

연료전지 응용을 위한 3개의 스위치를 갖는 3상 소프트스위칭 DC-DC 컨버터

김민재, 노신영, 최세완
서울과학기술대학교

A Three-Phase Soft-switching DC-DC Converter with Three Switches for Fuel Cell Application

Minjae Kim, Shinyoung Noh, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 3개의 스위치를 갖는 3상 소프트스위칭 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 스위치의 ZCS 턴온과 ZVS 턴오프 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 또한 인터리빙 효과로 인해 출력 및 클램프 커패시터의 전류정격이 매우 감소하는 장점이 있다. 제안하는 컨버터의 동작원리 및 기존 컨버터들과 성능을 비교하고 5kW급 시작품의 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서론

연료전지, 하이브리드 자동차, 태양광 및 DC grid 시스템과 같은 고출력 및 대전력 응용에서는 주로 3상 DC DC 컨버터가 사용되어 왔다. 기존의 3상 DC DC 컨버터로 수동클램프 방식과 능동클램프 방식의 푸쉬풀^{[1][3]}, 하프브리지^{[2][4]}, 풀브리지^[5]가 연구되어 왔다. 수동 클램프 방식^{[1][2]}은 구조가 간단하며 스위치 수가 적은 장점이 있다. 하지만 스위치의 스위칭 손실 및 RCD스너버 손실로 효율이 낮으며 제한된 듀티영역($0.33 < D < 1$)으로 인해 추가적인 스타트업 회로가 필요한 단점이 있다. 이에 비해 능동 클램프 방식^{[3][5]}은 ZVS 턴온이 가능하고 전 듀티영역($0 < D < 1$)에서 동작하지만 스위치 수가 많은 단점이 있다.

본 논문에서는 3상 소프트스위칭 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 공통 접지를 가진 3개의 스위치로 구성되어있으며 이로 인해 게이트드라이버가 간단하다. 스위치는 ZCS 턴온과 ZVS 턴오프 되며 다이오드 또한 ZCS 턴오프 된다. 전 영역의 듀티를 사용할 수 있기 때문에 추가적인 스타트업 회로가 필요 없으며 인터리빙 효과로 인해 출력 및 클램프 커패시터의 전류정격이 매우 감소하는 장점이 있다.

2. 제안하는 컨버터

제안하는 컨버터의 회로도에는 그림 1과 같다. 제안하는 컨버터는 공통 접지를 갖는 3개 스위치로 구성되어 게이트드라이버가 간단하다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 동작파형이다. 제안하는 컨버터는 모든 스위치가 같은 듀티로 동작하며, 각 스위치는 인터리빙을 위해 120도 위상차를 주고 듀티를 조절하여 출력전압을 제어한다. 각 스위치는 공진인덕터 L_r 로 인해

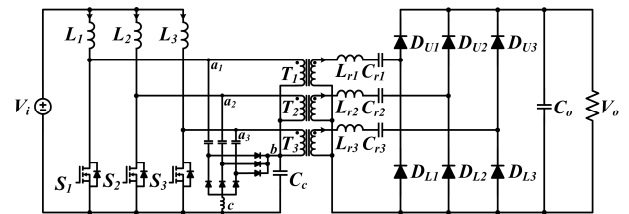


그림 1. 제안하는 3상 컨버터

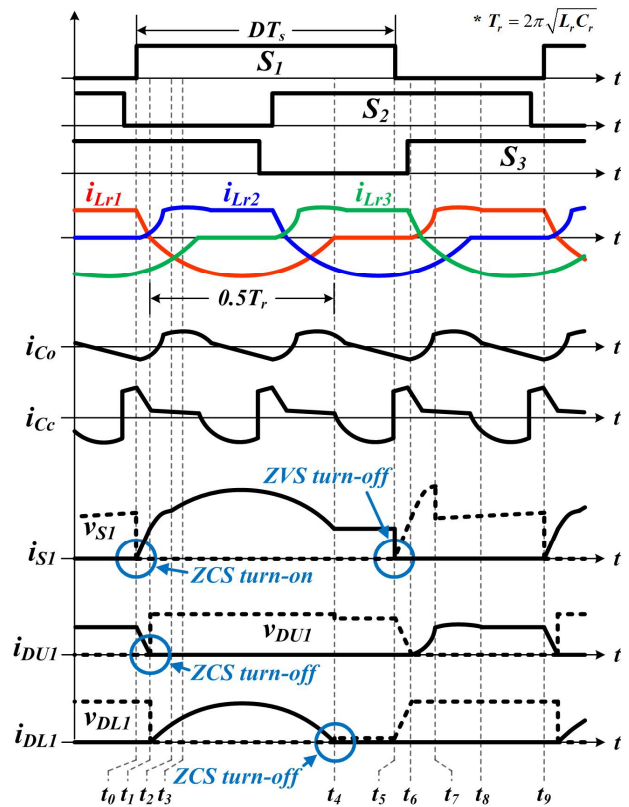


그림 2. 제안하는 3상 컨버터의 동작파형

ZCS 턴온을 하고, 스너버 커패시터의 전압 기울기로 ZVS 턴오프를 성취한다. 출력 다이오드는 공진탱크로 인해 ZCS 턴오프를 성취한다. 제안하는 컨버터는 그림 2와 같이 인터리빙효과를 갖기 때문에 클램프 커패시터 C_c 와 출력 커패시터 C_o 의 전류정격이 매우 작아진다.

