

可變構造制御系の Reaching Phase 및 Chattering 현상의 제거에 관한 연구

A Study of Method for Removing Reaching Phase and Chattering Phenomenon in Variable Structure Control Systems

朱基鎬* · 宋明現** · 朴貴泰*** · 千熙英***

(Kee-Ho Joo · Myung-Hyun Song · Gwi-Tae Park · Hee-Young Chun)

Abstract

In this paper, a methodology is developed to remove the reaching phase and the high frequency chattering phenomenon which are the common drawbacks of variable structure control (VSC) system.

A time varying switching surface is proposed to achieve sliding motion during the entire control process and a continuous control law whose terms are continuous functions inside a boundary layer neighbouring the time varying switching surface is developed to remove the high frequency chattering phenomenon of VSC.

The methodology developed in this paper is applied to the 2nd order time varying system and the simulated results are compared with those of typical VSC methodology.

1. 序 論

可變構造制御理論은 1950년대 초부터 소련에서 연구되기 시작하였으며 제어를 행하는 동안 그 구조를 의도적으로 변화시킨다는 점에서 전통적인 제어理論과 다른 특징을 가지고 있다.

狀態空間에서 정의되는 스윙칭平面 (switching surface) 에서 系統의 구조를 변화시킴으로써 可變構造系는 슬라이딩 모션 (sliding motion) 이라는 독특한 動態를 얻어낸다. 이 모드에서 可變構造系는 系統파라미터의 變動이나 外亂에 거의 영향

을 받지 않으며 빠른 과도응답을 나타내는 등 여러가지 장점을 가짐으로써 여러 분야에 효과적으로 적용되어 왔다.^{1)~5)}

그러나 이 制御技法은 일반적으로 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다.

첫째, 상태의 초기위치가 스윙칭平面에서 벗어나 있을 경우에 상태가 이 平面에 도달하기 前에는 슬라이딩 모션이 일어나지 않으며 이 구간에서는 可變構造系의 장점을 얻을 수 없다.⁶⁾

둘째, 可變構造系에서 슬라이딩 모션을 얻기 위한 制御入力は 본질적으로 不連續이며 스윙칭기구의 불안전성, 제어기의 非理想的인 要素등에 의하여 高周波成分을 포함하게 된다. 따라서 상태제적은 스윙칭平面을 따라 slide한다기 보다 chattering하게 된다. 이 현상은 系統의 모델링과정에서 무시된 高周波動態를 여기시킬 수 있으므로 실제 系統에 대하여 可變構造制御入力を 직접적으로 적용하는 것은 바람직하지 못하다.⁷⁾

*正會員: 高麗大 大學院 電氣工學科 卒

**正會員: 高麗大 大學院 電氣工學科 博士課程

***正會員: 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字: 1986年 6月 5日

1次修正: 1986年 10月 15日

2次修正: 1986年 11月 4日

따라서 본 연구에서는 위의 두가지 문제점들을 해결하기 위한 방법을 제시한다. 즉 제어를 행하는 전 구간 동안에 슬라이딩 모우션을 얻을 수 있는 時變스윗칭平面을 제안하고 또한 이 平面 근방에 경계층을 설정하여 이 영역에서 不連續入力を 連續入력으로 대체함으로써 入力の chattering 현상을 제거하고자 한다.

2. 可變構造制御系の 理論

可變構造制御系統에서 制御入力は 스윗칭平面에서 스윗칭論理에 따라 系統의 구조를 변화시킨다. 이 可變構造入력에 따라 상태공간의 어떤 위치에서도 상태는 스윗칭平面을 향하며 일단 거기에 도달하면 벗어나지 않고 그 平面을 따라서 이동하게 되는데 이러한 현상을 슬라이딩 모우션이라 한다.

다음과 같은 상태방정식으로 주어지는 계통을 고려한다.

$$\dot{X} = AX + bu \tag{1}$$

여기서 $X \in R^n$ 는 狀態벡터, u 는 스칼라입력이며 行列 A , b 는 적당한 차원을 갖는다.

