

# 회전자측 PWM 인버터-컨버터를 사용한 이중여자 유도형 풍력 발전기의 계통 투입 알고리즘

論文  
52B-10-8

## Grid Connection Algorithm for Doubly-Fed Induction Generator Using Rotor Side PWM Inverter-Converter

鄭炳昌\* · 權泰華\*\* · 宋丞鎬\*\*\* · 金一煥§  
(Byoung-Chang Jeong · Tae-Hwa Kwon · Seung-Ho Song · Eel-Hwan Kim)

**Abstract** - A grid connection algorithm is proposed for the doubly-fed induction generator (DFIG) which is widely adopted in high power variable speed wind turbine. Before the stator of DFIG is connected to grid, rotor-side converter is used to control the induced stator voltage. As a result, the stator transient current is limited below the rate value during the connection by the proposed synchronization of the stator voltage to the grid voltage. A wind power generation simulator using DC motor and wound-rotor induction generator is built and the dynamic characteristics of proposed algorithm is verified experimentally.

**Key Words** : Wind Turbine, Doubly-fed Induction Generator, Grid Connection

### 1. 서 론

자연에서 에너지를 얻기 위한 방법으로 태양광, 태양열, 풍력, 소수력, 그리고 조력 등 다양한 방법이 연구되고 있으며, 그 중에서 풍력이 가장 실용화에 근접한 에너지로 인식되고 있다. 최근에 상용화된 풍력 발전 시스템의 경우, 시스템 용량이 수 MW급 대용량으로 화석에너지나 원자력 발전에 의한 전력 생산 원가에 근접한 4cents/kWh 수준까지 도달하였다. 1MW급 이하의 중대형 풍력발전 시스템에는 지금까지 가격이 저렴한 농형 유도기가 널리 사용되어 왔으나 정속 운전 특성과 계통 투입 시 과도 상태 등의 문제점을 가지고 있다. 권선형 유도기를 사용한 이중여자 발전 시스템이 시스템의 가격 대비 성능 면에서 다른 방식의 시스템에 비하여 우수하기 때문에, 최근에 상용화된 1MW급 이상의 대용량 발전시스템에 널리 채택되고 있다.[1][2]

이중여자 발전 시스템은 권선형 유도기의 고정자를 계통에 직접 연결하고, 회전자 전압을 제어하여 발전기의 출력 또는 회전속도를 제어하는 방식으로, 회전자 유효전력의 처리 방법에 따라 크게 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. 한가지는 컨버터를 사용하여 회전자의 전압을 제어하고, 컨버터의 직류 전압은 다이오드 정류 회로를 사용하여 계통에서 공급하는 방법이다.[3] 직류단 전압을 일정하게 제어하기 위하여 직류 전압이 상승할 때, 저항을 사용하여 회전자 유효 전력을 소비한다. 또 다른 방법으로는 PWM 인버터로 다이오드 정류 회

로를 대체하여 직류단 전압을 일정하게 제어하는 방식이 있다.[4] 본 논문에서는 후자를 대상으로 하고 있다. 그림 1에서 PWM 인버터-컨버터를 사용하여 회전자 입·출력 전력을 제어하는 이중여자 유도 발전 시스템의 구조를 보여주고 있으며, 그림 2에서는 블레이드, 고정자 그리고 회전자 사이의 에너지 흐름을 보여주고 있다. (a)는 슬립이 0보다 큰 경우, 즉 동기속도 이하로 회전하는 순간의 에너지 흐름이고, (b)는 슬립이 0보다 작은 경우를 보여주고 있다.

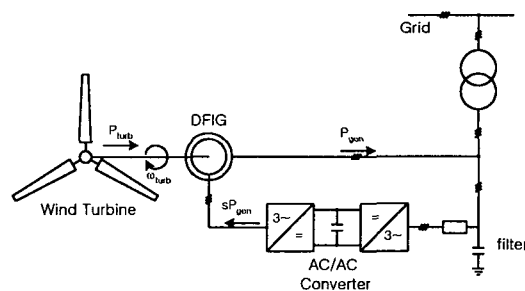


그림 1 이중여자 유도 발전 시스템  
Fig. 1 Doubly-fed induction generation system

이중여자 발전 시스템은 고정자와 계통 사이에 스위치를 삽입하여, 발전이 이뤄지지 않을 때에는 고정자와 계통을 분리하고, 발전이 이뤄질 때 고정자를 계통에 연결한다. 만일 발전 개시 조건이 만족되어, 계통과 유도기의 고정자를 직접 연결 할 경우, 고정자에는 과도 전류가 흐르고 과도 전류에 따른 시스템의 피로 누적은 발전 시스템 고장의 원인으로 작용하게 된다. 또, 고정자와 계통을 연결하는 순간에 대전력을 소비하고, 발전 개시 이후에는 계통에 전력을 공급하는 등, 발전 개시 전후의 유효 전력 변동폭이 커서 안정적인 전원으로

\* 正會員 : 全北大學校 電氣工學科 博士課程  
\*\* 準會員 : 全北大學校 電氣工學科 碩士課程  
\*\*\* 正會員 : 全北大學校 電子情報工學部 助教授 · 工博  
§ 正會員 : 濟州大學校 電氣電子工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2003年 6月 30日  
最終完了 : 2003年 9月 13日

로서의 신뢰성을 떨어뜨린다.

