

TMS320F2812 DSP와 스마트 파워모듈을 사용한 유도전동기 소형 벡터제어 시스템의 구현

임 정 규, 김 석 환, 정 세 교
경상대학교 제어계측공학과

Implementation of Compact Vector Control System for Induction Motor Using TMS320F2812 DSP and Smart Power Module

Jeong-Gyu Lim, Seok-Hwan Kim, Se-Kyo Chung,
Gyeongsang National University

ABSTRACT

This paper presents an implementation of compact vector control system for induction motor using a digital signal processor (DSP) and a smart power module (SPM). The DSP TMS320F2812 has most necessary functions for ac motor control in a single chip and SPM provides a compact power stage. The indirect vector control algorithm is implemented in the drive system using these devices. The developed system is applied by 0.8kW induction servo motor and the all functions are verified through the experiments.

따라서, 본 논문에서는 유도전동기 구동시스템의 소형화 및 내장화를 위해서 교류 전동기 제어전용 DSP와 SPM을 사용한 벡터제어 시스템의 구현에 대하여 기술하였다. 벡터제어기 구현을 위한 제어용 DSP로는 Texas Instruments사의 TMS320F2812를 사용하였으며 전력회로의 구성을 위해서는 Fairchild사의 SPM을 사용하였다. 그리고 제작된 하드웨어를 기반으로 간접벡터 제어 알고리즘과 전류제어 알고리즘, 속도검출기, space vector PWM (SVPWM) 등을 소프트웨어적으로 구현하였다.

최종적으로 0.8kW 용량의 서보용 유도전동기에 구현된 구동 시스템을 적용하였으며 실험을 통하여 성능을 검증하였다.

1. 서 론

최근 들어 디지털 프로세서 및 전력용 반도체 기술의 급속한 발전에 따라 전동기 구동 시스템 분야에서도 소형화, 모듈화 및 고 기능화에 대한 연구 개발이 다양하게 이루어지고 있다.

전동기 제어를 위한 디지털 프로세서 분야에서는 교류 전동기 구동에 필요한 A/D 변환기, PWM 발생기 등의 모든 주변장치들이 하나의 칩에 내장된 전용 digital signal processor (DSP)가 개발되고 있다.^[7] 또한 전력용 반도체 분야에서도 고전압 집적회로 (HVIC) 기술의 발전에 따라 전력용 반도체, 게이트 드라이버, 보호회로가 하나의 모듈에 내장된 intelligent power module (IPM) 또는 smart power module (SPM) 등이 상용화 되고 있다.^[1] 이러한 디지털 프로세서 및 전력용 반도체 소자들의 개발 및 상용화에 따라 과거에 비해 교류 전동기 구동 시스템의 개발이 매우 용이해지고 있으며 소형, 고성능의 시스템의 구성을 위해 이러한 집적된 소자들의 효과적인 활용이 필요하다.

2. 하드웨어 구성

2.1 유도전동기 구동 시스템

그림 1 은 개발된 유도전동기 구동시스템의 구성이며 소형화를 위해 SPM과 전류센서 이외에는 모두 DSP 내부에서 구현되도록 하였다.

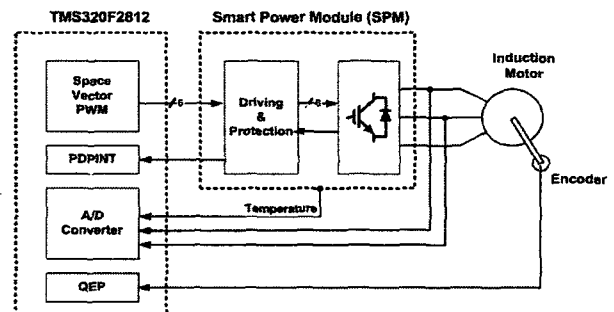


그림 1 유도전동기 구동 시스템 구성
Fig. 1 Configuration of induction motor drive system

DSP 내부의 구성을 살펴보면, SPM의 제어를 위한 SVPWM과 SPM의 fault 신호를 처리하기 위한

PDPINT, 전동기 전류와 SPM 내부의 온도를 처리하기 위한 A/D 변환기, 그리고 전동기의 엔코더 신호를 처리하기 위한 Quadrature encoder pulse (QEP) 회로 등이 있다.^{[2][3]}

2.2 TMS320F2812 DSP

본 논문에서 사용된 DSP TMS320F2812는 32비트 고정소수점의 DSP로서 전동기 제어에 필요한 대부분의 기능을 내장하고 있어, single chip으로 시스템 구현이 가능하다.^[7] 표1은 DSP의 사양을 나타내고 있으며 내부구조는 그림 2와 같다.

