

## 5상 스테핑 모터의 마이크로스텝 구동을 위한 저가형 전용 칩 및 제어시스템 설계

金明炫<sup>†</sup>, 金兌燁<sup>\*</sup>, 安鎬均<sup>\*\*</sup>, 朴勝圭<sup>\*\*\*</sup>

### One-Chip and Control System Design of Low Cost for Micro-stepping Drive of 5-Phase Stepping Motor

Myung-Hyun Kim, Tae-Yeop Kim, Ho-Kyun Ahn, and Seung-Kyu Park

#### 요 약

스테핑 모터의 위치 분해능을 향상하고 기계적 공진을 방지하기 위한 제어방법으로 마이크로 스텝 구동방식이 많이 이용되고 있다. 이론적인 마이크로 스텝 구동방식은 정현파를 기준신호로 사용하며, 마이크로프로세서 및 ROM을 사용함으로써 구동회로가 복잡하고, 가격이 증가하는 단점을 가지게 된다. 본 연구에서는 기준신호를 사다리꼴 파형으로 사용함으로써 제어회로를 간략화하고 저가의 제어장치로 마이크로 스텝 구동방식을 구현하는 방법을 제안하고 있다. 제안한 방식을 검증하기 위하여 저가의 CPLD(EPM9320RC208-15)를 이용하여 구동장치를 구성하였으며, 실험을 통하여 기존의 방식과 성능을 비교하였다. 또한 CPLD 내부에 고속검출회로를 구현하여 고속 구동시 모터의 탈조를 방지하였다.

#### ABSTRACT

Micro stepping method is adopted in order to eliminate effectively the resonant phenomena and to increase the positional resolution. Exist micro-step method by using Sinusoidal waveform, drive circuit is complex by using micro controller and ROM, it have fault on cost increase. This paper proposed trapezoidal current waveform for simple control circuit and micro stepping method by using a low cost controller. This paper proposed method verify by using CPLD(EPM9320RC208-15) of low cost. This paper make experiment that comparison of exist method and proposed method. This paper obstruct a escape of motor by using high speed detect.

**Key Words** : One Chip, Micro Stepping Drive, 5 Phase, Pentagon Type

#### 1. 서 론

펄스 모터라고도 불리는 스테핑 모터는 고정자와 회전자의 극 간격을 서로 다르게 하여 고정자 간의 각

극을 순차적으로 여자 함으로써 한번에 고정자 사이각과 회전자 사이각의 차만큼 움직일 수 있도록 한 구조의 모터로 고정자와 회전자 사이에 흡인력 혹은 반발력에 의하여 입력펄스 신호에 의하여 각 상의 권선에 전류를 여자시킴으로써 입력 펄스 신호에 비례하여 일정한 회전각으로 회전하는 모터이다.

특히 다른 모터에 비해 정지시 매우 큰 유지토크(Holding torque)를 가지고 있으므로 별도의 유지 장치가 필요하지 않다. 또 위치 오차가 누적되지 않아 open-loop 제어가 가능하며, 기동, 정지, 정·역전의

<sup>†</sup> 교신저자 : 정회원, 부산기능대학 전기계측제어과 조교수.

E-mail : mhkim21@naver.com

\* 정회원, 창원대 전기공학과 시간강사

\*\* 정회원, 창원대 전기공학과 부교수

\*\* 정회원, 창원대 전기공학과 교수

접수일자 : 2003. 8. 27 1차 심사 : 2003. 9. 4

2차 심사 : 2003. 9. 29 심사완료 : 2003. 11. 3

응답성이 우수하고, 구동회로가 비교적 간단하며, 브러시 교환 등의 보수가 필요 없다. 이러한 장점으로 시스템의 구성시 신뢰성 향상 및 저가격화가 가능하게 된다.

하지만 고속 운전시 토크가 감소하고 탈조하기 쉬우며, 저속 운전시 진동 및 공진 현상이 발생되기 쉽다. 이것은 스텝핑 모터의 기계적인 구조로 인한 것으로 펄스 구동시 회전자가 관성에 의해 진동하면서 다음 극에 정지하게 됨으로써 소음과 진동을 발생시키게 된다. 이러한 저속 운전시의 문제점을 해결하기 위해 마이크로 스텝(Micro-step) 구동 방식이 사용되고 있다.<sup>[1]</sup>

