

태양추적 제어계의 위치제어특성

백남석* 양원영**

중앙대학교 전기공학과(박사과정), 중앙대학교 전기공학과 교수

Position control characteristics in a Sun-seeker control system

Nam-seok Baek* Weon-young Yang**

*Graduate student. **Professor. Dept of Electrical engineering, ChungAng university

Abstract - In this paper, the sun-seeker control system that is driven by DC motor is modeled on linear 2nd order time invariant system under some assumptions. For the analysis of output characteristics, theory is developed using digital control methods. Computer simulation and numerical analysis has been performed.

1. 서 론

근래 전동기의 구동 및 제어방식에 있어서는 릴레이나 전자회로에 의해 행해지던 아날로그 신호처리기법에서 반도체의 발달에 힘입은 디지털 컴퓨터에 의한 디지털 신호처리기법으로 연구되고 있다. 마이크로프로세서에 의한 디지털 제어방식은 계통의 특성개선, 경제성, 각 제어요소의 연계성과 아울러 제어처리에서 우월성을 가지는 장점이 있어 이런 제어기법이 적용되는 추세이다.⁽¹⁾⁽²⁾ 전동기의 속도 및 위치를 정확하게 제어하는 일은 여러 산업분야에서 중요한 의미를 가지며 입력전압과 속도가 1차 비례하고 입력전류와 토크도 비례하는 선형특성을 갖는 직류전동기는 현재 로봇, 레이더, 항공기제어등 광범위하고 정밀한 제어를 필요로 하는 곳에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 태양추적 제어계의 위치제어기를 구성하고 제반 특성을 고찰하고자 한다.

2. 제어기 설계

2.1 위치제어 시스템

위치제어계에서 증분구동계는 주어진 부하상태에서 특정위치로 구동하여 정지하여야 하고 다음 명령이 주어질 때까지 그 자리를 유지하여야 하며 예측된 위치경로를 따라 부하를 구동하는 곳에도 이용되도록 입력조건에 따라 구동특성이 결정된다. 그림2-1은 전형적인 속도검출기를 가진 위치제어계의 블록선도이다. 계통의 각 요소가 선형일 때

$$\text{속도루프 } \frac{\omega_m(s)}{a(s)} = \frac{A(s)M(s)}{1 + A(s)M(s)H_1(s)} = K(s) \quad (1)$$

$$\text{위치루프 } \frac{\theta_o(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K(s)/s}{1 + H_2(s)K(s)/s} \quad (2)$$

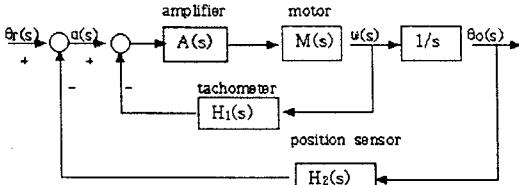


그림2-1 속도검출기를 갖는 위치제어계

이 위치제어 계통에서 특성을 결정하는 개루프 전달 함수를 $N(s) = H_2(s)K(s)/s$ 가 된다.

그림2-2는 속도검출기가 없는 위치제어계를 나타낸 것

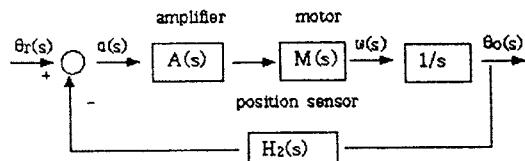


그림2-2 속도검출기가 없는 위치제어계

이다. 이 경우에는 계통의 안정도 문제가 심각해지므로 전압증폭기를 사용하거나, 속도루프에 정전류 쿠仑을 채용하거나, 진.지상 또는 지.진상요소의 보상회로를 침가한다.

2.2 시스템 모델링

태양추적제어계는 태양궤도를 추적하는 높은 정밀도를 갖는 위치제어계이다. 이 계통의 구성은 오차검출기에서 입력과 출력 각변위사이의 오차를 감지하면 전류로 변환시킨 후 연산증폭기로 보내져 증폭되고 증폭된 오차신호는 서보증폭기에 가해져 증폭된 오차전압이 공급될 때 제어계가 태양을 바로 향하도록 직류 전동기를 구동시키게 된다. 이 제어계의 목적은 입력과 출력 각변위사이의 오차를 거의 0으로 유지시키는 것이다. 그림2-3에서 상태변수를 다음과 같이 정의하면

$$\begin{aligned} x_1 &= \theta_m(t) \\ x_2 &= \omega_m(t) = \frac{d\theta_m(t)}{dt} \\ x_3 &= i_a(t) \end{aligned} \quad (3)$$

태양추적 제어계의 동적방정식(Dynamic equation)은 식(4), 식(5)와 같이 표현된다

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B}{J} & \frac{K_i}{J} \\ -KR_f K_s & -\frac{K_b}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_m \\ \omega_m \\ i_a \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{KR_f K_s}{L_a} \end{bmatrix} \theta_r + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} \\ 0 \end{bmatrix} T_L$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

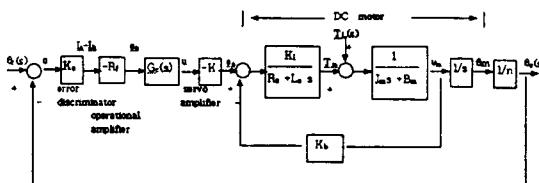


그림2-3 태양추적 제어계

2.3 출력응답특성.

