

연료전지 응용을 위한 전류원 3상-3스위치 ZVS 푸쉬풀 컨버터

김재훈, 김연우, 김선주, 최세완
서울과학기술대학교

Current-fed Three-Phase Three Switches ZVS Push-pull Converter for Fuel Cell Application

Jaehoon Kim, Yeonwoo Kim, Sunju Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 수 kW급 이상을 위한 3상 전류원 3스위치 푸쉬풀 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 무손실 스너버를 이용하여 모든 다이오드의 ZCS 턴오프와 스위치의 ZVS 턴온 및 턴오프를 성취한다. 무손실 스너버는 작은 정격을 가지며 메인회로와 무관하게 동작하는 장점이 있다. 5kW급 시작품으로부터 제안한 컨버터의 타당성 및 성능을 검증하였다.

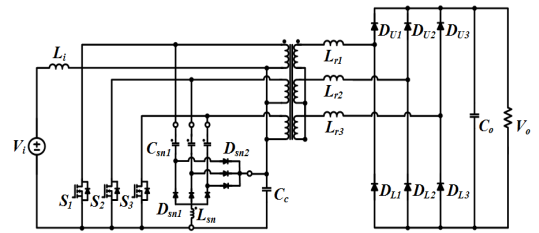


그림 1. 제안하는 컨버터

1. 서론

태양광, 연료전지 발전 등과 같은 신재생에너지는 저전압 출력 특성을 가지고 있기 때문에 상용 전원으로 변환하기 위해서는 고승압의 절연형 DC DC 컨버터가 요구된다. 일반적으로 단상 고주파변압기를 이용한 풀브릿지 또는 푸쉬풀 등의 절연형 고승압 DC DC 컨버터를 사용해 왔다. 하지만 연료전지의 저전압 대전류 특성으로 인하여, 수 kW급 이상에서 단상 토폴로지로는 고효율·고전력밀도의 달성이 용이하지 않다.

따라서 고승압·대전력의 특성이 요구되는 연료전지 응용에서 3상 DC DC 컨버터가 연구되고 있다. 3상 DC DC 컨버터는 전류를 분배하여 스위치의 전류부담을 줄이고 인터리빙 기법으로 입·출력 필터의 부피를 줄일 수 있으며, 3상 변압기를 사용하여 변압기 부피도 줄일 수 있는 장점이 있다^[1]. 또한 3상 DC DC 컨버터들 중에 전류원 방식은 전압원 방식에 비해 입력전류 리플이 작고 변압기의 턴비가 낮아 연료전지 응용에 적합하다. 기존의 3상 전류원 컨버터는 스위치 오프 시 인덕터 전류의 경로를 만들어 주기 위해 능동 클램프 또는 RCD 스너버가 적용되었다^{[2][3]}. 능동클램프 방식은 스위치가 ZVS 턴온을 하지만 하드스위칭 오프를 하며 스위치와 게이트드라이버의 개수가 증가하는 단점을 가지고, RCD 스너버 방식은 구조가 간단하지만 하드스위칭과 도통손실 증가하는 단점이 있다. 따라서 두 가지 방식을 적용할 경우 저가격, 고효율, 고전력밀도 달성에 한계가 있다.

본 논문에서는 무손실 스너버를 적용한 3상 전류원 3스위치 푸쉬풀 컨버터를 제안한다. 스위치는 0부터 0.6의 듀티 범위에서 ZCS 턴온, ZVS 턴오프 하며 0.6부터 0.66의 듀티 범위에서 ZVS 턴온 및 턴오프를 한다. 또한 2차측 다이오드는 동작 듀티 전범위에서 ZCS 턴온 및 턴오프를 하며 무손실 스너버 다이오드는 ZCS 턴오프를 한다. 제안한 컨버터의 무손실 스너버

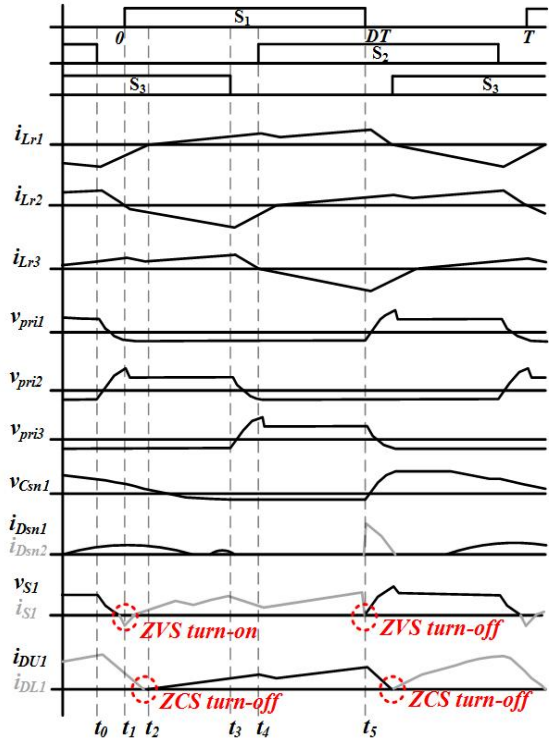


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작파형

는 정격이 작고 메인회로와 무관하게 동작하는 장점이 있다.

