

슬라이딩 모드 제어에 의한 유도형 교류 서보 전동기 구동 시스템

홍순일, 최재용, 이영길
부경대학교

Drive System for AC Servo Motor of Induction Type by Sliding Mode Control

S.I. Hong, J.Y. Choi, and Y.G. Lee
Pukyong National University

ABSTRACT

시스템이 슬라이딩모드의 존재조건을 만족하는 경우, 전동기의 상태가 전동기의 파라미터에 의존하지 않고 결정되는 절환 초평면에 수렴하기 때문에 파라미터에 불감한 응답을 나타낸다. 본 연구는 소형 유도전동기에 의한 외란 및 파라미터의 변동에 대하여 로바스트(robust)와 동시에 정확한 응답을 나타내는 교류서보 전동기를 이용한 서보 시스템을 설계한 것이다. 이를 실현하기 위해서 가변구조 제어 이론에 기초한 슬라이딩모드 제어규칙을 결정하고 유도전동기 자체 슬립주파수형 벡터제어를 실현한다.

속도를 검출한다. 그리고 DSP에서 1차전류의 지령값을 연산한다. 이상적인 전동기에 대한 시뮬레이션의 결과에 의해서 관성, 점성마찰계수, 부하 토오크 등의 파라미터의 변동 및 외란에 대하여 로바스터성이 있다는 것을 알 수 있고 슬라이딩모드 제어의 도입이 교류전동기 서보제어에 유효한 것을 확인하였다.

1. 서 론

서보 시스템분야에서 중요한 사항은 로바스터성과 속응성이다. 가변구조 제어이론에 기초한 슬라이딩 모드제어는 스위칭 면에서 슬라이딩 모드가 생기면 제어대상의 상태변수는 제어대상의 파라미터에 의해 설정되는 불연속면상에 구속되기 때문에 로바스터성이 얻어진다^{[1][2]}.

또한 교류 전동기의 벡터제어는 자화전류와 토오크 전류를 분리하여 제어함으로써 응답의 속응성을 얻을 수 있다^{[3][4]}.

본 연구의 목적은 교류서보 전동기의 벡터제어에 가변구조제어를 이용하여 오버슈트를 될 수 있는 한 억제하고 고속과 동시에 정확히 제어대상의 위치를 제어하는 서보 시스템을 설계하는 것이다.

본 연구에서는 기존의 슬립 주파수형 벡터제어에 기초한 유도전동기의 속도제어 시스템에 가변구조제어를 이용한 속도제어 시스템을 실현하였다. 실행한 시스템은 DSP와 순시전류 추종방식의 인버터로 구성되고 전동기에 직결한 엔코드에서 펄스 신호를 카운트하여 위치와

2. 교류 서보제어 시스템

2.1 가변구조 제어규칙의 설계

기계부분의 운동방정식은 식 (1)와 같다.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (T^* - B\omega) \quad (1)$$

T^* : 지령토오크, B : 점성 마찰계수
제어법칙은 식 (2)과 같이 정한다.

$$T^* = \psi_1 x + \psi_2 \dot{x}, \quad s = cx + \dot{x} \quad (2)$$

여기서 $x = \theta^* - \theta$ 이고 θ^* 는 위치지령이다. 또한 가변구조 계수는 식 (3)이다.

$$\psi_1 = \begin{cases} \alpha & xs > 0 \\ -\alpha & xs < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\psi_2 = \begin{cases} \beta & xs > 0 \\ -\beta & xs < 0 \end{cases}$$

이 경우 식 (2), (3)를 이용하여 sliding mode 의 존재 조건 $\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \dot{s} < 0$ 을 만족하고 있다면 스위칭 선 $s=0$ 의 근방에서 sliding mode가 존재하고 각 파라미터는 식 (4)이 된다.

$$\begin{cases} b\psi_1 > 0 & \text{if } s \cdot x > 0 \\ b\psi_1 < 0 & \text{if } s \cdot x < 0 \\ c - a - b\psi_2 > 0 & \text{if } s \cdot \dot{x} < 0 \\ c - a - b\psi_2 < 0 & \text{if } s \cdot \dot{x} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

