

TMS320F2812를 이용한 DC모터의 제어

이진표, 양오
청주대학교

The control of DC Motor using TMS320F2812

Jin-Phyo Rhee, Oh Yang
Dept. of electronic Engineering, Chong-Ju University

Abstract - 과거 하나의 시스템을 구축하기 위해서는 여러 개의 주변소자를 접목시켜서 구현해 왔다. 하지만 근래에 들어서 소형화, 간략화를 통해 계속해서 원 칩 마이크로프로세서의 사용이 늘고 있는 실정이다. 본 논문에서는 원 칩 마이크로프로세서인 TMS320F2812의 PWM기능을 이용하고, QEP의 기능을 이용해서 모터에서 출력되는 엔코더 값으로부터 속도를 계측하여 PID 제어이론을 바탕으로 DC 모터의 속도를 제어하였다.

1. 서 론

과거 하나의 시스템을 구축하기 위해서는 여러 개의 주변소자를 구성하여 구현해 왔으나, 근래에 들어서는 하나의 프로세서에 여러 가지 기능이 내장되어 하나의 칩만으로 구현이 가능한 원 칩 프로세서를 지향하는 추세이다. 그러한 칩들 가운데 가장 대표적인 프로세서가 TI사에서 나온 DSP이다. DSP는 각각 시리즈로 구별되어, 목적에 맞도록 여러 가지 기능이 구현되어 있다. 그 중 2000시리즈는 제어를 지향하는 마이크로프로세서로써, PWM(Pulse Width Modulation) 생성 로직 모듈, QEP(Quadrature Encoder Pulse), AD 컨버터, DA컨버터 등의 제어에 관련된 기능이 내장되어 있다. 2812는 150MHz의 시스템 클럭으로 고속 연산이 가능하기 때문에 제어와 관련된 연산을 처리 하는데 탁월한 성능을 발휘한다.

DC모터 제어에서의 PWM은 일정시간 내에 ON되는 시간과 OFF되는 시간을 조절하여 Duty에 따라 속도를 조절하는 기능이고, QEP는 입력되는 펄스의 값을 카운트하는 기능으로 외부의 엔코더에서 발생하는 신호를 측정하는데 사용된다.

DC모터의 경우, 플레밍의 왼손법칙에 따라 전류가 흐르게 되면 회전하게 된다. 하지만 전류의 흐름만으로 모터의 속도를 측정하기 어려우므로 엔코더를 장착하여 속도를 측정하게 된다.

퍼지나 신경망, 유전자(Genetic) 알고리즘과 같은 많은 현대 제어이론이 제안되고 있음에도 불구하고 산업 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 고전적인 비례적분(PI) 제어기나 비례적분미분(PID) 제어기이다. 이러한 제어기들은 그 구조가 간단하고 구현하기 쉬우며, 또한 빠른 응답 특성을 가지기 때문에 여러 분야에서 아직까지 제어기로서 사용되고 있다.[1]

본 논문에서는 QEP기능을 이용하여 모터의 엔코더에서 출력되는 값을 계측하여 모터의 회전속도를 계산하고, 목표 속도와 비교한 값으로 PID 제어기 통해 PWM의 Duty를 조절하여 DC모터의 속도를 제어하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제어 시스템 구성

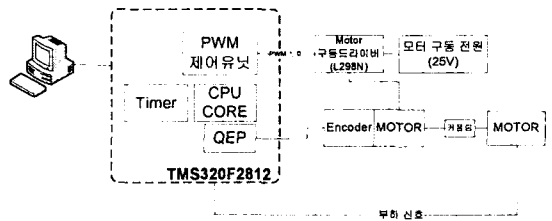


그림 1. DC모터의 속도제어를 하기위한 시스템 구성도

그림 1의 시스템 구성도는 크게 3가지로 분류된다. 첫째로 컴퓨터는 2812의 변수를 모니터링 하고 제어 명령을 내린다. 둘째로 연산을 담당하는 TMS320F2812는 엔코더 신호로부터 속도를 계측하여 PC로부터 받은 기준 값으로 모터의 속도를 제어하는 PWM신호를 만든다. 또한 GPIO를 이용하여 모터에 대한 부하 신호를 ON/OFF 하도록 하였다. 세 번째로 모터 구동부이다. 모터 구동부에서는 DSP로부터 출력되는 PWM 신호에 따라 모터 구동 드라이버에서 모터 구동 전원을 모터에 인가해 준다. 마지막으로 실험대상인 모터는 엔코더 부착형으로 모터의 회전방향 및 속도를 계측할 수 있도록 되어 있으며, 구동용 모터와 부하용 모터서 서로 커플링 되어 있다. 모터는 최고 동작전원이 25V이고, 최고 속도는 3200RPM이며, 엔코더 펄스출력은 1회전 당 432Pulse가 출력된다.

