

하이브리드형 선형 펄스모터의 디지털 서보 제어기 설계

°배동관, 안재영, 김광현
전남대학교 전기공학과

Design of Digital Servo Controller for Hybrid Linear Pulse Motor

°D.K. Bae, J.Y. Ahn, and K.H. Kim

Dept. of Electrical Engineering and RRC/HECS, Chonnam National University

ABSTRACT

A use of micro processor having μ -com functions is gradually increased, and this paper describes the digital servo controller applied to linear pulse motor. The TMS320LF2407, made by TI(Texas Instruments Co.), is used as a arithmetic unit in control circuit, designed for motor drive and available for the implement of high performance and miniaturization. Also, it can allow the sufficient debugging and downloading into control board for independent operation. A current control in order to carry out a position control is of a digital current control mode, and its implement confirmed the servo control performance of position control.

1. 서 론

90년대 후반에 들어서 TI사에서 출시한 DSP Control 칩의 TMS320C2XX 계열은 모터 구동 전용으로 개발되어 여러 기능이 탑재되어 있어, 모션 제어기를 개발하는데 여러모로 편리하고, 저가이면서도 고성능, 소형화를 필요로 하는 제어기 설계에 많이 이용되고 있다. 개발시에는 개발비용에 부담이 되는 Debugging Tools이 필요하지만, 최근 싼 가격에도 이용할 수 있는 Tools을 제공하고 있어 개발자에게는 반가운 일이 아닐 수 없다. 모터 제어기의 가격도 중요한 요소이지만, 모터의 제어 성능을 좌우하는 Chip 선정도 매우 중요하다. 그리고 개발 환경도 개발시간을 단축시키고 신뢰성을 결정 짓는 매우 중요한 요소 중 하나이다.

본 연구에서 이용한 TMS320LF2407PGEA에는 모터 드라이브에 필요한 주변회로를 내장하고 있어 독립형 드라이브 개발에 아주 유용하도록 설계되어 있으며, 이를 각종 모터 및 컨버터, 로봇 등에 적용한 연구들이 많이 이루어지고 있다.^{[1]-[2]}

따라서, 최근 이러한 모터 전용 프로세서를 탑재한 제어기 설계에 초점을 맞추어 HB형 선형 펄스 모터의 디지털 서보모터의 모션제어기에 적용하여

그 제어성과 신뢰성을 확인하고자 한다. 그리고, 드라이브 설계에 필요한 간단한 주변회로와 기능을 기술하고, 마이크로스텝 여자를 위한 정현파 전류 제어를 위한 제어법을 제시하여, 설계·제작된 드라이브로서 선형 펄스모터에 적용한 디지털 서보 제어기의 정밀 위치제어기의 가능성을 실험결과를 토대로 제시하고자 한다.

2. TMS320LF2407의 특징

그림 1은 TMS320LF2407PGEA DSP Chip의 내부 구조를 보여주며, 고정소수점 방식이며 16비트의 데이터와 어드레스버스를 처리하는 하바드 아키텍처 구조이며 최대 40-MIPS의 성능, 저전력 3.3V 코어이다. TI사의 TMS320LF2407PGEA는 C2xx 코어에 16비트 Address, Data Bus를 가지고 있고, 내부에 ROM은 32K words, RAM은 2.5K words를 가지고 있다. 부가적으로 CAN 통신, SPI 통신, SCI 통신, A/D 변환기, Boot ROM과 함께 EVA, EVB라 불리는 타이머/PWM/엔코더 카운터 기능이 복합된 모듈들을 가지고 있다. 또한 3개의 캡처 유닛, 엔코더 인터페이스 회로 및 타이머에 동기된 A/D 변환기능, PWM 발생시 프로그램이 가능한 데드밴드(Deadband, Deadtime) 기능이 있어 3상 인버터 제어에 적합하게 설계되어 있어서 AC

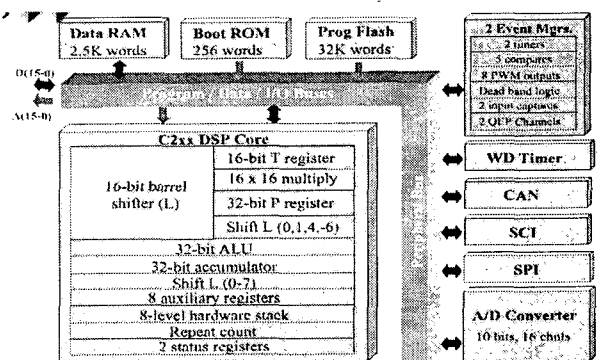


Fig. 1 Internal Construction of TMS320LF2407

IM, BLDC, SRM과 Step Motor 제어에 유용하게 이용될 수 있다.

