

서보 제어시스템에서 미분 관리제어기의 강인성에 관한 연구

(A Study on the Robustness of Differential Supervisory Controller From Servo Control System)

박알서* · 이성수 · 오 훈

(Wal - seo Park · Sung - su Lee · Hun Oh)

요 약

산업 자동화의 고정밀도에 따라 서보 제어시스템은 강인제어가 요구되고 있다. 그러나 서보 제어시스템이 외란의 영향을 받게 되면 제어시스템의 강인제어는 어렵게 된다. 이에 대한 보완적인 한 방법으로 본 논문에서는 주 제어기(PID)와 미분 관리제어기의 혼합형 제어기법을 제시하였다. 주 제어기는 궤환제어기로서 동작하고, 미분 관리 제어기는 외란에 의한 불안정한 상태에서 보조적인 동작을 한다. 미분 관리제어기의 강인성은 전동기의 속도제어에 의해서 확인하였다.

Abstract

Robust control for servo control system is needed according to the highest precision of industrial automation. However, when a servo control system has an effect of disturbance, it is very difficult to guarantee the robustness of control system. As a compensation method solving this problem, in this paper, Hybrid control method of Main controller(PID)-Differential Supervisory controller is presented. Main controller is operated as a feedback controller. Differential Supervisory controller as a assistant controller is operated when state is unstable by disturbance. The robust control function of Differential Supervisory controller is demonstrated by Speed control of Motor.

Key Words : Servo control, Robust control, Differential Supervisory controller

1. 서 론

산업자동화의 고정밀도에 따라서 서보 제어시스템은 강인하고 정밀한 제어가 요구되고 있다. 근래에 보

다 정교한 현대제어 이론들이 개발 되었음에도 불구하고, 서보 제어시스템의 궤환제어기로는 PID제어기가 널리 쓰이고 있다[1,3]. 이는 구조가 간단하고 과도 응답 특성이 좋으며 정상상태 오차를 제거할 수 있기 때문이다. 그러나 PID제어기를 사용한 궤환제어 시스템에서도 외란이 인가되면, 출력은 설정값에서 이탈하게 되고 영향은 일정시간 지속된다. 그러므로 외란이 인가되는 경우 서보 제어시스템에서의 출력이탈 정도 및 외란의 영향을 최소화 시킬 수 있는 제어기

※ 이 논문은 2001년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨.

* 주저자 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수
Tel : 063-850-6890 Fax : 063-850-6890

E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr
접수일자 : 2002년12월 6일, 1차심사 : 2002년12월16일
심사완료 : 2003년12월31일

법 개발이 필요하다[2,3]. 외란 인가시에 영향을 최소화하는 방법으로 진·지상 필터, 적분 케환, 전향제어기 등이 연구 되었으나 외란 및 공정의 정보가 알려져 있어야 제어기 설계가 가능하다[4]. 또한 퍼지 제어시스템을 위한 관리제어기가 연구되고 있다[5].

본 논문에서는 서보 제어시스템에서 외란 인가시에 강인제어를 위한 미분 관리제어기를 제안하였다. 케환 시스템의 주 제어기로는 PID제어기를 사용하였고, 외란에 의한 불안정한 상태에서 미분 관리제어기가 보조적인 동작을 하도록 하였다. 미분 관리제어기의 강인성은 유도 전동기의 속도제어에 의해서 확인하였다.

2. 미분 관리 제어기의 설계

시스템은 다음과 같은 미분방정식에 의해 나타낼 수 있다.

$$\dot{x}^{(n)} = f(X) + bu \quad (1)$$

여기서 $x^{(n)}$ 는 n 차 미분을 나타내고, $f(X)$ 는 함수를 나타내며, x 는 시스템출력이다.

b 는 이득을 나타내며 $X = [x, \dot{x}, \dots, x^{(n+1)}]^T$ 는 상태벡터를 나타내고, u 는 제어입력이다.

우리는 미분 관리제어기의 설계에 목적이 있으므로, 케환시스템에 사용되는 주 제어기에 의한 제어입력 u 는 설계되었다고 가정한다. 서보 제어시스템의 전체적인 안정성은 주 제어기인 u_p 제어기에 의해서 유지되므로 관리제어기는 외란 인가시에 오차를 최소화 시키는데 목적이 있다.

X_d 가 원하는 궤적이라면 오차벡터는

$X_e = X - X_d$ 로 나타내며 시스템은 다음식과 같은 제어법칙에 의해서 제어될 수 있다.

$$\dot{u}^* = \frac{1}{b} [-f(x) + x_d^{(n)} - K^T X_e] \quad (2)$$

여기서 이득 $K = [k_1, k_2, \dots, k_n]^T$ 는 홀 비

쓰(Hurwitz) 다항식

$h(S) = S^{(n)} + K_n S^{(n-1)} + \dots + K_1$ 에 의해 선택한다.