2.2 Encoder를 통한 속도측정

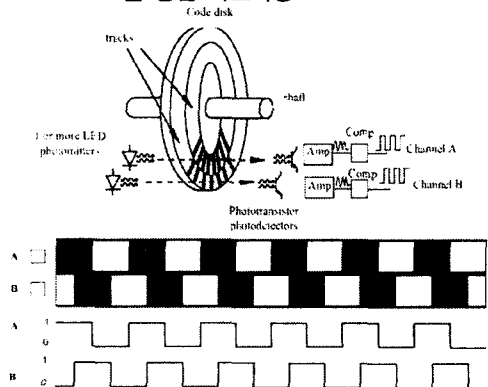


그림 2. Encoder의 구조와 출력펄스

그림 2를 보면 현재 사용되는 엔코더의 특성을 알 수

있다. 그림 2는 엔코더 펄스 출력의 구조이다. 중심축이 모터와 같이 회전하면서 원판의 구멍 사이로 포토다이오드에 의해 펄스파가 만들어진다. 모터의 속도가 빨라지게 되면 펄스파가 더욱 빠르게 출력된다. 두 번째 그림은 출력되는 펄스파의 모양이다. A는 안쪽에 있는 포토다이오드에 의한 출력이고, B는 바깥쪽 포토다이오드의 출력이다. 또한, A와 B중에 먼저 출력되는 순서에 따라 모터의 방향 확인이 가능하다.

QEP의 동작으로는 모터에서 출력되는 펄스의 한 번의 변화마다 카운트 값이 1씩 증가하게 된다. A신호와 B신호가 입력되어 들어오고, 각각의 신호가 한 주기 당 2번의(상승과 하강 에지) 변화가 생긴다. 즉, 모터에서 1번의 엔코더 출력이 발생될 때마다 카운터의 값은 4씩 증가하게 된다. 이것을 4체배라고 하며 그림 3에 나타내었다. 본 논문에서 사용되는 모터의 경우, 엔코더 출력이 432P/R 이므로, 카운터의 값은 1회전 시 $432 \times 4 = 1728$ 개만큼 증가하게 된다. 따라서 일정시간동안 증가된 카운터의 값을 계산함으로써 현재 모터의 속도(rpm)를 측정할 수 있다.

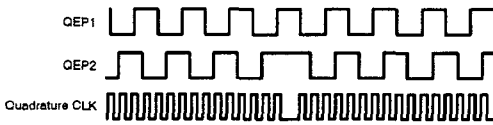


그림 3. QEP에서 4체배 동작

본 논문에서는 RPS를 기준단위로 사용하였으며, RPS는 1초 동안에 모터가 회전한 숫자를 의미한다. 즉, 1초 동안에 1728개의 펄스가 발생하면 1RPS가 된다. 본 논문에서는 엔코더 측정 주기를 10ms로 설정하였으며 10ms동안 1회전 했을 때의 펄스의 수는 다음 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$Pulse = 1728 \times \frac{10}{1000} \text{ [개]} \quad \text{식(1)}$$

$$RPS = 10\text{ms} \text{ 동안 카운트된 값} \times \frac{1}{\frac{432 \times 4}{1000} \times 10} \quad \text{식(2)}$$

즉, 10ms마다 측정된 값을 RPS로 환산하기 위해서는 식(2)와 같이 구해질 수 있으며, 1분은 60초 이므로, RPS의 값에 60을 곱함으로써 식 (3)과 같이 RPM으로 환산할 수 있다.

$$RPM = \text{카운트값} \times \frac{60}{\frac{1728}{1000} \times 10} \quad \text{식(3)}$$

2.3 제어기 설계

모터구동을 위한 PWM은 일정 시간 내에 ON되는 시간과 OFF되는 시간의 비(DUTY)를 조절하여 공급되는 전압의 양을 제어하는 방법이다.

