

가변구조제어를 활용한 직류서보 제어계의 위치제어에 관한 연구

홍순일, 배규환, 송주용

부산공업대학교 전기공학과

Motion Control of DC Servo System Using Variable Structure Control

S. I. Hong, G. H. Bae, J. Y. Song
Pusan National University of Technology.

Abstract - In position control system using variable structure control, the velocity of control object is controlled to approach the desired specified velocity patterns, and eventually the position of control object is correctly at reference position. Here, this intention can be success by means of variable structure control. In this paper, the PI velocity feedback control is also used sliding mode controller. The design of position controller under specified velocity profiles in variable structure control's constraints is studied.

1. 서론

가변구조제어 시스템(Variable Structure Control System)은 시스템의 파라미터가 상태에 따라서 스위치하는 시스템을 가변구조제어라 부른다. 이 이론은 최근 마이크로컴퓨터의 고속화, 마이크로프로세스 및 전력전자 기술의 발달에 따라 메니퓰레이터(manipulator), 전동기 등의 실시스템에 적용을 시작으로 다시 주목을 받고 있다.

가변구조제어(VSS)는 프랜트의 상태가 스윗칭 평면에 도달하여 슬라이딩 운동을 하도록 고속스위칭 입력을 인가하는 제어방식으로 슬라이딩 모드에서 파라미터 변화와 외란에 둔감하고 응답의 속응성 면에서도 다른 제어기법에 비하여 우수하기 때문에 각종 서보제어계에 널리 사용되고 있다. [1]

가변구조시스템의 특징은 슬라이딩모드(sliding mode)가 스윗칭표면에 존재한다는 것이고 가변구조제어는 일반적으로 슬라이딩 존재조건인 $SS' < 0$ 을 이용하여 설계한다. 또한 슬라이딩모드 제어는 제어계의 각 파라미터의 변동이나 제어 계내의 상호간섭, 그의 외란등에 대하여 로바서터(Robust)한 특징을 가지고 있다. [2], [3]

본 연구는 가변구조제어를 이용한 서보제어의試作으로 그 목적은 오버슛을 될 수 있는한 억제하고 고속과 동시에 정확히 제어대상의 위치를 제어하는 것이다. 이 목적을 위하여 제어대상의 속도를 미리 정하여 놓은 속도패턴에 대하여 제어대상의 위치-속도를 제어한다. 이 때 속도패턴은 수식으로 표현하였고, 가변구조 제어이론에 기초한 슬라이딩 모드제어

를 실행한다.

글으로 실제 직류서보계를 대상으로 시뮬레이션으로 제어 계는 가속도, 속도등의 속도패턴의 변수를 여러가지로 변화 시키도 그 응답은 우수한 반응을 나타낸을 알 수 있었고, 제어 시스템 試作을 위한 기초회로 구성을 완성하였다.

제 2장 가변구조(VSS)제어를 활용한 서보계의 구성
가변구조제어에서 슬라이딩 모드를 도입할 경우 스위칭선

$$S(x) = x + cx \quad (2.1)$$

를 식(2.1)로 정의하면 슬라이딩 모드의 존재조건은

$$\lim_{S \rightarrow 0} SS' < 0 \quad (2.2)$$

로 된다.

2.1 스위칭면의 결정

실제 서보계를 설계 제작 하는 경우, 속도패턴은 영역의 연결부에서 가속도가 급격히 변화고 있으므로 서보계의 속도 패턴을 따라 제어하는 것은 대단히 어렵다. 때문에 여기서는 그림 1과 같이 가속도를 서서히 변화시키는 속도패턴으로 구성한다.

속도의 시간함수 연속패턴은 아래의 5영역으로 나누어 생각할 수 있고, 각각 영역의 시간함수 패턴에서 슬라이딩 곡선은 x_1 을 위치편차, x_2 를 속도편차, x_0 를 목표위치로 하면 다음과 같이 구해진다. 그리고 b_1 , b_2 는 속도곡선의 기울기이고 각식의 문자는 계산과정에서 나오는 계수값이다.

