

MMC-BESS System THD 분석 기반 PWM Modulation 선정

표수한¹, 이상중¹, 신동설¹, 강대욱¹, 이종필¹, 박태식²

한국전기연구원¹, 목포대학교²

MMC-BESS System THD Analysis Based PWM Modulation Selection

Suhan Pyo¹, Sangjung Lee¹, Dongsul Shin¹, Deawook kang¹, Jongpil Lee¹ and Taesik Park²

Korea Electrotechnology Research Institute¹, Mokpo National University²

ABSTRACT

본 논문에서는 Modular Multi-level Converter(MMC) with Battery Energy Storage System (BESS) 시스템의 Total Harmonic Distortion (THD) 분석을 통한 Modulation 전략 Phase shift pulse width modulation (PS-PWM)과 Level shift pulse width modulation (LS-PWM) 선정방안을 제안하였다. MMC-BESS 시스템은 델타결선으로 구성되어 변압기를 통해 계통에 병렬로 접속하며, MMC-BESS Submodule (SM)은 기존 MMC full-bridge SM에 DC/DC 컨버터, 배터리가 결합된 형태이다. Modulation 전략 PS-PWM과 LS-PWM의 비교 분석을 위해 MMC SM 레벨, 스위칭 주파수를 다르게 선정하여 THD 분석을 수행하였다. THD 분석은 Matlab을 통해 진행하였으며, MMC-BESS 시뮬레이션은 PSCAD를 통해 성능을 검증하였다.

1. 서 론

MMC는 모듈화된 구조로 되어 있어 필요에 따라 확장을 통한 용량 증대가 용이하며, 스위칭 변환 손실이 작고, THD가 낮은 장점을 가지고 있다. 이러한 모듈화 구조는 설계, 제조, 유지보수 및 업그레이드에 대한 비용과 시간을 줄여주는 이점을 가지고 있어 대용량 전력변환설비에 적용이 증가하고 있다. 사용 목적에 따라 Half-bridge SM과 Full-bridge SM을 용량에 맞게 직렬로 연결하여 컨버터 밸브를 구성하면 높은 출력전압 용량을 가진다. HVDC와 같은 계통에 직렬로 접속하는 설비의 경우 Half-bridge SM이 주로 사용되며, STATCOM, ESS와 같이 계통에 병렬로 접속하는 설비의 경우 Full-bridge SM이 주로 사용된다^[1-4].

MMC Modulation 전략은 수많은 연구가 수행되면서 여러 방식이 제안되어왔다. 크게 Voltage level based algorithms과 Space Vector Based algorithms이 있으며, 현재 많이 사용되는 방식은 Voltage level based algorithms으로 Multicarrier PWM, Hybrid Modulation, Selective Harmonic Elimination, Nearest Level Control (NLC)로 나뉜다. 그중에서 Multicarrier PWM, NLC 방식이 주로 사용되고 있다. Multicarrier PWM은 기존 인버터 PWM 제어 방식을 기반으로 제안된 방법으로 PS-PWM, LS-PWM으로 나뉜다. PWM 방식의 경우 Modulation 구현이 쉽고 THD가 낮은 장점이 있고, NLC의 경우 PWM 방식에 비해 THD는 높지만, 스위칭 주파수가 낮아

MMC SM 레벨이 높아질수록 스위칭 손실을 최소화할 수 있다. MMC SM 레벨이 낮은 시스템의 경우 PWM 방식이 NLC 방식에 비해 장점이 있어 PS-PWM과 LS-PWM 방식 비교 분석을 통해 적합한 방식을 선정이 필요하다^[5-6].

