

마이크로 프로세서를 이용한 가변구조를 갖는
서어보 시스템에 관한 연구

이 상범 김 수일 홍 근환 최 승철
송실대학교 전자공학과

A Study on A Microprocessor-Based Incremental
Servo System with Variable Structure.

Sang Bum Lee Su Il Kim Kun Hwan Hong Seung Chul Choi
Soongsil Univ. Dept. of Electronics

Abstract--A microprocessor-based incremental servo system with a variable structure is presented. New system properties are obtained by composing a desired trajectory from the parts of trajectories of different structures. It is implemented with Z-80A microprocessor to control a dc motor, and fast response without overshoot and good steady-state accuracy can be easily obtained.

1. 서 론

최근 마이크로 전자공학의 급속한 발전과 강력한 마이크로 프로세서의 출현으로 N.C공작기계, 산업용 로봇, 사무자동화 기기등의 기능과 성능이 보다 다양화 되고 고 급화 되어가는 추세에 있다. 따라서 이들 사업용 및 사무 용 자동화 기기에 필수적인 서어보 전동기는 보다 높은 정 밀도를 갖도록 요구된다. 그동안 개발된 전력 전자공학은 서어보 구성요소의 정밀도에 적용되고 있으며 또한 디지털 신호처리를 실현시키는 마이크로 전자공학의 발전으로 고급 제어이론의 적용이 가능하게 되었다. 최근 이와같은 배경 에서 인크리멘탈 서어보 시스템들은 제어기로서 마이크로 프로세서를 이용하고 있다. 고성능 인크리멘탈 서어보 시 스템에서는 고정확도, 고속성, 작은 오버슈트등이 요구 되는데 대개 시스템의 정적 정확도와 동적 정확도 사이에 는 차이가있어 이 요건을 모두 만족시키기는 어렵다. 특 히 제어기를 마이크로 프로세서로 사용할때는 계산에서오는 부가적인 시간지연이 있어 그러하다. 지금까지 이 시간지 연을 다루는 많은 방법들이 제시되어 왔는데 본 논문에서 는 가변 구조 제어 이론의 원리를 적용시켰다.

가변 구조 제어 시스템(VSS)은 비선형 서어보 제어 기의 일종으로 서어보 기구의 정확한 모델을 구할 수 없 는 경우나 모델의 파라미터가 시간이나 부하에 따라 변하 는 경우에 유용하다. 즉, VSS는 현재의 시스템의 애 러감과 그의 미분값의 상태에 따라 시스템의 운행중에 입 부러 시스템의 구조를 변화시키는 방법이다. 이러한 VSS 의 특징은: (1) 정적 정확도와 동적 정확도의 차이를 해결할수 있으며, (2) 계통의 파라미터나 외란이 시변인

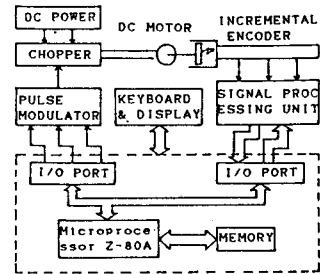


그림 1. 마이크로 프로세서를 이용한 인크리멘탈 서어보 시스템.
Fig. 1. Microprocessor-based incremental servo system.

경우에도 애러가 영으로 수렴하는 것이 보장되고, (3) PID제어기에서는 제어기의 파라미터 선정에 다소 어려움 이었으나 이 방식은 설계가 간단하다.

2. 시 스템 구 성.

전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 일반적으로 큰 토크를 발생시키는 영구 자석형 직류 전동기, 8비트 마이크로 컴퓨터 시스템, 증분형 엔코더, 브리지형 PWM 증폭기로 구성된 인크리멘탈 서어보 시스템이다. 여기서 직류 전동기는 PWM 증폭기에 의해 구동되는데 펄스폭 제 어방식의 쇼퍼회로의 동작은 바이폴라 및 유니폴라형, 리미 티드 유니폴라형으로 대별할수 있다. 본 논문에서는 전동 기 일단 전압의 극성에 따라 스위칭의 순서가 결정되는 리미티드 유니폴라형을 사용하였다. 그림 2는 개관 신호 처리회로의 구성도를 나타내는데 속도 및 위치량의 검출은 전동기에 부착된 증분형 엔코더로부터 발생되는 90도의 위 상차를 갖는 두개의 펄스열(Xa, Xb)에 의해 결정 할 수있다. PWM의 발생은 Intel사의 8253소자를 여러 모드로 조합하여 사용하였다. 제어기의 기준입력과 동작상태를 감지하기 위한 키보드와 디스플레이를 위해 C PU의 부담을 줄이고 회로를 간단히 할수있는 Intel 사의 8279소자를 사용하였다. 그리고 Z-80A를 사 용한 마이크로 컴퓨터 시스템은 (1) 위치 명령 신호를 결정하고, (2) 증폭기의 트리거 회로에 PWM제어 신 호를 공급하고, (3) 개관값으로 얻은 시스템의 애러 신호에 따라 현재 시스템의 구조를 바꿀 것인가를 결정 하는데 사용하였다.

