

전기자전거 응용을 위한 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터

김다솜, 김상연, 임동빈, 강경수, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Boost Converter Embedded Battery Charging Function for Application of Electric Bicycle

Dasom Kim, Sangyeon Kim, Dongbin Lim, Kyung Soo Kang, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 전기 자전거는 상용전원을 통한 배터리 충전을 위하여 외장형 아답터를 사용하는데, 이는 부피가 커서 사용자가 휴대하기에 불편하다. 또한 모터 기동 시 부스트 입력에서 출력되는 전류가 크므로 배터리의 수명 저하를 불러일으킨다는 단점이 있다. 본 논문은 모터 구동 출력 단을 이중배터리로 사용하여 초기 큰 전류로 인한 배터리의 부담을 줄이는 방안을 제안하고, 아답터가 불필요하면서 안전 규격을 만족하는 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 회로를 제안한다. 이를 이론적, 실험적 분석을 통해 그 가능성을 검증한다.

1. 서 론

최근 세계적으로 녹색산업에 관심이 집중되고 있어 친환경 이동 수단이며, 주행 편의성이 높고, 경제적인 전기자전거가 각광받고 있다. 그러나 전기 자전거의 활발한 보급을 위해서는 극복해야 할 문제가 있다. 전기 자전거는 충전, 방전 모드로 나누어진다. 충전 시 안전 규격 만족을 위하여 상용전원을 사용하는 충전은 외장형 아답터가 필수적인데 이것은 부피가 크고 휴대가 불편하다는 문제가 있다. 방전 시 모터는 기동 순간 최대 전류에 따라서 방전 전류를 높게 설정해야 하는데 이는 배터리 전압이 높아지고 빠른 수명 저하를 일으킨다. 본 논문에서는 One board에 충전, 방전 기능을 통합하면서 기능적 손실이 없는 회로를 제안한다. 절연형 충전 방식으로 1차 측 스위치로 주 배터리와 이중 배터리를 충전하며 이중배터리는 기동 시 전류를 보충해주는 역할을 한다. 모터 구동은 2차 측 회로에 스위치와 다이오드를 추가하여 부스트 동작을 한다. 이는 별도의 외장형 아답터를 없애서 무게를 줄여 휴대가 편리하고, 배터리의 신기술에 의존하지 않는 경제적인 개인용 이동수단 개발이 가능해질 것으로 보인다.

2. 제안 충전 기능 내장형 부스트 컨버터

그림1은 제안 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터를 나타낸다. 상용전원에 연결하여 배터리와 이중 배터리를 충전하는 모드(flyback), 모터 구동 모드(boost)로 동작한다. 모터 구동 시 자전거의 throttle 전압으로 출력 전압(Vlink)을 변화하고 모터의 동작 상태를 결정한다.

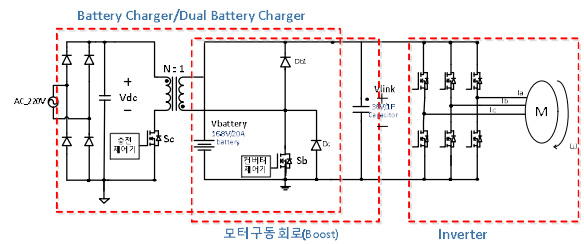


그림 1 제안 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터

2.1 배터리 충전(Flyback) 모드

배터리 충전 시, AC 입력전압이 풀 브릿지 회로와 DC link 캐패시터를 지나 평활된 전압을 입력전압(Vdc)으로 한다. CCCV (Constant Current Constant Voltage)모드로 동작하여 배터리를 16.8V로 충전한다. 초기 충전 전압에 도달할 때까지 3.5A의 정 전류로 Vbattery를 16.8V로 상승시키도록 CC 모드로 동작하고, 16.8V에 도달하면 정 전압 제어를 통하여 Vbattery 전압을 유지하는 CV 모드로 동작한다. 이때 배터리로 유입되는 전류는 약 0A가 된다. 이중 배터리(Vlink)의 경우 1차 측 스위치(M1) on 시 충전된다.

