계통 연계형 인버터의 LVRT제어 시 과도전류 분석

안현철, 송승호, 최주엽
광운대학교

The Analysis of Current Dynamics for LVRT Control of Grid Connected Inverter

Hyun Chul Ahn, Seung Ho Song, Ju Yeop Choi
Kwangwoon University

ABSTRACT

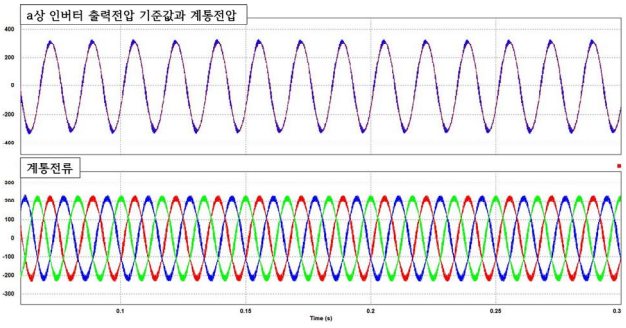
분산 전원의 계통 연계를 위한 그리드 코드에서 요구하는 LVRT 제어 시 과도 상태 계통 전류를 분석하고 최대값을 최소화하는 것은 매우 중요하다. 계통 사고 발생으로 전압이 급격히 변화하는 동안에 과도 전류의 크기가 상승하여 전력용 반도체 소자의 한계를 넘게 되면 시스템이 정지하기 때문이다. 본 논문에서는 LVRT 제어 시 과도상태 전류의 급변 원인과 최대값에 영향을 미치는 요인들을 분석한다. 분석의 신뢰성을 높이기 위해 GFS(Grid Fault Simulator)를 적용하여 전압사고를 모의하고 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 통해 검증하였다.

1. 서론

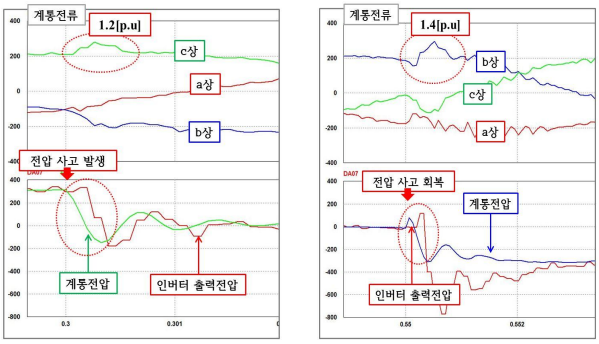
본 논문에서 다루는 LVRT 제어는 순간 저 전압 사고 시에 그리드 코드가 요구하는 일정시간 동안 계통 연계를 유지해야 한다. 그러나 전압사고 발생 시 계통전압의 급변으로 생기는 인버터 출력전압과 계통전압의 순간적인 전위차는 과도전류를 야기 시킨다. 이러한 과도전류의 최대값을 저감하기 위해선 원인과 미치는 영향들의 분석이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 불가피한 사고시점에서의 전류 위상각과 개선 여지가 있는 전류제어기의 전향보상 제어성능과 하드웨어 측면에서의 커패시터 필터의 댐핑 저항 등이 과도전류에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

2. 전류 과도상태 분석

정상상태에서는 아래의 파형과 같이 인버터 출력전압과 계통전압이 전기적 평형을 유지한다.



(a) 정상상태



(b)과도상태

그림1. 계통전압과 인버터 출력전압과의 전위차

계통 사고로 전압이 급변하면 그림1(b)와 같이 인버터 출력전압과 계통전압 사이에 전위차가 발생하여 순간적인 과도전류를 유발한다.

2.1 전압 사고 시점과 전류 위상각

LVRT 제어 시 전류의 과도상태는 전압 사고 순간 전류의 위상각에 영향을 받는다. 3상 전압 중 2상의 전압이 같은 지점에서 과도전류는 최대값을 갖고 1상의 전압크기가 0일 때 과도전류는 최저값을 갖는다.

