

양극성 직류 배전망에 적용 가능한 3포트 기반의 DAB 컨버터

윤혁진*, 김명호**, 류명효**, 백주원**, 김주용***, 김희제*
부산대학교*, 한국전기연구원**

Three Port NPC based DAB Converter for the Bipolar DC Grid

Hyeok Jin Yun*, Myoung-ho Kim**, Myung-Hyo Ryo**, Ju Won Baek**

Ju-Yong Kim***, Hee-Je Kim*

Dept. of Electrical Eng, Pusan National University*

Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)**

Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)***

ABSTRACT

본 논문은 반도체 변압기에 사용되는 3포트 DC DC 컨버터의 전력 전달 모델링에 대해서 다룬다. 이 DC DC 컨버터는 고전압 입력에 대응하기 위해 3L NPC 구조를 가진다. 또한, 양극성 배전망에 적용하기 위해 3권선 변압기와 2차측에 2개의 하프 브릿지 회로를 사용한다. 본 논문에서는 이 특수한 구조 때문에 발생하는 전력 전달 모델링의 복잡성을 단순화하기 위해 분리 행렬을 도입하였다. 제안하는 컨버터와 모델링의 성능은 시뮬레이션 및 15kW 반도체 변압기 시제품을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 저탄소 녹색성장의 일환으로 신재생 에너지원, 분산전원 시스템 등의 직류 전원과 직류 기반 디지털 부하 등의 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 직류 배전에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 직류 배전망을 구축하기 위해서는, 이미 널리 사용되는 교류 배전망과 연계할 수 있는 별도의 전력 변환장치가 필요하다. 그 중에서 교류 배전망의 교류 전력을 받아서 직류 전력으로 변환해 주는 반도체 변압기(Solid State Transformer)가 각광받고 있다. 반도체 변압기는 전력전자기술을 활용하여 현재 교류계통에서 보편적으로 사용되는 배전용 변압기를 대체할 수 있어 기기의 소형화 및 경량화가 가능하다. 또한 Voltage Sag 보상, 순시전압 통제, 고조파 보상 등을 통해 고품질의 전력 공급이 가능한 장점이 있다[1].

본 논문에서는 반도체 변압기 시스템 중에서 양극성 직류 배전에 적용하기 위한 NPC 기반의 3포트 DC DC 컨버터의 전력 전달 모델링에 대해서 다룬다.

2. 시스템 구성

중전압 교류 계통 라인에 연결하기 위해, 반도체 변압기는 모듈화된 전력변환장치들을 직렬로 연결한 멀티 레벨 방식을 사용한다. 각 모듈은 하나의 AC DC 정류기와 하나의 DC DC 컨버터로 구성된다. DC 링크의 전압은 토폴로지 및 반도체 소자의 정격을 고려해서 2kV로 제어한다. 본 논문은 모듈의 개수

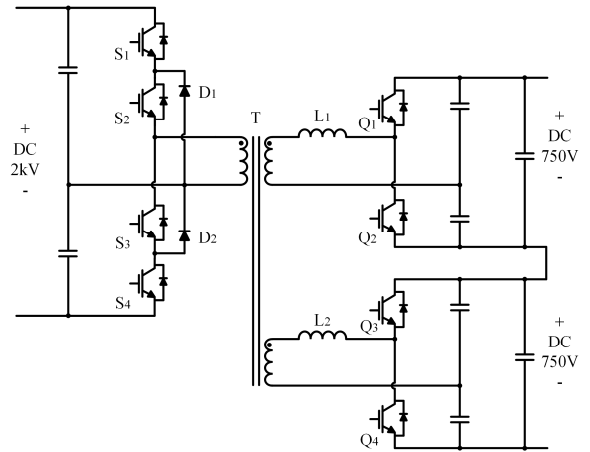


그림. 1 3Port DC-DC 컨버터 토폴로지

를 확장하기 전 단계에서의 토폴로지 기본 특성 확인, 제어기 설계, 알고리즘 검증을 위해 단일 모듈을 사용한 3 level 반도체 변압기 시스템의 실험 결과로 구성되어 있다.

DC DC 컨버터의 경우 그림 1과 같이 고전압 입력에 대응하기 위해 1차측을 NPC 구조를 사용하여 각 스위치 및 변압기에 인가되는 전압을 DC 링크의 절반으로 줄였다. 또한 양극성 출력에 대응하기 위해 3권선 변압기와 2개의 하프 브릿지 회로를 2차측에 구성하였다.

3. 전력 전달 모델링

그림 2는 Extended Cantilever 모델링을 적용한 3포트 DAB 컨버터의 모델링이다[2]. 이 형태를 간단히 벡터로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\vec{P} = \vec{G} \cdot \vec{\phi} \quad (1)$$

$$\vec{P} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}, \quad \vec{\phi} = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix}, \quad \vec{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$$

여기서 $\vec{\phi}$ 는 각 출력 포트의 전력량인 \vec{P} 를 결정하는 변수 성분인 위상차들로 이루어진 벡터이고, 나머지 고정된 변수들을

\vec{G} 로 묶어 시스템 행렬로 구성하였다. 전력 전달 모델링의 단순화를 위해서 그림 3과 같이 \vec{G} 의 비대각 항을 0으로 하는 분리 행렬(\vec{D})을 도입하였다. 이 경우 각 출력 포트의 전력을 각각의 독립된 입력으로 제어할 수 있는 2개의 SISO (Single Input Single Output) 시스템이 된다. 분리 행렬을 적용한 출력 포트의 제어기 수식은 다음과 같은 2차 전달함수 형태로 나타난다.

$$\frac{V_{oij}}{V_{oij}^*} = \frac{\frac{K_i}{C}}{s^2 + \frac{K_p}{C}s + \frac{K_i}{C}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

그림 4는 상기 사항을 토대로 PSIM의 AC SWEEP 기능을 통해 그린 보데선도이다. 이 보데선도를 통해 이론적으로 풀이한 제어기의 주파수 특성과 유사함을 확인할 수 있다.

