

FAM 제어를 이용한 IPMSM 드라이브의 하이브리드 PI 제어기

Hybrid PI Controller of IPMSM Drive using FAM Controller

고 재 섭, 최 정 식, 정 동 화*

(Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, and Dong-Hwa Chung)

Abstract : This paper presents Hybrid PI controller of IPMSM drive using fuzzy adaptive mechanism(FAM) control. In general, PI controller in computer numerically controlled machine process fixed gain. They may perform well under some operating conditions, but not all. To increase the robustness, fixed gain PI controller, Hybrid PI controller proposes a new method based self tuning PI controller. Hybrid PI controller is developed to minimize overshoot and settling time following sudden parameter changes such as speed, load torque, inertia, rotor resistance and self inductance. The results on a speed controller of IPMSM are presented to show the effectiveness of the proposed gain tuner. And this controller is better than the fixed gains one in terms of robustness, even under great variations of operating conditions and load disturbance.

Keywords : IPMSM drive, fuzzy control, Hybrid PI controller, fuzzy self tuning PI controller

I. 서론

최근, IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)은 토크 및 전력밀도가 높고 고 효율 및 역률 때문에 서보 드라이브의 적용분야에 광범위하게 사용되고 있다. DC 및 AC 전동기와 비교하여 고성능, 잡음이 없고 효율적인 전동기 드라이브에 매우 호응도가 높다[1]. 그리고 토크리플이 작고 광범위한 속도범위에서 자기 轉流 능력을 가지고 있으며 체적이 작고 제어가 용이한 장점을 가지고 있다[2].

IPMSM 드라이브를 제어하기 위하여 아직도 산업현장에서는 일반적으로 PI 제어를 많이 사용하고 있다[3,4]. 이는 PI 제어기가 간단하게 구현할 수 있고 파라미터와 시스템의 응답설정 사이에 존재하는 관계가 명확하기 때문이다[4]. 또한 PI 제어기는 다양한 최신 제어 알고리즘과 기법을 개발하는데 기초가 된다. PI 제어기의 고정된 이득은 어떤 동작조건의 환경에서는 양호하게 수행된다. 그러나 이 제어기는 일반적으로 비선형과 불확실한 모델에 의해 복잡하고 시변이며 비선형일 경우에는 문제점이 나타난다[5,6]. 특히 외란, 속도 및 부하 등의 파라미터가 변동할 경우 고성능 및 강인성 제어를 실현하기 어렵다[7,8].

산업 프로세서의 적용에는 부하 외란, 파라미터 변화 및 어떤 모델의 불확실성 등에 대하여 고성능과 강인성을 발휘할 수 있는 기법이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 적응 퍼지제어[9], 파라미터 변동을 고려한 퍼지제어[10], 새로운 퍼지제어[11] 및 적응 FNN(Fuzzy-Neural Network)[12-14] 등의 연구가 되었다. 이러한 연구들은 간접 벡터에 의한 유도전동기의 드라이브 시스템에 적용하여 양호한 성능을 얻을 수 있었다. 그리고 이 연구들은 고속 및 저속의 속도변화, 부하 변동, 관성 변화 및 정·역회전 운

전 등 다양한 동작에도 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 그러나 이러한 기법들은 종래의 PI 제어를 대체하여 사용하였으며 PI 제어기 이득을 조절하여 양호한 성능을 얻을 수 있는 기법은 제시하지 않았으며 IPMSM 드라이브에는 적용하지 않았다.

드라이브의 센서리스 제어를 위하여 다양한 적응제어 기법이 제시되었다[15]. 적응제어는 부하토크 및 부하관성과 같은 광범위한 동작변화에도 양호한 속도응답을 얻을 수 있는 우수한 기법으로 평가를 받았다. 그러나 수학적 모델링에 기초하고 계산시간이 많이 소요되는 알고리즘이기 때문에 매우 복잡하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 최근에 많이 연구가 되고 있는 ANN(Artificial Neural Network)을 적용하여 센서리스를 제어를 한다.