식 (1)에 식(2)를 적용함으로써 시스템은 점근적 안정성을 준다. 그러나 제어입력은 외란 인가시 $f(X)$ 가 알려져 있지 않기 때문에 구현될 수 없다.

식(2)는 식(1)을 변환하여 오차벡터를 구하는데 도움을 준다.

제어입력 u 는 이미 설계되어진 u_p 에 u_s 가 더해지는 형태로 구성된다.

$$u = u_p + u_s \quad (3)$$

식(3)을 식(1)에 대입하면 다음 식과 같다.

$$\dot{x}^{(n)} = f(x) + b(u_p + u_s) \quad (4)$$

식(4)의 양변을 bu^* 로 감하면, 식(5)와 같은 오차 방정식을 얻는다.

$$\dot{x}_e^{(n)} = -K^T X_e + b(u_p + u_s - u^*) \quad (5)$$

식(5)를 벡터 형태로 하면 식(6)과 같다.

$$\dot{X}_e = \Lambda X_e + b(u_p + u_s - u^*) \quad (6)$$

여기서 Λ 와 b 는 다음과 같다.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_1 & -k_2 & -k_3 & \dots & -k_n \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ b \end{bmatrix}$$

Lyapunov함수는 다음 식과 같이 정의 한다

$$V = \frac{1}{2} X_e^T P X_e \quad (7)$$

서보 제어시스템에서 미분 관리제어기의 강인성에 관한 연구

P 는 대칭 정치행렬로서 다음의 Lyapunov방정식을 만족한다.

$$AP + PA = -Q \quad (8)$$

여기서 Q 는 설계자에 의해 선택되는 정치행렬이다. Lyapunov함수를 미분하면 다음식과 같다.

$$\dot{V} = -\frac{1}{2} X_e^T Q X_e + X_e^T P b (u_p + u_s - u^*) \quad (9)$$

주제어기 u_p 는 점근적으로 안정된 특성을 가지므로 $u_p = u^*$ 라고 가정하면, u_s 를 다음과 같이 선택함으로써 식(9)의 우변항은 항상 음(-)이 된다.

$$u_s = -I \operatorname{sgn}(X_e^T P b) \left\{ \left| u_n = u_{n-1} + \frac{T_D}{\Delta t} (e_n - e_{n-1}) \right| \right\} \quad (10)$$

여기서

$$e_n = u_{n-1} + x_e(n)$$

$$e_{n-1} = u_{n-2} + x_e(n-1)$$

이며, T_D 는 미분계수를 나타내며 식(10)은 본 논문에서 제안한 미분 관리제어기로서 오차가 발생하면 $I=1$ 로 동작되고 허용오차 범위 이내에서는 $I=0$ 으로 동작한다.

서보 시스템에서 미분 관리제어기의 강인함은 유도전동기를 사용하여 확인하였다.

3. 유도전동기 속도제어에 대한 적용

폐환 제어시스템의 주 제어기로서 PID제어기를 사용하였다.

PID제어기는 외란에 대하여 강인성이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 외란 인가시에 일정시간동안 외란의 영향이 지속된다. 이와 같은 외란의 영향을 최소화시키기 위해서 본 논문에서는 미분 관리제어기를 제안하였다.

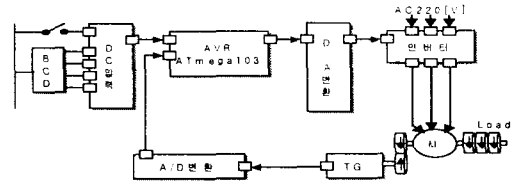


그림 1. 실험장치의 구성도
Fig. 1. A schematic diagram of the Experiment equipment

제어의 대상체로는 3상 유도전동기(LG; KMI 400K1)를 선택하였으며, 마이크로프로세서는 AVR ATmega103을 사용하였으며 데이터의 샘플링 시간은 10[ms]로 설정하여 사용하였다.

PID제어기는 이미 설계되어졌고, 미분관리제어기의 설계를 위해서 $b=1$, $T_D=1$, $k_1=1$, $k_2=2$, $Q = \operatorname{diag}[10, 10]$ 를 선택하였고, 결과적으로 P 는 다음과 같이 사용할 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} 15 & 5 \\ 5 & 5 \end{bmatrix} \quad (11)$$

이와 같이 설계된 미분 관리제어기의 성능을 실험하기 위한 실험장치 구성도는 그림 1과 같다.