2. 제안하는 컨버터

제안하는 컨버터는 그림 1과 같이 3상 변압기의 1차측은 스위치와 인덕터 및 스너버 회로로, 2차측은 3상 다이오드 브릿

지로 구성되며 제안하는 컨버터의 주요 특징은 다음과 같다.

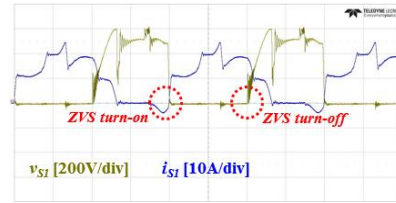
- 무손실 스너버를 사용하여 스너버 손실 최소화
- 듀티 범위는 0~0.66 으로 별도의 스타트업 회로 필요없음
- 듀티 범위 0~0.6 에서 스위치는 ZCS 턴온, ZVS 턴오프
- 듀티 범위 0.6~0.66 에서 스위치는 ZVS 턴온 및 턴오프
- 다이오드 ZCS 턴오프되어 역방향회복에 의한 서지 없음
- 3상 코어의 사용으로 변압기의 부피가 작음
- 스위치 공통접지 사용으로 게이트드라이버 회로 간단함



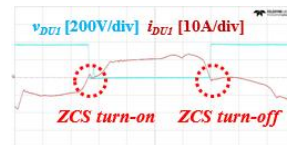
그림 3. 5kW급 시작품 사진

제안한 컨버터는 듀티범위가 0~0.66으로 제한되지만 일반적으로 승압형 컨버터도 듀티를 0.7이상으로 사용하지 않기 때문에 문제되지 않는다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 듀티가 0.65 일 때의 동작파형이다. 인터리빙 기법을 위해 각 스위치는 120도의 위상차를 주고 듀티를 조절하여 출력전압을 제어한다. 스위치는 C_{sn} 과 L_r 의 부분공진으로 ZVS 턴온 및 턴 오프를 성취하고 다이오드는 L_r 의 전류기울기로 ZCS 턴오프를 성취하여 역방향 회복에 의한 전압서지가 거의 없게 된다.

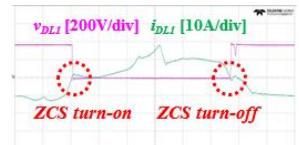
표 1은 다음의 사양에 대하여 제안하는 컨버터와 RCD스너버, 능동클램프를 사용하는 기존의 전류원 3상 DC DC 컨버터의 특성과 주요소자 정격에 대한 비교결과를 나타낸 것이다. 스위치의 전압정격과 다이오드 특성은 3가지 모두 비슷하며, 제안하는 컨버터는 능동클램프 방식에 비해 스위치 개수가 3개 적고 ZVS 턴온, 턴오프하여 스위칭 손실 측면에서 유리하다.



(a) 스위치 (S_1)



(b) 상측 다이오드 (D_{U1})



(c) 하측 다이오드 (D_{L1})

그림 4. 실험파형

표 1 전류원 3상 DC-DC 컨버터의 특성비교

항목		도표로지		
		RCD스너버 ^[2]	능동클램프 ^[3]	제안하는 컨버터
입력 인덕터		15uH		
출력 커패시터		50uF		
클램프 커패시터		10uF		
스위치 개수		3	6	3
동작 듀티 범위		0.33 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 0.66
메인 스위치 특성	턴온	하드스위칭	ZVS	ZVS
	턴오프	하드스위칭	하드스위칭	ZVS
보조 스위치 특성	턴온	없음	ZVS	없음
	턴오프		하드스위칭	
메인 스위치	V_{pk}	185 V	185 V	223 V
	I_{rms}	49.5 A	35.5 A	43 A
다이오드	V_{pk}	380 V	380 V	380 V
	I_{rms}	8 A	8 A	8 A
클램프 스위치	V_{pk}	없음	185 V	없음
	I_{rms}		10.5 A	

• $P_o = 5kW$ • $V_i = 60\sim 110V$ • $V_o = 380V$ • $f_s = 50kHz$

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 실험을 하였다.

• $P_o = 5kW$ • $V_i = 60\sim 110V$ • $V_o = 380V$
 • $n_1:n_2 = 1:3$ • $L_r = 6.9uH$ • $f_s = 50kHz$

제안한 컨버터의 5kW 시작품 사진은 그림 3과 같으며 그림 4 (a)~(c)는 스위치 및 다이오드 전압, 전류 파형이다. 스위치는 ZVS 턴온 및 턴오프를 성취하며, 2차측 다이오드는 ZCS

턴온 및 턴오프를 성취하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 수 kW 이상의 연료전지와 같은 저전압 대전류 응용에 적합한 전류원 3상 3스위치 푸시풀 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 무손실 스너버를 이용하여 다이오드의 ZCS 턴 오프와 스위치의 ZVS 턴온 및 턴오프를 성취하여 고주파 동작을 가능케 하며 스위치 개수가 적어 저가격, 고효율, 고전력밀도를 달성할 수 있다. 5kW급 시작품을 제작하여 제안한 컨버터의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] D. M. Divan and R. 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] R. Leandro and I. Barbi, "A Three Phase Current Fed Push Pull DC DC Converter" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 24, Issue 2, pp.358 368, Feb. 2009.
 [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 Electron.*, vol. 26, no. 8, pp. 2266 2277, Aug. 2011.