마이크로스텝 구동방식은 각 상의 여자 전류의 크기를 제어하여 많은 미세각으로 분할하여 구동하는 여자 방식이다. 한 스텝을 원하는 미세 스텝으로 분할하여 구동함으로써 위치 정밀도 향상, 속도 리플의 감소, 공진현상 저감과 더불어 운전 속도 및 토크의 증가 등의 많은 성능 향상을 이룰 수 있다.<sup>[2]</sup>

이러한 마이크로 스텝 구동은 토크 리플을 감소시키기 위하여 정현파가 사용되고 있다. 정현파를 이용한 마이크로스텝 구동방식의 구현을 위해 마이크로프로세서 및 ROM을 이용하여 구동회로를 구성하는 방법이 많이 사용되고 있으며, 구동회로의 가격 및 크기가 증가하는 단점을 가지게 된다.<sup>[3][4]</sup>

본 논문에서는 5상 펜타곤 결선방식 스텝핑 모터의 마이크로스텝 구동을 위해 정현파 여자방식을 사다리꼴 파형으로 대체함으로써 기존의 구동장치와 유사한 성능의 마이크로스텝 구동이 가능함을 제안하고 있다. 제안한 방식을 검증하기 위해 저가의 CPLD(EPM 932)RC208-15)를 이용하여 제어장치를 구성하고 실험을 수행하였다. 또한 고속운전시 탈조현상을 방지하기 위해 고속검출회로를 CPLD 내부에 구현하여 고속운전시 보다 안정적인 특성을 가지도록 제어장치를 구성하였다.

## 2. 스텝핑 모터의 구동방식

### 2.1 5상 마이크로 스텝구동

각 상의 전류를 제어하여 기계적으로 정해진 스텝각을 다분할화하여 구동하는 방식을 미소각(mini step) 구동방식이라 부른다. 즉, 스텝핑 모터의 구동회로를 구성하는 출력소자의 on·off duty를 변화시키는 것에 의해 각 상의 여자전류를 제어하고 미소각 구동을 행할 수 있다.

그림 1은 5상 스텝핑 모터의 1상 여자시의 마이크로 스텝 여자 순서도이다. 이 그림에서 ①은 A상의 고정자와 회전자의 치가, ②는 B상의 고정자와 회전자의 치가 일치되는 부분이다. 마이크로스텝 구동은 ①~②의 구간에 있는 어떤 점에서 회전자가 정지하게 하는 것이다. 이를 위해 A상의 전류가 하강할 때 정현적이어야하며, 또한 B상의 전류도 정현적이어야 한다. 그 결과 서로의 토크가 ①~②구간 사이의 어느 점에서도 평형을 유지하여 마이크로스텝 구동을 실현할 수 있다.

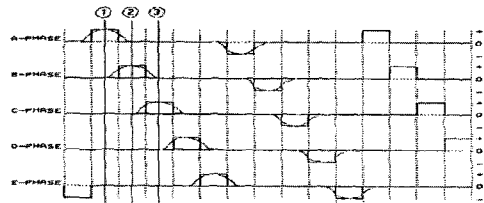


그림 1 5상 스텝핑 모터의 1상 여자시 마이크로 스텝핑 여자 순서도

Fig. 1 Excitation sequence in the micro-step operation of one-phase-on mode for a five-phase stepping motor

펜타곤 결선 방식의 5상 스텝핑 모터는 직접 상 권선에 전류를 인가하는 것이 아니라, 두 상이 묶여져 있는 제어선에 상전류를 인가해야 한다.<sup>[1]</sup> 펜타곤 결선 방식의 5상 스텝핑 모터는 모터의 구조상 4상 또는 4-5상 여자방식으로만 구동이 가능하다.<sup>[5]</sup> 마이크로 스텝핑 4상 여자방식은 1상 여자방식과 유사하다. 마이크로 스텝핑 구동하기 위해서는 전류의 변화가 급격한 구형적인 파형보다는 부드러운 정현적인 파형이어야 한다. 왜냐하면, 정현적인 형태가 되지 않으면 토크의 평형이 깨어지기 때문이다.

