

이중 배터리를 적용한 E-bike 모터 구동용 스마트 휠 전력 회로 모듈

오승재, 강경수, 양태철, 정구영, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Smart Wheel Power Circuit Module for E-bike motor drive with dual battery

Seung Jae Oh, Kyung Soo Kang, Tae cheol Yang, Ku young Jeong, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 전기자전거의 경우에 사용되는 일반 배터리팩 방식에 비해 이중 배터리 팩 (Li ion Battery + Super Capacitor)의 방식이 동등 주행 성능 및 지속 시간 조건에서 무게 및 원가 저감이 가능하다. 또한 기존 승압형 Converter인 Boost Converter는 이중 배터리를 이용시 큰 inrush 전류를 발생시키고 이 전류로 인해 소자 파손에 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 입력 전압을 Li ion Battery로, 출력 전압에 Super Capacitor를 연결하는 이중 배터리로 구성되고 기존 Boost converter 입력단에 Mosfet과 Diode를 추가하여 inrush 전류가 발생하지 않게 한다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적 특성을 분석하고 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 자동차 중심 교통문화로 인하여 대기 오염, 교통 혼잡, 고 에너지, 탄소배출 증가 등 여러 가지 환경 문제를 해결하기 위해 사회,경제적 비용이 급증하고 있고 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있고 특히 친환경적이며 주행 편의성이 높은 E bike(Electric bike)에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 기존 전기자전거의 판매가가 전기자전거 대중화에 대한 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 따라서 일반자전거의 뒷바퀴만을 교체하여 전기자전거로 전환이 가능한 스마트 Wheel에 대한 개발을 진행하였고, 이는 기존 일체형 휠 대비 가격 경쟁력과 성능이 우수하다. 모터 기동 시 필요한 큰 전류는 배터리의 수명을 저하시키고 손상을 초래하기 때문에 이를 보충하기 위해서 boost 컨버터 출력단에 Super Capacitor를 연결하는데 이는 큰 inrush 전류가 발생하고 되고 이를 방지하기 위해 Boost converter 입력단에 Mosfet과 Diode를 추가하여 inrush 전류가 발생하지 않게 해 배터리의 수명저하와 손상을 막을 수 있다. 또한 입력 전류 제어를 통해 모터구동을 위한 Super Cap 충전 전류를 제어하고 충전된 에너지를 통해 모터를 구동하게 된다.

2. 제안된 E-bike용 non-inverting buck/boost

그림 1은 E bike용 스마트 Wheel을 구동시키기 위한 Super Capacitor 충전 회로이다. 제안회로의 입력전압은 $V_{battery}$ 이고, 출력전압은 V_{super} 이고 super capacitor에

충전된 전압이 인버터의 입력전압으로 모터를 구동시킨다. Super Capacitor는 모터 기동 시 필요한 순간 큰 전류를 입력에 위치한 배터리 대신 보충한다. 이는 기존에 비해 배터리의 전류 부담을 줄여 주는 역할을 하게 된다.

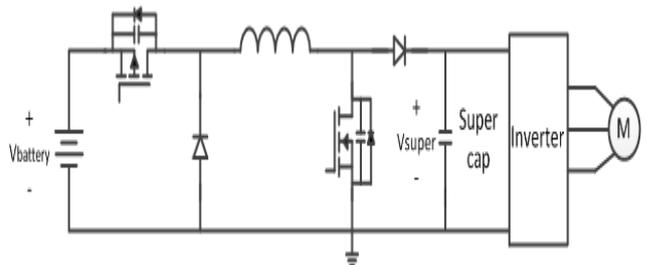


그림 1. 제안된 E-bike용 non-inverting buck/boost converter

2.1 제안된 E-bike용 non-inverting buck/boost converter 모드 설명

그림 2는 Switch on/off시에 따른 전류 도통 경로를 보이고 있다. 두 개의 Switch는 같은 Duty를 갖고 sync를 맞춰 on/off를 하게 된다. 2 (a)는 두 개의 스위치가 ON이 되었을 경우의 전류 흐름을 나타낸 그림이고 입력 Battery, 인덕터, 두 개의 스위치를 통해 인덕터에 에너지를 build up 구간이고 2 (b)는 두 개의 스위치가 OFF 되었을 경우의 전류 흐름을 나타낸 그림이고 인덕터, 두 개의 다이오드를 통한 에너지 powering 구간이다. 입출력 관계식은 기존 buck/boost 컨버터와 동일하다.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

