

유도 전동기의 직접 토크 제어에 의한 풍력 발전 시스템 시뮬레이터

안민호, 이경규, 최재호
충북대학교

Wind turbine simulator using direct torque control of induction motor

Minho Ahn, Kyungkyu Lee, Jaeho Chio
Chungbuk National University

ABSTRACT

풍력 발전 시스템은 풍력 터빈이 바람에 의해 회전함으로써 발전이 된다. 실험실에서 풍력 발전 시스템을 연구하기 위해서는 바람이 하는 역할을 별도의 모터를 사용하여 회전시켜 주어야 하는데 본 논문에서는 유도전동기의 직접 토크 제어를 이용하여 풍속 데이터를 가지고 상응하는 토크의 지령치로 환산하여 풍력 에너지를 모델링 하였다. 이렇게 발전된 에너지를 최대의 효율로 전달하기 위해서는 MPPT기능이 수행되어야 하며 별도의 센서가 필요없는 Fuzzy MPPT를 수행하였다.

1. 서론

에너지 자원 부족 및 환경문제 등으로 인해 전기의 수요를 충족시키는 것에 대한 한계에 다다르고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 신재생 에너지 개발이 활발히 이루어지고 있으며 그 중 풍력 에너지는 전 세계의 많은 지역에서 이용이 가능하고 저렴한 장점을 가지고 있다. 본 논문은 실험실에서 풍력 발전 시스템을 연구하기 위해 유도 전동기의 직접 토크 제어를 이용하여 풍력 발전기를 모델링 하였으며 별도의 토크나 속도 센서가 필요없는 Fuzzy MPPT를 수행하였으며 풍속이 스텝 조건일 경우와 실제와 같이 변하는 조건하에서 시뮬레이션 및 실험을 진행하였고 이를 통해 타당성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 풍력 발전 터빈 모델

풍력 터빈에 의해 가져온 전력은 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$P_{wt} = C_p(\lambda, \theta) \times \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

식 (1)에서 C_p (Power Coefficient)는 전력 계수, ρ 는 공기밀도(1.275kgm^{-3}), A 는 로터의 수평면적(m^2), v 는 풍속(m/s)이다. 선단 속도 비율은 식 (2)에 나타나 있다.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{v} \quad (2)$$

Ω 은 로터의 회전속도(rad/s), R 은 블레이드의 반지름(m)이다.

$$C_p(\lambda, \theta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \theta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (3)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.008\theta} - \frac{0.035}{\theta^3 + 1} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)는 전력 계수를 구하기 위해 필요한 식이고 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ 는 터빈 계수이다.^[1]

$$T_{wt} = \frac{P_{wt}}{\omega} \quad (5)$$

$$T_e = T_{wt} + J \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

식 (5)는 풍력 터빈의 토크 지령치를 구하기 위해 토크를 계산하는 식이고 식 (6)은 계산된 풍력 터빈의 토크 지령치를 기계적인 토크 지령치로 변환하는 식이다.

2.2 유도전동기의 수학적 모델

전동기의 해석 및 제어를 위해서 전동기의 동특성을 살펴볼 필요가 있다. 이를 위해서 유도 전동기를 나타내는 수학적 모델이 필요한데 이것은 주로 전압 방정식으로 표현된다. 식 (7)은 고정좌표계에서의 고정자 d 축 전압 방정식이다.

$$\vec{v}_{dqs}^s = R_s \vec{i}_{dqs}^s + \frac{d\vec{\lambda}_{dqs}^s}{dt} \quad (7)$$

식 (7)을 적분함으로써 식 (8)과 같이 고정자 자속 식을 구할 수 있다.

$$\vec{\lambda}_{dqs}^s = \int (\vec{v}_{dqs}^s - R_s \vec{i}_{dqs}^s) dt \quad (8)$$

식 (8)을 이용하여 고정자 자속의 크기와 자속의 위치를 구해낼 수 있다.

