

# 비엔나 정류기의 전압제어를 위한 캐리어 비교 SVPWM

윤병철\*, 신희근\*, 김학원\*, 조관열\*, 임병국\*, 황순상\*\*  
 충주대학교\*, (주)동아일렉콤\*\*

## Carrier Comparison SVPWM Method for Voltage Control of Vienna Rectifier

Byung-Chul Yoon\*, Hee-Kuen Shin\*, Hag-Wone Kim\*, Kwan-Yuhl Cho\*, Byung-Kuk Lim\*,  
 Soon-Sang Hwang\*\*  
 Chungju National Univ\*, DONGAH ELECOMM Corporation\*\*

### ABSTRACT

In this paper, carrier comparison SVPWM method for voltage control of vienna rectifier is proposed. Two carrier waves are used to compare voltage commands. The feasibility of the proposed PWM method is proven by the simulation. In the simulation results, it is shown that vienna rectifier can be controlled easily by the proposed method.

### 1. 서론

3상의 입력 전류의 고조파 저감을 위한 회로로 산업용 및 여러 응용분야에서 2 레벨의 3상 PWM 정류기가 많이 사용되어 왔다. 일반적으로 3상 PWM 정류기의 출력 전압 제어를 위하여 삼각파 비교 방식의 SVPWM 방법이 사용된다.<sup>[1]</sup>

한편, 2 레벨의 PWM 정류기는 출력 단자전압이 +0.5Vdc 또는 -0.5Vdc만을 갖기 때문에 전압의 THD가 높아, 전류의 THD를 낮추기 위해서는 상대적으로 큰 용량의 입력 인덕터가 요구된다. 또한 내압이 높은 IGBT가 일반적으로 사용되며, IGBT의 스위칭 손실이 높아 효율을 높이는 데 한계가 있다. 이런 단점을 극복하기 위하여 3 레벨 컨버터가 사용되기 시작하였으며, 이의 대표적인 회로가 비엔나 정류기이다.<sup>[2]</sup> 기존의 비엔나 정류기의 전압 제어 방법으로 공간 전압 벡터를 이용한 SVPWM 방법이 제시되었지만, 공간 전압 벡터 생성을 위한 유효 전압 벡터의 선택이 복잡하고, 유효 전압 벡터 및 영 전압 벡터의 인가 시간 계산이 복잡하여, 실제 구현이 어려운 문제가 있다.<sup>[3-5]</sup>

본 논문에서는 비엔나 정류기를 간단하게 제어하기 위한 방안으로, 두 개의 캐리어 신호를 이용한 삼각파 비교방식의 SVPWM 방식을 제시하고, 그 결과를 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 2. 본문

#### 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 함수, 식(2)와 식(3)은 스위칭 함수에 따른 단자 전압을 나타내었다. 식(3)에서  $Sign(i)$ 는 전류의 극성 함수를 의미 하며, 전류가 0보다 크면  $Sign(i)$ 가 +1, 전류가 0보다 작으면  $Sign(i)$ 가 -1이다.

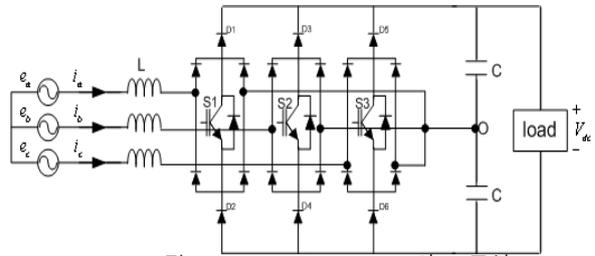


그림 1 Vienna Rectifier 회로 구성

Fig 1. Circuit Configuration of Vienna Rectifier

각 상의 스위치 상태에 따른 다이오드  $D_n$  ( $n=1 \sim 6$ )의 상태 및 단자전압은 표 1과 같다.

표 1 Vienna Rectifier 스위치에 따른 Diode 동작  
 Table 1. Behavior of Vienna Rectifier Diode obey a Switch

단자 전압	$D_{1,3,5}$	$D_{2,4,6}$	$S_n$
$V_{dc}/2$	on ( $i > 0$ )	Off	0
$-V_{dc}/2$	OFF	on ( $i < 0$ )	0
0V	OFF	OFF	1

$$S_{n(n=a,b,c)} \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (1)$$

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

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

$$V_{an} = -Sign(i_a) (S_a - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (3)$$