이중여자 발전 시스템에서 고정자를 계통에 투입하는 순간의 과도 전류를 억제하기 위한 방법으로, 고정자에 싸이리스터를 사용한 소프트 스타터를 설치하는 방법이 있다. 이 방법은 과도전류를 정격 전류 이내로 억제할 수 있지만, 별도의 장치를 설치해야 하는 단점이 있다.

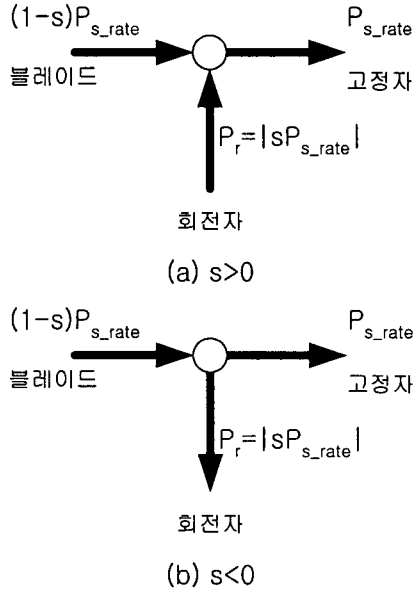


그림 2 이중여자 유도 발전 시스템의 전력 흐름  
Fig. 2 Power flow of DFIG

본 논문에서는 별도의 장치를 설치하지 않고 계통과 유도기의 고정자를 연결할 수 있는 기동 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 발전개시 조건을 만족하면, 유도기의 회전자측에 설치된 컨버터의 전압을 제어하여 고정자에 유기되는 전압을 계통 전압에 동기 시켰으며, 동기가 이뤄진 이후에 스위치를 동작시킴으로써, 유도기의 고정자와 계통을 연결되는 순간 스위치 양단의 전위차를 0V 부근으로 제어하였다. 스위치 양단의 전위차가 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에, 고정자와 계통이 연결되는 순간, 과도 전류가 거의 발생하지 않는다. 제안한 알고리즘의 동작특성은 3kW급 풍력발전기 시뮬레이터에서 실험적으로 검증하였다.

## 2. 이중여자 유도 발전기의 기동 알고리즘

### 2.1 이중여자 유도기의 모델링

유도기의 고정자 전압을 d-q 좌표계로 모델링하면 다음과 같이 정리 할 수 있다.[1][3]~[5]

$$V_{ds}^e = r_s i_{ds}^e + \frac{d}{dt} \lambda_{ds}^e - \omega_e \lambda_{qs}^e \quad (1)$$

$$V_{qs}^e = r_s i_{qs}^e + \frac{d}{dt} \lambda_{qs}^e + \omega_e \lambda_{ds}^e \quad (2)$$

$r_s$ 는 고정자 저항,  $\omega_e$ 는 동기 각속도,  $\lambda_{ds}^e$ 와  $\lambda_{qs}^e$ 는 고정자의 d, q축 자속을 의미한다.

만일, 발전을 개시하지 않는 상태, 즉, 유도기의 고정자가 계통에서 분리되어 있는 상태라면 고정자 전류는 0이므로 고정자 전압은 식 (1)과 (2)로부터 다음과 같이 정리된다.

$$V_{ds}^e = \frac{d}{dt} \lambda_{ds}^e - \omega_e \lambda_{qs}^e \quad (3)$$

$$V_{qs}^e = \frac{d}{dt} \lambda_{qs}^e + \omega_e \lambda_{ds}^e \quad (4)$$

이때,  $V_{ds}^e = \text{constant}_1$ ,  $V_{qs}^e = \text{constant}_2$ , 즉, 일정한 크기의 전압 벡터를 일정한 속도로 회전시키면 자속 역시 일정한 크기의 벡터가 회전하게 되므로,  $\frac{d}{dt} \lambda_{ds}^e = 0$ ,  $\frac{d}{dt} \lambda_{qs}^e = 0$  이 되고, 고정자 전압은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$V_{ds}^e = -\omega_e \lambda_{qs}^e \quad (5)$$

$$V_{qs}^e = \omega_e \lambda_{ds}^e \quad (6)$$

그리고, 유도기에서 고정자 자속은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda_{ds}^e = L_s i_{ds}^e + L_m i_{dr}^e \quad (7)$$

