

싱글칩 마이크로 프로세서를 이용한 3상 인버터 개발에 관한 연구

김호진^o 박수영 함연창 신우석 최규하
 건국대학교 전기공학과

A Study on the Development of Three-Phase Inverter Using Single-Chip Microprocessor

Ho-Jin Kim^o Su-Young Park Yeon-Chang Hahn Woo-Seok Shin Gyu-Ha Choe
 Department of Electrical Engineering Kon-Kuk University

Abstract

This paper describes the three-phase inverter system for 1/2[HP] induction servo motor, using TMS370C050 single-chip microprocessor. The Power MOSFETs are used for PWM inverter circuit because of the advantages such as less harmonic losses and smaller peak current, less torque ripples and noises. Single-chip microprocessor enables the whole controller to be simple and reduced size as well as to more stable and flexible. The basic structures are shown for the power circuit, including the protection and driving circuitry, and the control loops for inverter control functions. The experimental results are given for the prototype PWM inverter system.

I. 서론

PWM 인버터는 한대의 장치로 V 및 f를 동시에 넓은 범위로 가변시킬 수 있으며 유도전동기의 운전시 고조파 손실, peak 전류, 토크맥동 및 소음 등을 개선할 수 있고 특히 가변속분야에 유리한 잇점이 있어 산업분야에 널리 사용되고 있다. 최근에는 우수한 마이크로프로세서의 개발로 전체 인버터 시스템의 성능 향상 및 그 크기가 점차 감소되고 있다. 마이크로프로세서는 신호측정, 피드백 제어 알고리즘, 출력신호발생, 고장의 자기진단과 같은 전체 process control의 임무를 맡는다. 마이크로프로세서의 사용은 아날로그와 디지털 하드웨어 대신 컴퓨터 프로그램에 의해 수행되는 대부분의 함수와 I/O신호를 직접제어함으로써 제어 시스템의 부피와 가격이 줄어들어 상업적으로도 유리하고

제어부의 유연성도 강화시켜 주는 장점이 있어 근래 사용이 늘고있다.⁽²⁾ 특히 크기에 제한을 받는 소규모 인버터의 경우에 있어서는 마이크로프로세서를 사용하여 부품의 수를 줄이는 것이 유리하다.

본 논문에서는 TMS370계열의 마이크로 프로세서를 사용하여 인버터의 안정성 있고 유연한 제어와 제어부의 크기를

축소시키고, 그리고 전력회로는 고속 스위칭소자인 Power MOSFET로 구성하여 출력특성과 소음을 개선시켜 실제적인 3상 인버터 설계시 요구되는 사항과 특성상의 문제를 고찰 연구하였다.⁽³⁾⁽⁴⁾

II. 3상 인버터의 설계

3상 인버터회로의 전력회로는 직류필터회로, 인버터회로, 구동회로, 보호회로로 구성되며 그림 1에 나타내었다. 직류필터 회로

인버터 직류전원을 위해 3상 다이오드 브리지 정류기를 사용한다. 직류링크측의 전압에는 항상 맥동이 존재하고 이 맥동은 인버터의 제어기법과 동작조건에 따라 좌우되며, 이를 최소화하기 위해 직류필터를 설계하였다.⁽⁵⁾ 회로는 그림 2에 나타내었고, Cd와 La값은 다음과 같이 주어진다.

