

미세 스텝 변화에 따른 LPM의 정전류제어

*백수현 *윤신용⁰ **임태빈 ***김철진 **하근수
 * 동국 대학교 ** 전자부품연구소 *** 한라공업전문대학

The constant current of LPM on variable microstep

*Soo-Hyun Baek, *Shin-Yong Youn, **Tae-Bin Im, ***Cheri-Jin Kim, **Keun-Soo Ha
 *DongGuk Univ, **KETI, *** Halla Institute of Technology

Abstract

This paper describes method of microstepping current control for linear pulse motor. The control method which electrically subdivides 1 step of a LPM 125 micro step is realized using micro-step algorithm. The resolution of the system for microstepping is improved also by microstep control of driving current, which is followed by the increase of microstep subdivision coefficient, the precise position and velocity control of LPM can be realized and stabilization of the system is improved.

1. 서 론

오늘날 전기 및 전자 기술의 발달과 더불어 각종 소형 정밀 스텝모터에 서보장치를 결합함으로서 위치 및 속도제어를 필요로 하는 다양한 종류의 제어기기가 활용되고 있다. 그 중에서도 리니어 펄스 모터는 직선운동을 필요로 하는 FA 및 소형 정밀기기에 유용하게 활용되고 있다.

정밀위치를 제어함에 있어서 직류 서보모터계의 위치 및 속도 제어에는 몇 개의 복잡한 귀환루프가 필요하지만 선형 스텝모터는 정해진 거리로 어느 방향으로도 정확히 이동함으로서 오픈루프제어가 가능하다. 스텝모터의 제어는 고전적인 상여자 방식 제어 보다는 미세 스텝제어를 구현함으로서 기계적인 치구조에 의존하지 않고 임의의 치구조에서 정밀한 위치제어가 가능하게 되었다. 따라서 미세 스텝 제어는 각 권선에 공급되는 전류의 크기를 제어함으로서 드라이브 파형을 제어하기 때문에 정밀하고 안정된 제어를 할 수 있다. 미세 스텝 제어기의 구성은 마이크로 프로세서의 ROM 안에 미세 스텝제어를 위한 Sin, Cos 파의 데이터를 저장하여 DA 변환과 더불어 전류제어가 가능하게 구성한다.

본 논문에서는 리니어 펄스모터를 미세스텝 변화에 따라 전류제어가 가능하도록 구성된 실제의 시스템에서 미세스텝 변화에 따른 각각의 전류파형을 실측하여 비교 분석하고자 한다.

2. LPM의 미세 스텝에 대한 기본수식

2.1 하이브리드형 LPM의 기본식

하이브리드형 LPM을 구동시키기 위한 기본적인 추력, 전압, 전류의 수식은 다음과 같다. 여기서 본 LPM의 구조는 다음의 그림 2.1과 같다.[1],[2]

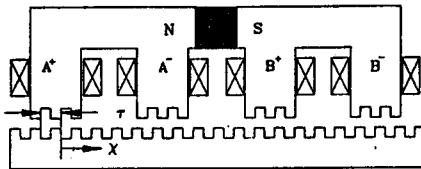


그림 2.1 하이브리드형 LPM의 구조

본 LPM에서 영구자석에 의한 치(teeth) 1, 2의 자속 및 권선 인덕턴스는 다음식과 같다.

$$\phi_{01} = \phi_0 + \Delta\phi \cos \frac{2\pi}{\tau} X \quad (1)$$

$$\phi_{02} = \phi_0 - \Delta\phi \cos \frac{2\pi}{\tau} X \quad (2)$$

$$L_{11} = L_0 + \Delta L \cos \frac{2\pi}{\tau} X \quad (3)$$

$$L_{22} = L_0 - \Delta L \cos \frac{2\pi}{\tau} X \quad (4)$$

여기서 ϕ_{01} : 영구자석에 의한 치 1의 자속

ϕ_{02} : 영구자석에 의한 치 2의 자속

L_{11} : 치 1의 권선 인덕턴스

L_{22} : 치 2의 권선 인덕턴스

X : 모터의 변위

τ : 모터의 극 회차

M : 치 1, 2의 권선 상호 인덕턴스

N : 치 1, 2의 권선 턴수

R_a : 치 1, 2의 권선 저항

A상 권선전압 V_a 는 I_a 에 대해서 다음식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$V_a = 2R_a I_a + \frac{d}{dt} (N\phi_{01} + L_{11} I_a - N\phi_{02} + L_{22} I_a + 2MI_a) \\ = RI_a + L \frac{dI_a}{dt} - K_v \sin \frac{2\pi}{\tau} X \frac{dX}{dt} \quad (5)$$

