

스텝 모터의 진상각 제어에 관한 연구

A Study on the Lead Angle Control of Step Motor

金榮石 · 朴成鎭^{*}
(Young-Seok Kim · Seong-Jin Park)

仁荷大學校 工科大学 電氣工學科

Abstract

The lead angle control of step motor for high speed drive is represented in this paper. It was designed position and speed information feedback system which was composed of step motor coupled with encoder, z-80, and hardware. The relationships between the lead angle and speed characteristics are established by experiments.

1. 서론

최근에 스텝모터의 사용분야는 프린터나 플로피 디스크장치와 같은 컴퓨터의 주변기기, 로봇 액츄에이터(Robot Actuator)등에 사용되고 있으며, 그 응용분야는 앞으로도 확대되리라 예상된다.

스텝모터는 입력된 총 펄스 수에 의해 동기적으로 회전하기 때문에 펄스신호의 주파수에 비례하는 회전속도를 얻을 수 있고 각도오차가 적으며 또한 오차가 누적되지 않으며, 디지털 신호로 직접 오픈루프제어할 수 있고, 저속으로 고(高)토크 운전이 가능함과 동시에 정지시에는 높은 유지토크로 위치를 유지할 수 있고, 기동, 정지, 정·역전이 용이하며 응답성도 좋다. [2]

그러나 엄밀하게는 가속등의 과도상태를 포함한 회전시의 동작은 복잡하며, 탈조와 여자전류의 지연 등을 고려한다면 제어하는데 있어서 다소 어려움이 따른다. 스텝모터의 가 감속구동방

법은 자기동주파수영역 이내에서 가속하고 슬루(Slew)영역 내에 있는 상한주파수로 정속구동한 후에 주파수를 감소시켜서 감속하는 것이 일반적이다. 그런데, 고속구동시에는 스위칭주기가 짧아지고 여자전류의 지연때문에 가속영역에서의 발생토크는 감소하게되고, 감속영역에서의 발생토크는 증가하게 된다. 따라서, 스텝모터는 속도에 제한을 받게되고 탈조를 야기시키는데, 현재의 추세인 고속 고정도의 제어에 큰 문제점이 하겠다. [3]

스텝모터의 회전자위치검출방법에는 모터권선에 유기되는 역기전력 측정에 의한 방법, 모터권선의 전류측정에 의한 방법, 엔코더를 사용한 방법 등이 있으며, 이 피드백 신호로부터 회전자의 위치를 검출하고 회전자의 변위에 따라서 고정자여자시점(stator excitation pulse timing)을 변환해 나갈 수 있으므로, 오동작의 위험이 없고 빠르고 안정된 동작을 할 수 있다.

스텝모터의 진상각은 회전자가 있는 현재의 위치보다 얼마만큼 앞선위치에서 여자시켜주는가를 회전자에 대한 전기각 θ 로 나타낸 것이다. 회전자 치(Tooth)와 고정자 치(Tooth)간의 어긋난 각에 따라서 토크가 변하게되므로, 이 토크를 가변하여 넓은 가·감속 영역을 얻을 수 있게 된다. 스텝모터를 기본스텝각 θ_s 로 구동시킬 경우 모터 시정수의 기울기로 각 권선 전류의 지연이 발생하며 고속구동시에는 스위칭주기가 짧아져서 각 상에 충분한 전류가 흐르지 못한다. 모터 시정수를 고려하여 기본 스텝각 θ 보다 진상각($\theta + \delta$)만큼 각 상을 미리 여자시킴으로서, 각 상에 흐르는 여자전류는 증가하게되고 각 상의 토크도

증가하게 된다. 따라서 토크 가변에 따른 속도제가 용이하게 된다. [2]

이에 본 논문에서는 스텝모터에 엔코더를 접속하여 회전자의 위치를 검출하고, 위치 궤환신호로부터 진상각을 가변하여 고속구동을 실현하고 속도제어를 하고자 한다.

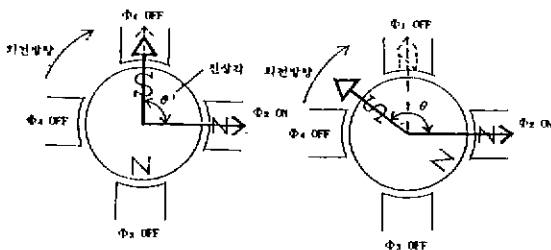
2. 본 문

2.1 진상각의 정의

스텝모터에 1 펄스를 입력하면 여자된 상의 안정점으로 1 스텝 이동하여 멈추게 되고, 순차적으로 여자가 이루어지면 모터는 한 방향으로 회전하게 된다. 모터가 회전하게 되면 개루프제어시 회전자의 임의의 위치에서 여자가 이루어지지만, 펌프 시스템을 구성하여 회전자의 위치정보를 궤환하면 회전자의 특정한 위치에서 여자시점을 가변할 수 있다.