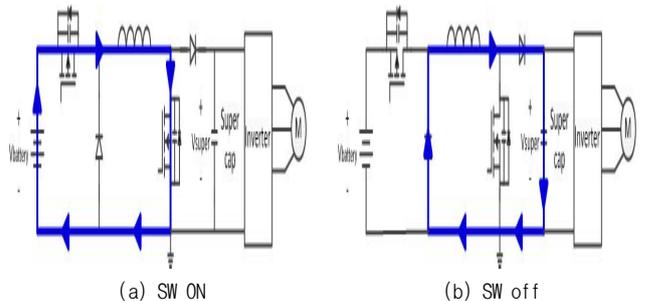


그림 2. 제안 회로 스위치 on/off에 따른 전류 흐름

2.2 순시 전력 변경을 위한 가변 boosting 회로

그림 3은 순시 전력 변경을 위한 가변 boosting 회로를 나타내었다. Microm에서 전달받은 디지털 값(PWM)을 RC필터를 통해 아날로그 전압 값으로 변환해준 값이 V_{con} 전압이다. 제안된 non inverting buck/boost회로에서 얻은 출력 전압 값이 V_o 이고 non inverting buck/boost회로 구동을 위한 PWM IC의 ref 전압이 V_{ref} 전압이다. E/A의 negative feedback에서 증점의 원리를 통해 (1)의 식을 얻을 수 있다. (1)의 식을 통해 만약 Microm의 PWM이 들어와 RC필터를 통한 V_{con} 전압이 0V일 경우 V_o 가 최대 출력을 얻을 수 있고 반대로 V_{con} 이 5V일 경우 V_o 가 최소 출력을 얻을 수 있다.

$$V_{ref} = \frac{R2//R3}{R1+R2//R3} * V_o + \frac{R1//R2}{R1//R2+R3} * V_{con} \quad (1)$$

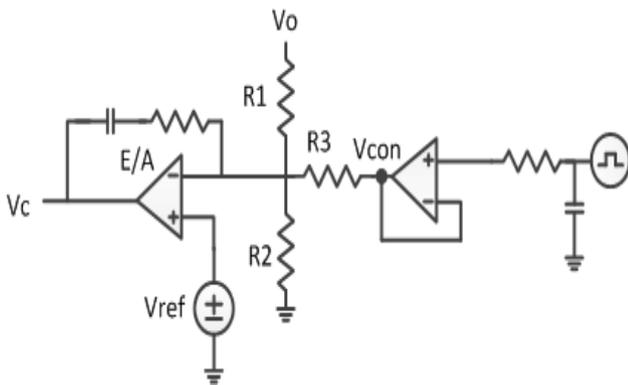


그림 3. 가변 boosting을 위한 회로

2.3 Super-capacitor 충전 전류 설정을 위한 입력 전류 제한 회로

그림 4는 전류 제어를 위한 IC인 INA168의 내부 회로도이다. buck/boost 회로에 흐르는 전류 I_s 는 shunt resistor인 R_s 를 통해 입력 전원 V_{in} 에서 얻을 수 있다. R_s 에 걸리는 전압은 내부 op amp와 5k의 저항에 영향을 받게 되고 BJT의 컬렉터로 전류가 흐르게 한다. 출력 전류인 I_o 의 식은 (2)와 같이 나타낼 수 있고 여기서 gm값인 트랜스 컨덕턴스 값은 5k저항의 역수 값이 된다. 따라서 최종 출력 전압이 V_o 값은 (3)의 식과 같이 나타낼 수 있다. 이 전압을 통해 PWM IC의 E/A에 입력으로 하여 전류를 제어할 수 있다.

