

신호압축법과 상관계수를 이용한 자기부상시스템의 동특성 규명

Identification of Dynamic of Magnetic Levitation System using Signal Compression Method and Correlation Coefficient

*강요환¹, #이민철², 김지연¹, 이기광³

*Y. H. Kang¹, #M. C. Lee(mclee@pusan.ac.kr)², C. Y. Kim¹, K. C. Lee³
¹부산대학교 기계공학과 대학원, ²부산대학교 기계공학과, ³한국전기연구원

Key words : Magnetic levitation, Signal compression method, correlation coefficient

1. 서론

자기부상 시스템은 흡인력(Attractive force)과 반발력(Repulsive force)을 이용하여 마찰을 최소화 하여 지지하는 방식으로 기계적 에너지 소모를 극소화하고 파손이 없으며 수명이 길다는 장점으로 인하여 정밀한 위치제어장치에 사용된다. 그러나 자석과 궤도사이를 통과하는 자속밀도의 강약에 따라 부상력이 결정되기 때문에 불안정성을 가진다는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 제어를 통해 시스템의 안정성 및 구동성을 보장해 주어야 한다. 시스템을 제어하고자 하는 경우, 제어 대상인 시스템의 수학적 모델을 토대로 제어를 설계하며 이때 모델링 과정에서 시스템 특성항의 규명은 필수적이다. 따라서 제어가 포함된 시스템의 전달 함수를 유추하여 시스템의 파라미터를 규명하는 신호 압축법을 이용해 자기부상 시스템의 모델 특성값을 규명하려 한다. 본 논문 2장에서는 시스템 규명을 위해 적용하는 신호 압축법을 기술하고, 3장에서는 미지 파라미터를 추출하는 실험과 결과를 제시하며 4장에서는 연구의 분석과 결론을 제시한다.

2. 신호압축법

Fig. 1은 신호 압축법의 처리 과정을 순차적으로 도식화 한 것이다. 일반적으로 시스템의 전달 함수는 임펄스 입력이 들어갔을 때 나타나는 응답이 되지만 물리적으로 구현이 힘들고 비선형성도 또한 포함되어 있기 때문에 실효성이 없다. 그래서 임펄스 신호를 주파수영역에서 신호를 변형하는 방법으로 접근을 한 것이 신호 압축법이다.

식 (1)은 임펄스 신호의 스펙트럼을 나타내는 식으로 관심 주파수 영역까지 균일한 크기를 가지는 스펙트럼을 가지는 신호이다.

$$P(n) = 60 \exp \left[- \left(\frac{n}{a} \right)^{12} \right], 0 \leq n \leq N/2 - 1$$

$$P(n) = 0, n = N/2 \tag{1}$$

$$P(n) = P(N-n), N/2 + 1 \leq n \leq N-1$$

임펄스 입력 신호에는 0인 위상과 식 (1)과 같은 스펙트럼 성분만 있으므로 식 (2)와 같이 주파수의 제곱근만큼의 위상 지연이 되는 신장 필터를 구성한다.

$$H(jn) = \exp \left[- \left(\frac{12n^2}{b} \right) j \right] \tag{2}$$

여기서 식 (1)의 a를 적절히 선택함으로써 측정에 필요로 하는 주파수 영역까지 평탄한 파워 스펙트럼을 얻을 수 있으며, 입력신호를 구할 때 시간지연의 길이는 식 (2)의 b에 의해 선택되어 진다. 본 시스템은 저주파수영역에서 측정되어 지므로 a=170, b=1000으로 주었다.

그리하여 주파수영역에서 위상이 지연된 새로운 입력신호를 신호를 시간영역으로 역 푸리에 변환을 하면 fig.1 (a) 와 같은 진폭의 크기는 작고, 시간적으로 긴 입력 신호 파형이 생성된다.

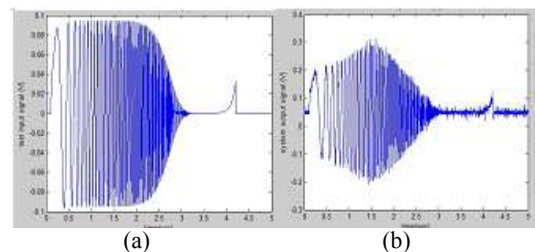


Fig. 1 The input & output signal (a), (b)