$$\lambda_{qs}^e = L_s i_{qs}^e + L_m i_{qr}^e \quad (8)$$

식(5)와 (6)에 식(7)과 (8)을 대입하여 정리하면 고정자 전압은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$V_{ds}^e = -\omega_e L_m i_{qr}^e \quad (9)$$

$$V_{qs}^e = \omega_e L_m i_{dr}^e \quad (10)$$

즉, 회전자의 d축 전류를 제어하면 원하는 고정자 q축 전압을, 회전자 q축 전류를 제어하면 원하는 고정자 d축 전압을 얻을 수 있다. 만일, 계통 전압이 모두 동기 좌표계 q축에 존재한다면, 다시 말해서  $V_{ds}^e = 0$ ,  $V_{qs}^e = E_{max}$  가 되도록 제어해야 한다면, 회전자 전류의 기준값은 다음과 같다.

$$i_{dr}^{e*} = \frac{E_{max}}{\omega_e L_m} \quad (11)$$

$$i_{qr}^{e*} = 0 \quad (12)$$

여기서  $E_{max}$ 는 계통 상전압의 피크 값을 의미한다.

그리고, 고정자에 유기되는 전압의 주파수를 계통 전압에 일치시키기 위해서, 회전자 전류의 제어를 위한 동기 각속도는 계통 전압을 사용하여 계산한다.

그러나 식(11), (12)와 같이 회전자 전류를 제어하여 고정자 유기 전압을 계통 전압에 동기화 시키는 것은, 발전기 제어를 시작하는 시점에서 고정자 권선과 회전자 권선의 위치 각 차이가 0인 경우에만 가능하다. 만일 그림 3과 같이 두 권선 사이에  $\Delta\theta$ 의 전기각 위상차(P극 일 경우 기계각 위상차는  $\frac{2}{P} \Delta\theta$ )가 존재한다면, 고정자에 유기되는 상전압의 최

대값과 주파수는 계통 전압과 같아지지만, 고정자의 상전압과 계통 상전압에는 전기적 위상차  $\Delta\theta$ 가 발생한다.

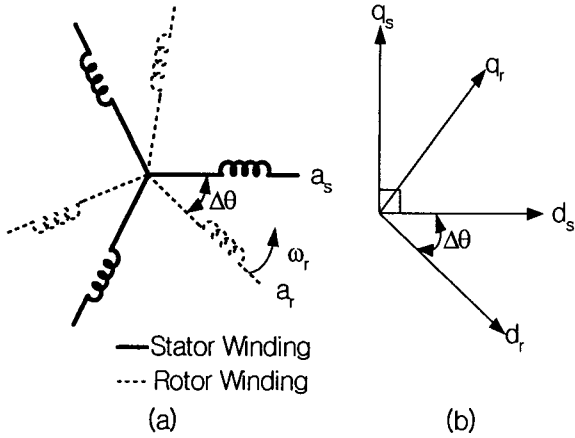


그림 3 고정자와 회전자 권선  
(a) 기계적 배치  
(b) d-q축 좌표계

Fig. 3 Angle difference between stator and rotor winding at stationary state  
(a) mechanical stator and rotor windings  
(b) d-q axis coordinate

고정자 권선과 회전자 권선의 초기 위치각의 차이를 반영하여 고정자에 원하는 전압이 인가되도록 하기 위해서는 회전자 전압에 인가하는 전압의 벡터를 d축에서 위치각의 차이  $\Delta\theta$  만큼 회전시켜야 한다. 그리고, 유도기의 회전자 전압은 전류에 비례하므로 결국 원하는 고정자 전압을 얻기 위해서는 유도기 회전자의 d-q축 전류를 위상차 만큼 회전시켜야 한다. 즉, 회전자 전류의 기준값은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} i_{dr}^* \\ i_{qr}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta & -\sin\Delta\theta \\ \sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_{max}}{\omega_e L_m} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

2.2 전원 위상 동기화 알고리즘

유도기의 고정자를 계통에 연결하기 위해 제안된 제어 알고리즘의 흐름도는 그림 4와 같다. 발전기가 회전을 시작하여 회전속도가 설정값 이상이 되면, 발전기의 동기화 제어가 시작된다. 먼저 식(11), (12)를 사용하여 계통 전원과 동일한 크기의 고정자 전압을 발생시키기 위한 회전자 전류의 크기,  $I_{dr}^*$ ,  $I_{qr}^*$ 를 계산한다. 동기화 제어 초기에는 d축 전류만 인가하여 고정자에 유기된 전압과 계통 전압의 위상차  $\Delta\theta$ 를 측정한다. 그리고 측정된  $\Delta\theta$ 만큼 회전시킨 전류 벡터를 회전자에 인가하면 고정자에 유기되는 전압을 계통 전압에 동기화 시킬 수 있다.

