

# PWM+위상 제어방식의 양방향 3상 능동클램프 푸시풀 컨버터

한국인, 박준성, 최세완  
서울과학기술대학교

## PWM Plus Phase Control for Bidirectional Three-phase Active Clamped Push-Pull Converter

Kookin Han, Junsung Park, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 친환경 자동차, UPS 시스템 등 배터리와 같은 에너지 저장장치의 충·방전을 위한 3상 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 PWM+위상제어방식으로 동작하고 모든 스위치 ZVS 턴온을 성취하며 기존 위상제어 컨버터와 PWM 푸시풀 컨버터보다 낮은 전류정격을 갖는 특징이 있다. 기존 컨버터와 비교하여 이론적 분석을 제시하였고 시작품을 통해 타당성 및 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 친환경 자동차, UPS 시스템, 신재생에너지 발전시스템, 에너지 저장시스템 등 여러 응용분야에서 배터리의 충·방전을 위하여 절연형 양방향 DC DC 컨버터의 개발이 요구되고 있다. 또한 용량이 증대됨에 따라 기존의 단상 풀브리지 및 푸시풀 방식으로는 전류 부담이 커서 스위치 선정 및 구현이 용이하지 않다. 이러한 대전류 응용에서 3상 양방향 DC DC 컨버터<sup>[1-3]</sup>는 소자의 전류부담을 줄일 수 있고 인터리빙의 효과로 수동 소자의 크기를 줄여 전력밀도를 높일 수 있다. 양방향 컨버터는 크게 위상제어를 하는 Dual Active Bridge(DAB) 방식<sup>[4]</sup>과 PWM 제어 방식<sup>[2]</sup>이 있다. DAB는 위상차에 의해 전력 흐름을 제어하는 방식으로 구성이 간단하나 입력 전압 변동 폭이 큰 응용에서는 무효전력에 의한 소자 전류정격 및 리플전류가 크게 증가하는 문제가 있다. 또한 PWM 방식은 무효전력에 의한 문제는 없으나 충·방전 각각의 게이트 신호 발생 방식이 달라 모드전환에 따른 과도상태가 발생한다. 무효전력을 감소시키고 모드전환시 과도상태를 없애기 위한 PWM+위상제어방식의 양방향 컨버터<sup>[4]</sup>가 제안되었다.

본 논문에서는 이러한 PWM+위상제어 방식을 적용한 양방향 3상 푸시풀 컨버터를 제안한다. 3상 푸시풀 컨버터는 인덕터, 변압기 개수가 최소인 구조로서 별도의 클램프 스위치 없이 서지 제거 및 ZVS 턴온을 성취한다. 본 논문에서는 위상제어방식의 DAB, PWM 제어방식 및 PWM+위상제어방식의 3상 푸시풀 컨버터를 비교·분석 후 PWM+위상제어방식의 3상 푸시풀 컨버터를 제작하여 실험을 통한 검증은 수행한다.

### 2. 제안하는 컨버터의 동작원리

그림 1의 제안하는 3상 양방향 푸시풀 컨버터의 전력회로와 그림 2에 제안하는 PWM+위상 제어 방식의 방전모드시 주요 파형을 보여준다. 저전압측이 변동되더라도 식 (1)과 같이 클램

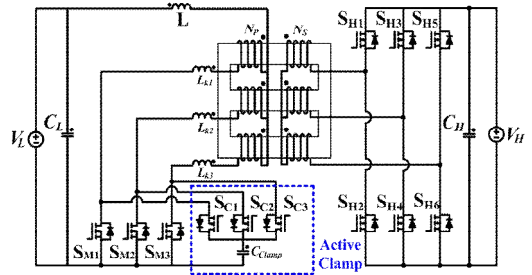


그림 1 제안하는 3상 양방향 푸시풀 컨버터

프 커패시터의 전압( $V_C$ )이 일정하게 되어 저전압측 스위칭 전압은 항상 일정하다.

