

## TMS320F2812를 이용한 LBLDCM의 디지털 서보제어기 개발에 관한 연구

조훈희, 안재영, 김광현  
전남대학교 전기공학과

### The Study of Digital Servo Controller for LBLDCM Drives Based on TMS320F2812

Hoon Hee Cho, Jae Young Ahn, Kwang Heon Kim  
RRC & Dept of Electrical Engineering, Chonnam National University

#### ABSTRACT

최근 산업 분야에 걸쳐서 고속, 고정밀도의 요구사항에 따라, 회전 모터와 볼 스크류, 벨트를 이용한 직선구동 방식보다 빠르고 정확하며, 효율이 높은 직접구동 방식의 리니어모터 및 컨트롤러의 개발이 요구되고 있다. 이런 상황에 고속 연산을 수행할 수 있는 DSP(Digital Signal Processor)의 사용이 불가피하며, 기존의 칩들은 A/D변환기, PWM발생장치 등이 내장되지 않아 제어장치의 부품 수증가 및 복잡성을 피할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) 및 QEP(Quadrature Encoder Pulse) 회로와 PWM 발생기, 12bit의 고속 A/D변환기, 파워 드라이버 보호회로 등을 내장한 TMS320F2812 DSP를 사용하여 반도체장비분야, 자동화분야 등에 사용되는 LBLDCM의 제어를 가능하게 만들었다. 또한, 기존의 DSP 시리즈 보다 연산속도가 고속화되어 고속연산에 의한 시간적 제한을 극복할 수 있게 되었고, 제어에 필요한 하드웨어적 기능들을 내장하고 있어서 주변회로가 필요 없게 되었다. 따라서 하드웨어의 간소화와 개발 시간의 단축 및 신뢰도의 향상과 모터 효율의 향상을 가져오도록 하였다. 제안된 제어장치는 제작되어, 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

#### 1. 서론

리니어모터는 종전 볼 나사 구동방식의 한계를 극복하고 고속·높은 가속도와 고정밀도의 이송을 양립할 수 있게 한 구동시스템으로서 그 개발 속도가 빠르게 진행되고 있다. 리니어모터 구동 방식은 고속 구동성과 고정밀도의 위치결정, 높은 가속 응답성, 고속 반복 운동 특성 등 종전의 볼 나사 구동방식에 비해 많은 이점을 갖고 있다. 일반 회전형 모터에 비해 모터의 효율이 낮고

역률이 떨어지는 등의 단점이 있음에도 불구하고 리니어모터 구동방식을 채택하는 것은 직접 직선형의 구동력을 직접 얻을 수 있고 기존의 동력 변환장치의 부가에 따른 손실, 소음, 진동 등을 제거하기 때문이다. LBLDCM은 추력/질량의 비가 크며 고속 동작이 가능하고 서보성이 좋은 반면에, 위치결정기능이 없어 위치 결정센서와 속도센서 등을 필요로 하는데, 이럴 경우에 높은 위치결정이나 속도제어가 가능하다<sup>[1]</sup>. 또한, LBLDCM의 경우는 추력 특성을 고려한 제어시스템이 필요하다. 따라서 모터의 추력은 일정 정격전류에 대해서 각 위치 별로 추력의 리플이나 왜형이 발생하지 않고 정추력을 발생하는 것이 매우 중요하다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 모터 드라이버 전용의 TI사 DSP계열 중 24x계열에서 업그레이드된 TMS320F2812를 사용하여, 그 제어성과 신뢰성을 확인하고자 한다<sup>[3][4]</sup>. 그리고 드라이브 설계에 필요한 주변회로와 기능을 기술하고, 설계·제작된 드라이브로서 LBLDCM에 적용한 디지털 서보제어기의 정밀 위치제어의 가능성을 실험결과를 토대로 제시하고자 한다.

