

DC 지락 사고에 강인한 MMC HVDC의 새로운 토폴로지

¹정홍주, ²김시환 ²김래영[†]
¹(주)효성, ²한양대학교

A novel robust MMC HVDC topology in dc line fault

¹Hong Ju Jung, ²Si Hwan Kim, ²Rae Young Kim[†]
¹Hyosung Corporation, ²Hanyang University

ABSTRACT

본 논문은 해상풍력단지과 같은 대용량 신재생에너지를 송전하는데 적합한 전압형 HVDC(High Voltage DC) 중에서, 최근 실용화되어 많은 연구가 이루어지고 있는 Modular Multi level Converter HVDC(MMC HVDC)에 대한 새로운 토폴로지를 제안한 내용이다.

대표적인 MMC HVDC는 독일의 R. Marquardt 교수가 제안한 Half Bridge 모듈을 적용하여 MMC를 구현하는 방식으로 이는 계통에 DC 지락 사고가 발생할 경우 컨버터를 구성하는 모듈에 큰 고장 전류가 흐르게 되고 결국 모듈의 주요 구성품인 IGBT가 소손 될 수 있는 약점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위해 각 모듈에 Thyristor를 삽입하거나 새로운 모듈을 적용하는 방식이 제안되었다.

본 논문에서는 DC 지락 고장시 큰 고장 전류를 차단할 수 있는 새로운 모듈 구성을 제안하였다. 또한 제안된 토폴로지에 대한 기본 동작을 설명하고 시뮬레이션을 통해 제안한 방식과 기존의 방식을 비교 분석 하였다.

1. 서론

Modular Multilevel Converter(MMC)는 기존의 2 level이나 3 level과 비교하여 적은 손실과 용량 증대의 용이성을 지니고 있고 전압형 인버터가 갖는 무효전력 보상 기능들의 장점을 가지고 있어 신재생에너지 연계 등을 위한 고압 직류 송전(HVDC)에 최적인 수단으로 최근 많은 주목을 받고 있다.

이러한 MMC를 구성하는 Submodule(SM)의 회로 구성으로는 Half bridge 혹은 Full bridge 들이 거론되었으나 최근 새로운 회로구성을 적용하는 SM이 제안되고 있다. 특히 산업체에 많이 사용되는 Half bridge 회로구성의 SM을 적용하는 MMC는 DC 측 지락 고장이 발생할 경우 순간과도 전류가 크게 흐르는 문제가 있어 이를 보완하기 위한 회로인 Double clamp Submodule^[1]이 제안되기도 하였다.

본 논문에서는 MMC의 기본원리에 대해 설명하고 MMC를 구성하는 SM 중에서 DC 측 지락사고에 대해 강인한 토폴로지를 제안하고 그 특성에 대해서 설명하고자 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 Half bridge SM을 적용한 MMC와 제안된 SM을 적용한 MMC의 고장전류를 비교해보고 제안된 방식의 우수성을 확인하고자 한다.

2. 본론

2.1 MMC 구성 및 동작원리

그림 1은 3상 MMC 토폴로지 중에서 하나의 상과 SM을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 하나의 상은 두 개의 Arm으로 구성되어 있으며, 각 Arm은 직렬로 연결된 n개의 SM과 고장시 Arm 전류 제한과 CCSC(Circulating current surface control) 제어를 위한 인덕터로 구성되어 있다. SM은 이를 구성하는 형태 중에서 최근까지 많이 적용하는 Half bridge를 적용하는 방식을 나타낸 것으로 하나의 커패시터와 2개의 IGBT로 구성된다. SM이 정상동작 할 경우는 위쪽 스위치 S_i 와 아래쪽 스위치인 \bar{S}_i 중에 하나만 켜지게 되어 있으며 SM의 출력 단자인 $V_{x,o}$ 는 스위치 상태에 따라 0전압 혹은 커패시터 충전전압인 V_c 값을 출력 하게 된다. 컨버터의 출력 전압(v_{xn})은 위쪽 Arm과 아래쪽 Arm에 직렬로 연결된 각 SM들의 출력 전압을 조절함으로써 원하는 전압으로 제어되게 된다.