스윗칭平面은 다음과 같이 정의한다.

$$\sigma^0(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i = CX = 0 \tag{2}$$

여기서 c_i 는 실수인 상수이며 C 는 係數 c_i 로 이루어 지는 行벡터이다. 즉

$$C \triangleq [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n] \tag{3}$$

이때 제어입력은 식(2)와 같은 스윗칭論理에 의하여 식(4)와 같이 정의한다.

$$u(t) = -\sum_{i=1}^n \psi_i |x_i| \tag{4}$$

여기서

$$\psi_i = \begin{cases} \psi_i^0 & \sigma(X) > 0 \\ -\psi_i^0 & \sigma(X) < 0 \quad (i=1, \dots, n) \end{cases} \tag{5}$$

스윗칭평면에서 슬라이딩 모우션이 일어날 필요충분조건은 다음과 같다.³⁾

$$\sigma^0(X) \dot{\sigma}^0(X) < 0 \tag{6}$$

식(6)을 만족하도록 ψ_i^0 를 정하면 스윗칭論理로 선택되는 制御入력에 의하여 스윗칭평면위에서 슬라이딩 모우션을 얻을 수 있다.

슬라이딩 모우드에서 상태체적의 움직임은 스윗칭평면위로 제한되므로 다음 식을 만족한다.

$$\left. \begin{aligned} \sigma^0(X) &= 0 \\ \dot{\sigma}^0(X) &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

따라서 슬라이딩 모우드에서 可變構造系는 그 動態가 계통파라미터에 의존하지 않고 식(7)에 의하여 지배되므로 파라미터변동에 영향을 받지 않는 불변특성을 가지며 時變파라미터나 不確實한 파라미터를 갖는 계통에 효과적으로 적용된다.¹⁾

슬라이딩 모우션이 유지된다는 가정아래서 식(1)과 (7)로부터 입력을 구하면 식(8)과 같으며 이것을 실제입력과 구별하기 위해서 等價入力 u_{eq} 라 한다.

$$u_{eq} = -(Cb)^{-1} CAX \tag{8}$$

이 等價入力は 線性連續入력으로써 슬라이딩 모우션을 일으키는 실제입력의 平均值에 해당한다. 실제입력 U 는 等價入力 u_{eq} 와 高周波成分으로 구성된다. 슬라이딩 모우드에서 계통의 動態를 지배하는 방정식은 u_{eq} 를 식(1)에 대입하여 얻는다.

$$\dot{X} = [I - b(Cb)^{-1}C]AX = A_{eq}X \tag{9}$$

식(9)의 A_{eq} 의 모든 固有值가 음의 값을 갖도록 C 를 선정하면 슬라이딩 모우드에서 계통의 動態는 안정하게 됨을 알 수 있다.⁴⁾

3. 時變스윗칭平面의 導入

상태공간에서 상태의 初期位置가 스윗칭平面에서 벗어나 있을 경우에 상태체적은 점근적으로 스윗칭平面에 수렴하므로 슬라이딩 모우션은 유한한 시간이 경과된 후에 일어난다. 상태가 초기위치에서 스윗칭平面에 도달하기까지의 기간 즉 reaching phase에서는 可變構造系의 장점을 얻을 수 없으므로 이 기간을 가능한 한 줄이거나 없앨 필요가 있다. 高利得(high gain)을 사용하면 상태체적의 수렴속도를 빠르게 할 수 있어서 이 기간을 단축시킬 수 있지만 이 방법은 모델화 되지 않은 動態에 대한 민감성, 구동부 포화, 잡음에 대한 민감성등 高利得에 관계되는 일반적인 문제점을 수반하게 된다.