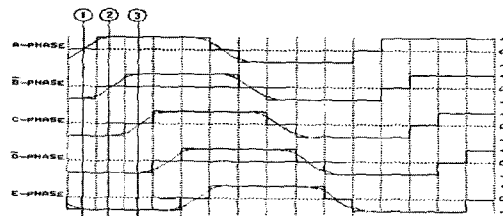


그림 2 5상 스텝핑 모터의 4상 여자에서 마이크로 스텝핑 여자 순서도

Fig. 2 Excitation sequence in the micro-step operation of four-phase-on mode for a five-phase stepping motor

그림 2의 ①~②구간에서 상전류를 보면, B상의 전류가 흐르려다 멈추려 하고 있고, A상의 전류는 멈추었다가 전류가 증가하려 한다. 구간 ②~③에서도 C상의 전류는 감소하여 멈추려 하고 있고, B상의 전류는 증가하고 있다. 위와 같은 여자 시퀀스에 따라 상전류를 정현적인 형태로 유지하면, 5상 스텝 모터의 한 주기를 원하는 분해능으로 세분화하여 미소각 구동을 할 수 있다.

전동기가 이상적인 경우 여자전류는 정현파 형태를 가지게 된다. 하지만, 디텐트 토크를 고려하면 3고조파가 포함되어야 하며, 부하손과 마찰손까지 고려하면 전류 파형은 5고조파까지 포함되어야 한다. 이와 같은 성분이 고려하여 이상적인 마이크로 스텝 구동을 위해서는 정현파에 3차, 5차 고조파를 함유시킨 여자전류를 필요로 하게 된다.

본 논문에서는 유사 정현파로서 3차 및 5차 고조파를 함유한 사다리꼴 여자방식을 제안하고 있다. 그림 3과 4는 4상 여자방식과 4-5상 여자방식에서 제안된 여자전류 파형이다.

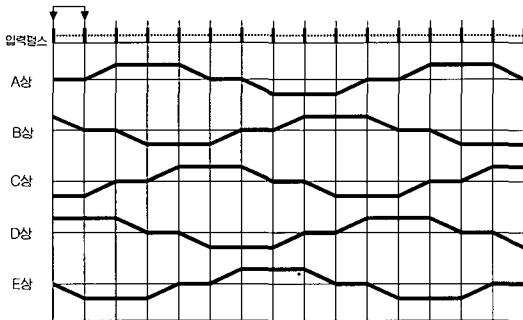


그림 3 4상 여자방식의 제안된 전류 파형  
fig. 3 Proposed current waveform for four-phase-on mode

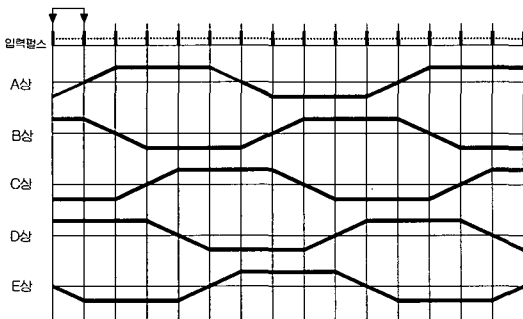


그림 4 4-5상 여자방식의 제안된 전류 파형  
fig. 4 Proposed current waveform for four-five-phase-on mode

그림 3은 각 상전류 파형을 무여자 상태를 포함한 여자 시퀀스를 나타낸다. 이 파형은 4상 여자방식을 일반화 시킨 형태로 매 주기마다 일반스텝의 한 주기를 여자 하지 않는 것이 특징이다.

그림 4는 각 상전류 파형을 무여자 상태가 없이 모든 상을 여자 시키는 여자 시퀀스를 나타내고 있다. 이 파형은 4-5상 여자방식을 일반화 시킨 형태로 4상여자 방식에 비해 보다 좀더 정현파에 근접해 있음을 볼 수 있다.<sup>[5]</sup>

위와 같이 사다리꼴의 여자방식을 이용함으로써 디지털화가 용이하게 되며, 시스템의 신뢰성 향상, 소형 경량화 및 저가격화를 시킬 수 있게 된다. 본 논문에서는 제어시스템을 CPLD를 이용하고 여자방식으로 그림 4와 같은 4-5상 여자방식을 적용하였다.

### 2.2 5상 마이크로 스텝 모터의 토크 방정식

5상 HB형 펜타곤 결선방식의 스텝핑 모터의 각 상 전류는 전기각으로  $2\pi/5$ 의 위상차이를 갖는 계단상의 5상 유사 정현파이다. 이러한 상전류에 의한 5상 스텝핑 모터의 각 상 토크  $T_a, T_b, T_c, T_d, T_e$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_a = KI_m \sin(\omega t - \alpha) K_t \sin(\theta)$$

$$T_b = KI_m \sin(\omega t - \frac{2}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{2}{5} \pi)$$

$$T_c = KI_m \sin(\omega t - \frac{4}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{4}{5} \pi) \quad (1)$$

$$T_d = KI_m \sin(\omega t - \frac{6}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{6}{5} \pi)$$

$$T_e = KI_m \sin(\omega t - \frac{8}{5} \pi - \alpha) K_t \sin(\theta - \frac{8}{5} \pi)$$

여기서, K는 결선방식에 의해 변하는 전류진폭비율 = 상코일전류/입력단자전류 이며,  $\alpha$ 는 상코일전류와 입력단자전류의 위상차이,  $I_m$ 은 흘리는 전류의 최대치,  $\omega$ 는 전류 각속도, t는 시간,  $K_t$ 는 정수,  $\theta$ 는 상코일 A가 배치되는 각도이다.

