

# Multi-Level Dual Active Bridge DC-DC Converter의 인덕터 전류를 최소화하기 위한 스위칭 방법에 관한 연구

한상협\*\*\*, 김흥근\*\*\*, 차헌녕\*\*\*, 전태원\*\*, 노의철\*  
 경북대학교\*\*\*, 울산대학교\*\*, 부경대학교\*

## A Study on Switching Method to Minimize Inductor Current of Multi-Level Dual Active Bridge DC-DC Converter

Sang Hyup Han\*\*\*, Heung Geun Kim\*\*\*, Honnyong Cha\*\*\*, Tea Won Chu\*\*, Eui Cheol Nho\*  
 Kyungpook National Univ\*\*\*, Ulsan Univ\*\*, Pukyong Univ\*.

### ABSTRACT

멀티레벨 방식의 Dual Active Bridge 컨버터는 기존의 컨버터와 비교하여 높은 자유도의 스위칭 방식을 가진다. 본 논문에서는 멀티 레벨 방식의 DAB 컨버터의 동작원리를 분석하고, 인덕터 전류의 RMS 값과 THD를 최소화하기 위하여 기본파를 제외한 3 고조파와 5 고조파를 감쇄하는 스위칭 방식을 제안한다. 다양한 스위칭 패턴에 따른 인덕터 전류 RMS 값과 THD를 비교하여 제안하는 스위칭 방식의 타당성을 검증하고자 한다.

### 1. 서 론

직류/직류변환기인 Dual active bridge (DAB) 컨버터는 변압기를 사이에 둔 두 개의 풀 브릿지 형태로 결합 인덕터를 통해 전력을 변환한다. DAB는 높은 전력밀도, 승강압 전력변환, 양방향 전력전달과 1차와 2차 측간의 절연의 장점을 가져 다양한 산업계에서 유용하게 사용된다. 일반적인 DAB 컨버터는 1차측 2레벨에서 2차측 2레벨로 제어하는 방식이며 PSM(Phase Shift Modulation) 방식을 이용하여 전력을 제어한다. 고전압에서는 이러한 DAB의 성능을 향상시키기 위하여 기존 DAB 구조에 멀티레벨 방식의 토폴로지를 도입하였다. 멀티레벨 방식은 주어진 반도체 스위치의 정격보다 높은 전압에서 동작할 수 있어 변환 효율을 높일 수 있다. 또한 전압 및 전류의 왜곡과 최대치를 줄여 컨버터의 효율을 향상시킬 수 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 고전압에서 저전압으로 전력을 전달하는 멀티레벨 DAB 컨버터의 3, 5고조파를 감쇄시키는 스위칭 방식을 제안한다. 제안하는 새로운 방식은 기존의 방식처럼 전류의 왜곡과 최대치가 감소하면서 제어가 간단하다. 제안하는 방법의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 비교한다.

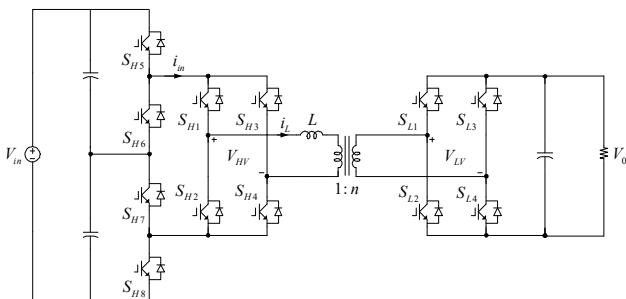


그림 1 멀티레벨 DAB 컨버터

### 2. 멀티레벨 DAB 컨버터

그림 1은 제안하는 멀티레벨 DAB 컨버터이다. 기존 NPC 타입의 컨버터와 비교하여 1차측의 능동 스위치 소자의 수는 동일하지만 다이오드가 추가되지 않아 전체 스위칭 소자의 수가 감소한다.