#### 2. 서보 제어기 구성

##### 2.1 TMS320F2812의 특징

그림 1은 TMS320F2812 DSP의 내부 구조를 나타내며, 고정소수점 방식을 수행하는 고성능 32비트 DSP로 150MHz(6.67ns) 처리 속도, 저 전압(1.8V Core, 3.3V I/O)으로 동작한다. 또한, 128K words를 가지고 있고, SPI 통신, SCI(2개) 통신, CAN 통신, McBSP 통신, A/D 변환 모듈 등 다양한 모듈을 가지고 있다. 그리고, Capture Unit, QEP, arm short를 방지 할 수 있도록 프로그램이 가능한 데드밴드(Deadband, Deadtime) 기능이 있어 3상 인버터 제어에 적합하며, 다양한 모터 제어에 유용하게 이용될 수 있다<sup>[5]-[7]</sup>.

## 2.2 PWM Signal 발생 모듈

본 연구에서 이용한 제어기의 TMS320F2812는 Compare Unit를 이용하여 삼각파 비교 방식 또는 공간전압벡터 방식으로 6개의 PWM 파형을 발생시킬 수 있는 EV(Event Manager)가 2개(EVA, EVB)가 있어 X-Y의 2축 제어나 2개의 모터제어에 유용한 칩이다.

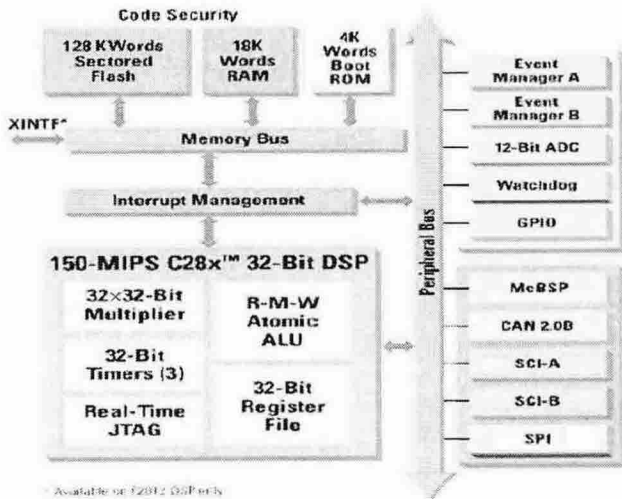


Fig. 1. Internal Construction of TMS320F2812.

## 2.3 A/D 변환 모듈

F2812에는 A/D 변환 16채널과 고속 변환시간 80[ns]을 갖는 12 비트 A/D 모듈이 내장되어 있다. 적절한 아날로그 값을 측정하기 위해서 A/D 변환기의 성능에 맞는 센서의 입력범위와 DSP의 출력 및 아날로그 값과의 관계를 고려하여 설정해주어야 한다. 특히, 고정소수점 DSP인 경우에는 양자화 된 데이터의 유효자리를 적절한 스케일 방법으로 유효자리를 확보하여야만 한다.

## 2.4 전원부

Driver 입력 전원은 220Vac 전원으로 동작되어 지므로, 이를 직류 전압으로 정류하기 위하여, 브리지 다이오드와 평활 콘덴서를 사용하였다. 또한, 모터에 부착된 홀 센서, Linear Scale 및 Fan 등 구동을 위한 다수의 전원회로를 추가하였다.

## 2.5 스위칭 신호 처리부

LBLDCM은 회전형 BLDC와 같은 방식으로 자극의 위치 검출하기 위하여 홀 센서를 이용하였다. 그림 2는 제어대상인 모터의 120° 위상차를 갖는 홀 센서 파형이다. 홀센서는 LBLDCM 구동 시 자극의 위치를 검출하는 소자로서, 특히 Motor의 초기 위치를 검출함으로써 Linear Scale를 이용한 제어 동작 구현에 중요한 역할을 한다. 그림 3은 A, B상이 90° 위상차를 갖는 Linear Scale의 파형이다.