2, MMC-BESS 시스템

2.1 MMC-BESS 시스템 구조

제안된 MMC-BESS 시스템은 Single-Delta Bridge Cell (SDBC)로 구성되어 Y- Δ 변압기를 통해 계통에 병렬로 접속하여 STATCOM, ESS 역할을 수행하는 시스템이다. MMC-BESS 시스템 SM은 Full-bridge converter와 Capacitor가 결합되어 있고, ESS의 역할을 수행하기 위해 DC/DC 컨버터와 배터리가 연결되어 있다. SM은 직렬로 연결되어 한상을 이루고 Full-bridge converter 제어를 통해 원하는 전압을 출력할 수 있다. 기존 SDBC로 구성된 MMC는 Capacitor 이외의 에너지원이 존재하지 않아 전력공급이 불가능했지만, MMC-BESS 시스템은 배터리를 통해 전력을 공급할 수 있다.

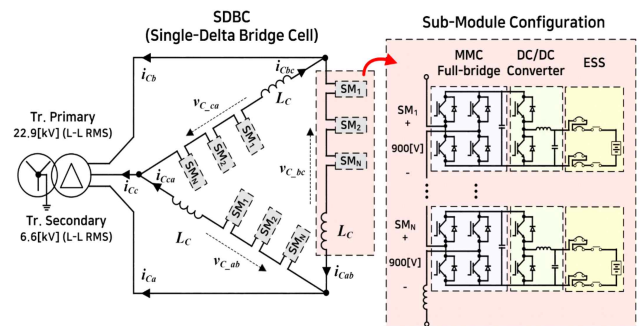


그림 1 MMC-BESS 시스템 구조

Fig. 1 MMC-BESS System Configuration

그림 1은 MMC-BESS system의 구조를 나타낸 것이다. MMC-BESS 시스템은 배전계통에 접속하여 전력품질 보상을 목표로 설계되었다. 각각의 SM은 Capacitor 밸런싱 제어를 통해 전압 900V를 유지하게 되고, Modulation 전략에 의해 전압 6.6kV를 출력한다. 변압기를 통해 전압 6.6kV to 22.9kV로 승압 되어 배전계통에 접속하고, 변압기는 필터 역할을 수행하여 THD를 저감 시킨다.

3. 시뮬레이션 결과

MMC-BESS 시스템 THD 분석을 위해 시스템 모델링은 PSCAD를 통해 진행하였고, THD 분석은 MATLAB을 통해 수행하였다. 표 1은 Parameters of MMC-BESS System을 나타낸 것이다.

표 1 MMC-BESS 시스템 파라미터
Table 1 Parameters of MMC-BESS System

Parameters	Value
Rated Power	$P = 1$ [MW], $Q = 0.5$ [Mvar]
Pri. & Sec. Voltage	22.9 [kV] / 6.6 [kV]
SM Voltage	900 [V]
SM Capacitance	2000 [uF]
Arm Inductance	15 [mH]
Number of SMs	14, 20, 24 [EA]ea
Battery Voltage	500 ~ 700 [V]
MMC Switching Frequency	300, 600, 1800 [Hz]

스위칭 주파수와 MMC SM 레벨이 컨버터 출력전압 품질에 미치는 영향을 분석하기 위해 스위칭 주파수를 600, 1200, 1800Hz로 변경하였으며, MMC SM 레벨은 14, 20, 24로 변경하여 THD 분석을 수행하였다.

표 2는 THD Analysis Results of MMC-BESS System을 나타낸 것이다. MMC-BESS 시스템의 PS-PWM 방식과 LS-PWM THD 분석 결과 LS-PWM을 사용하였을 경우 THD 출력이 더 낮은 것을 확인하였다. PS-PWM, LS-PWM 방식 모두 SM 레벨이 증가할 경우 THD가 감소하였으며, 스위칭 주파수를 증가시키면 THD가 감소하는 것을 확인하였다. SM 14 레벨, 스위칭 주파수 1800Hz로 조건에서는 PS-PWM 방식이 가장 낮은 전류 THD를 출력하였으나, SM 20 레벨, 24 레벨, 스위칭주파수 300Hz, 600Hz, 1800Hz 조건 모두 LS-PWM으로 구성할 경우 THD 값이 낮음을 확인하였다. PS-PWM이 더 우수한 성능을 보이는 조건도 있었지만, 전반적으로 LS-PWM의 THD 출력이 낮음을 확인하였다.

