

고정밀 산업용 리니어 DC 모터 드라이버 설계에 관한 연구

하근수, 임태빈, 정종기, 김주한  
전자부품연구원(KETI) 정밀기기연구센터

The study on the design for a high precision Linear DC Motor Driver in industry

Keun-Soo Ha, Tae-Bin Im, Joong-Ki Chung, Joo-Han Kim

**Abstract** - In this paper, we designed a high precision Linear DC Motor(LDM) Driver with 120° commutation method. It was composed of three parts which were divided into Power and Inverter Circuit, Analog Circuit with PWM Generation and Fault Protections, and Logic Circuit. We selected PMAC Controller by Delta Tau Co. for testifying a high accuracy of a designed driver. A high precision driver enhanced a response to changes of velocity and acceleration in motion and improved the accuracy.

1. 서론

LDM은 비교적 구조가 간단하고, 추력/중량비가 크므로, 고속 동작이 가능하며, 또한 서보 특성이 좋다. 그러나, 리니어 펄스 모터와 같이 모터 자체에 위치 결정 기능이 없으므로, 위치 결정 센서와 조합시켜 제어할 필요가 있다. 위치결정센서, 속도센서와 조합시키면 대단히 고정도의 위치 결정, 속도 제어가 가능하다.

따라서, LDM을 생각할 때에는 추력 특성을 고찰하는 동시에 제어 시스템을 고찰하는 일이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 특성을 지닌 LDM을 구동하기 위한 고속 고정밀 운동에 적합한 드라이버를 구성하였으며, 전체구성은 다음과 같다.

첫째, 일반 AC전원을 정류회로를 거쳐 160VDC전원을 만들고, 이를 토대로 스위칭 소자인 IPM을 구동하기 위하여 Mitsubishi사의 M57120L, M57140-01을 사용하였으며, 또한 각종 제어신호 구동을 위하여 ±15VDC, 5VDC전원을 구성하였다.

둘째, 드라이버 자체 구동 및 컨트롤러와의 인터페이스를 위하여 아날로그 전압입력단자를 구성하였으며, 이는 약 19kHz의 캐리어 주파수를 지닌 PWM파형으로 전환되며, 자극의 위치를 검출하는 홀센서 신호와 조합되어 PLD를 거쳐 스위칭 신호를 발생시킨다.

셋째, 드라이버 내에서 발생할 수 있는 에러에 대비하여 UnderVoltage, OverVoltage, OverCurrent 회로등을 구성하였다.

넷째, LDM의 구동을 용이하도록 개인 설정회로부를 두었으며, 본 논문에서는 Ref Gain, Loop Gain, Balance 등의 포텐셔미터를 구성하여 사용자가 임의로 설정하도록 구성하였다.

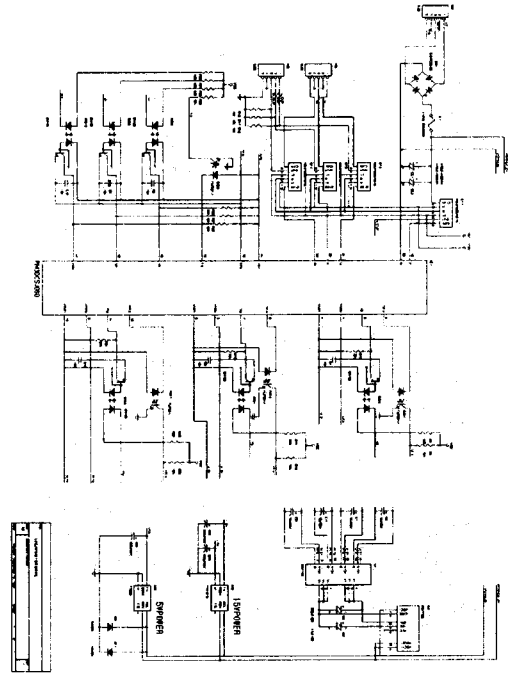
본 논문에서는 PMAC컨트롤러(Delta Tau社), 자체 개발한 양측식 LDM을 이용하여 리드 스크류 및 서보 모터로 이루어진 시스템에서 구현이 불가능한 고속 왕복 운동 실험(1%, 1G 이상)을 하였으며, 컨트롤러의 성능을 뒷받침하는 드라이버의 정밀도 특성을 입증하므로써, 드라이버 설계시 영향을 미치는 데드밴드(Dead Band) 영역의 제거, 아날로그 입력 제어 전압의 비율을 설정하는 개인 설정부 등의 설계 필요성을 두각시키고자 하였다.

