

## 비엔나 정류기의 전압제어를 위한 반송파 비교 PWM

윤병철<sup>1</sup>, 김학원<sup>1\*</sup>, 조관열<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>충주대학교 제어계측공학과

### Carrier Comparison PWM for Voltage Control of Vienna Rectifier

byung-chul Yoon<sup>1</sup>, Hag-Wone Kim<sup>1\*</sup> and Kwan-Yuhl Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungju National University Dept. of Control and Instrumentation

**요약** 본 논문에서는 비엔나 정류기의 전압제어를 위한 반송파 비교 PWM 방법에 대하여 논한다. 일반적으로 산업용 및 통신용 등 여러 응용분야에서 2레벨 정류기가 주로 사용되어 왔다. 하지만 2레벨 정류기는 효율을 높이고, THD를 낮추는데 한계가 있기 때문에 3레벨 정류기에 대한 연구가 진행 되어 왔다. 3레벨 정류기의 대표적인 회로가 비엔나 정류기이다. 기존의 비엔나 정류기는 대부분 전압 명령으로부터 인가 공간전압 벡터를 선택하고, 공간전압 벡터 인가시간을 직접 계산하여, 그 시간동안 전압 명령을 인가하는 공간 전압 변조 방식이 사용된다. 하지만 이 방법은 전압 명령 생성 및 전압 벡터의 인가시간 계산이 매우 복잡하여, 구현이 어려운 단점이 있다. 이 단점을 보완하기 위해 기존의 3레벨 인버터에 사용되던 반송파 비교 PWM 방법을 비엔나 정류기에 적용할 수 있도록 수정하여, 비엔나 정류기를 위한 간단한 전압제어를 위한 반송파 비교 PWM방식을 도출하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증 한다.

**Abstract** In this paper, carrier comparison PWM method for voltage control of Vienna rectifier is discussed. In general, in industrial and communications applications, the two-level rectifier is used. However, this two-level rectifier has the limit of high THD and low efficiency. So, the studies of three-level rectifier has been carried out so far, and the Vienna rectifier circuit is the representative. The space vector pulse width modulation(SVPWM) method is generally used for Vienna rectifier, in which voltage vectors and duration time are calculated from the voltage reference. However, this method require very sophisticated and complex calculations, so realizing this method by software is very difficult. To overcome this disadvantage, simple carrier comparison PWM method for Vienna rectifier is proposed which is modified from the carrier comparison method for 3 level inverter. Furthermore, to verify the usefulness of the Vienna rectifier carrier comparison PWM the simulation and experiment are carried out.

**Key Words** : 3 Level Converter, Vienna Rectifier, Carrier Comparison PWM

### 1. 서론

2 레벨 3상 펄스 폭 변조 (Pulse Width Modulation; 이하 PWM) 정류기는 3상 전원의 입력 전류 고조파 저감을 위한 회로로 산업용 통신전원용 등 여러 응용분야에서 많이 사용되어 왔다. 한편, 2 레벨 3상 PWM 정류기는 출력 단자전압이 +0.5Vdc 또는 -0.5Vdc만을 갖기 때문에 전압의 총 고조파 왜곡율 (Total Harmonic Distortion; 이

하 THD)이 높아, 전류의 THD를 낮추기 위해서는 상대적으로 큰 용량의 입력 인덕터(Inductor)가 요구된다. 또한 2레벨 3상 PWM 정류기의 스위칭 소자로 내압이 높은 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 가 일반적으로 사용되는데, 높은 내압의 IGBT는 고속 스위칭이 요구될 경우, 스위칭 손실이 높아 효율을 높이는데 한계가 있다. 이런 단점을 극복하기 위하여 3 레벨 컨버터의 적용이 검토되기 시작하였으며, 이의 대표적인 회로가 비엔나 정류

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

\*교신저자 : 김학원(khw@cjnu.ac.kr)

접수일 11년 07월 21일

수정일 (1차 11년 09월 23일, 2차 11년 10월 04일)

