

풍력발전기의 저전압 순간보상 시뮬레이터에 관한 연구

장미금*, 오승열*, 박병철*, 송성근*, 오광교*, 정동화**
전자부품연구원*, 순천대학교**

A Study on Low Voltage Ride Through Simulator for Wind Turbine Generators

Mi Geum Jang*, Seung Yeol Oh*, Byung Chul Park*, Sung Geun Song*,
Kwang Kyo Oh*, Dong Hwa Chung**

Korea Electronics Technology Institute*, Suncheon National Univ.**

ABSTRACT

본 논문에서는 풍력발전기의 저전압 순간보상 기능을 시험하기 위한 시뮬레이터를 설계한다. 다수의 풍력발전기가 연계된 전력계통의 경우, 안정성 확보를 위해 계통전압의 강하시에도 발전기가 연계상태를 유지하며 계통에 무효전력을 공급할 것을 요구하고 있다. 본 논문에서는 이러한 기능을 시험하기 위한 3상 4 레그 인버터 기반의 시뮬레이터를 설계한다. 설계된 3상 4 레그 인버터의 성능은 시뮬레이션을 통해서 확인한다.

1. 서론

전력계통에 연계되는 풍력발전 용량이 지속적으로 증가함에 따라, 풍력발전기가 계통의 안정도에 미치는 영향도도 증가하고 있다. 풍력발전기를 비롯한 각종 신재생 에너지원이 계통에 연계되는 경우에 전력계통 운영자는 계통의 안정적인 운영을 위해서 에너지원의 전압, 전류 및 주파수 등 여러 가지 요소들에 대한 요구사항을 설정하는데 이를 계통 코드(grid code)라고 한다. 저전압 순간보상(low voltage ride through, LVRT) 기능은 계통 코드 중의 하나로서 계통전압의 강하시에 풍력발전기가 연계상태를 유지하면서 계통으로 무효전력을 공급하는 기능이다.

풍력발전기의 LVRT 기능을 시험하기 위한 장비는 여러 가지 방식으로 구성될 수 있으나, 본 논문에서는 소용량 풍력발전기를 시험하기 위한 장비로서 3상 4 레그 인버터 기반의 LVRT 시뮬레이터를 설계한다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 설계된 LVRT 시뮬레이터의 성능을 확인한다.

2. 본론

2.1 LVRT 시뮬레이터의 개요

풍력발전기의 LVRT 기능은 계통전압이 강하되는 경우에도 발전기가 연계상태를 유지하면서 계통으로 무효전력을 공급하는 기능이다. 그림 1은 계통에 연계된 풍력발전기를 나타낸다.

표 1은 계통에서 발생한 사고의 종류에 따른 연계점(Point of Common Coupling, PCC)의 전압을 나타낸다. 표에서 x 는 전압강하의 정도를 나타내는 변수로서 0과 1사이의 값을 가진다. 그림을 통해 알 수 있는 바와 같이 전압 강하의 종류는 1상, 2상, 3상 그라운드 폴트 및 상간 폴트 등의 4가지이다.

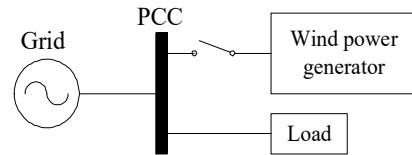


그림 1 풍력발전기 계통연계도
Fig. 1 Diagram for grid integrated wind power generator

표 1 계통 사고 발생시의 전압 페이저
Table 1 Voltage phasors of a grid under faults

1상 그라운드 폴트	$V_a = x,$ $V_b = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j,$ $V_c = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j.$
2상 그라운드 폴트	$V_a = 1,$ $V_b = -\frac{1}{2} - x\frac{\sqrt{3}}{2}j,$ $V_c = -\frac{1}{2} + x\frac{\sqrt{3}}{2}j.$
3상 그라운드 폴트	$V_a = x,$ $V_b = -x\frac{1}{2} - x\frac{\sqrt{3}}{2}j,$ $V_c = -x\frac{1}{2} + x\frac{\sqrt{3}}{2}j.$
3상 그라운드 폴트	$V_a = 1,$ $V_b = -x\frac{1}{2} - x\frac{\sqrt{3}}{2}j,$ $V_c = -x\frac{1}{2} + x\frac{\sqrt{3}}{2}j.$

