

홍 창 희 이 형 기 박 양 수\*

Ac Servo motor position control  
using Sliding mode control

Chang Hi Hong Hyoung Ki Lee Yang Su Park\*

Dong-A Univ. Pusan National Institute of Technology Dong-A Univ. Institute of Technology

abstract

The application of Sliding Mode Control for improving the dynamic response of a Multi-Phase-Bipolar(MPB) Brushless DC motor based position control system is presented.

Sliding Mode Control gives fast dynamic response with no overshoot and zero steady state error.

It has the important feature of being highly robust.

A design procedure is outlined for the Sliding Mode Controller for a MPB Brushless DC motor.

Digital computer simulation of the overall position control system is carried out using a time domain model in the d-q reference frame.

1. 序 論

位值制御시스템에 사용되고 있는 電動機중에서 MPB(Multi Phase Bipolar) Brushless DC motor를 利用하고<sup>(1)</sup> 制御方式은 가변구조 시스템의 이론으로 알려진 슬라이딩 모드(Sliding Mode) 制御法을 적용시켜서 위치제어시스템을 構成하였다<sup>(2)</sup>

슬라이딩 모드(Sliding Mode) 제어로서 오버슈트(Overshoot)가 없고 정상상태의 편차가 영(Zero)으로 되는 빠른 동특성 應答을 얻을 수 있다<sup>(3)</sup>

이 제어법은 파라메타(Parameter)의 변동이나 外亂에 대하여 높은 강인성을 얻을 수 있다.

따라서 이러한 잇점을 가진 슬라이딩 모드(Sliding Mode) 제어법을 이용하여 MPB형 Brushless DC motor의 위치제어를 行하였다.

2. 슬라이딩 모드(Sliding Mode)에

의한 MPB형 위치 제어기.

슬라이딩 모드 제어기(Sliding Mode Controller, SLMC)를 설계하기 위하여 MPB형 Brushless DC motor의 전기기계적 model은 다음 式으로 주어진다.

$$T_e = K_t \cdot i \quad (1)$$

$$T_e - T_l = J(dw/dt) + BW \quad (2)$$

$$\theta = \int w \cdot dt \quad (3)$$

첫 式에서

$$K_t = (3/4) \cdot (\text{극수}) \cdot \phi$$

式(1),(2),(3)의 슬라이딩 모드(SLMC)를 연결한 MPB Brushless DC motor의 dynamic model은 그림1과 같다.

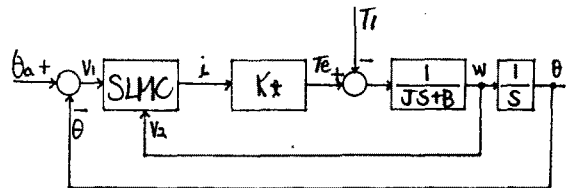


그림1. 슬라이딩 모드(Sliding Mode) 위치 제어의 MPB Brushless DC motor의 동적 model.

슬라이딩 모드(Sliding Mode)를 이용한 위치 제어를 설계하기 위하여 式(1),(2),(3)을 위치 편차와 상태변수로 다시 표현하면

$$V_1 = \theta_a - \theta \quad (4)$$

$$\dot{V}_1 = -\dot{\theta} = -w = -V_2 \quad (5)$$

$$V_2 = (dw/dt) = [Te - T_l - B \cdot w] / J \quad (6)$$

따라서

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & -B/J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_t/J \end{bmatrix} i + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/J \end{bmatrix} T_l \quad (7)$$

위치 편차 V1은 외란 Tl과 제어대상의 파라메타 J, B와 Kt와는 무관하다.

위치 제어에서 오차에 대한 오버슈트(overshoot)를 없애기 위하여 제어대상의 model을 1차계로 선택한다.

이것은 式(8)로 주어진 위상평면의 슬라이딩 라인(Sliding line) S를 따라 슬라이딩 모드(Sliding Mode)로 들어가게 된다.

$$S = V_1 + K_c \cdot V_2 \quad (8)$$

따라서 system의 특성은 式(8)과 같으며 그림2의 슬라이딩 라인(Sliding line)의 구배는 1/Kc이고 Kc는 슬라이딩 모드(Sliding Mode)에서 편차응답의 시정수로서 나타낸다.

작은 시정수 Kc는 빠른 동특성을 나타낸다.

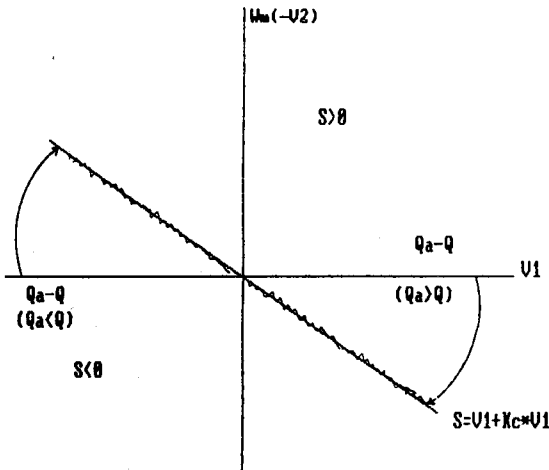


그림2 Phase-plane trajectory of positional error in sliding mode.

