

해외기사 소개

Z-Source Inverter의 최근 기술동향정보

차 헌 념

(경북대 에너지공학부 전임강사)

1. 서론

본 기사는 최근 산업체에서 이슈화 되고 있는 Z-소스 인버터에 대해 최근 기술동향 정보를 보여주고 이의 응용분야에 대해서 소개하고자 한다.

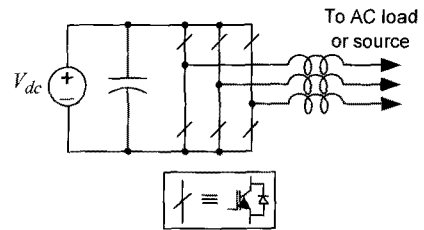
전통적으로 DC-AC 전력변환에는 그림 1에 보인 전압형과 전류형의 두 개의 인버터가 있다. 전압형 인버터 (그림 1 (a))의 경우는 Buck DC-DC 컨버터와 같이 출력전압은 항상 입력전압과 같거나 작게 된다. 또한 스위치 암을 구성하는 위, 아래에 있는 두 개의 스위치가 동시에 턴 온 될 수가 없다. 하지만 노이즈나 기타 여러 요인에 의해 암 단락이 발생할 수가 있는데 이 경우 입력단에 위치한 DC 링크 커패시터가 방전을 하여 스위치가 과전류로 손상될 수가 있다.

이와 비슷하게 전류형 인버터 (그림 1 (b))의 경우는 Boost DC-DC 컨버터와 같이 출력전압은 항상 입력전압과 같거나 크게 된다. 또한 스위치 암을 구성하는 위, 아래에 있는 두 개의 스위치가 동시에 턴 오프 될 수가 없다. 하지만 노이즈나 기타 여러 요인에 의해 암 오픈이 발생할 수가 있는데 이 경우 입력단에 위치한 DC 인덕터가 방전을 하여 스위치가 과전압으로 손상될 수가 있다. 따라서 기존의 전압, 전류형 인버터는 강압 혹은 승압만 가능하고 승, 강압은 할 수가 없다. 또한 노이즈에 의한 암 단락이나 오픈에 취약하기 때문에 전체 시스템의 신뢰성이 많이 떨어지는 단점이 있다.

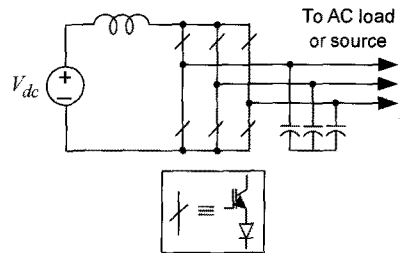
Z-소스 인버터는 이러한 기존의 전압, 전류형 인버터의 문제점을 극복하기 위해 2003년에 미시간 주립대의 Dr. Fang Z. Peng에 의해 처음 소개되었다.⁽¹⁾ 그림 2에 2003년에 소개된 전압, 전류형 Z-소스 인버터가 나타나 있다. 주전원압, 인

버터 스위칭 디바이스 사이에 2개의 커패시터, 그리고 하나의 다이오드로 구성된 Z-소스 네트워크를 삽입하여 스위치의 암 단락과 오픈을 적극 이용하는 구조로 되어있다. Z-소스 인버터의 장점으로서는 다음과 같다.

1. 출력전압은 입력전압보다 크거나 작을 수 있다. 즉 승압과 강압의 기능을 동시에 가지고 있다.
2. 암 단락과 오픈을 이용하므로 외부의 노이즈에 의한 영향을 최소화 하여 시스템의 신뢰성을 많이 향상 시킨다.

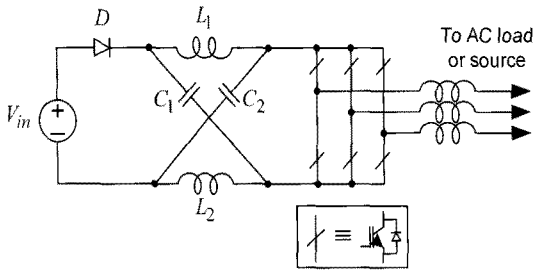


(a) 전압형 인버터 (VSI)