LVRT 시뮬레이터는 풍력발전기의 출력에 관계없이 계통 연계점의 전압을 표 1의 기준값으로 출력하는 기능을 한다.

2.2 LVRT 시뮬레이터

본 절에서는 LVRT 시뮬레이터의 설계절차를 기술하고 설계된 시뮬레이터의 성능을 PSIM 시뮬레이션을 통해 확인한다.

2.2.1 LVRT 시뮬레이터 설계

LVRT 시뮬레이터의 토폴로지는 그림 2의 3상 4 레그 인버터로 선정하였다. 표 1을 통해서 나타난 것처럼 1상 혹은 2상 그라운드 폴트시에는 시뮬레이터의 출력전압에 영상분이 포함

되어야 하는 점을 감안하여 4 레그 토폴로지를 선정하였다.

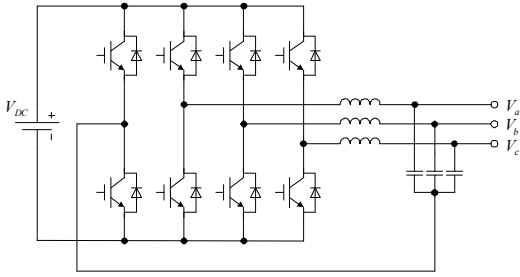
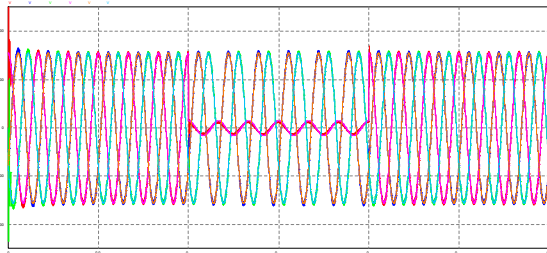
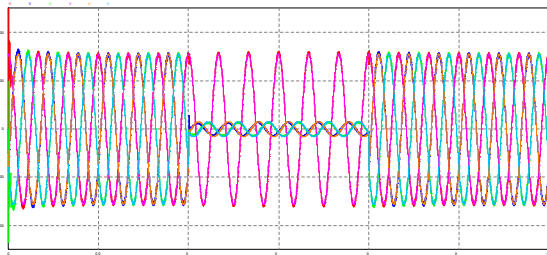


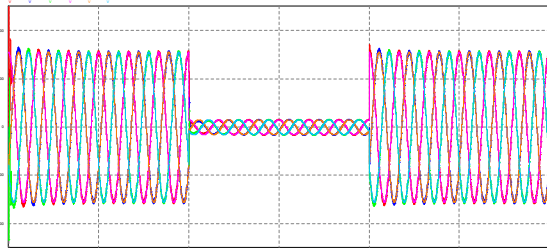
그림 2 3상 4-레그 인버터
Fig. 2 The three-phase four-leg inverter



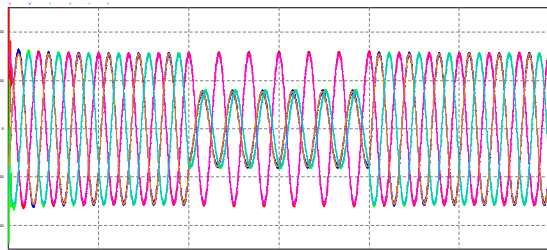
(a) 1상 그라운드 폴트 파형($x=0.2$)



(b) 2상 그라운드 폴트 파형($x=0.2$)