#### 2.1 멀티레벨 DAB 컨버터의 동작원리

그림 3은 멀티레벨 DAB의 동작원리를 나타낸 것이다. 레벨을 결정하는 총 4가지의 스위칭 패턴을 가진다. 최대전압을 형성할 경우 (a)와 같은 스위칭 패턴을 가지며, 영전압일 경우는 (d)와 같다. 중간전압인  $V_{dc}/2$ 의 경우, (b)와 (c)가 번갈아가며 동작하여 커패시터의 전압 불균형을 해소한다.

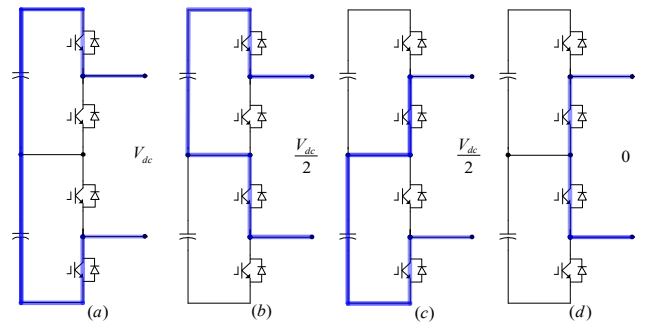


그림 3 멀티레벨 DAB 컨버터의 동작원리

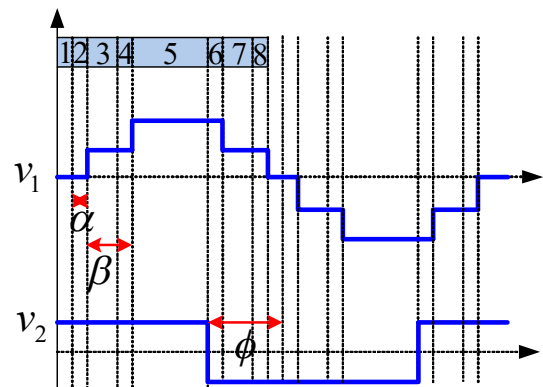


그림 3 멀티레벨 DAB컨버터의 한주기의 전압 파형

## 2.2 제안하는 스위칭 방식

멀티레벨 DAB 컨버터는 그림 2에서와 같이 기존의 전력량을 제어하는  $\Phi$ 와 1차측의 전압 레벨 구간을 제어하는  $\alpha$ 와  $\beta$ 가 추가된다. 제안하는 스위칭 방식은 푸리에 급수 전개를 통하여 영전압 구간을 결정하는  $\alpha$ 와 중간전압 구간을 결정하는  $\beta$ 를 계산하여 적용한다. 다음과 같이 3고조파와 5고조파를 감쇄하는 각도를 계산하여 고정시킨다.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta d\theta + b_n \sin n\theta d\theta) \quad (1)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(t) \sin n\theta d\theta$$

$$= \frac{2V_{dc}}{n\pi} [-\cos n(\pi - \alpha_1) + \cos n\alpha_1] \quad (2)$$

표 1 시스템 파라미터

시스템 용량	4 kW		
입력 전압	400 V	인덕터	60 $\mu$ H
출력 전압	200 V	커패시터	1000 $\mu$ F
스위칭 주파수	10 kHz	변압비	1:1

