

선형유도전동기(LIM)의 직접벡터제어 특성실험

권병일^{*}, 이상우^{*}, 박승찬^{**}
한양대학교 전기공학과*, 한양대학교 공학기술연구소**

Characteristic Experiment for Direct Vector Control of Linear Induction Motor

Kwon Byung-il^{*}, Lee Sang-Woo^{*}, Park Seung-Chan^{**}

Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ.^{*}, Research Institute of Engineering & Technology^{**}

Abstract

Instantaneous thrust control of linear induction motor(LIM) is needed to control its speed and position more accurately. In the vector control of LIM, it is hard to calculate flux angle exactly because of end effects of LIM. So in this paper direct vector control method is utilized to control speed of LIM. The airgap magnetic flux angle measured by hall sensors is transferred directly into coordinate transformer.

As a result, some experimental values of direct vector control using DSP are shown.

1. 서 론

선형유도전동기는 구조가 단순하고, 유지 보수가 용이하여, 동력변환장치 없이 직선 추진력을 얻을수 있는 장점등을 가지고 있으므로 직선 운동이 필요한 시스템에 적합한 구동기로서 그 적용이 점차 증가 되고 있다. 특히, 선형유도 전동기를 이용하여 고성능의 동특성이 요구되는 서보 시스템을 실현하기 위해서는 순시 추적제어가 가능한 벡터 제어가 요구되고 있다.

벡터제어에서는 공극 자속에 의하여 정의되는 계좌표계를 기준으로 1차축의 3상 전류를 결정하므로, 순시적인 자속벡터를 정확하게 구하는 것이 중요하다. 순시 자속벡터를 구하는 방식에 따라 벡터 제어는 간접벡터제어와 직접벡터 제어 방식으로 분류하게 되는데, 간접벡터제어는 2차축의 속도를 측정하고 슬립주파수를 계산하여 2차축 자속의 위치를 구하는 것으로서, 2차축 저항과 인덕턴스등의 파라미터 변동에 따라서 정확한 양을 계산하기 힘들다. 그러나, 이러한 문제는 2차축 자속, 즉 공극 자속을 직접 측정하는 직접벡터 제어방식을 채택하면 해결 될 수 있다[1]. LIM의

직접벡터 제어시의 특성시뮬레이션에 관한 논문은 이미 발표되었으나[2][3], 이에 대한 실험적 특성고찰은 현재까지 이루어지지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 LIM의 속도제어에 직접벡터제어를 적용하고 이의 실험적 특성을 고찰하고자 한다.

또한, 벡터제어를 구현하기 위하여 명령치 전류를 고속으로 추종하는 DSP를 사용한 허스테리시스 전류 제어형 인버터를 직접 제작하여 실험하였다.

2. 자속검출에 의한 LIM의 직접벡터

LIM의 직접벡터 제어를 위해서는 2차축 자속벡터를 측정하여야 하는데, LIM의 경우는 구조가 개방되어 있는, 공극이 크므로 본 논문에서는 자속 센서인 Hall Sensor를 이용하여 순시 자속벡터를 검출한다.

1차축 치표면에 설치된 Hall Sensor에 의해 검출되는 자속벡터는 2차축 누설 자속을 포함하지 않으나, 선형유도 전동기의 경우는 2차축이 Flat형이기 때문에 2차축 누설 인덕턴스를 무시할 수 있다[4]. 따라서, Hall Sensor에서 검출되는 공극 자속은 곧 2차축 자속으로 사용할수 있어 자속각의 검출이 간단해 진다.

이동좌표계에서 정하는 d축 전류 i_{dq} 와 q축 전류 i_{q*} 는 검출된 자속각 θ 를 이용하여 식(1)으로부터 구해진다.

$$\begin{bmatrix} i_{dq} \\ i_{q*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d*} \\ i_{q*} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, i_{d*} , i_{q*} 는 각각 1차축 직교좌표계의 d, q축 전류이다.

한편, 본 논문에서 구현한 속도 서보의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 속도 제어기는 속도 명령 V_s^* 에 따라 추

력분 전류 명령 i_{qs}^* 를 발생시켜 Feedback 된 속도가 명령에 추종하도록 동작한다. 3상 전류 명령을 생성시켜 전류 제어형 PWM인버터의 출력 전류를 제어하게 된다. 좌표변환에 필요한 자속각은 앞서 언급한 바와 같이 Hall sensor로 부터 얻는다.

