

스위치 혼합방식을 이용한 단상 Z-Source 인버터 효율개선

김기선*, 우도*, 박성준*, 임영철*, 김철우**

*전남대학교, 부산대학교

Improving Efficiency of Single-phase Z-Source inverter by Switching Mixture Method

KI-SEON KIM*, YU TAO*, SUNG-JUN PARK*, YOUNG-CHEOL LIM*, CHEUL-U KIM**

*Chonnam National Univ, **Pusan National Univ

ABSTRACT

본 논문은 Z-Source 인버터의 효율 증대를 위해 기존의 스위칭 회로에의 lower-arm의 스위칭 소자를 BJT구성하여, 스위칭 회로가 FET와 BJT로 구성된 Z-Source 인버터 구조를 제안하였으며, 제안된 인버터 구조에 적합한 스위칭 신호를 분석 및 스위칭 손실의 효율을 개선하였다. 또한 본 논문을 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 방식의 성능을 확인하였다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 환경 문제로 인해 풍력, 태양광 그리고 연료전지등을 이용한 친환경적인 전기에너지 생산에 많은 관심과 연구가 진행되고 있으며 이렇게 발전된 전기에너지의 높은 사용율을 증대를 위해 인버터 효율과 주변 부품들에 대한 많은 연구들이 진행 되어왔다. 본 논문에서는 IGBT와 BJT를 혼합한 스위치 단을 구성하여 기존의 Z-Source 인버터 스위칭 손실을 줄여 에너지 효율 개선 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

2. Z-Source 인버터

인버터는 전압원과 전류원 인버터로 구분된다. 전압원 인버터는 DC 전압원, 캐패시터, 스위칭 부분으로 구성되며 DC 전압원으로는 배터리, 연료전지, 태양광 전지로 구성 될 수 있다. 전압원 인버터는 넓게 사용되어 지고 있으나 몇 가지 한계점^[1]을 가지고 있다. 전류원 인버터는 인덕터에 에너지를 축적시킨 후 스위치의 시비율을 이용한 승압이 가능하다. 전류원 인버터 또한 몇 가지 한계점^[1]을 가지고 있다. 따라서 전압원 인버터와 전류원 인버터 한계와 부품 증가 및 비용 상승의 문제점을 극복하기 위한 대안이 Z-Source 인버터이다. 그림 1은 단상 Z-Source 인버터를 보여주고 있다. Z-Source 인버터는 전압원 및 전류원을 특성을 모두 가지고 있다.

3. 제안된 스위칭 손실 저감형 Z-Source 인버터

Z-source 인버터가 Buck-boost 타입으로 동작하기 위해서는 적절한 스위칭 신호의 발생이 매우 중요하다. 3상 Z-source 인버터의 스위칭방식에 대한 많은 연구결과는 나오고 있으나

단상 인버터의 스위칭 방식에 대한 연구를 다소 미흡한 실정이다. 일반적으로 단상 전압형 인버터에서 대표적인 스위칭 방식은 양극성 방식과 단극성 방식이 대표적이다.

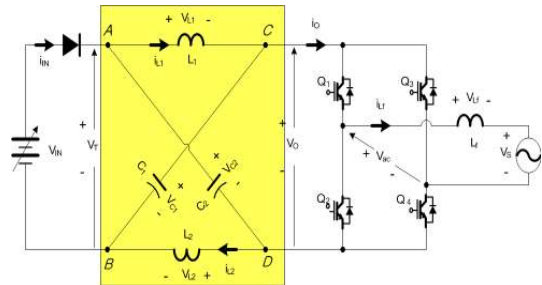


그림 1 단상 Z-source 인버터
Fig. 1 Single phase Z-source inverter

Z-source 인버터에서는 데드타임이 불필요하므로 양극성 스위칭 방식 및 단극성 스위칭 방식에 따른 왜형을 차이는 나타나지 않는다. 그러나 스위칭 소자의 정상상태 손실은 스위칭 소자의 포화전압에 의해 결정되며, 단극성 스위칭 방식에서 극성을 결정하는 스위치의 스위칭 주파수는 크기를 결정하는 스위칭 주파수에 비하여 상대적으로 매우 낮다. 이러한 낮은 주파수로 동작하는 경우 스위칭 주파수 특성은 우수하나 포화전압이 높은 FET나 IGBT를 사용하는 것보다는 스위칭 주파수 특성은 우수하지 않으나 포화전압이 상대적으로 낮은 BJT를 사용하면 스위칭 소자의 정상상태 손실을 줄일 수 있다.