一定 加速度 (加速) 領域 ($0 < t < TR_1'$)

$$S_1 = x_2^2 / 2 b_1 + x_1 - x_0 = 0 \quad (2.3)$$

가속도 변화 (가속) 영역 ($TR_1 < t < TR_2$)

$$S_2 = x_0 + x_1 + (V_m (x_2 + V_m)^{1/2}) / b_1 \\ + (x_2 + V_m)^{3/2} / 3b_2 - (A_1 + A_2) = 0 \quad (2.4)$$

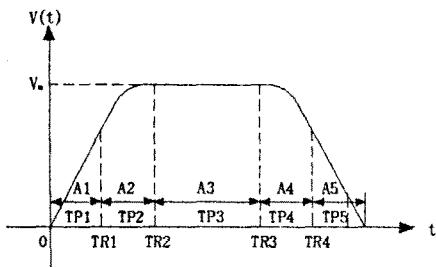


그림 1 개선한 속도폐면

동속도 영역 ($TR_2 < t < TR_3$)

$$S_3 = x_2 + V_m = 0 \quad (2.5)$$

가속도 변화(감속)영역 ($TR_3 < t < TR_4$)

$$\begin{aligned} S_4 = x_2 - x_1 - [V_m (x_2 + V_m)^{1/2}] / b_2 \\ + (x_2 + V_m)^{3/2} / 3b_2 - (A_1 + A_2 + A_3) = 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

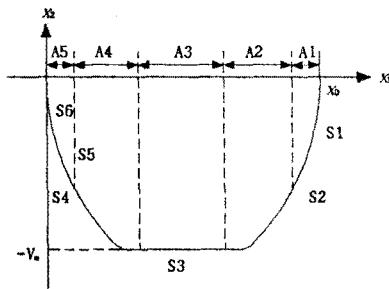


그림 2 스라이딩 곡선

일정가속도(감속) 영역 ($TR_4 < t < TR_5$)

$$\begin{aligned} S_5 = x_2 + V_{45} \{ [(x_2 + V_{45})] / m_2 + TR_4 \} \\ + ((x_2 + V_{45})^2) / 2m_2 - (A_5 + V_{45}TR_4) = 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

원점 근방

$$S_6 = C x_1 + x_2 = 0 \quad (2.8)$$

로 구하여 진다. S_6 는 위상평면의 원점근방에서는 경사가 매우 크기 때문에 S_6 의 옆에 S_5 를 스위칭면으로 하여 사용한다. 그림2는 스라이딩 곡선을 나타낸다.

2.2 투프이득 정수의 결정

직류 서보전동기를 이용한 서보계의 상태방정식에서 투프이득정수에 관하여 고찰한다

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ q \end{pmatrix} u \quad (2.9)$$

단, α_1 : 위치편차, x_2 : 속도 편차

$$p = K_e K_a / JR_a, q = K_a \psi / JR_a$$

스위칭선의 각 영역에서 행하는 제어방식은 아래의 형으로 취한다.

$$u = \psi_1 x_1 + \psi_2 x_2 + K_a \operatorname{sign}(S) \quad (2.10)$$

여기서 S 는 정의된 슬라이딩 곡선이고, $S = S_i$ ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

이다. $\operatorname{sign}(S)$ 는 S 의 부호함수로서

$$\operatorname{sign}(S) = \begin{cases} 1 & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ -1 & S < 0 \end{cases}$$

ψ_1, ψ_2 는

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \begin{cases} \alpha_1 & S_1 > 0 \\ 0 & S_1 = 0 \\ \beta_1 & S_1 < 0 \end{cases} \\ \psi_2 &= \begin{cases} \gamma_1 & S_2 > 0 \\ 0 & S_2 = 0 \\ \xi_1 & S_2 < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

로 하면 각각의 이득정수는 슬라이딩 모드가 존재하기 때문에 식(2.2)의 조건에서 아래에 표시한 것과 같은 부등식으로 도출된다.

$S = S_1$ 인 경우는 식(2.3)에서 구한 $S_1 S_1$ 의 값이 α_1, α_2 의 값에 관계없이 항상 음(-)이면 식(2.2) 슬라이딩 모드의 존재조건을 만족하는 것이 된다. 그 조건에서 각 가변구조 계수의 범위를 구하면 다음과 같은 부등식이 된다.

