

특집 : 전력전자를 위한 제어용 프로세서의 기술동향

DSP TMS320LF240X를 사용한 교류전동기 구동기술

전 태 원, 이 흥 희

(울산대 전기전자정보시스템공학부 교수)

1. 서론

전력전자 분야에서 사용되는 전동기 제어 시스템 또는 UPS, 능동필터 등 반도체 전력회로 제어에 다양한 신호처리와 고속연산이 가능하도록 하드웨어적으로 부동소수점을 연산하거나 MAC 연산 기능 등이 있어 계산 속도가 빠르다는 장점 때문에 TMS320C3X 등의 DSP가 많이 사용되어 왔다. 그런데 이 DSP는 입/출력 기능이 상당히 떨어지므로 외부에 A/D 변환기, EPLD 또는 FPGA 등의 외부소자 들이 많이 필요하여 회로가 상당히 복잡하다는 문제가 있었다. 이에 비하여 마이크로제어기는 입/출력 기능이 우수하나 연산속도가 상당히 떨어진다는 단점이 있다.

근래에 TI사에서 개발한 TMS320LF240x는 고정 소숫점(정수) 방식의 16비트 DSP으로 저가, 저전력, 저사이즈, 고

성능용으로 개발된 칩이다. 이 DSP에는 RAM과 flash 등 메모리가 내장되어 있고, 16채널 10비트의 A/D 변환기, 12개 PWM 발생 기능, 4개의 16비트 타이머/카운터, 엔코더 펄스 카운팅 기능, 2개의 직렬통신 및 CAN 네트워크 등 있으므로 별다른 외부회로 구성이 없이 시스템 동작이 가능하다. 또한 연산속도가 40MIPs 으로 고속 연산이 가능함으로 DSP의 장점과 마이크로제어기의 장점을 모두 가지고 있고, 내장된 기능이 전력전자 분야에 사용하기에 상당히 적합하게 설계된 DSP이다.

그림 1은 TI사의 TMS2000 시리즈의 roadmap을 보인 것이다.

먼저 TMS320C242, F241, LC2402A, LC2404A, LC2401A부터 시작하여, 다음 단계에서는 flash내장형인 TMS320LF2402A, LF2403A, LF2406A, LF2407A 등이 개발되었으며, 최근에는 연산속도가 150 MIPs으로 대폭 향상된 32비트 DSP인 TMS320F2810, F2812 등이 출시를 시작하고 있다. 이 모델 중 국내에서 비교적 많이 사용하고 있는 TMS 320LF2406A/2407A의 특성 및 교류전동기 구동시 필요한 기능의 사용방법 등에 대한 설명을 한 후, TMS320F2810/2812의 특성을 소개한다.

2. TMS320LF2407A의 구조 및 특징

TMS320LF2407A는 16비트 고정 소숫점(정수) 방식의 DSP이다. 클럭 주파수가 40MHZ이며 1개 명령어 수행하는데 25nsec만이 소요되어 연산속도가 40 MIPS (Million Instructions Per Second) 등 고속연산이 가능하며, 전원이 3.3V로 전력소비가 작다.⁽¹⁻²⁾

