

고전압, 대전류, 대전력 분야에서의 마이크로프로세서 응용기술

유 호 열

(다원시스 연구소장)

다원시스는 유도 용해설비를 비롯하여 KSTAR 핵융합 연구로의 초전도 전자석용 전원장치, 양성자 가속용 전원장치, 전자 공명 가열장치(electron resonance heating), 중성빔 가속장치(NBI, Neutral beam accelerator), 플라즈마 토치 전원, 대용량 산업용 정류기 등 특수 전원장치를 설계 생산하고 있다. 본 고에서는 이들 전원장치 제어를 위한 마이크로프로세서를 사용한 디지털 제어장치와 그 응용 예로서 양성자 가속 전원장치에 사용된 제어기장치의 구성을 소개하고자 한다.

1. 서론

다원시스에서 설계 제작되는 이러한 고전압(중성빔 가속장치 경우 120kV), 대전류(초전도 전자석용 전원장치 경우 40kA), 대전력(유도 용해용 전원장치 경우 10MW) 전원장치라 하더라도 5V 혹은 3.3V로 구동되는 디지털 마이크로프로세서에 의해 제어되고 있다. 그러나 이러한 고전압, 대용량 전원장치는 동작할 때 발생하는 전자기 장애에 의하여 약전압으로 움직이는 디지털 제어장치가 오동작함으로써 심각한 상황을 초래할 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 요구된다.

2. 기본적인 제어 보드

최근에 출시되고 있는 제어 및 디지털 신호 처리용 마이크로프로세서인 DSP는 처리속도가 빠르고 기존에 CPU 외부

에 위치했던 여러 가지 기능을 포함하고 있으면서도 저가로 공급되고 있어 전력전자 엔지니어는 많은 설계 선택권을 갖게 되었다.

다원시스에서는 주로 TI사의 신호처리용 DSP인 TMS320C32를 적용한 제어기를 사용하고 있다¹⁾. 부동소수점 DSP를 사용함으로써 고정 소수점 DSP를 사용하는 경우에 비하여 소프트웨어 작성과 디버깅이 수월해진다. 그림 1은 내부의 블록 도이며 그림 2는 그 사진이다. 그 특징은 다음과 같다.

- DSP: TMS320C32
- RAM: 4MByte
- Flash ROM: 4MByte
- ADC: 12Bit-8CH, 1.6us conversion time
- EPLD: ALTERA Flex 10K
- General Purpose Input: 8CH. EPLD 프로그램에 의해 빠르게 처리해야 하는 경우에 사용되며 인터럽트를 요하는 경우 사용된다.
- General Purpose Output: 16CH. 게이팅 신호 등을 만드는데 사용된다.
- COM Port: RS232C-2CH, 485-1CH, 422-1CH
- Synchronous Serial Port: 1CH. DSP 제어기 2대 이상 병렬 운전 시 데이터 통신용.

