

CdS 센서의 보상에 의한 자기부상 시스템의 성능 개선

°나 승 유, °최 윤 영, °박 민 상, °윤 두 현, °정 병 두
°전남대학교 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터, 전자공학과
*목포과학대학, 정보통신과
Tel : +82-62-530-1753; Fax : +82-62-530-1759

Performance Improvement of Magnetic Levitation System by CdS Sensor Compensation

°Seung You Na, °Yun Young Choi, °Min Sang Park, °Du Hyoun Yun, °Byung Doo Chung
°RRC-HECS, Dept. of Electronics Eng., Chonnam National University, Puk-Ku, Kwangju
°Dept. of Information and Communication, Mokpo Science College, Mokpo, Chonnam
E-mail : syna@chonnam.ac.kr

Abstract - A magnetic levitation control system is inherently nonlinear and very unstable. Thus there should be a stabilizing compensator network and a negative feedback path using noncontact photoresistor or ultrasonic sensors for the levitation operation. Since the photo sensor plays a key role in the system, the steady-state error and transient performance of the overall system depend on the characteristics of the sensors. But the sensor itself also suffers from nonlinearity, and the magnitude of sensor input heavily depends on environmental conditions. To improve the output performance, we added a linearizing circuit for the sensor characteristics and a disturbance cancelation circuit to avoid sensitive output due to extraneous interfering light.

1. 서론

자기 부상 제어 시스템은 전자석에서 발생하는 전자력에 비하여 중력의 영향이 강하면 코일에 많은 전류를 흐르게 하고 반대로 중력의 영향이 약하면 전류의 양을 감소하여 중력과 전자력이 평형을 유지하여 물체

를 부상시키는 시스템이다.

본 논문에서는 조도에 따라서 전압이 변화하는 CdS 센서를 사용하여 불의 위치를 측정한다. 실험에서 사용한 광측정 모듈인 CdS 센서는 주변의 조도 변화에 민감하여 전체 계통의 정상상태 출력값이 설계치에서 벗어나는 요인으로 작용한다. 본 논문에서는 이러한 주변환경의 변화에도 제어계통의 출력이 설계된 목표치를 벗어나지 않는 환경에 둔감한 시스템을 제안한다. 제안된 센서의 보상회로는 주변 환경의 영향에도 항상 일정한 출력을 유지할 수 있도록 보정용 센서를 추가하여 주변의 조도가 변하더라도 변화량을 보정하여 전체적인 시스템의 성능개선을 갖는다. 특히 조도에 따라 변화하는 목표치 에러와 센서의 비선형 특성으로 인한 에러의 감소를 가져온다.

2장에서는 제어기 설계를 위한 시스템 모델과정, 3장에서는 시스템 제어를 위한 제어 상수값의 결정과정, 4장에서는 본 논문에서 제안한 외부의 조도 변화에 강인한 시스템을 위한 센서값 보상을 위한 방법을 소개하고 5장에서는 실험 결과를 토대로 제안된 보상회로의 효과를 보인다.

2. 시스템 모델링

Fig. 1의 자기부상 제어계통을 설계하기 위해서 먼저 시스템에 대한 수학적 모델을 설정한다. 정확한 수학적 모델을 기초로 하여 제어기의 상수 값을 결정하고, 그 매개변수 값에 의해 보상기를 설계한다.

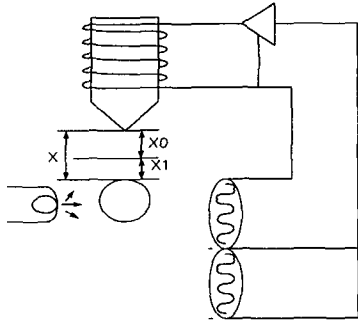


Fig. 1 Magnetic Levitation Control System.

2.1 수학적 모델

시스템을 위한 Parameter는 다음의 절차에 의해서 유도된다.