$$|\lambda_s| = \sqrt{(\lambda_{ds}^s)^2 + (\lambda_{qs}^s)^2} \quad (9)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda_{qs}^s}{\lambda_{ds}^s} \right) \quad (10)$$

실제 토크는 식 (11)을 이용하여 구할 수 있다.^[2]

$$T_e = \frac{3}{2} P (\lambda_{ds}^s i_{qs}^s - \lambda_{qs}^s i_{ds}^s) \quad (11)$$

2.3 직접토크제어의 구성

그림 1은 직접토크제어를 사용하여 유도전동기를 구동시키기 위한 전체 제어 블록도이다. 풍속 데이터를 입력하여 토크 지령치를 산출하기 위한 부분과 실제 토크와 자속을 계산하는 부분이 있고 이렇게 산출된 토크와 자속의 변화값을 이용하여 히스테리시스 밴드 제어를 하는 부분, 또 마지막으로 스위칭 테이블을 이용한 스위치 로직으로 구성되어 있다.

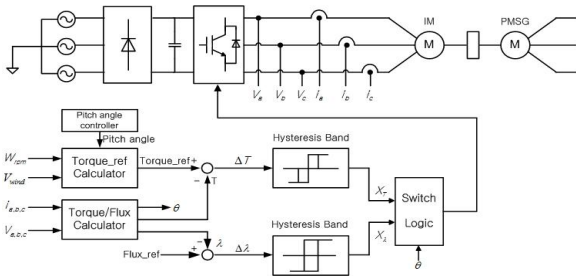


그림 1 직접토크제어의 제어기 블록도
Fig. 1 Control block of direct torque control

2.4 속도 센서가 필요 없는 Fuzzy MPPT

풍력 발전 시스템에서 발전된 에너지를 최대의 효율로 전달하기 위해서는 최대 전력 점 추종(MPPT)을 수행해야 한다. 일반적으로 P&O방식이 널리 쓰이고 있지만 본 논문에서는 그 능력이 더 뛰어난 Fuzzy MPPT를 사용하였고 별도의 토크나 속도 센서가 필요 없는 방법을 수행하였다. 그림 2는 Fuzzy MPPT 제어기의 전체 블록도를 나타내고 있다.

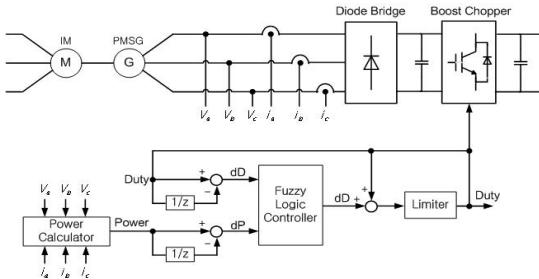


그림 2 Fuzzy MPPT 제어기 블록도
Fig. 2 Control block of Fuzzy MPPT

2.5 시뮬레이션 및 실험결과

본 논문의 풍력발전시스템 시뮬레이터의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 전체적인 구성은 풍속이 스텝 조건일 경우와 실제 풍속일 경우로 나누어서 진행하였으며 최대 전력 점을 추종하고 있는지 확인하였다.

