

다중 퍼지제어기를 이용한 유도전동기의 직접 토크제어

문주희, 고재섭, 최정식, 강성준, 장미금, 백정우, 정동화
 순천대학교 전기제어공학과

Direct Torque Control of Induction Motor Using Multi Fuzzy Controller

Sung-Jun Kang, Jae-sub Ko, Jung-Sik Choi, Jung-Woo Baek, Mi-Geum Jang, Ju-Hui Moon, Dong-Hwa Chung
 Department of Electrical Cotron Engineering, Suncheon National University

ABSTRACT

An induction motor operated with a conventional direct self controller(DSC) shows a sluggish response during startup and under changes of torque command. Fuzzy logic controller(FLC) is used in conjunction with DSC to minimize these problems. A FLC chooses the switching states based on a set of fuzzy variables. Flux position, error in flux magnitude and error in torque are used as fuzzy state variables. Fuzzy rules are determined by observing the vector diagram of flux and currents.

This paper proposes hybrid FLC for direct torque control(DTC) of induction motor drives. This controller is controlled speed using hybrid FLC. The performance of the proposed induction motor drive with hybrid FLC is verified by analysis results at various operation conditions.

1. 서론

유도전동기 드라이브는 간단하고 고속 응답 특성을 가지고 있으며 강인성, 가격, 신뢰성 및 효율성이 우수하다는 장점 때문에 산업분야에 다양하게 적용되고 있다^{[1]-[2]}. 최근에는 DTC(Direct Torque Control)가 인버터의 스위칭 상태를 적절하게 선정하여 요구되는 오차 폭 내에서 고정자 자속과 전자기적인 토크를 제어하기 위하여 제시되었다^{[3]-[6]}. DTC 드라이브는 종래의 벡터제어 드라이브와 비교하여 전류 루프를 사용하지 않고 폐루프 시스템의 방법으로 토크와 자속을 제어하였다. 본 논문에서는 하이브리드 퍼지제어기를 이용하여 유도전동기의 DTC 제어를 수행한다. 속도 제어를 위하여 AFLC (Adaptive Fuzzy Learning Controller)를 사용하고 토크와 자속을 제어하기 위하여 FLC를 사용한다. 유도전동기의 드라이브 시스템을 구성하여 제시한 제어기를 적용하여 다양한 응답 특성을 분석한다. 그리고 본 논문의 효율성을 입증하기 위하여 종래의 방식과 비교하여 결과를 제시한다.

2. 직접 토크와 자속 제어

스위칭 표는 토크와 자속의 오차를 설정 밴드 내에서 유지하도록 하며 인버터 제어를 위하여 사용한다.

그림 1은 종래의 제어기를 수정한 하이브리드 퍼지제어의 블록도를 나타낸다.

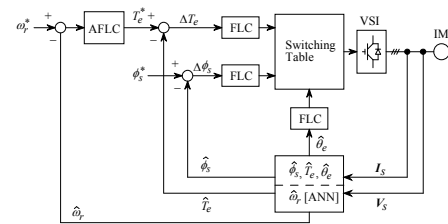


그림 1 유도전동기의 DTC를 위한 하이브리드 FLC
 Fig. 1 Hybrid FLC for DTC of induction motor.

SC는 AFLC를 적용하고 FLC는 3개의 상태변수로 설계한다. 그림 2는 FLC를 위한 퍼지변수의 멤버십 함수를 나타낸다.

고정자 자속은 다음과 같다.

$$\hat{\phi}_s = \int (\hat{v}_s - \hat{i}_s R_s) dt \quad (1)$$

여기서 \hat{v}_s 와 \hat{i}_s 는 측정 고정자 전압과 전류를 나타낸다.

전자기적인 토크는 다음과 같다.

$$\hat{T}_e = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) (\hat{\phi}_{ds} \hat{i}_{qs} - \hat{\phi}_{qs} \hat{i}_{ds}) \quad (2)$$

토크와 자속의 오차는 다음과 같다.

$$\Delta T_e = T_e^* - \hat{T}_e \quad (3)$$

$$\Delta \phi_s = \phi_s^* - \hat{\phi}_s \quad (4)$$

인버터의 스위칭 상태는 토크, 자속 및 동기각에 의해 결정되며 동기각은 다음과 같다.

$$\hat{\theta} = \tan^{-1} \left[\frac{\hat{\phi}_{qs}}{\hat{\phi}_{ds}} \right] \quad (5)$$

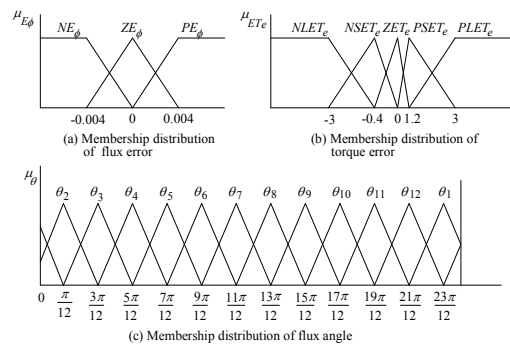


그림 2 FLC를 위한 멤버십 분포.
 Fig. 2 Membership function of fuzzy variables for FLC.

3. AFLC 속도 제어기

그림 3은 AFLC의 원리를 설명하는 블록도를 나타낸다.

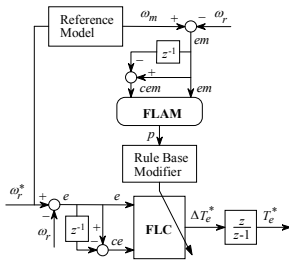


그림 3 AFLC 제어기.
Fig. 3 AFLC controller.

