

양방향제어를 이용한 풍력발전용 DFIG의 특성

* 박영도* 이우석** 서영택*** 오철수*
 *경북대학교 전기공학과 **부산정보대학 전기전자계열 ***구미전문대 전기과

Characteristics of Bidirectional DFIG for Wind Power
 Generating System

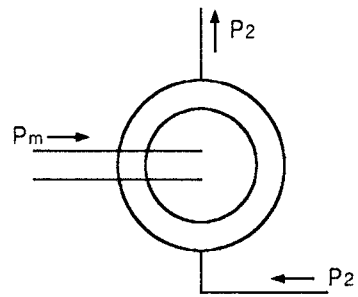
* Young-Do Park* Woo-Suk Lee** Young-Taek Seo*** Chul-Soo Oh*
 *Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ **Pusan Info · Tech College ***Kumi College

Abstract - This paper deals with characteristics analysis of Doubly-Fed Induction Generator (DFIG) in the supersynchronous speed regions, by control of voltage fed to the rotor using for bidirection control. This rotor voltage is controlled by control of inverter switching frequency and fire angle

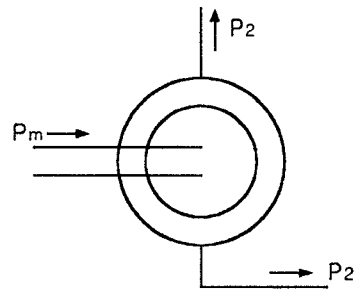
Characteristics of DFIG is analyzed by steady-state algebraic equations of the equivalent circuit using numerical analysis. And it is compared with results of experiment.

Consequently, this paper presented to find the optimal magnitude of voltage fed to the rotor for maximum power and PF, using result of characteristics analysis.

고속도 이상영역에서의 운전상태를 나타낸다. f_r 이 f_1 보다 크므로 발전을 할 수 있다. 그러나 정격속도 이상에서 운전하게 될 경우, 회전자를 통해 고정자의 여자전원과 반대방향으로 주어지는 역상여자를 하면 정격 운전이 가능하다. P_1 은 P_m 과 P_2 의 합이 된다.



(a) 동기속도 이하



(b) 동기속도 이상

그림 1 이중여자 유도발전기의 운전상태

1. 서 론

대체에너지 개발에 대한 관심이 고조되면서 풍력발전에 관한 연구가 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 바람의 변화가 심한 국내에서 풍력발전에 응용하기 위한 발전기는 넓은 속도영역에서 발전이 가능하여야 한다. DFIG는 이중여자 유도발전기이며 권선형 유도발전기를 효율적으로 풍력발전에 적용할 수 있는 시스템이다. 가변속 정주파수 운전이 효율적이고 회전자 여자전압 제어를 통해 운전점을 이동시킬 수 있고 이를 통하여 운전영역의 확장이 가능하다.

DFIG의 운전은 단방향(single direction)과 양방향(bidirection) 운전이 있는데, 전자는 동기속도 이상의 속도에서 운전만 하도록 장치되어 있는 시스템이고, 후자는 이의 운전범위를 동기속도 이하의 범위로 확대시킨 시스템이다. 동기속도 이상영역에서는 양방향제어를 이용하면 고정자 출력과 회전자 출력을 얻을 수 있어서 총발전 출력은 두 출력의 합이 된다.

본 논문은 DFIG 양방향 제어 시스템을 이용하여 동기속도 이상영역에서 회전자 여자전압에 따른 고정자 출력, 역률, 전류와 회전자의 전류를 시뮬레이션을 통해 확인하고 실험값과 비교 검토하였다.

2. 본 론

2.1 이중여자 유도발전기

2.1.1 이중여자 유도발전기의 원리

그림 1은 이중여자 유도발전기의 운전상태를 나타낸다. (a)는 동기속도 이하영역에서의 운전상태를 나타낸다. 회전자 속도 f_r 이 계통주파수 f_1 보다 작으므로 모터링으로 동작하게 된다. 그러나 회전자를 통해 고정자의 여자전원과 같은 방향으로 주어지는 정상여자를 f_r 이 계통주파수 f_1 보다 앞서게 되므로 동기속도 이하에서도 발전이 가능하다. 이 때 고정자에서 발전되는 전력 P_1 은 원동기로부터 전달되는 전력 P_m 에서 회전자 전력 P_2 를 뺀 값이다. (b)는 동

