

단상 트랜스-Z-소스 AC-AC 컨버터

신현학, 채준영, 정민재
경북그린카부품진흥원

Single-phase Trans-Z-Source AC-AC Converter

Hyunhak Shin, Junyoung Chae, Minjae Jung
GyeongBuk Institute for Advancement of Eco-friendly Auto Parts Technology

ABSTRACT

The existing (q)Z source PWM AC AC converters have limited voltage gain because of the equivalent series resistance in the Z source inductor. In order to obtain higher voltage gain than (q)Z source AC AC converters, a coupled inductor (or transformer) based Z source AC AC converter is proposed in this paper. By increasing turns ratio of the coupled inductor more than 1, the proposed converter can obtain higher output voltage than (q)Z source converters with the same duty ratio. A 120 W prototype AC AC converter is built and tested to verify performances of the proposed converter.

1. 서론

AC AC 컨버터는 간접식과 직접식의 두 가지로 크게 나뉘어진다. 출력전압의 크기만 가변하고 주파수 가변이 필요 없는 응용의 경우 직접식의 PWM AC AC 컨버터가 많이 사용되어지고 있다. 이를 위해 최근 Z 소스 인버터를 응용한 AC AC 컨버터가 많이 소개 되었다.^[1] 그림 1은 기존의 단상 qZ 소스 AC AC 컨버터를 나타낸다. 그림1의 컨버터는 출력전압(v_o)보다 크거나 혹은 작아질 수 있으므로 승, 강압의 기능을 모두 가지고 있다. qZ 소스 AC AC 컨버터는 듀티비의 증가에 따라 무한대의 전압이득을 가질 수 있으나 실제로는 qZ 소스 인덕터에 존재하는 기생 저항성분으로 인해 컨버터의 전압비는 D가 대략 0.45 이상일 경우 오히려 출력전압이 떨어지게 된다. 따라서 전압이득을 더 올리는 데는 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 기존의 qZ 소스 AC AC 컨버터의 제한된 전압이득을 극복할 수 있는 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터를 제안한다.

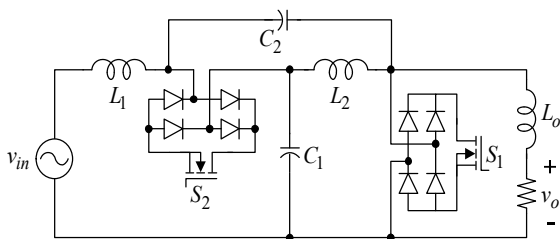


그림 1 단상 qZ-소스 AC-AC 컨버터
Fig. 1 Single-phase qZ-Source AC-AC converter

2 제안된 Trans-Z-소스 AC-AC 컨버터

그림 1의 qZ 소스 AC AC 컨버터에서 두 인덕터 L_1 과 L_2 의 전압은 스위치가 온 일 때와 오프일 때 각각 동일한 전압이 인가된다. 이로 인해 두 인덕터를 결합시킬 경우 결합인덕터의 권선비가 항상 1:1이 되어야 하는 제약이 있다. 하지만 그림 2에서 커패시터 C_1 혹은 C_2 를 제거하고 L_1 과 L_2 를 서로 결합시키면 더 이상 L_1 과 L_2 의 권선비가 1:1로 제한 받을 필요가 없다. 즉 결합인덕터의 권선비를 달리함으로써 원하는 고승압을 구현할 수 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터를 나타낸다. 그림 2는 커패시터 C_2 를 제거한 후 L_1 과 L_2 를 결합한 것이고, 커패시터 C_1 을 제거하고 L_1 과 L_2 를 결합할 수 있다. 두 경우 모두 비슷하게 동작을 하며 컨버터의 전압이득은 동일하게 계산되어진다.