제어전류  $i$ 는

$$i = a_1 \cdot P_1 \cdot V_1 + a_2 \cdot P_2 \cdot \dot{V}_1 + D \cdot \text{sgn } s$$

여기서

$$P_1 = 1 \quad V_1 \cdot s > 0$$

$$P_1 = -1 \quad V_1 \cdot s < 0$$

$$P_2 = 1 \quad \dot{V}_1 \cdot s > 0$$

$$P_2 = -1 \quad \dot{V}_1 \cdot s < 0$$

(9)

$a_1, a_2$ : 궤환 이득 계수

$D$ : 부하  $T_1$ 에 의한 정상편차를 줄이기 위한 dither 이득

$$\text{sgn } s = 1 \quad s > 0$$

$$\text{sgn } s = -1 \quad s < 0$$

슬라이딩 모드(Sliding Mode)가 일어날 수 있는 조건은 모든  $s$ 에 대하여

$$\text{sgn } s \cdot \dot{s} < 0 \quad (10)$$

式(6), (8), (9)로부터

$$s = V_1 - Kc \cdot V_2$$

$$\dot{s} = \dot{V}_1 - Kc \cdot \dot{V}_2$$

$$= -(Kta_1 P_1 Kc / J) V_1 + (J - KcB - Kta_2 P_2 Kc) / J \dot{V}_1 + (Kc / J) (T_1 - Kt D \text{sgn } s) \quad (11)$$

$$\dot{s} = -(Kta_1 P_1 Kc / J) V_1 s + (J - KcB - Kta_2 P_2 Kc) J$$

$$\dot{V}_1 s + (Kc / J) (T_1 - Kt D \text{sgn } s) s \quad (12)$$

式(9)에 주어진 슬라이딩 모드(Sliding Mode)가 일어나기 위한 조건은

$$a_1 > 0$$

$$a_2 > (J - KcB) / Kt Kc > 0 \quad (13)$$

$$D > T_1 / Kt$$

3. 시뮬레이션(Simulation)

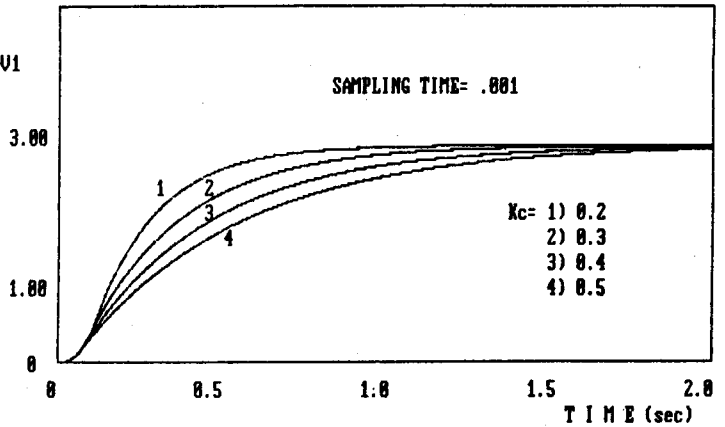
MPB형 Brushless motor의 위치제어에 대하여 Simulation을 행하였다.

전동기는 d-g 등가 model을 사용하였으며 제어대상 정수는  $J=0.0078, B=0.00065, Kt=0.54$ 를 사용하였다.

슬라이딩 모드(Sliding Mode)의 Sampling time은 모두 1[msec]로 하였으며  $a_1=0.3, a_2=0.1$ 와 dither signal gain은 2로서 하였다

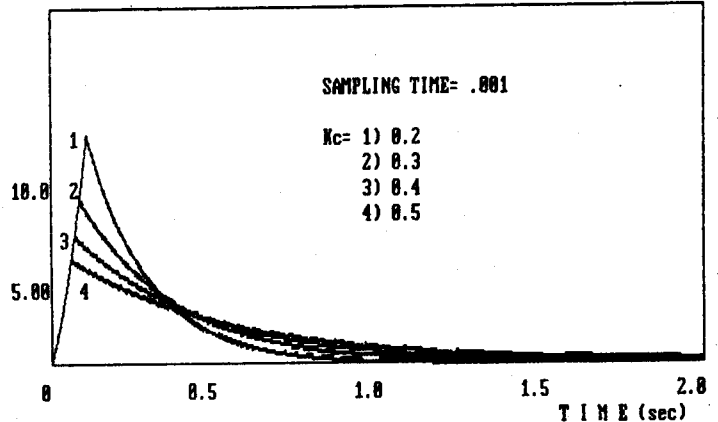
이러한 정수를 이용하여  $Kc$ 의 값을 0.2, 0.3, 0.4, 0.5로 변화시켰을 경우 위치특성, 속도특성, torque 특성 및 위상평면궤적을 그림(3), (4), (5), (6)에 나타내었다.

