

영구 자석형 스텝모터의 권선 전압, 전류에 의한 위치 관측기
A position observer for permanent magnet step motors
based on motor terminal quantities

영	종	수	서	음	폭
점	구	단*	서	음	폭
민	구	차	서	음	폭

1. 서 론

스텝모터를 펌웨어로 제어할 경우 또는 게우우프 제어에서도 정확한 위치의 검출 보정이 요구될 때는 회전자의 위치를 전기 신호로 변환하는 장치가 필요하다. 위치 검출 방식에 따라 광학 엔코더와 자기 엔코더로 나눌 수 있는데 다음과 같은 문제점이 있다.⁽¹⁾

- (1) 먼지, 열, 전기 노이즈 등 주위 환경에 약하다.
- (2) 고분해능을 얻기가 힘들며 가격이 비싸다.
- (3) 엔코더를 모터의 기준위치(detent 위치)에 정확히 맞추기가 어렵다.

본 연구에서는 2상 bifilar 영구 자석형(하이브리드형 포함) 스텝 모터의 권선 전압 전류로부터 detent 위치를 검출하는 위치 관측기를 설계하고 그 타당성을 실험·검토하였다.

2. 이 론

2상 bifilar 영구 자석형 스텝모터는 그림 1)과 같이 나타낼 수 있고 다음과 같은 전압 방정식이 성립한다.⁽²⁾

$$V = d/dt(Li) + d/dt(\lambda_f) \quad (1)$$

여기서

$$V = \begin{bmatrix} V_a - R_a i_a \\ V_c - R_c i_c \\ V_b - R_b i_b \\ V_d - R_d i_d \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$L = \begin{bmatrix} l_{aa} & -l_{cc} & 0 & 0 \\ -l_{aa} & l_{cc} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l_{bb} & -l_{dd} \\ 0 & 0 & -l_{bb} & l_{dd} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$i = \begin{bmatrix} i_a \\ i_c \\ i_b \\ i_d \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\lambda_f = \begin{bmatrix} \lambda_{af} \\ \lambda_{cf} \\ \lambda_{bf} \\ \lambda_{df} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$l_{aa}, l_{bb}, l_{cc}, l_{dd}$ 는 각 권선의 증분 (incremental) 인덕턴스이다. 운전 범위에서 자기회로가 선형이고 각상의 인덕턴스값이 같다고 가정하여 1상의 평균 인덕턴스를 L 로 표시하면

$$l_{aa} = l_{bb} = l_{cc} = l_{dd} = L \quad (6)$$

로 볼 수 있다.

권선저항에 대해서도

$$R_a = R_b = R_c = R_d = R \quad (7)$$

로 볼 수 있다.

$\lambda_{af}, \lambda_{bf}, \lambda_{cf}, \lambda_{df}$ 는 영구자석에 의한 각상의 자속 쇄고수로서 위와 같이 자기회로의 선형성을 가정하면 식(8)과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} af &= K_{af} \cos(\theta) \\ bf &= K_{bf} \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) \\ cf &= K_{cf} \cos(\theta - \pi) \\ df &= K_{df} \cos(\theta - \frac{3\pi}{2}) \end{aligned} \quad (8)$$

$K_{af}, K_{bf}, K_{cf}, K_{df}$ 는 각상의 영구자석에 의한 자속 쇄고 상수이며

$$K_{af} = K_{bf} = K_{cf} = K_{df} = K \quad (9)$$

이다. 또 θ 는 회전자의 위치를 표시하는 전기 라디안이다.

(1)식에 (6),(7),(8),(9)식을 대입하면 (1)식의 1행과 2행, 3행과 4행에서 다음의 관계식을 얻는다.

$$\begin{aligned} d/dt(\lambda_{af}) &= Kw \sin(\theta) = L d/dt(i_a - i_c) \\ &\quad -1/2(V_a - V_c) + 1/2(i_a - i_c) \\ &\quad \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d/dt(\lambda_{bf}) &= -Kw \cos(\theta) = L d/dt(i_b - i_d) \\ &\quad -1/2(V_b - V_d) + 1/2(i_b - i_d) \\ &\quad \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

A상, C상의 detent 위치 $\theta = 0, \pi$ 에서

$$Kw \sin(\theta) = 0$$

B상, D상의 detent 위치 $\theta = \pi/2, 3\pi/2$

$$\text{에서 } -Kw \cos(\theta) = 0$$

이므로 $W > 0$ 의 범위에서 V_a, V_c, i_a, i_c

V_b, V_d, i_b, i_d 를 측정하면

$$\begin{aligned} L d/dt(i_a - i_c) - 1/2(V_a - V_c) + R/2(i_a - i_c) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L d/dt(i_b - i_d) - 1/2(V_b - V_d) + R/2(i_b - i_d) &= 0 \end{aligned}$$

인 점으로부터 detent 위치를 검출하는 위치 관측기를 구성할 수 있다.

