전력전자학회 추계학술대회 논문집 2003.11.22

유도발전기 계통 연계시 돌입전류 저감을 위한 소프트 스타터 점호각 제어

권태화, 송승호
전북대학교

Firing Angle Control of Soft Starter for Reduction of Inrush Current during Induction Generator to Gird

Tae-Hwa Kwon and Seung-Ho Song
Chonbuk National University

ABSTRACT

Simulation model of induction type fixed speed wind power generator is developed .

It is shown that the peak value of inrush current during start up changes according to the firing angle control strategy of soft starter.

New proposed firing angle control scheme showed 25% of reduction of peak current which results in smaller drop of gird voltage at the point of common coupling during start up.

1. 서 론

풍력 발전기 대용량은 대부분 계통연계를 하고 있으며, 정속형과 가 변속으로 구분 할 수 있다. 유도 발전기를 사용한 정속형은 구조가 간단하고 가격이 저렴하여 널리 쓰여 왔다. 예를 들어 국내에서 운전중인 500kW급 이상 시스템은 제주도, 군산, 포항등 약 16대 소프트 스타터를 사용한 유도 발전기 계통 직결형 정속 운전 방식이다. 그러나 이와 같은 발전 방식은 계통 투입시 과도한 돌입 전류가 발생하고 풍속이나 타워 효과에 의한 토오크 맥동이 존재할 때 출력 전력 변동이 심한 단점이 있다.[1] 돌입 전류 발생시 문제점으로는 발전기 수명이 단축되고, 과다 전류로 인하여 발전기 주변 지역에 전압 변동이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 기존 유도 발전기 계통 투입시 발생하는 돌입 전류 특성을 조사하고, 소프트 스타터의 게이팅 지역각을 조절함으로써 돌입 전류의 피크 값을 저감시킬 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 계통 직결형 풍력 발전 시스템 구성

2.1 시스템 특징

계통 직결형 풍력 발전 시스템은 유도 발전기 고정자 권선을 직접 계통에 연결하여 바람의 속도에 관계없이 일정속도로 회전하는 풍력 발전 시스템을 의미한다.

일반적으로 이러한 방식은 그림1과 같다. 소프트 스타터를 사용하여 발전기 출력을 계통에 연계하고 역률 보상을 위해 커패시터 뱅크를 설치하여 무효 전력을 보상한다. 소프트 스타터로 계통에 투입하는 과도상태가 끝나면 최종적으로 MC(Magneti Contactor)를 동작 시켜 전류의 흐름을 소프트 스타터에서 MC쪽으로 바꾸는 방식을 사용하고 있다. 최종적으로 변압기를 통하여 승압 한 후 배전 계통에 연계한다.

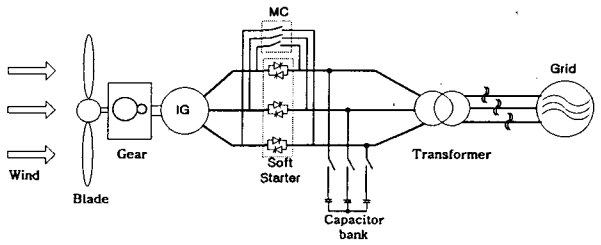


그림 1 소프트 스타터를 사용한 풍력 발전 시스템
Fig. 1 Wind power system using induction generator with soft starter

2.2 각부 설명

2.2.1 블레이드

블레이드 부분은 실제 바람에 의해 블레이드의 회전으로 발생하는 토크를 생성하는 부분으로 발전기의 입력에 해당된다. 컷 인 속도이하의 저 풍속에서는 블레이드의 회전은 있어도 실제 출력되는 토크의 양이 적게 되어 발전은 되지 않는다.

2.2.2 발전기

유도기는 그림2와 같이 등가회로로 나타낼 수 있다.