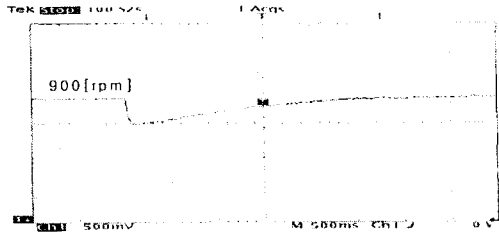
유도전동기의 설정속도는 900[rpm]이며, 외란은 설정값의 20[%]와 30[%]를 이탈하는 계단형 외란을 사용하였다.

그림 2의 (a)와 (b)는 PID제어기만 사용했을 때의 응답곡선이다. 그림 2의 (a)에서 최대이탈은 설정값의 20[%]정도였으며 이탈지속시간은 2[sec]정도이고, 그림 2의 (b)에서는 30[%]정도의 이탈과 2.5[sec]정도의 지속시간을 가진다.

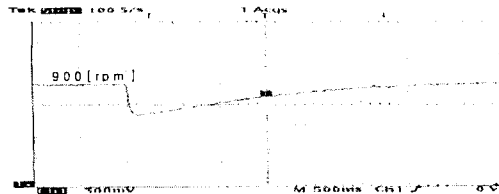
그림 3의(a)와 (b)는 PID제어기와 미분관리제어기가 함께 사용된 곡선이다. 그림 2의 (a)와 그림 3의 (a)를 비교하여 보면 이탈의 최대값은 줄지 않았지만, 지속시간은 0.6[sec]로서 75[%]가 감소되었다. 또한 그림 2의 (b)와 그림 3의 (b)를 비교하여 보면 이탈정도는 같고 지속시간은 0.8[sec]로서 약 70[%]정도가 감소되었다. 즉 이탈지속 시간이 70~75[%]감소한 반면에, 이탈 최대값은 줄지 않았다. 이것은 외란 인가 시 외란의 급속한 변화와 제어입력의 크기의 제약 때

문이다.

실험에서 입증되었듯이 미분 관리제어기는 외란에 확실한 효과가 있음을 보였다.

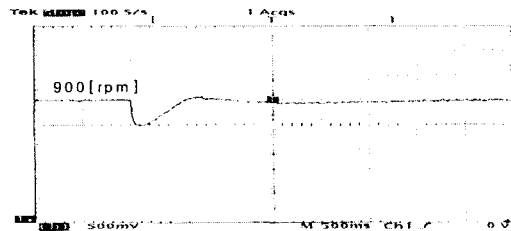


(a) 20[%]의 외란

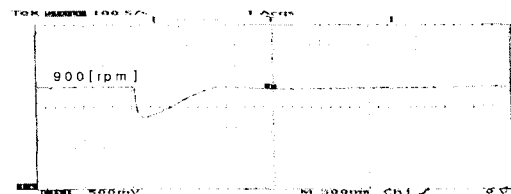


(b) 30[%]의 외란

그림 2. PID제어기에 의한 응답곡선
Fig. 2. Response curve of PID controller



(a) 20[%]의 외란



(b) 30[%]의 외란

그림 3. PID-미분 관리 제어기에 의한 응답곡선
Fig. 3. Response curve of PID-Differential Supervisory controller

4. 결 론

산업현장에서 서보 제어시스템은 강인한 제어가 요구되고 있다. 하지만 외란의 영향을 받게 되면 제어 시스템의 강인제어는 어렵게 된다. 본 논문에서는 PID제어기와 미분 관리제어기의 혼합형 제어기법을 제시하였다. 제안된 방법은 유도 전동기에 외란을 인가하여 특성이 개선됨을 보여주었듯이, 부하 및 외란이 있는 경우 효과적으로 사용될 수 있으며, 단조증가 및 시정수가 큰 시스템인 경우 효과가 더 클 수 있다.

따라서 제안된 제어기법은 자동화설비에 유용하게 사용될 수 있다.

References

- [1] K. J. Aström, Automatic tuning of PID controller, sumit technical Associates Inc. 1988.
- [2] J. K. Solitine and W. Li, Applied Nonlinear control, Prentice-Hall, 1991.
- [3] L. R. Medsker, Hybrid Neural Network and Expert System, Kluwer academic Publishers, 1994.
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control system: Fuzzy Logic Control part I, II", IEEE Trans, syst. Man Cybern. Vol. SMC-20, No2, pp.404-432, 1990.
- [5] L. X. Wang, "A supervisory controller for Fuzzy control system that Guarantees stability", IEEE Trans, Automatic control, Vol.39, No.9, September 1994.

◇ 저자소개 ◇

박 왈 서 (朴 白 緒)

1953년 5월 1일생. 1982년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수.

이 성 수 (李 成 洙)

1973년 5월 10일생. 2002년 원광대학교 공대 전기전자공학부 졸업. 현재 원광대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

오 훈 (吳 勳)

1967년 9월 8일생. 1991년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1993년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 익산대학 전기과 겸임교수.