따라서 본 연구에서는 식(2)와 같은 時不變스윗칭平面대신 時變스윗칭平面을 정의하여 상태의 초기위치에서 부터 슬라이딩 모우션을 일으키게 함으로써 reaching phase를 제거하고자 한다. 이를 위해서 식(1)로 주어지는 계통에 대하여 다음과 같은

時變스윗칭平面을 제안한다.

$$\sigma(\mathbf{X}, t) \triangleq \sigma^0(\mathbf{X}) - \alpha e^{-\beta(t-t_0)} \quad (10)$$

여기서 $\sigma^0(\mathbf{X}) = \mathbf{C}\mathbf{X}$ (11a)

$$\alpha \triangleq \mathbf{C}\mathbf{X}(t_0) \quad (11b)$$

$$\beta > 0 \quad (11c)$$

이때 t_0 는 초기시간이며 $\mathbf{X}(t_0)$ 는 상태의 초기조건이다.

$\sigma^0(\mathbf{X}) = 0$ 는 원점을 통과하는 종래의 時不變 스윗칭平面이며 α 는 식(11b)와 같이 정의함으로써 초기시간 t_0 에서 초기조건 $\mathbf{X}(t_0)$ 가 새로 정의한 스윗칭平面上에 있도록 정하였다. 시간이 경과함에 따라 $\sigma(\mathbf{X}, t)$ 는 $\sigma^0(\mathbf{X})$ 로 수렴하며 수렴속도는 β 에 의하여 결정된다. 또한 입력도 식(4)를 수정하여 식(13)의 論理에 의하여 다음과 같이 정의한다.

$$u(\mathbf{X}, t) = - \left[\sum_{i=1}^n \phi_i |x_i| + \gamma e^{-\beta(t-t_0)} \right] \quad (12)$$

$$\phi_i = \begin{cases} \phi^0 & \sigma(\mathbf{X}, t) > 0 \\ -\phi^0 & \sigma(\mathbf{X}, t) < 0 \end{cases}$$

$$\gamma = \begin{cases} \gamma^0 & \sigma(\mathbf{X}, t) > 0 \\ -\gamma^0 & \sigma(\mathbf{X}, t) < 0 \end{cases} \quad (13)$$

이 스윗칭論理에 따라 결정된 입력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(\mathbf{X}, t) = - \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^0 |x_i| + \gamma^0 e^{\beta(t-t_0)} \right] \text{sign}(\sigma(\mathbf{X}, t)) \quad (14)$$

위와 같이 정의된 입력과 스윗칭論理에 의해서 식(10)으로 정의된 時變스윗칭平面上에서 슬라이딩 모우션을 일으키기 위한 필요충분조건인 식(6)을 만족하기 위한 ϕ^0 와 γ^0 의 범위는 다음 定理과 같다. <定理> 식(1)로 주어지는 계통에 식(14)의 제어 입력을 적용할 때 식(10)의 스윗칭平面上에서 슬라이딩 모우션이 일어날 식(6)의 필요충분조건을 만족하기 위한 ϕ^0 와 γ^0 의 범위는 다음과 같다.

$$\phi_i^0 \geq \frac{\max \hat{a}_i}{\min \hat{b}} \quad (15)$$

$$\gamma^0 \geq \frac{\alpha \beta}{\min \hat{b}} \quad (16)$$

단 $\hat{a}_i = \sum_{j=1}^n c_j a_{ij}$ ($i = 1, \dots, n$)

$$\hat{b} = \sum_{j=1}^n c_j b_j > 0$$

<증명>

$$\dot{\sigma}(\mathbf{X}, t) = \sum_{i=1}^n c_i \dot{x}_i + \beta \alpha e^{-\beta(t-t_0)}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n c_i \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \sum_{i=1}^n c_i b_i u + \beta \alpha e^{-\beta(t-t_0)} \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_j a_{ij} x_i + \hat{b} u + \beta \alpha e^{-\beta(t-t_0)} \\ &= \sum_{i=1}^n \hat{a}_i x_i - \hat{b} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^0 |x_i| + \gamma^0 e^{-\beta(t-t_0)} \right] \\ &\quad \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)] + \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} \\ &= \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i x_i - \hat{b} \phi_i^0 |x_i| \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)]] \\ &\quad + [\alpha \beta - \hat{b} \gamma^0 \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)]] e^{-\beta(t-t_0)} \\ &= \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i \text{sign}[x_i \sigma(\mathbf{X}, t)] - \hat{b} \phi_i^0 |x_i| \text{sign} \\ &\quad [\sigma(\mathbf{X}, t)] + [\alpha \beta \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)] - \hat{b} \gamma^0] \\ &\quad e^{-\beta(t-t_0)} \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)]] \end{aligned}$$

