

전기 자동차 인버터 구동을 위한 게이트 드라이버용 DC-DC 컨버터

신승민, 유승희, 이병국[†]
 성균관대학교 정보통신대학

Optimized DC-DC Converter in Gate Drive for EV Inverter

Seung Min Shin, Seung Hee Ryu, Byoung Kuk Lee[†]
 College of Information & Communication engineering, Sungkyunkwan University

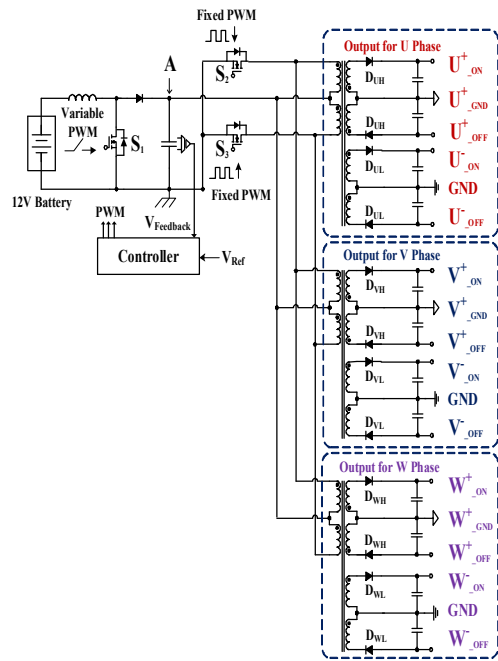
ABSTRACT

본 논문에서는 Boost 컨버터와 Push pull 컨버터로 구성되어 가격 경쟁력 향상 및 안정적으로 출력 전압 제어가 가능한 게이트 드라이버용 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안된 DC DC 컨버터는 항상 최상의 성능으로 동작하는 전기 자동차용 인버터를 구현하기 위해 전기 자동차의 열악한 동작 환경에 상관없이 안정적인 On/Off 전압을 공급한다. 제안된 DC DC 컨버터는 80kW 전기 자동차 개발을 위해 제작된 인버터를 통하여 성능을 검증하였다.

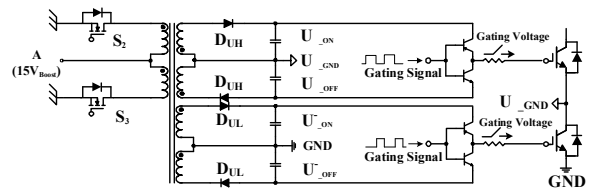
1. 서론

가속 운전이 빈번히 발생하는 자동차 특성상 전기 자동차용 인버터는 부하의 급격한 변동에 따라 최상의 성능을 달성해야 하며 이를 위해서는 인버터의 전력용 반도체 소자를 구동하는 게이트 드라이버의 안정성이 절대적으로 필요하다. 특히 인버터 파워 밀도 증가로 인한 IGBT의 대전류 구동을 위해서는 IGBT On/Off 시 최소한의 게이트 전압 변동을 허용하는 드라이브 전압 단 구성이 필수적이다. 또한 인버터 각 레그의 윗단 스위치 및 아랫단 스위치를 상보적으로 구동하기 위해서는 스위치들간 게이트 구동 전압이 절연되어야 하며, 인버터의 3상 구조로 인해 게이트 구동 전압 단 출력은 다중으로 구성해야 한다^{[1][2]}. IGBT는 일반적으로 단락내량과 전력손실의 트레이드 오프에 의해 게이트 최종 인가 전압은 On 전압 = 15V ± 10%, Off 전압 = 5V ~ 10V로 정한다. 하지만 On 전압이 변동하면 스위칭 손실이 증가하고 높은 부하 상태에서 전류 제어 문제가 발생하며 부하단락이나 고장시의 단락전류가 증가하여 IGBT 보호가 어렵다. 또한 Off 전압이 변동하면 서지전류 및 스위칭 손실이 증가하며 노이즈 내량이 낮아져 IGBT의 비정상적인 동등으로 Arm short 발생 위험이 있다. 따라서 전기 자동차용 인버터를 부하의 급격한 변동에 상관없이 항상 최상의 성능을 달성하기 위해서는 안정적인 On/Off 전압의 공급이 필요하다.