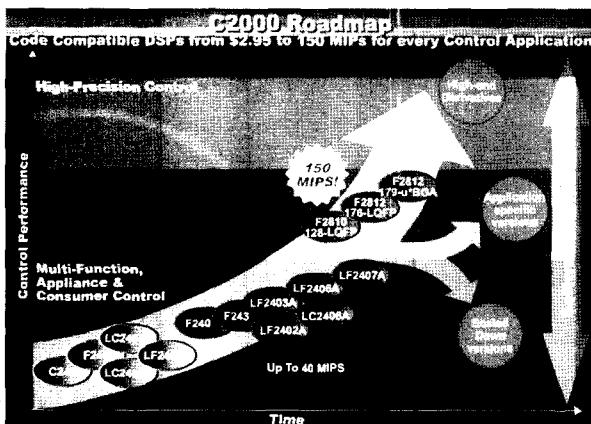


그림 1 TMS320C2000 DSP Roadmap

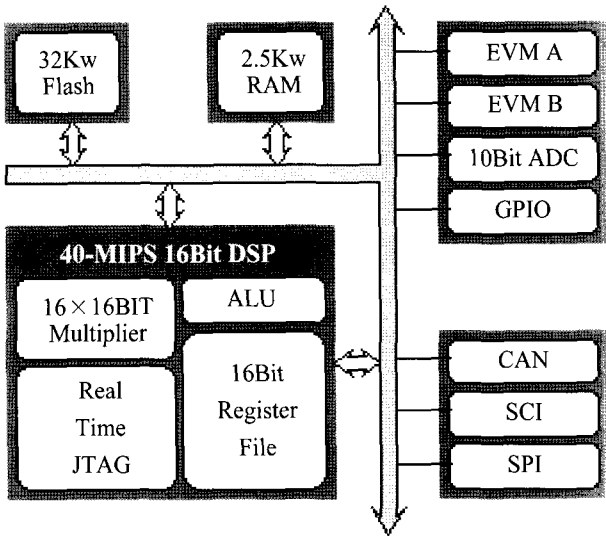


그림 2 TMS320LF2407A의 내부 구조

그림 2는 이 DSP의 내부 구조를 보인 것이다. 내장용 메모리로 32Kword의 flash, 2.5Kword의 RAM이 있어 프로그램 또는 데이터를 쉽게 저장 또는 삭제 할 수 있으며, 2개의 EVA로 dead time까지 가능한 12개의 PWM 펄스를 발생한다. 또한 고속 16채널 10비트 A/D 변환기와 동기 및 비동기 직렬통신 포트, 대표적인 fieldbus인 CAN까지 내장되어 있다. 그 외에 41개의 I/O 핀, 5개 외부 인터럽트, DSP의 오동작을 검출하는 watchdog 타이머 등 다양한 기능이 포함되어 있다. 그리고, TMS320LF2306A는 TMS320LF2307A과 비교하면 내부 기능 및 연산속도는 거의 동일하나 외부 data bus와 address bus가 없다는 차이점이 있다.

TMS320LF2307A의 주요 기능 및 특성은 다음과 같다.

- ▶ 클럭 주파수 : 40 MHz
- ▶ 명령 사이클 : 25 nsec (40 MPIS)
- ▶ 내장형 메모리 : 프로그램 및 데이터 저장
 - Flash EEPROM : 32K Words x 16 Bits
 - 데이터/프로그램 RAM : 2.5K Words x 16 Bits
- ▶ Boot ROM
 - SCI/SPI Bootloader 지원
- ▶ 2개 Event-Manager (EV) Modules (EVA and EVB)
 - 2개 16비트 타이머
 - 8개 16비트 PWM 채널
- ▶ 16채널 10비트 A/D 변환기
 - 16 채널
 - 500ns 변환시간
- ▶ 비동기 직렬통신 인터페이스 (SCI)

- ▶ 16-Bit Serial Peripheral Interface (SPI) 모듈
- ▶ Controller Area Network (CAN) 2.0B 모듈
- ▶ 41개 입력/출력 핀
- ▶ 5개 외부 인터럽트
- ▶ Emulation (JTAG)
- ▶ 패키지
 - TMS320LF2407A : 144-Pin LQFP 및 PGE
 - TMS320LF2406A : 100-Pin LQFP 및 PZ

3. 교류전동기 구동장치에서의 DSP 응용 방법

TMS320LF2407A로 유도전동기 등 여러 전동기 구동 시스템 또는 반도체 전력회로 제어 시스템에 적용 시 사용방법에 대하여 각 부분별로 기술한다.