한편, 비엔나 정류기의 동작은 역률이 1이 되도록 입력 전압과 입력 전류의 위상차를 0도로 제어한다. 이에 따라 식(3)의 전류는 전압 명령으로 나타낼 수 있으며 전압 명령에 따른 단자전압은 식(4)과 같다.

$$V_{an} = -Sign(V_{an,ref}) (S_a - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (4)$$

## 2.2. 공간 전압 벡터를 이용한 비엔나 정류기

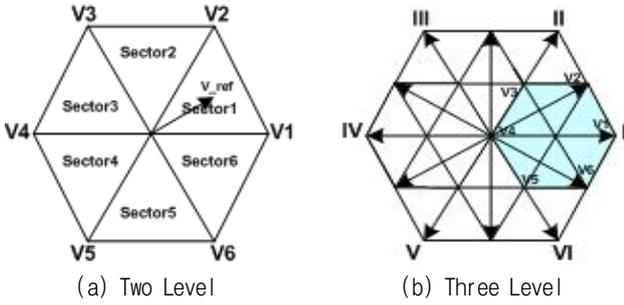
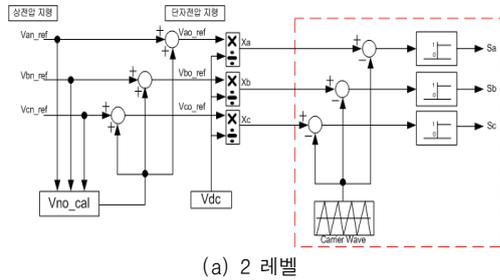


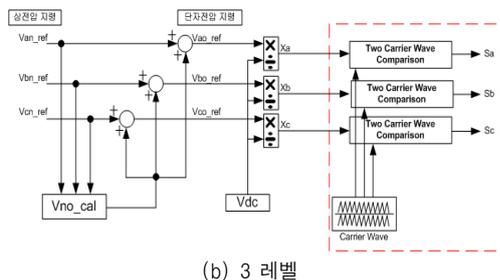
그림 2 SVPWM 벡터도  
Fig. 2 Vector Diagram of SVPWM

일반적으로 3상 인버터 또는 컨버터는 전압 제어하는 방법은 공간 전압 벡터 변조 방식을 사용한다. 공간 전압 벡터 변조 방식은 3상 지령 전압을 변조하는 방식으로 동일 직류 링크 전압 하에서 가장 큰 교류 상 전압을 얻을 수 있기 때문에 이 기법을 많이 사용한다. 그림 2(a)는 3상 2 레벨 인버터 또는 컨버터의 전압 벡터도이며, 스위칭 상태에 따라 6개의 유효 전압 벡터와 2개의 영벡터를 가지고 있다. 한편 그림 2(b)는 3 레벨 컨버터인 비엔나 정류기의 벡터도이다. 공간 전압 벡터가 매우 복잡하여 공간 전압 벡터를 이용하여 3상의 스위치의 스위칭 상태를 결정하기 매우 어렵다.<sup>[2-5]</sup>

## 2.3 삼각파 비교 SVPWM



(a) 2 레벨



(b) 3 레벨

그림 3 삼각파 비교 방식을 전압 변조 방식의 블록도  
Fig. 3 Block Diagram of Carrier Comparison of SVPWM

삼각파 비교 SVPWM은 각 상의 단자전압 지령 값과 삼각 반송파와 비교 하여 스위치의 on/off 상태를 결정하는 방식이다. 그림 3(a)는 2 레벨 컨버터의 삼각파 비교 SVPWM을 나타내며, 그림 3(b)는 제안하는 비엔나 정류기의 삼각파 비교 SVPWM을 나타낸다. 제안하는 비엔나 정류기의 삼각파 비교 SVPWM 방식에서 단자 전압 명령을 계산하는 방법은 기존 2 레벨 컨버터의 단자 전압 명령 계산하는 방법과 동일하다. 그

러므로 Two-level 전압 변조 방식의 블록도에서 상전압 지령과 단자 전압 지령은 그대로 사용하고, 삼각파 비교부만 비엔나 정류기에 적합하게 바꾸어 삼각파 비교 SVPWM 방식을 구현할 수 있다.

