

전력전자 시스템용 TMS320C6701 하드웨어의 개발

손요찬, 장석주, 설승기
서울대학교 전기공학부

Development of TMS320C6701-based Controller for Power Electronics Applications

Yo-chan Son, Seok-Joo Jang, Seung-ki Sul
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - 전력전자 분야에서 고성능 인버터 및 컨버터 제어에 DSP를 이용한 디지털 제어가 보편화되었다. 중·소규모의 인버터/컨버터 연동 제어 시스템의 경우 제어 하드웨어는 집중형 방식으로 제작되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 고속 병렬처리 기능이 뛰어난 TMS320C6701을 탑재한 전력전자 시스템용 제어 하드웨어를 개발하였다. 개발된 제어 하드웨어는 현재 1대의 인버터와 1대의 컨버터의 연동 제어가 가능하며 향후 업그레이드에 따라 중·소규모의 인버터/컨버터 연동 제어 시스템에 적용될 수 있다.

2. 본 론

개발된 제어 하드웨어는, DSP와 I/O의 독립적인 업그레이드를 고려해, DSP 보드를 I/O 보드와 분리하여 I/O 보드 위에 장착하는 구조를 채택하였다. DSP 보드는 알고리즘 연산과 사용자 지정 상수의 저장, 그리고 전체 제어 하드웨어의 동작 확인에 필요한 입출력 단자와 I/O 보드를 위한 시스템 버스를 제공한다. I/O 보드의 구조 변경과는 별도로 DSP 보드는 최대 1대의 컨버터와 4대의 인버터의 제어뿐만 아니라 Real-time OS 및 기타 사용자 프로그램의 원활한 동작을 보장하도록 설계되었다. I/O 보드에서는 컨버터+인버터 시스템, 혹은 인버터+인버터 시스템의 구동에 필요한 게이트 신호 생성, 전동기 속도 측정, 아날로그 물리량의 입출력과 각종 보호 기능을 수행하며 외부의 기기 및 사용자 콘솔과의 통신을 위하여 CAN 및 RS-485 단자를 제공한다.

1. 서 론

전력전자 분야에서 백터제어 인버터 및 컨버터 제어 등에 디지털 제어가 보편화되어 있다. 인버터/컨버터의 제어에는 3상의 전류/전압 등의 물리량을 관측하고 제어하는 데 측 변환 등의 연산이 필요하고, 이를 프로그램으로 구현하는 과정에서 sin, cos, arctan 등의 연산을 필요로 하게 된다. 때문에 위와 같은 응용 분야에서는 부동 소숫점 연산(Floating-Point Operation)을 지원하는 고성능의 DSP(Digital Signal Processor)가 제어 하드웨어의 CPU로서 널리 이용되고 있다[1, 2].

여러 대의 인버터/컨버터를 연동하여 운전하는 시스템의 경우, 제어 하드웨어의 구성 방식은 크게 두가지로 나뉜다. 각각의 인버터/컨버터의 전력 회로 제어만을 담당하는 제어기가 있고 통신을 통해 상위 제어기가 각각의 제어기에 명령을 주어 전체 시스템을 제어하는 분산형 방식과, 고성능의 제어 하드웨어 하나가 모든 인버터/컨버터의 전력 회로 및 상위 제어까지 함께 수행하는 집중형 방식이 있다. 제어 대상 인버터/컨버터의 수가 매우 많을 경우에는 분산형 방식이 적합하겠지만 컨테이너 크레인이나 소규모의 제지, 제철 공정과 같은 제어 대상의 경우는 후자의 구성 방식은 제어 하드웨어 사이의 통신 프로토콜(Protocol) 개발 등의 부담이 없으므로 제어 소프트웨어 및 하드웨어의 개발이 용이할 수 있다.

