

유도 전동기의 직접토크제어를 사용한 풍력 발전 시뮬레이터

안민호*, 신성수*, 홍덕표**, 최재호*
충북대학교*, 한국폴리텍대학

Wind turbine simulator using DTC of induction motor

Minho Ahn*, Seongsoo Shin*, Ducpyo Hong**, Jaeho Chio*
Chungbuk National University*, Korea Polytechnics University

ABSTRACT

전기의 수요는 인구 증가와 함께 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 에너지 자원의 부족 및 환경문제 등으로 인해 그 수요를 충족시키는 것에 대한 한계에 다다르고 있다. 많은 연구자들이 이러한 문제를 극복하기 위해 신재생 에너지의 사용을 제한하였고, 그 중 풍력 에너지는 전 세계의 많은 지역에서 이용이 가능하고 저렴한 장점이 있다. 본 논문에서는 유도 전동기의 직접토크제어를 이용하여 풍력 발전기를 모델링 하였고 직접토크제어를 사용함으로써 토크 응답 특성이 매우 빠르고 모터의 파라미터 변화에 대한 민감도가 감소하며 제어기의 구성이 단순하다는 장점을 가지고 있다.

1. 서론

화석연료의 고갈 및 에너지 수요의 폭등 등으로 인해 신재생 에너지 기술 연구들이 활발히 진행되고 있으며 차세대 에너지 산업으로 풍력산업이 대두되고 있다. 이러한 풍력 발전 시스템을 연구하고 실험하기 위해서는 풍력 터빈 시뮬레이터가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 바람이 가지고 있는 에너지를 모델링하여 직접 토크 제어를 사용해 유도전동기를 구동하여 풍력 터빈 시뮬레이터를 구성하였다. 직접 토크 제어 방식은 전압벡터 선정에 의한 자속 토크를 직접 제어하고 토크의 빠른 동특성을 가지며 스위칭 주파수가 히스테리시스 폭에 의해 결정되는 특징이 있다.

2. 풍력 발전용 터빈 모델

풍력 터빈에 의해 가져온 전력은 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$P_{wt} = C_p(\lambda, \theta) \times P_{air} \quad (1)$$

식 (1)에서 C_p (Power Coefficient)는 전력 계수, λ 는 선단 속도 비율, θ 는 피치 각, P_{air} 는 공기가 흐름으로써 가질 수 있는 에너지를 나타낸다. 이 P_{air} 는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2)$$

식 (2)에서 ρ 는 공기밀도(1.225kgm⁻³), A 는 로터의 수평면적(m²), v 는 풍력 속도(m/s)이다.

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

식 (1)과 (2)를 이용하여 식 (3)을 구할 수 있다. 선단 속도 비율은 식 (4)에 나타나 있고 풍력 터빈에 의해 가져온 전력을 결정하는데 중요한 역할을 한다.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{v} \quad (4)$$

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

$$C_p(\lambda, \theta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \theta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (5)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.008 \theta} - \frac{0.035}{\theta^3 + 1} \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)은 전력 계수를 구하기 위해 필요한 식이고 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ 는 터빈 계수이다.^[1]

3. 유도전동기의 수학적 모델

전동기의 해석 및 제어를 위해서 전동기의 동특성을 살펴볼 필요가 있다. 이를 위해서 대상 전동기를 나타내는 수학적 모델이 필요한데 이것을 주로 전압 방정식으로 표현된다.

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

$$\vec{v}_{qs}^s = R_s \vec{i}_{qs}^s + \frac{d\lambda_{qs}^s}{dt} \quad (8)$$

식 (7)과 식(8)과 같이 고정자의 d^s q^s축 전압 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\vec{\lambda}_{ds}^s = \int (\vec{v}_{ds}^s - R_s \vec{i}_{ds}^s) dt \quad (9)$$

$$\vec{\lambda}_{qs}^s = \int (\vec{v}_{qs}^s - R_s \vec{i}_{qs}^s) dt \quad (10)$$

식 (7)과 식 (8)을 적분함으로써 식 (9)와 식 (10)과 같이 고정자 자속 식을 구할 수 있다.

$$|\lambda_s^s| = \sqrt{(\lambda_{ds}^s)^2 + (\lambda_{qs}^s)^2} \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda_{qs}^s}{\lambda_{ds}^s} \right) \quad (12)$$

식 (11)과 식 (12)을 이용하여 고정자 자속의 크기와 자속의 위치를 구해낼 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{ds}^s i_{qs}^s - \lambda_{qs}^s i_{ds}^s) \quad (13)$$

토크는 식 (13)을 이용하여 구할 수 있다.^[2]

4. 직접 토크 제어기의 구성

그림 1은 직접 토크 제어를 사용하여 유도전동기를 구동시키기 위한 전체 제어 블록도이다. 풍속 데이터를 입력하여 토크 지령치를 산출하기 위한 부분과 실제 토크와 자속을 계산하는 부분이 있고 이렇게 생성된 토크와 자속의 변화값을 이용하여 히스테리시스 밴드 안에서 제어하기 위한 부분, 또 마지막으로 3상 인버터에 적절한 전압벡터를 선정하여 스위칭 하는 블록으로 구성되어 있다. 그림 2는 히스테리시스 밴드 제어를 하기 위한 자속 벡터의 궤적을 나타내고 있다. 이 궤적의 정보를 가지고 표 1과 같이 자속과 토크의 증가 또는 감소 명령 테이블을 만들 수 있다. 표 1에서 1은 증가명령, 0은 감소명령, 0은 밴드 내에 존재한다는 명령을 나타내고 있다. 그림 3은 피치각을 조절해줌으로써 정격속도 14m/s 이상이 되더라도 정격 전력을 유지하는 것을 보여주고 있다.

