

가변구조제어 시스템에 있어서 위상면상의 도달시간 감소

Reduction of Reaching Time on Phase Plane in Variable Structure Control System

李 柱 張* · 黃 東 渙**
(Ju-Jang Lee · Dong-Hwan Hwang)

요 약

이 논문에서 평면상에 도달하는 시간을 감소하는 새로운가변구조제어 알고리즘이 제안되었다. 새로운 방법은 Morgan과 Özgüner의 알고리즘(스위칭 변수의 미분치를 상수로 하는 항)에다가 스위칭 변수의 크기에 비례하는 항을 첨가 하였다. 2 차 시스템에 적용시킨 시뮬레이션 결과 Morgan의 알고리즘보다 이 새로운 접근 방법의 제어 알고리즘이 더욱 유효함을 보였다.

Abstract-In this paper, a new variable structure control algorithm is proposed to reduce the reaching time on a phase plane. In the new method, a term proportional to the magnitude of the switching variables is added to the Morgan and Özgüners algorithm. When this algorithm is applied to second order systems the simulation results show that the new approach of the control algorithm is more effective than Morgan's algorithm.

1. 서 론

가변구조 시스템은 약 30년전에 소련 학자들에 의해서 처음 쓰이게 되었다. 처음 출발부터 1962년도 까지는 주로 2 차제 시스템을 대상으로 한 연구가 진행되었으며, 1962년도 이후에는 임의의 차수를 가진 시스템에 대한 스칼라(Scalar) 제어에 대한 연구

가 진행되었다. 또한 1970년대 이후에는 이전에 연구 대상으로 했던 시스템보다 더욱 더 일반적인 시스템에 대한 연구가 진행되어 왔다.¹⁾ 최근에는 모델 추종 가변구조제어에 관한 연구²⁾, 이산치 가변구조의 강인성에 관한 연구,³⁾ 다변수 시스템에서 스위칭 평면의 설계에 관한 연구⁴⁾ 등과 더불어 로보트 매니플레이터에 가변구조제어의 적용,⁵⁾ 전력계통 시스템에 가변구조제어의 적용⁶⁾ 등 좀 더 실제적인 시스템에의 적용에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

가변구조 제어는 스위칭 평면에서의 계통의 구조를 의도적으로 변화시킴으로써 슬라이딩 모션(Sliding motion)이라는 독특한 동태를 얻어냄으로써, 원래 시스템의 매개변수 변화나 외부 잡음(Noise)

*正 會 員 : 韓國科學技術大學 電子·電算學部 助教授 · 工博

**正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 博上課程

接受日字: 1988年 4月27日
1次修正: 1988年 7月5日
2次修正: 1988年 10月12日
3次修正: 1988年 11月28日

에 관계없이, 원하는 스윗칭 평면상에서만 운동하게 된다.⁷⁾ 그러나, 이 제어기법은 초기위치와 스윗칭 평면에서 벗어나 있을 경우, 상태가 이 평면상에 도달하기 까지의 시간을 Reaching Phase라 하는데, 이 기간에는 슬라이딩 모우션이 일어나지 않으므로 가변구조계의 장점을 얻을 수 없다. 또한가변구조계에서 슬라이딩 모우션을 얻기 위한 제어입력의 형태는 본질적으로 불연속이며 스윗칭 기구의 불완전성, 제어기의 비 이상적인 요소등에 의하여 고주파 성분을 포함하게 된다. 이것은 계통의 모델링 과정에서 무시된 고주파 동태를 여기 시킬수 있으므로 실제 계통에 대하여 가변구조제어 입력을 직접 적용하는 것은 적합하지 못하다.⁸⁾

도달시간을 줄이기 위해서 Morgan과 Özgüner는 스윗칭 변수의 미분값을 상수로 Regulation하는 알고리즘을 제안하였다.⁹⁾ 그러나, 이 방법은 스윗칭 변수의 미분값을 일정하게 두었으므로, 초기조건이 스윗칭 평면에서 멀리 떨어진 정도에 비례해서 도달시간이 늘어난다. 본 논문에서는 이러한 점을 보완하기 위해서, 스윗칭 변수의 미분치를 상수로 하는 항에다 스윗칭 변수의 크기에 비례하는 항을 첨가함으로써 도달시간을 줄이기 위한 새로운 알고리즘을 제시하고, 2차 시스템인 직류 전동기에 적용시켜 유효함을 보였다.