따라서

$$\begin{aligned} \sigma(\mathbf{X}, t) \dot{\sigma}(\mathbf{X}, t) &= \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i \text{sign}[x_i \sigma(\mathbf{X}, t)] - \hat{b} \phi_i^0 |x_i| \\ &\quad |\sigma(\mathbf{X}, t)| + [\alpha \beta \text{sign}[\sigma(\mathbf{X}, t)] - \hat{b} \gamma^0] \\ &\quad e^{-\beta(t-t_0)} |\sigma(\mathbf{X}, t)|] \end{aligned}$$

위에서 만일 부등식 (15), (16)을 만족하면 슬라이딩 모우션의 존재조건 $\sigma(\mathbf{X}, t) \dot{\sigma}(\mathbf{X}, t) \leq 0$ 을 만족할 수 있다.

증명 끝

초기위치가 스윗칭平面上에서 벗어나 있을 경우 時變스윗칭平面上은 상태의 초기위치를 통과하도록 식(10)과 같이 설정되며 또한 식(15), (16)을 만족하는 입력식(14)에 의하여 상태의 움직임은 이 時變스윗칭平面 위로 제한되므로 전 제어과정동안에 슬라이딩 모우션을 얻을 수 있다.

4. 連續入力에 의한 準슬라이딩 모우션

불완전한 스윗칭 기구나 제어기의 비이상적인 요소등에 의하여 可變構造系の 制御入力は 필연적으로 chattering하게 된다. 이러한 入力は 모델화되지 않은 계통의 高周波動態를 여기시킬 수 있으므로 실제 계통에 그대로 적용하는 것은 부적합하다.

Slotine²⁾ 등이 스윗칭平面 근방에 경계층을 설정하고 이 영역 안에서 不連續入力を 連續入력으로 대치함으로써 入力の chattering 현상을 제거할 수 있으며 이 連續入력에 의하여 슬라이딩 모우션과 유사한 기능을 지닌 準슬라이딩 모우션을 얻을 수 있음을 보였다. 그러나 이들이 제안한 경계층은 스윗칭平面上에 나란하게 설정되므로 정상상태에서 오차가 남을 수 있다.

따라서 본 절에서는 정상상태 오차가 남지 않도록 하기 위하여 상태가 정상상태로 수렴해감에 따라 경계층의 영역도 싸오로 수렴하도록 설정하고 이 경계층이 스윙칭平面과 유사한 기능을 가질 수 있도록 제어입력을 수정한다.

앞에서 정의한 時變스윙칭平面 근방에 이러한 경계층을 설정하기 위하여 다음과 같이 좌표를 변환한다.

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= x_i & (i=1, \dots, n-1) \\ \bar{x}_n &= x_n - \alpha e^{-\beta(t-t_0)} \end{aligned} \quad (17)$$

또한 경계층은 다음과 같이 정의한다.

$$B(t) \triangleq \{ \bar{X} \mid |\sigma(\bar{X}, t)| < \lambda N(\bar{X}) \}, \lambda > 0 \quad (18)$$

여기서 λ 는 경계층의 영역을 결정하는 임의의 상수이며 $N(\bar{X})$ 는 \bar{X} 에 대하여 정의되는 도움이다. 즉,

$$N(\bar{X}) \triangleq \sum_{i=1}^n |\bar{x}_i|$$

시간 t 에서 \bar{X} 공간에서의 도움 $N(\bar{X})$ 가 결정되고 이 값과 λ 에 의하여 식(18)의 정의에 따라 경계층이 결정된다. 이 영역에서 不連續入力を 連續入力で 대체하기 위하여 식(14)를 다음과 같이 수정한다.