식 (1)의 각 상의 토크를 모두 합성하면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} T &= T_a + T_b + T_c + T_d + T_e \\ &= \frac{5}{2} KI_m K_t \cos(\omega t - \alpha - \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

이 식은 5상의 정현파 전류 주기분의 변화로 합성 토크의 벡터가 회전자치의 이 피치분 회전하는 것을 나타내고 있다.<sup>6)</sup>

2.3 CPLD 설계

실제 상용 시스템에서는 마이크로 프로세서와 ROM을 이용하여 상전류 파형을 정현적인 형태로 구현하지만, 회로가 복잡하고 디지털 적으로 구현 하기가 힘들다.<sup>7)</sup>

본 논문에서 제안한 방식은 이러한 문제점을 CPLD로 구성함에 따라 회로 구성이 간결해 지고, 회로를 디지털 적으로 구성함에 따라서 노이즈에 강해지고 각종 디지털 장비와 인터페이스가 쉽게 이루어진다. 다음 그림 5에서는 본 논문에서 제안한 시스템의 CPLD 내의 블록도를 보여준다.

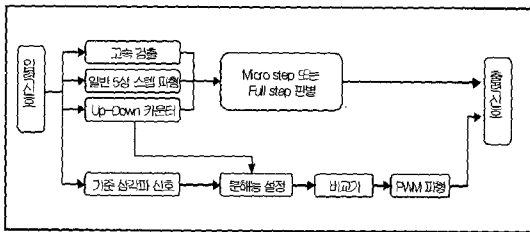


그림 5 CPLD 내부 블록도  
Fig. 5 CPLD block diagram

2.3.1 입력신호

본 논문에서 마이크로 스텝 구동을 위한 입력은 펄스나 방향을 위해 CW, CCW, CM의 입력을 사용하였다. 표 1은 이 세 가지 입력에 의한 동작모드를 나타낸다.

표 1 동작모드  
Table 1 Operation mode

|     | CM=1<br>(One-pulse mode) |       | CM=0<br>(Two-pulse mode) |               |
|-----|--------------------------|-------|--------------------------|---------------|
| CW  | [Pulse train]            |       | [Pulse train]            | [High level]  |
| CCW | low                      | high  | [High level]             | [Pulse train] |
| 방향  | 반시계방향                    | 시계 방향 | 시계방향                     | 반시계 방향        |

마이크로 스텝 구동용 모터 드라이버는 입력단에 상위 제어장치로부터 펄스 신호를 받아 정해진 각도만큼 회전하며 속도를 제어하게 된다.

표 1에서 CM이 1이면 One Pulse 방식으로 펄스는 CW로만 입력이 되고 CCW에 의해서 방향이 결정된다. CM이 0일 때 Two pulse 방식으로 펄스는 CW 와 CCW로 입력이 되고, 방향은 각 입력에 따라서 달라진다.

2.3.2 고속검출

PWM신호는 입력된 펄스신호와 기준 삼각파신호를 비교하여 발생시키게 된다. 하지만 전동기의 속도가 일정이상 상승하게 되면, 입력 주파수가 기준 삼각파의 주파수보다 높은 경우가 발생하게 된다.

그림 6은 고속 검출회로 기능을 나타내고 있다. 펄스신호의 주파수가 기준 삼각파 주파수보다 낮은 경우 PWM의 발생이 가능하다. 하지만 펄스신호의 주파수가 기준 삼각파 주파수보다 높은 경우 PWM 신호를 만들지 못하게 되며, 모터는 탈조하거나 진동현상이 발생하게 된다. 따라서 모터의 고속회전은 입력 펄스신호의 주파수와 기준 삼각파 주파수를 비교하여 판별하게 된다.

마이크로 스텝구동의 동작속도를 초과한 속도에서 모터의 탈조 현상을 방지하기 위해 마이크로 스텝구동을 강제적으로 일반 스텝구동 방식으로 전환하여 운전하게 하게 된다.

