

EV용 고효율 승압형 양방향 DC/DC컨버터의 회로 및 구조설계

최진호⁺, 송성근⁺, 최미선^{+,**}, 김대경⁺
전자부품연구원⁺, 전남대학교^{+,**}

Design of High Efficiency Boost Bidirectional DC/DC Converter Circuit and Layout For EV

Jin-Ho Choi⁺, Sung-Geun Song^{*}, Mi-Seon Choi^{*,**}, Dae-Kyong Kim^{*}
Korea Electronics Technology Institute^{*}, Chonnam National University^{**,}

ABSTRACT

본 논문에서는 기 제작된 전기자동차용 고효율 승압형 양방향 DC/DC 컨버터의 소형/경량화 및 전력밀도의 상승을 위한 구조설계를 제안한다. 제안된 컨버터는 1차 측 Full-Bridge 회로와 고조파 변압기 부, 2차 측 배압회로를 구성하고 변압기에 존재하는 누설인덕턴스 성분과 배압회로의 커패시터 성분을 이용하여 직렬 L-C공진회로를 구성함으로써 모든 스위치에 ZCS (Zero Current Switching)을 구현하여 전체 사이즈 및 비용을 감소시키고자 하였다. 제안된 방식의 타당성을 입증하기 위하여 전력밀도의 비교 및 PSIM 시뮬레이션으로 본 논문에서 제안된 컨버터 구조의 타당성을 검증하고자 한다.

1. 서론

최근 전 세계적인 환경오염과 석유에너지의 고갈은 대체에너지 개발의 필요성을 크게 대두시켰다. 이 중에서도 석유에너지 소비의 대부분을 차지하고 있는 자동차는 연비개선, 하이브리드 자동차의 개발, 전기자동차 도입 등의 수많은 연구가 일찍이 시작되었으며 향후 석유에너지를 대체할 순수 전기자동차의 개발이 이루어질 것으로 사료된다.

전기자동차의 전장시스템은 입력 측 구동전압이 될 배터리, 출력 측 트렉션 모터를 구동할 인버터, 배터리와 인버터 사이에서 전력변환 역할을 하게 될 DC/DC 컨버터로 구성이 된다. 통상 수kW급의 소용량 및 근거리용의 전기자동차의 경우 가격과 성능적인 측면을 고려하여 DC/DC 컨버터를 적용하고 있지 않으나, 수십kW급의 대용량 전기자동차의 경우는 시스템의 소형경량화 고효율화를 위해서는 필수적이라 하겠다. 전기자동차의 경우 용량이 커질수록 고전압의 추세로 연구방향이 이루어지고 있으나 사용자의 안전한 측면도 고려해야 하므로 이러한 점이 절충되어 고려되어야 한다. 전기자동차의 경우 전장시스템이 차지하는 부피와 무게 비중은 매우 높다. 이에 따라 전기자동차의 개발 및 상용화에는 높은 효율 및 출력밀도 뿐 아니라 각 부품들의 소형/경량화 역시 필수적인 요소라 할 수 있다. 이러한 소형경량화, 고효율화를 위해 컨버터에서 발생하는 손실을 저감하기 위한 기술로 ZCS(Zero Current Switching) 방식, ZVS(Zero Voltage Switching) 방식, 공진형 Topology 방식에 대해서도 연구개발이 이루어지고 있으며, 저가격화를 위해 기존 공진 인덕터 대신 고조파 변압기의 누설 인덕턴스로 대체하는 방법도 적용하고 있다.