2. 2차 시스템에서의 VSC (Variable Structure Control)⁷⁾

다음과 같은 2차 시스템에서 VSC의 구조를 생각해 보자.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -a_1 x_1(t) - a_2 x_2(t) + bu(t) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 x_1 : 오차, a_1, a_2 ; 상수이다.
 $u = -\alpha |x_1| \text{sgn}(S)$ 인 제어입력을 가함으로써 전체 시스템의 운동을 $S = cx_1(t) + x_2(t) = 0$ 의 평면상에 둘 수 있다. 이때 슬라이딩 모우션이 존재하기 위한 필요 충분조건은 다음과 같다.

$$\lim_{s \rightarrow 0} S \dot{S} \leq 0 \quad (2)$$

(2)의 조건을 이용하면

$$\alpha \geq \frac{1}{b} (a_2 c - c^2 - a_1), \text{ 만약 } x_1 S > 0, b > 0$$

$$\alpha \leq \frac{1}{b} (a_2 c - c^2 - a_1), \text{ 만약 } x_1 S < 0, b > 0 \quad (3)$$

을 만족해야 (1) 시스템의 슬라이딩 모우션이 존재한다.

3. 도달시간을 줄이기 위한 방법

본절에서는 Morgan과 Özgüner가 제시한 알고리즘을 소개하고, Morgan과 Özgüner의 알고리즘을 보완하는 새로운 알고리즘을 제시한다.⁹⁾ 먼저, Morgan과 Özgüner가 제시한 방법은 다음과 같다. 스윗칭 변수 S 를 다음과 같이 정의한다.

$$S = cx_1 + x_2, \quad c > 0 \quad (4)$$

스윗칭 평면 $B = \{(x_1, x_2) | (cx_1 + x_2 = 0)\}$ 이다.

제안된 제어 알고리즘의 목적은 스윗칭 변수의 미분인 \dot{S} 를 상수 p 에 안정화 시킨다.

$$\dot{S} = -p \text{sgn}(S), \quad p > 0 \quad (5)$$

이중적분기인 다음의 시스템에 대해서 생각해 보면,

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = u \end{cases} \quad (6)$$

(5)를 만족시키도록 제어입력 u 를 생성시킨다.

$$\begin{aligned} \dot{S} &= c\dot{x}_1 + \dot{x}_2 \\ \dot{S} &= cx_2 + u = -p \text{sgn}(S) \\ u(t) &= -cx_2(t) - p \text{sgn}(S) \end{aligned} \quad (7)$$

이 때,

$$\begin{aligned} \dot{S} &= S(-p \text{sgn}(S)) \\ &= -p S \text{sgn}(S) < 0, \quad \forall S \neq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

(8)에서 (2)의 조건을 만족하므로, 슬라이딩 모우션이 존재한다. (6)의 시스템에서 (7)식을 만족하는 제어입력을 가함으로써 그림 1.과 같은 운동이 일어남을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -p \text{sgn}(S) \\ S > 0 \text{ 이면 } S &= -Pt + S(0) \\ S = 0 &\rightarrow t_r = S(0)/p \end{aligned}$$

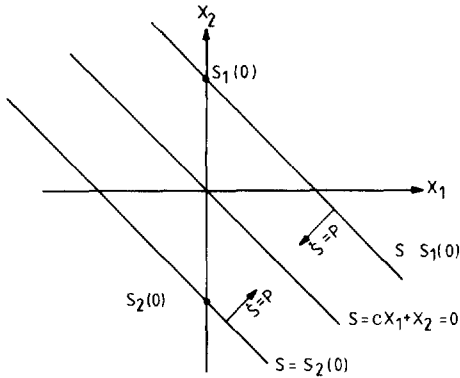


그림 1 제어입력에 따른 시스템의 운동
Fig. 1 Motion of system for control input.

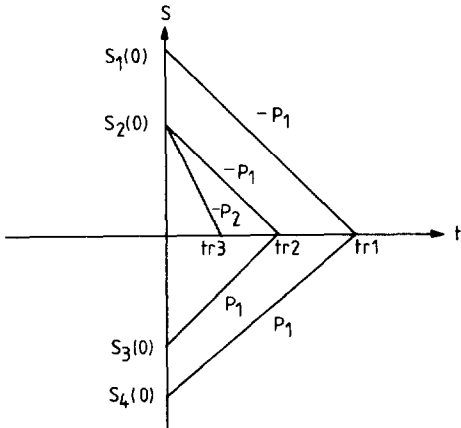


그림 2 p값에 대한 도달시간의 비교
Fig. 2 Comparison of reaching time for the value of p.

그림 2.에서 p가 크면 클수록 도달시간이 짧아짐을 알 수 있다. 같은 p값에 대해서, 그림에서 보여 주듯이, S의 초기치 S(0) 값의 크기에 비례해서 도달시간이 길어진다.

