

2相 Linear Stepping Motor의 진동특성에 관한 연구

吳 鴻 錫, 金 東 熙, 李 相 鎬, 鄭 道 永, 金 春 杉

A Study on the Vibration Characteristics
of 2-phase Linear Stepping Motor

Hong-Seok Oh, Dong-Hee Kim, Sang-Ho Lee, Do-Young Jung, Choon-Sam Kim

요 약

리니어 스텝핑 모터(Linear Stepping Motor : 이하 LSM이라 칭함)는 운동 변환기구 없이 입력신호에 따라 선형적인 변위를 발생시키는 다이렉트 드라이브(Direct Drive)방식의 진동기이다. 따라서 LSM은 자동반송장치, 의료기기, OA, FA 응용 등에 다양하게 사용되고 있다. 그러나, LSM은 구동시 구조적으로 큰 진동이 발생됨으로서 추력이 급격히 떨어질 때가 있으며, 최악의 경우에는 역전이나 탈조현상이 발생하고, 또한 소음의 원인이 되기 때문에 응용에 있어서 많은 제약을 받고 있는 실정이다. 여기에 대응하기 위해, 본 논문에서는 권선 인덕턴스에 저장된 에너지와 LSM의 유도전압을 이용한 새로운 1상 여자방식에 의한 진동억제 방법을 보여주며, 또한 LSM의 구조를 기초로 자기등가회로를 구성하였으며, 또한 자기등가회로에 대한 방정식을 이용하여 LSM의 전기적인 등가회로를 유도하였다. 그리고, LSM의 새로운 1상 여자방식에 의한 진동특성을 전압방정식과 추력방정식 및 운동방정식을 사용하여 ACSL에 의하여 시뮬레이션 하였으며, 레이저 실측 시스템에 의한 실측결과와 비교·검토하였다.

ABSTRACT

In this paper, a vibration suppression method using an energy stored in winding inductance and an induced voltage of the Linear Stepping Motor(LSM) is shown, and it is applied to a new one-phase excitation method. And a magnetic equivalent circuit is based on the structure of the LSM, and then the electric equivalent circuit of the LSM is derived by solving equations for the magnetic equivalent circuit. Several dynamic characteristics of the LSM are analyzed by the ACSL with the voltage equations, the force equations and the kinetic equation, and are measured by experimental system.

Key Words : Linear Stepping Motor(LSM), equivalent circuit, kinetic equation, ACSL

1. 서 론

리니어 스텝핑 모터(Linear Stepping Motor : 이하 LSM이라 칭함)는 회전형 스텝핑 모터 (Rotary Stepping Motor)와 같이 개루프 제어(Open loop control)로도 정확한 위치제어가 가능하다. 특히, 운동 변환 기구 없이 입력신호에 따라 선형적인 변위를 발생시키는 다이렉트 드라이브(Direct Drive)방식의 진동기이다. 따라서 LSM은 자동반송장치, 의료기기, OA,

FA 응용 등에 다양하게 사용되고 있다.^{[1] [6]} 그러나, LSM은 구동시 구조적으로 큰 진동이 발생됨으로서 추력이 급격히 떨어질 때가 있으며, 최악의 경우에는 역전이나 탈조현상이 발생하고, 또한 소음의 원인이 되기 때문에 이를 극복하기 위해 많은 연구가 행해지고 있다.^{[7] [10]}

본 논문에서는 권선 인덕턴스에 저장된 에너지와 LSM의 유도전압을 이용한 새로운 1상 여자방식에 의해 진동억제를 실현시키고 있다. 또한 LSM의 구조를

기초로 자기등가회로를 구성하였으며^{[5][10]}, 자기등가회로에 대한 방정식을 이용하여 LSM의 속도기전력에 해당하는 유도전압 및 전기적인 등가회로를 유도하였다.^{[3][10]} 그리고 무 여자시 속도변화에 따른 유도전압을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검토하였다. 더욱이, LSM의 새로운 1상 여자방식에 의한 진동특성을 전압 방정식과 추력방정식 및 운동방정식과 유도전압을 사용하여 ACSL에 의하여 시뮬레이션 하였고, 레이저 실측 시스템에 의한 실측결과와도 비교, 검토하였다^[11].

2. LSM의 구조의 구조 및 해석

그림 1은 LSM의 구조를 나타내고 있다.

