

풍력발전 시스템의 최대전력점 추종 제어를 위한 FLC 구현

장미금*, 송성근**, 오승열**, 최정식**, 정동화*
 순천대학교*, 전자부품연구원**

FLC Implementation for Maximum Power Point Tracking Control of Wind Turbine System

Mi-Geum Jang*, Jung-Sik Choi**, Sung-Geun Song**, Seung-Yeol Oh**, Dong-Hwa Chung*
 Sunchon National Univ.*, Korea Electronics Technology Institute**

ABSTRACT

최근에는 풍속변화에 대응하여 최대전력을 발생할 수 있는 가변속 풍력발전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이며 국내의 지형적 조건에 따른 바람의 영향으로 풍력발전 시스템의 MPPT제어가 반드시 필요하다. 종래의 풍력발전 MPPT 제어는 풍속변화에 대한 응답속도 등에 대한 문제점이 나타난다. 따라서 본 논문에서는 파라미터 변동에 대해 강인성 제어가 가능한 FLC(Fuzzy Logic Control)을 기반으로 한 풍력발전시스템의 MPPT 제어를 제안하고, 시뮬레이션 결과를 통하여 타당성을 입증한다

1. 서 론

가변속 풍력발전 시스템은 전력변환 장치를 통해 풍속의 변동에 따라 발전기의 운전속도를 조절함으로써 블레이드가 최적 효율 지점에서 운전될 수 있도록 제어할 수 있는 장점이 있다.^[1] 이러한 가변 풍속시스템은 같은 바람의 조건에서 출력을 최대로 얻기 위해 최대전력점 추종제어가 반드시 필요하다. 종래의 최대전력점 추종제어 기법은 TSR(Tip Speed Ratio)제어, PSF(Power Signal Feedback)제어 및 HCS(Hill Climbing Searching)제어 등이 있다.^[2] 이 중 HCS 제어는 시스템에 상관없이 최대전력점 추종이 가능하여 매우 광범위하게 사용된다. 그러나 급격한 바람의 변화조건에서 응답속도가 느리고 최대전력점 추종 실패 및 시스템 효율이 떨어지는 단점이 있다.^[3-4]

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 파라미터 변동에 강인성 제어가 가능한 FLC를 기반으로 하는 풍력발전 시스템의 MPPT 제어를 제안한다. 제시한 FLC 제어 알고리즘은 PSIM 시뮬레이션을 통해 타당성을 입증한다.

2. FLC MPPT 알고리즘

FIC는 2개의 입력변수를 갖으며 샘플링 구간 k 에서의 입력 변수 $E(k)$ 와 $CE(k)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E(k) = \frac{V_{dc}(k) \cdot I_{dc}(k) - V_{dc}(k-1) \cdot I_{dc}(k-1)}{V_{dc}(k) - V_{dc}(k-1)} \quad (1)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (2)$$

퍼지언어 변수는 7단계, 즉 PB(Positive Big), PM(Positive Middle), PS(Positive Small), ZO(Zero), NS(Negative Small), NM(Negative Middle), NB(Negative Big)로 정하였으며, 그림 2는 입·출력에 대한 7개의 기본 언어변수에 따른 삼각형 모양의 소속함수를 나타낸다.

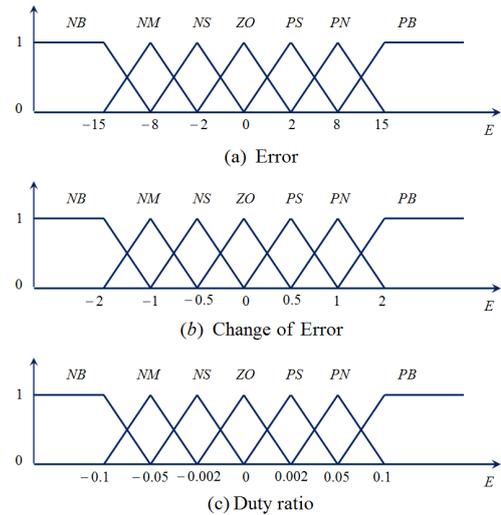


그림 1 오차와 오차변화분 및 시비율에 대한 멤버십 함수
 Fig. 1 The membership function for the E, CE and DU

표 1은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 여기서는 행렬의 각각의 요소들은 E (error), CE (change of error)와 컨버터의 시비율 변화량 dD 를 나타낸다.

표 1에서 제어규칙의 한 가지 예를 들면 아래와 같다.

“IF E is PB AND CE is ZO THEN DU is PB.”

즉, 전압에 대한 전력의 특성곡선에서 기울기가 매우 크고 그 기울기에 대한 변화량이 없으면 제어 출력값을 매우 크게 증가시키라는 의미이며 또한 입력신호인 오차 E 를 'Zero'로 취하는 의미는 시비율이 '0'이 되도록 제어규칙을 설계한다.