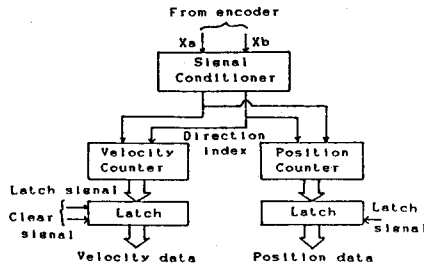


Fig.2. Block diagram of feedback signal processing circuit.

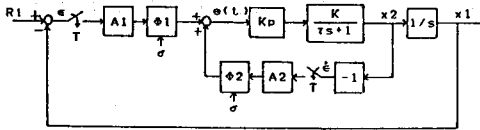


Fig.3. Block diagram of variable structure control system.

3. 가 변 구 조 제 어 의 적 용.

위의 시스템에 가변 구조 제어 이론을 적용시킨 전체 시스템 등가 구성도를 그림3에 나타내었다. 전동기와 부하의 전달 함수는 1차로 간략화 하였고 본 논문의 경우 $K=29.3 \text{ rpm/V}$ 이고 $\tau=0.195\text{s}$ 이다. 또한 K_p 는 PWM증폭기의 이득을 나타낸다.

비록 실제의 시스템은 미산 시스템으로 동작하지만 초퍼 회로의 주파수(10KHz)가 시스템의 시정수(0.195s)보다 충분히 크므로 연속 시간 시스템 응답을 분석해 낼수있다. 만일 위치 기준입력 r 이 계단 함수이고 위치 출력을 x_1 이라 하면,

$$\begin{aligned} e &= r - x_1, & t > 0 \\ \dot{e} &= de/dt = -dx_1/dt \\ \ddot{e} &= d\dot{e}/dt = -d^2x_1/dt^2 \end{aligned}$$

전체 시스템 에러 방정식은,

$$\tau \ddot{e} + (1 + KK_p A_2 \Phi_2) \dot{e} + KK_p A_1 \Phi_1 e = 0$$

시스템 구조의 변화는 에러 평면(e, \dot{e})에서 현재의 값이 스윗칭 직선을 통과 할때 이루어 진다. 즉 스윗칭 소자 Φ_1, Φ_2 가 다음의 특성을 갖도록 하여 마이크로 프로세서에 의해 스윗칭 동작이 실현된다.

$$\Phi_1 = \begin{cases} 1, & \text{if } e \geq 0 \\ -1, & \text{if } e < 0 \end{cases}$$

$$\Phi_2 = \begin{cases} 1, & \text{if } \dot{e} \geq 0 \\ -1, & \text{if } \dot{e} < 0 \end{cases}$$

여기서 $\sigma = \dot{e} + ce$ 이고 c 는 임의의 상수이다. 즉 에러 평면(e, \dot{e})은 스윗칭 직선과 두축($e=0, \dot{e}=0$)에 의해 그림4와 같이 6개의 소구간으로 나누어진 다. 각 소구간에서 시스템의 동작이 Φ_1, Φ_2 의 값에 의해 다음과 같이 다른 미차 방정식의 형태로 나타내어진다.

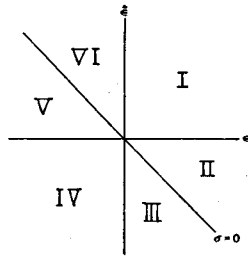


Fig.4. Six regions of phase plane.

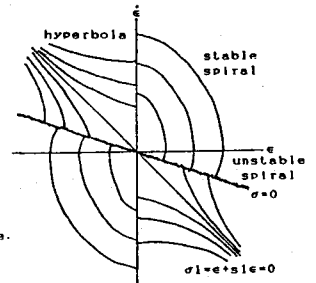


Fig.5. Phase trajectories of system.

