

공작기계 주축용 스피들 전동기 구동에 관한 연구

한 영성, 안 성찬, 송 종환, 이 학성
 효성 중공업 기술연구소

A Study on the Spindle Motor Drive for the Spindle of Machining Center

Y. S. Han, S. C. Ahn, J. H. Song, H. S. Lee
 Hyosung Industries Co. R&D Institute

Abstract - The induction motor drive for the spindle of machining center is required to do not only a constant torque operation in low speed region(below base rpm), but also a constant power operation in high speed region(beyond base rpm). Also, control voltage shortage due to high speed operation must be overcome. The vector controlled inverter system with input 3 phase pwm converter is designed for that kind of condition. We experimented the performance of the inverter system with spindle motor made by Hyosung industries co.

전력을 공급하는 전압형 PWM 인버터, 전동기의 전류를 제어하기 위한 전류 검출부와 전류제어기 및 속도를 제어하기 위한 속도검출부와 속도제어기, 그리고 위치제어기로 이루어진다.

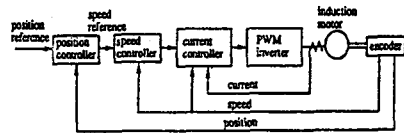


그림1 벡터 제어 유도전동기 시스템

1. 서 론

유도전동기는 유지 보수가 용이하고, 출력에 비해 소형 경량이며, 관성이 작아 적절한 제어 방식의 적용과 전력전자 기술의 발달로 인해 구동기로서의 사용 범위가 증가되고 있다. 특히 고속운전이 용이하여 CNC 공작기계에 있어 유도전동기는 주축 구동용으로서 많이 사용되고 있다. 이 경우 유도전동기는 그 적용 분야의 특성상 저속 구간에서는 정토크 운전, 고속 구간에서는 정출력 운전을 수행하여야 하고, 고속운전에 따르는 제어전압의 부족을 극복해야 한다. 고속운전을 위해서는 정격속도 이상에서 속도에 반비례하여 계자분 전류를 감소시키는 약제자 운전이 필요하다. 또한 고속운전시에는 역기전력 전압의 상승으로 인한 제어분 전압의 부족이 야기되어 진다. 따라서 본 연구에서는 입력 3상 PWM 컨버터를 적용하여 직류링크 전압을 상승시켜 제어전압 부족의 극복 및 안정된 직류링크 전압제어와 더불어, 입력측 역률제어 및 전원 회생제동의 부가적인 기능을 얻었다.

전류제어기는 동기좌표계 PI 전류제어기법을 사용하였으며, 역기전력으로 인한 d-q축 상호간섭의 영향을 제거하기 위하여 역기전력 보상을 고려한 비간섭 제어를 사용하였다. 역기전력을 보상한 d-q전압은 식(1) 및 (2)와 같다.

$$V_d^* = V_d^e - \omega_e \sigma L_s i_q^e \quad (1)$$

$$V_q^* = V_q^e + \omega_e (\sigma L_s i_d^e + \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e) \quad (2)$$

여기서 V_q^e 와 V_d^e 는 PI제어기의 출력전압이다.

또한 자속을 추정하여 약제자 영역에서 원만한 자속 공급을 얻어내었다.

2.2 컨버터 제어 알고리즘

3상 시스템이 3상 평형 조건을 만족하고 중성선이 없는 시스템이라면 전원전압 E_a, E_b, E_c 는 식(3)과 (4)처럼 정리될 수 있다.

$$e_d = L \frac{di_d}{dt} - \omega Li_q + Ri_d + v_d \quad (3)$$

$$e_q = L \frac{di_q}{dt} + \omega Li_d + Ri_q + v_q \quad (4)$$

2. 본 론

2.1 인버터 제어 알고리즘

벡터 제어 유도전동기 시스템의 구성을 그림1에 나타내었다. 전체 시스템은 3상 유도전동기와 이에

식(3),(4)를 이용하여 PWM 컨버터를 블록선도로 나타내면 그림2와 같다

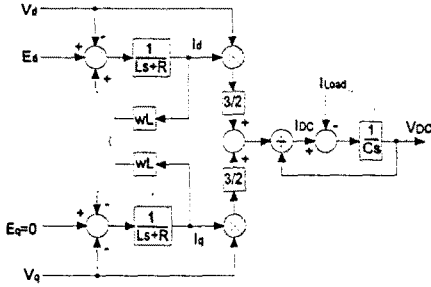


그림2 PWM 컨버터의 블록 선도

전류제어기는 인버터의 경우와 마찬가지로 d-q간 섭분이 보상된 비간섭 PI제어기를 사용하였으며, 역률 1제어를 위해 q축분 전류를 0으로 제어한다. 외란이 보상된 d-q 전압식은 식(5) 및 (6)과 같다.