$$I_o = gm(V_{in+} - V_{in-}) \quad (2)$$

$$V_o = I_s * R_s * R_L / 5k\Omega \quad (3)$$

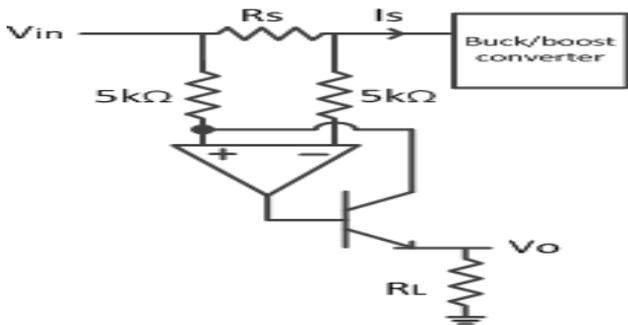


그림 4. 입력 전류 제한 회로

2.4 스마트 휠 내부 구조 및 설계

그림 5는 스마트 휠의 내부 구조이다. 일반자전거의 뒷바퀴만을 교체하여 전기자전거로 전환이 가능하게끔 한다. 그림에서도 나와 있듯이 바퀴내부에 Super capacitor와 전력회로 모듈을 같이 내장 시킨 모습이고 입력 배터리인 Li ion Battery는 이용자가 직접 바퀴에 연동을 시켜 Super capacitor를 충전하게 되고 충전된 전압을 통해 모터를 구동시키게 된다.

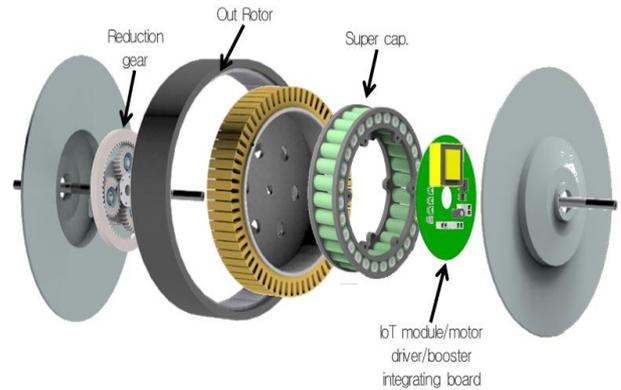


그림 5. 스마트 Wheel 내부 구조

3. 모의실험 및 실험 결과

본 논문에서는 제안된 non inverting buck/boost 컨버터의 우수성을 검증하기 위해 Psim Simulation Tool을 이용하여 모의실험을 진행하였다. simulation을 위한 입출력 사양과 주요 파라미터의 값은 다음 표1과 같다.

실험 조건			
Input Voltage	16V	Switching Frequency	50kHz
Input Current Limit	6A	Output Voltage	40V
Control IC	TL494	Inductance	40uH

표 1. non-inverting buck/boost 컨버터 실험 조건

그림 6은 non inverting buck/boost의 모의실험 회로도 및 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 실제 실험조건과는 다르게 Super capacitor의 용량을 다르게 실험하였고 Super cap이 충전되는 경향을 확인 할 수 있다. Super capacitor 충전을 위해 CC/CV제어를 통해 충전을 진행하였고, 초반 INA168을 사용한 CC제어를 통해 충전을 하고 전압이 설정한 값에 도달했을 경우에 CV제어를 통해 전압 안정화를 하게 된다.