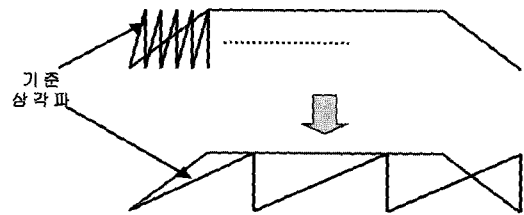


그림 6 고속 검출 가능  
Fig. 6 High Speed Detection

2.3.3 일반 5상 스텝 파형

일반 스텝 구동을 위해서 그림 2의 4상 여자 시퀀스를 이용하였다. 또한 고속운전 검출시 4상 여자 방식을 사용하여 일반스텝으로 강제 구동하게 된다.

2.3.4 기준 삼각파 및 사다리꼴 파형

기준 삼각파 및 사다리꼴 파형을 생성하기 위해 Up-Down 카운터를 사용하였다.

2.3.5 Micro Step 또는 Full Step

본 논문에서 구현한 5상 스텝핑 모터 시스템은 일반 스텝과 마이크로 스텝으로 동작하게 된다. 외부에 연결된 스위치의 입력을 받아서 마이크로 스텝 구동과 일반 스텝 구동을 결정하며, 마이크로 스텝 구동시 고속영역에서 일반 스텝으로 구동하게 된다.

2.3.6 분해능 설정

마이크로 스텝 구동을 위해 여러 분해능에서 동작할 수 있도록 기능을 부여하였다. 일반 스텝의 1/2, 1/5, 1/10, 1/25, 1/50, 1/125, 1/250을 가지게 하였다.

2.3.7 기타 사항

Hold Off 기능을 두어 모터에 전류를 차단하는 기능을 두었고, Over Heating 기능으로 드라이버가 과열되면 온도 센서에 의해 검출하고, 그 값을 입력으로 받아들이어 모터를 보호하게끔 하였으며, 자기 진단기능을 위한 Self Test용 주파수 및 고속 검출용 기준 주파수를 입력으로 받아들인다.

그리고, Auto current down 기능을 두어 스위치 입력에 의해 사용할 것인지를 설정 할 수 있으며, 펄스 입력 유무를 검출하여 자동적으로 전류를 줄이는 기능을 두었다.

3. 실험 및 결과

그림 7는 본 연구에서 제안한 여자 방식의 타당성을 검증하기 위하여 구성한 제어 장치의 블록도이다.

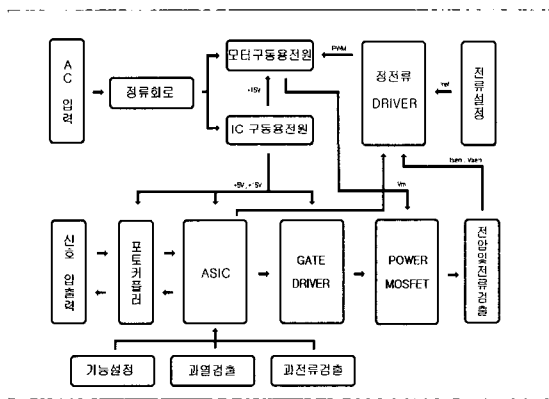


그림 7 시스템 구성도  
Fig. 7 System Configuration

그림 8은 실험에 사용한 시스템 및 제어보드의 사진이다.



그림 8 시스템 구성 (a) 실험용 시스템 (b) 제어보드  
Fig. 8 System Configuration  
(a) test system (b) control board

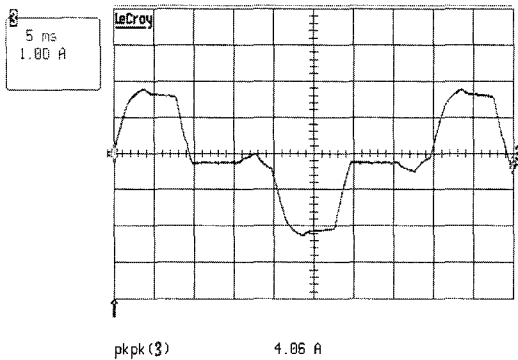
그림 7의 하드웨어 시스템 구성도에서 입력펄스의 입출력 부분은 신호의 전기적인 절연 및 노이즈 방지를 위해 고속의 포토커플러(TLP115A)를 사용하였다. CPLD의 내부기능으로는 마이크로 스텝 구동을 위한 시퀀스를 포함하여, 고속검출기능, 과열 및 과전류 검출기능, 정지 및 구동전류 설정기능을 포함한 다양한 기능들을 부과하였다. Gate Drive로는 단일전원으로 H-bridge 구동이 가능한 Free Drive(IR2110S)를 사용하여 Charge Pump 방식의 구동을 통하여 전체 회로를 간략화 하였다. 정전류 구동을 위해서는 저가의 PWM IC(uPC494)를 이용하여 Step-down(Buck) 컨버터를 설계하였다.

