

고성능 DSP를 이용한 산업용 서보 전동기 드라이버에 관한 연구

임태훈* 김남훈** 백원식* 김민회** 김동희* 최경호***

*영남대학교 전기공학과 **영남이공대학 전기자동차과 ***경북전문대학

A Study of an Industrial Servo Motor Drive System using high performance DSP

Tae-Hoon Lim*, Nam-Hun Kim**, Won-Sik Baik*, Min-Huei Kim**,
Dong-Hee Kim*, Kyeong-Ho Choi***

*Yeungnam Univ., **Yeungnam College of Sci. & Tech., ***Kyungbuk College

ABSTRACT

This paper presents a SPMSM servo motor drive system using high performance TMS320F2812 DSP for the industrial application. This high performance DSP contains some special peripheral circuits such as PWM (Pulse Width Modulation) waveform generation circuit, Quadrature Encoder Pulse (QEP) generation circuit and Analog to Digital Converter (ADC) circuit. In this paper, a servo drive control system is constructed using high performance DPS for the overall system cost reduction and the size minimization.

라 이러한 단점을 보완 할 수 있게 되었다. 이 DSP는 150[MHz] 속도의 32 bit 정수형(Fixed Point) DSP로서 PWM 발생회로 및 Encoder 입력인 QEP (Quadrature Encoder Pulse)단자를 가진 EV (Event Manager) module과 12.5[MSPS]의 12 bit ADC module을 탑재하고 있다.^{[3] [5]}

따라서 본 논문에서는 기존의 산업용 서보 전동기 드라이버에 많이 사용되고 있는 TMS320C3x 계열의 DSP를 TMS320F2812 DSP로 교체하여, 현재 산업용 서보 전동기로 많이 쓰이고 있는 SPMSM (Surface-mounted Permanent Magnet Synchronous Motor)을 대상으로 실험을 통해 그 사용 가능성을 확인하였다.

1. 서 론

최근 급속도로 발전되고 있는 산업분야에서 고도의 정밀도와 빠른 응답특성을 갖는 제어시스템이 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 따라 빠른 연산능력을 가진 고성능 DSP (Digital Signal Processor)의 사용이 불가결하게 되었다. 하지만, 기존의 산업용 서보 전동기의 제어에 많이 사용되고 있는 TMS320C3x 계열의 부동 소수점(Floating Point)방식인 DSP는 고속의 연산 속도를 장점으로 손쉽게 제어기의 안정성 및 대역폭을 크게 향상시키는 반면, 전력전자 제어의 필수요소인 PWM 발생회로 및 ADC (Analog to Digital Converter)등과 같은 주변 기기의 부재로 인하여 제어 회로의 복잡성을 동반하였다. 이러한 단점으로 인하여 제어용 보드의 대형화 및 주변 기기인 가격 상승이 서보 제어기의 단점으로 대두 되었다.^{[1]-[2]}

하지만, 최근 TMS320F2812 DSP가 출시됨에 따

2. TMS320F2812 DSP 특성

TMS320F2812는 128[Kword]의 Flash Memory를 가진 low power(1.8[V] core, 3.3[V] I/O), 32bit 정수형 DSP이다. 다음은 이 DSP의 주요 기능이라고 할 수 있는 EV modules과 ADC module에 대하여 설명하였다.

2.1 Event Manager 모듈

EV module는 Compare Unit를 이용하여 삼각파 비교 방식 또는 공간전압벡터 방식으로 6개의 PWM 파형을 발생 시킬 수 있는 두 개의 module(EVA and EVB)이 존재한다. 이 Compare Unit에는 한 브리지 소자들(upper and lower switches)이 동시에 ON되어 일어나는 arm short를 방지 할 수 있도록 소프트웨어적으로 데드타임을 추가 시킬 수 있는 기능 역시 포함하고 있다.^[4]

따라서 이 DSP의 Compare Unit Register나 Dead-Band Timer Control Register의 간단한 조

작으로 원하는 Dead Time을 가진 3상 PWM 파형을 구현할 수 있다.

그림 1은 GP Timer 카운터와 Compare Register의 비교 값에 Dead Time을 추가하여 PWM 파형을 발생시키는 EVA의 Compare Units의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

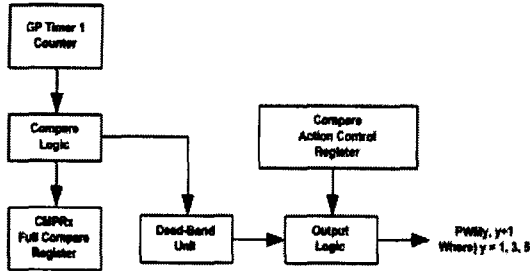


그림 1 Compare Unit 블록 다이어그램(EVA)
Fig. 1 Compare Unit Block Diagram(EVA)

2.2 ADC Module

ADC module은 제어에 있어서 필수적인 요소로 샘플링 시간이 그 성능을 대변한다. 이 DSP는 업계에서 사용되고 있는 μ s단위의 변환 시간을 훨씬 뛰어넘는 80[ns]의 고속 변환 시간을 갖는 12bit ADC module이 탑재되어 있다.^[5]

이 DSP의 I/O 전압이 0~3.3[V]이지만 ADC의 입력 전압 범위가 0~3[V]이므로 센서에서 받은 아날로그 정보가 이 범위의 값을 가지도록 OP 앰프 gain과 offset을 조정 하여야 한다.