본 논문에서는 FAM(Fuzzy Adaptive Mechanism) 제어를 이용하여 IPMSM의 드라이브 시스템의 속도제어를 위하여 하이브리드 PI 제어를 제시한다. 본 논문에서 제시한 하이브리드 제어를 종래에 많이 사용되었던 PI 제어기와 성능을 비교한다. 속도, 부하토크, 관성, 회전자 저항 및 자기 인덕턴스 등 다양한 파라미터의 변동에도 강인성 및 고성능 제어가 가능한 하이브리드 PI 제어기의 양호한 성능을 확인한다. 다음은 ANN을 이용하여 IPMSM 드라이브의 속도 추정기법을 제시한다. 2층 구조를 가진 신경회로망에 BPA(Back Propagation Algorithm)를 적용하여 IPMSM 드라이브의 속도를 추정한다. 추정속도의 타당성을 입증하기 위하여 시스템을 구성하여 제어특성을 분석한다. 그리고 추정된 속도를 지령속도와 비교하여 전류제어와 공간벡터 PWM을 통하여 IPMSM의 속도를 제어한다. 본 연구에서 제시한 알고리즘의 성능과 추정특성을 분석하고 그 결과를 제시한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 1. 18., 채택확정 : 2006. 8. 31.

고재섭, 최정식 : 순천대학교 대학원 전기공학과

(kokos22@naver.com/1108cjs@daum.net)

정동화 : 순천대학교 전기제어공학과(hwa777@sunchon.ac.kr)

II. IPMSM의 모델링

SV(Space Vector) PWM 인버터에 의해 구동되는 벡터제어 IPMSM의 속도제어 방식은 그림 1과 같다. 이러한 시스

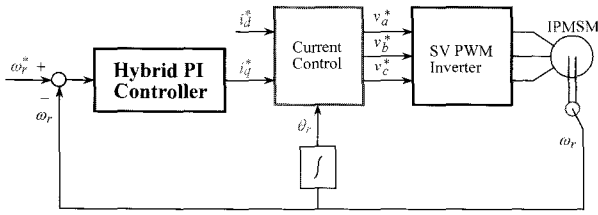


그림 1. 속도제어를 위한 벡터제어 IPMSM의 블록도.
Fig. 1. Block diagram of vector controlled IPMSM for speed control.

템 구성은 로봇, 항공기 및 전기자동차 등의 드라이브와 같은 고성능 제어 시스템에 응용된다.

i_q^* 와 i_d^* 는 지령 토크 및 자속 성분의 전류를 나타내며 전류제어에 의해 v_a^*, v_b^*, 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.

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

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

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

여기서, 발생토크는 다음 식으로 표현된다.

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

III. 하이브리드 PI 제어기

간접 벡터제어로 구동되는 IPMSM의 속도제어를 위한 하이브리드 PI 제어기의 설계는 그림 2와 같다.

PI 제어기의 두 개의 이득이 잘 알려진 종래의 방법을 이용하여 초기화한다. 그러나 이 이득은 정격 동작조건에서 IPMSM의 추정모델에 의존한다.

PI 제어기의 두 개의 이득을 동조하기 위한 퍼지 알고리즘은 파라미터가 변동할 경우에 양호한 성능을 유지하기 위하여 사용한다. 이는 ΔK_p 와 ΔK_i 를 발생시키기 위하여 퍼지 룰을 사용한다. 이 룰의 설계는 정량적인 지식에 기초하며 여러 동작조건에서 K_p 와 K_i 의 다양한 값을 위한 종래의 PI 제어기를 해석하여 구한다.

FAM에서 입력은 속도 오차 e 와 속도 오차의 변화 ce

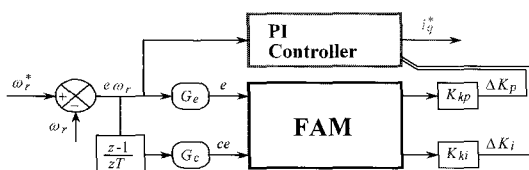


그림 2. 하이브리드 PI 제어기의 구조.
Fig. 2. The structure of Hybrid PI controller.

표 1. 이득 K_i 를 경신하기 위한 룰 베이스.

Table 1. Rule base to update gain K_i .

$e\omega_r$ $ce\omega_r$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE
NM	PS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS
NS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM
ZE	PL	PM	PS	ZE	PS	PM	PL
PS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM
PM	PS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS
PL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE

표 2. 이득 K_p 를 경신하기 위한 룰 베이스.

