정밀위치제어의 핵심구동원인 LPM의 제어방법

김동희, 배동관, 김광헌, 김영민*, 황종선*
전남대학교 전기공학과, 전남도립 남도대학*

Control Method for the core driver LPM of a precise position control

Dong-Hee Kim, Dong-Kwan Bae, Kwang-Heon Kim, Yeong-Min Kim*, Jong-Sun Hwang*
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University
Dept. of Electric and Electronic, Provincial College of Namdo*

Abstract

This paper describes the method of position error reduction in Linear Pulse Motor (LPM). Though the micro step exiting method is applied, the vibration and position error caused by trust distortion from mechanism still remains. This paper presents the method for reduction of position error on moving the mover at whole cycle, by compensating a scale factor through real-time control of the PWM pulse width corresponding to exiting current command and absolute position error from linear encoder.

Key Words : LPM, 마이크로 스텝구동, 정추력, 동추력

1. 서 론

최근 전자·통신산업이 급격히 발달함에 따라 반도체 제조장비 등을 포함한 산업용 로봇, 사무자동화, 정보단말기, 공장자동화 분야 등 각종 자동화시스템에 핵심 구동원으로써 리니어 펄스모터(LPM)의 이용이 날로 활발해지고 있다. LPM은 소형·경량화가 가능할 뿐만 아니라 가동자가 에어베어링 지지기구를 이용하기 때문에, 비접촉으로 직선구동이 가능하여 특성의 경년변화가 적고, 보수성, 신뢰성이 우수하기 때문에 마이크로프로세서 및 메카트로닉스 기술의 향상과 더불어 모터와 제어기의 일체화를 이루어 점차 응용범위가 확대되고 있다.[1~5] 본 논고에서 고성능 정밀위치 제어에 핵심 구동원으로 수요가 증가하고 있는 리니어 펄스모터에 대해 개루프 위치제어의 가/감속제어, 마이크로스텝제어, 정밀위치 및 진동저감의 폐루프 제어방법에 대해 다루고자 한다.

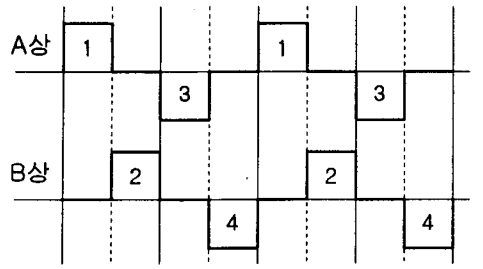
2. LPM의 여자방법 및 제어시스템

그림 1의 (a)의 1상 여자방식은 토크리플과 진동리플이 상당히 크게 나타나게 되나, 제어장치를 간단히 구현할 수 있어 단순 동력원으로 사용되는 스텝모터에 주된 제어법으로 쓰이고 있다.

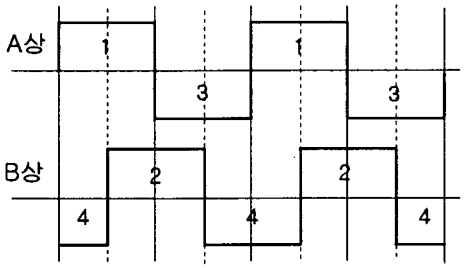
이에 비해 큰 추력을 얻을 수 있는 LPM의 2상 여자(A+B+, A-B+, A-B-, A+B-)에 따른 각 가동자극 간의 치 변위는 고정자 치 피치를 기준으로 구동 펄스당 (1/4)τ 만큼의 변위를 갖는다. 2상 여자 권선에 대한 Full-step 구동은 360°전기각을 90°간격으로 4극 분할하여 2개극을 동시에 여자시켜 구동하는 방법이다.

마이크로스텝 여자 전류구동 방법은 2상에 흐르는 전류를 좀더 미세(0~255펄스/1상)하게 분할하여 정현파(sinδ), 여현파(cosδ)의 전류가 인가되도록 하며, 2상 권선의 전류 벡터합이 항상 최대가 되도록 하는 전류 벡터합에 비례한 위상으로 추력을 발생시키는 원리이다.