3. 자기부상시스템

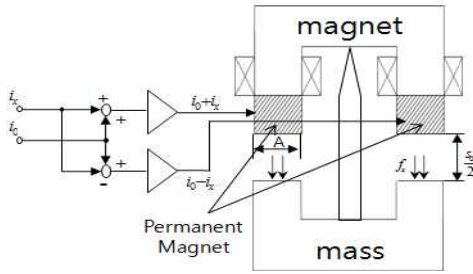


Fig. 2 Magnetic Levitation Model

Fig. 2는 본 연구의 대상인 자기부상 시스템의 개념도를 나타내었다. 전자석 액츄에이터에서 발생하는 힘의 수직성분은 식 (4)와 같다. 그림에서 위 및 아래 전자석의 합력은 f_x 는 식 (5)와 같으며 이때 K_m 은 식 (6)로 표현되는 전자석 상수이다.

$$f = \frac{1}{4} \mu_0 N^2 A \frac{i^2}{s^2} = K_m \frac{i^2}{s^2} \quad (4)$$

$$f_x = f_+ - f_- = K_m \left\{ \frac{(i_o + i_x)^2}{(s_o - x)^2} - \frac{(i_o - i_x)^2}{(s_o + x)^2} \right\} \quad (5)$$

$$K_m = \frac{1}{4} \mu_0 N^2 A \quad (6)$$

$x \ll s_o$ 라고 가정하고, 선형화 하면 식 (7)과 같은 선형화 수식을 유도할 수 있다.

$$f_x \approx \frac{4K_m i_o}{s_o^2} i_x + \frac{4K_m i_o^2}{s_o^3} x = k_i i_x + k_s x \quad (7)$$

$$k_i \approx \frac{4K_m i_o}{s_o^2}, \quad k_s \approx \frac{4K_m i_o^2}{s_o^3} \quad (8)$$

자기부상 시스템은 축을 중심으로 이루어진 시스템이므로 질량 대신 관성모멘트를 m 이라고 할 때, 자기부상 시스템의 운동방정식은 식 (9)과 같다. 또 시스템에 내재된 불안정성을 위해 식 (10)과 같은 비례-미분 제어를 적용하면 자기부상 시스템의 운동방정식은 식 (11)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m \ddot{x} - k_s x = k_i i_c \quad (9)$$

$$i_c = -k_p (x + t_d \dot{x}) \quad (10)$$

$$m \ddot{x} + k_i k_p t_d \dot{x} + (k_i k_p - k_s) x = 0 \quad (11)$$

따라서 자기부상 시스템은 등가 강성과 등가 감쇠가 표시되는 특징을 가지는 시스템이다.

$$m \ddot{x} + D_{eq} \dot{x} + K_{eq} x = 0 \quad (12)$$

$$(D_{eq} = k_i k_p t_d, K_{eq} = k_i k_p, k_i k_p \gg k_s)$$

Fig.1 (b) 는 입력 신호에 대한 시스템 출력이다. 등가적인 임펄스 응답의 보드(bode)선도와 측정하고자 하는 시스템과 같은 차수를 가진 모델의 전달함수에 대한 보드선도의 상호상관계수를 구해 계수값이 최대가 될 때의 파라미터 값을 선정해본 table.1 과 같았다.

Table.1 Design of Magnetic levitation model

Table legend

진공에서의 투자율 $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$

통상의 틈새 $s_o = 0.33mm$

코일 턴 수 $N = 321$

액츄에이터 작용면의 넓이 $A = 101.69 mm^2$

바이어스 전류 $i_o = 0.75 A$

$k_p = 0.1, t_d = 2500$

4. 결론

본 연구에서는 비선형과 선형 성분이 공존하는 자기부상 시스템에서 선형 시스템에 대한 시스템 특성을 신호압축법을 적용하여 규명해 보았다.

후기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 특수환경 Navigation/Localization 기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2010-(C7000-1001-0004))

참고문헌

1. Sinha, N. K., "Microprocessor-based control systems", D. Reidel Pub. Co. 1986.
2. 진상영, 이민철, 손권, 이만형, 이장명, 안두성, 한성현, "신호압축법과 상관계수를 이용한 비선형시스템의 동특성 규명에 관한 연구", 대한기계학회 춘추학술대회, 제1권, 제 1호, 519-523, 1993.
3. 박민규, 이민철, 고석조, 한명철, "신호압축법을 이용한 유압 시뮬레이터 구동기의 동특성 규명", 한국정밀공학회 학술대회 논문집, 162-163, 1999
4. 김찬조, 조겸래, "자기부상시스템의 전자석 구동기 해석", 한국 정밀공학회지, 제 17권, 제 11호, 75-80, 2000.
5. Gerhard. S., Eric. H., "Magnetic Bearings; Theory, design, and Application to Rotating Machinery", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009
6. M. C. Lee, Aoshima, N., "Identification and its evaluation of the system with a nonlinear element by signal compression method", Trans. of SICE, Vol.25, No. 7, pp. 729-736, 1989.