

저분해능 위치센서를 갖는 영구자석 동기전동기의 회전자 위치 추정 알고리즘

최해준, 남명준, 김학원, 조관열, 임병국
한국교통대학교

Rotor Position Estimation Algorithm of PM Synchronous Motor with Low Resolution Position Sensors

Hae Jun Choi, Myung Joon Nam, Hag Wone Kim, Kwan Yuhl Cho, Byung Kuk Lim
Korea National University of Transportation

ABSTRACT

영구자석 동기전동기의 벡터제어를 위해서는 고분해능의 회전자 위치정보가 필요하다. 하지만 위치센서로 홀 센서를 사용할 경우, 저분해능으로 인해 위치 추정에 한계가 있어 정밀한 위치정보를 얻기 위한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 간단한 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 위치 추정 알고리즘은 홀 센서 정보와 추정 위치의 직교 특성을 이용한 위치추정 방식을 통하여 회전자의 위치정보를 추정하는 방식으로 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서론

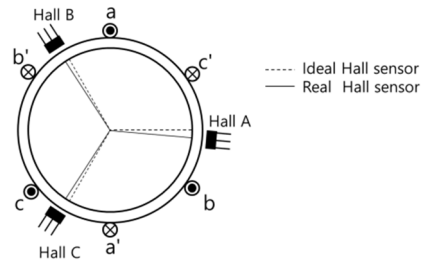
영구자석 동기전동기의 벡터제어를 위해서는 고분해능의 회전자의 위치정보가 필요하다. 위치정보 센서로는 리졸버, 증분형엔코더, 홀센서 등이 주로 사용된다. 홀센서를 이용한 방법은 회전자의 절대위치 정보를 알 수 있으나, 분해능이 낮아 벡터컨트롤을 위한 추가적인 위치추정 알고리즘을 필요로 한다. 홀센서로부터 위치정보를 추정할 때는 홀신호의 정확한 절대 위치에 취부되어야 하는데, 실제 홀센서는 그렇지 못하기 때문에 위치정보에 왜곡이 발생하게 된다^[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 홀센서로부터 얻은 위치정보에 센서리스 위치추정을 함께 사용하여 위치보정을 하는 방법이 연구되었다^[2]. 하지만 이러한 방법은 전동기의 파라미터 변화에 영향을 받기 때문에 장시간 구동 시 위치추정에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이 논문에서는 홀센서 정보로부터 파라미터의 영향 없이 위치를 추정하는 방법을 제시한다.

2. 위치추정 알고리즘

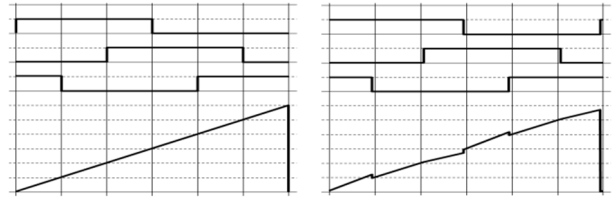
2.1 홀 신호의 오류

홀센서를 모터에 부착 시, 이상적인 위치와 실제 위치는 그림 1(a)와 같이 오차를 갖게 된다. 때문에 홀센서를 이용하여 위치정보를 추정할 때, 홀센서의 부착위치가 이상적이지 않을 경우는 그림 1(c)와 같이 추정위치는 오차를 갖는다. 회전자 위치추정은 M방식을 사용하여 홀 신호 사이의 속도를 추정하였고

추정속도를 적분하여 위치를 추정하였다. PMSM의 벡터제어를 위해서는 정확한 위치정보를 필요로 하기 때문에 이러한 위치오차를 보정하는 알고리즘을 필요로 한다.



(a) Hall sensor 부착 위치



(b) 이상적인 위치 추정

(c) 실제 위치 추정

그림 1 Hall sensor 부착 위치 및 theta 추정

2.2 제안된 위치추정 알고리즘

기존에 제안된 MRAS 방식의^[2] 위치추정 알고리즘은 다음 식(1)과 같다.

$$\hat{\omega} = k_i \int [i_d \hat{i}_q - i_q \hat{i}_d - \frac{\lambda_f}{L_d} (i_q - \hat{i}_q)] d\tau + k_p [i_d \hat{i}_q - i_q \hat{i}_d - \frac{\lambda_f}{L_d} (i_q - \hat{i}_q)] \quad (1)$$

식(1)은 i_d 와 i_q 를 추정된 \hat{i}_d 과 \hat{i}_q 와의 위상을 이용하여 실제속도 $\hat{\omega}$ 를 추정하는 식이다. 그러나 이 방식은 전동기의 파라미터를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 복잡하고 전동기 파라미터의 오차로 인하여 속도 추정 오차가 발생할 수 있다. 본 논문에서

제안하는 방식은 홀 센서의 θ_h 와 위치추정 알고리즘에 의하여 얻어진 추정위치 $\hat{\theta}$ 을 사용하여 속도를 추정하는 방식으로 속도 추정 식은 식(2)와 같다.

$$\hat{\omega} = k_i \left[(\cos \hat{\theta} \times \sin \theta_h) - (\sin \hat{\theta} \times \cos \theta_h) \right] + k_p \left[(\cos \hat{\theta} \times \sin \theta_h) - (\sin \hat{\theta} \times \cos \theta_h) \right] \quad (2)$$

