

안 미 랑, 김 종 수, 김 영 석, 조 기 언  
한국 전기 연구소, 전력 전자 연구실

A Position Control System of D.C. Motor Using Microprocessor

Mirang An, Jongsoo Kim, Youngseok Kim, Keeyeon Joe

Power Electronics Lab., Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

A design of digital position control system with DC Motor is presented. The digital position control system is constructed by power circuits, interface circuits and control circuits using single chip microprocessor (8096). All control functions are implemented on the 16 bit microprocessor requiring only on incremental encoder for speed and position sensing. The control schemes are used by the proportional control for some modifications and braking algorithms. This digital position system offered to the fast response, good steady-state accuracy, flexibility and reliability. Hardware, software features and experimental results of this system are described.

1. 서 론

최근 마이크로프로세서의 급속한 발전에 따라 위치 제어 시스템에 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어 방식을 도입하여 시스템의 신뢰성 및 유연성등의 효과를 증대시키고 있다. 이러한 추세에 따라, 본 연구에서는 16 비트 마이크로프로세서(8096)를 적용하여 고속응답, 고정도의 제어성능을 얻을 수 있는 직류전동기의 디지털 위치제어 및 제어알고리즘을 설계하였다. (3) (4) (5)

본 시스템에서는 여자전압을 일정으로 하고, 전기자 전압을 마이크로프로세서의 PWM (Pulse Width Modulation) 출력신호에 의해 가변하므로써 전동기의 속도제어를 행하고 있다. 또한 마이크로프로세서는 목표지와 위치센서에 의한 검출지와의 위치편차를 연산하며, 그 크기에 따라 비례제어 및 제동 알고리즘을 실현하여 위치를 제어하고 있다.

여기에서는 직류전동기의 위치제어 시스템 구성을 살펴보고, 이에 제어알고리즘을 적용하여 얻어진 실험결과가 제시되고 있다.

합결과가 제시되고 있다.

2. 위치제어 시스템

2.1 시스템 구성

마이크로프로세서를 적용한 직류전동기 디지털 위치제어 시스템 구성은 그림1과 같다. 이 시스템은 전동기 구동회로, 제어회로, 위치센서 및 인터페이스 회로로 구성된다. 그림 1에서 엔코더에 의해 이동방향 및 위치를 검출하며, 마이크로프로세서에 의해 목표지와 현재 위치와의 위치편차를 연산하여 정, 역의 방향신호와 PWM 신호를 발생한다. PWM 신호는 고정 주파수 15.6 KHz 이며, 가변 듀티사이클 펄스를 256 스텝의 직류전압 레벨로 변환하여 직류전동기에 인가된다. 또한 Photo-isolation Amplifier로 제어 시스템과 전동기 구동전원을 분리시키고 있다.

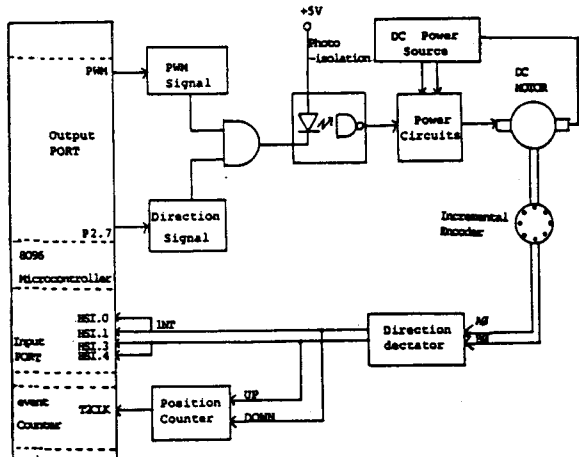


그림 1. 마이크로프로세서를 이용한 위치제어 시스템 개요

1) 전동기 구동회로

본 시스템에서는 여자를 일정으로 하고, 전기자 전압을 가변하여 직류전동기의 속도를 제어하며, 구동회로는 그림 2 와 같다. 그림 2에서 전압증폭을 위해서 고속 스위칭 소자인 MOS FET를 사용하였다. 이때 마이크로프로세서의 방향신호에 의해 정방향인 경우는 N채널 FET가, 역방향인 경우는 P채널 FET가 선택되며, PWM신호는 FET의 게이트에 인가된다. 이 게이트 신호에 의해 속도 제어를 행하고 있다.

2) 제어 회로

제어회로는 16 비트 CPU, 고속 I/O 기능, ROM ( 8K byte ), RAM ( 232 byte ), 인터럽트 기능, 고속산술 (arithmetic) 및 데이터 신호처리 기능을 지닌 다양하고 강력한 싱글 칩 마이크로프로세서(8096)로 구성되었다. 또한 위치피이드백 센서로는 전동기 샤프트에 부착된 인크리멘탈 엔코더 (500 pulse /1 revolution)를 사용하였다.

