in Electrical Engineering Graduate school of Konkuk University, 2004.

[3] B. Arbetter, R. Erickson, and D. Maksimovic, "DC-DC Converter Design for Battery-operated Systems", IEEE APEC, p. 103, 1995.

[4] J. A. Cobos, J. Sebastian, J. Uceda, E. de la Cruz, and J. M. Gras, "Study of the Applicability of Synchronous Rectifier to Resonant Topologies", IEEE PESC, p. 933, 1992.

[5] S. Goodfellow and D. Weiss, "Designing Power Systems Around Processor Specifications", Electronic design, p. 53, 1997.

[6] H.-S. Hwang, J.-H. Nam, J.-H. Choi, D.-G. Jang, and M.-K. Park, "Design of Voltage Equalizer of Li-ion Battery Pack", 2003 전력 전자학술대회, p. 187, 2003.

[7] 이선영, 김익준, 문성인, 김현수, "Hybrid capacitor의 전기화학적 특성 및 hybrid capacitor /Li-ion battery의 펄스 방전 특성", 전기전자 재료학회논문지, 18권, 12호, p. 1133, 2005.