

낮은 전압의 Super Capacitor String 사용이 가능한 EV용 Modified Boost Converter

공성재, 김다솜, 김세민, 강경수, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Modified Boost Converter for EV Using Low Voltage Super Capacitor String

Sung Jae Kong, Dasom Kim, Semin Kim, Kyung-Soo Kang, Chung-Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 EV용 모터구동 Boost Converter의 경우, 모터 기동 시 필요한 순간적인 큰 전류를 배터리에서 공급하기 때문에 배터리의 수명이 감소되는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 출력단에 Super Cap. String을 사용하여 순간적으로 필요한 큰 전류를 공급하였다. 하지만 Super Cap. String은 높은 전압을 견뎌야 하기 때문에 회로의 전체적인 부피가 커지고 원가를 증가시키는 문제점이 있다. 본 논문에서는 낮은 전압의 Super Cap. String을 사용 할 수 있는 Modified Boost Converter를 제안한다. 제안 회로는 Super Cap. String을 사용하여 배터리의 효율을 극대화 시킬 수 있으며, Super Cap. String의 직렬 연결 개수 감소로 회로의 소형화 및 원가 저감이 가능하다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적 특성을 분석하고 모의실험을 통해 제안회로의 우수성을 검증하였다.

1. 서론

최근 석유, 천연가스과 같은 화석 연료를 사용하여 발생하는 에너지 고갈 및 환경 문제를 해결하기 위해 세계적으로 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 대부분의 교통수단은 화석 연료를 동력원으로 사용하기 때문에, 친환경적이며 주행 편의성이 높은 EV(Electric Vehicle)에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 하지만 EV의 모터는 기동 시 순간적으로 큰 전류가 필요하므로 순간 최대 전류에 따라 배터리의 방전 전류를 높게 설정해야 하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 Super Cap. String을 추가하였다. 기존 회로(Boost Converter)의 경우 Super Cap. String이 출력단에 위치하여 Super Cap. String이 Boost Converter의 출력전압만큼의 전압을 부담해야 하므로 Super Cap.의 개수가 증가하여 부피 및 제작원가가 증가한다. 따라서 본 논문에서는 낮은 전압의 Super cap. string을 배터리 위에 위치하도록 하는 Modified Boost Converter를 제안한다. 이는 기존 Boost Converter와 동등한 성능을 보장하면서 Super Cap. String의 개수는 줄여 부피 및 원가는 저감되고, 배터리의 효율을 극대화할 수 있는 장점을 갖는다.

2. 제안된 EV용 Modified Boost Converter

그림 1은 제안된 낮은 전압의 Super Cap. String 사용이 가능한 EV용 Modified Boost Converter를 나타낸다.

제안 회로는 Inductor 1개, MOSFET 1개, Diode 1개 그리고 Super Cap. String으로 구성되어 있다. 또한, 제안 회로의 입력전압은 $V_{battery}$ 이고, 출력전압은 인버터의 입력전압으로 모터를 구동한다. Super Cap. String은 제안 회로의 출력 모터 기동 시 필요한 순간 큰 전류를 배터리 대신 보충한다. 이는 기존에 비해 적은 개수의 Super Cap. String 사용으로 배터리의 최대 전류 부담을 줄일 수 있다.

제안된 회로는 기동 시 모터가 큰 전류를 필요로 하지만 순간이기 때문에 제안된 회로는 Basic Boost Converter와 같은 입출력 관계식을 갖는다.

$$\frac{V_o}{V_{Battery}} = \frac{1}{1-D} \rightarrow \frac{I_D}{I_{Battery}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

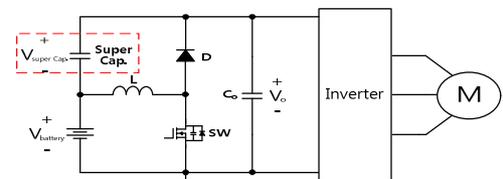
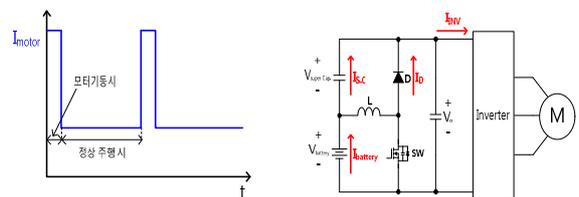


그림 1 제안된 EV용 Modified Boost Converter

2.1 제안된 EV용 Modified Boost Converter의 Motor 기동 시 동작원리

그림 2는 모터 구동 시 전류 파형과 전류 도통 경로를 보이고 있다. 그림 2(a)는 모터 기동 및 정상주행 시 모터의 전류 파형으로 그림과 같이 모터는 기동 시 순간적으로 큰 전류를 필요로 한다. 이때, 배터리 전류는 제어에 의해 제한되고, 제안회로와 같이 배터리 위에 있는 Super Cap. String을 통해서 기동 시 모터가 필요로 하는 부족한 전류를 보충한다. 그림 2(b)는 모터 기동 시 전류 도통방향을 나타낸다.