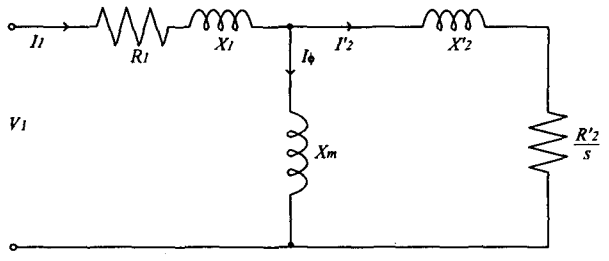


그림 2 유도기 등가 회로
Fig. 2 equivalent circuit of induction machine

여기서 시뮬레이션에 필요한 파라메터 값은 1차 측 저항 값과 리액턴스, 2차 측 저항 값과 리액턴스 값 그리고 상호 리액턴스 값이다.[5]

2.2.3 소프트 스타터

소프트 스타터는 모터의 기동시 많이 사용되어지던 방식으로 계통 직결형 풍력 발전시스템에서도 계통 투입시 이 방법을 채택하여 사용하고 있다. 이 방법은 계통 투입시 많은 전류의 유입을 막고자 사용하는데 이를 위하여 점호각을 제어하게 된다. 이 점호각을 제어하기 위하여 먼저 수행되어 져야 할 사항은 계통의 위상각 기준을 측정하여 그 위상에 맞게 점호하는 것이다. [2][3][6]

2.2.4 커패시터 뱅크

유도기를 사용하다 보면 기동시 뿐만 아니라 운전 중에도 여자 전류를 필요로 하기 때문에 계통에 직결로 연결 시 무효 분 전력이 발생하게 된다. 이를 위해 커패시터 뱅크(Capacitor Bank)단을 계통 또는 변압기 2차 측에 연결함으로써 무효전력을 감소시키고 유효전력을 계통에 인가 할 수 있다.[2]

3. 시스템 시뮬레이션 모델

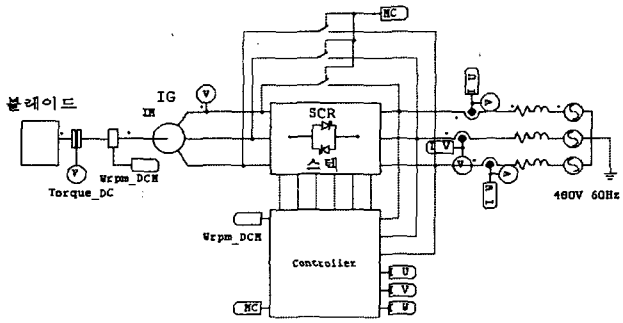


그림 3 시뮬레이션 회로도
Fig. 3 Simulation circuit

3.1 시뮬레이션 입력 조건

본 시뮬레이션을 실행하기 위한 조건으로는 블레이드 부분을 발전기의 정격에 맞는 토크를 출력 할 수 있게 만들었고, 토크로 발전기의 최대 전력을 생산하게 만들었고, 일정속도에 도달하게 되면 소프트 스타터를 동작 시켜서 발생된 전력을 계통에 보내고 일정 전류가 흐르고 있을 때 MC를 동작시켜 전력의 흐름을 바꾼다.[2][3]

3.2 발전기 모델링

본 시뮬레이션은 PSIM6.0버전에서 지원되는 농형 유도기를 사용하였고, 유도기 파라메터는 600kW급 유도기를 바탕으로 내부 저항 및 리액턴스 값을 적용하였다. 발전기의 회전축은 블레이드와 연결하여 블레이드에서 발생된 토오크를 입력받아 전력을 생산한다.

표 1은 600kW 농형 유도발전기 파라메터타이다.

표 1 600kW 유도 발전기 파라메터
Table 1 600kW parameters of Induction Generator

Generator type	Induction
Rated power output	600kW
Voltage	3 ϕ 480V
Rated speed	1890rpm
R1	0.0013Ω
X1	0.022Ω
Xm	1.29Ω
R'2	0.0014Ω
X'2	0.033Ω

3.3 소프트 스타터 모델링

소프트 스타터는 싸이리스터를 양방향을 3상이 구성되어 있어 그림 4와 같이 모델링 하였고 점호각에 맞게 점호하기 위하여 계통의 전원 위상각 기준점을 계속 확인하여 점호가 이루어 질 때 계통 전원 위상에 맞게 3상을 조절하여 출력한다.

기존의 점호각의 제어 방식에 따라 출력 값이 다르게 나온다.

3.4 제어 알고리즘에 따른 결과

3.4.1 기존 알고리즘

현재 제주 행원 풍력 발전 단지에서 사용하는 600kW V사의 동작 매뉴얼에 따르면 기존의 점호각 제어는 그림 4와 같다. 점호 알고리즘은 대기중에는 알파각을 최대값으로 유지하다가 점호시작 시점에 초기값으로 시작하여 선형적으로 알파각을 감소한다. 이때 감소 기울기에 따라 컷인 시간이 조절되며 과도 상태 전류의 크기도 달라지게 된다.

