

---

# 가상 상태와 상태 디커플링을 이용한 IPM 전동기용 슬라이딩 모드 제어기의 설계

김민찬\* · 박승규\*\* · 윤성식\*\* · 곽근평\*\* · 박영환\*\*\*

Sliding Mode Controller Design Using Virtual State and State Decoupling for IPM Motor

Min-Chan Kim\* · Seung-Kyu Park\*\* · Seong-Sik Yoon\*\* · Gun-Pyong Kwak\*\* · Young-Hwan Park\*\*\*

---

이 논문은 2008년도 2단계 두뇌한국(BK) 21 사업과 산업자원부 지방기술혁신사업 [RTI04-01-03]  
지원으로 수행되었음

---

## 요 약

영구자석 매입형 동기전동기(IPM : Interior-mounted Permanent Magnet Motor)의 전류제어는 릴럭턴스에 의존하는 최대토크 특성 때문에 표면부착형 동기전동기(SPM : Surface-mounted Permanent Magnet Motor)보다 더 복잡하다. 그러므로 고성능 토크제어를 위해서는 d축 전류와 q축 전류의 상태 디커플링이 필요하다. 하지만 상태들 사이에 영향을 미치는 인덕턴스의 변화 때문에 상태 디커플링이 어렵다. 그러므로 이 변화에 대처할 수 있는 상태 디커플링 방법의 개발이 필요하며 이를 이용한 전류의 독립제어가 필요하다. 본 논문에서는 IPM 모터에 대하여 가상 상태를 갖는 슬라이딩 모드 제어를 이용하여 상태 디커플링이 가능한 접근법을 제안한다. 제안된 슬라이딩 평면은 외란과 불확실성이 존재하더라도 PI 전류 제어기에 의해서 제어되는 공칭 시스템의 동특성을 가질 수 있다.

## ABSTRACT

The current control for Interior-mounted Permanent Magnet Motor(IPM Motor) is more complicate than Surface-mounted Permanent magnet Motor(SPM Motor) because of its torque characteristic depending on the reluctance. For high performance torque control, it requires state decoupling between d-axis current and q-axis current dynamics. However the variation of the inductances, which couples the state dynamics of the currents, makes the state decoupling difficult. So some decoupling methods have developed to cope this variation and each current can be regulated independently. This paper proposes a novel approach for fully decoupling the states cross-coupling using sliding mode control with virtual state for IPM Motor. As a result, in spite of the parameter uncertainty and disturbance, the proposed sliding surface can have the dynamics of nominal system controlled by PI controller.

## 키워드

IPM Motor, State Decoupling, Sliding Mode Control, PI control

---

\* 창원대학교 메카트로닉스 공학부  
\*\* 창원대학교 전기공학과  
\*\*\* 충주대학교 정보제어공학과

## I. 서 론

교류전동기를 고정 좌표계에서 회전 좌표계로 변환하면 원하지 않는 상태 커플링이 발생한다. [1-3]. 이러한 이유로 인하여 영구 자석형 동기전동기는 전류들 간의 상태커플링 항이 존재하는 모델링 식으로 표현된다. 영구 자석형 동기전동기에는 두 가지 종류가 있다. 하나는 표면 부착형 동기전동기이고 다른 하나는 영구 자석이 회전자에 매입된 구조인 매입형 동기전동기이다. SPM 전동기와 IPM 전동기는 같은 구조의 모델링 식으로 표현이 되지만 제어문제에 있어서는 매우 다르다. SPM 전동기에서는 d축 전류가 영이 될 때 최대 토크를 얻을 수 있기 때문에 d축 전류를 영으로 하여 제어하며 이 경우 커플링 항이 소거되어 선형화된 모델링을 얻을 수 있으므로 제어가 용이하다. 하지만 IPM 전동기에서는 최대토크를 얻기 위해서 각축의 전류를 제어해야만 한다.

