

초소형 Brushless DC Motor의 구동 및 제어기 설계

◇이종배, ◇정인성, ◇임준홍

◇전자부품연구원, ◇한양대학교 전자 컴퓨터 공학부

전화 : 032-621-2843 / 핸드폰 : 011-9903-4198

Design of Driver and Controller for micro Brushless DC Motor

◇Jong Bae Lee, ◇In Sung Jeong, ◇Joon Hong Lim

◇Korea Electronics Technology Institute, Precision Machinery Center

◇Hnyang University, School of Electrical Engineering and Computer Science

E-mail : leejb@keti.re.kr

Abstract

Recently, most machineries have been small size and mobile type. Then the motors used in this field are developed in micro size such as about 2mm in diameter. The structure of this motor is similar to a general brushless DC motor but because of small size there is no position sensor such as hall sensor.

In this paper, we propose synchronous driving and control method for micro brushless DC motor without position sensor. We design and manufacture this controller and perform experiment to show the effectiveness of the proposed method.

I. 서론

최근에는 각종 기기의 메커니즘이 소형화되어짐에 따라 이를 구동하는 액추에이터 또한 소형화, 경량화 되어져야 한다. 특히 초소형 첨단시스템인 인체 내시경용 구동기, 마이크로 로봇, 마이크로 카메라등에 사용되는 구동용 모터는 기존의 모터와는 개념적으로 다른 작은 크기를 가지고 있다[1]. 이러한 용도의 모터는 보통 외경이 약 2mm 내외로 국내는 제작기술이 전무하며 국외를 살펴보면 미국의 위스콘신 대학에서 외경 3mm의 모터가 보고 되고 있으나 학술적 연구에 머물러 있다. 그리고 독일의 경우 Faulhaber사에서 MEMS기술을 이용하여 외경 1.9mm의 모터 및 기어해

드가 결합된 초소형 모터가 개발되었다.

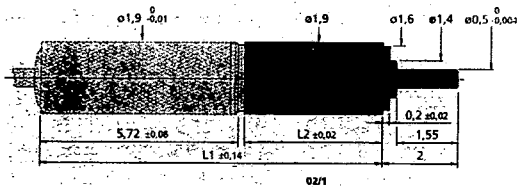
본 논문에서는 이 Faulhaber사의 모터를 구동 하고 제어하는 방법을 제안한다. 이 모터는 구조적으로 보통 Brushless DC모터 구조 형태를 갖는다. 그러나 크기가 작다보니 일반 Brushless DC모터에 사용된 홀 센서같은 위치센서를 부착하지 못한다. 위치 센서가 없으므로 이를 구동하려면 3상 동기모터와 같이 3상 정현파를 120°위상차를 갖게 하여 구동시키는 방법과 센서리스 모터 구동과 같은 방식으로 하는 두 가지 방법이 있다. 센서리스 구동 방식은 제어 특성이 좋지만 회로가 복잡하고 또한 초기구동시 많은 문제점이 있어 본 논문에서는 동기 구동방식을 선택한다. 외경 2mm정도이면서 위치센서가 없는 Brushless DC모터를 동기 방식으로 구동하고 토크와 속도를 제어하는 방법을 제시한다.

II. 초소형 Brushless DC 모터

2.1 초소형 Brushless DC모터의 사양 및 특징

본 논문에서 사용한 Brushless DC모터는 외경이 정확히 1.9mm이며 모터의 앞단에 47:1의 Micro Planetary Gearhead가 부착이 되어있다. 이 Gearhead는 보통 기계가공으로는 제작이 불가능하므로 MEMS 기술(LIGA공정기술)[2]을 사용한다. 본 논문에서 사용

된 모터 및 Gearhead의 Dimension은 그림 2.1과 같다.



[그림 2.1] 초소형 BLDC모터 Dimension

그리고 이 모터의 자세한 사양은 표 2.1과 같다.