기존에 사용하는 알고리즘에서는 시작 시점부터 약 1500ms정도 시간이 흐른 후에 0°로 되는 것을 볼 수 있었다.[4]

그림 4에서 delay time은 점호가 시작되는 시점부터 점호각이 0°로 되는 시간을 나타내고 있다.

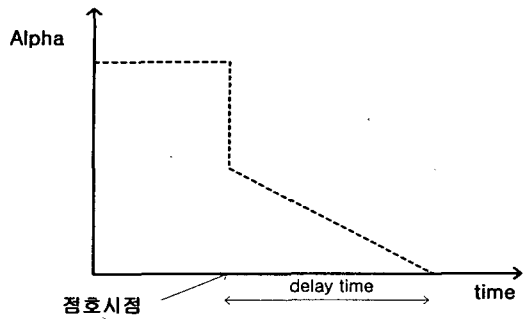
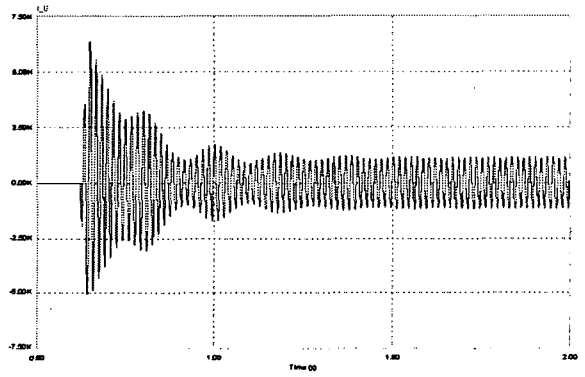


그림 4 기존 시스템의 알파각 제어 알고리즘

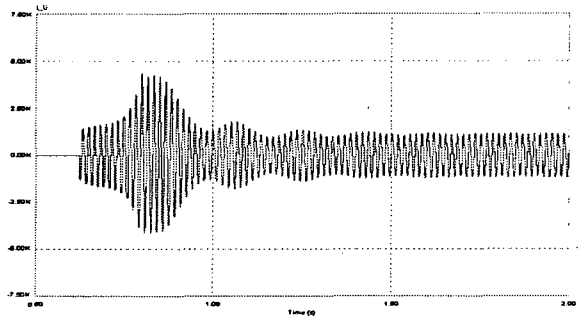
Fig. 4 conventional strategy of firing angle (α) control

이 알고리즘에서도 그림 5에서 (a),(b)와 같이 계통 투입시 출력 상전류 과도 상태를 나타내고 있다. 출력 전류값이 지연 시간이 짧게 되면 최대 전류가 더 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있었다. 이에 대하여 좀더 나은 알고리즘의 필요성이 요구된다.



(a) 지연시간이 100ms일 때

(a) delay time = 100ms



(b) 지연시간이 1500ms일때

(b) delay time = 1500ms

그림 5 계통 연계시 상 전류 과도상태

Fig. 5 transient state of grid connection

3.4.2 제안되는 알고리즘

기존의 알고리즘은 일정 기울기를 가지고 감소하는 형태를 나타내고 있다. 이 방식을 사용하면 기동 초기에 정격전류보다 4배정도 큰 전류가 흐른다. 이 전류를 저감하기 위하여 정격전류의 2배 값을 정한 후 그 값이 넘는 시점부터 점호각을 지연시켜서 피크 전류를 제한하는 방식을 제안하였다[5].

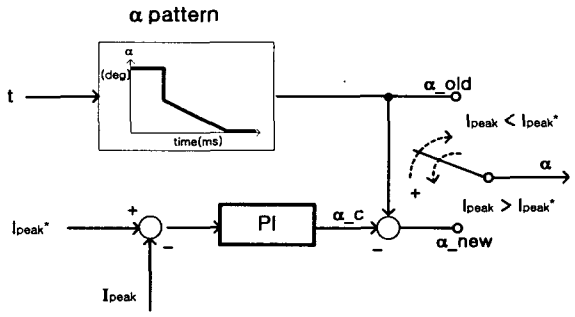


그림 6 제안하는 알고리즘

Fig. 6 Propose algorithm

그림 6 에서 초기 기동은 기존에 사용되고 있는 패턴을 사용하는 α_old로 출력을 하지만 현재 흐르고 있는 출력 peak전류가 기준 전류 값 보다 높게 되면 α pattern에 PI제어기의 출력과 α_c를 더한 새로운 α_new로 점호하는 방식을 제안하였다.