2.1.2 DFIG 시스템 구성

그림 2는 모선에 연결된 DFIG시스템의 개략도이다. 모선에서 변압기를 통하여 회전자에 유효전력이 전달되는 경우 CONV1은 인버터로 작용하고 CONV2는 정류기로 동작하며, 회전자측에서 모선으로 유효전력이 반환되는 경우 CONV1과 CONV2는 이와 반대로 동작한다. CONV1과 CONV2의 제어를 통해 회전자 여자전압의 주파수와 크기를 각각 제어할 수 있다. 이와 같은 방법이 양방향 제어이다.

실험에 사용한 DFIG 시스템은 다음과 같다. 이중여자 유도발전기는 6극 5.5kW로 고정자는 계통 3상 380V에 연계되어 있고 회전자측은 단권변압기, CONV1, CONV2로 구성되어 있다. CONV1은 주파수 제어 인버터로 6개의 IGBT로 구성된 120° 도통형으로 구성하였고, CONV2는 전압제어 콘버터로 복수펄스폭 변조형(UPWM:Uniform Pulse-Width Modulation)으로 구성하였다. DFIG 발전기측에 연결된 원동기로는

3상 6극 7.5kW의 농형유도기를 사용하였고, 그 구동은 22kVA 상용 PWM 인버터로 된다. 이 인버터로서 풍력발전기의 풍차의 토크를 모사하도록 하는 것이 본 DFIG 시스템의 특징이라 할 수 있다.

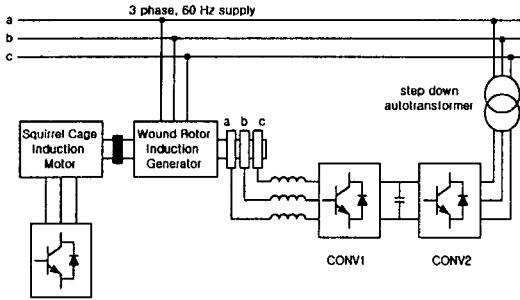


그림 2 DFIG 시스템 개략도

2.2 시뮬레이션

2.2.1 등가회로 및 상태 방정식

이중여자 유도발전기의 등가회로는 그림 3과 같다.

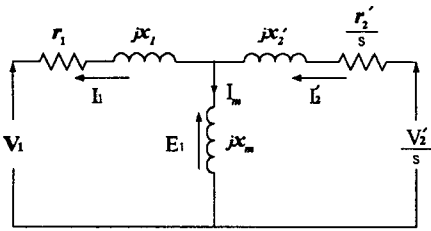


그림 3 DFIG 등가회로

\bar{V}'_2/s 는 회전자에 여자한 상전압으로 고정자에 환산한 값이고 동기속도 이상에서 V_1 과 역위상으로 공급하였다. 이때 철손, 마찰손, 풍손은 무시하였다. 테브낭 등가회로를 이용하여 상태방정식을 세우면 아래와 같다.

$$\bar{V}_{th} = \frac{x_m}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_m)^2}} \bar{V}_1 \quad (1)$$

$$\bar{Z}_{th} = \frac{jx_m(r_1 + jx_1)}{r_1 + j(x_1 + x_m)} \quad (2)$$

$$r_{th} = \frac{x_m^2 r_1}{r_1^2 + (x_1 + x_m)^2} \quad (3)$$

$$x_{th} = \frac{r_1^2 x_m + x_1^2 x_m + x_1 x_m^2}{r_1^2 + (x_1 + x_m)^2} \quad (4)$$

$$\bar{I}'_2 = \frac{\bar{V}_{th} - \frac{\bar{V}'_2}{s}}{r_{th} + \frac{r'_2}{s} + j(x_{th} + x'_2)} \quad (5)$$

$$\bar{I}_m = \frac{\bar{E}_1}{jx_m} = \bar{I}'_2 - \bar{I}_1 \quad (6)$$

$$P_1 = 3V_1 I_1 \cos \phi \quad (7)$$

$$P_2 = 3V'_2 I'_2 \cos \theta \quad (8)$$

식 (8)에서 ϕ 는 고정자 전압과 전류의 위상차이고, 식 (9)에서 θ 는 회전자 전압과 전류의 위상차이다.