$$C_d = \Delta Q_d / (V_d \text{ over} - V_d \text{ under}) \quad (1)$$

$$L_d = \frac{0.633}{(\lambda f)^2 C_d} \quad (2)$$

여기서 $\Delta Q_d = I_d \Delta T_{max}$

$V_d \text{ over} = \text{과전압}$

$V_d \text{ under} = \text{부족전압}$

$\lambda = \text{주파수 변조지수}$

$f = \text{기준신호 주파수}$

인버터회로

PWM인버터는 6개의 Power MOSFET 및 역병렬 다이오드로 구성된다.(그림 3) 제동방식은 유도전동기의 급제동 또는 급감속을 위해 발전제동방식을 사용하였다. 발전제동시 전동기의 에너지는 직류링크의 커패시터에 축적되고, 다이오드 정류기때문에 교류전전속으로 반환되지 못하여 직류링크의 전압이 계속 상승한다. 따라서 전압이 일정치를 초과하는 순간 회로의 출력이 MOSFET를 온 시켜 방전저항에서 소모되도록 하였다. 그리고 운전방법은 주파수에 따라 공급전압의 크기도 함께 변화시켜 공극자속을 일정하게 유지시키는 VVVF제어방식을 사용하였다. 그러나 저주파수 영역에

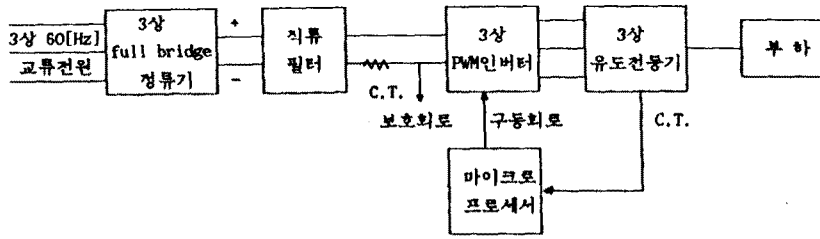


그림 1. 전력회로



그림 2. 직류필터 회로

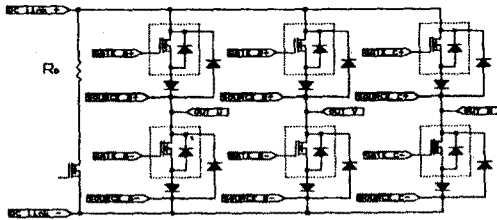


그림 3. 인버터 회로

서는 1차 저항에 의한 전압강하때문에 공극자속이 적어져 최대토크가 저하된다. 그러므로 일정자속을 유지하기 위해 부스트 전압을 공급해 주었다. 그림 4의 (a)는 정확한 경우이나 (b)와 같이 실현하면 제어부의 구성이 간편하여 여기서 (b)를 선택하였다.

구동회로

구동회로는 Dead time 확보회로와 게이브구동회로로 나뉜다. Dead time 확보회로는 제어부에서 얻어진 최종의 PWM 파형신호를 R-C 저역통과필터를 사용하여 지연시키고 이를 지연전의 PWM신호와 논리연산을 하여 dead time이 확보된 게이트신호를 얻는다. 이들 신호는 게이브구동회로로 전달된다. Dead time이 확보된 게이트신호는 Photo-coupler를 거쳐 MOSFET의 Gate 및 Source로 출력된다. 이때 Photo-coupler는 제어부와 전력회로를 전기적으로 절연시켜 준다.

보호 회로

보호회로는 과전압 보호회로, 부족전압 보호회로와 과전류 보호회로로 구성된다. 직류링크로부터 전압을 검출하여 고장판단시 MOSFET의 게이브 구동신호를 차단하고 마이크로 프로세서에 인터럽트를 발생시켜 고장원인 표시 등과 같은

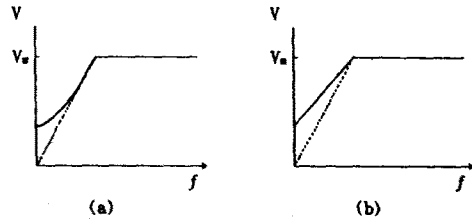


그림 4. 전압부스트를 고려한 V/f 곡선

적절한 조치를 취하게 된다. 또한 과부하 상태에서 인버터가 반환시특성을 갖도록 하기 위하여 C.T.에서 받아들인 선전류를 마이크로 프로세서의 A/D변환기에 입력받는다.