다시 출력 peak전류가 기준 전류 값 보다 낮아지게 되면 α pattern을 이용한 α_old로 점호하게 된다.

3.4.3 시뮬레이션 결과

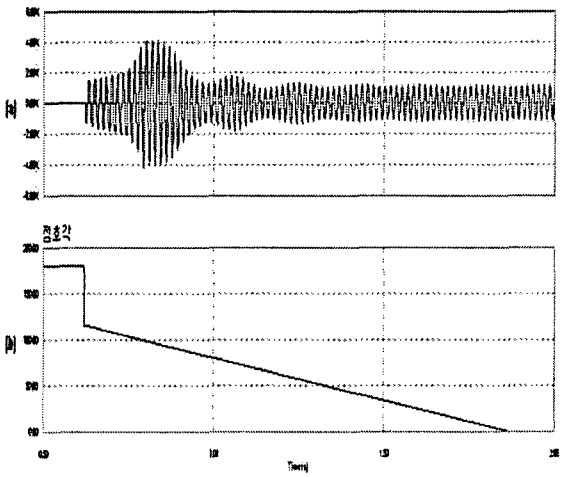


그림 7 기존 점호 알고리즘을 사용한 경우

(a) 출력 상전류 (b)점호각

Fig. 7 in case used algorithm

(a) output phase current (b) firing angle

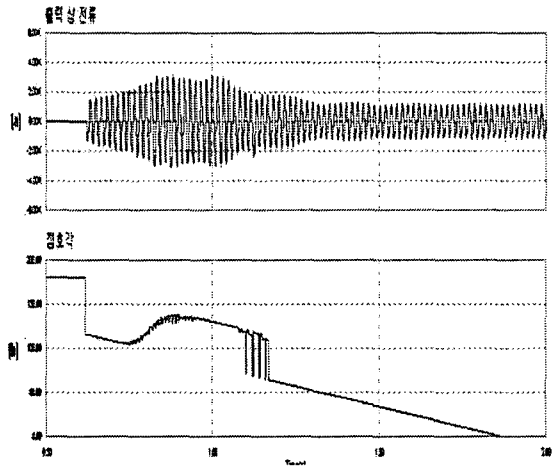


그림 8 제안하는 알고리즘을 사용한 경우
(a) 출력 상전류 (b) 점호각

Fig. 8 in case proposed algorithm
(a) output phase current (b) firing angle

그림 7과 에서 보는 것과 같이 기존의 알고리즘을 사용 할 때는 전류의 값이 정격전류의 약4배(4kA) 정도가 흐르는 것을 볼 수 있다.

그림 8에서는 제안하는 알고리즘을 사용할 경우인데 최대 peak 전류의 약25%를 저감시킨 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 실제 운용중인 시스템의 다양한 테스트를 위하여 시뮬레이션 구현하여 시뮬레이터 구현을 목표로 실행되어 왔다. PI제어기를 사용하여 점호각을 지연함으로써 출력 전류를 감소 시 킬 수 있었다는 것을 시뮬레이션으로 확인 할 수 있었다. 앞으로 계획으로는 시뮬레이터를 제작하여 실험을 통하여 시뮬레이션 모델을 검증할 것이다. 또한 실제 운용중인 계통 직결형 시스템의 돌입 전류 파형과의 비교가 이루어지지 않은 상태이므로 이에 대한 연구가 더 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 윤기갑, 이완수, 김병한 이상길 "울릉도 풍력발전 계통연계 문제점 및 대책", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회, pp. 305-307, 2001.

[2] 전영진, 김일환 "제주 행원 풍력발전 시스템의 모델링 및 해석", 전력전자 하계학술대회, 563-566, 2002.

[3] 장성일, 정종찬, 최정환, 박제영, 김광호"농형 풍력 발전기의 운전 특성에 관한 연구" 2002 대한전기학회 하계학술대회, B권, 1309-1312, 2002.

[4] Vestas System Operating Manual.

[5] Paresh C. Sen "Principles of Electric Machines and Power Electronics", p. 231. 1998.

[6] Gurkan Zenginobuz, Isik Cadirci,Muammer Ermis, Cuneyt barlak "Soft Starting of Large Induction Motors at Constant Current With Minimized Starting Torque Pulsations" IEEE Transaction on Industry Applications Vol. 37, No. 5, 2001.