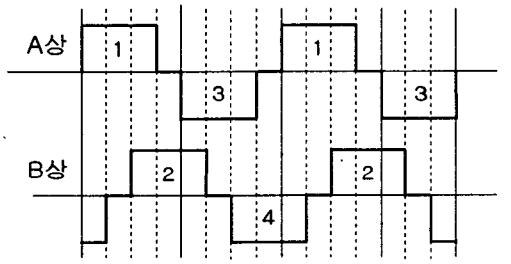
이 방식은 모터의 인접 상간의 여자전류를 그림 2과 같이 정현파적으로 변화시켜 기본 스텝각의 중간영역에서도 위치결정이 가능한 구동방식으로,



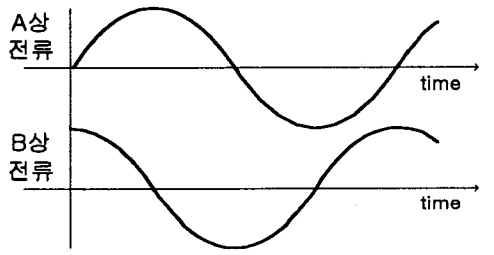
(a) 1상 여자 (Full step)



(b) 2 상 여자 (Full step)



(c) 1-2 상 여자 (Half step)



(d) 마이크로 스텝구동

그림 1. LPM의 여자방법

2상 LPM에서는 마이크로스텝 구동으로 미소 변위를 얻는 동시에 각 여자 때의 합성추력이 1상 여자시의 추력과 동등해 지려면 정현파상의 여자 전류로 제어함으로써 고정밀 위치제어, 저속영역에서의 공진에 의한 탈조 방지, 속도 맥동 감소, 응답 특성개선 등과 같이 성능이 향상된다.

이와같은 구동원리에 이용한 여자방법은 각 여자 방식에 적합한 구동 전압(또는 전류)제어장치가 필요하며, 고정밀도를 요하는 시스템에서는 마이크로스텝 모드의 상전류 여자방식을 사용하며 미세 정밀구동이 가능하게 되지만, 오차보정, 노이즈제거 등이 부가적으로 필요하다.

전류제어 명령신호를 발생시켜 제어법에 따라 구동장치가 달라지는 LPM의 구동시스템을 그림 3에 나타내었다. 리니어 모터의 고정자 몸체에 위치센서인 Linear Encoder가 부착되어 있으며, Rotary형에 비해 다소 가격이 비싸기 때문에, 최근 센서리스 제어법을 이용하여 진동을 저감시키는 연구도 활발히 진행되고 있다.[6-7]

LPM의 마이크로스텝 구동을 위한 인버터의 전류제어 방법은 그림 4와 같이 여러 형태로 구분하여 적용할 수 있는데, 주로 정현파의 삼각파 비교 PWM 제어법, 히스테리시스 전류제어법, PROM에 전류파형을 Table형태로 저장한 후, D/A 변환기를 통한 기준전류 제어방식의 ROM Table 전류제어법이 있으며, 일반적으로 경제성, 고정밀성, 소형·경량화 측면에서 적절하게 이용되고 있다.

LPM 구동을 위한 인버터의 전압 인가방법에 는 정전압, 정전류, 마이크로스텝 구동 등이 있다.
정전압 전원에 의한 구동에서는 직렬 저항과 고전압 회로의 조합 때문에 소비 전력이 크다. 그리고 정전류 구동은 높은 전압을 직접 LPM에 무리없이 인가하면서 평균 전류가 일정하도록 스위칭을 하기 때문에 효율이 좋지만 구동회로가 복잡하게 된다.

3. LPM의 특성 및 성능 평가

LPM의 성능을 결정하는 특성파라미터는 크게 추력/입력[N/kW], 추력/질량[N/kg], 추력/체적[N/L], 추력/치단면적[N/m^2] 등이며, 추력이란 최대 동추력을 나타내며, 질량과 체적은 가동자와 고정자 전체의 값이 아니라 추력을 발생하는 작용면적에 해당하는 부분만의 질량과 체적이다. 치 단면적은 추력이 직접 작용하는 치만의 면적이며, 그림 5에 입력, 출력, 부하파라미터를 나타내었다.

