

# 양극성 저압 직류 배전 시스템을 위한 절연형 3레벨 전압 평형기

이준영, 최현준, 심주영, 정지훈  
울산과학기술원(UNIST)

## Isolated Three-Level Voltage Balancer for Bipolar LVDC Distribution System

Jun young Lee, Hyun jun Choi, Ju young Sim, Jee Hoon Jung  
Ulsan National Institute of Science and Technology(UNIST)

### ABSTRACT

본 논문에서는 양극성 직류 배전 시스템에 사용할 수 있는 절연형 3레벨 전압 평형기를 제안한다. 전압 평형기는 양극성 부하에서 발생하는 불균등한 전압을 보상해주는 필수적인 전력 변환장치이다. 제안하는 1단 구성의 절연형 전압 평형기는 오직 3레벨 Dual Active Bridge DC-DC 컨버터로만 구성되고, 기존에 전압 밸런싱을 위해 사용되던 추가적인 비절연형 전압 평형기를 필요로 하지 않는다. 따라서 기존 비절연형 전압 평형기에 사용되는 수동 및 능동 소자를 제거함으로써 전력변환 장치의 전체적인 전력 밀도 및 전력 변환 효율을 향상시키는 장점을 가진다. 새롭게 제안하는 스위칭 방식을 통해 3레벨 전압 평형기가 절연과 전압 밸런싱 기능을 동시에 수행한다. 3kW급 전압 평형기의 시제품을 이용하여 제안하는 토폴로지와 제어 알고리즘의 성능과 타당성을 실험적으로 검증하였다.

### 1. 서론

최근 신재생 에너지를 비롯하여 DC 전압으로 이루어진 부하 사용량이 증가함에 따라 가정 혹은 데이터센터에 공급 가능한 저압 직류 배전이 각광받고 있다. 직류 배전은 직류 전류를 사용함으로써 교류배전에 비해 전송 케이블에 의한 손실이 적고, DC 버스를 이용하여 AC/DC 전력변환장치가 필요 없다는 점에서 전력효율이 높은 장점을 가진다. 저압 직류 배전 시스템은 크게 단극성(Unipolar)과 양극성(Bipolar) 방식<sup>[1]</sup>이 존재한다. 두 개의 선으로 구성된 단극성 방식은 시스템 구성이 간단하여 편리한 반면, 양극성 방식은 세 개의 선으로 구성하여 단극성 방식에 비해 여러 가지 장점을 가진다. 양극성 방식은 중성점을 이용하여 다양한 전압 레벨을 구성이 가능하여 DC 버스에 접속되는 다양한 컨버터의 전압 레벨을 맞춰주기 용이하고, 중성점을 이용하여 전압을 더 낮출 수도 있다. 또한 하나의 선이 끊어져도 나머지 하나의 선을 통해 전력 공급이 가능한 장점을 가진다. 하지만 이러한 양극성 방식은 불균형한 전력 분배가 일어나며 이로 인해 전압 불균형이 생기는 단점이 존재한다. 따라서 이를 해결해주기 위한 절연형 전압 평형기가 필요하다.

본 논문에서는 3레벨 Dual Active Bridge (DAB) DC-DC 컨버터를 이용하여 절연형 전압 평형기를 제안한다. 제안하는 컨버터는 오직 3레벨 DAB 컨버터로만 구성되고, 기존 비절연형 전압 평형기를 제거하여 컨버터의 전체적인 전력밀도와 전

력효율 향상이 가능하다. 기존 비절연형 전압 평형기에서 수행 하던 양극성 전압 제어를 제안하는 새로운 스위칭 기법을 통해 대체한다.

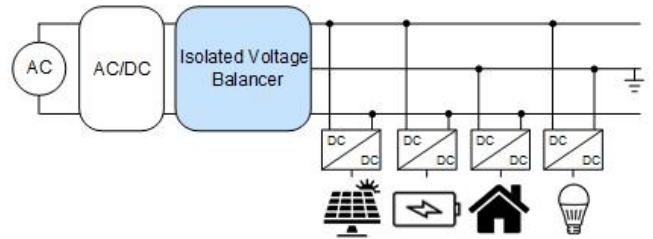


그림 1 절연형 전압 평형기를 이용한 양극성 배전 시스템  
Fig.1 Bipolar distribution system using isolated voltage balancer