$$V_C = \frac{V_L}{1-D} \quad (1)$$

또한 변압기 턴비는 식 (2)와 같이 결정된다.

$$n = \frac{V_H}{V_C} = \frac{(1-D) \cdot V_H}{V_L} \quad (2)$$

따라서 그림 2와 같이 저전압측 전압이 변동해도 변압기 양측 전압크기는 같으므로 전류의 크기는 최소로 되고 위상차에 의해 전력 흐름을 제어하면 된다. 이같은 스위칭 방식으로 모든 스위치는 ZVS 턴온을 성취하는 것을 볼 수 있다. 충전모드의 주요 파형 및 구간별 동작은 방전모드와 동일하다. 3상 DAB와 PWM 방식 및 PWM+위상제어 방식의 3상 푸시풀 컨버터를 다음의 사양으로 설계한 후 주요소자의 정격 및 특징을 표 1에서 비교하였다.

- $V_{high} = 380V$       •  $V_{Low} = 64 \sim 128V$       • Power = 5kW
- $f_{sw} = 50kHz$       •  $\Delta I_{in} = 5\%$       •  $\Delta V_{out} = 1\%$

표 1에서 보듯이 3상 DAB 컨버터는 무효전력으로 인해 저전압측 스위칭 전류정격이 3상 푸시풀 컨버터에 비해 30% 이상 큰 것을 알 수 있다. 또한 PWM+위상제어 방식이 PWM 방식에 비하여 변압기의 kVA 정격이 약 15% 감소한 것을 알 수 있다.

### 3. 실험 결과

배터리 충·방전시 스위칭 전압과 변압기 권선 전류 파형을 그림 3,4,5에 나타내었다. 그림 4는 충전시 SM1, SC1의 전압과 Lk1의 전류 파형이다. SM1, SC1 모두 ZVS 턴온을 성취하며 특히 클램프 스위치는 넓은 ZVS 구간을 확인할 수 있다. 그림 5는 방전시 SM1, SC1의 전압과 Lk1의 전류 파형이다. 방전 모드 시에도 모든 스위칭에서 ZVS 턴온 스위칭이 되는 것을 확인할 수 있다.