단, 여기서 $a=B/J$, $b=-1/J$ 이고 계가 sliding mode에 있을 때 입상시간 $T_r \approx 2.197$ 이므로 설계 사양에서는 1 [sec]이 되도록 하면 $c=3[1/s]$ 이다. 여기서 ψ_1, ψ_2 를 α, β 에 관해 나타내면 피드백 계수의 조건은 식 (5)가 된다.

$$\begin{cases} \alpha > 0 \\ \beta > (B - c) \end{cases} \quad (5)$$

이 조건을 기초하여 $\alpha=0.06$ $\beta=0.006$ 로 결정한다.

부하외란이 있을 때 즉, $T' = T^* + T_L$ 로 변하고 전동기의 관성 모우먼트 및 점성마찰계수가 J, B' 으로 변하면 시스템이 슬라이딩 모드에 들어가지 않으므로 제어 입력에 외란 T_L 의 피드백 성분을 넣어 식 (6)이 되도록 보상한다.

$$T^* = \psi_1 x + \psi_2 \dot{x} - \psi_1 T_L \quad (6)$$

이 제어규칙에서는 외란 토크를 억제하기 위해서 억제계수 γ 와 부호항을 넣어서 식 (7)과 같이 보상한다

$$T^* = \psi_1 x + \psi_2 \dot{x} - \gamma \operatorname{sgn}(s) \quad (7)$$

여기서 $\gamma = \max|T_L|$ 이다. 따라서 부하와 외란 토크의 억제는 가능하고 γ 는 부하와 외란의 합의 절대값의 최대값이 된다.

그리고 정격속도를 매우 초과하지 않도록 속도 제한을 위한 sliding 선은 식 (8)과 같다.

$$s = |x_{\max} - \dot{x}| \quad (8)$$

2.2 전동기 벡터제어

2차 자속의 크기가 일정하면 토크는 2차전류의 크기에 비례하게 되고, 이것을 실현하기 위해서는 d축상에 자속을 q축상에 2차전류를 제어하는 것과 같이 분리 제어하는 2차 전류일정 슬립주파수형 벡터제어를 하였다.

위치제어에서 토크 지령값을 T^* 라고 하면, 전동기 슬립 주파수형 벡터제어에서 전류 진폭은 식 (9)가 된다.

$$i_{1d}^* = K_0, \quad i_{1q}^* = K_1 T^* \quad (9)$$

슬립 주파수는 식 (13)이다.

$$\omega_s^* = \frac{R_2 M}{\psi_{2d} L_2} i_{1q}^* \quad (10)$$

실제로 인버터에 전달되는 전류 지령치는 식 (11)이다.

$$\begin{cases} i_{1u}^* = \sqrt{\frac{2}{3}} |I_1| \cos(\theta_0 + \theta_T) \\ i_{1v}^* = \sqrt{\frac{2}{3}} |I_1| \cos(\theta_0 + \theta_T - \frac{2}{3}\pi) \\ i_{1w}^* = \sqrt{\frac{2}{3}} |I_1| \cos(\theta_0 + \theta_T + \frac{2}{3}\pi) \end{cases} \quad (11)$$

$$|I_1| = \sqrt{i_{1d}^2 + i_{1q}^2}$$

$$\theta_T = \tan^{-1} \frac{i_{1q}^*}{i_{1d}^*} \quad \theta_0 = \int_t^0 (\omega_r + \omega_s) dt \quad (12)$$

펄스 인코드에 의해 위치검출 하여 피드백하고 식 (11), (12)에서 1차전류의 크기와 위상을 제어하여 1차 지령전류 i_1^* 를 출력한다.

