

2상 8극 HB형 리니어펄스모터의 제어회로구성을 위한 기초연구

김 성 현⁰, 김 일 중, 이 은 용
 천안전문대 주성전문대 충남대학교

A Basic Study for the Control Circuit of 2-phase 8-pole HB type Linear Pulse Motor

Sung Hun, Kim
 Cheonan tech, Jr. College

Il-Jung, Kim
 Jusung Jr. College

Eun-Woong, Lee
 Chungnam Univ.

ABSTRACT

In this paper, step response, speed, maximum frequency characteristics of 2-phase, 8-pole, HB type, prototype linear pulse motor(LPM) were investigated with the open loop control system(OLCS) being attached to the LPM. In this experiment, both 1-phase and 1-2 phase excitation types were adopted and microcomputer was used in deal with the data.

The results point to some directions for the improvement of the open loop control system.

1. 서론

산업자동화의 급속한 발전은 메카니즘(mechanism)과 일렉트로닉스(electronics)를 하나로 연결시키는 인터페이스 설계기술을 요구하고 있다. 제어회로가 간단하여 일체형 기기로 구성하기에 적합한 전자actuator로 Linear Pulse Motor(LPM)의 연구가 활발하다[1-3].

LPM은 개루프제어가 용이하고, 비교적 높은 위치결정 정밀도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 입력 펄스에 비례한 위치 및 속도제어를 할 수 있기 때문에 정보단말기기를 중심으로 한 OA용 및 자동화기기의 위치결정 제어용도에 널리 이용되고 있다[4].

본 연구에서는 개루프 제어시스템을 자체 제작한 2상8극 HB형 시작기에 부착하여 1상, 1-2상 여자방식에 따른 1[pps] 응답특성, 속도 특성, 가속시의 최대응답주파수 특성에 대해 실험하였다. 이 결과 여자방식에 따라 구동시스템의 특성이 달라졌고, 변위 및 속도가 저속영역과 고속영역에서 공진에 의해 불안정했으며, 진동현상이 있었다.

따라서 LPM의 실용화를 위해서 경량화, 고정밀화된 제어시스템의 설계가 필수적이므로 실험결과에서 얻은 참고자료를 이용하여 개루프 제어시스템의 개선방향을 검토하고, 고속 고정밀도 위치제어를 위한 연구방향을 제안한다.

2. LPM의 구동원리와 기본이론

2.1 구동원리

그림 1은 1상여자방식의 LPM의 구동원리를 나타낸다. 가동자 철심F, R은 극 간격의 조정으로 각각 1/4피치 어긋난 4개의 극(철심F: 극 F_A, F_B, F_π, F_β, 철심R: 극 R_A, R_B, R_π, R_β)으로 되어 있으며, 각극은 치피치가 3.5mm인 4개의 치로 되어 있다. 여자권선은 그림 1 처럼 극 F_A-R_A, 극 F_B-R_B, 극 F_π-R_π, 극 F_β-R_β 에 형성 코일이 각각 감겨져 있다.

이상 상태에서 Bipolar구동으로 여자전류를 흘려주면 가동자는 왼쪽 방향으로 스텝 구동하게 되며 여자전류 시퀀스를 반대로 하면 반대방향으로 구동된다. 가동자의 이동속도는 주어진 입

력 펄스 주파수(pps)로 결정되며, 이동거리(변위)는 입력 펄스의 수에 따라 결정되므로 속도와 위치제어의 요소는 펄스 주파수가 된다[5,6].

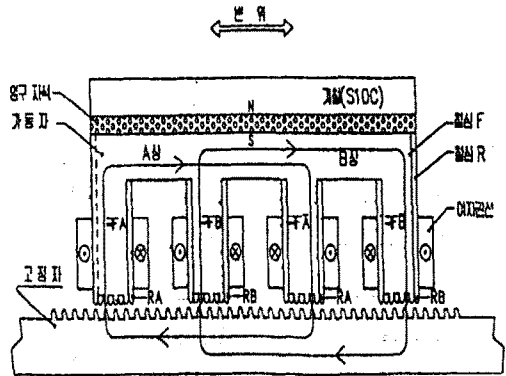


그림 1 1상여자식 LPM의 구동원리

2.2 LPM의 상태방정식

LPM의 운동방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$M\ddot{x} + D\dot{x} = F(i) \quad (1)$$

여기서, M: 가동자질량, D: 점성계수, X: 변위

F: 추력, i: 전류

LPM 구동에 정전류를 사용하면 추력 F는 식(2)로 표시할 수 있다.

$$F(i) = k_i \quad (2)$$

여기서, k: 추력계수

X = X₁, $\dot{X} = X_2$, i = u 라 하면, 다음과 같은 상태방정식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -D/M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ k/M \end{bmatrix} u \quad (3)$$

또한 출력 방정식은 식(4)와 같다.

$$y = [1 \ 0] \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)는 위치와 속도제어를 위한 출력 방정식이 된다[7].