## 2.4 2 레벨, 3 레벨 컨버터의 출력 단자 전압



그림 4 컨버터의 단자 전압 비교  
Fig. 4 Terminal Voltage Comparison of Converter

그림 4는 2 레벨 컨버터와 3 레벨 컨버터의 단자 전압을 나타낸 그림이다. 2 레벨 컨버터의 출력 단자 전압이  $0.5V_{dc}$  또는  $-0.5V_{dc}$ 의 두 상태만 존재한다. 반면 3 레벨 비엔나 정류기는 단자전압이  $0.5V_{dc}$ ,  $0V_{dc}$ ,  $-0.5V_{dc}$ 의 세 상태가 존재한다. 이에 따라 동일 PWM 주파수, 동일 인덕터를 사용하여도 출력 전압의 THD를 상당히 저감할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 3 레벨 구조에 기인하여 스위치 소자의 전압 스트레스가 2 레벨 컨버터의 절반인 장점이 있다.

## 2.5 비엔나 정류기를 위한 스위칭 함수 발생기

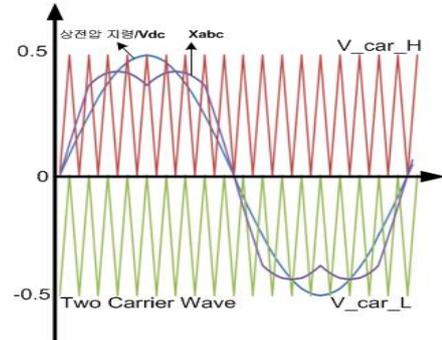


그림 5 Two Carrier Wave 및 상전압, 단자전압 명령  
Fig. 5 Voltage Commands and Two Carrier Wave

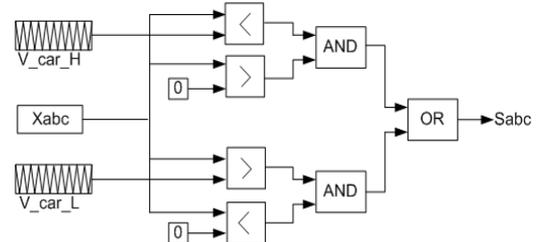


그림 6 Two-Carrier Wave SVPWM 기법을 사용한 스위칭 함수  
Fig. 6 Switching Function Generator for Vienna Converter

2개의 캐리어 신호를 이용함으로써, 비엔나 정류기를 간단히 제어 할 수 있다. 그림 5는 2개의 캐리어 신호와 단자전압 명령을 직류 전압으로 나눈 스위칭 지령  $X_{abc}$ 과 상전압 명령을 직류 링크로 나눈 신호를 나타내었다. 첫 번째 캐리어 신호는 스위칭 지령이 0보다 클 때 스위칭 지령과 비교를 위한 것이고, 두 번째 캐리어 신호는 스위칭 지령이 0보다 작을 때 스위

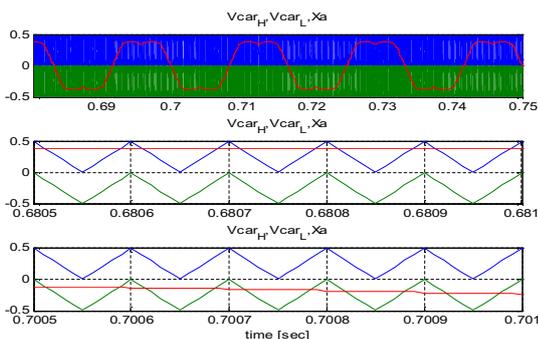
칭 지령과 비교를 위한 것이다. 비엔나 컨버터는 스위칭 지령이 0보다 크고, 첫 번째 캐리어 신호보다 크면 출력단자 전압이 0.5Vdc가, 첫 번째 캐리어 신호보다 작으면 0Vdc가 출력되어야 한다. 스위칭 지령이 0보다 작고, 두 번째 캐리어 신호보다 작으면 출력단자 전압이 -0.5Vdc가, 두 번째 캐리어 신호보다 크면 0Vdc가 출력되어야 한다. 비엔나 컨버터를 위한 스위칭 함수  $S_n$ 은 출력단자 전압이 0V가 될 때 1이 되도록 비엔나 정류기의  $S_n$ 을 1이 되도록 스위칭 함수 발생기를 만들어 주면 된다. 비엔나 정류기가 연속 전류 모드로 동작되므로, 스위칭 함수가 0일 때는 전류의 방향에 따라 두 개의 Diode 중 하나가 켜지게 되지만, 전류 명령이 전압 명령과 방향이 같으므로 전압 명령의 방향에 따라 Diode가 켜지게 되어 항상 전압 명령이 0보다 크면 0.5Vdc가 전압 명령이 0보다 작으면 -0.5Vdc가 된다. 2개의 캐리어 신호를 이용한 스위칭 함수 발생기를 논리 회로로 나타내면 그림 6과 같다. 스위칭 지령이 캐리어 신호와 비교되며, 스위칭 지령이 0보다 클 때, 첫 번째 캐리어 신호를 스위칭 지령이 0보다 작을 때, 두 번째 캐리어 신호를 이용하도록 논리적 곱(AND) 연산이 필요하다. 그 2개의 연산 값을 OR연산 후 한 상의 스위치를 제어 한다. 이 제어 기법을 사용함으로써, 제어가 간단하고, 고성능의 컨트롤러를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

