

# 3-레벨 NPC Dual Active Bridge DC-DC 컨버터의 중성점 전압 제어를 위한 향상된 스위칭 알고리즘

이준영, 최현준, \*조진태, 정지훈

울산과학기술원(UNIST), \*한국전력연구원 (KEPCO Research Institute)

## Improved Switching Algorithm for Balancing Neutral Pointed Voltage of Three-Level NPC-Based Dual Active Bridge DC-DC Converter

Jun Young Lee, Hyeon Jun Choi, \*Jin Tae Cho, Jee Hoon Jung

Ulsan National Institute of Science and Technology(UNIST)

\*KEPCO Research Institute

### ABSTRACT

본 논문에서는 저압 직류 배전 시스템에 사용되는 3 레벨 NPC DAB 컨버터의 중성점 전압 제어를 위한 향상된 스위칭 알고리즘을 제안한다. 3 레벨 NPC DAB 컨버터는 구조상 정격전압 감소를 위해 중성점을 기준으로 DC link 단에 두 개의 캐패시터가 사용되기 때문에 중성점으로 들어오는 전류에 불균형이 발생하며 중성점 전압이 흔들리는 문제점이 나타난다. 중성점 전압이 흔들릴 경우 불균형한 전압이 변압기에 형성되며 이로 인해 전류 Offset과 실효 전류의 증가에 따른 전력 손실 증가 등 전체적인 컨버터의 동작에 악영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 3 레벨 NPC DAB 컨버터의 동작원리 및 기존 스위칭 패턴을 분석하고, 향상된 스위칭 패턴을 적용시켜 중성점 전압을 제어하는 알고리즘의 타당성을 모의시험을 통해 검증하고자 한다.

### 1. 서론

최근 교류 배전 시스템을 대체하는 저압 직류 배전 시스템에 대한 연구가 활발한 진행 중에 있다. 직류 배전 시스템은 교류에 비해 전력 전송 효율이 높으며, 직류 부하와 연동 시 AC/DC 전력 변환 장치가 필요 없다는 장점이 있다. 직류 배전 시스템은 그림 1과 같이 크게 AC/DC 정류기와 양방향 DC/DC 컨버터로 구성된다. 양방향 DC/DC 컨버터로는 Full Bridge 형태로 Phase shift modulation을 이용한 Dual Active Bridge (DAB)가 널리 사용된다<sup>[1]</sup>. Phase shift modulation을 통한 스위칭 기법은 양방향 전력 전달과 소프트 스위칭을 가능하게 한다. 기존 DAB에 적용된 Full Bridge 형태와는 다르게 멀티레벨은 DC link 입력단에 두 개의 캐패시터를 사용하여 스위치의 정격전압이 반으로 줄어드는 장점이 있다. 하지만 두 개의 캐패시터로 인한 중성점 전압 제어가 문제가 되고 있다.

본 논문에서는 저압 직류 배전 시스템에 맞는 3 레벨 Neutral Point Clamped (NPC) DAB 컨버터의 중성점 전압에 대해 분석하고 중성점 전압을 제어하는 새로운 스위칭 알고리즘에 대해 제안한다.