Ⅱ. 싱글칩 마이크로 프로세서

싱글칩 마이크로프로세서의 종류는 매우 다양한데, 4-bit에서부터 32-bit에 걸쳐 여러 종류들이 개발되어 있다. 일반적으로 8-bit의 INTEL계열들이 많이 사용되고 있으며 근래에는 DSP Chip, Multi-Chip 등도 개발되어 있다. 본 논문에서는 인버터를 사용한 모터구동시 요구되는 마이크로프로세서로 빠른 처리속도, A/D변환기의 내장, 많은 I/O포트와 저렴한 가격을 충족시키는 프로세서의 하나로 TMS370계열을 선정하였다.^[6] 그림 5는 TMS370C050의 내부 구성에 대한 다이어그램을 나타낸다. 포트B와 C를 통한 일정크기의 A,B상 기준파신호는 D/A변환기를 거쳐 아날로그신호로 변환이 되고, 이들 신호는 포트A를 통한 기준파 크기신호와 비교연산을 통하여 그 크기가 가변되며 이 신호들은 다시 덧셈연산을 통하여 C상 기준신호를 만든다. 이러한 3상 기준신호는 변조신호 발생기에서 발생된 변조신호와의 비교를 통해서 PWM파형을 만들고, 이것은 다시 Gate 구동회로를 지나 전력회로의 각각의 MOSFET을 온,오프하게 된다. 한편 디스플레이회로는 현재의 출력주파수 및 각종 고장상태를 표시한다. 이러한 모든 인버터를 동작시키기 위한 명령은 마이크로 프로세서에 내장된 시리얼 통신포트와 컴퓨터나 PLC와의 통신을 통하여 인버터를 제어할 수 있으므로 공장 자동화에도 유용한 기능을 갖는다.

Ⅳ. 소프트웨어

소프트웨어의 기능은 크게 시스템 초기화, 연산, 제어 및 인터럽트 서비스루틴과 보호기능 등으로 분류할 수 있

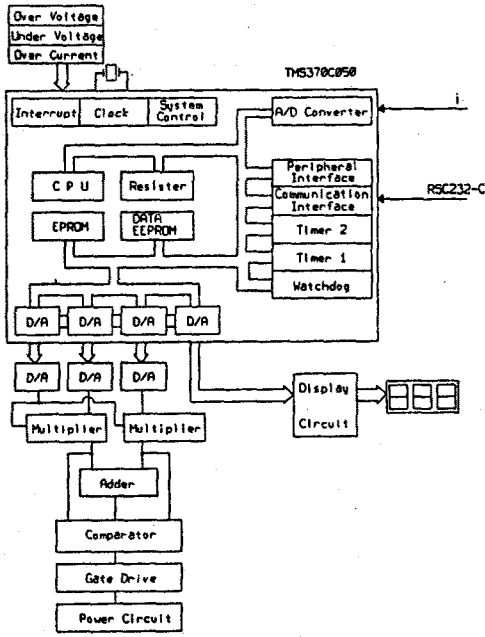


그림 5. TMS370C050의 내부 구성

다. 초기와부에서는 마이크로프로세서의 상시초기와, 메모리 클리어 및 주변회로의 초기화 등을 수행하고 연산부와 제어부는 인버터 운전에 필요한 가감속 및 Boost양 등을 계산하고, 제어 알고리즘은 이에 따라 전체시스템의 제어를 수행한다. 또한 보호기능과 A/D 샘플링, 정현파 출력 등을 담당하는 인터럽트 서브루틴이 있다. 이상과 같이 전체 제어를 나타내는 흐름도는 그림 6에 나타내었다. 그림 7은