2.3 구동회로

LPM시작기의 구동시 권선에 전류가 흐르기 시작할 때, 즉 여자된 상에 변화가 있었던 순간에 모터의 정격전압 이상의 전압을 주어 전류를 빨리 상승시키고 모터의 여자가 상승한 뒤에

는 정격전압의 전원으로 전환하므로 효율을 높일 수 있는 2 전원 구동 방식을 채택한다. 이는 영구자석을 가진 HB형 LPM의 구동식 bipolar 2상 여자 방식을 사용하면 unipolar 2상 여자 방식 보다 25~30% 정도 추력의 증가를 기대할 수 있다[4, 8, 9].

본 LPM에서 구동용 driver는 그림 2 처럼 스위칭 회로가 비교적 간단하고, 순방향 전압강하를 줄일 수 있는 잇점을 가지고 있는 MOS FET를 브리지 형태로 구성하였다.

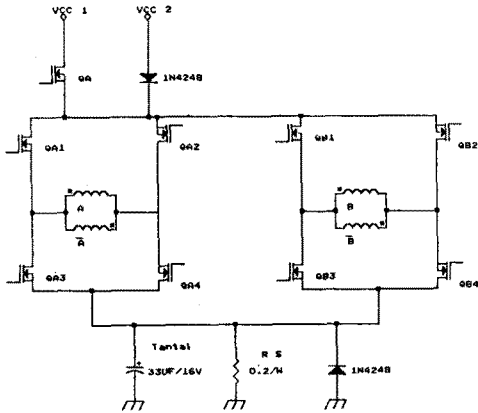


그림 2 브리지 형태의 LPM 구동회로

3. 제어기의 구성

마이크로컴퓨터를 이용한 LPM 시작기의 구동시스템은 그림 3과 같다. I/O 인터페이스 기능은 33 kHz의 A/D 변환속도를 가지며, 8 channel 12bit analog input과 2channel D/A, 16 channel DIO 및 8253 programmable timer를 이용하여 interrupt에 의한 timing 제어가 가능하도록 설계되어 있다[10].

그림 3에서 나타낸 것처럼 LPM의 가동자 측면에 횡으로 설치한 추력 측정용 로드셀은 이동나사를 통하여 가동자를 변위시킬 수 있도록 장치하였으며, 변위 측정용 encoder에서는 A상과 B상을 입력으로 받아 UP/DOWN 카운타의 값을 출력하므로써 변위값은 물론 방향 페루프 제어시에 방향 및 속도, 위치에 관한 정보를 얻을 수 있도록 하였다. 가동자의 여자코일 [260turn, 0.8mm]에 대하여 코일 [16turn, 1mm]을 같은 방식으로 감아 유기기전력을 얻을 수 있도록 하였다. potentiometer는 가동자에 타이밍 벨트로 연결하므로써 스텝응답특성을 얻을 수 있다[5]. 이때 마이크로 컴퓨터는 제어시스템의 샘플링 일련번호, encoder 출력, 전류, 전압, potentiometer 출력, 각 스텝 마다의 구동 주파수를 처리하여 데이터로 기록한다.

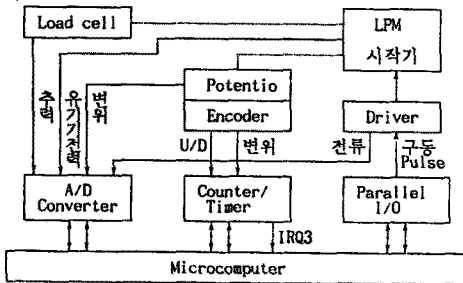


그림 3 계측 및 구동시스템 블럭도

4. 실험 및 결과 분석

4.1 최대응답주파수 특성

LPM의 최대응답주파수를 측정하기 위하여 스트로크 350[mm]를 한쪽 방향으로 이동시킬 때 구동주파수를 각각 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3[pps]씩 증가시키면서 가속시키는 실험을 하였다. 그림 4는 40[pps]의 주파수로 기동하여 구동주파수를 2.0[pps]씩 증가하였을 때의 실험데이터를 나타낸다.

즉, 1상여자시 400[pps] (350mm)중 275[pps] (240.625mm)에서, 그리고 1-2상여자시 800[pps] 중(350mm)중 550[pps] (240.625mm)에서 LPM이 구동주파수와 동기되지 못하고 탈조되어 정지한다. 여자방법에 관계없이 가동자가 정지한 시점의 주파수는 600[pps]임을 알 수 있다. 따라서 본 시작기는 600[pps]범위 내에서 가속 운전이 가능하다.