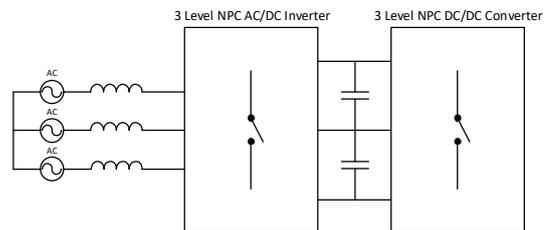


그림 1 저압 직류 배전 시스템  
Fig. 1 Low Voltage Direct Current system

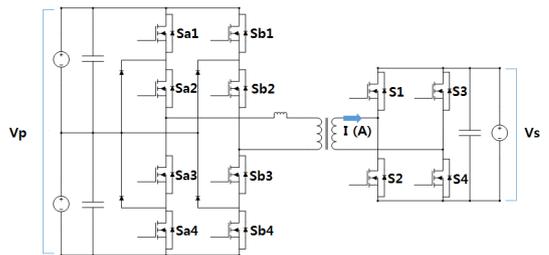


그림 2 3-레벨 NPC DAB 구조  
Fig. 2 3-Level NPC DAB structure

## 2. 3-레벨 NPC DAB

### 2.1 3-레벨 NPC DAB 중성점 전압

3 레벨 NPC DAB는 변압기를 중심으로 1차 측 3 레벨 NPC 와 2차 측 Full Bridge로 구성된다. 1차 측은 총 8개의 스위치, 4개의 다이오드 그리고 두 개의 캐패시터로 구성된다. 그림 3과 같이 기존 DAB와 동일하게 변압기 1차와 2차 전압의 Phase shift modulation을 통해 전력을 전달한다. 또한 변압기 1차 전압의 내부에서도 알파와 베타의 위상각으로 5 레벨을 만들어 준다. 각각의 캐패시터에 절반의 입력단 전압이 형성되며, 그림 3과 같이 1차 측 변압기에 형성되는 전압( $V_p$ )은 계단 모양의 레벨을 만들며 스위치에 걸리는 DC link 입력단의 전압을 반으로 줄이는 특징이 있다. 하지만 앞단 AC/DC 정류기의 출력단 전압 혹은 소자의 불균형으로 두 개의 캐패시터간에 전압 불균형이 올 수 있으며 이를 제어하는 스위칭 알고리즘이 필요하다.

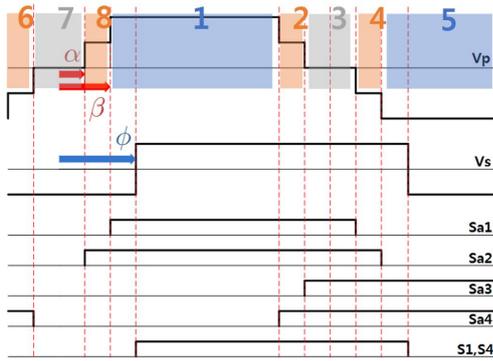


그림 3 3-레벨 NPC DAB 스위칭 패턴 및 변압기 전압  
Fig. 2 3-Level NPC DAB switching pattern and transformer voltage

## 2.2 중성점 전압 제어 알고리즘

1차 측에서 2차 측으로 변압기를 통해 전력을 전달할 때, 두 개의 캐패시터에서 그림 3과 같이 영역을 나누어 번갈아 사용함으로써 전압 균형을 맞추면서 스위칭을 한다. 그림 3에서 1, 5는 두 개의 캐패시터, 2, 4, 6, 8은 한 개의 캐패시터, 3, 7은 캐패시터를 사용하지 않는 영역을 나타낸다.

일반적으로 중성점 전압에 불균형이 발생할 경우, 1차 측 내부의 위상각(알파, 베타)을 이용하여 캐패시터에 소모되는 전력을 조절하게 된다<sup>[2]</sup>. 이러한 방식은 1차 측 전압에 불균형을 가져오게 되며 1차 측 전류에 급격한 변화를 유도하게 된다. 과도한 전류는 변압기의 포화를 유도할 수 있으며, 높은 전력 손실을 유발한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 1차 측 내부의 위상각을 조절하지 않고, 각 각의 캐패시터에 사용되는 영역의 빈도를 조절하여 1차 측 전압의 불균형을 유발시키지 않는다.

그림 3에서 1, 3, 5, 7은 한 개의 캐패시터만을 사용하지 않는 영역으로 중성점 전압을 제어하기가 불가능하다. 하지만 영역 2, 4, 6, 8은 한 개의 캐패시터만을 사용하여 중성점 전압을 제어하는데 사용할 수 있다. 영역 2와 4는 위 쪽 캐패시터를, 영역 6과 8은 아래쪽 캐패시터를 이용한다. 중성점 전압에 불균형이 생겨 위 쪽 캐패시터의 전압이 높아졌다면, 위 쪽 캐패시터의 전압이 사용되는 영역을 늘려 전력을 더 많이 소모시킨다. 즉 영역 6과 8을 영역 2와 4로 대체하여 전력을 더 많이 소모하면서 전압에 평형이 올 때 까지 영역을 늘려준다.