Table 2. Rule base to update gain K_p .

$e\omega_r$ $ce\omega_r$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZE
NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZE	PS
NS	NL	NL	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL
PM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL	PL
PL	ZE	PS	PM	PL	PL	PL	PL

이고 출력은 두 개의 이득 K_p 와 K_i 이다. K_p 와 K_i 를 경신하기 위한 퍼지 룰은 표 1과 표 2에 나타난다. 퍼지집합은 같은 쪽으로 중복된 삼각형 함수를 사용한다.

퍼지 동조기는 두 개의 출력 언어변수의 비퍼지화를 위하여 무게중심법을 사용하여 PI 제어기의 이득의 적절한 변화를 얻는다. 이 두 개의 이득은 다음과 같이 경신한다.

$$K_p = K_p + K_{kp} f_1(e_n, \Delta e_n) \tag{5}$$

$$K_i = K_i + K_{ki} f_2(e_n, \Delta e_n) \tag{6}$$

드라이브의 안정화를 위하여 이득 K_p 와 K_i 는 정상상태에 도달하면 제한하고 지령속도가 변화할 경우에는 초기화한다.

첫 번째는 추론 룰 표에서 이득 K_i 는 속도오차를 정 방향으로 크게 하거나 부 방향일 경우에는 더욱 증가시키고 속도의 오차변화를 정 방향으로 크게 하거나 부 방향일 경우에는 더욱 감소시킨다. 이는 속도의 상승시간이 개선되지만 오버슈트에 의한 속도응답이 지연된다.

두 번째는 이득 K_p 는 오차와 오차변화가 정 방향으로 클 경우에는 증가시키고 부 방향으로 작을 경우에는 감소시킨다. 이는 속도의 오버슈트와 정상상태의 오차를 감소시킨다.

IV. ANN에 의한 속도 추정

ANN은 인간 두뇌의 간단한 모델에 의해 사고하는 구조로 이루어진 컴퓨팅 시스템이다. ANN은 비선형 동적 시스

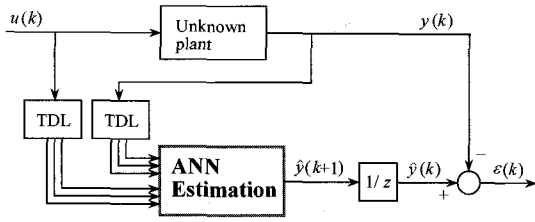


그림 3. ANN을 이용한 시스템 추정.

Fig. 3. System estimation using ANN.

템의 파라미터를 추정 및 제어를 하는데 사용한다.

ANN을 위한 이상적인 적용은 비선형 시스템의 추정분야에 있다. 실질적으로 어떤 이산 비선형 시스템은 지연 입·출력에서 시스템을 표현할 수 있는 NARMAX(Nonlinear Auto Regressive Moving Average with eXogenous inputs) 모델에 의해서 나타낼 수 있다. 일반적으로 NARMAX 모델은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$y(k+1) = f(y(k), \dots, y(k-d_y), u(k), \dots, u(k-d_u)) \quad (7)$$

여기서 d_u 와 d_y 는 입력과 출력 벡터 u 와 y 에서 최대 지연을 나타낸다. 이 모델의 형태는 모델이 전적으로 기지 양으로 표현되기 때문에 시스템의 추정을 추구하는데 이상적이다. 그림 3은 ANN을 이용한 시스템의 추정을 나타낸다. ANN은 시스템의 NARMAX 모델을 추정하는데 사용하며 이를 위해 (7)에서 필요한 입력과 예측 출력벡터 $\hat{y}(k+1)$ 로서 ANN의 출력을 구성한다. 이산시간 $k+1$ 에서 예측 출력 벡터를 실제 출력벡터와 비교하여 (11)에서 함수 $f(\cdot)$ 를 에뮬레이터하기 위하여 학습한다. 그리고 오차 역전파 알고리즘에 의해 ANN 하중을 새롭게 하기 위하여 오차를 사용한다.

