

낮은 배터리 전압의 승압을 위한 전기자동차용 DC-to-DC 컨버터

김선필, 강필순
한밭대학교

DC-to-DC converter for electric vehicle to step a low battery voltage up

Sun Pil Kim, Feel soon Kang
Hanbat National University

ABSTRACT

본 논문에서는 낮은 배터리 전압을 효율적으로 승압하여 전기자동차 구동용 모터를 구동하기 위한 DC link 전압을 확보하기 위한 승압형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 배터리와 출력 콘덴서가 직렬 결합되어 출력전압을 형성하는 구조로서 배터리 셀의 적층 수를 감소시킬 수 있어 구조적 신뢰성을 증가시킬 수 있고, 출력전압 전력반도체 소자 수를 최소화하여 전기적 신뢰성을 증가시킬 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 컨버터의 이론적 분석을 기반으로 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

1. 서 론

전기 자동차의 낮은 배터리의 입력전압을 효율적으로 승압시키기 위해 Bi directional DC to DC 컨버터를 적용한 도요타의 MCU(Motor Control Unit)는 입력 전압을 낮게 선정함으로써 배터리 셀의 적층 수를 작게 구성할 수 있어 구조적인 신뢰성을 확보할 수 있으며 무엇보다도 HEV(Hybrid Electric Vehicle)나 EV(Electric Vehicle)의 전기시스템 중에서 가장 큰 가격 부분을 차지하는 배터리의 가격을 낮출 수 있다는 장점을 가진다.^{[1] [4]} 또한 전기 모터의 전압사양을 높게 설계할 경우 동손에 의한 손실을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 권선의 사용 및 방열 구조를 최적화하기에 유리하다. 따라서 본 논문에서는 입력 전압 승압비를 크게 하기 위한 전기자동차용 컨버터를 제안하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하고자 한다.

2. 제안하는 DC-to-DC 컨버터

제안하는 DC to DC 컨버터의 기본 회로 구조는 그림 1과 같이 스위치, 다이오드, 인덕터, 커패시터의 4개의 회로소자를 가지며 입력 전압원 (V_{in})과 출력 커패시터(C_l)가 직렬 결합된 구조를 가진다. 스위치 S_j 의 ON 구간 동안 인덕터에 에너지가 저장되며 스위치 S_j 의 OFF 구간 동안 인덕터에 저장되었던 에너지가 커패시터 C_l 를 충전한다. 스위치의 ON/OFF 구간동안 출력전압은 항상 입력전압 (V_{in})과 커패시터 양단전압 (V_{Cl})의 합이 된다. 본 회로에서 승압비를 증가시키기 위해서는 인덕터의 직렬 결합 ($L_1+L_2+\dots+L_n$)과 출력 커패시터의 직렬 결합 ($C_1+C_2+\dots+C_n$)이 필요하다. 즉 그림 1의 첫 번째 다이오드 D_1 과 스위치 S_j 에 걸리는 전압을 하나의 입력 전압원으로 본다면 최

종적으로 확장되어진 회로는 그림 1의 n 개의 다이오드와 스위치, 커패시터를 가지게 된다. 인덕터 L_n 에서 volt sec 평형조건을 적용하여 L_n 에 입력전압을 V_n 이라 하였을 때 입력전압과 출력전압, 그리고 스위치 S_n 의 도통비의 관계는 식(1)과 같다.

$$V_n \cdot D \cdot T = (V_{out} - V_n) \cdot (1-D) \cdot T \quad (1)$$

식 (1)을 정리하면 다음과 같다.

$$V_{out} = \frac{1}{(1-D)} \cdot V_n \quad (2)$$

식(2)로부터 제안하는 DC to DC 컨버터의 입력전압과 도통비와의 관계가 기존의 승압형 컨버터의 입력전압과 동일함을 알 수 있다.