본 논문의 실험대상 모터는 Oriental Motor사의 PK569-NA로서 제품의 사양은 다음과 같다.

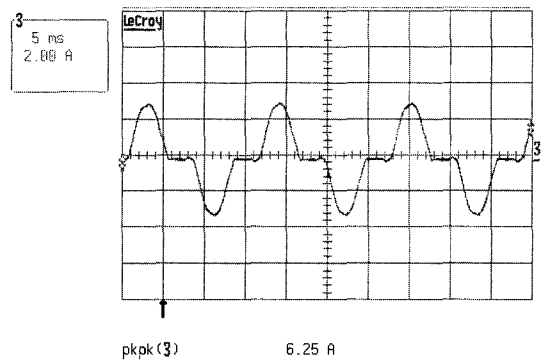
표 2 Motor 사양  
Table 2 Motor specification

| TYPE            | HYBRID TYPE          |
|-----------------|----------------------|
| STEP            | 0.72°/ STEP          |
| PHASE           | 5                    |
| 결선방식            | PENTAGON             |
| 정격전류            | 1.4A/PHASE           |
| 권선 저항           | 1.7Ω/PHASE           |
| 여자최대정지 TORQUE   | 1.66 kgcm            |
| ROTOR 관성 MOMENT | 560 gcm <sup>2</sup> |

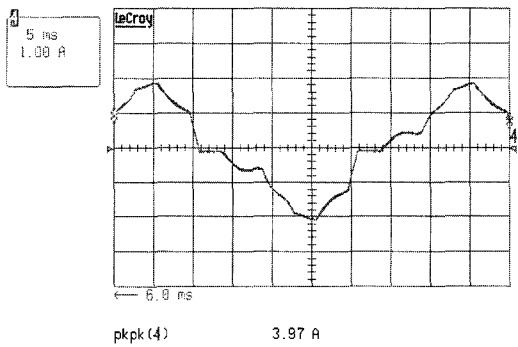
본 논문이 제안한 방식의 타당성을 검증하기 위해 기존의 상용제품(일본)과 그림 8의 구동 시스템의 성능을 비교 분석하였다. 아래의 실험은 일반 스텝과 마이크로 스텝으로 구동시 각 상에 인가되는 상전류 파형을 비교한 것이다. 하지만, 마이크로 스텝 구동시에 상용제품이 분해능 설정 범위가 제한되어 있어 유사한 분해능으로 설정하여 수행하였다.



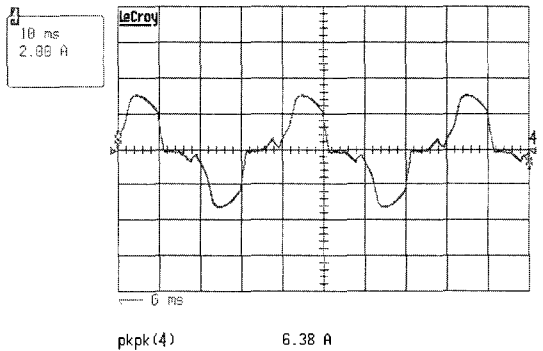
(a) 제안한 일반스텝 30rpm에서의 상전류 파형  
 (a) Phase current waveform in the proposed full-step operation at 30rpm



(a) 제안한 1/25 마이크로 스텝 30rpm에서의 상전류 파형  
 (a) Phase current waveform in the proposed 1/25 micro-step operation at 30rpm



(b) 기존의 상용제품(일본A사) 일반스텝 30rpm에서의 상전류 파형  
 (b) Phase current waveform in the full-step operation of an commercial product at 30rpm



(b) 기존의 상용제품(일본A사) 1/20 마이크로 스텝30rpm에서의 상전류 파형  
 (b) Phase current waveform in the 1/20 micro-step operation of an commercial product at 30rpm

그림 9 일반스텝의 상전류 비교 파형

Fig. 9 Comparison of phase current waveforms in the full-step operation

그림 9은 일반스텝의 30rpm에서 상전류 파형을 비교한 것이다. 기존의 제품은 4-5상 여자방식을 사용하고 있으며, 구성된 시스템은 4상 여자방식을 사용하고 있어 상전류 파형의 차이가 관찰되고 있다.