여기서 $L = 2(L_0 + M)$, $R = 2R_a$, $K_v = \frac{2N\Delta\phi}{\tau}$

A상 권선에 대한 추력 F_a 는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$F_a = \frac{d}{dt} (-K_v \sin \frac{2\pi}{\tau} X \frac{dX}{dt}) I_a \\ = -K_v I_a \sin \frac{2\pi}{\tau} X \quad (6)$$

$$\text{단 } K_f = K_b$$

B상 권선에 대한 추력 F_b 는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$V_b = RI_b + L \frac{dI_b}{dt} - K_b \cos \frac{2\pi}{\tau} X \frac{dX}{dt} \quad (7)$$

$$F_b = K_b I_b \cos \frac{2\pi}{\tau} X \quad (8)$$

식 (6), (8)에 대해서 각각 I_a, I_b 를 변위지령(X^0)으로 할 경우 식은 다음과 같다

$$I_a = I_m \sin \frac{2\pi}{\tau} X^0 \quad (9)$$

$$I_b = I_m \cos \frac{2\pi}{\tau} X^0 \quad (10)$$

여기서 LPM의 발생 추력은 다음식(11)과 같다.

$$F = F_a + F_b = I_m K_f \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} (X^0 - X) \right) \quad (11)$$

LPM의 운동 방정식은 다음식(12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$J \frac{d^2x}{dt^2} + K \frac{dx}{dt} = I_m K_f \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} (X^0 - X) \right) \quad (12)$$

여기서 전달함수는 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(S) = \frac{\frac{2\pi}{\tau} K_f I_0}{JS^2 + KS + \frac{2\pi}{\tau} K_f I_0} \quad (13)$$

렌즈계수에 대한 수식은 다음식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\xi = \frac{K}{2} \sqrt{\frac{1}{J \frac{2\pi}{\tau} K_f I_0}} \quad (14)$$

2.2 정전류 구동법

LPM에 흐르는 전류를 항상 일정하게 유지하면서 구동하는 방법이다. 본 논문은 초퍼방식의 정전류제어를 구성함으로서 구동 코일의 리액턴스분에 의한 에너지 축적효과를 이용하여 펄스폭 초퍼의 드리값을 변화시켜 코일에 흐르는 정전류 값을 고속 회전시는 크게 저속, 정지시에는 작게하여 구동전력을 불필요하지 않도록 함으로서 컴팩트하고 고속 특성이 우수한 구동회로를 구성한다.

그림 2.2.는 미세 스텝을 위한 정전류 초퍼 구동회로이다.

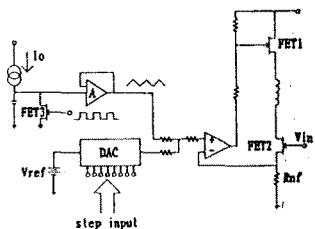


그림 2.2. 정전류 초퍼 구동회로

다음의 수식은 ROM과 DA변환기에 의해서 만들어지는 A, B상의 각각에 대한 전류값을 나타낸 것이다. 전기각 : δ 를 미세 스텝 전기각으로 할 경우에 A, B상에 공급하는 상전류는 식 (15), (16)과 같이 나타낼 수 있다. I_m : 기본 스텝시 상전류

$$I_a = I_m \cos \delta \quad (15)$$

$$I_b = I_m \sin \delta \quad (16)$$

따라서 전기각 : δ 는 0에서 2π 까지 변화 시킴으로써 실제 이동변위의 미세 스텝 제어가 가능하며 1스텝을 $1/\mu$ 스텝으로 분할 하려고 할 때 미세 스텝당 전기각은 식 (17)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta = \frac{2\pi}{4\mu} \quad (17)$$

3. 시스템의 구성

68000 CPU의 마이크로 프로세서를 활용하여 ROM(27C1024)에 프로그램이 복 전류원에 해당하는 정현파 여현파의 데이터를 저장된 ROM으로부터 원하는 가감속 동작모드의 선택에 따라 펄스 수를 2상(A, B)의 DA변환기를 통하여 발생한다. DA변환기를 통하여 발생된 아날로그 신호는 PWM회로를 통하여 마이크로 스텝제어가 가능한 20[KHz]의 펄스파형을 FET게이트 회로에 공급한다. 이때 FET는 모터의 정역전류 이상의 적합한 소자를 이용함으로서 원하는 정추력을 발생할 수 있도록 구성하였다.[3]

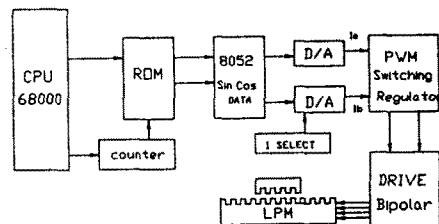


그림 3.1 본 서보장치의 구성도

4. 측정장비

본 논문에서는 미세스템의 변화 따른 micron 단위의 변위를 측정하기 위해서 Laser의 광원의 간섭계를 이용한 Michelson Interferometer를 활용하였다.[4]

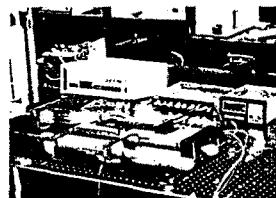


그림 4.1. 간섭계 및 Data Acquisition System 측정장비

$$V = 0.06, A = 0.06$$

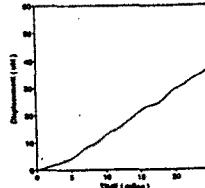


그림 4.2 시간에 따른 변위

$$V = 0.06, A = 0.06$$

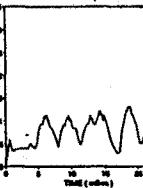


그림 4.3 시간에 따른 속도

5. 실험 결과

다음의 그림 5.1은 미세스템의 변위에 따라 발생하는 각각의 A, B상의 전류파형을 시뮬레이션한 결과이다. 이것은 상전류를 3[A]로 하고 1.016[mm]의 한 치(teeth)를 4 풀(full)스텝으로 할 때 한 스텝당 $125\ \mu\text{step}$ 으로 분할한 것이다.