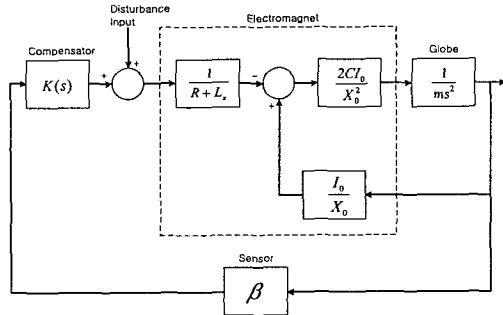


Fig. 2 Block diagram of MLS

전자장 안에서의 쇠공의 운동은 비선형적인 특성을 갖는다. 전자석에서 쇠공에 미치는 힘은 (1)식과 같다.

$$f = -\frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \tag{1}$$

인덕턴스는 주위 매질과 Core 특성에 따라서 변하고, 또한 쇠공의 위치에 따라 변하는데 L_1 은 쇠공의 영향을 받지 않을 때, L_0 은 쇠공에 의해서 부가적으로 생기는 인덕턴스를 기술한 항이다.

$$L = L_1 + \frac{L_0 X_0}{x} \tag{2}$$

식(1)과 식(2)에서 힘 f 는

$$f = -\frac{i^2}{2} \left(-L_0 \frac{X_0}{x^2}\right) = L_0 \frac{X_0}{2} \left(\frac{i}{x}\right)^2$$

이다. 여기서 C 를 상수 $C = L_0 \frac{X_0}{2}$ 로 나타내면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$f = C \left(\frac{i}{x}\right)^2$$

테일러 급수로 전개하면

$$f = C \left(\frac{I_0}{X_0}\right)^2 + \left(-\frac{2CI_0}{X_0^2}\right)i - \left(\frac{2CI_0^2}{X_0^3}\right)x$$

$$f_0 = C \left(\frac{I_0}{X_0}\right)^2 = mg$$

에서 상수 C 를 얻을 수 있다.

$f_1 = f - f_0$ 에서 f 는 중력장과 전자장에 의한 힘이고, f_0 는 중력장에 의한 힘이다.

$$f_1 = \left(-\frac{2CI_0}{X_0^2}\right)i - \left(\frac{2CI_0^2}{X_0^3}\right)x$$

여기서 전자석 코일을 직렬로 연결된 인덕턴스로 볼 수 있으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = Ri + L(x) \frac{di}{dt} \tag{3}$$

여기서 $L(x)$ 을 L_1 과 L_0 로 나타내는 데 상대적으로 작은 L_0 을 무시하면 $v = Ri + L_1 \frac{di}{dt}$ 이다.

CdS 센서에서 측정된 감도를 이용하여 볼의 위치를 나타낼 수 있다. $v_s = \beta x$ 이며 v_s 는 센서의 출력 전압이고 β 는 실제 측정하여 얻은 거리와 전압관계에서 얻은 감도이다.

모델링한 관계식들을 라플라스 변환식으로 나타내면 코일의 입력 전압과 볼의 센서 출력의 전달함수는 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{V_s(s)}{V(s)} = \frac{-2\beta CI_0 / mL_1 X_0^2}{(s + R/L_1)(s^2 - 2CI_0^2 / mX_0^3)} \tag{4}$$

2.2 제어시스템의 매개변수 값 결정

표 1. 시스템의 매개변수 값

매개변수	값
평형 거리 X_0	0.01m
평형 전류 I_0	0.63A
구의 무게 m	0.003Kg
힘 상수 C	$7.407 \cdot 10^{-6} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{A}^2$
코일 저항 R	10.96Ω
코일 인덕턴스 L_1	0.1088H
센서 이득 β	680V/m

3. 제어기 설계

본 논문에서 사용한 Fig. 2 의 시스템에 표 1의 시스템 상수를 대입하면 식 (5)과 같은 시스템 전달함수를 얻는다.

