

DSP 소프트웨어에 의한 전력변환기 게이팅 신호 발생

Power Converter Gating Signal Generation with DSP Software

이 해 춘* 박 태 열* 김 기 택**
Lee, Hae-Chun Park, Tae-Yeol Kim, Gi-Taek

Abstract

Power converters are widely used in the applications of servo drives of ac and dc motors and power supplies. For the control of the converters various control algorithms have been proposed and realized by gating signal generation. Software control schemes are being applied to implement the control algorithms, but analog circuits are still used for the gating signal generation because it requires very fast and precise timing. In this paper the gating signal generation with DSP software are proposed for the three phase to three phase PWM converter. Design procedures and software flowcharts are presented and some experimental waveforms are also presented to verify the proposed algorithms.

키워드 : 게이팅 신호 발생, DSP, 전력변환기
Keywords : gating signal generation, DSP, power converter

1. 서론

전력변환기 제어에서 제어정밀도, 성능 개선을 위한 많은 연구가 있었다. 그 중 소프트 스위칭 방식에 의한 획기적인 효율개선, 전류제어 정밀도를 높이기 위한 다양한 PWM 제어 방식, 벡터 제어 등 제어 성능을 향상시키는 기술 및 이를 실시간으로 구현하는 DSP 응용 기술 등을 들 수 있다.

고성능 디지털 마이크로프로세서와 제어이론 및 반도체 스위칭 소자의 눈부신 발전에 따라 유도전동기 등의 교류전동기와 직류전동기가 서보전동기의 여러 정밀응용 분야에서 폭넓게 응용되고 있으며 전원장치에도 널리 전력변환기가 사용된다. 이러한 전력변환기의 제어는 각종 제어이론으로

제어되며 제어입력은 게이팅 신호발생으로 구현된다. 제어는 컴퓨터 등을 이용한 소프트웨어적인 방법이 사용되지만 게이팅 신호의 발생은 매우 정밀한 타이밍과 빠른 수행시간을 요구하기 때문에 아날로그 회로에 의한 방법이 아직도 사용되고 있다.

이에 반해 게이팅 신호를 완전 디지털 방식의 소프트웨어로 구현시키려는 노력은 상대적으로 많지 않았다. 전력변환기 자체의 성능 개선보다는 제어 방식의 개선에 초점이 맞추어져 있었다. 제어성능의 향상을 위해서도 전력변환기의 정밀도 향상은 매우 중요하며 이를 위해서 가장 핵심 부분인 게이팅 신호의 발생을 디지털화할 필요가 대두되어 국내외적으로 많은 관심이 모아지고 있다.

본 연구에서는 직류와 교류를 제어하기 위한 3상-3상 전력변환기 전압형 인버터 시스템의 입출력 전압, 전류 제어와 PWM 방식의 게이팅 신호 발생에 대하여 연구하였다. 이를 위해 스위칭 방식

* 강원직업전문학교 전기제어공과 교사, 공학석사
** 강원대학교 전기전자공학부 부교수, 공학박사

을 포함한 전체 시스템을 분석하고 제어알고리즘을 개발하고 이를 검증하기 위하여 프로그램과 실험 모델을 구성하였다. 실험 결과를 토대로 이 시스템의 구성 및 설계 방안을 제시하였다.

직류 및 교류 전력변환기에 대한 해석과 설계 사례를 제공하였으며 제작된 실험모델의 결과파형을 제시하여 설계의 타당성을 입증하였다.

2. 시스템 구성

2-1 시스템 전체 Block Diagram

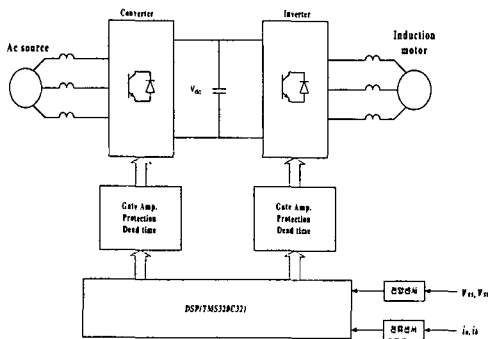


그림 1. 전체 시스템 Block Diagram

2-2 PC32 하드웨어 기능

제어보드는 주 프로세서로서 TI(Texas Instrument)사의 32bit DSP(Digital Signal Processor) TMS320C32를 사용하였으며 버스인터페이스, 메모리, I/O 포트, 아날로그 I/O 기능을 가지고 있다.

2-3 TMS320C32 및 특징

TMS320C32의 주요 특징은 다음과 같다.

