

교류서보계의 궤환제어 구현

전 삼석* 박 찬원**

*한국폴리텍1대학 전기계측제어과 **강원대학교 전기공학과

Implementation of Feedback Controller on the Servo System

Sam-Suk Chun* Chan-Won Park**

*Korea Polytechnic I College **Dep. of Elec. Eng. Kang Won University

Abstract - In the mechanical system, optimization of motion control is very essential in the aspect of automation technique progress.

In the servo system, the function of controller is very important but most of the controllers have played only the role of pulse generator because the controller with main function is very expensive.

In this thesis, the system was composed of PC, commonly used driver AC servo motor and a produced control board. The PC transmit a gain, a locus data to a driver and controller. At the same time, it converts information from the controller and convert them into data and offer an output with graph. The role of a controller is to transmit a locus data to a driver and counting the pulse on the phase of an encoder to the PC. We have performed the experiment in order to confirm with variable PID parameter capable of the optimization of gain tuning with the counting of feedback control sensor signal with regard to the external interface into the system, such as torque.

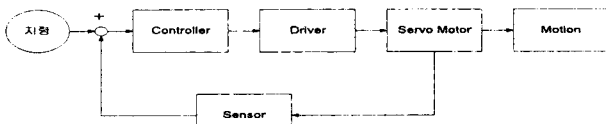
Based on the experiment result, we have confirmed as follows:

First, it was confirmed that we could easily input control factors K_P, K_I into PC. Second, not only pulse generator function was possible, but with this pulse it was also possible to count using software with PIC chip. And third, using the multi-purpose PIC micro chip, simple operation and the formation of small size AC Servo Controller was possible.

1. 서 론

현재 기계 시스템의 모션(motion)제어를 최적화 시키기 위한 각종 제어법 및 전동기 주체의 서보기구 제어용 센서(sensor)등이 개발되어 산업계에 적용되고 있다. 모션(motion) 제어의 액추에이터(actuator)인 서보 전동기(servo motor)와 궤환 센서(feed back sensor), 컴퓨터의 고성능화는 1980년대 들어 복잡한 기계시스템의 위치와 속도제어를 안정화시켜 나가고 있다. 특히 직류 서보 전동기는 브러쉬(brush)전극을 교체해야 하므로 점진적으로 이 부분에서 문제가 적은 교류 서보 전동기가 급속히 성장하고 있다.

전동기의 제어는 위치 결정 정밀도, 응답속도, 외력등에 따라 제어 센서의 피드백을 받지 않는 오픈 루프(open loop)제어계와 피드백을 받는 클로즈드 루프(closed loop)제어계로 나누어 진다. 특히 외란에 의한 시스템의 가용성(flexibility)을 광범위하게 적용 제어하기 위해서는 필히 제어용 센서에서 보내지는 가변 피드백 신호를 보정할 수 있는 클로즈드 루프 제어를 행하여야 한다. 그 시스템 블록 선도는 다음과 같다.



<그림 1-1> 시스템 블록도.

본 논문에서는 FA(Factory Automation)를 비롯 각종 제어 구동원으로부터 사용되고 있는 SM(Synchronous Motor)형 AC서보 전동기를 제어하기 위한 컨트롤러 구현에 대해 연구하였다.

그림 1-1에서 보듯이 컨트롤러는 센서에서 나오는 신호량을 제어 알고리즘에 의해 보정한 제어 지령치를 드라이버로 보내주어 시스템의 모션(motion)을 최적화하여야 한다. 그러나 실제 언급한 본 기능을 하는 컨트롤러는 매우 고가여서 산업계에서 활용되고 있는 컨트롤러는 대부분 펄스 제너레이터(pulse generator)의 역할을 수행할 뿐, 드라이버(driver)가 피드백된 신호를 보정 제어하여 시스템을 제어한다.

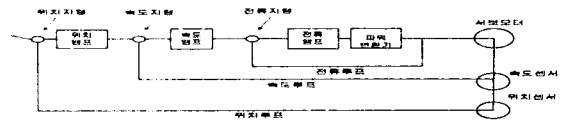
본 논문에서는 시스템에 가해지는 토크(torque)등 외란에 대해 제어 센서에서 피드백된 신호를 카운트(count)하여 이득 조정(gain tuning)을 최적화할 수 있는 컨트롤러를 구현 하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 펄스를 발생시키고 피드백 신호를 카운트하기 위한 알고리즘과 이를 구현한 회로의 설계는 필수적이다.

