

복수의 양극성 DC 버스 전압 밸런싱이 가능한 새로운 구조의 DAB 컨버터

이준영, 정지훈
울산과학기술원(UNIST)

A Dual-Active-Bridge Converter Employing Balancing Capability of Multiple Bipolar DC Bus Voltage Levels

Jun-young Lee, Jee-Hoon Jung
Ulsan National Institute of Science and Technology(UNIST)

ABSTRACT

양극성 DC 배전 시스템에는 높은 전압과 낮은 전압을 가진 두 양극성 버스가 사용된다. 두 양극성 버스간의 양방향 전력제어를 위해 DAB 컨버터가 사용된다. 또한, 양극성 DC 버스에는 두 극성에 균등한 전력 흐름이 형성되지 않기 때문에 이를 해결하는 전압 밸런서가 각각의 양극성 DC 버스마다 필요하다. 따라서 양극성 DC 배전 시스템을 구동하기 위해서는 총 3개의 전력변환장치가 필요하고 다수의 장치로 인해 전력밀도와 전력변환효율이 낮아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 복수의 양극성 DC 버스 전압을 밸런싱하고 양방향 전력제어도 가능한 새로운 구조의 DAB 컨버터를 제안한다. 기존의 3단 구조와 달리 전력변환단계를 하나로 줄일 수 있어 전력밀도와 전력변환효율이 상승하게 된다. 제안하는 DAB 컨버터는 입력과 출력에 인덕터를 사용하여 입력과 출력에 접속되는 두 양극성 DC 버스 전압의 밸런싱을 가능하게 한다. 3-kW급 프로토타입을 통해 제안한 컨버터의 성능을 검증한다.

1. 서론

최근 전기자동차, ESS 시스템, 신재생 에너지 등을 비롯하여 DC 전압으로 구성된 소스 및 부하 사용량이 증가함에 따라 직류 배전이 교류 배전을 대체하는 미래 기술로 각광 받고 있다. 직류 배전은 DC 버스를 이용하여 직류 전류로 전력을 공급함으로써 교류배전에 비해 전송 케이블에 의한 AC 저항 손실이 없고, 추가적인 AC/DC 전력변환장치가 필요 없다는 점들로 인해서 전력변환효율이 높다는 장점을 가지게 된다.

직류 배전 시스템은 단극성과 양극성 배전으로 구성된다. 양극성 배전은 단극성 배전에 비해 두 개의 DC pole을 이용하여 여러 가지 장점을 가지게 된다^[1]. 대표적으로 양극성 방식은 두 개의 DC pole을 통해 다양한 전압 레벨을 구성하고 넓은 전압 범위의 DC-DC 컨버터를 연계할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이러한 양극성 방식은 두 개의 DC pole간 불균형한 전력이 형성되고 양극성 전압은 불균형해지는 결과를 초래한다. 따라서 양극성 전압을 밸런싱하기 위해서 전압 밸런서가 항상 양극성 DC 버스에 접속되어야 한다.

직류 배전 시스템은 높은 전압(ex. 1500V)과 낮은 전압(ex. 380V)으로 구성된 DC 버스를 사용할 수 있다. 서로 다른 전압 레벨을 가진 DC 버스를 사용함으로써 부하 및 소스의 전기적 특성에 알맞게 전력을 공급할 수 있는 장점이 있다. 하지만 양

극성 DC 배전으로 구성될 경우, 두 버스간 양방향 전력 전달을 위한 dual-active-bridge (DAB) 컨버터와 각 버스의 양극성 전압을 밸런싱할 전압 밸런서가 필요하다. 총 3단 구조의 전력변환장치가 필요하고 다수의 장치로 인해 전력밀도와 전력변환효율이 낮아지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 3단 구조의 전력변환기능을 1단 구조에서 모두 할 수 있는 새로운 DAB 컨버터를 제안한다. 기존의 3단 구조와 달리 전력변환단계를 하나로 줄일 수 있어 전력밀도와 전력변환효율이 상승하는 장점이 있다.

