

## 이원 외란관측기의 구현

유 완 식\*, 김 영 석

인하대학교 전기공학과

### Implementation of Binary Disturbance Observer

Wan-sik You, Young-seok Kim

Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.

#### Abstract

In this paper, a binary disturbance observer is implemented, and the validity is verified by experiments. A disturbance observer with binary control is proposed to suppress the chattering of the conventional sliding mode observer in estimation of the external disturbance. As a result of experiments, it is confirmed that the robust and high precision position control is possible by the proposed binary observer.

#### 1. 서론

슬라이딩모드제어의 떨림현상을 저감하기 위해 여러 가지 방법이 제안되고 있다. 그 중 하나로 경계층이나 슬라이딩영역을 사용하여 영역 내에서는 제어이득을 작게 하여 떨림을 저감시키고, 이득이 작아짐으로써 회생되는 강인성을 확보하기 위해 외란관측기를 적용하는 제어법을 들 수 있다[1]. 이 제어법은 외란관측기를 도입하여 외란을 추정하고 추정된 외란에 해당하는 제어 입력을 앞먹임(Feedforward) 보상함으로써 외란에 대한 강인성을 확보한다. 여기에 적용될 수 있는 외란관측기는 여러 가지가 있으나 견실성과 설계 구현의 용이성 면에서 슬라이딩모드 외란관측기[2-3]가 최근 많이 적용되고 있다. 그러나 슬라이딩모드 외란관측기는 추정 알고리즘에 불연속 항을 포함함으로써 추정외란에 떨림이 존재하게 된다. 그리고 이 떨림은 곧 바로 속도 및 위치의 떨림으로 직결되게 된다.

이 논문에서는 이러한 문제점을 제거하기 위하여 이원제어 이론을 적용한 이원 외란관측기를 제안하고 실험을 통하여 타당성을 입증하고 성능을 비교 평가한다.

실험결과 이원 외란관측기는 떨림이 거의 없는 외란 추정이 가능하여 견실하면서도 떨림이 없는 고정도 위치제어가 가능함을 확인하였다.

#### 2. 이원 외란관측기의 설계

영구자석 동기전동기의 위치제어에 있어서 제어기의 샘플링 주파수가 외란의 변화에 비하여 충분히 빠르다는 가정 하에서 외란을 상태변수로 추가하여 다음과 같은 방정식을 세울 수 있다.[1]

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & d \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ T_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} \dot{\omega} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{단, } a = a(t) = D(t)/J(t), \quad b = b(t) = K_T/J(t), \\ d = d(t) = 1/J(t), \quad u = i_q$$

그리고 위의 시스템은 가관측이므로 다음과 같은 이원 외란관측기를 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & d \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} u - \begin{bmatrix} v \\ Lv \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$v = k_o \mu_o |\omega - \hat{\omega}| \quad (3)$$

$$\dot{\mu}_o = -\beta(\mu_o + \text{sgn } \sigma) \quad (4)$$

$$\sigma_o = \omega - \hat{\omega} \quad (5)$$

여기서,  $k_o$ ,  $\beta$  그리고  $L$ 은 설계 파라미터이고,  $\hat{\omega}$ 는 추정값을 나타낸다.

이원 외란관측기의 이득  $k_o$ 는 시스템의 상태가 그림 1의 영역을 벗어나지 않도록 하는 역할을 한다. 따라서, 영역의 경계 즉,  $\sigma^+ = 0$  또는  $\sigma^- = 0$ 에서 다음의 부등식을 만족하도록 하는  $k_o$ 를 구하면 된다.[4,5]

$$\begin{aligned} \sigma \dot{\sigma} &= \sigma(\dot{\omega} - \hat{\omega}) \\ &= \sigma[a(\omega - \hat{\omega}) + d(T_L - \hat{T}_L) \\ &\quad - k_o \mu_o |\omega - \hat{\omega}|] < 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$\sigma^+ = 0$ 과  $\sigma^- = 0$ 에서 각각  $\sigma = \delta$ ,  $\sigma = -\delta$  임을 이용하여 식 (6)을 만족하는  $k_0$ 를 구하면 다음과 같다.