- 성능 (40MHz)
- 50nsec 단일 사이클 명령어 실행시간
- 40MFLOPS
- 20MIPS
- 4K x 32 비트 단일 사이클 내부 RAM 영역
- 2개의 1K x 32비트 단일 사이클 내부 RAM 영역
- 32비트 명령어/데이터 워드, 24 비트 주소
- 40/32 비트 소수점/정수 곱셈기, ALU
- 32비트 Shifter
- 8개의 확장 정밀 레지스터
- 8개의 보조 레지스터와 2개의 주소 발생기, 2개의 보조 레지스터 연산장치

- I/O와 CPU 동작을 동시에 수행하기 위한 내부 DMA 제어기
- 정수, 소수점, 논리연산
- 2개 또는 3개의 오퍼랜드를 갖는 명령어
- ALU 연산과 곱셈을 단일 사이클에 병렬로 처리하는 명령어
- 블록 반복 능력
- 단일 사이클 분기가 가능한 zero-overhead 루프
- 선택적 call과 return
- 다중 프로세싱을 제공하기 위한 동기된(inter-locked) 명령어
- 32비트 데이터 버스
- 8/16/24/32 비트 타이머
- 2개의 범용 외부 표시기, 4개의 외부 인터럽트
- 다양한 부트 프로그램 로더
- 132핀 PQFP 패키지, 0.8 μm CMOS

2-4 메모리

PC32 총 메모리 영역은 16M x 32비트 워드이다. 이 16M 워드의 영역에 프로그램, 데이터, 그리고 I/O 영역이 위치한다.

2-5 디지털 병렬 I/O 포트

- A/D 컨버터

아날로그 데이터를 디지털 신호로 변환해주는 핵심 소자로서 Burr-Brown ADS7805를 사용하였으며, 6-pole anti-alias 필터를 각 A/D 채널에 독립적으로 제공한다. ADS7805의 주요사양은 다음과 같다.

형 명	ADS7805
해상도	16bit
전원	+5V 단일전원
입력전압범위	±10V
변환시간+T/H시간	10μs
인터페이스	병렬
기타	S/H,Ref, Clock 내장형

- D/A 컨버터

본 시스템은 전 디지털 방식으로서 모든 내부연산은 숫자로 처리되고 있다. 따라서 시스템의 내부상태나 변수를 외부에 아날로그 신호로 출력하고자 할 때는 D/A 컨버터가 필요하다. 제어보드에 사용한 D/A 컨버터는 ±10V 출력형 DAC712가 사용되었으며, D/A 출력 후단에는 LPF(Low Pass Filter)가 구성되었다. DAC712의 주요사양은 다음 표와 같다.

형 명	DAC712
해상도	16-bit
출력전압범위	$\pm 10V$ Data 0x0000 -10V, 0xffff +10V
변환시간	10 μ s
인터페이스	16-bit bus
기타	Gain, Offset 조정 가능

2-6 게이트 드라이버

IPM 게이트 드라이버에 포토커플러 TLP250을 사용하여 제어 신호와 IPM 게이트 신호를 절연하였고, DC-DC 컨버터 M57140-01을 내장하여 +20V 단일전원만 공급하게 하였다.

2-7 전류센서

입출력 전류 검출장치로는 고성능 Hall Effect Sensor인 LEM사의 LA시리즈를 사용하였다. 이 방식의 전류센서는 비접촉식 센서로서 1차측에 흐르는 전류에 비례하는 2차 전류를 저항에 흘려 전압강하를 증폭하는 방식을 사용하고 있다. 즉 센서 출력 신호가 전압이 아니라 전류상태로 DSP 보드 내부로 들어오게 되므로 내노이즈성이 좋아진다. 특히 센서신호 입력선은 동축케이블을 사용하여 노이즈에 안전을 기하였다. 본 시스템에 적용한 전류센서의 주요사양은 아래 표와 같다.

형명	LA55-P
전류측정범위	$\pm 70A$
턴수 비	1 : 1000
응답시간	1 μ s
외부측정저항	100 Ω
절연	2KV

2-8 전압센서

DC 링크 캐패시터 전압 검출장치로는 고성능 Hall Effect Sensor인 LEM사의 LV 시리즈를 사용하였다. 이 방식의 전압센서는 비접촉식 센서로서 전류센서와 같이 1차측에 흐르는 전류에 비례하는 2차 전류를 저항에 흘려 전압강하를 증폭하는 방식을 사용하고 있다. 즉 센서 출력 신호가 전압이 아니라 전류상태로 DSP 보드 내부로 들어오게 되므로 내노이즈성이 좋아진다. 특히 센서신호 입력선은 coaxial cable을 사용하여 노이즈에 안전을 기하였다. 본 시스템에 적용한 전압센서의 주요사양은 아래 표와 같다.