도달시간을 줄이기 위한 방안으로 (6)의 시스템을 생각하자. (5)의 식에다 S의 값을 고려한 항을 부가한다.

$$\dot{S} = -p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S), \quad p > 0 \quad (9)$$

가 되도록 제어입력 u를 생성시킨다. (9)식에서

가변구조제어 시스템에 있어서 위상면상예의 도달시간 감소

$-p|S| \operatorname{sgn}(S)$ 항만 두면 $|S| < 1$ 일 경우는 성능이 Morgan의 방법보다 나쁘므로 (9)와 같은 식을 제시하였다.

$$\begin{aligned} \dot{S} &= c\dot{x}_1 + \dot{x}_2 \\ \dot{S} &= cx_2 + u = -p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S) \\ u &= -cx_2 - p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S) \end{aligned} \quad (10)$$

이때,

$$\begin{aligned} S\dot{S} &= S(-p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S)) \\ &= -pS \operatorname{sgn}(S) - p|S|S \operatorname{sgn}(S) < 0, \quad \forall S \in B \end{aligned} \quad (11)$$

(11)식에서 (2)의 조건을 만족하므로, 슬라이딩 모우션이 존재한다.

$S > 0$ 일때

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -p - pS \\ S(t) &= K_2 e^{-pt} - 1 \\ S(0) &= K_2 - 1 \quad \therefore K_2 = S(0) + 1 \\ \therefore S(t) &= (S(0) + 1) e^{-pt} - 1 \\ S(t) = 0 \text{ 에서 } e^{-pt} &= \frac{1}{S(0) + 1} \\ t_r &= \frac{1}{p} \ln[S(0) + 1] \end{aligned} \quad (12)$$

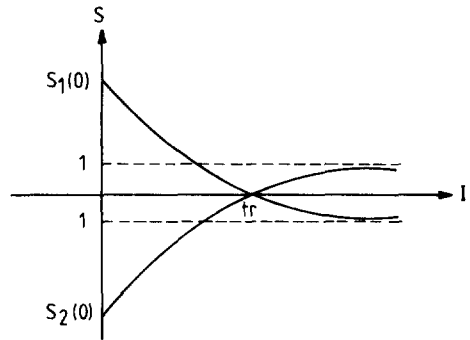


그림 3 p값과 초기값에 따른 도달시간
Fig. 3 Reaching time for the p's and initial values.

(12)식에서 볼 수 있듯이 t_r 은 p에 반비례하고, 초기의 log값에 비례함을 알 수 있다. 일반적인 n차 시스템에 대해서 생각해 보자.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ S = Cx \end{cases} \quad (13)$$

단, $A : n \times n$, $B : n \times m$, $C : m \times n$
 $u(t) : m \times 1$ $x(t) : n \times 1$

(13) 식에서 등가 제어입력을 구하면

$$u = -(CB)^{-1}CAx \tag{14}$$

단, Rank(CB) = m
 이다.

(13) 식에 (14)를 대입하여 정돈하면,

$$\begin{cases} \dot{x} = [I - B(CB)^{-1}C]Ax & (15a) \\ S \triangleq Cx = 0 & (15b) \end{cases}$$

여기서 S는 s_1, \dots, s_m 성분의 m벡터이다.
 이다.

(15b) 식에서, 행렬 C가 삼각형으로 다음과 같이 선택되고

$$C \triangleq \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n-1} & 1 & \\ c_{21} & c_{22} & \dots & 1 & 0 & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn-m-1} & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

하이퍼플랜 $S_j = 0$ ($j = 1, \dots, m$) 상에서 슬라이딩 영역은 제어벡터(u)의 u_{m-j+1} 성분에 의하여 조직된다면, (15b) 식을 (15a) 식에 넣어 정돈하면 다음과 같은 형태가 된다.

$$\frac{dx^m}{dt} = A_m x^m \tag{16}$$

여기서, $A_m : m \times m$ 행렬 원소들은 A 원소들에 의하여 재현(recurrence) 관계를 통해 표현됨.
 이 된다.

$S = (s_1 \dots s_m)^T$ 라 하면

$s_1 = 0$ 에서

$$x_n = - \sum_{i=1}^{n-1} c_{1i} x_i \tag{17}$$

$$u_m = \frac{1}{(b_m, c_1)} \left\{ \sum_{j=1}^{m-1} (b_j, c_1) u_j - \sum_{j=1}^{n-1} [(a_j, c_1) - c_{1j} (a_n, c_1)] x_j \right\} \tag{18}$$

여기서, a_j, b_j, c_j 는 A, B, C의 종렬(column) 벡터이다. (,)는 두 벡터의 스칼라 곱이다.