$$u(\mathbf{X}, t) = - \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^0 |x_i| + \gamma^0 e^{-\beta(t-t_0)} \right] \text{MOD} \left[\frac{\sigma(\bar{X}, t)}{\lambda N(\bar{X})} \right] \quad (19)$$

여기서 $\text{MOD}(\cdot)$ 는 다음과 같이 정의되는 함수이다.

$$\text{MOD}(y) = \begin{cases} y & \text{if } |y| \leq 1 \\ \text{sign}(y) & \text{if } |y| > 1 \end{cases}$$

$\lambda N(\bar{X})$ 는 항상 陽의 값을 가지므로 $B(t)$ 밖에서는 다음식이 성립한다.

$$\text{MOD} \left[\frac{\sigma(\bar{X}, t)}{\lambda N(\bar{X})} \right] = \text{sign} \left[\frac{\sigma(\bar{X}, t)}{\lambda N(\bar{X})} \right] = \text{sign}[\sigma(\bar{X}, t)]$$

따라서 식(19)로 주어지는 입력에서 ϕ_i^0 와 γ^0 가 각각 식(15), (16)를 만족하면 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned} & \sigma(\bar{X}, t) \sigma(\bar{X}, t) \\ &= \sum_{i=1}^n \left[\hat{a}_i \text{MOD}[x_i \sigma(\bar{X}, t)] - \hat{b} \phi_i^0 \right] |x_i| \sigma^2(\bar{X}, t) \\ &+ [a\beta \text{MOD}[\sigma(\bar{X}, t)] - \hat{b} \gamma^0] e^{-\beta(t-t_0)} \sigma(\bar{X}, t) < 0 \\ & \mathbf{X} \notin B(t) \end{aligned} \quad (20)$$

식(20)은 상태공간의 어떤 상태도 $B(t)$ 를 향하며 $B(t)$ 안의 상태는 $B(t)$ 를 벗어나지 않고 이 영역을 통하여 이동하게 된다는 것을 나타낸다. 이러한 $B(t)$ 의 기능은 스윙칭平面의 기능과 유사하여 $B(t)$ 안에서의 動態를 準슬라이딩 모우션(Quasi-sliding motion)이라 부른다.³⁾ 경계층 $B(t)$ 안에서 準슬라이딩 모우션을 일으키는 制御入力は 식(19)와 MOD함수의 성질에 의하여 連續임을 알 수 있다.

5. 數值例 및 檢討

본 연구에서 제안한 時變스윙칭平面과 連續化한 制御入力の 유용성을 보이기 위하여 본 논문에서 제안한 可變構造制御理論을 적용한 경우와 전통적인 可變構造制御理論을 적용한 경우와를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교하였다.

다음의 계통에 적용하였다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & 1 \\ a_1(t) & a_2(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b(t) \end{bmatrix} u$$

여기서 $a_1(t) = 3.0 + \cos 600t$

$a_2(t) = 4.0 + \cos 400t$

$b(t) = 2.0 - \sin 3t$

스윙칭平面을 구성하는 行例C는 식(9)의 Aeq 의

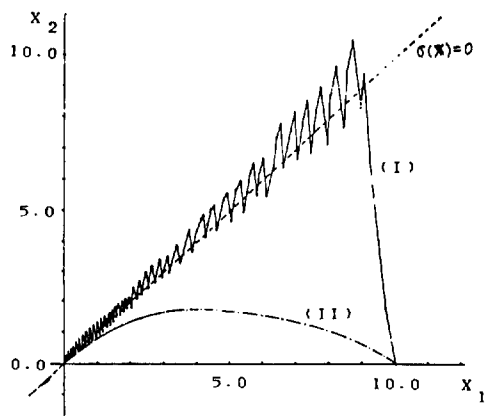


그림 1. 相軌跡

(I) 전통적인VSS, (II) 제안된VSS
($\beta=4.0, \lambda=0.1$)

Fig.1. Phase trajectories.

