

## 2상 하이브리드 스텝 모터의 미세스텝 구동회로의 설계 및 제작에 관한 연구

이광운, 장원식, 박정배, 여형기, 유지윤  
고려대학교 전기공학과

### A Study on Design and Implementation of Microstepping Driver of Two Phase Hybrid Step Motor

Kwang-Woon Lee, Won-Sik Jang, Jung-Bae Park, Hyung-Gee Yeo, Ji-Yoon Y  
Department of Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - Open loop microstepping control of two phase hybrid step motors provides enhanced step resolution, smoothness of operation, and removes most of the objectionable resonance phenomena. In this paper, we discuss the technigues about design and implementation of microstepping driver of two phase hybrid step motors.

있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 성능면에서 우수하고 적은 비용으로 제품화가 가능한 미세스텝 구동회로를 개발하고자 한다.

본 연구에서 개발한 미세스텝 구동회로는 16비트 마이크로 콘트롤러를 내장하며, 2상 하이브리드 스텝 모터의 1 회전 스텝을 최대 128개의 미세스텝으로 분할하여 구동할 수 있는 위치 분해능과 모터에서 발생하는 열을 줄이기 위한 전류 절약 모드로의 진입 기능을 지원한다.

#### 1. 서 론

스텝 모터는 입력 펄스에 동기하여 일정 각도씩 회전하고 위치 오차가 누적되지 않으며, 구동회로가 비교적 간단하다는 장점으로 인하여 각종 산업용 기기에서 개루프 제어의 형태로 널리 사용되고 있다. 그러나 스텝 모터는 저속 영역에서 구동시 많은 진동이 발생하고, 모터의 공진영역에서 운전할 때는 쉽게 탈조하며, 입력 펄스에 대한 모터의 회전각이 정해져 있어 적은 토크 맥동과 세밀한 위치 제어가 요구되는 분야에는 사용하기가 곤란하다.[1] 이러한 문제점들을 개선하기 위해 스텝 모터를 미세스텝으로 구동하는 방식이 1970년대 중반에 제안되었으며[2], 그 이후로 이에 대한 많은 연구가 진행되어왔다.

스텝 모터의 미세스텝 구동은 상 전류를 제어하여 모터를 일반 구동 방식에서의 회전각보다 더 세밀한 미세각으로 회전시키는 방식으로, 스텝 모터를 미세스텝으로 구동하면 세밀한 위치 제어가 가능해지며, 공진 영역에서의 문제점들을 개선할 수 있고, 토크 맥동을 줄여 저속 회전시에도 진동이 거의 발생하지 않는 특징이 있다.[3] 미세스텝으로 구동되는 스텝 모터를 사용하면 적은 비용으로 서보 시스템 구현이 가능하기 때문에, 현재 미세스텝 구동회로는 소형 정밀 기계 및 중·소형 천체 망원경 등 세밀한 위치 제어 및 적은 토크 맥동이 요구되는 분야에 널리 사용되고 있다. 그러나 아직 국내에서는 미세스텝 구동 회로에 대한 개발 및 제품화가 미진하여 대부분의 수요를 외국 제품에 의존하고

#### 2. 미세스텝 구동을 위한 모터 상 전류 파형

2상 하이브리드 스텝 모터에서 코깅(cogging) 토크 성분을 고려하지 않을 때, 모터의 발생 토크는 각 상에 흐르는 전류와 회전자의 전기각의 함수로 표현되어지며 식 (1)과 같다.[4]

$$T = -K_0 I_a \sin \theta_e + K_0 I_b \cos \theta_e \quad (1)$$

식 (1)에서  $K_0$ 는 모터의 토크 상수,  $I_a$ 와  $I_b$ 는 모터의 상 전류, 그리고  $\theta_e$ 는 회전자의 전기각을 나타낸다. 모터의 상 전류  $I_a, I_b$ 를 식 (2)와 같이 제어해 주면 모터의 토크 방정식은 식 (3)과 같이 표현되어진다.[4]

$$I_a = I_R \cos \phi, \quad I_b = I_R \sin \phi \quad (2)$$

$$T = K_0 I_R \sin(\phi - \theta_e) \quad (3)$$

식 (2), (3)에서  $I_R$ 은 모터의 정격 전류를 의미한다. 식 (3)으로부터 모터의 토크 평형점은 회전자의 전기각  $\theta_e$ 와 상 전류의 위상각  $\phi$ 가 동일한 곳에 위치하며, 전류 위상각  $\phi$ 를 일정 미세각씩 변화시킴으로써 모터의 회전자를 미세스텝으로 회전시킬 수 있음을 알 수 있다.

#### 3. 미세스텝 구동회로의 구성

본 연구에서 개발한 미세스텝 구동회로는 상 전

류 기준 파형 발생부, 전류 제어부, PWM부, 그리고 H-Bridge로 구성되며, 전체 구성은 그림 1과 같다.