ANN을 이용한 시스템의 추정에서 구한 IPMSM의 최종 추정속도는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_r(k+1) &= \hat{\omega}_r(k) + \Delta\hat{\omega}_r(k) \\ &= \hat{\omega}_r(k) - \frac{\Delta W_2(k)}{T} \\ &= \hat{\omega}_r(k) - \frac{\eta}{T} \left\{ [\hat{\phi}_q(k) - \hat{\phi}_q(k-1)] [\hat{\phi}_d(k-1)] \right. \\ &\quad \left. - [\hat{\phi}_d(k) - \hat{\phi}_d(k-1)] [\hat{\phi}_q(k-1)] \right\} - \frac{\alpha}{T} \Delta W_2(k-1) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 T 는 샘플링 주기를 나타내며 η 는 학습계수이며 학습과정에서 학습율을 나타낸다. 이 계수가 크면 하중 변화가 크다. 실제 구현을 위하여 학습율은 진동이 유발되지 않는 범위에서 큰 값으로 선정한다. 계수 α 는 현재 하중에서 변동하는 과거 하중의 영향을 결정한다.

추정속도를 이용한 회전자 자속의 위치는 다음과 같다.

$$\hat{\theta}_r(k+1) = \hat{\theta}_r(k) + T \cdot \hat{\omega}_r(k) \quad (9)$$

그림 4는 본 연구에서 제시한 방식으로 ANN를 이용하여 속도를 추정하고 하이브리드 PI 제어기를 이용하여 속

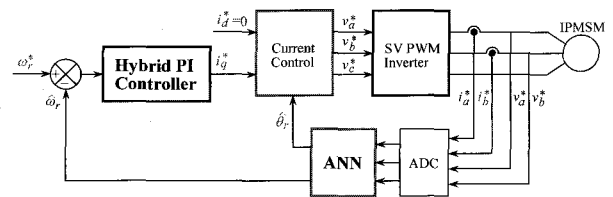


그림 4. 제시한 IPMSM의 드라이브 시스템.

Fig. 4. Proposed drive system of IPMSM.

도를 제어한다. ANN에 의해 속도를 추정하고 추정속도와 지령속도를 비교하여 오차를 구하고 그 오차는 하이브리드 PI 제어기에 입력한다. 하이브리드 제어기에서 지령 q 축 전류를 구한다. 전류제어에 의하여 지령전압을 구한 다음, SV PWM 인버터를 구동시켜 IPMSM을 제어한다.

V. 시스템의 성능결과

본 연구에서 사용한 IPMSM의 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. IPMSM의 파라미터.

Table 3. Parameter of IPMSM.

극수 R_s	4
전기자 저항 ϕ_a	0.57 [Ω]
영구자석 쇄교자속	0.108 [Wb]
정격 주파수	60 [Hz]
d 전기자 인덕턴스 L_d	8.72 [mH]
q 전기자 인덕턴스 L_q	22.8 [mH]
정격 토크	3.5 [$N \cdot m$]
정격 속도	1800 [rpm]

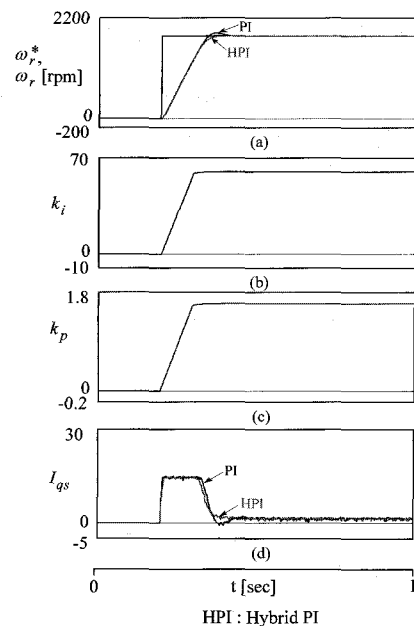


그림 5. PI와 하이브리드 PI 제어기의 응답특성의 비교.

Fig. 5. The comparison of response characteristics with PI and hybrid PI controller.

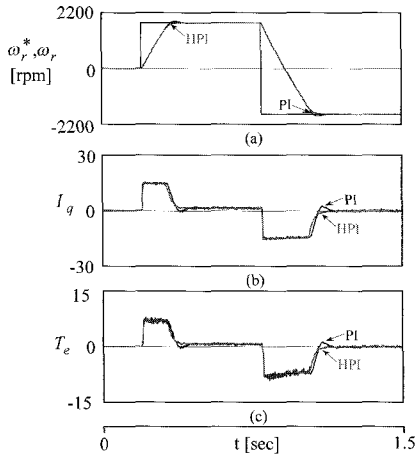


그림 6. 스텝 지령속도의 변화에 대한 응답비교.
Fig. 6. Response comparison with change of step command speed.

