

풍력발전용 PMSG 계통연계 컨버터 직류 링크 전압제어 알고리즘

이헌수 · 조영표 · 유지윤
고려대학교 전기전자전파공학부

DC-link Voltage Control Algorithm of PMSG Grid Connected Converter for Wind Power System

HeonSu Lee · YoungPyo Cho · JiYoon Yoo
Department of Electrical Engineering, Korea University

ABSTRACT

최근 풍력 발전이 시스템 전체 전력망에서 차지하는 비중이 커짐에 따라 세계 각국에서는 LVRT(Low Voltage Ride Through) 규정을 제정하여 계통 연계된 풍력 발전 시스템이 전력망의 안정화에 부정적 영향을 미치지 않도록 하고 있다. 계통 전압 사고 상황에서 LVRT 규정을 만족 시키게 되면 발전기에서 발생된 유효전력과 계통으로 전달되는 유효전력 사이의 불균형으로 직류 링크 전압이 상승하게 된다. 본 논문은 이러한 상황에서 계통연계 컨버터의 직류 링크전압을 일정하게 제어하는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

풍력 발전 시설은 1990년대 이후 꾸준히 증가하여 2011년까지 전 세계 풍력 발전 시설의 총 용량은 210GW를 넘어섰고, 2016년 까지 약 500GW에 이를 것으로 예측되고 있다.^[1] 이와 같이 풍력 발전시설이 점점 증대되면서 풍력 발전 시스템이 전체 전력망의 안정도에 끼치는 영향이 커지게 되었다. 이에 따라 세계 각국에서는 계통연계규정(Grid Code)을 제정하여 계통의 안정성을 확보하도록 하고 있다. 이 중 LVRT 규정은 풍력 발전 시스템이 계통 사고 상황에서도 분리 되지 않고 계통에 무효 전력을 공급함으로써 계통 사고 회복에 기여하도록 하는 규정으로 풍력 발전 시스템에 요구되는 가장 중요한 규정이다. 계통 사고 발생시 LVRT 규정에 의해 무효 전류를 계통에 공급하게 되면 계통으로 전달되는 유효 전력이 제한되어 발전기에서 발생된 유효전력이 컨버터의 직류링크 캐패시터로 전달되어 전압이 과도하게 상승하게 된다. 본 논문은 가장 엄격한 규정인 독일의 계통연계 규정을 기준으로 하여 직류링크 전압을 일정하게 제어할 수 있는 알고리즘을 제안하며, simulation tool을 이용한 2MW급 모의 실험을 통해 그 타당성을 검증한다.

2. 본론

2.1 LVRT 규정^[2]

독일의 계통 연계 규정 중 LVRT 규정의 전압 경계선은 그림 1과 같다. 전압 감소율은 3상 선간 전압 중 가장 큰 값을 기준으로 한다. 계통 전압 사고가 발생하면 limit line 1 위의 영역에서는 모든 시스템이 계통연결을 유지하여야 하며, limit line 1 과 limit line 2 사이의 영역에서는 특정 조건 하에 순간적인 분리가 가능하다. limit line 2 아래의 영역에서는 모

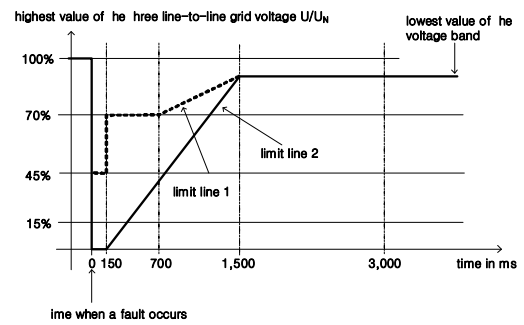


그림 1 LVRT 전압 경계선
Fig. 1 LVRT voltage limit line

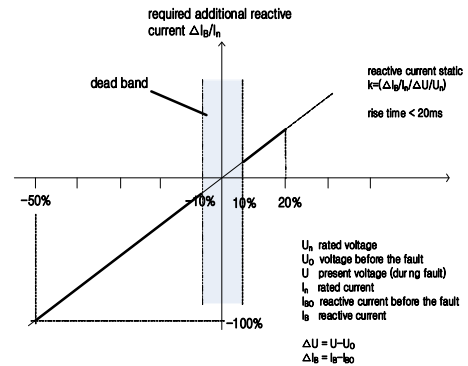


그림 2 무효 전류 요구조건
Fig. 2 Reactive current requirement

든 시스템이 분리가 가능하다.

그림 2는 계통 사고 발생시 무효 전류 요구조건이다. 전압 변동률 10% 이내에는 무효 전류를 공급하지 않고, 그 이상이 되었을 때 전압 변동률의 2배의 비율로 무효 전류를 공급해야 한다.

2.2 제안된 전압 제어 알고리즘

그림 3에 직류 링크 전압을 일정하게 제어하기 위한 풍력 발전 시스템의 제어 블록도를 나타내었다.^[3] 정상 동작 시에 발전기측 컨버터는 MPPT 알고리즘을 통한 토크 지령치로 발전기의 토크 제어를 수행하고, 직류 링크 전압 제어는 계통측 컨버터가 수행한다. 계통 사고 발생 시에는 그림 3에서 보이는 것처럼 화살표 방향으로 제어루프가 이동한다. 발전기측 컨버터는 직류 링크 전압 제어를 수행하고 계통측 컨버터의 유, 무

