

Dual PI 제어를 이용한 IPMSM 드라이브의 고성능 제어

고재섭, 최정식, 김도연, 정병진, 정동화
 순천대학교 정보통신공학부

High Performance Control of IPMSM Drive using Dual PI Controller

Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Do-Yeon Kim, Byung-Jin Jung, Dong-Hwa Chung

Abstract - This Paper proposes Dual-PI controller for high performance control of IPMSM drive. Input of traditional PI control used speed error, but Dual-PI controller used two input speed error, current error and output is output is q -axis current. Dual-PI controller is possible both speed control and current error. Therefore, dual-PI controller can is reduced current ripple. This paper is made analysis performance of algorithm and proposes result.

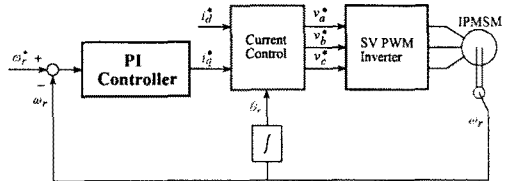


그림 1. 속도제어를 위한 벡터제어 IPMSM의 블록도
 Fig. 1. Block diagram of vector control IPMSM for speed control

1. 서 론

최근, IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)은 토크 및 전력밀도가 높고 효율 및 역률이 우수하기 때문에 공장자동화의 서보 드라이브용으로 각광을 받고 있다. 고성능 서보 드라이브에 사용되는 IPMSM 제어는 정확한 토크, 모든 동작조건을 위한 속도와 위치를 정확하게 알아야 한다.

IPMSM 드라이브를 제어하기 위하여 아직도 산업현장에서는 일반적으로 PI 제어를 많이 사용하고 있다.[1]-[2] 이는 PI 제어가 간단하게 구현할 수 있고 파라미터와 시스템의 응답설정 사이에 존재하는 관계가 명확하기 때문이다.[1] 또한 PI 제어기는 다양한 최신 제어 알고리즘과 기법을 개발하는데 기초가 된다.

본 논문에서는 IPMSM 드라이브의 고성능 제어를 위하여 Dual-PI 제어를 사용한다. Dual-PI 제어기는 속도제어를 위한 속도오차루프, 전류제어를 위한 전류제어 루프를 병렬로 연결한 형태로서, 속도제어 뿐만 아니라 전류제어까지 가능하게 하는 PI 제어기이다. 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 분석하고 그 결과를 제시한다.

2. IPMSM의 모델링

그림1은 IPMSM의 일반적인 벡터제어 블록도를 나타낸다. 이러한 시스템 구성은 로봇, 항공기 및 전기자동차 등의 드라이브와 같은 고성능 제어 시스템에 응용된다.

i_d^* 와 i_q^* 는 지령 토크 및 자속 성분의 전류를 나타내며 전류제어에 의해 v_d^* , v_q^* , v_c^* 를 얻는다. 이를 SV PWM 인버터에 의해 IPMSM을 제어한다. 회전자의 위치정보 θ_r 는 좌표변환에 이용한다.

동작특성을 분석하기 위한 IPMSM의 미분 방정식은 다음과 같다.

$$p i_d = (v_d - R i_d + \omega_r L_d i_q) / L_d \tag{1}$$

$$p i_q = (v_q - R i_q - \omega_r L_d i_d - \omega_r \phi_{af}) / L_q \tag{2}$$

$$p \omega_r = (T_e - T_L - B \omega_r) / J \tag{3}$$

여기서, 발생토크는 다음 식으로 표현된다.

$$T_e = \frac{3}{2} p [\phi_{af} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \tag{4}$$

3. Dual-PI 제어기

산업적응을 위한 IPMSM 드라이브의 제어기는 대부분 속도오차를 입력으로 하는 PI 제어기를 사용한다. 속도오차를 입력하는 PI 제어기는 속도제어에 있어서 양호한 성능을 나타내지만 전동기 고장의 원인이 되는 전류리플 및 스파크등에 취약한 문제점을 가지고 있다. 그림2는 일반적인 PI 제어기를 나타낸다. PI 제어기는 속도오차를 그 입력으로 사용하여 q 축 전류를 출력한다.

