

100kW급 영구자석형 센서리스 풍력발전기의 시험운전을 위한 I-F기동 방법

조인준* 송승호* 김형길** 유동녕**
 광운대학교*, (주)셀텍**

I-F Starting Method for the Test of 100kW Permanent Magnet Type Sensor-less Wind Turbine Generator

In-Joon Joe* Seung-Ho Song* Hyoung-Gil Kim** Dong-Young Yu**
 Kwangwoon University*, SeolTech**

ABSTRACT

본 논문은 풍력발전기 현장시험을 위한 표면부착형 영구자석 동기전동기의 초기기동 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 3단계로 나눌 수 있는데 첫번째 단계는 전류 지령을 일정한 값으로 하고 속도 지령을 일정 기울기로 상승 시키는 가속 구간이다. 두번째 단계는 전류 지령을 감소 시키면서 속도 지령은 일정하게 유지하는 구간으로 d축 전류를 줄여 주기 위한 구간이다. 세번째 단계는 역기전력을 기반으로 하는 센서리스 알고리즘으로 전환하는 단계이다. 이 단계 중 주된 문제가 되는 전류 오버슈트에 대한 분석을 하고 안정적인 기동성을 확보하는 방법에 대해 제안하였다. 제안된 방법은 MATLAB/Simulink를 통해서 검증하였다.

1. 서론

역기전력을 이용한 센서리스 제어 방법은 정지 및 저속 시에 역기전력이 없거나 작아 정상적으로 구동 시키기에는 무리가 있다. 동기기를 초기 기동시키기 위해서는 추가적인 알고리즘을 사용해야 하는데 대표적인 방법으로는 개루프 V/F 기동 방법이 있다. V/F 기동 방법은 쉽게 구현이 가능하지만 부하 및 모터 파라미터에 민감하고 전류나 부하 토크에 상관없이 적용된 전압지령은 과전류나 역 회전 등의 문제를 일으킬 수 있다. 또한 V/F 기동 방법은 전류 제어가 없으면 기동단계에서 센서리스로 전환하는 동안 과전류 및 토크 리플이 발생할 수 있어 센서리스 알고리즘에는 적용하기 부적절하다. V/F 기동 방법과 달리 I-F 기동 방법은 전압 지령이 아닌 전류 지령을 받아 전류 (PI)제어기를 사용하기 때문에 좀 더 안정적인 기동을 할 수 있으며, 역기전력을 기반으로 한 센서리스 알고리즘으로 전환 시에도 비교적 안정적인 방법으로 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 100kW급 영구자석형 풍력발전기 초기기동을 위한 I-F기동 방법과 센서리스 전환 시의 문제에 대한 해결 방안을 제시하고 이를 시뮬레이션을 통해 분석 및 검증하였다

2. I-F 초기기동 방법과 센서리스 알고리즘 전환

2.1 I-F 초기기동 방법

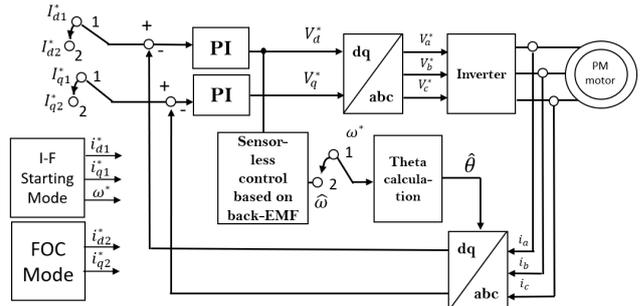


그림 1 제안하는 센서리스 시스템의 블록 다이어그램
 Figure 1 Block diagram of the proposed sensor-less system

동기기 초기기동 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있다. 그림 1의 3개의 스위치를 보면, 상태 1과 상태 2가 있다. 스위치가 상태 1일 때 동기기 초기 가속 구간과 안정화 구간을 포함하고 스위치 상태가 2로 바뀌면 센서리스 알고리즘으로 전환이 된다. 각 지령에 대해서는 그림 2에서와 같이 설정하였다.

