리티움-이온 배터리를 이용한 풍력발전의 출력안정화 시스템 개발

오승진, 한병문

명지대학교

Development of the wind generation output stabilization with Lithium-ion battery

Seung – Jin Oh, Byung – Moon Han

초 록

This paper presents a simulation model and analysis of grid-tied wind turbine generator with batteries using the PSCAD/EMTDC software. The modeled system is consist of two inverters and one bidirectional DC/DC converter.

These inverter are to capture the maximum active power under varying wind conditions and to keep the DC-Link voltage magnitude at a specific level. And the bidirectional DC/DC converter makes battery charging or discharging depend on power gap between wind turbine output and local load. Aerodynamic models are applied for a wind turbine blade simulator.

1. 서론

최근 화석 에너지의 고갈에 따른 대체 에너지원에 대한 필요성과 동시에 지구 온난화, 환경 문제 해결에 대한 필요성이 대두됨에 따라 태양광, 연료전지 등 신재생 에너지에 의한 전력생산과 이의 활용에 대한 연구개발이 급속히 증가되고 있다. 풍력 발전은 그 중에서도 가장 경제성이 높고 설치 용량이 빠르게 증가하고 있는 에너지원이다. 하지만 풍력발전의 에너지원인 바람은 기상조건과 지형적인 특성에 따라 매 순간 불규칙하게 변동한다. 이러한 바람의 변동은 터빈이 회전축에 공급하는 토크 변동으로 나타나고 이 토크의 변동은 발전기가 생산하는 유효전력의 변동으로 나타나 결국에는 연계된 전력계통에 영향을 끼치게 된다. 따라서 풍력발전을 전력계통과 연계하여 안정적으로 운영하기 위해서는 에너지 보상 장치가 필요하게 된다. 에너지 보상 장치가 적용되었을 때 얻을 수 있는 장점은 계통의 안정화에 따른 전력 품질을 향상 시킬 수 있다.

본 논문에서는 풍속에 따라 수시로 변동하는 풍력 발전기의 출력을 실시간으로 보상하여 안정한 전력 공급을 할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안하는 보상장치의 동작과 성능을 분석하기 위해 풍력 발전기시스템과 배터리를 연계하여 PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

2. 본론

2.1 시스템 구성

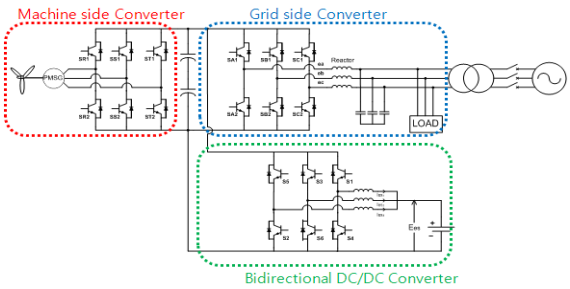

그림 1. 시스템 회로도

그림 1.은 전체적인 시스템 회로도를 나타낸 것으로 풍력발전 시스템측 인버터는 풍력발전 출력을 최대점으로 추종하는 최대출력점 제어를 수행하고 계통측 컨버터에서는 DC-Link로 공급되는 전력을 계통전원에 공급할 수 있도록 전력량을 조절하는 역할을 담당한다. DC-Link 전압을 일정하게 유지하도록 유효전력분 전류 지령치를 전류제어기에 인가하여 인버터 출력 측의 유효전력량을 결정한다. 마지막으로 양방향 DC/DC 컨버터에서는 풍력 발전량과 부하에서 소비하는 전력량을 비교하고 그 차이만큼의 에너지를 배터리에 충방전 할 수 있도록 배터리의 전력량을 제어하는 역할을 수행한다.

2.2 풍력터빈 시뮬레이터

블레이드의 공기역학적 특성과 기계적 특성을 바탕으로 주어진 풍속에 대해 발전기에 전달해줄 토크 값을 계산하여 발전기에 토크를 입력 해주는 풍력터빈 시뮬레이터를 개발하였다. 영구자석형 동기 발전기 회전속도는 스케일을 통하여 블레이드 회전속도로 변환되고, 풍속과 블레이드의 반경을 가지고 주속비를 구한다. 구해진 주속비와 피치각을 가지고 3차 함수로 모델링된 출력계수를 구하고 이 값으로 블레이드의 출력과 토크를 구하고 이 값을 스케일링 하여 10kW 영구자석형 동기 발전기에 적합한 토크를 산출한다.

