

불평형 전원사고 시 계통연계형 풍력발전 시스템의 저전압 보상기법

정해광, 이교범
아주대학교

Low Voltage Ride Though Under Unbalanced Grid Faults of Grid Connected Wind Power Systems

Hae Gwang Jeong and Kyo Beum Lee
Ajou university

ABSTRACT

본 논문에서는 불평형 전원 사고시 풍력발전 시스템의 계통 저전압 보상기법을 제안한다. 계통규정이 강화됨에 따라 풍력발전 시스템은 영전압 및 불평형 사고 시에도 안정적인 운전을 유지할 수 있는 대책이 요구된다. 제안하는 계통 저전압 보상기법은 불평형 전원사고 시에도 안정적으로 운전을 유지하며 요구되는 유, 무효 출력제어가 가능하다. 본 논문은 2MW급 풍력발전 시스템의 시뮬레이션 모델을 통하여 제안하는 보상기법의 타당성 및 강인함을 보인다.

1. 서론

최근 풍력발전 시스템은 다른 신재생에너지 중에서도 가장 급격한 성장을 하고 있고, 단 기당 출력도 수 MW급으로 점차 커지고 있다^[1]. 풍력발전 시스템 및 단지가 계통에 미치는 영향이 커짐에 따라 각국의 계통사업자는 다양한 계통연계 규정을 마련하여 출력 품질 및 시스템 안정도를 규제하고 있다. 특히 계통 전원 사고발생시 분산전원 시스템의 운전을 규제하는 LVRT 규정은 모든 국가에서 필수적인 항목이 되었다^[1]. 계통 전원 사고는 한상지락, 선간 단락등의 불평형 전원 형태로 나타나기 쉽고, 계통전원의 불평형은 출력 전력에 선 주파수 2배의 리플을 발생시키게 된다^[2]. 이러한 전력 리플은 계통연계 인버터의 직류단 커패시터에 스트레스가 되고, 시스템의 안정도에 악영향을 미치게 된다.

본 논문은 불평형 계통전원 사고시 풍력발전 시스템의 저전압 보상기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 불평형 사고시 유효전력리플을 제거하고, 안정적으로 요구되는 역률제어를 수행한다. 또한 불평형제어시 역상분 전류 주입으로 인한 출력전류의 정격 초과를 방지하기 위한 전류제한을 포함한다. 2MW급의 풍력발전 시뮬레이션 모델을 이용하여 제안하는 알고리즘의 타당성을 검증한다.

2. 저전압 보상기법

2.1 불평형 제어를 위한 전류지령

불평형 계통전원에서 계통의 전압에는 정상분과 역상분이 존재한다. 이러한 역상분 성분은 출력전력에 선주파수 2배의 리플을 발생시킨다. 불평형 계통전원 상황에서 순시전력은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} P_0 \\ P_{\sin 2} \\ P_{\cos 2} \\ Q_0 \\ Q_{\sin 2} \\ Q_{\cos 2} \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} e_{ds}^+ & e_{ds}^- & e_{qs}^+ & e_{qs}^- \\ 0 & e_{ds}^+ & 0 & e_{qs}^+ \\ e_{ds}^- & 0 & e_{qs}^- & 0 \\ e_{qs}^+ & e_{qs}^- & -e_{ds}^+ & -e_{ds}^- \\ e_{qs}^- & 0 & -e_{ds}^- & 0 \\ 0 & e_{qs}^+ & 0 & -e_{ds}^+ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds}^+ \\ i_{ds}^- \\ i_{qs}^+ \\ i_{qs}^- \end{bmatrix} \quad (1)$$

