

TMS320C40을 이용한 3상 PWM AC/DC 컨버터 제어

변영복[†], 김은수, 구현희, 조기연, 박성준^{*}, 김철우^{**}
한국전기연구소, 거제전문대^{*}, 부산대학교^{**}

DSP(TMS320C40) Control of Three-phase PWM AC/DC Converter

Young-Bok Byun, Eun-Soo Kim, Heun-Hoi Koo, Kee-Yeon Joe, Sung-Jun Park^{*}, Cheul-U Kim^{**}
KERI, Keojae College^{*}, Pusan National Univ.^{**}

Abstract

High frequency switching converters are becoming more popular because of several benefits which are essential in power conversion system. This paper introduces a high speed digital controller using TMS320C40 DSP chip which can be used for high frequency switching converters and demonstrates its performance by operating three-phase PWM AC/DC converter with unity power factor at 20kHz sampling frequency. TMS320C40 DSP chip operates with 40-ns instruction cycle times and is capable of 275 MOPS. The running time of real time control loop at the three-phase PWM AC/DC converter is 44.6 μ sec.

1. 서론

전력변환 장치의 고속 스위칭에 따른 잇점 때문에 고속 스위칭 전력용 반도체 소자의 발달과 함께 디지를 제어장치의 빠른 연산속도가 요구되고 있다. 본 연구팀은 이러한 요구를 충족시키기 위하여 TMS320C40-50 DSP 칩을 적용한 고속 범용 디지털 제어장치를 개발하였다.

TMS320C40 제어장치는 VME Rack 구조로 하여 확장성을 높였고 각 보드는 기능별로 TMS320C40-50이 장착된 DSP Master 보드와 Analog slave 보드, Digital slave 보드 등 3개의 보드로 구성되어 있다. Analog slave 보드와 Digital slave 보드는 3상 모듈을 제어할 수 있는 아날로그, 디지털 인터페이스 기능을 보유하고 있으며 필요에 따라 각각 2장씩 한 Rack에 장착되어 제어가 가능하다.

또한, 병렬처리가 필요한 경우에는 TMS320C40의 통신포트를 이용하여 Rack 간의 네트워크가 용이하며, DSP의 실시간 처리 능력을 극대화하기 위해서 임의의 마이크로프로세서가 적용된 MMI(Man-Machine Interface)보드가 장착될 수 있다.

TMS320C40 제어장치의 성능을 시험하기 위하여 3상 PWM 컨버터를 제어하여 양호한 결과를 얻었다. 스위칭 주파수는 20kHz이며 실시간 제어 루틴의 수행시간은 44.6 μ sec이다.

2. TMS320C40 제어장치 구성

주처리 소자로 사용된 TI사의 TMS320C40-50은 한 명령어 수행시간이 40ns이며 50MFLOPS(Mega Floating-point Operations per second)속도의 32비트 부동소수점 연산이 가능하며, 20Mbyte/sec의 전송속도를 갖는 6개의 8비트 통신 채널이 있어 다양한 형태의 네트워크를 구성해 DSP들 간의 병렬처리가 용이하다. 또한, 부동소수점 값의 하드웨어 역수기능이 내장되어 있어서 32비트 정도의 나눗셈 연산을 위한 사이클 수가 TMS320C3x 보다 1/4 이상 감소한다.[1]

그림 1은 제어장치의 구성도이다. 개발된 제어장치의 주목적은 300KVA급 UPS를 한 개의 DSP칩으로 제어하고자 하는 것이나 다른 전력변환 장치에도 다양하게 적용할 수 있게 설계하였다.

전체 시스템은 6U, 10slot 크기의 VME Rack 구조로 되어 있으며 보드의 크기는 160×233.35mm이다.

TMS320C40-50은 고속의 DSP칩 이므로 연산속도를 충분히 활용하기 위해서 고속의 응답을 갖는 주변 소자들을 선정하였으며, 주회로와 제어장치 사이의 절연문제 및 스위칭 잡음문제를 해결하기 위하여 모든 외부 신호와의 인터페이스는 전기적으로 절연되게 설계하였다. 또한 EPLD(Electrical Programmable Logic Device)를 적용하여 주변소자 및 배선 수를 최소화 하였으며 각 보드는 4층 및 6층 기판으로 제작하였다. 표1에 제어장치를 구성하고 있는 각종 소자 및 기능들을 정리하였다.

DSP Master의 EPLD에는 리셋(Reset), 디코더, 지연상태 발생기, 인터럽트 제어 등 시스템 전체를 관리할 수 있는 로직이 설계되어 있으며, Analog slave의 EPLD는 A/D, D/A 제어, 하드웨어 프로토콜 신호처리 기능 등이 내장되어 있다. Digital slave의 EPLD는 포토커플러로 절연된 입력력 신호의 처리와 함께 입력된 명령치에 따라 원하는 시간에 데드타임을 고려한 게이트 신호를 매주기마다 발생시키는 게이트 신호 발생회로가 설계되어 있다.