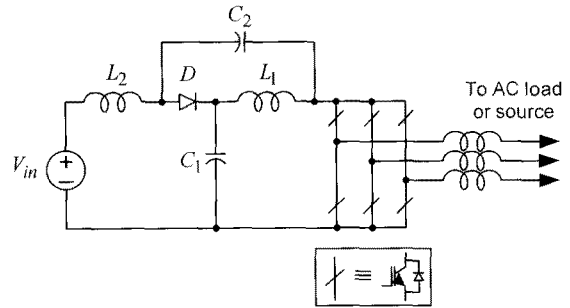


(b) 전류형 인버터 (CSI)

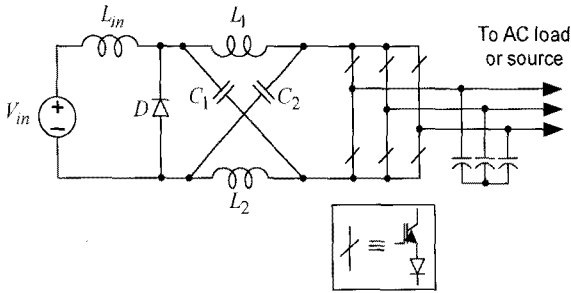
그림 1 기존의 전압, 전류형 인버터



(a) 전압형 (VF) Z-소스 인버터

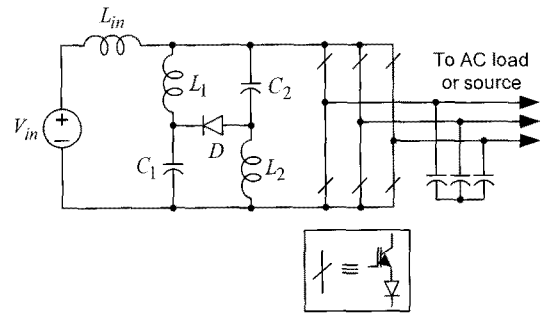


(a) 전압형 qZ-소스 인버터



(b) 전류형 (CF) Z-소스 인버터

그림 2 Z-소스 인버터



(b) 전류형 qZ-소스 인버터

그림 3 qZ-소스 인버터

하지만 그림 2의 Z-소스 인버터의 경우 몇 가지 단점이 있다. 먼저 전압형 Z-소스 인버터의 경우 입력전압과 다이오드가 직렬로 연결된 구조이어서 입력전류가 불연속이 된다. 그리고 커패시터 C1, C2가 높은 전압을 유지해야 한다. 이와 비슷하게 전류형 Z-소스 인버터는 인덕터 L1, L2가 높은 전류를 유지해야 하는 단점이 있다.

2. 전류형 (q)Z-소스 인버터와 양방향 에너지 전달 특성

앞에서 언급한 기존의 Z-소스 인버터의 몇가지 문제점들을 해결하기 위해 2008년에 qZ-소스 인버터가 개발되었다.^[2, 3] 그림 3은 전압, 전류형 qZ-소스 인버터를 나타낸다.

그림 3의 qZ-소스 인버터는 그림 2에 보인 Z-소스 인버터와 동작원리가 거의 동일하다. 그림 3의 qZ-소스 인버터의 특징 중 가장 눈에 띄는 것은 주전원과 스위칭 디바이스가 그라운드를 공유한다는 점이다. 이는 실제 하드웨어 제작 시 스위치에 인가되는 전압 overshoot을 상당히 줄일 수 있는 이점을 제공한다. 또한 그림 3 (a)의 전압형 qZ-소스 인버터의 경우 커패시터 C2에 걸리는 전압은 그림 2 (a)에서 보다 상당히 작아질 수 있다. 실제로 C2에 걸리는 전압은 C1에 걸리는 전압에서 입력전압 (V_{in})을 뺀 값이다. 이 외에 qZ-소스 인버터의 경우 입력전원이 L2와 직렬로 연결되어 있기 때문에 입력전류가 연속이 된다.