$$k^0 > \max \left\{ \sup \left| \frac{1}{(1-h)\delta} (a\delta + d(T_L - \hat{T}_L)) \right|, \right. \\ \left. \sup \left| \frac{1}{(1-h)\delta} (a\delta - d(T_L - \hat{T}_L)) \right| \right\} \\ h : \text{임의의 양의 상수} \quad (7)$$

이득  $\beta$ 는  $\mu_0$ 가 영역 내에서  $|\mu_d| \geq 1-h$ 의 관계를 유지하도록 하는데 결과만을 정리하면 다음과 같다.[4,5]

$$\beta \geq \frac{1}{\delta} (k^0 + k^0\delta) \ln \frac{2}{h} \quad (8)$$

한편 이득  $L$ 은 관측기가 안정하도록 극배치법에 의해서 적절하게 선정하면 된다.

### 3. 실험결과

제안한 관측기의 타당성을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 실험은 슬라이딩모드 외란관측기와 이원 외란관측기 두 종류에 대하여 행하였다. 그림 2에는 위치제어 시스템의 불력도를 나타내었다.

그림 3은 제안과 외란을 인가하였을 때의 슬라이딩모드 관측기의 추정외란과 속도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 슬라이딩모드 관측기는 과도상태에서 추정외란에 큰 폭의 진동이 발생하고 정상상태에서도 불연속적인 우측 항에 의해 지속적인 떨림이 발생하고 있다. 그리고 이것은 우려했던 것처럼 속도에 직접적인 영향을 미치고 있다. 그림 4는 같은 경우의 추정외란과 위치오차를 나타낸 것인데 역시 추정외란의 영향을 받고 있음을 볼 수 있다.

그림 5와 그림 6은 계단과 외란을 인가하였을 때의 이원 외란관측기의 추정외란과 속도 및 위치오차를 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 이원 외란관측기는 과도상태 및 정상상태에서 거의 떨림이 없는 정밀한 추정이 가능함을 보여주고 있다.

그림 7은 전형적인 슬라이딩모드 제어기의 이득을 크게 하였을 때 외란에 대한 속도와 위치오차를 나타낸 것이다. 이와 같이 슬라이딩모드 제어기는 제어이득을 크게 하면 외란에 대한 강인성은 확보되나 속도에는 큰 폭의 떨림이 존재함을 볼 수 있다.

그림 8은 그림 2에 구성한 위치제어기와 같이 관측기에서 추정된 외란을 앞먹임 보상하였을 때의 위치오차와 속도파형을 보여주고 있다. 이 경우는 외란에 대해 강인할 뿐 아니라 떨림도 거의 없는 위치제어가 가능함을 보여주고 있다.

이상의 실험으로부터 이원 외란관측기의 추정성능은 슬라이딩모드 관측기에 비하여 매우 우수한 특성을 보였으며 이원 외란관측기를 적용한 위치제어기를 구성함으로써 강인하고 정밀한 위치제어가 가능함을 확인하였다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 이원 외란관측기를 제안하고 영구자석 동기전동기의 위치제어에 적용하여 실험을 실시하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 이원제어 이론을 위치 또는 속도제어 뿐만 아니라 관측기로의 적용이 가능함을 입증하였다.
- 2) 이원 외란관측기는 슬라이딩모드 외란관측기에 비하여 매우 우수한 추정성능을 가짐을 실험적으로 확인하였다.
- 3) 이원 외란관측기를 적용한 위치제어기를 구성함으로써 강인하고 정밀한 위치제어가 가능하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Se-Kyo Chung, "A Robust Speed Control of Brushless Direct Drive Motor Using Integral Variable Structure Control with Sliding Mode Observer," IAS'94, pp.393-400, 1994.
- [2] J. E. Slotine, "Sliding Observer for Robot Manipulators", Automatica, Vol.27, No.5, pp.587-592, 1991.
- [3] Giuseppe S.Buja, "Disturbance Torque Estimation in a Sensorless DC Drive," PESC'93, pp.977- 982, 1993.
- [4] S.V. Emelyanov, Binary Automatic Control Systems, Mir Publishers, Moscow, 1987.
- [5] 유 완식 외 2인, "바이너리제어를 이용한 외란관측기," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.297-299, 1995.