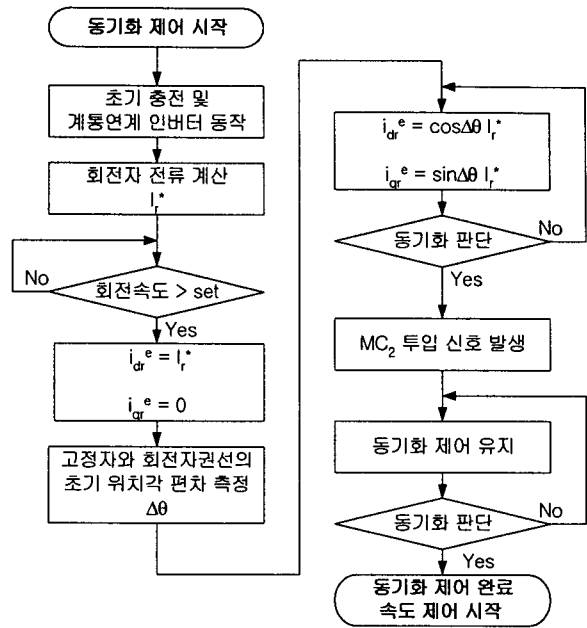


그림 4 이중여자 유도형 풍력발전 시스템의 기동 제어 흐름도  
Fig. 4 Flowchart of doubly-fed wind power generation system

이상과 같은 순서에 따라 발전기를 제어하면, 이론적으로는 고정자에 유기된 전압을 계통 전압에 동기 시킬 수 있다. 그러나, 실제 파형을 분석하면, 계통 전원의 불평형과 왜곡, 회전자측 컨버터의 스위칭에 의한 고정자 전압의 잡음 등이 존재한다. 고정자와 계통을 연결하기 위해서는 이러한 것들을 반영하여 동기화 여부를 판단할 수 있는 방법이 필요하며, 본 논문에서는 그림 5와 같은 오차 범위를 설정하여, 고정자 전압이 오차 범위 이내에 존재하면 동기화가 된 것으로 판단하였다. 한 번의 오차폭  $\Delta V$ 를 약 0.28 pu로 설정하여 고정자 유기 전압과 계통 전압의 크기 차이가 0.14 pu인 경우에 고정자와 계통이 연결되어도, 발전기의 내부 임피던스에 의하여 순간 최대 과도 전류가 발전기 정격 전류보다 작은 값을 갖도록 하였다. 그리고, 오차 범위 이내를 4msec 이상 유지할 때 고정자 전압과 계통 전압이 동기화 되었다고 판단하였다. 동기화 되었다고 판단되면, 고정자와 계통 사이에 위치한 자기 접촉기를 동작시킨다.

동기화를 위한 마지막 제어 단계는, 자기 접촉기의 동작 신호 출력시간과 실제 자기 접촉기가 고정자와 계통을 연결하는 시간까지의 약 20~40msec 동안 동기화 제어를 유지하는 것이다. 만일, 이 시간동안에 회전자 전류의 제어방법이 변경될 경우, 고정자와 계통이 실제 연결되는 순간, 고정자에는 정격의 수배 이상의 과전류가 인가된다. 발전기의 전류 제어 기준값 계산 방법은 자기 접촉기가 투입된 이후에 변경되어야 한다.

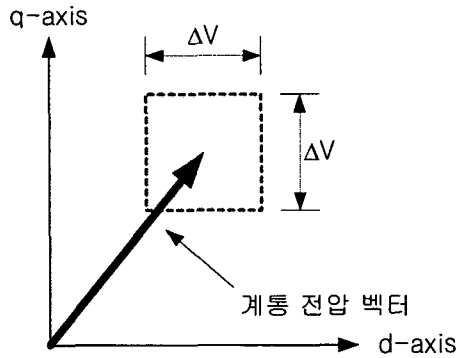


그림 5 동기 판단 전압벡터 오차 범위  
Fig. 5 Error range of voltage vector for synchronization

### 3. 실험

제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 이중여자 풍력 발전 시뮬레이터를 설계, 제작하여 실험을 진행하였다. 그림 6에서 제작한 시뮬레이터의 구성도를 보여주고 있다. 직류기와 권선형 유도기를 사용하여 M-G 세트를 구성하였으며, 유도기의 고정자와 계통 사이에는 자기 접촉기가 위치하여 고정자의 계통 투입과 분리를 담당하고 있다. 또, 유도기의 회전자 측에 두 개의 컨버터가 사용되어, 하나는 권선형 유도기의 회

전자축 전력 제어를 담당하고 있으며, 다른 하나는 계통에 연결되어 직류단 전압을 일정하게 제어하고 있다. 그리고 이중여자 유도 발전 시스템 전체를 제어하는 DSP 보드가 있다. 표 1에서 사용한 직류기와 권선형 유도기의 사양을 보여주고 있다.