이 게이트 신호는 광 케이블 출력을 통하여 게이트 드라이브 회로에 전달되며 게이트 드라이브 회로에서 인지된 풀트

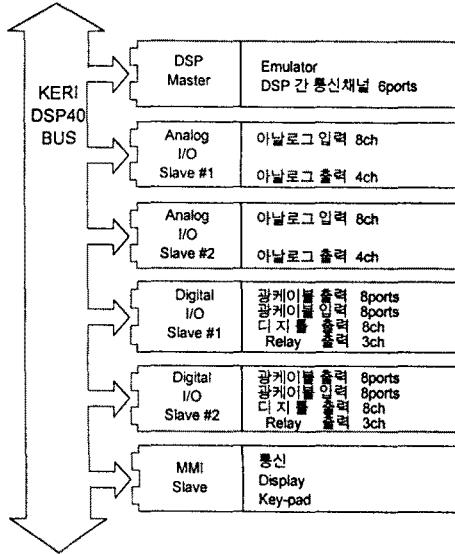


그림1. 제어장치 구성도

(Fault) 신호는 광 케이블을 통하여 입력된다.

그림 2는 개발된 DSP Masert 보드이며, 그림3은 개발된 제어장치의 외관이다

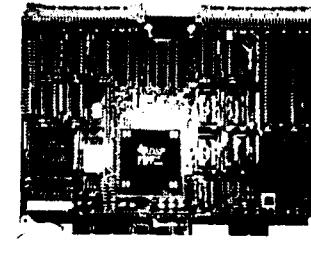


그림2. DSP Master 보드

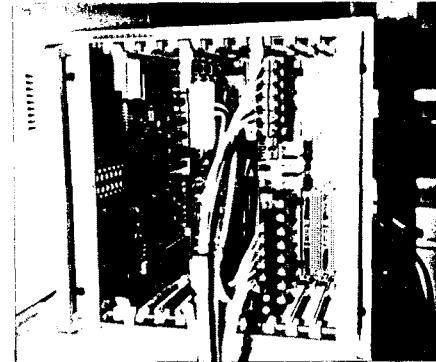


그림3. 개발된 TMS320C40 제어장치

DSP Master				
DSP	TMS320C40-50 TI	1EA		
	50MHz, 50MFLOPS, 275MOPS			
MEMORY	SRAM(KM681002) 128K×8bit 20nsec	4EA		
	SRAM(KM68257) 32K×8bit 15nsec	4EA		
	Boot EPROM(27C20) 256K×8bit 150nsec	1EA		
	DPSRAM(CY7C130) 1K×8bit 100nsec	2EA		
EPLD	EPM7160LC84	12nsec	1EA	
Digital I/O	8bit			
Ext. Int.	4bit			
Analog I/O slave				
A/D	MAX120	12bit	1.6 μ sec	2EA
Multiplexer	ADG529			1EA
D/A	AD664	12bit	4CH	1EA
EPLD	EPM7064LC84	12nsec		1EA
Digital I/O slave				
Fiber Optic Transmitter	HFBR-1521	5MBd		8EA
Fiber Optic Receiver	HFBR-2521	5MBd		8EA
Digital Output	8bit			
Digital Input	8bit			
EPLD	EPM7160LC84	12nsec		1EA

표1. 제어장치 하드웨어 구성 및 주요소자

3. 개발된 제어장치에 의한 3상 PWM AC/DC 컨버터의 제어

개발된 TMS320C40 제어장치를 3상 PWM AC/DC 컨버터에 적용하여 성능과 신뢰성을 시험하였다.

3.1. 3상 PWM AC/DC 컨버터 구성

그림4는 3상 PWM AC/DC 컨버터의 전력회로이다.

주 스위칭 소자로서 1200V, 100A Dual IGBT를 사용하고, 입력 리액터는 1mH, 직류링크 캐패시터는 16000μF이다. 20kW급으로 시제품을 구성했으나 실험실의 부하에 맞추기 위하여 입력단에 380V/110V 변압기를 부착하고 직류링크 전압을 200V로 제어하여 2.5kW로 운전하였다. 부하저항은 16 ohm이다. 입력전류 센서는 LHC-100P, 부하전류 센서는 LA205-S, 직류링크 전압센서는 LV-25P, 링크전류 센서는 HAL 200S를 사용하였다.

