

5상 스텝모터의 미세스텝 구동방식에 의한 솔더링 머신의 성능향상

지 대 영*, 안 호 균*, 박 송 규*, 최 중 경*, 박 환 기**

* 창원대학교 ** (주) 오토닉스

(Tel:0551-79-7516; E-mail:AHOG@changwon.ac.kr)

Characteristic Improvement by using micro-step driver of 5 Phase step motor in soldering machine

Dae-Young Ji*, Ho-Kyun Ahn*, Seung-Kyu Park*

Jung-Keyng Choi*, Whan-Gi Park**

* Changwon National University ** Autonics

Abstract This paper is about improving characteristic of plant by using micro-step driver method in 5 phase step motor for satisfying the condition of low oscillation and high accuracy in soldering machine. We choose open loop control method for minimizing hardware system and use one chip microprocessor, power MOSFET and some device to realize accurate micro-step driver system.

1. 서론

스텝 모터는 연속적인 운동보다는 일정 크기의 이산적인 각 운동을 하는 구동 장치로 아날로그 구동형태의 전압보다는 펄스열 형태의 입력에 의하여 구동되는 경우에 매우 적합하다. 또한 한 개의 디지털 펄스 입력에 정확히 한 스텝각만큼 움직이므로 개루프 제어에 의해서도 정확한 위치 제어가 가능하다. 특히 스텝 모터는 직류 모터와 달리 브러쉬를 갖고 있지 않아 구조가 간단하고, 펄스입력에 의하여 구동 되므로 특별한 회로 없이도 디지털 컴퓨터나 마이크로 프로세서에 인터페이스가 쉽다. 그러나 스텝각이 정해져 있기 때문에 정밀한 제어를 할 수 없고 저속 회전시의 공진과 정지시 회전 관성으로 모터의 진동이 심하다는 단점이 있다.

1970년대 중반 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 미세스텝 이라는 새로운 스텝모터 구동방식이 제안되었다. 미세스텝 구동방식은 2상 여자를 일반화시킨 형태라고도 볼 수 있는데, 여자

된 두 상의 전류의 크기를 적절히 제어하면 지금의 디텐트 위치(Detent position)와 다음의 디텐트 위치와의 사이에 있는 임의의 위치로 제어된다. 이와 같이 한 스텝각을 원하는 미세 스텝각으로 분할하여 구동함으로써 위치 정밀도 향상, 속도 리플의 감소, 공진 현상 개선과 더불어 운전 속도 및 토크의 증가등의 성능향상을 가져올 수 있다.

본 연구에서는 이러한 미세스텝 구동 방식을 솔더링 머신(Soldering machine)에 응용시켜 전체 시스템의 특성을 향상 시키고자 한다.

2. 본론

2.1 수학적 모델링

일반적인 2상 하이브리드형 스텝 모터의 각 상 권선에 각각 90°의 위상차를 갖는 정현파 형태의 전류를 상에 흘려주면 스텝 모터가 4스텝(7.2°) 진행하는 동안 두 상의 토크의 합이 0인 지점이 항상 존재하도록 만들 수 있다.

모터의 정격전류를 I_R 이라 하고, 각상에 공급하는 상전류를 다음과 같이 정의한다.

$$I_a = I_R \cos \phi \tag{1}$$

$$I_b = I_R \sin \phi$$

스텝 모터의 토크 방정식을 회전자의 회전각과 권선에 흐르는 전류의 함수로 구해 위의 두 전류를 대입하면,

$$T(N_r, I_a, I_b) = T_A(N_r\theta, I_a) + T_B(N_r\theta, I_b)$$

$$= -k I_R \sin(N_r\theta - \phi) \quad (2)$$

여기서 k는 모터의 구조, 자석의 세기, 상전류 등에 의해서 결정되는 상수이다. 무부하 상태일 때 회전자의 정지 위치는 $T=0$ 인 지점이므로, 토오크의 평형점은

$$N_r\theta = \phi \quad (3)$$

인 곳에서 존재하게 되며 회전자의 위치는 각 상에 흐르는 상전류에 의해서 제어될 수 있음을 확인할 수 있다.

