
3상 유도모터의 제어를 위한 퍼지 PI+퍼지 D 제어기의 구현

추연규* · 이광석* · 김현덕*

A design of Fuzzy PI+Fuzzy D Controller for Control of 3 Phase Induction Motor

Yeon-Gyu Choo* · Kwang-seok Lee* · Hyun-Deok Kim*

요 약

본 연구에서는 플랜트의 잡음, 부하, 및 변경된 파라미터를 제어하는 퍼지 PI+퍼지 D제어기 즉, 일종의 강인한 제어 시스템을 고려하고자 한다. 차분 방정식에 대하여 PI+D제어기를 적용하였으며 PI+D제어기의 PID 파라미터에 대응 입력에 대한 퍼지 제어기를 계획하고 따라서 파라미터 변화에 따른 환경변화에 강인한 제어 시스템을 설계하였다. 퍼지제어는 편리한 4가지 규칙과 멤버쉽 함수를 가지고 있다. 본 연구에서는 3상의 유도 모터 제어에 대하여 퍼지 PI+퍼지 D제어기를 설계하고 그 성능을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we consider one of robust control system, fuzzy PI+fuzzy D controller dealing with noise, load, changed parameters of plant. We apply PI+D controller with a design for output of differential function and, we plan fuzzy controller with input for PID parameter of PI+D controller so We design control system meet with the change of environment with robust in relation to change of parameter. Fuzzy control is possessed of easy 4 rules and membership function and We design fuzzy PI+fuzzy D controller. Plant of this paper make a choice of 3 phase induction motor.

키워드

PI+D, fuzzy, 3 phase induction motor

I. 서 론

제어의 근본적인 목적은 설정치와 실제 시스템의 출력치가 차이가 작아야 한다는 것이다. 고전 제어이론에서는 이러한 목적을 달성하기 위하여 상승 시간, 최대 오버슈트, 정착 시간, 정상 상태 오차, 등과 같은 성능지수를 사용하였다. 제어시스템을 상태 변수 영역에서 표시하는 현대 제어이론은 입력과 출력의 오차로 표현하였다. 일반적인 PID 제어기는 K_p (비례계수), K_i (적분계수), K_d (미분계수)의 계수값을 적절히 조절하여 원하는

응답특성을 얻을 수 있다. 그러나 PID제어기는 짧은 시간에 오차가 변하는 경우 미분계수인 K_d 가 매우 큰 값으로 조절되어야 한다. 따라서 제어기능이 너무 민감하게 반응하는 문제가 발생할 수 있다. 그리고 PI+D제어기는 외란, 잡음, 플랜트 변화 등에 대하여 K_p (비례계수), K_i (적분계수), K_d (미분계수)의 계수값을 다시 수정하여야 하는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 미분계수인 K_d 를 제어량인 출력에 대한 함수로 만든 PI+D 제어기와 특성 변화가 심한 경우를 대처한 PI+D제어기의 P, I, D계수를 입력으로 하는 퍼지를 설계함으로써 안정된

직렬형의 퍼지 PI+퍼지 D 제어기를 설계하였다. [1,2,3]

II. 제어시스템의 구성

2.1. PI+D 제어시스템

PI+D 제어기는 그림 1의 아날로그 PI+D 제어기의 구조에서 유도한다.

1) PI 제어

그림 2에서 아날로그 PI 제어기의 출력은 식(1)로 주어진다.

$$u_{PI}(s) = (K_p + \frac{K_I}{s})E(s) \quad (1)$$

여기서 K_p 는 비례계수, K_I 는 적분계수, $E(s)$ 는 오차 신호이다. 식(1)의 방정식을 $s = \frac{z-1}{Tz}$ 후향 근사법으로 역변환 하면 식(2)와 같다.

$$u_{PI}(s) = (K_p + \frac{TK_I}{1-z^{-1}})E(s)$$

$$u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT-T) = K_p(e(nT) - e(nT-T)) + TK_I e(nT) \quad (2)$$

