

모듈형 멀티레벨 컨버터의 전고조파 왜곡률을 개선하기 위한 오프셋 전압을 이용한 모듈레이션 기법

김도현, 한병문
명지대학교 전기공학과

New Modulation Scheme of Modular Multi-level Converter using Offset-voltage Control for THD Improvement

Do-Hyun Kim, Byung-Moon Han
Department of Electrical Engineering, Myongji University

ABSTRACT

본 논문에서는 모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multi-level Converter)의 전고조파 왜곡률(Total Harmonic Distortion)을 개선하기 위한 새로운 모듈레이션 기법에 대해서 기술하고 있다. 제안하는 모듈레이션 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 한 암당 12개의 서브모듈로 구성된 모듈형 멀티레벨 컨버터 모델을 개발하였다. 이를 통하여 제안하고자하는 오프셋 전압 방식의 모듈레이션 기법을 적용하고 타당성을 분석하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 분석한 내용을 실험적으로 검증하기 위해 10kVA 용량의 하드웨어 축소모형을 제작하고 실험을 실시하였다.

1. 서론

최근 국내외적으로 화석연료의 고갈과 탄산가스배출이 문제되면서 친환경적인 전력생산 및 공급에 대해 많은 연구가 집중되고 있으며, 이로 인해 대단위 풍력발전단지가 해상에 설치되는 추세이다. 또한 생산된 전력을 육지로 전송하는 방식으로 모듈형 멀티레벨 컨버터를 기반으로 한 전압형 HVDC 시스템이 주목을 받고 있다. 전압형 HVDC 시스템은 전류형 HVDC에 비해 Black Start가 가능하고 진-지상 영역에서 동작이 가능한 장점을 가지고 있어 점차 설치가 증가하고 있다.^[1]

모듈형 멀티레벨 컨버터를 동작시키기 위한 모듈레이션 기법은 다양하게 존재하며, 대용량 고전압에서는 주로 근사 계단 제어 방식(Nearest Level Control)이 사용되고 있다. 이 방식은 구현이 간단하고 스위칭 주파수가 낮은 장점을 가지고 있지만 전압 변조 지수(Modulation Index)에 의해 동작레벨이 정해지고 저 레벨 동작에서 전고조파 왜곡률이 높아지는 단점을 가지고 있다.^[2]

본 논문에서는 근사 계단 제어 방식의 단점을 보완하고자 가변적인 오프셋 전압을 이용한 모듈레이션을 모듈형 멀티레벨 컨버터에 적용하였다.

2. 모듈형 멀티레벨 컨버터

2.1 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 및 제어기 구성

그림 1은 3상으로 구성된 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 구성도이다. 모듈형 멀티레벨 컨버터의 각 상당 상·하단 두 개

의 암과 두 개의 암 리액터로 구성되며 각 암은 직렬로 연결된 12개의 서브모듈로 구성이 된다. 이 서브모듈에 구성되어 있는 반도체스위치의 ON/OFF 동작과 전류방향에 따라 출력측 전압을 커패시터의 전압 또는 영전압으로 형성하게 되고 이를 이용하여 MMC의 출력전압을 형성하게 된다.

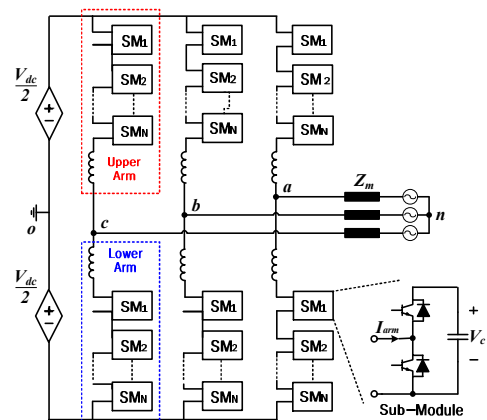


그림 1 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 구성도
Fig. 1 Circuit configuration of MMC

2.2 가변적인 오프셋 전압을 이용한 모듈레이션 기법

근사 계단 제어 방식의 최대 단점은 전압 변조 지수에 의존적인 것이다. 이는 전압 변조 지수가 감소함에 따라 모듈형 멀티레벨 컨버터에서 형성되는 전압 레벨이 감소하기 때문이다. 이러한 문제를 보완하기 위해서 모듈형 멀티레벨 컨버터의 출력 극전압이 항상 최대를 유지하도록 오프셋 전압을 이용하였다.

모듈형 멀티레벨 컨버터의 출력 전압인 극전압 V_{abco} 은 각 상의 동작에 따라 결정되고 상전압 V_{abcn} 과 오프셋 전압 V_{no} 의 합으로 이루어진다.

$$V_{abco} = V_{abcn} + V_{no} \quad (1)$$

출력 극전압을 항상 최대로 유지하기 위한 모듈레이션 방식에서의 오프셋 전압 지령치는 식 2와 같다.

$$V_{no}^* = -\alpha \frac{V_{max}^* + V_{min}^*}{2} \quad (2)$$

여기서, α 는 극전압이 일정한 최대치를 유지하기 위한 변수로 전압 변조 지수에 따른 연산에 의해 산출된다. 크게 두 가

지의 영역으로 나뉘지며 영역에 따른 α 를 식 3에 표기하였다.

$$if(0 < MI \leq 1) \alpha = 4 - \frac{4}{MI} \quad (3)$$

$$if\left(1 \leq MI \leq \frac{2}{\sqrt{3}}\right) \alpha = -\sqrt{\frac{4}{MI^2} - 3} + 1$$

3. 컴퓨터 시뮬레이션

제안하는 모듈레이션 기법의 성능을 분석하기 위하여 우선 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2는 제안하는 모듈레이션을 모듈형 멀티레벨 컨버터에 적용한 시뮬레이션 파형으로 3상 극전압 지령에 따른 출력 극전압, 상전압, 옵셋 전압, 그리고 선간 전압을 나타낸다. 그림 2의 왼쪽파형은 전압 변조 지수가 $2/\sqrt{3}$ 일 경우로 옵셋 전압으로 인해 극전압이 상전압의 크기보다 감소되었다. 반면에 오른쪽 파형은 전압 변조 지수가 0.7일 경우로 옵셋 전압으로 인해 극전압의 크기가 상전압의 크기보다 증가되었다.