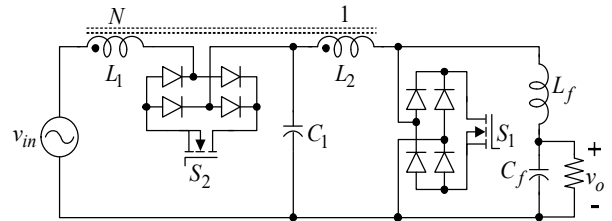


그림 2 제안된 트랜스-Z-소스 AC-AC 컨버터
Fig. 2 Proposed Trans-Z-Source AC-AC converter

2.1 동작모드 해석

본 논문에서 그림 2의 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터의 동작모드와 이의 전압이득을 살펴보고자 한다. 그림 3에 보인 것처럼 결합인덕터의 1차와 2차의 권선비는 1:N으로 정의한다. 결합인덕터는 자화 인덕턴스(L_m) 누설인덕턴스(L_{lk})의 등가회로로 표현되며 해석의 편의상 결합인덕터의 기생저항성분(r)과 누설인덕턴스는 없다고 가정하였다. 또한 양방향 스위치를 간략히 나타내었다.

1) 모드 1

모드 1에서는 스위치 S_1 이 턴 온 되고 S_2 는 턴 오프되어 있다. S_2 가 턴 오프 되어 있으므로 결합인덕터의 2차측으로는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 L_m 에 에너지가 저장된다. 모드 1에서의 관계식은 다음과 같다.

$$v_{L_m} = v_{C_1} \tag{1}$$

$$v_{L_f} = -v_o \quad (2)$$

$$-i_{C_1} = i_{L_m} = i_{L_1} = i_{sw1} + i_{L_f} \quad (3)$$

$$i_{in} = i_{L_2} = 0 \quad (4)$$

2) 모드 2

모드 2에서는 스위치 S_1 이 턴 오프 되고 S_2 가 턴 온 된다. L_m 에 흐르는 전류는 연속이어야 하므로 결합인덕터의 2차측으로 전류가 흐르게 되고 관계식은 다음과 같다.

$$v_{L_m} = \frac{v_{in} - v_{C_1}}{N} \quad (5)$$

$$v_{L_f} = v_{C_1} - v_{L_m} - v_o \quad (6)$$

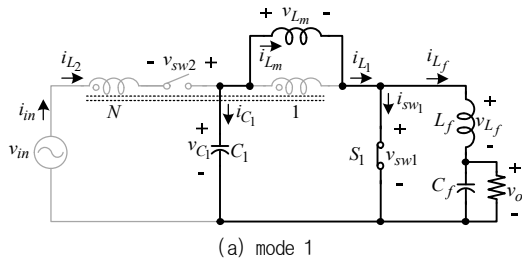
$$i_{C_1} = i_{L_2} - i_{L_1} \quad (7)$$

$$i_{in} = i_{L_2} = i_{C_1} + i_{L_f} \quad (8)$$

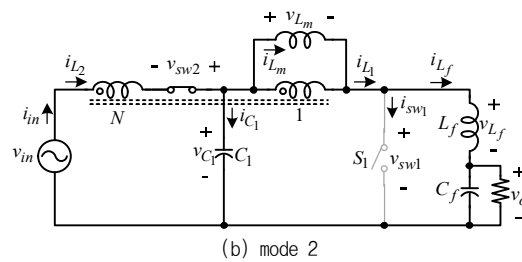
식 (1), (2), (5), (6)을 이용하여 L_m 과 L_f 의 volt sec balance 조건을 이용하면 다음과 같이 제안한 컨버터의 전압이득을 얻을 수 있다.

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1-D}{1-(1+N)D} \quad (9)$$

D 는 스위치 S_1 의 듀티비로 정의 하였다.