게재확정일 11년 10월 06일

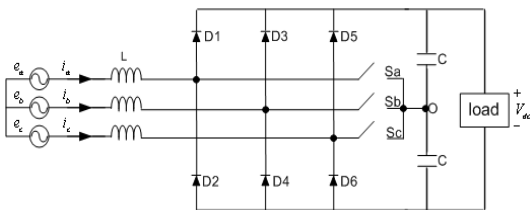
기이다 [1]. 3 레벨 비엔나 정류기의 출력 단자 전압은 0.5V<sub>dc</sub>, 0, -0.5V<sub>dc</sub> 3개의 상태를 가지고 있기 때문에 기존의 2 레벨 PWM 정류기에서 사용되는 전력용 반도체 소자와 비교하여, 스위칭 소자의 내압을 절반 수준으로 낮출 수 있어, 전력용 반도체 소자를 IGBT 대신 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)로 사용 가능하다. 이에 따라 전력용 반도체 소자의 스위칭 손실을 대폭 저감할 수 있으며, 재료비를 낮출 수 있는 장점이 있다. 반면 비엔나 컨버터는 단 방향의 전력 흐름만을 허용하기 때문에 양 방향의 전력 흐름이 요구되는 응용에는 사용이 불가능한 단점을 가지고 있다.

한편 기존의 비엔나 정류기의 전압 제어 방법으로 공간 전압 벡터(Space Voltage Vector)를 이용한 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.[2-4] 본 논문에서는 비엔나 정류기를 간단하게 제어하기 위한 방안으로, 기존의 3레벨 인버터에 사용되는 두 개의 반송파를 이용한 삼각파 비교 PWM 방식을 수정하여 비엔나 정류기를 위한 삼각파 비교방식의 PWM 방식을 제시하고, 시뮬레이션과 실험을 통해 결과를 검증한다.

## 2. 비엔나 정류기

### 2.1 비엔나 정류기의 동작

비엔나 정류기의 회로구성은 그림 1과 같다. 그림 1의  $e_a, e_b, e_c$ 는 3상 교류 입력 전압이며,  $S_{abc}$ 는 스위치에 인가되는 전압, 전류에 대하여 4상한 동작이 가능하도록 MOSFET과 Diode로 구성된 전력용 반도체 모듈 내부의 MOSFET의 스위칭 상태를 나타낸다.  $D_1 \sim D_6$ 는 3상의 일반적인 정류용 다이오드를 의미 한다.



[그림 1] 비엔나 정류기 회로 구성  
[Fig. 1] Circuit diagram of vienna rectifier

식(1)은 위에서 언급한 전력용 4상한 전력용 스위칭

소자에 포함된 MOSFET의 스위칭 상태를 나타내는 스위칭 함수이다.

$$S_{abc} \begin{cases} 0 & (FET\ Switch\ Off) \\ 1 & (FET\ Switch\ On) \end{cases} \quad (1)$$

각 상의 스위치 상태에 따른 다이오드  $D_n$  ( $n = 1 \sim 6$ )의 통전 상태 및 단자전압은 표 1과 같다. 비엔나 정류기의 동작은 전력용 반도체인 MOSFET 스위치가 켜진 (ON) 상태일 경우 각 상 단자 전압은 0V가 되고, 전력용 반도체 스위치가 꺼진(OFF) 상태일 경우는 전류의 방향에 따라 단자 전압이  $V_{dc}/2$ ,  $-V_{dc}/2$ 의 값을 갖는다.

[표 1] 비엔나 정류기의 스위칭 상태에 따른 Diode 동작  
[Table 1] Diode status of vienna rectifier by the switching state

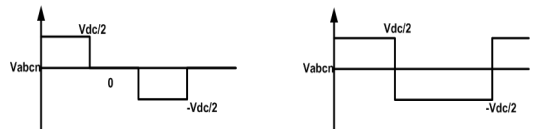
$S_{abc}$	$i_{abc}$	$D_{1,3,5}$	$D_{2,4,6}$	단자 전압
1	Don't care	OFF	OFF	0 V
0	$i_{abc} > 0$	On	OFF	$V_{dc}/2$
	$i_{abc} < 0$	OFF	ON	$-V_{dc}/2$

식(2)는 스위칭 함수에 따른 비엔나 정류기의 출력 단자 전압을 나타내었다.

$$V_{(abc)0} = (S_{abc} - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad i_{abc} > 0 \quad (2)$$

$$V_{(abc)0} = -(S_{abc} - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad i_{abc} < 0$$

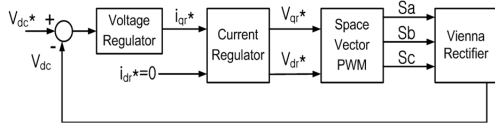
그림 2는 비엔나 컨버터의 출력 단자 전압을 2레벨 컨버터와 비교하여 나타낸 것이다. 그림 2의 (a)는 3 레벨 컨버터인 비엔나 정류기의 단자 전압이며, 4상한 스위치의 스위칭 상태 및 입력 전류의 방향에 따라 0.5V<sub>dc</sub>, 0V<sub>dc</sub>, -0.5V<sub>dc</sub>의 세 가지 상태가 존재한다. 반면, 그림 2의 (b)의 2 레벨 컨버터의 단자 전압은 0.5V<sub>dc</sub> 또는 -0.5V<sub>dc</sub>의 두 상태만 존재한다. 이에 따라 3레벨 컨버터는 2레벨 컨버터에 비해 출력 전압의 THD를 상당히 저감할 수 있으며, 내압이 낮은 스위치를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.



