

급속 충전기에 적용 가능한 3상 AC/DC 비엔나 정류기 파워스택 개발

김명기, 임종현, 노용수, 박준성, 김진홍
전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터

Development of 3-phase AC/DC VIENNA Rectifier for Fast Charger

Myeong Gi Kim, Jong Hun Lim, Yong Su Noh, Joon Sung Park, Jin Hong Kim
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

본 논문은 단방향 AC/DC 비엔나 정류기를 사용한 급속충전기 개발 내용에 대해 기술한다. 3레벨 정류기중 대전류에서 고효율 특성을 가지는 3상 비엔나 정류기의 구성에 대해 서술하고, 급속충전기에 적용이 가능한 입력 3상 220V, 출력 700V의 5kW급 비엔나 정류기 파워스택 시작품을 제작하여 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 배터리 충전 어플리케이션에서 고효율, 고전력밀도를 가지는 전력변환장치에 대한 중요성이 증가하고 있다. 급속충전기의 경우, 완속충전기보다 높은 50kW급의 용량을 갖는다. 따라서 급속충전기에 적용되는 전력 변환 장치는 소자 정격, 효율, 부피 등을 최적화하기 위해 정류기를 단일 모듈의 병렬 연결로 구성하는 경우가 많다. 하지만 병렬 구성의 정류기는 제어기 구성이 복잡해지고, 제품 가격이 상승될 수 있기 때문에 최근 단일 모듈 구성의 정류기를 적용하는 시스템이 연구되고 있다. 이에 기존의 THD(Total Harmonic Distortion)와 효율 면에서 성능이 낮았던 2레벨 정류기의 단점을 개선한 3레벨 정류기에 대한 연구가 계속 진행되어 왔으며, 비엔나 정류기는 DC/DC 부스트 컨버터와 3상 다이오드 브릿지 정류기가 결합된 3상 3레벨 정류기의 대표적인 토폴로지라고 할 수 있다. 비엔나 정류기는 전류 THD를 낮추기에 용이하며, 낮은 내압의 전력용 소자를 사용할 수 있고 스위칭 손실이 작아 효율이 높다는 장점을 가지고 있기 때문에 비엔나 정류기를 급속충전기에 적용하기에 적합하다.^[1]

본 논문에서는 단방향 AC/DC 비엔나 정류기의 구성과 비엔나 정류기를 사용한 급속충전기 개발 내용에 대해 서술하고, 병렬연계를 위한 단일 모듈인 5kW급 파워스택의 시작품을 제작하여 실험을 통해 입력전압과 전류의 파형을 확인하여 3상 비엔나 정류기의 성능을 검증하였다.

2. 비엔나 정류기

시작품에 적용된 비엔나 정류기의 회로구성은 그림 1과 같다. 그림 1의 e_a, e_b, e_c 는 입력 3상 전압, i_a, i_b, i_c 는 입력 전류를 의미하며, $SW1, SW2, SW3$ 은 각 레그당 2개의