상 전류 기준 파형 발생부는 마이크로 콘트롤러 80C196KC와 2개의 8비트 DAC로 구성되며, 미세스텝 구동을 위한 모터 각 상의 전류 기준 파형을 만들어 준다. 전류 제어부는 상 전류 기준 파형과 모터의 상 전류를 비교하여, 상 전류가 기준 파형을 추종하도록 제어 신호를 만들어 PWM부로 입력시켜준다. H-Bridge는 n-채널 MOSFET를 사용하여 구성하였으며, 게이트 드라이브 전용 IC인 IR2110을 사용하여 H-Bridge를 구성하는 스위칭 소자들을 단일 전원으로 구동하게 하였다. H-Bridge가 유니폴라 전압 스위칭 동작을 하도록 PWM부를 구성하였으며[4], MOSFET의 스위칭 주파수는 20kHz로 설정하였다. 모터의 상 전류 검출을 위해 저가의 홀(Hall) 소자를 사용하였다.

모터 구동용 전원으로 외부에서 18~36V 사이의 DC 전원을 공급받도록 하였으며, 미세스텝 구동회로에 DC-DC 컨버터를 내장시켜 모터 구동용 DC 전원으로부터 5V, ±12V 전원을 얻어내어 미세스텝 구동회로의 내부 회로 전원으로 사용하였다.

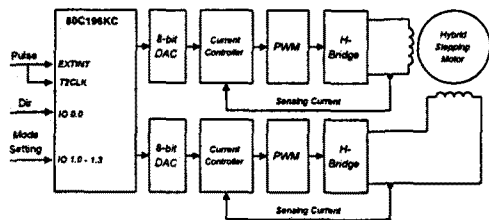


그림 1. 미세스텝 구동회로의 하드웨어 구성도

### 3.1 마이크로 콘트롤러의 소프트웨어 구성

미세스텝 구동회로에 전원이 인가되면, 마이크로 콘트롤러 80C196KC는 모터의 상 전류 기준 파형을 메모리에 저장하고, 미세스텝 구동회로의 미세스텝 분해능을 설정한다.

80C196KC는 외부에서 펄스 신호가 입력될 때마다 전류 기준 파형이 저장되어 있는 메모리 영역을 가리키는 포인터 변수를 순차적으로 증감시켜 가면서 전류 기준 파형을 읽어서 DAC로 출력한다. 포인터 변수의 증감 여부는 방향 신호에 의해 결정된다. 외부에서 입력되는 펄스 신호를 80C196KC의 인터럽트 단자 EXTINT와 내부 카운터 단자 T2CLK에 연결하였고, 펄스 신호에 의해 인터럽트가 요청되게 하였다. 인터럽트가 걸릴 때마다 포인터 변수를 1씩 증감시키면서 전류 기준 파형을 읽어내면 펄스 신호의 주파수가 높아지는 경우 80C196KC의 인터럽트 응답 주파수의 한계로 인해 적절한 전류 기준 파형을 만들어내지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인터럽트 서비스 루틴에서 현재 내부 카운

터의 값과 이전 인터럽트 요청시의 카운터 값을 비교하여 하나의 인터럽트가 요청되기까지 몇 개의 펄스가 입력되었는지를 판별하고, 전류 기준 파형을 읽어낼 때 포인터 변수를 입력된 펄스 수 만큼 증감시키게 하였다.

스텝 모터를 장시간 구동시킬 때는 권선의 저항 성분으로 인해 모터에서 많은 열이 발생하며, 이로 인해 모터의 절연이 파괴되는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 미세스텝 구동회로가 1초가 지나도록 펄스 신호를 입력받지 못하면 모터의 상 전류 기준값을 일정하게 줄여주는 전류 절약 모드로 동작하도록 소프트웨어를 구성하였다. 마이크로 콘트롤러의 소프트웨어 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

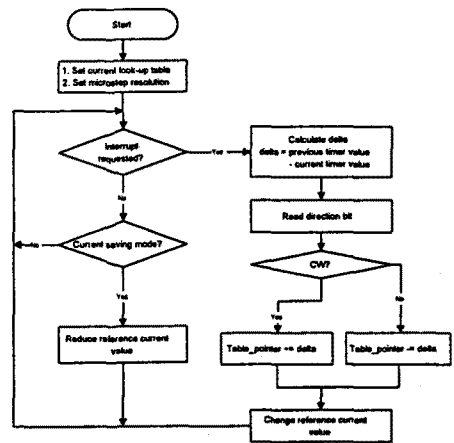


그림 2. 마이크로 콘트롤러의 소프트웨어 흐름도

### 3.2 전류 제어기의 구성

모터의 상 전류 제어를 위해 구성한 전류 제어기는 그림 3과 같다.

