

# 영전압-영전류 스위칭 위상천이 풀브리지 컨버터

조인호, 문건우

KAIST

## Abstract

본 논문은 높은 시스템 안정성과 고 효율이 요구되는 배터리 충전용 DC/DC 컨버터에 적용할 수 있는 새로운 토폴로지를 제안한다. 기존의 대용량 배터리 충전용 DC/DC 컨버터로 널리 사용되는 위상천이 풀 브리지 컨버터 (Phase-Shifted Full-Bridge Converter)의 경우 1차 측 스위치의 영전압 스위칭을 가능케 하여 높은 효율을 얻을 수 있다. 하지만 배터리 충전과 같이 출력 전압의 변동이 있는 경우 듀티 변화에 따른 freewheeling 구간이 존재하게 되고 이는 시스템의 효율을 감소시키는 원인으로 작용한다. 제안하는 컨버터의 경우 기존의 위상천이 풀 브리지 회로를 기반으로 하되 1차 측에 하프 브리지 형태의 인버터를 추가하여 freewheeling 구간에서의 도통 손실을 제거할 뿐만 아니라 영전압-영전류 스위칭으로 시스템의 안정성을 높였다. 본 논문에서는 제안된 회로의 구조 및 동작원리를 설명하고 1.6kW 급 ( $V_o=140V\sim 200V$ ) 전기자동차용 배터리 충전기 스펙에 맞춰 프로토타입을 제작하고 실험 결과를 통해 제안된 회로의 동작 특성 및 타당성을 검증한다.

## 1. 서론

오늘날 지구 온난화와 같은 기후변화 문제가 전 세계적인 주목을 받기 시작하면서 산업 전반에 걸쳐 에너지 효율의 향상이 요구되고 있으며 특히나 화석연료의 소모가 두드러지는 자동차 산업에서의 이러한 노력은 두드러지게 나타나고 있다. 이러한 노력으로 최근 세계 유수의 자동차 업체들은 고효율의 가솔린/디젤 자동차의 개발뿐만 아니라 에너지 원을 전기로 하는 전기 자동차의 개발에까지 연구 영역을 확장하고 있다.

전기자동차의 경우 자동차 내부에 있는 배터리를 충전시켜 주기 위한 배터리 충전기를 필수적으로 갖추고 있어야 한다. 이런 배터리 충전기의 경우 기본적으로 상전원으로 보내지는 AC 입력을 받아 배터리 충전을 위한 DC 형태로 변환시킬 수 있어야 하며 최근에는 전력규제가 강화됨에 따라 역률 보상을 위한 회로와 고효율 DC/DC 컨버터가 함께 포함되는 형태가 널리 사용되고 있다.

이러한 용도로 사용되는 DC/DC 컨버터의 경우 고 효율 특성 및 낮은 noise 특성 그리고 높은 시스템 안정성이 매우 중요한 요소로 작용한다.

이와 같은 요구사항을 만족하는 회로로써 현재 널리 사용되는 회로로 그림 1과 같은 위상천이 방식의 풀 브리지 컨버터가 있다. 기존의 회로의 경우 스위칭 구동방식의 변화를 주어 스위치들의 영전압 스위칭 조건을 만들고 공진 인덕터와 클램프 다이오드를 추가하여 영전압 스위칭의 범위를 확장하였다. 이를 통해 기존 회로는 EMI 문제에 유리할 뿐만 아니라 높은 효율을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 출력 전압의

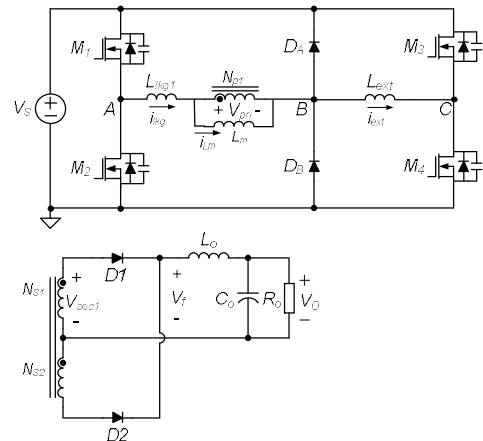


그림 1. 기존 위상천이 풀 브리지 DC/DC 컨버터

변동폭이 상대적으로 큰 배터리 충전기 스펙에서는 실효 듀티 변화폭 역시 커지게 되어 전류가 환류하는 freewheeling 구간이 존재하게 된다. 이는 컨버터의 효율을 감소시키는 악영향을 야기한다.