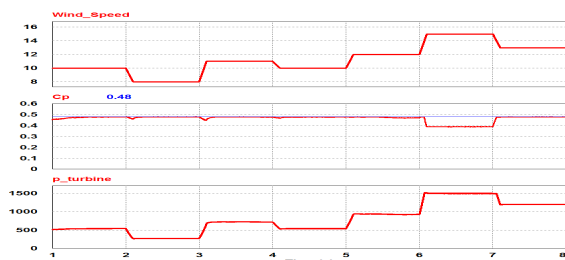


그림 3 스텝 풍속 조건일 때의 Cp와 터빈의 전력
Fig. 3 Cp and turbine power under step condition

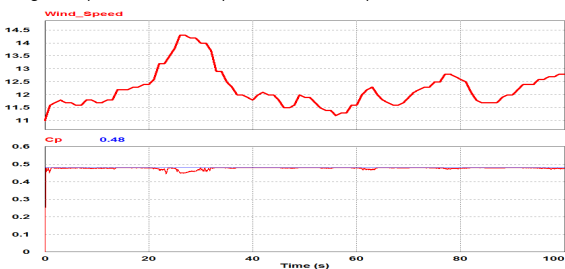


그림 4 실제 풍속 조건일 때의 Cp
Fig. 4 Cp under real wind speed

그림 3과 4에서 보는바와 같이 두 가지 조건 모두 최대의 Cp값인 0.48부근을 추종하고 있음을 확인할 수 있고 피치 각 제어를 통해 정격전력인 1.5kW를 넘어서지 않는 것을 확인할 수 있다.

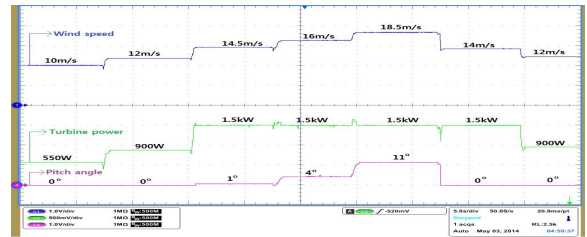


그림 5 스텝 풍속 조건일 때의 터빈의 전력과 피치 각
Fig. 5 Turbine power and pitch angle under step condition

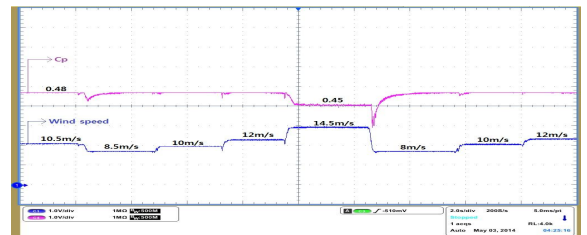


그림 6 스텝 풍속 조건일 때의 Cp
Fig. 6 Cp under step condition

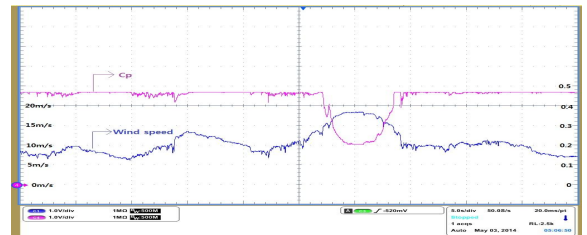


그림 7 실제 풍속 조건일 때의 Cp
Fig. 7 Cp under real wind speed

그림 5, 그림 6, 그림 7은 실험과형으로써 그림5는 정격 전력을 초과하지 않도록 피치 각 제어를 나타낸 파형이고 그림6은 스텝 조건에서의 전력 계수를 나타내었으며 그림7은 실제 풍속 조건일 때의 전력 계수를 나타낸 파형이다. 두 조건 모두 최대의 전력계수인 0.48을 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 1.5kW급 풍력 발전 시스템의 시뮬레이터를 구성하기 위해 직접 토크 제어를 사용하여 유도전동기를 구동시켰으며 최대의 전력을 전달하기 위해 별도의 속도나 토크의 센서가 필요 없는 Fuzzy MPPT 알고리즘을 적용시켰다. 스텝조건과 실제 풍속 조건 하에서의 경우를 고려하였으며 전력 계수가 최대인 점인 0.48 부근을 추종하고 있음을 시뮬레이션 및 실험을 통해 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Siegfried Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems," John Wiley & Sons Ltd, 1998.
- [2] 김상훈, "DC,AC,BLDC 모터제어", 북두출판사, pp.189-210, 2010.
- [3] Bimal K. Bose, "Modern power electronics and AC drivers", Prentice Hall PTR, 2002.