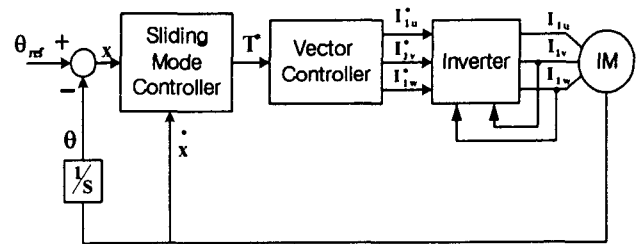


그림 1 위치제어 시스템

3. 시뮬레이션

제한된 가변구조 제어기의 성능을 입증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션은 아날로그 연산(비교기, 전동기, 기계부하) 부와 디지털 연산(벡터연산, 가변구조)으로 행한다.

가변구조 제어에 의한 위치제어 시스템은 순시전류추종방식의 MOSFET 인버터, 전류제한을 갖는 DC power 및 제어회로 (DSP, TMS320F241) 구성한다. 샘플링은 0.001[sec]로 시뮬레이션한다.

표 1 시뮬레이션에 사용한 전동기 상수

L1	0.096	J	3.234×10^{-4} [kgm ²]
L2	0.096	B	3.74522×10^{-4} [Nm/s]
R1	1.25	회전수	3000 [rpm]
R2	1.04	입력 전압	120V
M	0.0905		

그림 2은 설계한 제어규칙에 의하여 부하, 외란이 없을 경우에 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이때 시뮬레이션 조건은 외란억제 계수 $\gamma=0$, $\theta^*=100$ [round] 이다.

그림 3은 토크 외란 억제 계수 $\gamma=0.3$ 일 때 시뮬레이션한 경우이고 상당히 긴 주기의 채터링(Chattering)이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이것은 실 토크가 지령토크에 대하여 맥동하고 있는 것이 원인이라고 생각한다.

이것을 해결하기 위해서는 맥동을 상쇄하는 요소를 지령값에 보상하거나 맥동을 무시할 수 있을 정도까지 γ 를 크게 하는 방법을 생각할 수 있지만 전자는 로바스트성을 저하하는 것이 되고 후자는 역으로 γ 의 스위칭 지연에 의한 채터링을 증가시키는 것으로 된다.

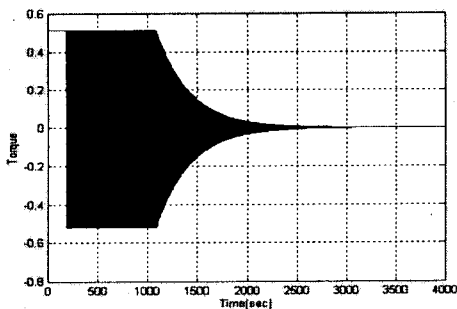
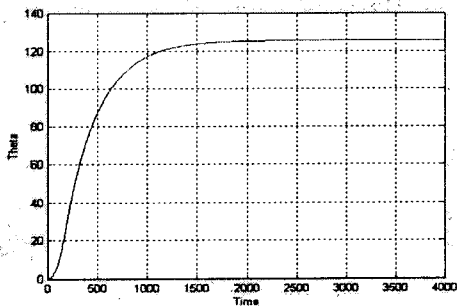


그림 2 위치, 토크 응답 ($\theta^*=100$ [round], $\gamma=0$)

그림 4는 외란 억제는 도입하지 않고 3[sec] 시점에서 0.1[Nm]의 토크 외란을 가한 경우의 응답이고 토크 맥동이 심하게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 $\theta^*=100$ [round], 억제계수 $\gamma=0$, 관성모먼트 $J, 2J, 5J$ 로 변경하여 시뮬레이션한 결과이다.

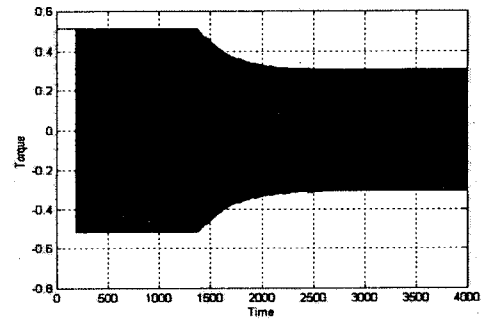
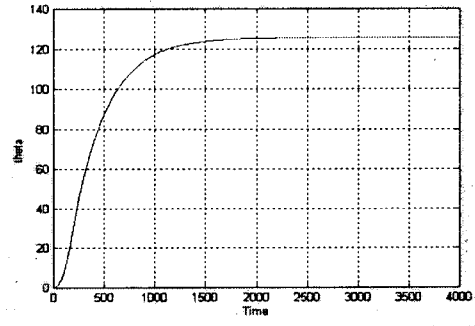