(a) 모터 기동시 전류 파형 (b) 제안 회로 전류 방향

그림 2 모터 구동 시 전류

기동 시 Motor로 유입되는 전류(I_{INV})는 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

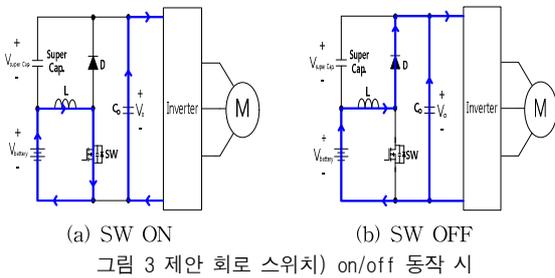
$$I_{INV} = \frac{I_{Battery}}{1-D} + I_{SC} \quad (2)$$

2.2 제안된 EV용 Modified Boost Converter의 Motor 정상주행 시 동작원리

그림 3은 정상주행 시에 스위치 상태에 따른 전류 도통 경로를 보이고 있다. 정상주행 시에는 Super Cap. String의 평균 전류는 0으로 일반적인 Boost Converter와 같이 동작한다. 그림 3(a)는 스위치가 ON되는 경우로 Vbattery(입력전압)-인덕터-스위치의 경로로 동작하며 인덕터의 에너지 Build up 구간이다. 그림 3(b)는 스위치가 OFF되는 경우로 Vbattery - 인덕터 - 다이오드 - INVERTER로 에너지 Powering 구간이다.

정상주행 시 모터로 유입되는 전류는 Super Cap. String의 평균전류가 0이므로 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$I_{INV} = \frac{I_{Battery}}{1-D} \quad (3)$$



3. 모의실험 결과

본 논문에서는 제안된 Modified Boost Converter의 유용성 및 우수성을 검증하기 위해 Psim Tool을 이용하여 모의실험을 진행하였다. 설계를 위한 입출력 사양과 주요 파라미터의 값은 다음 표1과 같다.

표 1. Modified Boost Converter 실험 조건

Input Voltage	16.8V
Out Voltage	40V
Switching Frequency	100kHz
Inductance	50uH
Control IC	TL494

그림 4는 제안된 낮은 전압의 Super Cap. String을 사용하여 배터리 전류를 제한한 Modified Boost Converter의 모의실험 주요 파형이다. 200W급 Load 상황(전압제어모드)에서는 출력 전압을 40V로 제어하며, Super Cap. String의 평균전류는 0을 유지한다. 340W급 Load 상황(전류제한모드)에서는 배터리 전류가 최대 약 20A로 제한되고, 기동 시 부족한 전류는 Super Cap. String이 보충해주는 것을 확인하였다. 또한, 배터리의 전류제한은 곧 전력제한이므로 출력 전압이 감소하는 결과를 확인할 수 있었고, 앞서 제시한 이론적 분석과 결과가 동일함을 증명하였다. 따라서 본 논문에서 제시된 모의실험 결과를 통해 제안된 낮은 전압의 Super Cap. String 사용이 가능한

Modified Boost Converter는 기존의 방식과 동등한 효과를 보장하면서 부피 및 원가는 저감되므로 다양한 EV에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

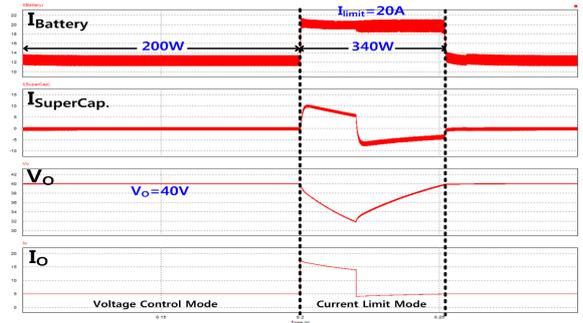


그림 4. 제안 회로의 주요 파형

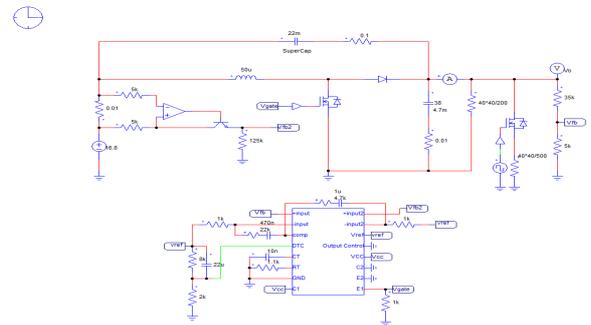


그림 5 제안 회로의 모의실험 회로도

4. 결론

기존의 Boost Converter를 이용한 모터 구동 회로는 출력단에 Super Cap. String이 위치한다. 그러므로 승압된 높은 출력 전압을 Super Cap. String이 부담해야 한다. 그러므로 Super Cap. String의 크기 및 제작단가가 증가하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 낮은 전압의 Super Cap. String 사용이 가능한 EV용 Modified Boost Converter를 제안한다. 제안 회로는 Super Cap. String 개수를 감소시켜 부피 및 원가를 저감하면서, 기존과 동등한 성능을 가지는 장점을 가진다. 또한 Psim Tool을 이용한 모의실험을 수행하여 배터리의 전류가 제한되고 Super Cap. String이 부족한 기동 전류를 보충해주는 것을 확인함으로써 제안 회로의 유용성과 우수성을 확인 및 검증하였다. 최종적으로 제안된 Modified Boost Converter는 EV용 모터 외에도 모터가 필요한 다양한 제품에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

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] 박소영, 강경수, 노정욱 “충전 기능 내장형 모터 구동 회로”, 전력전자학회 2014년도 하계학술대회 논문집, 2014. 7, 425-426 2 pages)
- [2] 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)