(I) typical VSS, (II) proposed VSS
($\beta=4.0, \lambda=0.1$)

고유치를 0 과 -2로 하기 위하여 $[-1, 1]$ 로 선정하였다. 狀態의 초기치를 $[10, 0]$ 로 하면 식(11b)의 α 는 -10이 되며 식(11c)의 β 는 임의로 선정한다. 따라서 時變스위칭平面은 β 를 4로 할 때 다음과 같이 된다.

$$\sigma(\mathbf{X}, t) = \sigma^0(\mathbf{X}) - \alpha e^{-\beta(t-t_0)}$$

$$= -x_1 + x_2 + 10e^{-4(t-t_0)}$$

경계층의 영역을 결정하는 常數인도 임의로 선정하며 또한 식(15), (16)에 의하여 ϕ^0 와 γ^0 를 결정한다.

그림 1 과 그림 2 는 전통적인 可變制御理論과 $\beta = 4.0, \lambda = 0.1$ 로 선정한 경우의 제안한 可變制御理論의 相軌跡 및 制御入力を 比較한 것이다. 그림 1 에서 전통적인 가변구조 제어계에서는 相軌跡이 초기치에서 스위칭平面으로 향하고 스위칭平面에 도달한 후 그 平面을 따라 무수히 스위칭하면서 原點으로 수렴하는데 비해 제안한 方法에서는 狀態초기치를 통과하도록 잡은 可變스위칭平面을 따라 原點으로 수렴하며 連續入力を 위해 설정한 경계층의 영역때문에 스위칭은 없다. 그림 2 는 이때의 制御入력에 대한 比較로 전통적인 可變制御器에서는 不連續의 커다란 入력이 가해지고 있는데 비해서 제안한 方法에서는 매우 작은 連續入력이 인가됨을 알 수 있었다. 그림 3 은 식(10)의 可變스위칭平面을 전통적인 스위칭平面으로 수렴시키는 速度를 결정하는 식(11c)의 β 의 영향을 보인 것

이다. 同一한 경계층영역수에 대하여 β 가 작을수록 狀態 x_1 은 급속히 감소하여 原點에 빨리 도달하지만 β 가 너무 작으면 곧 原點을 넘어서며 결국 수렴 속도는 늦어지기 때문에 β 를 적절히 선택할 필요가 있음을 알 수 있다. 그림 4 는 連續制御入력을 위해 제안한 경계층영역 λ 의 영향을 보인 것으로 λ 가 작을 때 발생하던 入力스위칭이 λ 가 커지면 없어짐을 알 수 있다. 즉 λ 를 0.001, 0.05, 0.5로 점점 크게 하면 入力스위칭이 15회, 8회, 0회로 줄어들음을 알 수 있으며 制御入력이 連續임도 볼 수 있다. 그러나 λ 를 5

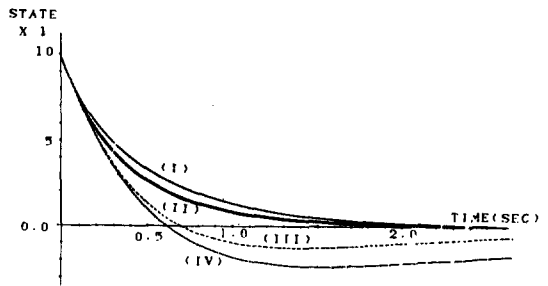


그림 3. $\lambda=0.1$ 일때 狀態軌跡에 대한 β 값의 영향
(I) $\beta=10.0$, (II) $\beta=4.0$, (III) $\beta=1.0$,
(IV) $\beta=0.5$