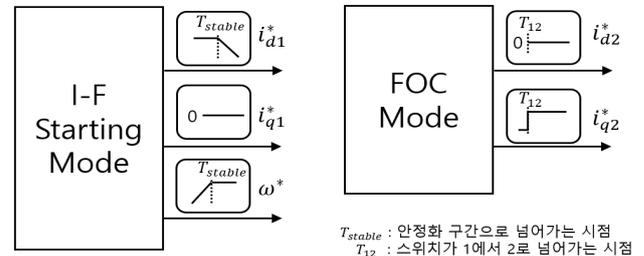


그림 2 구간별 전류 및 속도 지령
 Figure 2 Current and speed command per section

제안하는 알고리즘은 초기 기동시에 외부 부하가 없다면 토크 성분으로는 관성과 마찰만이 있으므로 q축 전류 지령을 인가하는 방법^[1]과 달리 d축 전류 지령을 인가하여 센서리스 전환 시에 위상각 오차로 인한 전류 오버슈트를 줄였다. 스위치가 상태 1일 때, 동기 좌표계 d축 전류지령 i_{d1}^* 은 일정 값으로 하고 q축 전류지령 i_{q1}^* 은 0으로 한다. 그리고 임의의 각속도 지령 ω^* 은 일정 기울기로 증가 시켜준다. 이후 안정화 구간에서 i_{d1}^* 를 일정 기울기로 감소시키고 ω^* 는 일정하게 유지 시켜준다. 이 과정은 스위치 2로 스위칭 할 때 전류 오버슈트를 최소화하기 위한 과정이다.

초기 회전자 위치를 모르는 상태에서 d축 전류 지령을 인가하게 되면 d축과 q축 전류가 진동을 하면서 나타나

게 된다. 이 때 q축 전류는 동기기의 가속에 필요한 유효 토크 성분이고 d축 전류는 자속 성분이 된다. 무부하 상태 전동기의 가속에 필요한 유효 토크 성분은 관성과 마찰에 의한 토크분만 있게 되며, 그 크기는 d축 전류 지령의 일부분에 속한다. 따라서 d축 전류 지령의 대부분은 d축 전류로 나타나게 된다. d축 전류의 크기를 줄이지 않은 상태에서 절환을 하게 되면 모터의 인덕터 성분으로 인해 전류의 오버슈트가 생기게 된다. 이를 최대한 줄이기 위해 제한하는 알고리즘은 안정화 구간을 갖는다. ω^* 와 I_{d1}^* 의 적당한 값은 토크 방정식과 모터 파라미터를 통해서 구할 수 있다. 일정 기율기 속도 지령을 다음과 같이 표현한다.

$$\omega_e = K_\omega t \quad (1)$$

실제 회전자 각과 임의의 회전자 각의 차이를 θ_{error} 라 하면 모터 토크 T_e 는 θ_{error} 의 함수로 나타난다.

$$T_e = K_T i_d^* \sin \theta_{error} \quad (2)$$

토크 방정식은 비선형 방정식으로 분석적으로 풀기 어렵다. 이때, 가속 중에 회전자는 순간 토크가 아닌 평균 토크에 의해 결정된다.^[1] 그래서 최종적으로 K_ω 는 다음과 같다.

$$K_\omega < \frac{p(K_T i_d^* - T_{L,max})}{J} \quad (3)$$

식 (3)를 식 (1)에 대입하여 식 (4)의 조건으로 전류 지령과 속도지령을 선정한다.

$$\omega_e < \frac{p(K_T i_d^* - T_{L,max})}{J} t \quad (4)$$

2.2 센서리스 절환 시 안정화 방법

초기 회전자 가속구간을 거친 후 센서리스로 바로 절환하게 되면 d축 전류로 인해 전류 오버슈트가 크게 나타난다. 전류 오버슈트를 줄이기 위해 d축 전류 지령을 일정 기율기로 0까지 감소시키고 임의의 속도 지령 ω^* 을 일정한 값으로 유지한다. 절환 순간 d축 전류 지령은 마찰이 없다는 가정을 하여 0까지 감소시킨 것이다. 그림 1의 스위치 상태 2로 스위칭을 하게 되면 역기전력 기반의 센서리스 속도 정보 $\hat{\omega}$ 를 계산하여 동기기가 동작하게 된다.