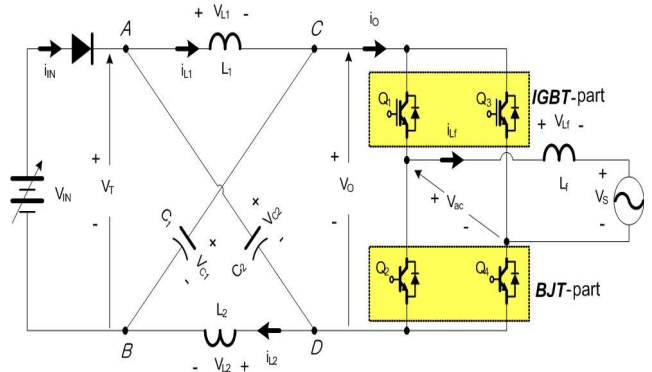


그림 2 제안된 스위칭 손실저감형 단상 Z-source 인버터
Fig. 2 Proposed reduced switching loss type Single phase Z-source inverter

본 논문에서는 스위칭 소자의 정상상태 손실을 저감하기 위

해 극성을 결정하는 스위치의 스위칭 소자는 포화전압이 낮은 BJT를 사용하고, 크기를 결정하는 스위치 소자에는 IGBT를 사용하는 방식을 제안한다. 제안된 스위칭 손실 저감형 Z-source 인버터의 구조는 그림 2에 나타나있다. 또한 단극성 스위칭 방식은 양극성 스위칭 방식과 달리 매 스위칭 주기마다 출력전압을 제어할 수 있어 출력전압의 정도를 높일 수 있는 장점을 갖기 위해 단극성 스위칭 방식을 채택하였다.

4. 시뮬레이션

그림 3은 제안된 Z-Source 인버터의 PSIM 시뮬레이션 회로이다. 제어요소를 암단락 비로 설정하고, 인버터의 변조비는 암단락 시간과 변조시간의 합이 스위칭 주기와 같게 되도록 하여 스위칭 소자에 인가되는 전압 스트레스를 최소화 하도록 하였다. 또한 스위칭 소자의 정상상태 손실을 저감하여 인버터의 효율증대를 위해 두 암의 스위칭 소자 중 한 암을 BJT 스위칭 소자를 사용하였다.

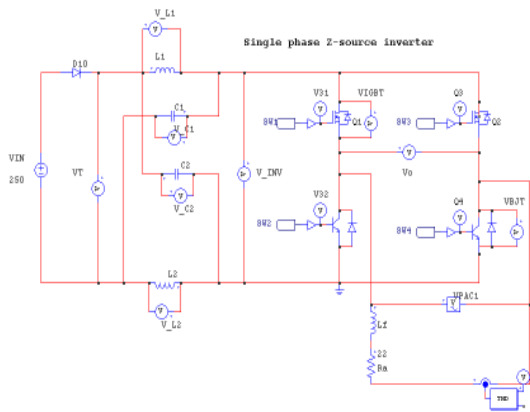


그림 3 Z-source 시뮬레이션용 회로도
Fig. 3 simulation circuit of Z-source

본 연구에 사용된 Z-source 인버터 전력변환기의 사양은 표 1과 같다.

표 1 Z-source 인버터 DC/DC 전력변환기 사양
Table 1 Parameters of the power system for Z-source inverter

Rated power	1.2 [kW]
Operating voltage range of solar cell	150-300[V]
Inverter switches	SPW47N60C3 SPW47N60C3
Switching frequency	10[kHz]
Inductor of Z-source	1500[uH]
Capacitor of Z-source	2000[uF]

그림 4는 기존의 Z-source인버터의 스위칭 소자 손실 특성을 나타내고 있으며, 그림 5는 제안된 Z-source인버터의 스위칭 소자 손실 특성을 나타내고 있다. 그림 4와 그림 5에서 보는바와 같이 인버터의 상단 스위치는 모두 IGBT이므로 스위칭 손실은 동일하게 나타지만, 하단 스위치의 전력손실은 기존의 Z-source인버터에 비해 매우 적게 나타남을 알 수 있었다.

