

# 3상 능동클램프 하이브리드 정류형 DC-DC 컨버터

한국인, 최세완, 김민국\*  
 서울산업대학교, \*카코뉴에너지

## Three-Phase DC-DC Converter with Active clamped hybrid Rectifier

Kookin Han, Sewan Choi, Minkook Kim\*  
 Seoul National University of Technology, \*Kaco New Energy

### ABSTRACT

본 논문에서는 5kW급 연료전지 응용을 위한 3상 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터의 Delta-Wye 결선은 전압형의 가장 큰 단점인 변압기 턴비를 최소화 하였으며 클램프 스위치의 동작으로 전압 및 전류 공진을 감소시키고 순환전류를 리셋시켜 각 소자들의 전류정격을 줄였다. 기존 3상 Full-Bridge와 비교 분석을 수행하였으며 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

절연형 DC-DC 컨버터로서 사용되어 오던 푸쉬풀 또는 풀브리지 컨버터 등은 연료전지와 같은 저전압 대전류 응용에서 소자의 전류부담이 크고 선정도 용이하지 않다. 최근 연구되고 있는 3상 DC-DC 컨버터는 전류가 분배되어 소자 선정이 용이하게 되고 입출력 유효주파수가 커서 수동필터의 부피가 작아지는 장점을 갖는다<sup>[3]</sup>. 3상 DC-DC 컨버터는 전류원 방식<sup>[3-4]</sup>과 전압원 방식<sup>[5-7]</sup>이 있는데 전압원 방식은 스위치 전압 정격이 낮아 작은  $R_{ds(on)}$ 을 갖는 MOSFET 사용이 가능하게 되어 도통손실을 크게 줄일 수 있으며 스타트-업 문제가 없어 제어가 비교적 간단한 장점이 있다. 그러나 고승압 응용에서 가장 큰 단점은 변압기 턴 비가 커져 누설인덕턴스에 의한 문제가 심각하다는 것이다.

3상 전압원 컨버터로서 V6 컨버터<sup>[6]</sup>가 제안되었는데 변압기의 턴 비를 기존 풀브리지의 약 20% 정도 줄였다. 그러나 스위치 수가 많은 단점이 있고 2차측에 별도의 클램프회로가 필요하게 된다. 변압기 턴비가 기존 풀브리지의 50%로 감소된 3상 풀브리지 ZVZCS 컨버터<sup>[7]</sup>는 클램핑 동작으로 인하여 1) 순환전류 리셋으로 도통손실의 최소화 2) 모든 스위치의 ZVZCS 성취 3) 유효듀티 증가로 변압기 누설인덕턴스로 인한 듀티손실 보상 등을 가능케 하였다. 하지만 클램프 스위치의 스위칭 주파수가 메인 스위치의 3배이므로 전체 스위칭 주파수가 제한되는 단점이 있다.

본 논문에서는 3상 풀브리지 컨버터에 능동클램핑 하이브리드 정류기<sup>[7]</sup>를 적용하여 서지는 물론 순환전류도 제거할 수 있으며 클램프 스위칭 주파수가 메인스위치와 동일하여 구현이 용이한 DC-DC 컨버터를 제안한다.

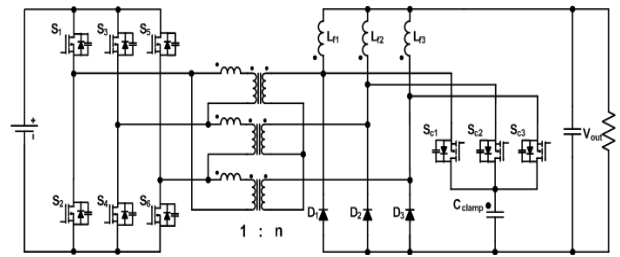


그림 1 제안하는 3상 컨버터

### 2. 제안하는 컨버터의 동작원리

제안하는 승압형 3상 DC-DC 컨버터는 그림 1에서 보듯이 1차측에 3-레그 스위치와 2차측에 3상 하이브리드 정류기, 클램프 회로 등으로 구성된다. 3상 변압기는 Y-Y, Δ-Δ, Y-Δ, Δ-Y 등의 결선이 가능한데 제안한 승압 응용의 컨버터에서는 변압기 턴 비, 스위치 전류 정격 및 변압기 kVA정격이 가장 작은 Δ-Y 결선을 선정하였다. 특히 이 결선은 기존의 풀브리지나 푸시풀 컨버터보다 2배 높은 승압효과를 가지므로 전압원 타입의 가장 큰 단점인 변압기 턴비 문제를 최소화하였다.

또한 연료전지와 같은 저전압 대전류 응용에서는 대전류측의 도통손실이 전체손실의 가장 큰 비중을 차지하는데 기존의 대표적인 위상전이 풀브리지 컨버터의 경우 에너지 전달이 없는 순환전류에 의한 도통손실이 큰 문제가 된다. 하지만 제안하는 컨버터는 그림 2의 t3~t4 구간에 보듯이 클램프 스위치의 동작에 의해 대전류측 순환전류가 리셋되어 스위치 도통손실 및 변압기 kVA정격이 크게 감소된다. 클램프 스위치의 최적의 듀티는 다음과 같다.

$$D_c = \frac{I_p \times L_{lk}}{V_L} \quad (1)$$

여기서  $D_c$ 는 클램프 스위치 듀티,  $I_p$ 는 변압기 권선전류이고  $L_{lk}$ 는 누설인덕턴스이다.