[표 2.1] 초소형 BLDC모터의 사양

No	항 목	Spec.	단 위
1	Norminal Voltage	0.5	V _{eff}
2	Terminal Resistance	7.2	Ω
3	Speed(Max)	100,000	rpm
4	No-load Current	60	mA
5	Breakdown Torque	7.5	μNm
6	Friction Torque	1	μNm
7	Terminal Inductance	3.9	μH
8	Rotor Inertia	6.1	mg mm ²
9	Shaft Bearing	Sleeve Bearing	

2.2 초소형 Brushless DC모터의 구동방법

본 논문에서 사용된 초소형 Brushless DC모터는 3상 모터로서 구동은 3상의 정현파를 120°위상차가 나게하여 구동하는 방식으로 한다. 일반적인 3상 모터에 토크를 발생시키는 원리는 다음과 같다[3]. 공극에 있어서의 제자속속의 분포를 정현파로 하고 이 회전자 제자 벡터의 위치 θ에 따라 고정자 권선에 흐르는 전류를 다음과 같이 제어한다.

$$i_u = I_a \sin(\theta_r) \quad (1)$$

$$i_v = I_a \sin(\theta_r - \frac{2}{3} \pi) \quad (2)$$

$$i_w = I_a \sin(\theta_r - \frac{4}{3} \pi) \quad (3)$$

$$I_a = \text{전류 진폭}, \quad i_u = U\text{상 전류}$$

$$i_v = V\text{상 전류}, \quad i_w = W\text{상 전류}$$

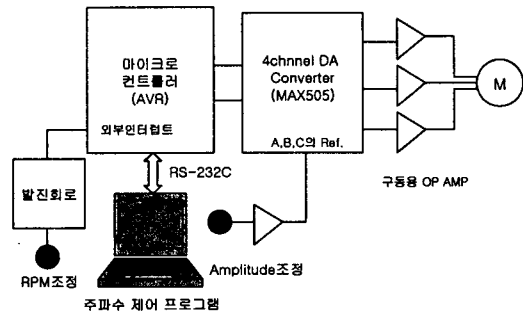
이와 같이 제어하면 다음과 같이 토크(T_M)가 발생한다.

$$T_M = \frac{3}{2} K_s \cdot I_a \phi \quad (4)$$

K_s = 비례정수, ϕ = 유효계자속

III. 구동 및 제어기 설계

본 논문에서 설계 제작한 구동 및 제어회로의 블록도는 그림 3.1과 같다.



[그리 3.1] 설계된 구동 및 제어회로 블록도

RPM 및 토크제어를 위하여 마이크로 컨트롤러를 사용하고 이는 8Bit RISC형인 AVR를 이용한다. 그리고 3상의 정현파를 출력시키기 위하여 4Channel DA컨버터를 사용한다. RPM제어를 위해서 발진회로를 외부에 설계하여 가변저항으로 발진 주파수를 가변 할 수 있게 하고 이를 마이크로 컨트롤러의 외부인터럽트 단자에 연결하여 소프트웨어에서 처리를 할 수 있게 한다. 또한 토크 제어를 위해서 정현파의 Amplitude를 가변할 수 있게 하는데 이는 DA컨버터의 Reference를 외부에서 가변 저항과 OP Amp를 이용하여 가변할 수 있게 한다. 보통 일반적인 3상 모터의 속도제어를 위해서는 최종 모터 구동부에는 FET또는 IGBT등의 대전력용 스위칭 소자를 사용하지만 본 논문에서 사용된 모터는 무부하 전류 60mA, 그리고 최대 전류도 200mA정도로 작으므로 일반 OP Amp를 이용하여 구동할 수 있게 한다. 구동방식이 정현파 동기방식이므로 고속 운전시 고속의 주파수를 즉시 인가 하면 모터가 구동이 되지 않는다. 그러므로 고속구동을 할 때에는 저주파에서부터 일정 Sweep Time을 주어 고주파로 변화 시켜 구동을 해야 한다. 이를 제어할 수 있게 PC를 이용한 주파수 가변 프로그램을 개발하여 모터의 속도 제어에 사용한다.

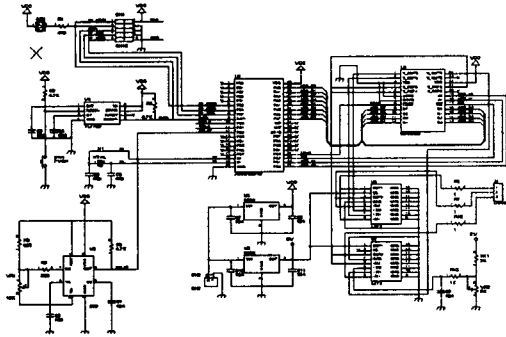
3.1 AVR Controller

본 논문에서는 디지털 정현파 생성, 외부인터럽트를

이용한 주파수 가변, DA컨버터와의 인터페이스등을 위하여 마이크로 컨트롤러로 AVR Controller를 사용한다. AVR Controller는 Atmel사의 마이크로 컨트롤러 시리즈명으로써 본 논문에서는 AVR시리즈 중에서 AT90S8515를 사용한다. 이 컨트롤러의 특징을 살펴보면 먼저 118개의 명령어 대부분이 한 클럭 사이클로 실행되는 고성능 저 전력의 RISC구조로 되어 있다[4]. 그리고 프로그램 메모리가 내장되어 있고 PC에서 프로그램이 바로 다운로드가 가능하므로 편리한 개발환경을 이루고 있다.