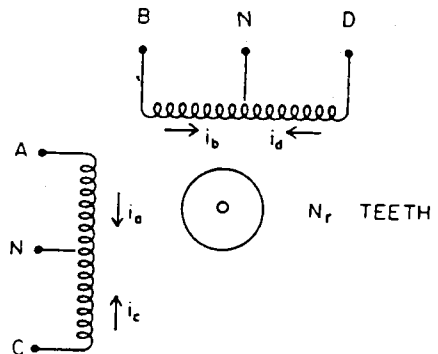


그림1) 2상 bifilar 영구자석형 스텝 모터

3. 실험 및 검토

실험에 사용한 공시 전동기는 일본 오리엔탈사에서 제작한 PXB 43-01B 의 2상 bifilar 하이브리드형 스텝모터이고 그 구동회로를 1상에 대해 표시하면 그림 2)와 같다.

위치 관측기는 OP 앰프를 사용하여 그림 3)과 같이 구성된다.

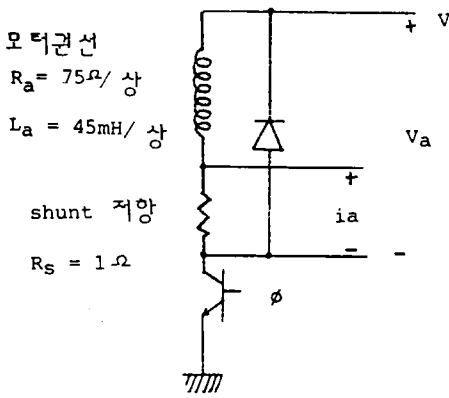


그림2) 구동 회로

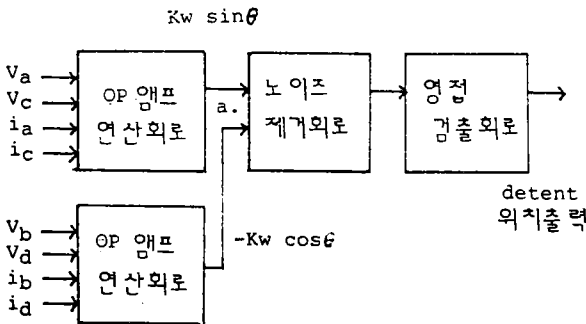


그림3) 위치 관측기의 블록도

그림4는 위치 관측기의 a 점에서 측정한 역기전력의 파형이다. 그림 5)는 공시 전동기를 동형의 스텝모터로 구동하여 측정한 역기전력으로 그림 4)와 그림 5)가 거의 같은 결과를 보여주고 있다. 그림 4)에서는 스위칭 노이즈 및 외부 노이즈의 영향이 나타나 있으나 노이즈 제거회로를 이용하여 이를 제거한다.

저속에서는 회전자가 detent 위치를 중심으로 진동하고 수천 pps 이상의 고속에서는 스위칭 노이즈가 전체 파형에 큰 영향을 미치므로 페루우프 제어의 용도로는 사용 속도 범위에 제한이 있다.

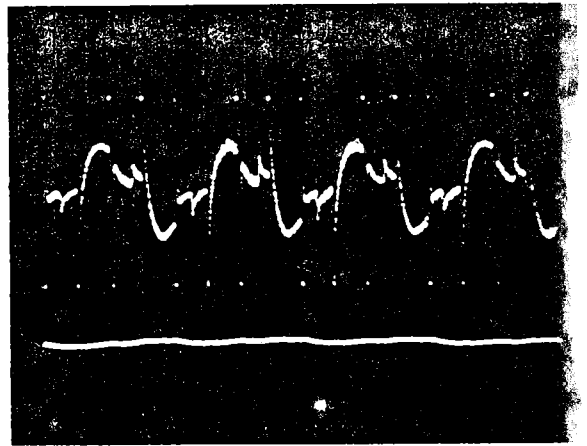


그림4) 위 : 위치 관측기에서 검출한 영구자석에 의한 역기전력 파형

(390 pps . 1V /div 4ms/ div)

아래 : 타코미터 출력

(2 V /div 4 ms / div)

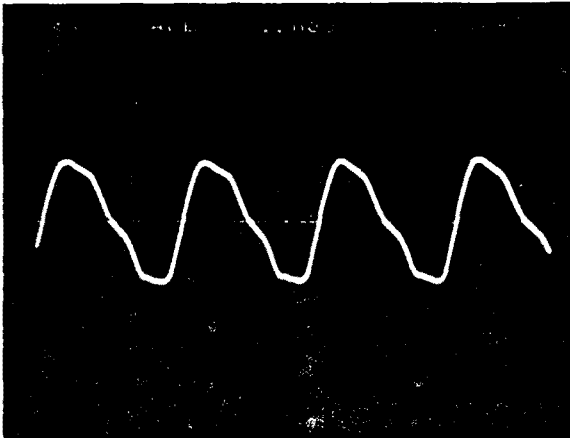


그림5) 외부 스텝모터로 구동했을 때의
영구자석에 의한 역기전력 파형
(390 pps 2 V/div 4 ms/div)

4. 결 론

권선의 전압, 전류로부터 영구 자석에 의한 역기전력을 계산하여 각 detent 위치에서 펄스를 발생시키는 위치 관측기를 구성하였다. 스위칭 노이즈가 크게 영향을 미치지 않는 수천 pps 이하의 속도 범위에서는 광학 엔코더와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

5. 참 고 문 헌

1. Kuo, B.C., (1979) Incremental motion control, Vol.2, p.266, SRL Publishing Company.
2. ibid, pp.87-113