

그림 2 3가지 모델레이션 방식에 따른 출력 레벨 그래프

2.3 시뮬레이션 결과

3가지의 모델레이션 방식의 성능을 비교 분석하기 위해, 본 논문에서는 표 1과 같은 조건에서 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 진행 하였다. 단상 MMC에 대해 시뮬레이션을 진행 하였으며, 각 암당 2개의 HBSM과 2개의 FBSM로 구성되어 9-레벨 동작이 가능하다.

표 1 시뮬레이션 조건

Parameters	Value
Input DC voltage	8 [kV]
Reference AC frequency	50 [Hz]
Control frequency	10 [kHz]
Carrier frequency	5 [kHz]
Submodule capacitance	2.7 [mF]
Arm inductance	3 [mH]
Minimum level voltage	1 [kV]
Load	10 [Ω] + 4 [mH]
Modulation index	0.9

그림 3, 그림 4, 그림 5는 각각 CPS-PWM, NLM, NL-PWM을 이용한 9-레벨 MMC의 출력 전압 및 출력 전류에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 서브모듈 커패시터 전압 밸런싱이 잘 이루어지고 있기 때문에, 3가지 결과 모두 이전의 출력 레벨과 유사한 파형의 출력 전압 파형을 가지는 것을 알 수 있다. 출력 전류의 THD는 각각 3.368%, 5.266%, 0.957%으로, NL-PWM이 가장 좋은 THD 결과를 얻을 수 있었다.

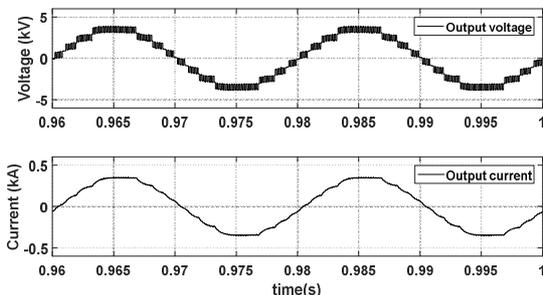


그림 3 CPS-PWM 출력 전압 및 전류

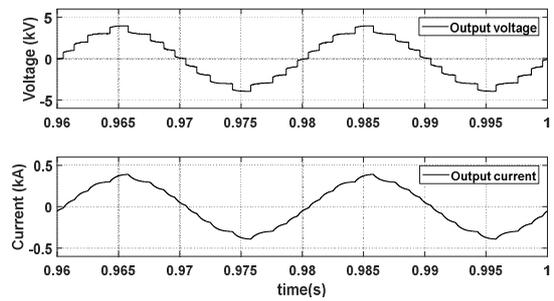


그림 4 NLM 출력 전압 및 전류

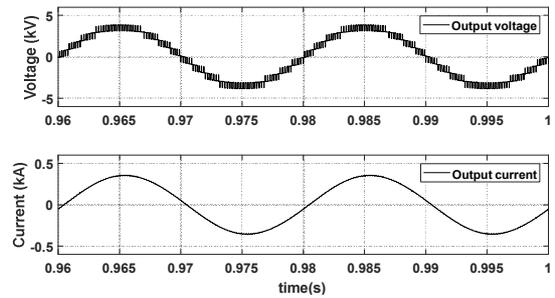


그림 5 NL-PWM 출력 전압 및 전류

3. 결론

본 논문에서는 PSIM을 이용하여 CPS-PWM, NLM, NL-PWM의 3가지 방법의 MMC 모델레이션에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 높은 레벨에서 동작하지 않는 MVDC 특성상, NLM은 구현에 있어서 간단하다는 장점이 있지만, 가장 안좋은 하모닉 특성을 지닌 것을 확인 할 수 있었다. 또한 CPS-PWM의 경우에는 다수의 캐리어 신호를 사용하기 때문에 구현에 있어서 상대적으로 복잡함을 가지고 있다. 하지만 낮은 레벨의 동작에서도 높은 하모닉 특성을 지닌다는 장점을 가지고 있다. 그러나 시뮬레이션 결과에서도 알 수 있듯이 NL-PWM은 CPS-PWM에 비해서 더 좋은 하모닉 특성을 보이며, 1개의 캐리어 신호만을 사용한다는 점에서 MVDC에서 가장 적합한 모델레이션 방식이라고 판단된다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1A3B2079407)

참고 문헌

- [1] S. Debnath, J. Qin, B. Bahrani, M. Saeedifard, and P. Barbosa, "Operation, control, and applications of the modular multilevel converter: a review," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 1, pp. 37 - 53, Jan. 2015.
- [2] Y. Wang, C. Hu, R. Ding, L. Xu, C. Fu, and E. Yang, "A nearest level pwm method for the mmc in dc distribution grids," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 11, pp. 9209 - 9218, Nov. 2018.