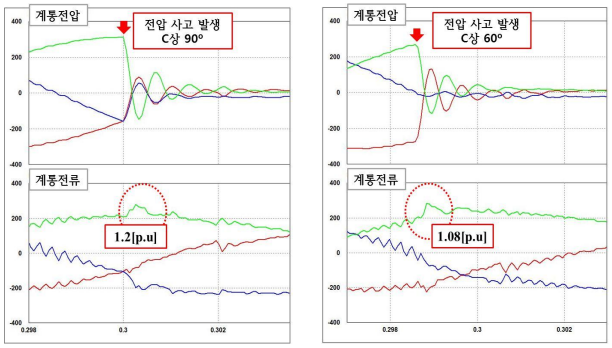
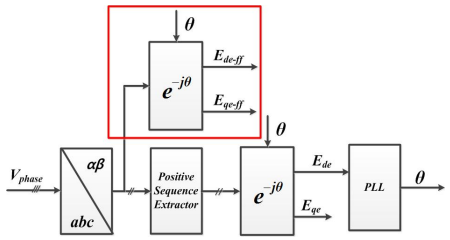


그림2. 사고시점에서의 전류위상각에 따른 과도전류 최대값

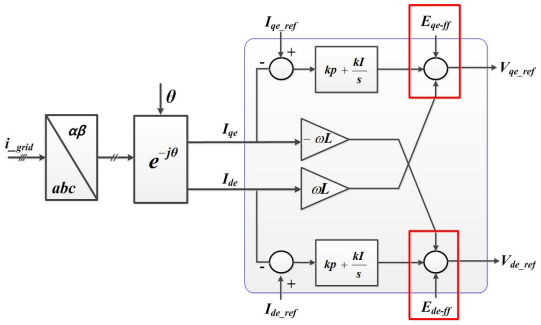
2.2 전류제어기 전향보상의 성능

아래 그림3(a)는 전류제어기의 전향보상에 적용되는 동기좌표 전압의 블록도를 표현한 것이다. 계통의 불평형 사고를 대

비하기 위해서 APF PLL을 적용하여 동기위상각을 검출한다. 인버터 출력전압을 결정하는데 있어서 아래 그림3(b)와 같이 전류제어기 전향보상의 역할이 중요하기 때문에 전압 사고 발생 시 사고전압을 빠르게 추종해야 한다. 전향보상의 성능이 과도전류에 미치는 영향을 확인하기 위해 그림4와 같이 정상분 추출과정을 적용한 전향보상(그림4의 왼쪽)과 계통전압의 순시값을 적용한 전향보상(그림4의 오른쪽)을 비교하였다. 과도상태 시 정상분 전압을 적용한 것은 전압 추종이 느려 과도전류 최대값을 상승시킴을 확인할 수 있다.