2. 본 론

2.1. 교류 서보 시스템

2.1.1. 교류 서보 드라이버

서보 전동기가 지령치 만큼의 회전각과 회전속도로 운전하기 위한 전력(power)을 공급하는 장치인 서보 드라이버의 기본 블록도(block diagram)와 제어 블록도는 그림 2-1과 같으며, 일반적으로 서보 전동기 용량에 따라 제품화된 서보 드라이버를 선택하여 사용하고 있으며, 기본 블록도는 그림 2-1과 같다.



<그림 2-1> 서보 드라이버의 기본 블록도.

서보드라이버의 제어 블록도로서 주요 전원 회로도는 파워부를 포함, 속도 검출회로와 전류 분배 신호 발생회로가 있다.

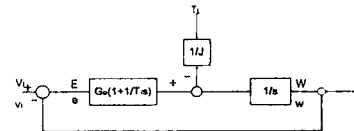
2.1.2 교류서보 컨트롤러

서보 컨트롤러는 서보 드라이버에 펄스 지령치를 내리고 센서에서 나오는 인코더(encoder)출력을 카운트하여 지령치와의 오차에 대한 보정치를 서보 드라이버에 반영한다. 서보 전동기 및 서보 드라이버 사양과 사용하고자 하는 목적 등에 따라 다양한 컨트롤러가 개발되어져 왔다. 그러나 통상 사용되는 컨트롤러는 단지 드라이버에 펄스 지령만 수행하고 있다. 보정기능을 갖춘 컨트롤러는 비교적 가격이 고가여서 널리 사용되어지지 못하고 있다.

본 논문에서는 펄스 즉 궤적 데이터를 지령하고 이 지령치가 제대로 수행되었는지 결과치를 확인하기 위해 인코더 출력 펄스 수를 카운트할 수 있는 배이스용 컨트롤러를 구현하고 이의 실용성을 확인한다.

2.2. PI 제어 이론

정상 부하가 있는 경우 정상편차가 생겨서 지령값대로의 속도를 얻을 수 없다는 것을 알았다. 부하의 크기가 변할 때마다 속도가 변하게 되어, 제어가 되지 못하는 경우 목적인 속도를 얻기 위해 비례요소 뿐만 아니라 적분요소 요소에 적분요소를 추가한 후, 이를 직결 피드백과 하면 그림 2-2과 같은 PI제어계가 된다.



<그림 2-2> 부하가 있는 직결 피드백 블록도

이계의 전달함수는 식 (2-1)과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$G_T(s) = \frac{\omega_n(2\zeta - \beta)s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.1)$$

$$= \frac{\omega_n(2\zeta - \beta)s}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} + \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

이계의 step응답은 식 (2-2)와 같다.

$$W(s) = G_T(s) V_i, \quad V_i(s) = \frac{V_0}{s}$$

$$= \frac{\omega_n(2\zeta - \beta)s}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \cdot \frac{V_0}{s} + \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \cdot \frac{V_0}{s} \quad (2-2)$$

식 (2-2)를 역변환하면 식(2-3)과 같이 된다.

$$w(t) = A(e^{-\beta t} - e^{-\zeta t}) \quad (2-3)$$

즉 정상부하 토크 T_L 이 있어도 정상 편차는 0이 되고, 지령대로의 속도를 얻을 수 있게 된다. 이것이 속도옴프에 적분항을 넣는 이유이며, 적분상수를 크게 하면 기동시에 속도가 오버 슈트(overshoot)하기 쉬움을 알 수 있으며, 이와 같은 경우는 ζ 의 값을 크게 해줄 필요가 있다.

3. 컨트롤러의 설계

앞장에서 언급한 제어 알고리즘을 구현할 수 있는 컨트롤러를 설계하여 이의 성능을 실험을 통해 구현하여 본다.