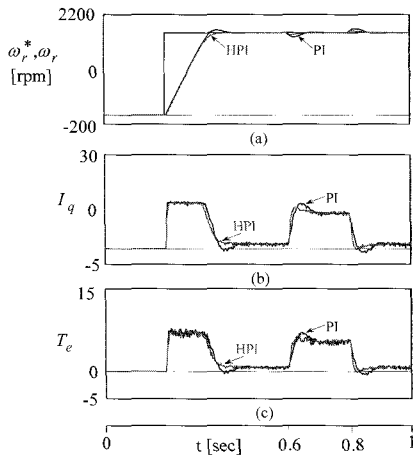


그림 7. 부하토크의 변화에 대한 응답비교.
Fig. 7. Response comparison with change of load torque.

그림 5는 지령속도를 1800[rpm]으로 인가할 경우 종래의 PI 제어기와 본 논문에서 제시한 하이브리드 PI 제어기의 응답특성을 나타낸다. 과도상태에서 K_i 와 K_p 값은 적응 동조하기 때문에 변화하고 있으며 하이브리드 PI 제어기는 종래의 PI제어기보다 오버슈트, 안정화 시간, 정상 및 과도 상태 오차 등 응답특성이 양호하게 나타난다.

그림 6은 정격속도 1800[rpm]으로 운전 중, -1800[rpm]으로 역회전 시켰을 경우에 나타나는 응답특성을 나타낸다. 속도의 변화에도 하이브리드 PI가 종래의 PI보다 응답특성이 양호하다.

그림 7은 정격속도 1800[rpm]으로 운전 중, 0.6-0.8[sec] 동안 부하토크 5[N·m]를 인가 할 경우 응답특성을 나타낸다. 동일한 조건에서 부하토크의 변동에도 하이브리드 PI가 PI보다 속도변화가 적게 나타나며 응답특성이 양호하다는 것을 알 수 있다.

그림 8-10은 파라미터 변동에 대한 응답 특성을 나타낸다. 그림 8(a)는 R_a 의 정격치, 그림 8(b)는 R_a 정격치의 1.5 배, 그림 8(c)는 R_a 정격치의 0.5배일 경우의 응답특성을 나

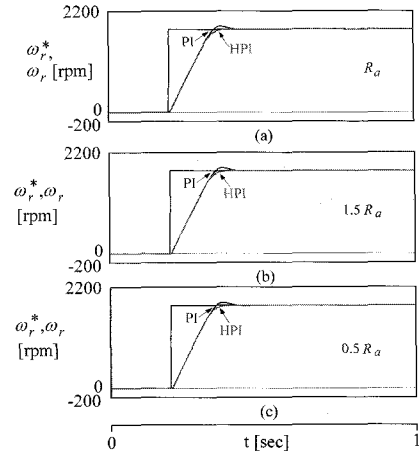


그림 8. 파라미터 변동에 대한 응답비교(R_a 변화).
Fig. 8. Response comparison with parameter changes.

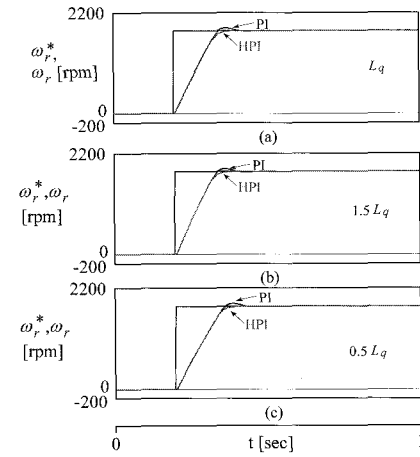


그림 9. 파라미터 변동에 대한 응답비교(L_q 변화).
Fig. 9. Response comparison with parameter changes.

