

E-bike 적용 배터리의 수명 연장을 위한, 배터리 전류 제한 제어 기법

김다솜, 공성재, 유혜미, 강경수, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Battery Current Limit Control Technique for Life Extension of E-bike's Battery

Da Som. Kim, Sung Jae. Kong, Hye Mi. Yoo, Kyung Soo. Kang, CHUNG WOOK. ROH
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 E-bike 구동을 위한 Boost 컨버터의 배터리 전류 제한 기법에 관해 제안한다. Boost 컨버터를 E-bike에 적용할 경우, 기동 시 큰 전류를 보충하기 위해 출력단에 Super Capacitor가 사용된다. 이로 인해 생기는 입력단의 Inrush 전류는 회로 구성 소자의 파손 문제를 발생시킬 수 있다. 그 뿐만 아니라, 배터리 입장에서의 Inrush 전류 및 모터 기동 시 순간의 큰 전류는 자체적 손상 및 수명 저하 문제를 야기한다.

상기 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 E-bike 적용 배터리의 수명 연장을 위한, 배터리 전류 제한 제어 기법을 제안한다. 컨버터 입력 전류인 배터리 전류를 제한함으로써, 큰 전류에 의한 소자 파손 및 배터리의 안정성 문제를 해결하였으며, 이를 통해 배터리의 수명을 연장이 가능하였다. 이를 모의 실험 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 친환경 열풍에 힘입어 앞으로의 전기자전거(E-bike) 시장은 더욱 커질 것으로 보이며, 그에 따른 E-bike 구동을 위한 배터리 팩에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 맞추어 배터리 팩의 부피와 무게 및 원가 저감을 가능하게 하는 연구 중에서, 배터리를 입력으로 한 Boost 컨버터 출력단을 모터 구동에 사용하여 E-bike를 동작시키는 방안이 있다. 하지만 이는 큰 배터리 전류로 인해 회로 소자와 배터리의 손상과 배터리 수명저하라는 큰 문제를 야기한다.

이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 E-bike 적용 배터리의 수명 연장을 위한, 배터리 전류 제한 제어 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 배터리 전류를 필요한 만큼 제한하는 것이다. 이는 배터리 전류의 평균치를 받아와 제한하는 전류와 비교하고 그에 따른 컨버터 동작 시비율(Duty)을 제한하여 가능하다. 이는 초기 inrush 전류가 제한한 만큼 흐르고, 기동 시에도 제한한 전류까지 흘러 배터리와 소자의 파손 없는 모터 구동을 가능하게 한다. 따라서 제안 제어 기법은 배터리의 안정성을 높여 기존 부스트 컨버터 입력 단 배터리보다 수명이 연장된 E-bike 배터리 팩 개발이 가능해질 것으로 보인다.^[1]

2. 입력 전류 제한 제어 기법

2.1절 제안 기술 설명

모터 구동을 위한 Boost 컨버터는 큰 전력으로 동작하기 위해 CCM(Continuous Conduction Mode)으로 설계하고, 입력 전압과 출력 전압은 식(1)과 같다. 에너지 보존의 법칙에 의하여 출력 전류와 입력전류의 관계식 또한 식(1)에서 알 수 있으며, 이에 따라 입력 전류 제한은 출력 전류 제한으로도 가능함을 알 수 있다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{I_i}{I_o} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

입력 전류 제한은 PWM(Pulse Width Modulation) IC 내부의 OP-amp를 사용하고, OP-amp 증폭 원리 중에서 차동 증폭기(Differential amplifier)를 사용하여 가능하다.

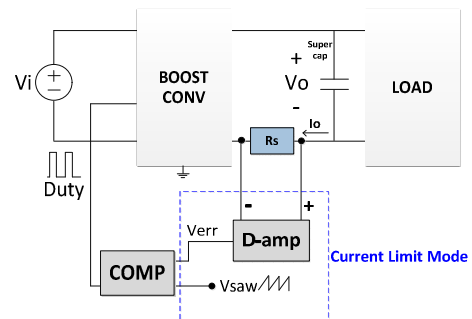


그림 1. 입력 전류 제한 제어 블록도

그림 1은 부스트 컨버터와 PWM IC를 이용한 입력 전류 제한 블록도이다. 출력 전류를 sensing 받아 차동 증폭기를 통해 증폭한 값(V_C)과 sawtooth 파형 (V_{saw})을 비교하여 입력 전류 제한 값만큼 duty를 제한한다. 그림 2는 차동증폭기 회로이다. 출력 전류를 sensing 받은 값($I_o R_s$)을 R_1, R_2 의 비로 증폭한 OP-amp 출력 값(V_C)는 식(2)에 나타난다. 그림 3은 PWM IC 내부에 있는 duty 조절을 위한 sawtooth와 V_C 레벨 비교 파형을 나타낸다. 비교를 통한 V_C 값은 식(3),(4)와 같다.