형명	LV25-P
전압측정범위	$\pm 420V$ (최대 입력 전류 $\pm 14mA$)
측정오차	$\pm 0.6\%$
턴수 비	2500 : 1000
응답시간	40 μ s
외부측정저항	100 Ω
절연	2.5KV

2-9 IGBT 선정

주 스위칭 소자로서 MITSUBISHI사의 600V 15A IPM PM15CSJ060을 선정하였다. IGBT는 전 시스템에서 가장 핵심적인 소자로서 그 선정에 특히 다음과 같은 사항을 고려하였다.

- 전압정격
- 전류정격
- 손실(Switching Loss 및 Conduction Loss)

입력전압 220V에 전압변동을 10%를 고려하면 DC Link 전압은 342V이다. 그리고 스위칭순간의 과도상태 스파이크등을 고려할 때 600V정격의 소자를 선정하였다. 또한 전류용량은 150% 과부하시의 Peak값보다 큰 전류정격 값을 갖도록 설계하였다.

2-10 IPM(Intelligent Power Module)

IGBT는 고속동작 때문에 게이트 구동·보호·노이즈 대책 등과 고속·저손실·고파괴 내량이라고 하는 서로 모순되는 특성을 가지고 있다. 인텔리전트 IGBT 파워 모듈은 이와 같은 문제점을 해결하여 고속·저손실·고파괴 내량으로 취급이 용이한 스위칭 디바이스를 실현시킨 것이다. 인텔리전트 IGBT 파워 모듈은 파워 칩과 게이트 구동회로나 보호회로 등의 주변회로와 합쳐 1개의 패키지에 수납하여 전력전자 분야에서의 응용장치의 소형화와 고성능화 양립에 기여한 파워 디바이스이다.

- IPM의 특징과 구조

- ① 파워 칩에 IGBT를 채용하였기 때문에 구동 전력 소비가 작고 게이트 구동회로의 발열을 억제할 수 있다.
- ② 전류 센서 기능이 IGBT의 사용에 의해 각 칩마다의 이상전류 검출·보호가 가능해진다.
- ③ 보호회로가 IGBT 칩 근방이기 때문에 단시간의 보호가 가능해지고 IGBT의 트레이드 오프가 가능해진다.

④ 게이트 구동과 각종 보호기능은 하나의 IC에 들어 있고 IGBT에 상당히 가까운 위치에 배치되어 있기 때문에 그사이의 배선 임피던스는 무시할 수 있을 정도로 작다.

⑤ 보호회로는 과전류·단락·제어 전원 전압 저하 및 과열 보호기능을 내장하고, 고열 보호를 제외하고, 상하 암으로부터 보호 동작시의 알람 신호를 출력한다. 따라서 동작시 부하·상하암 단락 외에 지락시의 이상 검지·보호를 가능케 했다.

⑥ 제어계와 IPM을 연결하기 위한 인터페이스로서 포트 컨트롤러가 사용되고, 내장 IGBT 칩의 스위칭 등에 의해 레벨이 대단히 큰 dv/dt 가 가해지기 때문에 IPM 자체에도 노이즈 필터를 내장하여 오동작을 방지하고 있다.

3. 제어 알고리즘

3-1 전체 프로그램 구조

전체 프로그램은 Main 프로그램과 제어를 담당하는 인터럽트 루틴으로 구성되어 있다.

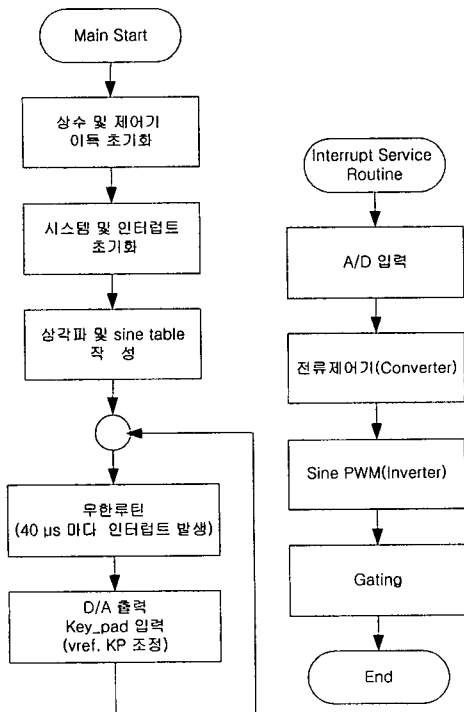


그림 2. 프로그램 구성

3-2 Sine PWM

전압제어 PWM 파형을 발생하기 위하여 내부적으로 정현파를 발생시켜 기준전압과 비교하여 PWM 게이팅 신호를 발생시키며 플로우차트는 다음과 같다. 이 경우는 개루프 전압 및 주파수제어에 해당한다.