본 논문에서는 전기 자동차용 인버터의 안정적인 구동을 위해 최적화된 게이트 드라이버용 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안된 DC DC 컨버터는 다출력 플라이백 컨버터와 같이 구성이 간단하고 낮은 가격에 구현이 가능하며 출력들의 상호 영향을 최소화하기 위해 별도 구성된 3개의 push pull 회로를 통해 On/Off 전압을 출력한다. 제어를 위해 Boost 컨버터를



(a) 게이트 드라이버용 DC-DC 컨버터



(b) U 상의 게이트 드라이브 구현

그림 1. 전기 자동차 인버터 구동용 게이트 드라이버 DC-DC 컨버터.

Fig. 1. Optimized DC-DC converter used for gate drive.

추가 구성하여 입/출력 전압 변동에 강인하여 안정적으로 IGBT에 On/Off 전압의 공급이 가능하며, 트랜스포머 감소 효과를 가진다.

2. 본론

2.1 전기 자동차 인버터 구동용 게이트 드라이버 DC-DC 컨버터

다양한 절연형 DC DC 컨버터 중 게이트 드라이버용으로

표 1 게이트 드라이버용 DC-DC 컨버터의 스펙
Table 1 Gate drive DC-DC converter specifications

Boost converter output power	30	W
Each transformer output power	10	W
Instantaneous peak output current	10	A
Drive voltage level	+18/ 8	V
Used core for transformer	EE1614S	

다출력 플라이백 컨버터가 일반적으로 선택된다. 하지만 다출력 플라이백 컨버터는 모든 출력 전압을 제어하기 위해 이차측 출력 중 하나만을 피드백 받아오기 때문에, 낮은 Cross Regulation 발생 시 출력 전압의 제어가 잘 되지 않아 모든 출력이 영향을 받게 되며, 제어하지 않는 출력 전압의 이상 발생 시 전압 회복이 느리다. 이것의 대안으로 각 레그의 구동 전압 공급을 위해 3개의 플라이백 컨버터를 따로 사용할 수 있으나, 각각마다 구동용 Chip과 출력 전압을 피드백 받기 위해 트랜스포머에 추가적인 연결이 필요하여 좋은 해결책이 될 수 없다. 또한 전기 자동차용 게이트 드라이버용 DC DC 컨버터는 저용량 보조 배터리를 통하여 12V를 입력 받는다. 하지만 이 배터리는 차량의 상태에 따라 9V ~ 15V 정도의 출력 전압 변동 범위를 갖기 때문에 IGBT의 안정적인 동작을 위해서는 입력 전압의 변동이 출력에 영향이 없어야 한다.

1.2 전기 자동차 인버터 구동을 위한 최적화된 게이트 드라이버용 DC-DC 컨버터

전기 자동차용 인버터의 최적 성능 구현을 위해 그림 1과 같은 제어 및 구성이 간단하지만, 출력 전압의 안정적 제어가 가능한 게이트 드라이버용 DC DC 컨버터를 구현하였다. 보조 배터리의 출력 전압이 큰 폭으로 변화 하여도 Boost 컨버터를 통해 출력을 일정전압으로 유지하여, 입력 전압 변동이 출력에 영향이 없도록 하였다. 출력들의 상호 영향을 최소화 하며 절연된 출력 전압 생성을 위해서 Boost 컨버터 출력 단에 3개의 트랜스포머를 가지는 push pull 컨버터를 연결하였다. 구현된 게이트 드라이버용 DC DC 컨버터의 스펙은 표 1과 같다.