그림 10에서 상용제품은 일반스텝의 1/20의 분해능에서 본 논문은 일반 스텝의 1/25의 분해능에서 상전류 파형을 비교 하였다. 두 파형을 비교하면 유사한 형태를 취하고 있으나 본 논문의 상전류 파형이 좀더 정현파와 구동과 유사한 상전류 파형을 보여준다.그림11는 고 분해능에서의 상전류 파형을 비교 하였다. 본 논문에서의 분해능은 1/250이나 기존의 상용 제품은 1/80이 한계치여서 비교 파형이 다르나

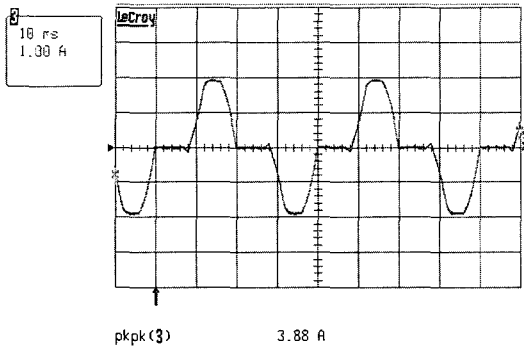
그림 10 마이크로 스텝의 상전류 비교 파형

Fig. 10 Comparison of phase current waveform in the micro-step operation

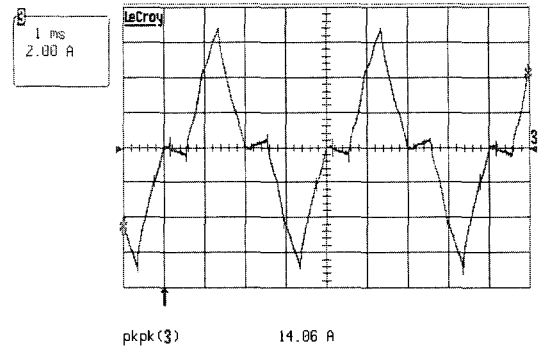
그림 11의 비교 파형과 비슷한 파형의 형태를 볼 수 있다. 고 분해능에서도 본 논문의 상전류 파형이 좀더 정현파와 구동과 유사한 상전류 파형을 보여준다.

본 논문에서는 고속 검출 회로를 추가하여 모터의 Pulse 주파수가 기준 삼각파 주파수보다 높아지면 일반 스텝으로 운전하게 하며 모터의 탈조 현상을 방지할 수 있다. 그림 12는 고속시의 제안된 방식과 기존의 방식의 상전류 파형을 나타내고 있다.

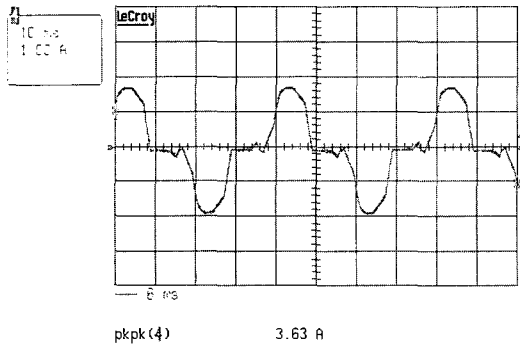
그림 12의 결과로 기존의 상용제품이(일본A사) 마이크로 스텝 구동시 고속에서 탈조 방지를 위



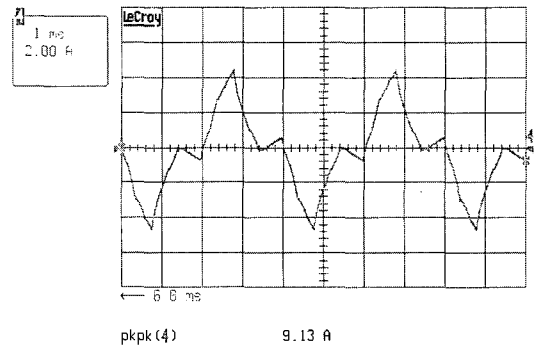
(a) 제안한 1/250 마이크로 스텝 30rpm에서의 상 전류 파형  
 (a) Phase current waveform in the proposed 1/250 micro-step operation at 30rpm