여기서 θ_h 은 홀 센서 신호로 얻은 전동기 위치 정보이며, $\hat{\theta}$ 은 속도 $\hat{\omega}$ 를 적분하여 만든 전동기 위치 정보이다. k_i 와 k_p 는 각각 속도 추정을 위한 적분 이득 및 비례 이득 값이다. θ_h 과 $\hat{\theta}$ 이 같다면 $\cos \hat{\theta} \times \sin \theta_h - \sin \hat{\theta} \times \cos \theta_h$ 값이 0이 되고, 만일 θ_h 과 $\hat{\theta}$ 이 다른 위상을 갖게 된다면 $\cos \hat{\theta} \times \sin \theta_h$ 과 $\sin \hat{\theta} \times \cos \theta_h$ 이 서로 다른 값을 갖게 되어 속도를 추정하게 된다. 따라서 추정된 속도 값을 페루프 제어 하게 되면 θ_h 과 $\hat{\theta}$ 의 차이가 0에 가까워 지고, 결과적으로 $\hat{\theta}$ 과 θ_h 의 오차가 0이 됨을 알 수 있다. 그림 2(a)는 본 논문에서 제안하는 위치추정 알고리즘의 신호흐름 선도를 나타낸다. 페루프 제어의 입력은 θ_h 이며 제어기의 출력으로 나오는 $\hat{\theta}$ 를 이용하여 페루프 제어를 한다. 그림 2(b)는 제어기의 입력으로 쓰이는 θ_h 과 출력으로 나오는 $\hat{\theta}$ 에 30° 의 위상을 차감한 파형이다. 차감을 한 것은 $\hat{\theta}$ 이 θ_h 의 증상을 지나가게 하기 위함이다.

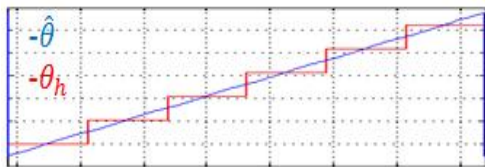
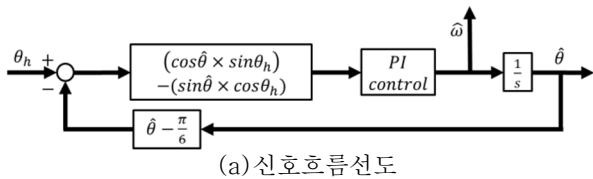


그림 2 직교 특성을 이용한 제어기

2.3 시뮬레이션 및 실험결과

본 시뮬레이션에 사용된 PMSM의 모델은 3상 8극 전동기이며, 회전자 위치 추정기의 적분이득 $k_i = 0.0001$, 비례이득 $k_p = 0.001$ 로 설정하였다. 위의 조건으로 그림 3은 1000rpm에서 회전자 위치추정 및 상전류의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 기존 방식은 그림 3(a)에서 보이듯이 홀센서의 신호가 바뀌는 60° 마다 Theta가 틀어지는 것을 확인할 수 있고, Theta가 틀어진 구간에서 전류의 일그러짐이 발생함을 알 수 있다. 그와 비교하여 그림 3(b)의 제안된 방식은 Theta의 틀어짐이 없고 전류는 일정한 sin

함수를 그리는 것을 알 수 있다. 회전자 위치의 보정으로 인해 전류의 FFT 분석 결과 기존 방식의 전류 THD는 9.59%지만 제안된 방식의 전류 THD는 2.84%이므로 THD 또한 작은 것을 확인할 수 있다. 실험은 시뮬레이션과 동일 조건에서 실시하였으며, 실험 결과는 그림4에 나와있다. 실험 결과 또한 Theta의 보정이 이루어졌으며 전류의 FFT 분석 결과, 기존방식의 전류 THD = 14.53%이며 제안된 방식의 전류 THD = 8.99%이므로 제안된 방식의 THD가 작은 것을 확인하였다.

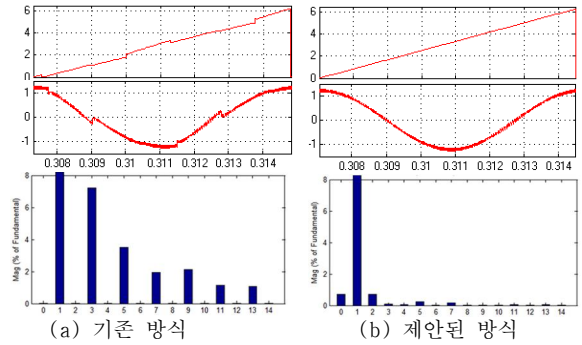


그림 3 1000rpm에서의 위치추정 시뮬레이션 결과

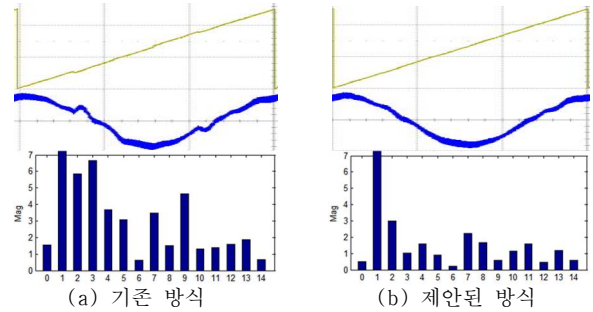


그림 4 1000rpm에서의 위치추정 실험 결과

3. 결론

본 논문은 홀 센서의 취부 과정에서 발생하는 회전자 위치오차를 보완하는 위치추정 방식을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 기존의 M방식에 비해 복잡한 속도추정 없이 간단하게 속도 및 위치추정이 가능함을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200310)입니다.

참고 문헌

- [1] S. Y. Kim, C. Choi, K. Lee, and W. Lee, "An improved rotor position estimation with vector-tracking observer in PMSM drives with low-resolution hall-effect sensors," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 9, pp. 4078-4086, Sep.2011.
- [2] Y. Shi, K. Sun, L. Huang, and Y. Li "Online identification of permanent magnet flux based on extended kalman filter for IPMSM drive with position sensorless control," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 11, pp.