

퍼지추론에 의한 다변수용 PID제어기 튜닝

김 동 화
(대전산업 대학교 제어계측 공학과)

Tuning of multivariable PID controller using Fuzzy logic

Kim, Dong Hwa
Taejon National University of Technology

Abstract

In this paper The tuning of PID controller for multi input-output is studied by using fuzzy inference

State of coupling is estimated by fuzzy inference, its results is used for tuning of PID controller to get optimum P,I,D parameter with regard to state of coupling.

This method is simulated to Turbo-generating system with 2x2 multi input-output and made with electronic circuit, its response is very satisfactory.

1. 서론

PID제어기는 40년대 Ziegler-Nichols[4]가 개발한 이래 90%이상의 대부분의 플랜트에서 많이 이용되어 오고 있는 제어방법으로서 1950년대 후반에 개발된 適應 제어기법, 최근의 퍼지 제어추론과 현대제어 방법을 이용한 제어 알고리즘[1-5]이 개발되어 매우 다양한 제어계통에 적용할 수 있도록 되어가고 있다.[1-5]

종래의 PID제어기는 自由度의 선택 방법, 필터나 補償器의 설치방법, 튜닝 기법은 물론 운전원의 사용방법에 따라 제어性能에 있어서 현저한 차이가 발생하고 현대제어와 같이 완벽하게 플랜트 변수 相互間的 構造의 특성등을 알 수 없는 결점등이 있으나 꾸준히 연구가 진행되어 지능적인 튜닝 기법의 개발, 초고속 칩을 이용한 응답성능 및 Man-Machine Interface의 개선등으로 그 활용성은 더욱 넓어져가고 있는 실정이다.

PID제어기의 성능을 좌우하는 튜닝 기법은 1942년 J.G.Ziegler와 N. B.Nichols[5,8]가 플랜트 변화에 따른 P,I,D 파라메터의 최적 설정기법을 감도 영향을 고려하면서 체계적으로 완성한 限界感度法을 시초로 많은 연구가[6-10] 이루어져 왔는데 아직도 완벽한 튜닝 방법은 없는 것으로 볼 수 있다.

튜닝은 개 루프 방법(Open Loop Method)과 폐 루프 방법(Closed-Loop Method)으로 구분 할 수 있는데 최근에는 주로 폐 루프 방식을 채택하여 가는 추세이고 튜닝 기법도 자기 적응제어기법(Self-Adaptive) [11-12], 自己調節(Self-tuning) 방법[13-15], 전문가 시스템의 응용[16-17], 퍼지알고리즘의 응용등[18] 그 방법이 다양해지고 있다.

특히 다변수의 간섭 현상은 부하의 특성에 따라 그 간섭의 정도가 다르게 되므로 각각의 부하 변화에 따라 튜닝 파라메터를 가변해야 하는 문제점이 있게 된다.

본 논문에서는 다변수 시스템인 터보 발전기에 적용 가능한 PID-퍼지제어기를 설계하고 이를 효과적으로 적용 할 있는 방법을 연구한다.

2. 상태궤환에 의한 다변수 동기 발전기 시스템의 제어

2.1 동기 발전기 모델 및 구조

그림 2.1은 2x2인.출력을 갖는 동기 발전기로 입력 및 출력에 각각 2개씩의 변수가 있고 이들 입.출력사이에는 강한 간섭현상이 있어 제어에 어려움이 발생한다.[6]

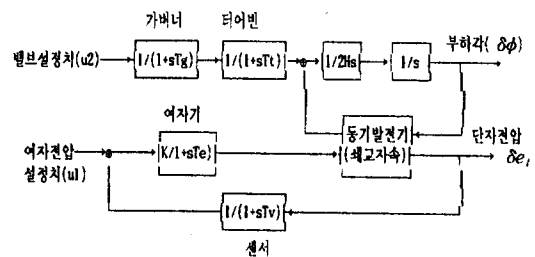


그림 2.1 동기 발전기 시스템
Fig 2.1 Turbo-generating system

2.2 상태궤환에 의한 동기 발전기 시스템의 비간섭 제어

그림 2.2와 같은 다변수 시스템에서 상태 방정식이

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2.1}$$

$$y = Cx \tag{2.2}$$

로 주어진 경우를 생각한다.

