

실시간 시뮬레이터를 이용한 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 기반 발전원의 실제통 적용 모의

이현우, 장유남, 이선호, 김이삭, 박정욱
연세대학교

Simulation of asymmetric modular multilevel converter based generator applied to actual power system using real-time simulator

HyunWoo Lee, Yu-Nam Jang, Sunho Lee, Issac Kim, Jung-Wook Park
Yonsei University

ABSTRACT

본 논문은 비대칭 모듈형 멀티레벨 토폴로지를 이용한 컨버터 기반 발전원의 실제통 연계에 대한 실시간 시뮬레이터 모의를 수행하였다. 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터를 구성하는 6개의 암은 직렬로 연결된 다수의 하프브릿지와 풀브릿지 서브모듈로 구성되어 있으며, 각각의 서브모듈을 서로 다른 전압으로 제어하여 출력품질을 극대화 할 수 있다. 본 실험에서 사용된 실제통 및 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터는 Real-Time Digital Simulator (RTDS)의 RSCAD를 이용하여 모델링 하였으며, 해당 계통 내 컨버터 기반 발전원들의 응답을 결과로 다룰 것이다.

1. 서론

모듈형 멀티레벨 컨버터 (modular multilevel converter, MMC)는 고품질의 출력, 모듈형 구조에서 오는 확장성과 고장에 대한 신뢰성, 그리고 낮은 소자 정격으로 인한 고효율의 특성까지 다양한 장점으로 많은 분야에서 각광받고 있다. 이는 최근 산업적으로 이슈가 되고 있는 마이크로그리드와 신재생에너지 분야도 예외는 아니다. 정부에서는 ‘재생에너지 3020’ 정책을 발표하며 신재생에너지 사업에 대한 많은 관심과 의지를 보이고 있으며, 마이크로그리드와 같은 에너지 분산화 사업을 통해 높은 효율의 고품질 전기에너지를 공급할 수 있도록 하는 다양한 연구를 장려하고 있다. 따라서 에너지 분산화나 신재생에너지 확대에 따른 모듈형 멀티레벨 컨버터 기반의 전력변환 시스템 또한 매우 많은 관심을 받고 있다. 그러나 기존의 모듈형 멀티레벨 컨버터는 모듈 추가에 따른 출력 레벨 확장이 제한적이고, 필요한 전력소자 또한 출력 레벨에 비례하는 특성으로 인해 시스템 전압이 낮은 산업분야에 적용하기는 경쟁력이 떨어진다^[1].

본 논문에서는 모듈 확장에 따른 출력 레벨을 획기적으로 증가시켜 전력전자 소자의 요구량을 대폭 줄일 수 있는 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 (asymmetric modular multilevel converter, AMMC)를 제안하였다. 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터는 실시간 시뮬레이터 Real-Time Digital Simulator (RTDS)를 이용하여 모델링 되어 국내 실제통 데이터를 기반으로 한 ‘A’ 계통과의 연계를 통해 그 성능을 검증할 것이며, 계통 내 컨버터 기반 발전원들의 응답을 결과로 다룰 것이다.

2. 본문

2.1 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터

비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터는 그림 1과 같이 m 개의 하프브릿지 서브모듈과 n 개의 풀브릿지 서브모듈이 직렬 연결된 하이브리드 모듈형 멀티레벨 컨버터 구조로 이들의 전압값은 각각 서로 다른 크기로 제어된다. 전압을 제어하는 방법에 따라 다양한 비대칭 전압 제어기법이 존재하지만 본 논문에서는 하프브릿지 모듈은 기존의 모듈형 멀티레벨 컨버터와 동일하게 제어하고, 풀브릿지 모듈은 하프브릿지 모듈 전압에서 점차적으로 반감하는 형태로 제어하는 방법에 대해 다루도록 하겠다. 따라서 각각의 하프브릿지 모듈과 풀브릿지 모듈의 전압은 식 (1), (2)와 같으며, 그 결과로 해당 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터의 출력은 (3)과 같이 결정된다.

$$V_{up,lv_half(x)} = \frac{V_{DC}}{m} \quad (x = 1, \dots, m) \quad (1)$$

$$V_{up,lv_full(y)} = \frac{V_{DC}}{2^y m} \quad (y = 1, \dots, n) \quad (2)$$

$$\leq vel_{AMMC} = 2^y n + 1 \quad (3)$$

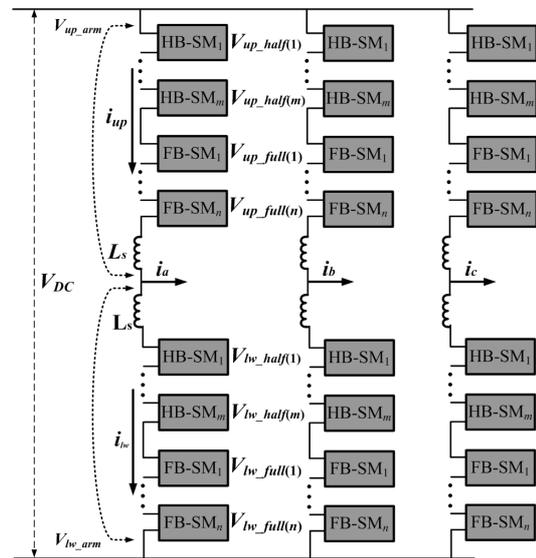


그림 1 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 토폴로지

2.2 실계통 모델링

국내 실계통 'A'계통은 37-bus로 구성되어 총 7개의 발전원에서 전력을 공급받고 있으며, RTDS를 통하여 그림 2과 같이 축약된 형태로 모델링 되었다. 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터의 성능을 검증하기 위해 발전원 중 한 개를 해당 컨버터로 대체하였으며 해당 계통 내 각 발전원들의 응답을 분석하였다. 표 1은 해당 계통 내의 시스템 파라미터를 보여준다. 또한 해당 논문에서 사용된 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터는 2개의 하프브릿지와 3개의 풀브릿지 모듈로 구성되어 17레벨의 출력값을 갖는다.