(a) 3 레벨 비엔나 정류기 (b) 2 레벨 PWM 정류기

[그림 2] 컨버터의 단자 전압 비교  
[Fig. 2] Terminal voltage comparison of converter

### 2.2 비엔나 정류기의 전압 제어

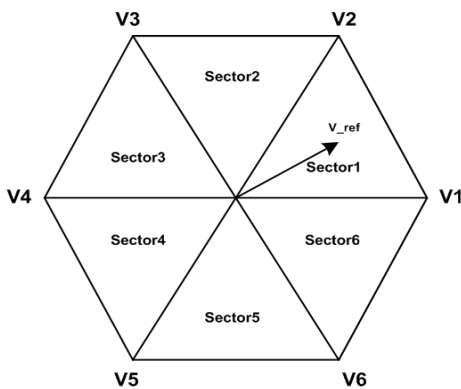


[그림 3] 비엔나 정류기의 제어 블록도  
[Fig. 3] Control block diagram of vienna rectifier

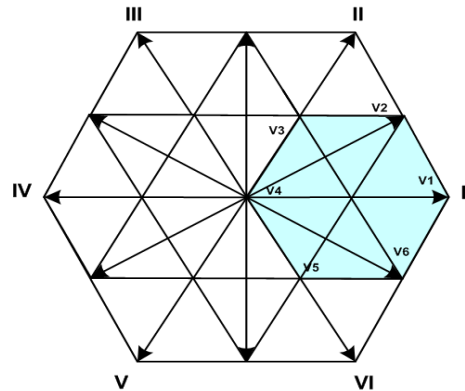
그림 3은 비엔나 정류기의 전압 제어 블록도이다. 전압 제어 블록도는 기존의 2 레벨 PWM 정류기의 전압 제어 방식과 유사한 형태로 3상 전압 제어를 위해 qd 좌표 변환 하여 전압과 전류를 제어한다. q축은 유효 전력 성분의 축을 의미하며, d축은 q축과 90° 위상 차이를 갖는 무효 전력 성분의 축을 의미 한다. 전압 제어기와 전류제어기는 일반적으로 정상상태 오차를 제거하기 위해 전압과 전류를 제어 하며 제어기는 PI제어기를 사용 한다. 또한 전압 제어기 및 전류 제어기는 전압, 전류 명령과 센서를 통해 궤환(Feedback)되는 전압, 전류를 이용하여 전압 제어기와 전류 제어기가 동작 한다. 전류제어기의 출력은 qd축의 전압 명령으로 PWM 제어기에 입력된다. PWM 제어기는 전압 명령을 사용하여 비엔나 정류기의 스위칭 상태를 결정하며, 공간 전압 벡터를 이용한 PWM 제어 방법으로 동작된다.[2-4]

### 2.3 공간 전압 벡터를 이용한 비엔나 정류기의 PWM 제어

일반적으로 3상 인버터 또는 컨버터의 전압 제어 방법은 공간 전압 벡터 변조(Space Voltage Vector Modulation) 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.



(a) 2 level PWM 정류기



(b) 3 레벨 비엔나 정류기

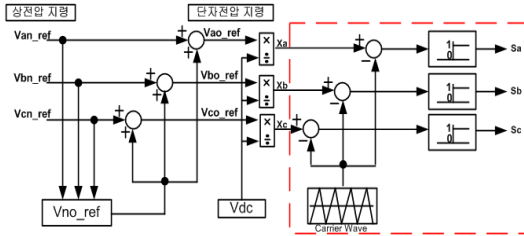
[그림 4] 공간 전압 벡터도  
[Fig. 4] Space voltage vector diagram