마이크로프로세서의 역할로는 목표위치 및 회전 방향을 지정하게 된다. 또한 엔코더에 의해서 피이드백된 펄스신호를 카운터하고, 이 카운터된 검출치를 지정치와의 위치편차의 크기에 따라서 PWM 전압신호를 출력하게 된다.

위치피이드백 센서인 인크리멘탈 엔코더의 출력 펄스는 그림 3과 같이 위상차가 90°인 두 채널로 구성되었으며, 이는 속도, 위치 및 회전방향에 대한 정보를 제공한다. 그림 3에 나타난 엔코더 펄스는 마이크로프로세서의 입력측에서 받아들여지고, 이를 일정시간 동안, 펄스수를 회전방향 신호에 따라 업.다운 카운터를 함으로써 속도와 위치정보를 얻게된다. 또한 회전방향 및 방향전환 상태를 판단하기 위해서, 그림 3의 Aφ, Bφ 펄스를 A'φ, B'φ 펄스로 변환한후 이를 다시 Bφ, A'φ 펄스를 XOR를 위한 펄스상태로 만든다. 따라서, 마이크로프로세서의 입력측에서는 이러한 펄스상태로부터 각각 정,역 방향을 판단하게 된다.

3. 위치제어 알고리즘

직류전동기의 위치제어를 위한 알고리즘에 대해서

설명하고자 한다. 전체 프로그램은 일정주기마다 발생하는 인터럽트에 의해서 구동된다. 즉, 마이크로프로세서의 타이머는 엔코더로부터 속도 및 위치신호를 샘플하기 위해서 일정주기마다 인터럽트 신호를 발생한다. 위치제어 알고리즘은 전동기 속도를 검출하는 루틴과 위치편차에 의해서 결정된 전기자전압을 출력시키는 루틴으로 나누어서 실행된다.

3.1 전동기 속도검출 알고리즘

이 알고리즘에서는 전동기 속도의 가감속을 고려하여, 샘플링주기 (0.6ms) 동안 엔코더로부터 펄스수를 카운터하는 방법과 엔코더 펄스주기내의 클럭수를 카운터하는 방법을 사용해서 전동기 속도를 검출하게 되어있다. 고속 운전시에는 그림 4- a) 와 같이 샘플링 주기 (  $T_s$  ) 동안에 들어오는 펄스수를 카운터하게 되어있다. 그러나, 저속 운전시에는 샘플링 주기 내에 들어오는 펄스수가 적어 위치 측정오차가 크게 된

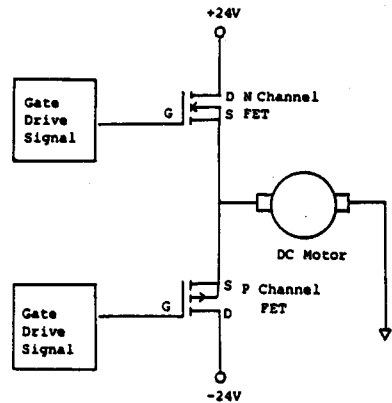


그림 2. 구동 회로도

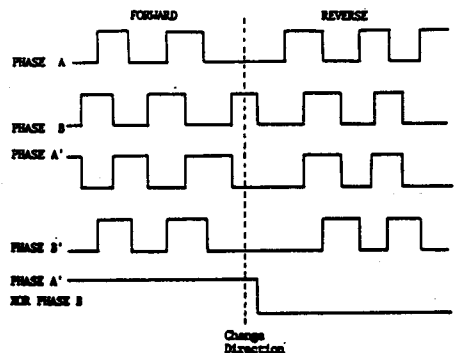


그림 3. 엔코더 출력파형 형태

다. 따라서, 이때는 그림 4-b)와 같이 엔코더 출력파형의 일정주기 내에 들어오는 고정주기 클럭(2us) 갯수를 카운터하는 방법을 택하였다. 이에 대한 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다.

### 3.2 전동기 구동 알고리즘

전동기 구동을 위해서 인가될 전압을 연산하는 루틴으로서, 샘플링주기 (1.2ms) 동안에 속도검출 루틴에 의해서 결정된 방향 및 위치신호에 의해 위치편차를 연산하게 된다. 이때 비례제어 및 제동 특성을 고려한 방향신호와 위치편차 크기에 따라 결정된 전압을 PWM 신호로 출력시킨다. 위치제어 방법으로는 위치편차 크기에 따라 기동시, 정속회전시 및 제동시로 나누어지고 이들을 제어함으로써 고속위치 결정이 가능하게 된다. 전동기 기동시는 정속회전시와 같은 속도로 설정하고 위치편차에 비례한 일정전압( $V_a$ )이 전동기에 인가된다.