Push pull 컨버터는 Boost 컨버터의 출력 전압을 이용하여 트랜스포머의 턴수비와 항상 50% 듀티로 상보적으로 동작하는 스위치 (S₂, S₃)를 통하여 IGBT의 On/Off 전압을 출력한다. 출력 전압 제어는 앞 단의 Boost 컨버터가 push pull 컨버터의 2차측 부하 변동에 대해서도 항상 입력 전압을 15V로 제어함으로써 이루어진다. 따라서 전기 자동차용 인버터에서 순간적인 부하 변동으로 DC DC 컨버터에서 공급해주어야 하는 On/Off 게이트 전하량의 변동 시에도 빠르고 안정적으로 출력 전압 제어가 가능하다. Push pull 컨버터의 On 출력 전압은 게이트 드라이브의 출력 전압 강하를 고려하여 18V로, Off 출력 전압은 IGBT의 동작과 노이즈 내량을 고려하여 8V로 결정하였다. DC DC 컨버터 부품 중 가장 높은 가격과 부피를 차지하는 트랜스포머는 Boost 컨버터를 이용하여 입력 전압을 승압하고 출력 전압 제어를 위한 추가적인 구성을 제거함으로써 플라이백 컨버터 대비 10%의 크기 감소 효과를 가진다.

3. 실험 결과

게이트 드라이버용 DC DC 컨버터의 성능 검증은 80kW 전기 자동차 개발을 위해 제작된 인버터를 통하여 이루어졌다.

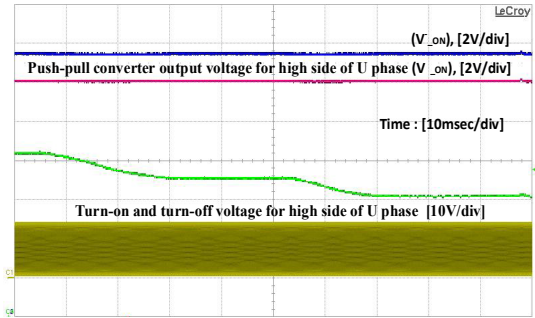


그림 2. 입력 전압 변동 시 DC-DC 컨버터 출력 전압 변화
Fig. 2. Transient characteristics under fluctuation of input voltage

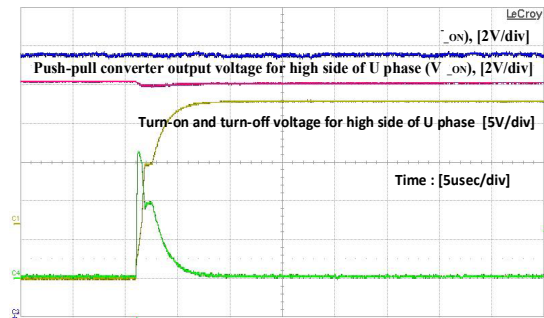


그림 3. IGBT On 동작 시 DC-DC 컨버터 출력 전압 변화
Fig. 3. Transient characteristics when the current is supplied for the IGBT

인버터에는 Infineon의 FS800R07A2E3 (HybridPACK™ 2) 모듈이 사용되었으며, 게이트 드라이브는 HCPL 316J가 사용되었다. 그림 2는 boost 컨버터가 입력 전압을 15V로 승압함으로써 입력 전압 변화도 push pull 컨버터의 출력 전압에 영향을 미치지 않는 것을 확인 가능하며 그림 3은 IGBT On 동작 시 push pull 컨버터의 출력 전압이 빠르게 안정되는 것을 확인 가능하다.

4. 결론

구조가 간단하고, 가격이 저렴하며 제어가 안정적인 전기 자동차용 게이트 드라이버에 사용되는 DC DC 컨버터를 구현하기 위해 Boost 컨버터와 psuh pull 컨버터가 결합된 토폴로지를 구현하였다. 이 DC DC 컨버터는 입/출력 변동과 상관없이 인버터에 안정적인 On/Off 전압을 공급함으로써 항상 최상의 성능을 이끌어 낼 수 있으며, Boost 컨버터를 사용하여 간단하게 제어된다. 또한 트랜스포머의 크기를 줄일 수 있어 게이트 드라이버 전체 가격과 크기를 플라이백 컨버터 대비 10% 감소시킨다.

참고 문헌

- [1] A. Haddoun, M. E. H. Benbouzid, D. Diallo, "A loss minimization DTC scheme for EV induction motors", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 56, pp. 81-88, 2007, January.
- [2] "Evaluation kit for applications with HybridPack™2 module", published by Infineon Technologies AG, 2011, March.