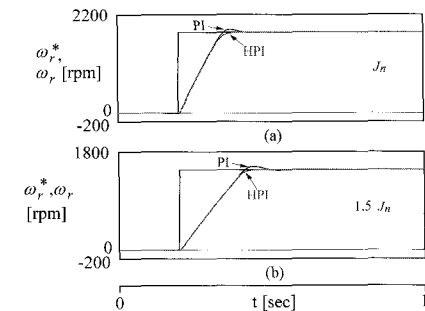


그림 10. 파라미터 변동에 대한 응답비교(J_n 변화).
Fig. 10. Response comparison with parameter changes.

타낸다. 그림 9(a)는 L_q 의 정격치, 그림 8(b)는 L_q 정격치의 1.5배, 그림 8(c)는 L_q 정격치의 0.5배일 경우의 응답특성을 나타낸다. 그림 10(a)는 J_n 의 정격치, 그림 10(b)는 J_n 정격치의 1.5배일 경우의 응답특성을 나타낸다. 파라미터가 변동 하더라도 하이브리드 PI 제어기가 종래의 PI 제어기보다 양호한 응답특성이 나타난다.

그림 11은 관성을 5배로 증가시키고 4상한 운전을 할 경우 두 방식을 비교한 응답특성의 결과이다. 그림 11(a)는 종래의 PI 제어기의 속도응답이며 그림 11(b)는 본 논문에서 제시한 하이브리드 PI 제어기의 속도응답이다. 종래의 PI 제어기는 오버슈트가 크고 상승시간 및 안정화 시간이 길어지게 되어 성능이 양호하게 나타나지 않는다. 그러나 본 논문에서 제시한 하이브리드 PI 제어기는 이러한 문제점이 해결되며 성능결과는 양호하게 나타난다. 그리고 속도 추정의 결과도 양호하게 나타나며 속도오차도 1% 미만으로 추정하였으므로 본 논문에서 제시한 하이브리드 PI 제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

그림 12는 0.2[sec]에 스텝 지령 1000[rpm]을 후 0.6[sec] ~0.8[sec]에 5[N·m]의 부하토크를 주고 1[sec]에 역방향으로 100[rpm]의 스텝 지령을 주었을 때의 응답 특성과 속도추정을 나타낸다. 전 구간에서 속도의 추정치는 실제속도의 1[%] 이내로 ANN을 이용한 속도 추정에도 양호한 특성을 보여 주고 있다.

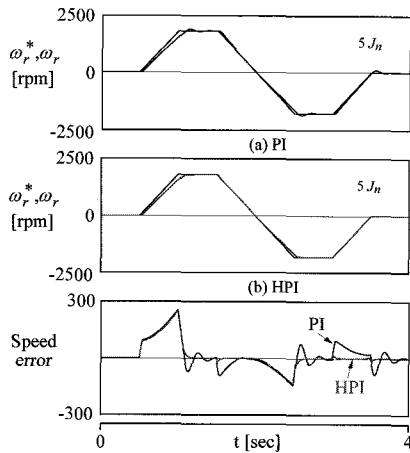


그림 11. 4상한 운전에서 파라미터 변동에 대한 응답비교.
Fig. 11. Response comparison with parameter variation in quadrant drive.

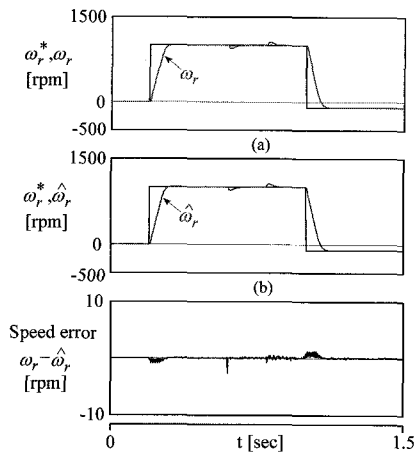


그림 12. 스텝 지령속도 변화와 부하인가에 따른 속도 추정.
Fig. 12. Speed estimation with step command speed change and load injection.

VI. 결론

본 논문에서는 IPMSM 드라이브의 고성능 제어를 위하여 FAM을 이용하여 하이브리드 PI 제어기를 제시하였다. 하이브리드 PI 제어기는 퍼지논리와 종래의 PI 제어기를 혼합한 형태이며 기준 모델을 사용하지 않고 간단한 퍼지논리 적용 메카니즘을 사용하였다. 종래의 PI제어기에서 고정된 이득을 하이브리드 PI 제어기에서는 퍼지 룰베이스를 이용하여 파라미터의 변동에 따라 자동 조절하게 하였다.