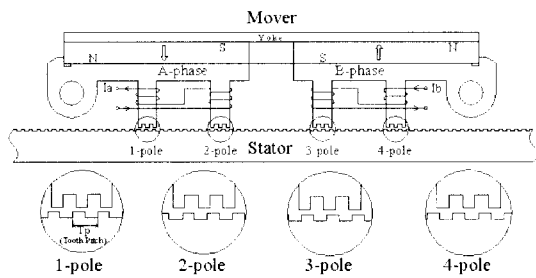


그림 1 LSM의 구조
Fig. 1 Structure of LSM

그림 1에서 가동자(Mover)의 이동속도는 주어진 입력 펄스의 주파수로 결정되며, 가동자의 이동거리는 입력 펄스의 수로 결정이 된다. LSM은 입력 펄스 신호에 동기되어 이동하기 때문에 반드시 기어 형태의 치와 슬롯을 가지며, 직선 추력의 발생은 가동자의 변위에 따라 가동자와 고정자(Stator) 사이의 공극 퍼미언스 값의 변화로 발생하기 때문에 가동자와 고정자 사이에 일정한 공극을 유지하여야 한다. 따라서 LSM의 치와 슬롯이 존재하는 것은 일반 회전기에서 볼 수 있는 권선을 감기 위한 슬롯과는 구조적으로 또는 이론적으로 다르다. 가동자는 A상과 B상의 전자석이 이동방향의 전후로 배치되어 있으며 A상의 코일은 자극 1과 자극 2의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있다. 또한 B상의 코일은 자극 3과 자극 4의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있다. 각각의 전자석에는 두 개의 자극으로 되어 있으며, 자극 1과 자극 2 및 자극 3과 자극 4는 각각 \$(n + 1/2)T_p\$ (치피치)만큼 엇갈리고, 자극 1과 자극 3 및 자극 2와 자극 4는 서로 \$(n + 1/4)T_p\$ 또는 \$(n + 3/4)T_p\$만큼 엇갈려 배치되어 있다.

2.1 LSM의 자기등가회로

그림 2는 LSM의 자기등가회로를 나타내고 있으며 그림에서 기호들은 다음과 같다.

- U_p : 영구자석에 의해 생성된 기자력(mmf)
- U_A, U_B : 전류 I_A 및 I_B 에 의해 생성된 기자력(mmf)
- R_i : 공극에서의 자기저항 (i : 극수)
- R_p : 영구자석에서의 자기저항
- R_y : 오크에서의 자기저항
- R_s : 고정자에서의 자기저항
- Φ_i : 극에서의 자속

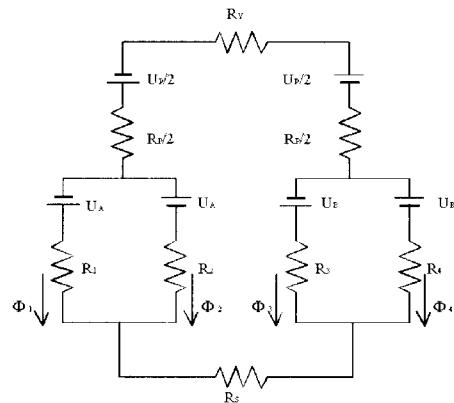


그림 2 자기등가회로
Fig. 2 Magnetic equivalent circuit

그림 2에서, 여자전류와 자속사이에는 히스테리시스 가 없는 선형 관계라고 가정하고, 극에서의 자속을 근사적으로 보면 다음과 같다.

$$\left(\begin{array}{l} \Phi_i = \Phi_{ip} + \Phi_{iA} \quad [Wb] \\ \quad (i = 1, 2) \\ \Phi_i = \Phi_{ip} + \Phi_{iB} \quad [Wb] \\ \quad (i = 3, 4) \end{array} \right) \quad (1)$$