그림 2에서 우측에는 96핀 DIN 커넥터를 사용하여 그림 3

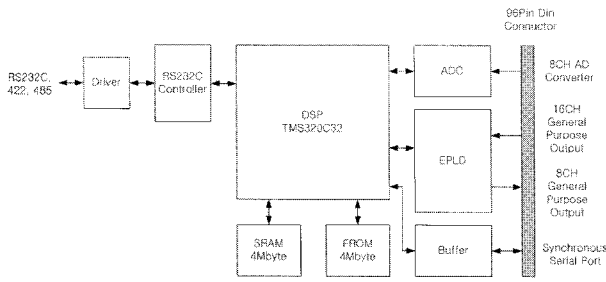


그림 1 TMS320C32 DSP 보드 블록 도

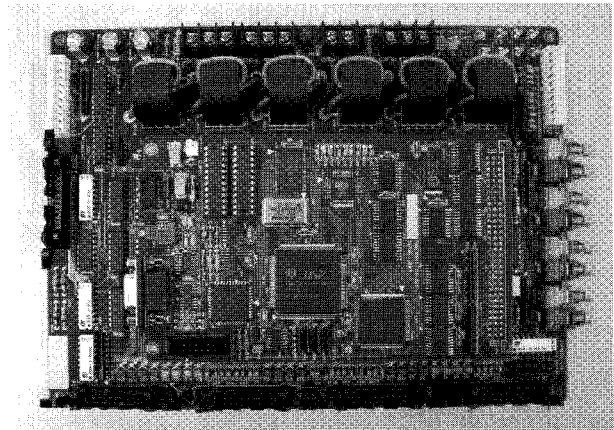


그림 3 TMS320C32 DSP 보드와 응용보드를 결합한 모습

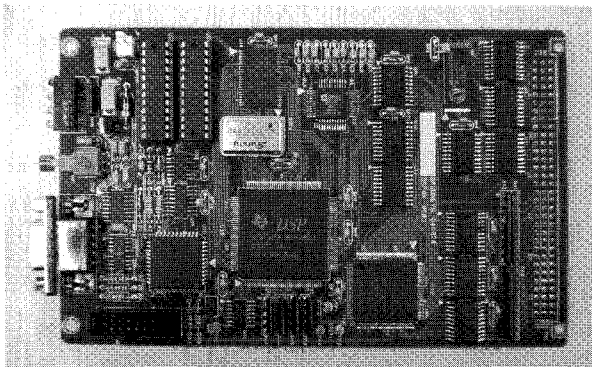


그림 2 TMS320C32 DSP 보드

과 같이 응용 보드 위에 도터보드 형태로 사용되기도 하고 록에 꽂아 VME 록과 같이 카드식으로 사용할 수도 있다. 도터보드 형태로 사용하면 보드의 높이가 높아지고 제작 단가가 상승하는 것이 단점이 될 수 있지만 소량 소품종 생산의 경우에는 보드의 단가상승보다는 개발 시간을 단축으로 얻는 효과가 더 큰 것으로 판단된다. 장점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 새로운 제어기를 만들기 위해 응용보드만 설계하면 되므로 개발 시간이 단축된다.
- DSP 제어보드는 공통으로 사용하여 충분히 검증되어 있으므로 전체 제어기 개발 시간을 단축시킨다.
- DSP 제어기는 SMD로, 응용보드는 DIP로 제작할 수 있어 제작 단가를 줄일 수 있다.
- DSP의 IO가 고정되어 있으므로 기능별로 프로그램 통일이 가능하다.
- DSP 종류가 바뀌어도 커넥터 신호만 호환성을 유지하면 응용보드를 그대로 사용할 수 있다.

그림 4는 자체 제작한 모니터 프로그램으로서 PC의 COM 포트에 연결하며 다음의 기능을 가지고 있다.

- Flex EPLD의 프로그램과 응용 프로그램은 별도의 프로그램어 필요 없이 다운로드가 가능하다.

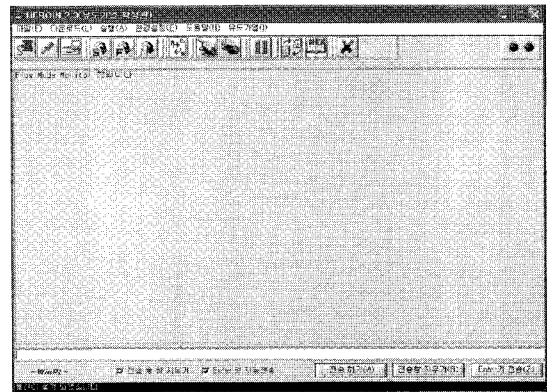
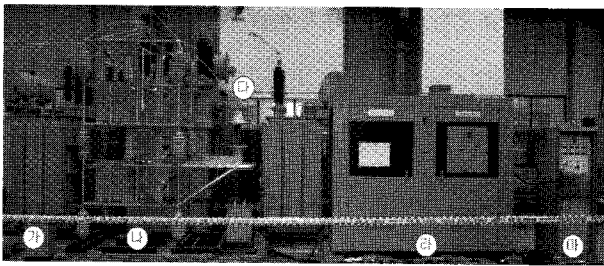


그림 4 모니터 프로그램

- 프로그램 수행 중 내부 변수를 표시하고 데이터를 입력받을 수 있어 디버깅이 수월하다.
- 시간에 따라 화면에 변수를 표시하게 하고 이를 데이터 파일로 저장하여 엑셀로 시간에 따른 데이터의 변화를 그래프로 분석이 가능하다.