2) D 제어

그림 1에서 아날로그 D 제어 알고리즘은 출력만 미분하여 식(3)을 얻는다.

$$u_D(s) = sK_d Y(s) \quad (3)$$

여기서 K_d 는 아날로그 제어이득, $Y(s)$ 는 출력신호이다. 여기서 식(3)을 Backward 근사법으로 역변환하면 식(4)를 얻는다.[4,5]

$$u_D(s) = \frac{(1-z^{-1})}{T} K_d Y(s)$$

$$u_D(nT) = K_d \frac{(y(nT) - y(nT-T))}{T} \quad (4)$$

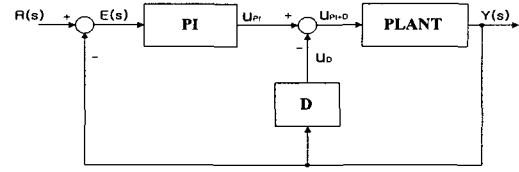


그림 1. 아날로그 PI+D 제어계
Fig. 1. Analog PI+D Control system

2.2. 퍼지 PI+퍼지 D 제어시스템

위 PI+D 제어기에서 퍼지 입출력 변수를 결정하기 위해 각각의 PI와 D를 수정하여 직렬형의 제어시스템을 구성한다.[5]

1) 퍼지 PI 제어

$$u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT-T) = K_p(e(nT) - e(nT-T)) + TK_I e(nT)$$

양변을 주기T로 나누면 좌항은 식(5)가 되고

$$\Delta u_{PI} = \frac{u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT-T)}{T} \quad (5)$$

우항에서 식(6)로 치환하면 식(7)과 같이 된다.

$$e(nT) = \frac{e(nT) - e(nT-T)}{T} \quad (6)$$

$$\Delta u_{PI}(nT) = K_p e(nT) + K_I e(nT) \quad (7)$$

식(7)에서 우변의 2개 항 $K_p e(nT)$ 와 $K_I e(nT)$ 는 퍼지 PI 제어기의 입력변수로 사용된다. 식(5)를 다시 나타내면 식(8)과 같다.

$$u_{PI}(nT) = u_{PI}(nT-T) + T \Delta u_{PI}(nT) \quad (8)$$

$T \Delta u_{PI}(nT)$ 를 퍼지 PI 제어기의 출력 $K_{PI} \Delta u(nT)$ 로 정의하면 식(9)와 같다.

$$u_{PI}(nT) = u_{PI}(nT-T) + K_{PI} \Delta u_{PI}(nT) \quad (9)$$

2) 퍼지 D 제어

$$u_D(nT) = K_d \frac{(y(nT) - y(nT - T))}{T}$$

$$\Delta y(nT) = \frac{y(nT) - y(nT - T)}{T}$$

$$u_D(nT) = K_d \Delta y(nT) \tag{10}$$

식(10)에서 $K_d \Delta y(nT) = K_d ce(nT)$ 로 치환하고, 정확한 퍼지규칙을 위해 $e(nT) = r(nT) - y(nT)$ 인 $Ke(nT)$ 을 첨가하면 식(11)을 얻을 수 있다.

$$u_D(nT) = K_d ce(nT) + Ke(nT) \tag{11}$$

D 제어기의 입력변수는 $K_d ce$ 와 Ke 이다. 그러므로 전체 퍼지 PI+퍼지 D 제어기는 식(12)과 같다.

$$u_{PI+D}(nT) = u_{PI}(nT) - u_D(nT) \tag{12}$$

구성된 퍼지 PI+퍼지 D제어시스템은 그림 2와 같다.

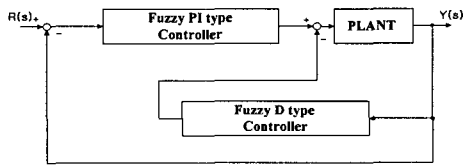


그림 2. 퍼지 PI+퍼지 D 제어시스템
Fig. 2. Fuzzy PI+Fuzzy D control system

III. 퍼지 논리 제어

3.1. 입력변수의 퍼지화와 소속함수

언어 퍼지집합의 종류는 다음과 같다.