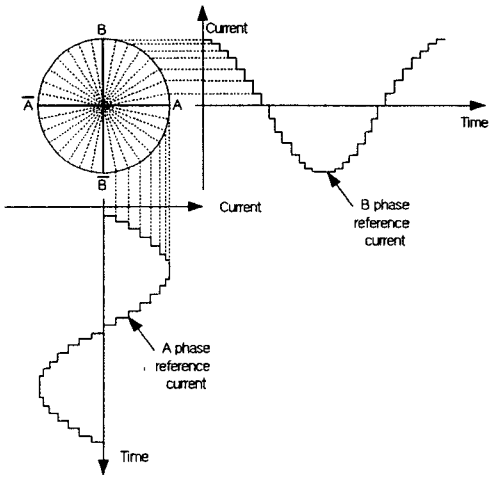


그림 2. 전류지령과 토크벡터

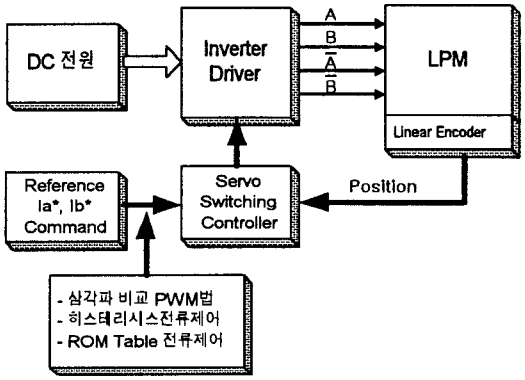
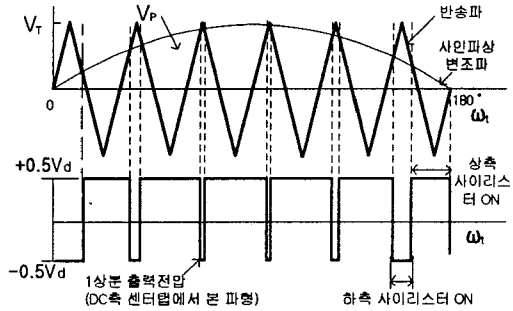
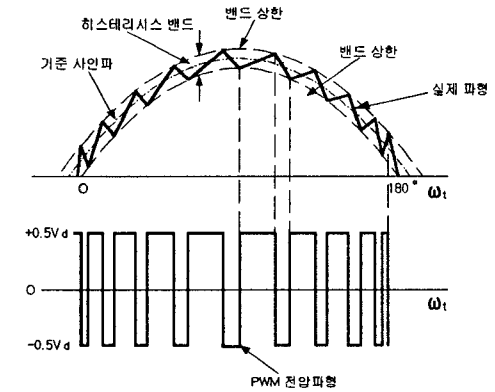


그림 3. LPM 구동시스템

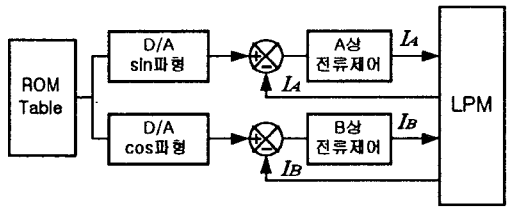
LPM의 추력은 정추력과 동추력으로 분류하며, 정추력에는 HB형 LPM의 경우, 영구자석과 자기회로에 의하여 정량적으로 산출하는 디텐트 추력과 LPM이 정지상태에 있을 때 직류여자 전류를 인가하여 홀딩 추력을 발생시킨 후, 변위에 따른 힘을 측정한 것이다. 추력 측정장치에는 추력을 얻기 위한 로드셀(Load Cell)과 변위를 표시하기 위한 리니어 포텐쇼미터(Linear Potentiometer)나 마이크로스텝 구동의 변화에 따른 서브 미크론(Sub-micron) 단위의 변위 측정이 가능한 레이저 광원 간섭계인 인터페로미터(Interferometer)로 구성되며, 시간에 대한 변위, 속도 및 가속도를 측정한다.