그림 4(a)는 3상 2 레벨 인버터 또는 컨버터의 공간 전압 벡터도이며, 스위칭 상태에 따라 6개의 유효 전압 벡터와 2개의 영벡터를 가지고 있다. 반면 그림 4(b)는 3상 3 레벨 컨버터인 비엔나 정류기의 공간 전압 벡터도이다. 그림4(b)의 전압벡터 I,II,III,IV,V,VI는 각각 MOSFET가 꺼져있는 상태에서 3상 입력 전압에 의해 결정되는 3상 다이오우드 통전상태에 따른 공간 전압 벡터를 나타낸다. 전압 벡터도의 회색 영역은 a상의 전압이 양의 값을, b,c 상의 전압이 음의 값을 각각 갖는 1번 영역에서 4상한 스위치의 통전 상태에 따라 가질 수 있는 공간 전압 벡터를 나타낸다. 회색 영역 중 4상한 스위치가 모두 꺼지면 V1을 가지며, 4상한 스위치가 모두 켜지면 V4를 갖는다. V2와 V6는 하나의 4상한 스위치가 켜진 경우, V3와 V5는 두 개의 4상한 스위치가 켜진 경우이며, 회색 영역의 중간 벡터는 a상의 4상한 스위치만 켜거나 b,c상의 4상한 스위치 두 개를 모두 켜서 만들 수 있다. 이런 전압 벡터의 조합으로 총 25개의 유효벡터를 사용하여 원하는 전압 벡터를 만들 수 있다. 3레벨 컨버터인 비엔나 정류기는 그림에서 알 수 있듯이 입력 전압 및 4상한 스위치 조합에 의한 스위칭 벡터의 선택이 어렵고, 선택된 각각의 벡터의 인가 시간 계산이 복잡하기 때문에 3상 스위치의 스위칭 상태를 결정하기 매우 어렵다.

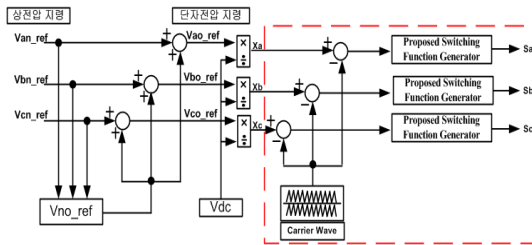
### 2.4 제안된 삼각파 비교 방식을 이용한 비엔나 정류기의 PWM 제어

삼각파 비교 PWM 방법은 각 상의 단자전압 지령 값과 삼각 반송파와 비교 하여 스위치의 ON/OFF 상태를 결정하는 방식이다. 그림 5(a)는 기존의 2 레벨 컨버터의 삼각파 비교 PWM을 나타내며, 그림 5(b)는 3 레벨의 컨

버터의 삼각파 비교 PWM을 나타낸다. 2레벨의 삼각파 비교 PWM 방법은 일반적으로 하나의 반송파를 사용하며 3레벨의 삼각파 비교 PWM 방법은 두 개의 반송파를 사용한다.