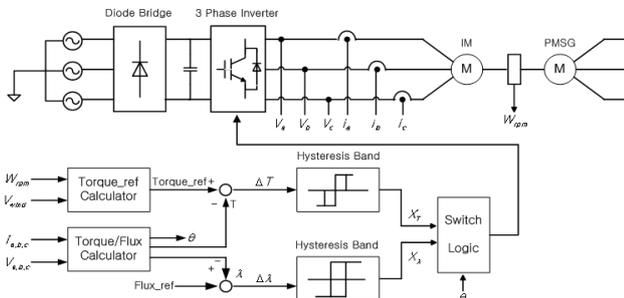


그림 1 직접 토크 제어의 제어기 블록도
Fig. 1 Control block of direct torque control

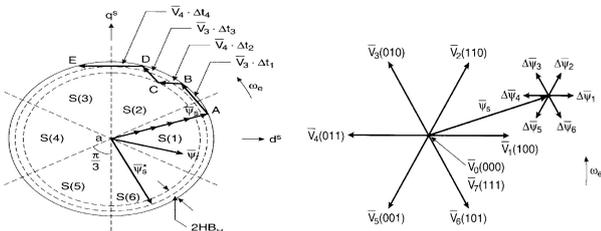


그림 2 직접 토크 제어에서 고정자 자속 벡터의 궤적
Fig. 2 Trajectory of stator flux vector in DTC control

표 1 인버터 전압 벡터의 스위칭 테이블
Table 1 Switching table of inverter voltage vectors

H_{Ψ}	H_{T_c}	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)	S(6)
1	1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
1	1	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
	0	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
1	0	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7
	1	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

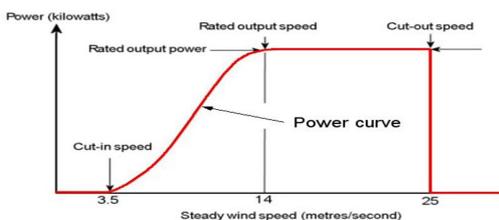


그림 3 풍속의 변화에 따른 출력 전력
Fig. 3 Turbine power according to change of wind speed.

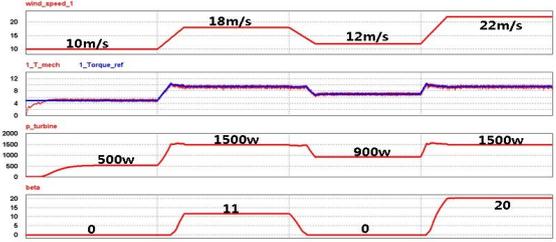


그림 4 풍속, 토크, 전력, 피치각 그래프
Fig. 4 Wind speed, torque, power and pitch angle.

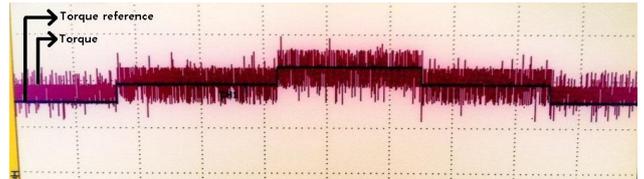


그림 5 토크 지령치와 실제 토크
Fig. 5 Torque reference and real torque.

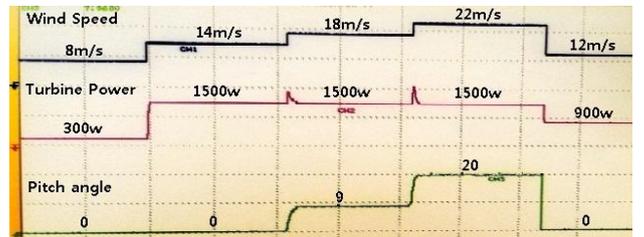


그림 6 풍속, 전력, 피치각 파형
Fig. 6 Wind speed, power and pitch angle.

5. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4는 풍속의 변화에 따른 토크, 전력, 피치각을 시뮬레이션 한 결과이다. 정격전력이 1.5kW이며 정격 속도는 14m/s로 설정하여 진행하였다. 정격 속도 이상이 되면 피치각이 상승하여 1.5kW이상 증가하지 못하도록 제어된다. 그림 5는 토크의 지령치를 실제 토크가 추종하고 있음을 보여주며 그림 6은 풍속의 변화에 따른 전력과 피치각의 파형이다.

6. 결론

본 논문은 1.5kW급 풍력 발전 시스템을 모델링 하기 위해 직접토크제어를 사용하여 유도전동기를 구동시켰다. 알고리즘이 타당한지 검증하기 위해 PSIM으로 시뮬레이션 하였고 실험을 통해 시뮬레이션과 동일한 결과가 나오는지 확인하였다.

이 논문은 (주)우진산전의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

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.