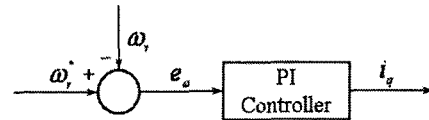


그림 2. PI 제어기
 Fig. 2 PI controller

따라서 이러한 PI 제어기의 문제점을 해결하기 위하여 Dual-PI 제어기를 제시한다. 그림3은 Dual-PI 제어기를 나타낸다.

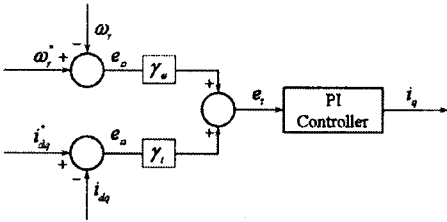


그림 3. Dual-PI 제어기
Fig. 3. Dual-PI controller

Dual-PI 제어기는 두 개의 전동기 속도루프와 전류루프를 사용한다. Dual-PI 제어기는 두 오차신호의 합을 입력받아 q 축 전류를 출력한다. 이때 Dual-PI에 입력되는 오차신호의 합은 식(5)와 같다.

$$e_c = \gamma_\omega e_\omega + \gamma_i e_i \quad (5)$$

여기에서, γ_ω, γ_i 는 속도오차와 전류오차의 가중치 값을 나타낸다.

Dual-PI 제어기는 속도오차와 전류오차를 입력변수로 사용함으로써 속도제어 뿐만 아니라 전류제어를 동시에 가능하게 한다. Dual-PI 제어기는 전류를 제어함으로써 전류리플을 줄일 수 있으며 이에 따라 IPMSM 드라이브의 제어 성능을 향상시킬 수 있다.

그림4는 본 논문에서 제시한 Dual-PI 제어기를 이용하여 속도 및 전류를 제어한다. Dual-PI 제어기는 지령속도와 실제속도를 비교한 속도오차와 지령전류와 실제전류를 비교한 전류오차를 입력받아 q 축 전류를 구한다. 전류제어에 의해 지령전압을 구한다음, SV PWM 인버터를 구동시켜 IPMSM을 제어한다.

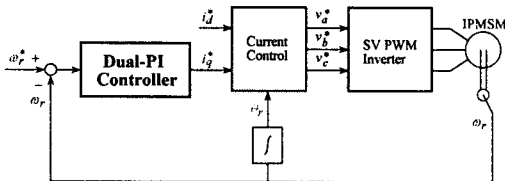


그림 4 제시한 IPMSM의 드라이브 시스템
Fig. 4 Proposed Drive system of IPMSM

4. 성능결과 분석

그림 4는 0.2[sec] 1800[rpm]으로 운전중 0.6[sec]에 부하토크를 3[N.m] 인가했을 경우 Dual-PI 제어기의 응답특성을 나타낸다. (a)는 지령속도, 실제속도, (b)는 q 축 전류, (c)는 d 축 전류, (d)는 발생토크를 나타낸다. 그림 5는 그림4와 같은 조건에서 운전했을 경우 PI 제어기의 응답특성을 나타낸다.

그림 6은 관성이 2배로 변화하였을 경우 Dual-PI 제어기의 응답특성을 나타내며, 그림 7은 그림 6과 같은 조건에서 PI 제어기의 응답특성을 나타낸다.

그림 8은 전기자 저항이 2배가 되었을 경우 Dual-PI 제어기의 응답특성을 나타내며, 그림 9는 PI 제어기를 나타낸다.

지령속도, 부하 및 파라미터 변동에 대해서 Dual-PI 제어기는 종래의 PI 제어기에 비하여 전류리플이 현저하게 감소됨을 알 수 있었으며, 따라서 Dual-PI 제어기가 종래의 PI 제어기에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

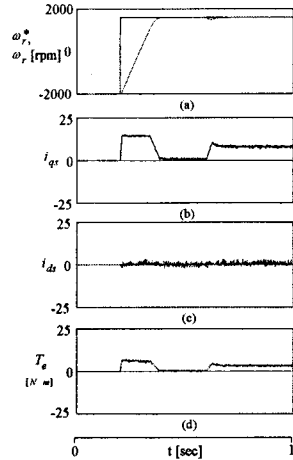


그림 4. 지령속도 및 부하변화에 대한 응답특성(Dual-PI)
Fig. 4. Response characteristic with variation of command speed and load torque(Dual-PI)