식 (17)(18)을 (13) 식에 대입하면,

$s_1 = 0$ 에서 위의 시스템은

$$\frac{dx^1}{dt} = A_1 x^1 + B_1 u^1 \tag{19}$$

여기서, $x^1 = (x_1, \dots, x_{n-1})$

$u^1 = (u_1, \dots, u_{n-1})$

$A_1 : (n-1) \times (n-1)$, $B_1 : (n-1) \times (m-1)$

이 된다.

또, A_1, B_1 의 각각의 원소(element)는

$$a_{ij}^1 = a_{ji} - a_{jn} c_{1i} - \frac{b_{jm}}{(b_m, c_1)} [(a_i, c_1) - c_{1i} (a_n, c_1)] \tag{20}$$

($j, i = 1, \dots, n-1$)

$$b_{ij}^1 = b_{ij} - \frac{b_{jm}}{(b_m, c_1)} (b_i, c_1) \tag{21}$$

($j \neq i = 1, \dots, n-1$)

이러한 유도(induction) 과정을 $S_i = 0$ ($i = 2, \dots, k$)까지 거치면, 시스템의 운동은 $(n-k)$ 차 시스템에 의해 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\frac{dx^k}{dt} = A_k x^k + B_k u^k \tag{22}$$

가 되고 A_k, B_k 는 다음식과 같이 A_{k-1}, B_{k-1} 의 항으로 표현된다.

$$a_{ij}^k = a_{ji}^{k-1} - a_{jn} c_{k+1}^{k-1} c_{ki} - \frac{b_{j,m-k+1}^{k-1}}{(b_m^{k-1}, c_k)} [(a_i^{k-1}, c_k) - c_{kj} (a_{n-k+1}^{k-1}, c_k)] \tag{23}$$

$$b_{ij}^k = b_{ij}^{k-1} - \frac{b_{j,m-k+1}^{k-1}}{(b_m^{k-1}, c_k)} (b_i, c_k) \tag{24}$$

($j, i = 1, \dots, n-k$)

위의 (22)에서 c의 값을 적절히 선택하여 시스템을 안정화시킬 수 있다. 이 때 슬라이딩 영역에서 하이퍼 플랜(hyper plane)이 존재하도록 다음과 같이 제어입력을 정할 수 있다.

영역에서 하이퍼 플랜(hyper plane)이 존재하도록 다음과 같이 제어입력을 정할 수 있다.

$$u_j = \sum_{i=1}^{n-m+j-1} \Psi_{ij} x_i \quad (j=1, \dots, m) \quad (25)$$

$$\Psi_{ji} = \begin{cases} \alpha_{ji}, & \text{만약 } x_i \sigma_{m-j+1} > 0 \\ \beta_{ji}, & \text{만약 } x_i \sigma_{m-j+1} < 0 \end{cases} \quad (26)$$

(i = 1, \dots, n-m+j-1; j = 1, \dots, m)

$$\begin{aligned} \frac{dS_k}{dt} = & \sum_{i=1}^{n-k} [(a_i^{k-1}, c_k) - c_{ki} (a_{n-k+1}^{k-1}, c_k) \\ & - \sum_{j=1}^{n-k} (b_j^{k-1}, c_k) \Psi_{ij} - (b_{m+k-1}^{k-1}, c_k) \Psi_{j, n-k+1}] x_i \end{aligned} \quad (27)$$

여기서, $j > n-m+j-1$ 이면 $\Psi_{ji} = 0$ 이다. (27)식으로 부터 슬라이딩 영역에서 하이퍼 플랜이 존재할 조건은 다음과 같다.

$$\alpha_{m-k+1, i} > \frac{1}{(b_{m-k+1}^{k-1}, c_k)} [(a_i^{k-1}, c_k) - c_{ki} (a_{n-k+1}^{k-1}, c_k) - \min_{\Psi_{ji}} \sum_{j=1}^{m-k} (b_j^{k-1}, c_k) \Psi_{ji}] \quad (28)$$

$$\beta_{m-k+1, i} < \frac{1}{(b_{m-k+1}^{k-1}, c_k)} [(a_i^{k-1}, c_k) - c_{ki} (a_{n-k+1}^{k-1}, c_k) - \max_{\Psi_{ji}} \sum_{j=1}^{m-k} (b_j^{k-1}, c_k) \Psi_{ji}] \quad (29)$$

(i = 1, \dots, n-m+k-1)

이 된다.