2.3 발전기측 인버터 제어

발전기측 인버터에서는 풍력출력에 대한 최대출력점 제어를 수행하게 된다.

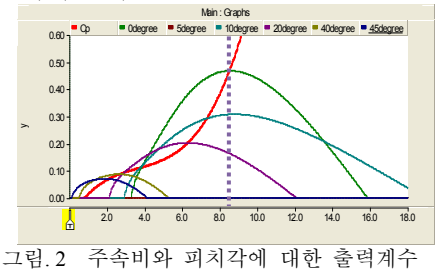

그림. 2 주속비와 피치각에 대한 출력계수

주속비란 블레이드가 회전할 때 블레이드의 끝이 그리는 원호의 접선방향의 속도와 풍속간의 비율로 다음과 같은 관계식으로 표현이 가능하다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}}$$

ω_{blade} : 블레이드의 회전 각속도
R_{blade} : 블레이드의 반경
V_{wind} : 풍속

$$\omega^{*}_{blade} = \frac{\lambda \cdot V_{wind}}{R_{blade}}$$

위와 같이 식을 변형하면 발전기가 특정 풍속에서 알맞은 회전각속도로 회전하면 일정한 주속비를 가질 수 있게 되고 이 값을 출력계수가 최대인 값에 맞게 동작시키면 풍력발전이 최대출력을 갖는 점을 추종할 수 있게 된다.

여기서 발전량이 정격출력인 10kW를 초과할 경우에는 피치각을 변화시켜 Cp값을 감소시킨다. 이로 인해 출력량이 정격을 넘지 않게 제어해준다.

2.4 에너지저장의 운용

그림 3.은 전력흐름도를 나타낸다.에너지저장은 DC-Link의 전력상황에 따라 충방전 동작이 자유롭게 이루어지며 에너지저장의 용량이 한계에 이르면 계통과의 수급관계가 행해짐으로써 시스템의 전력균형을 유지한다. 에너지 저장은 P_{PMSG}와 P_{LOAD}의 차에 의하여 충방전 동작을 수행한다. P_{PMSG}가 P_{LOAD}보다 클 경우에 충전모드로 동작하고 이때 충전되는 전력은 두 측정값의 차이가 된다. DC/DC컨버터에 의해 충전동작을 시작하며 배터리 전압이 설정한 최대 전압까지 증가하면 동작을 멈추고 이때 잉여전력은 계통으로 공급하도록 하며 배터리가 완전히 충전되지 않으면 계속하여 전력관리 제어를 수행한다. P_{PMSG}가 P_{LOAD}보다 작을 경우 방전모드 동작을 시작하고 이때 방전되는 전력은 두 측정값의 차이가 된다. 충전시와 마찬가지로 배터리 컨버터가 방전을 하다가 완전방전을 하게 되면 컨버터는 동작을 멈추고 이때의 부족한 전력은 계통으로 공급받으며, 배터리가 완전 방전되지 않으면 계속하여 전력관리 제어를 수행하도록 한다. 제어에 필요한 전력 값이 계산되면 배터리의 전압으로 나누어 전류값을 계산하게 되고 이 값이 전류제어 지령치로 입력되어 충방전 동작을 시작한다.