3.1 내장형 Memory

Flash EEPROM 영역은 인터럽트 벡터테이블 및 프로그램을 저장하고, SRAM 영역에는 제어루우프에서 사용하는 변수들의 영역 및 교류전동기 벡터제어 시 필요한 Sine 테이블 등을 저장한다.

3.2 A/D 변환기

전류, 전압 등 아날로그값을 디지털 값으로 변환시키기 위한 것으로 16채널 10bit A/D 변환기로 16개의 아날로그 값을 순차적으로 변환시킬 수 있으며, S/H까지 포함한 변환시간 (conversion time)이 500ns인 고속 A/D 변환기이다. 그런데 입력 아날로그 전압의 범위가 0V-3.3V 이므로, 교류 전압 및 전류를 입력시킬 경우에는 피크-피크 값이 이 범위 내에 되도록 입력신호를 조정하여야 한다. 그림 3은 전동기 입력전류를 A/D변환기 입력 시 사용되는 회로의 블록도이다. Hall-CT로 교류전류를 측정한 후 필터 및 증폭기를 거치고 이 값에 1.65V를 더하여 level shifter한 후 A/D 변환기에 입력한다.

3.3 Incremental 엔코더에 의한 속도 위치 측정

전동기의 속도 및 위치 측정을 위하여 incremental 엔코더를 많이 사용하고 있다. 이 엔코더의 출력신호인 A와 B 신호

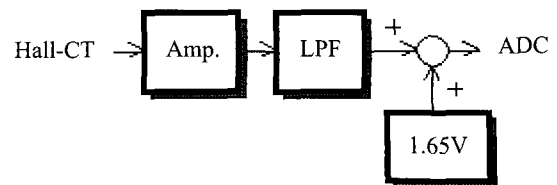


그림 3 A/D 변환기 입력 신호 변환 블록도

를 XOR를 사용하여 2체배 또는 4체배하고 이 A와 B 신호의 위상차를 이용하여 전동기 회전방향을 인식한다. DSP에서는 이 기능을 하기 위하여 QEP (Quadrature Encoder Pulse) 회로가 있으며, 그림 4와 보는 바와 같이 QEP1 및 QEP2의 입력에 A와 B 신호를 입력시키면 4체배 신호가 발생되고 이 펄스를 GP Timer1 또는 Timer2가 카운팅한다. 또한 두 신

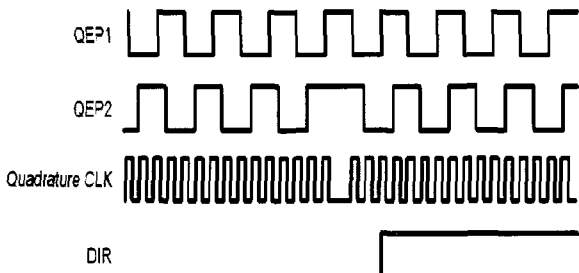
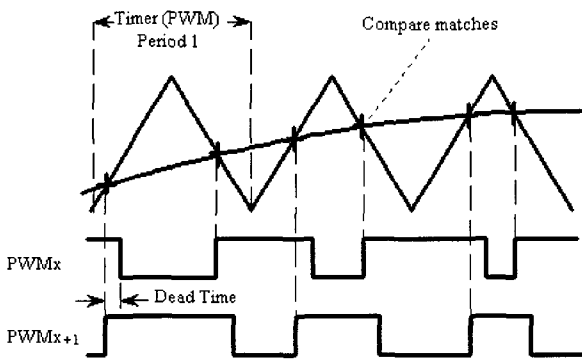
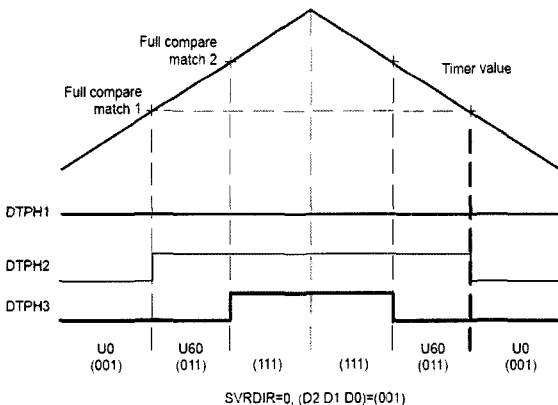