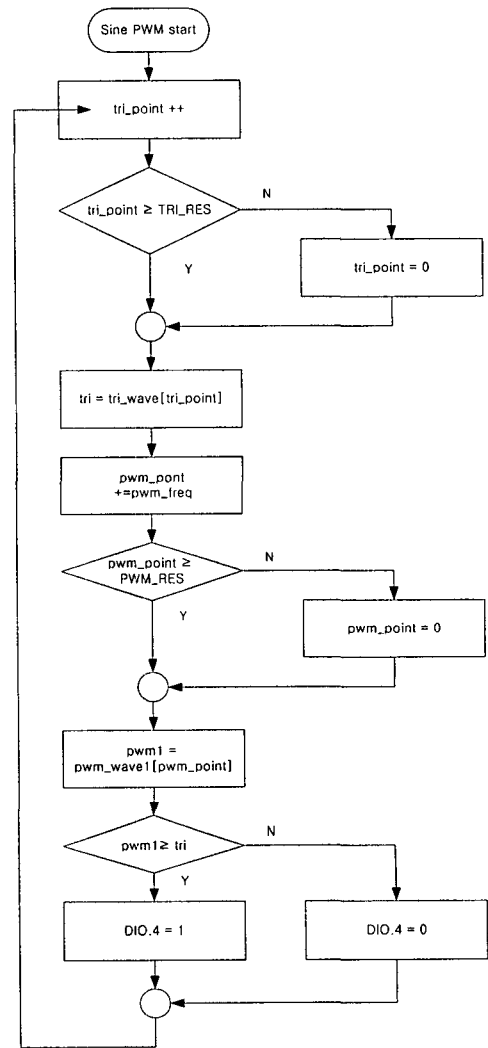


그림 3. PWM 발생 플로우차트

3-3 전류제어 알고리즘

전류제어 PWM을 구성하기 위한 프로그램 플로우차트는 그림 4와 같다.

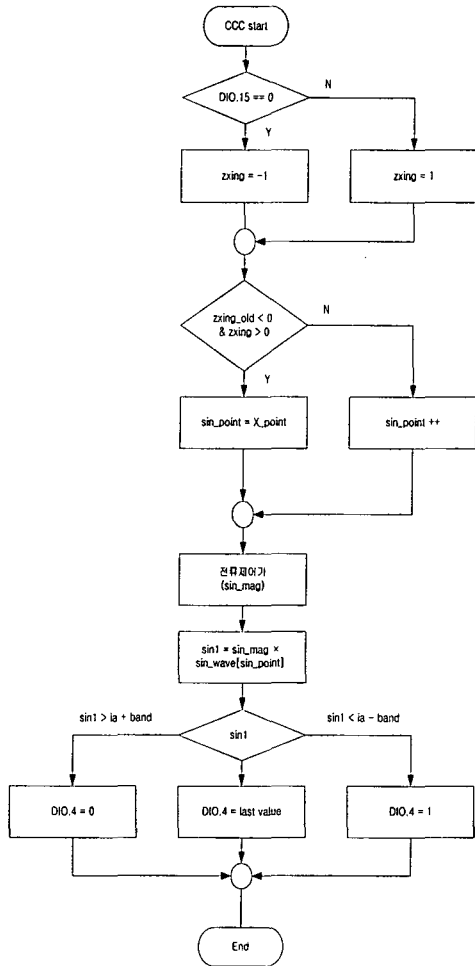


그림 4. 전류제어 PWM 알고리즘

4. 실험 파형

그림 5부터 실험 파형을 보여주고 있다. TMS320C32로 소프트웨어적으로 게이팅 신호를 발생하고 이를 IGBT 인버터에 적용하여 게이팅 신호 및 전압, 전류파형을 전류 프로브와 디지털 오실로스코프로 결과를 기록하였다. 실험파형은 소프트웨어적으로 발생시킨 삼각파, 정현파 및 게이팅 신호와 이를 적용한 정현파 PWM, 전류제어를 수행하여 결과로 얻은 전류제어 PWM과 실제 전압과 전류 파형이다. 본 연구에서 개발한 게이팅 신호 발생 알고리즘이 실제의 전력회로에 적용하여 훌륭한 결과를 내는 것을 실험적으로 확인할 수 있다. 그림 5는 게이팅 신호 파형이며 그림 6과 7은 발생된 게이팅 신호에 따른 3상 선간전압 및 전류파형이다.

