

넓은 입력 전압 범위를 갖는 비엔나 Z-소스 정류기에 관한 연구

안병웅*, 이상리*, 김학원*, 조관열*, 임병국*
한국교통대학교*

A Basic study on the Vienna Z-Source Rectifier for having Enhanced Input Voltage Range

Byoung Woong An*, Sang Ri Lee*, Hag Wone Kim*, Kwan Yuhl Cho*, Byung Kuk Lim*
Korea National Univ of Transportation*

ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 입력 전압 범위를 갖는 비엔나 Z 소스 정류기에 대해 제안한다. 중진의 3상 Z 소스 PWM 컨버터의 경우 THD가 높아 상대적으로 큰 용량의 입력 인덕터가 요구되고, 내압이 높은 IGBT가 일반적으로 사용된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 3레벨 컨버터인 비엔나 정류기와 Z network를 결합한 비엔나 Z 소스 정류기에 대해 제안하고, 그 타당성을 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

1. 서론

기존의 전압형 3상 PWM 정류기는 입력 전압보다 낮은 출력전압을 얻을 수 없으므로 출력 측에 DC DC 컨버터를 추가하는 Two Stage 방식을 이용하여 이 문제를 해결하고 있다. 하지만 이는 비용 상승 및 손실을 가져온다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 X자 모양의 임피던스 망을 갖는 Z 소스 정류기가 연구되었다. 하지만 2 레벨의 3상 PWM 정류기의 경우 출력 단자전압이 $\pm 0.5V_{dc}$ 를 갖기 때문에 THD가 높으며 이를 낮추기 위해서는 상대적으로 큰 용량의 입력 인덕터가 요구되고, 또한 내압이 높은 IGBT가 일반적으로 사용되는데 이는 시스템의 부피와 가격을 상승시키는 요인이 된다. 또한 IGBT는 스위칭 손실이 높고 효율을 높이는 데 한계가 있다.^[1]

이러한 단점을 극복하기 위해 3레벨 컨버터인 비엔나 정류기와 Z network를 결합한 넓은 입력 전압범위를 갖는 비엔나 Z 소스 정류기를 제안하고, 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 입증 하였다.

2. 본론

2.1 비엔나 정류기의 구성

비엔나 정류기의 회로구성은 그림 1과 같다. 비엔나 정류기의 출력 단자 전압은 각 상 스위치 S_n 의 스위칭 상태와 전류의 방향에 따라 결정되며, 식(1)은 스위칭 함수에 따른 단자 전압을 나타내었다.

$$i_a > 0, V_{an} = (-S_a + 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (1)$$

$$i_a < 0, V_{an} = (S_a - 1) \frac{V_{dc}}{2}$$

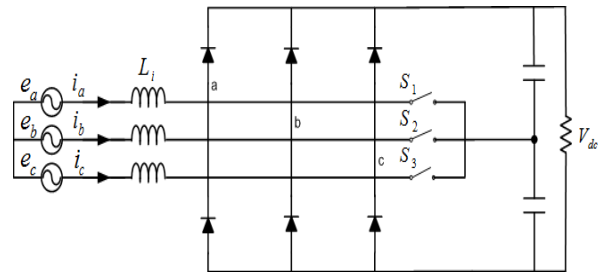


그림 1 Vienna Rectifier 회로 구성
Fig. 2 Circuit Configuration of Vienna rectifier

식(1)을 전류 방향에 따른 극성함수 $Sign(i)$ 를 이용해 나타내면 식(2)와 같다. 식(2)에서 $Sign(i)$ 는 전류의 극성 함수를 의미하며, 전류가 0보다 크면 $Sign(i)$ 가 +1, 전류가 0보다 작으면 $Sign(i)$ 가 -1이다.

$$V_{an} = -Sign(i_a)(S_a - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (2)$$

2.2 제안하는 비엔나 Z-소스 정류기

그림 2는 제안한 넓은 입력 전압 범위를 갖는 비엔나 Z 소스 정류기의 회로 이다. Z 소스 정류기의 경우 입력 전압에 따른 출력전압을 Buck Factor에 의해 제어하게 되는데, 입,출력 전압과 Buck Factor에 관한 관계식은 식(3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$V_O = 2V_C - V_i = (2B - 1)V_i \quad (3)$$

식(3)을 PWM주기와 암단락 주기(shoot through duty cycle)에 대해 나타내면 식 (4)와 같다.

$$V_O = (1 - 2D_s)V_i \quad (4)$$

where, $D_s =$ shoot-through duty cycle

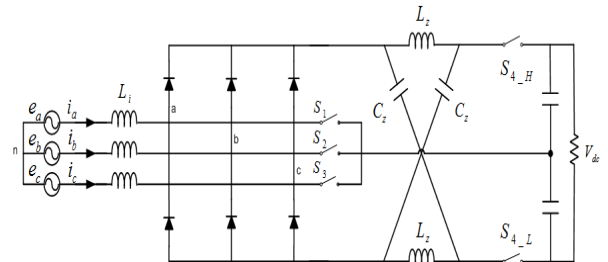


그림 2 제안하는 Vienna Z-Source Rectifier 회로 구성
Fig. 2 Proposed Circuit Configuration of Vienna Z-source rectifier