그림 2는 검출된 전류 값의 오프셋 처리과정을 보이고 있다.

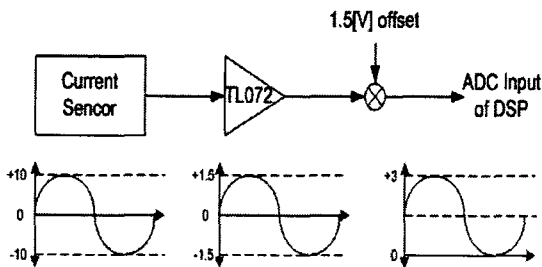


그림 2 검출된 전류 값 오프셋 처리과정
Fig. 2 Process of detected current value offset

3. SPMSM d-q Modeling

벡터제어 알고리즘을 수행하려면 고정자의 전압, 전류 등의 3상 고정좌표계의 동기 회전좌표계로 변환, 또는 역변환이 필요하다. 그림 3에서 나타낸 좌표계 사이의 관계를 이용한 동기 회전좌표계의 전류는 (1)과 같다.

또한, 전동기 각 Parameters을 d-q축 상의 저항과 인덕터로 표현할 수 있다. 이렇게 등가화된 전

동기 모델과, (1)의 동기 회전좌표계의 전류 방정식에서 d-q축 상의 전압 v_{ds} , v_{qs} 전압을 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos\theta_r & \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin\theta_r & -\sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s + pL_d & -\omega_s L_q \\ \omega_s L_d & R_s + pL_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega_s \lambda_f \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서, $p = d/dt$ 이다. 그리고 전동기 토크는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} P_{pair} \lambda_f i_{qs} \quad (3)$$

이와 같이 SPMSM의 발생토크는 회전자 영구자석에 의한 쇄교자속 λ_f 와 고정자 전류의 q축 성분인 i_{qs} 의 곱에 비례하므로 토크제어를 위하여 q축의 전류를 제어하여야 한다. 또한 일반적으로 전동기를 정격속도 이내에서 운전할 경우 $i_{ds} = 0$ 으로 제어하여 사용하는 것이 바람직하다.

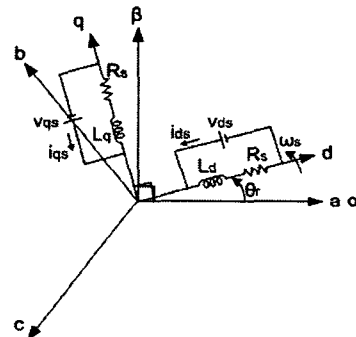


그림 3 3상 고정좌표계, 2상 고정좌표계 및 2상 회전 동기좌표계 사이의 관계

Fig. 3 Relationship among 3phase, 2phase stationary, and synchronously rotating reference frames

4. System 구성 및 실험 결과

4.1 System 구성

본 논문에서는 현재 산업 현장에서 사용되고 있는 서보 드라이버의 Power Board부분을 그대로 사용하되 TMS320C3x DSP를 TMS320F2812 DSP로 교체한 Controller를 사용하여 400[W] 서보 전동기를 제어 하였다.

이 실험에 사용된 서보 전동기의 각 Parameters 들은 표 1과 같고, 실험 시스템의 구성은 그림 5는 실제 제작된 시스템의 사진을 보여주고 있다. 왼쪽

중앙에 위치한 것이 실험에 사용된 SPMSM이고 오른쪽 위에서부터 아래로 Controller와 Interface Circuit 그리고 Power Board를 나타내고 있다.

