

A Study On Predictive State Observer For Robust Control Of DC Servo Motor

Byung - Do Yoon, Soon - Young Choi

Department of Electrical Engineering, Chung - Ang University

ABSTRACT

A Microprocessor Based Digital Control System is inherently contained a control lag for processing the control program and a data detection time lag. This two types of time lag may cause the system to become unstable.

In this paper proposed predictive state observer is used to solve the two time lag problems.

I-P control algorithm is used to attain deadbeat response by adjusting the observer gain to overcome the parameter variation or with disturbance. The speed response shows good performance through computer simulation.

1. 서 론

마이크로 프로세서에 의한 디지털 제어 시스템은 아날로그 제어 시스템보다 정밀도의 향상, 자기진단 기능에 의한 보수성의 향상등과 같은 장점을 가지고 있으나, 이러한 디지털 제어 시스템에서도 다음과 같은 두 가지 형태의 시간 지연 문제가 근본적으로 존재하게 된다.

첫째로, 마이크로 프로세서에서의 제어 프로그램의 프로세싱에 대한 시간 지연 문제이고, 둘째로는 전동기 속도 검출에 따르는 시간 지연 문제이다.

이러한 두 가지 형태의 시간 지연 문제는 시스템이 불안정하게 되는 원인이 되므로 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 예상 상태 업저어버를

도입하고자 한다.

이 예상 상태 업저어버는 실제의 전동기 속도를 재구성하고, 실제의 다음 샘플링 순간이 되기전에 다음 샘플링에 대한 순시 속도값을 추정 계산하여 보상함으로써 시스템이 속지응답(Deadbeat)을 얻을 수 있게 한다.

여기에 또한, I - P 제어 알고리즘을 부가하여 제어함으로써 오버슈트없이 빠른 응답을 얻고자 한다.

외란이 인가되거나, 시스템 파라미터와 업저어버의 파라미터가 같지 않을 때에도 업저어버의 이득을 적절히 조절하여 속지응답 (Deadbeat Response)을 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서 제시한 시스템은 외란이나 파라미터의 어떠한 변화에도 관계없이 원하는 출력 속도에는 오버슈트없이 빠른 응답을 얻을 수 있는 강인성 제어 알고리즘이라 할 수 있다.

2. 전동기 디지털 제어 시스템

직류 전동기는 시연속 모델(Continuous time model) 이므로 전동기 제어 시스템은 샘플 - 데이터 시스템이 되어 샘플 - 데이터 시스템의 안정도를 해석하기 위하여 이산계 모델 (Discrete time model) 이 요구된다.

직류 전동기의 디지털 제어를 위한 이산계 모델을 그림 1 에 나타내었다.

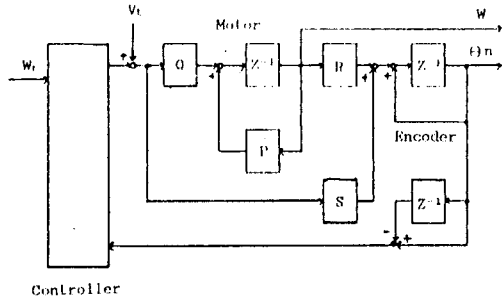


그림 1. 이산계 모델

그림1의 이산계 모델에서 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$G(Z) = \frac{\Theta(Z)}{R(Z)} = z \left[\frac{1 - e^{-T/\tau}}{s} \frac{K}{s(\tau s + 1)} \right]$$

$$= K \left[-\tau + \frac{T}{Z-1} + \frac{(Z-1)\tau}{(Z - e^{-T/\tau})} \right] \quad (1)$$

여기서, $P = e^{-T/\tau}$
 $Q = K(1 - P)$
 $R = \tau(1 - P)$
 $S = K(T - R)$

이러 하면, 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$G(Z) = \left[S + \frac{RQZ^{-1}}{1 - PZ^{-1}} \right] \frac{Z^{-1}}{1 - Z^{-1}} \quad (2)$$

본 논문에서는 전동기의 속도 제어를 위하여 I - P 제어기를 사용한다. 여기서 적분 요소(I)는 속도 오차의 적분에 비례하여 제어 오차가 없도록하며, 또한 부하가 변하거나, 전동기 파라미터와 제어기의 파라미터가 같지 않을 때의 오프 셋(Offset) 오차를 제거한다. 비례요소(P)는 속도에 비례하는 요소로서 비교적 빠른 응답을 얻을 수 있다.