표 1 TMS320F2812의 사양
Table 2 TMS320F2812 Spec.

항목	내용
CPU	<ul style="list-style-type: none"> 150MHz Clock Frequency 6.67ns Cycle Time 32bit Fixed Point 연산
Memory	<ul style="list-style-type: none"> 128K × 16 Flash Memory 1K × 16 ROM 18K × 16 SARAM 4K × 16 Boot ROM
Peripherals	<ul style="list-style-type: none"> 16channel 12bit A/D converter Serial Port Interface UART Enhanced CAN
Motor Control Peripherals	<ul style="list-style-type: none"> Two event manager for PWM QEP for encoder signal processing

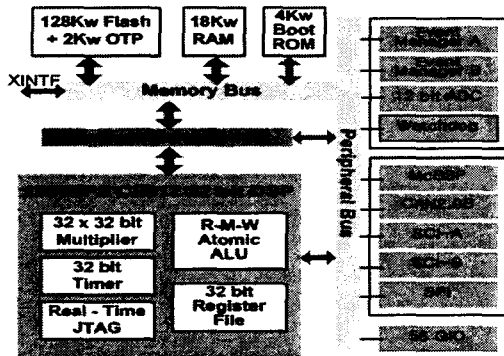


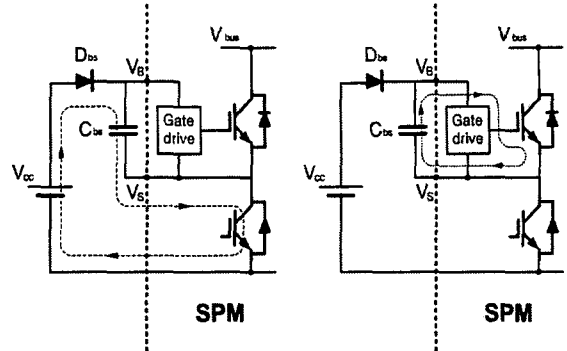
그림 2 TMS320F2812의 내부구조
Fig. 2 TMS320F2812 Block Diagram

2.3 Smart Power Module

시스템의 소형화를 위해서는 전력단의 소형화가 필수적이며, SPM은 게이트 드라이버 및 보호회로가 하나의 모듈에 내장되어 전력단의 소형화가 가능하다. 본 시스템에서 사용된 SPM은 Fairchild사의 FSBM30SH60A이며 600V/30A의 용량을 가지며 15kHz의 스위칭 주파수로 동작이 가능하다.

3상 PWM 인버터의 게이트 구동을 위해서는 4개의 독립적인 전원이 필요하며 이 부분이 전력단의 소형화를 위해 매우 중요한 요소이다. 사용된 SPM은 단일 전원으로 내부의 모든 게이트 구동이

가능한 Bootstrap 회로를 사용하도록 구성되어 있다.^[4]



a. 전압 충전 b. 전압 공급

그림 3 Bootstrap 회로
Fig. 3 Bootstrap Circuit

그림 3은 Bootstrap 회로를 이용한 floating 게이트 드라이버 전원의 공급 방법을 나타내고 있다. Half Bridge 회로에서 Low측 IGBT가 ON되면 Vcc의 전원에서 Bootstrap 다이오드 (Dbs)를 통해 커패시터 (Cbs)에 전압을 충전하게 되며, Low측 IGBT가 OFF되면 Cbs에 충전된 전압이 floating 게이트 드라이버에 전원을 공급하게 된다. 식 (1)은 floating 게이트 드라이버의 구동을 위해서 요구되는 Bootstrap 커패시터의 Charge를 계산한 식이다.

$$Q_{BS} \geq 2Q_g + \frac{I_{QBS(max)}}{f + Q_{is}} + \frac{I_{CBS(leak)}}{f} \quad (1)$$