그림 4 Encoder 펄스, 4체배 펄스 및 회전방향 신호



(a) 삼각파 비교방식



(b) 공간전압 벡터방식

그림 5 PWM 발생 방법

호의 위상을 이용하여 전동기 정역회전 신호 DIR 도 발생시킨다. 한편 이 DSP에는 2개의 QEP회로가 있으므로 2개의 엔코더를 동시에 사용할 수 있다.

3.4 PWM 펄스 발생

3상 PWM인버터에서는 6개 PWM신호가 필요하다. 이 DSP에서는 2개 Event-Manager (EV) Modules (EVA and EVB)을 사용하여 삼각파 비교방식 또는 공간전압벡터 방식으로 각 EV 모듈마다 6개 PWM 펄스를 각각 발생시킬 수 있다. 그림 5(a)는 삼각파 비교방식 즉 기준 3상 정현파와 일정 주파수 및 크기로 발진하는 삼각파와 비교하여 PWM 신호를 발생시키는 것을 보인 것이고, 그림 5(b)는 공간전압 벡터 방식으로 PWM 신호를 발생시키는 것을 보인다.

그리고 PWM인버터의 한 브리지 소자간의 arm short를 방지하기 위하여 이 PWM신호에 dead time까지 첨가시킬 수 있으며, 이 dead time 값을 조정할 수 있다. 그리고 전동기 정지 시 또는 과전류 등 오동작시 외부 PDPINTx 핀으로 PWM신호를 차단하는 기능까지 있다.

그림 6은 3상 PWM 인버터 구동회로 블록도이다. PWM 신호를 발생시키기 위한 외부회로가 거의 필요가 없으며, 또는 2개의 EV로 12개 PWM신호를 발생시킬 수 있으므로 3상 PWM컨버터-PWM인버터 시스템에도 1개의 DSP로 제

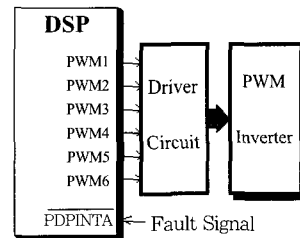


그림 6 6개 PWM펄스 발생 회로

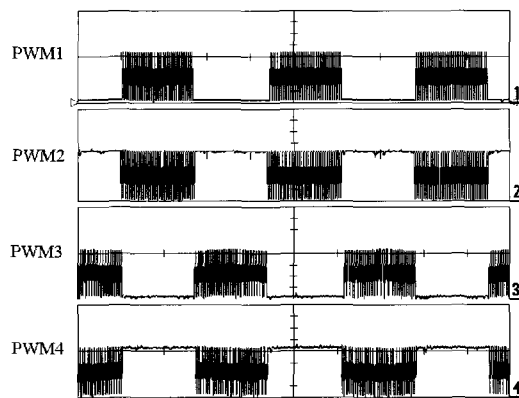


그림 7 단상 PWM인버터에서 4개 PWM 파형

어할 수 있다.

그림 7은 단상 PWM인버터에서 4개의 PWM신호과파형을 보인 것이다.

3.5 D/A 변환기 출력

제어 시스템 내의 주요 변수값을 오실로스코프로 관찰하기 위하여 D/A 변환기가 필요하지만 이 DSP내에는 D/A 변환기가 없다. 따라서 이 D/A 변환기를 외부에 연결하여야 하는데 TMS320LF2407A를 사용할 경우에는 외부 data bus 와 address bus를 사용하여 D/A 변환기를 연결할 수 있다. 그런데 TMS320LF2406A를 사용할 경우에는 외부 bus가 없으므로 직렬통신으로 데이터를 입력받는 D/A 변환기를 DSP내의 SPI 단자와 연결하여 사용한다. 그림 8은 직렬통신용 D/A 변환기를 DSP의 SPI단자와 연결한 그림이다.