I - P 제어 알고리즘을 적용하여 시스템을 구성하면 그림 2 와 같다.

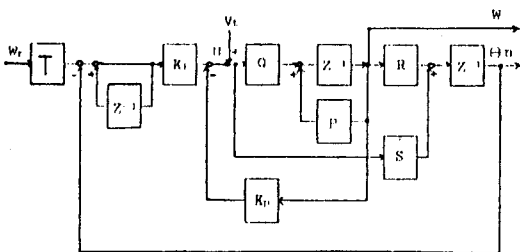


그림 2. I - P 제어 시스템

그림2에서 외란 \$V_k\$와 기준속도 \$W_r\$에 대한 속도 \$W\$의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{IPI}(Z) = \frac{W(Z)}{V_k(Z)} = \frac{Q(Z-1)}{Go(Z)} \quad (3)$$

$$G_{IPR}(Z) = \frac{W(Z)}{W_r(Z)} = \frac{TK_i QZ}{Go(Z)} \quad (4)$$

여기서,

$$Go(Z) = Z^2 + (K_i S + K_p Q - P - 1)Z + K_i(QR - SP) - K_p + P \quad (5)$$

이다.

식 (3),(4),(5) 에서 \$Z\$ 의 2 차항의 계수를 제외한 모든 계수를 0 으로 하면 시스템이 속지응답을 얻게 된다. 이러한 조건아래에서 구한 제어기의 이득 \$K_i, K_p\$는 다음과 같다.

$$K_i = \frac{1}{TQ}, \quad K_p = \frac{-P^2 T + R}{TQ(1 - P)} \quad (6)$$

이러한 제어 시스템에서는 마이크로 프로세서를 이용하므로 프로그램 프로세싱 시간 지연과 데이터 검출 시간 지연으로 시스템이 불안정하게되므로 본 논문에서는 예상 상태 업저어버를 사용하여 문제를 해결하고자 한다.

제안한 제어 시스템의 전체구성은 그림 3과 같다.

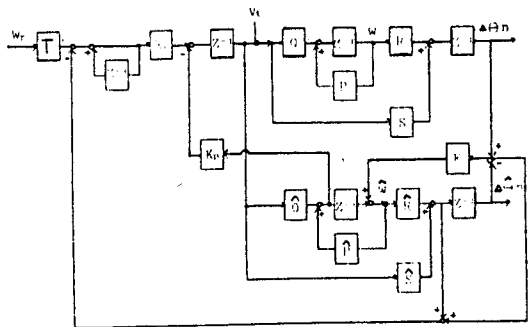


그림 3. 제안한 전체 제어 시스템

그림3 에서 전동기와 업저어버의 파라미터가 같다면 업저어버의 비중 이득(Weighting Gain) \$F\$ 는 다음과 같다.

$$F = \frac{\hat{P}}{\hat{R}} \quad (7)$$

제안한 시스템에서 업저어버의 이득 F 가 빠르게 변하면 전동기의 출력이 불규칙적으로 나타나는데 그 이유는 업저어버가 부하 외란을 보상하는 동안에 시스템이 일정한 메카니즘을 유지할 수 없기 때문이다. 그렇게 되면 $\Delta\theta_n$ 와 $\Delta\hat{\theta}_n$ 사이의 차이인 $\Delta\theta_d$ 가 0 이 되지 않는다.

$\Delta\theta_d \neq 0$ 인 상태에서 F 가 빠르게 변하면 F 의 출력에 잡음 (Noise)이 발생하며, 이 잡음은 P 제어 루프를 통하여 제어 입력으로 바뀌게 되어 출력이 불규칙적으로 나타나게 된다.

따라서 부하 외란이 인가되거나, 시스템 파라미터가 바뀌어도 $\Delta\theta_d = 0$ 으로 유지하도록 하여야 한다.