단,

$$\begin{aligned} \Phi_{1P} &= \Phi_p + \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_{P(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} nx \\ \Phi_{2P} &= \Phi_p + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \Phi_{P(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} nx \\ \Phi_{3P} &= -\Phi_p - \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_{P(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} n(x - \frac{T_p}{4}) \\ \Phi_{4P} &= -\Phi_p - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \Phi_{P(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} n(x - \frac{T_p}{4}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{1A} &= \Phi_A + \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_{A(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} nx \\ \Phi_{2A} &= -\Phi_A - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \Phi_{A(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} nx \\ \Phi_{3B} &= \Phi_B + \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_{B(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} n(x - \frac{T_p}{4}) \\ \Phi_{4B} &= -\Phi_B - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \Phi_{B(n)} \cos \frac{2\pi}{T_p} n(x - \frac{T_p}{4}) \end{aligned}$$

여기서, Φ_P 와 $\Phi_{P(n)}$ 은 각각 영구자석에 의해 생성된 자속의 평균값과 n 차 고조파 자속의 크기를 나타낸다. Φ_A 와 Φ_B 는 각각 전류 I_A 와 I_B 에 의해서 생성된 자속의 평균값이다. 또한, $\Phi_{A(n)}$ 와 $\Phi_{B(n)}$ 은 n 고조파 자속의 크기를 나타낸다.

A상이 여자될 때, 자기수반 에너지 W_{mcA} 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} W_{mcA} &= \int_0^{I_A} \Psi dI_A = N_A \int_0^{I_A} (\Phi_1 - \Phi_2) dI_A \\ &= \frac{1}{2} N_A I_A (\Phi_1 - \Phi_2) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $N_A I_A$ [AT] 는 극당 기자력을 나타낸다. 그리고, 추력 F_A 는 자기수반 에너지의 변화에 의해서 주어지며, x 를 변위라고 할 때, 추력 F_A 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} F_A &= \frac{dW_{mcA}}{dx} = -\frac{4\pi N_A \Phi_{P(1)}}{T_p} I_A \sin \frac{2\pi}{T_p} x \\ &= -K_f I_A \sin \frac{2\pi}{T_p} x \end{aligned} \quad (3)$$

단, K_f 는 추력상수 [N/A]이고, $\Phi_{P(1)}$ 은 영구자석에 의해 생성된 제 1고조파 자속의 크기를 나타낸다.

위와 같은 방법으로 B상이 여자될 때, 추력 F_B 는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} F_B &= \frac{dW_{mcB}}{dx} = -\frac{4\pi N_B \Phi_{P(1)}}{T_p} I_B \cos \frac{2\pi}{T_p} x \\ &= -K_f I_B \cos \frac{2\pi}{T_p} x \end{aligned} \quad (4)$$

따라서, 전체 추력 F 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = F_A + F_B \quad (5)$$

2.2 LSM의 전기등가회로

그림 3은 LSM의 전기등가회로를 나타낸다.

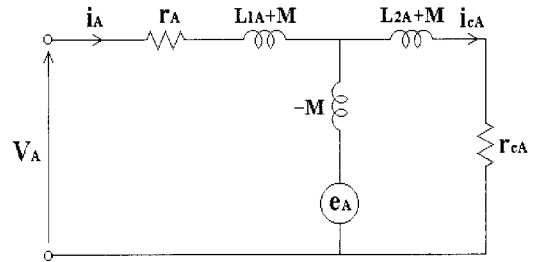


그림 3 전기등가회로(A상)
Fig. 3 Electrical equivalent circuit(A phase)

그림 3에 나타난 A상에 대한 LSM의 전기등가회로에서 전압방정식을 도출하면 식 (6), (7)과 같다.

$$v_A = r_A i_A + L_{1A} \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_{cA}}{dt} + e_A \quad (6)$$

$$0 = r_{cA} i_{cA} + L_{2A} \frac{di_{cA}}{dt} + M \frac{di_A}{dt} - e_A \quad (7)$$

단, r_{cA} 는 철손에 해당하는 등가저항이다.

