

소형풍력 발전시스템의 과풍속 조건에서 제동 저항을 통한 과전압 방지 DC 전압 제어기 설계

양병익*, 송승호*, 임덕진**
 광운대학교*, 라온테크**

Design of Small Wind Power System DC Voltage Controller for Over-Voltage Protection through Dynamic Brake Resistor at Over-Wind Speed Condition

Byung Ik Yang*, Seung Ho Song*, Lim Duk Jin**
 Kwangwoon Univ.* Lareun Tech Inc.**

ABSTRACT

풍력 발전 시스템에서 정격 풍속 이상의 바람에 대응하기 위해서는 일반적으로 전기적 브레이크와 기계적 브레이크가 요구된다. 기계적 브레이크는 상대적으로 응답성이 느리며 그 시간 동안 발전기 rpm 증가에 따른 DC전압 상승에 대응하는 전기적 브레이크의 역할이 시스템 안정성에 있어 매우 중요한 요소이다. 전기적 브레이크 중에서도 소형풍력 발전시스템에서는 DB(Dynamic Brake)저항을 통해 부하를 걸어주는 방식이 주로 쓰인다.

DB 저항 구동에 있어 히스테리시스 루프에 기반한 PWM제어가 일반적으로 통용되는 방식이다. 이러한 방식과 비교하여 제어 안정성, 전압 오버슈트 등의 면에서 우수한 DB저항 제어 방식을 제안하며 히스테리시스 방식과 과도상태 정상상태 특성 비교 및 성능 분석을 시뮬레이션 결과를 통해 제시한다.

1. 서론

최근 풍력 발전은 바람에너지로부터 무공해의 에너지를 얻을 수 있는 환경 친화적인 시스템으로 신재생 에너지 분야에서 각광받고 있다. 지금까지 블레이드로부터 최대 전력을 얻을 수 있는 알고리즘(MPPT), 전력변환기의 효율 향상을 위한 토폴로지 및 구조에 대한 연구 및 풍력 발전 시스템을 안정적으로 구축하기 위한 제어 방법에 대한 연구가 계속 진행되고 있지만 소형풍력 발전 시스템에서 과풍속시 보호 방법에 대한 연구는 잘 알려져 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 과풍속시 시스템 보호를 위한 DB저항을 이용한 과전압 방지 DC 전압제어기 설계 방법을 제시한다.

2. 소형 풍력 시스템 및 DB 저항 모델링

소형풍력 발전시스템은 블레이드와 동기발전기, 정류기, 부스트 컨버터 그리고 계통연계 인버터로 시스템이 구성된다.

2.1 소형 풍력 시스템 모델링

해당 업체의 블레이드 특성($C_p - \lambda$ Curve) 및 발전기 파라미터를 반영하여 풍력 터빈을 모델링 하였으며 일반적으로 인버터는 DC측 전압을 입력받아 부스트 컨버터 전류제어를 통해 출력을 결정하는 방식이 일반적이다. MPPT 및 정출력 제어는 Look up table 방식을 통해 부스트 컨버터 전류제어를 함으로

써 구현하였다^[1].

2.2 DB(Dynamic Brake)저항

정격 풍속 이상의 영역에서는 시스템의 정격보다 더 큰 파워가 블레이드를 통해 들어온다. 따라서 블레이드의 회전 속도가 증가하게 되며 이에 따른 발전기 출력 AC 전압과 정류기로 출력되는 DC전압 역시 상승하게 된다. 따라서 그림. 1과 같이 이러한 잉여의 파워를 용량한계(P_{DBMAX}) 내에서 태워주고 과전압을 방지해줄 수 있는 방법이 요구된다. 일반적으로 전기적 보호 장치는 DB(Dynamic Brake) 저항이 주로 사용되며 히스테리시스 제어 방식이 널리 통용된다.

