

홀센서를 이용한 BLDC모터의 정밀한 속도 제어

김광영*, 신두진*, 유병삼*, 허욱열*, 이재희**
 인하대학교 전기공학과*, 두원공과대학 컴퓨터 응용제어과**

Precise Speed Control of Brushless DC Motors using Hall sensor

Kim Kwang Young*, Shin Doo Jin*, Yu Byung Sam*, Huh Uk Youl*, Lee Je Hee**
 Dept. of Electrical Engineering INHA University*, DOOWAN Technical College**

Abstract - Brushless DC motor which has the characteristics of high efficiency and high torque, can be controlled speed by the encoder or resolver. But these sensors cost highly and have the problem that they increases the size. This paper proposes a speed control by Hall-Sensor, which is small and cheap. But this sensor has a problem of low resolution. To solve the problem this paper proposes speed control by using a least square algorithm

1. 서 론

현재 전동기 시스템으로 많이 사용되어지고 있는, 높은 파워 밀도와 낮은 전기적 노이즈, 고효율 및 고토크 등의 특성을 갖고 있는 BLDC 모터는 속도나 위치 제어기법들을 응용하는데 있어서 회전자의 정확한 속도와 위치에 대한 정보가 필요하다. 이러한 BLDC 모터의 속도와 위치센서로써 엔코더, 리졸버, 홀센서 등이 사용된다. 그러나 엔코더, 리졸버 등은 가격이 비싸고 크기를 증가시킨다.

위에서 열거한 이런 센서들의 문제점인 가격과 크기 문제를 대체하기 위하여 최근 많은 연구가 제안되고 있다. 그 중에 센서없는 이용하는 방법을 보면 BLDC 모터의 큰 특성이 역기전력을 이용하여 위치와 속도를 추정하는데 여전히 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 특히, 초기에 대한 회전자의 위치와 회전방향을 찾기가 어렵다.[1]

본 논문에서는 크기가 작고 낮은 가격이 장점인 홀센서를 이용하여 정밀한 속도제어기를 설계한다. 그러나 홀센서로서 속도에 대한 정보를 얻을 때에는 제어기의 포화 등과 같은 비선형 요소 등에 의하여 유발되는 오차와 홀센서의 응답특성에 따른 오차 그리고 시스템 파라미터 값들의 변화에 의해서 정밀한 속도 제어 오차의 주요한 원인으로 작용한다. 특히, 저속에서 구동시 디지털 센서의 출력의 주파수가 제어기의 샘플링 주파수보다 낮으면 정확한 속도나 위치정보를 얻을 수 없어 신뢰도가 떨어진다. 홀센서에서 우리가 알 수 있는 것은 120도 간격으로 나오는 3개의 신호로 60도 간격의 회전자에 대한 정확한 위치이다. 이 60도의 간격의 정보로부터 전기적으로 한 주기당 6개의 신호를 만들 수 있으나 극의 개수가 많아도 엔코더보다 낮은 분해능을 가진다.[2] 따라서 본 논문에서는 크기가 작고 낮은 분해능을 극복하기 위하여 고정된 데이터 값에 대한 시간을 추정하는 방법으로 least square를 써서 이산적 위치-시간에 대한 속도를 추정한다.[3][4] 특히, least square 알고리즘은 BLDC모터와 구동드라이브의 파라미터들이 속도 추정하는데 사용하지 않았기 때문에 파라미터들에 민감하지 않다.

2. 본 론

2.1 시스템 모델링

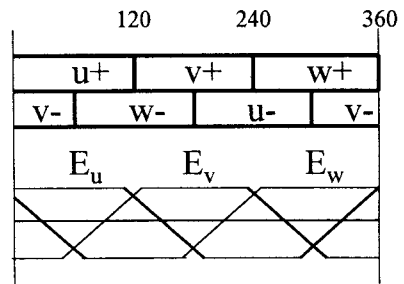


그림 1 120도 구동형일때의 상전압과 역기전력파형

일반적으로 BLDC 모터는 홀센서에 의해서 회전자의 위치를 검출하여 전기적 에너지를 기계적 에너지로 바꾸는 부분으로 이루어졌다. 3상의 BLDC 모터는 사다리꼴의 역기전력을 가진다. 그림1과 같이 구동방법은 120도 구동형으로 항상 두 개의 스위치가 on상태로 되어 전류가 흐른다.[5]

따라서 전압방정식을 세우면 다음과 같다.