같은 방법으로 B상에 대하여 전압방정식을 도출하면 식 (8), (9)와 같다.

$$v_B = r_B i_B + L_{1B} \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_{cB}}{dt} + e_B \quad (8)$$

$$0 = r_{cB} i_{cB} + L_{2B} \frac{di_{cB}}{dt} + M \frac{di_B}{dt} - e_B \quad (9)$$

또한, 속도기전력에 해당하는 A 상의 유도전압 e_A 와 B상의 유도전압 e_B 를 나타내면 식 (10), (11)과 같다.

$$\begin{aligned} e_A &= 2N \frac{dx}{dt} \Phi_{P(1)} \frac{2\pi}{T_p} \sin \frac{2\pi}{T_p} x \\ &= K_1 \frac{dx}{dt} \sin \frac{2\pi}{T_p} x \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} e_B &= 2N \frac{dx}{dt} \Phi_{P(1)} \frac{2\pi}{T_p} \cos \frac{2\pi}{T_p} x \\ &= K_1 \frac{dx}{dt} \cos \frac{2\pi}{T_p} x \end{aligned} \quad (11)$$

단, K_1 는 속도기전력 [V/m/s] 상수이다.
LSM의 운동방정식은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_A + F_B = (M' + m) \frac{d^2x}{dt^2} + 2(M' + m) \zeta_n \omega_n \frac{dx}{dt} \quad (12)$$

여기서 M' 는 부하의 질량이며, m 은 가동자의 질량이고, ζ_n 과 ω_n 은 각각 감쇄비와 고유진동수이다.

3. 진동억제를 위한 새로운 제어방식

그림 4는 가동자 권선 인덕턴스에 저장된 에너지와 유도전압을 이용한 진동억제의 원리를 나타낸다.

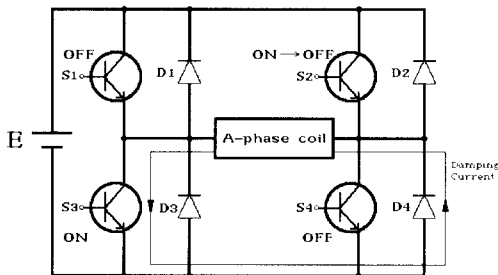


그림 4 진동 억제 원리
Fig. 4 Principle of vibration suppression

기존에는 S_2 와 S_3 가 동시에 턴 온(turn-on), 턴 오프(turn-off)하였으나, 새로운 1상 여자방식에서는 S_3 의 턴 오프(turn-off)시간을 S_2 보다 지연시킴으로써, 권선 인덕턴스에 저장된 에너지는 S_3 와 다이오드 D_1 를 통하여 프리휠링(free wheeling)되고 가동자 진동에 의한 유도전압은 짧아진다. 이와 같은 프리휠링 전류와 유도전압은 LSM의 진동억제를 위한 재동력으로 작용한다.

그림 5는 본 논문에서 사용한 기존의 1상 여자 및 새로운 1상 여자 초퍼 정전류 구동회로를 나타낸다.

표 1은 기존의 1상 여자 구동양식과 새로운 1상 여자 구동양식을 종합하여 비교한 것이다. 표 1에서 P는 기존의 1상, N은 새로운 1상 여자방식이고, P1~P4는 그림 1의 pole1~pole4를 나타내며, 기호 ↑와 ↓는 강자속과 약자속을 의미한다. 그리고 Mode1의 동작에서 P1은 영구자석의 자속과 전자석의 자속이 서로 더해지므로 강자속을 발생하고, P2는 영구자석의 자속과 전자석의 자속이 서로 상쇄되며, P3과 P4는 영구자석에

의한 자기적인 평형을 나타낸다. 또한 Mode 2와 Mode 3 및 Mode 4에서도 동일한 동작을 나타낸다.

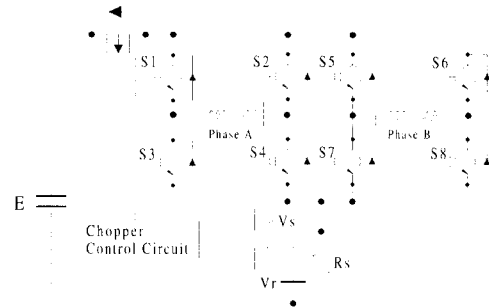


그림 5 초퍼 정전류 구동회로
Fig. 5 Chopper constant current drive circuit

표 1 기존의 1상과 새로운 1상 여자시의 비교

Table 1 Comparison of P & N excitation

항목	Mode 1		Mode 2		Mode 3		Mode 4	
	P	N	P	N	P	N	P	N
S1	ON	ON						
S2					ON	ON		
S3					ON	ON		ON
S4	ON	ON		ON				
S5			ON	ON				
S6							ON	ON
S7		ON					ON	ON
S8			ON	ON		ON		
안정위치	P1		P4		P2		P3	
자계방향	P1 ↓	P2 ↑	P3 ↓	P4 ↑	P1 ↓	P2 ↓	P3 ↑	P4 ↑

4. 시뮬레이션 및 실험결과

표 2는 실험에 사용한 LSM의 사양을 나타낸다.