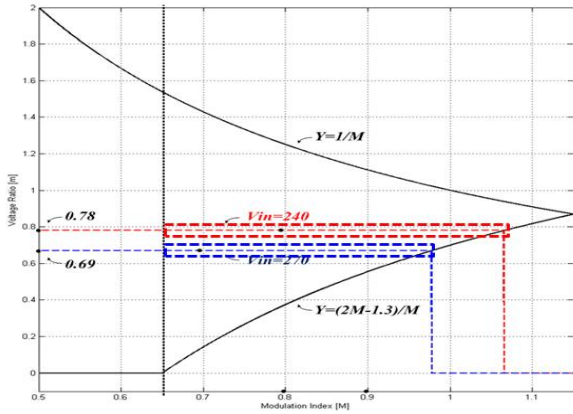


그림 3 전압변조지수에 대한 입,출력 전압비
Fig. 3 Voltage ratio versus modulation index

여기서 암단락 주기 D_s 는 식(5)와 같이 나타 낼 수 있고, 식 (4),(5)에 의해 입,출력 전압비와 전압변조지수(Modulation Index)의 관계식은 식(6)과 같다.

$$0 < D_s \leq 1.15 - M \quad (5)$$

$$\frac{2M-1.3}{M} < \frac{V_o}{V_i} \leq \frac{1}{M} \quad (6)$$

그림 3은 전압변조지수에 대한 입,출력 전압비를 나타낸다. 그림 3에서 알 수 있듯이 비엔나 Z 소스 정류기는 전압변조지수에 따라 강압 승압 기능을 가지는 것을 확인할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

넓은 입력 범위를 갖는 비엔나 Z 소스 정류기의 강압 승압 기능을 알아보기 위한 모의해석 조건은 표 1과 같다. 그림 4는 비엔나 Z 소스 정류기의 강압 동작(입력전압 : 270V)에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 강압 동작을 통한 출력전압을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 승압 동작(입력전압 : 110V)에 대한 시뮬레이션 결과이다. 이 또한 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 승압 동작을 통한 출력전압 540V를 잘 추종하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 넓은 입력 전압 범위를 갖는 비엔나 Z 소스 정류기에 대해 제안하였다. 기존의 Z 소스 정류기와는 다르게 3레벨의 비엔나 정류기와 Z network를 결합한 비엔나 Z 소스 정류기를 사용해 기존의 2레벨 PWM Z 소스 정류기가 가지고 있는 단점을 보완하였고, 모의해석과 실험을 통해 그 타당성을 입증하였다.

본 연구는 2011년도 산업자원통상부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20114010203030)

표 1 모의해석 및 실험조건

Table 1. Rated condition of simulation and experiment

구분	값	단위	
Input Voltage	110 and 270	V	
Output Voltage	540	V	
Switching Frequency	10	kHz	
Z network	L_z	900	μH
	C_z	200	μF

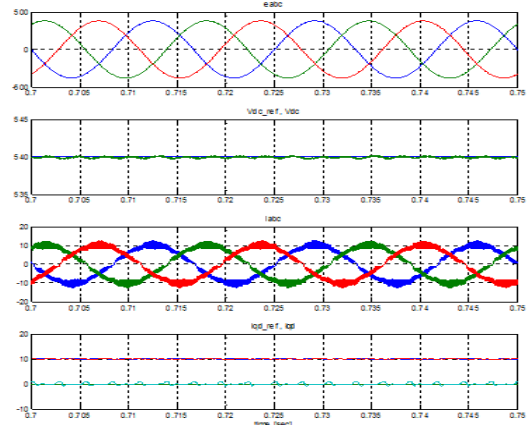


그림 4 시뮬레이션 (Buck operation : M=0.9, $D_s=0.2$)
Fig. 4 Simulation result

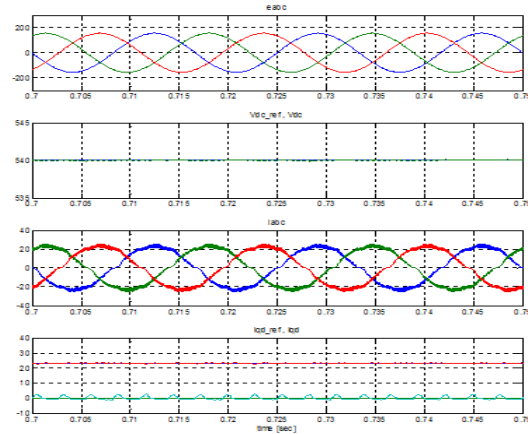


그림 5 시뮬레이션 (Boost operation : M=0.58, $D_s=0$)
Fig. 5 Simulation result

참고 문헌

- [1] Byung Chul Yoon, Hag Wone Kim, Kwan Yuhl Cho, Byung Kuk Lim, "A single carrier comparison PWM for Voltage Control of Vienna Rectifier", The Transactions of Korea Institute of Power Electronics, Vol. 17, No. 2 pp. 129 134, 2012, April.
- [2] Xinping Ding, Zhaoming Qian, Yeyuan Xie, Zhenhyu Lu, "Three Phase Z Source Rectifier." in Proc. IEEE PESC '05/ IEEE., pp. 494 500, Jun, 2005.