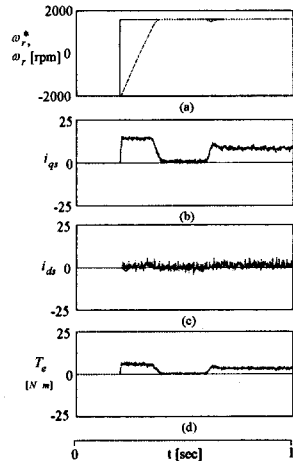


그림 5. 지령속도 및 부하변화에 대한 응답특성(PI)
Fig. 5. Response characteristic with variation of command speed and load torque(PI)

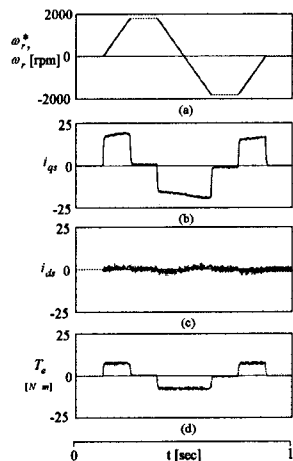


그림 6. 파라미터 변동에 대한 응답특성(Dual-PI)- $2J_n$.
Fig. 6. Response characteristic with variation of parameter(Dual-PI)- $2J_n$.

5. 결 론

본 논문에서는 IPMSM 드라이브의 고성능 제어를 위하여 Dual-PI 제어를 제시하였다. Dual-PI 제어기는 종래의 PI 제어기의 전류리플 성분을 저감시키기 위하여 속도루프와 전류루프를 이용한다. 이 제어기는 속도제어뿐만 아니라 전류제어를 통하여 양호한 속도제어성능과 전류제어를 제공한다.

Dual-PI 제어기를 IPMSM 드라이브 시스템에 적용하여 파라미터 변동, 정상상태 및 과도상태 등이 응답특성을 분석하였다. 속도 및 부하토크 변화에서 Dual-PI 제어기는 종래의 PI 제어기보다 전류성분에서 리플이 현저하게 감소되어 양호한 응답특성을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제시한 Dual-PI 제어기는 고성능 응답특성을 얻을 수 있었으며 본 논문의 타당성을 입증할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Y. Tzou, "DSP-based robust control of an AC inducti on servo drive for motion control," IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., vol. 4, pp. 614-626, 1996.
- [2] M. Santos and J. M. de la Cruz, "Between fuzzy PID an d PID conventional controllers," NAFIPS'96, Berkley, U SA, June 1996.

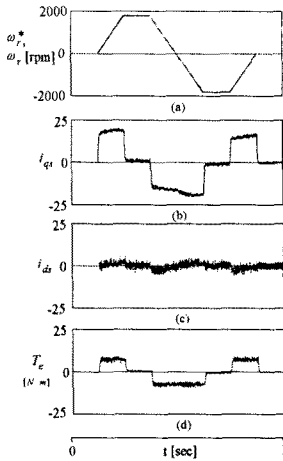


그림 7. 파라미터 변동에 대한 응답특성(PI)- $2J_n$
Fig. 7. Response characteristic with variation of parameter(PI)- $2J_n$.

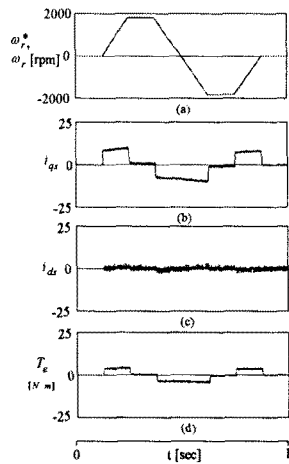


그림 8. 파라미터 변동에 대한 응답특성(Dual-PI)- $2R_s$
Fig. 8. Response characteristic with variation of parameter(Dual-PI)- $2R_s$.

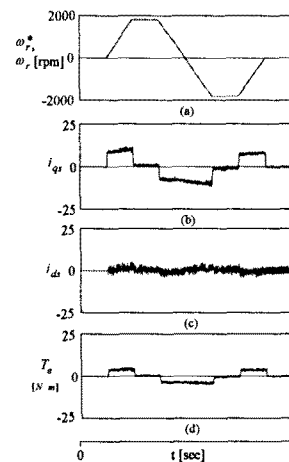


그림 9. 파라미터 변동에 대한 응답특성(Dual-PI)- $2R_s$
Fig. 9. Response characteristic with variation of parameter(Dual-PI)- $2R_s$.