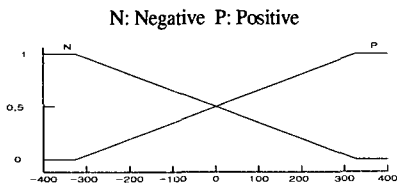


그림 3. 입력 퍼지 멤버십 함수
Fig. 3. Fuzzy membership function input

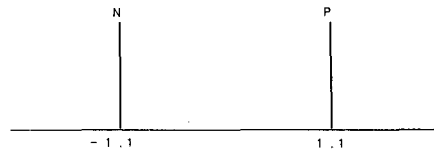


그림 4. 출력 퍼지 멤버십 함수
Fig. 4. Fuzzy membership function output

표1. 퍼지 제어 규칙
Table. 1. Fuzzy control rule

	ds	N	P
s			
N		N	P
P		P	P

퍼지규칙 추론에서는 전형적인 (IF-THEN 규칙)형식으로 사용하였으며, 추론방법은 Mamdani가 제안한 Max-Min 방법을 이용하였다. 또한 비퍼지화 방법으로는 싱글 톤 방법으로 무게 중심법을 사용하였다.

IV. 3상 유도모터의 위상제어

3상 유도모터를 위상제어기의 구조를 살펴보면, 그림 5과 이 설정값과 궤환되는 실제 출력값과의 오차를 제어기에 입력시켜 제어된 위상제어신호를 출력한다. 이 위상제어신호는 위상제어부에 입력된다. 그리고 3상 Y결선으로 위상 검출된 각 위상은 제어신호에 따라 3상의 위상을 제어한다. 이렇게 제어된 3상은 모터에 가해져서 설정 속도로 동작되도록 구성된다. 이 때 모터는 궤환신호를 얻는 장치인 엔코더를 통해 다시 모터의 실제 출력값을 궤환 시켜서 제어기에서 설정값과 비교한다.[4,5]

본 연구에서 사용된 마이크로 제어기는 Intel사 프로세서인 N80C196KC를 사용하였다. 그리고 구동부의 전력소자로는 TRIAC BTA16 600B를 사용하였다. 실험에 사용된 모터는 3마력(2.2kW), 최대 회전속도 1800rpm으로 동작된다. 그리고 출력특성을 조사하기 위하여 데이터 수집기로서 ACL-812PG보드를 이용하였다.

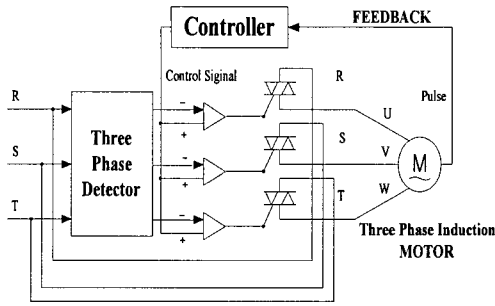


그림 5. 전체시스템의 블록도
Fig. 5. Blockdiagram of whole system

V. 실험 결과 및 분석

실험에 사용된 시스템은 위에서 설명한 3상 유도모터이고 샘플링 타임은 2ms이다. 실험은 세가지 제어기에 대한 부하시와 무부하시의 특성에 대해서 비교, 실험하였다.

5.1. PID제어기의 응답 특성

1) 무부하시 시스템 입력에 대한 응답 특성

320rpm인 경우 큰 오버슈트의 값을 가지며 1초후정상상태에 도달하였다.