5상 스텝 모터(펜타곤 결선)의 경우 상 전류들의 위상차가 각각 72° 가 되게하면, 두 상에 묶여있는 제어선에서의 전류 위상차도 72° 차이가 나게된다. 이 제어선 전류의 형태를 기준 전류 명령 reference로 두고 한 주기($0.72^\circ \times 10 = 7.2^\circ$)를 원하는 분해능으로 나누어 제어하면 미세시스템을 실현할 수 있다.

2.2 5상 스텝 모터

스텝 모터는 상수에 의해 분류되며, 2상 스텝 모터와 5상 스텝 모터가 대표적인 모터이다. 그러나 5상 스텝 모터는 2상 스텝 모터에는 없는 몇 가지의 특징이 있다.

- ▶ 스텝 각도가 0.72° 또는 0.36° 로 고분해능
- ▶ 현저하게 공진점이 없는 저진동
- ▶ 고속, 고폭크

또한 이러한 특징은 여러 가지 용도에 있어서 5상 스텝 모터에 의한 직접구동(DIRECT DRIVE)을 가능하게 할뿐 아니라 신뢰성의 향상, 비용 저감등의 장점이 있다.

본 논문에서는 5상 스텝 모터의 결선 방식들 중에서 제동특성이 우수하고, 전류제어하는 시퀀스가 특이하며, 국내에서 그 연구가 아직 미비한 펜타곤 결선방식의 5상 스텝 모터를 미세각으로 제어하고자 한다. 일반적으로 항상 1상을 단락하면서 4상씩 여자하는 4상여자 방식이 이용되고 있으며, 스텝더드 결선과 비교해 출력단의 스위칭 소자의 수가 절반이므로 비용이 절감된다.

2.3 솔더링 머신을 위한 전체 시스템의 구성

위치 및 속도 명령을 위해 INTEL社의 원 칩 마이크로 프로세서인 80C196KC를 사용하였으며, 기준 전류 발생(reference)부와 게이트 구동부, 스위칭 소자(MOSFET)로 솔더링 머신을

구동하기위한 전체 시스템이 구성된다. 그림 1에 전체 시스템의 구성도를 나타내었다.



그림 1 전체 시스템의 구성

2.4 미세시스템의 하드웨어

미세시스템 구동을 위해 각각 72° 의 위상차를 갖는 정현파 형태의 기준 전류값이 들어있다. 즉 5개의 EPROM에는 미세각 분해능을 조절할 수 있도록 기준 전류값의 한 주기를 64, 128, 256, 512의 4가지 단계로 나누어 샘플링(sampling)된 값이 테이블로 저장되어 있다. EPROM에서 출력되는 기준 전류값의 데이터와 카운터에 의한 삼각파에의해 디지털적으로 PWM을 하여 H-Bridge를 구성하고 있는 FET의 게이트 펄스 신호들을 만들어 준다. H-Bridge는 N-채널 MOS FET로 구성하였고, 게이트 드라이버로 IR2110을 사용하여 단일 전원으로 동작하는 게이트회로를 구성하였다. 그림 2는 미세시스템을 위한 하드웨어 구성도를 보여준다. 그림 3은 A상의 기준 전류값의 한주기를 512로 샘플링한 데이터를 시뮬레이션한 것이다.

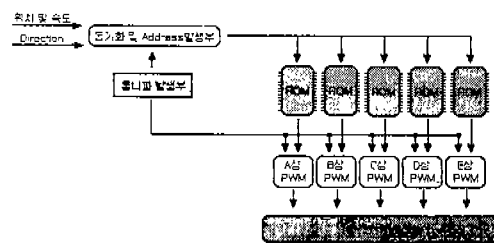


그림 2 미세시스템의 하드웨어 구성도



그림 3 A상 기준 전류 파형 (512 sampling)

80C196KC의 HSO핀을 이용하여 스텝 모터의 위치제어(기동명령 및 정지명령)·속도제어·방향제어를 할 수 있게 하였고, 기동명령과 동시에 엔코더의 출력 데이터를 HSI핀을 통하여 입력으로 받아들이게 하였다.

