

매입형 영구자석 동기전동기의 고속운전시 전류제어 성능 개선

최현우, 김원용, 심재훈, 목형수, 양두영, 이주석

건국대학교 전기공학과, 서울대학교 제어계측신기술연구소, 경기과학기술대학교 공조기계과

Improvement Current Control Performance of High Speed IPMSM Operation

Hyunwoo Choi, Wonyong Kim, Jaehun Sim, Hyungsoo Mok, Dooyoung Yang, Jusuk Lee
Konkuk University, Research Center for Advanced Control and Instrumentation, Gyeonggi College of Science and Technology

ABSTRACT

비례 적분(PI) 제어기는 전동기의 간섭성분을 고려하지 않기 때문에 고속회전영역에서 오버슈트가 커지고, 적분기 포화로 인해 정착 시간이 느려지는 단점이 있다. 고속회전영역에서 느린 응답성을 보완하기 위해 전동기의 간섭성분을 고려하는 Cascade PI 전류제어기가 제안되었지만 오버슈트를 증가시키는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 Cascade PI 제어기를 소개하고 Cascade PI 제어기의 오버슈트 특성을 개선하기 위한 전류제어기를 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 각 제어기의 성능을 비교, 분석하였으며 실험을 통해 이를 검증하였다.

1. 서 론

PI 제어기는 전동기의 간섭성분을 고려하지 않고 선형 영역에서 설계하기 때문에 고속회전영역에서 오버슈트가 커지고 느린 정착 시간을 갖는 단점이 있다. 고속회전영역에서의 응답 성능을 개선하기 위해 전동기의 간섭성분을 고려하는 Cascade PI 제어기가 제안되었다. Cascade PI 전류제어기는 고속회전영역에서의 빠른 동특성을 갖지만 오버슈트가 크기 때문에 피크 전류에 의한 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 Cascade PI 전류제어기에서 발생하는 피크 전류의 크기를 줄이기 위해 적분 비례(IP) 제어기를 적용하였다. Cascade PI 제어기의 구조에서 IP 제어기를 적용함으로써 고속회전영역에서의 응답성은 느려지지만 오버슈트의 크기를 줄이는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 일반적인 PI 제어기와 Cascade PI 제어기, 제안한 전류제어기를 비교, 분석하였으며 실험을 통하여 제안한 전류제어기의 제어 성능을 검증하였다.

2. 제안한 전류제어기의 구조

2.1. Cascade PI 전류제어기^[1]

Cascade PI 전류제어기는 적분 제어기와 모터의 역모델 연산에 의해 전압 지령을 연산함으로써 비간섭 제어를 구현한다. 전류 지령과 전류 검출치의 편차를 적분 연산을 하여 또 다른 전류 지령을 구하고, 전동기의 역모델을 이용하여 벡터 연산을 실행하면 전달함수는 단순한 적분 형태가 된다. Cascade PI 전류제어기의 구조는 다음 그림 1과 같다.

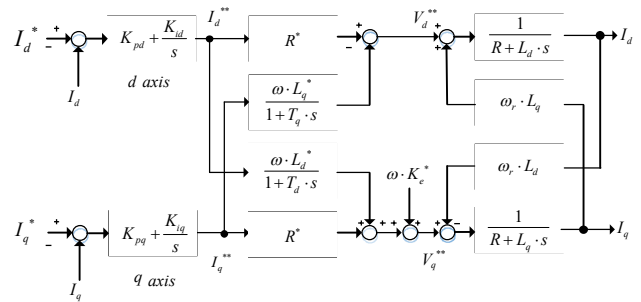


그림 1 Cascade PI 전류제어기의 블록선도

여기서 T_d 와 T_q 는 다음과 같다.

$$T_d = \frac{L_d^*}{R^*}, T_q = \frac{L_q^*}{R^*} \quad (1)$$

Cascade PI 전류제어기는 전류 지령과 전류 검출치가 PI 제어기를 통해 제 2차 전류 지령이 되며, 새로운 전류 지령이 1차 지역 통과 필터의 형태로 비간섭 제어를 한다.

2.2. 제안한 전류제어기

Cascade PI 전류제어기의 큰 오버슈트를 개선하기 위해 IP 제어기를 적용한 제어기의 구조는 다음 그림 2와 같다.

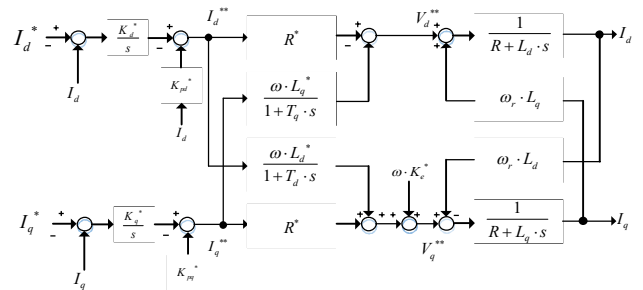


그림 2 제안한 전류제어기의 블록선도

IP 제어기는 PI 제어기에 비해 전류 지령의 변동에 대한 제어 출력이 작기 때문에 오버슈트 저감의 효과를 갖는다.^[2]

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

표 1 매입형 영구자석 동기전동기 제정수

정격 출력	3.5 [kW]
정격 전압	135 [V]
정격 속도	2000 [r/min]
전동기 극수	16
고정자 저항	0.0128 [Ω]
d축 인덕턴스	0.220 [mH]
q축 인덕턴스	0.280 [mH]
역기전력 상수	0.0442 [V-sec/rad/Wb]

3.1. 시뮬레이션 결과

약자속 영역 3000[r/min], 제어기 대역폭은 300[Hz]에서 PI제어기와 Cascade PI 제어기를 시뮬레이션 하였다. 제안한 전류제어기는 IP 제어기의 1차 지연필터 성분을 고려하여 1500[Hz]의 대역폭으로 진행하였다.

