

특집 : 전력전자를 위한 제어용 프로세서의 기술동향(2)

# DSP TMS320F281x의 특성 및 전동기 구동장치 응용방식

전 태 원, 이 흥 희

(울산대 전기전자정보시스템 공학부 교수)

## 1. 서론

근래에 Texas Instruments(TI)사에서 개발된 TMS320LF240x는 고정 소숫점 방식의 16비트 DSP으로써 저가, 고성능용으로 개발된 칩이다. 이 DSP는 비교적 빠른 계산속도에 다양한 입력/출력장치를 내장하고 있으므로 DSP 장점과 마이크로제어기의 장점을 모두 가지고 있다. 특히 Flash 메모리, RAM 등 메모를 포함하여 8-16채널 이상 A/D 컨버터, Timer, 직력통신과 함께 PWM인버터/컨버터 용 PWM펄스까지 출력시킬 수 있으므로, 이 DSP는 각종 전동기 구동시스템과 UPS, 능동필터 제어 등 전력전자 분야에서 적합하게 설계된 DSP로 상당히 많이 사용되고 있다. 그런데 TMS320LF240x는 고정 소숫점 방식의 16비트 DSP이므

로 연산량이 많은 시스템에서는 적용하기 힘들며, 또는 저장할 데이터량이 많은 제어시스템일 경우에는 내장된 flash 및 SRAM 등 메모리 용량이 부족하는 등 사용하는데 문제가 있을 가능성이 있다.

따라서 작년에 TI사에서 TMS320LF240x보다 최대 12배까지의 성능을 제공하는 고정 소숫점 방식의 32비트 고성능 고정밀도 제어용 DSP인 TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812 등 3종의 정식버전 DSP가 출시하였다. 이 DSP는 제어용 애플리케이션만을 위해 독자적으로 디자인되고 150 MIPS 성능을 가지며, 일반용 프로세서와 DSP 기능의 장점만을 결합한 혁신적인 통합형 아키텍처를 갖춘 C28xTM 제품을 이용하면 시스템 코드와 수학 코드를 모두 C/C++로 완벽하게 개발할 수 있으므로, 개발시간을 많이 단축시킬 수 있다.

그림 1은 DSP TMS320F281x 및 C281x 계열의 DSP Roadmap을 보인 것이다. 연산속도가 20-40 MIPS의 16비트 DSP TMS24LFx 계열에서 100-150 MIPS의 연산속도인 고성능 32비트 DSP TMS320LF281x 및 C181x 등이 개발되었다. 여기서 C281x 계열은 내부 메모리가 ROM이므로 개발단계에서 프로그램의 수정 등이 상당히 문제가 있으며 또한 아직까지 정식 버전이 출시되지 않았다. 이에 반하여 TMS320LF281x 계열은 flash 메모리가 내장되어 있으므로 개발단계에서는 사용하기가 상당히 편리하므로 이 특집에서는 이 모델을 기준으로 주요 성능을 기술한 후, 전동기 구동시스템에 적용하기 위한 필요한 기능들을 TMS320LF240x 계열 특히 LF2407A 모델과 비교하여 설명하고자 한다.