이 위치는 고정된 기준점에 대해 정의되어야 하며, 스텝모터는 스텝마다 안정점을 갖고 있다. 즉, 진상각(Lead Angle)은 안정점(Equilibrium Position)과 여자시점(Switching Point)과의 거리를 전기각(혹은 스텝)으로 나타낸 것이다.

그림 1은 진상각이 1스텝과 1.5스텝으로 적용되었을 경우에 회전자의 위치와 여자 시점에 관하여 진상각 모델을 나타낸 것이다.



(a) 진상각 1스텝 (b) 진상각 1.5스텝
그림 1. 진상각 모델

그림 2는 4상 스텝모터에 있어서, 진상각을 1.5스텝으로 적용했을 때의 안정점과 스위칭시점에 대하여 나타낸 것이다. A상의 안정점에 이르기 전에 1.5스텝 미리 A상을 여자 한 것이고, 같은 방법으로 B, C, D 상도 각각의 안정점보다 1.5스텝 미리 여자된다.

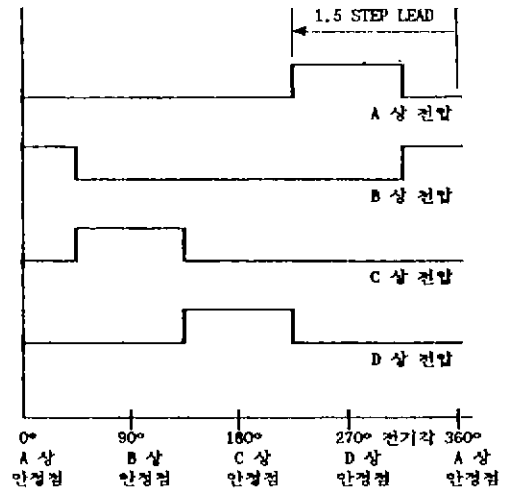


그림 2. 안정점과 스위칭 관계

2.2 진상각과 속도

그림 3에 고정자 1상의 회로를 나타내었다.

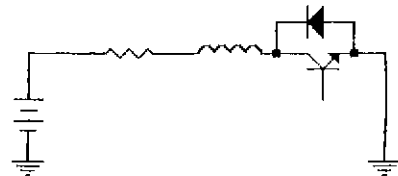


그림 3. 고정자 1상의 회로

Tr이 ON 되면 전류 상승은 권선의 시정수만큼 지연이 발생하게 될 것이고, 이 기간 동안에 권선에 흐르는 전류는 가속에 양호한 정(Positive) 토크를 발생한다. Tr OFF 후 전류의 하강에 있어서도 시정수 만큼의 지연이 발생하게 되고, 이 기간동안의 발생 토크는 회전방향과 반대방향의 토크를 발생하게 된다. 스위칭 주기가 클 경우에는 Switching Off후의 순환 전류의 영향이 적지만, 스위칭 주기가 짧을 경우에는 그 영향이 매우 크다.

그림 4에는 입력 펄스 주기가 시정수와 거의 같은 시간으로 구동되는 경우에 있어서 진상각 적용에 따른 가·감속 발생 토크 기간에 미치는 전류 모양을 1상에 대하여 나타내었다.

그림 3으로부터 Tr ON 후의 전류와 Tr OFF 후의 전류를 구하면 아래와 같다.

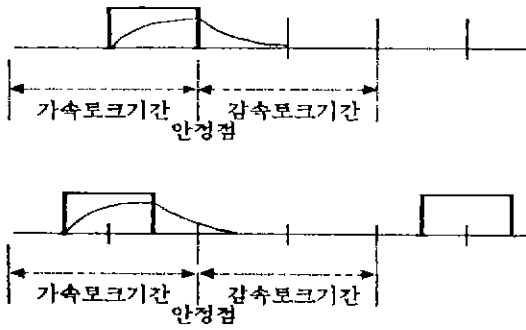


그림 4. 진상각과 작용 토크

$$I_1 = \frac{V_S}{R} (1 - \text{EXP}(-\frac{R}{L} t)) \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{V_S}{R} (\text{EXP}(-\frac{R}{L} t) - I_0) \quad (2)$$

R : 권선 저항
 V_S : 공급 전압
 I₀ : 전류 최대값

스텝모터의 토크방정식은

$$T = PN\Phi_M I \sin(\theta - \theta_k) \quad (3)$$

$$= KI \sin(\theta - \theta_k)$$

로 표시된다.