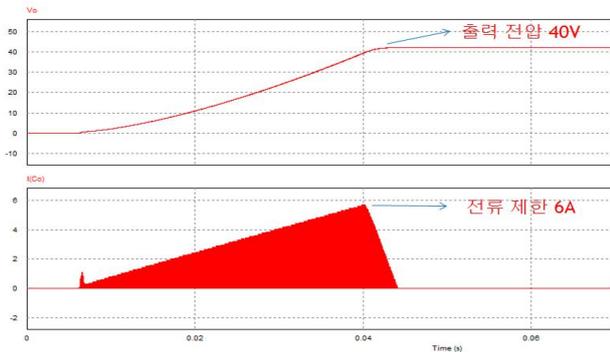
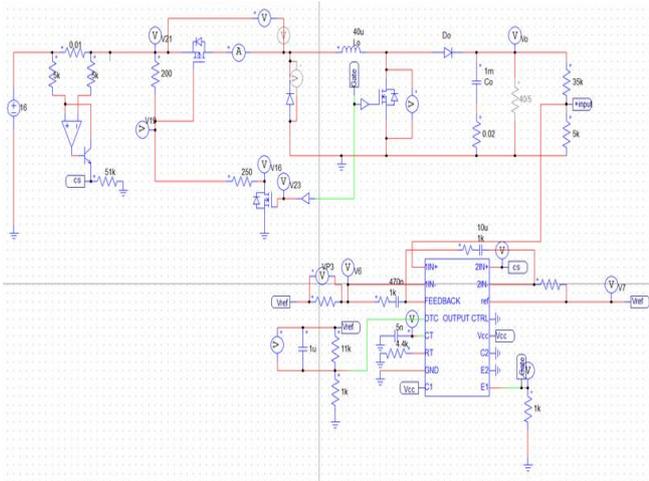


그림 6. 제안 회로의 모의실험 회로도 및 주요 파형

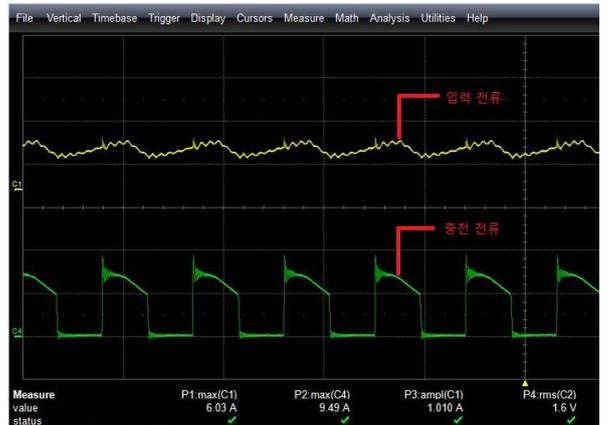


그림 8. 제안 회로의 주요 파형

3.1 실제 실험 결과

모의 실험에서 사용한 실험 조건은 표1로 동일하고 Super Cap의 용량은 380F의 Super cap 14S로 실험을 진행하였으므로 용량은 380/14F이 된다. 그림 7은 실제 non inverting buck/boost의 PBA이고 그림 8은 제안 회로로 실제 Super capacitor를 연동시켜 확인한 파형이다. 그림 8의 첫 번째 파형은 입력 배터리를 연결 했을 시 전류가 설정한 값만큼 제한이 되는 것을 확인 할 수 있는 파형이고 두 번째 파형은 각각 입력전류 파형과 Super capacitor로 충전이 되는 전류 값 을 나타낸다.



그림 7. 제안 회로도 PBA

4. 결론

기존의 Boost Converter는 배터리를 연결시 큰 inrush 전류를 발생시킨다. 그러므로 inrush 전류를 방지하기 위해 본 논문에서는 non inverting buck/boost 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 입력 전류를 제한하여 Super capacitor 충전 전류를 제어 할 수 있고, 이중 배터리팩을 포함하여 입력 배터리가 모터 구동시 필요한 전류를 충전된 Super cap에서 도와주므로 배터리의 수명저하와 손상을 막을 수 있다. 또한 모의 실험 및 실제 실험을 통해서 제안 회로의 유용성과 우수성을 확인 및 검증하였다. 최종적으로 제안된 회로는 E bike용 모터 외에도 모터가 필요한 다양한 제품에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

이 논문은 2018년 중소기업기술정보진흥원의 산학협력 기술개발사업연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 공성재, 양태철, 강경수, 노정욱 “자가발전 이동 카트 시스템을 위한 배터리 캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터”, 전력전자학회 전력전자 학술대회 논문집, 2017 7, 130 131 (2 pges)
- [2] 김다솜, 공성재, 유혜미, 강경수, 노정욱 “E bike 적용 배터리의 수명 연장을 위한, 배터리 전류 제한 제어 기법”, 전력전자학회 전력전자 학술대회 논문집, 2016. 7, 339 340 (2 pages)