2. 다수의 양극성 DC 버스 전압 밸런싱이 가능한 새로운 DAB

2.1 다수의 양극성 DC 버스 시스템

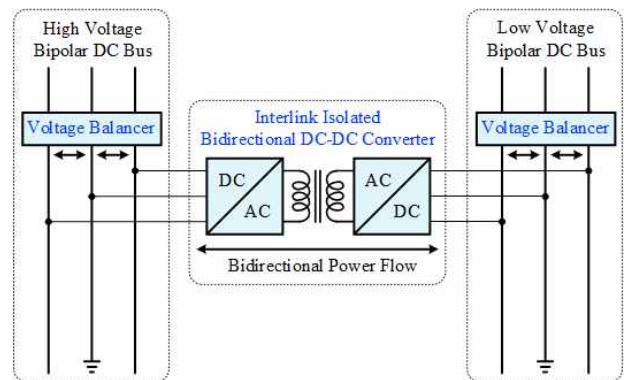


그림 1 전력변환장치를 이용한 다수의 양극성 DC 버스 구조
Fig.1 Multiple bipolar DC bus structures using power converters

그림 1은 3단 구조의 전력변환장치를 이용한 다수의 양극성 DC 버스 구조를 보여준다. 두 양극성 DC 버스간 양방향 전력변환을 위해 DAB 컨버터가 사용된다^[2]. 각각의 양극성 DC 버스의 불균형한 전력 문제를 해결하기 위해 전압 밸런서가 2개 필요하게 된다. 결국, 총 3개의 전력변환장치인 1개의 DAB 컨버터와 2개의 전압 밸런서가 양극성 DC 배전 시스템 구축에 필요하게 된다. 이는 전력변환밀도와 전력변환효율이 낮아지는 문제점이 있다.

2.2 제안하는 새로운 DAB

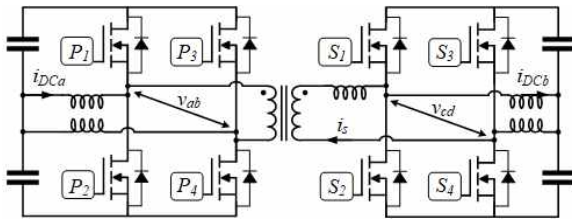


그림 2 제안하는 DAB 컨버터
Fig.1 Proposed DAB converter

그림 2는 기존 3단 구조의 문제점을 해결할 수 있는 1단 구조의 새로운 DAB 컨버터를 제안한다. 제안하는 DAB 컨버터는 기존 DAB와 같이 변압기의 전압 위상차이를 통해 양방향 전력전달이 가능하고, 양극성 DC 전압을 위해 입력과 출력에 총 4개의 DC-link 전압을 형성할 수 있고, 입력과 출력에 인가되는 부하의 불균형한 전력을 보상하여 양극성 전압 밸런싱이 가능하다. 즉, 기존 3단 전력변환장치의 기능을 1단 구조로 모두 수행할 수 있어 전력변환효율 및 전력변환밀도를 향상시킨다.