하이브리드 PI 제어기를 IPMSM의 드라이브 시스템에 적용하여 파라미터의 변동, 정상상태 및 과도상태 등의 응답특성을 분석하였다. 속도 및 부하토크 변화에서 하이브리드 PI 제어기는 종래의 PI제어기 보다 오버슈트, 상승시간 및 안정화 시간이 양호하게 나타났다. 그리고 회전자 저항, 자기 인덕턴스 및 관성 등과 같은 파라미터 변동에도 강인성 및 고성능이 나타났으며 양호한 응답특성을 얻을 수 있었다.

속도와 부하토크의 변화에 대한 ANN에 의한 추종성능도 양호하게 나타났으며 속도 오차가 1[%] 이내로 매우 우수한 추정성능을 보여 주었다.

본 논문에서 제시한 하이브리드 PI 제어기는 강인성과 고성능의 응답특성을 얻을 수 있었고 ANN에 의한 추정성능도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었으므로 본 논문의 타당성을 입증할 수 있었다.

참고문헌

- [1] G. R. Slemon, *Electric Machines and Drives*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.
- [2] T. J. E. Miller, *Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives*, Oxford, U. K.: Clarendon, 1989.
- [3] G. J. Wang, C. T. Fong, and K. J. Chang, "Neural network based self tuning PI controller for precise motion control of PMAC motors," *IEEE Trans. on IE*, vol. 48, no. 2, pp. 408-416, 2001.
- [4] M. Santos and J. M. de la Cruz, "Between fuzzy PID and PID conventional controllers," *NAFIPS'96*, Berkley, USA, June 1996.
- [5] M. Ali Unar, D. J. Murray-Smith, and S. F. Ali Shah, "Design and tuning of fixed structure PID controller-A survey," Technical Report CSC-96016, Faculty of Engineering, Glasgow University, Scotland, 1996.
- [6] Z. Ibrahim and E. Levi, "Comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high performance AC drives using experimental approach," *Proc. of IEEE IAS'2000*, Rome, Italy, CD-ROM paper 46-3, 2000.
- [7] C. M. Ong, *Dynamic Simulation of Elecctric Machinery Using Matlab/simulink*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- [8] M. A. Rahman and M. A. Hoque, "On-line adaptive artificial neural network based vector control of permanent magnet synchronous motors," *IEEE Trans.*

EC, vol. 13, pp. 311-318, 1998.

[9] J. C. Lee and D. H. Chung, "MRAC fuzzy control for high performance of induction motor drive," *The Trans. of KIPE*, vol. 7, no. 3, pp. 215-223, 2002.

[10] H. G. Lee, J. C. Lee, and D. H. Chung, "Design of fuzzy controller induction drive considering parameter change," *The Trans. of KIEE*, vol. 51P, no. 3, pp. 111-119, 2002.

[11] H. G. Lee, J. C. Lee, and D. H. Chung, "New fuzzy controller for high performance of induction motor drive," *The journal of KHIS*, vol. 17, no. 4, pp. 87-93, 2002.

[12] H. G. Lee, J. C. Lee, and D. H. Chung, "Adaptive FNN

controller for speed control of IPMSM drive," *The Trans. of KIEE*, vol. 41-SC, no. 3, pp. 39-46, 2004.

[13] J. C. Lee, H. G. Lee, Y. S. Lee, S. M. Nam, and D. H. Chung, "Speed estimation and control of induction motor drive using hybrid intelligent control," *International Conference ICPE'04*, no. 3, pp. 181-185, 2004.

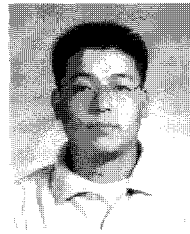
[14] J. C. Lee, H. G. Lee, S. M. Nam, and D. H. Chung, "Speed control of induction motor drive using adaptive FNN controller," *International Conference ICEMS'04*, Conference no. PI-5(430-M09-052), 2004. [CD no. 2]

[15] K. J. Astron and B. Wittenmark, "Adaptive control," Addison-Wesley, 1989.



고재섭

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정.



최정식

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정.



정동화

1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부

교수.