$$v_d^* = -(k_{pd} + \frac{k_{id}}{s})(i_d^* - i_d) + wLi_q + e_d \quad (5)$$

$$v_q^* = -(k_{pq} + \frac{k_{iq}}{s})(0 - i_q) - wLi_d \quad (6)$$

전압제어기는 PI제어기 보다 IP제어기가 제어기 이득을 크게할 수 있으므로 IP제어기로 설계하여 외란에 대한 시스템의 응답성을 개선하였으며, 부하 변동에 대한 과도응답 특성을 좋게 하기 위해서 부하 Feedforward항을 추가 하였다.

2.3 제어부 회로구성

그림3은 제어반 전체의 하드웨어 블록 선도를 보여주고 있다. 제어부는 크게 입력 전압과 직류링크 전압의 검출 및 제어보드(메인보드) 전원과 IPM 구동전원을 만들기 위한 파워보드와 검출신호의 스케일링 및 컨버터와 인버터 운전을 위한 제어 알고리즘의 실행을 위한 제어보드로 나뉘어진다.

주 연산 Processor로는 TI(Texas Instrument)사의 32Bit DSP인 TMS320C31을 사용하였다. 본 제어부에서는 당사에서 기 개발한 전용 ASIC을 사용한 Full Digital화를 구현하여 신뢰성 향상 및 고정도의 제어를 구현하였다. 또한 LCD 및 Hybrid IC를 사용하여 운전지령 및 상태의 손쉬운 입출력이 가능하도록 설계하였다.

전력 스위칭 반도체 소자로는 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하였다. IPM은 IGBT와 IGBT 구동회로 및 보호회로가 함께 내장된 차세대

전력 반도체 소자로, IPM을 사용하므로써 구동회로의 간단화 및 신뢰성을 확보하였다.

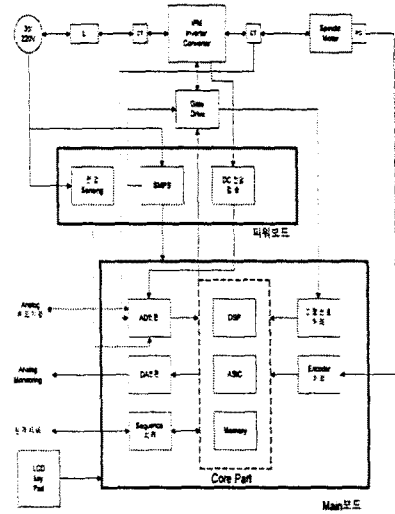


그림3 제어부 회로 구성도

2.4 실험 결과

그림3과 같은 회로 구성을 가지는 시스템에 대해 인버터 및 컨버터의 전류 제어 주기는 200μSec로, 속도 및 전압 제어 주기는 2mSec로 하여 실험을 행하였다.

그림4는 컨버터 동작시 입력측 상전압과 상전류 파형 및 직류링크 전압을 보여주고 있다. 상전류 파형이 정현파 형태로 되어 기본과 성분의 상승으로 고조파가 저감되며, 상전압 파형과의 역률이 1로 유지되어진다. 또한 직류링크 전압의 승압이 가능해져 고속운전시 나타나는 제어 전압의 부족을 보완할 수 있다.

그림5는 3000rpm 운전시의 속도 귀환 및 d, q축 전류 귀환 파형이다. d축분 전류는 Base rpm인 1500rpm에서부터 약계자를 시작하며, q축분 전류는 속도 상승 구간에서 최대 토크를 유지한다.

그림6은 컨버터를 동작시키지 않고 IPM의 역병렬 다이오드를 사용하였을 경우, 전동기의 정역운전시 직류링크 전압의 변화를 나타내며 그림7은 컨버터를 동작시켰을 경우, 전동기의 정역운전시 직류링크 전압의 변화를 보여주고 있다. 그림6과 그림7을 비교해 보면 다이오드 정류시는 회생이 불가능하여, 직류링크 전압이 상당히 많이 상승하는 것을 알 수 있으나, 컨버터를 사용하게되면 직류링크 전압의 회생이 가능해져 전동기의 급격한 속도

변화로 인한 회생시에도 안정된 직류링크 전압을 얻을 수 있다. 즉 회생제동이 가능하여 제동저항 및 제동용 전력 스위칭 소자가 불필요하다..