제안하는 DAB 컨버터는 기존 DAB 컨버터와는 달리 DC-link단 캐패시터는 둘로 쪼개져 있고, 4개의 추가적인 인덕터가 변압기와 DC-link단 캐패시터의 중성점에 연결된다. 두 DC-link단 캐패시터는 양극성 DC 전압을 만들고 연결된 인덕터는 불균형한 전력을 보상한다. 인덕터에 흐르는 DC 오프셋 전류를 이용하여 전력을 재분배하여 불균형한 전력흐름을 제어하게 된다. DC 오프셋 전류의 극성에 의해 균형된 부하, 위쪽 DC pole이 더 많은 전력을 요구하는 불균형된 부하, 아래쪽 DC pole이 더 많은 전력을 요구하는 불균형된 부하로 3가지의 경우로 나타난다. 균형된 부하일 경우, DC 오프셋 전류는 0이 되고 재분배되는 전력은 없어 양극성 전압은 균형되게 유지된다. 위쪽 DC pole이 더 많은 전력을 요구하는 불균형된 부하일 경우, DC 오프셋 전류는 양이 되어 위쪽 DC pole로 더 많은 전력을 공급하게끔 전력이 재분배된다. 반대로 아래쪽 DC pole이 더 많은 전력을 요구하는 불균형된 부하일 경우, DC 오프셋 전류는 음이 되어 전력을 재분배한다. DC 오프셋 전류의 크기는 재분배되는 전력의 양을 나타낸다.

Volt-second balance 이론을 인덕터에 적용하면 수식 (1)과 같이 스위치의 듀티 사이클 D에 대해 양극성 전압 V_{out1} 과 V_{out2} 가 결정된다. 스위치의 듀티 사이클 D가 50%일 경우 양극성 전압은 밸런싱이 가능함을 알 수 있다. 즉, 듀티가 50%인 Single Phase Shift (SPS)를 제안하는 DAB 컨버터에 적용하면 자연스럽게 양극성 전압을 밸런싱하고 양방향 전력 제어도 가능하다.

$$\frac{V_{out2}}{V_{out1}} = \frac{D}{1-D} \quad (1)$$

그림 3은 제안하는 컨버터에 적용된 스위칭 모듈레이션을 보여준다. SPS 방식을 적용하여 일차 측과 이차 측 스위치의 듀티는 각각 50%이다. 양방향 전력전달을 위해 일차 측과 이차 측은 위상으로 제어된다.

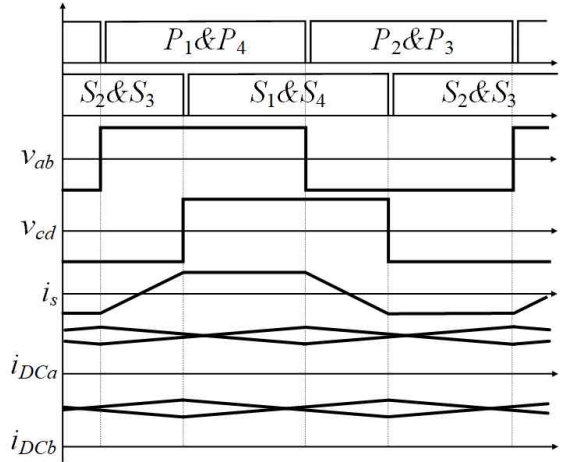


그림 3 스위칭 모듈레이션
Fig.3 Switching modulation

표 1 프로토타입 컨버터의 시스템 사양

Specification	Value
Output Power	3 [kW]
Input Bipolar Voltage	190 & 190 [V]
Output Bipolar Voltage	190 & 190 [V]
Switching Frequency	50 kHz

