

유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 위한 적응 퍼지제어기

이정호, 고재섭, 최정식, 김종관, 박기태, 박병상, 정동화
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

Adaptive Fuzzy Controller for High Performance of Induction Motor Drive

Jung Sik Choi, Jae Sub Ko, Jung Ho Lee, Jong Kwan Kim, Ki Tae Park, Byung Sang Park, Dong-Hwa ChungSchool of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

Abstract - This paper investigates the adaptive control of a fuzzy logic based speed and flux drive for a vector controlled induction motor drive. A model reference adaptive scheme is proposed in which the adaptation mechanism is executed by fuzzy logic based on the error and change of error measured between the motor speed and output of a reference model. The control performance of the adaptive fuzzy controller is evaluated by simulation for various operating conditions. The validity of the proposed adaptive fuzzy controller is confirmed by performance results for induction motor drive system

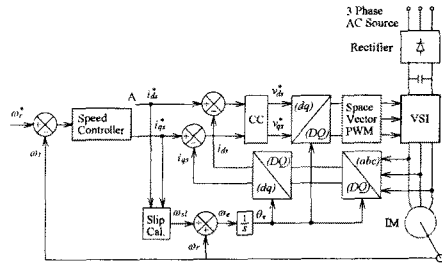


그림 1 간접 벡터제어에 의한 유도전동기 드라이브의 블록도

속도 및 자속제어기의 출력인 i_{qs}^* 와 i_{ds}^* 는 실제전류와 비교하여 CC(Current Controller)에서 제어하여 전압 v_{ds}^* 와 v_{qs}^* 를 얻는다.

고정 기준축에서 PI 제어기는 위상 지연 때문에 정상상태 오차를 발생시키므로 전류제어는 동기 기준축으로 변환한다. 유도전동기의 벡터제어 드라이브에서 전류와 자속에 관한 미분방정식의 형태로 정리하면 다음과 같다.

$$p \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \phi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \frac{R_r}{L_r}\right) & \omega_r & \frac{L_m R_r}{\sigma L_s L_r} & \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \\ \omega_r & -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \frac{R_r}{L_r}\right) & -\frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} & \frac{L_m R_r}{\sigma L_s L_r} \\ \frac{L_m R_r}{L_s} & 0 & -\frac{R_r}{L_r} & \omega_r \\ 0 & \frac{L_m R_r}{L_s} & -\omega_r & -\frac{R_r}{L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \phi_r \\ \phi_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. 적응 퍼지제어기

적응 퍼지제어기는 그림 2에 나타난 특정 수학적 기준모델의 출력으로서 제어 시스템의 예측성능을 파악할 수 있다.

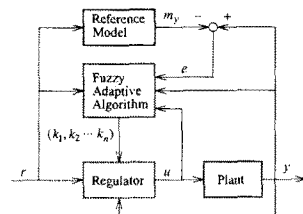


그림 2 적응 퍼지제어기의 블록도

입력 r 는 지령속도 $\omega_r^*(k)$ 이며 플랜트는 PWM 인버터와 유도전동기이다. 그리고 플랜트의 출력 y 는 $\omega_r(k)$ 이며 기준모델의 출력은 m_r 는 $\omega_m(k)$ 이다. MRAC 시스템의 적응과정은 2개의 퍼지제어기로 동작한다. 하나의 퍼지제어기는 그림 3의 중

1. 서 론

최근 적응제어와 강인성 제어를 지능제어와 상호 결합한 형태는 드라이브 분야에서 가장 유망한 연구 성과로 나타나고 있다. 이는 적응성 및 강인성이 요구되는 교류전동기 드라이브에서 지능제어의 특성 및 실제적 구현이 최적화의 개발을 위한 최고의 연구로 각광을 받고 있다.[1]-[3]

유도전동기의 고성능 드라이브는 동적 특성에서 다양한 속도 추정능력, 부하 변화에 적응하여 조절할 수 있는 양호한 응답특성, 드라이브와 부하 파라미터의 변동에도 강인한 성능이 요구되며 드라이브 시스템에 양호한 성능을 얻기 위한 연구로 적응제어가 연구되었고 적응제어는 종래의 PI 제어기에 비해 매우 양호한 성능을 얻을 수 있었다. 하지만 적응제어 기법은 수학적 모델링에 기초를 두어 매우 복잡하다[4].