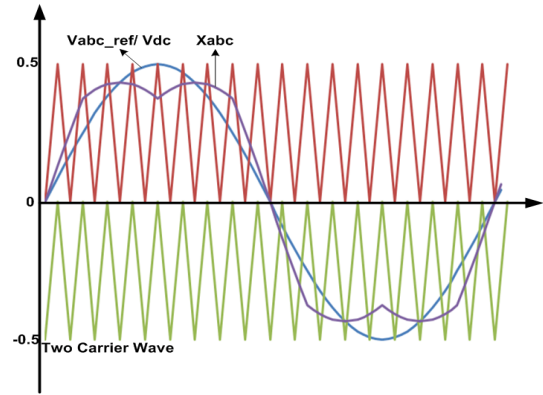
(a) 2 레벨 컨버터의 삼각파 비교 PWM 블록도



(b) 3레벨 컨버터의 삼각파 비교 PWM 블록도

[그림 5] 삼각파 비교 방식의 전압 변조 블록도  
[Fig. 5] Block diagram of carrier comparison PWM

그림 6은 일반적인 3레벨 PWM 인버터/컨버터의 삼각파 비교 PWM을 위한 두 개의 반송파, 정규화된 상전압 명령  $V_{abc\_ref}/V_{dc}$ , 및 정규화된 단자 전압 명령  $X_{abc}$ 을 나타낸 것이다. 첫 번째 캐리어 신호는 스위칭 지령이 0보다 클 때 스위칭 지령과 비교를 위한 것이고, 두 번째 캐리어 신호는 스위칭 지령이 0보다 작을 때 스위칭 지령과 비교를 위한 것이다. 3레벨 PWM 정류기는 전압 명령이 0보다 크면 상단의 두 개의 직렬 스위치를 PWM 하며, 정규화된 단자 전압 명령  $X_{abc}$ 가 상단의 반송파보다 크면 상단 두 개의 스위치를 모두 켜서 단자전압을  $0.5V_{dc}$ 로 만든다. 만약 단자 전압 명령이 상단 반송파보다 작으면 상단의 두 개의 스위치 중 맨 위의 스위치를 꺼서 단자전압이 0V가 되게 한다. 이런 방식으로 단자 전압 명령에 따라 단자 전압의 스위칭 주기에 따른 평균값을 단자 전압 명령과 같게 제어하는 방법이 3레벨 PWM 인버터/컨버터의 삼각파 비교 PWM 방법이며, 두 개의 반송파를 사용한 방식은 전압 명령 생성 및 벡터의 인가시간을 계산하지 않고, 단자 전압 명령과 두 개의 반송파를 비교하는 스위칭 명령을 만들기 때문에 간단하게 제어 할 수 있다.[5,6]



[그림 6] 반송파 및 정규화된 상전압, 단자전압 명령  
[Fig. 6] Carrier wave, and normalized phase voltage command and terminal voltage commands

제안하는 비엔나 정류기의 삼각파 비교 PWM 방식에서, 단자 전압 명령인  $V_{a0ref}$ ,  $V_{b0ref}$ ,  $V_{c0ref}$ 을 계산하는 방법은 기존 2레벨 컨버터의 단자 전압 명령 계산하는 방법과 동일하다. 그러므로 2레벨 전압 변조 방식의 블록도에서 상전압 지령과 단자 전압 지령은 그대로 사용하고, 삼각파 비교부만 비엔나 정류기에 적합하게 바꾸어 삼각파 비교 PWM 방식을 구현할 수 있다. 삼각파 비교부는 기존 3레벨 인버터와 동일하게 2개의 반송파를 사용하며, 제안하는 스위칭 함수 발생기를 가지고 있다.

3레벨인 비엔나 정류기의 스위칭 함수 발생기를 도출하기 위하여 스위칭 함수와 단자전압의 관계를 식 (3)에 나타내었다. 식(3)은 식(2)를 간략화 한 것이며,  $Sign(i)$ 는 전류의 방향을 함수로 표시하였다. 전류가 양의 값이면  $Sign(i)$ 가 +1, 전류가 음의 값이면  $Sign(i)$ 는 -1이 된다.

$$V_{(abc)0} = Sign(i_{abc}) (S_{abc} - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (3)$$

식 (3)에서 알 수 있는 바와 같이 비엔나 정류기를 위한 4상한 스위치의 스위칭 함수  $S_n$ 은 출력단자 전압이 0V가 될 때 1이 되도록 비엔나 정류기의 스위칭 함수 발생기를 만들어 주면 된다. 반면, 4상한 스위치의 스위칭 함수가 0일 때는, 즉 4상한 스위치가 꺼져 있을 때는 상전류의 방향에 따라, 양극 또는 음극에 연결된 두 개의 Diode 중 하나가 켜지게 되며 양의 상전류에서의 단자 전압은  $0.5V_{dc}$ , 음의 상전류에서는 단자 전압이  $-0.5V_{dc}$ 의 값을 갖는다. 그러므로 단자 전압이 원하는 평균 전압을 갖게 하기 위해서는 4상한 스위치가 꺼져있을 때의 전압 벡터를 고려하여 4상한 스위치를 선택하여 켜주어야 하는 문제가 발생된다.

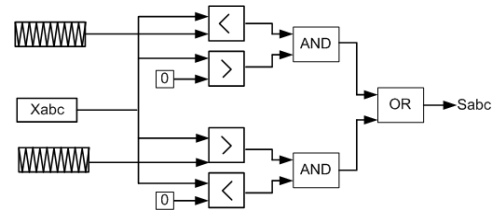
한편, 비엔나 정류기의 입력 역률 목표 값이 1이므로 항상 전류 명령과 전압 명령이 동상이 된다. 만약 비엔나 정류기의 상 전류의 방향이 전압 명령과 동상이라고 가정한다면, 식 (3)을 식(4)로 표현할 수 있다.

$$V_{(abc)0} = \text{Sign}(v_{abc}^*) (S_{n(n=a,b,c)} - 1) \frac{V_{dc}}{2} \quad (4)$$

