그리드포밍 제어 방식을 적용한 MMC HVDC 시스템의 전력 진동 감쇠 성능 분석

김재혁¹, 김형승¹, 김현준², 이준철¹, 정홍주¹ 효성¹, 효성중공업²

Analysis of Power Oscillation Damping Performance for Grid-forming MMC HVDC Systems

Jae-hyuk Kim¹, Hyung-seung Kim¹, Hyun-jun Kim², Jun-chol Lee¹, Hong-ju Jung¹ Hyosung¹, Hyosung Heavy Industries²

ABSTRACT

본 논문은 ㈜효성에서 개발한 MMC(Modular Multi-level Converter) HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템의 실 제어기를 이용해 그리드포밍(Grid-forming; GFM) MMC HVDC 시스템의 전력 진동 감쇠 성능을 분석하였다. 이를 위해 전력 진동 모의 계통과 RTDS HILS(Hardware In the Loop Simulation)를 구성하였으며, 기존 그리드팔로잉(Grid-following; GFL) 방식과 시험 결과를 비교하였다. 결과를 통해 MMC HVDC 시스템의 그리드포밍 제어 적용 가능성을 확인 하였으며, 해당 시스템이 전력 진동 감쇠 측면에서 전력계통의 안정성과 신뢰성을 향상시킴을 검증하였다.

1. 서 론

최근 몇 년 동안, 전력계통 안정화와 신뢰성 향상을 위한 기 술적 요구가 높아지면서 HVDC 전력전송 기술이 활발하게 연 구되고 있다. 특히, 전압형 HVDC 시스템은 유·무효전력의 독 립적인 제어가 가능하기에 전류형 HVDC 시스템과 비교해 전 력계통의 안정화에 기여 가능한 장점이 있다. 그러나 기존 전 압형 HVDC 제어 방식인 그리드팔로잉 제어 방식은 재생에너 지원의 비중이 상대적으로 증가하면 전력계통 관성 저하 문제 를 해결할 수 없다는 한계점이 있다. 따라서 그리드포밍 제어 방식을 적용한 MMC HVDC 시스템이 주목을 받고 있으며, 이 를 통해 전력계통 안정성 및 신뢰성 향상의 가능성이 제시되고 있다^{III}. 따라서 본 논문에서는 그리드포밍 제어 방식을 적용한 MMC HVDC 시스템이 전력계통 안정화 측면에서 전력 진동 감쇠에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 그리드포밍 MMC HVDC 시스템

2.1 200MW MMC HVDC 시스템

200MW MMC HVDC 시스템은 현재 ㈜효성이 양주 변전소 에 구축한 시스템과 동일 사양이다. 따라서 154kV의 송전계통 에 Back-to-back 타입으로 연계된다. 본 논문에서는 해당 시 스템에 그리드포밍 제어 방식을 적용하였다.

참고로 양주 변전소에 실제 실증운영되는 시스템에는 그리 드팔로잉 제어 방식이 적용되며, 현재 실 제어기 FAT(Factory Acceptance Test)를 완료하고 전력연구원에서 DPS(Dynamic Performance Study)를 수행 중이다.

2.2 그리드포밍 제어

MMC HVDC 시스템의 그리드포밍 제어를 위해선 해당 시 스템의 직류단 전압이 안정적으로 제어되어야 한다. 따라서 MMC #2는 기존 그리드팔로잉 방식의 직류단 전압 제어를 수 행한다. 하지만 MMC #1은 그리드포밍 제어를 통하여 유·무효 전력 제어를 수행한다. 이때, 각 유·무효전력 지령은 계통 상태 와 드룹(Droop) 계수에 의해 정해지는데, 계통 전압의 주파수 와 크기에 따라 제어를 수행하게 된다. 물론 시스템 운영자는 원하는 유·무효전력 지령을 하달하여 해당 전력을 직접 제어할 수도 있다. 그림 1은 MMC #1에 적용된 그리드포밍 제어의 개 략적인 블록도를 나타내고 있다.