표 1 시뮬레이터의 사양  
Table 1 Specification of simulator

|             |   |
|-------------|---|
| 직류 전동기      | 정격 용량 : 5500W<br>정격 전압 : 220V<br>정격 회전속도 : 1750rpm  |
| 이중여자 유도 발전기 | 정격 용량 : 3000W<br>고정자<br>정격 전압 : 220V<br>정격 전류 : 14.7A<br>권선 저항 : 0.667Ω<br>인덕턴스 : 0.06731H<br>회전자<br>정격 전압 : 128V<br>정격 전류 : 14A<br>권선 저항 : 0.625Ω<br>인덕턴스 : 0.06731H<br>상호 인덕턴스 : 0.0637H<br>정격 회전속도 : 1800rpm |

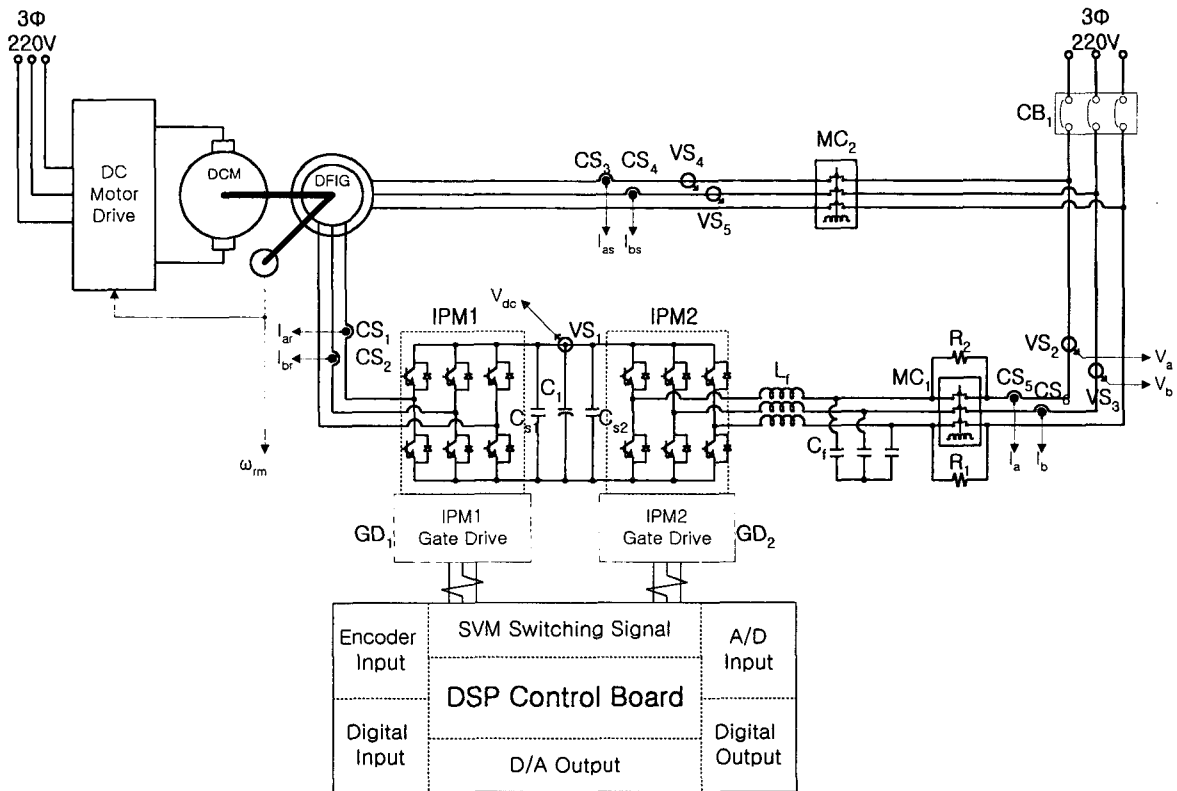


그림 6 이중여자 유도 발전 시뮬레이터의 실험장치 구성도  
Fig. 6 Configuration of experimental set-up of simulator for doubly-fed induction generator