1) 영역 I, IV : $\Phi_1=1, \Phi_2=1$
 $\tau \ddot{e} + (1 + KK_p A_2) \dot{e} + KK_p A_1 e = 0$
 이 영역에서 안정 나선 궤적을 만들려면 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$(1 + KK_p A_2) < 4KK_p A_1 \tau$$

2) 영역 II, V : $\Phi_1=1, \Phi_2=-1$
 $\tau \ddot{e} + (1 - KK_p A_2) \dot{e} + KK_p A_1 e = 0$
 이 영역은 응답 속도를 개선하기 위해 비안정 나선 궤적을 만들려면 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} (1 - KK_p A_2) < 4KK_p A_1 \tau \\ (1 - KK_p A_2) < 0 \end{aligned}$$

3) 영역 III, VI : $\Phi_1=-1, \Phi_2=1$
 $\tau \ddot{e} + (1 + KK_p A_2) \dot{e} - KK_p A_1 e = 0$
 이 영역에서 특성방정식의 근들은 다른 부호를 갖는 실값($s_1 < 0 < s_2$)이 된다. 그러므로 상태 궤적은 두개의 점근선 $\sigma_1 = \dot{e} + s_1 e = 0, \sigma_2 = \dot{e} + s_2 e = 0$ 을 갖는 쌍곡선을 이루게된다.

각 영역들의 전체 상태 궤적을 그림5에 나타내었다. 즉, 시스템의 e, \dot{e} 가 시간에 따라 이 궤적을 운행한다 고 볼 수 있는데 만일 현재의 상태가 영역 II(또는 영역 V)에서 스윗칭 직선을 만나게 되면 시스템의 구조가 순간적으로 나선궤적에서 쌍곡선 궤적으로 바뀌고 또는 그 역으로 쌍곡선 궤적에서 나선 궤적으로 바뀌게 된다. 이러한 방법으로 나선과 쌍곡선의 궤적이 스윗칭 직선에 대해 반대 방향을 이루고 있으므로 결과적으로 시스템의 상태가 이 스윗칭 직선을 따라 원점으로 움직이게 된다. 이러한 방법을 보통 슬라이딩 모드라 부른다.

4. 제어 프로그램.

가변 구조 이론을 적용시킨 제어 프로그램을 그림6에 나타내었다. 초기화 프로그램은 스택을 초기화 시키고 인터페이스 소자의 모드를 설정하고 키보드로부터 기준 위치 입력을 받는 프로그램으로 구성되었다. 기준값 입력 프로그램은 속도 루프 이득 A1, 위치 루프 이득 A2, 스윗칭 직선의 기울기 결정하는 상수 c 등의 제어 파라미터를 포함한다. 그 다음 8253소자에서 인터럽트를 1ms마다 Z-80A에 걸면 그때마다 속도 카운터와 위치 카운터의 값을 입력해 드린다. 이 제한된 입력값과 기준입력을 비교하여 에러 e, \dot{e} 가 결정되고, 그에 따라 Φ_1, Φ_2 의 값이 결정된다.

그러면 제어 신호 $e(t) = A_1\phi_1\epsilon + A_2\phi_2\dot{\epsilon}$ 에 의해 PWM이 발생되고 이 것이 트리거 회로를 제어하게 된다.

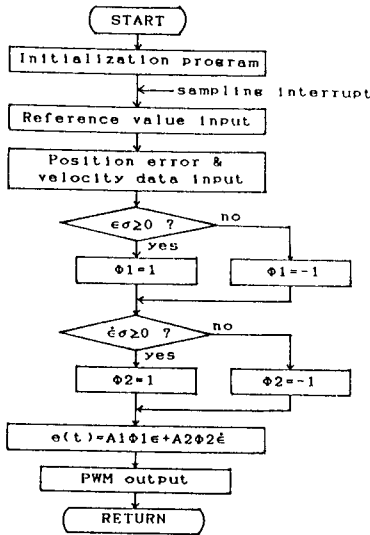


그림 6. 가변 구조 제어 프로그램의 흐름도.
Fig. 6. Flow chart of control program.