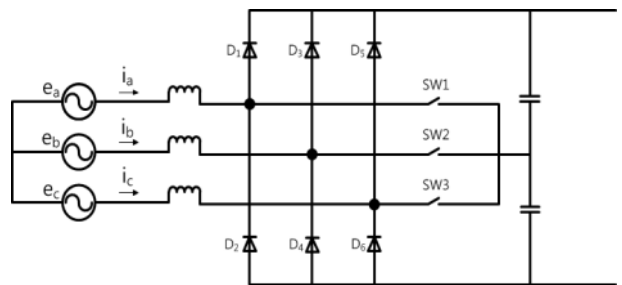


그림 1. 비엔나 정류기의 회로 구성

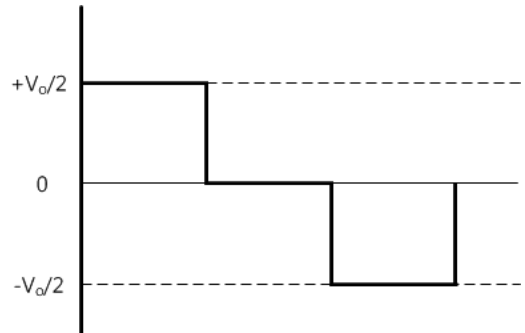
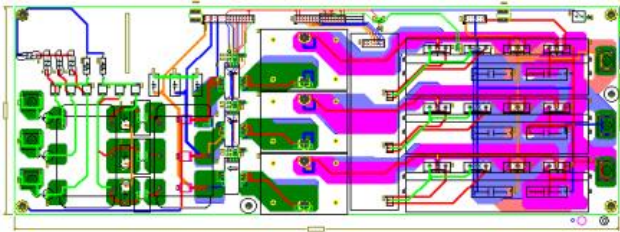


그림 2. 비엔나 정류기의 단자 전압

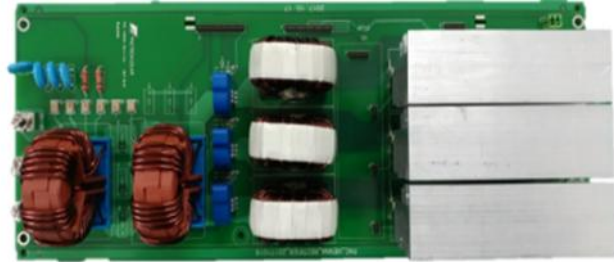
MOSFET을 이용한 양방향 스위치를 의미한다. $D1$ 부터 $D6$ 까지 6개의 다이오드의 동작 상태는 이 3개의 스위치의 상태에 의해서 결정된다. 그림 1과 같은 회로에서 입력 상전압은 각 상의 스위치의 상태와 각 상의 입력 전류의 방향에 따라 달라지며, 결과적으로 각 상의 단자 전압은 그림 2와 같이 $+(V_o/2), 0, -(V_o/2)$ 의 3레벨 전압 특성을 갖게 된다. 따라서 스위치에 인가되는 전압의 크기가 일반적인 2레벨 구성의 정류기에 비해 낮아지기 때문에 스위칭 손실이 낮아지게 되는데 특징이 있다. 또한, 비엔나 정류기는 T type 3레벨 컨버터보다도 스위치 개수가 적고, 고주파 스위칭을 통해 부피를 적게 할 수 있는 장점을 갖는다.^{[2],[3]}

표 1. 비엔나 정류기 시작품 주요 사양

P_o	5kW	f_s	30kHz
$V_{ac,rms}$	220V	L	1mH
V_{dc}	700V	C_{dc}	1.5mF



(a)



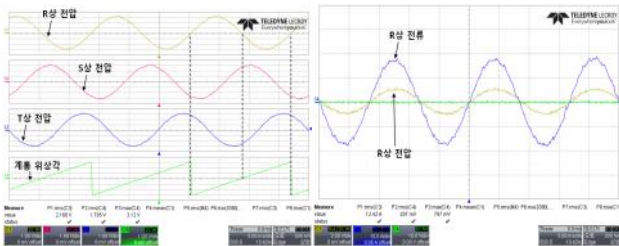
(b)

그림 3. 비엔나 정류기를 적용한 5kW급 파워스택 (a) PCB 아트웍 (b) 시작품

3. 비엔나 정류기 시작품 제작 및 실험 결과

개발된 비엔나 정류기의 주요 사양은 표 1과 같다. 정격 용량은 5kW이며 계통 입력 전압은 3상 220V, 출력 DC전압은 700V에서 동작하도록 설계하였다. 그림 3은 비엔나 정류기의 주요 회로도 아트웍 및 제작된 시작품을 나타낸다. 파워스택의 부피를 최소화하기 위해 별도의 제어보드, 게이트 드라이브 보드를 사용해 수직으로 연결하는 방식을 적용하였다.