B가 $n \times 1$ 입력 벡터일 때, 즉 벡터 b이면 하이퍼 플랜은

$$S = x_n + \sum_{i=1}^{n-1} c_i x_i = 0 \quad (30)$$

$$\frac{dx}{dt} = Ax + bu \quad (31)$$

A : $n \times m$, $b = (b_1, \dots, b_n)^T$, u : 스칼라 이다.

$$\begin{aligned} u = & - \sum_{i=1}^k \Psi_i x_i \\ \Psi_i = & \begin{cases} \alpha_i, & \text{만약 } x_i \sigma > 0 \\ \beta_i, & \text{만약 } x_i \sigma < 0 \end{cases} \quad (32) \\ & (i = 1, \dots, k) \end{aligned}$$

가변구조제어 시스템에 있어서 위상면상에서의 도달시간 감소

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} = & \sum_{i=1}^k [(a_i, c) - c_i (a_n, c) + (b, c) \Psi_i] x_i \\ & + \sum_{i=k+1}^{n-1} [(a_i, c) - c_i (a_n, c)] x_i \end{aligned} \quad (33)$$

그러므로 슬라이딩 하이퍼 플랜이 존재할 조건은

$$\alpha_i > \frac{1}{(b, c)} [(a_i, c) - c_i (a_n, c)] \quad (34)$$

$$\beta_i < \frac{1}{(b, c)} [(a_i, c) - c_i (a_n, c)] \quad (i = 1, \dots, k) \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \frac{(a_i, c)}{c_i} = & (a_n, c) \\ & (i = k+1, \dots, n-1) \end{aligned} \quad (36)$$

따라서 $\alpha_i = \beta_i$ 라 두고 제어입력을 구하면

$$u = - \sum_{i=1}^n \alpha_i |x_i| \text{sgn}(S) \quad (37)$$

가 된다.

위의 경우에서

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ a_{n1} & \dots & \dots & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (38)$$

이면, $\dot{S} = -p \text{sgn}(S) - p|S| \text{sgn}(S)$ (38)

을 만족하는 제어입력은 다음과 같다.

$$u = - \sum_{i=1}^{n-1} c_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^n a_i x_i - p \text{sgn}(S) - p|S| \text{sgn}(S) \quad (39)$$

(39)식의 알고리즘을 쓰면 3절에서 보여 준 것처럼 n차 시스템의 경우에도 reaching phase를 줄일 수 있다.

다음으로 위의 알고리즘을 1개의 입력을 가지는 2차 시스템에 대해서 생각해 보자.

$$\ddot{x} + a_1 \dot{x} + a_2 x = bu \quad (40)$$

여기서 x는 오차신호이다.

(40)을 (13)의 형태로 고치면

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -a_2 x_1 - a_1 x_2 + bu \end{cases} \quad (41)$$

$\dot{S} = -p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S)$ 를 만족하도록 제어 입력 u 를 발생시키면,

$$\begin{aligned} S &= \dot{x}_2 + cx_1 \\ \dot{S} &= cx_2 - a_2x_1 - a_1x_2 + bu = -p \operatorname{sgn}(S) \\ &\quad - p|S| \operatorname{sgn}(S) \\ \therefore bu &= + a_2x_1 + (a_1 - c)x_2 - p \operatorname{sgn}(S) \\ &\quad - p|S| \operatorname{sgn}(S) \\ \therefore u &= \frac{1}{b} \{ a_2x_1 + (a_1 - c)x_2 - p \operatorname{sgn}(S) \\ &\quad - p|S| \operatorname{sgn}(S) \} \end{aligned} \quad (42)$$

인 u 를 발생시킨다.

4. 수치 예

본절에서는 전절에서 유도한 하나의 입력을 가지는 임의의 2 차계 시스템에 대한 식운 모터 시스템에 적용시켜 컴퓨터 시뮬레이션한 결과를 보였다. 모터 시스템의 식운 다음과 같다.¹⁰⁾

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = w \\ \frac{dw}{dt} = - (B/J + K_tK_e/JR)w + (K_t/JR)u \end{cases} \quad (43)$$

여기서 θ, w : 회전자의 각도, 각속도
 J : 관성 모멘트
 B : 점성 마찰계수
 K_tK_e : 전동기의 상수
 u : 입력전압

이다.