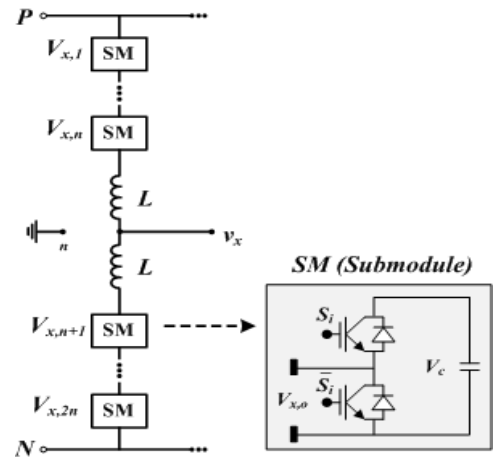


그림 1. 2n으로 구성된 단상 Modular Multilevel Converter 및 Submodule.

2.2 제안된 Submodule 구성

그림 1에서와 같이 Half bridge를 적용하는 MMC의 경우 DC측 지락 고장이 발생하면 각 SM의 하단부에 위치한 IGBT의 역병렬 다이오드에 순간적으로 큰 전류가 흐르게 되어 소자가 파손되게 된다. 이러한 DC측 지락 고장 시 순간적인 큰 전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 여러 가지 기법(하단부 IGBT

와 병렬로 Thyristor를 설치)⁽²⁾을 적용 하거나 SM의 구성방식을 다양하게 변형하는 기법들이 제안되었다. SM의 구성방식을 변형하는 기법 중 논문 [1]에서 사용하는 방식은 고장전류는 차단하지만 주변 소자가 3개가 추가되는 단점을 가지고 있다. 따라서 논문 [1]에서 언급한 방식에서 주변 소자를 2개로 감소하면서 더 우수한 성능을 가지는 기법을 제안한다.

그림 2는 제안된 Advanced Clamp SM의 내부 구성을 나타낸 것이다. 시스템이 정상적으로 동작할 경우, S_5 는 ON되어 S_1, S_2, S_3, S_4 의 동작에 따라 그림 3과 같이 출력단자 V_o 에 원하는 출력전압을 만들게 된다. 이는 Half bridge SM이 두 개가 직렬로 연결되어 운전할 경우와 동일한 출력특성을 가진다. DC 측 고장이 발생할 경우는 S_5 스위치가 OFF되고 그림 4와 같이 전류 패스를 커패시터를 통하도록 유도하여 고장 전류를 흐르지 않게 한다.

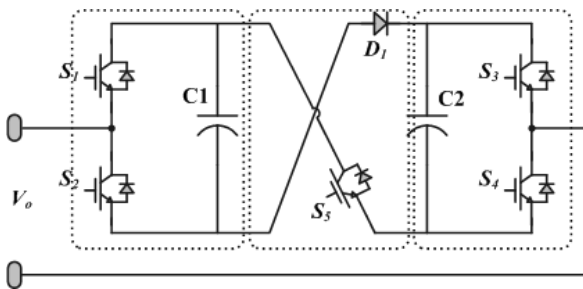


그림 2. 제안된 Advanced Clamp Submodule 구성.

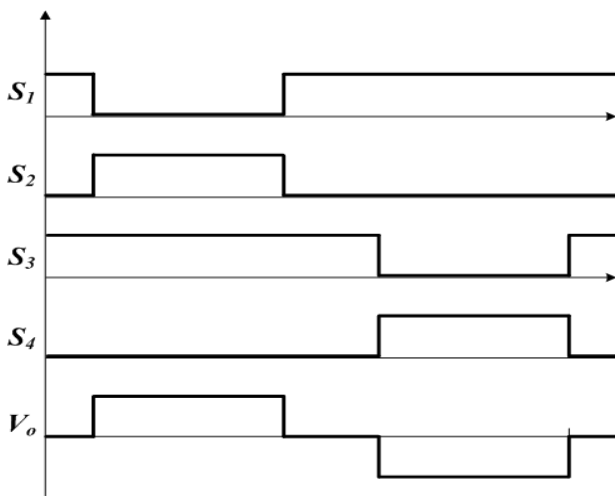
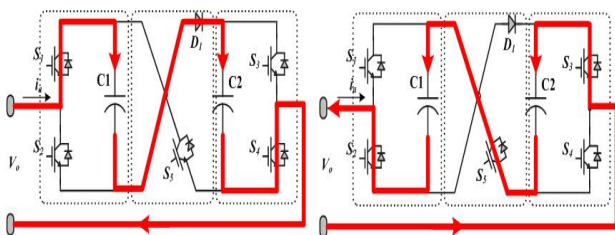


