

DSP TMS320LF2407을 이용한 자기부상제어

성호경, 정병수*, 조정민, 장석명*, 이종민, 조홍제
 한국기계연구원 자기부상열차개발팀, 충남대학교 전기공학과*

Magnetic Levitation Control using DSP TMS320LF2407

H.K. Sung, B.S. Jung*, J.M. Cho, S.M. Jang*, J.M. Lee, H.J. Cho
 KIMM Maglev Team, Chung-Nam National Univ*

Abstract - 근래에 DSP설계기술은 하루가 다르게 성장해가고 있다. 기존에 많은 양의 소수점 연산이 필요한 기기에 자주 사용되어왔던 TMS320C3x DSP시리즈는 소수점연산에는 유리하지만 DSP를 사용하기 위해 외부 메모리 및 A/D컨버터, PWM제너레이터, 엔코더 카운팅 회로 등 주변회로를 설계하는데 많은 시간과 비용이 소비되었다. TMS320LF2407은 기존에 사용하던 복잡한 주변회로가 모두 하나의 컨트롤러에 내장되어 있어 사용하기가 편리하며 고속의 연산능력이 있다. 본 논문에서는 자기부상시스템을 모델링하고 이산시간에서 처리 가능한 다이나믹필터와 상태궤환제어기를 설계한 뒤 DSP를 이용한 부상실험셋트를 구성하여 실험을 통해 DSP의 효용성을 검증하고자 한다.

1. 서 론

최근에 반도체 기술의 급격한 성장으로 마이크로 컨트롤러의 고집적, 고속처리 설계기술은 끊임없이 성장해가고 있으며 그에 따른 DSP설계기술 또한 하루가 다르게 성장해가고 있다. 기존에 많은 양의 소수점 연산이 필요한 기기에 자주 사용되어왔던 TMS320C3x DSP시리즈는 소수점연산에는 유리하지만 DSP를 사용하기 위해 외부 메모리 및 A/D컨버터, PWM제너레이터, 엔코더 카운팅 회로 등 주변회로를 설계하는데 많은 시간과 비용이 소비되었다. TMS320LF2407은 기존에 사용하던 복잡한 주변회로가 모두 하나의 컨트롤러에 내장되어 있어 사용하기가 편리하며 고속의 연산능력이 있다. 다만 연산을 하는데 있어서, 부동소수점 방식이 아닌 고정소수점 방식을 사용해야 하므로 알고리즘을 개발하는데 있어서, 좀더 고려해야할 부분이 많다는 것이 단점이지만, TMS320LF2407이 갖는 순기능에 비하면 그 역기능은 충분히 감안할 수 있다.[1] 따라서, 자기부상시스템의 부상제어에 필요로 하는 A/D변환회로, PWM 발생회로, 타이머, 프로그램 메모리 등을 단일 칩 하나로 내장하며 고속 연산처리 능력이 있는 TMS320LF2407을 이용하여 자기 부상제어시스템을 구성해보고자 한다. 본 논문에서는 자기부상시스템을 모델링하고 이산시간에서 처리 가능한 상태 궤환 제어기를 설계한 뒤 DSP를 이용한 부상제어 소프트웨어 및 하드웨어를 구성하여 실험을 통해 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 자기부상시스템 모델링

자기부상시스템은 전압방정식 식(1)과 운동방정식 식(2)로 모델링 될 수 있으며 힘의 평형조건의 식은 식(3)과 같다.[2]

$$v = Ri + L_0 \frac{dz_0}{z_g} \left(\frac{di}{dt} - \frac{i}{z_g} \frac{dz_g}{dt} \right) \quad (1)$$

$$F = -\frac{\mu_0 N^2 A}{4} \left(\frac{i}{z_g} \right)^2 = -\frac{1}{2} L_0 z_0 \left(\frac{i}{z_g} \right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{F}{m} + g + \frac{\Delta f}{m} = -\frac{L_0 z_0}{2m} \left(\frac{i}{z_g} \right)^2 + g + \frac{\Delta f}{m} \quad (3)$$

