

PMSG의 가변 풍속 발전시스템을 위한 퍼지제어 기반의 MPPT 제어

장미금¹, 정동화¹, 송성근², 김대경²

¹순천대학교, ²전자부품연구원

Fuzzy Logic based MPPT control for the Variable Speed Wind Turbine Energy of the PMSG

Mi Geum Jang¹, Dong Hwa Chung¹, Sung Geun Song², Dae Kyong Kim²
Sunchon National Univ.¹, Korea Electronics Technology Institute²

ABSTRACT

본 논문에서는 PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator)의 가변속 고정피치(Variable Speed Fixed Pitch) 풍력발전시스템을 위한 FLC를 기반으로 하는 최대 전력점제어(MPPT) 알고리즘을 제시한다. 최근에는 풍속변화에 대응하여 최대전력을 발생시킬 수 있는 가변속 풍력발전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 국내의 지형적 조건에 따른 바람의 영향으로 풍력발전 시스템의 MPPT제어가 반드시 필요하다. 종래의 풍력발전 MPPT 제어는 응답속도 등에 대한 문제점이 나타난다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 파라미터 변동에 강인한 FLC를 기반으로 하는 최대 전력점제어(MPPT)를 제시한다. 또한 본 논문에서 제시한 알고리즘은 시뮬레이션 결과를 통해 타당성을 입증한다.

1. 서론

영구자석 동기 발전기(PMSG)는 유도발전기(DFIG)보다 더 높은 효율성을 갖고 있는 최적화된 특성 때문에 가변속 풍력발전기에서 널리 사용된다.^[1]

국내의 풍력발전 시스템은 풍향이나 풍속이 비교적 안정되어 있는 유럽이나 미국과 비교해 볼 때, 산지가 많아 바람이 난류가 되기 쉽다. 또한 풍향이나 풍속이 수 십초 간격으로 변화되기 때문에 바람의 에너지를 항상 최대로 이용할 수 있는 최대전력추종 제어기가 매우 중요하다. 종래의 풍력발전 제어 시스템은 피치제어 시스템 및 스톱제어 시스템 기법이 사용되었다. 그러나 제어방법이 복잡하며 출력전력을 정출력으로 제어하는 방법이 아니라 기계적인 방법으로 제어하기 때문에 추가적인 전력변환 장치가 필요하다.^[2, 4] 또한 전력변환 장치에서 최대전력점 추종제어를 수행하는 HCS 기법이 널리 사용되고 있으나 바람의 변화에 대한 응답속도 및 효율 등의 문제점이 있다.^[5]

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 파라미터 변동에 강인성 제어가 가능한 FLC 제어를 이용한 새로운 MPPT 제어 알고리즘을 제시한다. 제시한 FLC 제어 알고리즘은 종래의 제어방법과 응답특성을 비교하여 타당성을 입증한다.

2. 시스템 모델링

풍력 발전 시스템에서, 풍속 V_{wind} 의 바람이 불 때, 풍속이 가지는 에너지는 다음과 같이 나타난다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p \quad (1)$$

$A = \pi R_{blade}^2$ 는 블레이드의 회전 단면적 [m^2] 이고, ρ 는 공기의 밀도로 해수면으로부터 약 $1.25 [kg/m^3]$ 를 나타내며 V_{wind} 는 풍속으로 [m/s]이다. C_p 는 에너지 출력계수(Power Coefficient)로서 공기가 가지고 있는 역학적 에너지가 블레이드를 거쳐 블레이드의 기계적 에너지로 변화할 때의 그 효율을 말한다. 블레이드의 형상은 블레이드 제작단계에서 결정되므로 블레이드의 피치각이 고정되었다고 가정하면, 풍속과 블레이드의 회전속도와와의 비율인 주속비(λ)가 출력계수를 결정하는 주요 변수가 된다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \quad (2)$$

ω_{blade} : 블레이드의 회전 각속도[rad]

R_{blade} : 블레이드의 회전자 반경[m]

블레이드에서 발전기에 공급하는 에너지는 토크의 형태로 전달되며, 블레이드에서 발전기와 연결된 축에 공급하는 토크는(T_{blade})는 다음과 같다.

$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega_{blade}} \quad (3)$$

3. 제안한 MPPT 제어

3.1 시스템 구조

그림3은 VSWT 시스템의 블록다이어그램으로, PMSG는 바람으로부터 추출된 전력을 단상인버터를 통해 계통으로 공급하기 위해 VSWT에 의해 운전된다.