그리고 기존 위상전이 풀브리지 컨버터는 변압기 누설인덕턴스에 의한 듀티손실이 발생한다. 제안하는 컨버터는 클램프 스위치로 그림 2에서 보듯이  $V_L$ 의 전압평형을 유지시켜 듀티손실을 보상할 수 있다. 변압기 누설인덕턴스(컨버터 기생성분)를 고려하지 않은 제안한 컨버터의 전압전달비는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} = 3n(D + 2D_c) \quad (2)$$

여기서 D는 메인스위치의 듀티이고 D<sub>c</sub>는 클램프 스위치의 듀티이다.

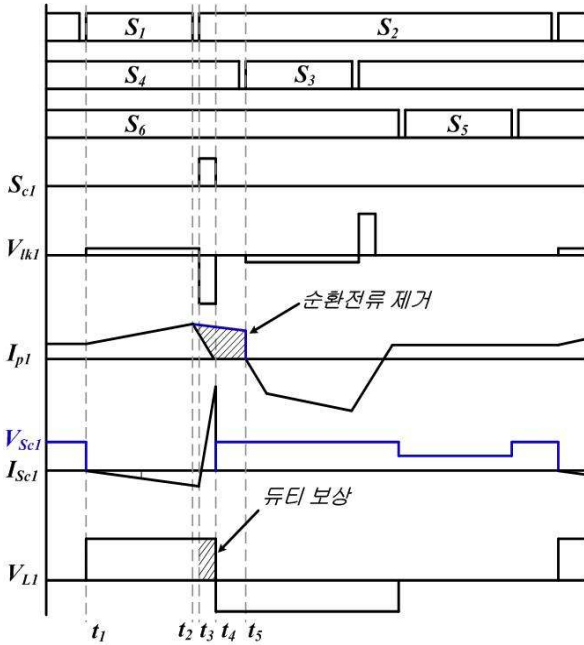
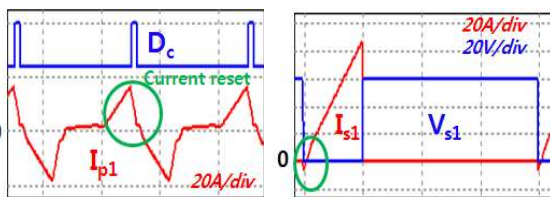


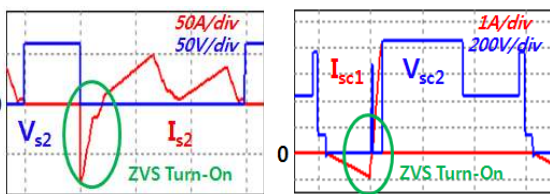
그림 2 제안하는 컨버터 주요 파형

### 3. 시뮬레이션

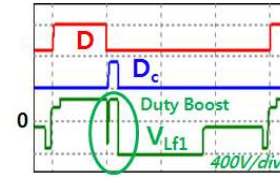
본 장에서는 제안하는 컨버터의 주요파형으로 시뮬레이션 한 후 특징 및 동작을 검증하였다.



(a) 변압기 1차측 전류 (b) 상측스위치 전압, 전류



(c) 하측스위치 전압, 전류 (d) 클램프스위치 전압, 전류



(e) 듀티 부스트 효과

그림 3 시뮬레이션 파형

제안한 컨버터의 변압기 전류 및 각부 스위치 전압, 전류 파형을 그림 3에 나타내었다. 파형에서 볼 수 있듯 클램프 동작으로 변압기 1차측 전류 리셋과 듀티승압 효과를 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 5kW급 연료전지 응용을 위한 3상 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 3상 컨버터는 Delta-Wye 결선으로 전압원 컨버터의 가장 큰 단점인 변압기 턴비를 최소화하였다. 그리고 클램프 스위치의 동작으로 전압과 전류의 서지 및 공진을 감소시키고 순환전류를 리셋시켜 각 소자들의 전류정격을 줄였다. 제안하는 3상 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] J. Cho, C. Jeong, F. Lee, "Zero voltage and zero current switching full bridge PWM converter using secondary active clamp," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 13, pp. 601-607 July 1998.
- [3] 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.
- [4] S.V.G Oliveira, I. Barbi, "A three-phase step-up DC-DC converter with a three-phase high frequency transformer," in *Proc. IEEE ISIE*, vol. 2, pp. 571-576 June 20-23, 2005.
- [5] D.S Oliveira, I. Barbi, "A Three-Phase ZVS PWM DC/DC Converter With Asymmetrical Duty Cycle Associated With a Three-Phase Version of the Hybrid Rectifier" *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 20 pp. 354-360, 2005.
- [6] J. Lai, "A high-performance V6 converter for fuel cell power conditioning system," in *Proc. IEEE VPPC*, pp.7, Sept. 2005.
- [7] H. Kim, C. Yoon, S. Choi, "A Three-Phase Zero-Voltage and Zero-Current Switching DC-DC Converter for Fuel Cell Applications" *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 25 pp. 391-398, 2010.