식 (2)와 식 (4)의 V_C 값이 같다고 두면, $\frac{R_2}{R_1}$ 값을 식(5)를 통해 도출해 낼 수 있다. 이때 R_2 를 일정한 상수로 두면, R_1 값은 식(6)과 같다. 따라서 입력 전류 제한 값(I_{limit})은 R_1 값 조절을 통하여 변경 가능하다.^[2]

$$V_c = \frac{R_2}{R_1} \cdot (I_o R_s) \quad (2)$$

$$(1-D) : V_c - 0.7V = 1 : V_{saw} \quad (3)$$

$$V_c = \frac{I_o}{I_{i,limit}} V_{saw} + 0.7V \quad (4)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{I_{i,limit} \cdot R_s} V_{saw} + \frac{0.7}{1-D} \quad (5)$$

$$R_1 = R_2 I_{i,limit} R_s \frac{1-D}{(1-D) V_{saw} + 0.7V} \quad (6)$$

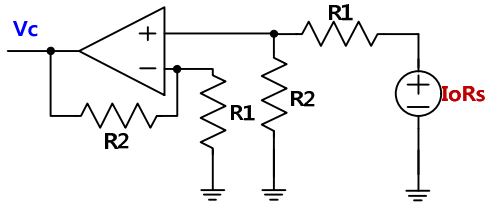


그림 2. 입력 전류 제한을 위한 차동 증폭기 회로도

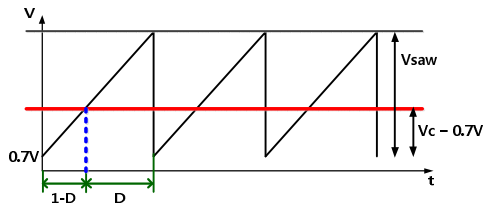


그림 3. duty 조절을 위한 V_{saw} 와 V_c 레벨 비교 파형

3. 전류 제한 실험 결과

본 논문에서는 부스트 컨버터의 입력 전류 제한 제어를 검증하기 위해 240W급 회로의 시작품을 제작하여 실험하였다. 실험 조건은 다음 표1과 같다.

표 1 부스트 컨버터 입력 전류 제한 제어 실험 조건

Boost converter 실험 조건			
Input Voltage	16.8V	Switching Frequency	100kHz
Input Current Limit	14A	Inductance(L)	10uH
Output Voltage	41V	Output Capacitor	0.6F/43V (super cap)
Output Power	240W	Control Method	PWM control

그림 4는 출력단에 0.6F super capacitor를 단 240W급 Boost 컨버터의 입력 전류를 제한한 파형이다. Light Load 인 120W, 170W에서는 출력 전압을 41V로 제어하며, 입력 전류는 그 부하에 맞는 7.1A, 10.5A 결과를 보인다. Heavy Load 인 250W, 280W에서는 입력 전류는 제한이 되고, 출력 전압은 입력 전류 duty가 제한되는 만큼 점점 감소하는 결과를 보인다. 그림 5는 50W급 모터 구동을 Load로 구현하여 실험한 파형이다. 초기 16.8V인 출력 캡을 정상 상태 41V로 승압할 때 입력 전류는 14A 제한한 만큼 흐르고, 정상 상태에서는 50W 급 전류인 약 2.98A로 입력 전류 제한 제어가 가능함을 볼

수 있다.

그림 6은 Boost 컨버터와 입력 전류 제한 제어 단 PBA(Printed Board Assembly)와 출력단에 연결되는 10F/2.7V super capacitor를 직렬 연결한 0.6F/43V super capacitor이다.

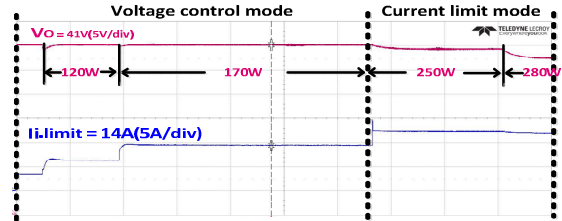


그림 4. 시제품 부스트 컨버터와 0.6F super capacitor를 이용한 전류 제한 제어 실험 파형

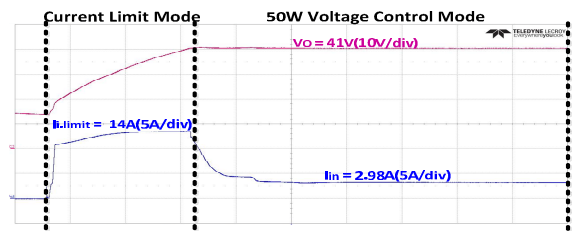
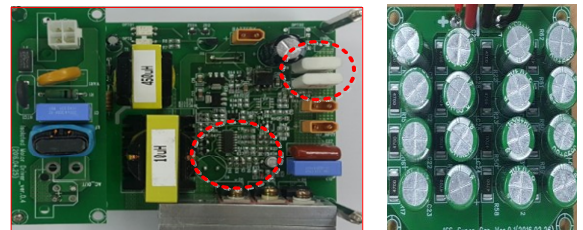


그림 5. 50W 모터 기동 시를 구현한 입력 전류 제한 파형



6-a 시제품 Boost 컨버터 PBA

6-b 0.6F/43V 출력 캡

그림 6. 시제품 Boost 컨버터 PBA와 0.6F super capacitor

4. 결론

본 논문에서는 E-bike 적용 배터리의 수명 연장을 위한, 배터리 전류 제한 제어 기법을 제안하였다. 240W 급 Boost 컨버터 시제품 실험을 통하여 배터리 전류 제한을 확인하였다. 전류 제한은 큰 전류로 인한 소자와 배터리 파손을 방지하며, 배터리의 안정성을 높일 수 있음을 확인하였다.

이 논문은 2014년 중소기업 진흥 공단의 자전거 해양 레저 장비 기술 개발 지원 사업 연구비 지원과 산업통상자원부의 글로벌 전문 기술 개발 사업 지원비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 김다솜, 김상연, 임동빈, 강경수, 노정욱 "전기자전거 응용을 위한 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터", 전력전자학회 논문지 제 21권 제 2호, 2016. 4, 175-181(7 pages)
- [2] Designing Switching Voltage Regulators with TL494 application report@1998, Texas Instruments Incorporated