(a) 제안한 1/250 마이크로 스텝 300rpm에서의 상 전류 파형  
 (a) Phase current waveform in the proposed 1/250 micro-step operation at 300rpm



(b) 기존의 상용제품(일본A사) 1/80 마이크로 스텝 30rpm에서의 상 전류 파형  
 (b) Phase current waveform in the 1/80 micro-step operation of an commercial product at 30rpm



(b) 기존의 상용제품(일본A사) 1/80 마이크로 스텝 300rpm에서의 상 전류 파형  
 (b) Phase current waveform in the 1/80 micro-step operation of an commercial product at 300rpm

그림 11 마이크로 스텝의 상전류 비교 파형

Fig. 11 Comparison of phase current waveform in the micro-step operation

그림 12 고속에서의 상전류 비교 파형

Fig. 12 Comparison of phase current waveform at the high speed

하여 일반스텝으로 변환되는 특성이 본 논문에서 탈조 방지를 위해 제안한 방식과 유사하게 나오는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 제안한 방식이 실험결과를 통하여 기존의 마이크로 프로세서와 ROM을 이용하여 정현적인 파형으로 제어하는 방식과 특성면에서 큰 차이가 나지 않아 기존의 회로를 본 논문에서 제안한 방식의 회로로 대체할 수 있으며, 분해능이 높아짐에 따라 전류 파형이 정현파와 유사하게 변화했으며, 회전시 진동과 소음이 많이 줄어들었다. 저가형 CPLD를 이용함으로써 전체적인 회로의 부피가 작아지고 보호회로와

제어회로를 모두 CPLD에 내장하여 디지털의 구동으로 신뢰성 및 시스템의 부피가 작아지고 부품수량이 줄어 회로가 간략해 졌다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 5상 펜타곤 결선 스텝 모터의 구동방식으로 사다리꼴 파형을 제안하고 있다.

제안한 방식의 구현시 기존의 ROM 및 마이크로프로세서를 이용한 정현적인 파형으로 제어하는 경우보다 제어회로가 간략화 됨으로써 저가의 CPLD를 이용

이 가능해 졌으며, 시스템의 신뢰성 향상 및 제품의 저가격화가 가능하였다. 특히, 스텝모터의 사용 특성상 여러 개의 스텝 모터를 이용하는 정밀 구동 시스템에 적용이 용이하며 큰 가격 경쟁력을 가질 수 있는 장점을 가진다.

정현적인 파형을 사용한 마이크로스텝 구동과 제시한 방법이 마이크로 스텝 영역에서 매우 유사한 특성을 보임을 실험을 통하여 검증하였다.

또한 고속 검출 회로를 추가하여 모터의 펄스 주파수가 기준 삼각파 주파수보다 높아지면 일반 스텝으로 운전하게 하여 모터의 탈조 현상을 방지하였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] T.Roland Fredriksan. "Microstepping-A New Control Concept for Rotary Step Motor", *IMCSD*, pp. HH-1~HH-6, 1975.
- [2] E.K. Pritchard, "Mini-stepping motor drivers", proc. of 5th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. Q-1~Q-11, 1976.
- [3] Howard P.Layer, "Digital Sine-Cosine Ministepping Motor Drive", *IMCSD*, pp. 179~183, 1977.
- [4] E.K. Pritchard, "Concepts and characteristics of Ministepping", proc. of 9th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. 229~242, 1980.
- [5] Guenther Heine, "A FIVE-Phase PM stepping motor for maximum range in resolution and response", *IMCSD*, pp .K-1~K18, 1975
- [6] Takashi Kenjo, "Stepping motors and their microprocessor controls" Clarendon press. oxford, pp. 89~120, 1984.
- [7] J.Biran, "A high performance drive system and control IC for microstepping application", *Motor-con*, pp. 215~230, 1986.

## 저 자 소 개



### 김명현(金明炫)

1963년 10월 9일생. 1992년 부경대 전기공학과 졸업. 1995년 동의대 전기공학과 졸업(석사). 2000년 창원대 전기공학과 박사과정 수료. 1996~현재 부산기능대 전기계측제어과 조교수.



### 김태엽 (金兌燁)

1971년 1월 28일생. 1995년 창원대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(공학). 1997~현재 창원대 전기공학과 시간강사.



### 안호균(安鎬均)

1958년 1월 14일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1992~현재 창원대 전기공학과 부교수.



### 박승규(朴勝圭)

1960년 4월 15일생. 1984년 고려대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990~현재 창원대 전기공학과 정교수.