(a)



(b)



(c)

(a) 삼각파 비교 PWM법,
(b) 히스테리시스 제어법,
(c) ROM Table 전류제어법

그림 4. 마이크로 스텝구동의 정현파 전류제어법

LPM 모터는 ①주행거리와 입력펄스수가 완전히 비례하고 ②펄스 주파수와 속도가 비례하며 ③무여자시 자기유지력이 존재하고 ④주행거리에 의한 누적오차가 없으며 ⑤초저속 구동이 가능하고 ⑥마이크로스텝 구동으로 정밀위치 제어가 가능하며 ⑦정전류 구동시에는 탈조를 방지할 수 있고, ⑧단위입력당 추력이 가장 크다 등의 장점을 가지고 있다.

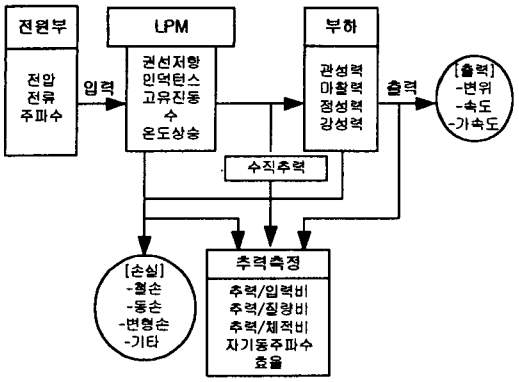


그림 5. LPM의 성능측정 파라미터

특히 최근에는 전자제어기술의 발달에 힘입어 초저속, 고속 및 고정밀도의 위치결정이 필요한 비례제어 밸브구동용 서보모터로도 LPM이 도입되어 시도되고 있다.

4. 결 론

소형, 경량화 및 고성능 정밀제어를 추구하는 최근의 추세에 따라, 국내의 모터개발 경향에 맞추어 리니어 모터의 종류, 동작원리, 제어방법 및 응용사례 등을 살펴보았다. 리니어 펄스 모터는 진동저감 및 고정밀 제어를 위해 최근 실시간 연산이 가능한 DSP 등의 고속 마이크로 프로세서를 이용하여 다양한 제어 이론을 적용한 고성능 제어기의 구현이 가능하게 되었다. 일부 선진국은 모터의 설계제작 수준을 넘어 응용분야의 다양화에 따라 변경, 개발하여 실용화하고 있으나, 국내는 대형화 및 고정밀도의 리니어 모터를 개발, 제작하고 있고, 점차 그 격차는 좁혀지고 있다. 이중 리니어 모터는 구조적인 제약사항이 있어 회전형 기기에 비해 측정기술 및 기기가 낙후되어 성능의 검증에 많은 어려움을 갖고 있다. 따라서, 리니어센서를 비롯한 각종 계측시스템과 측정기술 개발도 리니어 모터 제어기술을 발전시키는 한 요소가 될 것으로 기대한다.

참고 문헌

[1] TAK KENJO, Electric Motors and their Controls, OXFORD Science Publications, 1991

[2] Takashi Kenjo, Stepping Motors and their Microprocessor Controls, CLARENDON PRESS · OXFORD, 1984

[3] 白木 學, 宮尾 修美, 圖解リニアサーボモータとシステム設計, 綜合電子出版社, 1986

[4] 백수현 역, 소형모터 설계 편람, 世和出版社. 1988

[5] 편집부 역편, 리니어모터 핸드북, 世和出版社. 1988

[6] Junji Hirai, Tae-Woong Kim, and Atsuo Kawamura, "Position-Sensorless Drive of Linear Pulse Motor for Suppressing Transient Vibration", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.47, NO.2, pp.337~345, April 2000.

[7] Dong-Eui Chang, Yang-O Kim, In-Joong Ha, "A New Sensorless Control Method for a General Class of Linear Pulse Motors", pp.601~605, IEEE PCC-Nagoya '97