Fig.3. Effects of the value of β to state trajectory with $\lambda=0.1$

(I) $\beta=10.0$, (II) $\beta=4.0$, (III) $\beta=1.0$,
(IV) $\beta=0.5$

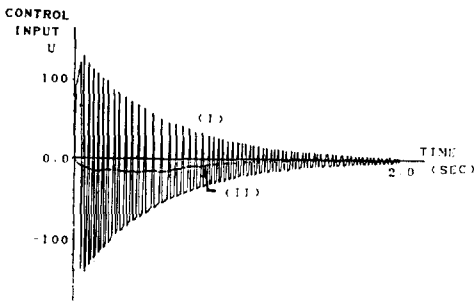


그림 2. 入力軌跡

- (I) 전통적인 VSS,
- (II) 제안된 VSS ($\beta=4.0, \lambda=0.1$)

Fig.2. Input trajectories.

- (I) typical VSS,
- (II) proposed VSS ($\beta=4.0, \lambda=0.1$)

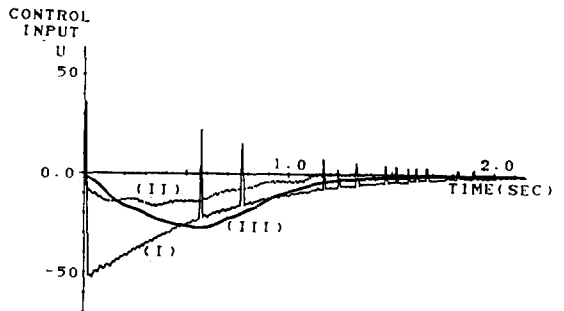


그림 4. $\beta=4.0$ 일때 制御入력에 대한 λ 값의 영향
(I) $\lambda=0.001$ (II) $\lambda=0.05$, (III) $\lambda=0.5$

Fig.4. Effects of the value of λ to the control input with $\beta=4.0$.

(I) $\lambda=0.001$ (II) $\lambda=0.05$, (III) $\lambda=0.5$

나 10으로 크게 하면 발산하므로 λ 도 적절한 선정이 필요하다.

6. 結 論

본 연구에서는 可變構造制御理論의 reaching phase 문제와 高周波不連續制御入力の 문제점을 해결하기 위하여 우선 時變스윗칭平面을 導入하여 狀態初期値에서부터 슬라이딩 모우션을 얻고자 하였으며 時變스윗칭平面 근방에 경계층을 설정하여 不連續 高周波入力を 連續化 시켰다. 이러한 時變스윗칭平面과 連續化한 制御入力を 時變 2 차계통에 적용하여 본 결과 다음 결론을 얻었다.

1. 時變스윗칭平面을 사용할 경우 狀態의 初期値부터 슬라이딩 모우션을 얻을 수 있으므로 reaching phase를 없앨 수 있다.

2. 파라미터 변동 범위를 고려하여 λ 값을 적절하게 선정하면 連續入力を 얻을 수 있으며 準슬라이딩 모우션을 얻을 수 있다.

3. 전통적인 가변구조 제어입력에 비하여 제안된 制御入力は 크기가 매우 작다.

4. 적절하게 β 를 선정하면 수렴 속도를 빠르게 할 수 있다.

앞으로 파라미터 변동범위와 λ 값의 선정관계 및 β 값의 선정에 대한 정량적인 연구와 다중입력계통으로의 확장이 연구과제이다.

參 考 文 獻

- 1) Vadim I. Utkin, "Variable Structure Systems with Sliding Modes", IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. AC-22, No. 2 April 1977, pp. 212~217.
- 2) J. J. Slotine and S. S. Sastry, "Tracking Control of Non-linear Systems using Sliding Surface with Application to Robot Manipulators", INT. J. Control 1983, Vol. 38, No. 2, pp. 465~492.
- 3) U. Itkis, "Control System of Variable Structure", John Wiley & Sons, N. Y. 1976.
- 4) O. M. E. El-Ghezawi, "Variable Structure Systems and System Zeros", IEE Proc. Vol. 130pt. D. No. 1, Jan. 1983, pp. 1~5.
- 5) Vadim I. Utkin, "Variable Structure Systems: Present and Future", 1984 Plenum Publishing Corporation.