전압형 (q)Z-소스 인버터의 경우 다이오드가 입력전원과 직렬로 연결되어 있기 때문에 전류가 주전원으로 흘러들어 갈수가 없다. 따라서 단방향의 전력 전달만이 가능하므로 모터 드라이브나 양방향 전력전달이 요구되는 배터리 충, 방전기의 경우에는 사용이 제한되는 단점이 있다. 다이오드 대신에 IGBT나 MOSFET과 같은 active 소자를 사용하면 양방향 전력전달이 이루어지지만 이 경우 active 소자를 사용해야 하는 단점이 있다.^[4] 하지만 그림 3 (b)에 보인 전류형 (q)Z-소스 인버터의 경우에는 별도의 active 소자 없이 다이오드만으로 양방향 전력전달이 가능하다.^[5]

그림 4는 전류형 (q)Z-소스 인버터의 Duty cycle 변화에 따른 인버터의 전압이득과 동작모드를 보여 준다.^[5] 주전원에서 인버터로 에너지를 전달하는 motoring mode와 인버터에서 주전원부로 에너지를 회생시키는 regeneration mode로 크게 나눌 수 있다. 또한 motoring mode는 buck mode와 boost mode로 나뉘어 진다. 따라서 전류형 (q)Z-소스 인버터는 양방향의 전력전달이 가능하고 또한 승, 강압의 기능이 모두 존재하므로 모터 드라이브에 사용될 경우 많은 장점을 가질 수 있다. 하지만 그림 4에서 보듯이 전류형 (q)Z-소스 인버터의 경우 motoring mode에서 스위치단의 DC link전압이 입력전압의 2배 까지만 상승할 수 있다. 그 이상의 승압을 요구하는 시스템의 경우에는 전류형 (q)Z-소스 인버터로는 한

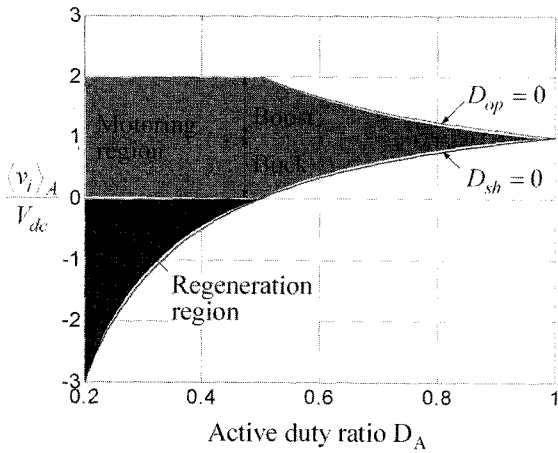


그림 4 Duty cycle 변화에 대한 전류형 (q)Z-소스 인버터 전압이득 및 동작모드

계가 있다.

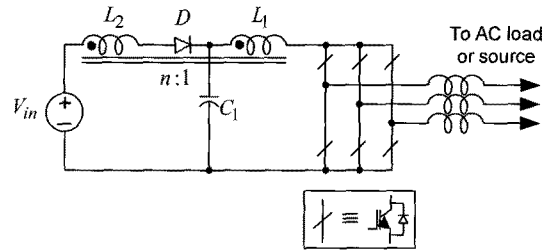
3. Trans-Z 소스 인버터

앞에서 설명한 것처럼 기존의 Z-소스 인버터나 qZ-소스 인버터의 경우 모두 높은 전압이득을 얻는 데는 한계가 있다. 전압형 (q)Z-소스 인버터의 경우 높은 전압이득을 얻기 위해서는 shoot-through duty cycle을 더 많이 이용해야 한다. 하지만 실제 시스템에서는 Z-소스 인덕터의 내부저항으로 인해 전압이득을 올리는 데는 한계가 있다. 이는 Boost DC-DC converter의 경우와 동일하다. 또한 전류형 (q)Z-소스 인버터는 스위치단의 DC link전압이 입력전압의 2배 이상은 상승할 수 없다는 단점이 있다.

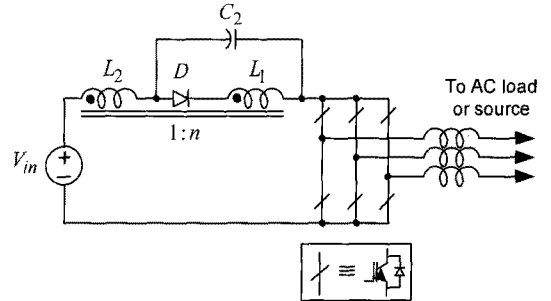
이러한 기존의 (q)Z-소스 인버터의 낮은 전압이득 특성을 개선하기 위해 Trans-Z-소스 인버터가 2010년에 제안되었다.^[6] 그림 5는 전압형 trans-Z-소스 인버터를 나타낸다.