본 연구에서는 적응제어 기법을 이용하여 유도전동기의 고성능 제어를 위한 적응 퍼지제어를 제시한다. 적응 퍼지제어는 종래의 퍼지제어기에 기준 모델을 추가하여 MRAC(Model Reference Adaptive Control) 형태의 퍼지제어기를 구성한다. 적응 퍼지 제어기는 2개의 퍼지제어의 블록으로 동작한다. 지령속도의 변화, 스톱 부하토크의 변화 및 관성의 변화 등의 응답특성의 결과는 본 연구에서 제시한 적응 퍼지제어기가 종래의 퍼지제어기에 비해 매우 양호하게 나타났으며 그 결과들을 제시한다.

2. 드라이브 시스템과 모델링

그림1은 간접 벡터제어에 의한 유도전동기 드라이브의 제어 블록도를 나타낸다.

래의 퍼지 속도제어기가 사용되며 퍼지적용 알고리즘에 의해 출력은 $\Delta i_{qs1}^*(k)$ 이다. 다른 하나의 퍼지제어기는 기준모델을 사용하며 플랜트의 출력 γ 는 기준모델의 출력 m ,와 비교한 오차 e 는 퍼지적용 메카니즘을 수행하는데 사용된다. 그림 3은 적응 퍼지제어기의 구성도를 용이하게 이해하기 위하여 나타낸다. DFC(Direct Fuzzy Controller)에 의한 출력은 Δi_{qs1}^* 이며 적분의 오차를 보상하기 위하여 기준모델을 사용한 AFC(Adaptive Fuzzy Controller)를 병렬로 사용한다.

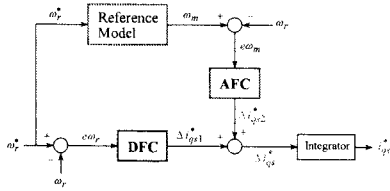


그림 3 적응 퍼지제어 기법

적용 메카니즘에 의한 출력은 $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 를 발생시킨다. $\Delta i_{qs1}^*(k)$ 과 $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 를 합하여 $\Delta i_{qs}^*(k)$ 를 구하고 이를 적분기를 통해 $i_{qs}^*(k)$ 를 발생시켜 플랜트에 인가한다.

퍼지 적응 메카니즘의 입력은 기준모델의 출력과 실제 속도의 오차($e\omega_m(k)$)와 오차의 변화분($ce\omega_m(k)$)을 사용한다. 오차와 오차의 변화분은 다음과 같다.

$$e\omega_m(k) = \omega_m(k) - \omega_r(k) \quad (2)$$

$$ce\omega_m(k) = e\omega_m(k) - e\omega_m(k-1) \quad (3)$$

결론적으로 퍼지제어기의 지령 q 축 전류는 다음과 같다.

$$i_{qs}^*(k) = i_{qs}^*(k-1) + [\Delta i_{qs1}^*(k) + \Delta i_{qs2}^*(k)] \quad (4)$$

$e\omega_m$, $ce\omega_m$ 및 $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 의 전체집합은 각각 (-180, 180) [rad/s], (-6, 6) [rad/s] 및 (-1, 1) [A]로 설정한다.

4. 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 제어 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 시뮬레이션 및 실험결과를 제시한다. 본 논문에서 사용된 전동기는 3.7[kW]의 농형 유도전동기이다.

4.1 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 AFC의 응답특성을 DFC와 비교하였다.그림 4는 DFC와 AFC의 속도와 q 축 전류를 비교한 결과이다. 그림 4(a)와 (b)는 스텝 지령속도 변화에 따른 응답비교로서 AFC에서 속도는 DFC의 속도에 비해 고속으로 추종하며 오버슈트가 매우 작게 나타난다. 그림 (c)와 (d)는 부하변화에 대한 응답비교이며 부하 변화에도 AFC의 응답 특성이 양호하게 나타난다. 그리고 그림 (b)와 (d)에서 AFC의 q 축 전류는 빠르게 추종하고 있다.