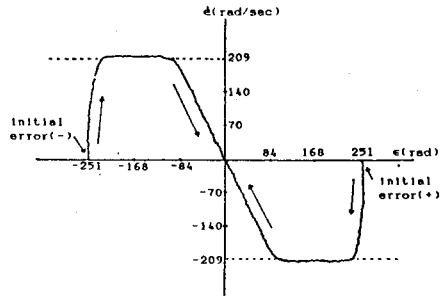


그림 7. 시간에 대한 시스템의 에러 상태 변화.
Fig. 7. Phase trajectory of VSS.

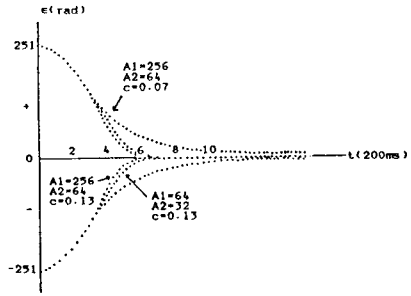


그림 8. 가변 구조 제어 시스템의 계단 응답.
Fig. 8. Step response of VSS.

5. 실험 결과 및 고찰.

직류 전동기 서버보 시스템을 구성하여 실험을 하였다. 그림 7에는 시간에 따라 시스템의 에러 ϵ , $\dot{\epsilon}$ 의 상태 변화에 따른 궤적을 나타내었고 그림 8에는 속도 루프 이득 A_1 , 위치 루프 이득 A_2 , 상수 c 를 변화 시켜가며 가변 구조 제어 시스템의 계단 함수 응답을 보였다. 그 결과 VSS는 시스템을 고정시킨 제어 시스템의 특성에 비해 오버 슈우트가 없는 빠른 응답과 정상 상태에서 좋은 정확성을 보이고 있다. 또한 제어 파라미터 이득 A_1, A_2 나 상수 c 의 변화 예도 높고하고 위치 오차가 영으로 수렴하는 것을 보이고 있어 VSS가 불감성을 지니고 있음을 보여주고 있다. 이와 같이 가변 구조 제어가 오버 슈우트가 없이 빠른 응답을 보이는 이유는 슬라이딩 모드 동작에 의한 것이다. 즉 이론적으로 여러 평면($\epsilon, \dot{\epsilon}$)에서 현재의 상태값이 스윙칭 직선을 통과할 때 시스템의 구조가 순간적으로 바뀌어 그 움직임이 $\dot{\epsilon} + c\epsilon = 0$ 로 설명되므로 이 일차 방정식에 의해 오버 슈우트가 없음을 보장되고 또한 이득 A_1, A_2 나 상수 c 를 크게 함으로써 더 빠른 응답을 얻을 수 있다. 실제의 경우에는 스윙칭이 이루어지는데 시간 지연이 존재하여 스윙칭 직선을 따라 작은 진동의 원인이 된다. 만일 이 시간 지연이 심하지 않다면 슬라이딩 모드는 이론적인 경우와 같이 계속 유효하다. 본 논문에서는 이것을 확인 할 수 있었다.

6. 결론.

본 논문에서는 마이크로 프로세서를 이용하여 인크리멘탈 서버보 시스템을 꾸며 가변 구조 제어 이론을 적용시켜 보였다. 그 결과 시스템이 오버 슈우트가 없는 빠른 응답 특성과 파라미터의 변동에 대해 불감도를 갖는 특성을

보였다. 또한 간단한 프로그램으로 제어가 간단하여 샘플링 인터럽트 시간을 줄일 수 있어 원하는 결과에 빠르고 정확하게 도달되는 것을 보였다. 즉 본 방법은 인크리멘탈 서버보 시스템에 대해 강력한 제어 능력을 갖고 있으며 앞으로 이를 바탕으로 비선형 서버보 제어기의 더 큰 발전이 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) P.M. Derusso, R.J. Roy & C.H. Close, "State Variables for Engineers", John Wiley & sons, 1965
- (2) S.C. Lin & S.J. Tsai, "A Microprocessor-Based Incremental Servo System with Variable Structure", IEEE Trans. I.E, vol. I E-31, no. 4, pp. 313-316, NOV. 1984
- (3) V.I. Utkin, "Variable structure systems with sliding mode s" IEEE Trans. Auto. Cont., vol. AC-22, no. 2, pp. 212-222, APR. 1977
- (4) Carl T. Helmers, "Robotics age-in the beginning", N.J. Hayden book Inc. 1983
- (5) Benjamin C. Kuo & Jacop Ta1, "Incremental Motion Control Systems", SRL Publishing Company, 1978