(c) 3상 그라운드 폴트 파형($x=0.2$)



(d) 상간 폴트 파형($x=0.2$)

그림 3 PSIM 시뮬레이션 결과
Fig. 3 PSIM simulation results

LVRT 시뮬레이터의 스위칭 주파수는 5kHz로 선정하였다. 스위칭 주파수의 선정에는 주파수가 높아짐에 따라 시뮬레이터의 응답성이 개선되지만 인버터의 스위칭 손실이 증가하는 점을 고려하였다. 추후 LVRT 실제 제작시에는 시뮬레이터의 응답특성을 고려하여 스위칭 주파수를 조정할 계획이다.

인버터의 출력필터는 LC 필터를 채택하여 $L=1\text{mH}$, $C=33\mu\text{F}$ 으로 선정하였다. 인덕터와 커패시터의 값을 이와 같이 선정하는 경우, 필터의 차단주파수는 약 876Hz가 된다. 인버터 출력 전압의 주파수가 60Hz이고 인버터의 스위칭 주파수가 5kHz이므로, 설계된 출력필터는 인버터의 60Hz 주파수는 통과시키고 스위칭으로 파형의 왜곡을 감소하는 저주파 필터로 동작한다.

인버터의 전압제어를 위해 d 축, q 축, n 축에 대해서 각각 전압제어기 및 전류제어기를 구성하였다. 전압제어기와 전류제어기는 각각 PI(proportional integral) 제어기 형태로 구성하였고, 제어기 파라미터는 식 (1) 및 (2)와 같이 주로 모터제어기의 속도 및 전류제어기의 설계에 사용되는 방식을 적용하였다.

$$\omega_{\alpha} = \frac{2\pi f_s}{10}, k_{\alpha p} = L\omega_{\alpha}, k_{\alpha i} = R\omega_{\alpha} \quad (1)$$

$$\omega_{vc} = \frac{\omega_{\alpha}}{10}, k_{vp} = C\omega_{vc}, k_{vi} = \frac{k_{vp}\omega_{vc}}{5} \quad (2)$$

IGBT의 스위칭은 공간벡터 PWM 방식을 채택하였다. 4 레그 인버터의 스위칭에는 3차원 공간벡터 PWM 방식이 잘 알려져 있으나 오프셋 전압 개념을 이용한 기준 삼각파 비교 방식의 공간벡터 변조방식의 경우, 3차원 공간벡터 PWM 방식에 비해 구현이 용이하면서도 동등한 성능을 보장한다.^[1]

2.2.2 시뮬레이션 결과

설계된 LVRT 시뮬레이터의 성능을 확인하기 위해서 PSIM을 통해 시뮬레이션을 하였다. 입력전압은 600V로 하였고 출력은 3상 60Hz이며, 전압 강하 계수 x 는 0.2로 가정하였다. 또한, 풍력발전기로부터 LVRT 시뮬레이터로 100A의 3상 전류가 주입되는 상황을 구성하였다. 그림 3에 나타난 바와 같이 설계된 LVRT 시뮬레이터는 주어진 기준전압을 잘 추종하는 것으로 확인되었다.

3. 결론

풍력발전기의 LVRT 기능시험을 위한 3상 4 레그 인버터 기반의 시뮬레이터를 설계하고 그 성능을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 설계된 LVRT 시뮬레이터는 100kW급 풍력발전기 시험을 위해 하드웨어 구현 중이고 향후 풍력발전기와 연계하여 LVRT 시험을 실시하여 성능을 검증/개선할 계획이다.

본 연구는 "산업통상자원부", "한국산업기술진흥원", "호남지역 사업평가원"의 "광역경제권 선도산업 육성사업"으로 수행된 연구결과입니다.

참고 문헌

[1] J. H. Kim and S. K. Sul, "A Carrier Based PWM Method for Three Phase Four Leg Voltage Source Converters", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 19, No. 1, 2004.