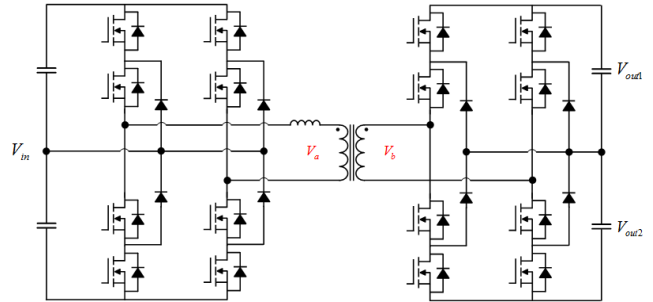


그림 2 제안하는 절연형 3-레벨 전압 평형기  
Fig.2 Proposed isolated three-level voltage balancer

### 2. 절연형 전압 평형기

#### 2.1 양극성 저압 직류 배전 시스템

양극성 직류 배전 시스템은 그림1과 같이 전력변환장치를 이용하여 기존 AC 계통으로부터 형성 가능하다. AC/DC 정류기는 AC 계통으로부터 DC 버스 전압을 형성하고, 절연형 전압 평형기는 AC 계통과 DC 버스를 절연시켜 접지 간 단락 문제를 해결하고, 양극성 전압을 잡아주는 역할을 한다. 절연형 전압 평형기는 기본적으로 DAB 컨버터<sup>[2]</sup>와 비절연형 전압 평형기<sup>[3]</sup>로 구성될 수 있다. DAB 컨버터는 영전압 스위칭, 양방향 전력전달 및 고주파 스위칭 동작이 가능한 절연형 양방향

DC DC 컨버터로써 단극성 직류 배전 시스템에 이미 제안되어 기존에 사용되던 저주파 변압기를 대체하여 절연을 수행하였다. 비절연형 전압 평형기는 양극성 방식에서 생기는 불균형한 양극성 전압을 제어하고, DAB 컨버터 뒷단에 접속되어 사용되어 최종적으로 절연형 전압 평형기를 형성한다.

### 2.1 제안하는 절연형 전압 평형기

그림 2는 제안하는 절연형 전압 평형기를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 추가적인 비절연형 전압 평형기 없이 오로지 3 레벨 DAB 컨버터만으로 구성되어 전력밀도와 전력효율을 상승시킨다. 2 레벨에 비해 3 레벨<sup>[4]</sup> 구조는 스위치에 걸리는 전압 스트레스를 반으로 줄여 높은 DC 버스 전압에 대응이 가능하고 추가적인 구조 없이 중성점이 형성되어 양극성 배전에 적합하다. 제안하는 컨버터의 입력 측  $V_{in}$ 은 AC/DC 정류기의 출력 DC 전압에 접속되고, 출력 측  $V_{out1}$ 과  $V_{out2}$ 는 양극성 DC 버스 전압을 각각 형성한다. 기존 2 레벨 혹은 3 레벨 DAB 컨버터는 양극성 부하에 대해 전압 제어가 되지 않기 때문에 추가적인 비절연형 전압 평형기가 접속되어야 한다. 하지만 제안하는 절연형 전압 평형기는 새로운 스위칭 방식을 통해 양극성 전압을 제어할 수 있다.

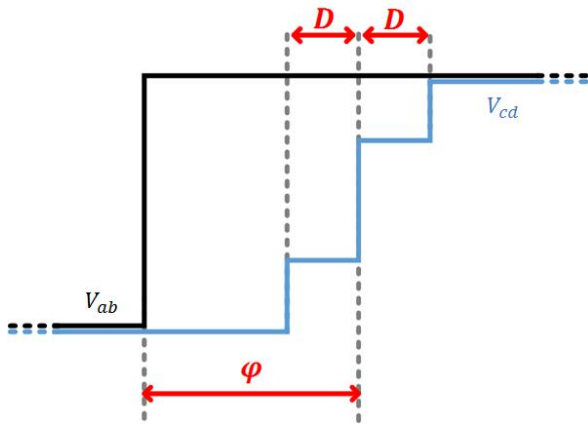


그림 3 양극성 전압 제어 주요 파형  
Fig.3 Key operation of the proposed switching modulation

### 2.2 양극성 전압제어를 위한 스위칭 방식

그림3은 양극성 전압을 제어하기 위해 제안된 스위칭 방식의 주요 동작원리를 나타낸다. 제안하는 스위칭 방식은 총 2개의 변수  $\phi$  및  $D$ 와 새롭게 정의된 스위칭을 통해  $V_{out1}$ 과  $V_{out2}$ 에 전력을 자유롭게 분배하여 불균형한 전력에서 무부하까지 전압 제어가 가능하도록 설계된다. 새롭게 정의된 스위칭은 추후 논문지에서 다룰 예정이다.  $\phi$ 는 1차 측 변압기 전압  $V_a$ 와 2차 측 변압기 전압  $V_b$ 간의 위상차이값이고,  $D$ 는 2차 측 변압기 전압  $V_b$ 의 내부 위상차이값이다. 위상  $\phi$ 는 기존 DAB 컨버터에서와 동일하게 양방향 전력전달을 담당하고, 위상  $\phi$ 가 늘어날수록 전체전력은 증가한다. 위상  $D$ 를 통해  $V_{out1}$ 과  $V_{out2}$ 에서 발생하는 전력차이를 보상하여 양극성 전압을 제어한다.