3.2 구동회로 설계

본 논문에서 설계한 회로는 크게 발진회로부, 마이크로 컨트롤러와 DA컨버터 인터페이스부, 증폭회로부 등으로 구성되어 있다.

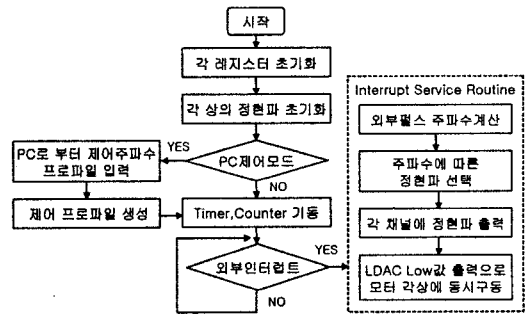


[그림 3.2] 구동 및 제어회로

발진회로는 모터의 속도 즉 주파수를 제어하기 위하여 발진 및 주파수 가변을 회로부이다. 설계한 발진 및 주파수 가변회로는 Timer칩인 NE555를 이용하여 설계하고, 가변 주파수가 500~1.4KHz 될 수 있게 주변회로를 제작한다. 그리고 정현파 출력을 위한 DA컨버터는 4채널 출력기능을 가지며 8Bit형인 MAX505를 이용한다. 4채널 출력기능이 있으나 사용된 모터는 3상이므로 3채널만을 사용하고 그 출력은 증폭단인 OP Amp의 입력단으로 연결된다. 그리고 데이터 버스는 마이크로 컨트롤러의 PORTA로 연결되며 또한 각종 제어신호(LDAC, WR등)는 PORTC를 이용한다. MAX505에는 특별한 LDAC제어신호가 있어 각 채널의 아날로그 값을 동시에 출력시킬 수가 있다. 컨트롤러에서 각 채널 래치에 데이터를 순차적으로 전송시키더라도 이 제어신호에 Low신호를 주면 아날로그값이 그 순간 출력되어 모터의 각상에 동시에 전류를 흘려주므로써 순간토크를 최대로 발생시켜 줄 수가 있다.

증폭회로에 있어서는 DA컨버터의 출력을 Power OP Amp인 L272을 이용하여 전류증폭을 한다. 이 칩의 출력 전류는 최대 1A이기 때문에 본 논문에서 사용된 모터의 용량에는 충분하다고 볼 수 있다. 여기서 VR2인 가변저항은 OP Amp를 거쳐 DA컨버터의 Reference입력으로 연결됨으로써 DA컨버터의 Amplitude를 가변할 수 있게 하였다. 그리고 OP Amp의 출력단은 전류 제한용 저항을 거쳐 모터 커넥터로 연결되고 모터에 전류를 흘려주게 된다.