## 2.6 제안된 SVPWM 사용한 비엔나 정류기의 모의해석

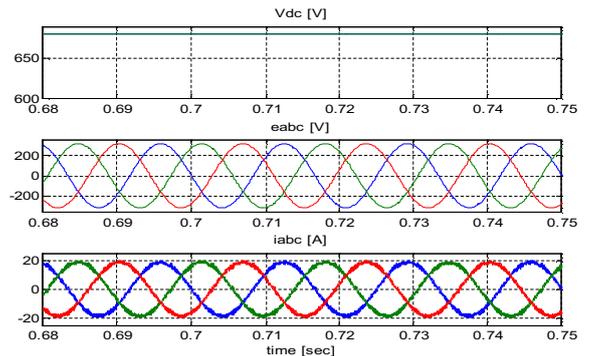
표 2는 모의해석에 사용된 파라미터 값을 나타낸다. 모의해석에서 스위칭 소자는 IGBT를 사용하였다. 그림7(a)의 첫 번째 그림은 단자전압 지령과 두 개의 캐리어 신호와 비교하는 파형이고, 두 번째 그림은 단자전압이 0보다 클때, 세 번째 그림은 단자전압이 0보다 작을 때 캐리어 신호와 비교하는 파형이다. 그림7(b)의 첫 번째 그림은 출력 Vdc파형 이고, 두 번째 그림과 세 번째 그림은 입력 상전압, 상전류 파형이다. 모의 해석 결과 제안한 캐리어 신호를 이용한 비엔나 정류기의 SVPWM이 잘 동작되는 것을 확인 하였다.

표 2 모의해석 조건  
Table 2. Condition for simulation

Electric Power		8.1kW
Input	Line to Line Voltage	380Vrms
Output	Reference Voltage	680V
Full Load		12A
Switching Frequency		10kHz
Inductor		1mH
Capacitor		2000uF



(a) two carrier, xa



(b)  $V_{dc}, e_{abc}, i_{abc}$

그림 7 Vienna Rectifier 시뮬레이션 결과  
Fig. 7 Simulation Result of Vienna Rectifier

## 3. 결론

본 논문에서 쉽고 간단한 비엔나 정류기의 삼각파비교 SVPWM 방식을 제안하였다. 기존의 공간전압 벡터를 이용한 SVPWM 방식은 공간 벡터 생성을 위한 유효 전압 벡터 인가 시간과 영 전압 벡터 인가 시간의 계산이 복잡하고, 구현이 어려운 문제를 가지고 있었다. 이를 해결하기 위해 두 개의 캐리어 신호를 이용한 삼각파 비교 방식의 비엔나 정류기를 제안하였다. 제안한 캐리어 비교 SVPWM을 사용하여 시뮬레이션 한 결과 전압 벡터 인가 계산 시간 없이, 간단하게 제어되는 것을 검증 하였다.

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (한국연구재단-2010-0017029)

## 참고 문헌

- [1] 김상훈, DC 및 AC 모터 제어, 북두출판사
- [2] J. Kolar and F. Zach, "A Novel Three-phase utility interface minimizing line current harmonics of high-power telecommunications rectifier modules," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 44, no. 4, pp. 456-467, 1997, August
- [3] Rolando Burgos, Rixin Lai, Yunqing Pei, Fei Wang, Dushan Boroyevich, Josep Pou "Space Vector Modulator for Vienna-Type Rectifiers Based on the Equivalence Between Two- and Three-Level Converters: A Carrier-Based Implementation", IEEE Trans Power Electron, vol. 23, no. 4, pp 1888-1898, 2008, July
- [4] Jarno Alahuhtala, Heikki Tuusa "Space Vector Modulation Method for Unidirectional Four-Wire Three-Phase/Level Switch (Vienna) Rectifier", The 7th international Conference on Power Electronics, pp 742-748, 2007, October
- [5] 정현선, 노세진, 최재호, 정교범 "VIENNA 정류기를 이용한 입력파형의 개선" 대한전기학회 2007년도 춘계학술대회 논문집 전기기기 및 에너지 변환시스템부문, pp19-21, 2007, January