Q_g : High측 스위치의 게이트 Charge

$I_{QBS(max)}$: High측 드라이버 전류

$I_{CBS(leak)}$: Bootstrap 커패시터 누설 전류

Q_{is} : 사이클 당 요구되는 레벨 시프트 Charge

Bootstrap 커패시터는 전하량 Q_{BS} 를 공급할 수 있어야 하며, High측 IGBT가 ON상태일 때 일정 전류를 계속 공급해야 한다. 이를 위한 Bootstrap 커패시터의 최소용량은 다음과 같다.

$$C \geq \frac{Q_{BS}}{V_{cc} - V_f - V_{is} - V_{min}} \quad (2)$$

V_f : Bootstrap 다이오드의 순방향 전압

V_{is} : Low측 스위치의 ON 전압

V_{min} : V_B 와 V_S 사이의 최소 전압

3. 벡터제어의 구현

3.1 Space Vector PWM

SVPWM은 DSP의 Event Manager (EV)에서 구현할 수 있다. 그림 4에 나타낸 방법으로 한 샘플링 구간 내에 출력될 두 벡터와 ON 시간을 계산한 다음 EV의 동작에 의해 펄스를 출력한다.^[2]

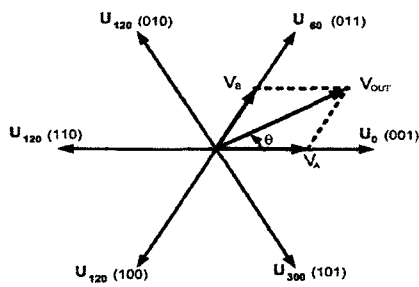


그림 4 스위칭 시간의 계산
Fig. 4 Calculation of switching time

이때 스위칭 시간은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$t_1 = 0.5 \cdot T \cdot V_B / V_{dc} \quad (3)$$

$$t_2 = 0.5 \cdot T \cdot V_A / V_{dc} \quad (4)$$

$$t_0 = T - t_1 - t_2 \quad (5)$$

여기서, $V_A = 2/\sqrt{3} \cdot \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) \cdot |V_{out}|$ (6)

$$V_B = 2/\sqrt{3} \cdot \sin \theta \cdot |V_{out}| \quad (7)$$

그리고 SVPWM 동작을 위해서는 다음과 같은 EV의 설정이 필요하다.

1) EV의 세팅

- ACTRx 레지스터에 출력편의 극성을 설정
- COMCONx 레지스터에 비교동작과 SVPWM mode를 활성화 하도록 설정
- CMPRx 레지스터에 Reload 조건을 결정
- TxCON 타이머의 카운팅모드 설정

2) 전압 벡터 결정과 시간 계산

- 두 인접 벡터 선정
- 식(3)~(5)를 이용하여 시간 계산
- ACTRx 레지스터 설정.
- CMPR1 레지스터에 $0.5 t_1$ 를 넣고 CMPR2에 $0.5 t_1 + 0.5 t_2$ 를 넣는다.

여기서, ACTRx[15]는 회전 방향을 결정하는 비트로 1이면 CW로, 0이면 CCW로 회전한다. ACTRx[14-12]는 PWM에 사용되는 인접한 두 벡터를 결정하는 비트이다. 위와 같은 설정으로 EM에서는 SVPWM 신호를 출력하게 되며, 그림 5는 그 파형을 나타내고 있다.

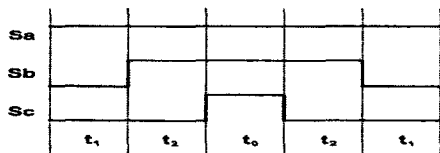


그림 5 공간 벡터 PWM 출력 파형
Fig. Space Vector PWM Waveforms

3.2 위치 및 속도 검출

본 논문에서는 속도 및 위치 추정을 위하여 증분형 엔코더를 사용하였다. DSP의 EV에는 전동기의

위치 및 속도를 처리하기 위한 QEP회로를 가지고 있어 별도의 부가적인 장치 없이 엔코더에서 출력되는 신호를 처리 할 수 있다.^[2]

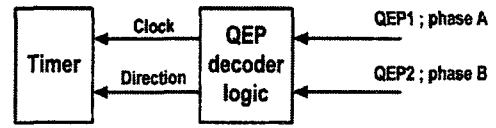


그림 6 QEP 회로의 간략화된 블록 다이어그램
Fig. 6 QEP circuit Block Diagram

엔코더로부터 나오는 A, B 펄스를 QEP회로의 입력으로 받아들여 QEP decoder logic에서 회전 방향과 회전수를 검출하게 된다. 검출된 신호는 각각, Timer의 4체배된 클럭과 카운팅 방향을 결정하는 신호가 된다. QEP1 신호가 QEP2신호보다 먼저 인가된다면 타이머의 값은 증가하고, 그 반대이면 감소하게 된다.