그림 5 (a)는 그림 3 (a)에 보인 전압형 qZ-소스 인버터에서 커패시터 C2를 제거한 회로이다. 이와 비슷하게 그림 5 (b)는 그림 3 (a)에 보인 전압형 qZ-소스 인버터에서 커패시터 C1를 제거한 그림이다. 두 회로 모두 동작원리는 거의 같다. 그림 3의 qZ-소스 인버터의 경우 두 인덕터 L1, L2는 결합이 되어도 되고 안 되어도 된다. 하지만 회로적으로 두 인덕터 양단에 걸리는 전압이 동일하여야 하므로 결합 인덕터를 사용하는 경우에는 권선비가 1:1이어야만 하는 제약이 존재한다. 하지만 그림 5에 보인 trans-Z-소스 인버터의 경우 두 인덕터 (혹은 transformer) 양단에 걸리는 전압이 더 이상 같을 필요가 없다. 따라서 권선비를 달리함으로써 원하는 전압이득의 상승을 가져올 수 있다.

그림 6은 전류형 Trans-Z-소스 인버터를 나타낸다. 전압

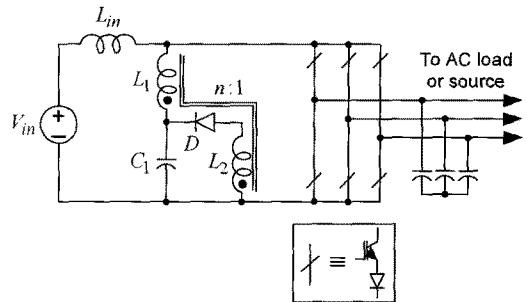


(a) C2를 제거한 전압형 Trans-Z-소스 인버터

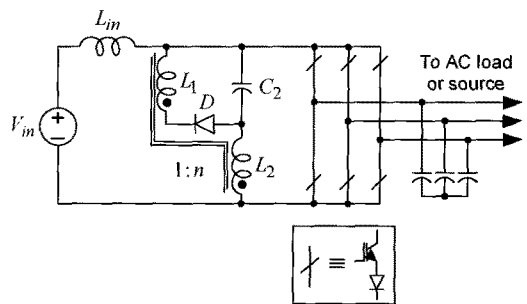


(b) C1을 제거한 전압형 Trans-Z-소스 인버터

그림 5 전압형 Trans-Z-소스 인버터



(a) C2를 제거한 전류형 Trans-Z-소스 인버터



(b) C1를 제거한 전류형 Trans-Z-소스 인버터

그림 6 전류형 Trans-Z-소스 인버터

형과 마찬가지로 그림 3 (b)에서 커패시터 C1 혹은 C2를 제거한 후 결합 인덕터를 사용하여 원하는 전압이득을 얻을 수

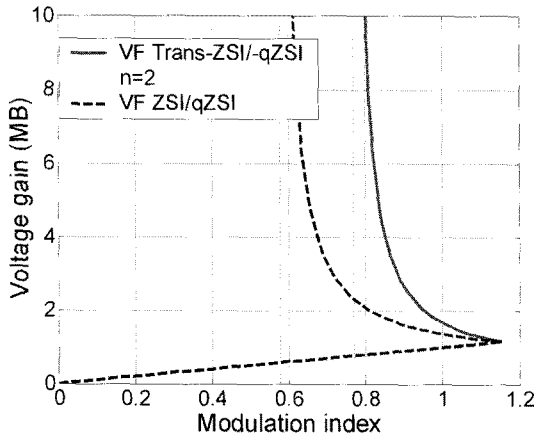


그림 7 Modulation index 변화에 따른 인버터 전압이득 비교

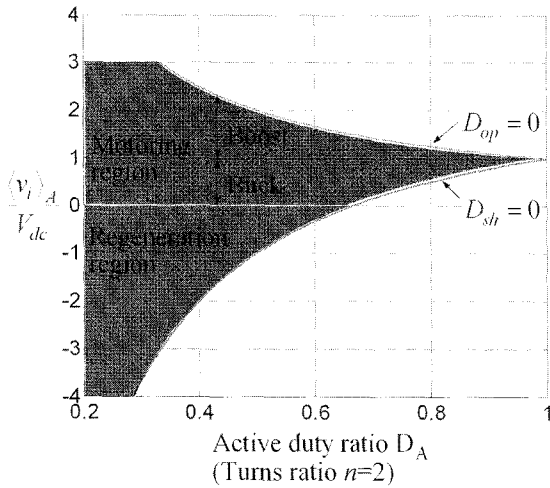


그림 8 Duty cycle 변화에 대한 전류형 Trans-Z-소스 인버터 전압이득 및 동작모드

있다.