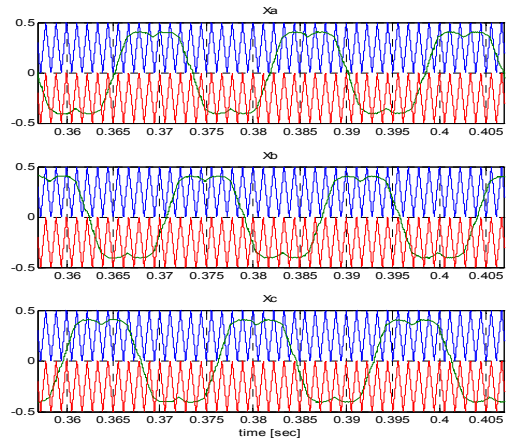
식 (4)로에서 알 수 있는바와 같이, 스위칭 함수가 0일 때 전압 명령의 양과 음의 여부에 따라 단자 전압이 결정되므로, 쉽게 스위칭 함수 발생기를 설계할 수 있다. 즉 단자 전압 명령이 양의 값이고 스위칭 지령을 0이면 단자 전압은 0.5Vdc가 되고, 단자 전압 명령이 음의 값이고 스위칭 지령이 0이면 단자 전압은 -0.5Vdc가 된다. 스위칭 지령이 1이면 전압 명령의 양과 음의 값 여부에 관계없이 단자 전압은 0V가 된다. 이에 따라 비엔나 컨버터의 삼각파 비교 PWM 방식의 스위칭 함수 발생기는 다음의 기능을 갖도록 한다. 그림 7은 2개의 캐리어 신호를 이용한 제안하는 비엔나 정류기의 스위칭 함수 발생기를 논리회로로 나타낸 그림이다. 정규화된 단자 전압 명령  $X_{abc}$ 가 두 개의 반송파 신호와 비교되며, 단자 전압 명령이 0보다 클 때 위쪽 첫 번째 반송파 신호와 비교를, 단자 전압 명령이 0보다 작을 때 아래 쪽 두 번째 반송파 신호와 비교하도록 논리적 곱(AND) 연산이 필요하다. 단자 전압 명령이 0보다 크고, 첫 번째 캐리어 신호보다 크면 출력 단자 전압이 0.5Vdc가 되도록 스위칭 함수 발생기의 출력이 0이 되도록 하고, 첫 번째 캐리어 신호보다 작으면 0Vdc가 되도록 스위칭 함수 발생기의 출력이 1이 되어야 한다. 정규화된 단자 전압 명령이 0보다 작고, 두 번째 캐리어 신호보다 작으면 출력단자 전압이 -0.5Vdc가 되도록 스위칭 함수 발생기의 출력이 0이 되도록 하고, 두 번째 캐리어 신호보다 크면 0Vdc가 되도록 스위칭 함수 발생기의 출력이 1이 되어야 한다. 최종적으로 첫 번째 반송파와 두 번째 반송파의 비교 결과를 논리적 합(OR) 연산 후 한 상의 스위치를 제어 한다. 그림8은 그림 7의 스위칭 함수 발생기의 동작을 나타내었다. 그림 7의 반송파 주파수는 용이한 설명을 위하여 실제 PWM 주파수보다 많이 낮추어 동작을 기술한다. 그림 (a)는 각상의 반송파와 단자전압 명령을 비교하는 그림이고, 그림 (b)는 그림 (a)를 시간에 대하여 확대한 파형이며, 그림 (c)는 반송파와 스위칭 지령과의 비교를 통하여 스위칭 함수 발생기의 동작 결과를 나타낸 것이다.

그림 8의  $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$ 는 비엔나 정류기의 각 상의 정규화된 단자 전압 명령 이다. 이 정규화된 단자 전압 명령  $x_{abc}$ 은 0을 기준으로 -0.5~0 구간과 0~0.5 구간으로 나누어 두 개의 반송파와 비교한다. 0.5~0구간 중  $x_{abc}$ 가