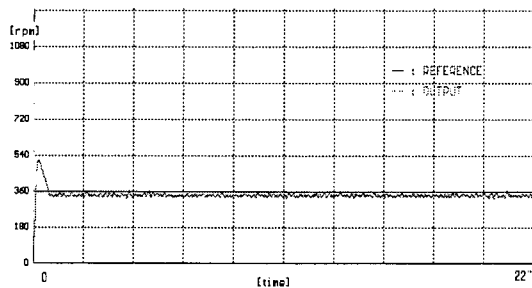


그림 6. 360rpm, 계단응답, PID 제어
Fig. 6. 360rpm, step response, PID control

2) 부하 인가시 응답특성

부하는 같은 모터에 100kg·f·m의 부하 토크를 걸었다. 실험하고자 하는 모터에 제동을 걸어주어 실험을 하였다. 그림 7에서 정상상태 후 부하를 걸어주었고 11초후 부하를 풀어주었다. 부하 인가시 큰 정상상태 오차를 보였다.

P계수는 5, I계수 5 그리고, D계수는 1.5값을 설정하였다.

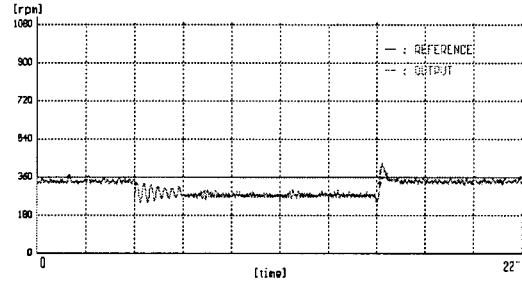


그림 7. 360rpm, 부하에 대한 계단응답, PID 제어
Fig. 7. 360rpm, step response to load, PID control

5.2. PI+D제어기의 응답 특성

1) 무부하시 시스템 입력에 대한 응답 특성

그림 8의 PI+D제어기의 경우 적은 오버슈트후 정상상태에 도달하였다.

2) 부하 인가시 응답특성

그림 9에서 부하인가시 여전히 정상상태 오차를 보였으며, P계수는 5, I계수 12 그리고, D계수는 1.7값을 설정하였다

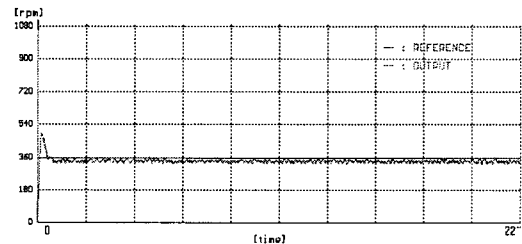


그림 8. 360rpm, 계단응답, PI+D 제어
Fig. 8. 360rpm, step response, PI+D control

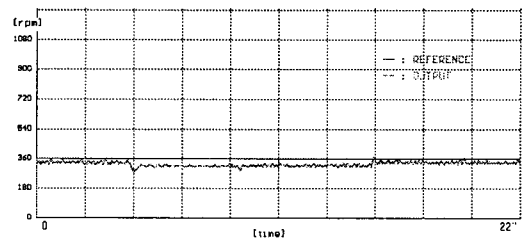


그림 9. 360rpm, 부하에 대한 계단응답, PI+D 제어
Fig. 9. 360rpm, step response to load, PI+D control

5.3. 퍼지 PI+퍼지 D제어기의 응답 특성

1) 무부하시 스텝입력에 대한 응답 특성

적은 오버슈트후 정상상태에 도달하였으나 응답특성이 일정하지 못했다.

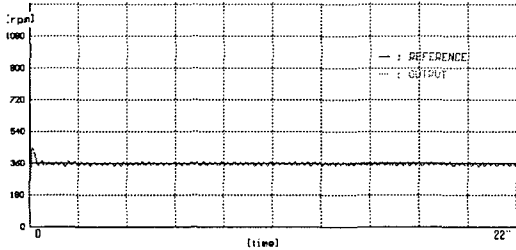


그림 10. 360rpm, 계단응답, 퍼지PI+퍼지D 제어
Fig. 10. 360rpm, step response, Fuzzy PI+Fuzzy D control