$$G(s) = \frac{-194.4 \cdot 10^3}{(s+100.7)(s+44.3)(s-44.3)} \quad (5)$$

불안정한 시스템을 안정한 시스템으로 만들기 위해 (6)과 같은 영점을 첨가하여 시스템의 상대 안정도를 증가시키고 과도 응답시간이 짧게 한다.

$$K(s) = Kc \frac{s+10}{s+60}, \quad Kc = 5.834 \quad (6)$$

시스템의 근궤적(Fig.3)에서 보듯이 보상기를 사용하여 시스템이 안정해졌고, 잡음으로 인한 시스템 성능 저하를 제거하기 위해 저주파 통과 필터를 추가한다.

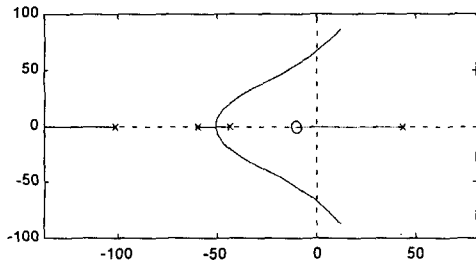


Fig. 3 Root locus of compensated system

4. 환경 영향의 보정 방법

CdS 센서는 비선형적인 특성을 갖기 때문에 먼저 선형화 회로를 사용하여 조도에 대한 전압 특성을 선형적으로 변화시킨다. 실제 사용시 그림자가 짐에 따라 거리에 대한 저항특성은 Fig. 4의 선형화 회로를 거친후 전압특성곡선이 Fig. 5와 같이 선형화된다.

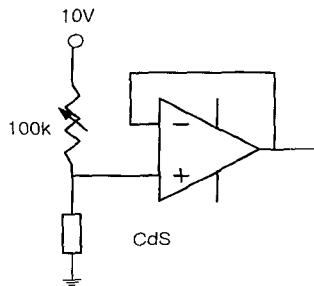


Fig. 4 CdS 센서 선형화 회로

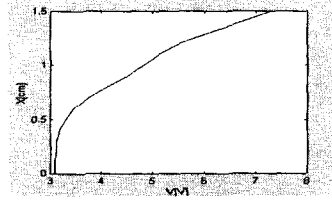


Fig. 5 CdS 센서 전압특성

선형화 회로를 거쳐서 나온 전압은 사용하는 거리에 대해서 선형화 되어 있기 때문에 CdS 센서의 비선형 특성으로 인한 목표치 에러를 감소시키는 결과를 가져온다.

CdS 센서의 출력 전압은 세 성분으로 나눌 수 있다. 광원으로부터 외부에서 전혀 빛이 들어오지 않을 때의 전압 (V_{ref})과 외부 빛의 변화에 의한 전압 그리고 CdS 센서에 그림자가 생김에 따라 변화하는 전압(V_g)이 있다. 불의 위치 측정용 CdS 센서에서 나오는 전체 전압(V_I)은 식(7)이다.

$$V_I = V_{ref} + \Delta V + V_g \quad (7)$$

(7)식에서 주변의 조도변화에 따라 시스템의 출력이 변하는데, 주요 원인인 ΔV 값을 제거하여 외부 조도 변화에 둔감하게 하는 전압(V_{total})은 식(8)이다.

$$V_{total} = V_{ref} + V_g \quad (8)$$

위의 수식과 같은 결과를 회로로(Fig. 6) 구현하기 위해서 보상용 CdS 센서를 불의 위치 측정용 CdS 센서와 같은 광량을 받는 위치에 배열한다. 보상용 CdS 센서에서 출력되는 전압(V_c)은 식(9)이다.

$$V_c = V_{ref} + \Delta V \quad (9)$$

식(9)와 같으므로 비교기를 통해서 V_{ref} 값을 감산하고, 측정용 CdS 센서에서의 전압은 V_I 이기 때문에 감산하면 식(8)과 같은 출력 전압(V_{total})을 얻을 수 있다.