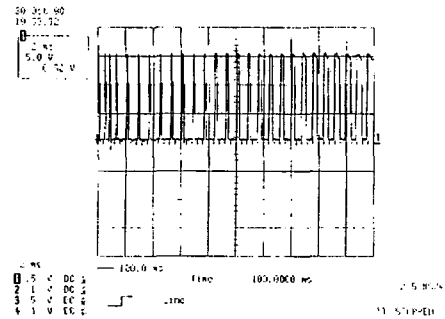


그림 5. 게이팅 신호 발생

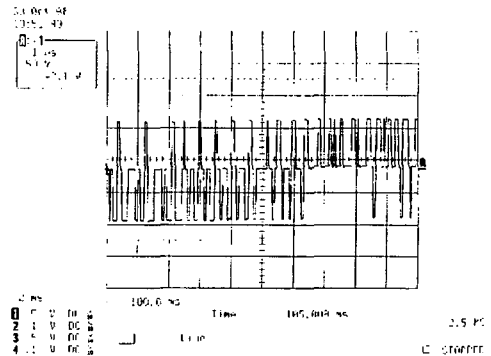


그림 6. 선간전압 파형

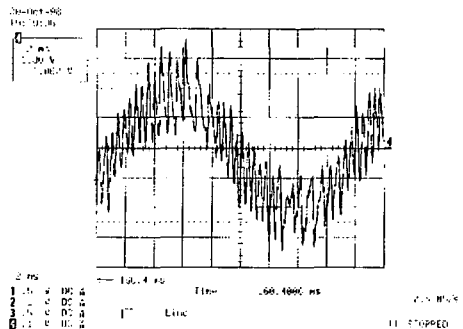


그림 7. 전류 파형

5. 결론

전력변환기 제어에서 제어정밀도, 성능 개선을 위한 많은 연구가 있었다. 그 중 소프트 스위칭 방식에 의한 획기적인 효율개선, 전류제어 정밀도를 높이기 위한 다양한 PWM제어 방식, 벡터 제어 등 제어 성능을 향상시키는 기술 및 이를 실시간으로 구현하는 DSP 응용 기술 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 직류와 교류를 제어하기 위한 3상-3상 전력변환기 전압형 인버터 시스템의 입출력 전압, 전류 제어와 PWM 방식의 게이팅 신호 발생에 대하여 연구하였다. 이를 위해 스위칭 방식 알고리즘을 개발하고 이를 포함한 전체 시스템의 설계 사례를 제시하고 제안된 방식을 검증하기 위하여 실험 모델을 구성하였다. 실험 결과를 토대로 이 시스템의 구성 및 설계 방안을 제시하였다.

본 연구에서 개발한 게이팅 신호 발생 알고리즘이 실제의 전력회로에 적용하여 훌륭한 결과를 내는 것을 실험적으로 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 강원대학교 기성회 연구비 지원에 의해서 이루어졌으며 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] B. T. Ooi, J. C. Salmon, J. W. Dixon, and A. B. Kulkarni, "A three-phase controller-current PWM converter with leading power factor", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-23, no. 1, pp. 78-84, Jan./Feb., 1987.
- [2] J. W. Dixon and B. T. Ooi, "Indirect current control of a unity power factor sinusoidal current boost three-phase rectifier", *IEEE Trans. Ind. Elec.*, vol. IE-35, no. 4, pp. 508-515, Nov., 1988.
- [3] P. N. Enjeti and A. Rahman, "A new single-phase to three-phase converter with active input current shaping for low cost ac motor drives", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-29, no. 4, pp. 806-813, Jul./Aug., 1993.
- [4] G. A. Covic, G. L. Peters and J. T. Boys, "An improved single phase to three phase converter for low cost ac motor drive", *Proc. of Intl Conf. on Power Electronics and Drive Systems*, Singapore, pp. 549-554, 1995
- [5] Gi-Taek Kim, T. A. Lipo, "VSI-PWM Rectifier/Inverter System with a Reduced Switch Count", *f IEEE Trans. on IA*, vol. IA-32, no. 6, pp.1331-1337, 1995.
- [6] H. W. Van Der Broeck and J. D. Van Wyk, "A comparative investigation of a three-phase induction machine with a component minimized voltage-fed inverter under different control options", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-20, no. 2, pp. 309-320, Mar./Apr., 1984.
- [7] H. W. Van Der Broeck and H. C. Skudelny, "Analytical analysis of the harmonic effects of a PWM ac drive", *IEEE Trans. Pwr. Elec.*, vol. PE-3, no. 2, pp. 216-223, Apr., 1988