θ_a 를 원하는 회전자의 각도라 두면

$$\begin{aligned} e &= \theta_a - \theta \\ \dot{e} &= -\dot{\theta} = -w \\ \frac{de}{dt} &= \dot{e} \\ \frac{de}{dt} &= -\dot{w} = (B/J + K_tK_e/JR)w - (K_t/JR)u \\ &= - (B/J + K_tK_e/JR) \dot{e} - (K_t/JR)u \\ x_1 &= e, \quad x_2 = \dot{e} \text{라 두면} \\ \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = - (B/J + K_tK_e/JR)x_2 - (K_t/JR)u \end{cases} \end{aligned} \quad (44)$$

시뮬레이션에 사용한 전동기의 상수는 다음과 같다
 0.75HD 100V 2500rpm PMDC Motor
 $R = 0.67[\Omega], J = 0.24[\text{kg}\cdot\text{m}], B = 0.7[\text{N}\cdot\text{m}]$
 $K_t = 0.4519[\text{N}\cdot\text{m}/\text{A}], K_e = 0.4519[\text{V}\cdot\text{sec}/\text{rad}]$

이때, (44) 식은

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -4.19 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ -3.19 \end{bmatrix} u \\ S &= x_2 + cx_1 \\ \dot{S} &= -p \operatorname{sgn}(S) - p|S| \operatorname{sgn}(S) \\ \therefore u(t) &= \frac{1}{3.19} \{ (4.19 - c)x_2(t) - p \operatorname{sgn}(S) \\ &\quad - p|S| \operatorname{sgn}(S) \} \end{aligned}$$

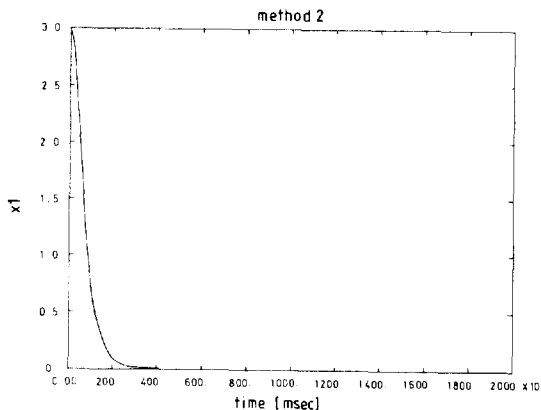


그림 4 Noise가 있을때 Morgan 방법에 의한 $x_1(t)$ 의 상도

Fig. 4 Phase plot of $x_1(t)$ with noise for the Morgan's method.

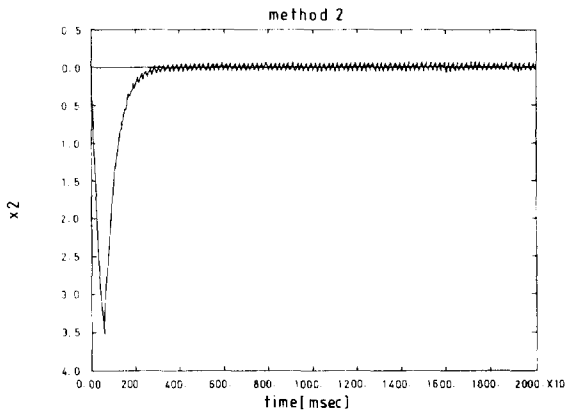


그림 5 Noise가 있을때 Morgan 방법에 의한 $x_2(t)$ 의 상도

Fig. 5 Phase plot of $x_2(t)$ with noise for the Morgan's method.

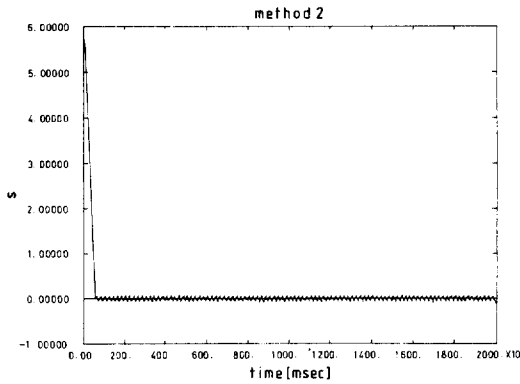


그림 6 Noise가 있을때 Morgan 방법에 의한 S의 상도

Fig. 6 Phase plot of S with noise for the Morgan's method.

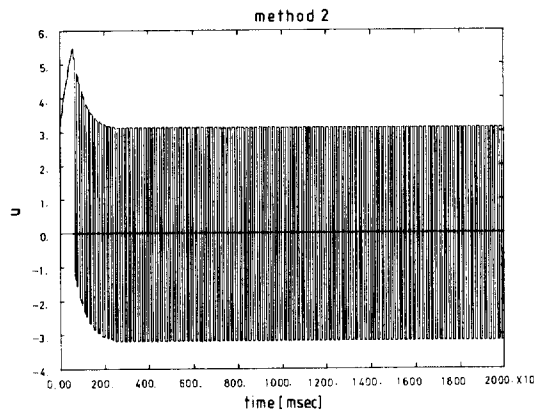


그림 7 Noise가 있을때 Morgan 방법에 의한 u의 상도

Fig. 7 Phase plot of u with noise for the Morgan's method.