IPM 전동기의 제어를 쉽게 하기 위하여 상태 디커플링과 정확한 파라미터가 필요하다. 하지만 고정자 저항과 영구자석 자속이 전동기 온도에 따라 변한다[4]. 게다가 자기포화가 공극자속 밀도를 제한하고 IPM 전동기의 인덕턴스 변화를 발생시킨다. 그러므로 인덕턴스의 파라미터 추정이 요구된다[5]. 전기기계 제어에서 몇몇 파라미터 추정 방법들이 제시되었다. 하지만 상태 디커플링이 사용되지 않았고 접근방법이 복잡해서 구현하기가 어렵다.

교류 전동기를 제어하기 위하여 PI 제어기가 주로 사용되지만 상태 커플링 때문에 좋은 제어기 성능을 기대할 수 없다. 또한 상태 디커플링 문제에 있어서 On-line 파라미터 추정법이 제안되었지만[6-7] feed-forward 항으로서 측정된 인덕턴스의 앞선 정보가 필요하고 안정도를 보장할 수가 없다. 그러므로 상태 디커플링시 각축에 영향을 미칠 수 있는 파라미터 불확실성에 대한 근본적인 문제 해결과 PI 제어기를 적용할 수 있는 대책이 필요하다.

슬라이딩 모드 제어(SMC: Sliding Mode Control)는 파라미터 불확실성과 미지의 외란에 대하여 강인하다고 알려져 있다[8-9]. 하지만 전형적인 슬라이딩 평면의 동특성은 PI 제어에 의하여 제어되는 공칭 시스템의 동특성과는 무관하다. 그 이유는 슬라이딩 평면의 차수는 시스템의 차수에서 입력 수만큼 작아지게 때문이며 다른

제어기법과의 연계도 쉽지 않다. 이 문제를 해결하기 위하여 가상 상태를 도입한다.

본 논문에서는 상태 디커플링과 PI 전류 제어기에 의해서 제어되는 공칭 시스템의 동특성과 같은 동특성을 가질 수 있는 슬라이딩 평면을 설계하는 것이다. 그 결과 인덕턴스의 변화에 따른 파라미터 불확실성이 존재하더라도 제안된 PI 전류제어기는 강인성을 가질 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IPM 전동기 모델링과 상태 디커플링을 갖는 전류 제어 시스템에 대한 개념을 기술한다. 3장에서는 전형적인 슬라이딩 모드 제어의 개념 고찰 및 가상 상태를 갖는 슬라이딩 모드 제어기의 설계방법을 설명한다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 제어기법의 효율성과 제어 성능의 우수성을 검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해서 기술한다.

## II. IPM 전동기 모델링과 상태 디커플링을 갖는 전류 제어 시스템

### 2.1 IPM 전동기의 모델링

IPM 전동기의 모델링은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_q \frac{di_q}{dt} &= -R_a i_q - L_d \omega i_d - K_e \omega + V_q \\ L_d \frac{di_d}{dt} &= -R_a i_d + L_q \omega i_q + V_d \\ J \frac{d\omega}{dt} &= K_t i_q - B\omega - T_L \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $L_d$ 는 d축 인덕턴스,  $L_q$ 는 q축 인덕턴스,  $K_e$ 는 역기전력 상수,  $i_d$ 와  $i_q$ 는 각각 d축과 q축의 전류이다.

식(1)에서  $L_d \omega i_d$ 와  $L_q \omega i_q$ 는 커플링 항이다. IPM 전동기에서는 d축과 q축의 전류를 독립적으로 제어해야 최대토크를 얻을 수 있다. 그러므로 상태디커플링은 제어 성능을 결정하는 중요한 요소이며 파라미터  $L_d, L_q$ 의 정확성에 의존한다.