2.5 실험 및 검토

본 연구의 실험대상 모터는 (주) ORIENTAL MOTOR의 PK569-NBK로서 제반사양은 표1과 같다.

| | |
|----------------|----------------------|
| 상 수 | 5 PHASE |
| 기본 스텝각 | 0.72° STEP |
| 여자최대정지 TORQUE | 16.6 kgcm |
| MOTOR 전류 | 1.4 A/상 |
| ROTOR관성 MOMENT | 560 gcm ² |
| 권선 저항 | 1.7 Ω |

표 1 실험대상 모터의 제반사항

그림 4는 미세스텝 구동회로의 분해능을 16으로 하고, 0.001RPS의 일정한 속도로 구동했을 때의 상전류 파형을 나타낸다. 그림 5, 6, 7은 각각 분해능을 32, 64, 128로하고 속도를 1RPM으로 일정하게 했을 때 상전류 파형을 나타낸다. 각 상전류 파형들이 그림 3의 기준 전류 파형을 따라감을 알 수 있다. 분해능을 크게 했을 때의 전류파형이 분해능을 작게 했을 때의 전류파형보다 부드러움을 볼 수 있다.

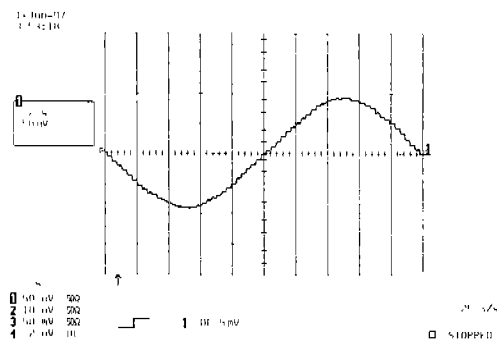


그림 4 0.001RPS일때의 상전류(16분해능)

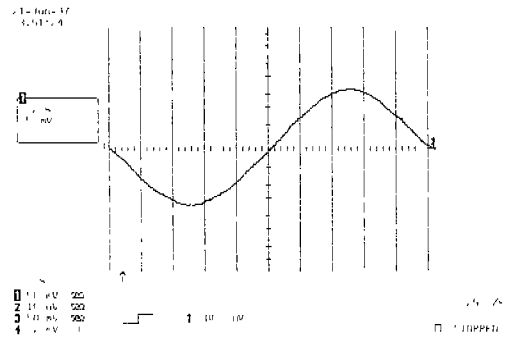


그림 5 0.001RPS일때의 상전류(32분해능)

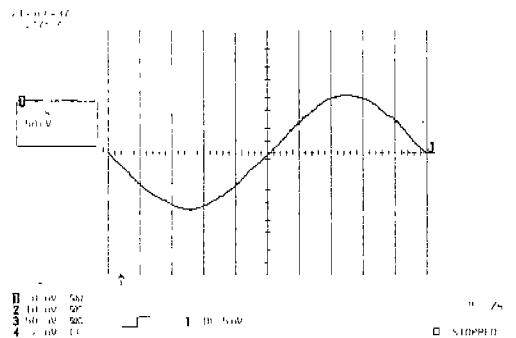


그림 6 0.001RPS일때의 상전류(64분해능)

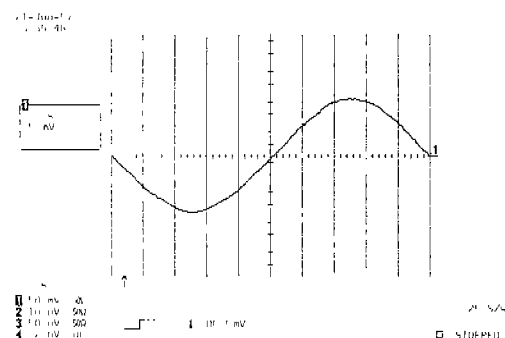


그림 7 0.001RPS일때의 상전류(128분해능)

그림 8은 128,000PPR의 고분해능 엔코더를 이용하여 스텝 모터를 128 미세스텝으로 구동할 때, 회전자의 위치를 1 미세스텝 이동할때마다 엔코더의 출력 펄스를 계수하여 그린 것이다. 그림 9는 제작한 구동 드라이버를 솔더링 머신에 부착하여 스텝 모터에 저속의 기동·정지 명령을 인가하였을 때의 회전자 파형이다. 저속 영역이므로 아주 부드럽게 회전과 정지를 반복함을 볼 수 있다. 위치제어에 있어서 고속으로 운전하기 위해서는 슬루(SLEW)영역을 이용한 가변속 제어를 해야한다. 즉 기동을 낮은 주파수로 하고, 서서히 가속시켜서 어느 상한 주파수로 정속구동을 하고,

그 후 서서히 주파수를 감소시키는 방법이다.