그림 7은 결합 인덕터의 권선비가 1:2 인 경우의 전압형 Trans-Z-소스 인버터의 modulation index (MI)의 변화에 따른 인버터의 전압이득을 기존의 (q)Z-소스 인버터의 전압이득과 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 동일한 MI의 경우에 Trans-Z-소스 인버터의 전압이득이 기존의 (q)Z-소스의 전압이득보다 훨씬 커짐을 알 수 있다. 결합 인덕터의 권선비를 더 증가함으로써 아주 높은 전압이득을 얻을 수 있다.

그림 8은 $n=2$ 일때의 전류형 Trans-Z-소스 인버터의 Duty cycle 변화에 따른 인버터의 전압이득과 동작모드를 보여준다. 그림 4에 보인 전류형 (q)Z-소스 인버터와 유사한 동작모드를 가지지만 boost mode에서의 전압이득이 그림 4와

VSI		양방향
CSI		단방향
전압형 qZSI		단방향
전류형 qZSI		양방향
전압형 Trans-ZSI		단방향
전류형 Trans-ZSI		양방향

비교해서 증가했음을 알 수 있다.

따라서 그림 6에 보인 전류형 Trans-Z-소스 인버터는 전류형 (q)Z-소스 인버터처럼 양방향 전력전달이 가능함과 동시에 전류형 (q)Z-소스 인버터 보다 더 높은 전압이득을 가질 수 있다. 이는 motoring mode에서의 동작영역을 더 확장시킬 수 있는 이점이 된다.

표 1은 여러 가지 기존의 전압, 전류형 인버터와 전압, 전류형 Z-소스 인버터들의 회로방식과 전력전달 방향을 비교하여 나타내었다. 표 1에서 보듯이 기존의 전압형 인버터(VSI)는 양방향 전력전달이 가능하나 전압형 Z-소스 인버터 들은 오

직 단방향의 전력전달만 가능하다. 이와 반대로 기존의 전류형 인버터 (CSI)는 단방향만 가능하나 전류형 Z-소스 인버터들은 양방향 전력전달이 가능하다.

3. 결론

본 기사에서는 최근 산업체에서 많은 이슈가 되고 있는 몇 가지의 전압, 전류형 Z-소스 인버터에 대해 알아보았다. 전류형 Z-소스 인버터의 경우 양방향의 전력전달 특성이 최근 밝혀지면서 이와 관련된 응용 범위가 많이 늘어날 것으로 기대된다. 또한 변압기를 이용한 Trans-Z-소스 인버터의 경우 입력전압이 아주 낮은 연료전지나 태양광 발전에 적용할 경우 우수한 특성을 보일 것으로 예상된다. ■

참고 문헌

- [1] F. Z. Peng, "Z-Source Inverter," IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 39, Issue 2, pp. 504-510, March-April 2003.
- [2] J. Anderson, and F. Z. Peng, "Four quasi-Z-Source inverters." in Proc. IEEE PESC 2008, pp. 2743-2749.
- [3] J. Anderson, and F. Z. Peng, "A Class of Quasi-Z-Source Inverters," in Industry Applications Society Annual Meeting, 2008, pp. 1-7.

- [4] H. Xu, F. Z. Peng, L. Chen, and X. Wen, "Analysis and design of Bidirectional Z-source inverter for electrical vehicles," in Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, 2008, pp. 1252-1257.
- [5] S. Yang, F. Z. Peng, Q. Lei, R. Inoshita, and Z. Qian, "Current-Fed Quasi-Z-Source Inverter With Voltage Buck-Boost and Regeneration Capability," IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 47, No. 2, pp. 882-892, March/April 2011.
- [6] W. Qian, F. Z. Peng, and H. Cha, "Trans-Z-Source Inverters," in Proc. IEEE IPEC 2010, pp. 1874-1881.

〈 필 자 소 개 〉



차헌녕(車憲寧)

1972년 10월 17일생. 1999년 경북대 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년~2003년 (주)피에스텍 근무. 2004년~2005년 한국전기연구원 근무. 2009년 미국 Michigan State University 전기공학과 졸업(공박). 2010년~2011년 한국전기연구원 스마트그리드연구본부 선임연구원. 현재 경북대 에너지공학부 전임강사. 당 학회 국문지 편집위원.