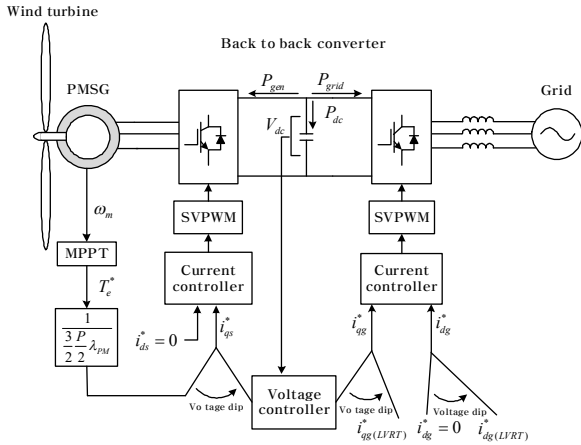


그림 3 풍력 발전 시스템 제어 블록도
Fig. 3 Wind power system control block diagram

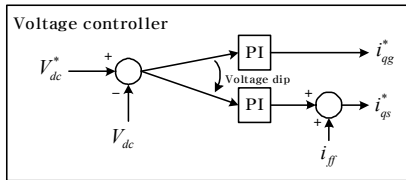


그림 4 전압 제어기 블록도
Fig. 4 Voltage controller block diagram

효 전류 지령치는 LVRT 요구 조건에 의해 결정된다.

그림 3의 Voltage controller의 블록도는 그림 4와 같다. 정상동작에서 $V_{dc}^* - V_{dc}$ 의 값이 매우 작으므로 계통 사고 상황시 발전기측 PI 제어기의 출력 값은 순간적으로 매우 작은 값을 가지게 된다. 이때 발전기측 제어기에 feed forward 항이 없게 되면 50% 이하의 전압 감소를 상황에서 계통측으로 전달되는 유효전류 성분으로 인해 전력 불균형을 일으켜 직류 링크 전압의 순간적인 감소를 야기한다. 그러므로 feed forward 항을 추가하여 이를 보완 한다. feed forward 값은 그림 3의 전력 흐름도로부터 아래와 같이 계산된다.

$$P_{gen} = -P_{grid} \quad (1)$$

$$\frac{3}{2} P \lambda_{PM} i_{qs} \omega_m = -\frac{3}{2} v_{qg} i_{qg} \quad (2)$$

$$i_{qs} = -\frac{2}{P \lambda_{PM} \omega_m} v_{qg} i_{qg} = i_{ff} \quad (3)$$

2.3 시뮬레이션 결과

그림 5와 6에 각각 100%, 30% 전압 감소 상황시 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 계통 선간전압 2000V, 직류 전압 지령치 4000V, 직류단 캐패시턴스 12mF, 스위칭 주파수는 2kHz로 시뮬레이션을 수행 하였다. 그림 5에서 계통측 전류는 100% 무효 전류로 정격 전류 만큼 계통에 공급되어 LVRT 규정을 만족시킴을 확인 할 수 있다. 또한 직류 링크 전압은 발전기측 전류에 의해 제어되어 10% 미만의 변동률을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 그림 6에서도 계통측 전류는 LVRT 규정에 맞게 계통에 공급 되고 있고, 직류 링크 전압 또한 발전기측 전류에 의해 제어되어 3% 미만의 변동률을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

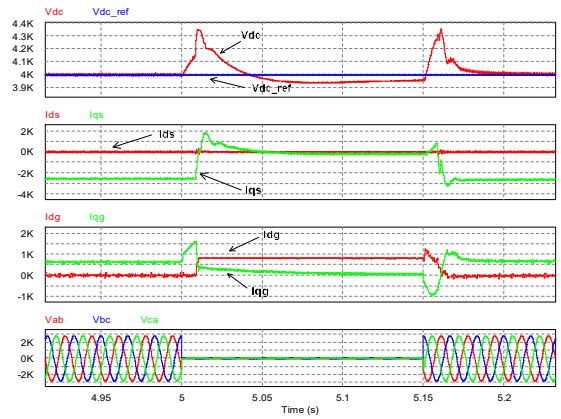


그림 5 100% 전압 감소 시뮬레이션
Fig. 5 100% voltage dip simulation

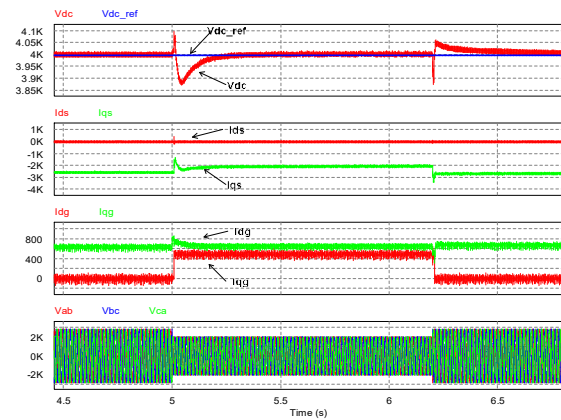


그림 6 30% 전압 감소 시뮬레이션
Fig. 6 30% voltage dip simulation

3. 결론

본 논문에서는 계통 사고 발생시 풍력발전 시스템이 LVRT 규정을 만족 시키면서 직류 링크 전압을 일정하게 제어할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 2MW급 시뮬레이션을 통해 규정에 맞게 무효 전류를 공급 하면서 직류 링크 전압 변동을 최대 10% 이내로 제어 할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(NO. 20114010203010)

참고 문헌

- [1] "Global wind report, Annual market update 2011", GWEC, March 2012.
- [2] "Grid Code for High and Extra High Voltage", E.ON Netz GmbH, April 2006.
- [3] Alepuz, S., Calle, A., Busquets Monge, S., Bordonau, J., Kouro, S., Bin Wu, "Control Scheme for Low Voltage Ride Through Compliance in Back to back NPC Converter Based Wind Power Systems, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.2357-2362, July 2010.