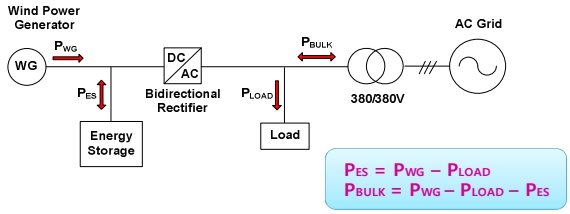

그림 3. 전력흐름도

2.5 전력관리 시스템

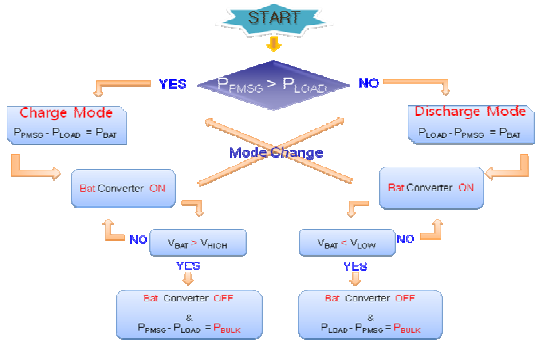

그림 4. 배터리 충방전 동작 알고리즘

그림 4. 와 같은 알고리즘으로 발전기로부터 출력이 충분히 커서 부하를 감당하고 에너지 저장장치에 충전되고도 남는 전력은 계통으로 보내지며, 발전기에서 출력이 부족하고 에너지 저장장치에서 공급하는 전력도 부하를 감당하지 못할 경우에는 계통으로부터 전력을 공급받는다.

2.6 시뮬레이션 결과

그림 5.는 가변하는 풍속에서 발전기 출력 변동과 배터리 연계시의 동작 특성을 모의한 시뮬레이션 결과 파형으로 시스템의 정격 풍속인 11.5[m/s]일 때 정격출력인 10kW를 출력하고 풍속이 정격을 초과한 경우 피치각을 변화시켜 정격출력을 발전하고 배터리는 5kW의 용량으로 풍력발전시스템의 출력이 부하에서 사용되어지는 것보다 높은 경우에는 에너지를 충전하고 있다가 에너지가 반대의 경우 에너지를 방출하여 계통에서는 에너지의 이동이 없는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 배터리의 용량이 한계치에 도달 했을 때에는 그 에너지의 잉여분을 계통에 공급하거나 공급 받는 것으로 시뮬레이션 동작을 수행하였다.

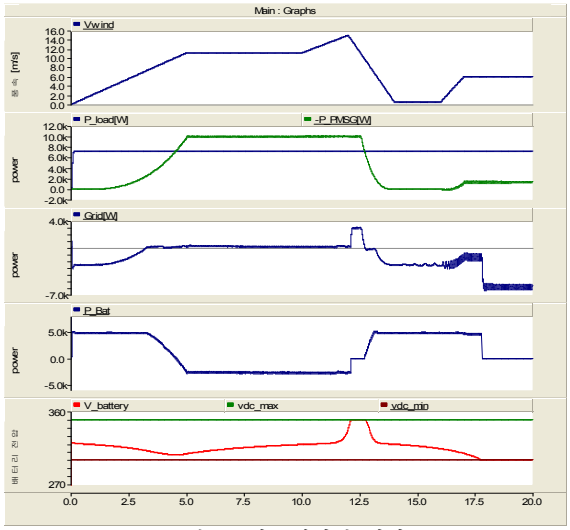

그림 5. 시뮬레이션 결과

3. 결론

본 논문은 풍력시스템과 에너지 저장장치를 이용하여 계통연계형 풍력발전 시스템에 대한 동장특성을 모의하고자 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발하고 시나리오를 통해 그 동작을 확인하였다. 다양한 시뮬레이션을 통해 제안하는 에너지 관리가 효율적으로 이루어지고 있음을 검증 할 수 있었다. 이후 이러한 시뮬레이션 모델을 바탕으로 하여 풍력발전 시스템 축소형 하드웨어 시뮬레이터를 제작하고 그 동작 특성을 확인해 볼 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Apllications", EV24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium.

[2] R. Lasseter and P. Paigi, “A conceptual solution”, IEEE PESC 2004, Aachen germany, June 20-25, 2004

[3] Z. chen, E. Spooner, “Grid Power Quality With Variable Speed Wind Turbines, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Vol. 16, NO. 2, JUNE 2001, pp.148-154.

[4] A. Murdoch, R. S. Barton, J. R. Winkelman, S.H. Javid, “Control Design and Performance Analysis of a 6MW wind Turbine Generator”, IEEE Transaction on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-102, NO. 5, May 1983, pp1340-1347.