$x_2 > 0$ 일 때

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \begin{cases} \alpha_1 > 0 & S_1 x_1 > 0 \\ 0 & S_1 x_1 = 0 \\ \beta_1 < 0 & S_1 x_1 < 0 \end{cases} \\ \psi_2 &= \begin{cases} \gamma_1 > - (p/q) & S_1 x_1 > 0 \\ 0 & S_1 x_1 = 0 \\ \xi_1 < - (p/q) & S_1 x_1 < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

$$K_a > m_1 \operatorname{sign}(S_1) / q$$

$\alpha_2 < 0$ 의 경우

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \begin{cases} \alpha_1 > 0 & S_1 x_1 > 0 \\ 0 & S_1 x_1 = 0 \\ \beta_1 < 0 & S_1 x_1 < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\psi_2 = \begin{cases} \gamma_2 > - (p/q) & S_1 x_1 > 0 \\ \xi_2 < - (p/q) & S_1 x_1 < 0 \end{cases}$$

$$K_r > m_1 \operatorname{sign}(S_1) / q$$

$$\psi_2 = \begin{cases} \gamma_2 < 0 & S_2 x_2 > 0 \\ \xi_2 > 0 & S_2 x_2 < 0 \end{cases}$$

$$K_r > m_2 \operatorname{sign}(S_2) / q$$

시뮬레이션 결과는 어느경우나 우수한 응답특성을 나타내고 있고 그 제어방법의 유효성이 확인 되었다. 프로그램에서 함수 G_1 의 선정도 적절히 되었다. 이것에서 알 수 있는 것과 같이 어떤 지령값에서 파라미터를 조정하여도 다른 지령값에서는 양호한 동작을 하고 있음을 확인하였다.

제 4 장 결 론

이상 가변구조 제어형 서보제어계를 구성하여 실험, 시뮬레이션 결과로 부터 이 서보계가 우수한 응답을 표시하고 있는 것을 알 수있었다. 그리고 가변구조제어가 속도제련의 파라미터 변화 및 지령값의 변화에 대하여 강인하다는 것도 증명하였다

参考文献

위와 같은 방법으로 $S = S_2$, $S = S_3$, $S = S_4$, $S = S_5$ 및 $S = S_6$ 경우는 각각 식 (2.4), (2.5), (2.6), (2.7) 및 식 (2.8)에서 구조 계수의 범위를 구한다.

제 3장 시뮬레이션 실험에 의한 검토

위치제어의 시작시에는 위치편차는 목표위치와 거의 같은 값이 되므로 식 (2.10)의 조작량은 위치편차 항에 이득 G_1 를 곱하여 수정한 식 (3.1)과 같이 한다.

$$\begin{aligned} u = G_1 \psi_1 x_1 + \psi_1 x_2 + K_r \operatorname{sign}(S) \\ + G_w (V^* - V) + K_1 (V^* - V) \end{aligned} \quad (3.1)$$

여기서 G_1 는 위치편차의 스케일을 조정하기 위한 이득으로서 고정정수 0.02를 취하는 것으로 한다.

서보계의 제어대상은 DC 서보전동기를 이용한 슬라이더 이고 트랜지스터 스위칭에 의한 PWM제어회로를 사용한다. 시뮬레이션은 정격 100[V], 32[V]의 DC 전동기(URGMEM)와 엔코드 1000 Puls/rev의 정수로서 행하였다. 그림 3은 지령값이 10[rad]인 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

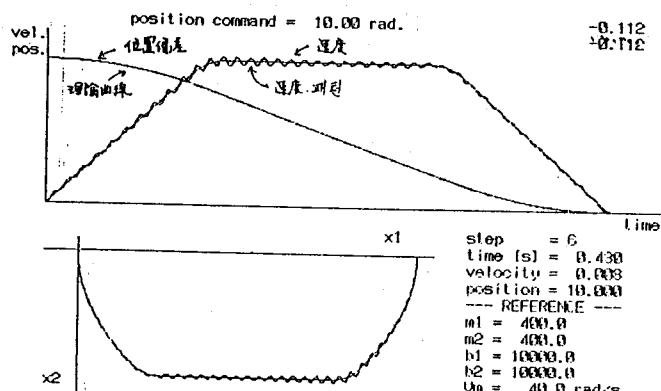


그림 3 시뮬레이션 결과, 챔플링 타임 1[ms]