표 1 FLC 규칙 베이스
Table 1 FLC Rule Base

CE E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

3. 시스템 성능 결과

MPPT 제어는 PSIM을 사용하였으며 각각의 MPPT 회로도 로 그림 3과 같이 구성하였다

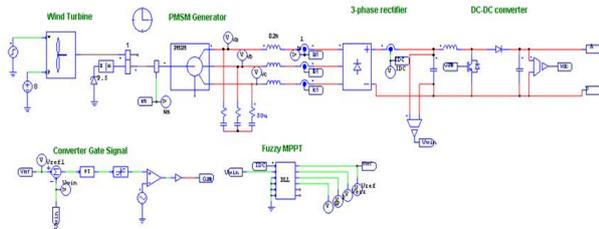


그림 3 MPPT 제어를 위한 PSIM 회로도
Fig. 3 PSIM circuit for MPPT control

그림 4는 바람속도가 2[m/s]에서 12[m/s]로 증가한 경우 시스템 응답 성능 결과를 나타낸다. 풍속이 증가함에 따라 인버터의 출력전력이 최대전력점으로 빠르게 추종함을 알 수 있으며 발전기의 실제 회전 속도도 최적속도에 양호하게 추종함을 알 수 있다.

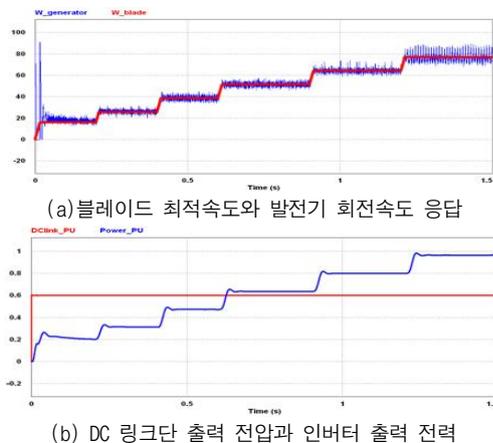


그림 4 바람속도변화에 대한 시스템 응답 특성(2→12[m/s])
Fig. 4 System response characteristics about wind speed variation(2→12[m/s])

그림 5는 바람속도가 12[m/s]에서 2[m/s]로 감소한 경우 시스템 응답 성능 결과를 나타낸다. 속도가 감소하여도 최대전력점 추종의 우수한 결과를 알 수 있으며 마찬가지로 발전기의 실제 회전 속도도 적절히 제어됨을 알 수 있다.

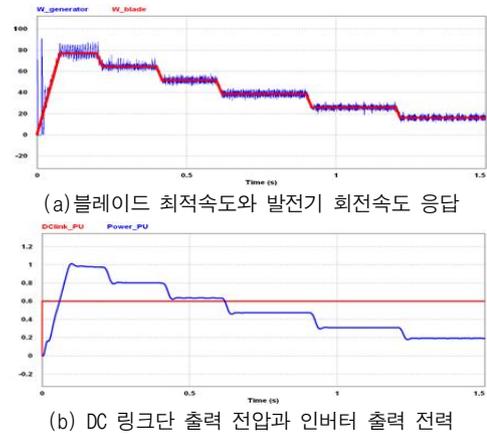


그림 5 바람속도변화에 대한 시스템 응답 특성(12→2[m/s])
Fig. 5 System response characteristics about wind speed variation(12→2[m/s])

4. 결론

본 논문에서는 바람의 속도변화에 대한 강인성을 위해 FLC 제어를 이용한 풍력발전시스템의 MPPT 제어를 제안하였다. 제시한 FLC 제어기는 풍속이 증가하거나 감소하는 경우에도 빠르게 정상상태에 도달하여 양호한 응답특성을 나타내었다. 이로써 본 논문에서 제시한 FLC 제어 알고리즘의 타당성을 입증할 수 있었다.

본 논문은 호남광역경제권 선도산업육성사업의 “대용량 해상풍력발전기용 VSC-MVDC 시스템 기술 개발” 과제의 지원으로 연구되었음

참고 문헌

- [1] 정병창, 임종연, 송승호, “가변속 풍력발전 시스템의 계통연계 인버터 출력 전류 리플 개선에 관한 연구”, 2003 대한전기학회 춘계학술대회, pp.369-372, 2003
- [2] Quincy Wang, An intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems, Proceedings of IEEE, vol 19 No. 19, pp. 1242-1249, 2004.
- [3] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, “Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method,” IEEE Trans. Power Electron, vol. 20, no. 4, pp. 963-973, 2005.
- [4] D. Sera, R. Teodorescu, J. Hantschel, and M. Knoll, “Optimized maximum power point tracker for fast-changing environmental conditions,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 7, pp. 2629-2637, 2008.