3.3 벡터제어 알고리즘

유도전동기 구동을 위한 벡터제어 알고리즘을 개발된 DSP 제어기를 이용하여 구현하였다. 사용된 벡터제어 기법은 그림 7과 같이 간접 벡터제어 방식을 사용하였으며 회전자 저항 추정기를 사용하여 회전자 시정수 변화를 보상하였다. 전류 제어 방식은 Synchronous PI 제어 알고리즘을 적용하였다.

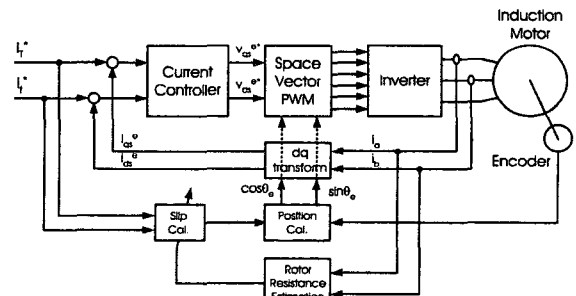


그림 7 간접 벡터제어

Fig. 7 Indirect Vector Control Block Diagram

실험에 사용된 슬립 주파수 계산식은 다음과 같다.

$$\hat{\omega}_{sl} = \frac{R_r}{L_r} \frac{i_{qs}^*}{i_{ds}^*} \quad (8)$$

계산된 슬립주파수를 이용하여 dq 변환을 위한 회전벡터를 계산하면 다음과 같다.

$$\cos \theta_e = \cos(\theta_r + \hat{\theta}_{sl}) \quad (9)$$

$$\sin \theta_e = \sin(\theta_r + \hat{\theta}_{sl}) \quad (10)$$

여기서, $\hat{\theta}_{sl} = \int_0^t \hat{\omega}_{sl} d\tau$ 이다. 위의 간접 벡터제어 기법에서 회전자 저항의 시정수를 보상하기 위하여 adaptive flux observer를 이용한 회전자 추정 알고리즘을 사용하였으며 추정식은 다음과 같다.^[6]

$$\frac{d\widehat{R}_s}{dt} = \gamma(e_{ids}\widehat{i}_{ds}^e + e_{iqs}\widehat{i}_{qs}^e) \quad (11)$$

$$\widehat{R}_r = \frac{R_m}{R_{sn}} \widehat{R}_s \quad (12)$$

여기서, $e_{ids} = i_{ds}^e - \widehat{i}_{ds}^e$, $e_{iqs} = i_{qs}^e - \widehat{i}_{qs}^e$ 이다. 전류 제어기는 synchronous PI 제어기를 사용하였으며 동특성 향상을 위해 feed forward 보상 항을 추가하였다. 전류제어기의 제어 입력은 다음과 같다.

$$v_{ds}^{e*} = G_c(i_{ds}^{e*} - i_{ds}) + \omega_{sl}L_{\sigma}i_{qs}^e \quad (13)$$

$$v_{qs}^{e*} = G_c(i_{qs}^{e*} - i_{qs}) + \omega_{sl}L_{\sigma}i_{ds}^e - \frac{L_m}{L_r}\omega_{sl}\lambda_{dr}^e \quad (14)$$

여기서, $L_{\sigma} = L_s - L_m^2/L_r$ 이며 G_c 는 PI 제어기를 나타낸다.

4. 실험 결과

제작된 시스템의 전체 구성은 그림 8에서 보여지는 바와 같이 TMS320F2812 DSK와 SPM을 사용한 전력단, 그리고 서보용 유도전동기로 구성되어 있다.