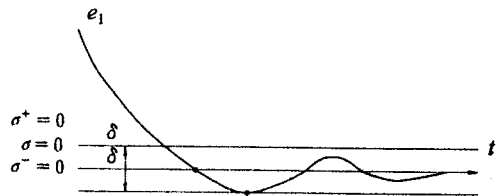


그림 1. 이원 외란관측기의 오차궤적

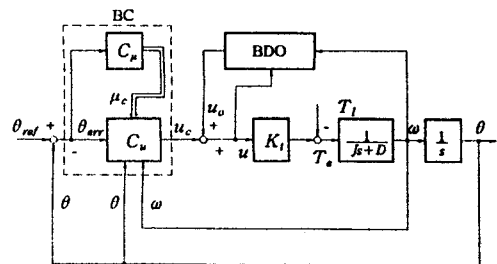
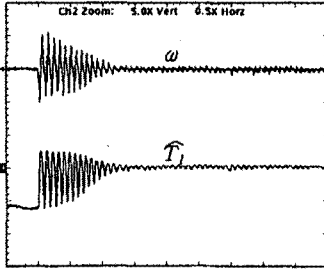
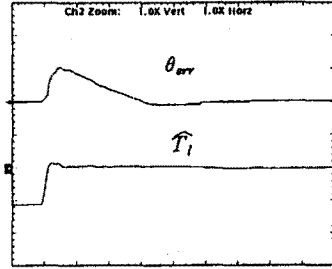


그림 2 위치제어 시스템의 불력도



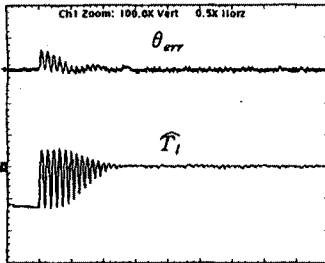
[ 8 rpm/div, 1.0 N · m/div, 100 ms/div ]

그림 3. 슬라이딩모드 관측기의 속도와 추정외란



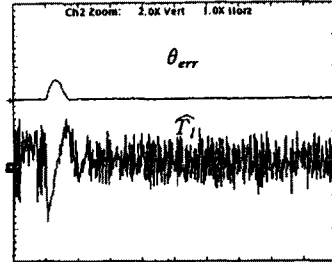
[ 1.44° /div, 1.0 N · m/div, 100 ms/div ]

그림 6. 이원 관측기의 위치오차와 추정외란



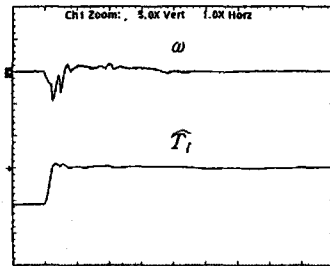
[ 1.44° /div, 1.0 N · m/div, 100 ms/div ]

그림 4. 슬라이딩모드 관측기의 위치오차와 추정외란



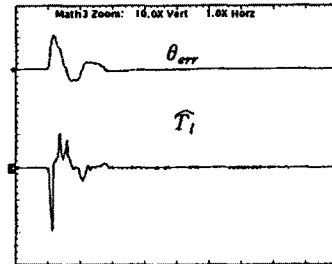
[ 9° /div, 10 rpm/div, 200 ms/div ]

그림 7. 슬라이딩모드 제어기의 위치오차와 속도



[ 8 rpm/div, 1.0 N · m/div, 100 ms/div ]

그림 5. 이원 관측기의 속도와 추정외란



[ 1.8° /div, 2 rpm/div, 200 ms/div ]

그림 8. 이원 제어기의 위치오차와 속도