듀얼 컨트롤러는 정상분과 역상분의 d q축 전압만을 제어하게 되므로 제어기의 6개의 전력 성분 중 4가지만을 선택적으로 제어한다. 계통연계 제어는 출력 유, 무효 전력제어, 유효전력 리플제어를 목적으로 하므로 P_0 , $P_{\sin 2}$, $P_{\cos 2}$ 와 Q_0 를 제어한다. 이와 같은 제어를 위하여 식 (1)을 정리하면 다음과 같은 전류 지령을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_d^+ \\ i_q^+ \\ i_q^- \\ i_d^- \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} e_d^+ & e_q^+ & e_d^- & e_q^- \\ e_q^+ & -e_d^+ & e_q^- & e_d^- \\ e_d^- & e_q^- & e_d^+ & e_q^+ \\ e_q^- & -e_d^- & -e_q^+ & e_d^+ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ Q_0 \\ P_{\sin 2} \\ P_{\cos 2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)를 정리하면 다음식과 같다.

$$\begin{aligned} I_d^* &= \frac{E_d^+}{E_q^+} I_{q,high}^* + I_{d,high}^* \\ I_q^{+*} &= I_{q,high}^* - \frac{E_d^+}{E_q^+} I_{d,high}^* \\ I_d^* &= -\frac{E_d^-}{E_q^+} I_{q,high}^* + \frac{E_q^-}{E_q^+} I_{d,high}^* \\ I_q^{*-} &= -\frac{E_q^-}{E_q^+} I_{q,high}^* - \frac{E_d^-}{E_q^+} I_{d,high}^* \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $I_{q,high}^*$ 는 상위제어기인 직류단 전압제어기의 출력이고, $I_{d,high}^*$ 는 역률제어를 위한 무효전류 지령이다.

2.2 전류제한

2.1절에서와 같이 불평형 제어의 목적으로 역상분 전류를 주입하게 되면 그림 1과 같이 출력전류가 정격을 초과하는 경우가 발생한다.

출력전류에 정상분과 역상분이 존재할 때 전류의 최대값은 다음 식과 같다.

$$|I_s| = |I_s^+| + |I_s^-| = \sqrt{(I_d^+)^2 + (I_q^+)^2} + \sqrt{(I_d^-)^2 + (I_q^-)^2} \quad (4)$$

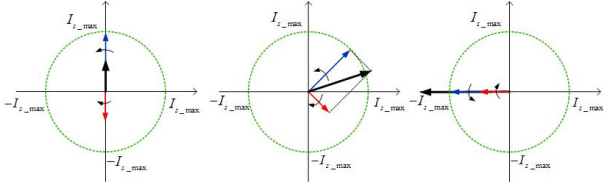


그림 1 역상분 전류 주입시 출력전류의 벡터도
Fig. 1 The vector diagram of output currents with a negative sequence components

식 (3)과 (4)를 통하여 다음식과 같이 전류를 제한할 수 있다.

$$|I_s^*| \leq \frac{|I_{s,max}|}{\left(\sqrt{1 + (E_d^+/E_q^+)^2} + \sqrt{(E_d^-)^2 + (E_q^-)^2/E_q^+}\right)} \quad (5)$$

2.3 동적 제동기

계통전원의 저전압 사고발생시 출력 가능한 유효전력량은 계통전압의 실효값과 비례하여 감소한다. 저전압 보상기능을 가지는 풍력발전 시스템은 이러한 발전전력과 출력 가능한 전력 사이에서 발생하는 잉여전력을 소모, 저장하는 회로를 포함하여야 한다. 그림 2는 동적 제동기를 포함하는 백투백 컨버터를 나타낸다.