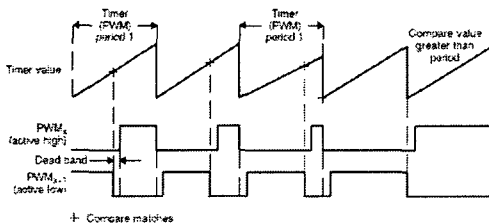


그림 4. PWM의 생성

그림 4와 같이 PWM 파형발생은 카운터와 비교방식을 이용하고 있다. 업 카운트 되는 타이머 카운트 값과

비교되는 값이 Match되면 출력되는 PWM파형이 설정된 옵션에 따라 변한다. 즉, 업 카운트는 고정되어 있고, Match되는 부분의 비교 값을 바꿈으로써 PWM의 DUTY를 조절할 수 있다. DUTY를 조절함으로써 출력되는 전류의 크기를 조절할 수 있다. 본 논문의 PWM의 주기는 20Khz로 설정 하였다. 그 이유는 20hz~20Khz의 경우, 모터의 동작에 특별한 지장이 있는 것은 아니지만 가청주파수이기 때문에 모터에서 공진음이 발생할 수 있기 때문이다.

일반적으로 PID 제어기에서 P제어기는 기준 값에 접근하기 위하여 사용하고, I값은 정상상태에 대한 안전성을 증가시키기 위해 사용하며, D 값은 과도상태를 방지하기 위하여 사용하는 방법이다. 본 논문에서는 PID 이론을 사용하여, DC모터의 속도를 제어하였다.

$$V_{PID} = K_p \cdot E(t) + K_i \int E(t) dt + K_d \cdot \frac{dE(t)}{dt} \quad \text{식(4)}$$

$E(t)$ = 기준 속도 - 계측된 속도

PID 제어기의 수식은 식(4)과 같다. P제어기는 오차와 Kp값을 곱함으로써 정상상태에 접근한다. I제어기는 오차에 대해 연속적인 누적으로 정상상태 오차를 줄이는 역할을 수행하며, D제어기는 순간변화에 비례하는 양으로 부하변동과 같은 과도상태에 대한 빠른 응답 특성을 나타내 준다. 본 논문에서는 여러 번의 시행착오 끝에, Kp값을 0.3, Ki값을 1.0, Kd 값을 400으로 설정하였다.

2.4 실험방법 및 결과

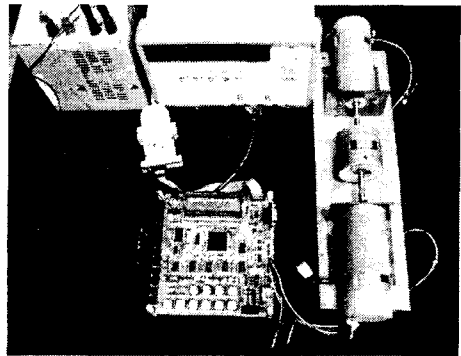


그림 5. 실험사진

그림 5와 같이 시스템을 구축하였다. TMS320F2812 테스트 보드에는 동작전원 5V가 인가되고, 모터에는 보드의 모터구동 드라이버를 통해 25V의 전원이 인가된다. 모터의 인코더 출력 단은 보드의 QEP입력 단에 연결된다. 실험에 대한 순서는 크게 세 단계로 진행하였다. 첫 번째는 모터를 오픈루프 상에서 속도를 증가, 감속을 하였다. PWM의 듀티를 조절함으로써 모터 속도 증가, 감속을 확인하였다. 두 번째로 엔코더 값을 QEP에 의해 읽어오고, 이 값으로부터 모터의 회전 속도(RPM)를 계산하였다. 마지막으로 세 번째는 앞에서 실험한 PWM제어와 계측한 속도 값을 가지고 PID 제어기에 의해 목표 값을 정해주면 모터의 속도가 목표 값을 추종하여 목표 값에 접근, 유지하는지를 확인하였다. 또한 부하를 인가함으로써 과도상태에서 모터의 속도가 얼마나 빠르고 안정적으로 목표 값을 추종하는지를 확인하였다.

첫 실험에서는 단순 속도응답에 대한 특성을 실험하였다. 목표 값을 0상태로, 즉 정지 상태로 유지하다가 목표 값을 1500RPM으로 설정함으로써 응답되는 시간과 오버슈트 값 및 언더슈트 값을 측정하여, 오차 범위를 측정하였다.

