

이 성주*
서울 대학교

원 중수
서울 대학교

Microstepping drive of 3 phase multi-stack VR type step motor

Lee sung-joo
S.N.U.

Won Jong-su
S.N.U.

ABSTRACT

Microstepping drive of 3 phase VR step motor with 2 phase exciting scheme is proposed.

Considering the presence of harmonic components of inductance, the current reference is calculated. The experimental results show high accuracy of divided step position and resonance or instability in operating range.

4 상 스텝 모터, 특히 Hybrid 형이나 PM 형을 중심으로 진행되어 왔다. 본 연구에서는 3 상 multi-stack VR 형 스텝 모터에 미세스텝 구동을 적용하여 각도 분할과 진동, 공진동을 감소시키는 방법을 제안한다.

인덕턴스 또는 정 토크 곡선에서의 고조파분을 고려하여 미세스텝 전류치를 결정함으로써 각도 오차를 최대한 줄일 수 있었다.

1. 서 론

스텝 모터는 개 루우프로 위치 제어가 가능하며 구동이 간단하고 경제적이란 점으로 인해 그 이용 범위가 확대되고 있다. 그러나 한 스텝 회전각이 모터에 따라 미리 정해지므로 더욱 미세한 각도 분할이 요구되는 경우에 대한 연구가 필요하였고 1970년대 후반부터 이에 대한 연구가 진행되어 왔다.

또한 저속에서의 공진문제에 대한 개선이 요구되어 왔는데 특히 고속, 대 출력을 필요로 하는 분야에서 많이 사용되고 있는 VR 형 스텝 모터는 제작이 간단하고 가격이 저렴하다는 장점이 있는 반면 Hybrid 형이나 PM 형 스텝 모터보다 공진 현상이 훨씬 심하여 이에 대한 대책이 절실히 요구되어 왔다.

미세스텝 구동은 각 상의 전류의 크기를 조절하여 한 스텝각을 원하는 만큼 분할하여 구동하는 방법으로서 정해진 스텝 각보다 더 작은 각도의 개 루우프 구동이 가능하고, 한 미세스텝에 대한 최대 오버 슈우트가 1 상여자나 2 상여자 구동시에 비해 크게 감소하여 공진이 개선된다는 장점이 있다.

미세스텝 구동에 대한 지금까지의 연구는 주로 2 상 혹은

2. 3 상 VR 형 스텝 모터의 수학적 모델

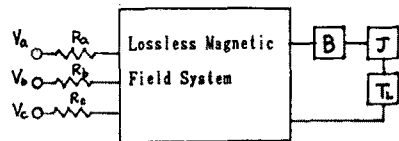


그림 1. 3 상 VR 형 스텝 모터의 블록선도

3 상 3-stack VR 형 스텝 모터의 간단한 System을 그림 1. 과같이 modeling 할수있다.

전압 방정식은

$$V_k = R_k i_k + \frac{d\lambda_k}{dt} \quad (k = a, b, c) \quad (1)$$

와 같으며, 자기회로에서의 쇄교 자속 λ 는

$$\lambda_k = \sum_{j=a}^c L_{kj} i_j \quad (2)$$

로 표시되고, 이때 회전자에서 발생하는 토크 T는 각

3상 VR형 스텝 모터의 미세스텝 구동 특성에 관한 연구

상에서 발생하는 토크의 합으로 다음과 같이 표시된다.

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=a}^c \sum_{j=a}^c \frac{\partial L_{kj}}{\partial \theta} i_k i_j \quad (3)$$

Multi-stack 형 VR 스텝 모터에서는 각 상간의 상호 인덕턴스가 0 이 되므로 토크 T 는

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=a}^c \frac{\partial L_k}{\partial \theta} i_k^2 \quad (4)$$

로 표시된다.

위 (4) 식에서 인덕턴스를 전류와는 무관한 회전자 위치만의 함수로 가정하여 다음 식으로 근사한다.

$$\begin{aligned} L_a &= L_0 + \sum_{k=1}^n L_{2k-1} \cos((2k-1)N_r \theta) \\ L_b &= L_0 + \sum_{k=1}^n L_{2k-1} \cos((2k-1)N_r \theta - \frac{2}{3}\pi) \\ L_c &= L_0 + \sum_{k=1}^n L_{2k-1} \cos((2k-1)N_r \theta + \frac{2}{3}\pi) \end{aligned} \quad (5)$$

(N_r 은 각 상의 회전자 치수)

위 식에서 $2k-1$ 고조파의 진폭은 실험에 의해 구하게 된다. 따라서 출력 토크 T 는

$$\begin{aligned} T = -\frac{N_r}{2} (i_a^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta) + \\ i_b^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta - \frac{2}{3}\pi) + \\ i_c^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta + \frac{2}{3}\pi)) \end{aligned} \quad (6)$$

로 구해진다.

3. 미세스텝 전류의 계산

A 상 detent 위치에서 B 상 detent 위치까지 미세 스텝으로 운전할 경우에 대한 전류 table을 구하면 B 상에서 C 상으로 다시 C 상에서 A 상으로 운전하는 경우도 같은 전류 table을 사용할 수 있다. A 상 detent 위치를 전기각 0 [rad] 로 하여 A,B 동시 여자시의 detent 위치인 $\pi/3$ [rad] 까지의 전류 table을 구하면 $\pi/3$ [rad] 부터 B 상 detent 위치인 $2\pi/3$ [rad] 까지의 전류값도 구할 수 있다.

