

IEC 61400-27에 기반한 가변속 풍력터빈 시뮬레이션 모델의 LVRT 제어전략

김수빈¹, 송승호[†]

¹ 광운대학교 전기공학과

LVRT Control Strategy of Generic Wind Turbine Simulation Model based on IEC 61400-27

Soo Bin Kim¹, Seung Ho Song[†]

¹ Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon Univ.

ABSTRACT

국제 전기기술 위원회(International Electro technical Commission; IEC)에서는 풍력발전 시스템의 표준화된 전력 안정도 연구에 적합한 전기적 시뮬레이션 모델에 대한 규정 IEC 61400 27을 제정 중에 있다. 본 논문에서는 IEC 61400 27에서 제시하고 있는 풍력터빈의 시뮬레이션 모델을 구현하였으며, 이를 통해 규정에서 제시하고 있는 풍력터빈 시뮬레이션 모델의 저전압 사고시 LVRT 제어전략에 따른 특성을 과형을 통해 나타내었다.

1. 서 론

매년 전세계적으로 풍력발전기의 설치용량이 증가하고 있다. 이에 따른 계통운영자들은 풍력발전이 계통에 미치는 영향에 대한 연구의 중요성도 높아지고 있다. 그러나 풍력터빈 제조사의 상세 모델의 경우에는 복잡도가 높고 요구되는 파라미터가 많으며, 시뮬레이션 수행시간이 길어서 대규모 전력시스템 시뮬레이션에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 풍력터빈 제조사는 대규모 전력 시스템 시뮬레이션에 적합한 풍력터빈 시뮬레이션 모델을 별도로 개발할 필요가 있다.

현재 국제 전기기술 위원회(International Electro technical Commission; IEC)에서는 전력 시스템 안정도 연구에 적합한 풍력발전의 동적 전기적 시뮬레이션 모델에 관한 규정 IEC 61400 27을 제정 중에 있다.

본 논문에서는 IEC 61400 27 규정에서 제시하고 있는 풍력터빈 모델에 대해 소개한다. 그리고 규정에서 제시하는 풍력터빈 모델 중 풀 스케일 컨버터 타입의 풍력터빈 모델을 MATLAB/Simulink로 구현하여, 계통연계기준(grid code)에서 풍력터빈의 계통에 연계시 요구되는 조건 중 Low Voltage Ride Through(LVRT) 기능에 대한 특성을 과형으로 나타내었다.

2. IEC 61400-27에서 제시하는 풍력터빈 모델

1.1 IEC 61400-27 개요

IEC 61400 27 규정은 대규모 전력 시스템 모의에 적용이 가능한 풍력터빈의 표준화된 전기적 시뮬레이션 모델을 정의하는 것을 목적으로 한다. 그리고 기존의 다양한 풍력터빈 모델들에 적용이 가능하도록 일반화되어야 한다. 또한 다양한 전력 시스

템의 이벤트에 대한 동적 특성을 모의할 수 있어야 한다^[1].

IEC 61400 27에서는 기존 대부분의 풍력터빈 모델에 적용이 가능한 일반적인 풍력터빈 모델을 모듈의 형태로 제시하고 있다. 모듈화된 모델은 현재 개발 중인 기술이나 보조 제어기능 등을 확장하는데 용이한 이점을 지닌다.

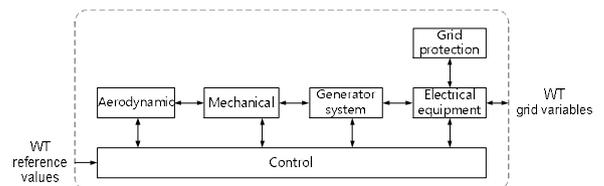


그림 1 일반적인 풍력터빈의 모듈러 구조^[1]

Fig. 1 Generic modular structure of wind turbine models

IEC 61400 27에서 제시하고 있는 풍력터빈 모델은 시간영역에서의 기본과 정상분 응답에 대한 모델이며, 과도 특성에 대해서는 다루고 있지 않다.