POSITION(rad)



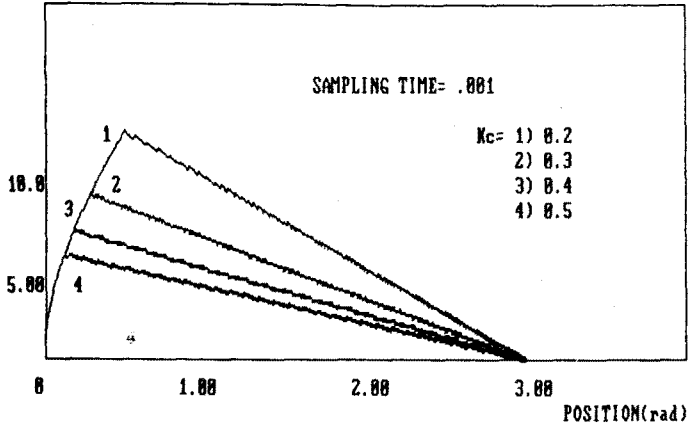
1. 그림 3. Sliding mode를 이용한 MPB Brushless motor 위치응답

SPEED (rad/sec)



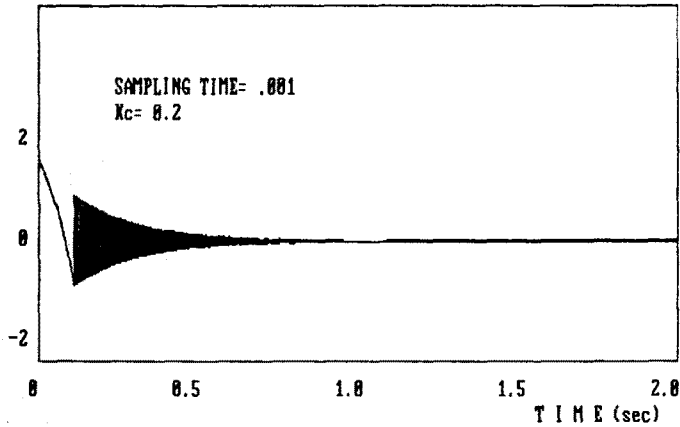
1. 그림 4. Sliding mode를 이용한 MPB Brushless motor 속도응답

S P E E D (rad/sec)



1월 5. Phase-plane trajectory of positional error in sliding mode

TORQUE(N-m)



1월 6. Sliding mode를 이용한 MPB Brushless torque 응답

그림 (5)의 위상평면 궤적에서  $K_c$ 의 값이 크면 슬라이딩 모드(Sliding Mode)구배가 낮아지며 위치응답의 정상상태에 도달하는 시간이 늦어지고  $K_c$ 값이 적으면 슬라이딩 모드(Sliding Mode)의 구배가 크며 위치응답은 빠르게 정상상태에 도달하였다.

또한 속도응답특성도  $K_c$ 의 값이 크면 응답의

최대치가 줄어들며  $K_c$ 의 값이 적을 경우 속도 응답특성의 최대치는 크게 되었다.

또 torque특성은  $K_c$ 의 값이 적을수록 크게 변화하고  $K_c$ 가 클수록 torque변화가 적었다.

4. 결론

MPB Brushless DC motor는 소형의 power motor로서 좋은 특성을 갖기때문에 위치제어 system에 응용하기가 좋다.

이러한 MPB형 Brushless DC motor에 슬라이딩 모드(Sliding Mode) 제어법을 적용 시켜서 위치제어의 robust control이 가능함을 Simulation을 통하여 고찰하였다.

5. 참고 문헌

- 1) 이인수 "Brushless DC motor 開發", 大韓電氣學會, 秋季Symposium P8-12 (1987)
- 2) SHIN-CHANG LIN etc. "A Microprocessor Based Incremental servo system with Variable structure" IEEE Trans. IND Vol IE-31 No4 P313-316 (1984)
- 3) SATOSHI O GASAWARA etc. "A High performance AC servo system with permanent Magnet synchronous motors", IEEE Trans IND Vol IE-33 No1 P87-91 (1986)
- 4) CHANDRASEKHAR NAMURI etc. "A servo-control system using a self-controlled synchronous motor (SCSM) with Sliding Mode controller" IEEE Trans IND Vol IA-23 No2 P283-295 (1987)
- 5) 土手康彦 "ブラシレスサーボモータの基礎と應用" 綜合電子出版社 P93-112