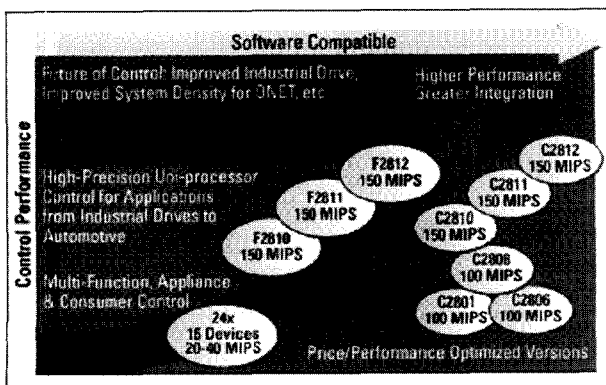


그림 1 DSP F281x 및 C281x 계열의 DSP Roadmap

## 2. TMS320F2810/2812의 구조 및 특징

TMS320F2810/2812은 32비트 고정 소숫점(정수) 방식의 DSP로 TMS320LF2407A 보다 성능이 대폭 향상시킨 칩이다. 이 DSP의 클럭 주파수가 150MHz이며 1개 명령어 수행하는데 6.67nsec만이 소요되어 연산속도가 150 MIPS 등 상당히 빠른 연산이 가능하고, 전원도 입출력에서는 3.3V이지만 core에서는 1.8V하여 전력소비를 감소시켰다. 그림 2는 TMS320F281x DSP의 내부 구조를 보인 것이다. 내장용 메모리로 128Kword의 flash, 18Kword의 RAM로 프로그램 또는 데이터를 쉽게 저장 또는 삭제 할 수 있으며, 2개의 EVA로 12개의 PWM 펄스를 발생한다. 초고속 16-채널 12비트 A/D 컨버터와 2개의 비동기 직렬통신(UART) 및 1개의 동기 직렬통신 등 3개의 직렬통신에 Enhanced CAN인 eCAN이 내장되어 있다. 그 외에 56개의 I/O 핀, 3개 외부 인터럽트에 3개의 32bit CPU Timer가 있다.<sup>(1,2,3)</sup>

TMS320F2810와 2812와 비교하면 내부 기능 및 연산속도 등은 동일하나, flash 메모리용량에 차이가 있으며 특히 320F2812는 외부 data bus와 address bus가 있으나, 320F2810은 외부 data 및 address bus가 없다.

DSP TMS320F2810/12의 주요 기능 및 특성은 다음과 같다.

- ▶ Clock frequency : 150 MHz
- ▶ Instruction Cycle : 6.67 nsec (150 MPIS)
- ▶ 저전력 : core(1.8V), I/O(3.3V)
- ▶ 내장형 Memory : 프로그램 및 데이터 저장
  - Flash EEPROM : 128K x 16 Bits

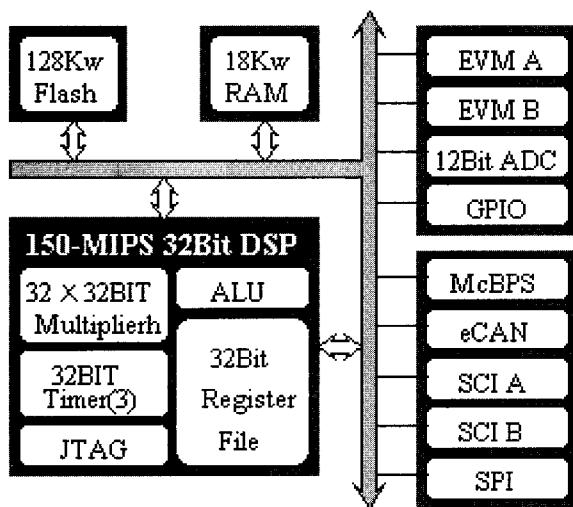


그림 2 TMS320F281x DSP 내부 구조

- 1K x 16 OTP ROM
- Data/Program RAM : 18K x 16 Bits
- ▶ Boot ROM (4K x 16 Bits)
  - Bootloader 기능
- ▶ 2개 Event-Manager (EV) Modules (EVA and EVB)
  - 3개의 32-Bit CPU Timer
  - 16개의 16-Bit Pulse-Width Modulation (PWM) 채널
- ▶ 16-Channel 12-bit A/D converter
  - 2 x 8 채널 Input multiplexer
  - 80ns의 최소 Conversion Time / 12.5 MS/PS
  - 2개 Sample-and-Hold
- ▶ 2개 비동기 Serial Communications Interface (SCI)
- ▶ Serial Peripheral Interface (SPI) Module
- ▶ Enhanced Controller Area Network (eCAN) 2.0B Module
  - 전송속도 : 1Mbps
  - 32 mailboxes
- ▶ 56개 General-Purpose Input/Output (GPIO) 핀
- ▶ Peripheral Interrupt
  - 3개의 외부 interrupt
  - PIE(Peripheral Interrupt Expansion) Block을 이용한 96개의 외부장치 interrupt
- ▶ Development tools
  - Real-Time JTAG-Compliant Scan-Based Emulation (JTAG)
  - ANSI C/C++ Compiler/Assembler/Linker
  - Code Composes Studio
  - TMS320C24xTM 개열과 코드 호환성
- ▶ External Interface (TMS320F2812만)
  - 1M 메모리확장 가능
- ▶ Package Options
  - TMS320F2812 : 179-Pin BGA & 176-Pin LQFT
  - TMS320F2810 : 128-Pin LQFP

## 3. 전동기 구동장치에서의 응용 방법

전력전자학회지 4월호에 수록된 특집기사에서 DSP TMS320LF2406A/2407A를 사용한 유도전동기 등 여러 전동기 구동 시스템 또는 반도체 전력회로 제어 시스템에 적용 시 응용 방법에 대하여 각 부분별로 기술하였다. 따라서 이 특집에서는 각 부분별로 TMS320LF240xA와 비교하면서 TMS320F281x를 사용하였을 때의 방법을 기술한다.