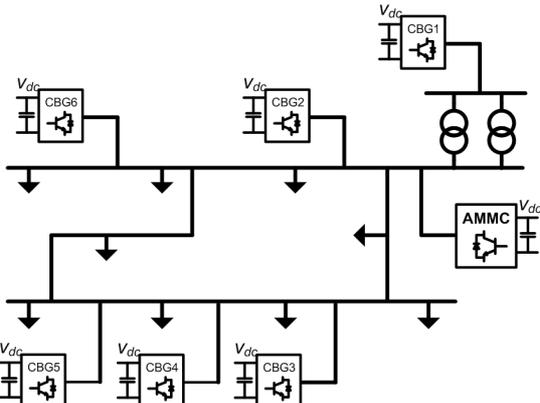


그림 2 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 기반 발전원을 포함한 'A'계통의 모델링

표 1 'A'계통의 시스템 파라미터

발전원	분산전원 1	0.4 MW, 0.04 MVAR
	분산전원 2-5	0.05 MW, 0.005 MVAR
	분산전원 6	0.6 MW, 0.06 MVAR
	분산전원 7 (AMMC)	0.5 MW, 0.06 MVAR
부하	총 부하량	1.7 MW, 0.18 MVAR
선로 임피던스		$0.899 + j0.46 \Omega/\text{km}$

2.3 시뮬레이션 결과

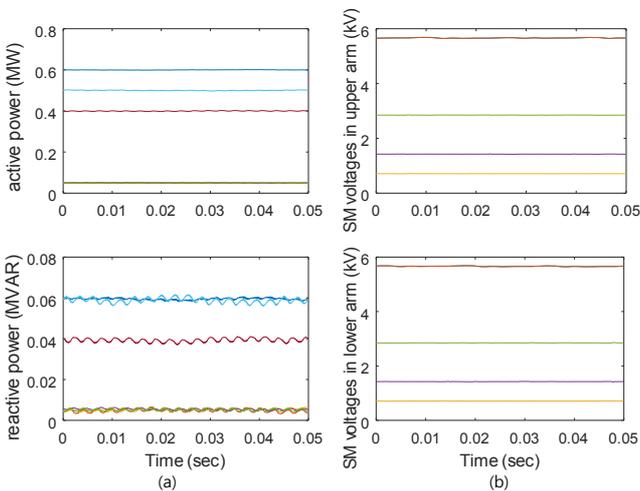


그림 3 시뮬레이션 결과 (a) 각 발전원별 유효, 무효전력, (b) 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 내의 서브모듈 커패시터 전압

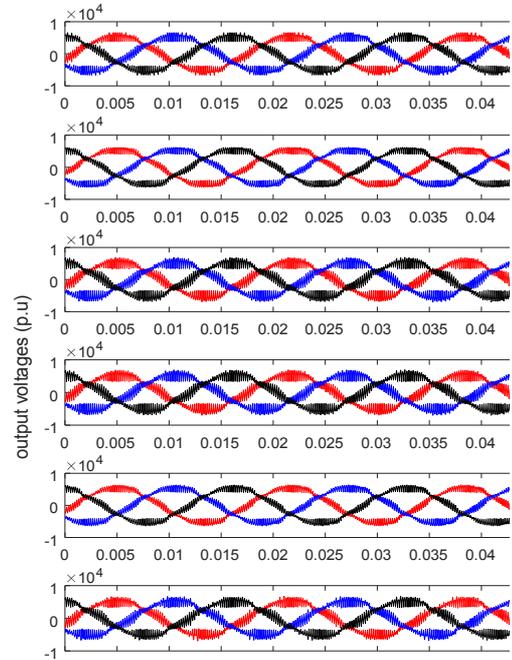


그림 4 각 분산전원 연계지점의 계통 전압

그림 3과 그림 4는 시뮬레이션에 따른 각 발전원의 출력, 분산전원 연계지점의 계통 전압, 그리고 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터 내부의 각 서브모듈 전압을 보여준다. 각 발전원은 표 1의 출력값에 맞추어 정상적으로 동작하고 있으며, 비대칭 컨버터로 구성된 7지점의 계통 전압이 가장 고조파가 적음을 알 수 있다. 또한 비대칭 컨버터 내부의 서브모듈 전압들은 식 (1), (2)와 같이 전압 밸런스가 잘 이루어지고 있다.

3. 결론

본 연구는 기존의 모듈형 멀티레벨 컨버터와 비교하여 적은 수의 소자로 고품질의 출력을 갖는 비대칭 모듈형 멀티레벨 컨버터를 제안하고 계통에 연계하여 그 성능을 검증하였다. 출력 전압의 경우 고조파 성분이 확연하게 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 출력 및 내부 전압 밸런스 또한 매우 안정적임을 확인하였다.

본 연구는 한국전력공사의 2018년 착수 사외공모 기초연구(단체)에 의해 지원되었음 (과제번호: R18XA06-80)

참고 문헌

- [1] D. Vozikis, G. Adams, P. Rault, O. Despouys, D. Holliday, and S. Finney, "Enhanced Multilevel Modular Converter with Reduced Number of Cells and Harmonic Content," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, [early access].