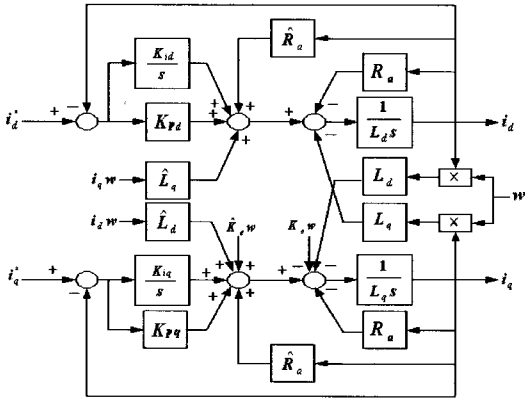


그림 1. 상태 디커플링과 PI 제어를 이용한 전류 제어 IPM 전동기  
Fig. 1 Current controlled IPM motor using state decoupling and PI controller

2.2 상태 디커플링과 PI 제어를 갖는 전류 제어 시스템

IPM 전동기의 q축 전류를 제어하기 위해서 그림 2와 같은 상태 디커플링과 PI 제어를 갖는 전류 제어 시스템을 고려한다. d축 전류 제어 시스템도 동일한 방법으로 표현이 가능하다.

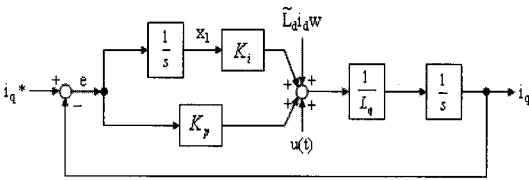


그림 2. 상태 디커플링과 PI 제어를 갖는 q축 전류 제어 시스템  
Fig. 2 Q-axis current control system with state decoupling and PI controller

위의 그림에서 시스템의 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= e(t) = x_2(t) \\ L_q \dot{e}(t) &= K_i x_1(t) + K_p e(t) + u(t) + \tilde{L}_d i_d w \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $e(t) = i_q^* - i_q$ 이고  $\tilde{L}_d i_d w$ 는 커플링 항이다. 하지만 이 항은 파라미터 불확실성으로 인해 제거되

지 않는다.

식(2)는 다음 식으로 변환된다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Bh(t) \quad (3)$$

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{K_i}{L_q} & -\frac{K_p}{L_q} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{L_q} \end{bmatrix} \text{ 그리고}$$

$$h(t) = \frac{\tilde{L}_d}{L_q} i_d w \text{이다.}$$

식(2)에서 q축 전류를 제어하기 위한 PI 제어기는 고정된 제어기의 이득 때문에  $\tilde{L}_d i_d w$  항이나 시스템의 불확실성이 존재할 때는 좋은 제어 성능을 얻을 수 없다. 그러므로 인덕턴스의 변화나 시스템의 파라미터 불확실성의 영향을 받지 않고 PI 제어의 동특성을 가질 수 있는 제어기법의 제안이 필요하다.

III. 가상 상태를 갖는 슬라이딩 모드 제어기의 설계

전형적인 슬라이딩 모드 제어에서 슬라이딩 평면의 동특성은 시스템의 동특성보다 입력 수만큼 낮은 차수의 동특성을 가진다. 그러므로 슬라이딩 평면의 동특성은 PI 제어기에 의하여 제어되는 시스템의 동특성을 가질 수 없다. 이를 해결하기 위하여 가상 상태를 이용하여 시스템의 불확실성이 존재하더라도 PI 제어기에 의해서 제어되는 공칭 시스템의 동특성을 가질 수 있는 슬라이딩 평면 설계 기법을 제안한다.