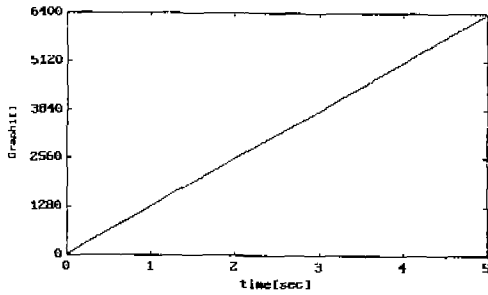


그림 8 분해능 128일 때의 회전자 위치 (0.01RPS)

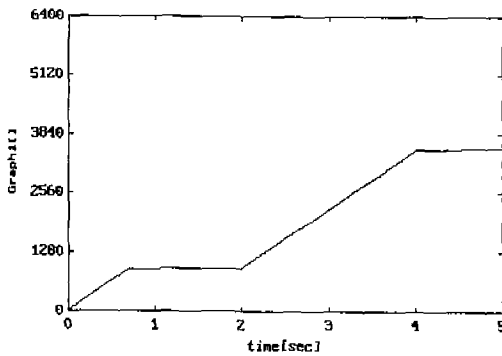


그림 9 기동·정지시의 회전자 위치(저속영역)

3. 결론

본 논문에서는 5상 스텝 모터에 대한 미세스텝 구동 드라이버를 이용하여 솔더링 머신이라는 기구부에 적용하였다. OPEN LOOP 방식을 이용하고, 모든 회로를 디지털화 함으로써 마이크로 프로세서와의 인터페이스도 용이해졌다. 그리고, 미세스텝 구동방식이 일반스텝 구동방식에 비해 진동 및 소음이 감소됨을 확인할 수 있었다. 그러나, 무부하시 고속 영역에서의 전류 감소 현상을 극복하기 위한 적절한 장치가 있어야겠다. 스테핑 모터에 기어를 연결하여 스텝의 분해능을 크게 하는 경우도 있으나 기어의 사용할 때 발생하는 BACK-LASH나 기어 가공시 발생될 수 있는 오차와 가격등을 고려할 때 미세스텝 구동을 실현하면 많은 이득을 얻을 수 있을 것이다.

[참고문헌]

[1] T. Roland Fredriksan, "Micresteping - 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] M.L. Patterson and R.D Haslby, "A microstepped XY controller with adjustable phase current waveforms" IMCSD, pp 163-168, 1977.

[4] E.K. Pritchard, 'Another cure for mid-frequency resonance', proc. of 8th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. 61-65, 1979.

[5] E.K Pritchard, "Concepts and characteristics of Ministepping", proc. of 9th annual symposium on incremental motion control systems and devices, pp. 229-242, 1980.

[6] Takashi kenjo, "Stepping Motors and Their Microprocessor Controls", Clarendon Press, Oxford, 1984.

[7] J.Biran, "A high performance drive system and control IC for microstepping application", Motor-con, pp. 215-230, 1986

[8] Mohan, Undeland and Robbins, "Power Electronics : Converters, Applications and Design", John wiley & Sons, 1989.

[9] 한국 과학 기술 연구원, "2상 하이브리드형 스텝 모터 구동에 관한 연구", 89 한국 자동 제어 학술회의 논문집, pp. 530-534, 1989

[10] 이광운, "망원경 전자 제어부의 개발", 고려대학교, 1995.

[11] 장원식, "스텝핑 모터의 미세각 제어에 관한 연구", 고려대학교, 1996.

[12] 김형우, "펜타곤 결선방식의 5상 스텝핑 모터에 대한 미세각 구동 드라이버의 설계", 창원대학교, 1996.