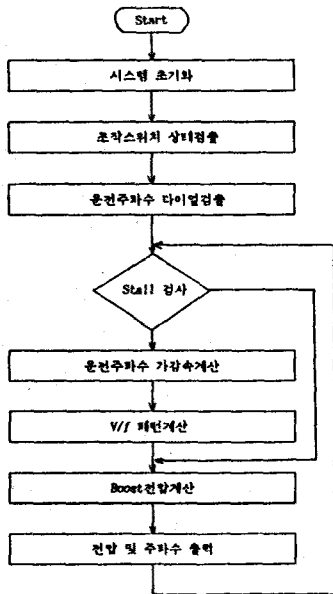


그림 6. 주 제어 흐름도

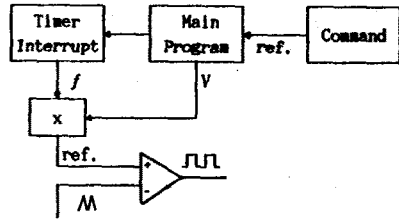
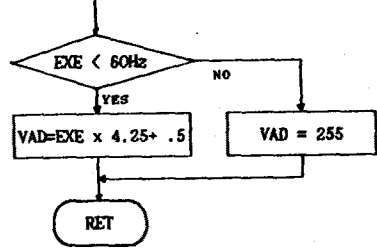


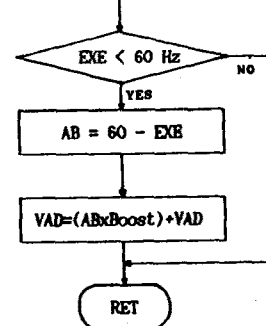
그림 7. V/f패턴 계산 알고리즘

Compute V/f Pattern



(a) V/f 패턴

Compute Boost



(b) 부스트 전압

그림 8. V/f패턴 및 부스트전압 계산 흐름도

V/f패턴을 계산하는 블록 다이어그램이다. Main program은 조작 스위치의 운전 지령을 판독하여 이에 따르는 출력주파수를 계산한다. 이 결과에 따라 Timer interrupt의 발생 주기를 조정하고, 정현파 look-up table에서 Data를 찾아 정현파를 출력한다. 또한 출력 주파수에 따른 V/f패턴을 계산하여 주파수에 부합하는 전압을 산정하여 전압 D/A를 거쳐 출력하며 주파수와 전압을 제어한다. V/f 패턴과 부스트전압을 계산하는 흐름도는 그림 8에 보였다.

여기서 그림(a)의 V/f패턴 출력 전압은

$$V = \frac{f_r [\text{Hz}]}{60 [\text{Hz}]} \times 200 [V] \quad (3)$$

이고, 그림 (b)의 부스트 전압은

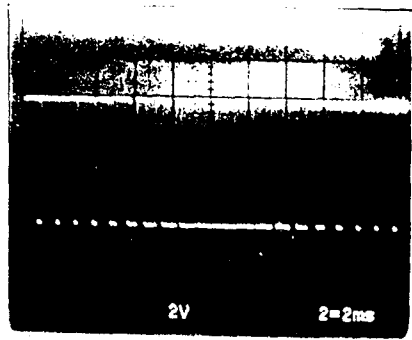
$$V = [\text{BoostH} : \text{BoostL}] \times 60[\text{Hz}] - f_r[\text{Hz}] \quad (4)$$

로 주어진다.