### 3.1 연산속도

시스템 클럭 주파수가 최대 150MHz이며 연산속도가 150MPS로 클럭 주파수가 최대 40MHz이며 연산속도가 40MPS인 LF240xA 보다 약 3.8배 정도 빠르면서, 32비트 DSP로 32비트 연산이 기본이므로 연산속도가 최소한 10배 이상 빠르므로 복잡한 연산이 필요한 전동기 제어시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

### 3.2 전원장치 구성

DSP의 전력소비를 감소시키기 위하여 DSP core에는 1.8V를 사용하며 외부 I/O신호는 3.3V를 사용하므로, 이 DSP에 1.8V와 3.3V 등 2개의 직류전원이 필요하다. 그리고 두 전원의 인가 순서가 있는데, 먼저 3.3V 전원을 인가한 후 1.8V 전원을 인가시키고, 다음은 DSP의 RESET 단자를 'high' 상태로 하여야 한다. 따라서 위의 같이 복잡한 순서로 신호 또는 전원을 인가하는 것이 상당히 어려움이 있으므로, TI사에서 생산되는 Dual-output low-dropout voltage regulators TPS70351칩으로 이 문제를 쉽게 해결할 수 있

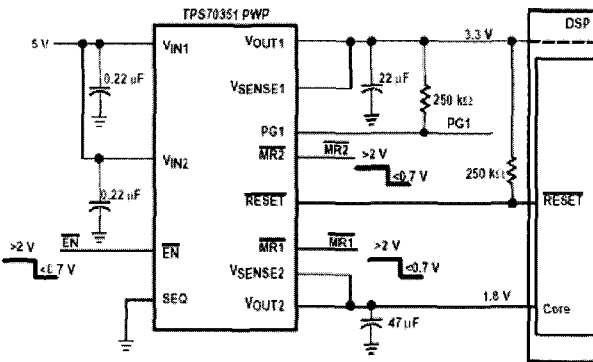


그림 3 TPS70351와 DSP의 연결 방법

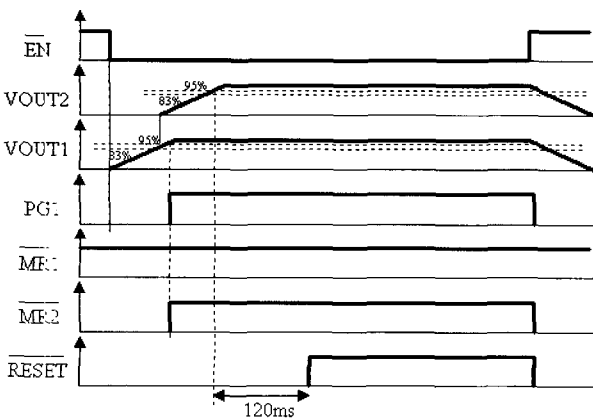


그림 4 2개 전원인가 timing diagram

다. 그림 3은 이 TPS70351칩과 DSP TMS28F281x와의 결선관계를 보인 것이며, 그림 4는 TPS70351칩의 주요 신호에 대한 timing diagram을 그린 것이다.<sup>[4]</sup> 이 시간순서를 보면 먼저 EN단자가 '0'를 한 후 VOUT1(3.3V)를 인가시키고, 이 VOUT1값이 3.3V의 95%까지 도달하면 VOUT2(1.8V) 인가한다. VOUT1값이 1.8V의 95%도달한 후 120ms 후에 DSP의 RESET 단자를 'high' 상태로 한다.

