

PSC(Phase Shifted Carrier) PWM 방식에 따른 20MW HVDC 시스템의 고조파 분석

홍정원, 김준성, 유현호, 정홍주
(주) 효성

Harmonic Analysis of 20MW MMC HVDC System with PSC(Phase Shift Carrier) PWM

Jung Sung Kim, JungWon Hong, Hyunho Yoo, HongJu Jung
Hyosung Corporation

ABSTRACT

본 논문에서는 스위칭 기법에 따른 MMC HVDC 시스템의 고조파 특성을 분석하여, 그 결과를 소개하였다. MMC 토폴로지 기반의 VSC HVDC는 SM(Sub Module)을 다수를 직렬 연결하여, 이를 개별 제어함으로써 스위칭 기법에 따라 동일한 수의 SM을 가지고 출력전압의 레벨수를 조정하여 고조파 특성을 개선할 수 있다. (주) 효성에서는 행원 풍력단지에 구축한 20MW HVDC 시스템의 고조파 특성을 분석하기 위하여, 각각 11 level과 21 level의 출력전압을 형성하여 성능 시험을 진행하였다. 본 논문에서는 PSC PWM 방식을 이용하여 출력전압 Level 형성에 따른 고조파 특성 시험에 대한 결과를 소개하였다.

1. 서론

근래 전력전자 분야의 급격한 발전은 각종 전력 설비의 발전을 이끌고 있다. 전압형 HVDC는 전류형 HVDC에 비해 유/무효 전력의 독립적인 제어 및 Black start가 가능하고 신속한 제어 응답 등 많은 장점을 가지고 있으나, IGBT의 내전압 문제 및 정격 용량에 한계와 복잡한 토폴로지 등의 이유로 대응량화가 어려웠다. 하지만 MMC(Modular Multi level Converter) 토폴로지 발달에 따라 대응량화가 쉽게 가능해졌다. 이를 통해 최근 전압형 HVDC 송전기술과 시장이 빠르게 성장하고 있다. 이와 같이 급격하게 발전하는 MMC 기술에 대응하여 (주) 효성에서는 한국에너지기술평가원의 지원 하에 지난 2012년 11월부터 국내 업체 및 대학들과 함께 MMC VSC HVDC를 개발하였으며, 현재 행원 풍력발전단지에 설치를 완료하여 20MW 유효전력 전송시험을 완료하였다. 본 논문에서는 20MW HVDC시스템에서 출력전압 Level 형성에 따른 고조파 특성분석에 대한 결과를 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 풍력 연계용 MMC HVDC 시스템 구성

그림 1은 일반적인 MMC로 구성된 HVDC 회로 구조를 보여주고 있다. 효성에서 적용하는 MMC는 IGBT 2개와 DC Capacitor 1개로 구성된 SM(Sub Module)의 직렬로 연결한 구조이며, 각 상(Phase는 AC 단자와 양극(Positive Pole), 그리고 음극(Negative Pole) 단자 사이에 SM들의 직렬 연결 회로와

Reactor로 구성된 컨버터 ARM 2개를 가지고 있다.

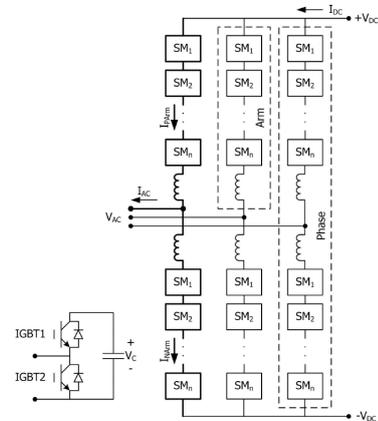


그림 1 MMC HVDC Topology 구성
Fig. 1 MMC HVDC topology configuration

2.2 PSC PWM (Phase Shifted Carrier PWM)

Multi level Modulation 기법은 크게 Space Vector기반의 알고리즘과 Voltage Level 기반의 알고리즘으로 나눌 수 있다. MMC에서는 주로 Voltage Level기반의 알고리즘을 사용하며, PWM 방식과 Staircase 방식을 사용한다. PWM 방식은 삼각파와 비교하여 출력 전압을 형성하며, Staircase방식은 출력전압을 계단을 쌓아 형성하는 방식이다.

PSC PWM방식은 한 ARM에 N개의 SM이 존재하는 MMC는 ARM당 N개의 삼각 반송파를 필요로 하며, 모든 삼각 반송파들이 같은 주파수와 크기를 가지지만 위상차가 존재한다. 한 ARM의 SM간의 반송파의 위상차는 $2\pi/N$ radian으로 계산된다.

한 상을 구성하는 ARM의 Carrier간 $2\pi/N$ radian의 위상차가 존재하면 출력전압은 $2N+1$ 의 Level을 가지며, 한 상을 구성하는 각각의 ARM의 Carrier가 동일할 경우 $N+1$ Level의 출력전압을 형성한다.

2.3 PSCAD를 이용한 20MW HVDC System 결과 비교

PSCAD 시뮬레이션을 통하여 각각 $N+1$ Level스위칭 기법과 $2N+1$ Level의 스위칭기법을 통해 20MW HVDC System을 구현하였다.

그림 2는 20MW HVDC 기준으로 $N+1$ Level 기법을 적용

한 11 level과 2N+1 Level을 적용한 21 level의 시뮬레이션 결과 파형이다. 각 THD는 11 level 일 때 7.1%이며, 21 level 일 때 2.2%이다.