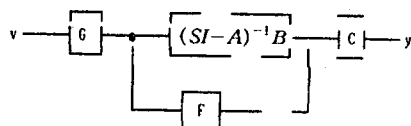


그림 2.2 상태궤환 다변수 시스템
Fig 2.2 Multivariable state feedback system

이 때 입력

$$u = Fx + Gv \quad (2.3)$$

를 이용하면 폐 루프 시스템은

$$\dot{x} = (A + BF)x + BGv \quad (2.4)$$

$$y = Cx \quad (2.5)$$

이고 $x \in R^n, u \in R^m, y \in R^m, F \in R^{n \times n}, G \in R^{n \times m}$ 이다. 여기서 다음과 같은 정의를 한다.

[정의] 음이 아닌 정수 d_i 를

$$d_i = d(\min)[k : C_i A^k B \neq 0, k=0, \dots, n-1] \quad (2.6)$$

$$= n-1 [C_i A B = 0, \forall k]$$

로 정의하고 이를 비간섭 지수라 한다. 식(2.6)을 식(2.4)에 적용하면

$$C(A+BF)^k B = 0, \quad k \in (0, \dots, d_i-1)$$

$$= C A^{d_i} B, \quad k = d_i$$

$$= C A^{d_i} (A+BF)^{k-d_i} B, \quad k \in (d_i+1, \dots, n-1) \quad (2.7)$$

이 되어 폐루프 시스템 행렬 F, G는

$$F = (B^*)^{-1} \left(\sum_{k=0}^{d_i} M^k C A^k - A^* \right) \quad (2.8)$$

$$B^* = \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1} B \\ C_2 A^{d_2} B \\ \vdots \\ C_m A^{d_m} B \end{bmatrix}$$

$$A^* = \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1+1} B \\ C_2 A^{d_2+1} B \\ \vdots \\ C_m A^{d_m+1} B \end{bmatrix}$$

$$G = (C A^d B)^{-1} N \quad (2.9)$$

에 의해 비간섭되는데 이 때 각 부 시스템의 다항식 행렬수가 m 개이므로 출력 시스템에서 임의로 극배치 가능한 수는

$$\sum_{i=1}^m d_i + 1 < m \quad (2.10)$$

이 된다. 즉, 비간섭 시스템은 적분형이 되므로 응답 특성을 개선하기 위해서는 별도의 제어특성 개선용 제어기가 필요하다.

3. 퍼지추론에 의한 동기발전기의 제어기 설계

3.1 동기 발전기용 퍼지 제어기 구조

본 논문에서는 고전적인 방법의 단점을 피하기 위해 간섭의 정도를 퍼지추론을 이용해 파악하여 제어하는 방법을 제안한다.

그림 3.1은 본 논문에서 제안하는 동기 발전기용 퍼지 비간섭 제어기이다.

퍼지 추론부는 출력인 단자전압, 부하각과 입력부인 벨브 개도, 여자기 제어기의 4개 변수를 받아 각각의 변수사이의 간섭정도를 퍼지 추론으로 계산한다.

이 간섭 정도의 결과는 PID제어기의 파라미터 결정을 위해 다른 모듈의 PID튜닝부로부터 보내진다.