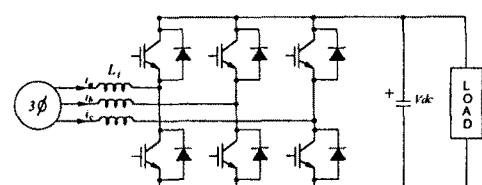


그림4. 3상 PWM AC/DC 컨버터

3.2 3상 PWM AC/DC 컨버터의 제어

3상 PWM 컨버터의 개략적인 제어도는 그림 5와 같다. 직류 링크전압의 기준치와 검출치가 직류 링크 전압 제어기에 입력되어 전력분 전류 (q 축 전류)의 기준치가 생성되고, 역률 1운전을 위하여 무효전력분 전류(d 축 전류)의 기준치를 영으로 한다. 전력분 전류 및 무효전력분 전류의 편차가 각각 전류제어기에 입력되어 전압지령치가 생성되고, 이 기준전압 지령치들은 $d-q$ 정지좌표계의 값으로 역변환된다. PWM 파형은 기준전압 지령치에 따라 전압공간 벡터 변조 방식에 의하여 발생되며, 컨버터의 게이트 신호로 사용된다. [2][3]

직류링크 전압제어기와 전류제어기는 모두 전향보상을 가지는 IP 제어기가 사용되었다.

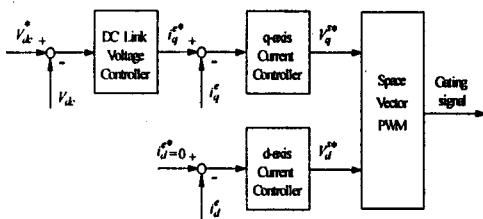


그림5. 3상 PWM 컨버터의 제어도

3.3 실험결과

본 실험에서 직류 링크 전압 제어기의 차단 주파수는 30 rad/s, 전류제어기의 차단 주파수는 300 rad/s로 설정하였다. 스위칭 주파수는 20kHz이다. 그림6은 입력전압, 전류파형을 나타내며 그림7은 a상 입력전류의 기준파형과 검출파형이다. 그림8은 직류링크 전압 파형, 그림9는 정지좌표계 상의 전류 i_{qs} , i_{ds} 를 나타낸다. 실시간으로 처리되는 제어루틴의 소요시간은 44.6 μ sec로서 소프트웨어 프로텍션 등 모든 기능을 포함하여 20kHz 이상의 스위칭이 가능하며, 같은 코드로서 TMS320C3x에서 수행할 경우는 66.9 μ sec 이상이 소요될 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 TMS320C40-50을 이용한 범용 고속제어장치를 그 성능과 안정성을 입증하였다. 본 제어장치는 DSP칩의 고속 연산성능을 최대한 발휘하도록 설계되었으며, 컨버터와 인버터로 구성된 전력변환장치를 한대의 제어장치로 제어하는데 필요한 각종 입출력 포트, 보호장치 등을 구비하고 있다.

또한 제어장치간의 네트워크가 용이하며, DSP 성능을 최대화하면서 상위 시스템과의 연계에 유연성을 주기 위하여 임의의

CPU가 적용된 MMI 보드가 장착될 수 있게 하였다. 본 제어장치로 3상 PWM AC/DC 컨버터를 제어하여 양호한 결과를 얻었으며, 실시간 제어루틴의 소요시간은 44.6 μ sec로서 20kHz 이상의 스위칭이 가능하다.



그림 6. 입력전압 전압파형 (100V/div, 5A/div)

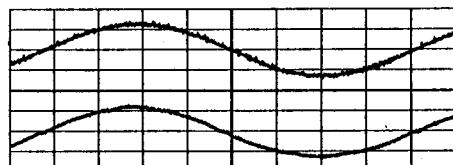


그림 7. a상 입력전류의 기준파형과 검출파형 (5A/div)

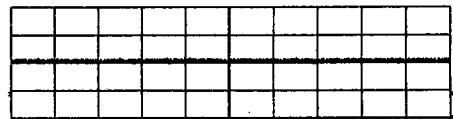


그림 8. 직류링크 전압 (100V/div)

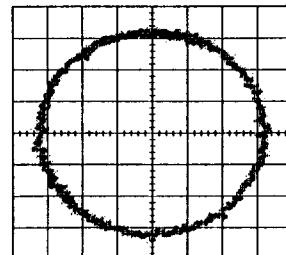


그림 9. i_{qs} 와 i_{ds}

5. 참고문헌

- [1] Texas Instrument "TMS320C4X User's Guide", 1993
- [2] E.S.Kim et al., "Three phase PWM AC/DC Converter with Leading Current Compensation Control", ICPE'95, pp.319-324
- [3] 기초전력공학 공동연구소 "전동기 구동 시스템 설계 및 실습", pp.6.1~pp.6.6, 1995