본 연구에서 사용한 모터의 구조는 그림 2와 같으며, 상측 가동자가 측면 가동자와 90° 로 연결되어 있으며, 고정자와는 에어베어링 지지구조로 된 하이브리드형 선형 펄스모터에 적용하여 제어기를 설계하였다. 극 1-1'와 극 3-3'은 A상, 극 2-2'와 극 4-4'는 B상으로 정현파 전류를 인가하면 마이크로 스텝여자 방식을 선형 추력이 발생하여 이동하는 모터이다.

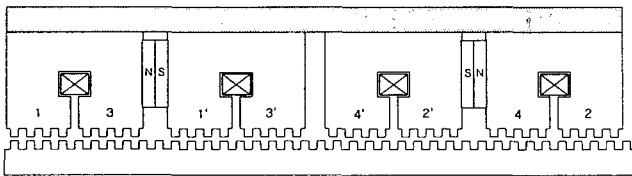


Fig. 2 Structure of Hybrid Linear Pulse Motor

3. 서보 드라이브 설계

본 논문에서 개발하고자 하는 디지털 서보 제어기 설계를 위해 그림 3과 같은 제어기의 기본 기능과 외부 연결 회로가 필요하며, 모터 제어를 위해서 TI사의 LF2407 CPU를 비롯하여 다음 ①~⑦과 같은 기능을 위해 주변회로를 구성하여 제어기를 설계하였다.

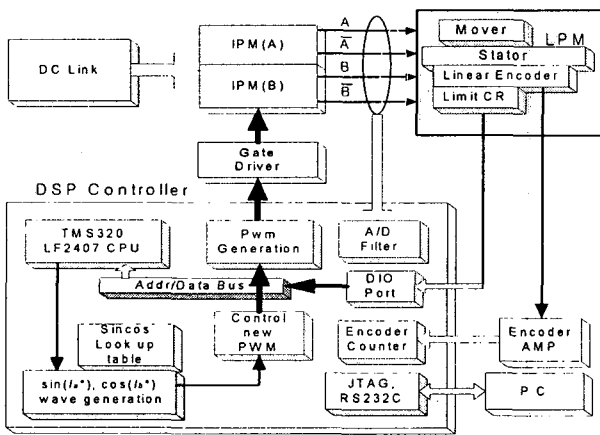


Fig. 3 Base Configuration of Driver

- ① 전류제어를 위한 PWM 신호발생부
- ② 전류센서(CT)로부터 계측된 전류신호 필터링부
- ③ 리니어스케일러(엔코더) 신호 처리부
- ④ A/D 입력신호 레벨(0~3.3V) 변환 회로
- ⑤ 기기보호를 위한 Limit 신호 인식부
- ⑥ 병렬포트를 이용한 RealTime Debugging
- ⑦ 응용 프로그램 다운로드를 위한 EPROM

3.1 PWM 신호발생 모듈

본 연구에서 이용한 제어기의 LF2407PGEA는

Event Manager가 2개가 있어 X-Y의 2축 제어나 2개의 모터제어에 매우 유용한 칩이다. 여기에서는 그중 EVA 모듈 1개만 사용하였으며, 스위칭 주파수는 15kHz로 설정하였다. 인버터 모듈은 Mitsubishi의 PS-21345G 2개를 이용하여 구동장치를 구성하였으며 3.3V의 제어신호를 5V로 풀-다운하여, 시작품의 IPM 모듈과 직결하여 구성하였으며, 인버터의 제어 전원은 15V로 DC Link단의 Negative와 직결하였다. 제어신호의 노이즈 영향을 적게 위하여 버퍼 및 인버터 기능이 있는 고속 TTL(74HCXX) 소자를 이용하였다.

3.2 디버깅을 위한 병렬통신

제어기의 초기 개발시에는 수차례의 반복실험을 하기 때문에 PC와 병렬통신을 하기 위해 JTAG Pod Emulator를 이용하였으며, LF2407에서는 DPRAM(16bit 2K words)를 사용하였다.

3.3 엔코더 신호 처리

리니어 스케일러에 의한 엔코더 신호는 신호증폭기를 통해서 11μA-p의 정현파 미소전류신호가 1치피치 내에 4μm/pulse 5V의 구형파 신호로 변환되어진다. 그래서 1 치피치 내에서 발생하는 400여개의 QEP_1, QEP_2의 90° 위상을 가진 엔코더 신호를 LF2407의 캡처 유닛단자에 입력하면 외부 인터럽트로 인식하여 내부에서는 4채배되어 분해능이 1 μm/p로 향상된다. INT_4를 이용하여 가동자가 이동한 만큼의 엔코더 신호가 QEP 모듈에 카운트되기 때문에 1μm 단위로 위치이동을 알 수가 있게 된다.