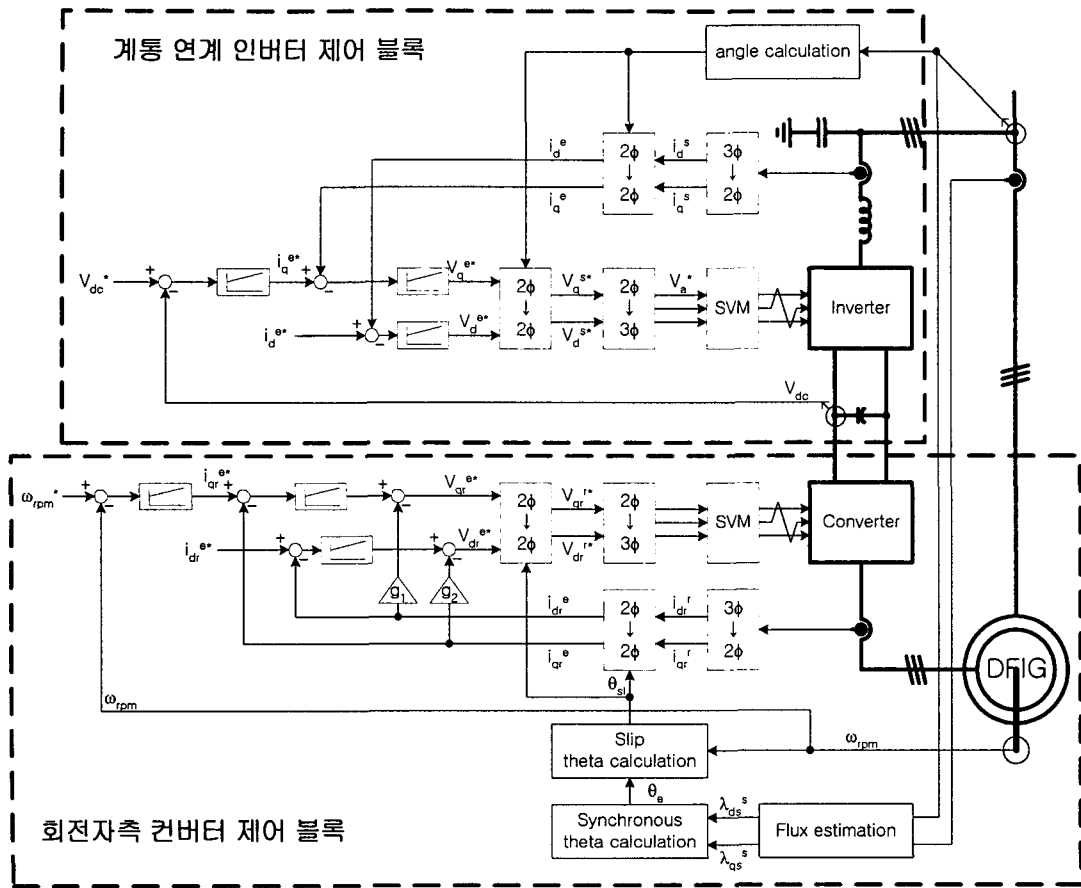


그림 7 이중여자 유도 발전 시뮬레이터의 제어 블록도  
 Fig. 7 Control block diagram for doubly-fed induction generator simulator

그림 7에서 시뮬레이터의 정상상태 제어 알고리즘을 보여 주고 있다. 그림 7은 계통 연계 인버터 제어 블록과 회전자 측 컨버터 제어 블록으로 구분이 가능하다. 계통 연계 인버터 제어 블록은 인버터-컨버터 세트의 직류단 전압과 계통에 공급하는 무효 전력을 제어하고 있다. 제어를 위한 동기 각 속도는 계통 전압에서 계산하고 있다. 회전자측 컨버터 제어 블록은 고정자 자속을 기준으로 발전기의 회전속도를 제어하고 있다. 회전자에는 슬립에 비례하는 주파수의 교류가 인가 되어야 한다.

그림 8은 고정자의 동기 투입 순간 회전속도와 회전자 전류를 보여주고 있다. 동기화를 위한 제어는 4가지 단계로 구분 할 수 있다. 먼저 구간 (I)은 발전기의 회전속도가 발전 개시 속도보다 낮을 경우로 제어를 하지 않고 있다. 회전속도가 증가하면 구간 (II)와 같이 회전자 d축 전류를 제어한다. 이때, d축 전류를 일정하게 유지함으로써 고정자에 유기된 전압과 계통 전압의 위상차를 측정하여 고정자 권선과 회전자 권선의 초기 위치각 편차를 측정한다. 구간 (III)은 초기 위치각 편차를 측정한 이후에 고정자 전압을 계통 전압에 동기화 시키는 구간을 보여주고 있다. 측정된 초기 위치각 편차를 반영하여 회전자 전류를 제어하기 때문에, 구간 (II)와는 달리 q축 전류를 제어하기 시작하였으며 회전자 전류의 위상이 달라지는 것을 볼 수 있다. 구간 (III)에서 일정 시간 이상 계통 전압과 고정자 유기 전압의 오차가 설정범위를

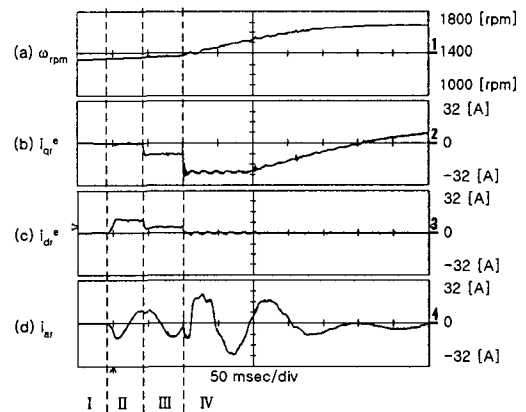


그림 8 이중여자 발전기의 동기 투입 (I)  
 (a) 발전기의 회전속도  $\omega_{rpm}$   
 (b) 동기 좌표계 회전자 q축 전류  $i_{qr}^e$   
 (c) 동기 좌표계 회전자 d축 전류  $i_{dr}^e$   
 (d) 회전자 a상 전류  $i_{ar}$