기존의 풍력터빈 모델들을 규정에서는 구조 및 특성에 따라 4가지 유형으로 분류하고 있다. 본 논문에서는 IEC 61400 27 규정에서 제시하고 있는 4 가지 풍력터빈 유형 중 풀 스케일 컨버터 타입의 풍력터빈 모델(규정에서는 Type 4 모델로 정의)에 대해서 중점적으로 다루고 있다.

1.2 Type 4 풍력터빈 모델

Type 4 모델은 발전기가 풀 스케일 컨버터를 통해 계통과 연계된 가변속 풍력터빈 모델이다. 풀 스케일 컨버터는 발전기 측 컨버터와 DC link, 계통측 컨버터로 구성되며, 발전기 속도와 상관없이 계통 측 컨버터를 통해 계통 주파수에 맞는 출력을 할 수 있다. 또한 유·무효 전력제어가 용이하여 역률을 1에 가깝게 유지할 수 있으며, 계통에서 요구하는 조건에 맞추어 무효전력 출력이 가능하다. 사고시 무효전류 주입을 통한 기여를 할 수 있다.

1.3 Type 4 풍력터빈의 무효전력제어 모델

그림 3은 무효전력 제어 모델의 블록선도를 나타낸다. IEC 61400 27에서 제시하는 풍력터빈의 무효전력제어 모델은 기존 풍력터빈에서 일반적으로 널리 적용되고 있는 무효전력제어 모드를 지원한다. 그림 3에서 무효전력 제어 루프에서는 레퍼런스에 따른 전류지령을 출력하며, 폐루프 무효전력제어, 개루프 제어, 전압제어, 역률제어 등을 선택적으로 운전이 가능하다.

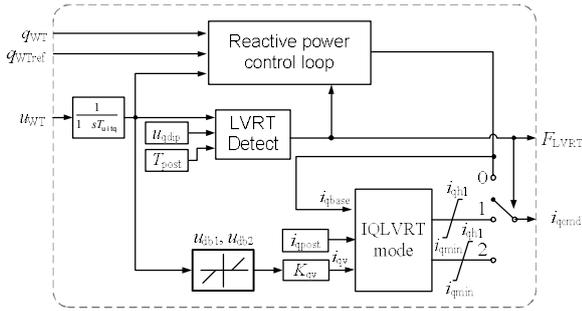


그림 2 저전압 사고 시뮬레이션 모델 구성도
Fig. 2 LVRT test simulation model

무효전력제어 모델에는 LVRT 기능이 들어가 있다. 그림 3에서 LVRT detect 블록은 계통연계지점에서 측정된 전압의 상태에 따라 사고 전과 사고 중, 사고 후로 구분하여 플래그 F_{LVRT} 를 출력하게 된다. 저전압 사고시에는 grid code에 따라 풍력터빈은 전압강하율에 따라 무효전류를 주입하여야 한다. 기존 풍력터빈에는 제조사나 모델에 따라 LVRT 제어전략이 다를 수 있으므로 IEC 61400 27 규정에서 제시하는 무효전력 제어 모델의 LVRT 기능은 무효전력제어기 루프에서 출력되는 전류지령 i_{qbase} 와 전압강하율에 의해 결정되는 무효전류 i_{qv} , 사고 직후 보상을 위한 전류 i_{qpost} 의 조합에 따라 3가지 LVRT 제어전략을 제공한다. $I_{QLVRTmode}$ 블록은 LVRT 제어전략과 F_{LVRT} 에 따라 표 1과 같이 무효전류 지령을 출력하게 된다.

표 1 Type 4 모델에 사용되는 모듈^[1]
Table 1 Modules be used in type 4B

LVRT Q control mode	F_{LVRT} 1 (during fault)	F_{LVRT} 2 (post fault)
$M_{LVRT,1}$	i_{qv}	i_{qv}
$M_{LVRT,2}$	$i_{qbase} + i_{qv}$	$i_{qbase} + i_{qv}$
$M_{LVRT,3}$	$i_{qbase} + i_{qv}$	$i_{qbase} + i_{qpost}$

i_{qbase} : frozen current
 i_{qv} : voltage dependent current
 i_{qpost} : constant post fault current

3. 시뮬레이션

IEC 61400 27에 기반한 Type 4 풍력터빈 시뮬레이션 모델의 저전압 사고시 특성을 모의하기 위해 그림 3과 같이 시뮬레이션 모델을 구성하였다. 저전압 사고 시 계통 연계지점에서의 전압은 0.4p.u까지 강하하였으며, 약 0.5초 동안 사고 상황을 유지시켰다. 그림 4는 저전압 사고시 풍력터빈 시뮬레이션 모델의 출력을 나타내는 파형이다.