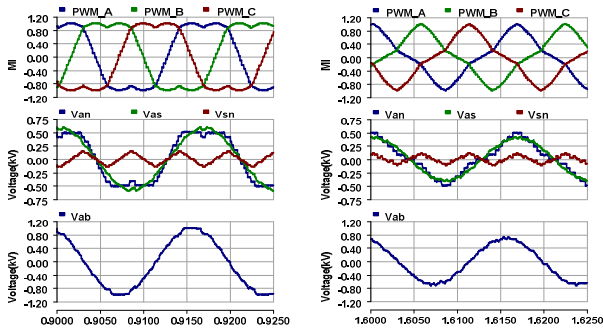


그림 2 제안하는 모듈레이션을 적용한 시뮬레이션 파형
Fig. 2 Simulation waveform applying proposed modulation

4. 하드웨어 제작 및 실험

그림 3은 실험실에 제작된 10kVA 용량의 MMC 하드웨어 시스템을 나타낸 것이다. 각 상별로 하나씩 3개의 랙(rack)으로 구성되어 있으며, 각 랙은 6층으로 24개의 서브모듈이 설치되어 있다.

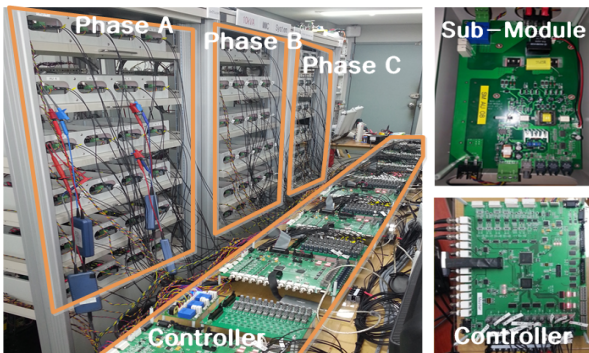


그림 3 모듈형 멀티레벨 컨버터의 하드웨어 구성
Fig. 3 Hardware configuration of MMC

그림 4는 제안하는 모듈레이션 기법을 하드웨어에 적용한 실험파형으로 앞선 시뮬레이션과 동일함을 나타내고 있다.

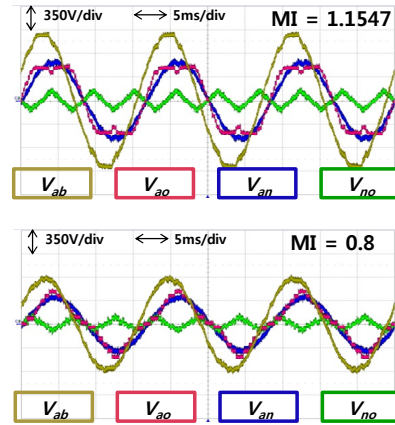


그림 4 제안하는 모듈레이션을 적용한 하드웨어 실험 파형
Fig. 4 Hardware waveform applying proposed modulation

그림 5는 전압 변조 지수에 따른 전고조파 왜곡률을 나타내며, 제안하는 모듈레이션이 다른 방식들에 비해 전 고조파 왜곡률이 낮음을 나타내고 있다.

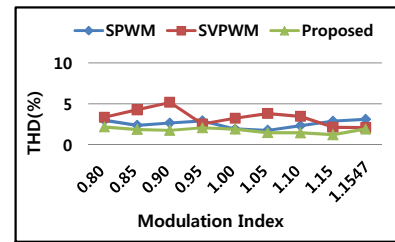


그림 5 전압 변조 지수에 따른 선간전압의 전고조파 왜곡률
Fig. 5 THD according to Modulation Index

5. 결론

모듈형 멀티레벨 컨버터의 모듈레이션 기법 중에 근사 계단 제어 방식의 단점을 보완하고자 가변적인 옵셋 전압을 사용한 모듈레이션 기법을 제안하였다. 제안하는 모듈레이션 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과를 기반으로 10kVA 용량의 하드웨어 축소모형에 적용하였다.

모듈형 멀티레벨 컨버터에 제안하는 모듈레이션 기법을 적용함으로써 다른 방식의 모듈레이션 기법보다 전 고조파 왜곡률이 개선되는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] U. Axelsson, A. Holm, C. Liljegren, M. Aberg, K. Eriksson and O. Tollerz, "The Gotland HVDC Light project-experiences from trial and commercial operation," Electricity Distribution, Part 1: Contributions. CIRED, Amsterdam, 2001, pp. 5, vol.1, 2001
- [2] P. M. Meshram and V. B. Borghate, "A Simplified Nearest Level Control (NLC) Voltage Balancing Method for Modular Multilevel Converter (MMC)," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 1, pp. 450-462, Jan. 2015.