Fig. 8 Synchronization of DFIG (I)  
 (a) rotational speed  $\omega_{rpm}$   
 (b) q-axis current of rotor  $i_{qr}^e$   
 (c) d-axis current of rotor  $i_{dr}^e$   
 (d) a-phase current of rotor  $i_{ar}$

유지하여 동기 되었다고 판단되면, 구간 (IV)와 같이 회전자의 d축 전류는 0으로 제어하고, q축 전류는 회전 속도를 설정값으로 하기 위하여 제어되고 있는 것을 볼 수 있다.

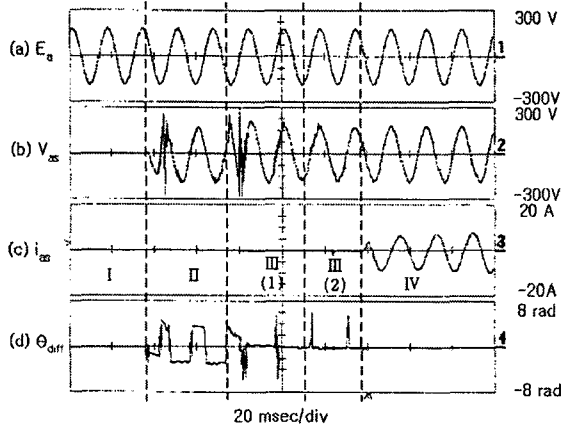


그림 9 이중여자 발전기의 동기 투입(II)

- (a) 계통의 a상 전압  $E_a$
- (b) 고정자의 a상 전압  $V_{as}$
- (c) 고정자의 a상 전류  $i_{as}$
- (d) 계통 전압과 고정자 전압의 위상차  $\theta_{diff}$

Fig. 9 Synchronization of DFIG(II)

- (a) a-phase voltage of grid  $E_a$
- (b) a-phase voltage of stator  $V_{as}$
- (c) a-phase current of stator  $i_{as}$
- (d) phase difference between grid and stator  $\theta_{diff}$

그림 9는 고정자의 동기 투입 순간 계통 전압, 고정자 전압, 고정자 전류, 그리고 계통 전압과 고정자 전압의 위상차를 보여주고 있다. 그림 8과 같이 동기화 제어에 따라서 구간 (I)에서 구간 (IV)까지로 구분할 수 있다. 그리고 구간 (III)은 자기 접촉기의 동작에 따라서 소구간 (1)과 (2)로 구분할 수 있다. 구간 (I)에서는 제어를 수행하지 않기 때문에 계통 전압만 존재한다. 그러나, 동기화 제어를 시작하는 구간 (II)에서는 회전자의 d축 전류만 인가하기 때문에, 고정자에 유기되는 전압은 계통 전압과 일정한 위상차를 갖는다. (a), (b), 그리고 (d)에서 볼 수 있는 것과 같이 두 전압사이의 위상차는 약  $\pi$ (또는  $-\pi$ )정도 된다. 구간 (III)에서 볼 수 있듯이, 초기 위치각 편차를 측정한 이후, 측정된 편차를 사용하여 두 전압을 동기화 시키는 제어를 수행하여, (a)와 (b)에서 확인할 수 있듯이 두 전압의 동기가 이뤄진다. 다만, 고정자 상 전압이 0V 부근에서는 작은 잡음에도 동기각 계산 결과가 크게 달라지기 때문에 (d)에서 보이는 펄스성 오차가 발생하기도 한다. 이때 소구간 (1)은 동기화 제어를 시작하여 실제로 동기가 이뤄질 때까지의 구간이다. 동기가 되었다고 판단되면 자기 접촉기의 동작 신호를 발생하고 자기 접촉기가 고정자와 계통을 연결할 때까지 동기화 제어를 유지하는데, 이때가 소구간 (2)이다. 자기 접촉기가 동작하면 고정자 전류는 (c)와 같이 서서히 증가하고, 발전기는 속도 제어 모드에 따라 동작한다. 이때가 구간 (IV)이다.