2. 양방향 DC/DC컨버터 회로

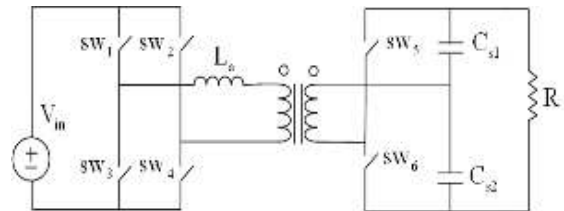


그림 1 양방향 DC/DC 컨버터 회로
Fig. 1 Bidirectional DC/DC Converter Circuit

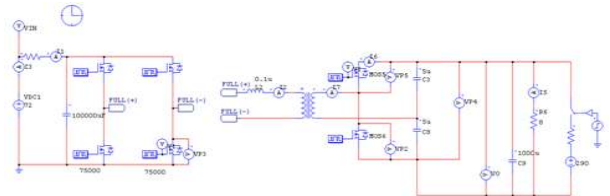
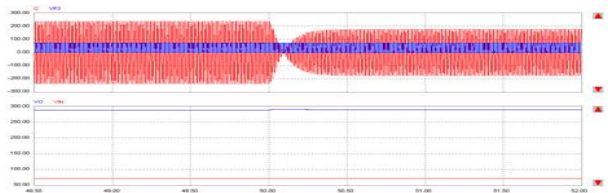


그림 2 양방향 DC/DC컨버터 시뮬레이션 회로도
Fig. 2 Bidirectional DC/DC Converter Simulation Circuit



(a) 양방향 DC/DC컨버터 시뮬레이션 파형



(b) 배터리 방전시

(c) 배터리 충전시

그림 3 DC/DC 컨버터 시뮬레이션 파형
Fig. 3 DC/DC Converter Simulation Waveform

그림 1은 본 논문에서 제안한 양방향 DC/DC컨버터의 기본 회로로서 1차측은 스위치 4개로 Full - Bridge 회로를 구성하였고 2차측은 스위치 2개와 배압회로로 구성을 하였다. 또한 저압측과 고압측의 완전한 분리 및 승압을 위해 고조파 변압기를 사용하였다. 고조파 변압기의 누설 인덕턴스 성분과 배압회로의 커패시터 성분을 이용하여 공진 LC회로를 구성하였고 양방향 컨버터의 기본회로를 기반으로 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 양방향 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 회로이며, 그림 3은 시뮬레이션 결과로서 양방향 동작에서 ZCS가 모두 잘 이루어짐을 확인할 수 있다.

3. 양방향 DC/DC컨버터의 구조설계

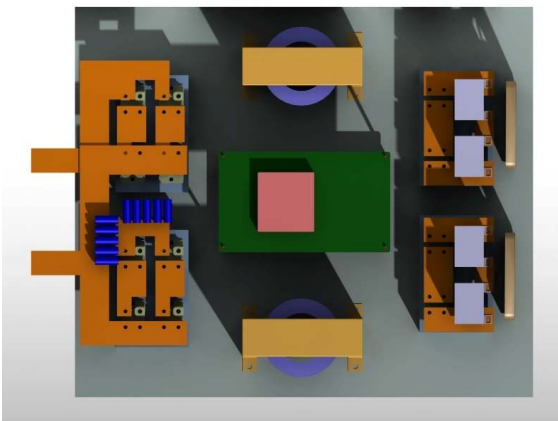


그림 4 기 제작된 양방향 DC/DC컨버터
Fig. 4 made Bidirectional DC/DC Converter

본 논문에서는 전기자동차의 DC/DC 컨버터에 있어서 회로의 구조 개선 및 전력밀도를 향상시키고자 고주파 변압기 및 회로배치의 재 설계를 수행하였다. 그림 4는 1차로 제작된 양방향 DC/DC 컨버터의 구조를 CATIA를 통해 모델링한 모습이다. 입력전압 72V, 출력전압 288V, 10kW의 출력용량을 가지는 DC/DC 컨버터로 저압측과 고압측의 완전한 분리 및 승압을 위해 1:1 고조파 변압기를 사용한 점이 큰 특징이나, 승압비 및 효율적인 고주파 트랜스 포머의 소자수 등을 고려하면 비효율적인 회로 구성이라고 판단된다.