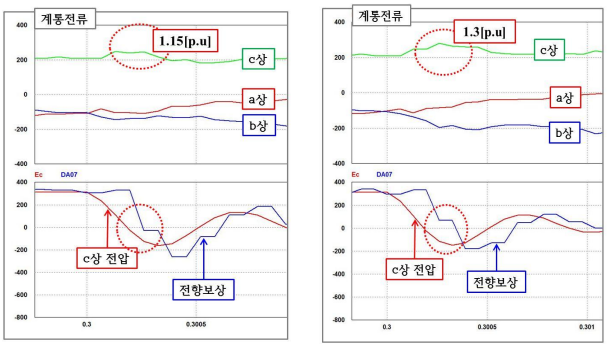


(a) 전향보상 전압 블럭도

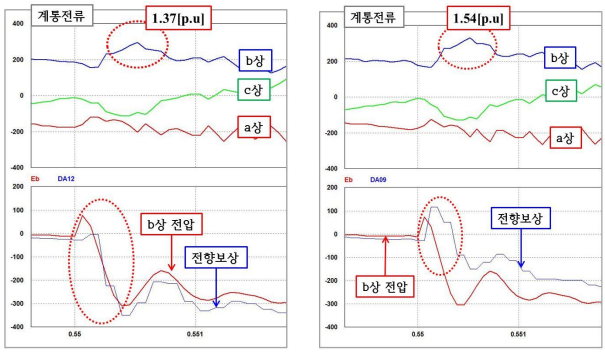


(b) 전향보상을 적용한 전류제어기의 블럭도

그림3. 전향보상과 전류제어기의 블록도



(a) 전압 사고 시점



(b) 전압 사고 회복 시점

그림4. 전향보상 성능에 따른 과도전류 최대값

2.3 커패시터 필터의 R/X 비율

커패시터 필터는 계통 전압의 리플을 감소시키는 역할을 하며 사고전압 크기를 정확하게 계산하기 위해 꼭 필요하다. 하지만 아래의 (1)에 따라 커패시터 양단의 전압변동이 과도한 전류를 유발하고 변압기 및 GFS의 인덕터 성분은 과도한 전류 변화에 따라 전압 변동을 유발한다. 이러한 현상은 사고 회복 시점에서 확연한 차이를 보인다.

$$C\frac{dv}{dt} = i\ ,\ L\frac{di}{dt} = v \tag{1}$$

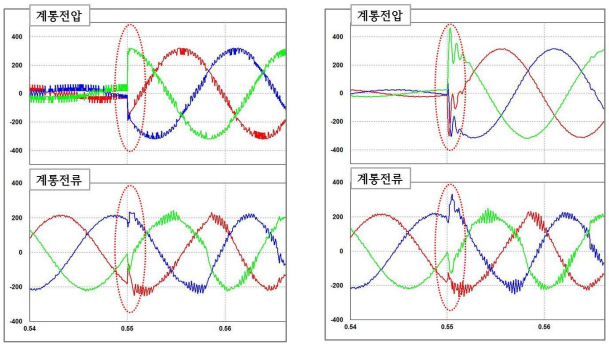


그림5. 커패시터 필터의 R/X비율에 따른 과도전류 최대값
(좌 : R/X비율 = 1 우 : R_d = 0.3)

위 파형의 왼쪽은 커패시터 필터의 R/X비율이 1:1로서 전압 리플을 전혀 감소시키지 못하지만 사고 회복 시 전압 변동이 없으며 과도전류의 최대값 또한 크지 않다. 오른쪽은 아래의 수식에 따라 제동비 0.3에 준하여 커패시터 기생저항을 적용한 것으로 필터의 역할을 하고 있으나 전압 변동을 야기 시켜 과도전류의 최대값 또한 상승 시킨다.

$$\xi_p = \frac{R_d}{2}\sqrt{\frac{C}{L'}}\ ,\ L' = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} \tag{2}$$

3. 결론

본 논문에서는 그리드 코드에 부합하기 위한 LVRT 제어 시 발생하는 과도전류의 원인과 영향을 주는 요소들을 분석하였다. 과도전류의 큰 원인은 전압 사고 시 계통전압의 급변으로 생기는 인버터 출력전압과의 순간적인 전위차이다. 이러한 과도전류는 전력용 반도체의 허용범위를 넘어서면 시스템을 정지시키는 위험소지가 있기 때문에 많은 연구가 필요하다. 여러 방법들 중 과도전류의 최대값을 저감하기 위해서 전류제어기의 전향보상 성능의 중요성을 강조했으며 하드웨어 측면에서 커패시터 필터의 저항성분을 전압 리플 감쇄율과 전압 변동율을 고려하여 설계해야함을 주장하였다. 이상적인 전압원이 아닌 GFS로 전압사고를 모의하여 분석의 신뢰도를 높이고자 하였다.

참 고 문 헌

[1] Remus Teodorescu, Marco Liserre, Pedro Rodriguezi, "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", Wiley