여기서

$$L_0 = \frac{\mu_0 N^2 A}{2z_0}$$

F 는 흡인력, μ_0 는 진공상태의 투자율, N 은 코일의 감은 수, A 는 유효 단면적, L_0 와 z_g 는 공칭동작점에서의 공칭 인덕턴스와 공칭공극, m 은 전자석의 질량, g 는 중력가속도, R 은 전자석 코일의 저항, Δf 는 외란이다. 식(1)과 식(3)을 이용하여 공극 및 속도와 전류를 상태변수로 하여 상태방정식으로 나타내면 식(4)와 다음과 같다.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{L_0 z_0}{2m} \left(\frac{x_3}{x_1 - h} \right)^2 + g + \frac{\Delta f}{m} \\ \dot{x}_3 = \frac{x_2}{x_1 - h} \cdot x_3 - \frac{R}{L_0 z_0} \cdot (x_1 - h)x_3 + \frac{x_1 - h}{L_0 z_0} \cdot u \end{cases} \quad (4)$$

x_1 은 절대공극 z , x_2 는 속도 \dot{z} , x_3 는 전류 i , u 는 전압 v 를 나타내는 상태변수와 제어입력이다. 그림 1은 자기부상시스템의 구조도를 나타낸다.

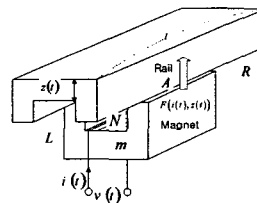


그림 1 자기부상시스템 구조도

$z(t)$ 는 절대공극, L 은 인덕턴스이며 $i(t)$ 는 코일에 흐르는 전류이고 $v(t)$ 는 코일에 인가되는 전압이다.

2.2 DSP를 이용한 자기부상제어기의 설계

자기부상시스템을 선형화모델링하고 상태 궤환 제어기를 설계하여 부상제어를 하기위해선 공극, 속도, 가속도 3개의 상태 모두를 센싱하는 센서가 필요하다. 하지만, 이것은 불가능하므로 실제로는 측정가능한 공극센서와 가속도센서를 사용하여 속도 및 상대공극, 상대속도를 관측하는 관측기를 설계한다. 설계한 관측기를 선형상태방정식으로 나타내면 식 (5)와 같다.[3]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{V_1}{T_1} & 0 & -\frac{1}{T_1} & \frac{V_1}{T_1} & 0 \\ \frac{1}{T_2} & -\frac{V_2}{T_2} & 0 & 0 & \frac{V_2}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{V_3}{T_4} & -\frac{1}{T_4} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_5} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_4} & -\frac{1}{T_4} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Acc \\ G \\ z_d \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)와 같이 관측한 상태들을 상태궤환을 통해 시스템 입력전압 u 를 구하면 식 (6)과 같다.

$$u = K_z(z - z_d) + K_{z_p}z_p + K_{z_{pp}}z_{pp} + K_{g_p}g_p + K_{g_f}g_f + K_{err} \int err dt - u_{eq} \quad (6)$$

x_1 은 공극 z , x_2 은 속도 K_z , x_3 은 가속도 z_{pp} , x_4 은 상대속도 g_p , x_5 은 상대공극 g_f 를 나타내며, T_i, V_i 는 시상수, $K_z, K_{z_p}, K_{z_{pp}}, K_{g_p}, K_{g_f}, K_{err}$ 는 각 상태값에 곱해줄 피드백계수이다. 그림 2는 자기부상시스템의 제어구조도이다.

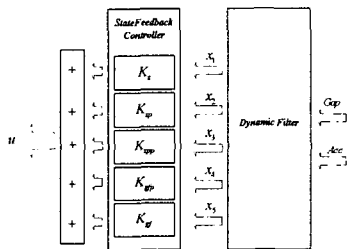


그림 2 자기부상시스템의 제어기 구조

2.2.1 제어기의 하드웨어 구성

DSP를 이용한 제어기의 하드웨어구성은 주로 주연산장치 및 주변회로, 그리고 보호회로에 관한 것이다.