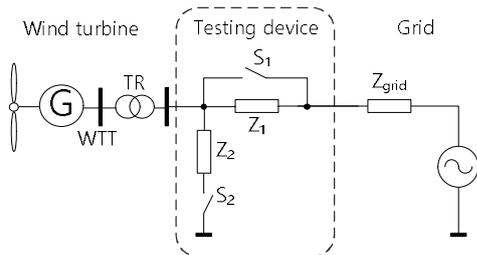
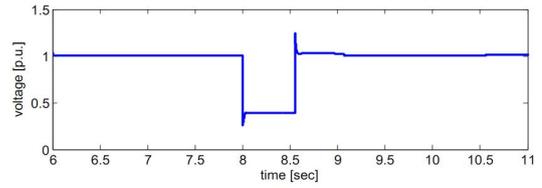
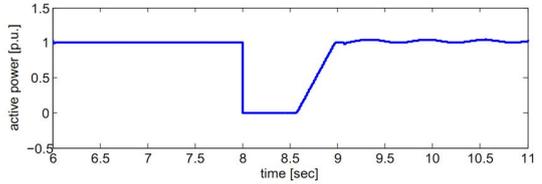


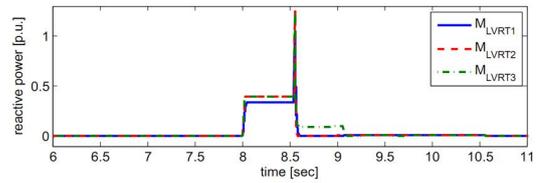
그림 3 저전압 사고 시뮬레이션 모델 구성도
Fig. 3 LVRT test simulation model



(a) 계통 연계지점에서의 전압



(b) 풍력터빈의 유효전력



(c) LVRT 제어 전략에 따른 풍력터빈의 무효전력

그림 4 저전압 사고 시 풍력터빈 출력
Fig. 4 Wind turbine output during and after fault

그림 4 (b)는 사고시 풍력터빈의 유효전력을 나타낸다. 그림 4 (b)에서 유효전력은 사고 직후 전력진동이 발생하였는데 이는 사고시 발전기의 입력과 출력의 불평형으로 발생될 수 있는 기계적 진동이 출력으로 나타난 결과이다. 그림 4 (c)는 LVRT 제어 전략에 따른 풍력터빈의 무효전력을 나타낸다. 4 (c)에서 각 LVRT 제어전략에 따른 무효전력을 비교해보면 사고 중 구간에서는 i_{qbase} 의한 무효전력의 차를 확인할 수 있었으며, 사고 직후에서는 i_{qpost} 에 의한 무효전력 차를 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 IEC 61400 27 규정에 대해 소개하고, 규정에서 제시하고 있는 풍력터빈 모델 중 Type 4 모델을 구현하여 시뮬레이션을 통해 규정에서 제시하는 풍력터빈의 LVRT 기능을 확인하였으며, 풍력터빈의 LVRT 제어전략에 따른 무효전력 출력을 비교해 보았다.

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2014년 선정 기초 연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. [과제번호 : R14XA02 10]

참고 문헌

[1] IEC 61400 27 Committee Draft, wind turbines part 27 1 Electrical simulation models wind turbines, IEC std. Committee Draft for Vote(CDV)88/464/CDV February 2014.

[2] Margaris I.D., Hansen A.D., Bech J., Andersen B., Sørensen P., "Implementation of IEC Standard Models for Power System Stability Studies", 11th Wind Integration Workshop, Lisbon, 13 15th November, 2012.