## 2.3 중성점 전압 시뮬레이션

중성점 전압을 제어하는 알고리즘의 타당성을 표1의 시스템에 적용하여 타당성을 검증하였다. 그림 4는 입력단 전압에 불균형을 준 상태로 아래쪽 캐패시터의 전압이 위쪽 캐패시터의 전압보다 높은 것을 확인할 수 있다. 그림 (a)는 기존 알고리즘의 방식으로 중성점 전압을 제어할 시 1차 측 내부의 위상각을 조절하여 1차 측 전압에 불균형이 생겨 1차 측 전류에 과도한 전류가 형성됨을 볼 수 있다. 하지만 그림 4 (b)는 제안하는 알고리즘으로 아래쪽 캐패시터의 전력 소모를 줄이기 위해 영역 6과 8을 2와 4로 대체하여 위쪽 캐패시터의 전력 소모를 늘린 방식이다. 이러한 방식으로 중성점 전압을 제어할 시 전류에 변화가 생기지 않는다.

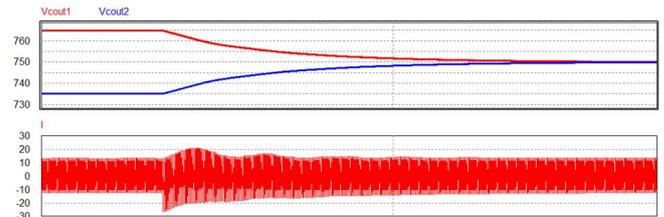
## 3. 결론

본 논문에서는 3 레벨 NPC DAB 컨버터의 중성점 전압을

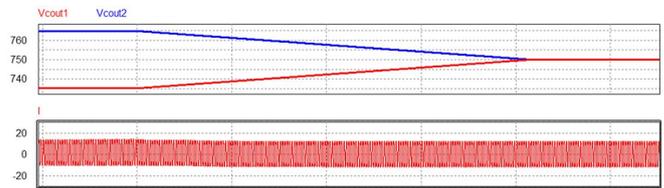
Output Power	3 [kW]
Input Voltage	1500 [V]
Output Voltage	380 [V]
Switching frequency	20 [kHz]
Transformer turn ratio	4
$\alpha, \beta$	$20^\circ, 40^\circ$

표 1 3-레벨 NPC DAB 시스템 사양

Table 1 Electrical Specifications of 3-Level NPC DAB system



(a)



(b)

그림 4 중성점 전압 시뮬레이션 : (a) 기존 알고리즘, (b) 제안하는 알고리즘

Fig. 4 Neutral Voltage Balancing Simulation : (a) Conventional algorithm, (b) Proposed algorithm

제어할 수 있는 스위칭 알고리즘 방식을 제안하였다. 제안하는 스위칭 알고리즘 방식은 1차 측 내부의 위상각을 이용하지 않고 입력단 캐패시터의 전력 소모를 조절하여 1차 측에 과도한 전류를 유도하지 않는 장점을 가진다. 모의시험을 통해 본 방법의 유효성을 검증하였다

이 논문은 한국전력공사 전력연구원에서 수행중인 “저압직류배전망 독립성 실증 연구” 과제의 지원에 의하여 연구되었음 (D3080).

## 참고 문헌

- [1] R.W. De Doncker, D.M. Divan, M.H. Kheraluwala “A Three Phase Soft Switched High Power Density dc/dc Converter for High Power Applications” IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol 27, No. 1, pp. 63 73, 1991, Jan/Feb
- [2] A.Filba Martinez, S. Busquets Monge, J. Nicolas Apruzzese, and J. Bordonau, “Operating Principle and Performance Optimization of a Three Level NPC Dual Active Bridge DC DC Converter,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, pp. 678 690, 2016.