

아날로그 전류제어기를 이용한 영구자석 선형동기전동기의 추진제어

김찬*, 이기창**, 송의호*
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Driving method of PMLSM by using analog current controller

Kim chan*, Lee Kichang**, Song Euiho*
 Changwon University*, Korea Eelectro-technology Reserch Institute**

ABSTRACT

장거리 이송이 가능한 선형동기 전동기 구조를 제안하고, 수학적 모델링을 하였으며, PI제어기를 포함하는 제어알고리즘을 제안하여, 실험으로 그 결과를 확인하였다. 추진제어기의 출력은 Park's, Clarke's Transformation을 이용하여 코일을 구동하는 전류 명령을 발생시켰으며 개별 코일을 독립적으로 구동하는 아날로그 전류제어기를 OP Amp로 구현하였다. 실험결과는 속도 오차는 4 ~ 10% 이하의 결과를 얻었다

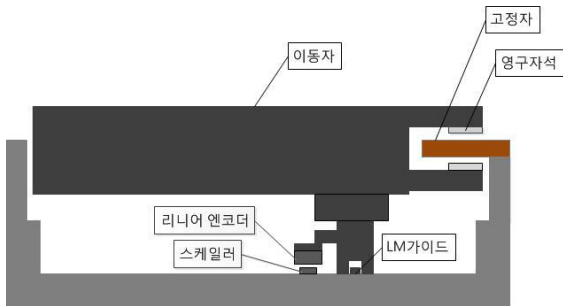
1. 서론

최근 공장 자동화 시스템의 발달로 선형이송 시스템의 사용빈도가 높아지고 있다. 특히 반도체와 LCD 디스플레이와 같은 산업에서 많이 이용되고 있으며, 이와 같은 공정에서는 선형이동간의 보다 높은 정밀도를 요구 한다. 따라서 이송시스템에 선형전동기 중에서도 역률과효율이 좋으며 제어 알고리즘이 비교적 간단한 영구 자석 동기 전동기를 많이 이용하고 있다. 본 논문에서는 영구자석 선형 동기 전동기를 이용한 선형이송시스템을 모델링하고 아날로그 전류제어기의 OP AMP의 Shutdown모드를 이용한 색전절환법에 대해 연구 하였다. 그리고 그에 대한 유효성을 실험을 통해 확인 했다.

2. 시스템 설계 및 제어 알고리즘

1. 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 연구한 영구 자석 선형 동기 전동기 시스템 구조를 나타낸다.



그림(1)영구자석 선형동기전동기의 시스템 구조
 Figure(1)System structure of PMLSM

고정자가 양쪽으로 11개씩 배치되어 있으며 고정자 내부에는 3상의 코일이 결선 되어 있다.

고정자인 영구자석을 위아래로 배치 하고 고정자 내부의 코일로 전류를 흐르게 함으로써 자속이 형성되어 추진력을 발생 시킨다. 발생된 추진력으로 이동자는 이동하게 되며, LM가이드에 의해서 가이드 제어가 이루어 진다. 이동자의 위치 정보는 리니어 스케일러 위에 장착된 리니어 엔코더를 통해 얻을 수 있다.

2. 수학적 모델링

영구 자석 선형 동기 전동기를 d q축 좌표계로, 전자기력을 식(1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{3\pi}{2\tau_p} [\lambda_{PM} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (1)$$

$$= \frac{3\pi}{2\tau_p} [\lambda_{PM} i_q + (L_a - L_a) i_d i_q]$$

영구자석 선형 동기 전동기에서 d q축 각각의 인덕턴스는 같고, 또한 벡터 제어에서 $i_d=0$ 이므로 식(1)을 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{3\pi}{2\tau_p} \lambda_{PM} i_q = K_f i_q \quad (2)$$

i_d, i_q 를 Park's, Clarke's Transformation을 통해 i_a, i_b, i_c 회전 좌표계로 표현할 수 있다. 이 과정을 식(3)과 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$i_\alpha = i_d \cos\theta - i_q \sin\theta \quad (3)$$

$$i_\beta = i_d \sin\theta + i_q \cos\theta$$

$$i_a = i_\alpha \quad (4)$$

$$i_b = -\frac{1}{2} i_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta$$

$$i_c = -\frac{1}{2} i_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta$$

식(4)의 i_a, i_b, i_c 가 전류제어기의 지령치로 들어가게 된다. 이 과정을 식(3)과 (4)와 같이 나타낼 수 있다

3. 제어 알고리즘

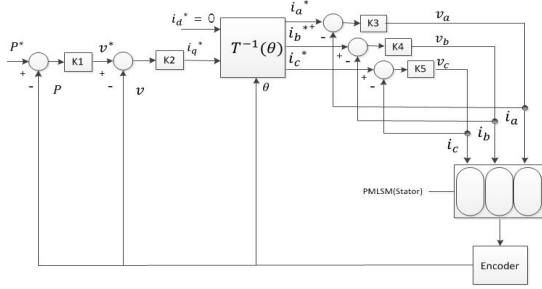


그림 (2) 영구자석 선형동기전동기의 제어 블록도
Figure(2) Control block of PMLSM

그림(2)는 시스템의 블록도를 나타낸 것으로 엔코더를 통해 측정된 위치와 속도를 지령치와 비교하여 오차를 PI제어를 하게 되면 위와 같이 i_q^* 가 나오게 되고 i_d^* 는 0으로 제어하여 식(3), (4)의 과정인 $T^{-1}(\theta)$ 를 거치게 되면 Sin과 형태의 3상 전류가 아날로그 전류제어기의 지령치로 들어가게 된다.

