

풍력단지가 연계된 VSC-HVDC 멀티 터미널 시스템 모델링

손금태
LS 산전

VSC-HVDC Multi-terminal system modeling connected to Wind Farm

Gum Tae Son
LSIS Co., Ltd

ABSTRACT

전력 시스템의 변화 및 전력 전자 소자의 발전으로 인하여 HVDC 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 기존의 Point to Point 형태의 HVDC 시스템에서 진보하여, 멀티 터미널 형태 그리고 풍력단지와 연계된 다양한 Topology가 계획 중이거나 실제도 구동되고 있다. 따라서 이러한 추세에 맞추어 풍력단지와 연계된 멀티터미널 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 세 곳의 AC 계통 시스템과 한 곳의 풍력단지로서 이루어져 있으며, 이는 전압형 컨버터를 통하여 DC 계통을 구성하였다. 풍력발전의 변동 및 Master 컨버터의 탈락 시험 또한 진행하였다.

서론

세계적으로 HVDC에 대한 관심과 수요는 지속적으로 증가되고 있다. 현재 가장 열정적으로 HVDC 시스템을 보급하는 나라는 중국으로, 이미 36개소의 HVDC 시스템을 설치하여 가동 중에 있다. 이에 더불어 2015년까지 800kV 급 13개소와 1100kV 급 1개소를 계획하고 있으며, 이는 총 HVDC가 설치된 거리가 30,000km에 이르게 된다. 현재 준비 중이거나 계획 중인 HVDC 프로젝트 가운데 4개소는 전압형 컨버터를 기반이다. 이 중 2개소는 멀티 터미널 형태의 구조를 가지는 HVDC 시스템^[1]이다. 중국 이외에도 브라질 인도를 포함한 전세계적으로 많은 프로젝트가 진행 중이다. 또한 DolWin 1, HelWin 2와 같이 대규모 해상 풍력단지와의 HVDC 연계에 대한 프로젝트가 진행 되었듯이, HVDC 프로젝트는 단순한 지점에서 다른 지점으로의 대규모 전송용전만이 아닌 다양한 형태로 진행되어가고 있다. 따라서 본 논문은 이러한 세계적인 HVDC 시스템 추세에 맞추어, 풍력단지가 연계된 멀티 터미널 HVDC 시스템을 모델링 한다. 전류형에 비해 운전 유연성을 많이 가지는 전압형 컨버터를 이용하여, 본 시스템을 구성하였다.

1. 멀티 터미널 시스템

1.1 모듈형 멀티레벨 시스템

전압형 컨버터 중, 가장 관심을 받는 형태는 모듈형 멀티레벨 타이다. 모듈형 멀티레벨 컨버터는 다수의 Sub module이 직렬로 연결되어 한 Arm을 형성하는 것으로 Sub module

의 개수에 따라 유연하게 시스템을 구성할 수 있으며, 출력 파형을 정현파 모양으로 구현할 수 있어 전력품질 또한 우수한 장점을 가진다. 본 논문에서는 Half bridge 형태의 Sub module을 구성하였으며, 전류의 방향과 각 Sub module의 게이트 신호에 따라 충·방전 및 Bypass 상태를 조절할 수 있다. 따라서 모듈형 멀티레벨 컨버터에서는 위의 특성을 고려한 제어가 필요하게 된다. 특히 다수의 모듈 모델을 구현하기 위하여, Half bridge를 등가회로로 변형하여 Stand alone^[2]모듈을 사용하였다.