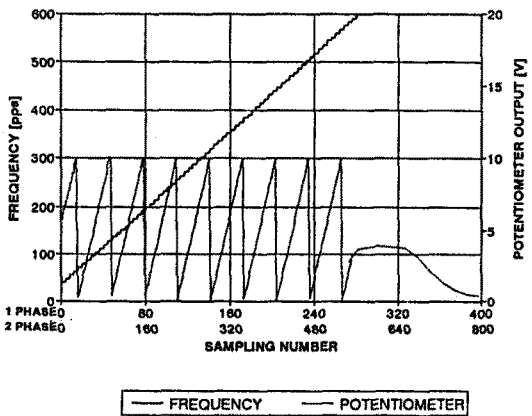


그림 4 LPM시작기의 최대응답주파수 특성

4.2 스텝 응답특성

LPM에서 스텝응답특성을 실험하기 위하여 potentiometer를 가동자에 타이밍 벨트로 연결하고 전압 변화의 파형을 계속하였다. LPM에 펄스 신호를 하나 넣어 여자를 전환하면 1상여자, 1-2상여자방식 및 구동회로에 따라 그림 5와 같은 특성을 나타낸다. 즉, 1상여자방식인 경우 16[ms]까지의 상승시간 뒤에 오버슈트를 발생하고 감쇠진동을 하면서 115[ms]까지 진동하고 정지한다. 이러한 응답특성의 LPM에 대하여 펄스를 연속적으로 입력하는 경우는 23[ms]부터 35[ms]사이의 역방향으로 토크가 작용하고 있으므로, 이 사이에 다음의 펄스가 들어가면 가동자는 역전하는 불안정상태가 되어 공진이 발생할 수 있다.

1-2상 여자방식의 경우 30[ms]에서 진동이 정지하므로 1상 여자방식의 경우보다 스텝응답특성이 우수하다.

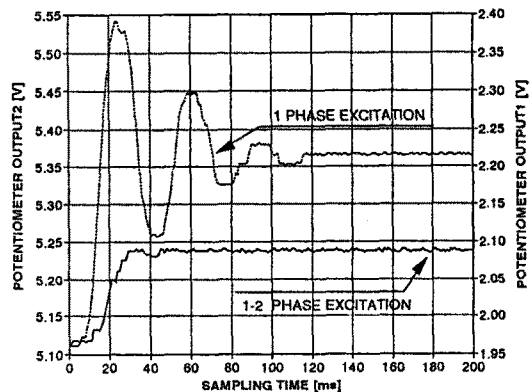
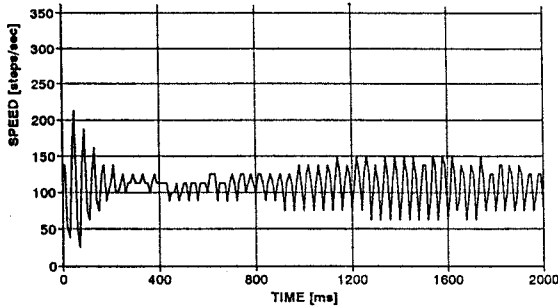


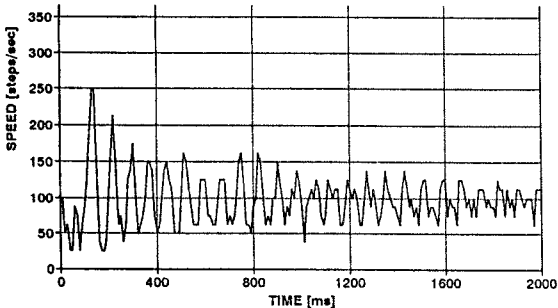
그림 5 스텝응답 특성

4.3 속도특성

속도특성을 실험하기 위하여 LPM의 가동자의 축에 encoder를 타이밍 벨트로 연결하고, LPM을 무부하 상태에서 슬루잉 특성범위인 100[pps]의 스텝펄스를 인가하여 구동시켰을 때 encoder의 A상 출력펄스를 10[ms]마다 계수하여 초[sec]당 스텝[steps]의 수를 취하므로써 속도특성을 얻었다. 기동시에는 LPM이 구형파의 자계에서 구동되기 때문에 스텝주파수를 기본파로하는 진동이 발생한다. 진동 주파수는 1상여자에서 약 105[steps/sec]이므로 LPM의 고유주파수는 100[pps]가 되고, 1-2상여자에서 진동주파수는 약 80[steps/sec]이므로 LPM의 고유주파수는 80[pps]가 된다. 이러한 속도변동은 LPM의 슬루잉 영역에서 나타남을 그림 6은 보여준다. LPM의 정상상태의 속도특성은 1상여자에 비해에서는 1-2상여자가 안정된 속도를 유지한다.