3.6 CAN 통신 및 SCI

CAN 통신은 대표적인 fieldbus이며, 과거에는 차량의 내부 통신용으로 사용되어 왔으나, 근래 들어 자동화 설비의 제어용 네트워크로 많이 적용하고 있다. 이 DSP에서 CAN이 내

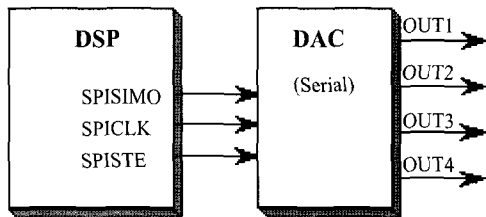


그림 8 직렬통신용 D/A 변환기와 DSP의 연결

장되어 있으므로 다른 DSP 또는 센서 및 액추에이터 등과 쉽게 데이터 통신이 가능하므로 전력전자 분야에서는 복수대 전동기 구동 장치, 다이내모 UPS 등 복잡한 시스템 등에 사용할 수 있다. 이 CAN의 전송속도는 2Mbps이며 외부에 Transceiver를 연결하면 다른 CAN과 쉽게 통신할 수 있다. 한편 비동기 직렬통신 포트로서 UART 기능을 가진 SCI (Serial Communication Interface)는 PC와 RS232로 연결하여 PC에서 전동기 구동시스템의 동작 상태를 모니터링 및 제어를 할 수 있다.

그림 9는 TMS320LF2407A를 사용한 단상 PWM인버터 구동용 보드 사진이다.

4. TMS320F281x의 구조 및 특징

DSP TMS320F281x모델은 32비트 고정소수점 (정수) 방식의 DSP로 TMS320LF2407A 보다 성능이 대폭 향상시킨 칩이다. 이 DSP의 클럭 주파수가 150MHz이며 1개 명령어 수행시간이 6.67nsec, 연산속도가 150 MIPS 등 상당히 빠른 연산이 가능하고, 전원도 입출력단자에서는 3.3V이지만 core에서는 1.8V하여 전력소비를 감소시켰다. 그런데 이 DSP는 정식 버전인 TMS형의 출시 시점이 몇 번 연기되면서, 2003년도 12월 말까지도 정식 출시 전에 판매하는 테스트용 칩인 TMX 및 TMP형만이 출시되었다.

그림 10은 TMS320F2812 DSP의 내부 구조를 보인 것이다.^[3,4,5]

128Kword의 flash, 18Kword의 RAM의 내장용 메모리로 프로그램 또는 데이터를 저장 또는 삭제 할 수 있으며, 2개의 EVA로 12개의 PWM 펄스를 발생한다. 또한 초고속 16채널