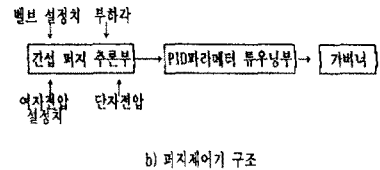
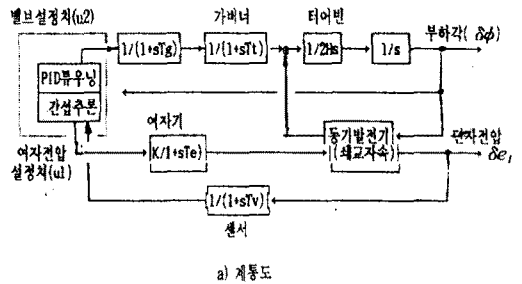


그림 3.1 퍼지 추론을 이용한 제어계통도

3.2 간섭 지수의 결정 및 간섭에 대한 퍼지추론

먼저 시스템의 간섭의 정도를 알기 위해 시뮬레이션한 결과 본 시스템인 경우는 U_1 일 때 Y_2 에 대해 U_2 에 대해 Y_1 의 영향이 크고 자기 루프에 대해서는 그리 큰 영향이 없으므로 입력 U_1, U_2 에 대한 출력 Y_1, Y_2 의 상태를 다음과 같이 정의한다.

여기서 BIG는 단위계단 입력에 대한 출력의 크기를 나타내는 것으로 BIG 0.5-1.0, SML 0.4-0로 정의하였고 이 추론결과는 각각 BG(크다), SM(작다), ZO(없다)로 정의하여 제어기 튜닝 모듈로 내보낸다.

표 3.1 간섭정도에 따른 추론 행렬

		U_1		U_2	
		0	1	0	1
Y_1	BIG	BG	ZO	BG	BG
	SML	ZO	SM	SM	BG
Y_2	BIG	BG	BG	BG	ZO
	SML	BG	BG	ZO	SM

위의 추론행렬을 이용해 추론식을 쓰면 다음과 같다.

3.3 퍼지추론에 의한 PID제어기의 파라미터 결정

간섭모듈에서 온 신호를 이용해 PID제어기의 파라미터를

응답 특성에 맞게 튜닝하기 위해 다음과 같은 규칙을 적용한다.

1) 오버슈트

B_1 : Overshoot 20% 이하 → OS is OB

B_2 : Overshoot 10% 이하 → OS is OM

B_3 : Overshoot 5% 이하 → OS is OS

2) 입상시간

C_1 : 10초후에 10%이내 입상 → R1 is RB

C_2 : 5초후에 20%이후 입상 → R1 is RM

C_3 : 5초이내에 20%이내 입상 → R1 is RS

표 3.2 P, I, D파라미터 튜닝 결정행렬

P	T_d	T_i	Rule No.
PG	DRB	IB	Y_1
		IM	Y_2
		IS	Y_3
	DRM	IB	Y_4
		IM	Y_5
		IS	Y_6
	DRS	IB	Y_7
		IM	Y_8
		IS	Y_9
PM	DRB	IB	Y_{10}
		IM	Y_{10}
		IS	Y_{11}
	DRM	IB	Y_{12}
		IM	Y_{13}
		IS	Y_{14}
P	T_d	T_i	Rule No.
PM	DRS	IB	Y_{15}
		IM	Y_{16}
		IS	Y_{17}
PS	DRB	IB	Y_{18}
		IM	Y_{19}
		IS	Y_{20}
	DRM	IB	Y_{21}
		IM	Y_{22}
		IS	Y_{23}
DRB	IB	Y_{24}	
	IM	Y_{25}	
	IS	Y_{26}	

D_1 : 목표치 변경후 15초 이후에서 오차의 5%이내에 정정 → ER is EB

D_2 : 목표치 변경후 10초 이내에서 오차의 5%이내에 정정 → ER is EM

D_3 : 목표치 변경후 5초 이내에서 오차의 5%이내에 정정 → ER is ES

4) 비례이득에 대한 논리

Y_{11} : PB is PG

Y_{12} : PB is PM

Y_{13} : PB is PS

5) 미분시간에 대한 논리

Y_{21} : DB is DRB

Y_{22} : DB is DRM

Y_{23} : DB is DRS

6) 미분시간에 대한 논리

Y_{31} : IG is IB

Y_{32} : IG is IM

Y_{33} : IG is IS

이들의 정의를 이용해 비례, 미분, 적분 상수를 결정하기 위한 파라미터 관계를 표 3.2와 같이 정한다.