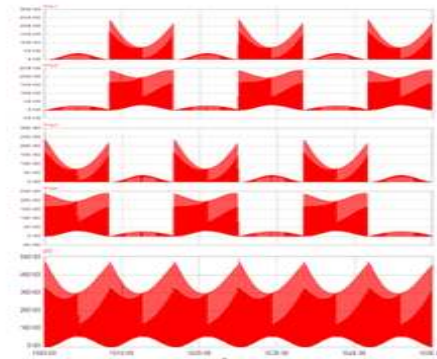


그림 4 기존의 Z-source인버터의 스위칭 소자 손실 특성
Fig. 4 Switching loss quality of the conventional Z-source inverter

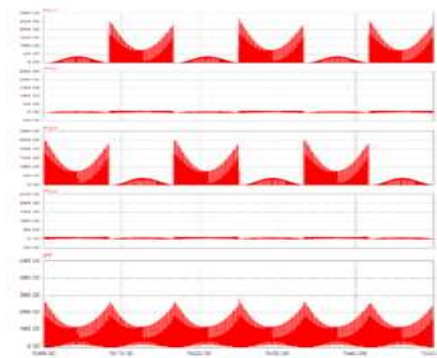


그림 5 제안된 Z-source인버터의 스위칭 소자 손실 특성
Fig. 5 Switching loss quality of the proposed Z-source inverter

시뮬레이션 결과 기존의 Z-source인버터의 구조에서 스위칭 손실 총 스위치 손실은 약 106[W]로 나타났으며 제안된 Z-source인버터의 총 스위치 손실은 약 50[W]로 나타났다. 따라서 제안된 방식의 Z-source인버터의 구조가 기존의 Z-source인버터의 구조에 비하여 약 56[W] 스위치 손실을 저감할 수 있었다. 그림 6은 IGBT 스위치 소자를 BJT 스위치 소자로 대체하였을 때의 스위치 손실저감 효과를 분석하기 위한 결과이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 IGBT스위치를 사용한 경우 스위치 손실이 약 32[W]로 나타났으나, 이 부분을 BJT 스위치 소자로 대체하였을 경우 약3.2[W]로 스위치 손실을 1/10로 줄일 수 있다.



그림 6 Q₂ 스위치의 손실 특성비교
Fig. 6 Switching loss quality comparison of the Q₂

5. 실험 결과

그림 7은 1[kW]급으로 제작된 Z-source인버터를 나타내고 있다. 스위칭 신호발생을 위해서는 DSP(TMS320F2812)를 사용하였다.

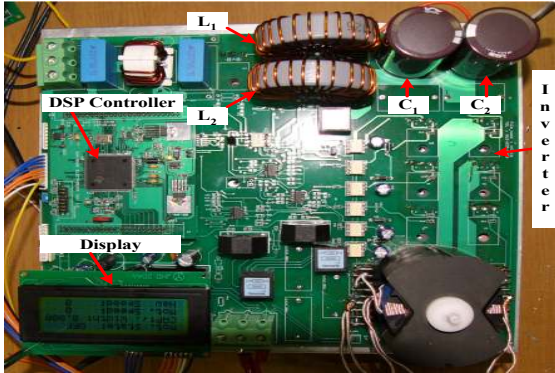
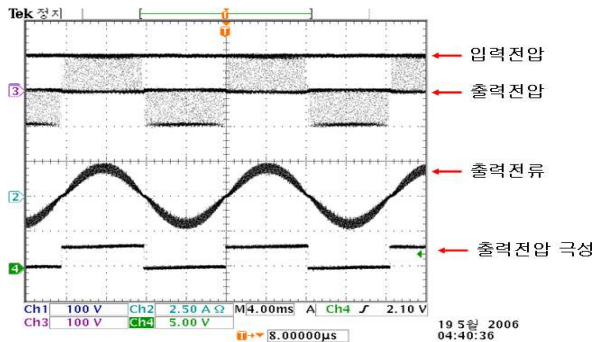
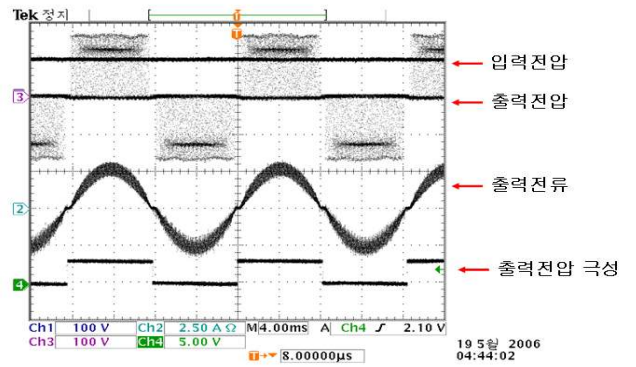