P : 회전자치(Tooth) 수
 N : 고정자권수
 Φ_M : 영구자석의 쇠교자속
 θ : 여자시점
 θ_k : 안정점

$$K = PN\Phi_M$$

$$I = I_1 + I_2$$

운동방정식은 4식과 같이 나타낼 수 있다.

$$J \frac{d\omega}{dt} + D\omega = T \quad (4)$$

J : 관성계수
 D : 점성계수
 T : 발생토크

4식으로부터 속도는 5식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega(t) = \frac{T}{D} (1 - \text{EXP}(-\frac{D}{J} t)) \quad (5)$$

윗 식들을 이용하여 진상각 변화에 대한 속도들

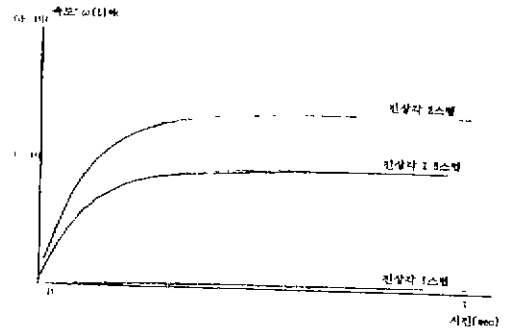


그림 5. 진상각과 속도와의 관계

그림 5에 나타내었다.

3. 알고리즘 및 순서도

그림 6에 실험에 적용한 진상각제어 알고리즘과 순서도를 나타내었다.

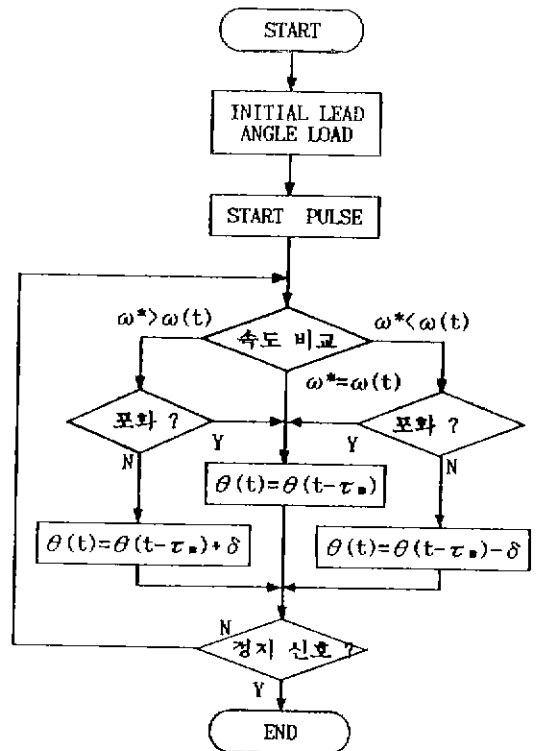


그림 6. 알고리즘 및 순서도

4. 실험결과

표 1에 실험에 사용한 모터의 사양을 나타내었다.

SANYO MOTOR MODEL : 103Z708-4

스텝 각 : 1.8°	토크 : 3.9 K _m -C _m
전압 : 12 V	관성 : 105 g·C ² _m
전류 : 0.7 A	상수 : 4
인덕턴스 : 23 mH	저항 : 17.8 Ω

표 1. 모터 사양

그림 7에 진상각 제어 시스템의 블록도를 나타내었다.

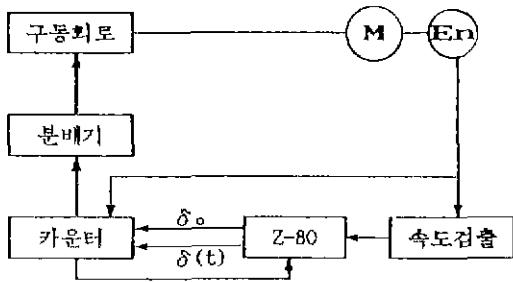


그림 7. 시스템 블록도

사용한 엔코더는 분해능 2000 pulse/rev 이며, 분배기로서는 스텝모터 구동용 칩인 PMM 8713 (C-MOS)을 사용하였고, 여자방식으로는 2상여자방식이며, 구동방식은 유니폴라 구동방식이다. 모터의 회전당 스텝 수는 200 스텝이고 엔코더는 회전당 2000 펄스를 출력하므로, 스텝(안정점과 안정점) 사이에 발생하는 펄스수는 10개가 된다. 따라서, 스텝사이의 거리는 전기각으로 90°이므로 제어가능한 진상각의 변화폭(δ)은 전기각으로 9° (0.1 스텝)가 된다.

위에서 나타낸 블록도를 보면, Z 80 에서 초기 진상각을 출력하여 카운터에 LOAD한 후, 출력 포트에서 기동펄스를 내보내면 카운터에 LOAD된 값에 의하여 초기진상각 δ_0 가 적용된다. 그 후, 모터의 회전에 의한 엔코더 출력 신호를 제환하여 회전자의 위치와 속도를 검출하고 속도에 따라 진상각을 가변하여 속도를 추종한다.