3.1 슬라이딩 모드 제어 개념

다음과 같은 파라미터 불확실성과 미지의 외란을 가진 n차 시스템을 고려하자.

$$\dot{x}(t) = (A + \Delta A)x(t) + BU(t) + Df(t) \quad (4)$$

여기서  $x \in R^n$ 는 시스템의 상태,  $u \in R^m$ 는 제어입력,  $d \in R^r$ 는 미지의 외란이다. 그리고 유계된 불확실성  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ 와 외란 행렬  $D$ 는 다음과 같은 정합조건을

만족한다.

$$\text{rank}([B : \Delta A : D]) = \text{rank} B \quad (5)$$

위의 조건으로부터 파라미터 불확실성과 외란은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Delta Ax(t) &= B \Delta A_1 x(t) \\ Df(t) &= B D_1 f(t) \end{aligned} \quad (6)$$

그러므로 식(4)는 다음 식으로 변환이 가능하다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Bh(t) \quad (7)$$

여기서  $h(t) = \Delta A_1 x(t) + D_1 f(t)$ 는 lumped 불확실성이며 다음과 같이 유계되어 있다.

$$\|h(t)\| \leq \rho \quad (8)$$

시스템 (4)로부터 다음과 같은 가제어 표준형을 얻을 수 있다.

$$\dot{x}_0(t) = A_c x_0(t) + B_c u_0(t) \quad (9)$$

$$\text{여기서 } A_c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\alpha_1 & -\alpha_2 & -\alpha_3 & \cdots & -\alpha_n \end{bmatrix}, B_c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

이고  $u_0(t)$ 는 미분 가능한 공칭 제어입력이다.

전형적인 슬라이딩 평면은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} s(x) &= c_n x_n(t) + c_{n-1} x_{n-1}(t) + \cdots + c_2 x_2(t) + c_1 x_1(t) \\ &= \sum_{i=1}^n c_i x_i(t) = CX = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서  $C = [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_n]$ ,  $X = [x_1(t) \ x_2(t) \ \cdots \ x_n(t)]^T$ 이며  $C$ 는 슬라이딩 모드의 동특성이 안정되도록 선정되어야 한다. 또한 상태들이 슬라이딩 평면에 머물러 있으려면 다음과 같은 도달 조건(Hitting Condition)을 만족해야 한다.

$$s(x) \dot{s}(x) < 0 \quad (11)$$

그러므로 도달 조건을 만족하기 위한 제어 입력은 다음과 같은 불연속 입력을 가진다.

$$u(t) = -(CB)^{-1} [CAX + CBh_{\max} \text{sgn}(sCB)] \quad (12)$$

### 3.2 가상 상태를 이용한 슬라이딩 평면의 설계

본 논문에서 제안된 가상 상태는 다음과 같이 정의된다[10].

$$\dot{x}_v(t) = -\alpha_n x_v(t) - \cdots - \alpha_2 x_3(t) - \alpha_1 x_2(t) + \dot{u}_0(t) \quad (13)$$

가상 상태를 포함하는 증가된 시스템은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Bh(t) \\ \dot{x}_v(t) &= -\alpha_n x_v(t) - \cdots - \alpha_2 x_3(t) - \alpha_1 x_2(t) + \dot{u}_0(t) \end{aligned} \quad (14)$$

제안된 슬라이딩 평면은 다음 식을 만족한다.

$$\begin{aligned} s(x) &= x_v(t) + \alpha_n x_n(t) + \cdots + \alpha_1 x_1(t) - u_0(t) = 0 \\ &= x_v(t) + CX - u_0(t) = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

가상 상태의 초기값을 다음과 같이 선정하면 도달 거리의 문제는 없어진다.

$$x_v(t_0) = -\alpha_n x_n(t_0) - \cdots - \alpha_1 x_1(t_0) - u_0(t_0) \quad (16)$$

### 3.3 IPM 전동기에 제안된 슬라이딩 평면 적용

식(2)에서 공칭 시스템은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{K_i}{L_q} x_1(t) - \frac{K_p}{L_q} x_2(t) \end{aligned} \quad (17)$$

위의 동특성은 PI 제어기에 의해서 제어되며 가상 상태는 다음과 같이 정의된다.