그림 7 제작된 Z-source 인버터
Fig. 7 Prototype Z-source inverter

그림 8은 Z-source인버터의 감압 및 승압동작을 보기 위한 파형이다. 그림 10(a)는 암 단락이 없이 변조비가 0.8인 경우를 나타내고 있다. 그림 8(a)에서 보는 바와 같이 인버터의 출력전압 PWM파형의 피크치와 DC 입력전압 크기가 동일하게 나타난다. 따라서 인버터의 출력특성은 감압기능을 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 8(b)는 변조비는 그림 8(a)와 동일하게 둔 상태에서 암 단락비를 0.2로 하였을 경우를 나타내고 있다. 그림 8(b)에서 보는 바와 같이 인버터의 출력전압 PWM파형의 피크치가 DC 입력전압 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 인버터의 출력특성은 승압기능을 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 9는 시비율 변화에 따른 기존의 IGBT 스위칭 타입 Z-source 전력변환시스템과 제안된 IGBT-BJT 혼용 스위칭 타입 Z-source 전력변환시스템의 총 효율 특성을 분석한 결과이다. 그림 9에서 보는바와 같이 기존타입에서는 시비율이 0.4일 때 최소 총 효율은 약 72[%]로, 최대 총 효율은 시비율이 0.1일 때 약 93[%]로 나타났다. 제안된 방식은 시비율이 0.4일 때 최소 총 효율은 약 86[%]로, 최대 총 효율은 시비율이 0.2일 때 약 95[%]로 우수하게 나타났다.



(a)



(b)

그림 8 Z-source 인버터의 입출력파형
(a) $m=0.8, d=0$ (b) $M=0.8, d=0.2$
Fig. 8 Waveform of Z-source inverter
(a) $m=0.8, d=0$ (b) $M=0.8, d=0.2$

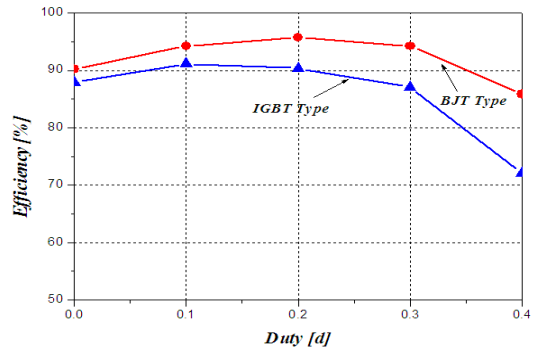


그림 9 Z-source 전력변환시스템의 총 효율 특성
Fig. 9 Total efficient quality of the conventional Z-source and proposed Z-source inverter

5. 결론

본 논문은 기존의 Z-Source 인버터의 효율 증대를 위해 스위칭 소자를 IGBT와 BJT로 혼합된 새로운 Z-Source 인버터 구조를 제안하여 기존의 스위칭 소자의 손실을 개선하여 전력변화 장치의 효율을 증가 시켰다. 본 논문의 타당성을 PSIM으로 시뮬레이션 하였으며, 실험 장치를 구성하여 연구결과를 검증하였다.

본 연구는 산업자원부와 한국 산업 기술 재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임. 이 연구의 참여한 연구자는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았다

참고 문헌

[1] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.