

# 친환경 차량용 보조배터리 충·방전을 위한 양방향 3상 능동클램프 푸시풀 컨버터

한국인, 김준근, 최세완  
서울산업대학교

## Bidirectional Three-Phase Active clamped Push-Pull Converter for Charge and Discharge of Auxiliary Battery in Eco-friendly Vehicles

Kookin Han, Joongeun Kim, Sewan Choi  
Seoul National University of Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 친환경 차량용 보조배터리 충방전을 위한 3상 양방향 DC-DC컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 클램프 스위치의 동작으로 전압 및 전류공진을 최소화하고 대전류단의 순환전류를 감소시켜 전류정격을 줄였다. 제안하는 컨버터의 이론적 해석과 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

친환경 차량의 전기동력 시스템에서 고전압 직류단에 전장 전원용 12V 또는 24V 저전압배터리를 연결하기 위하여 절연형 양방향 DC-DC 컨버터가 요구된다. 이 양방향 컨버터는 초기 기동 시 승압 동작으로 배터리를 방전하여 주변장치에 전원을 공급하고, 주행 시나 회생 동작 시 강압동작으로 배터리 충전 및 자동차 전장부에 전원을 공급하는 기능을 수행한다. 이러한 양방향 컨버터 설계시 가장 큰 제약조건은 입출력 측의 넓은 전압변동과 20~40배에 달하는 큰 전압차로 인해 전압전달비가 매우 크다는 것이다<sup>[1-3]</sup>. 특히 저전압측의 대전류(예를 들면, 12V 3kW 인 경우 최대 300A) 특성 때문에 기존의 풀브리지 및 푸시풀 방식으로는 설계구현이 용이하지 않다.

이러한 대전류 응용에서 3상 양방향 DC-DC컨버터는 소자의 전류부담을 줄일 수 있고 인터리빙의 효과로 수동 소자의 크기를 작게 할 수 있어 적합하다.

기존의 Dual Active Bridge 방식의 3상 양방향 컨버터<sup>[6]</sup>는 위상차에 의해 전력 흐름을 제어하는 방식으로 구성이 간단하나 입력 전압 변동 폭이 큰 응용에서는 소자 전류정격 및 리플 전류가 크게 증가하는 문제가 있다. 최근 이러한 응용에 적합한 ZVS PWM 방식의 3상 능동클램프 양방향 컨버터<sup>[7-8]</sup>가 제안되었다. 이 방식은 입출력 전압변동에 의해 전류정격이 크게 증가하는 문제는 없으나 충전시 클램프가 동작되지 않아 서지 및 공진이 발생하므로 이에 대한 대책이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 친환경차량에 적합한 능동클램프 푸시풀 방식의 3상 양방향 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 충전시 클램프 스위치의 동작으로 서지 및 공진제거, 순환전류의 감소 등의 장점을 갖는다.

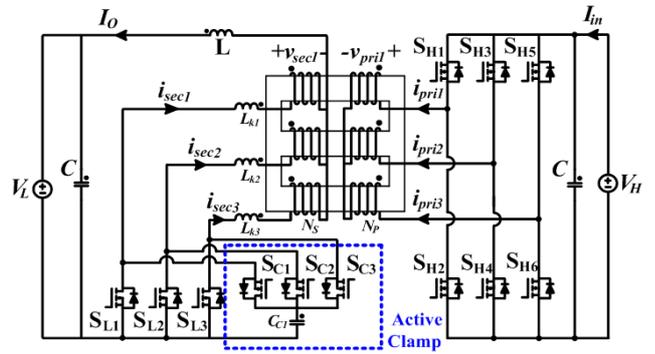


그림 1 제안하는 3상 양방향 푸시풀 컨버터

### 2. 제안하는 컨버터의 동작원리

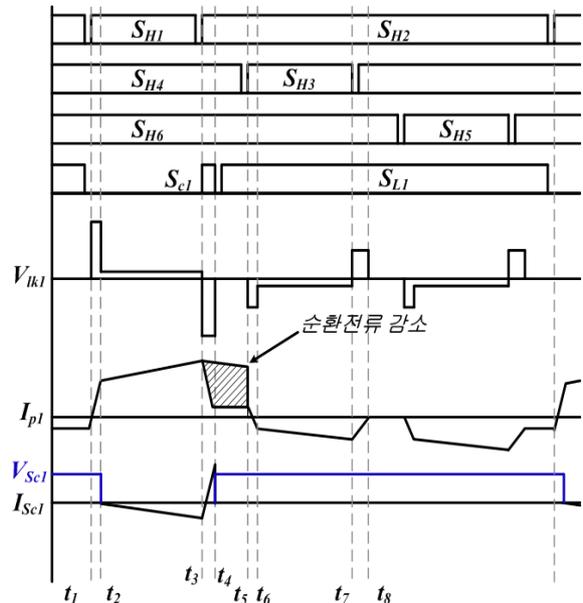


그림 2 배터리 충전모드의 주요 파형 (D<0.33)

제안하는 3상 양방향 푸시풀 컨버터는 그림 1에서와 같이 3상 변압기의 고전압, 저전압단 각각에 6개의 MOSFET 스위치와 저전압단의 LC 필터로 구성되고 배터리 충전모드와 방전모드가 있다. 충전모드의 주요파형은 그림 2와 같고 스위치의 턴

온 듀티를  $D$ , 클램프 스위치의 턴온 듀티를  $1-D$ 로 하는 비대칭 상보적 스위칭을 하며 각 상은 120도 위상차를 갖는다. 스위치가 턴오프 될 때 변압기의 누설 인덕터의 에너지로 반대쪽 스위치의 내부 다이오드를 도통시킨 후 메인 채널이 ZVS 턴온 스위칭이 이루어지는 방식이다. 또한 대전류측의 도통손실이 전체 손실의 가장 큰 비중을 차지하는데 제한하는 컨버터는 그림 2의  $t_3 \sim t_4$  구간에 보듯이 클램프 스위치의 동작에 의해 대전류측 순환전류가 줄어들어 스위치 도통손실이 감소하고 동기정류 게이트는 저전압측 변압기 전압을 센싱하여  $I_{SL}$ 의 도통구간동안 도통시킨다.