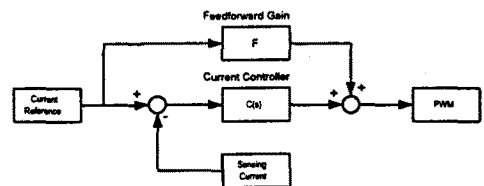


그림 3. 전류 제어기의 구성

전류 제어기는 1차 시스템으로 구성하였다. 전류 기준 파형의 최대 주파수를 2.5kHz로, 스위칭 소자의 스위칭 주파수를 20kHz로 설정하였기 때문에 전류 제어기의 차단 주파수는 5kHz로 설정하여 스위칭으로 인한 잡음 성분들을 전류 제어기에서 감쇄시키도록 하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 설계, 제작한 미세스텝 구동회로의 성능을 검증하기 위해 사용한 모터는 Parker Hannifin社의 OEM57-83이라는 제품으로, 그 사양을 표 1에 나타내었다. 모터에는 24V의 전압을 인가하였고, 상 전류의 최대치는 3A로 설정하였다.

표 1. 실험 모터의 사양

모터의 종류	하이브리드 스텝 모터
상 수	2
스텝각	1.8 degree
정격 전류	3 A/Phase
Static Torque	0.71 N-m
관성 모멘트(회전자)	0.234 kg-cm <sup>2</sup>
총 중량	1.1 kg

그림 4는 미세스텝 구동회로의 분해능을 128 미세스텝으로 설정하고, 모터를 0.01rps의 속도로 회전시킬 때의 모터의 상 전류 기준 파형과 실제 상 전류를 나타낸 것으로 3A의 전류가 흐를 때 홀 소자의 출력은 4V이다. 모터의 상 전류가 전류 기준 파형을 잘 추종함을 알 수 있다. 그림 5는 전류 절약 모드에서의 전류 감소치를 현재 상 전류의 50%로 설정했을 때, 전류 절약 모드로 들어가는 순간의 전류 기준 파형과 상 전류를 나타낸 것이다.

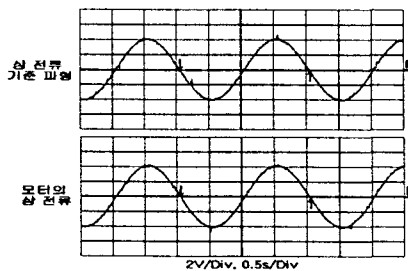


그림 4. 전류 기준 파형과 상 전류(0.01 rps)

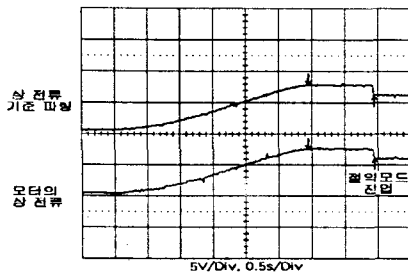


그림 5. 실험 결과(전류 절약 모드)

스텝 모터를 미세스텝으로 구동할 때, 각 미세스텝에서의 위치 오차를 측정하기 위해 모터의 회전축에 1회전당 128,000개의 펄스가 출력되는 광학식 엔코더를 부착하였다. 그림 6은 스텝 모터를 128 미세스텝으로 구동할 때의 위치 오차를 측정하기

위해 1 미세스텝 이동할 때마다 엔코더의 출력 펄스를 계수하여 그림으로 그린 것이다. 모터의 회전자에 입력펄스에 동기하여 일정 미세스텝씩 회전함을 알 수 있다.

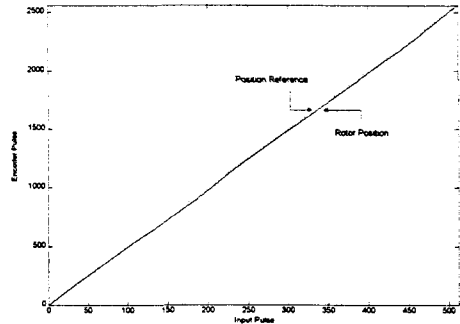


그림 6. 실험 결과(128 미세스텝, 엔코더 출력)

## 5. 결 론

본 연구에서는 2상 하이브리드 스텝모터의 미세스텝 구동회로를 설계, 제작하였다. 제작한 미세스텝 구동회로는 모터의 1회전 스텝을 최대 128개의 미세스텝으로 분할하여 구동할 수 있는 위치 분해능을 가지며, 모터에서 발생하는 열을 줄이기 위한 전류 절약모드를 지원한다. 미세스텝 구동회로의 성능 검증을 위해 모터의 회전축에 1회전당 128,000 펄스의 출력이 나오는 광학식 로터리 엔코더를 부착하여 실험하였으며, 그 결과를 통해 본 연구에서 설계, 제작한 미세스텝 구동회로가 모터의 1회전 스텝을 128개의 미세스텝으로 분할하여 구동할 수 있음을 확인하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Takashi Kenjo, Stepping motors and their microprocessor controls, Clarendon press. oxford, 1984.
- [2] T.R.Fredrikson "Microstepping-a new control concept for rotary step motors", proc. of 4th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. HH-1, 1975.
- [3] H.D. Chai, "Position error analysis for microstepping", proc. of 14th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. 265-274, 1985.
- [4] Ned Mohan et al., Power electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, 1989.