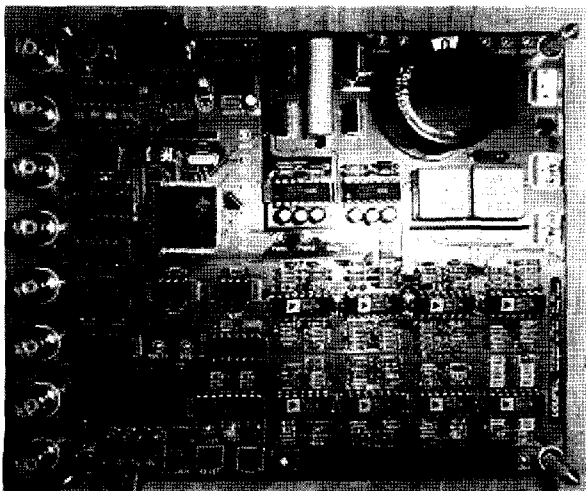


그림 9 TMS320LF2407A를 사용한 단상 PWM인버터 보드 사진

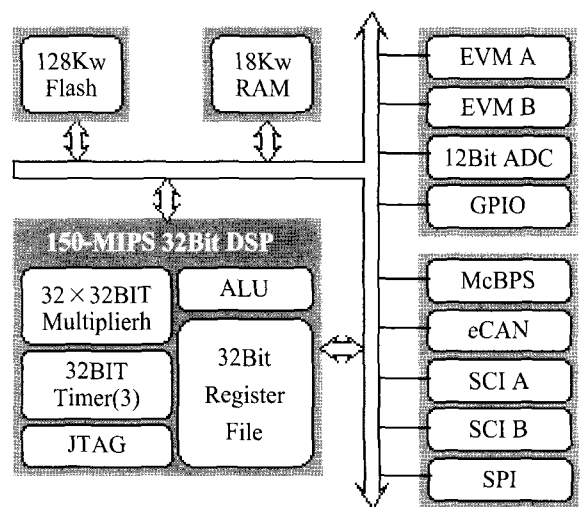


그림 10 TMS320F2812 DSP 내부 구조

표 1 320F2812와 320LF2407의 특성 비교

특성		320F2812	320LF2407
Data bus		32 bit	16 bit
Clock frequency		150MHz	40MHz
수행속도		150MPS	40MPS
Flash		128Kword	32Kword
RAM		18Kword	2.5Kword
EV	개수	2개	2개
	채널수	16	16
	GP Timer	4	4
ADC	Channel수	16	16
	변환시간	80ns	500ns
	bit 수	12bit	10bit
SCI		2 개	1 개
SPI		1 개	1 개
CAN		있음	있음
GPIO		56 pin	41 pin
Supply voltage		Core:1.6V I/O:3.3V	3.3 V
External interrupt		3	5
Packaging		176-pin LQFP	144-Pin LQFP

12비트 A/D 변환기와 2개 비동기 직렬통신 및 1개 SPI 등 3개의 직렬통신에 Enhanced CAN인 eCAN이 내장되어 있다. 그 외에 56개의 I/O 핀, 3개 외부 인터럽트에 TMS320LF2407A 모델에 없는 3개의 32bit CPU 타이머가 첨가된다. 표 1에는 TMS320F2812과 TMS320LF2407A의 특성을 비교한 것이다.

TMS320F2810와 2812와 비교하면 TMS 320LF2406A와 2407A와 같이 내부 기능 및 연산속도 등은 동일하나, flash 메모리용량에 차이가 있으며 특히 320F2812는 외부 data bus와 address bus가 있으나, 320F2810은 외부 bus가 없다.

5. 결론

DSP TMS320LF2407A은 각종 전력전자의 응용분야 중 전동기 제어뿐만 아니라 UPS 등 반도체 전력회로 제어에도 상당히 적합한 DSP이다. 따라서 DSP에 내장된 기능으로

만 제어가 대부분 가능하여 외부 부품 수를 최소화 시킬 수 있으므로, 상품 개발기간의 단축, 보드의 소형화 및 회로의 신뢰성이 대폭 향상된다는 장점이 있다. 앞으로 성능이 월등히 우수한 32bit DSP인 TMS320F2810/2812의 사용이 본격화 되면, 전력전자 분야의 기술향상에도 상당한 도움이 될 것이다. ■

참고 문헌

- (1) TEXAS Instruments, TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide -System and Peripherals, 2001.
- (2) TEXAS Instruments, TMS320F/C24x DSP Controllers Reference Guide -CPU and Instruction Set, 2001.
- (3) TEXAS Instruments, TMS320F28x DSP Peripherals Reference Guide, 2002.
- (4) TEXAS Instruments, TMS320F28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide, 2002.
- (5) TEXAS Instruments, TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processors -Data manual, 2003.

< 저 자 소 개 >



전태원(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.

교수. 울산대 RRC 소장.