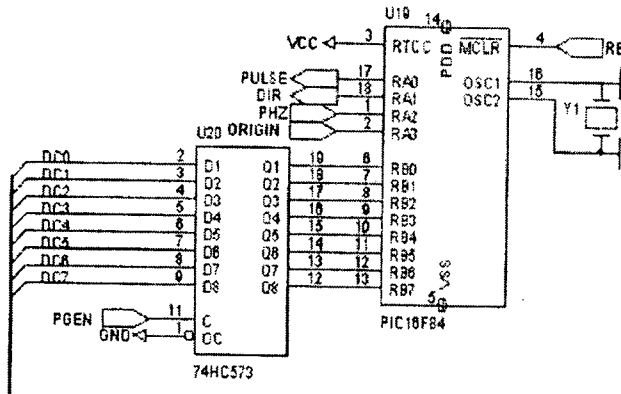
3-1. 컨트롤러의 구성과 기능

컴퓨터는 드라이버와 컨트롤러로 게인(gain), 제적 데이터를 전송하고, 컨트롤러로부터 모터의 정보를 수신, 데이터로 전환하여 그래프로 출력한다. 컨트롤러는 드라이버로 제적 데이터를 전송하고, 인코더(encoder)상을 펄스 카운팅(counting)하여 컴퓨터로 전송한다.

3-2. 컨트롤 보드(CONTROL BOARD)의 설계

컨트롤 보드는 크게 펄스 제너레이터(pulse generator)와 펄스 카운터(pulse counter)로 구성되어 있다. 사용 CPU는 범용적인 PIC16F84, PIC16C54칩을 사용하였다.

(1) 펄스 제너레이터



<그림 3-1> 펄스 제너레이터 회로도

펄스 제너레이터의 기능과 구성을 보면, 컴퓨터에서 위치지령을 보내면 이를 인터럽트(interrupt) 받아 펄스지령으로 변환한 후 드라이버(driver)에 출력한다. 펄스 출력을 완료한 후에는 일정시간(150msec)을 기다린다.

펄스제너레이터(puls generator)부의 회로도로서 74HC153은 위치지령 데이터의 레지(latch)역활을 하고, PIC16F84에서 변환과 펄스 발생 역할을 한다. 펄스의 기능은 크게 두가지 형태로 나누어야 하는데, 모터의 회전 방향 펄스와 위치펄스로 각 기능을 맡게 된다.

(2) Pulse Counter 하부

펄스 카운터(pulse counter)는 모터에 부착된 인코더(encoder)에서 나오는 펄스를 입력으로 받아, 카운팅을 하여 컴퓨터로 데이터를 보내는 역할을 하며, 원리는 회전식 옵티컬 인코더(optical encoder)를 통해 회전속도를 검출하는 방법으로 펄스 카운트 방식은 회전속도 뿐만 아니라 회전위치 검출 방법으로도 많이 쓰인다.

펄스카운터는 크게 두부분 즉 물리카운터부(pulse counter 하부)와 논리 카운터부(pulse counter 상부)로 나누는데, 그 이유는 펄스 카운팅을 소프트웨어(software)적으로 처리하다 보니 카운터의 수행속도가 늦어 그의 보완으로 나누게 되었다.

(3) Pulse Counter 상부

펄스 카운터(pulse count)상부는 PIC16F84로 구성하였으며, 이유는 카운트 수행 속도 체크와 LCD 디스플레이(display)부를 구성하기 위해 인터럽트가 필요하기 때문이다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험은 장비를 구성하여 최적의 게인(gain)값을 설정하는 실험으로, 먼저 속도를 500kpps로 하고 목표 위치를 500pulse로 한 다음 입력 게인 K_P (비례상수), K_I (적분상수), K_D (미분상수)를 변경하면서 실험을 해 보았다.

4-1. 제 1차 실험

입력치:비례 Gain 상수, $K_p=1000$, 적분 상수, $K_i=1000$, 미분 상수 $K_d=5000$

결과 분석:

설정된 지령치에 대해 오버 슈트(overshoot)량이 매우크고, 안정화 시간도 매우 길어 앞 부분에 진동 파형이 크게 나타나고, 시간이 지남에 따라 진동 파형은 서서히 없어지면서 목표 위치에 도달하는 것을 볼 수 있다. 여기에서 설정된 값으로는 적절한 제어가 될 수 없다고 보여지므로 K_I 값을 늘려 본다.