그림 3 위치, 토크 응답 ($\theta^*=100$ [round], $\gamma=0.3$)

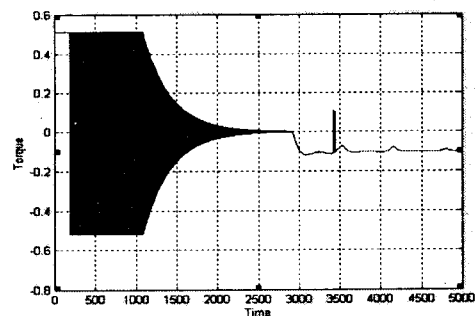
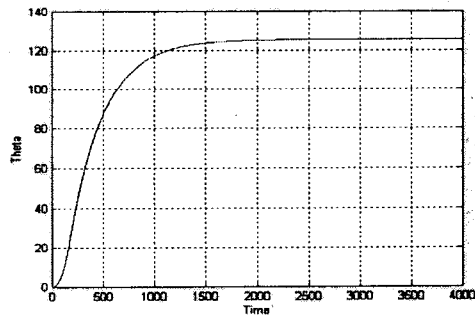


그림 4 위치, 토크 응답 (3초일 때 토크 외란 0.1[Nm])

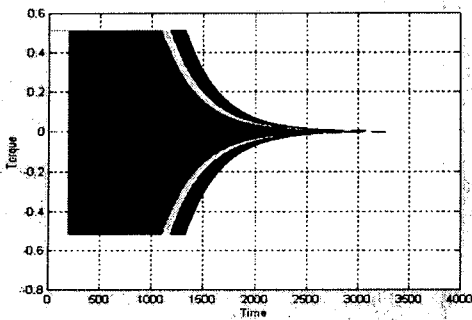


그림 5 토오크 응답 (관성=1J, 2J, 5J)

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 관성이 3배정도의 범위에서는 이상적인 시뮬레이션의 경우와 비슷하게 되어 응답에서는 거의 영향을 미치지 않고 로바스트성을 나타내는 것을 확인하였다.

4. 결 론

유도전동기에 의한 위치제어 시스템에 가변구조 제어 이론을 도입한 시뮬레이션에 의한 검토에서 다음을 알 수 있다.

- 1) 유도전동기를 이용한 위치제어에서 가변구조 제어기를 설계하였고 가변구조 제어기를 이용한 2차 자속일정 슬립주파수 벡터제어는 서보 시스템의 위치제어에 유효함이 확인되었다.
- 2) 관성 모우먼트와 점성마찰계수의 변동에도 시스템의 응답은 Robust성을 나타내고 있음을 확인하였다

이상적인 전동기에 대한 시뮬레이션의 결과에 의해서 관성, 점성마찰계수, 부하 토오크 등의 파라미터의 변동 및 외란에 대하여 로바스트성이 있다는 것을 알 수 있고 슬라이딩모드 제어의 도입이 유효한 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] V.I. Utkin, "Variable Structure System with Sliding Modes", IEEE Trans. AC. Vol. AC-22, pp. 212-222, 1977.
- [2] 홍순일, "벡터제어법에 의한 유도형 교류 전동기 속도제어에 관한 연구", 대한전기학회, Vol. 38, pp. 1041 -1047, 1989.12.
- [3] 김응희, 유완식, 김영석. "개선된 가변구조제어기를 이용한 브러시리스 직류전동기의 위치제어", 대한전기학회. Vol. 10. pp. 585-587, 1994. 7.
- [4] Chang Ming Liaw, Ying Shieh Kung, "Design and Implementation of a High Performance Field Oriented Induction Motor Drive", IEEE Trans, Vol. 38 No. 4. pp. 275-282.