제동시 전동기는 관성에 의해서 상당시간 동안 회전을 하기 때문에 감속계시점 및 감속과정이 위치 결정의 정확어부에 크게 영향을 준다. 따라서, 전동기의 제동방법은 목표위치 이전에 현재 회전방향과는 반대인 역전압을 인가한다. 또한 목표지 근처에서는 저속으로 구동되기 때문에 위치편차가 적게되어 비례 제어만으로는 안호한 동작을 얻을 수 없기 때문에 적분제어 기능을 적용하였다. 이때 전압  $V_a = K(\theta_e + K_i)$  로 연산되어 진다. 여기서  $K_i$ 는 위치편차  $\theta_e$ 의 속도의 적분항이며, 목표지 근처에서 전동기가 정지되는 경우를 고려하여 정확하게 목표지까지 회전이동시킴으로써 정상상태 오차를 줄일 수 있게 된다.

이 제어 알고리즘의 흐름도는 그림 6과 같다.

### 4. 실험결과

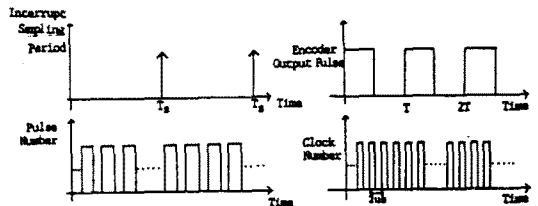
실험에 사용된 전동기의 정격과 정수는 다음과 같다.

- 입력출력 : 12 [watt]
- 정격전기차 전압 : 24 [V]
- 정격전기차 전류 : 1.25 [A]
- 정격토크 : 0.36 [Kg.Cm]
- 전기자 저항 : 8.7 [ $\Omega$ ]
- 전기자 리액턴스 : 0.9 [mH]
- 회전사 관성계수 : 0.0186 [Kg.Cm<sup>2</sup>]
- 노르코 정수 : 0.31 [Kg.Cm/A]
- 유기전압상수 : 0.03 [V.S/rad]
- 제동정수 : 0.113 [Kg.Cm/krpm]

그림 7은 위치제어 시스템으로 구성된 알고리즘에 의해서 실행된 위치, 전기자전압 및 속도파형으로서, 위치 검출은 D/A 컨버터 회로로, 속도검출은 F/V 변환회로를 사용하여 측정할 결과지이다.

그림 7-a)는 목표치  $\theta_{ref} = 2040^\circ$ 인 경우의 위치 측정파형이다. 이 파형은 전기자전압을 제어함으로써 정확하게 목표지에 도달하는 것을 알 수 있다.

그림 7-b)는 전기자전압  $V_a = 4$  [V]로 인가한 경우의 전압측정 파형이다. 여기에서는 전압이 4[V]인 경우를 측정하였으나, 실제 정격전압을 인가하는 경우



a) 고속 운전시                      b) 저속 운전시

그림 4. 속도검출 방법

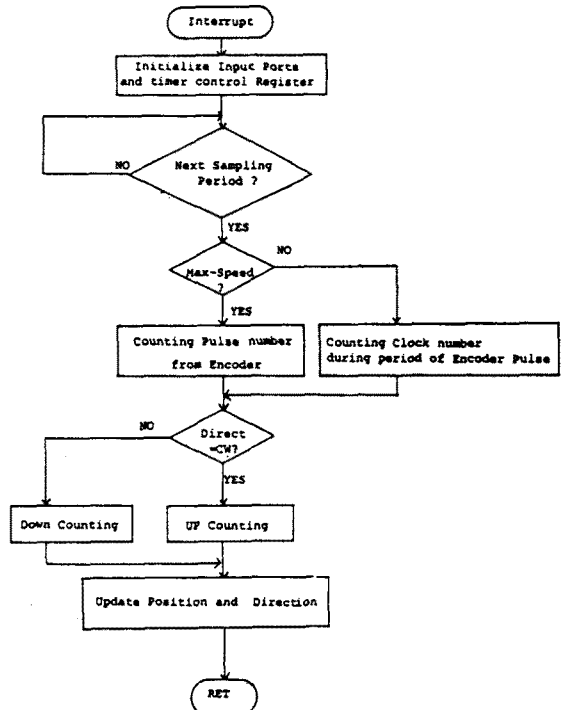


그림 5. 속도검출 방법의 흐름도

# 마이크로 프로세서를 이용한 직류전동기의 위치 제어 시스템

에도 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때의 전압파형 리플은 직류측의 필터로서 사용된 커패시터(0.33μF)가 작기때문에 발생하는 전원전압리플에 의한 현상이다.