3. 양성자 가속 전원장치 제어기

그림 5는 양성자 가속기 사업에 사용되는 고전압 전원장치의 프로토타입이다^[2]. 부하는 클라이스트론(그림 6)이라고 불리는 진공 튜브이며 전자 가속을 RF로 변조하여 RF 전력을 증폭하는 장치이다. 전기적 특성은 표 1에 나타난 바와 같이 100kV/20A/2MW 이다. 주회로는 그림 7에 나타난 바와 같이 SCR을 사용하여 전압을 제어하고 고전압 변압기에 의하여 승압 한 후 정류하고 고전압 콘덴서 필터를 이용하여 평활하며 그 후단에는 고전압 스위치(HVS, MOSFET를 200직렬로 구성)가 직렬로 연결되어 부하 파전류 시 고속으로 차단



가)승압 변압기, 나)고전압 콘덴서, 다)고전압 정류기, 라)SCR 패널, 마)제어기

그림 5 양성자 가속 전원장치

표 1 양성자 가속 전원장치 사양

항목	사양
출력 전압	50~100kV
출력전압 리플	전영역 1% 이하
출력 전류	20A@100kV, 8A@50kV
부하	클라이스트론
입력측 역률	고조파 포함 0.9 이상
입력 전압	AC6상 1500V

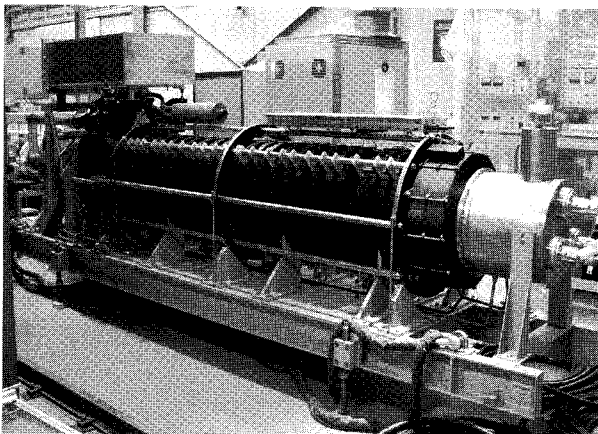


그림 6 클라이스트론

하여 부하를 보호한다. 따라서 사고 시 부하에 전달되는 에너지는 20J 이하가 된다.

그림 8은 그림 1에 몇 가지 기능을 확장하여 6U 록에 카드식으로 끼울 수 있게 제작한 DSP 보드이다. 고전압 전원장치는 정상운전 혹은 부하 단락 시 제어기에 자동작을 초래하는 강력한 전자기 장애가 발생할 수 있다. 따라서 제어기와 고전압 부의 완벽한 절연을 위하여 제어기와 주회로 간의 모든 디지털 및 아날로그 신호는 광섬유로 절연된다. 광섬유는 유리로 된 것을 사용하여 1km 이상의 거리를 전달할 수 있다. 그림 9는 이를 위한 광섬유 입출력 보드이며 디지털 혹은 아날