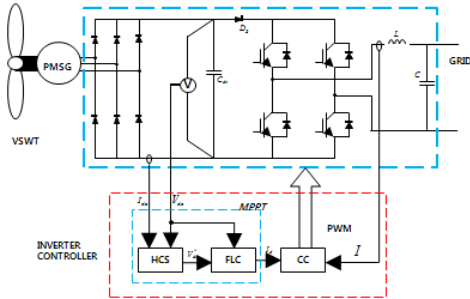


그림 1 PMSG VSWT 발전기의 블록다이어그램
Fig. 1 Block diagram of PMSG VSWT generation system

3.2 전압제어를 위한 FLC 설계

풍력터빈의 $C_p - \lambda$ 특성으로부터, 특정 풍속에서 터빈의 기계적 전력 P_m 은 V_{dc} 의 함수에 의해서 유도된다. 최적의 V_{dc} 는 최대 P_m 일 때 존재하고, HCS(Hill Climbing Search) 방법을 이용한다. 내부루프의 FLC는 V_{dc} 가 V_{dc}^* 를 추종하도록 설계된다. FLC는 Mamdani 타입을 채택하며 FLC의 2개 입력값은 V_{dc} 의 오차와 오차변화분이다. FLC의 출력은 전류증분(ΔI_{dm})값이다. 그림 3은 전압제어를 위한 FLC 제어기의 멤버쉽함수를 나타낸다. 여기서 사용된 규칙은 49 퍼지룰을 이용하였다. 또한 무게중심법을 이용하여 비퍼지화를 수행하였으며 ΔI_{dm} 를 출력하기 위해 비정규화 된다.

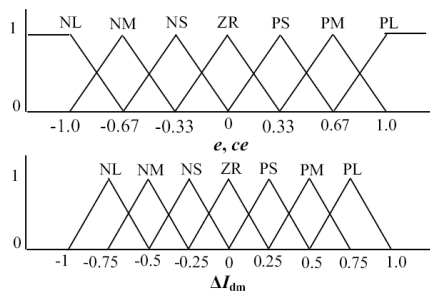


그림 3 Fuzzy 변수의 멤버쉽함수
Fig. 3 Membership functions for fuzzy variables

4. 시스템 성능결과

MPPT 제어는 DLL을 이용하여 PSIM으로 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 터빈에 입력되는 풍속을 나타내며 $6[m/s] \rightarrow 12[m/s] \rightarrow 8[m/s]$ 로 변하고 있다.

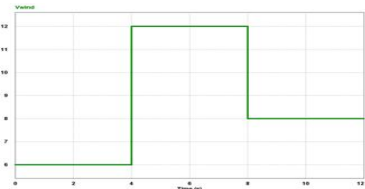


그림 4 터빈에 입력되는 풍속
Fig. 4 Wind speed of inputted to Turbine

그림 5는 PI 제어기 기반의 HCS 방법을 이용한 MPPT 제어 방법으로 그림 5(a)는 출력전력, 그림 5(b)는 오차를 나타낸다. 평균 오차 변동폭이 $43[W]$ 로 전력손실이 크게 나타남을 알 수

있다.

그림 6은 제안한 퍼지 기반의 MPPT 제어 방법으로 (a) 출력전력과 (b) 전력오차를 나타낸다. 제안한 방법의 오차 변동폭은 $12[W]$ 로 종래의 방법에 비해 전력손실이 적게 나타남을 알 수 있다.

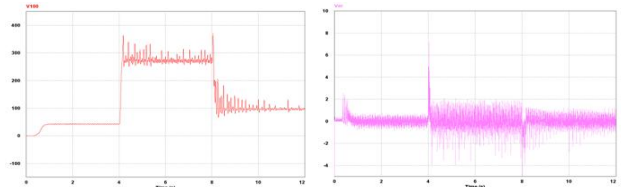


그림 5 종래의 HCS 방법
Fig. 5 conventional HCS Method

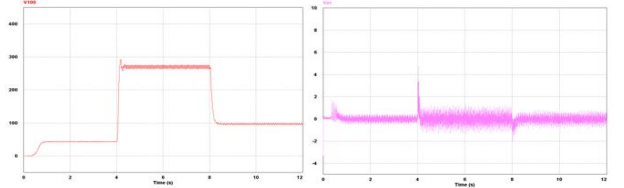


그림 6 제안한 퍼지 기반 방법
Fig. 6 proposed Fuzzy based Method

5. 결론

본 논문에서는 PMSG의 가변 풍속발전 시스템을 위한 Fuzzy Logic을 기반으로 한 MPPT 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법이 종래의 HCS 방법과 비해 풍속이 변하는 경우 오차 변동폭이 약 $12[W]$ 로 크게 감소하여 전력손실을 줄일 수 있었으며 이로써 본 논문의 타당성을 입증하였다.

본 논문은 호남광역경제권 선도산업육성사업의 "MW급 풍력발전기용 전력변환기 스택개발지원"과제의 지원으로 연구되었음

참고 문헌

- [1] A. O. Di Tommaso, R. Miceli, G. Ricco Galluzzo, and M. Trapanese, "Optimum Performance of Permanent Magnet Synchronous Generators Coupled to Wind Turbines," in conf. Rec. IEEE PES2007, pp. 1 7, 2007.
- [2] Snag Geun Han, Min Won Park, In Keun Yu, "Study on the simulation for synchronous generator type wind power system using PSCAD/EMTDC", ICEE, Vol. 1, pp. 161 165, 2002.
- [3] E. Muljadi and C.P. Butterfield, "Pitch controlled variable speed wind turbine generation", IEEE Trans on Industry Application, Vol. 37, No. 1, pp. 240 246, 2001
- [4] Siegfried Heier, "Grid Integration of wind energy conversion system", John Wiley & Sons Ltd, pp. 17 19, 120 121, 1998.
- [5] V. Agarwal, R. K. Agarwal, P. Patidar, and C. Patki, "A novel scheme for rapid tracking of maximum power point in wind energy generation systems," IEEE Trans. Energy Convers, vol. 25, no. 1, pp. 228 236, 2010.