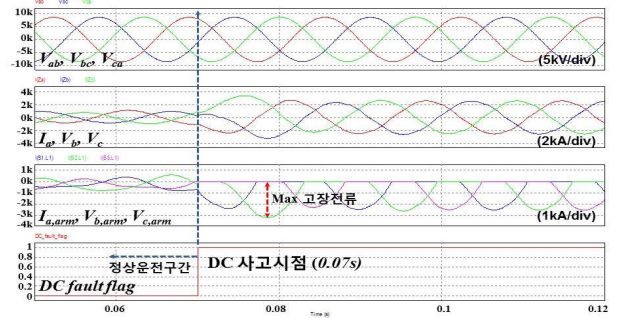
그림 3. IGBT 스위칭 패턴과 Submodule 출력 전압.



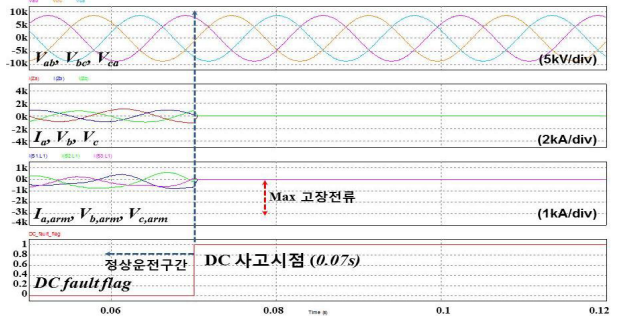
(a) $i_a > 0$ (b) $i_a < 0$
그림 4. 전압 Clamping을 통한 고장전류 차단 흐름도.

2.3 Simulation 결과

그림 5는 위에서 언급한 SM의 내부구조가 Half bridge로 구현했을 경우와 제안한 방식인 Advanced Clamp 구조로 구현했을 경우의 DC측 고장 순간 전류를 비교한 시뮬레이션 결과이다. 그림에서와 같이 동일 시점에 DC 측 지락 고장이 발생하였을 경우 Half bridge를 적용한 방식은 정격전류보다 큰 전류가 흐르는 반면, 제안된 방식은 고장전류가 흐르지 않음을 확인 할 수 있다.



(a) Half-bridge에서의 고장전류.



(b) 제안된 방식에서의 고장전류.

그림 5. Submodule에 따른 고장 전류(DC 지락 사고시).

3. 결론

본 논문에서는 MMC의 구성과 동작 원리에 대해 간단히 살펴보고, DC 지락 고장시 큰 고장 전류를 차단할 수 있는 새로운 모듈 구성을 제안하였다. 또한 제안된 토폴로지에 대한 기본 동작을 설명하고 시뮬레이션을 통해 제안한 방식과 기존의 방식을 비교 하여 제안된 방식의 우수성에 대해 설명 하였다.

참고 문헌

- [1] R. Marquardt, "Modular Multilevel Converter Topologies with DC Short Circuit Current Limitation", ICPE 2011 ECCE Asia, pp 1425-1431, 2011.
- [2] X.Li, Q.Song, W.Liu, H.Rao, S.Xu, S.Li "Protection of Nonpermanent Faults on DC Overhead Lines in MMC Based HVDC Systems", IEEE Transactions on power delivery, Vol. 28, No. 1, 2013, January.