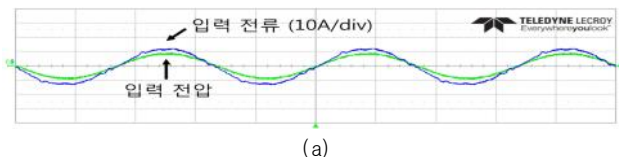
그림 4(a)는 제작된 비엔나 정류기의 계통 3상 입력에 대한 PLL(Phase Locked Loop) 결과 파형을 보여준다. 추종된 위상을 바탕으로 비엔나 정류기의 입력 전류는 그림 4(b)와 같이 입력 상전압과 동상으로 제어됨을 확인하였다. 그림 5는 부하



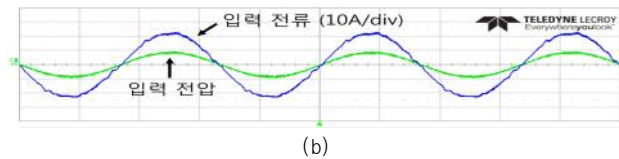
(a)

(b)

그림 4. 3상 계통 입력에 대한 (a) PLL 및 (b) 출력 전류 파형



(a)



(b)

그림 5. 입력 전압, 전류와 단자 전류 파형 (a)50% 부하, (b)정격 부하

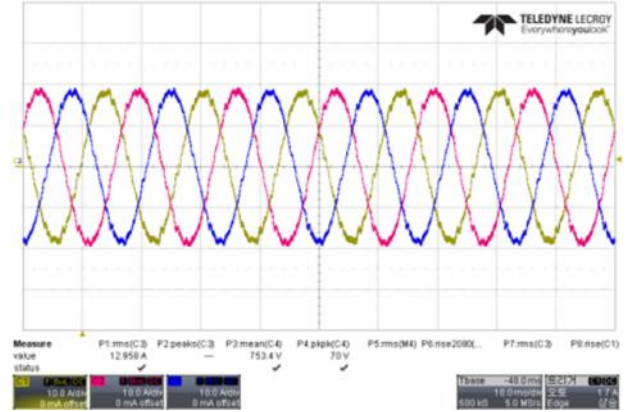


그림 6. 정격 부하 조건에서의 3상 상전류 파형

에 따른 계통 입력 전류 파형을 보여준다. 실험을 통해 50% 부하 및 정격 부하에서 제작된 비엔나 정류기가 높은 역률 및 낮은 THD를 갖는 것을 확인하였다. 그림 6은 정격 부하 조건에서 입력 3상 전류 파형을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 급속충전기에 적용 가능한 단방향 AC/DC 비엔나 정류기를 사용한 급속충전기 개발 내용에 대해 서술하였다. 개발된 비엔나 정류기는 입력 3상 220V, 출력 700V에서 정격용량 5kW로 설계되었다. 시작품의 설계 사양을 검증하기 위해 입력 3상 계통 전압의 위상을 PLL을 통해 확인하였고, 부하를 가변하며 입력 상전류를 확인하는 실험을 진행하였으며, 정격부하 조건에서 0.99의 역률과 입력 전류의 THD는 3.1%임을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20172020108500)

참고 문헌

- [1] B. C. Yoon, H. W. Kim, K. Y. Cho, and B. K. Lim, "A single carrier comparison PWM for voltage control of vienna rectifier," The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 17, No. 2, pp. 129-134, Apr. 2012.
- [2] S. H. Yang, J. H. Park and K. B. Lee, "Current Quality Improvement for a Vienna Rectifier with High Switching," The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 22, No. 2, pp. 181-184, Apr. 2017.
- [3] M. J. Kim, Y. W. Kim, Y. Prabowo and S. W. Choi, "Development of 50kW High Efficiency Modular Fast Charger for Both EV and NEV" The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 21, No. 5, pp. 373-380, Oct. 2016.