표 1 전동기 설계상수
Table 1 Motor design parameters

상/극수	3상/8극
정격출력	400[W]
정격회전속도	3,000[rpm]
회전자관성	$0.327[\text{gf} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2]$
토크 정수	$4.693[\text{Kgf} \cdot \text{cm}/\text{A}]$
상 저항	$0.820[\Omega]$
상 인덕턴스	$3.660[\text{mH}]$
역기전압정수	$29.5[\text{VKrpm}]$

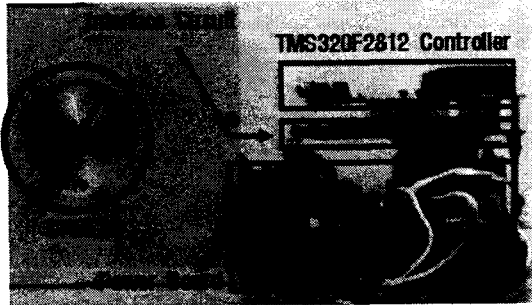


그림 4 제작된 시스템 구성 사진
Fig. 4 A System configuration

4.2 실험 결과

그림 5는 이 DSP의 Compare Unit에 의하여 발생된 3[us]의 데드타임을 갖는 스위칭 주파수 5[kHz]의 U상 PWM 신호를 나타낸 것이다. IPM(Intelligent Power Module)은 active low에서 동작하므로 high 신호 영역은 스위치 OFF구간이 된다.

그림 6은 DSP의 ADC에서 계산되는 3상 전류로서 ADC 입력 3[V]일때 Register값이 0FFF임을 생각하여 스케일링 하면 약 4[A]의 전류를 나타내고 있음을 알 수 있고, 그림 7은 인버터에서 출력되는 3상 선간 전압을 보여 주고 있다.

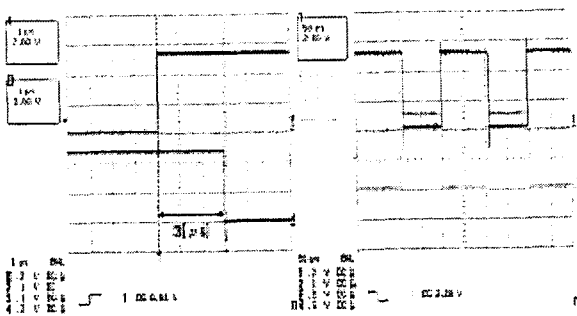


그림 5 3[us] 데드타임을 갖는 PWM 신호
Fig. 5 PWM waveform with 3[us] dead time

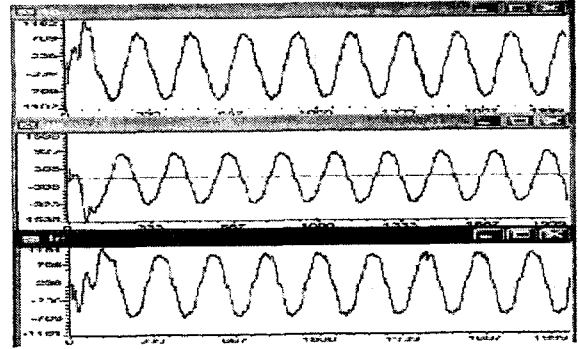


그림 6 3상 전류 파형
Fig. 6 Currents waveform of 3 phase

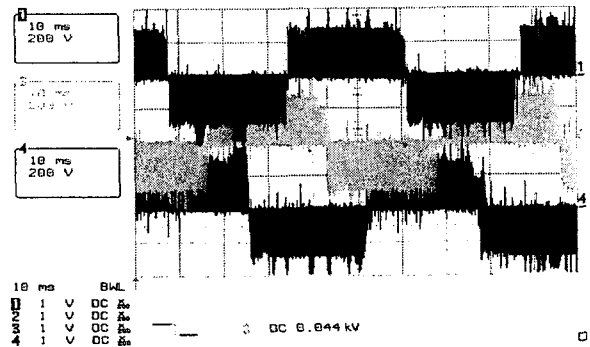


그림 7 3상 선간전압 파형
Fig. 7 Line to line voltages of 3 phase

5. 결론

본 논문은 전동기 제어에 있어서 TMS320C3x 계열의 DSP를 Controller로 사용할 경우 필수적인 주변회로 때문에 발생하는 비용 증가 및 제어회로의 복잡성과 그에 따른 개발 시간 증가를, 주변회로 관련 Register의 간단한 조작으로 구현 할 수 TMS320F2812 DSP로 대체함으로써 해결할 수 있음을 보였다.

따라서 서보 시스템의 Controller 개발 시간 단축 및 비용 절감 그리고 서보 드라이버의 소형화에 기여 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 전태원, 이흥희, "DSP TMS320LF240X를 사용한 교류전동기 구동기술" 전력전자학회지, Vol. 9, No. 2, pp.26-30, 2004. 4.
- [2] 석줄기, "DSP TMS320C3X의 특성 및 제어기술" 전력전자학회지, Vol. 9, No. 2, pp.23-25, 2004. 4.
- [3] TMS320F2811 Data Manual, 2003.
- [4] TMS320F28x DSP Event Manager(EV) Reference Guide, 2003.
- [5] TMS320F28x DSP Analog-to-Digital Converter(ADC) Reference Guide, 2003.