

# 전기자동차용 3kW 인터리브드 하프브릿지 저전압 DC-DC 컨버터

이원희, 남광희  
포항공과대학교

## A 3kW Interleaved Half Bridge Low Voltage DC-DC Converter for Electronic Vehicles

Wonhee Lee, Kwanghee Nam  
Pohang university of science and technology (POSTECH)

### ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차의 저전압 보조배터리 충전용 인터리브드 하프브릿지 저전압 DC DC 컨버터를 제안한다. 이 컨버터는 높은 출력 밀도, 높은 효율성 그리고 높은 전압 강하비가 요구된다. 이러한 조건을 만족하기 위해 우리는 두 컨버터의 병렬구조를 활용하였다. 이는 하나의 고출력 컨버터를 사용하는 거에 비해 트랜스포머 비용 감소, 고장허용, 낮은 출력 전류 리플 등의 장점을 가진다. 또한 Zero voltage switching (ZVS)이 가능하다. 두 컨버터 사이의 파라미터 차이에 의해 발생하는 부하 불평균을 막기 위해 간단한 보상 알고리즘도 적용되었다.

### 1. 서론

차량에서 사용하는 편의장치와 안전장치들이 많이 개발 되고 장치들의 전력 소비가 지속적으로 증가하고 있다. 그러므로 저전압 보조배터리 충전에 필요한 높은 출력 전력의 DC DC 컨버터가 요구되고, 특히 버스 같은 경우는 3kW급의 출력 전력이 필요로 한다. 높은 출력을 충족 시키기 위해 컨버터의 전력 용량을 증가시키기 위해서는 트랜스포머와 인덕터의 크기가 증가된다. 하지만 페라이트 코어의 크기가 증가함에 따라 그 비용은 빠르게 상승하므로 비용에 부담이 발생하게 된다. 따라서 두 컨버터의 병렬연결을 통하여 한 컨버터 당 출력을 감소시켜 트랜스포머와 인덕터의 사이즈를 줄이는 방식은 비용 감소에 좋은 방안이다. 또한 병렬연결은 인터리빙 제어를 가능하게 만들어주고, 이는 출력 커패시터의 크기를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 인터리브드 하프브릿지 저전압 DC DC 컨버터를 제안한다. 2개의 하프브릿지 컨버터를 병렬로 연결하였고 인터리브드 PWM방식을 적용하였다. 커패시터와 인덕터의 공명을 이용하여 스위치의 ZVS를 달성하여 손실을 줄일 수 있다. 전압제어기에는 부하 균형 제어 알고리즘도 포함되어 적용되었다. Topology, 작동원리 그리고 전압제어기 관하여 소개하고 시뮬레이션 결과로 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 TOPOLOGY

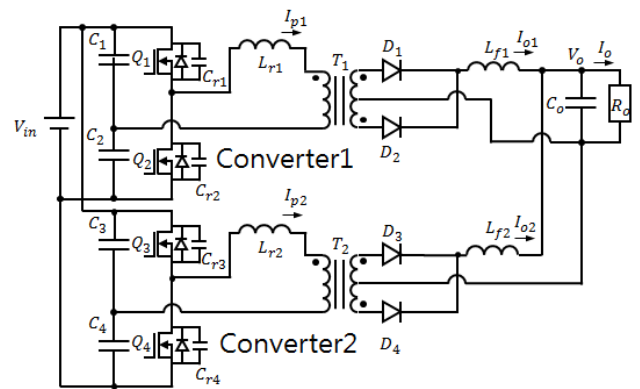


그림 1 제안된 인터리브드 하프브릿지 DC DC 컨버터

그림 1은 제안된 3kW 하프브릿지 DC DC 컨버터를 보여준다. 일반적으로 하프브릿지 컨버터는 풀브릿지 컨버터에 비해 낮은 전압 이용률을 가진다. 그러나 전기자동차에서는 주 배터리 충분히 높은 입력 전압(240 400 V)을 제공하고 출력 전압(12 14 V)이 상대적으로 낮기 때문에 전압이용률 차이를 무시할 수 있다. 높은 입력 전압 때문에 넓은 부하 범위에서 ZVS조건을 충족시키기 위해서 공명 인덕터  $L_{r1}$ ,  $L_{r2}$ 가 트랜스포머와 직렬로 연결되어있다. 두 컨버터는 병렬로 연결되어 있고, 출력 전압의 리플을 줄이기 위해 인터리브드 PWM 방식으로 동작된다. 만약 한 컨버터가 open circuit 문제가 발생한다면 다른 하나의 컨버터만으로 계속 동작하여서 저전압 보조배터리를 충전할 수 있다.

#### 2.2 동작원리

그림2는 컨버터1의 스위칭에 따른 스위치 양단 전압,  $v_{ds1}$ 과  $v_{ds2}$ , 1차 측 트랜스포머 전류와 전압,  $i_{p1}$ 과  $v_{p1}$ , 그리고 2차 측 트랜스포머 전압  $v_{s1}$ 이 나타나있다. 두 컨버터는 인터리브드 PWM 방식으로 180도 위상 차이로 동작하고 한 컨버터의 2개의 스위치는 서로 반대로 스위칭을 한다. 각 스위칭 사이에는 dead time을 넣어서 스위치의 출력 커패시터와 공명 인덕터 사이의 공명으로 스위치의 출력 커패시터의 충전과 방전 시간을 확보해주어야 한다. 공명 인덕터의 저장된 에너지가 스위칭 출력 커패시터의 에너지 보다 충분히 커야 완전히 충전과 방전이 되어서 ZVS를 가능해진다. Dead time 이후  $i_{p1}$ 의 방향이