연속오더로 부터 검출되는 디지털 위치 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\hat{\theta}_n(k) = [1 + INT((\Delta\theta_n(k) - \theta_o(k)) / \theta_p)] / \theta_p \quad (8)$$

그리고 다음 샘플링 순간에 대한 초기 오차 각은 다음과 같다.

$$\theta_o(k+1) = \Delta\hat{\theta}_n(k) + \theta_o(k) - \Delta\theta_n(k) \quad (9)$$

3. 시뮬레이션

디지털 위치 신호의 각 오차를 고려한 전동기의 속도응답에 관하여 시뮬레이션 결과를 나타내면 그림 4와 같다.

그림4(a)는 전동기 파라미터와 업저어버 파라미터가 일치하는 경우의 속도응답이고, 그림4(b)는 시스템 파라미터가 불일치하는 경우의 속도응답이다.

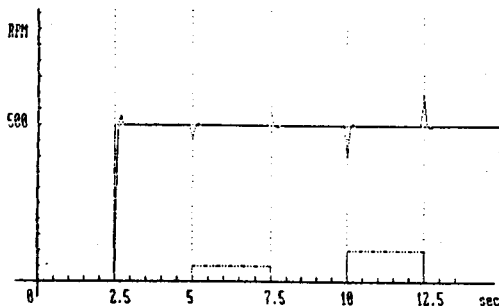
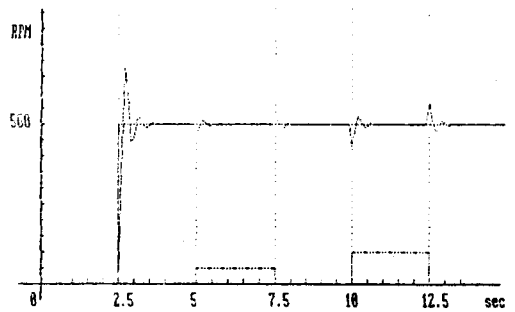


그림 4. 시뮬레이션 결과
(a). 파라미터 일치



(b). 파라미터 불일치

4. 결 론

본 논문에서는 시스템이 불안정하게 되는 원인이 되는 마이크로 프로세서의 프로그램 프로세싱 시간 지연과 데이터 검출 시간 지연문제를 해결하고자 예상 상태 업저어버를 이용하였으며, 제안한 제어 시스템을 I-P 제어 알고리즘과 결합하여 제어한 결과 전동기의 속도응답을 오버슈트없이 빠른 시간내에서 속지응답 (Deadbeat Response)을 얻을 수 있었다. 또한 외란이 인가되거나, 파라미터가 변하였을 때에도 업저어버의 이득 F 을 적절히 조절함으로써 강인한 제어를 할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. MILICR, STOJIC, " Design of The Microprocessor Based Digital System for DC Motor Speed Control," IEEE Trans. Ind. ELEC. Vol. IE-31, Aug./1984.
2. PHILIPPE MOTA, JEAN PIERRE ROGON, " Digital Position Servo System : A State Variable Feedback System," IEEE Trans. Ind. Vol. IA-30, pp. 1473-1481, Nov./Dec., 1984.
3. J. M. HO, " The Study of Predictive State Observer In A Motor Drive System," IEEE/IECON ' 87 , pp. 187-196

4. F. HARASHIMA AND S. KONDO, " Robust State Observer and Variable Sampling Technique for Performance Improvement of a Motor Drive System," IEEE Trans. Ind. Electronics. Vol. IE-30, No.4, pp. 325-329, Nov. 1983.
5. F. HARASHIMA AND S. KONDO, " A Design Method for Digital Speed Control of Motor Drive," Conf. Rec. of IEEE/PESC., pp. 289-297, 1982.
6. PRADEEP K. KANDAM, AND PARESH C. SEN, "Analog and Digital Speed Control of DC Drives Using Proportional — Integral and Integral — Proportional Control Technique," IEEE Trans. Ind. Electron., Ie-34, May 1987.
7. B.C. KUO AND J. TAL, " Incremental Motion Control DC Motor and Control System," SRL Publishing Company, 1978
8. 윤병도, 정재훈 공저 " 최신 전력전자 공학" 김영 출판사. pp. 383-393.