$$V = 2Ri + 2L \frac{di_1}{dt} + E_u - E_v \quad (1)$$

$$i_1 = i_u = -i_v$$

환류될 때의 전압 방정식

$$0 = 2Ri_2 + 2L \frac{di_2}{dt} + E_w - E_v \quad (2)$$

$$i_2 = i_w = -i_v$$

여기서, E_u, E_v, E_w : U, V, W상의 역기전력
 R : 권선의 저항
 L : 코일의 자기 인덕턴스

토크를 구하는 식은 식 (3)과 같다.

$$T = \frac{(E_u i_u + E_v i_v + E_w i_w)}{\omega} \quad (3)$$

여기서, ω : 회전속도

2.2 속도 추정 알고리즘

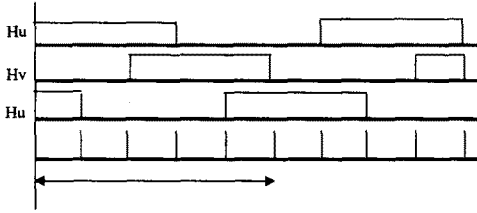


그림 2 홀센서 신호와 그에 따른 6차배신호

그림2는 홀센서로부터 6차배에 의하여 만들 수 있는 신호를 나타내고 있다. 전기적으로 한 주기당 6개의 신호를 만들 수 있으며 4극 모터인 경우 모터가 한바퀴 회전하는 동안 12개의 신호를 만들어 60도 간격으로 위치에 대한 정보를 얻는다. 그러나 엔코더나 리졸버와 같은 센서에 비해서는 낮은 분해능을 가진다.

분해능이 낮은 홀센서의 속도를 추정하기 위해 60도 간격의 위치데이터로부터 시간을 추정하고 PI제어를 통해 인버터회로를 동작시킨다.(그림 3)

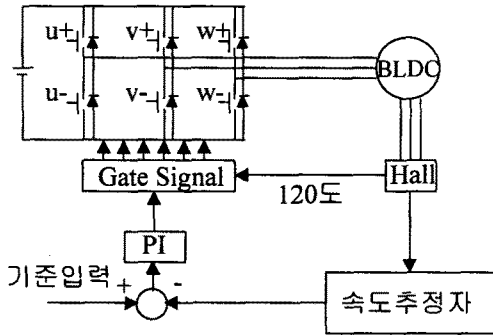
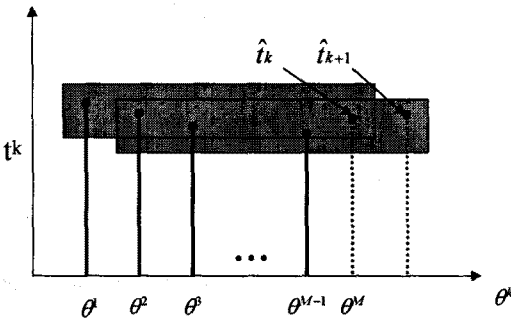


그림 3 구동부 시스템

2.2.1 least square Fit 속도 추정자



least square 알고리즘은 홀센서의 신호로부터 다음 시간에 대한 속도를 예측하는데 있다.

M개의 가장 최근의 값으로부터 고정된 데이터에서 시간 t_k 값을 추정한다.

$$\hat{t}_k = c_0 + c_1 \theta_k + c_2 \theta_k^2 + \dots + c_N \theta_k^N \quad (4)$$

이 방정식에서 속도추정자를 유도하기 위해서 $\frac{d\hat{t}_k}{d\theta}$ 를 구하면

$$\frac{d\hat{t}_k}{d\theta} = c_1 + 2c_2 \theta_k + \dots + Nc_N \theta_k^{N-1} \quad (5)$$

여기서, N : 다항식의 차수

M : 가장 최근의 데이터 값 ($M > N+1$)

$c_0 \dots c_N$: 오차를 최소화하기 위하여 선택한 계수

임을 알 수 있다.

식(4)를 행렬로 표현하면 식(6)과 같이 된다.

$$\hat{t} = Ac \quad (6)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \theta_1 & \theta_1^2 & \dots & \dots & \theta_1^N \\ 1 & \theta_2 & \theta_2^2 & \dots & \dots & \theta_2^N \\ 1 & \theta_3 & \theta_3^2 & \dots & \dots & \theta_3^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \theta_M & \theta_M^2 & \dots & \dots & \theta_M^N \end{bmatrix} \quad (7)$$

측정값과 추정된 값 사이의 오차를 최소화하기 위한 계수 벡터 c 는

$$c = (A^T A)^{-1} A^T t \quad (8)$$

여기서, \hat{t} : $M \times 1$, c : $(N+1) \times 1$,
 A : $M \times (N+1)$

따라서, 식(5)와 식(6)을 이용하여 최근 데이터에 대한 식을 구하면 식(9)와 같다.