3.3 전류신호 필터링 회로

상전류 신호로는 2개의 Full Bridge 인버터에 흐르는 전류를 계측하며, PWM 스위칭에 의해 전류 고조파가 존재하며, A/D변환을 하게 되면 원하지 않는 특성이 나타나게 되므로 필터링을 하여야 한다. A/D 입력하기 전에 두 상의 전류를 측정하여 OP-Amp를 이용한 저역통과기를 설계하였다.

3.4 A/D 입력레벨 변환

LF2407 CPU에는 A/D변환 채널이 16개가 있지만, 2상 전류 입력만을 받으면 되므로, 제어보드 제작사인 Spectrum Digital에서 제공하는 어셈블리 A/D 변환 모듈을 이용하였다. A/D 변환을 위한 기준 전압신호는 외부에서 인가할 수도 있지만, 내부의 3.3 V레벨을 이용하여 10비트 A/D 변환을 하였다.

3.5 Limit 신호의 모터 보호기능

제어기의 오류로 인한 가동자의 탈조로부터 모터를 보호하기 위하여 좌우 측면의 Limit 신호를 이용한다. 좌우 측면의 Limit 신호와 초기 위치 설정

신호는 프로그램 내에서 IO Port를 이용하여 보호 기능을 추가하였다.

그림 4는 DSP 제어시스템의 블록도를 보이며, 가동자의 탈조보호, 과전류로 인한 제어기 보호기를 추가하였으며, 그림 5와 같이 위치제어를 위한 전류제어기를 구성하였다.

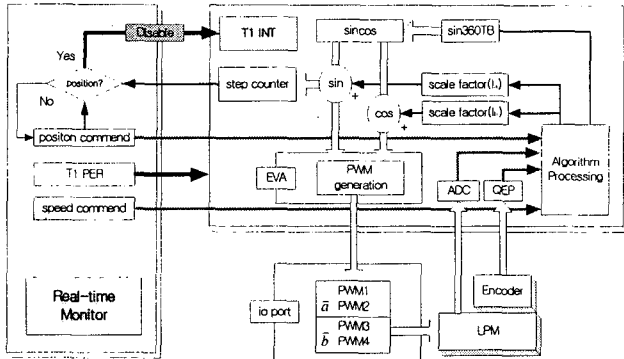


Fig. 4 Configuration of Control System

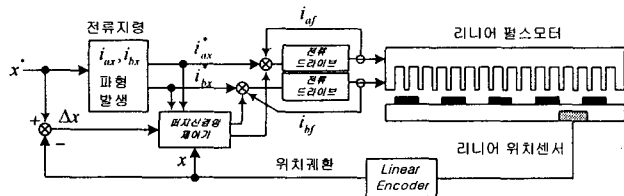


Fig. 5 Block Diagram of Position Controller

4. 실험 결과

4.1 실험장치

본 연구의 제어대상인 HB형 2상 4극 LPM의 사양은 최대속도 1%이며, 정격전류는 6A이다. DSP Chip은 TI사의 TMS320LF2407PGEA Type으로 PWM모듈1개와 A/D, QEP 기능 등을 이용하였다. 또한 LF2407의 PDPINTA 단자를 사용하여 과도 이상전류로부터 인버터 및 마이크로 프로세서를 보호하였다. 구동부는 450[V], 10[A]의 스위칭 주파수가 15kHz인 IPM을 2개 사용하였다. 위치계환 신호 획득을 위해서 모터에 부착되어 있는 리니어 엔코더를 이용하였고 정현파 위치신호 $1\mu A/p/20[\mu m]$ 의 변위를 리니어 엔코더의 증폭기로 출력측 분해능을 $4\mu m/pulse$ 로 향상시켜 이용하였다. DSP의 External INT4인 QEP 엔코더 카운터를 이용하여 $1\mu m/p$ 를 인식하여 가동자의 위치를 획득하였다.