2.2.2 결과 고찰

상태방정식을 이용하여 원동기 구동주파수 f_{inv} 가 54Hz, 57Hz, 63Hz, 66Hz일 때 V_2 의 변화에 따른 고정자출력, 고정자역률, 고정자전류, 회전자전류를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 수치해석 프로그램을 이용하였고, V_2 는 0V에서 40V까지의 범위로 가변하였다. 그 결과는 그림 4에서 그림 7과 같다.

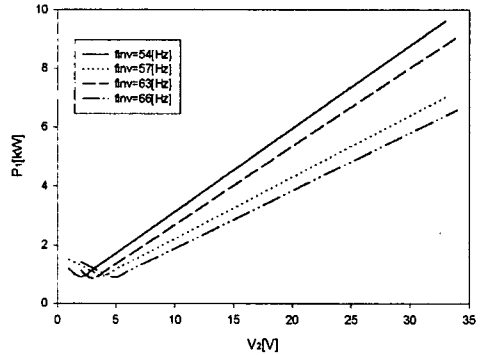


그림 4 회전자 여자전압과 고정자출력

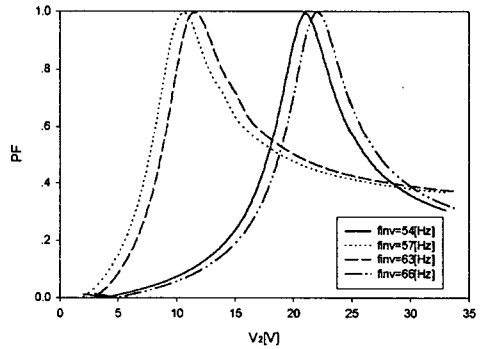


그림 5 회전자 여자전압과 고정자역률

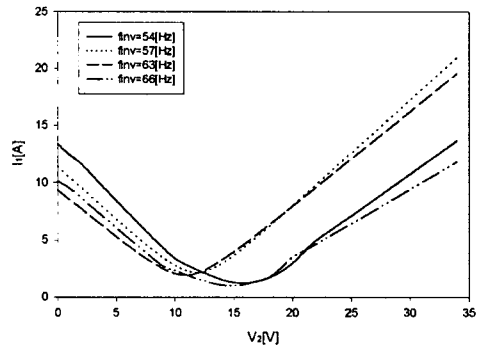


그림 6 회전자 여자전압과 고정자전류

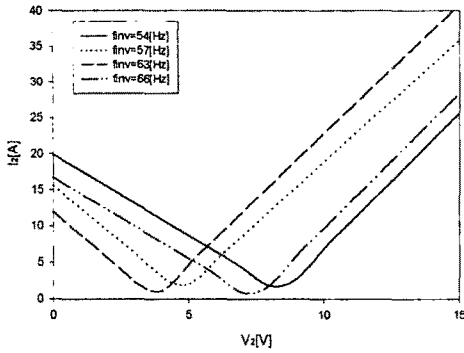


그림 7 회전자 여자전압과 회전자 전류

회전자 여자시 출력값은 여자전압이 커질수록 커지는 것을 알 수 있다. 또한 고정자 역률의 향상은 회전자 여자전압제어를 통하여 이를 수 있음을 알 수 있다. 그러나 여자전압이 커질수록 회전자 전류 또한 증가함을 알 수 있고 따라서 이 회전자 전류를 정격으로 제어해야 할 필요가 있다.

2.3 실험 및 고찰

각 실험은 f_{in} 의 주파수로 원동기를 구동시킨 후, 발전기의 회전자측에 여자주파수를 슬립주파수에 맞추어 인가하였고, 이때에 회전자 여자전압의 변화에 따른 고정자 출력, 고정자 역률, 회전자 출력을 알아보았다.