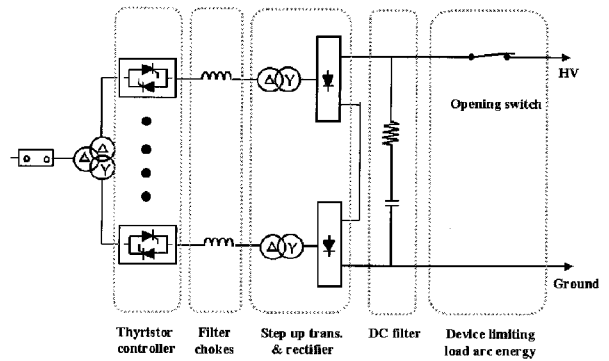


그림 7 전원장치 주회로

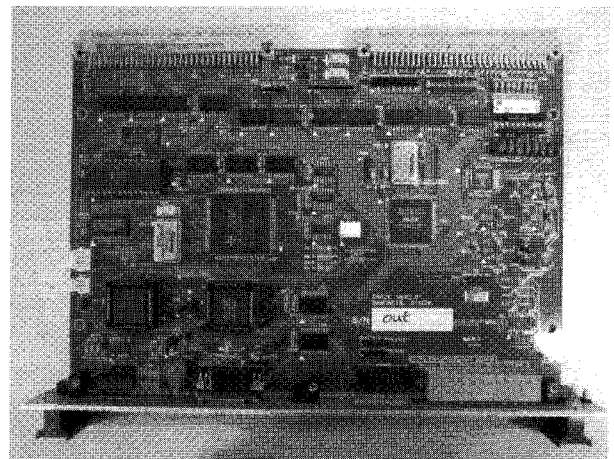


그림 8 DSP 보드

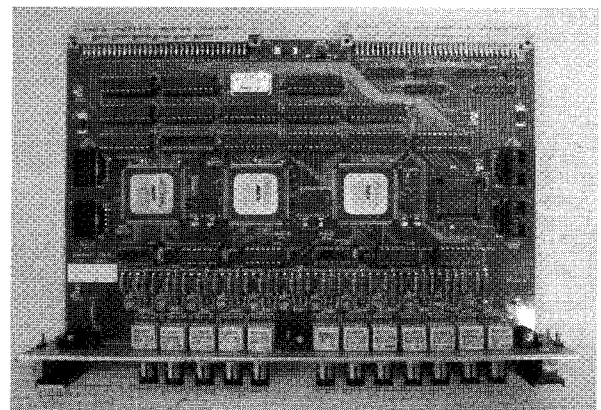


그림 9 광섬유 입출력 보드

로그 신호 입출력에 공통으로 사용된다. 그림 10은 전압신호를 광신호로 변환하여 주는 보드이며 그림 11은 이를 이용하여 고전압 아날로그 신호를 광섬유를 통하여 검출하는 구성을 보여준다. 광변환 보드는 AD 컨버터를 이용하여 변환된

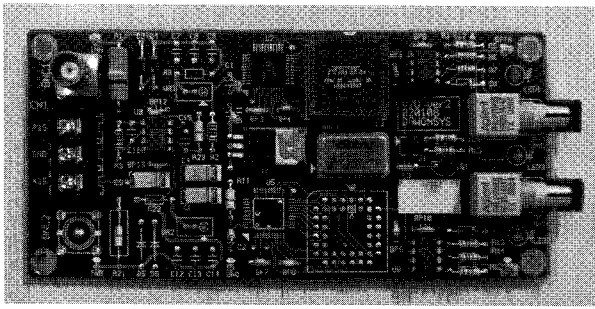


그림 10 센서신호 광변환 보드(V20)

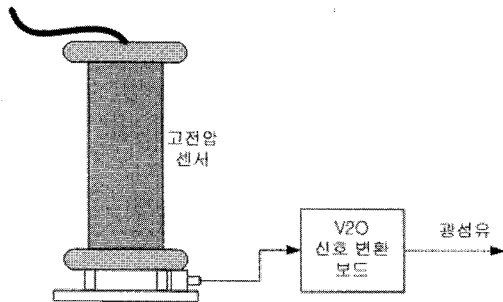


그림 11 광변환 보드를 이용한 고전압 검출

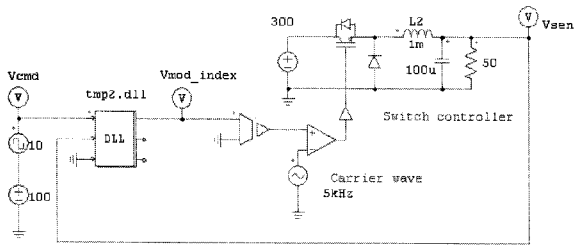


그림 12 PSIM에서 C-언어 모델링

디지털값을 직렬로 바꿔서 1Mbps/50kHz로 연속적으로 송출하며 12bit 정밀도로 신호를 전송한다. 수신부는 체크섬을 비교하여 정상적인 신호가 아닌 경우 설정에 따라 0V를 인식할 수도 있고 10V로 인식할 수도 있다. 이는 검출인 경우 10V로 인식하여 트립이나 제한 동작을 유발시키고 지령치인 경우 0으로 인식하도록 하기 위함이다.

4. PSIM을 이용한 C-언어 제어부 검증

최근의 회로 모의시험 소프트웨어 중에는 PSIM고 같이 C-언어를 이용한 모델링을 지원해 주는 것이 있다³⁾. DSP의 제어루틴을 검증하기 위한 방법으로 이를 이용하면 하드웨어를 만들어 보지 않고 알고리즘을 검증할 수 있어 편리하다. 약간의 기법을 사용하면 EPLD 프로그램도 C-언어로 작성

하여 검증한 후 VHDL이나 AHDL로 변환하면 EPLD 프로그램도 수월하게 작성할 수 있다. 그림 12는 PSIM에서 초과 제어기를 DLL을 이용하여 C-언어로 모델링 한 것을 보여준다. 변수명을 DSP제어기의 제어루틴과 동일하게 사용하면 모델링에 사용한 루틴을 복사하여 그대로 사용할 수도 있다. 실제 필자는 500kW 고온 플라즈마 전원장치의 제어 응답을 빠르게 개선하는데 이를 이용하여 많은 시행착오를 줄일 수 있었다.