1.2 컨버터 제어

본 논문에서 컨버터 내의 AC 파트 제어는 크게 두 가지 형태의 제어기^[3]를 사용하였다. 첫 번째 제어기는 AC 전류를 feed back하여 전류의 크기를 제어하는 전류 제어기이다. 두 번째 제어기는 AC 전압의 크기를 feed back한 전압 제어기이다. 만약 한 컨버터가 AC 계통에 연가가 되어, 유효·무효 전력을 독립적으로 제어할 필요가 있으며, 안정적인 제어가 필요할 경우 전류 제어기를 차용하여 사용하게 된다. 본 논문에서는 AC 계통에 연계된 컨버터에 전류 제어기를 사용하였다. 컨버터의 동적 전압조절 능력을 발휘하기 위해서 AC 전압을 능동적으로 조절할 필요가 있는데, 특히 계통이 강인하지 않을 경우 부하의 변동에 따라 급격히 변화된 AC 전압의 크기를 보상하기 위하여 전압 제어기를 사용한다. 본 논문에서는 풍력단지와 연계된 컨버터의 제어를 전압 제어를 사용하였다.

1.4 모듈형 멀티레벨 제어

일반적으로 모듈형 멀티레벨을 구현하기 위해서는 정현파의 기준 전압 파형을 한 Arm의 모듈 수에 따라 적절하게 분배하는 Modulation 과정과 그 숫자에 맞는 적절한 Sub module을 선택하는 과정으로 구분^[4]된다. 본 논문에서는 Nearest Level Control(NLC) 방식의 modulation을 사용하였고, Sorting algorithm을 통한 Sub module의 선택과정을 진행하였다.

1.5 멀티 터미널 시스템 제어

전압형 컨버터의 장점은 무효전력 제어능력으로 인하여 전류형에 비해 다양한 운전범위를 설정할 수 있다. 따라서 각 컨버터는 AC 계통에 따라 다양한 제어를 수행 할 수 있다. 그러나 멀티터미널 내의 DC 계통의 안정성을 높이기 위하여, Master 터미널과 Slave 터미널으로 나누어 제어 할 수 있다. 일반적으로 강인한 계통에 연계된 터미널은 DC 계통의 전압을

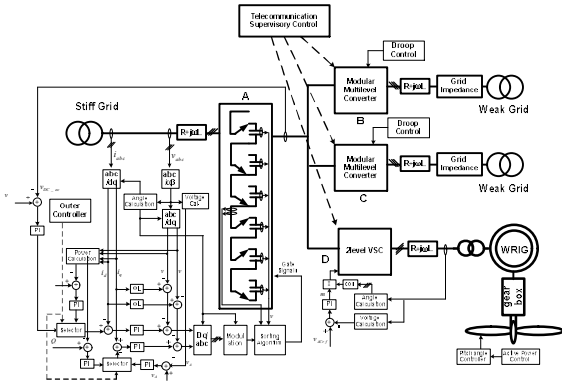


그림 1 풍력단지 연계형 멀티 터미널 시스템
Fig. 1 Multi-terminal system with wind farm

일정하게 유지하도록 하는 Master의 역할을 부여 받고, 나머지 터미널은 각 계통에서 요구하는 유효·무효전력 제어 또는 AC 전압제어를 수행하게 된다. 또한 각 컨버터간의 통신 불능시의 원활한 동작을 위하여 Droop 제어를 구현할 수 있다.

2. 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 환경

풍력단지를 연계한 멀티터미널 시스템은 그림 1과 같다. 4 터미널 시스템으로써, 4개중 1개는 풍력단지에 연계되어 있다. 나머지 3개의 터미널 중 A 터미널은 강인한 계통에 연계되어 전체 DC 전압을 유지하는 Master의 역할을 하며, 나머지 터미널은 각각 일정한 유효·무효전력 값을 송전 또는 수전하고 있다. Master의 고장에 대한 대비로써, 터미널 B와 C는 Droop 제어를 구현하였으며, 풍력단지에 연계된 터미널 D는 일정한 AC 전압을 유지하기 위하여 응답속도가 빠른 전압제어를 사용하였다. 풍력단지는 농형 유도발전기를 이용하였고, 정격전력 이상의 유효전력을 제어하기 위하여 Pitch 제어를 구현하였다. 시뮬레이션은 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하였다.