다. 초기 구동이 이루어진 후, 제어기에서는 Linear Scale을 이용하여 위치 제어 및 속도 제어를 하며, 이에 대한 인버터 스위칭 신호는 홀 센서를 통하여 이루어진다. 즉, 초기 구동이 홀센서를 통하여 이루어진 후, 이를 토대로 하여 Linear Scale의 분해능만큼 제어를 한다. Linear Scale의 분해능은 0.5[ $\mu$ m]이다.

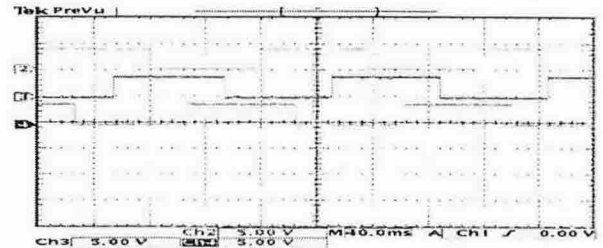


Fig. 2. 3-Phase Hall Signal.

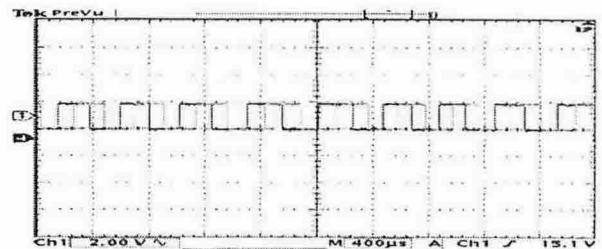


Fig. 3. Linear Scale Signal.

## 2.6 인버터부

본 논문에서는 약 10kHz~20kHz의 캐리어 주파수를 가지는 PWM파형으로 LBLDCM을 구동시키고 있다. 인버터의 경우 빠른 응답특성과 출력전압 또는 출력전류에 고조파가 성분이 적어야 하며, 특히 서보제어용으로 사용되는 것을 전제로 하면 매우 빈번한 기동, 정지 및 속도변화가 이루어지므로 충분한 과부하 내량을 갖도록 설계되어야 한다. 또한 외형의 크기는 대부분이 전력변환부에 의하여 결정되므로 소형화를 지향하는 직접형 설계가 필요하다. 본 연구에서는 Fairchild의 FSAM30SH60A SPM(Smart Power Module)소자를 사용하였으며, 정격용량은 600[V]-30[A]이다. SPM은 시스템의 요구에 맞도록 설계된 IGBT를 최적의 상태로 구동, 서지 전압 대책을 고려한 고집적 패키지 기술을 융합한 것이다. 또한 자체적으로 게이트 드라이버 회로 및 보호회로가 내장되어 있어 사용하기 편리하다.

## 3. LBLDCM 구조 및 원리

본 논문 대상인 양축식 가동 코일형 LBLDCM의 구조는 그림 4와 같다.

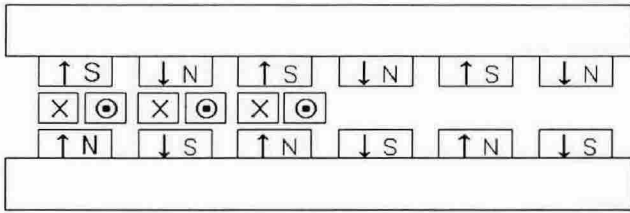


Fig. 4. Structure of LBLDCM.

영구자석을 고정자로 하고 여자코일을 가동자로 한 구조이다. 이 형태는 회전형 직류모터와 동일한 원리로 플레밍의 왼손법칙에 따라 영구자석에 의한 발생자장과 여자전류에 의해 발생된 직각의 쇠교로부터 추력을 발생하며 가동코일이 이동하는 구조이다. 가동 코일형은 시스템의 cost가 상승하고 가동자에 전원이 연결된 상태로 고속운전에 불리하지만 시스템의 구조가 간단하고 자기회로가 안정되어 있어 제어성을 향상시킬 수 있다. 동특성은 다음과 같다.

$$e = Ri + L \frac{di}{dt} + KeV \quad (3-1)$$

$$f = Kt i = M \frac{dv}{dt} + DV \quad (3-2)$$

여기서  $e$ 는 입력전압,  $R$ 은 전기저항,  $L$ 은 전기자 인덕턴스,  $Ke$ 는 역기전력 상수,  $V$ 는 속도,  $f$ 는 추력,  $Kt$ 는 추력상수,  $M$ 은 질량,  $D$ 는 점성계수이다.