그림 3은 자기부상시스템제어기의 제어부에대한 H/W의 블록도를 나타내고 있는 것으로써, 제어블럭은 크게 주연산부(TMS320LF2407)과 신호변환부, 전류검출부, 초퍼의 과전류 보호회로부로 구성되어져 있다. 신호변환부는 갠센서와 가속도센서로부터 들어오는 신호를 처리하는 Analog 신호 처리부로서, 검출된 신호는 우선 차동증

폭기에 의해 노이즈를 제거하고, 가변저항에 의해 초기 공극 설정을 한 후에 TMS320LF2407A의 A/D 컨버터에서 요구하는 3.3V의 전압 이내로 클립핑하는 역할을 담당하고 있다. 전류검출부로서, LA25-NP에 의해 주회로에 흐르는 전류가 전압형태로 검출된다. LA 25-NP는 입력단자의 배치에 따라서 최대피크전류를 35[A], 정격전류 25[A]까지 측정할 수 있는 소자로서, 여기에서 마그네틱에 공급하는 전류를 고려하여 소자가 갖는 최대전류까지 측정할 수 있도록 회로를 구성하였으며, 측정된 전류는 프로세서에서 A/D 변환하여 부상제어기에 사용한다. 또한 측정된 전류는 비교기(LM311)에 의해 설정된 과전류이상이면 PWM 신호를 사용할 수 없도록 트립되도록 하였다. 초퍼제어부는 과전류 차단기능을 갖으며 과전류(OC)가 발생되면 74HC03에 의해 신호가 차단되어, IRF640(MOSFET)을 턴오프시킨다. 여기에서 PC922는 전력부와 제어부를 전기적으로 절연하기위하여 사용되었다.

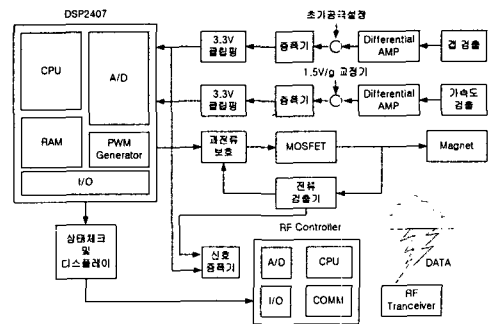


그림 3 TMS320LF2407 부상제어기 하드웨어 구성

2.2.2 부상제어 프로그램 수행알고리즘

그림 4는 부상제어를 프로그램상에서 구현할때의 제어알고리즘을 나타내고 있다. 먼저 모든 변수와 레지스터를 초기화한후 타이머 인터럽트를 이용하여 제어기의 제어 주기를 1.5KHz로 셋팅하고 세마포어를 이용하여 프로그램의 순환루프를 조정한다. ad채널을 통해 컨버전하여 들어온 공극과 가속도센서의 값을 입력으로 하여 5개의 상태를 관측하고 궤환계인을 곱하여 초퍼의 듀티비를 조정한다.[4]

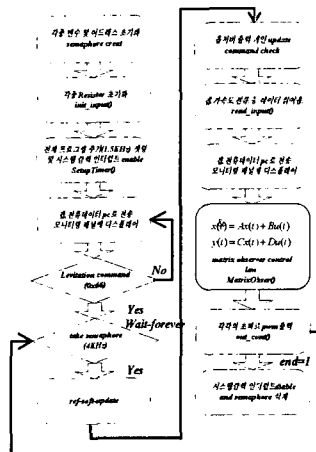


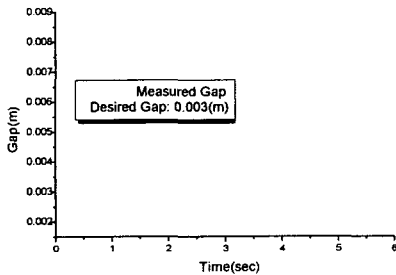
그림 4 전체 부상제어 프로그램 수행 알고리즘 흐름도

2.3 실험 결과

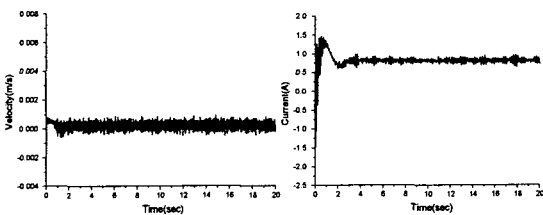
표 1 실험모델 파라미터

symbols	value	unit
m	10	Kg
g	9.8	m/s^2
A	2×10^{-1}	m^2
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	
N	380	
R	1.5	Ω