### 3.3 내장형 Memory의 종류 및 용량

내장형 메모리는 Flash EEPROM 영역과 SRAM 영역이 있으며, Flash 메모리 영역은 각종 제어용 프로그램의 저장하고, SRAM 영역에는 제어루우프에서 사용하는 변수들의 영역 또는 교류전동기 벡터제어 시 필요한 Sine table 등을 저장한다. DSP F281x는 128K word용량의 flash 메모리와 18K word의 SRAM 메모리가 있으며 240xA와 비교하면 flash 메모리는 약 4배, SRAM 메모리는 약 12배 용량이 더 크므로 복잡한 프로그램이나 저장할 데이터양이 많을 경우에도 외부 메모리가 없이 사용할 수 있다.

### 3.4 A/D converter의 특성

전류, 전압 등 아날로그값을 디지털 값으로 변환시키기 위한 것으로 16-채널 12bit A/D converter로 16개의 아날로그를 변환시킬 수 있으며, S/H까지 포함한 변환시간 (conversion time)이 80ns인 초고속 A/D converter이다. DSP LF2407A는 채널 수는 16-채널로 같으나 디지털 값이 10bit값으로 변환되는 10-bit A/D converter이며 변환시간이 375ns이므로, F281x는 정밀도가 4배 높아지고 또한 변환시간도 약 5배 정도 짧으므로 샘플링 시간이 빠른 시스템에는 상당히 유리하다. 그런데 입력 아날로그 전압이 0V-3V 범위이므로 교류 전압 전류를 입력시킬 경우에는 peak-to-peak가 0-3V 범위로 신호의 크기를 조정한다. 따라서 교류 전압 또는 전류 등 교류 신호에 1.5V를 더하여 level shifter한 후 A/D converter에 입력한다. 참고로 DSP 240xA에서는 입력 아날로그 전압 범위가 0V-3.3V이므로, F281x의 입력 아날로그 전압의 범위보다 약 10% 정도 더 크다.

### 3.5 Incremental encoder에 의한 속도 또는 위치 측정

전동기의 속도 및 위치 측정을 위하여 incremental encoder 많이 사용하고 있다. 이 encoder의 출력신호인 A와 B 신호를 XOR를 사용하여 2체배 또는 4체배하고 이 A와 B 신호의 위상차를 이용하여 정회전 또는 역회전을 인식한다. DSP에서는 이 기능을 하기 위하여 QEP (Quadrature Encoder Pulse) 회로가 있으며, 이 DSP는 LF2407A로 같이 2개의 QFP가 있으므로 2개의 엔코더 펄스를 동시에 카운팅할 수 있다.

### 3.6 PWM인버터의 펄스 발생 방법

3상 PWM 인버터 또는 컨버터 사용 시 6개의 PWM신호가 필요하며, 이 DSP에서는 2개의 Event-Manager (EV) Modules (EVA and EVB)이 각각 6개의 PWM 펄스 즉 12개의 PWM 펄스를 발생시킬 수 있으므로, 3상 PWM컨버터-PWM인버터 시스템 또는 3-레벨 인버터 등에도 1개의 DSP만으로 구현이 가능하다. 그리고 기준 3상 정현파와 일정 주파수 및 크기로 발진하는 삼각파와 비교하여 PWM 신호를 발생시키는 삼각파 비교방식과 공간전압벡터 방식으로 PWM 신호를 발생시킬 수 있다.

이 PWM신호에 인버터에서 같은 브리지 소자간의 arm short를 방지하기 위한 dead time를 발생시킬 수 있으며, 이 dead time 값을 조절할 수 있다. 그리고 전동기 정지 시 또는 과전류 등 오동작시 외부 PDPINTx 핀으로 PWM신호를 차단하는 기능까지 있다.

이 PWM 신호를 발생하는 기능 즉 PWM 신호 채널수와 16-bit counter, PWM신호를 차단하는 기능 등 주요 기능은 F281x와 LF2407A이 동일하지만, 계산량이 많은 공간전압 벡터 방식을 사용할 경우에는 32-비트에 연산속도가 빠른 F281x가 유리하다.