2. 드라이버설계

2.1 전원 및 인버터부

본 논문에서는 상용 110VAC전원을 정류한 전압을 트랜스 내장형의 DC/DC 컨버터인 M57120L을 이용하여 20VDC 전원을 발생시키며, 이는 인버터부로 사용된 IPM(PM30CSJ060,600V/30A) 구동을 위하여 Mitsubishi사의 M57140-01을 이용하여 필요한 4개의 독립된 전원을 발생하였다.

한편, 컨트롤러, 보호 회로 및 각종 제어 신호에 필요한 전원을 만들기 위하여 본 연구에서는 COSEL사의 YW1015, YS505의 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 정류된 DC 전원은 LDM에 구동 전원으로 공급되며, 3상 권선에 흐르는 전류를 센싱하기 위하여 HC-PS30V4B 15(±30A/±4V)를 이용하였으며, 이는 보호회로 검출을 위한 LDM 구동 전류로서 사용되어졌다.



(그림 1) 전원 및 인버터부 회로도

2.2 아날로그 회로부

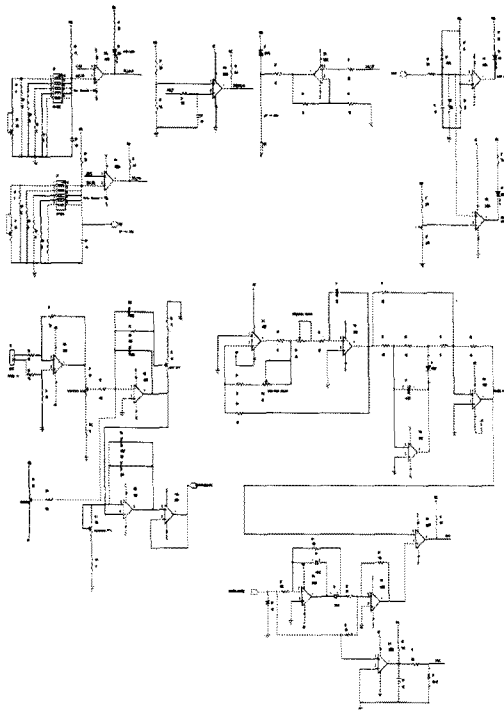
아날로그 회로부에서는 LDM에 흐르는 전류를 센싱 및 설정하며, PWM 스위칭 신호를 발생하며, 각종 보호 회로 및 개인 설정회로부로 구성되어졌다.

전류 설정부는 최대 전류와 연속 전류의 두 가지 측면에서 전류 제한을 할 수 있으며, 최대 전류의 경우 본 논문에서는 25A, 연속 전류의 경우 15A의 설정이 가능하다. 이는 포텐셔미터를 이용하여 설정이 되도록 하였다.

PWM회로 발생부에서는 모터의 전기적인 시정수보다 짧은 펄스폭의 신호를 발생이되며, 컨트롤러에서 보내어지는 아날로그 전압과 컴퍼레이트되어 약 19kHz의 주파수 대역을 가지면서 인버터부로 보내어진다.

보호 회로부는 드라이버의 손상을 미연에 방지하도록 UnderVoltage(80VAC이하), OverVoltage(120VAC이상), OverCurrent(설정된 최대 및 연속 전류값 이상) 등으로 구성되었다.

게인 설정부는 컨트롤러에서 보내어지는 전압의 비율을 설정하는 Ref Gain, 전류 이득을 결정하는 Loop Gain, 정지 명령에 대한 LDM의 운전을 멈추게 하는 Balance 등으로 구성되어졌다.



[그림 2] 아날로그 회로부

### 2.3 스위칭 로직 회로 발생부

본 논문에서 자체 개발한 LDM의 자극 위치 검출을 위하여 홀 센서(Allegro社)를 이용하였다. 홀센서 입력에 따른 6개의 스위칭 소자의 ON/OFF를 결정하여야 하는데, 본 논문에서는 이를 Lattice사의 PLD를 이용하여 구현하였다.

구성된 로직은 PWM 신호의 듀티 폭에 따라 출력 펄스가 발생되어 IPM의 컨트롤 신호 입력 단자로 인가된다. 이에 따라 IPM은 설정된 캐리어 주파수 대역인 19kHz로서 ON/OFF하게 된다.