두 번째 실험에서는 그림 7과 같이 목표 값을 300RPM씩 증가시키며 응답 특성을 측정하였다. 세 번째 실험에서는 첫 번째 실험과 같이 순간 증가를 시킨 후에 동작하는 모터와 커플링으로 연결된 모터에 부하(50Ω)를 연결한 후, 부하 신호를 보냄으로서 외란 값에 의한 응답 특성을 측정하였다.

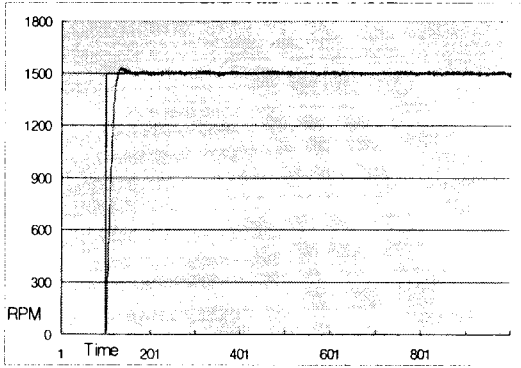


그림 6. 목표 값 추종 및 정상상태의 응답 특성

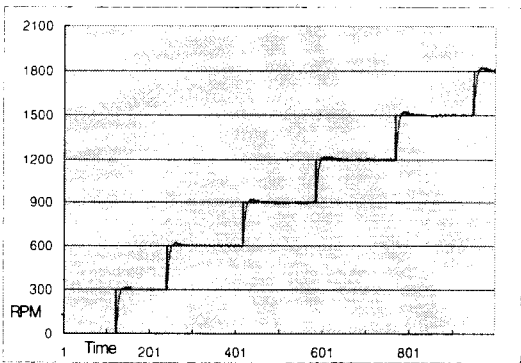


그림 7. 목표 값의 변화에 따른 응답 특성

그림 6은 목표 값을 0에서 1500RPM을 입력한 결과이다. X축의 단위는 10ms 이다. PWM값을 0으로 유지하다가, 103에 목표 값을 1500RPM으로 입력하였다. 파형은 증가하다가 153부터 안정되었다. 즉, $50 \times 10\text{ms}$ 이므로, 0.5초가 걸렸다. 이때 측정된 최고 RPM의 값은 1531로, 오차 31이므로 2%이내이다.

그림 7은 목표 값을 300RPM 단위로 증가시키며 측정한 파형이다.

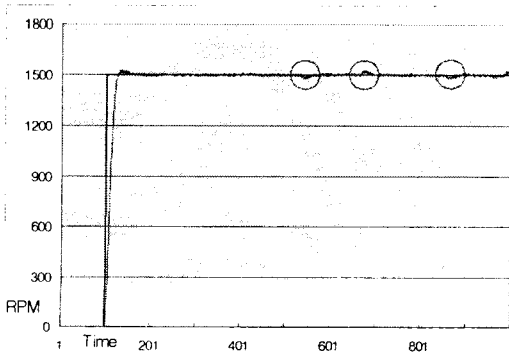


그림 8. 부하변동에 따른 응답 특성

그림 8은 부하를 부여한 경우이다. 5.46초에 부하를 준

결과, 1472RPM으로 순간 저하 되었으나, 5.61초에 정상상태로 돌아왔다. 부하를 제거한 6.76초에 1527RPM으로 순간 증가하고, 6.97초에 정상상태로 복구 되었다. 즉, 정상상태로 복구하는데 210ms가 소요됨을 알 수 있다.

3. 결 론

정지 상태에서 1500RPM으로 순간 증가에도 최고 오차 RPM이 2%이하의 과도상태응답 특성을 보이고, 목표 값에 접근하여 안정되는데 0.5초가 소요될 정도로 정확한 응답 특성을 가진다. 또한 안정 상태에서 RPM오차가 $\pm 7\%$ 정도로, 심한 떨림이 생기지 않으며, 부하의 입력에도 210ms만에 안정 상태에 접근하는 등의 매우 안정적인 특성을 검출되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이현우, "전력전자에 의한 전동기제어", 경남대학교 출판부.
- [2] 김윤서, 양오, "DSP를 이용한 강압형 DC-DC 컨버터의 원격제어", 대한전자 공학회, 2003년
- [3] 김윤서, "PD제어기와 신경회로망 제어를 이용한 유도전동기의 속도제어에 관한 연구", 석사학위 논문, 2002년