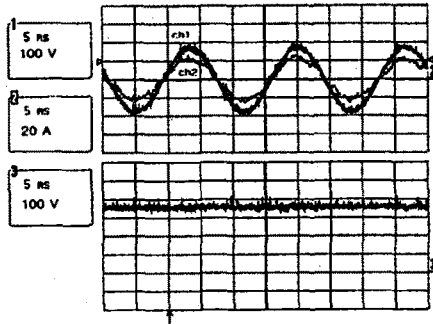


그림4 컨버터동작시 상전압, 상전류, 직류링크 전압파형
ch1 : 상전압, ch2 : 상전류, ch3 : 직류링크 전압

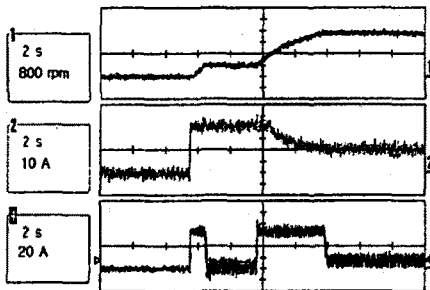


그림5 속도귀환, 및 d-q축 전류귀환 파형
ch1 : 속도귀환, ch2 : d축분 전류귀환, ch4 : q축분 전류귀환

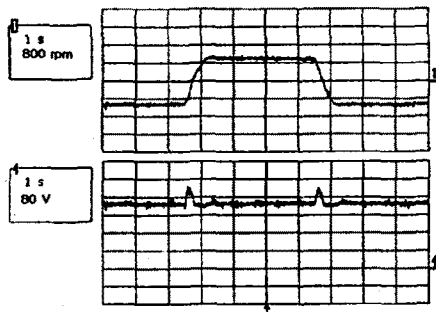


그림6 다이오드 정류시 속도귀환 및 직류링크 전압
ch1 : 속도귀환, ch4 : 직류링크 전압

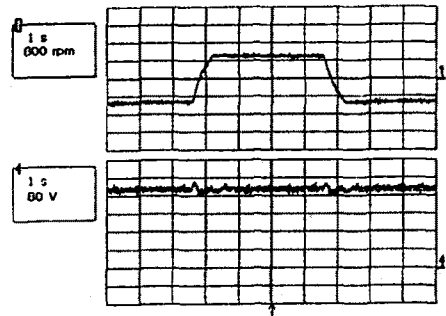


그림7 컨버터 동작시 속도귀환 및 직류링크 전압
ch1 : 속도귀환, ch4 : 직류링크 전압

3. 결 론

본 연구에서는 스핀들 드라이브에 TMS320C31 및 전용의 ASIC을 장착하여 Software의 부담을 줄이고 Hardware의 Compact화를 실현하였다. 또한 PWM 컨버터를 채택하여 전원측 역률을 개선함으로써, 향후 전력전자 분야의 EMI/EMC 규제에 대비 하였으며 회생제동이 가능하여 제동저항이 필요없으며 에너지 절감 효과가 있다. 또 직류링크 전압제어를 하여 모터 제어영역을 확대하였으며, 인버터 제어 성능을 향상시켰다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.Terashima, M.Nomura, T.Ashikaga, T.Nakamura, "Fully digital controlled decoupled control system in induction motor drive" IEEE IECON, pp845-850, 1984
- [2] S.H.Kim, S.K.Sul, M.H.Park, " The maximum torque control of an induction machine in the field weakening region" IEEE-IAS Ann. Mtg.Conf.Rec., pp142-150, 1988
- [3] X. Xu, D.W. Novotny, "Selecting the flux reference for induction machines in the field weakening region" IEEE Trans. on IA., Vol. 28, No. 6, pp1353-1358, 1992
- [4] J.S.Kim, S.K.Sul, "New Control Scheme for ac-dc-ac converter without electrolytic capacitor" IEEE-PESC Conf. Rec., pp300-306, 1993
- [5] T.G.Habetler "A space vector-based rectifier regulator for ac/dc/ac converter" EPE Conf., pp101-107, 1991