V. 실험 결과 및 검토

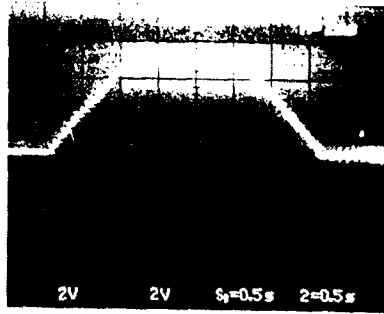
본 논문에서 설계한 인버터로 400 [W] 3 ϕ 유도전동기를 VVVF 운전하였다. 그림 9는 정현파 발생회로에서 얻어지는 정현파신호와 삼각파신호, 그리고 이들을 비교하여 얻어진 PWM신호를 나타낸다. 이때 A-상 및 B-상의 신호로부터 C-상의 신호를 만든다. 이렇게 얻어진 3상의 PWM신호들은 Dead time 확보회로를 거쳐 최종신호로 인가된다. 이 신호는 Gate 구동부를 거쳐 곧바로 전력용 MOSFET로 보내진다. 마이크로프로세서의 출력포트 A의 신호는 D/A컨버터에 의해 그림 10(a)과 같이 다시 변환되고 이로써 정현파신호의 크기를 조정한다. 그림(b)는 출력포트 B 또는 C에 의해 주파수가 변화되어 최종적으로 얻어지는 VVVF신호를 나타낸다. 그림 11은 인버터의 동작주파수 $f_r = 1$ [kHz] 및 5[kHz]인 두 경우의 전동기의 전류의 파형이다. 이 두 가지를 비교해보면 5[kHz]일 때의 전류파형이 1[kHz]일 때 보다 정현파에 가깝게 되어 고조파로 인한 문제를 개선할 수 있음을 보여준다. 그림 12는 직류링크속의 전류를 나타내는데, 위의 경우와 마찬가지로 주파수가 상승함에 따라 직류속 맥동이 크게 감소함을 알 수 있다.

그리고, 인버터의 동특성을 살펴보기 위해 부하 또는 전원에 큰 변화가 생긴 경우를 검토하였다. 그림 13(a)은 정격부하를 걸어 둔 상태에서 직접 인버터로 기동시켰다가 갑자기 부하를 제거하고 일정시간후 다시 정격부하를 걸었을 때 전동기의 상전류와 직류링크속의 전류의 변화를 나타내고 있다. 그림 (b)는 인버터의 출력단에 정격부하를 걸어 두고 3상 교류입력을 제거한 상태에서 갑자기 제부입하고 일정시간후 다시 전원을 제거시킨 경우의 상전류의 변화를 보이고 있다.

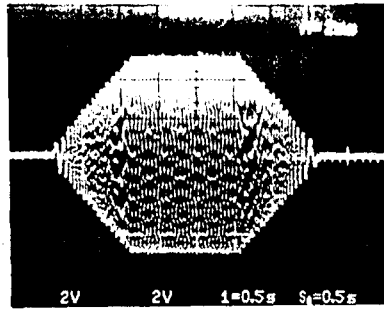


(b)

그림 9. A상 정현파 및 PWM 신호

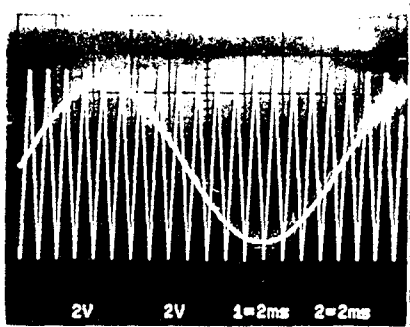


(a)

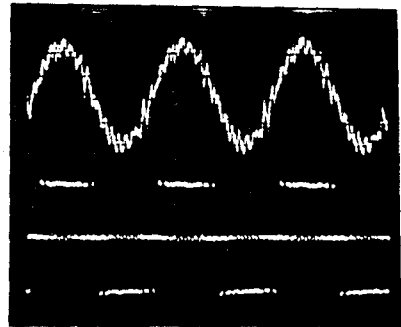


(b)

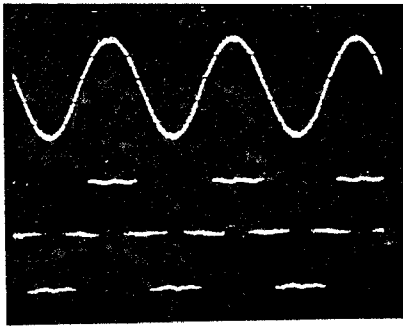
그림 10. VVVF 신호



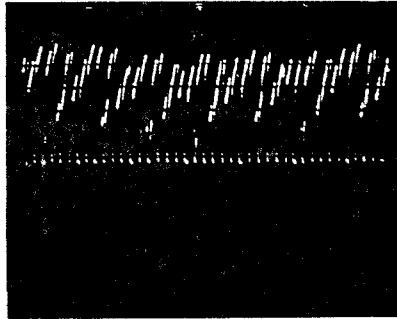
(a)