2.3 실험결과

제안한 컨버터의 성능을 검증하기 위해 3-kW급 프로토타입을 제작하였다. 표 1은 제작한 프로토타입의 사양을 나타낸다. 입력과 출력은 각각 양극성 190 V 전압으로 설계되었다. 그림 4는 제작된 3-kW급 프로토타입의 실험결과 파형이다. 그림 4(a)에서는 부하가 균형되어 있기 때문에 DC 오프셋 전류는 0으로 형성된다. 그림 4(b)에서는 위쪽 부하의 전력소비가 1.5 kW로 아래쪽 부하인 0.75 kW보다 크기 때문에 DC 오프셋 전류는 +2A로 형성되어 불균형한 전력흐름을 보상한다. 마찬가지로 그림 4(c)에서는 아래쪽 부하의 전력소비가 1.5 kW로 위쪽 부하인 0.75 kW보다 크기 때문에 DC 오프셋 전류는 -2A로 형성된다. 변압기 전압 V_{ab} 와 V_{cd} 의 듀티가 50%로 형성됨을 볼 수 있고 이에 따라 양극성 전압은 190 V로 밸런싱이 잘 되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 양극성 직류 배전에 사용되는 3단 구조의 전력변환장치를 1단 구조로 줄인 새로운 DAB를 제안하였다. 제안된 DAB 컨버터는 기존 3단 구조에서 수행하던 양방향 전력전달 및 양극성 전압 밸런싱 모두가 가능하다. 제안된 컨버터는 기존 DAB 컨버터에 DC-link 캐패시터를 두 개로 나누고 인덕터를 접속시켜 양극성 전압과 밸런싱을 가능하게 하였다. 기존에 사용되던 간단한 SPS 기법으로 구동이 가능한 장점이 있다. 3-kW 모의 실험을 통해 제안한 컨버터의 성능을 검증하였다. 제안한 컨버터를 양극성 직류 배전에 사용한다면 시스템의 전력밀도 및 전력변환효율 향상을 얻을 것으로 예상된다.

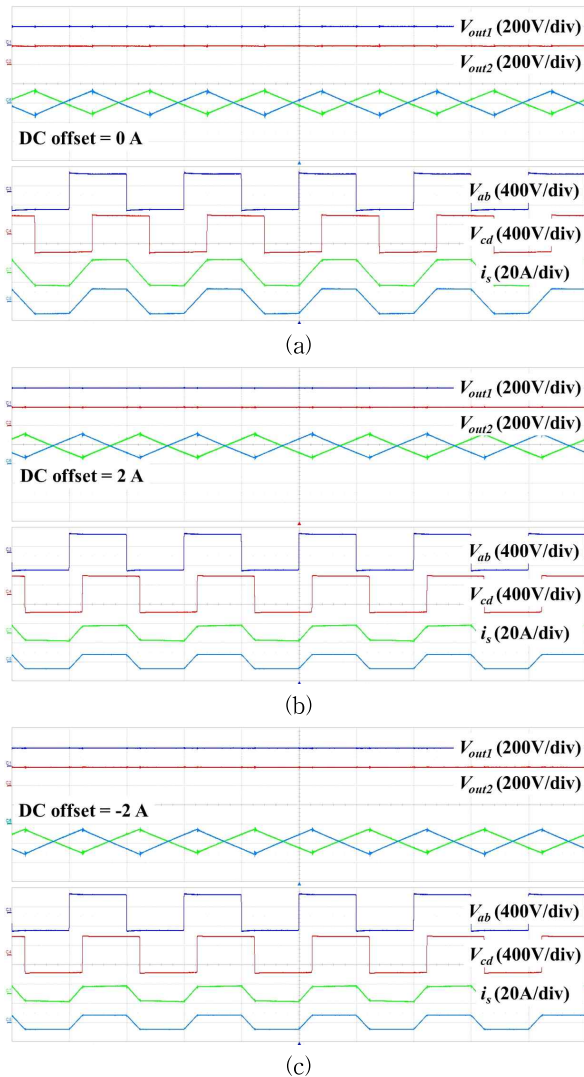


그림 4 정상상태 실험 결과:(a) 1.5 kW & 1.5 kW, (b) 1.5 kW & 0.75 kW, (c) 0.75 kW & 1.5 kW

Fig.4 Experimental results of steady-state operating waveforms:(a) 1.5 kW & 1.5 kW, (b) 1.5 kW & 0.75 kW & 1.5 kW

본 연구는 한국전력공사의 2018년 선정 사외공모 기초연구사업 과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호: R18XA06-72)

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] B. Zhao, Q. Song, W. Liu and Y. Sun, "Overview of Dual-Active-Bridge Isolated Bidirectional DC-DC Converter for High-Frequency-Link Power-Conversion System," in *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 8, pp. 4091-4106, Aug. 2014.