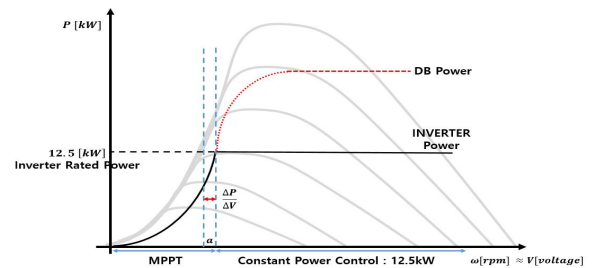


그림. 1 소형풍력 발전시스템의 인버터 출력과 DB저항 소비 전력

Fig. 1 Inverter output and DB resistance power consumption of small wind power generation system

2.2.1 히스테리시스 DB 제어 방식

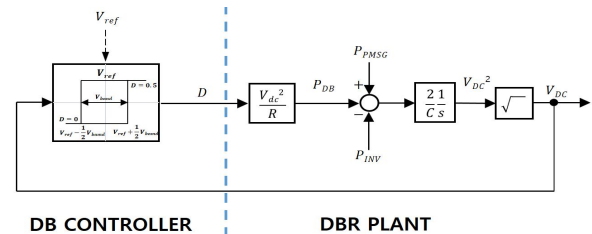


그림. 2 히스테리시스 DB저항 제어 방식

Fig. 2 Hysteresis DB resistor control algorithm

히스테리시스 DB 제어 방식의 블록도는 그림. 2과 같다.

$V_{ref} - \frac{1}{2} V_{band}$ 의 전압에서 DB저항이 턴온되며

$V_{ref} + \frac{1}{2} V_{band}$ 의 전압에서 DB저항이 턴오프되는 방식이다.

위의 히스테리시스 제어 방식은 관성 요소로 인하여 턴온이 되더라도 전압이 바로 떨어지지 않고, 반대로 턴오프 되더라도 전압이 바로 올라가지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제로 인해 풍속변동이 심한 경우에는 이에 대응하지 못하고 과전압으로 인버터가 트립하는 경우가 잦다.

2.2.2 제안하는 가변듀티 DB 제어 방식

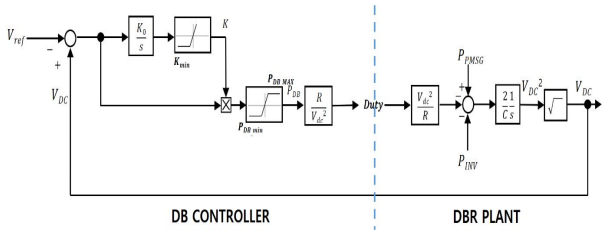


그림. 3 제안하는 DB저항 제어 방식
Fig. 3 Proposed DB resistor control algorithm

제안하는 DB 제어 방식은 그림. 3과 같이 블록도로 나타낼 수 있으며 정류기 출력 DC 전압을 V_{ref} 의 전압으로 제어하는 방식이다. 히스테리시스 제어 방식은 턴온되면 즉시 고정듀티로 DB저항을 구동하는데 반해 제안하는 DB저항 제어 방식은 레퍼런스 전압으로 제어하도록 제어기 가변듀티 출력에 따른 DB저항 구동 방식이다. 따라서 식(1)과 같이 전압오차 $V_{err} = (V_{DC} - V_{ref})$ 값이 증가하면 할수록 누적되게 되며 이에 따라 자동으로 DB저항 한계 용량 범위 안에서 듀티를 증가해 소비하는 파워의 양을 증가시키고 전압은 점차 V_{ref} 에 수렴하게 된다.

$$P_{DB} = (V_{DC} - V_{ref})(K_0 * \int (V_{DC} - V_{ref})dt) \quad (1)$$

$$K = (K_0 * \int (V_{DC} - V_{ref})dt) \quad (2)$$

제어기 게인(K)은 식(2)와 같으며 물리적으로 전력 상승량/전압 상승량 ($\Delta P/\Delta V$)으로 볼 수 있다. 풍속 변동에 대응하기 위해서 초기 빠른 응답성을 갖도록 설계함이 중요한데 적절한 셋팅값보다 작다면 과풍속 조건에서 오버슈트가 크며 DC 전압이 전압 제한을 넘을 수 있다. 따라서 제어기 게인의 최소값 (K_{min})을 선정해야 하는데 이 값은 그림. 1의 정출력 제어 직전 MPPT 제어를 하는 마지막 구간 a영역의 전력 상승량/전압 상승량 ($\Delta P/\Delta V$)의 값으로 제어기 이득의 최소값을 선정할 수 있다.