시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

1. Method 2는 Morgan과 Özgüner가 제시한 방법을 사용하였고, Method 4는 본 논문에서 제시한 방법을 사용하였다.
2. Method 2와 Method 4는 모두 입력 u에 $\sin(10\pi t)$ 의 Noise를 첨가한 결과이다.

가변구조제어 시스템에 있어서 위상면상의 도달시간 감소

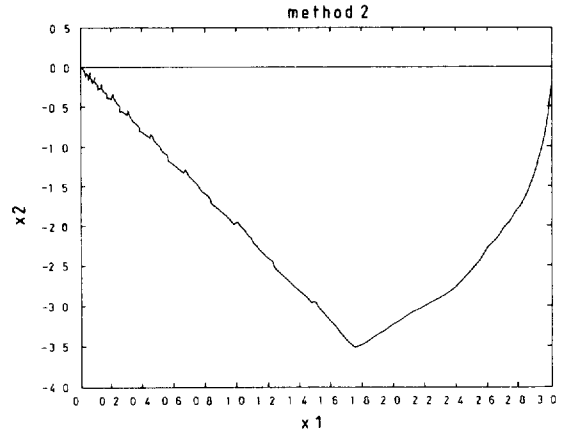


그림 8 Noise가 있을때 Morgan 방법에 의한 x_1 대 x_2 의 상도.

Fig. 8 Phase plot of x_1 to x_2 with noise for the Morgan's method.

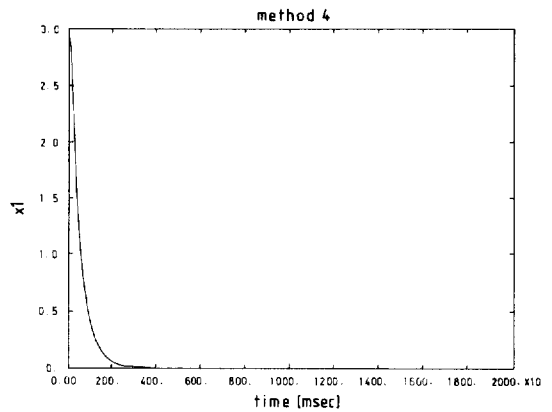


그림 9 Noise가 있을때 제안된 새 방법에 의한 $x_1(t)$ 의 상도.

Fig. 9 Phase plot of $x_1(t)$ with noise for the new proposed method.

3. 각각의 방법은 $x_1(t), x_2(t), S(t), u(t), (x_1, x_2)$ phase plot의 순서로 되어 있다.

4. $p=10, c=2$ 를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과에서 제안된 방법의 도달시간이 더 짧은 것을 볼 수 있다.

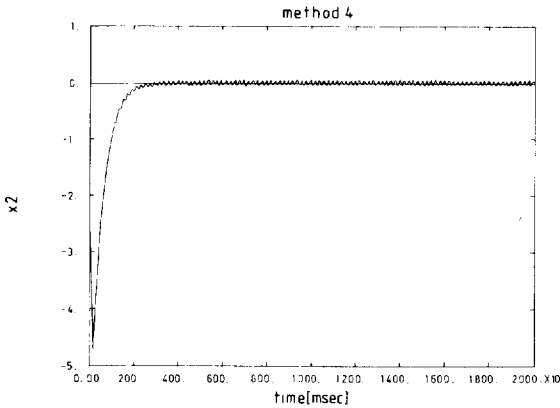


그림10 Noise가 있을때 제안된 새 방법에 의한 $x_2(t)$ 의 상도.

Fig.10 Phase plot of $x_2(t)$ with noise for the new proposed method.

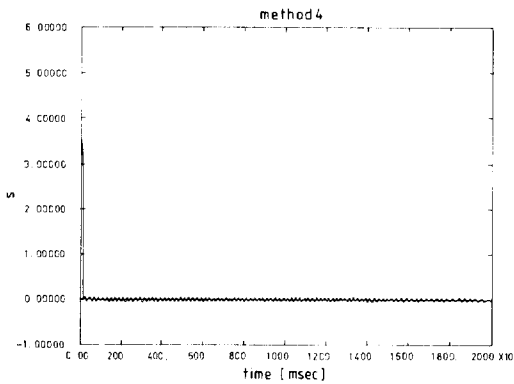


그림11 Noise가 있을때 제안된 새 방법에 의한 S의 상도.