방전모드<sup>[9]</sup>에서는 0부터 1까지 전 듀티 범위를 사용할 수 있다. 메인스위치와 클램프 스위치는 ZVS턴온이 되고 다이오드도 ZCS 턴오프 되어 역방향 회복에 의한 전압서지가 거의 없게 된다.

### 3. 시뮬레이션

배터리 충전시 동작 모드의 양단 스위치 전압, 전류 파형을 그림 3에 나타내었다.

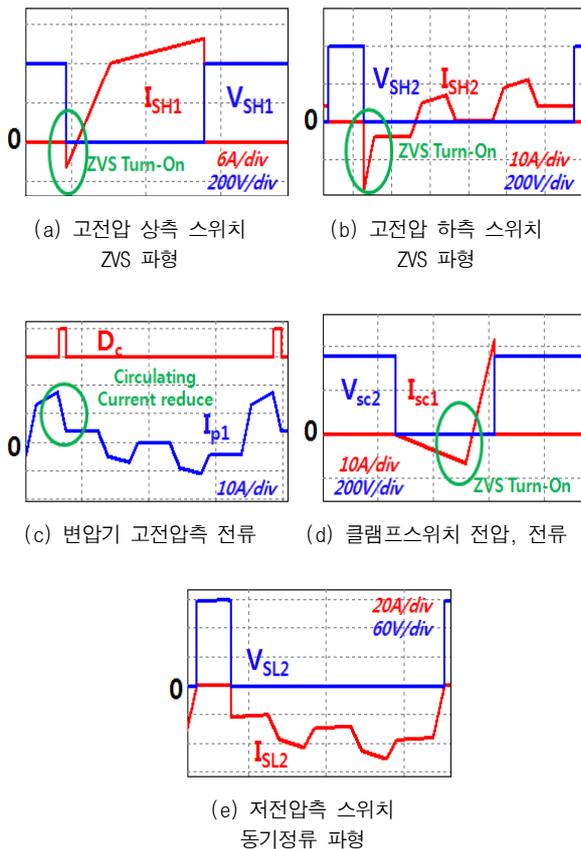


그림 3 배터리 방전 모드 시뮬레이션 파형

배터리 충전 동작에서 입력측의 스위치에서 ZVS턴온과 출력측 스위치에서 동기정류가 되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 친환경 차량용 보조배터리 충방전을 위한 3상 양방향 DC-DC컨버터를 제안하였다. 제안한 3상 컨버터는 비대칭의 PWM에 의한 전압제어를 수행하여 기존의 위상제어 3상 컨버터와 달리 입출력전압이나 부하변동에 따른 무효 전류의 증가 문제가 없어 각 소자의 정격이 감소하여 전력밀도와 가격 및 효율측면에서 기존방식에 비해 우수하다. 특히 저전압측에서는 동기정류 방식을 적용하여 도통손실을 감소시킬 수 있어 효율 면에서도 더욱 유리하다. 제안하는 3상 양방향 DC-DC 컨버터의 특징을 분석하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후에 실험에 의한 검증을 하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] 최세완, "특집 : 대체에너지 발전시스템에서의 전력전자기술 - 연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", *전력전자학회지*, 제6권, 제1호, pp.30-36, 2003년 8월.
- [2] 조진상, 정상민, 이진희, 최세완, 한수빈, "연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법", *전력전자학회 논문지*, 제10권, 제5호, pp.428-435, 2005년 10월.
- [3] 김형준, 양전영, 윤창우, 최세완, 강호성, 이현동, "자동차의 저전압 배터리 충방전을 위한 양방향 DC-DC 컨버터", *전력전자학회 논문집* pp. 178 ~ 181 2007년 7월.
- [4] F.Krismer, J.Biela, J.W.Kolar, "A Comparative Evaluation of Isolated Bi-directional DC/DC Converter with Wide Input and Output Voltage Range" in Proc. Und. Applicat. Conf. 2005. 40th IAS Annual Meeting. Volume 1 Page(s) : 599-606
- [5] P.Alou, J.A. Cobos, J.Uceda, M.Rascon, E.de la Cruz, "Design of a low output voltage DC.DC converter for telecom application with a now scheme for self-driven synchronous rectification", in Proc. of IEEE APEC 1999, Page(s):872 vol.2
- [6] D.M. Divan and R.W. A. A. De Doncker, "A three phase soft switched high-power density dc/dc converter for high power applications," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 27, no.1, pp.63-73, Jan./Feb 1991.
- [7] H. Cha, J. Choi, W. Kim, V. Blasko, "A New Bi-directional Three-phase Interleaved Isolated Converter with Active Clamp" in *IEEE APEC 2009*, Page(s) : 1766 - 1772
- [8] 윤창우, 김형준, 최세완, 강호성, 이현동, "연료전지 자동차 전장전원용 고효율 양방향 3상 DC-DC 컨버터", *전력전자학회 논문집* pp. 209 ~ 212 2008년 6월.
- [9] 이상원, 윤창우, 최세완 "연료전지 응용을 위한 3상 능동 클램프 전류원 푸쉬풀 컨버터", *전력전자학회 논문집* pp. 308 ~ 310 2009년 7월.