본 논문에서는 기존의 위상천이 풀 브리지 회로를 기반으로 1차 측에 하프 브리지 형태의 인버터를 추가하여 freewheeling 구간에서의 도통 손실을 제거할 뿐만 아니라 스위치의 영전압-영전류 동작으로 시스템의 안정성을 높인다.

## 2. 제안한 컨버터

### 2.1 제안한 회로 구조 및 동작원리

본 논문에서 제안하는 새로운 영전압 스위칭 위상천이 풀 브리지 컨버터의 경우 그림 2와 같이 풀 브리지 회로의 구조에 추가적으로 1차 측 하프브리지 인버터와 2차 측 정류단을 가지고 있으며 출력 필터는 공유하고 있는 형태이다.

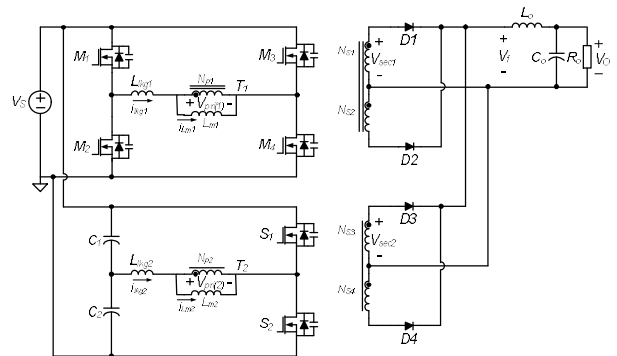


그림 2. 제안하는 컨버터

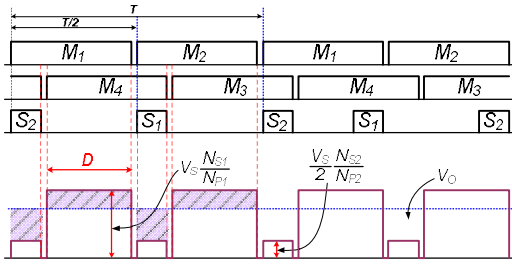


그림 3. 제안하는 컨버터의 구동 신호 및 필터 전압

제안하는 컨버터의 기본적인 동작원리는 다음과 같다. 1차 측의 풀 브리지 회로가 주 전력을 2차 측으로 전달하고 풀 브리지 회로의 freewheeling 구간에 보조 하프 브리지 회로가 작은 에너지를 출력 단으로 공급해 주는 형태이다. 이와 같이 위상전이 풀 브리지 컨버터가 에너지를 전달하지 않는 구간에서도 보조 회로를 통해 출력 필터로 계속 전류가 공급됨에 따라 freewheeling 구간에서의 불필요한 환류 전류가 사라지게 된다. 이는 스위치의 영전류 스위칭 조건을 만들어주게 되어 제안하는 컨버터는 leading leg 스위치의 영전압 스위칭 특성, lagging leg 스위치의 영전류 스위칭 특성을 갖게 된다. 출력전압 정류방법은 다음과 같다. 그림 3에서 보이는 것과 같이 주 전력을 넘겨주는 풀 브리지 회로에서 출력 전압에 비해 높은 전압을 필터로 넘겨주고 보조 하프브리지 컨버터에서는 트랜스포머의 턴 비를 이용하여 출력전압에 비해 낮은 전압을 필터 단으로 넘겨주게 된다. 풀브리지 컨버터와 보조 하프브리지 컨버터의 실효 듀티 조정을 통해 출력 전압을 정류할 수 있으며, 컨버터가 최대 출력 전압을 만들어 주어야 하는 경우에는 풀 브리지 컨버터가 최대 실효 듀티를 가지고 동작하게 된다.