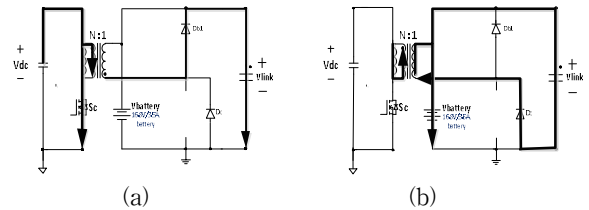


그림 2 배터리 충전회로 스위치(Sc) on/off 동작 시

그림 2의 (a),(b)는 충전 회로의 on/off 동작을 나타내며 이때 1차 측 스위치(Sc)가 주 스위치로 동작한다. 스위치(M1) on 시, 1차 측 인덕터에 에너지를 저장하는 구간으로 2차 측 Dc 다이오드는 off, 이중 배터리는 Db 다이오드가 on되어 2차 측 트랜스 입력에 걸리는 전압(Vdc/n)과 Vbattery 합 만큼 충전된다. 스위치(M1) off 시, 인덕터 에너지 방출하는 구간으로 Dc 다이오드가 on하여 1차 측에서 넘어온 에너지로 Vbattery를 충전한다. 이때 Db 다이오드는 off된다. (1),(2)에 입출력 관계식을 보인다.

$$\frac{V_{battery}}{V_{dc}} = D \sqrt{\frac{R_o T_s}{2L_m}} \quad (1)$$

$$V_{link} = \frac{V_{dc}}{N} + V_{battery} \quad (2)$$

2.2 모터 구동(Boost) 모드

제한한 모터 구동 회로(boost)의 입력은 충전 회로의 출력인 Vbattery이고 출력은 이중배터리 단인 Vlink이다. 회로는 Vbattery 16.8V와 Vlink 30V로 약 1.8배의 승압이 가능한 컨버터이다. 주행 시에는 낮은 배터리 전압을 고전압 인버터 입력 전압으로 전력 변환하고 Vlink 단에 큰 용량의 캐패시터 사용으로 초기 기동 시 기동 시 높은 전류를 보충해주며 역기전력에 의한 출력 단에서 입력 단으로의 전류 유입을 막는다. 출력 전압 모터의 속도 정보를 가지고 있는 throttle 전압 값을 가져와 출력 전압을 16V에서 30V로 가변제어를 한다. 모터 구동(boost)회로는 2차 측 스위치(Sb)가 on과 off시로 나눌 수 있다.

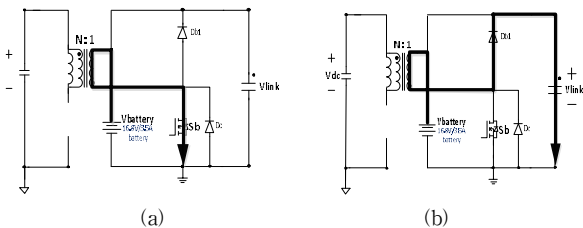


그림 4 모터 구동(boost)회로 스위치(Sb) on/off 동작 시

그림 4의 (a),(b)는 각각 Sb가 on/off시 경로를 나타낸다. Sb가 on이 되면 Vbattery (입력 전압) 인덕터(2차측) Sb의 경로로 동작하며 이것은 인덕터의 에너지 생성 구간이다. Sb가 off시, Vbattery 인덕터(2차측) Db1 Vlink 경로로 인덕터의 에너지를 방출하는 구간이다. 인덕터의 에너지 생성, 방출을 통하여 입출력 관계식을 (3)에 나타내었다.

$$\frac{V_{link}}{V_{battery}} = \frac{1}{1-D} \quad (3)$$

3. 모의실험 및 실험 결과

본 논문에서는 제안된 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 통합형 회로를 검증하기 위해 60W 급 충전, 200W 급 모터 구동 회로의 시작품을 제작하여 실험하였다. 실험 조건은 다음 표1과 같다.