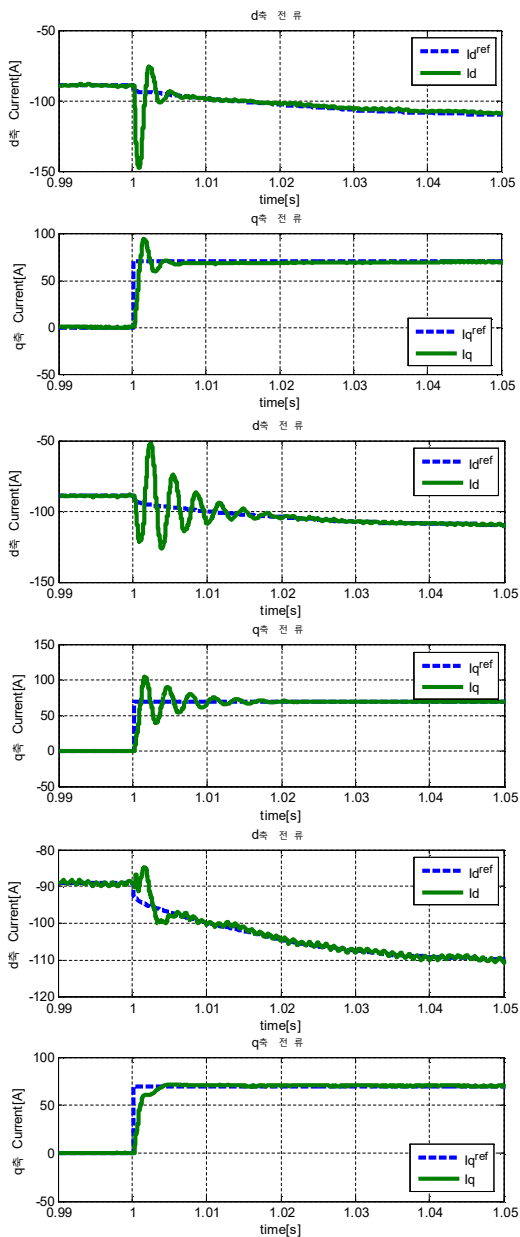


그림 3 (a)3000rpm에서 (a) PI 제어기 (b) Cascade PI 제어기 (c) 제안한 제어기의 전류제어 시뮬레이션 결과

3.2. 실험 결과

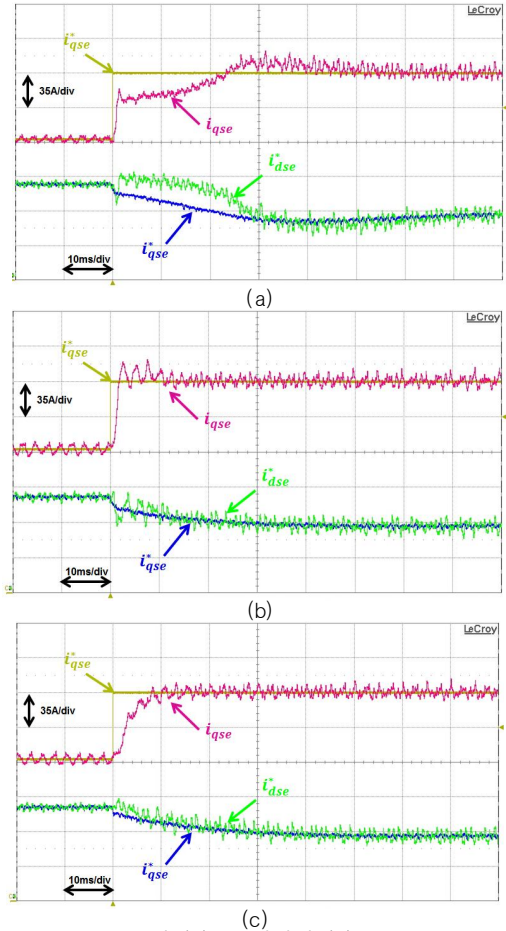


그림 4 3000rpm에서 (a) PI 제어기 (b) Cascade PI 제어기 (c) 제안한 제어기의 전류제어 실험 결과

PI 제어기의 정착시간은 고속에서 약 40ms를 보이는데 비해 Cascade PI 제어기는 10ms 미만의 빠른 동특성을 갖는 것을 확인하였다. Cascade에 IP 제어기를 적용한 결과 정착시간은 약 5ms 늘어나지만 피크 전류의 크기가 약 10% 감소하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 오버슈트 저감과 응답속도 개선을 위한 전류제어기를 제안하였다. 제안한 제어기는 실험 결과 PI 제어기에 비해 10ms 빠른 응답성을 보였으며, Cascade PI 제어기의 오버슈트를 약 60% 감소시켰다.

본 연구는 산업통상자원부의 지원에 의하여 두산인프라코어(주)의 주관으로 수행된 과제임.(0420 20130133)

참고 문헌

- [1] Kazuaki Tobar, Tsunehiro Endo, Yoshitaka Iwazi and Yoshiki Ito, "Examination of New Vector Control System of Permanent Magnet Synchronous Motor for High Speed Drive", IEEJ Trans. IA., Vol. 125, No. 1, pp. 136-145, 2009.
- [2] 설승기, "전기기기제어론", 홍릉과학출판사, 2012