본 연구에서는 TI사의 TMS320C6701을 탑재한, 전력전자 시스템용 범용 제어 하드웨어를 개발하였다. TMS320C6701은 부동 소숫점 연산을 지원하며 고속 병렬처리 기능이 뛰어난 DSP로서 앞서 언급한 중·소규모의 인버터/컨버터 연동 운전 시스템의 제어 하드웨어를 집중형 방식으로 구성하는데 적합하다. 본 연구에서 개발된 제어 하드웨어에서 CPU 보드와 I/O 보드는 각각의 독립적인 업그레이드를 고려해 분리하였으며, CPU 보드를 I/O 보드 위에 장착하는 피기백(Piggyback) 형태로 구성하였다. 개발된 제어 하드웨어는 1대의 인버터와 1대의 컨버터를 제어할 수 있으며 향후 CPU 보드의 업그레이드 없이 I/O 보드의 업그레이드만으로 1대의 컨버터와 4대의 인버터의 제어에 이용될 수 있다.

2.1 DSP Board

TMS320C6701은 최근 TI가 발표한 TMS320C6x 시리즈 중 부동 소숫점 연산을 지원하는 고성능 DSP이다 [3]. TMS320C6x의 내부 구조는 그림 1과 같다. 2개의 곱셈기(multiplier)와 6개의 연산 유닛(Arithmetic Logic Unit)으로 이루어진 CPU는 내부 메모리에 저장된 프로그램을 수행할 경우 한 클럭 사이클(6ns)에 최대 8개의 명령을 처리할 수 있으며 모든 명령어가 조건부 연산이 가능하므로 고수준의 병렬 처리가 가능하다. 모든 분기(Branch) 명령이 Delayed Branch 방식으로 되어 있어 파이프라인(Pipeline)이 중단됨이 없이 분기가 가능하므로 컴파일된 코드의 효율성을 높일 수 있다. 또한 TMS320C6701의 경우 부동소수점 연산에서 역수(Inverse) 및 제곱근의 역수(Inverse Square Root) 등의 연산을 하드웨어적으로 근사할 수 있는 명령어를 제공한다.

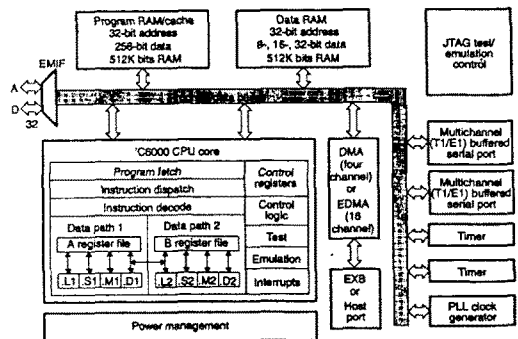


그림 1. TMS320C6x의 내부 구조[4].

표 1. DSP의 성능 비교(5)

	TMS320C31	TMS320C6701
클럭 / MIPS	33ns(60MHz) / 30MIPS	6ns(167MHz) / 167~1336MIPS
내부 메모리	64k-bit SRAM	1M-bit SRAM
ALU	ALU + Multiplier	8개의 독립적인 Functional Unit
범용 레지스터	8 extended(40bit) 8 addr. registers	32 registers
내부 장치	Serial × 1EA Timer × 2EA DMA × 1EA	McBSP × 2EA Timer × 2EA DMA × 4EA HPI × 1EA EMIF × 1EA
부팅 방식	ROM 또는 Serial	ROM 또는 HPI
Inversion Operation	Software	Hardware

- * DMA : Direct Memory Access Controller.
- * McBSP : Multi-channel Buffered Serial Port.
- * HPI : Host Port Interface.
- * EMIF : External Memory InterFace.

내부 메모리는 전체 1M-bit로 이중 512k-bit은 프로그램 메모리로, 나머지 512k-bit은 데이터 메모리로 할당되어 있어 인버터/컨버터 제어에 필요한 대부분의 코드를 내부 메모리 상에 적재하여 운영하는 것이 가능하다. 표 1에서는 현재 전력전자 시스템 컨트롤러용 DSP로 널리 사용되고 있는 TMS320C31과 본 시스템에서 채택한 TMS320C6701을 비교하였다.