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 실험 장치 및 방법

그림 5는 설계 되어진 제어기와 제어대상인 LBLDCM이다. 향후 실험용 몇 가지 기능을 제외하여 소형화할 예정이다. 그림 6은 설계된 제어기의 구성도이다.

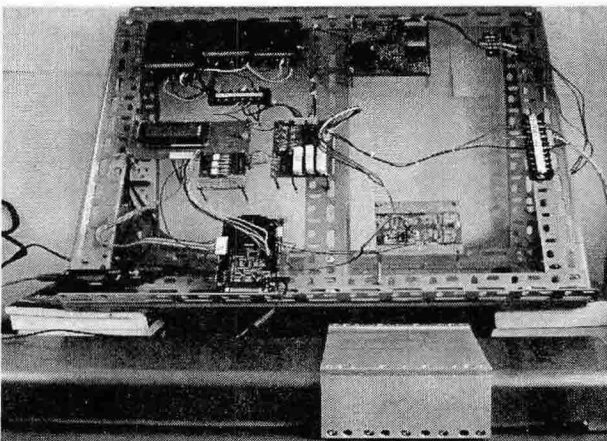


Fig. 5. Appearance of Manufactures.

DSP Chip은 TI사의 TMS320F2812로 PWM모듈과 A/D, CAP, QEP 기능 등을 이용하였다. 또한 PDPINTA의 단자를 사용하여 과도 이상전류로부터 인버터 및 마이크로프로세서를 보호하였다. F2812는 Real Time JTAG회로를 탑재하고 있어서 추가적인 소프트웨어 작업 없이 칩 내부의 주요 레지스터나 메모리 변수 등을 실시간으로 관찰할 수 있고 변경도 가능하다. 모터를 구동하면서 시스템 파라미터나 제어변수 등을 관찰 및 조정을 통해 구동현상을 반복한 후 프로그램을 수정하여 이를 재 구동해서 관찰해보고 하는 작업을 수행하였다. 정현파형의 상전류 값들은 내부 Sin Index Table을 이용하여 해당하는 값을 출력으로 PWM을 발생하여 모터 드라이버인 SPM의 게이트에 입력하여 각 상의 전압도 통구간을 조정하게 된다. 표 1은 제어대상인 모터의 제원이다.

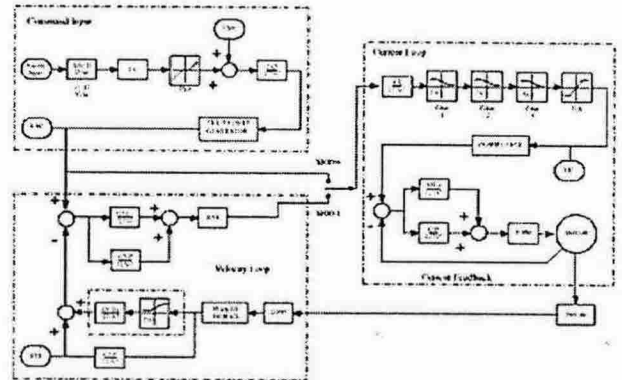


Fig. 6. Block diagram of the system.

표 1. LBLDCM의 제원

구분	수치	단위
최대 / 연속 추력	290 / 85	[N]
최대 / 연속 전류	11.4 / 3.4	[Arms]
선간 저항	3.3	[Ohm]
선간 인덕턴스	1.3	[mH]
추력 상수	25.4	[N/Arms]
최대 속도	3.0	[m/s]
영구 자석	Nd-Fe-B	-
자석 배치	양측 배열	-
스트로크	420	[mm]

##### 4.2 실험 결과

그림 7은 오실로스코프로 측정한 PWM 발생부의 파형을 보인다. 개발된 제어기의 성능 검증을 위하여 일정 거리를 왕복 운동하는 실험을 하였으며, 이때 발생하는 입력값과 응답은 그림 8과 같고, 제어결과 오차가 거의 없는 것처럼 보였다.