Fig.11 Phase plot of S with noise for the new proposed method.

5. 결론

본 논문에서 가변구조제어에서 가변구조제어 가 안고있는 도달시간 문제를 해결하고자 보다 짧은 도달시간을 얻기위하여 새로운 방법을 제시하고, 2차 시스템에 대해서 Morgan의 방법보다 더 유효함을 시뮬레이션으로 보였다. 그러나, 또 다른 단점인 chattering 문제에 대한 연구가 요망되며, 제시된 방법의 적용범위 확장이 계속 연구되어야 한다고 생각한다.

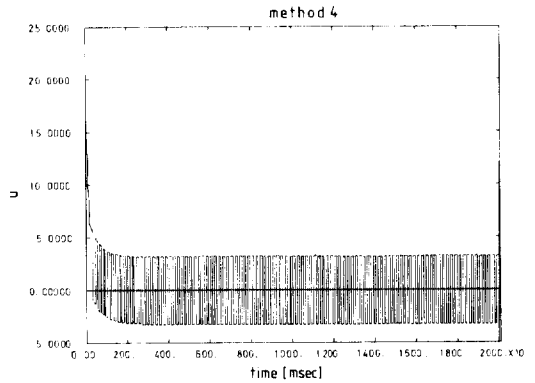


그림12 Noise가 있을때 제안된 새 방법에 의한 u의 상도.

Fig.12 Phase plot of u with noise for the new proposed method.

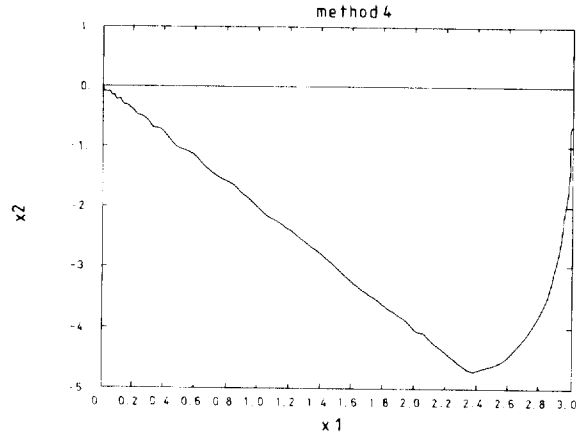


그림13 Noise가 있을때 제안된 새 방법에 의한 x_1 대 x_2 의 상도.

Fig.13 Phase plot of x_1 to x_2 with noise for new proposed method.

참고 문헌

- 1) V.I. Utkin, "Variable Structure Systems: Present and Future," *Automat. Remote Contr.*, vol. 44 no. 9, pt.1105~1119, 1983.
- 2) A.S.I Zinober, E1-Ghezawi, S.A. Billings, "Multivariable variable-structure adaptive model-following control systems," *IEE*, vol. 129, pt.D, no.1 pp.6~12, 1982.
- 3) H.P. Opitz "Robustness properties of discrete-

- variable structure controllers," *Int.J.Contr.*, vol. 43, no.3, pp.1003~1014, 1986.
- 4) C.M. Dorling, A.S. Zinober, "Two approaches to hyperplane design in multivariable variable structure control systems," *Int. J.Contr.*, vol. 44, no.1, pp.65~82, 1986.
- 5) M.Hiroi, M. Hojo, Y.Abe, Y.Dote, "Microprocessor- Based Decoupled Control of Manipulator Using Modified Model-Following Method with Sliding Mode," *IEEE, Trans. Ind. Electron.*, vol.IE-33, no.2, 1986.
- 6) G.P.Mattews, R.A.Decarlo, P.Hawley, S.Lefebvre, "Toward a Feasible Variable Structure Control Design for a Synchronous Machine Connected to an Infinite Bus," *IEEE, Trans. Automat. Contr.*, vol. AC-31, no.12, pp.1159~1162, 1986.
- 7) U.Itkis, *Control Systems of Variable Structure*. New York : Wiley, 1976.
- 8) 천희영, 박귀태, 송명현, 주기호, "가변구조제어에 관한 연구", 전기·전자 공학회, 계측제어 연구회 합동학술발표회 논문집, 1986.4
- 9) R.G. Morgan, ü.Özgüner, "A Decentralized Variable Structure Control Algorithm for Robotic Manipulators," *IEEE, J. Robot. & Automat.*, vol. RA1, no.1, pp.57~65, 1985.
- 10) 홍찬호, 김종준, 윤명중, "큰 외란이 존재하는 시스템에 있어서의 직류 전동기의 최적제어", '87 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.575~578, 1987.