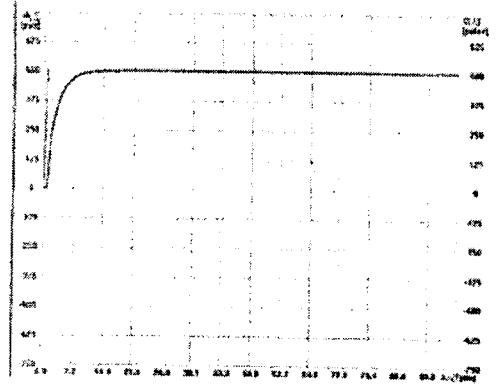
4-2. 2차 실험

입력치 비례 GAIN 상수 $K_p=1000$
적분 상수: $K_i=4000$, $K_d=5000$

결과 분석: 예상 했던 대로 목표 위치에 도달하는 시간이 많이 빨라졌다. 하지만 진동은 더 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 여기에서 K_d 값을 줄여 봤다. 왜냐하면 오버 슈트(overshoot)의 원인은 적분상수나 미분상수가 지나치게 클 때 나타난다.

4-3. 3차 실험

입력치 비례 GAIN 상수 $K_p=1000$
적분 상수: $K_i=4000$, $K_d=100$



<그림 4-1> 3차실험 제적 데이터.

실험 결과 : 완벽하지는 않지만 진동 현상도 사라졌고, 상당히 양호하게 목표 위치에 접근함을 알 수 있어 적절한 피드백 제어가 되었음을 제적 데이터로 확인할 수 있다.

위 실험으로 이 시스템에 적당한 PID 게인값이 각각 1000, 4000, 100이라는 것을 알 수 있었다.

제 5 장 결 론

기계 시스템의 모션(motion) 제어를 최적화 시키는 것은 정밀한 자동화 제어기술의 향상 측면에서 중요한 과제라고 볼 수 있다. 본 논문은 서보 시스템중 최근 직류 서보 전동기 대신 많이 이용되고 있는 교류 서보 전동기중에서 SM형 교류 서보 전동기의 피드백 컨트롤러를 구현함에 있다.

산업계에서 사용되는 단순한 펄스 제너레이터 역할 뿐인 컨트롤러에서 펄스 발생과 함께 센서에서 피드백된 신호를 카운트하여 게인 튜닝을 최적화하고 PC상에서 제어 파라메타를 변화 시킬 수 있는 컨트롤러의 구현에 그 목적을 두고 있다.

본 실험은 구현된 컨트롤러를 이용하여 첫째, 시스템 제어 파라메타(parameter)인 PID 게인상수 K_p , K_i , K_d 를 여러 차례 반복 입력하여 그 변화를 관찰해 본 결과, PC상에서 편리하게 상수를 입력하여 지령치에 대한 목표치의 제적을 추적 확인할 수 있는 PC 베이스용 AC서보 컨트롤러를 구현하였고, 둘째 이 컨트롤러는 펄스 제너레이터의 기능을 할 뿐 아니라, 원칩을 이용하여 펄스를 계수하는 방법을 구현하였으며, 셋째 쉽게 조작 가능한 소형 AC서보 컨트롤러를 실현하였다. 그러나 다양한 파형의 표현과 상수 입력 방식에는 한계가 있었다.

향후 PC상에 입력 방식을 더욱 다양하고 편리하게 할 수 있는 연구가 계속적으로 이루어져야 하며, 다축 컨트롤도 가능하도록 해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

1. 韓國能率協會編輯部, SERVO力學과 基礎(SERVO理論), pp. 79 - 81, 1997
2. Hong-Hee Lee, Improvement of the system Dynamics for Microprocessor-Based AC servo motors, KIEE, Vol. 43, No. 12, 1994
3. Won-Seok Oh, Yoon-Jong Lee, Implementation of an Adaptive controller for servo motor, KIEE, Vol. 42, No. 12, 1993
4. 機械設計, Controller의 분류와 특징, Vol. 9, No. 2, pp. 77-79, 1994
5. 이문기, MICROCOMPUTER 應用 計測 回路, 技術硏究社, pp. 97-104 1986
6. Clark,D.W and J.P Gawthrop, Self-tuning controller, Proc. IEEE, Vol. 122, pp. 926-930, 1975
7. B.K Bose, Power electronic and AC drive, Prentice Hall, 1986
8. 韓國能率協會編輯部, SERVO力學과 基礎, pp. 85 - 86, 1997
9. Hyang-Soo Kang, Hai-Won Yang, A Study on the Speed Control of a DC Servo Motor by the Pole-Placement PID Self Tuning Control Method, KIEE, Vol.37, No. 9, 1988
10. 金東和, 自動化工程制御, 技多利, pp. 305-313, 1998.