그림 5는 관성을 3배 증가시키고 0.7[sec]에서 부하토크를

5[N·m] 인가하여 4상한 운전하였을 경우의 응답특성을 나타낸다. 관성의 증가에 따라 지령 속도변화에 대한 실제속도는 크게 변화하고 부하를 인가했을 경우에는 속도가 큰 폭으로 변화한다. 그러나 AFC의 속도는 종래의 퍼지제어기 보다 속도변화의 폭은 감소되고 실제속도가 지령속도에 양호하게 추종하고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 AFC가 속도의 변화, 부하변화 및 관성변화 등의 광범위한 운전조건에서 종래의 퍼지제어기보다 응답특성이 매우 향상된다. 따라서 제시한 AFC의 타당성을 입증할 수 있다.

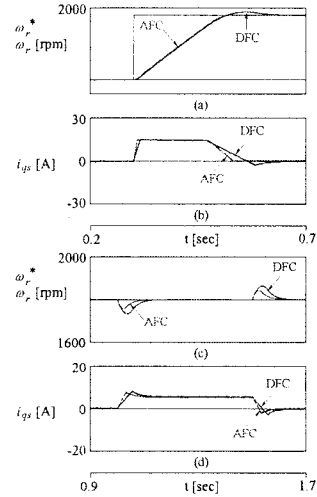


그림 4 DFC와 AFC의 응답특성의 비교

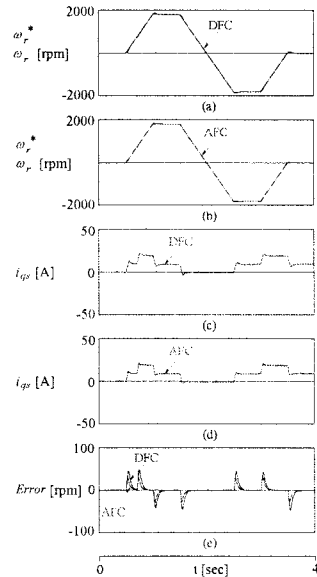


그림 5 4상한 동작에서 DFC와 AFC의 응답비교

4.2 실험 결과

그림 6은 본 논문에서 실험을 위해 제작된 유도전동기 구동시스템의 전체 구성도이다.

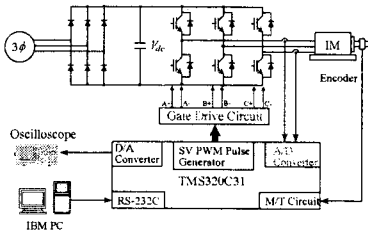


그림 6 하드웨어 시스템 구성도

그림 7은 무부하 상태에서 1000[rpm]으로 운전 중, 부하 토크를 10[N·m]인가 한 경우의 DFC의 응답특성을 나타낸다. 그림 8은 그림 7과 같은 조건으로 운전하였을 경우의 AFC의 응답특성을 나타낸다. 일정한 속도로 운전 중, 부하토크를 인가한 경우 AFC는 DFC 보다 오버슈트도 적고 빠르게 지령속도에 도달하는 것을 알 수 있다.

그림 9에서 스텝 지령속도를 -1200[rpm]과 1200[rpm]으로 정·역회전 시켰을 경우의 DFC의 응답특성이다. 그림 10은 그림 9와 같은 조건에서 운전하였을 경우의 AFC의 응답특성이다. AFC는 DFC 보다 오버슈트도 적게 나타나며 안정화 시간도 빠르다.