내부속도루프의 첨가가 위치제어계의 안정도에 미치는 영향의 평가를 위해 내부 루프의 유무에 의한 응답특성을 해석하고자 한다. 선형2차제로 해석하기 위한 가정은 다음과 같다.

- 직류전동기 모델링시 부하토크(TL), 점성마찰계수(B), 전기자 인덕턴스 La<<<1로 무시한다.
- 오차검출기는 작은 진폭의 소신호에 대하여 선형화된다.

$$\frac{(I_a - I_b)}{a} = K_i = \text{constant}$$

2.3.1 내부루프가 없는 경우

폐회로 전달함수는 식(6)이 된다

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K_r K_i K}{n R_a (J_s + B) + K_r K_m K} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (6)$$

2.3.2 내부루프를 첨가한 경우

시스템의 폐루프 전달함수는 식(7)이 되며

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K_r K_i K}{n R_a J_s^2 + n K_b K_s + K_r K_m K} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (7)$$

내부루프 첨가시의 피드백 보상효과를 비교하기 위해 2 가지 경우에 대한 응답특성을 비교한다.

- 내부루프이득 Kb=0.0125로 일정하고 서보증폭기이득 K를 변화시키는 경우

$$\begin{aligned} \omega_n &= \sqrt{3.32K} \\ \xi &= \frac{0.86458}{\omega_n} \end{aligned} \quad (8)$$

- 서보증폭기 이득 K=5.0로 일정하고 내부루프이득 Kb를 변화시키는 경우

$$\begin{aligned} \omega_n &= \sqrt{16.6} \\ \xi &= \frac{69.1666K_b}{\omega_n} \end{aligned} \quad (9)$$

2.3.3 디지털제어.

태양추적제어계의 동적방정식은 선형화 가정하에서 다음과 같이 이산상태방정식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0199 & 0.00151 \\ -0.0031 & 0.9827 & 0.1466 \\ -0.0353 & -0.1947 & 0.7711 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k-1) \\ x_2(k-1) \\ x_3(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0250 \\ 3.6719 \\ 42.4152 \end{bmatrix} [u(k-1)] \quad (10)$$

$$y(k-1) = [0.01 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} x_1(k-1) \\ x_2(k-1) \\ x_3(k-1) \end{bmatrix} + [0][u(k-1)] \quad (11)$$

또한 식(7)에서 내부루프이득 Kb=0.055(역기전력:상수)일 때 시스템의 전달함수는 식(12)이 되며 영차홀드 (ts=0.02)를 사용한 이산시스템은 식(13)로 된다.

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_r(s)} = \frac{16.6}{s^2 + 7.6082s + 16.6} \quad (12)$$

$$\frac{\theta_o(z)}{\theta_r(z)} = \frac{0.0032z + 0.0030}{z^2 - 1.8527z + 0.8588} \quad (13)$$

2.4 시뮬레이션

본 연구의 시뮬레이션에 사용된 파라미터들은 다음과 같다.

표 2-1 그림2-3에서 사용된 파라미터

매개변수	의미	값
Rf	연산증폭기이득정수	24 [2]
Ks	오차검출기이득정수	0.1 [A/rad]
Ki	회전력상수	0.996 [Nm/A]
B	점성마찰계수	3×10^{-3} [N/m/sec]
Ra	전기자저항	0.06 [2]
n	기어비	100
J	동가관성모멘트	0.12 [Kgm ²]
La	전기자인덕턴스	0.005 [H]
K	서보증폭기이득	변화
Kb	내부속도루프이득	"

먼저 내부루프가 없는 출력피드백의 경우 단위계단 입력에 대한 출력응답은 그림2-4와 같이 불안정함을 알 수 있다.

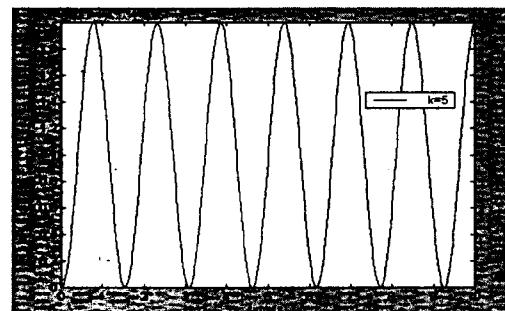


그림 2-4 내부루프가 없는 경우의 출력응답

내부속도루프를 부가한 경우, Kb = 0.0125일 때 서보증폭기이득 K의 변화는 그림2-5에, K=5일 때 내부루프이득 Kb를 변화시킬 때의 출력응답곡선은 그림 2-6에 나타내었고 이때의 응답특성은 표2-2, 2-3과 같다.