2.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 다음과 같이 진행하였다. 모든 컨버터의 정격 파워는 100MVA이며, DC 전압은 40kV, 계통의 무한 모션 24.5kV으로 모델링되어 있다. 각 컨버터의 초기 값은: A 컨버터는 DC voltage = 1pu, Q = 0pu, B컨버터는 P= 0.6pu, Q = 0pu, C컨버터는 P = 0.2pu, Q = 0pu으로 설정하였다. 바람의 세기는 14.1m/s이며 4초에 11.1m/s으로 변하고 8초에 컨버터 A가 탈락하는 사고를 가정하였다.

그림 2는 시뮬레이션 결과이다. 우선 바람의 속도가 변하였을 때, 풍력단지의 유효전력은 40MW에서 36MW으로 변했고 이를 컨버터 A가 제어함을 그림 2(a)를 통해 확인할 수 있다. 이 때 컨버터 A의 sub module의 전압이 변함을 알 수 있지만, 곧 정격 전압으로 회귀한다. 8초에 컨버터 A가 탈락되었을 때, 컨버터 A의 14MW만큼을 컨버터 B와 C가 담당함을 그림 2(a)를 통하여 알 수 있다. 따라서 전체 DC bus 전압은 Droop 제어만큼 떨어진 상태에서 운전점을 형성하는 것을 그림 2(b)를 통해 알 수 있다. DC 전압이 낮아지고 Q 제어를 하고 있기 때문에 각 AC 전압은 약간씩 낮아짐을 그림 2(c)를 통해 확인할 수 있다

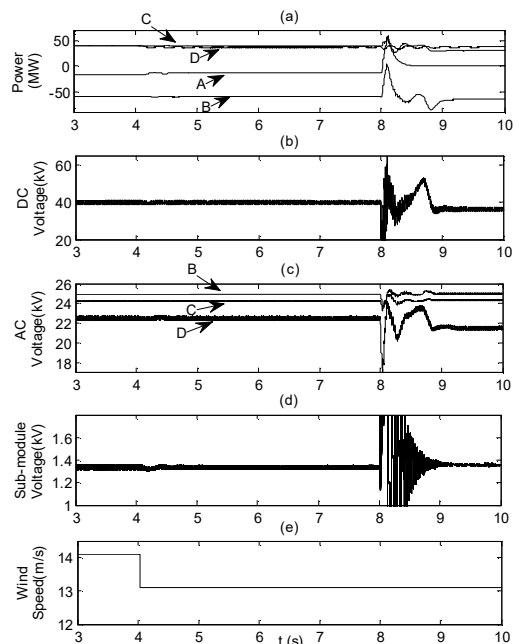


그림 2 시뮬레이션 결과: (a)각 컨버터의 유효전력, (b)DC bus 전압, (c)각 컨버터의 AC grid 전압, (d)A컨버터의 a상 상위 arm sub-module 전압, (e)바람의 속도

Fig. 2 Multi-terminal system with wind farm

결론

본 논문을 통해 전압형 컨버터를 이용하여 4터미널 HVDC 시스템을 구현하였다. 각 터미널은 모듈형 멀티레벨 컨버터를 사용하였다. 4개의 터미널 중 1개소는 풍력단지를 연계하여 풍력단지의 영향을 살펴보고, Master 역할을 하는 컨버터의 탈락에 따른 영향 역시 살펴보았다. 차후 본 논문을 기초로 다양한 시나리오에 맞는 알고리즘에 대하여 연구하겠다.

참고 문헌

- [1] J. Cao, J. Y. Cai, "HVDC in China", Proceedings of EPRI 2013 HVDC & FACTS conference, 2013, Aug.
- [2] Udana N. Gnanarathna, Aniruddha M. Gole, and Rohitha P. Jayasinghe, "Efficient Modeling of Modular Multilevel HVDC Converters (MMC) on Electromagnetic Transient Simulation Programs," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 26, No. 1, pp.316-324, Jan., 2011
- [3] A. Yazdani, and R. Iravani, Voltage Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Application. Wiley, 2010.
- [4] H. M. Pirouz, and M. T. Bina, "Modular multilevel converter based STATCOM topology suitable for medium voltage unbalanced systems," Journal of Power Electron., Vol. 10, No. 5, pp. 572-578, Sep. 2010.