정현파형의 상전류값들은 내부 SIN INDEX table을 이용하여 (-32767~32768)범위에 해당하는 값을 출력으로 PWM을 발생하여 모터 드라이버인 IPM의 게이트에 입력하여 각상의 전압 도통구간을 조정하게 된다. LPM의 가동자는 구동시 리니어 스케일에서 가동자의 위치정보를 검출하고 미세시스템으로 구동시 기준위치($\theta=0$)부터 이에 해당하는 전

기적인 각도를 기준으로 리니어 스케일의 펄스를 카운트한 값들을 비교하여 가동자의 위치를 검출할 수 있다. TI의 Code Composer의 Watch dog기능을 이용하여 제어기의 Real-Time Access시간을 설정하여 부하변화에 따른 각종 파라미터 변화를 확인하였다. DSP 제어기의 PWM와 A/D변환은 Timer INT_1을, QEP기능은 INT_4를 이용하였다. 초기 시작품으로 그림 6과 같이 제작하였으며, 향후 실험용 몇몇 기능을 제외하여 소형화할 예정이다.

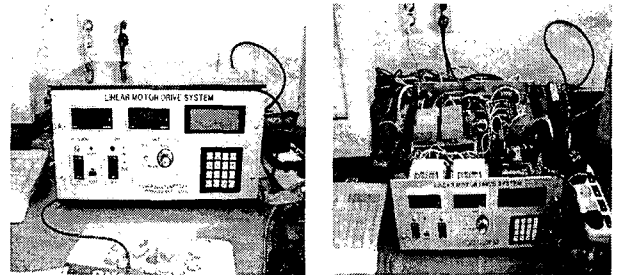


Fig. 6 Appearance and Inside of Manufactures

또한 디지털 서보 제어기를 모터의 구동용으로 사용하기 위해서는 PC와는 독립적으로 동작이 가능하도록 실시간 Debugging Tools을 사용하지 않고 직렬통신으로 제어입력을 다운로드하여 제어할 수 있도록 하였다. 그림 7은 직렬통신을 통한 제어 입력과 상태동작 확인용 Visual 사용자화면이다. 속도프로파일에 따라 제어위치 지점까지의 이동경로를 보이며, 절대위치 이동에 따른 엔코더 위치 신호가 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

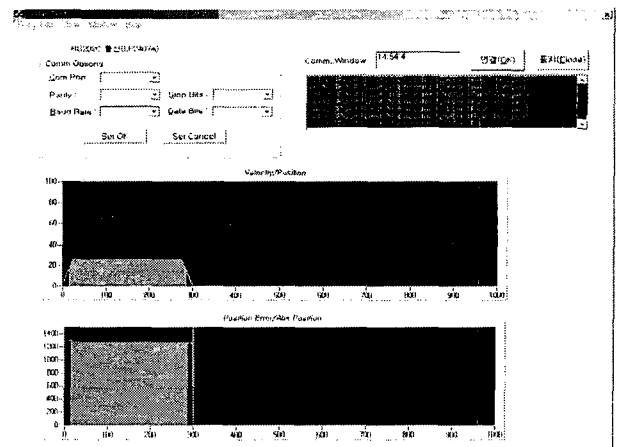


Fig. 7 User Interface of Serial Communication

4.2 실험결과 및 고찰

리니어 펄스 모터는 입력펄스당 누적오차가 없으나, 외란 부하가 가해지면 탈조할 위험이 있어서 지령전류를 위치오차에 따라 크기를 조정해주지 않으면 안된다. 또한 추력리플과 위치오차가 생기는 원인은 공극의 자기저항이 비선형적으로 불평형이 되는 지점에서 영구자석의 자속량과 상여자 전류의

비대칭 지점이 존재하기 때문이다. 이를 해결하기 위해 가동자를 이동시킬 때 절대위치명령을 기준으로 PWM 제어를 함으로써 전류보상이 이루어진다.

그림 9는 오실로스코프로 측정한 PWM 발생부의 PWM1~4는 A상, A-상, B상, B-상의 PWM 파형을 보이며, 그림 10은 Programmable DeadBand로는 Dead Time을 약 $1.36\mu\text{s}$ 만큼 설정하여 Full-Bridge 2상 인버터를 구동하였다. 인터럽트 15kHz 내에서 위치제어를 위한 전류보상 PWM 제어가 가능하였다.