(a) mode 1



(b) mode 2

그림 3 제안된 트랜스-Z-소스 AC-AC 컨버터의 모드 분석
Fig. 3 Mode analysis of the proposed Trans-Z-Source AC-AC converter

그림 4의 (a)는 본 논문에서 제안한 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터의 결합인덕터 권선비를 1:2로 한 경우 듀티비에 따른 전압이득을 기존의 qZ 소스 AC AC 컨버터의 전압이득과 함께 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 동일한 듀티비로 컨버터를 동작 시켰을 때 본 논문에서 제안된 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터가 기존의 qZ 소스 AC AC 컨버터보다 더 큰 전압이득을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 그림 4의 (b)는 제안한 트랜스 Z 소스 AC AC 컨버터의 전압이득 및 커패시터 전압을 비교한 표이다.

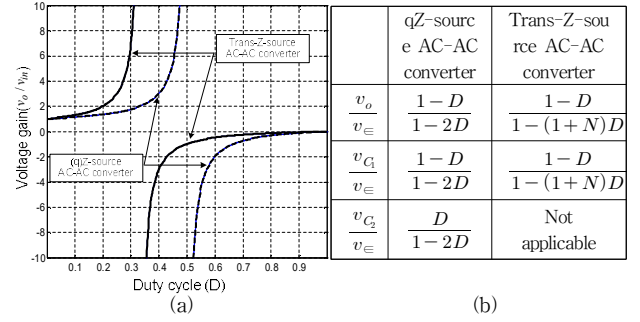


그림 4 qZ-소스 AC-AC 컨버터와 트랜스-Z-소스 AC-AC 컨버터의 전압이득 비교
Fig. 4 Comparison of voltage gain of the Trans-Z-source AC-AC converter and qZ-source AC-AC converter

3 실험결과

본 논문에서 제안한 회로의 성능을 검증하기 위해 120 W의 시제품을 제작하여 실험을 수행 하였다. 출력 전압은 110 Vrms / 60 Hz로 고정하고 저항부하에서 실험을 수행하였다. 그림 5는 제안한 컨버터의 실험 파형이다. 위에서 왼쪽부터 입력전압, 전류 및 출력전압 파형, 스위치 파형 결합인덕터 전류 파형이다.

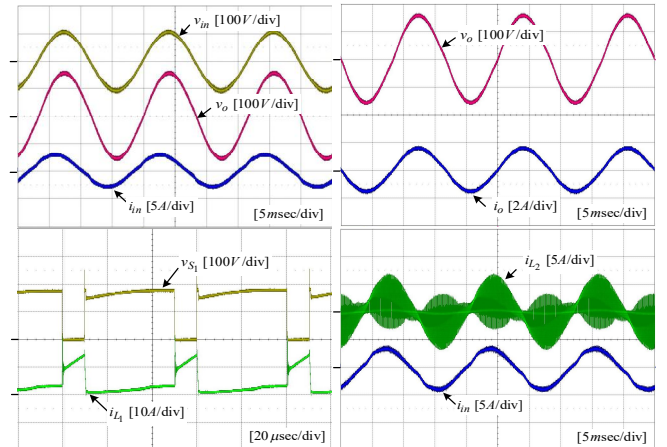


그림 5 제안된 트랜스-Z-소스 AC-AC 컨버터의 실험파형
Fig. 5 Experimental waveforms of proposed converter

5 결론

논문에서는 결합인덕터를 이용하여 기존의 (q)Z 소스 AC AC 컨버터보다 더 높은 전압 이득을 가지는 단상 Trans Z 소스 PWM AC AC 컨버터를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 컨버터는 기존의 (q)Z 소스 AC AC 컨버터와 달리 두 인덕터 L_1 과 L_2 를 결합하여 결합인덕터의 권선비를 증가시킴으로써 기존의 방식보다 훨씬 더 높은 전압이득을 얻을 수 있는 장점이 있다. 120 W의 시제품을 제작하여 제안한 컨버터의 성능을 검증하였다.

이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원 산업기술 개발기반구축사업으로 수행된 연구결과입니다.(No. N0001156)

참고 문헌

- [1] F. Z. Peng, L. Chen, and F. Zhang, "Simple topologies of PWM AC AC converters," IEEE Power Electron. Lett., Vol. 1, No. 1, pp. 10-13, Mar. 2003.