표 1은 제안하는 컨버터와 기존컨버터의 비교표이다. 제안하는 컨버터는 능동 클램프 방식의 컨버터처럼 모든 듀티영역에

표 1 각 컨버터의 특성비교

도플로지		하프브리지 ^[2]	하프브리지 ^[4]	제안하는 컨버터
항목				
클램프 방식		수동 클램프 (RCD 스너버)	능동 클램프	수동 클램프 (무손실 스너버)
동작 듀티영역		0.33 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 1
스위치 특성	턴온	하드스위칭	ZVS	ZCS
	턴오프	하드스위칭	하드스위칭	ZVS
클램프 스위치 특성	턴온	ZVS	ZVS	
	턴오프	하드스위칭	하드스위칭	
스위치 개수		3	6	3
스위치 정격		211V _{pk} 63A _{rms}	105V _{pk} +Surge 61A _{rm}	180V _{pk} 63A _{rm}
클램프 회로 구성		R _S , C _S , D _S	C _V , S _C	L _S , C _S , C _C , D _S
변압기 kVA		5.52	5.84	1.93 x 3

서 동작하기 때문에 스타트업 회로가 필요 없다. 제안하는 컨버터는 턴온 및 턴오프 모두 소프트스위칭을 하기 때문에 스위칭 손실이 가장 낮다. 수동 클램프 방식의 컨버터와 제안하는 컨버터가 최소의 스위치 수를 가지며, 스위치 및 변압기 정격은 3가지 모두 비슷하다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 실험을 하였다.

- $P_o = 5kW$
- $V_i = 35 \sim 55V$
- $V_o = 400V$
- $f_s = 50kHz$
- $N_p:N_s = 1:4$
- $L_r = 5\mu H$
- $C_r = 1.5\mu F$
- $L_s = 10\mu H$
- $C_s = 100nF$

그림 3 (a)~(e)는 실험파형으로 스위치의 ZCS 턴온과 ZVS 턴오프 및 다이오드의 ZCS 턴오프가 성취되고, 인터리빙 효과로 인해 C_c 전류리플이 감소된 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 실험효율로 2.5kW에서 최고효율 96%가 측정되었다.

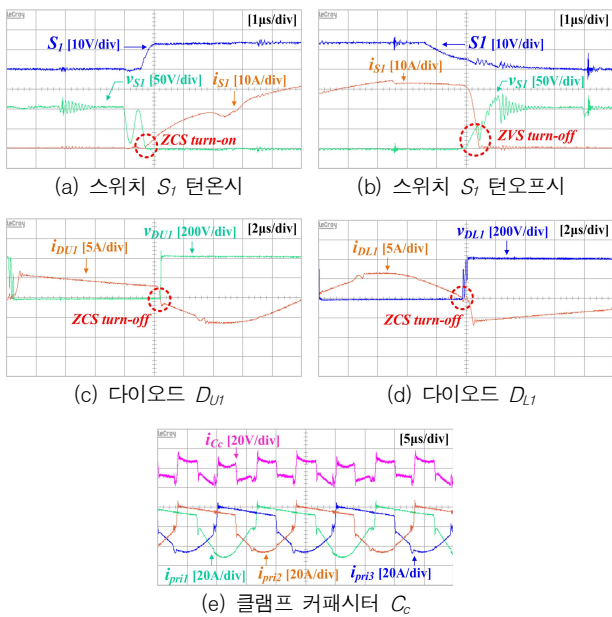


그림 3. 실험파형

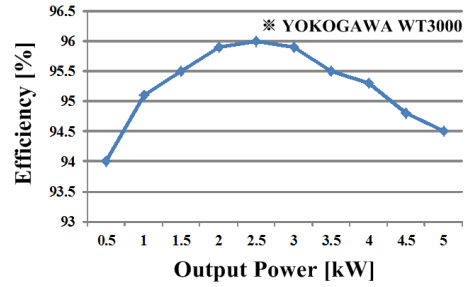


그림 4. 실험효율

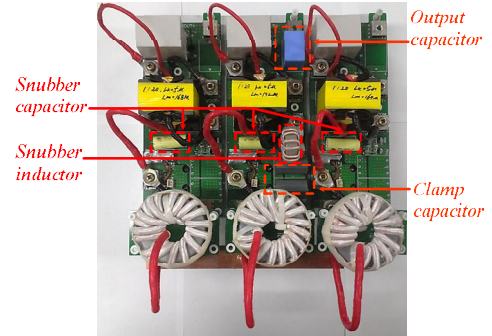


그림 5. 제안하는 컨버터 5kW급 시작품

4. 결론

본 논문에서는 3개의 스위치를 갖는 3상 소프트스위칭 DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 전 듀티영역에서 동작하고 스위치의 ZCS 턴온 & ZVS 턴오프 및 모든 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 또한 인터리빙 효과로 수동 소자의 부피가 감소하는 장점이 있다. 5kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] R. L. Andersen, and I. Barbi, "A three phase current fed push pull dc dc converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 2, pp. 358 368, 2009.
- [2] S. V. G. Oliveira, and I. Barbi, "a three phase step up dc dc converter with a three phase high frequency transformer for dc renewable power source applications," *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 58, no. 8, pp. 3567 3580, 2011.
- [3] S. Lee, J. Park, and S. Choi, "A three phase Current fed Push Pull DC DC Converter with Active Clamp for Fuel Cell Applications," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 26, no. 8, pp. 2266 2277, 2011.
- [4] J. Choi, H. Char, and B. Han, "A three phase interleaved dc dc converter with active clamp for fuel cells," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 25, no. 8, pp. 2115 2123, 2010.
- [5] H. Char, J. Choi, and P. N. Enjeti, "A three phase current fed dc/dc converter with active clamp for low dc renewable energy sources," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 23, no. 6, pp. 2784 2793, 2008.