2.2.3 히스테리시스 방식과 제안하는 방식 비교

그림. 4는 과풍속 조건에서 히스테리시스 방식과 제안하는 방식의 속도와 전압 축에서 관찰한 PSIM 시뮬레이션 결과 파형이다. 과풍속 조건에서 히스테리시스 DB제어 방식은 턴온과 턴오프를 반복하면서 전압과 DB로 소비하는 부하의 변동이 나타난다. 이때 전압 변동이 크면 그만큼 인버터 출력 변동 또한 찾아진다. 반면 제안하는 제안하는 DB제어 알고리즘은 V_{ref} 의 전압으로 일정하게 제어하므로 전압 변동이나 부하의 변동 측면에서 상대적으로 우수함을 확인할 수 있다.

그림. 5를 통해 실제 블레이드 파라미터를 반영해 유도한 $C_p - \lambda$ curve 위에 그림.4 PSIM 시뮬레이션 결과를 대입하여

제안하는 알고리즘과 히스테리시스 방식의 DB저항 동작점을 확인할 수 있다. 이를 통해 시뮬레이션 결과가 풍력 터빈 동작점 위에서 잘 동작함을 검증할 수 있다.

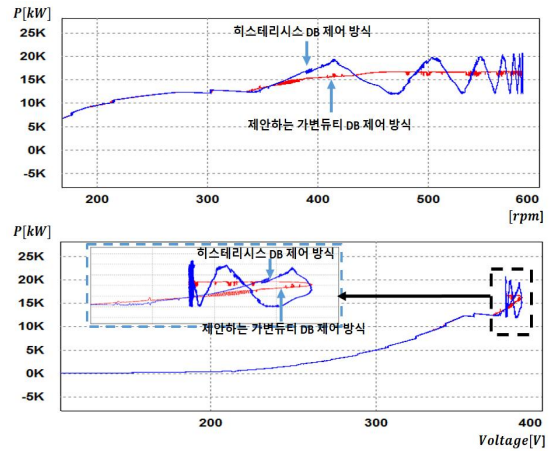


그림. 4 Rpm과 전압 스케일에서 본 전압 제어기 특성
Fig. 4 Characteristics of Voltage Controller in Rpm and Voltage Scale

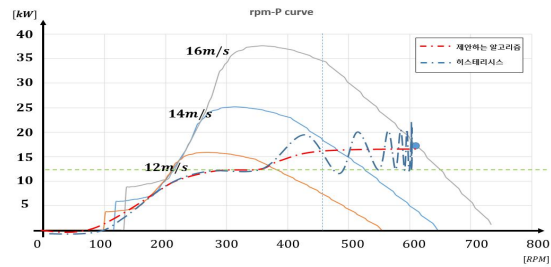


그림. 5 $C_p \lambda$ 특성을 반영한 풍속별 Rpm Power 커브 상의 DB 동작점 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result of DB operating point on Rpm Power curve by wind velocity reflecting $C_p \lambda$ characteristics

3. 결론 및 향후계획

제안하는 방식이 전압의 변동과 시스템 출력 변동 측면에서 안정적이며 풍속변동에 잘 대응할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증했다. 향후계획으로 Hils와 공장시험, 현장시험을 통한 실험적 검증이 이루어지고 있으며 추후 Rpm 요소까지 고려한 과전압 과속도 알고리즘 연구를 진행할 예정이다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20153010024470)

참고 문헌

- [1] Song Seung Ho "Implementation and control of grid connected AC DC AC power converter for variable speed wind energy conversion system" Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE