

배터리로 구동되는 자기부상시스템의 부상제어회로 설계

남윤호*, 박승찬

동양대학교 시스템제어공학과

Levitation Control Circuit Design for a Magnetic Levitation System Supplied with a Battery

Yun-Ho Nam, Seung-Chan Park

Dept. of System Control Engineering, Dong Yang University

Abstract - In this paper, a levitation control circuit for a magnetic levitation system supplied with a battery is designed. The control circuit consists of DSP, 4-quadrant chopper, and gap sensor as feedback sensors. Moreover the DSP includes PWM generator, A/D converter, etc. The feedback signals from gap sensors go into A/D converter of DSP to compare with reference. As a result, The design procedures of the levitation control circuit and battery power distribution system are described and basic experiment results are shown.

1. 서 론

최근에 자기부상 기술은 다양한 운반 시스템에 적용되고 있다. 그 중 반도체 장비는 고정정을 요하는데 기존의 반송장치의 문제점인 분진 및 소음을 해결하는 하나의 방법으로 자기부상 반송 시스템을 이용한다.[1][2]

비접촉 반송 시스템은 외부로부터 독립적인 운영을 위하여 배터리를 탑재하게 되는데 이로 인해 부상제어회로의 공급전원은 전적으로 배터리를 통해 이루어진다. 또한 배터리의 전력소모를 줄이기 위한 저전력 자기부상 반송 시스템을 구현하기 위하여 영구자석과 전자석으로 구성된 하이브리드 전자석을 이용한다.[3][4]

자기부상 제어회로는 공극센서, 레벨-스위프트 회로, DSP로 구성되며 배터리로부터 각각 전원을 공급 받게 된다. 전자석 제어전류 또한 배터리에서 4상한 쇼퍼(이하 H-Bridge)를 통해 공급 받게 된다.

본 논문에서는 부상제어 회로의 전원부를 설계하고 DSP를 이용한 PWM 제어기 구성 예를 보이고 공극의 변화에 따른 H-Bridge의 출력 결과를 설명한다.

2. 자기부상 시스템과 부상제어 회로

2.1 자기부상 시스템

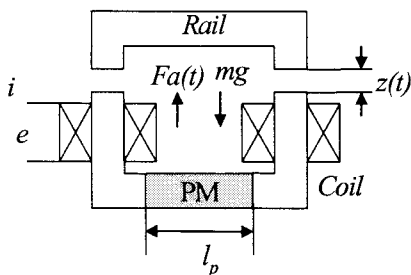


그림 1. 자기부상 시스템

그림 1은 강체인 레일과 하이브리드 전자석으로 구성된 자기부상 시스템을 나타내고 있다. 공극에서의 흡입력은 다음과 같이 전류와 공극의 함수로 나타낼 수 있다.

$$F_a(t) = \frac{S}{\mu_0} B(t)^2 \quad (1)$$

$$B(t) = \frac{\Phi(t)}{S} = \frac{B_r - bi}{1 + az} \quad (2)$$

$\frac{\mu_m}{\mu_0} = 1.05$, $a = 1.05 \frac{2}{l_p}$, $b = \frac{1.05 \cdot \mu_0 \cdot \ni}{l_p}$, $\frac{l_c}{\mu_c}$ 는 무시

B : 공극자속밀도, B_r : 잔류자속밀도
 N : 코일의 턴수, μ_m : 영구자석의 투자율
 l_p : 영구자석의 길이, μ_0 : 진공의 투자율
 l_c : 코어의 자로 길이, μ_c : 코어의 투자율
 z : 공극, S : 단면적

식 (1)과 (2)에서 흡입력은 전류의 제곱에 비례하고 공극의 자승에 반비례함을 알 수 있다.[5][6]

2.2 부상제어 회로

2.2.1 부상제어 방식

전자석 전류 제어는 PWM 방식을 이용하는데 PWM 구동방식은 전력용 소자를 ON-OFF영역(또는 Saturation-Cutoff영역)에서 동작시켜 전력용 소자에서의 전력 손실을 작게 하는 방식이다. PWM 구동방식의 원리는 그림 2와 같이 삼각파와 기준신호가 비교되어 PWM 파형을 생성하게 된다.

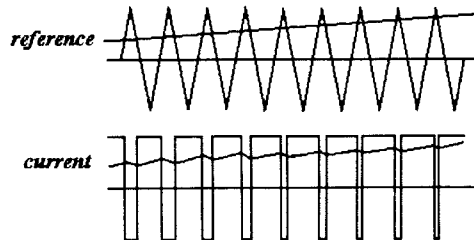


그림 2. PWM 생성 원리

그림 3은 H-Bridge PWM 제어를 나타내고 있다.[7] 그림 3. (a)에서 ab양단에 전자석의 코일이 연결되게 된

다. 그림에서 보듯이 M1과 M3 그리고 M2과 M4는 서로 상보관계이며 M1과 M4가 On시 전류는 a에서 b로 흐르고 M2와 M3이 On시 전류는 b에서 a로 흐르게 된다. PWM 파형이 인가된 경우 전자석의 흡인력은 PWM 파형의 평균값에 해당하는 전압에 비례하며, 방향은 그 평균값의 부호에 따라 결정된다. 그림 3. (b)에서 순시전압과 평균전압을 나타낸다.

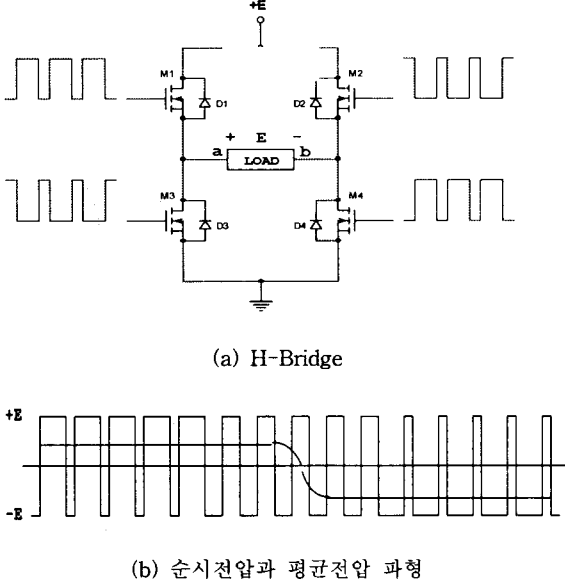


그림 3. H-Bridge의 PWM 제어

2.2.2 부상제어 회로의 구성

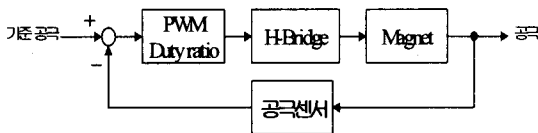


그림 4. 시스템제어 블록도

그림 4는 시스템의 블록도를 나타내고 있다. 부상제어 회로는 기준 공극을 유지하기 위하여 공극센서의 출력신호를 피드백 받아 PWM의 듀티비를 가변한다.

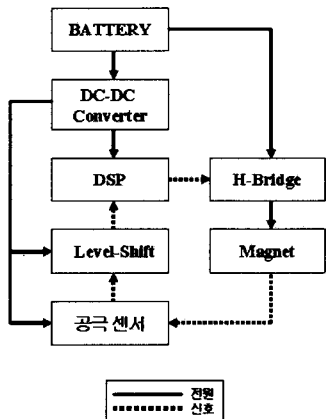


그림 5. 부상제어 회로 블록도

그림 5는 부상제어 회로 블록도를 나타내고 있다. 배

터리의 용량은 24V 5Ah로서 하이브리드 전자석의 제어 전류의 순간 피크값 및 자기부상제어 회로의 소비전류와 공급전압을 고려하였다. DC-DC 컨버터는 배터리로부터 필요한 전압을 공급하게 된다.

표 1은 부상제어 회로를 구성하는 각 구성원들의 공급 전압을 나타내고 있다.

DSP	공극센서	레벨-쉬프트 회로
5V	12V	±15V

DSP는 TI사의 TMS320LF2406A를 사용하였다. 내부에 PWM 발생회로, 10bit A/D 등을 내장하고 있다.[8] 공극센서의 출력신호는 내장된 10bit A/D로 입력 받으며 미리 프로그램된 연산에 의해 일정한 공극을 유지하도록 PWM의 듀티비를 결정하게 된다. 그리고 PWM 발생기를 통해 H-Bridge의 PWM 제어신호를 발생시킨다. 3.3V의 저전압으로 동작하는 프로세서로써 0-5V인 공극센서 출력전압을 A/D로 입력 받을 때 3.3V를 초과하는 크기의 전압은 클리핑 된다. 그림 6의 회로를 사용하여 공극센서의 출력전압을 0-3.3V로 레벨-쉬프트 시켜야 한다. 제어하고자 하는 기준 공극이 5mm라면 센서 출력전압 2.5V는 1.32V로 레벨-쉬프트 되어 A/D로 입력된다.

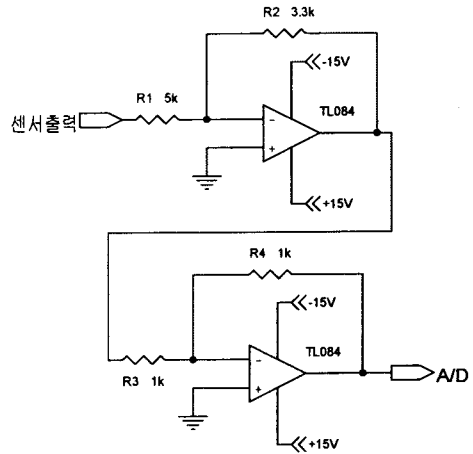


그림 6. 레벨-쉬프트 회로

그림 7는 공극센서의 재질 및 측정거리에 따른 출력 특성을 나타내고 있다.

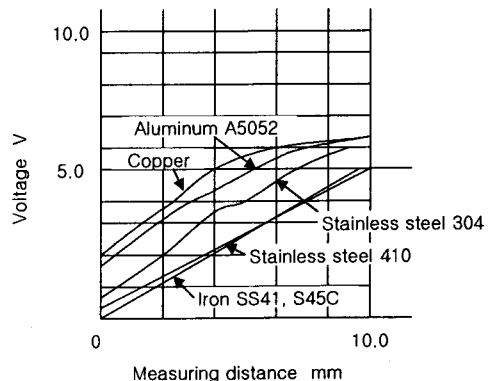


그림 7. 재질에 따른 공극센서의 측정거리 및 출력특성

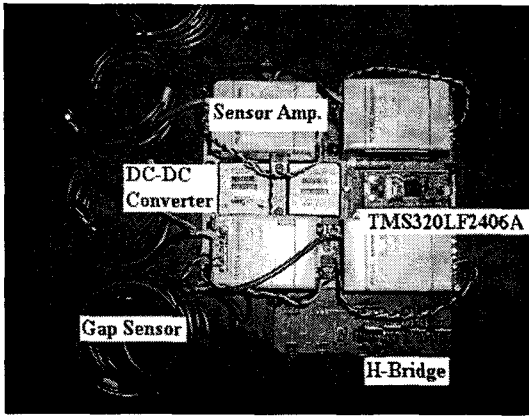
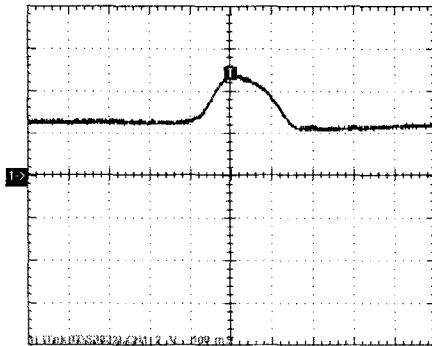


그림 8. 제작된 자기부상 제어회로

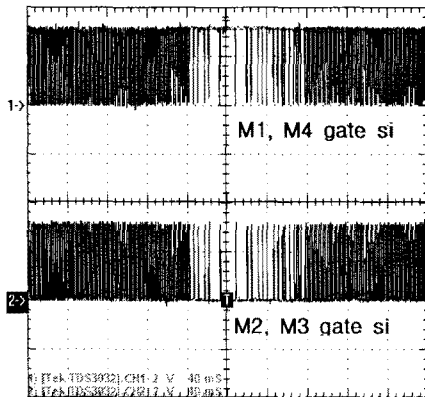
그림 8은 제작된 자기부상 제어회로를 나타내고 있다.