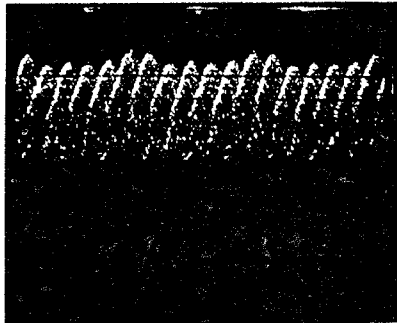
(a) $f_c = 1$ [kHz]



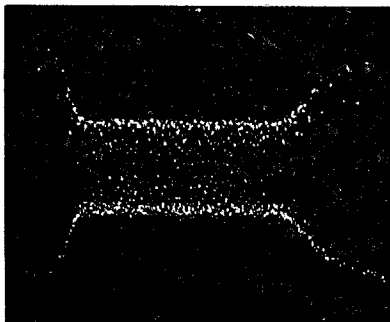
(b) $f_c = 5[\text{kHz}]$
그림 11. 상전류파형



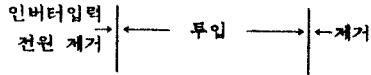
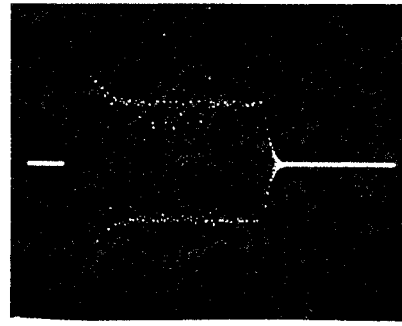
(a) $f_c = 1[\text{kHz}]$



(b) $f_c = 5[\text{kHz}]$
그림 12. DC링크 전류파형



정격부하 → ← 무부하 ← ← 정격부하
(a) 부하에 따른 동특성



(b) 입력전원에 따른 동특성
그림 13. 인버터의 동특성

VI. 결론

마이크로 프로세서 TMS370C050을 사용하여 인버터를 설계함으로써 안정성 있고 유인한 제어와 제어기의 구성을 간단하게 할 수 있었다. 그리고 운전 주파수에 따른 전동기의 가감속이 잘 이루어졌고 과전압 및 과전류 등에 대한 보호회로가 거의 완벽하게 동작하여 인버터시스템의 우수한 성능을 실험으로 확인하였다. 그러나, 실제 적용시 사용 환경, 예를 들어 전자파로 인한 디지털제어기의 불안정한 동작, 또는 고열 다습 등과 같은 악조건에서의 제어기의 동작 여부 등에 따른 제어상치의 신뢰도문제는 앞으로도 계속 연구해 볼 필요가 있다.

VII. 참고문헌

- [1] G. B. Kliman, "Harmonic Effect in Pulse Width Modulation Inverter Induction Motor Drive," IEEE IAS Annual Meeting Conf. Record, 1972.
- [2] V.V.Athanl et al., "Microprocessor Control of a Three-Phase Inverter in Induction Motor Speed Control System," IEEE Trans. on IA, VOL27-(4), 1980.
- [3] S. R. Bowes et al., "Microprocessor Control of PWM Inverters," IEE PROC., VOL-128(6), Pt. B., 1981.
- [4] J. Holtz, et al., "High-Speed Drive System with Ultrasonic MOSFET-PWM-INVERTER and Single - Chip - Microcontroller Control," IEEE IAS Annual Meeting Conf. Record, 1986.
- [5] K.S. Rajashekara, et al., "DC Link Filter Design Considerations in Voltage Source Inverter-Fed Induction Motor Drive System," IEEE Trans. on IA, Vol.23(4), July/Aug. 1987.
- [6] J.J. Vaglica, et al., "How to select a micro-controller," IEEE Spectrum, Vol.27, No.11, Nov. 1990.