TMS320C6x 시리즈는 외부 메모리 공간을 위한 제어 신호가 EMIF 유닛에 의해 공급되므로 외부 IC와 연결을 위한 별도의 논리 소자가 필요하지 않다. 따라서 DSP 보드 상에는 최소한의 소자만이 실장되므로 부품의 개수가 줄어들어 보드의 신뢰성을 향상시킬 수 있다 [4]. 그림 2에서 DSP 보드는 TMS320C6701 DSP와 1개의 SRAM과 1개의 부팅용 메모리를 실장하고 있으며, 보드 레벨에서의 디버깅 및 통신을 위해 JTAG, HPI, McBSP의 입출력 단자를 제공한다. 인버터/컨버터의 제어 이외에도 Real-Time OS 및 각종 사용자 프로그램이 탑재될 것을 고려하여 대용량의 메모리가 장착되었다. 사용된 SRAM은 Micron Technology의 Synchronous Burst SRAM인 MT58L256L32이며, 6ns의 액세스(access) 시간과 8M-bit의 용량을 가지며 향후 16M-bit로의 업그레이드를 고려해 설계되었다

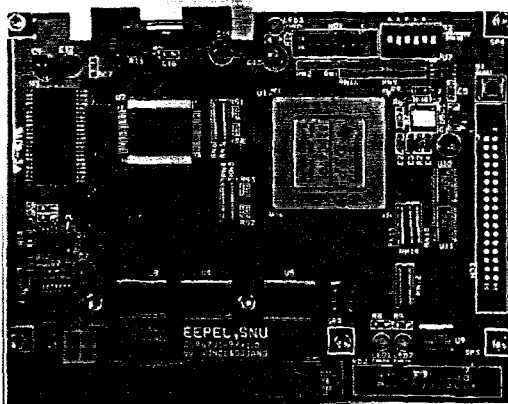


그림 2. 제작된 DSP 보드.

(6). 호스트 컴퓨터 없이 독립적으로 운전하기 위한 부팅용 메모리로는 AMD사의 플래시 메모리(Flash memory)인 Am29LV800B이 사용되었다. 부팅용 메모리로서의 용도 이외에도 운전중 사용자가 지정한 상수의 저장등에 이용될 수 있다[7].

2.2 I/O Board

본 시스템의 I/O 블록 다이어그램은 그림 3과 같다. 개발된 I/O 보드는 인버터/컨버터 시스템 혹은 2대의 전동기의 독립적인 운전을 위한 인버터 시스템을 위한 하드웨어가 구현되었다.

I/O 보드 내의 모든 논리 회로는 Altera의 EPF10K20에 구현되었다. EPF10K20은 20,000 게이트(gate)의 논리 회로를 구현할 수 있는 EPLD(Erasable Programmable Logic Device)이며 보드 내에 장착된 상태에서 JTAG 단자를 통해 프로그래밍이 가능한 ISP(In-System Programmability) 기능을 가지고 있다[8]. EPLD에는 A/D 컨버터 등의 주변 장치를 위한 제어 신호 처리부, 인버터/컨버터의 게이트 신호 발생부(Gate Pulse Generator)와 전동기 속도 측정을 위한 엔코더(Encoder)신호 처리부, 디지털 입출력 처리부 그리고 하드웨어 보호를 위한 논리 회로가 구현되었다.

인버터/컨버터의 전력 회로 구동에 필요한 게이트 신호 출력은 전기적 절연을 위하여 광섬유(Fiber-Optic)를 통해 전력 회로에 전달되며, 전력 회로의 게이트 구동회로(Gate Driver)가 자체적으로 절연을 하는 경우를 고려하여 플랫케이블(Flat Cable) 단자를 제공하였다. 전력 회로 이상시 전력 회로에서 제공하는 보호 신호(Protection Signal)는 광섬유 혹은 플랫케이블을 통해 EPLD에 전달되어 게이트 신호를 차단시킨다. 전력회로와는 별도로 인버터/컨버터의 전압, 전류 신호는 기준 동작 범위를 벗어날 경우 아날로그 보호 회로에 의해 보호 신호가 EPLD로 입력되어 게이트를 차단시킨다.