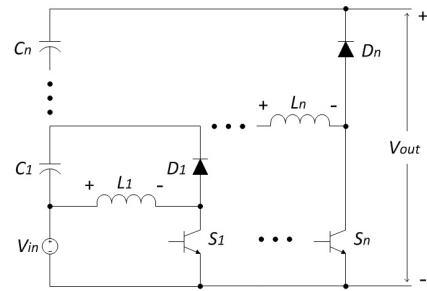


그림 1 제안하는 DC-to-DC 컨버터
Fig. 1 Proposed DC-to-DC converter

인덕터 L_n 이전의 인덕터 L_{n-1} 에서 volt sec 평형조건을 적용시키면 다음과 같다.

$$V_n = \frac{1}{(1-D)} \cdot V_{n-1} \quad (3)$$

식(3)을 식(2)에 대입시켜 입력전압과 도통비와 관계를 정리하면 식(4)와 같으며 이는 모든 스위치가 동일한 도통비로 병렬 운전되고 있다는 가정 하에 성립한다.

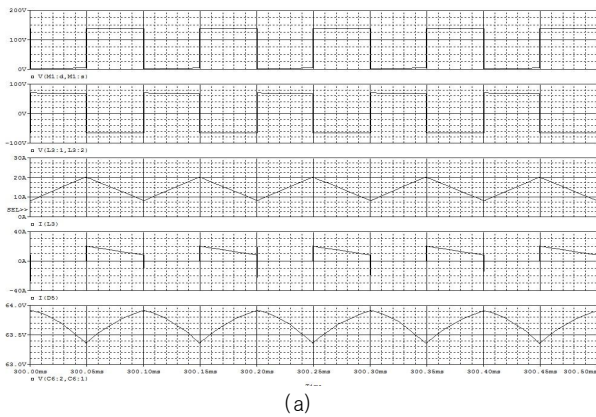
$$V_{out} = \frac{1}{(1-D)} \cdot \frac{1}{(1-D)} \cdot V_{n-1} = \frac{1}{(1-D)^2} \cdot V_{n-1} \quad (4)$$

위의 식 (2), (3), (4)로부터 회로를 구성하는 소자(스위치, 다이오드, 인덕터, 커패시터)의 개수가 n 개 일 때의 입출력 전압과 도통비와의 관계는 식(5)와 같이 정의된다.

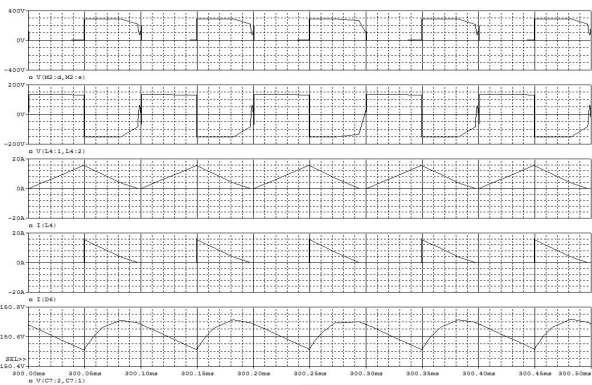
$$V_{out} = \frac{1}{(1-D)^n} \cdot V_{in} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 결과

제안하는 컨버터의 타당성 검증을 위해서 PSpice 기반의 시뮬레이션 결과를 제시한다. 입력전압은 DC 72 V, 스위칭 주파수는 10 kHz, 1 kW급에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 두 모듈을 결합하여 2개의 스위치는 위상차 없이 병렬 제어하며 스위치의 도통비는 50 %로 제한한다.