표 2 LSM의 사양

Table 2 Specification of LSM

Input Voltage	DC 24 [v]
Input Current/Phase	1.0 [A]
Resistance/Phase	4.2[Ω]
Inductance/Phase	10.7[mH]
Displacement/Pulse	0.4 [mm]

4.1 속도기전력 특성

LSM의 추력 특성을 계산하기 위해서는 속도기전력

(e)과 가동자 속도(v)의 비례정수를 구할 필요가 있다. 가동자의 속도는 구동주파수(f)에 비례하므로 속도가 일정하다고 가정하면 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} ft = \frac{x}{T_p} \\ v = f T_p \end{cases} \quad (12)$$

따라서, 식(12)를 식(10)에 대입하면 속도기전력은 식(13)과 같이된다.

$$\begin{aligned} e &= K_1 \frac{dx}{dt} \sin \frac{2\pi}{T_p} x \\ &= K_1 f T_p \sin(2\pi f t) \\ &= K_E \omega \sin \omega t \\ &= E_0 \sin \omega t \end{aligned} \quad (13)$$

여기서, $K_E (= E_0/\omega)$ 는 속도기전력의 최대값과 각 속도(ω)의 비례정수로 된다.

그림 6은 특정 구동주파수(f)에 따른 속도기전력(e)의 실측결과를 나타낸다. 그리고 비례정수 K_E 를 도출하기 위해서 상 권선을 개방한 후, LSM에 별도의 구동용 전동기를 접속하여 구동주파수(f)변화에 따른 속도기전력의 최대 값을 실측하였다.

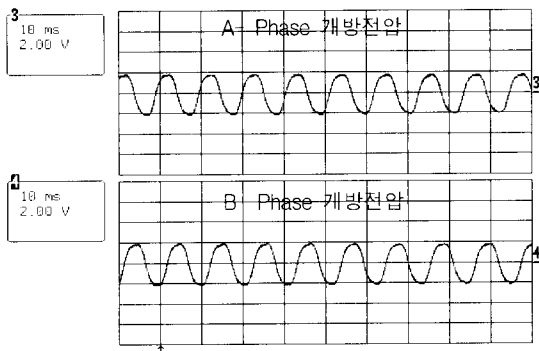


그림 6 속도기전력 파형(f = 100 [Hz])
Fig. 6 Speed EMF waveform(f = 100 [Hz])

그림 7은 구동주파수(f)변화에 따른 속도기전력의 최대 값 E_0 의 실측결과와 계산결과를 나타낸다. 실측 결과에서 알 수 있듯이, 구동주파수가 높게되면 와전류의 영향으로 인덕턴스 M에 의한 전압강하가 발생하

여 E_0 의 크기가 감소함을 볼 수 있다. 본 논문에서는 선형 특성을 갖는 저주파 영역을 선택하여 비례정수 K_E 를 구하였다. 여기에서 구한 K_E 와 식(13)을 이용하여 E_0 를 계산하였다.

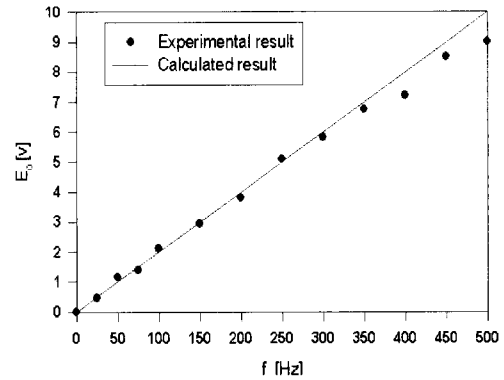
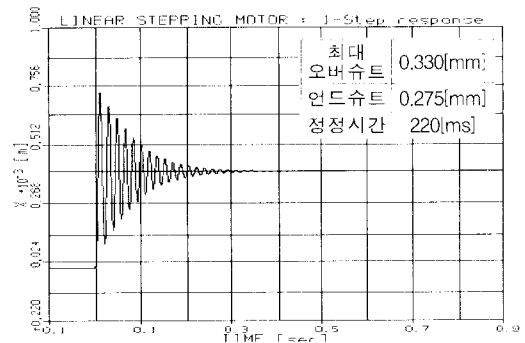
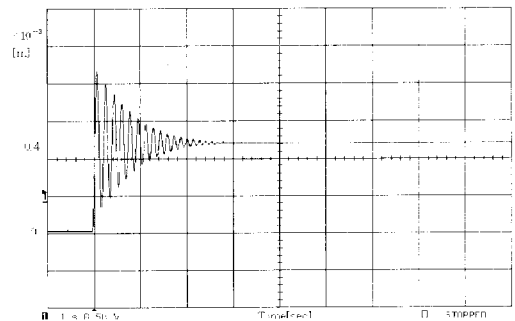