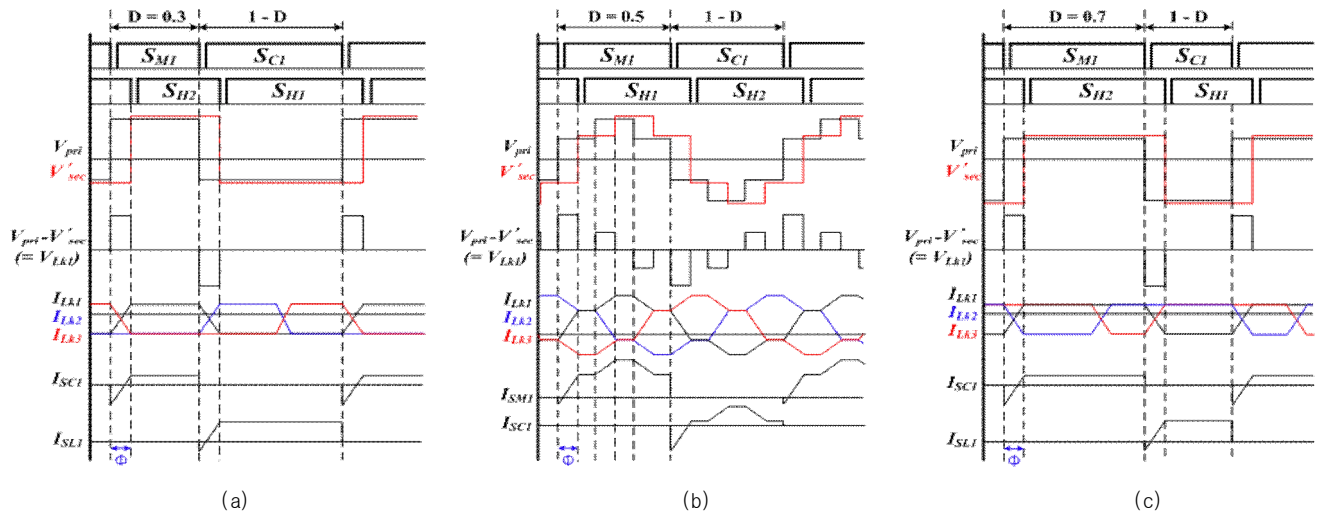


그림 2 제안하는 양방향 컨버터의 PWM+위상 제어기법 원리 (a)  $V_{in} = 64V$  (b)  $V_{in} = 96V$  (c)  $V_{in} = 128V$

표 1 주요 소자 정격

	위상 제어 <sup>[1]</sup>	PWM 제어	PWM+위상제어
토폴로지	3상 DAB	3상 푸시풀	3상 푸시풀
듀티범위 (동작듀티)	D=0.5 고정듀티	0<D<1 (0.38<D<0.71)	0<D<1 (0.33<D<0.66)
위상제어범위	0< $\phi$ <58°		0< $\phi$ <7.5°
모드전환 연속성	연속적	비연속적	연속적
입·출력 필터크기	큼	작음	작음
변압기	턴비	1 : 4	1 : 2
	kVA	7.3	7.6
저전압측 스위치	128 V, 50 A	210 V, 34 A	192 V, 33 A
고전압측 스위치	384 V, 10 A	384 V, 9 A	384 V, 9 A

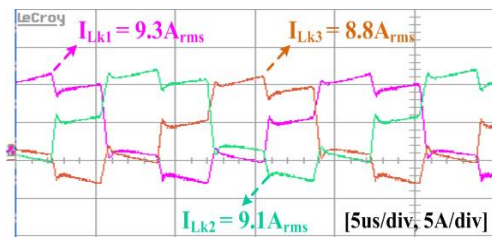


그림 3 변압기 권선 전류 실험 파형

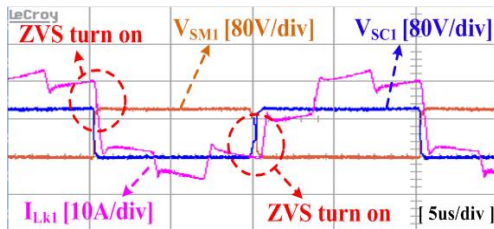


그림 4 방전시 실험 파형 (700W)

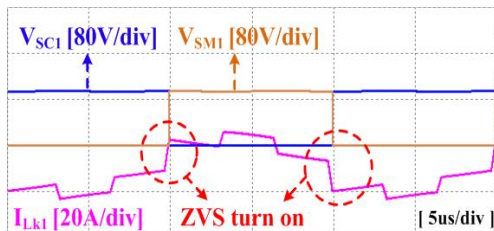


그림 5 충전시 시뮬레이션 파형

#### 4. 결론

본 논문에서는 3상 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 PWM+위상 제어방식으로 모든 스위치 ZVS 턴온을 성취하며 기존 위상제어 컨버터와 PWM 푸시풀 컨버터보다 낮은 전류정격을 갖는다. 제안한 컨버터의 동작원리와 특징을 기존 컨버터와의 비교 분석을 수행하였으며 실험을 통하여 제안하는 방식의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011 0018025)

- [1] 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.
- [2] 윤창우, 김형준, 최세완, 강호성, 이현동, "연료전지 자동차 전장전원용 고효율 양방향 3상 DC DC 컨버터", 전력전자학회 논문집 pp. 209~212 2008년 6월.
- [3] S. Lee, J. Park, S. Choi, "A Three Phase Current Fed Push Pull DC DC Converter With Active Clamp for Fuel Cell Applications", IEEE Trans. Power Electronics, accepted for future publication.
- [4] Z. Wang, H. Li, "Unified Modulation for Three Phase Current fed Bidirectional DC DC Converter Under Varied Input Voltage" in IEEE APEC 2011, pp.807-812