2) 부하 인가시 응답특성

앞의 두 제어기와는 달리 부하에 대한 정상상태 오차는 많이 줄어들었다. P계수는 5, I계수 15 그리고, D계수는 1.2값을 설정하였다

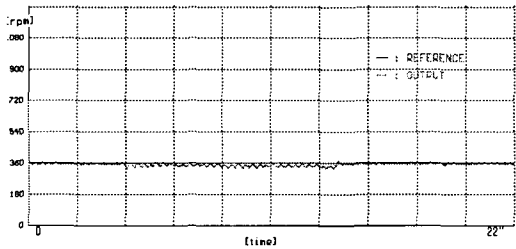


그림 11. 360rpm, 부하에 대한 계단응답, 퍼지PI+퍼지D 제어
Fig. 11. 360rpm, step response to load, Fuzzy PI+Fuzzy D control

VI. 결 론

본 연구에서는 PI+D 제어기와 간단한 퍼지 제어 알고리즘을 결합한 퍼지 PI+퍼지 D제어시스템을 구성하였다. 제안된 퍼지 제어기는 P(비례계수), I(적분계수), D(미분계수)의 계수를 퍼지제어기의 입력변수로 취하고, 각각에 대해 간단한 퍼지규칙을 사용함으로써 수행 시간이 단축되는 장점이 있다. 또한 PID 제어시스템과 PI+D 제어시스템을 구성하여 잡음, 외란, 플랜트의 변화에 대한 응답특성을 비교하여 퍼지 디지털 PI+D 제어시스템이 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그러나 하드웨어구성의 불안정으로 기대했던 출력값을 얻지 못했고 큰 오버슈트값을 보였다. 향후 연구 과제로는 안정된 하드웨어로 더 정확한 실험이 요구된다. 프로세서인 N80C196KC로 위상검출 및 정확한 피드백 검출로 퍼지 PI+퍼지 D 제어기가 우수함을 알아보고, 제어기 성능을 향상시키기 위한 매개변수 최적선택에 관한 고찰 및 안정도에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 채창현, "간편 간접추론방법을 이용한 퍼지 디지털 PI+D제어기의 설계", 제어자동화시스템공학논문지, 제6권 제1호, pp35~41, 1, 2000.
- [2] D.Misir, H.A.Malki, and G.Chen, "Design and analysis and of a fuzzy proportional-integral derivative controller," Fuzzy Sets and System, vol 79, pp. 297~314, 1997.
- [3] A. Ostubo, K Hayashi, S. Murakami, and M.maeda, "fuzzy hybrid control method applying simplified indirect inference method," Fifth IEEE Int. Conf. On Fuzzy System, pp. 283~289, 1996.
- [4] 최수열, "뉴로-퍼지 알고리즘을 이용한 시변 동적시스템의 설계", 동아대학교, 박사학위논문, 1999.
- [5] 이해영, "메카트로닉스의 기초-디지털 제어", 도서출판 시그마프레스, 2005.

저자소개



추 연 규(Yeon-Gyu Choo)

1988년 2월 부경대학교 전자공학과
(공학사)

1991년 2월 동아대학교 전자공학과
(공학석사)

1997년 2월 동아대학교 전자공학과(공학박사)

2006년 12월-2007년 2월 미국 알라바마 주립대학 객원교수

1995년-현재 진주산업대학교 전자공학과 부교수

※관심분야: 퍼지신호처리 및 시스템, 지능형 제어시스템
지능화 제어기술



이 광 석(Kwang-Seok Lee)

1983년 2월 동아대학교 전자공학과
(공학사)

1985년 2월 동아대학교 전자공학과
(공학석사)

1992년 2월 동아대학교 전자공학과(공학박사)

2004년 1월-2005년 2월 미국 애리조나 주립대학 객원교수

1995년-현재 진주산업대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 음성신호처리 및 인식, 신경회로망, 생체 신호
처리, 지능화 기술



김 현 덕(Hyun-Deok Kim)

1976년 동아대학교 전자공학과
(공학사)

1985년 동아대학교 전자공학과
(공학석사)

1996년 경남대학교 전기공학과(공학박사)

1989년-현재 진주산업대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 디지털신호처리, 음성신호처리 및 인식,
신경회로망, 지능형신호처리