(a)



(b)

그림 2 시뮬레이션 (a) 첫 번째 모듈 VS1, VL1, IL1, ID1, VC1,
(b) 두 번째 모듈 VS2, VL2, IL2, ID2, VC2
Fig. 2 Simulation (a) First module VS1, VL1, IL1, ID1, VC1,
(b) Second module VS2, VL2, IL2, ID2, VC2

그림 2(a)는 제안하는 컨버터의 기본 첫 번째 모듈의 주요 파형을 보여준다. 위에서부터 차례대로 스위치 양단전압(V_{S1}), 인덕터 양단전압(V_{L1}), 다이오드 전류(I_{D1}), 출력 커패시터 양단전압(V_{C1})이며, 그림 2(b)는 확장된 두 번째 모듈의 주요 파형이다. 두 파형을 비교해 보면 스위치 S_1 과 스위치 S_2 가 동시에 ON 상태가 되면 인덕터 L_1 과 L_2 의 전압과 전류가 증가하게 되고 커패시터 C_1 과 C_2 는 방전을 시작한다. 스위치 S_1 과 스위치 S_2 가 OFF 되면 인덕터 L_1 과 L_2 의 전압과 전류가 감소하고 커

패시터 C_1 과 C_2 가 충전된다. 그림 3은 첫 번째 모듈의 커패시터 C_1 의 전압과 두 번째 커패시터 C_2 의 전압, 그리고 최종 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. C_1 의 전압은 입력 전압원과 전압의 크기가 비슷하게 나타나게 되고, C_2 의 전압은 C_1 전압의 두 배 정도의 크기를 가지게 된다. 따라서 최종 출력전압 V_{out} 은 입력전압 V_{in} 과 C_1 의 전압, C_2 의 전압의 크기의 합으로 나타나며 입력전압의 4배가 됨을 확인할 수 있다. 이론적으로 스위치의 도통비를 증가시킬수록 식(5)에 따라 출력전압의 승압이 가능하며 스위치의 도통비가 80 %에서는 입력전압의 25배에 해당하는 1800 V 까지 승압이 가능하다.

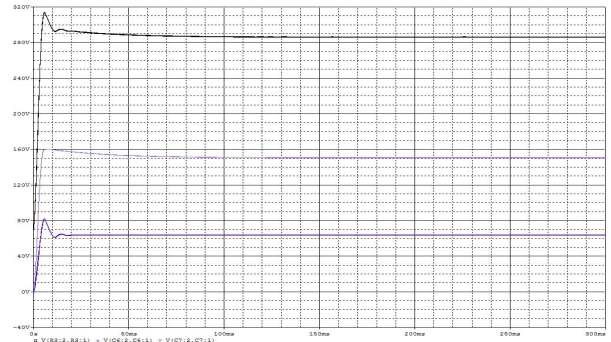


그림 3 출력전압 (VC1, VC2, Vout)
Fig. 3 Output voltage (VC1, VC2, Vout)

4. 결론

본 논문에서는 낮은 배터리 전압을 효율적으로 승압하여 전기자동차 구동용 모터를 구동하기 위한 승압형 컨버터 구조를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 배터리와 출력 콘덴서가 직렬 결합되어 출력전압을 형성하는 구조로서 배터리 셀의 적층 수를 감소시킬 수 있어 구조적 신뢰성을 증가시킬 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 컨버터의 이론적 분석을 기반으로 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한 결과, 도통비 50 % 조건에서 두 개의 모듈 결합을 통해 입력전압의 4배에 해당하는 승압이 가능함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 김철수, “그린카 산업 동향”, 전력전자학회지, 제14권, 제4호, pp. 19 22, 2009년 8월.
- [2] 권태석, 이현동, “그린카 구동용 인버터 기술 동향”, 전력전자학회지, 제14권, 제4호, pp. 28 32, 2009년 8월.
- [3] 이현동, “하이브리드차량에 적용된 전력전자 기술”, 전력전자학회지, 제12권, 제5호, pp. 17 23, 2007년 10월.
- [4] 최미선, 송성근, 박성준, 김대경, 김용구, “전기자동차용 고효율 승압형 DC/DC 컨버터 개발”, 전력전자학회지, 제15권, 제2호, pp. 127 133, 2010년 4월.