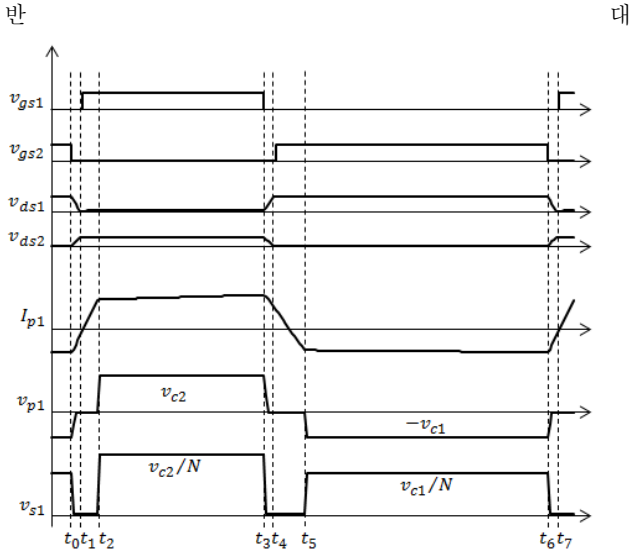


그림 2 converter1 파형

로 변하기 전에 스위칭 신호가 들어가게 되고  $i_{p1}$ 이 충분히 상승하면 1차 측 트랜스포머 양단에 전압이 걸리게 되고 2차 측으로 에너지가 전달된다. 이 경우 출력 전압은 식 (1)과 같이 된다. [1]

$$V_o = \delta_1(1-\delta_1)V_e \frac{2}{N} - L_{r1}f_s I_{o1} \left(\frac{2}{N}\right)^2 \quad (1)$$

여기서  $\delta_1$ 은 컨버터1의 duty,  $f_s$ 는 스위칭 주파수, N은 트랜스포머의 1차 측과 2차 측 턴 비를 의미한다.

### 2.3 전압 제어기

그림 3은 제안된 컨버터에 적용된 전압 제어기를 보여준다. 두 컨버터가 출력이 병렬로 연결되어 있어 출력 전력을 동일하게 만들기 위해 전류 오차를 구해 이 전류 오차를 각각의 컨버터 입력에 추가로 보상을 해주어서 두 컨버터의 부하 균형을 이루어 내었다.

### 2.4 시뮬레이션 결과

표 1 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값	파라미터	값
입력 전압	400 V	$C_{1-4}$	47.5 $\mu$ F
출력 전압	12 V	$C_o$	22 $\mu$ F
출력 전력	3 kW	$C_{r1-4}$	200 pF
스위칭 주파수	100 kHz	$L_{r1}$	1.25 $\mu$ H
Dead time	60 ns	$L_{r2}$	2.5 $\mu$ H
1차 턴 수	8	$L_{f1-2}$	1.6 $\mu$ H
2차 턴 수	1	$L_m$	370 $\mu$ H

그림4는 동일한 상으로 제어한 경우와 인터리브드 방식의 출력 파형을 나타낸다. 인터리브드 동작을 통해 40% 전압 리플이 감소하였다.

대

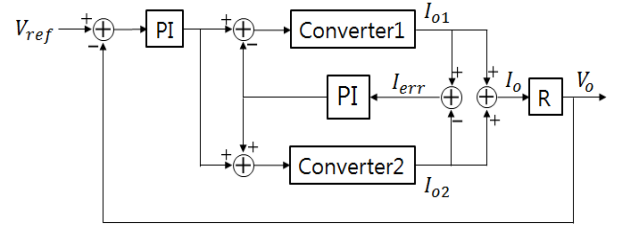


그림 3 부하 균형 제어 알고리즘을 적용한 전압 제어기

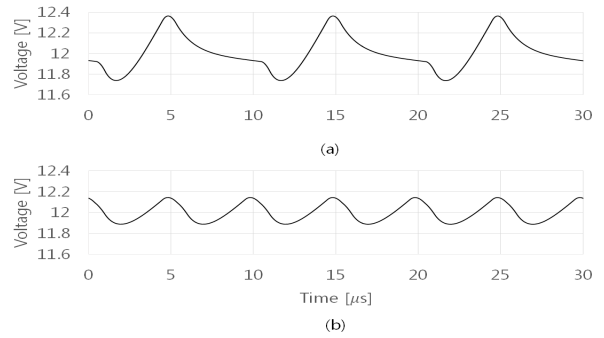


그림 4 출력 전압 파형 (a) 동상 PWM 방식 (b) 인터리브드 PWM 방식

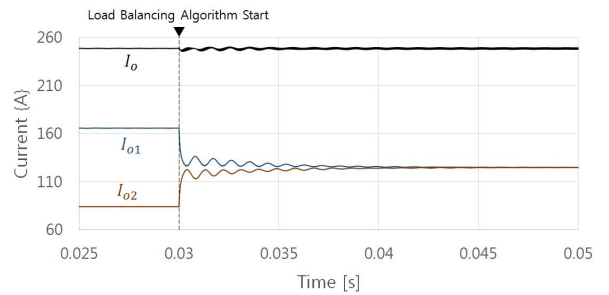


그림 5 컨버터 출력 전류 파형

그림5는 부하 균형 알고리즘 시작 전 후의 각 컨버터의 전류와 총 전류의 합인 파형을 나타낸다. 부하 균형 알고리즘 적용 이후 두 컨버터의 출력 전력이 동일해짐을 보여준다.

## 3. 결론

본 논문에서는 인터리브드 하프브릿지 저전압 DC DC 컨버터를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 포항공과대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Xinyu Xu, Ashwin M. Khambadkone, Toh Meng leong, Ramesh Oruganti, "A 1 MHz Zero Voltage Switching Asymmetrical Half Bridge DC/DC Converter Analysis and Design", IEEE Trans. , Vol. 21, No. 1, pp. 481-482, 2006, January.