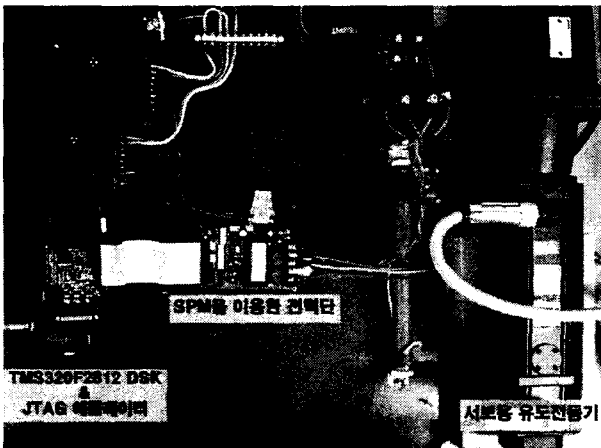


그림 8 전체 시스템 구성
Fig. 8 Configuration of experimental system

TMS320F2812 DSK는 JTAG 에뮬레이터를 통해 PC와 인터페이스 되며 서보용 유도전동기 사양은 표2와 같다.

표 2 유도전동기 사양
Table 2 Induction Motor Spec.

정격출력	800W	고정자 누설인덕턴스(Lss)	11.6mH
정격전압	390V	자화 인덕턴스(Lm)	177.6mH
정격속도	3900rpm	관성 모멘트	2.4kg · cm ²
극수	4 poles	회전자 저항(Rr)	4.092Ω
고정자저항(Rs)	6.087 Ω	회전자 누설인덕턴스(Lrr)	7.5mH

그림 9는 제작된 구동 시스템의 실험한 결과이다. 각각 출력 상전류와 선간 전압을 나타낸다.

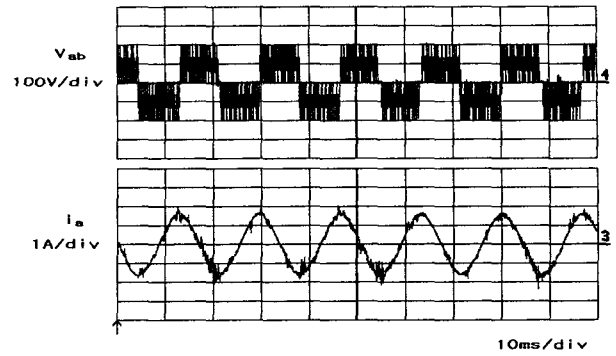


그림 9 실험 출력 파형
Fig. 9 Output waveform of voltage and current

5. 결 론

본 논문에서는 TMS320F2812 DSP와 SPM을 이용하여 유도전동기의 소형 벡터제어 시스템을 구현하였다. 간접벡터 제어와 전류제어 알고리즘, SVPWM, 속도 검출 등을 모두 소프트웨어적으로 처리하고, SPM을 이용하여 전력단을 최소화 함으로써 전체 시스템의 소형화를 추구하였다. 제작된 시스템을 0.8kW의 서보용 유도전동기에 적용한 결과 우수한 구동 특성을 보였다.

추후 과제로 제어 시스템의 내장화를 통해 일체형 시스템을 구현하고자하며, 구동 시스템의 내장화를 위한 실험을 진행 중에 있다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(03-중-06) 주관으로 수행된 과제입니다.

참 고 문 헌

- [1] Jun-Bae Lee, Ki-Young Jang, Dae-Woong Chung, Bum-Seok Huh, "New Smart Power Modules for Very Low-Power Drive Applications", Power Electronics Specialist, 2003, PESC '03, IEEE 34th Annual Conference on, Volume: 1, 15-19 June 2003, pp. 436 - 441 vol.1
- [2] Texas Instruments, "TMS320F28x DSP Event Manager (EV) Reference Guide", June 2003.
- [3] Texas Instruments, "TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC) reference guide", 2003.
- [4] Fairchild "Smart Power Module User's Guide", Application Note 9018, 2002.
- [5] B. K. Bose, Power Electronics and AC Drive, Prentice-Hall, 1986.
- [6] H. Kubota, K. Matsuse, and T. Nakao, "DSP-base speed adaptive flux observer of induction motor", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 29, No. 2, pp. 344-348, 1993.
- [7] Texas Instruments, "TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processors: Data Manual", 2003.