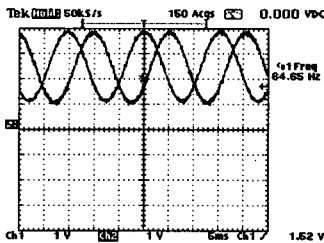
3.3 구동 및 제어 알고리즘



[그림 3.3] 모터구동 및 제어 알고리즘

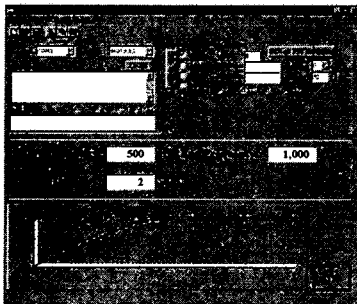
본 논문에서 구현한 모터구동 및 알고리즘은 그림 3.3과 같다. 포트 및 인터럽트 레지스터등의 초기화, 정현파 데이터를 128개를 초기화 하고 또한 이를 120°위상차가 되게 각 상의 데이터를 생성시킨다. PC에서 제어하는 모드일때는 RS-232C를 통해 제어주파수 프로파일을 입력받아 제어프로파일을 생성하여 구동 준비를 한다. 이 모드는 고속 주파수로 구동 할 때 고주파 영역에서는 기동이 어려우므로 Sweep주파수를 사용한다. 일반 모드일 때는 외부 가변저항을 이용하여 발생된 펄스열의 주파수를 가변시켜 이를 컨트롤러의 외부인터럽트로 입력받아 모터 구동파형의 주파수를 가변시키는 방법으로 모터 속도를 제어한다. 외부 펄스를 외부인터럽트로 받아 이를 서비스 루틴에서 각상의 주파수 데이터를 내보내는 방식으로 구현한다. 그러면 정현파 1주기를 출력시키기 위해서는 128개의 펄스열이 필요하다. 여기서 사용된 모터의 최대 주파수는 약 1.5KHz정도 되는데 저주파에서는 이 데이터를 모두 출력시켜 이상적인 정현파를 만들어 주지만 최대 주파수 근처 고주파영역에서 1주기에 128개의 데이터를 모두 출력시키는 것은 컨트롤러에 부담을 주는 것뿐만 아니라 더욱 고속의 프로세서 사용이 요구된다. 그래서 본 논문에서는 외부 펄스 주파수를 판단

하여 주파수에 따라 1주기에 출력시키는 정현파의 데이터 수를 조절한다. 이 판단을 위하여 내부 카운터를 이용하였는데 카운터를 기동시키고 외부인터럽트가 걸리면 그때까지의 카운트 값을 판단하여 펄스열의 주파수를 계산하고 계산 후에는 다시 카운트 값을 초기화시켜 반복하는 방법을 이용한다. 그림 3.4는 이렇게 발생시킨 2상의 전압 파형이다. 각 상의 위상 차가 120°임을 알 수 있다.



[그림 3.4] 2상 전압파형

본 논문에서는 고주파 구동을 위하여 주파수 설정을 위한 프로그램을 설계 구현한다.



[그림 3.5] 주파수 설정 프로그램

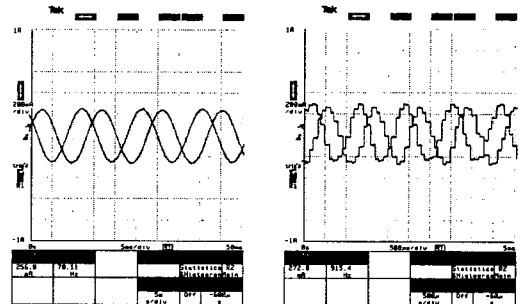
프로그램을 사용하기 위해서는 먼저 기본 시리얼 통신 설정을 한다. 그리고 시작 주파수, 연속 구동 주파수, Sweep시간등을 설정하고 이를 보드로 전송시켜 고주파 구동을 한다.

3.4 실험 및 평가

저속부터 고속으로 속도를 가변시켜 그때 모터에 흐르는 전류값을 측정한다. 그림 3.8과 3.9는 각 실험세트와 저속 및 고속에서의 전류 파형이다.



[그림 3.6] 실험세트



[그림 3.7] 저속 및 고속시 전류파형

전류파형을 보면 고속시에는 128개를 모두 출력하지 않기 때문에 전류가 계단형으로 흐르는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 초소형 Brushless DC모터를 동기 구동 방식으로 구동하였다. 그리고 구동 정현파의 주파수를 조절하여 속도를 제어하고 또한 고속 운전을 위하여 Sweep주파수 세팅이 가능한 프로그램을 개발하여 이를 이용한 고속운전을 구현하였다. 그리고 Amplitude를 가변시켜 토크까지 제어할 수 있는 방법을 제시하였다. 저속과 고속에서 주파수를 계산하여 다른 정현파를 출력 시킴으로써 효율적인 구동 및 제어 방법도 제시하였다. 향후에는 서보 제어가까지 연구한다면 응용분야가 더욱 넓어질 것이다.

참고 문헌

- [1] T.Takamori, "Recent Trends in the Development of New Actuators", J. of Robotics and Mechatronics, Vol. 3, No. 1, pp 18-27, 1991
- [2] Shinsuke Takimoto, "Fabrication of Micromotors Using LIGA Process", Int. Symposium on Micromechatronics and Human Science, 1991
- [3] Jac다 F. Gieras, "Permanent Magnet Motor Technology", Marcel Dekker, Inc., 1995
- [4] 조영준, "쉬운 예제와 Kit로 배우는 AVR", Ohm, 2001
- [5] H. Guckel, "Micromechanism", Philosoph. Tr5문. Royal Soc. London Series A, Math. Phys. Eng. Sci., vol. 353, no. 1703