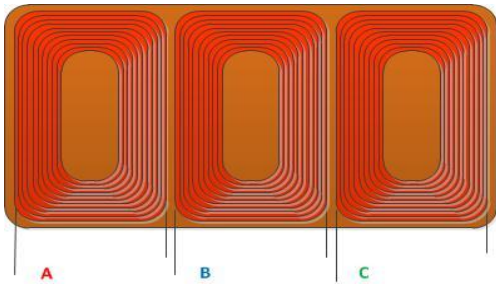


그림 (3) 영구자석 선형동기전동기의 고정자
Figure(3) Stator of PMLSM

아날로그 전류제어기는 OP AMP로 구성되어 있으며 P제어만을 이용했다. 또한 OP AMP의 특수기능인 Shutt Down기능을 이용해 이동자가 위치한 고정자 외의 나머지 코일은 전류제어기 회로를 단락 시킴으로써 섹션 절환이 가능하도록 했다. 위의 그림3은 고정자를 나타낸 것으로 하나의 고정자 내에 3개의 코일이 위치해 각 a, b, c상에 전원이 인가된다.

전류제어를 아날로그로 함으로써 빠른 응답특성을 가지며 A/D변환 과정이 없으므로 오차값을 줄이는 효과가 있다.

3. 실험결과

1. 실험세팅

위치 및 속도는 TMS320F28346을 통한 디지털에 제어를 하고 있으며 전류는 OP AMP를 통한 아날로그 제어를 하고 있다. 실험결과는 MATLAB과 연동되는 dSPACE 장비로 전류센서를 통해 상전류를, DSP의 DAC 기능을 이용해 속도를 측정해 확인 했다. 영점을 기준으로 200~200mm 구간을 30mm/sec로 구동 하였고 했다.

2. 실험결과

그림(4),(5)는 속도의 지령치와 실제 속도를 나타내며 그림(6)은 a, b, c상의 전류이다.

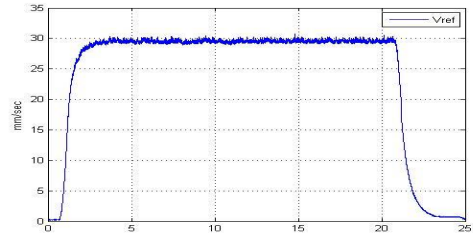


그림 (4) 지령 속도
Figure(4) Reference of velocity

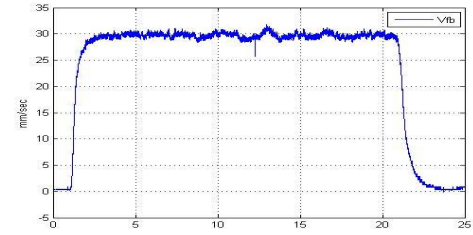


그림 (5) 측정 속도
Figure (5) Measure velocity

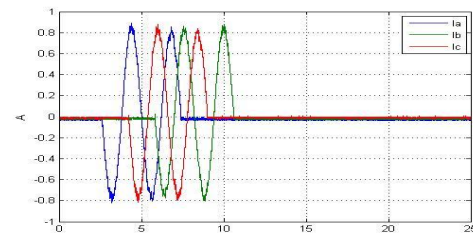


그림 (6) A, B C의 전류
Figure (6) Current of A, B, C

실제 속도의 경우 지령치의 속도를 빠른응답을 보이며 추종해 가는 것을 확인했다. 또한120°의 위상차를 가지는 a, b, c 각상의 전류를 확인 했다. 그러나 속도 지령치의 노이즈의 영향으로 리플이 있으며 그로 인해 실제속도에 4~10% 정도의 리플율이 있음을 확인 했다.

4. 결론

OP AMP를 이용한 Shutt down모드를 통해 영구자석 선형동기 전동기를 섹션 절환하는 제어법을 제안 하였으며 실험을 통해 제어법의 실현가능성을 확인했다. 그러나 노이즈 등으로 인한 리플이나 왜곡 등을 EMI 및 쉴드처리를 통해 개선할 필요가 있어 보인다.

참고 문헌

- [1] Kenji Suzuki, "Driving Method of Permanent Magnet LinearSynchronous Motor with the Stationary Discontinuous Armature for Long Distance Transportation System," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 5,
- [2] Ying Shieh Kung, "Design and Implementation of a High Performance PMLSM Drives Using DSP Chip," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.55, No.3, Mar. 2008.