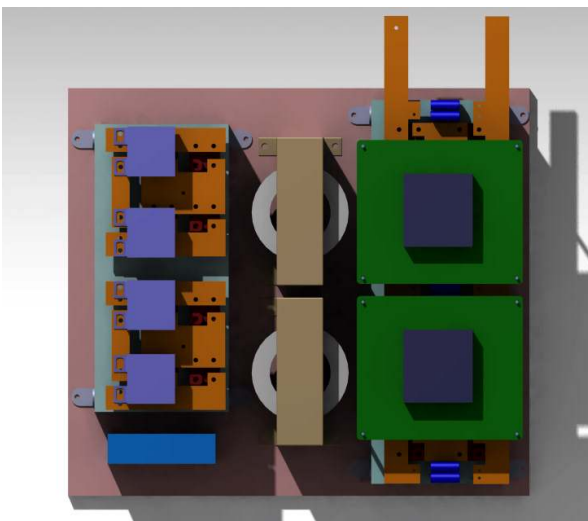


그림 5 제안된 양방향 DC/DC컨버터
Fig. 5 Proposed Bidirectional DC/DC Converter

그림 5는 제안된 DC/DC 컨버터의 구조를 CATIA를 통해 모델링한 모습으로 그림 4의 기 제작된 양방향 DC/DC 컨버터와 비교 했을 때 1차 측의 스위치 4개로 Full - Bridge 회로의 구성, 스위치 2개와 커패시터에 의한 배압회로의 구성, 저압측과 고압측의 완전한 분리를 위해 고주파 트랜스를 사용한 점은 유사하다. 그러나 승압을 위해 다른 턴비의 1:2 고조파 변압기를 사용하므로써 2배 승압, 배압회로에서 2배 승압, 전체 4배 승압비를 가지게 하므로 전체적으로 하나의 트랜스를 사용할 수 있으므로 효율적인 회로의 구성이며, 입력전압 72V, 출력전압 288V, 출력용량 20kW까지 설계된 컨버터로서 효율적인 구성이다.

4. 전력밀도 비교 및 최적 구조설계

표 1 전력밀도 값의 비교
Table 1 Comparison of power density values

	용량(W)	체적(cm ³) (가로×세로×높이)	전력밀도(W/cm ³)
기 제작된 컨버터	10,000	30,100 (50×43×14)	0.332
제안된 컨버터	20,000	17,017 (38.5×34×13)	1.175

표 1은 기 제작된 컨버터와 제안된 컨버터의 전력밀도 값을 비교한 것이다. 제안된 컨버터의 경우 기 제작된 컨버터에 비해 용량을 두 배로 증가시켰음에도 효율적인 구조를 통해 단면적은 오히려 줄어들었다. 이에 따라 컨버터의 전력밀도 값이 이전에 비해 3.5배 이상 높아졌으며 안정된 전력변환을 위한 출력을 낼 수 있게 되었다.

4. 결론

본 논문에서는 EV용 고효율 승압형 양방향 DC/DC컨버터의 회로 및 구조설계에 대해 제안하였다. PSIM 시뮬레이션을 통해 ZCS방식의 DC/DC 컨버터 회로 동작을 검증하였고, 구조 설계를 통해 기 제작된 컨버터와 제안된 컨버터의 회로구성, 전력밀도 값을 비교하여 제안된 컨버터의 구조설계가 효율적임을 입증하였다. 향후 제안된 컨버터의 열분포, 소자배치, 발열 원에 따른 열해석을 통해 최적 구조의 DC-DC 컨버터를 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 20kW급 다중 동력시스템용 매입식 전동모듈 구동을 위한 고효율 DC-DC컨버터 및 드라이버 개발 연구 비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] “근거리 전기자동차용 고효율 DC/DC컨버터” 송성근, 박성준, 김대경, 신덕식, 전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집 2009.7, pp. 693~695
 [2] “전기자동차용 고효율 DC/DC컨버터” 최미선, 송성근, 박성준, 김대경, 대한전기학회 2010년도 춘계학술대회 논문집 2010.4, pp. 164~166
 [3] “CATIAV5 ver.5.11” S.S Lee, Y.J Hwang, H.J Kim, 2004, pp. 99~178