인버터/컨버터의 전류 및 전압 측정을 위한 A/D 컨버터로는 Analog Device의 AD7864가 적용되었다. AD7864는 12비트의 해상도를 가지며 4개의 아날로그 물리량을 동시에 포착하여(Sample & Hold) 순차적으로 디지털로 변환할 수 있으므로 3상 전류의 동시 샘플링(Sampling)을 요구하는 3상 PWM 인버터/컨버터 시스템에 적합한 A/D 컨버터이다. 본 시스템에서는 2개의 AD7864를 이용해 컨버터의 상전류와 선간 전압, 인버터의 상전류와 직류단의 전압 측정에 사용하였다. 접점 신호의 입출력과 전동기 속도 측정을 위한 엔코더

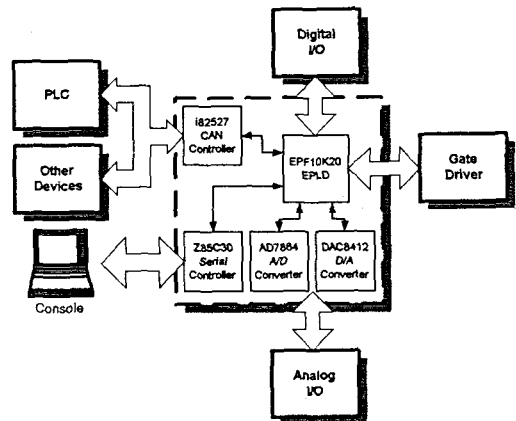


그림 3. I/O 보드의 블록 다이어그램.

[참 고 문 헌]

신호입력 단자의 신호들은 옵토커플러(Optocoupler)를 통해 외부 신호와 전기적으로 절연된 상태에서 EPLD와 연결되었다. 8개의 디지털 입력과 8개의 디지털 출력, 그리고 2대의 엔코더 신호입력을 위한 단자가 제공되었다.

외부 장치와의 통신을 위해서 1개의 CAN(Controller Area Network) 단자와 1개의 RS-485 단자가 제공되었다. CAN 프로토콜은 외란에 강하고 2개의 신호선만을 사용하므로 배선 처리에 간편하므로 산업계에서 널리 사용되고 있는 통신 방식이다. 이러한 통신 방식은 많은 접점 신호를 처리하기 위한 PLC(Programmable Logic Controller)같은 장치와의 통신이나 호스트 제어기(Host Controller)와의 통신에 사용될 수 있다. 또한 시스템 상수 변경 및 운전 상태 확인에 필요한 MMI(Man-Machine Interface) 기능을 위해 PC와의 연결에 용이하도록 1개의 RS-485 비동기 직렬 통신 단자를 제공하였다. CAN 통신 및 RS-485 통신을 위해서 Intel의 AS82527과 AMD의 Am85C30이 적용되었다. 디지털 입출력 단자와 마찬가지로 모든 신호는 전기적으로 절연되어 입출력된다.

D/A 컨버터로는 Analog Device의 4채널의 DAC8412가 적용되었다. 출력된 아날로그 신호는 오실로스코프를 통해서 시스템 개발자가 프로그램 상의 각종 변수 등을 실시간으로 확인하는 데 이용된다.

3. 결 론

본 연구에서는 고속 병렬처리 기능을 가지는 TMS320C6701을 탑재한 전력전자 시스템용 제어 하드웨어를 개발하였다. 개발된 제어 하드웨어는 중·소규모의 인버터/컨버터 연동 제어 시스템에 적합하다.

- [1] 전석호, 김준석, 설승기, "전력전자 응용을 위한 TMS320C40 범용 제어보드의 개발", 춘계 전력전자 연구회 학술연구 발표회 논문집, pp.104-108, 1996.
- [2] 손요찬 외 12인, "냉간압연용 1MVA IGBT 인버터의 개발", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1974-1977, 1997.
- [3] Texas Instrument, "TMS320C6701 Floating-point Digital Signal Processor", Mar. 1999.
- [4] Texas Instrument, "TMS320C6000 Peripherals Reference Guide", Apr. 1999.
- [5] Texas Instrument, "TMS320 DSP Product Overview", 1998.
- [6] Micron Technology, "8mb SyncBurst SRAM Datasheet", 1998.
- [7] AMD, "Am29LV800B CMOS Flash Memory Datasheet", Feb. 1999.
- [8] Altera, "FLEX10K Embedded Programmable Logic Family", Oct. 1998.