그림 7 f - E₀의 특성
Fig. 7 Characteristics of f versus E₀

4.2 진동 특성



(a) 시뮬레이션 결과

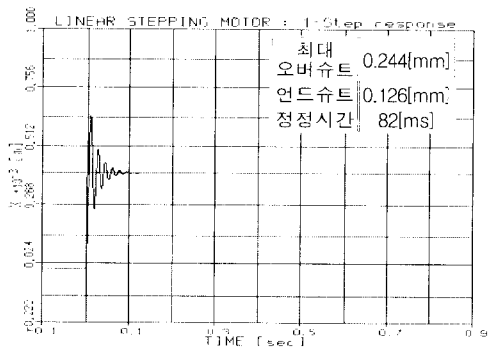


(b) 실측 결과 (320 μm/V)

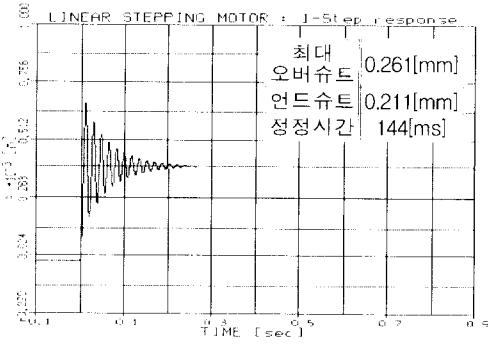
그림 8 기존의 1상 여자방식의 1-step 응답
Fig. 8 1-step response of Typical 1-phase excitation

그림 2의 자기동가회로와 그림 3의 전기동가회로에서 유도한 수식을 이용하여 ACSL에 의한 시뮬레이션을 행하였고, 레이저 실측 시스템을 사용하여 진동특성을 실측하였다.

그림 8 (a)와 그림 8 (b)는 기존의 1상 여자방식의 1-step 응답에 대한 시뮬레이션 결과와 실측결과를 나타내고 있다. 그림 8에서 최대오버슈트, 언드슈트 및 정정시간에 있어서 시뮬레이션 결과와 실측결과가 거의 일치함으로서 이론의 정당성을 입증하였다.



(a) 이상적인 프리휠링 Diode인 경우

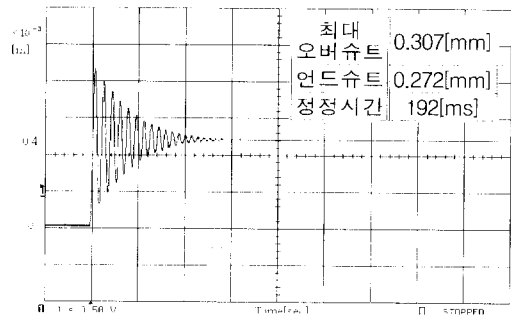


(b) 실제적인 프리휠링 Diode인 경우

그림 9 새로운 1상 여자방식의 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Simulation result of New 1-phase excitation

그림 9 (a)와 그림 9 (b)는 이상적인 프리휠링 다이오드와 실제적인 프리휠링 다이오드에 대한 새로운 1상 여자방식의 1-step 응답 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 9에서 프리휠링 다이오드의 전압강하의 경감을 통하여 진동을 줄일 수 있음을 보여주고 있다.

그림 10은 새로운 1상 여자방식의 1-step 응답 실측 결과로서 그림 8 (b)의 기존 1상 여자방식과 비교해 보면, 새로운 1상 여자방식이 최대오버슈트, 언드슈트 및 정정시간이 개선됨을 확인할 수 있었다.