그림 5는 실험시 공극 및 속도, 전류에 대한 응답을 나타낸 그래프이다. 원하는 공극은 3mm이며, (a)를 보면 초기 8mm에서 약 0.5초간에 걸쳐 3mm로 부상하는 것을 볼 수 있다. (b)에서의 속도 응답을 보면 정상상태에 도달하게 되면 속도는 '0'에 가까워야한다. 하지만, 적은 범위 내에서 진동하는 것을 알 수 있다. 이는 케환계인의 튜닝에 의해 어느정도는 보상될 수 있다. (c)는 전류 응답으로서 전류와 공극의 제곱의 반비례관계에서 알수있듯이 초기부상전류가 2A가까이 흐르다가 정상상태에 도달하면서 약 800mA로 줄어드는 것을 볼 수 있다.



(a) 공극에 대한 응답



(b) 속도에 대한 응답

(c) 전류에 대한 응답

그림 5 공극 및 속도, 전류에 대한 응답

3. 결 론

본 논문에서는 고성능 DSP인 TMS320LF2407을 이용하여 자기부상시스템의 부상제어를 구현하였다. DSP 내부엔 메모리 및 A/D 컨버터, PWM 제너레이터, 엔코더 카운팅 회로, I/O인터페이스 등이 내장되어 있어 복잡한 주변회로장치를 설계하지 않고 좀 더 간소화된 제어회로를 구성할 수 있었으며 고가의 범용 CPU보드 만큼의 원하는 성능을 얻을 수 있었다.

따라서, 고성능 DSP TMS320LF2407의 사용은 간소하게 주변회로를 구성하여 빠른 연산과 정확한 처리가 필요한 제어연산을 쉽게 구현할 수 있을 뿐 아니라 경제적인 면에서도 효과적임을 확인할 수 있었다.

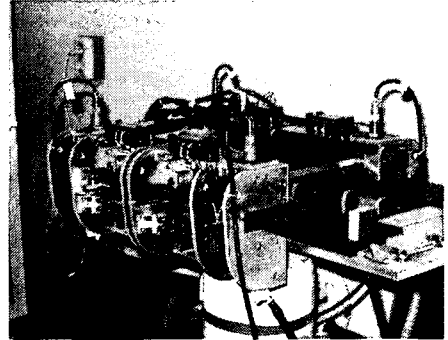


그림 6 자기부상 실험셋 구성

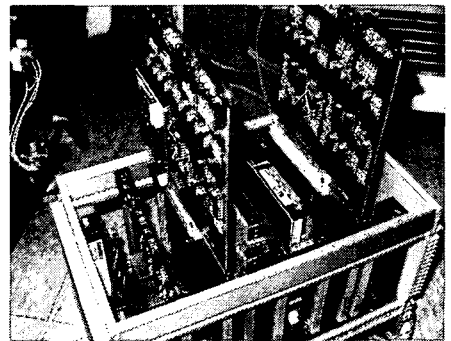


그림 7 제작된 자기부상제어보드

[참 고 문 헌]

- [1] 홍선기, "TMX320F2812를 이용한 영구자석형 동기전동기의 벡터제어에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 53B, No 2. pp123-128, 2004.
- [2] 성호경, "자기부상 시스템을 위한 강인 및 신뢰제어기 설계에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, pp6-13 2001.
- [3] 변중남, "자기부상열차의 ATO를 위한 지능제어 및 강인하고 신뢰성있는 부상제어기법 개발", 한국과학기술원 위탁연구보고서, 1998.
- [4] 성호경, 정병수, 장석명, "축소형 자기부상열차 운행시스템 개발" 대한전기학회 춘계학술대회 pp256-258 2004.