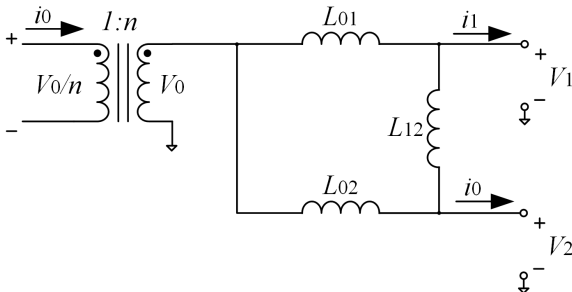


그림. 2 Extended Cantilever 모델을 적용한 컨버터 등가회로

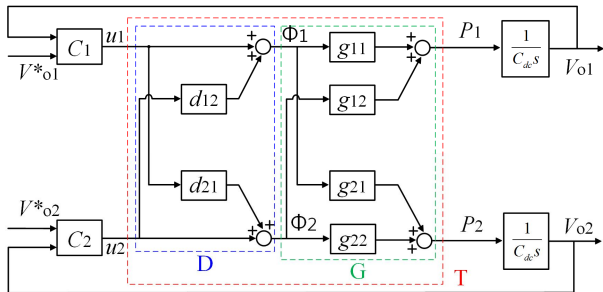


그림. 3 직류단 제어기 블록 다이어그램

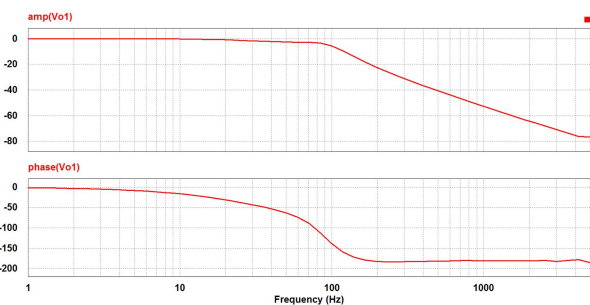
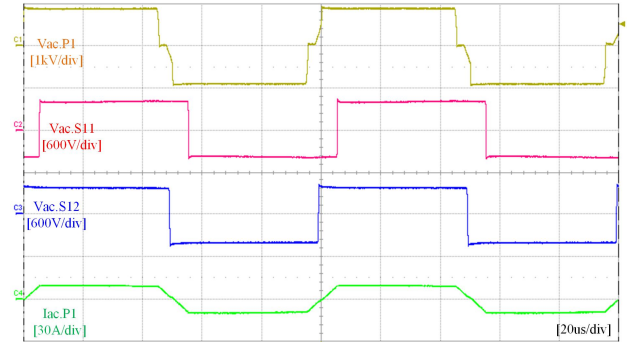


그림. 4 PSIM의 AC SWEEP을 통해 그린 보데선도

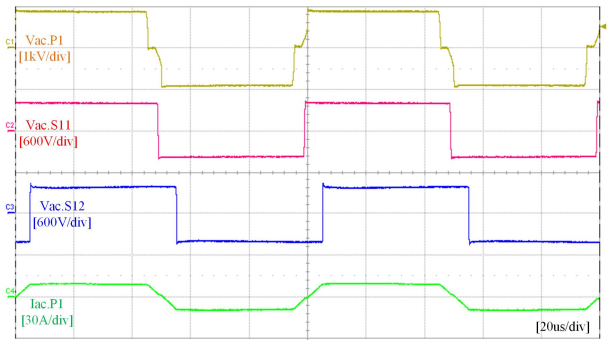
4. 실험 결과

그림 5는 분리 행렬의 성능을 검증하기 위한, 각 출력 포트들

이 불평형 상태로 운전하는 정상 상태 파형이다. 출력 포트 중 하나는 무부하로 유지하면서 나머지 하나의 출력 포트를 정격인 7.5kW로 운전하였다. 분리 행렬을 적용해서 SISO 시스템을 구성하였기 때문에, 출력단 전력 간의 간섭이 발생하지 않고 해당 출력단의 브리지 전압만 위상 이동한 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림. 5 전류 불평형 실험 (a) 1번 출력 포트만 7.5kW 동작 (b) 2번 출력 포트만 7.5kW 동작

5. 결론

본 논문에서는 반도체 변압기에 사용되는 3포트 DC DC 컨버터의 전력 전달 모델링에 대해 논의하였다. 3포트 간의 전력 전달을 해석적으로 모델링하였고, 3포트 구조로 인해 발생할 수 있는 출력 전력들 간의 간섭을 없애기 위해 분리 행렬을 도입하여 두 개의 직류단 출력전압을 독립적으로 제어할 수 있는 제어기를 설계하였다. 이 제어기는 시뮬레이션 및 15kW급의 3 level 반도체 변압기 시제품을 통해 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Hualai Wang, Miles A. Redfern, "The advantages and disadvantages of using HVDC to interconnect AC networks", 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010., pp. 1 5, Sept. 2010 .
- [2] Robert W. Erickson and D. Maksimovic, "A multiple winding magnetics model having directly measurable parameters", in Power Electronics Specialists Conference., pp.1472 1478, 1998.