Specification	Value
Output Power	3 [kW]
Input Voltage	380 [V]
Bipolar Output Voltage	190 & 190 [V]
Switching frequency	50 [kHz]
Transformer turn ratio	1 : 2

표 1 제안하는 컨버터의 시스템 사양  
Table 1 Electrical Specifications of the proposed converter

### 2.3 시뮬레이션 & 실험결과

PSIM 시뮬레이션과 표1에 의한 3 kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터와 제안하는 스위칭 방식의 타당성을 실험적으로 검증하였다. 입력 전압은 380 V로, 출력전압은 양극성 380 V로 선정하였다. 양극성 출력에 서로 다른 저항값을 접속시켜 불균형한 전력을 유도하였다. 그림 4는 PSIM을 이용한 시뮬레이션 파형을 보여준다. 변압기 전압  $V_a$ 와  $V_b$ 는 그림 5 과 같이 동작함을 볼 수 있다. 양극성 부하에 서로 다른 전류값이 흐르지만,  $\phi$ 와  $D$ 에 의해 양극성 전압을 190V로 제어함을 보인다. 그림6 (a)와 (b)는 3 kW급 시작품을 이용한 실험 파형이다. 각각 불균형한 전력  $P_{out1} = 1164 W$ ,  $P_{out2} = 902 W$  와  $P_{out1} = 1640 W$ ,  $P_{out2} = 902 W$ 에 대해 양극성 전압을 190V로 제어하는 것을 보여준다. 1차와 2차간 위상 차이  $\phi$ 를 통하여 전체 전력이 조절되고 2차 측 내부 위상  $D$ 를 이용하여 최종적으로 불균형한 전력이 조절되는 것이 실험적으로 확인된다.

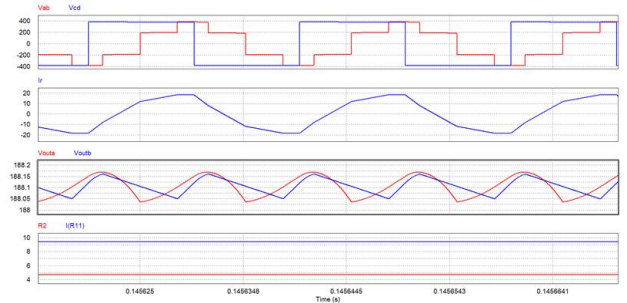
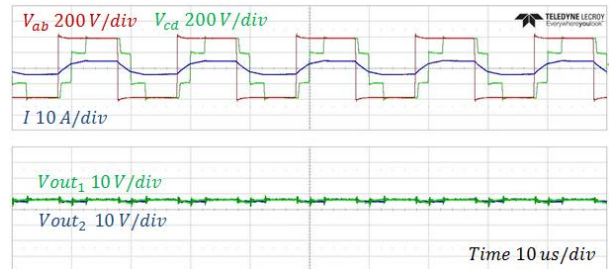
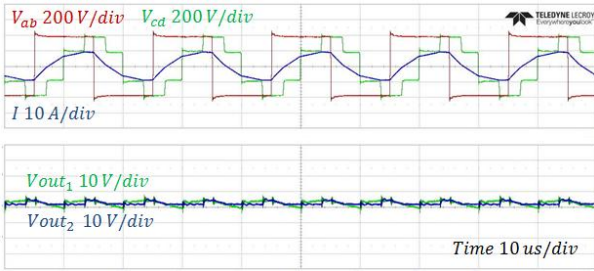


그림 4 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation results



(a)



(b)

그림 5 실험결과 (a)  $P_{out1} = 1164 W, P_{out2} = 902 W$

(b)  $P_{out1} = 1640 W, P_{out2} = 902 W$

Fig.5 Experimental results (a)  $P_{out1} = 1164 W, P_{out2} = 902 W$

(b)  $P_{out1} = 1640 W, P_{out2} = 902 W$

### 3. 결론

본 논문은 양극성 저압 직류 배전에 사용되는 절연형 전압 평형기를 제안하였다. 절연형 전압 평형기는 3 레벨 DAB로 구성되고, 추가적인 비절연형 전압 평형기를 제거하여 컨버터의 전체적인 전력밀도 및 전력효율을 상승시키는 구조다. 새로운 스위칭 방식을 제안하여 비절연형 전압 평형기 없이도 양극성 전압 제어가 가능하다. 모의실험을 통해 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2017년 동서발전 연구비(해수전지를 이용한 파일럿급 ESS 설비구축 원천기술 개발 및 시험)에 의하여 연구되었음

### 참 고 문 헌

- [1] D. Kumar, F. Zare and A. Ghosh, "DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications, and Standardizations Aspects," in IEEE Access, vol. 5, pp. 12230-12256, 2017.
- [2] F. Krismer and J. W. Kolar, "Efficiency Optimized High Current Dual Active Bridge Converter for Automotive Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 7, pp. 2745-2760, July 2012.
- [3] X. Zhang, C. Gong and Z. Yao, "Three Level DC Converter for Balancing DC 800 V Voltage," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 7, pp. 3499-3507, July 2015.
- [4] P. Liu, C. Chen, S. Duan and W. Zhu, "Dual Phase Shifted Modulation Strategy for the Three Level Dual Active Bridge DC-DC Converter," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 10, pp. 7819-7830, Oct. 2017.