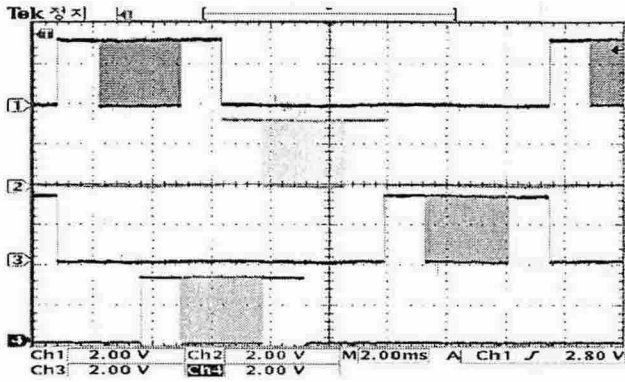


Fig. 7. Waveforms of PWM.

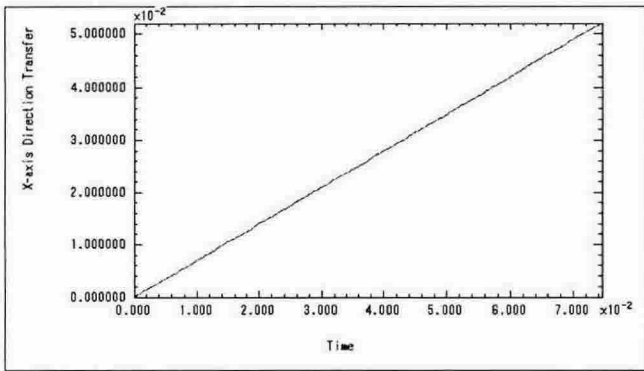


Fig. 8. Position Reference.

## 5. 결론

본 논문에서는 전동기 제어용 TMS320F2812 DSP Controller를 이용하여, 서보드라이브를 설계하였다. DSP 내부에 모터제어에 필요한 기능이 내장되어 있어, 소형화의 가능성과 제어기의 신뢰성을 확인하였다. 또한, 선형 모터 구동에 필요한 여러 기능을 사용하여 위치 제어의 가능성과 제어대상인 LBLDCM에 적용하여 성능을 검증할 수 있었다. 아울러 이러한 기능을 효과적으로 수행하기 위해서 SPM과 주변회로를 사용하여 하드웨어를 구성할 수 있음을 입증하였다.

이러한 점을 토대로 서보 시스템의 제어기 개발 비용 절감 및 시간 단축 그리고 독립형 서보제어기 설계가 가능함을 알 수 있었다.

이 논문은 산업자원부 지정 전남대학교 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

[1] Jacek F. Gieras, Zbigniew J. Piech, "Linear Synchronous Motors", CRC Press, 2000.

[2] Amitava Basak, "Permanent-Magnet DC Linear Motors", CLARENDON PRESS · OXFORD, 1996.  
 [3] 배동관, 안재영, 김광현, "하이브리드형 선형 펄스모터의 디지털 서보 제어기 설계", 전력전자학회 하계학술대회 pp.389~392, 2003.  
 [4] 임태훈, 김남훈, 백원식, 김민희, 김동희, 최경호, "고성능 DSP를 이용한 산업용 서보 전동기 드라이버에 관한 연구", 전력전자학회 하계학술대회 pp.839~841, 2004.  
 [5] Texas Instruments, "TMS320F28x DSP Event Manager (EV) Reference Guide", November 2003.  
 [6] Texas Instruments, "TMS320F28x DSP System Control and Interrupts Reference Guide", July 2003.  
 [7] Texas Instruments, "TMS320F28x DSP Analog-to-Digital Converter (ADC) Reference Guide", November 2003.