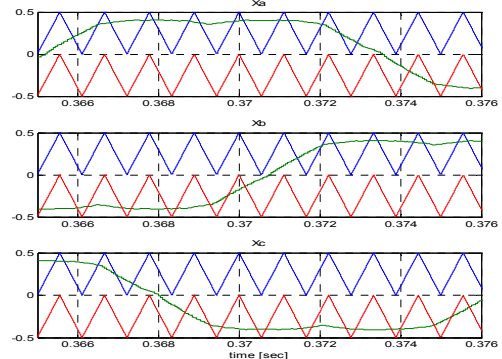
위쪽 첫 번째 반송파 보다 작을 때 스위칭 함수  $S_{abc}$ 는 1이 되고 4상한 스위치는 켜지며 출력 단자 전압은 0V가 된다.  $x_{abc}$ 가 위쪽 첫 번째 반송파 보다 클 경우 스위칭 함수  $S_{abc}$ 는 0이 되고 4상한 스위치는 꺼지며 출력 단자 전압은 0.5Vdc가 된다. 한편 -0.5~0구간 중  $x_{abc}$ 가 아래쪽 두 번째 반송파보다 클 경우 스위칭 함수  $S_{abc}$ 는 1이 되고 4상한 스위치는 켜지며 출력 단자 전압은 0V가 된다.  $x_{abc}$ 가 아래쪽 두 번째 반송파보다 작을 경우 스위칭 함수는 0이되고 4상한 스위치는 꺼지며, 출력 단자 전압은 -0.5Vdc가 된다.



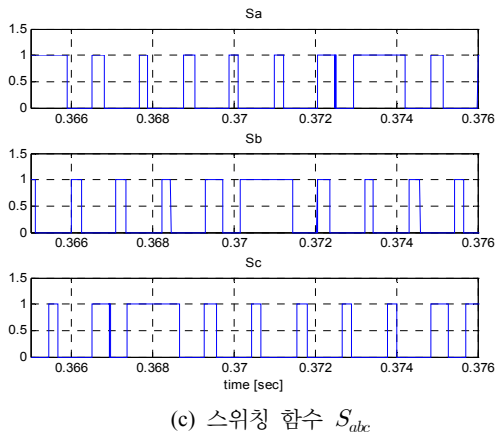
[그림 7] 비엔나 정류기를 위한 제안된 스위칭 함수 발생기 [Fig. 7] Proposed switching function generator for Vienna rectifier



(a) 두 개의 반송파 및 각 상 스위칭 지령( $X_{abc}$ )



(b) 반송파 및 스위칭 지령 확대 ( $X_{abc}$ )



[그림 8] 스위칭 함수 발생기의 동작 파형  
[Fig. 8] Waveform of the action of switching function generator

### 3. 제안된 PWM을 사용한 비엔나 정류기의 모의해석 및 실험

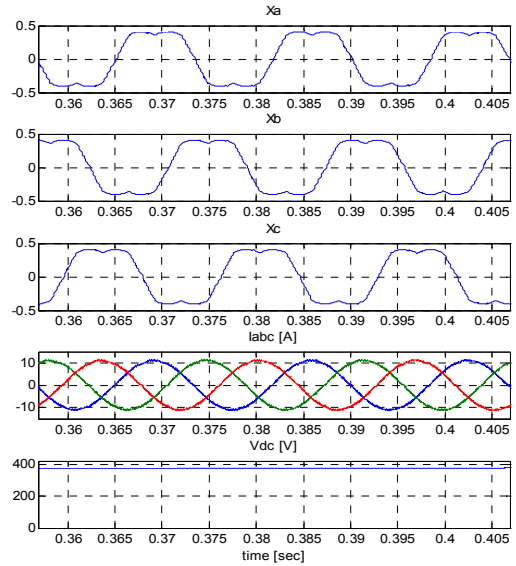
#### 3.1 모의해석 결과

제안한 비엔나 정류기의 전류제어를 위한 캐리어 비교 PWM 방법을 검증하기 위해 모의 해석을 하였다.

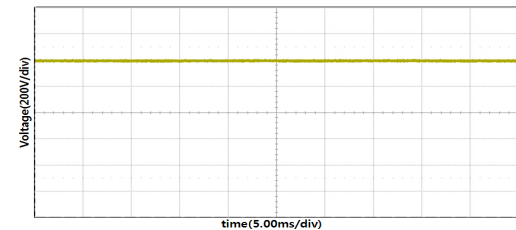
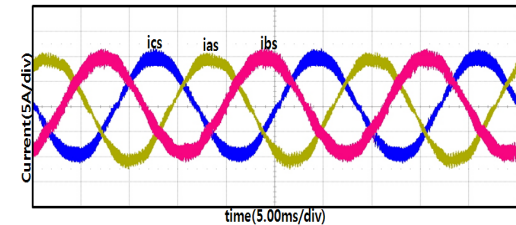
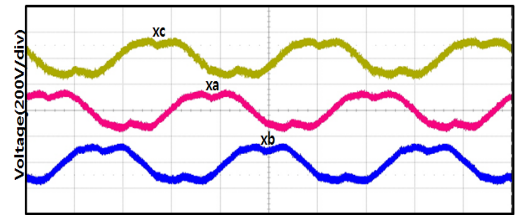
[표 2] 모의해석 및 실험 조건  
[Table 2] Condition for simulation and experiment