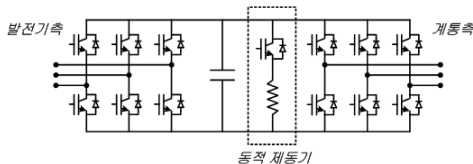


그림 2 동적 제동기를 포함하는 백투백 컨버터
Fig. 2 The back to beck converter with dynamic brake

동적 제동기는 직류단 캐패시터에 병렬로 연결되는 전력반도체 스위치와 수동저항으로 구성된다. 시스템의 정격 수준의 저항을 설계하면 모든 조건에서 발전기는 최대전력점 운전을 유지할 수 있지만, 정격운전 빈도가 낮은 풍력발전 시스템에서 과도한 설계가 될 수 있다. 하지만 저항에서 소모되는 전력을 너무 낮게 설정하면 사고발생시 발전기는 출력을 감소 시켜야 하고 이때 발전기의 속도가 증가하게 된다. 때문에 제동저항의 설계는 정격운전 조건 및 저전압보상 규정의 시간, 발전기의 최대 속도 등을 고려하여 설계 하여야 한다. 동적 제동기의 전력반도체 스위치는 컨버터의 직류단 전압의 최대값을 설정하고 이를 히스테리시스 제어 함으로써 온 오프를 결정한다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 3은 일반적인 벡터제어를 통한 계통연계 제어시의 출력 파형이다. 0.5초에 계통 a 상에 단상 지락이 발생하고 계통전원은 불평형 상태가 되었다. 출력 유효전력에는 계통전압이 완전히 복원되는 0.7초까지 120Hz의 리플이 발생하였고, 유효

전력 리플에 의해 직류단 전압도 맥동하여 동적 제동기에서 설정된 직류단 최대전압인 1250V를 초과함을 확인할 수 있다. 반면 그림 4는 제안하는 저전압 보상기법을 사용하였을 시의 출력 파형이다. 그림 3과 비교하여 유효전력 리플이 상당부분 저감되었고, 이로 인하여 직류단 전압의 최대값 역시 설정 전압을 초과 하지 않음을 확인할 수 있다.

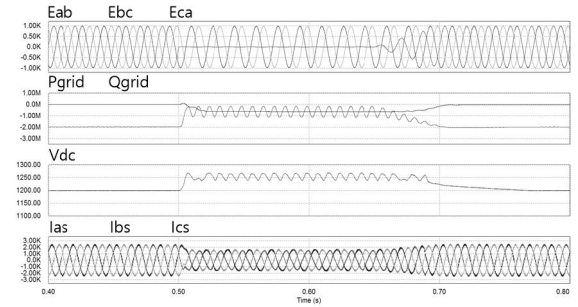


그림 3 단상 지락발생시 벡터제어 성능
Fig. 3 A performance of a vector controller under single phase fault

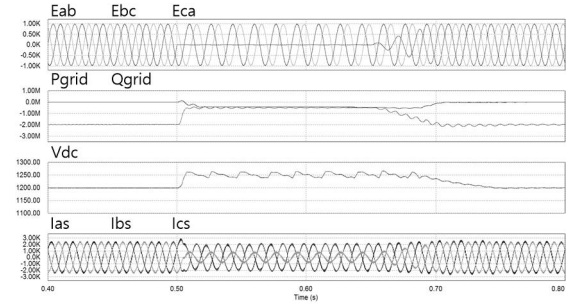


그림 4 단상 지락발생시 제안하는 저전압 보상기법의 성능
Fig. 4 A performance of a proposed algorithm under single phase fault

4. 결론

본 논문에서는 불평형 전원사고시 계통연계형 풍력발전 시스템의 저전압 보상기법을 제안하였다. 제안하는 저전압 보상기법은 듀얼 컨트롤러를 사용하여 풍력발전 시스템의 유효전력과 무효전력의 평균값을 제어하고, 유효전력의 리플을 제거함으로써 불평형 계통 사고시에도 시스템이 안정적으로 요구되는 운전을 지속할 수 있도록 한다. 2MW급의 시뮬레이션 결과를 통하여 제안하는 저전압 보상기법의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20110004685).

참고 문헌

[1] 이상혁, 정해광, 이교범, 최세완, 최우진, "PMSG를 이용한 풍력 발전 시스템의 3병렬 운전과 계통 연계 기술," 전력전자학회논문지, vol. 15, no. 4, pp. 296-308, Aug. 2010.
[2] S. M. Muyeen, R. Takahashi, T. Murata, and J. Tamura, "A Variable Speed Wind Turbine Control Strategy to Meet Wind Farm Grid Code Requirements," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.25, no.1, pp.331-340, Feb.2010.