### 3.7 eCAN 통신 및 직렬통신

CAN 통신은 대표적인 fieldbus이며, 과거에는 차량의 내부 통신용으로 사용되어 왔으나, 근래 들어 자동화 설비의 제어용 네트워크로 적용되고 있다. 이 DSP에서 CAN이 내장되어 있으므로 다른 DSP 또는 센서 및 액추에이터 등과 쉽게 데이터 통신이 가능하므로 전력전자 분야에서는 복수대 전동기 구동 장치, 다이내모 UPS 등 복잡한 시스템 등에 응용할 수 있다. 그리고 외부에 Transceiver를 연결하면 다른 CAN과 쉽게 통신할 수 있다.

DSP LF2407A는 CAN의 전송속도는 1Mbps이며 (이 전송속도는 통신선의 길이에 따라 변동되지만), 0에서 8byte 크기의 데이터를 저장할 수 있는 mailbox가 6개가 있다.

이에 비하여 DSP F281x는 전송속도는 1Mbps로 동일하나, eCAN(Enhanced CAN)으로 time stamping 및 acceptance mask 기능을 가진 32개의 mailbox (LF2407A보다 5배 이상 더 많음)를 가지고 있는 등 다양한 기능과 함께 좀더 안정된 네트워크 통신을 지원한다.

한편 비동기 직렬통신 포트로서 UART 기능을 가진 SCI (Serial Communication Interface)는 PC와 RS232로 연결하여 PC와 통신을 할 수 있다. DSP LF2407A는 1개의 SCI port를 가지고 있으나, F281x에서는 2개의 SCI port를 가지고 있다.

### 3.8 D/A converter 출력

이 DSP에서는 메모리를 포함하여 전동기 제어 등 전력전자분야 적용 시 필요한 주변장치는 거의 모두 내장되어 있어서 외부에 다른 주변장치가 거의 필요가 없다. 그러나 제어 시스템의 동작상태를 분석하거나 논문 또는 보고서를 작성하기 위하여 DSP내 제어 프로그램에서 주요 변수값을 오실로스코프로 관찰할 경우가 많으므로, 이 경우 DSP내의 디지털값을 아날로그 값으로 변환시키는 D/A converter가 필요하다.

그런데 이 DSP에서는 이 D/A converter가 내장되어 있지 않으므로 외부에 D/A converter를 설치하여야 한다. 이 DAC와 DSP와의 데이터를 통신하는 방법은 외부 data와 address bus를 사용하는 방법과 SPI단자를 사용하는 방법 등이 있다. TMS320F2812는 외부 data와 address bus를 사용하여 D/A converter를 연결할 수 있지만, TMS320F2810은 외부 data와 address bus가 없으므로 data bus 대신 직렬통신으로 데이터를 입력받는 D/A converter형을 선택하여 DSP내의 SPI 단자와 연결하여 사용한다.

## 4. 결론

DSP TMS320F281x는 올해 TMS형으로 본격적으로 출시된 고정 소숫점 방식의 32비트 DSP로서 각종 전력전자의 응용분야 중 전동기 제어뿐만 아니라 UPS 등 반도체 전력회로 제어에도 상당히 적합한 DSP인 TMS320LF2406A/07A보다 연산속도를 대폭 향상시키고, 내장형 flash 및 SRM 메모리 용량을 증가시키면서 A/D converter 등 주변장치의 기능까지 향상시킨 고성능 고정밀도 제어용 DSP이다. 따라서 기존의 16-비트 DSP인 TMS320LF240xA로는 한계가 있는 복잡한 연산이 필요하거나, 저장할 데이터 용량이 클 경우, 또는 좀더 정밀한 제어가 필요한 분야에서도 이 DSP를 적용할 수 있으므로, 이 DSP가 전력전자 응용분야에 많이 사용될 것으로 예상된다. ■

## 참고 문헌

- [1] TEXAS Instrument, TMS320F28x DSP Peripherals Reference Guide, 2002.
- [2] TEXAS Instrument, TMS320F28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide, 2002.
- [3] TEXAS Instrument, TMS320F2810/2812 Digital Signal Processors Data manual, 2003.
- [4] TEXAS Instrument, TMS320F28x DSP Application Notes, 2003.

〈 저 자 소 개 〉



**전대원(全泰園)**

1959년 1월 30일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업(학사). 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 울산대 전기전자정보시스템 공학부 교수. 당 학회 편집이사.



**이홍희(李弘熙)**

1957년 10월 15일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994년~1995년 Texas A&M 방문교수. 현재 울산대 전기전자 및 자동화공학부

교수. 울산대 RRC 소장.