Power	2.8kW	
Input	Line to Line Voltage	220Vrms
Output	Reference Voltage	392V
Load Current	7A	
Switching Frequency	20kHz	
Inductor	1mH	
Capacitor	1360uF	

표 2는 모의해석 및 실험에 사용된 파라미터 값을 나타낸다. 모의해석에서 스위칭 소자는 MOSFET를 사용하였다. 그림 9의  $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$ 는 비엔나 정류기의 각 상의 정류화된 단자 전압 명령이다.  $i_{abc}$ 는 정상상태에서의 입력 상 전류이며 파란색( $i_a$ ), 녹색( $i_b$ ), 붉은색( $i_c$ ) 순서이다.  $V_{dc}$ 는 비엔나 정류기 동작 결과 얻어진 직류링크 전압이다. 두 개의 반송파를 사용한 PWM방식의 모의해석 결과 제어가 잘 되는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 9] 비엔나 정류기 시뮬레이션 결과  
[Fig. 9] Simulation result of vienna rectifier



[그림 10] 비엔나 정류기 실험 결과  
[Fig. 10] Experiment result of vienna rectifier

### 3.2 실험 결과

제안한 비엔나 정류기의 전압제어를 위한 캐리어 비교 PWM을 검증하기 위해 실험을 하였다. 실험 조건은 모의 해석의 파라미터 값과 같다. 실험에서 4상한 스위칭 소자의 전력용 반도체는 MOSFET를 사용하였다. 그림 10의 (a)는 정규화된 단자전압 명령  $X_{abc}$ 이다. 그림 10 (b)는 과도상태에서의 입력 상전류와 출력  $V_{dc}$ 의 파형이다. 그림 10 (c)는 정상상태에서의 입력 상전류  $i_{abc}$ 의 파형과 정상상태에서의 출력  $V_{dc}$ 의 파형이다. 실험 결과는 모의해석 결과와 유사하게 동작 하는 것을 확인 할 수 있으며, 제안한 비엔나 정류기의 삼각파비교 PWM 방식이 잘 동작 하는 것을 확인 하였다.

## 4. 결론

본 논문에서 쉽고 간단한 비엔나 정류기의 삼각파비교 PWM 방식에 대하여 고찰하였으며, 이를 위한 스위칭 함수 발생기를 제안하였다. 기존의 공간전압 벡터를 이용한 PWM 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 위한 스위칭 함수 발생기를 제안하였다. 제안한 캐리어 비교 PWM을 사용하여 모의해석 및 실험한 결과 간단하게 제어되는 것을 검증 하였다.

## References

- [1] J.W Kolar and F.C 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
- [2] Rolando R, Rixin Lai, Yunqing Pei, Fei Wang, Dushan Boroyevich, Josep Pou "Space vector modulation 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
- [3] Alahuhtala J, Tuusa H "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

- [4] Hunsun Jung, Sejin Noh, Jaeho Choi, GyoBum chung "Improvement of input wave using VIENNA rectifier" Conference Proceedings of The Korean Institute of Power Electronics, pp19-21, 2007, January
- [5] Thomas Bruckner and Donald Grahame Holmes, "Optimal pulse-width modulation for three-level inverters," vol. 20, no. 1, pp 82-89, 2005
- [6] Huhsmmad H. Rashid, Power Electronics Handbook, Academic Press, pp394-398

윤 병 철(Byung-Chul Yoon)

[준회원]



- 2010년 2월 : 충주대학교 정보제어공학과 졸업 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충주대학교 대학원 제어계측공학과 (석사과정)

<관심분야>

전력전자, 전원장치, 전력변환

김 학 원(Hag-Wone Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 졸업 (공학석사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 졸업 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2008년 2월 : LG 전자(주) DA연구소 책임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충주대학교 제어계측공학과 조교수

<관심분야>

전력전자, 전력변환, 전동기 제어, 전원장치, 전력품질, Power Factor Correction

조 관 열(Kwan-Yul Cho)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 2003년 2월 : LG 전자(주) DA연구소 책임연구원

- 2004년 3월 ~ 현재 : 충주대학교 제어계측공학과 부교수

<관심분야>

전력전자, 전동기 제어, 전원장치, 전력품질제어, 모션제어, 제어응용, 전력변환. PMSM