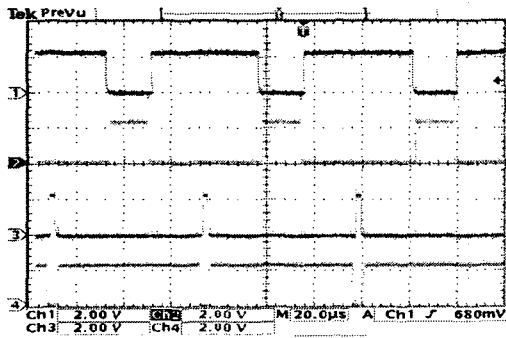


Fig. 9 Waveform of PWM Generation

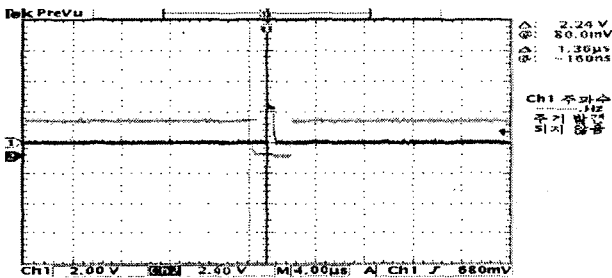


Fig. 10 DeadBand Time of PWM

PWM에 따른 전류응답을 그림 11에 나타내었으며, 오실로스코프 채널 1(PWM_1:A상)의 PWM 펄스폭이 증가할수록 A상 전류크기는 점차 커짐을 알 수 있고, 채널 2(PWM_3:B상)의 PWM 펄스폭이 OFF시간이 50%이상이므로 (-)로 나타남을 보인다. 또한 그림 12는 리니어 펄스 모터의 2상 전류제어 파형을 나타내었으며 서로 90° 전류 위상을 가지며, 모터의 이동자가 마이크로 스텝여자 방식에 의해 이동모드에 따라 동작함을 알 수 있었다. 또한, 엔코더로부터 현재의 위치정보를 반환하여 전기각 이동량에 따라 절대위치와 비교하여 위치오차를 보상해주고 있다. 그 결과, 비선형항으로 무시된 부분들이 있고 부하가 변하더라도 가동자의 이동변위가 제어기준신호에 잘 추종함을 알 수 있었다. 위치오차는 약 수 μm 이내의 범위로 저감됨을 확인할 수가 있었다.

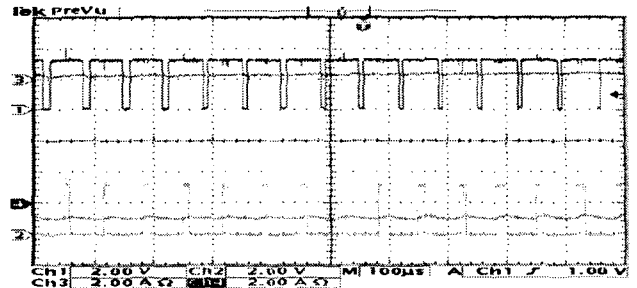


Fig. 11 Response Characteristic of Current

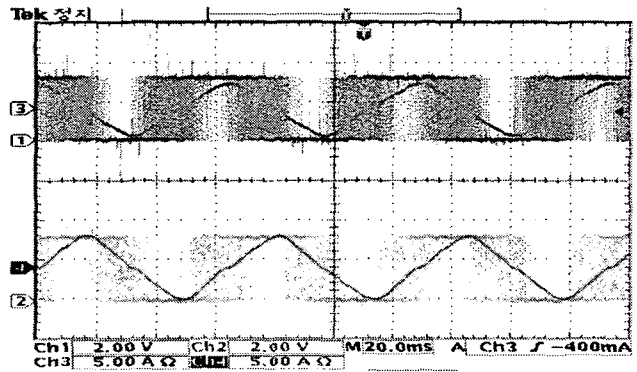


Fig. 12 Waveforms of PWM and Current

5. 결론

본 연구에서는 TMS320LF2407PGEA DSP Controller를 이용하여, 마이컴형 서보드라이브를 설계하였다. 드라이브 내의 제어기에는 주변회로가 Chip에 모터제어에 필요한 기능이 내장되어 있어, 소형화의 가능성과 제어기의 신뢰성을 확인하였다. 또한 선형 펄스모터 구동에 필요한 몇가지의 기능을 사용하여 위치제어를 위한 디지털 전류제어가 가능함을 보였고, 프로그램 다운로드기능과 부트로더 기능을 이용함으로써 제어명령의 유연성과 독립형 서보제어기 설계가 가능함을 알 수 있었다.

이 논문은 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 최우석 외 3, "TMS320LF2406 DSP를 이용한 FCU용 유도 전동기 속도제어", 전력전자학회 추계학술대회 pp. 3~6, 2001.
- [2] 박현석 외 5, "DSP320F240을 이용한 PWM-Inverter 구동 시스템에서의 전도노이즈 저감을 위한 스위칭 기법", 전력 전자학회 하계학술대회, pp. 355~359, 2002.