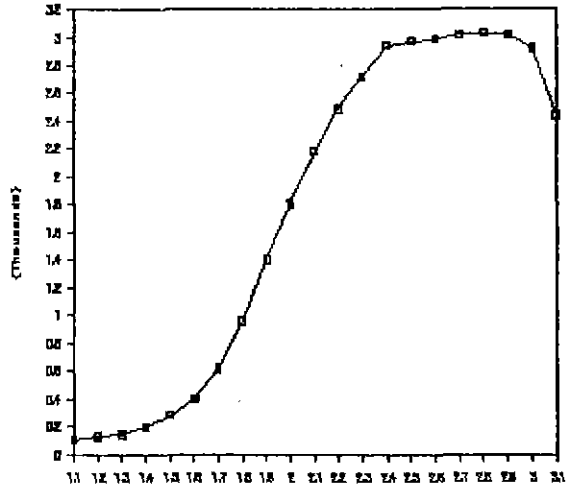


그림 8. 진상각과 속도와의 관계

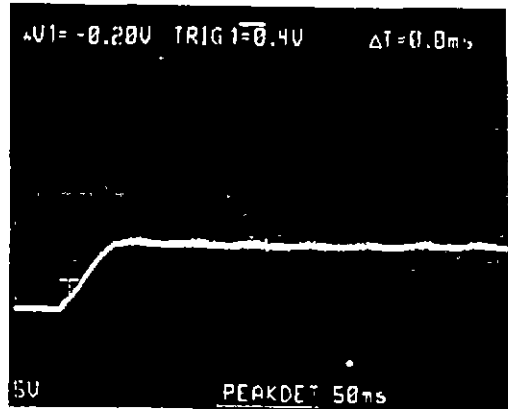


그림 9. 지령속도가 클 때

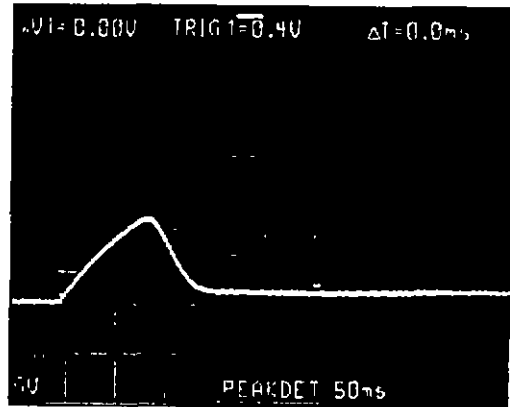


그림 10. 지령속도가 작을 때

그림 8에는 진상각 가변에 따른 속도와의 관계를 나타낸 그래프이다. 1.1 스텝부터 진상각을 증가함에 따라 속도가 점차 상승하였으며 2.8 스텝 이후로는 오히려 속도가 감소함을 보였고, 개루프제어시 얻을 수 있었던 최고 속도는 200 rpm이었지만 진상각을 적용한 결과, 최저 100 rpm에서 최고 3000 rpm까지의 넓은 속도 가변영역을 얻을 수 있었다.

그림 9와 그림 10은 초기 진상각을 1.5 스텝으로 고정하고 지령속도를 각각 다르게 주었을 때의 진상각 변화에 대한 속도를 나타낸 것이다. 그림 8에 나타낸 진상각 1.5 스텝의 속도와 지령속도와의 차이가 적을 때에는 속도 추종이 양호하지만, 지령속도가 작을 때에는 오버슈트가 발생하였다.

5. 결론

본 논문에서는 스텝모터의 페루프 시스템을 구성하고 진상각 이론을 적용하여 실험을 행한 결과 개루프제어시보다 확장된 가속속 영역과 고속구동이 가능함과 동시에 진상각에 대한 속도 특성을 나타내었다. 추후의 과제로는 진상각이론을 위치제어에 적용하는 것이다.

참고문헌

- (1) T.Kenjo , " Stepping motors and their microprocessor control " , Clarendon express , 1984
- (2) " 스텝 모터의 활용 기술 " , 세운출판사 , 1985
- (3) " 스텝 모터의 제어회로 설계 " , 세운출판사 , 1988
- (4) 海老原大樹 外 4人 , " 進み角制御によるステッピングモータの加速減速特性 " 昭和 60年 , 電氣學會全國大會 607
- (5) B.C. Kuo , " Closed loop of step motors without feedback encoders " , Incremental Motion Control Systems and Devices , 1976
- (6) T.Kenjo , " Microprocessor controlled self-optimization drive of a step motor " , Incremental Motion Control Systems and Devices

(7) Hideo Dohmeki , " Speed Torque Characteristics of a Closed-Loop Stepping Motor " , Incremental Motion Control Systems and Devices , 1986