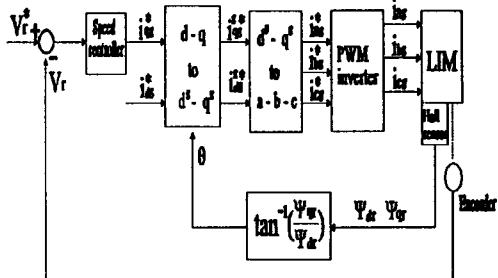


그림 1. LIM의 직접 벡터제어에 의한
리니어 속도 서보 구성도

Fig.1 Linear speed control system using
the direct vector control of LIM

3. 실험 결과

본 논문에서 실험대상으로 사용한 선형유도전동기의 전기적 및 기계적인 제원은 표 1과 같다.

표 1. LIM의 전기적제원과 기계적인 제원
Table.1 Specification of LIM

구 분	전기적 제원	기계적 제원
1차측	방식:차상 1차면축식	철심치수-높이:59.6 [mm]
	상수(m): 3상	적층폭:63 [mm]
	극수(P): 4극	길이: 325 [mm]
	정격전압: 220 [V]	슬롯수: 29 [¶]
	권선저항: 4.0 [Ω]	슬롯 깊이: 32.6 [mm]
	매극매상	슬롯 폭: 8 [mm]
	슬롯수(q): 2	슬롯 끈: 11.1 [mm]
	단계계수(β): 5/6	극 피치: 66.6 [mm]
결선방법: Y결선		상당권선수: 544 [Turns]
		코일 : Ø0.7 × 2
		Overhang : 57 [mm]
공 극		3 [mm]
2차측	A1 도전율: 3.59 × E7 [S/m]	두께 - Al : 2.0 [mm] Fe : 16.0 [mm]
	Back Iron의 비무자율	폭 - Al : 180.0 [mm] Fe : 400.0 [mm]
	- 500	

그림 2는 선형유도전동기 제어시스템의 하드웨어 구성도를 나타낸다.

선형유도전동기의 제어 시스템의 주연산장치로는 시스템의 실시간제어를 위하여 DSP TMS320C31를 사용하고 IGBT를 사용한 전류제어형 인버터로 구성된다. 모든 프로그램은 PC486에서 작성하여 DSP320C31로 Download 시키면 실행이 된다.

제어대상인 선형유도전동기(LIM)의 속도측정은 보통의

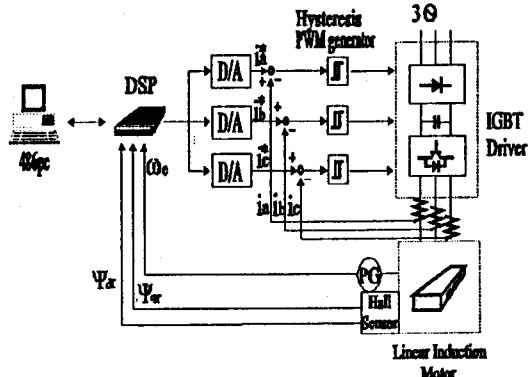


그림2. 제어시스템의 하드웨어 구성도
Fig.2 Hardware block diagram of control system

M/T method 가 아니라 저속일때의 속도측정방법인 엔코더의 Pulse가 하나씩 Feedback 될때마다 시간을 측정하여 속도를 계산하는 방식을 취하고 있다. 그리고, 속도측정을 위한 엔코더는 선형유도전동기의 경우에 두개의 장비를 연결하기 위하여 벨트를 사용하였고, 이 벨트로 인하여 엔코더가 회전하면 Pulse가 나오게 된다. 엔코더는 1회전당 1024개의 Pulse가 나오게 되고 이를 4채널하여 속도를 측정하였다.

직접벡터제어를 위한 Hall Sensor는 1차측 Stator과 2차측 알루미늄판 사이에 들어가게 된다. 이때 Sensor의 위치는 기존의 90° 위상차이를 두고 설치하지 않고 120° 위상차이가 나게 a,b,c상의 자속을 측정하여 d-q 자속을 회로적으로 바꾸어 준후에 A/D 변환기를 거쳐서 DSP로 들어가게 된다. 이렇게 연산이 된후에 D/A 변환기를 통한 후 히스테리시스 전류제어기를 사용하여 PWM 제어신호를 만들어 주게 된다.

그림3는 d-q축 자속 Feedback 파형이다. 약간의 왜형현상이 나타나는 이유는 LIM의 경우에는 회전기와 달리 End effect로 인하여 공극자속밀도의 최대값이 변화하기 때문이다.