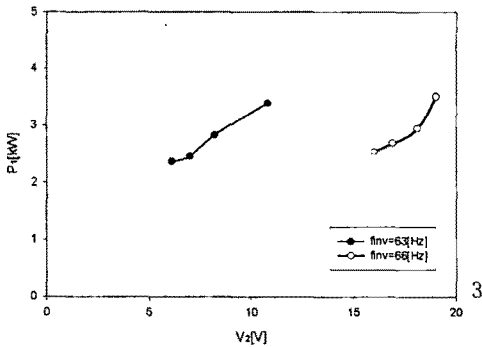


그림 8 회전자 여자전압과 고정자 출력

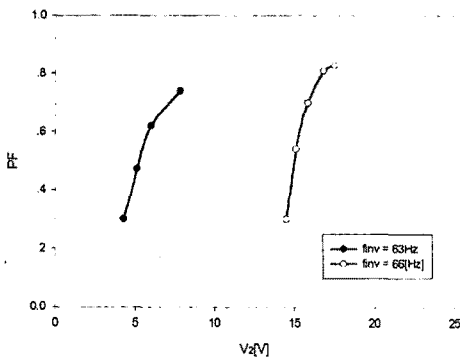


그림 9 회전자 여자전압과 고정자 역률

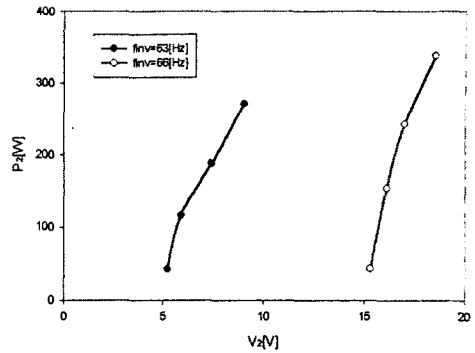


그림 10 회전자 여자전압과 고정자 출력

그림 8, 9, 10은 동기속도 이상영역에서 f_{in} 가 63, 66Hz일 때 회전자 여자전압변화에 따른 고정자 출력 및 역률과 회전자 출력을 나타낸 것이다. 실험 결과치가 시뮬레이션과 비슷함을 알 수 있었다.

3. 결 론

이 논문은 풍력발전용 DFIG 시스템에서 회전자 여자전압을 제어변수로 하여 동기속도 이상과 이하의 영역에서 시뮬레이션을 통하여 고정자출력, 고정자역률, 회전자 전류 및 고정자 전류를 알아 보았고, 실험을 통하여 확인하였다. 실험은 동기속도 이상영역에서 하였다.

회전자 여자시 고정자출력과 역률이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 최대출력일 때와 최대역률일 때 여자전압의 크기가 다르고 또한 회전자 전류가 정격이 초과됨을 알 수 있다. 즉 여자전압이 증가할수록 출력이 증가하는 것이 아니라 정격 여자전류로 제한되는 값에 의해 출력도 제한됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 회전자 여자시 위상을 고정자 위상의 역상으로, 여자주파수를 슬립주파수에 맞추어 여자하였는데 실험 결과치가 정격보다는 다소 아래로 나타났다. 회전자 여자전압만을 제어 하였는데 정격출력을 내기 위해 양방향제어시 회전자 여자전압 및 회전자 여자주파수를 동시에 제어하여야 하며, 이를 위해 회전자 여자주파수를 제어하여 시뮬레이션하고 실험을 통한 검증이 필요 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박민호, 정승기, 이진우, "회전자 교류여자방식의 자립형 유도발전기의 정상 상태 해석," 대한전기학회 논문집 제37권 제1호, pp.33-39, 1988.
- [2] 서영택, 이우석, 오철수 "풍력발전용 회전자 여자 시스템 권선형 유도발전기의 역률 해석," 대한전기학회 논문집 제46권 제9호, pp.1340-1346, 1997.
- [3] I.Cadirci, M. Ermis, "Double-output Induction Generator Operating at Subsynchronous and Superasynchronous Speed : Steady state Performance Optimization and Wind-energy Recovery," IEE Proc., Vol. 139, No. 5, pp.429-442, September 1992.
- [4] Machmoum, M, LE. Doeuff, F, Sargos, F, M and Cherkaoui, M, "Steady state analysis of a doubly fed asynchronous machine supplied by a current controlled cycloconverter in the rotor," IEE Proc. B, pp.114-122, 1992.
- [5] R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, "A Doubly fed Induction Generator using Back-to-back PWM Converters Supplying an Isolated Load from a Variable Speed Wind Turbine," IEE Proc-Electr. Power Appl., Vol. 143, No. 5, pp.380-387, September 1996.