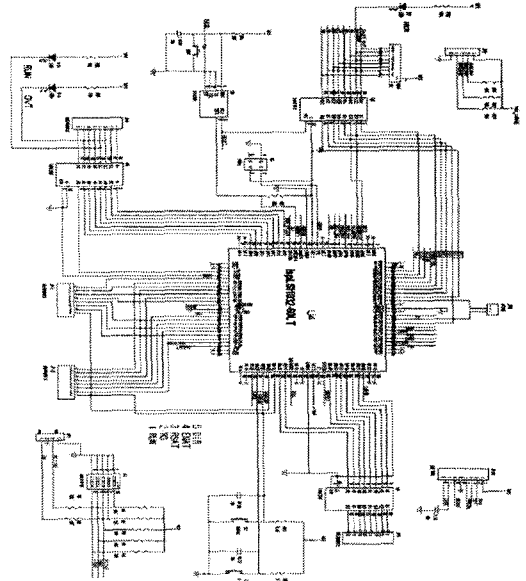
한편, LDM에 인가되는 로직 신호는 자극의 위치를 검출하는 홀센서에서 에러 발생시, LED(D2)를 ON시킴으로써 로직신호 발생을 차단한다.

120° 통전 방식이기 때문에 발생할 수 있는 홀센서 에러는 모든 홀센서 신호가 같은 레벨로 발생하였을 경우이다. 따라서, 이의 검출을 위하여 Exclusive-OR 로

직을 이용하여 홀센서 에러를 검출하였으며, 이에 대한 로직 구성은 아래와 같다.

$$Hall_{Error} = (Hall_A \oplus Hall_B) + (Hall_B \oplus Hall_C) + (Hall_C \oplus Hall_A)$$

이와 같은 홀센서 에러 이외에 IPM에서 발생하는 에러의 경우 본 논문에서 개발한 드라이버는 회로의 안정을 위하여 IPM에 인가되는 모든 로직 신호를 HIGH로 유지하여 회로의 Short현상을 방지하였다. 그리고, LDM의 정·역 운전 전환이 DIP 스위치로 전환이 가능하도록 하였다.



[그림 3] 스위칭 로직 신호 발생부

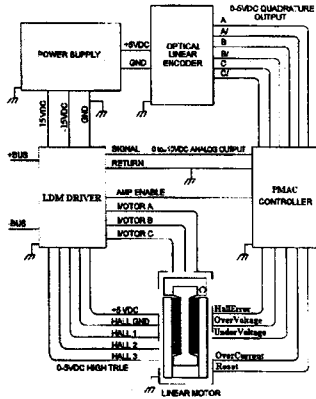
## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 실험 구성

본 논문에서는 드라이버의 성능 검증을 위하여 자체 개발한 양축식 LDM을 대상 모터로서 선정하였으며, PMAC(Delta Tau社) 컨트롤러와 0.5mm의 분해능을 가지는 LIE-5(JENA社) 리니어 엔코더를 이용하였다. 사용된 LDM의 재원은 다음과 같다.

항목	사양
유효스트로크	600mm
선간저항	13.7Ω
선간인덕턴스	15.4mH
추력상수	37N/A
역기전력상수	35.72Vsec/m
공극자속밀도	1.32T

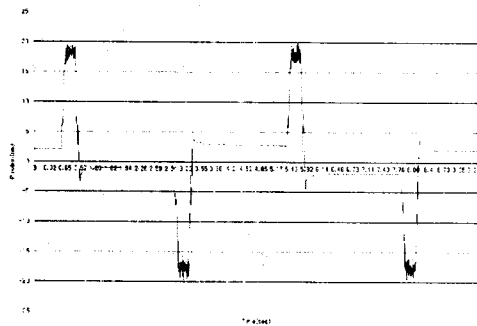
위와 같은 구성된 재원을 가진 LDM의 반복정밀도를 측정하여 가감속시 컨트롤러에서 보내어지는 제어 전압에 대한 응답성을 확인하고자 하였으며, 실험 구성도는 다음과 같다



(그림 4) 실험 구성도

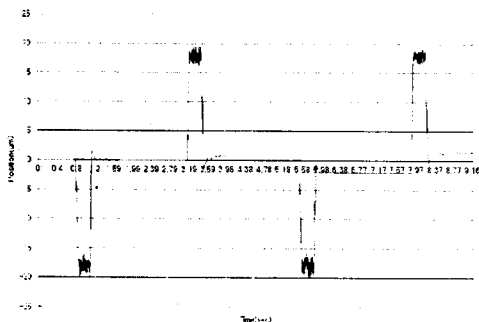
### 3.2 실험 결과

본 논문에서는 개발된 고정밀 드라이버의 성능 검증을 위하여 일정 거리를 왕복운동하는 실험을 하였으며, 이때 발생하는 LDM의 위치 정밀도를 측정하였다. 기존의 리드 스크류 등의 직선운동 보조기구와 체결되는 서보 모터 시스템은 일반적으로 0.5%, 1G미만의 속도사양을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 LDM의 최대 장점인 고속 운동(특히, 1G이상)이 되는 가속 운동 가능)에서 실험을 구현하므로써 고정밀성을 검증하였다.