3.4 퍼지 비간섭 PID제어기 설계

이상의 조건들을 이용해 외란에 대해서 퍼지관계 행렬로 나타내면 표3.3과 같다.

표 3.3 간섭에 대해 고려를 한 튜닝 추론 파라미터 행렬

	CP								
	BIG			SML			ZO		
	OB	OM	OS	OB	OM	OS	OB	OM	OS
RB	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10
RM	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19
RS	Y20	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25	Y26	Y23	Y24

3.4 소속함수의 결정

소속함수의 구조는 그림 3.2와 같은 모양을 이용하고 비간섭 정도, 비례이득, 미분이득, 적분이득의 최소 및 최대치는 각각 20~100, 1~5, 0.5~1.5, 0.1~0.8이다.

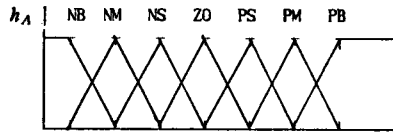


그림 3.2 소속함수

3.5 비퍼지화

본 논문에서는 무게중심법을 이용해 비퍼지화 하였다.

4. 시뮬레이션 및 제어기 제작

4.1 설정치에 대한 응답

그림 4.1은 입력 주어진 시스템에 대한 응답으로 간섭현상이 매우 심하다.

이것을 퍼지와 상태궤환을 이용해 시뮬레이션한 것을 그림 4.2에 비교 나타내었다.

그림의 응답은 $U_1=1$, $U_2=0$ 에 대한 것으로 상태궤환을 이용한 방법과 본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 경우의 응답특성에서 퍼지의 경우가 오버슈트 및 입상시간이 빠름을 알 수 있다.

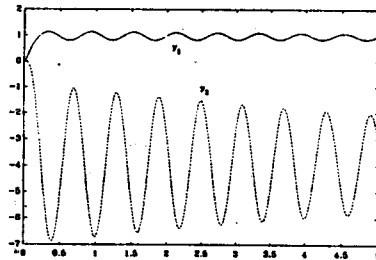


그림 4.1 주어진 시스템의 응답특성

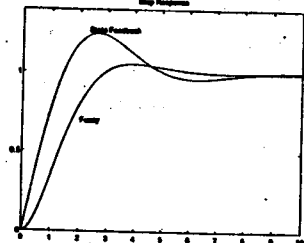


그림 4.2 $U_1=1$, $U_2=0$ 에 대한 응답

5. 결론

본 논문에서는 2이력 2출력을 갖는 터보발전기의 제어용 퍼지추론을 제안하고 시뮬레이션하였다.

본 논문에서는 간섭의 정도를 퍼지추론을 이용하고 이 결과를 이용해 각 PID제어의 파라미터를 조절하는 방법을 제안하고 터보 발전기에 적용하여 입력의 종류에 관계없이 원하는 응답특성을 얻을 수 있음을 입증하였다.

References

- [1]. J.I.Choi, J.E.Meyer and D.D.Lanning, "Automatic Controller for Steam Generator Water Level During Low Power Operation", Nuc.Eng.and Design 117 (1 89), 263-274.
- [2]. Q.B.Chou and S.N.Chen, "Development of a Novel Steam Generator Control Scheme with the Capability to Control Swell/Shrinkage and the Potential to Reduce Drum Size Requirements of CANDU-PHWR Steam Generators", IEEE/ASME/ASCE Joint Power Generation Conference, Oct. 7-11, 1979.
- [3]. B.S.Moon, J.C.Park and D.H.Kim, "A Comparative Study on Fuzzy Logic Systems vs a PI Controller for the Steam Generator Level Control through a Nuclear Simulator", Proc.Korea-Japan Joint Conference on Fuzzy Systems and Engineering(1992), 319-322.
- [4] 김동화, "퍼지추론과 다변수 시스템의 비간섭 기법을 이용한 다변수 시스템의 강인 제어기 설계", 94년 가을 인공지능 학술회의