(a) 1상 여자방식



(b) 1-2상 여자방식

그림 6 속도특성

그림 7은 최대기동주파수와 최대응답주파수, 1스텝응답, 속도특성을 얻기위해 마이크로컴퓨터가 1상 및 1-2상운전시 데이터를 처리하는 구성시스템의 제어흐름도이다. 계속하고자 하는 특성을 얻기 위해서 구동을 위한 parameter를 입력시키면 마이크로컴퓨터에 의하여 monitoring되면서 입력된 조건에 맞는 제어routine을 수행한다.

5. 결론

정밀 위치제어용 직선왕복운동 전동기로 LPM을 실용화하기 위해 HB형, TEM, 2상 8극 LPM에 개루프제어 시스템을 부착하여 다음과 같은 구동특성을 얻었다.

- 1) 1상여자방식에 비해 1-2상여자방식이 스텝 응답특성에서 감쇠진동이 빠르게 끝나고 안정점을 갖는다.
- 2) 속도특성은 1상여자방식에 비해 1-2상여자방식이 일정하지만 40[pps]이하로 인가된 저속영역에서는 불안정하다.
- 3) 가속 및 최대응답주파수는 600[pps]범위내에서 1상여자방

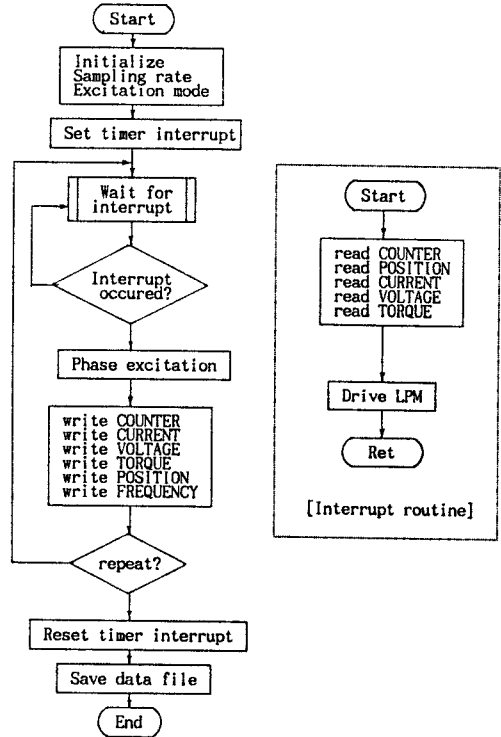


그림 7 구동시스템 제어 흐름도

식과 1-2상 여자방식이 동일하였기 때문에 LPM은 40[pps]에서 600[pps]까지 범위내에서 가속운전이 가능하다. 따라서 개루프 제어시스템에서는 여자방식과 구동회로에 따라 특성의 차이가 있다. 저속 및 고속영역에서 일어나는 탈조 및 공진에 의한 진동의 문제를 개선하기 위하여 정전류 초퍼구동방식, PWM 제어방식, 마이크로 스텝구동방식등이 검토될 수 있으며, 고정밀도 제어를 위해서는 Feedback에 의한 보정회로와 제어알고리즘을 갖는 서보시스템의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Takashi Kenjo, *Stepping Motors and their Microprocess or Controls*, Oxford University Press, 1984.
- [2] 리니어모터 응용 핸드북, 도서출판 세화, 1988.
- [3] 見城尚志, *스텝핑모터의 기초와응용*, 總合出版社, pp. 90-93, 1988.
- [4] *스텝핑 모터의 제어회로설계*, 도서출판 세운, 1988.
- [5] 이은용, 김일중, "하이브리드형 리니어 펄스 모터(LPM)의 구동특성", 대한전기학회논문지 42권 6호, 1993.
- [6] 윤병도의 4인, *전력전자*, 보성각, 1993.
- [7] K.Matsuzaki, Y.Sakaki, H.Yamada, "Closed Loop Control of Linear Pulse Motor", MAG-89-98, LD-89-10.
- [8] *Advanced Power Technology Catalog*, APT사(미국), pp. 50-54, 1992.
- [9] 김일중, 이은용, 이민평, 이명일, "2상8극 영구자석형 LPM의 자기 회로 설계와 제어방식에 관한 연구", 대한전기학회 학술편람, pp. 47-50, 1991.
- [10] [DR_DAS 12] 사용자 설명서, [주]다림시스템, 1991.