그림 7-c)는 속도ω=500 [rpm]인 경우의 측정 파형이다. 이 파형의 맥동현상은 전원전압의 리플에 의한 영향으로 나타난다. 이 파형에서는, 정속구동을 행한 후에 제동시에 가한 역전압에 의해서 속도가 점차 감소하게 되면서 목표지에서 정지하고 있다. 따라서, 본 실험을 통해서 고속응답 및 고정도의 위치결정이 가능함을 알 수 있었다.

## 5. 결론

직류전동기의 디지털 위치제어 시스템을 구성하고 제어알고리즘을 설계하였다. 제어회로는 16비트 싱글 칩 마이크로프로세서를 적용하였으며, 전동기의 구동회로의 스위칭소자로는 MOS FET를 사용하였다.

위치제어 알고리즘은 전동기 속도검출 알고리즘과 전동기 구동 알고리즘으로 구성하였다. 속도검출 알고리즘은 저속시와 고속시를 구별하여 행하였다. 전동기 구동알고리즘은 기동 및 정속구동시에는 일정전압을 인가하였고, 제동시에는 역전압을 인가하여 감속시켰으며 목표지 근처에서는 속도에 대한 PI제어를 행하여 목표위치에 정확하게 정지시키도록 하였다.

이러한 제어 알고리즘을 적용하여 얻어진 실험결과에 의해 고속응답, 고정도의 위치제어가 가능함을 확인하였다.

금후 제동시점에 대한 이론적 고찰 및 시스템의 안정도에 대한 검토를 행할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] A.K.Lin and W.W. Koepsel, " A Microprocessor Speed Control System," IEEE Trans. Ind. Electro. and Cont. Instru., Vol. IECI-24, No. 3, PP241-247, Aug. 1977.
- [2] Philippe Mota, Jean Pierre Rognon, and Hong Le-Huy, " Digital Position Servo System : A State Variable Feedback System," IEEE Trans. Ind. Appli., Vol. IA-20, No. 6, PP1473-1481, NOV./DEC. 1984.
- [3] Paul Katz, " Digital Control Using Microprocessor," : Prentice-Hall International, Inc., 1981.
- [4] 편집부역, " DC 모터의 제어회로 설계 " : 세은출판사, 1985.
- [5] " Application Note 248. Using the 8096", Intel Corp., 1985.

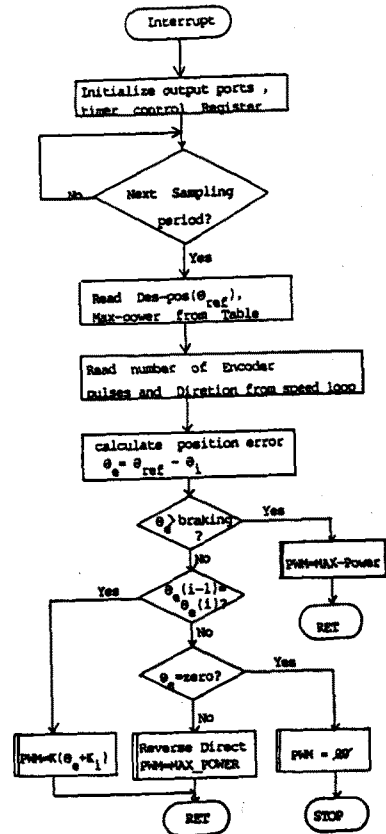


그림 6. 전동기 구동방법의 흐름도

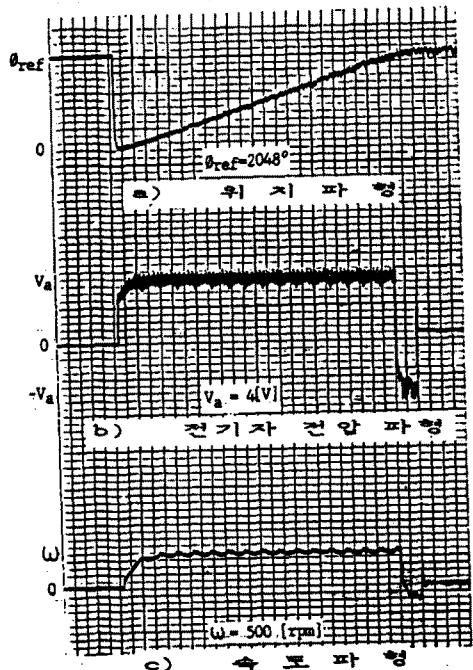


그림 7. 위치, 전기자 전압 및 속도 파형