2.2.3 실험 결과

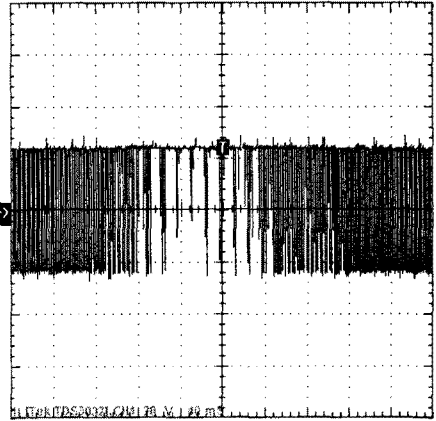
그림 9는 공극의 변화에 따른 각 구성들의 출력파형을 나타내고 있다. (a) 공극이 5mm-10mm로 변화할 때 센서의 출력신호를 나타내고 있다. (b) 공극의 변화에 따른 PWM 제어신호의 듀티비 변화를 나타내고 있다. (c) H-Bridge의 ab양단의 출력전압을 나타내고 있다.



(a) 공극센서 출력전압 2.5V-5V [2V/div, 100ms/div]



(b) PWM 신호 : 3.25Vpp 19.8kHz [2V/div, 40ms/div]



(c) H-Bridge 출력전압 : 24Vpp [20V/div, 20ms/div]

그림 9. 공극의 변화에 따른 각 구성의 출력파형

3. 결 론

본 연구에서는 배터리로 구동되는 자기부상시스템의 부상제어 회로에 공급되는 전원 및 PWM 제어기를 설계하였고 공극의 변화에 따른 PWM의 듀티비 변화와 H-Bridge의 출력을 알아보았다. 향후, 설계한 부상제어 회로를 제어대상인 자기부상 시스템에 적용하여 부상제어 기초 실험을 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Takagi, S. Kanda, T. Azukizawa, T. Yokoyama. "Dust Free Wafer Transportation System for Semiconductor Plant - An Application of New Maglev Technology". Int. Conference on Maglev and Linear Drives, May, 1987.
- [2] T. Minakata, T. Iwamoto, T. Shimada, Y. Hosoda, M. Kawashima. "Magnetically Levitated Transportation System for Automated Production Lines in Factories". Int. Conference on Maglev & Linear Drives, July, 1989.
- [3] Mimpei Morishita, Teruo Azukizawa, Shuji Kanda, Noburu Tamura, Toyohiko Yokoyama. "Zero Power Control of Electromagnetic Levitation System". IEE Japan, Vol.108, No.3, 1988.
- [4] Mimpei Morishita, Teruo Azukizawa, Shuji Kanda, Noburu Tamura, Toyohiko Yokoyama. "A New Maglev System for Magnetically Levitated Carrier System", IEEE Trans.Vehic., Vol.38, No.4, 1989.
- [5] 김중문, 강도현, 박민국, 최영규. "자기부상 시스템의 부상제어기 설계". 전기학회논문지 제52권 제6호 pp.342- 350, 2003
- [6] 김광민, 김윤현, 전연도, 이주, 김학현. "부하관측기에 의한 공극 보상기를 포함한 제로파워 부상제어". 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.669-671, 2000.
- [7] Hirotaka Tomono, Hisakatsu Kiwaki. "Controllability Improvement of Zero-Power Magnetically Levitated System by Dither". IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol.1, pp.588-593, 1998.
- [8] TMS320LF240xA Reference Guide, Texas Instrument.