$$x_v(t) = -\frac{K_i}{L_q}x_1(t) - \frac{K_p}{L_q}x_2(t) \quad (18)$$

또한 가상 상태의 동특성은 다음과 같다.

$$\dot{x}_v(t) = -\frac{K_i}{L_q}x_2(t) - \frac{K_p}{L_q}x_v(t) \quad (19)$$

제안된 슬라이딩 평면은 다음 식으로 정의된다.

$$s = x_v(t) + \frac{K_i}{L_q}x_1(t) + \frac{K_p}{L_q}x_2(t) \quad (20)$$

슬라이딩 모드 제어입력을 구하기 위하여 슬라이딩 평면을 미분하면 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} s\dot{s} &= s(\dot{x}_v(t) + \frac{K_i}{L_q}\dot{x}_1(t) + \frac{K_p}{L_q}\dot{x}_2(t)) \\ &= s(-\frac{K_p}{L_q}x_v(t) + \frac{K_p}{L_q}(-\frac{K_i}{L_q}x_1(t) - \frac{K_p}{L_q}x_2(t)) \\ &\quad - \frac{1}{L_q}u(t) - \frac{1}{L_q}h(t)) \end{aligned} \quad (21)$$

여기서  $h(t) = \mathcal{L}_{di}aw$  이다.

그러므로 도달 조건을 만족하는 슬라이딩 모드 제어 입력은 다음과 같은 식으로 결정된다.

$$u(t) = -K_i x_1(t) - K_p x_2(t) - L_q x_v(t) - h_{\max} \text{sgn}(s) \quad (22)$$

또한 가상 상태의 초기값을 다음과 같이 선정하면 도달 거리는 제거된다.

$$x_v(t_0) = \frac{K_i}{L_q}x_1(t_0) + \frac{K_p}{L_q}x_2(t_0) \quad (23)$$

참고로 d축의 전류 제어기 설계도 q축의 설계와 동일하다.

#### IV. 컴퓨터 시뮬레이션

식(3)과 같은 IPM 전동기를 고려하며 전동기의 파라미터는 다음의 표에 정리하였다.

표 1. IPM 전동기의 파라미터  
Table 1. IPM Motor Parameter

Parameter	Value
Max. Torque	7.66 Nm
Max. Speed	6200rpm
R	1.45Ω
Lq	11.04mH
Ld	3.74mH
λpm	0.0858Wb
J	99.6kg.m <sup>2</sup> ×10 <sup>-6</sup>
Poles	4

본 논문에서 PI 제어기의 이득값의 결정은 시행착오법을 도입하여 얻었으며 그 값은  $K_p=0.2, K_i=0.01$ 이고, 저주파 외란은  $h(t) = 0.2 \sin(100t)$ 이며 그 최대값 ( $h_{\max} = 1.1$ )과 q축 전류의 기준입력( $i_q^* = 1$ )을 선정하였다.

제안된 가상 상태는 다음 식을 만족한다.

$$x_v(t) = -0.91x_1(t) - 18.12x_2(t) \quad (24)$$

식(22)에서 정의된 슬라이딩 평면은 다음과 같다.

$$s = x_v(t) + 0.91x_1(t) + 18.12x_2(t) \quad (25)$$

그러므로 다음과 같은 슬라이딩 모드 제어입력이 결정된다.

$$u(t) = -0.01x_1(t) - 0.2x_2(t) - 0.011x_v(t) - 1.1\text{sgn}(s) \quad (26)$$

만약 위의 식과 같은 불연속적인 입력으로 인해 시스템의 제어에 문제가 발생하면  $\text{sgn}(s)$ 를 다음과 같은 연속 함수( $\text{sat}[\frac{s}{\phi}]$ )의 식으로 바꾸면 된다.

$$\text{sat}\left[\frac{s}{\phi}\right] = \begin{cases} \frac{s}{\phi} & \|s\| \leq \phi \\ \text{sgn}(s) & \|s\| > \phi \end{cases} \quad (27)$$

여기서  $\phi$ 는 슬라이딩 평면 주위의 아주 작은 경계층의 두께이다.