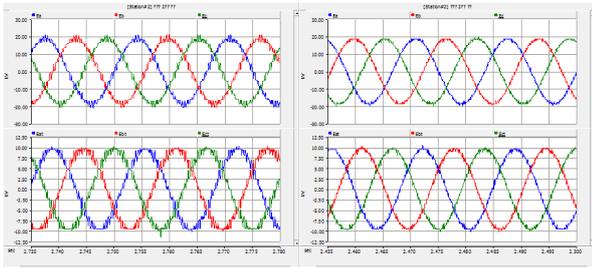


그림 2 11-level과 21-level의 출력전압 시뮬레이션 결과
Fig. 2 11-level and 21-level Output Voltage Simulation Results

21 level을 형성할 경우 MMC의 출력전압의 THD가 11 level의 출력전압을 형성하는 것보다 더 낮게 나온다.

2.4 20MW HVDC Commissioning 결과 비교

앞 서 PSCAD 시뮬레이션을 통하여 21 Level에서 THD가 더 낮음을 확인 할 수 있었다. 행원 풍력단지에서 진행된 20MW HVDC System은 22.9kV의 계통에 연계 된다. 22.9kV의 계통에서 연계할 경우 IEEE 519 기준을 만족하여야 한다. 표 1과 같이 IEEE 519 기준은 69kV이하 일 때 5%이내를 만족해야한다.

표 1 IEC 61000-3-6 및 IEEE 519 THD 기준
Table 1 IEC 61000-3-6 and IEEE 519 THD standard

구분	IEC 61000 3 6	IEEE 519
전압 왜형률	적합성 레벨 : 8% 계획레벨 : 특고압 6.5% 계획레벨 : 송전 3%	69 kV 이하 : 5% 69~161kV : 2.5% 161kV이상 : 1.5%

그림 3과 그림 4는 20MW HVDC Commissioning에서 진행한 11 level과 21 level의 결과 파형이다.

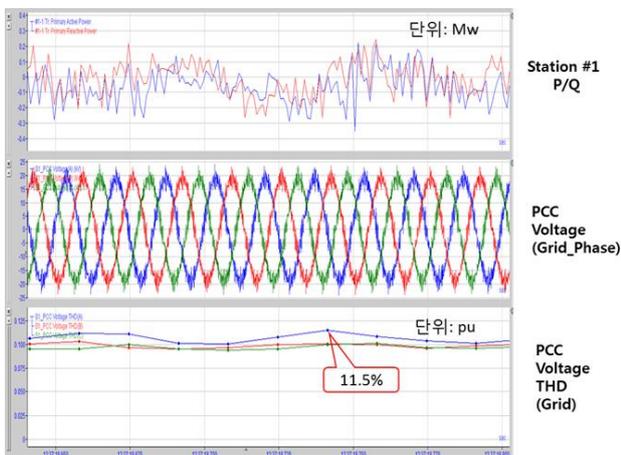


그림 3 11-level 스위칭 적용시 THD
Fig. 3 THD at 11-level Switching

11 level 스위칭의 경우 유효 전력 및 무효 전력이 0전력 제어시 THD가 11.5%로 측정되었으며, 21 level 스위칭을 통해

출력 전압 형성시 THD는 2.5%이다. 20MW HVDC 실증사이트 운전시 11 level 스위칭을 적용할 경우 IEEE 519 기준을 불만족 하지만, 21 level 스위칭을 적용할 경우 IEEE 519 기준을 만족한다. 따라서, 20MW HVDC Commioning에서는 21 level 스위칭 기법을 적용하였다.

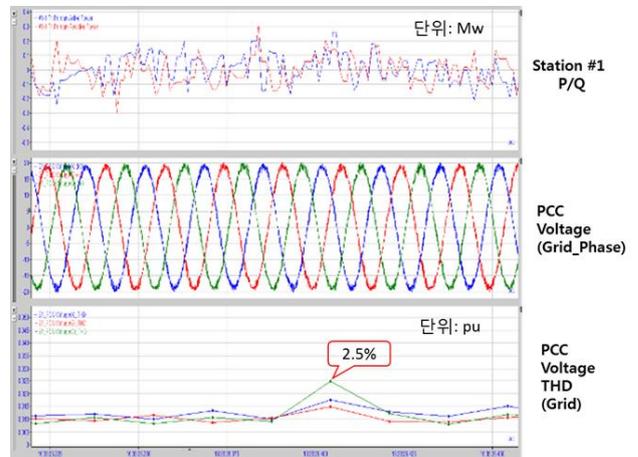


그림 4 21-level 스위칭 적용시 THD
Fig. 4 THD at 21-level Switching

본 논문은 PSC PWM 스위칭 기법에 따른 고조파 특성에 대한 전반적인 소개와 시뮬레이션 결과, 시험 결과를 기술하였다. 실증 시험을 통해서 THD가 IEEE 519 규격에 만족하도록 스위칭 레벨을 결정하였으며, 계통에 영향을 주지 않는 안정적인 운전이 가능하도록 하였다. 이러한 실증 시험의 경험을 바탕으로 당사에서 진행하는 MMC HVDC 시스템의 용량 확대에 큰 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20179310100060)

참 고 문 헌

- [1] Cigre Brazil B4 "Tutorial on VSC in Transmission Systems, HVDC & FACTS, Rio de Janeiro, Brazil", October 6~7, 2009.
- [2] G. S. Konstantinou, V. G. Agelidis, "Performance evaluation of half bridge cascaded multilevel converters operated with multicarrier sinusoidal PWM techniques", Proc. IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 3399 3404, 2009.