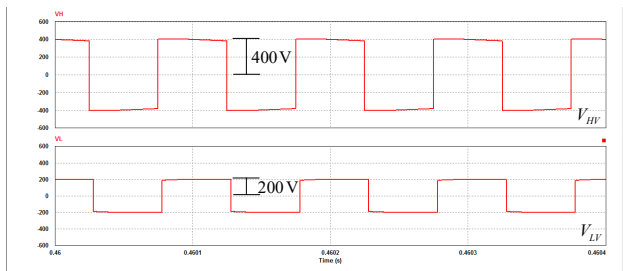


그림 6 기존의 DAB 컨버터의 1차측과 2차측 전압

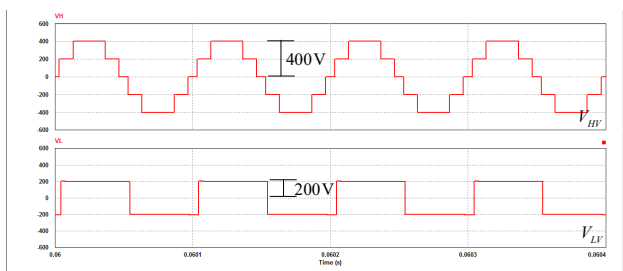


그림 7 제안한 멀티레벨 방식의 DAB의 1차측과 2차측 전압

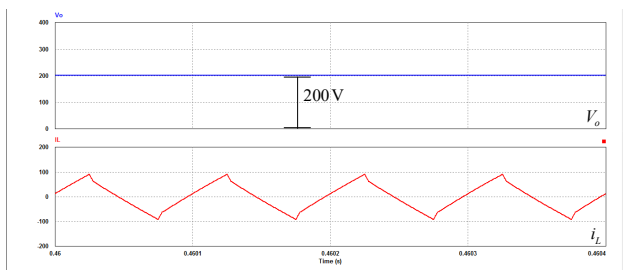


그림 8 기존의 DAB 컨버터의 출력 전압과 인덕터 전류

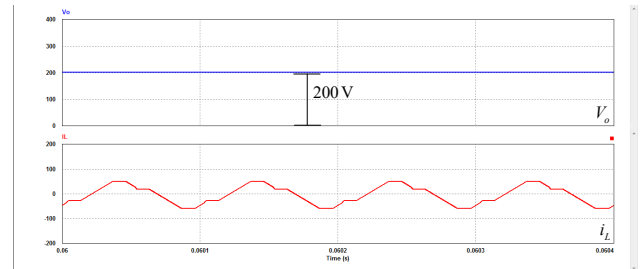


그림 9 제안한 멀티레벨 방식의 DAB의 출력 전압과 인덕터 전류

## 2.3 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 스위칭 방식을 검증하기 위하여 전력 전자 시뮬레이션 툴(PowerSim)을 이용하여 표 1에 표기한 사양에 맞추어 결과를 확인하였다. 본 연구는 고전압 방식에 적합하지만 일반적인 계통연계형 컨버터의 직류 링크 전압인 400 V를 1차측 전압으로 두고, 최대 출력 용량을 4 kW로 설정하였다.

그림 4는 4kW 출력에서 일반적인 DAB의 1차측 전압과 2차측 전압이며 그림 5는 제안하는 방식을 적용한 5레벨 방식의 1차측 전압과 2차측 전압이다. 기존의 방식보다는 같은 위상에서 전력의 전달량이 줄어들기 때문에 같은 출력을 기준으로  $\Phi$ 의 크기가 커진다.

그림 6과 그림 7은 같은 4kW 출력에서 기존의 방식과 제안하는 멀티레벨 방식의 인덕터 전류를 비교한 시뮬레이션 결과이다. 기존의 방식은 1차측 2레벨에서 2차측 2레벨로 변환하면서 높은 전압차이와 매우 긴 전류 상승구간으로 인하여 삼각의 뾰족한 형태를 가지며 상당히 큰 왜곡과 100 A의 큰 전류 첨두치를 가진다. 그림 7은 제안하는 멀티레벨 방식의 인덕터 전류를 보여주고 있다. 기존의 방식과 달리 1차측에 중간전압이 형성되어 있어 인덕터 전류를 결정하는 양단의 전압차가 적어 전류의 첨두치가 51 A로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 5레벨 DAB 컨버터의 결합 인덕터에 흐르는 전류의 최대값과 왜곡을 줄일 수 있는 스위칭 방식을 제안하였다. 제안하는 스위칭 방식은 영전압과 중간전압을 결정하는 위상각을 이용하여 기본파를 제외한 3고조파와 5고조파를 감쇄시켜 인덕터 전류의 최대치를 감소시키면서 제어가 간단하다는 장점이 있다. 1차측과 2차측의 전력전자 시뮬레이션 툴을 이용하여 본 방법의 유효성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Moonem, M.; Krishnaswami, H. Analysis and control of multi level dual active bridge dc dconverter. In Proceedings of the Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012, Raleigh, NC, USA, 15-20 September 2012; pp. 1556-1561