그림 5.2는 풀스텝시, 그림 5.3은 half 스텝시, 그림 5.4는 5 μstep , 그림 5.5는 50 μstep , 그림 5.6은 125 μstep 시의 실험파형이다. 본 실험파형에서 알 수 있듯이 여자 풀스텝 보다는 125 μstep 으로 갈수록 저진동 정밀제어가 가능한 정전류 실

험파형을 확인할 수 있다.

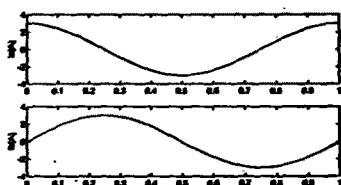


그림 5.1 각상(A, B)의 전류파형

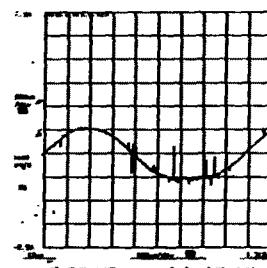


그림 5.5 125 μ step 시의 전류파형

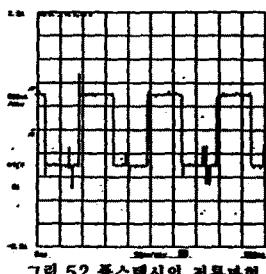


그림 5.2 풀스텝시의 전류파형

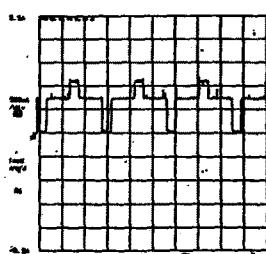


그림 5.3 하프 스텝시의 전류파형

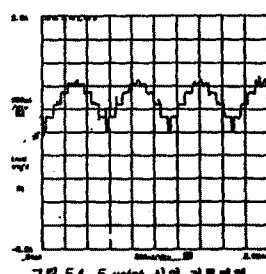


그림 5.4 5 μ step 시의 전류파형

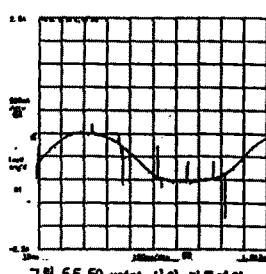


그림 5.5 50 μ step 시의 전류파형

6. 결 론

본 논문의 선형 모터는 필스에 의해서 구동되는 2상 Bipolar 하이브리드형 LPM으로서 정전류 쇄파가 가능한 드라이브 회로를 구성하여 보았다. 또한 구성된 드라이브 회로에 고전적인 2상 여자방식과 1-2상 여자방식 그리고 미세스텝을 증가시키길 때 LPM을 구동시키는 전류의 파형을 실측하였다.

이때 기본 여자방식인 풀스텝으로부터 미세스텝으로 분해능을 증가 시킬 때 정전류 파형이 형성됨으로서 저전동 경밀 위치제어가 가능한 정전류 파형을 확인할 수 있었다. 따라서 본 LPM은 한 스텔당 125 μ step의 미세스텝제어가 가능한 드라이브 회로를 구성함으로서 미세스텝제어가 가능함을 확인할 수 있었다.

앞으로 더욱더 안정된 시스템 장치를 일부 보안하면 단거리 직선운동을 필요로하는 산업용으로서 특수한 소형 경밀 제어기기에 유용하게 적용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 久德千三, 中川洋, 前田豊, "LPM Servo System".
- Yoshihiro Ashizaki, Hiroaki Tamae, "Linear Stepping Motor", National Technical Report Vol.30 No.6 DEC 1984.
- Jack I. Nordquist and Peter M. Smit, "A Motion-Control System for (Linear) Stepper Motors", Xynetics products Division of General Signal 2962 Stender Way Santa Clara, California 95051 pp215-231
- Hao-Yung Lo, Jau-Ling Chen, "Microstepping of digital control for stepmotor and its test using a Laser interferometer measurement system", INT. J. Electronics. 1987, Vol.62 No.5 761-780.
- ALBERT C. LEENHOUTS, "Techniques for Microstepping Control of Step Motors", Control Engineering, The Superior Electric Company, pp 58-59.
- FRANK ARNOLD, JR, PMI Motors, Inc. Syosset, NY, "Microstepping a Step Motor for Greater Position Resolution", Control Engineering /January 1985, pp111-113