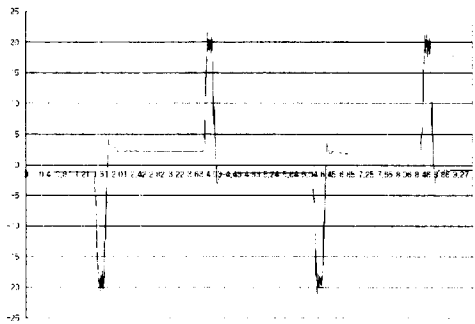
(그림 5) 위치 에러(1m/s,1G,300mm)

그림 5는 이동거리 300mm, 이동속도 1%, 가속속도 1G의 환경에서의 위치 에러를 보여주고 있다. 측정 결과 약 20 $\mu$ m정도의 최대 위치 정밀도를 나타내고 있다.



(그림 6) 위치 에러(1m/s,2G,300mm)

그림 6은 이동거리 300mm, 이동속도 1%, 가속속도 2G의 환경에서의 위치 에러를 보여주고 있다. 측정 결과 역시, 약 20 $\mu$ m정도의 최대 위치 정밀도를 나타내고 있다.



(그림 7) 위치 에러(1.5m/s,1.5G,300mm)

그림 7은 이동거리 300mm, 이동속도 1.5%, 가속속도 1.5G의 환경에서의 위치 에러를 보여주고 있다. 측정 결과 역시, 약 20 $\mu$ m정도의 최대 위치 정밀도를 나타내고 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고속 고정밀의 LDM 구현을 위한 고정밀 드라이버를 구현하고자 하였다. 개발된 드라이버는 120° 통전 방식의 고속 고정밀 리니어 DC 모터 드라이버로서, 드라이버는 전원부 및 인버터부, PWM 발생부, 보호 회로, 개인 설정부로 구성된 아날로그 회로부, 스위칭 로직 회로 발생부 등으로 구성되었다.

특히, 본 논문에서는 고정밀의 드라이버 구현을 위하여 드라이버 자체내에 드라이버 개인 설정부를 설계하였으며, 또한 드라이버에서 발생할 수 있는 데드밴드(Dead Band) 영역을 제거하고자 하였다.

개발된 드라이버의 성능 검증을 위하여 제어기로서는 상용제품인 PMAC 컨트롤러를 사용하였으며, 대상이 되는 리니어 DC 모터는 자체 개발된 모터를 사용하였다. 리니어 DC 모터의 고속 왕복운동시 발생하는 위치 정밀도를 측정하여 타당성을 입증하였으며, 최대 20 $\mu$ m의 위치 정밀도를 나타냄을 알 수 있었다. 이상의 고정밀의 드라이버를 사용하여 운전시 변화가 되는 속도 프로파일에 따른 속도 및 가속도의 변화량에 대한 응답성을 높여 정밀도를 향상시켰다.

### [참고 문헌]

- [1] H.Wakiwaka, H.Yajima, and H.Yamada, "Design and Evaluation of Linear DC Motor for Pen recorder", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.31, No.6, pp3755~pp3757, Nov. 1995
- [2] Y.Kano,M. Yamaguchi, and K.Manabe, "Positioning Control Characteristics of Rectangular-Type Linear DC Motor", 日本應用 磁氣學會誌, Vol. 21, No. 4-2, pp857~pp860, 1997
- [3] N.Samejima, H.Takeda, Y.Sasaki, and K.Miura, "Dual Mode High Speed Position Control of a Linear DC Motor", 계측자동제어학회논문지, Vol. 25, No.11, pp1202~pp1209, 1989
- [4] 전자부품연구원 정밀기기연구센터, "Linear Motor를 장착한 정밀인쇄회로기판의 Punching Machine 개발에 관한 연구", 전자부품연구원 출판부, 1999
- [5] "DC Brushless Servo Amplifier", Parker Hannifin Corporation, 1996