표 1. 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 실험 조건

Flyback converter 동작(충전)		Boost converter 동작(방전)	
Input voltage	220Vac	Input voltage	16.8Vdc
Output power	60W	Output power	200W
Output voltage	16.8V	Output voltage	30V
inductor	1.2mH	inductor	10uH
Switching frequency	65kHz	Switching frequency	100kHz

그림 5 a는 220Vac 상용 전원을 입력으로 하여 16.8V 배터리 전압을 3.5A의 전류로 충전하고 47.68V로 충전되는 이중배터리 단 실험결과 파형을 나타낸다. 전기용품 안전인증에 맞추기 위하여 70W 미만, 50V 미만으로 설계하였다.

그림 5 b는 200W 급 모터 구동 시 실험 파형을 나타내었다. 모터의 속도는 속도 정보를 가지고 있는 Vthrottle 전압 제

어를 통하여 Vlink 전압을 가변함으로써 변화시켰다. Vthrottle은 최저 속도(16.8V)시 0.9V, 최대 속도(30V)시 4.2V의 출력을 낸다. 그림5 b는 최대 속도 일 때의 파형을 나타 낸 것이다.

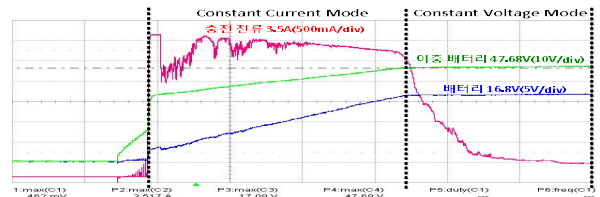


그림 5-a. 충전 모드 시, 충전 전류, 배터리(Vbattery)와 이중 배터리(Vlink) 실험 파형

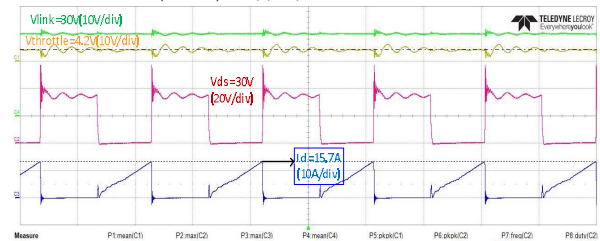


그림 5-b. 모터 구동 시, 출력 전압(Vlink), 제어 전압 (Vthrottle), 스위치 양단 전압(Vds), 다이오드 전류(id) 실험 파형

그림 5. 60W 급 충전, 200W 급 모터 구동 회로 실험 파형



그림 6. 충전, 모터 구동 통합형 회로 보드

그림 6은 별도의 외장형 아답터를 필요로 하지 않는 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 통합형 회로 보드이다. 충전, 모터 구동 단 제어를 위하여 PWM IC인 FSL176MRT와 TL494를 사용하였다.

4. 결론

본 논문에서는 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 회로를 제안하였다. 200W 급 시작품을 통하여 충전 기능 내장형이라는 점에서 별도의 외장형 아답터를 필요로 하지 않고 안전규격에 맞추면서 경량화와 휴대성 용이를 검증하였다. 또한 모터 구동 시 부스트 컨버터와 이중 배터리 추가로 배터리의 기능 저하 문제를 해결 할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

이 논문은 2014년 중소기업 진흥 공단의 자전거 해양 레저 장비 기술 개발 지원 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 박소영, 강경수, 노정욱 “충전 기능 내장형 모터 구동 회로”, 전력전자학회 2014년도 하계학술대회 논문집, 2014. 7, 425-426 (2 pages)
- [2] 김병석, 김상연, 강경수, 노정욱 “단상 AC Line 호환형 대용량 전원 장치 구현 방안”, 전력전자학회 2013년도 전력전자학술대회 논문집, 2013. 7, 339-340 (2 pages)