FLAM(Fuzzy Learning Adaptive Mechanism)은 퍼지 역모델 및 지식베이스 수정자를 포함한다. 드라이브 시스템의 속도성능은 기준모델의 속도와 추정속도의 오차에 의해 좌우된다.

$$em(kT) = \omega_m(kT) - \omega_r(kT) \quad (6)$$

$$cem(kT) = em(kT) - em(kT - T) \quad (7)$$

여기서 오차 $em(kT)$ 는 각 시간순에서 얻어지는 필요한 속도성능의 측정 정도이다. 성능이 만족할 경우인 $em(kT) = 0$ 에서 학습 메카니즘은 FLC에서 수정할 필요가 없다. 그렇지 않으면 학습 메카니즘은 요구되는 속도성능을 얻기 위하여 FLC의 룰 베이스를 동조시켜 수정을 해야 한다.

지식베이스의 수정자는 $p(kT)$ 에 따라서 FLC의 지식베이스를 변화시킨다. 이 변화는 FLC에서 출력의 멤버쉽 함수의 중앙을 수정하여 구현한다.

$$C_i(kT) = C_i(kT - T) + p(kT) \quad (8)$$

4. 시스템 성능결과

그림 4는 0.1[sec]에 1,800[rpm]으로 운전하던 중 0.6[sec]~0.8[sec]에 부하토크를 5[N.m]인가하였을 경우의 응답특성을 나타낸다. 그림 4(a)는 속도 상승부분, 그림 4(b)는 부하인가 부분을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 AFLC가 종래의 PI 제어기에 비하여 오버슈트가 작고 안정화 시간이 빠르게 나타나고 있다.

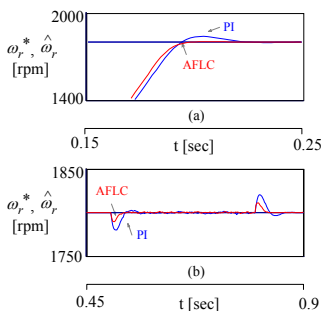


그림 4 지령속도 및 부하변화에 대한 응답특성.
Fig. 4 Response characteristic with command speed and load torque changing.

그림 5는 4상한 운전에 대한 응답특성을 나타낸다. 그림 5(a)는 AFLC 제어기의 지령속도와 추정속도, 그림 5(b)는 PI 제어기의 지령속도와 추정속도, 그림 5(c)는 AFLC 제어기의 속도오차, 그림 5(d)는 PI 제어기의 속도오차를 나타낸다. 그림 5(c), 5(d)의

속도오차는 본 논문에서 제시한 AFLC 제어기의 속도오차가 종래의 PI 제어기에 비하여 현저하게 작게 나타난다.

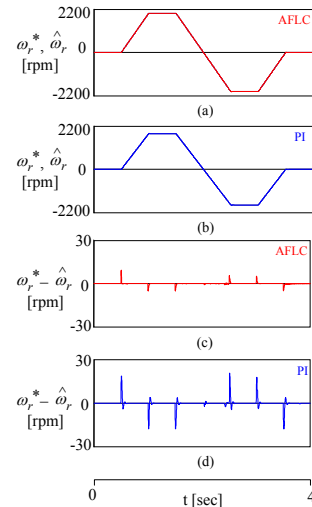


그림 5 4상한 운전에 대한 응답특성.
Fig. 5 Response characteristic with quadrant drive.

5. 결론

본 논문에서는 유도전동기 드라이브의 DTC 제어를 위한 하이브리드 퍼지제어기를 제시하였다. 유도전동기의 속도제어를 위하여 AFLC(Adaptive Fuzzy Logic Controller)를 이용하였으며, 토크와 자속제어를 위하여 FLC(Fuzzy Logic Controller)를 사용하였다. AFLC 제어기는 FLAM(Fuzzy Learning Adaptive Mechanism)과 FLC를 병렬로 연결하여 구성되며, 속도제어에 필요한 토크를 출력한다. 또한 FLC는 자속각, 토크오차, 자속오차를 입력으로 받아 인버터의 스위칭 상태를 출력한다. 본 논문에서 제시한 AFLC 제어기는 종래의 PI 제어기에 비하여 지령속도 및 부하토크 변화에 대하여 양호한 응답특성을 나타냈다. 따라서 본 논문의 타당성을 입증 할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B. K. Bose, "Modern power electronics and AC drives," Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 2002.
- [2] I. Boldea and S. A. Nasar, "Electric drives," New York: Taylor & Francis, 2006.
- [3] H.F.E. Soliman and M.E. Elbuluk, "Direct torque control of a three phase induction motor using a hybrid PI/fuzzy controller," IEEE IAS Conference, pp. 1681-1685, 2007.
- [4] L. Lin, H. Zhong, Y. Deng, J. Zhang, Y. Jie and X. She, "A DTC Algorithm for three-level induction motor drives system based on discrete space vector modulation," IEEE APEC Conference, pp. 1978-1983, 2009.
- [5] B. C. Babu, and C. Poongothai, "High performance direct torque controlled induction motor drive for adjustable speed drive applications," ICETET '08. First International Conference, pp. 927-932, 2008.
- [6] D. H. Chung, "Fuzzy control for high performance of induction motor using electric vehicles," The Journal of KISS, vol. 14, no. 2, pp. 52-61, 1999.