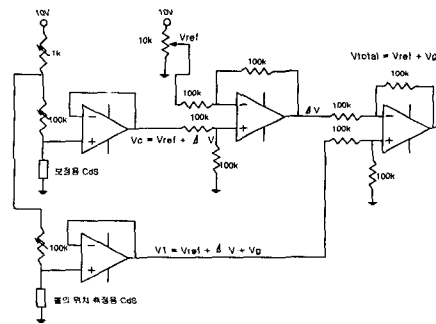


Fig. 6 주변환경 보정을 위한 회로도

5. 실험 결과

본 논문에서는 주변환경 변화에 따른 안정한 시스템을 검증하기 위해서 정상동작 조건은 외부 조도를 약간 준 상태에서 다음과 같은 세 가지 실험 조건하에서 실험하였다.

◆ 실험 조건 ◆

- ㉠ 정상동작시 보다 주변환경이 어두울 때
- ㉡ 정상동작시 보다 주변환경이 밝을 때
- ㉢ 정상동작시 보다 주변환경이 밝을 때 갑자기 밝은 빛이 산발적으로 들어올 때

Fig. 7은 ㉠의 조건시의 결과를 보여주고, Fig. 8은 ㉡의 조건시의 결과, Fig. 9는 ㉢의 조건시의 실험결과, Fig. 10, 11은 ㉢의 조건 시에 산발 횡수를 증가시킨 결과를 보여준다.

실험결과에서도 알 수 있듯이 주변의 조도가 어두워지거나 밝아지면 출력의 에러가 증가하고 시스템이 불안해 짐을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 경우의 결과를 보면 목표치의 에러는 줄어들고 시스템이 안정화됨을 볼 수 있다.

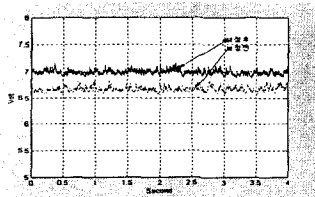


Fig. 7 ㉠조건에서의 실험 결과

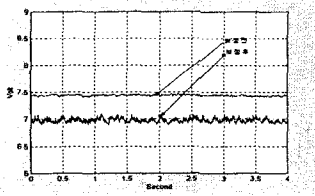


Fig. 8 ㉡조건에서의 실험 결과

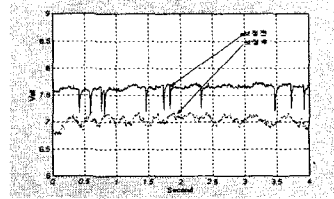


Fig. 9 ㉢조건에서의 실험 결과

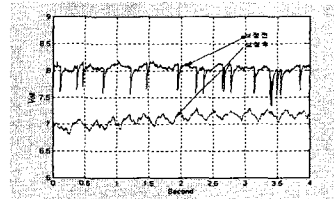


Fig. 10 ㉢조건에서의 실험 결과

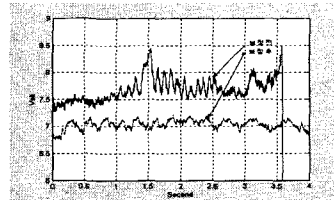


Fig. 11 ㉢조건에서의 실험 결과

참고 문헌

- [1] T. H. Wong, "Design of a Magnetic Levitation Control System - An Undergraduate Project," *IEEE Trans. on Educ.*, vol E-29, no. 4, pp. 196-200, 1986.
- [2] B. V. Jayawant, D. P. Rea, "New Electro-magnetic Suspension and Its Stabilisation," *Proc. IEEE*, vol. 115, no. 4, pp. 549-554, 1968.
- [3] B. Shahian and M. Hassul, "Control System Design Using Matlab," Prentice-Hall, Int'l. 1993.
- [4] G. F. Franklin, J. D. Powell and A. Emami-Naeini, "Feedback Control of Dynamic Systems," Addison-Wesley, 1991.
- [5] R. Shoureshi, "The Mystique of Intelligent Control," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 60-64, April, 1988.