본 논문에서 MMC #2에는 그리드팔로잉 방식의 일반적인 직류단 전압 제어와 무효전력 제어 알고리즘을 적용하였다.



2.3 전력 진동 모의 계통

전력 진동을 모의하기 위해 Kunder의 'Two Area System' 을 국내 송전 정격인 154kV로 스케일 조정하여 그림 2와 같이 계통을 구성하였다. 해당 계통에서 전력 진동은 Bus 8에 3상 지락을 발생시켜 전력 진동을 발생시켰으며, Line 3과 4를 통 해 전송되는 유효전력(*P*_{Line})을 통해 진동 현상을 관측하였다.



3. RTDS HILS 시험 구성

RTDS HILS 시험 구성은 아래 그림 3과 같이 RTDS로 모 의된 계통의 전압과 전류는 GTAO 카드와 Amplifier를 통해 CCP 제어기와 Protection IED로 전달된다. CB와 DS, 그리고 ES와 같은 스위치류의 동작은 GTDI/GTDO 카드와 Interface Board를 통해 Bay Controller와 연결된다. 또한 컨버터 모델은 GTFPGA Unit을 통해 모의 되며, ARM 제어기가 실제 시스템 에서 동작하는 것과 같은 연결 구성을 갖게 하도록 HILS 테스 트용 Interface ARM 제어기를 추가하였다. 그리고 ARM 제어 기가 SIB(Submodule Interface Board)를 통해 실제 시스템과 같이 IGBT On/Off 지령을 직접 전달하고 서브모듈 상태 정보 를 Feedback 받을 수 있도록 구성하였다.



4. 그리드포밍 제어 전력 진동 감쇠 성능 분석

그림 4는 MMC HVDC 시스템의 그리드포밍과 그리드괄로 잉 제어에 따른 전력 진동 감쇠 성능 시험 결과를 나타내고 있 다. MMC HVDC 시스템이 100MW에 해당하는 전력을 MMC #2에서 MMC #1로 전송하는 상태에서 3상 지락(16ms)을 통해 전체 계통에 0.5Hz의 저주파 전력 진동(Low-Frequency Oscillation)을 발생시켰다. 해당 진동은 선로의 유효전력과 발 전기 회전속도를 통해 현상을 확인할 수 있다.

특히 그리드팔로잉 제어 시, 사고 발생 30s 이후에도 전력 진동이 지속됨을 확인할 수 있는데, 이는 MMC #1에서 정전력 제어를 수행하여 MMC HVDC 시스템이 전류원으로 동작하기 때문이다.

반면 그리드포밍 제어 시에는 10s 이내에 전력 진동이 감쇠 됨을 확인할 수 있다. 이는 해당 시스템이 Droop 제어에 기반 한 전압원으로 동작하기 때문이며, 계통 주파수의 변화에 따라 DC 송전하는 유효전력을 가변하기 때문이다. 해당 특성으로 인해 MMC HVDC 시스템은 DC 송전을 수행하면서 전체 계 통의 안정화에 기여할 수 있음을 확인하였다.



5.결론

본 논문에서는 그리드포밍 제어를 적용한 200MW MMC HVDC 시스템의 전력 진동 감쇠 성능에 따른 전력계통 안정화 시험내용을 기술하였다. 특히 전력 진동 모의 계통을 구성하고, ㈜효성에서 개발한 MMC HVDC 시스템 실 제어기를 통해 RTDS HILS 시험을 수행하였다. 이를 통해 본 논문에서 제안 하는 그리드포밍 MMC HVDC 시스템의 전력 진동 감쇠 성능 을 검증하고, 해당 시스템이 계통 안정화에 향상에 기여함을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원의 지 원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20179310100060)

참 고 문 헌

 D. B. Rathnayake et al., "Grid Forming Inverter Modeling, Control, and Applications," in IEEE Access, vol. 9, pp. 114781–114807, 2021