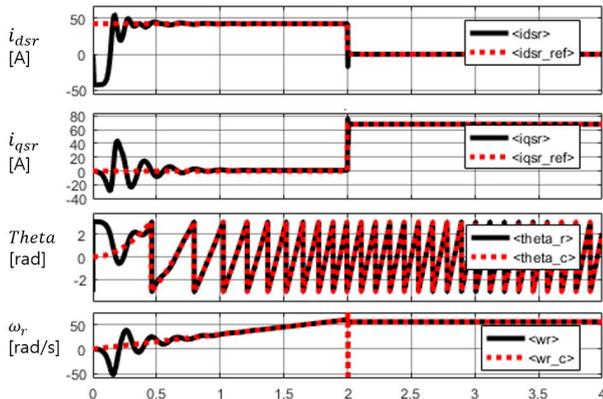


그림 3 안정화 구간 미적용 시 시뮬레이션 파형
Figure 3 Simulation waveform when stabilization section is not used

그림 3은 센서리스 제어 모드로 절환 전 안정화 구간을 거치지 않은 결과 파형이다. 시뮬레이션 조건은 초기

회전자의 위치가 90° 앞설 때의 상황이고 실선은 순서대로 실제 d-q전류, 위상각, 전기 각속도를 나타내며 점선은 제어기의 d-q 전류 지령, 제어기 위상각, 전기각속도를 나타낸다. 초기 실제 회전자의 위치가 90° 앞서는 상황으로 제어기 각도와 동기화하기 전까지 진동을 하게 된다. 이후 일정 전류 지령 및 일정 기율기 속도 지령으로 동기기의 회전속도를 높인 후 2초에서 센서리스 절환 한다. 이때 d축 전류 분이 급격히 변하면서 전류의 오버슈트가 발생하게 되는 것을 확인 할 수 있다.

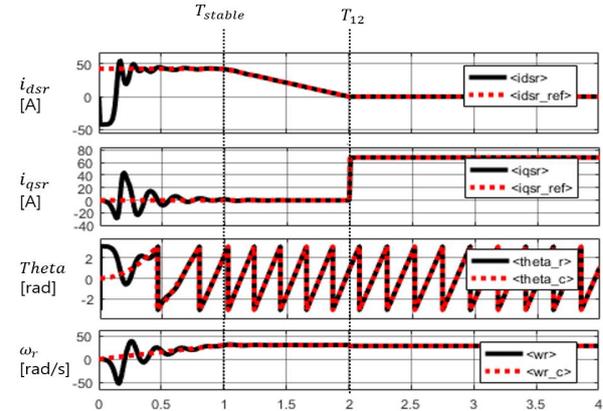


그림 4 안정화 구간 적용 시 시뮬레이션 파형
Figure 4 Simulation waveform when stabilization section is applied

그림 4은 센서리스 제어 모드로 절환 전 안정화 구간을 적용시킨 상태의 시뮬레이션 파형이다. 1초부터 d축 전류 지령을 일정 기율기로 0까지 감소 시키고 속도 지령은 일정하게 유지한다. 이후 2초에 센서리스 절환을 하게 되면 그림 2와 달리 안정적으로 센서리스 전류의 오버슈트 없이 절환 되는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 표면 부착형 동기전동기의 초기기동 방법으로 I-F 기동 방법을 제시하고 제어 방법 절환 시에 문제가 되는 전류 오버슈트 문제에 대한 해결 방법을 제시한다. 제시한 방법은 MATLAB/Simulink 를 통해 검증 하였다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20153010024470)

참고 문헌

- [1] Zihui Wang, "A Simple Startup Strategy Based on Current Regulation for Back-EMF-Based Sensorless Control of PMSM", Proceedings of the IEEE, Vol. 27, No. 8, pp. 3817-3825, 2012, August.
- [2] Cassio Luciano Baratieri, and Humberto Pinheiro, "An I-F Starting Method for Smooth and Fast Transition to Sensorless Control of BLDC Motors" Proceedings of the IEEE, pp. 836-843, 2013