5. CAN 통신

CAN은 보쉬사가 자동차의 각종 센서와 제어기 간의 신호 전송 수를 줄이기 위하여 개발한 다대다 통신 규약이다⁴⁾. 한 패킷은 최대 8byte로 구성되며 2개의 신호선을 이용하여 1km 거리까지 1Mbps의 속도로 통신할 수 있다. 또한 그림 15와 같이 광섬유를 이용하면 더욱 신뢰성 있고 고전압 절연되는 통신도 할 수 있다. 전원장치 내의 각종 접점 신호를 CAN으로 변환하여 제어기까지 보내면 배선작업을 줄일 수 있을 것이다. 또 IO가 늘어날 경우에도 병렬로 접속만 하면 얼마든지 늘리는 것이 가능하다. 주변기기를 내장한 마이크로프로세서 중에는 이러한 CAN 모듈을 내장한 것도 있으며 그렇지 않은

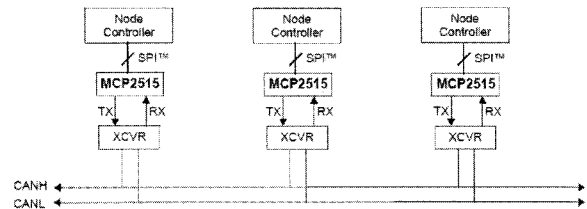


그림 13 CAN 통신 구성

PDIP/SOIC

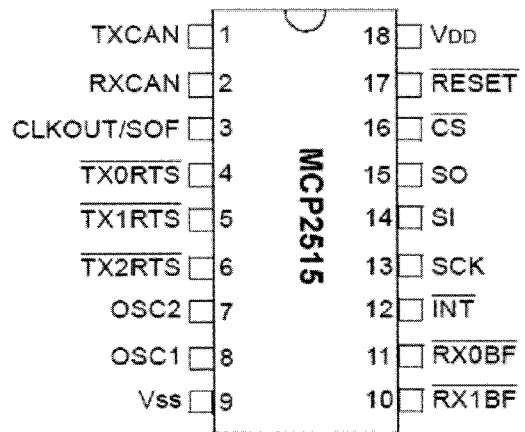


그림 14 마이크로칩사의 CAN 모듈

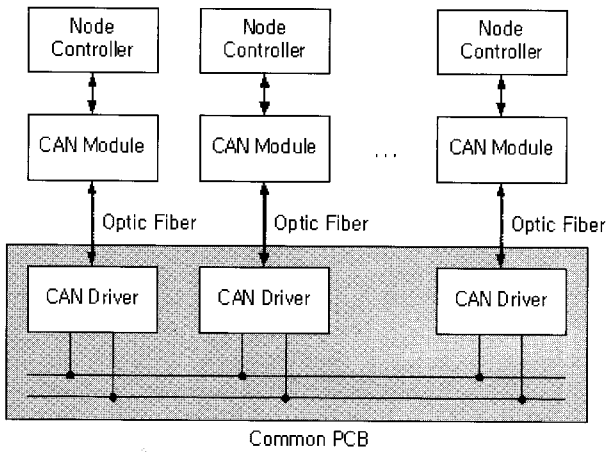



그림 15 광섬유를 이용한 CAN 통신 구성

경우에는 그림 14와 같이 별도의 CAN 모듈을 추가하여 사용하면 된다.

6. 결론

디지털 신호 처리용 마이크로프로세서(DSP)는 그 속도와 유연성으로 인하여 전력전자 제어를 설계하는 엔지니어는 다양한 구성으로 값싸고 고성능을 가진 제어를 구성할 수 있게 되었다. 특히 고전압 대용량의 전원장치를 제어하기 위

한 마이크로프로세서 제어기는 전원이 동작하면서 발생할 수 있는 전자기 장애에 잘 대처하도록 설계하여야 한다. 본 고에서는 이 들 전원장치 제어를 위한 마이크로프로세서를 사용한 디지털 제어장치와 그 응용 예로서 양성자 가속 전원장치에 사용된 제어기장치의 구성을 소개하였다. 

참고 문헌

- [1] <http://www.ti.com/>
- [2] <http://www.kaeri.re.kr>
- [3] <http://www.powersimtech.co.kr>
- [4] <http://www.microchip.com>

〈 필 자 소 개 〉



유효열(柳孝烈)

1989년 한양대 전자공학과 졸업. 1991년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 졸업(공학). 1995년~1998년 대우중공업 철도차량연구소 선임연구원. 1998년~현재 (주)다원시스 연구소장.