컴퓨터 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다. 그림 3은 PI 제어기에 의해서 제어되는 공칭 시스템의 오차 궤적을 나타낸다. 오차가 PI 제어기에 의하여 0으로 수렴함을 알 수 있다. 그림 4는 불확실성이 존재할 때의 오차 궤적으로 그 영향을 많이 받고 있음을 보여 준다.

반면에 그림 5에서는 불확실성을 갖는 제안된 슬라이딩 모드 제어기에 의하여 제어되는 시스템의 오차 궤적으로 불확실성의 영향을 받지 않아 공칭 시스템의 동특성과 같음을 알 수 있다. 그림 6과 그림 7은 각각 제안된 슬라이딩 모드 제어기의 제어 입력과 슬라이딩 평면이며 그림 7에서는 가상 상태의 초기값을 적절하게 선정함으로써 초기 시간부터 상태들이 슬라이딩 평면에 존재함을 볼 수 있다. 그리고 그림 8은 제안된 가상 상태의 궤적이다. 또한 그림 8은 제안된 슬라이딩 모드 제어의 가상 상태 궤적이다.

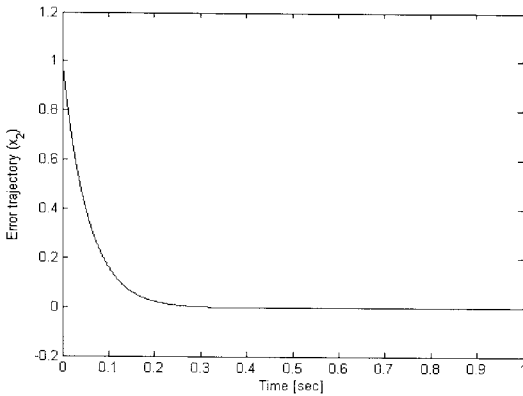


그림 3. 불확실성이 존재하지 않을 때 PI 제어기의 오차 궤적

Fig. 3 Error trajectory of the PI controller without parameter uncertainty

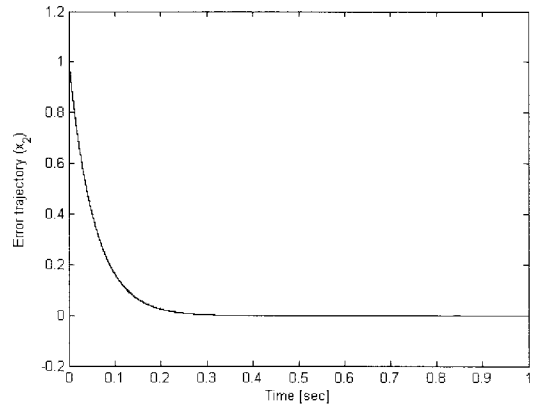


그림 5. 불확실성이 존재할 때 제안된 슬라이딩 모드 제어기의 오차 궤적

Fig. 5 Error trajectory of the proposed sliding mode controller with parameter uncertainty