MMC-BESS 시스템은 배전계통에 접속하는 ESS or STATCOM 역할을 수행하는 디바이스를 타겟으로 설계되어 높은 전압레벨을 요구하지 않아 낮은 SM 레벨로 구성되었다. LS-PWM 방식을 사용하여 SM 모듈 레벨을 낮게 구성하고 적정 스위칭 주파수를 선정하면 계통 접속 규정을 충족시킬 수 있는 것을 확인하였다.

표 2 MMC-BESS 시스템 THD 분석 결과
Table 2 THD Analysis Results of MMC-BESS System

P S P W M	SM Level [EA]	14	14	14	20	20	20	24	24	24
	Switching Frequency [Hz]	300	600	1800	300	600	1800	300	600	1800
	Voltage THD [%]	4.2	3.6	1.2	1.45	1.34	0.88	1.18	1.02	0.63
	Current THD [%]	1.27	1.18	0.45	0.54	0.48	0.3	0.47	0.36	0.28
L S P W M	SM Level [EA]	14	14	14	20	20	20	24	24	24
	Switching Frequency [Hz]	300	600	1800	300	600	1800	300	600	1800
	Voltage THD [%]	1.3	1.35	1.7	0.92	0.89	0.91	0.57	0.53	0.48
	Current THD [%]	0.7	0.68	0.7	0.44	0.41	0.34	0.28	0.24	0.22

4. 결론

본 논문에서는 MMC-BESS 시스템의 THD 분석을 수행하였다. Modulation 전략 PS-PWM과 LS-PWM의 MMC SM 레벨, 스위칭 주파수를 다르게 선정하여 THD 비교 분석하였다. 시뮬레이션을 통한 MMC-BESS 시스템 THD 분석 결과 LS-PWM 방식이 PS-PWM 방식에 비해 낮은 THD를 출력하는 것을 확인하였다. PS-PWM 방식과 LS-PWM 방식 모두 MMC SM 레벨을 높게 구성하면 THD 출력이 감소하였고, 스위칭 주파수 역시 증가시킬 경우 THD 출력이 감소하는 것을 확인하였다. PS-PWM 방식이 더 낮은 THD를 출력하는 조건도 있었지만, 전반적으로 LS-PWM 방식이 더 우수한 THD 성능을 보이는 것을 확인하였다. LS-PWM은 모든 조건에서 낮은 THD를 출력하였으며, 국제 규격 및 KEPCO 규격에 모두 충족하는 것을 확인하였다.

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (22A02104, MMC타입 ESS 및 재생에너지 연계 고압형 허브스테이션 핵심기기 개발)

참 고 문 헌

- [1] K. R. Khalilpour and A. Vassallo, Community energy networks with storage: modeling frameworks for distributed generation. Springer, 2016.
- [2] B. Kroposki et al., "Achieving a 100% renewable grid: Operating electric power systems with extremely high levels of variable renewable energy," IEEE Power and energy magazine, vol. 15, no. 2, pp. 61-73, 2017.
- [3] E. Papadis and G. Tsatsaronis, "Challenges in the decarbonization of the energy sector," Energy, vol. 205, p. 118025, 2020.
- [4] S.-H. Pyo et al., "Distributed Generation Based Virtual STATCOM Configuration and Control Method," Energies, vol. 15, no. 5, p. 1762, 2022.
- [5] L. G. Franquelo, J. Rodriguez, J. I. Leon, S. Kouro, R. Portillo, and M. A. Prats, "The age of multilevel converters arrives," IEEE industrial electronics magazine, vol. 2, no. 2, pp. 28-39, 2008.
- [6] S. Du, A. Dekka, B. Wu, and N. Zargari, Modular multilevel converters: analysis, control, and applications. John Wiley & Sons, 2018.