(320 $\mu\text{m}/\text{V}$)

그림 10 새로운 1상 여자방식의 실측결과
Fig. 10 Experimental result of New 1-phase excitation

5. 결 론

본 논문에서는 권선 인덕턴스에 저장된 에너지와 LSM의 유도전압을 이용한 새로운 1상 여자방식에 의한 진동억제 방법을 제시하였다. 또한 LSM의 자기동가회로와 속도기전력에 해당하는 유도전압 및 전기적인 동가회로를 유도하였다. 그리고 LSM의 여자방식에 따른 진동특성을 전압방정식과 추력방정식 및 운동방정식과 유도전압을 이용하여 ACSL에 의한 시뮬레이션 결과와 레이저 실측 시스템에 의한 실측결과를 비교·검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ACSL을 통한 시뮬레이션 결과와 실측결과가 잘 일치함으로서 LSM의 진동특성 해석의 기초를 마련하였다.
2. 새로운 1상 여자방식이 기존의 1상 여자방식에 비해 진동특성이 우수하였으며, 특히 프리휠링 다이오드의 전압강하가 진동특성에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Pawletko and H. D. Chai, "Linear Step Motor", IMCSD, pp.V-1~V-11, 1973.
- [2] S. A. Nasar, "Linear Electric Motors : Past · Present and Future(KEYNOTE TALK)", IMCSD, pp.1~6, 1987.
- [3] T. Yokozuka and E. Baba, "Force-displacement characteristics of linear stepping motors", IEE PROCEEDINGS - B, Vol. 139, No. 1, pp.37~43, 1992.
- [4] Z. X. Fu and S. A. Nasar, "Analysis of a Hybrid Stepper Motor", IMCSD, pp.234~240, 1992.

- [5] Ding Zhi-Gang, "A Novel Electromagnetic Spiral Linear Step Motor", IEEE IAS, Vol.1, pp.329-336, 1994.
- [6] Kwang-Woon Lee, Won-Sik Jang, Jung-Bae Park, etc. "고성능 미세스텝 구동회로의 개발", 전력전자학회 논문지, 제2권, 제3호, pp.37~43. 1997.
- [7] Hong-Seok Oh, Sang-Ho Lee, Do-Young Jung, etc. "Two-Double 1-2-Phase Drive of 4-Phase Stepping Motor", PEMC'96, Vol 2, pp.637~639, 1996.
- [8] Hong-Seok Oh, Dong Hee Kim, Sang Ho Lee, Long-Nam Han, "A Study on The Improvement of Characteristics in 2-phase Linear Stepping Motor", ICEIC'98, pp.II-93~II-97, 1998.
- [9] Hong-Seok Oh, Dong-Hee Kim, Sang-Ho Lee, etc. "New Microstepping Drive of 2-Phase Linear Stepping Motor", PEMC'98, Vol 1, pp.3 189~3 192, 1998.
- [10] Muneaki Ishida, Shintarou Okamoto and Takamasa Hori, "Equivalent Circuit of Linear Pulse Motor", T.IEE Japan, Vol.110 D, No.12, pp. 1257-1265, 1990.
- [11] Hao-Yung Lo and Jau-Ling Chen, "Microstep of digital control for step motor and its test using a laser interferometer measurement system", INT. J ELECTRONICS, Vol. 62, No.5, pp.761~780, 1987.

저 자 소 개

오홍석(吳鴻錫)



1969년 1월 9일생. 1992년 영남대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 영남대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 현재 (주)이맥스 하이테크 대표이사.

김동희(金東熙)



1950년 11월 20일생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 Kobe대학 졸업(공학). 1987년~1989년 한국전기연구소 전력전자 연구부장. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 당 학회 평의원.

이상호(李相鎬)



1959년 7월 13일생. 1982년 영남대 전기공학과 졸업(학사). 1988년 영남대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 삼척대 제1공학부 제어계측과 부교수.

정도영(鄭都永)



1956년 8월 13일생. 1981년 영남대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997~1998 미국 Ohio 주립대학 교환교수. 현재 삼척대 제1공학부 제어계측과 교수.

김춘삼(金春杉)



1960년 11월 12일생. 1984년 동아대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1988년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 삼척대 제1공학부 제어계측과 조교수.