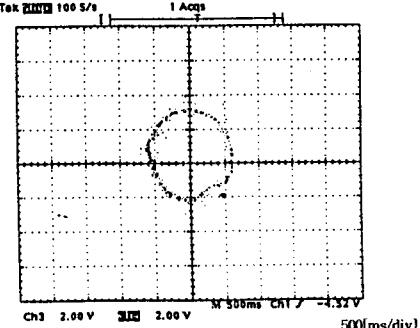


그림3. d-q축 자속 Feedback 파형
Fig.3 d-q axis magnetic field feedback waveform

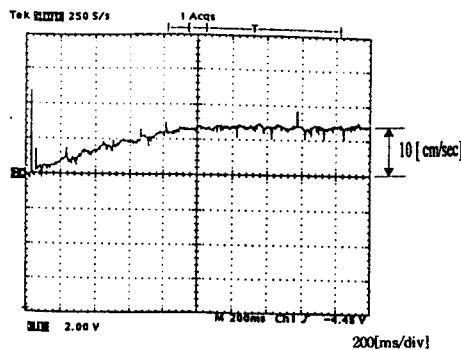


그림4. LIM의 속도 파형
Fig.4 Speed waveform of LIM

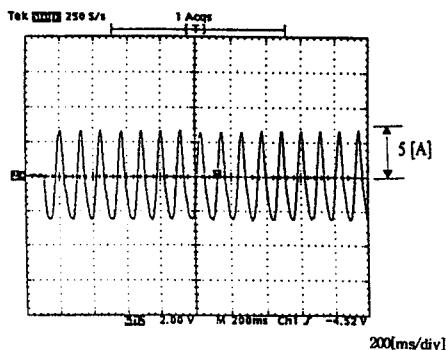


그림5. LIM의 지령치 전류파형(A 상)
Fig.5 Reference current of LIM(A Phase)

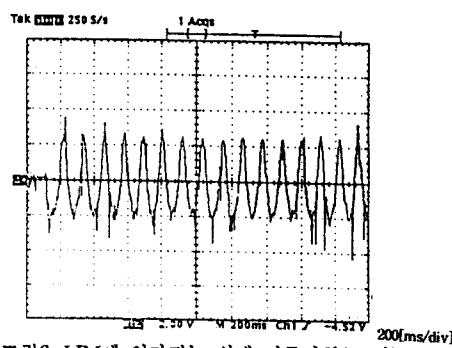


그림6. LIM에 인가되는 실제 전류파형(A 상)
Fig.6 Current of LIM(A Phase)

그림4는 직접백터제어에서 지령값을 $10[\text{cm/sec}]$ 의 저속운전에서의 속도파형이다. 속도측정값을 DSP에서 D/A변환기를 통하여서 파형을 측정하였다. 처음의 피크파형은 정지상태에서 기동할때의 순간적으로 발생한 속도값이다. 그림에서 보면 지령치에 잘 추종함을 알수 있다.

그림5는 DSP에서 연산된 값들이 D/A 변환기를 통하여 나온 지령치 1상의 전류 파형이다. 이 파형은 기동시에서 정상 상태까지의 전류 지령치이다.

그림6은 실제 LIM에 흐르는 1상의 전류파형이며, 그림 5의 지령치 전류값에 잘 추종함을 알수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 선형유도전동기의 속도제어를 위하여 Hall sensor로 공극 자속밀도를 직접 검출하여 자속각을 직접 구하는 직접백터제어방식을 제택하고, DSP를 이용한 히스테리시스 전류 제어형 인버터를 직접 제작하여 이를 구현하였다. 직접백터제어에 의한 선형유도전동기의 속도제어의 결과로서, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저속도인 $10 [\text{cm/sec}]$ 이하에서도 직접백터제어에 의한 속도제어가 가능하였다.
- 2) 선형유도전동기가 갖는 고유한 특성인 End effect로 인하여 d-q축 자속의 위상도가 예상이 일어나므로, 보다 정확한 제어를 위해서는 이를 보상하기 위한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] B.K.Bose, Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, 1986.
- [2] R.M.Pai, Ion Boldea, S.A.Nasar, "A Complete Equivalent Circuit of a Linear Induction Motor with Sheet Secondary", IEEE Trans. on Magnetics, pp.639-654, 1988.
- [3] D.H.Im, B.I.Kwon, J.H.Song, S.C.Ahn, "Flux Sensing for Direct Vector Control of LIM", Int. Symposium on Advanced Computational and Design Techniques in Applied Electromagnetic Systems, p.221 Jun, 1994
- [4] 임달호, 권병일, 김창업, 윤호, "Stator Tapped Coil 을 이용한 편측식 선형유도전동기의 직접백터제어", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.692-694, 1992.7.