$$\frac{d\hat{t}_M}{d\theta} = \hat{q}^T ((A^T A)^{-1} A^T) t \quad (9)$$

여기서,

$$\hat{q}^T = [0 \quad 1 \quad 2\theta_M \quad 3\theta_M^2 \quad \dots \quad (N-1)\theta_M^{N-2} \quad N\theta_M^{N-1}]$$

그러므로, (9)식에 의하여 추정된 속도추정자 \hat{v}_k 는 식(10)과 같다.

$$\hat{v}_k = \frac{d\theta}{d\hat{t}_M} = \frac{1}{\hat{q}^T ((A^T A)^{-1} A^T) t} \quad (10)$$

2.3 모의 실험

M개의 데이터는 차수 (N+1)과 같게 해도 되나 여기서 측정된 데이터 건본에서 오차를 감안하면 $M > N+1$ 개로 선택하는 것이 좋다. 또한 너무 많은 데이터로 추정자를 설계하면 오차가 발생하므로 여기서는 시뮬레이션을 위해 선택한 데이터 M은 4이며 N은 2이다.

(참고 문헌)

[1] R. Wu and G. R. Slemon, "A Permanent-Magnet Synchronous Drive Without a Shaft Sensor", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. 28, pp.144-150, Jan./Feb.1992.
 [2] S. Morimoto, M. Sanada and Y. Takeda, "Sinusoidal Current Drive System of Permanent Magnet Synchronous Motor with Low Resolution Position Sensor", Proceeding 1996 IEEE IAS Annual Meeting, pp. 9-13, Oct. 1996.
 [3] R. H. Brown, S. C. Schneider, and M. G. Mulligan, "Analysis of Algorithms for Velocity Estimation from Discrete position Versus Time Data," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol 39, no. 1, pp. 11-19 February 1992.
 [4] J. Tal, "Velocity Decoding in Digital Control System," Proceeding: Ninth Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, June 1980, pp.195-203
 [5] T.J.E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives" CLARENDON PRESS. OXFORS. 1989

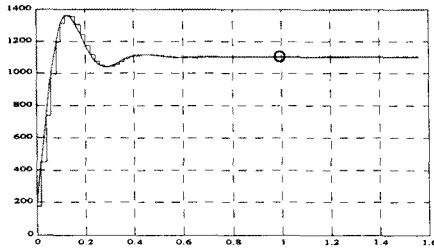


그림 5 기준 입력 1000rpm일 때 속도 응답특성

그림 5는 모터의 속도응답특성을 나타낸다. 원으로 된 부분을 확대해보면 아래 그림 6과 같다.

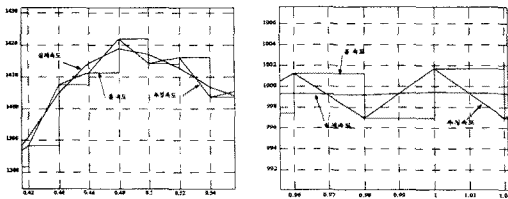


그림 6 1000rpm일때의 속도 파형

그림 6에서 기준 입력 1100rpm을 입력에 대해서 PI 제어기를 구축한 후, 속도추정자 성능을 알아보기 위한 모의 실험으로 추정된 속도가 홀센서 속도에 비해서 실제 파형을 잘 추적함을 알 수 있다.

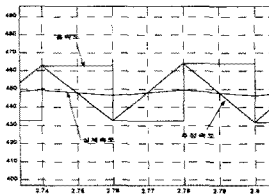


그림 7 450rpm일 때 속도 파형

그림 7은 450rpm일 때의 속도 파형으로서 속도가 저속으로 갈수록 오차가 크게 나는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 분해능이 낮은 홀센서의 속도 추정자에 대한 문제를 다루었다. least square 알고리즘을 통해서 고정된 데이터 값에 대해 시간을 추정하여 속도 추정자를 설계하였다. 모의 실험에서 보는 바와 같이 홀센서에 의한 속도 추정보다는 알고리즘을 통하여 설계한 추정자가 좋은 성능을 가짐을 보였다.

본 논문에서 제시한 홀센서를 이용한 least square 방법의 장점은 BLDC모터와 구동드라이브의 파라미터들이 속도 추정하는데 사용하지 않았기 때문에 파라미터들에 민감하지 않다.

실제 실험을 통해서 설계된 속도추정자를 이용하여 홀센서의 정밀한 속도제어를 위한 성능에 대한 고찰이 필요하다.