제안하는 회로의 입출력 관계식은 출력 인덕터의 전압-시간 관계를 통해 얻을 수 있으며 그 결과는 아래와 같다.

$$\frac{V_O}{V_S} = D \left( 2 \frac{N_{S1}}{N_{P1}} - \frac{N_{S2}}{N_{P2}} \right) + \frac{1}{2} \frac{N_{S2}}{N_{P2}}, \quad (0 < D < 0.5) \quad (1)$$

제안하는 회로 설계 시, 출력 전압 정류특성 및 보조 회로의 부담을 최소화 하기 위해서는 아래의 조건을 만족해야 한다.

$$V_{S\_min} \times \left( \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \right) > V_O \Rightarrow \left( \frac{V_{S\_min}}{V_O} \right) > \left( \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \right) \quad (2)$$

$$\frac{V_{S\_max}}{2} \times \left( \frac{N_{S2}}{N_{P2}} \right) < V_O \Rightarrow \left( \frac{V_{S\_max}}{2V_O} \right) < \left( \frac{N_{P2}}{N_{S2}} \right) \quad (3)$$

$$P_{trans\_FB1} \cong total\ power \quad (4)$$

$$P_{trans\_FB2} \cong minimum\ power \quad (5)$$

### 3. 실험 결과

#### 3.1 설계 사양

- 입력 전압 : 400V
- 출력 전압 : 140V ~ 200V
- 충전 전류 : (Max.) 8A
- 최대 출력 : 1600W

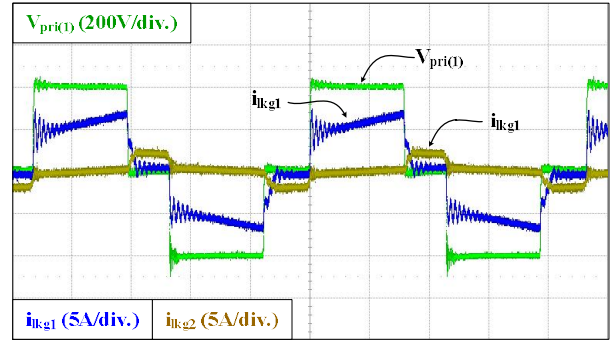


그림 4. 실험파형

그림 4는 입력 전압이 400V, 출력이 200V/8A 인 최대출력 시의 제안하는 회로의 동작을 보여주는 파형이다. 앞서 예상했던 것과 같이 제안하는 회로의 풀 브리지 인버터는 freewheeling 구간 동안 환류 전류를 가지지 않으며 그 구간에 보조 하프브리지 회로에서 전류를 넘겨줌을 확인할 수 있다.

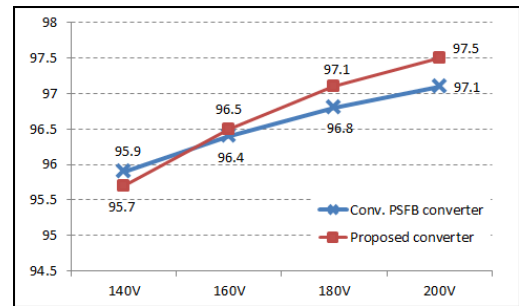


그림 5. 효율결과

효율결과는 그림 5와 같다. MOSFET 스위치의 큰 turn-on 손실 발생 특성으로 경 부하에서는 제안하는 컨버터가 약간 낮은 효율을 보이고 있으나 높은 부하에서는 더 우수한 동작 특성을 보임을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 영전압-영전류 스위칭을 하는 새로운 위상전이 풀 브리지 컨버터를 제안하였다. 1.6kW 배터리 충전기 스펙을 통해 실험한 결과 제안하는 회로가 freewheeling 구간에서 전류를 흘리지 않아 도통 손실을 야기하지 않음을 알 수 있었고 영전류 스위칭 조건을 갖추고 있음을 확인할 수 있었다.

위와 같은 장점을 통해 제안하는 회로는 넓은 gain 변화를 가지는 배터리 충전용 DC/DC 컨버터에 적합한 토폴로지가 될 수 있으며, turn-on 손실이 작은 소자 사용시에 더 큰 효과가 나타날 수 있을 것이다.

### Reference

- [1] R Redl, NO Sokal, L Balogh. and O ELFI SA, "A novel soft-switching full-bridge dc/dc converter : analysis, design considerations, and Experimental Results at 1.5kW, 100kHz," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.6, pp.408-417. July 1991.
- [2] J Zhang, X Xie, X Wu, G Wu and Z Qian, "A novel zero-current-transition full bridge DC/DC converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 2, pp. 354-360. Mar. 2006