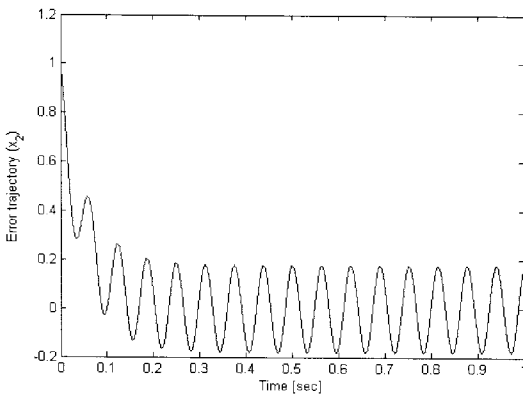


그림 4. 불확실성이 존재할 때 PI 제어기의 오차 궤적

Fig. 4 Error trajectory of the PI controller with parameter uncertainty

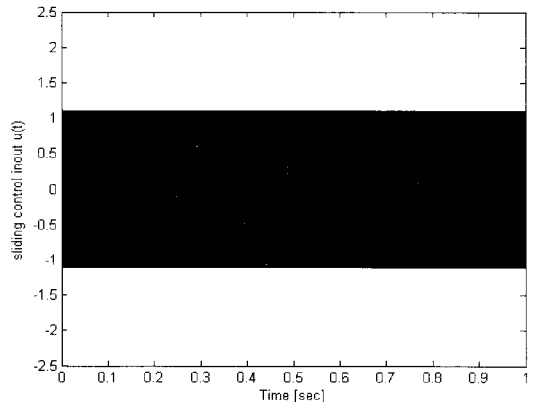


그림 6. 제안된 슬라이딩 모드 제어의 제어 입력

Fig. 6 Control input of the proposed sliding mode control

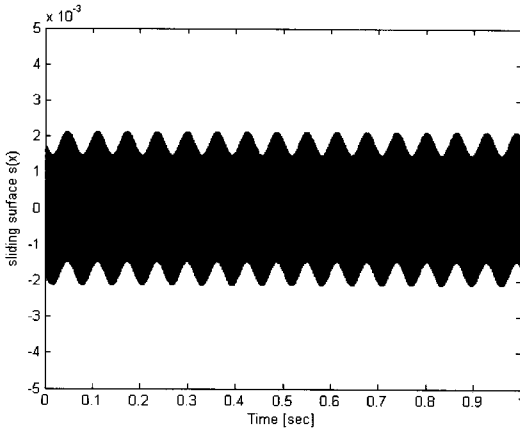


그림 7. 제안된 슬라이딩 모드 제어의 슬라이딩 평면  
Fig. 7 Sliding surface of the proposed sliding mode control

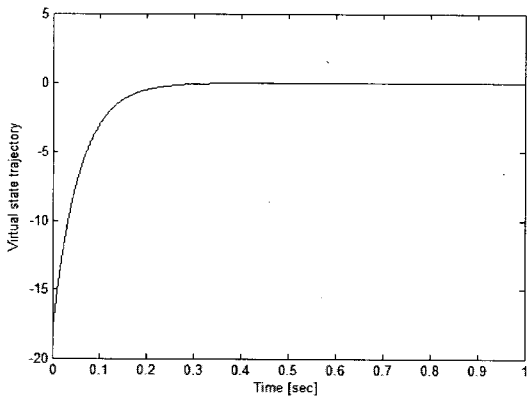


그림 8. 제안된 슬라이딩 모드 제어의 가상 상태 궤적  
Fig. 8 Virtual State trajectory of the proposed sliding mode control

### V. 결론

본 논문에서는 d축과 q축 전류를 독립적으로 제어함으로써 최대 토크를 얻을 수 있는 IPM 전동기를 제어함에 있어서 상태 디커플링, PI 제어 그리고 가상 상태를 이용한 슬라이딩 모드 제어를 함께 사용하였다. 제안된 제어방법은 먼저 PI 제어기를 적용시킨 시스템에 가상 상태를 이용한 슬라이딩 모드 제어를 추가하여 강인성을 향상시켰다. 그 결과 IPM 전동기 인덕턴스의 변화에 따른 불확실성이 존재하더라도 PI 제어기에 의해 제어되

는 공칭 시스템의 동특성을 가질 수 있는 슬라이딩 평면의 설계가 가능하다.