그림 10은 이중여자 발전기의 고정자를 계통에 투입한 이후 속도제어 특성을 보여주고 있다. 발전기의 회전속도를 (a)

와 (b) 처럼 1600rpm에서부터 증가시켜 동기속도를 지나서 2000rpm까지 변화시켰을 때, 회전자의 q축 전류와 a상 전류를 보여주고 있다. 속도의 변화율이 작기 때문에, 회전자의 q축 전류는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 그러나, 회전자의 상전류를 보면 회전속도가 증가함에 따라 점점 주파수가 낮아지고, 동기속도를 통과하면서 다시 증가하는 것을 볼 수 있다. 또, 동기속도를 통과하면서 상 전류의 위상이 180도 달라진다. 그리고, 1600rpm과 2000rpm에서의 슬립을 구하면 0.111이지만, 부호는 반대이다.

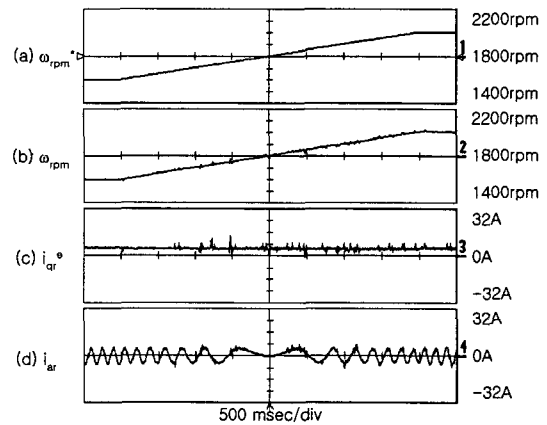


그림 10 이중여자 발전기의 속도 제어

(1600rpm→2000rpm)

- (a) 회전속도 기준값  $\omega_{rpm}^*$
- (b) 회전속도  $\omega_{rpm}$
- (c) 회전자 q축 전류  $i_{qr}^e$
- (d) 회전자 a상 전류  $i_{ar}$

Fig. 10 Speed control of DFIG

(1600rpm→2000rpm)

- (a) rotational speed reference  $\omega_{rpm}^*$
- (b) rotational speed  $\omega_{rpm}$
- (c) q-axis current of rotor  $i_{qr}^e$
- (d) a phase current of rotor  $i_{ar}$

#### 4. 결 론

본 논문에서는 이중여자 유도형 풍력 발전 시스템에서 발전기의 고정자와 계통을 연결할 때 발생하는 과도 전류를 정격 이내로 억제하기 위하여 고정자에 유기되는 전압을 계통 전압에 동기화 시키는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 이중여자 유도형 풍력발전 시스템의 기본 구성 요소인 회전자측 컨버터를 사용하여, 고정자에 유기되는 전압을 제어함으로써, 100msec의 짧은 시간에 고정자의 계통 투입이 가능하고, 투입 순간에 과도 전류가 거의 발생하지 않는다. 제안한 알고리즘은 이중여자 풍력 발전 시스템이 신속하고 부드럽게 발전을 개시할 수 있도록 하여 이중여자 풍력 발전 시스템의 운전 특성 개선에 기여할 것으로 기대된다. 앞으로, 돌풍이나 정전 등 이상상태 발생시, 이중여자 풍력 발전 시스템의 신뢰성을 높이고, 전력 품질을 개선하기 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 (00-지역-03)한국전력공사지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] S. Müller, M. Deicke, Rik W. De Doncker, "Adjustable Speed Generators for Wind Turbines based on Doubly-fed Induction Machines and 4-Quadrant IGBT Converters Linked to the Rotor", IAS 2000. Conference Record, Vol. 4, pp. 2249-2254, 2000.
- [2] 정병창, 임종연, 송승호, 김영민, 노도환, 김동용, "중·대형급 풍력발전 시스템용 에너지 변환 방식에 대한 연구", 2001대한전기학회 춘계 학술대회 논문지, pp. 459-462, 2001.
- [3] 김용현, 김일환, "풍력발전을 위한 이중여자 유도기의 센서리스 제어", 전력전자학회논문지, Vol. 5, No.5, pp. 451-458, 2000.
- [4] R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, "Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation", IEE Proc.-Electr, Power Appl., Vol. 143, No. 3, May, pp. 231-241, 1996.
- [5] 정병창, 송승호, 노도환, 김동용, " 풍력 터빈 모의 실험을 위한 가변 토크 입력형 시뮬레이터", 대한 전기학회 논문지, Vol 51, No. 8, pp. 467-474, 2002.

저 자 소 개



정 병 창(鄭炳昌)

1976년 1월 26일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



권 태 화(權泰華)

1976년 12월 2일생. 2002년 서남대학교 전기공학과 졸업. 2002년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



송 승 호(宋丞鎬)

1968년 8월 27일생. 1991년 서울대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1992년~1995년 포스콘 기술연구소 연구원. 2000년~현재 전북대학교 전자정보공학부 조교수.



김 일 환(金一煥)

1962년 3월 29일생. 1985년 중앙대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~1996년 오하이오 주립대 Post\_Doc. 1991년~현재 제주대학교 전기전자공학부 교수.