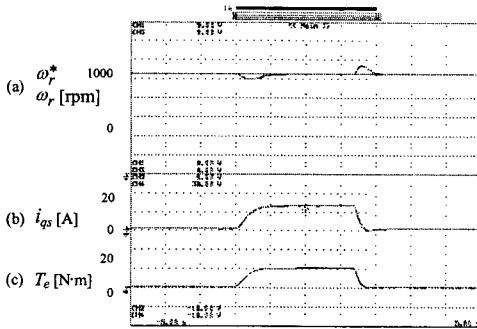


그림 7 부하토크 변화에 대한 DFC의 응답특성

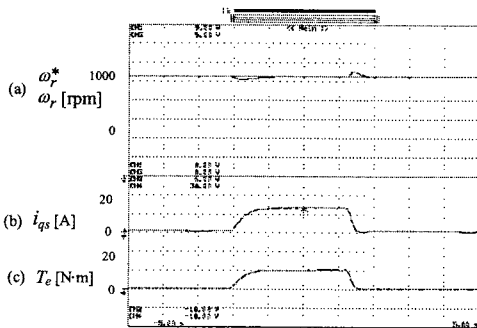


그림 8 부하토크 변화에 대한 AFC의 응답특성

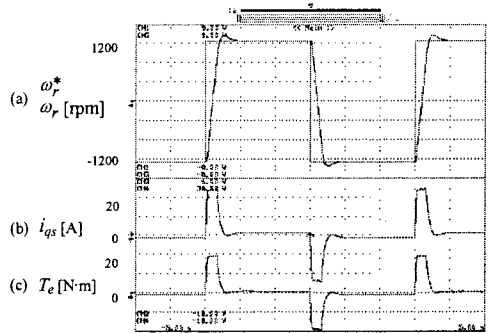


그림 9 스텝 지령속도의 변화에 대한 DFC의 응답특성

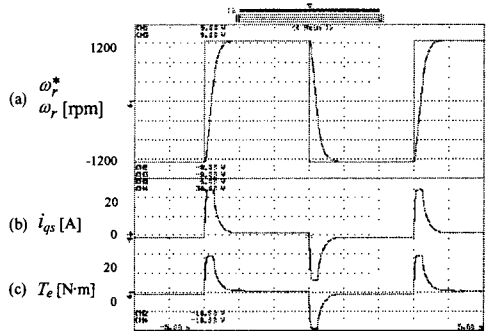


그림 10 스텝 지령속도의 변화에 대한 AFC의 응답특성

5. 결 론

본 연구에서는 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 위하여 퍼지 추론을 이용한 적응 퍼지제어기를 제시하였다. 제시한 제어기는 기준모델과 적응 퍼지제어기의 2개 블록을 종래의 퍼지제어기에 추가하고 종래의 퍼지제어기에서 사용한 퍼지논리를 응용하였다.

적응 퍼지제어기는 유도전동기의 지령 속도 변화와 부하 변화에 대하여 종래의 퍼지제어기 보다 양호한 응답특성이 나타났다. 그리고 관성 증가에 따른 동작조건 변화에 적응 퍼지제어기가 매우 고속으로 속도를 추종하며 안정화 시간도 빠르게 나타났다. 본 연구에서 제시한 적응 퍼지제어기를 종래의 퍼지제어기보다 응답특성이 매우 우수하게 나타났으며 제시한 적응 제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Cerruto, A. Consoil, A. Raciti and A. Testa, "Adaptive fuzzy control of high performance motion systems," in Proc. IEEE IECON Conf. Rec., San Diego, CA, Nov. 9-13, pp. 88-94, 1992.
- [2] H. Hong, et al., "A design of auto-tuning PID controller using fuzzy logic," in Proc. IEEE IECON Conf. Rec., San Diego, CA, Nov. 9-13, pp. 971-976, 1992.
- [3] E. Cerruto, A. Consoil, P. Kucer and A. Testa, "A fuzzy logic quasi sliding mode controlled motor drive," in Proc. IEEE ISIE Conf. Rec., Budapest, Hungary, June 1-3, pp. 652-657, 1993.
- [4] K. J. Astrom and B. Wittenmark, "Adaptive control," Addison-Wesley, 1989.