### 참고문헌

- [1] H. Sugimoto, S. Tamai, "Secondary Resistance Identification of an Induction Motor Applied Model Reference Adaptive system and Its Characteristics", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. IA-23, pp.296-303, 1987.
- [2] H. Kubota, K Matsuse, T. Nakano, "DSP-based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol.IA-29, pp.344-348, 1993.
- [3] J. Kim, S. Sul, "Speed Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Drive for the Flux Weakening Operation", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol.IA-33, pp.43-48, 1997.
- [4] S. R. MacMinn, T. M. Jahns, "Control Techniques for Improved High-Speed Performance of Interior PM Synchronous Motor Drives", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol.IA-27, pp.997-1004, 1991.
- [5] L. Harnefors and H. P. Nee, "Model-based control of AC machines using the internal model control method," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. IA-34, pp.133-141, 1998.
- [6] Hyunbae Kim, R. D. Lorenz, "Improved Current Regulators for IPM Machine Drives Using On-Line Parameter Estimation," Proc. of IEEE IAS Annual Meeting, Vol.1, pp.86-91, 2002.
- [7] Hyunbae Kim, Jason Hartwig, and Robert D Lorenz, "Using On-Line Parameter Estimation to Improve Efficiency of IPM Machine Drives," Proc. of the IEEE PESC Conference, Queensland, Australia, Vol.2, pp.815-820, 2002.
- [8] J. Y. Hung, W. Gao, and J. C. Hung, "Variable structure control : A survey", IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol.40, No.1, pp. 2-22, 1993.
- [9] Utkin V., Shi J. "Integral sliding mode in systems operation under uncertainty conditions" Proceedings of the 35th CDC, pp.4591-4596, 1996.

[10] M. C. Kim, J. R. Nam, S. K. Park and G. P. Kwak,  
 "Design of Sliding Mode Controller with Uncertainty  
 Adaptation", International Journal of Maritime  
 Information and Communication Sciences, Vol.4,  
 No.3, pp.118-122, 2006.

저자소개



김민찬(Min-Chan Kim)

1996년 창원대학교 전기공학과  
 졸업 (공학사)  
 1998년 창원대학교 전기전자제어  
 공학과 졸업(공학석사)

2003년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학박사)  
 2006년~현재 창원대학교 BK21 메카트로닉스·로봇  
 사업단 연구교수

※관심분야: H $\infty$  제어, 슬라이딩모드제어, 적응제어,  
 시스템 모델링



박승규(Seung-Kyu Park)

1984년 고려대학교 전기공학과  
 졸업 (공학사)  
 1986년 고려대학교 전기공학과  
 졸업 (공학석사)

1990년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학박사)  
 1995년 3월~ 1996년 2월 영국 Strathclyde대 visiting  
 scholar  
 2003년 9월~ 2004년 8월 미국 Wisconsin대 visiting  
 professor

1990년~현재 창원대학교 전기공학과 교수  
 ※관심분야: 적응제어, 강인제어, 비선형제어



윤성식(Seong-Sik Yoon)

2006년 창원대학교 전기공학과  
 졸업 (공학사)  
 2008년 창원대학교 전기공학과  
 졸업 (공학석사)

2008년~현재 창원대학교 전기공학과 박사과정  
 ※관심분야: BLDC 센서리스 제어, 모터드라이버 설계,  
 전력변환장치 설계



곽군평(Gun-Pyong Kwak)

1982년 고려대학교 전기공학과  
 졸업(공학사)  
 1985년 고려대학교 전기공학과  
 졸업(공학석사)

1990년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학박사)  
 1990년~1997년 LG산전 연구소 CNC팀 팀장  
 1998년~현재 창원대학교 전기공학과 부교수  
 ※관심분야: 제어 알고리즘, Motion Controller



박영환(Young-Hwan Park)

1986년 고려대학교 전기공학과  
 졸업(공학사)  
 1990년 고려대학교 전기공학과  
 졸업(공학석사)

1998년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학박사)  
 2006년 미국 Virginia Tech visiting scholar  
 1998년~현재 충주대학교 정보제어공학과 교수  
 ※관심분야: 적응제어, 비선형제어, Robotic Vehicle