표 2-1 K의 변화에 대한 응답특성 비교

K	ξ	ω_n	Ts	Tr	max overshoot
1	0.474	1.822	3.612	1.008	0.183
10	0.150	5.762	3.478	0.207	0.597
25	0.094	9.110	3.470	0.112	0.674

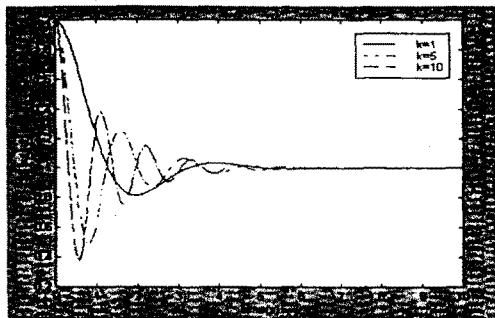


그림 2-5 서보증폭기이득 K_b 의 변화에 의한 출력응답

표 2-2 K_b 의 변화에 대한 응답특성

K_b	ξ	ω_n	T_s	T_r	max overshoot
0.1	1.697	4.074	0.387	1.694	0
0.05	0.848	4.074	1.050	0.722	0
0.0125	0.212	4.074	3.492	0.318	0.505

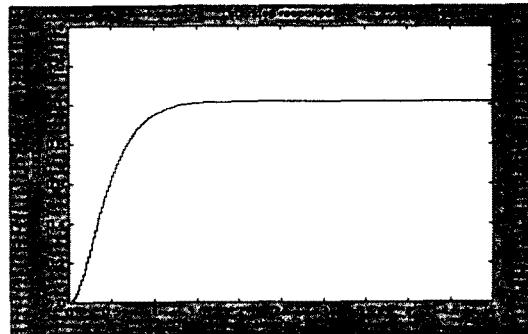


그림 2-8 최적 이산 출력 응답

3. 결 론

본 논문에서는 전기자전압으로 제어되는 직류전동기를 구동원으로 하는 태양추적제어계의 위치제어에 대하여 고찰하였다. 위치제어시 내부속도 루프이득이 일정할 때 $K_r K_b$ 를 변화시키는 경우 제어성능이 상당히 개선되며 가장 적절한 값은 $K_r = 0.3$ 이었고, $K_b = 0.055$ 이었다. 제어계의 요구조건을 만족시키기 위해서는 적절한 K_r, K_b 의 선정이 중요함을 알수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.B.Plant. "Microprocessor control of position or speed o an SCR dc motor drive" IEEE IECI vol.27 No3 1980
- [2] K.Tamaki and K.Miyachi. "Microprocessor based robus control of a dc servo motor" IEEE C.S.M 1986
- [3] B.C.Kuo. Automatic control systems Prentice-hall Inc 5th edition 1987
- [4] B.Shahian & M.hassul. Control system design using Matlab Prentice-hall Inc. 1993
- [5] 나일주,최종호 외3 "머신닝센터를 위한 윤곽오차 분석 및 PID제어기 설계",제어,자동화,시스템공학 논문지,3권,1호,1997

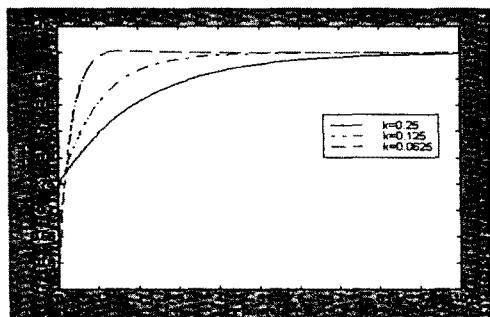


그림 2-7 내부루프이득 K_b 의 변화에 대한 출력응답

디지털제어시 z평면에서의 극,영점배치는 그림2-7에, 최적출력응답은 그림2-8에 나타내었다.

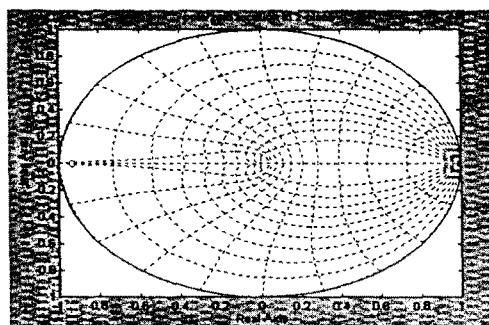


그림 2-8 극,영점 배치(z평면)