$0 < \theta < \pi/3$ 에서 A,B 상만 여자하여 미세 스텝 구동을

하는 경우 출력 토크 T 는

$$T = -\frac{N_r}{2} \left(i_a^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta) + i_b^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta - \frac{2}{3}\pi) \right) \quad (7)$$

원하는 detent 위치를 θ_s 라하면 다음 식이 성립해야 θ_s 에서 회전자 정지하게 된다.

$$T_{\theta_s} = -\frac{N_r}{2} \left(i_a^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta_s) + i_b^2 \sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta_s - \frac{2}{3}\pi) \right) = 0 \quad (8)$$

$I_r = i_a/i_b$ 라 하면 (8) 식으로부터

$$I_r = \frac{-\sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta)}{\sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \sin((2k-1)N_r \theta - \frac{2}{3}\pi)} \quad (9)$$

$0 \sim \pi/3$ 사이에서는 항상 $i_a > i_b$ 이므로 $i_a = I_M$ 이라 놓으면 출력 토크 T 는 다음 식으로 주어진다.

$$T_{\theta_s} = -\frac{N_r I_M^2}{4I_r^2} \left(\sum_{k=1}^n (2k-1) L_{2k-1} \times \left\{ (2I_r^2 + 1) \sin((2k-1)N_r \theta) + \sqrt{3} \cos((2k-1)N_r \theta) \right\} \right) \quad (10)$$

한편 토크의 위치에 대한 gradient 가 0 보다 작아야 θ_s 가 stable detent 위치가 되므로

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \theta} \right|_{\theta_s} < 0 \quad (11)$$

이어야 한다.

최대 출력 토크의 관점에서 2 상 스텝 모터와 3 상 스텝 모터의 미세스텝 구동에 대해 비교해 보면 2 상 스텝 모터의 경우는 그림 2. 에서 볼 수 있듯이 1 상만 여자하는 경우의 최대 토크보다 2 상 동시 여자시의 최대 토크가 항상 크므로 전류의 값의 크기를 조절하여 최대 토크의 값을 1 상만 여자하는 경우의 토크 값으로 유지할 수 있으나, 그림 2 에서 볼 수 있듯이 3 상 스텝 모터의 경우는 $\pi/6$ 에서 최대 토크의 값이 최소로 되며 (0.87) 이 같은

1 상 여자시의 최대 토크 값보다 작으므로 이 값으로 최대 토크를 유지시킬 경우 미세스텝시의 최대 출력 토크가 1 상 여자시의 최대 출력 토크보다 작아지는 단점이 있다. 그러나 최대 출력 토크는 작아지더라도 공진이 개선된다는 장점이 있으므로 이 단점은 충분히 보상된다고 할 수 있다.

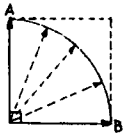


그림 2. 2상 벡터도

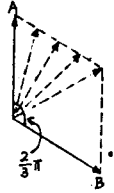


그림 3. 3상 벡터도

4. 미세스텝 구동 회로

본 연구에 사용된 구동회로의 기본 동작은 micro-processor 와 Hysteresis comparator 를 사용한 전선 전류의 스위칭 제어로서 상당 구동회로의 개념도는 그림 4. 와 같다. 그림 5. 는 구동부의 상세회로이며 구동소자로 MOS-FET 을 사용하였다.

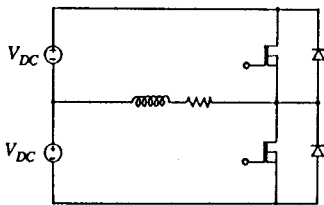


그림 5. 구동부의 상세도

5. 결 론

본 연구에서는 다른 종류의 스텝 모터에 비해 공진이 심한 3 상 multi-stack VR 형 스텝 모터에 미세스텝 구동 방식을 적용하여 각 분해도를 높였고 특히 공진을 감소시켜 기존의 1 상, 2상 여자 방식에서 보다 높은 주파수에서 안정하게 운전됨을 보였다.

6. 참고 문헌

1. Benjamin C. Kuo, "Step Motors and Control Systems ", Vol II, 1979
2. Takashi Kenjo, " Stepping motors and their microprocessor controls ", CLARENDON PRESS. OXFORD, 1984
3. T. Roland Fredrikson, " MICRO-STEPPING - A NEW CONTROL CONCEPT FOR ROTARY STEP MOTORS ", Annual Symposium IMCSD, 1975
4. Eric K. Pritchard, " ANALOG OPERATION OF STEPPING MOTORS ", Annual Symposium IMCSD, 1977
5. Eric K. Pritchard, " CONCEPTS AND CHARACTERISTICS OF MINISTEPPING ", Annual Symposium IMCSD, 1980
6. Albert C. Leenhouts, " COMPENSATION TECHNIQUES IN MICROSTEPPING ", Annual Symposium IMCSD, 1986
7. A. P. Russell and I. E. D Pickup, " NON-LINEAR RESONANCE PHENOMENA IN STEPPING MOTORS ", Annual Symposium IMCSD, 1982

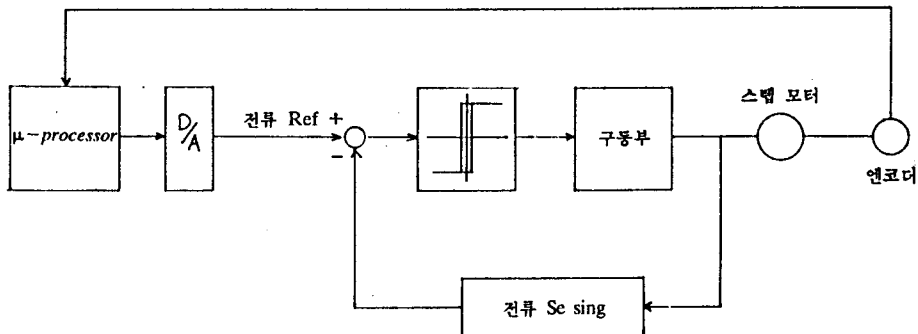


그림 4. 상당 구동회로의 구성도